

**Česká zemědělská univerzita Praha**

Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin



**Testování potomstev lesních dřevin s důrazem  
na experimentální design**

Bakalářská práce

Autor: Martin Lacina

Vedoucí práce: Ing. Jan Stejskal, Ph.D.

Praha 2019

**Czech University of Life Sciences Prague**

Faculty of Forestry and Wood Sciences, Department of Forest Genetics and Physiology



**Forest tree progeny testing with an emphasis  
on experimental design**

Bachelor thesis

Author: Martin Lacina

Supervisor: Ing. Jan Stejskal, Ph.D.

Praha 2019



# Česká zemědělská univerzita v Praze

## Fakulta lesnická a dřevařská

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Martin Lacina  
Studijní program: Lesnictví  
Obor: Lesnictví  
Vedoucí práce: Ing. Jan Stejskal, Ph.D.  
Garantující pracoviště: Katedra genetiky a fyziologie lesních dřevin  
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Testování potomstev lesních dřevin s důrazem na experimentální design**

Název anglicky: **Progeny testing of forest trees with an emphasis on experimental design**

Cíle práce: Cílem práce je shrnout dosavadní poznatky o testech potomstev rodičovských stromů lesních dřevin se zvláštním důrazem na využívané designy experimentů. V rámci této práce bude vypracována podrobná syntéza dostupné literatury nejen z oboru šlechtění lesních dřevin, ale také z příbuzných oborů agronomických.

Metodika: Výběr rodičů na základě údajů z testů potomstev se obvykle označuje jako zpětná selekce. Odhady těchto odchylek jsou dílčím cílem testování potomstev podmíněné genetickou evaluací naměřených dat. Tyto odhady jsou použity pro šlechtění zájmových populací a predikci možných zisků. U výsadeb lesních dřevin obvykle realizujeme základní měření růstových parametrů a na jejich základě poté posuzujeme jednotlivá potomstva. Současná praxe je významně obohacena hodnocením dalších parametrů, jako je prostorová variabilita a kompetice na daných plochách, k jejichž posouzení je nezbytný odpovídající experimentální design. Právě touto nadstavbou, která je v lesnických vyspělých zemích již běžnou praxí, se bude do detailu zabývat tato práce.

Doporučený rozsah práce: 40 stran

Klíčová slova: testy potomstev, šlechtění, semenné sady, experimentální design

Doporučené zdroje informací:

1. ERIKSSON, G.-- EKBERG, I.-- CLAPHAM, D. An introduction to forest genetics. Genetic Center, Department of Plant Biology and Forest Genetics, SLU, 2001.
2. HARWOOD, C E. -- WILLIAMS, E R. -- MATHESON, A C. *Experimental design and analysis for use in tree improvement*. Collingwood: CSIRO, 2002. ISBN 0-643-06259-9.

3. KAŇÁK, J. -- LSTIBŮREK, M. -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA. Návrh šlechtitelských postupů pro borovici lesní v západních a jižních Čechách: disertační práce. Disertační práce. Praha: 2011.
4. LSTIBŮREK, M. -- ČEŠKA, P. -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA. Zakládání a rozvoj semenných sadů lesních dřevin u VLS ČR,S.P. : disertační práce. Disertační práce. Praha: 2014.
5. POSPÍŠIL, J. -- KOBLIHA, J. *Šlechtění lesních dřevin: Určeno pro posl. les. fak.* Brno: Vysoká škola zemědělská, 1988.
6. WHITE, T L. -- ADAMS, W T. -- NEALE, D B. *Forest genetics.* Cabi, 2007.
7. ZOBEL, B. *Applied Forest Tree Improvement.* NEW YORK: WILEY, 1984.

Předběžný termín obhajoby: 2018/19 LS – FLD

Elektronicky schváleno: 19. 11. 2018  
**prof. Ing. Milan Lstibůrek, MSc, Ph.D.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 9. 2. 2019  
**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**  
Děkan

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Testování potomstev lesních dřevin s důrazem na experimentální design vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Stejskala, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 11/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne.....

Podpis

#### Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Stejskalovi, Ph.D. za jeho připomínky, rady a odborné vedení při tvorbě této práce. Dále chci poděkovat kolegovi Jiřímu Ehrenbergerovi za trvalou posilu při studiu. Poděkování za podporu náleží také lesnímu správci Ing. Kamilu Beznoskovi. Velký dík patří mé rodině, která mě neustále povzbuzovala po celou dobu studia.

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce „Testování potomstev lesních dřevin s důrazem na experimentální design“ je shrnout dosavadní poznatky o testech potomstev rodičovských stromů lesních dřevin se zvláštním důrazem na využívané designy experimentů. V úvodních kapitolách je shrnuta historie šlechtění rostlin s přihlédnutím na důležité představitele šlechtění rostlin a lesních dřevin. Další část je zaměřena na historii semenných sadů v ČR, a dále na principy založení semenných sadů, druhy semenných sadů a jejich současné využití v rámci ČR. Následující část se specializuje na téma testování potomstev ze semenných sadů, na zakládání testovacích ploch, kdy jsou představovány jednotlivé metody testovacích výsadeb. V rámci této práce jsou uvedeny způsoby testování potomstev z příbuzných oborů agronomických.

Klíčová slova: testy potomstev, šlechtění, semenné sady, experimentální design

## Abstract

The aim of the bachelor thesis "Forest tree progeny testing with an emphasis on experimental design" is to summarize the existing knowledge of the progeny tests of forest trees with special emphasis on the experimental designs. The introductory chapters summarize the history of plant breeding with regard to important names of plant and forest tree breeding. The next part is focused on the history of seed orchards in the Czech Republic and on the principles of seed orchards, types of seed orchards and their current use in the Czech Republic. The following section focuses on the testing of progeny from seed orchards, on the establishment of test sites, where various designs of progeny tests are presented. In this work also methods of progeny testing in the related fields of agronomy are described.

Key words: progeny tests, breeding, seed orchard, experimental design

## Obsah

1. Úvod .....	10
2. Cíl práce .....	13
3. Historie šlechtění.....	13
3.1 Historie šlechtění rostlin.....	13
3.2 Historie šlechtění lesních dřevin .....	14
4. Experimentální design .....	16
4.1 Historie designu experimentů.....	16
4.2 Průběh experimentu.....	17
5. Zásady šlechtění lesních dřevin .....	18
5.1 Základy šlechtění .....	18
5.2 Historie semenných sadů .....	21
5.3 Druhy semenných sadů .....	23
5.4 Semenné sady 1. generace.....	24
5.5 Semenné sady 1,5. generace.....	25
5.6 Semenné sady 2. generace a vyšší .....	26
5.7 Zakládání semenných sadů.....	28
5.8 Příprava realizace semenného sadu.....	29
5.9 Ošetřování semenného sadu.....	33
6. Testování potomstev .....	34
6.1 Základy testování potomstev .....	34
6.2 Způsoby testování potomstev .....	36
6.3 Zakládání testovacích ploch .....	38
6.3.1 Uspořádání testovacích ploch .....	40
6.3.1.1 Metoda blokového uspořádání .....	40
6.3.1.2 Metoda dvojitého mřížového uspořádání.....	42
6.3.1.3 Metoda Úplně randomizovaný design (CRD) .....	43
6.4 Vlastní testování potomstev.....	45
6.5 Údržba testovacích ploch .....	46
7. Rychle rostoucí dřeviny .....	47
7.1 Výsadby rychle rostoucích dřevin.....	47
7.2 Testování rychle rostoucích dřevin .....	48
8. Testování potomstev v zemědělství.....	49
8.1 Šlechtění zemědělských plodin .....	49
8.2 Šlechtění a testování kukuřice.....	49
8.3 Testování potomstev chmele .....	50



9. Diskuze a závěr .....	51
10. Seznam citované literatury.....	54
11. Seznam obrázků .....	58

## 1. Úvod

Počátky obhospodařování půdy na území Českých zemí sahají do období neolitu, kdy došlo k prvním pokusům o přeměnu krajiny. Lze předpokládat, že zpočátku docházelo k malému narušení lesních porostů u sídlišť pravěkých lidí, většinou v souvislosti s pastvou domestikovaných divokých zvířat. Zásadní změny nastaly po získání prvotních zkušeností s pěstováním obilovin. Došlo ke změnám krajiny vlivem přechodu na intenzivnější zemědělské hospodaření, kdy neolitický člověk mění lesní porosty na půdu schopnou orby a pěstování plodin. Osidlování území probíhá postupně, lidé se zpočátku drží v nížině v údolních nivách řek, postupně dochází ke kolonizaci i ve vyšších nadmořských výškách – lidé obývají pahorkatiny až podhůří hor. S tímto postupem souvisí přeměna lesnaté krajiny na krajinu spíše zemědělskou s nekontrolovaným úbytkem lesa. Mozaika navíc byla „tekutá“ – krajina se stále měnila, tj. plochy v horizontu desítek let až tisíciletí měnily tvar a velikost, přesunovali se, případně se vzájemně střídali, vznikali, zanikali. Mezolitické a neolitické aktivity tuto strukturní časoprostorovou diverzitu jen rozhojňovali a stabilizovali (Sádlo 2005)

Krajina se od neolitu mění postupně. Neolitický člověk se uchýlil ke klučení lesa spíše výjimečně, neboť zpočátku využíval především stanoviště s úrodnými půdami typu černozemí a nivních půd, případně bránil návratu lesa na tyto plochy. Jak se však postupně zemědělství a pastevectví rozšiřovalo, začínalo se to dít pomalu, ale jistě na úkor lesa, který byl podle potřeby vypalován (Němec, Hrib 2009). K největšímu odlesnění dochází v období středověku. Do té doby probíhá odlesnění vlivem kolonizace území za účelem získání zemědělské půdy. Zatímco na počátku 13. století pokrývaly většinu Českého království lesy (kolem 70 % veškeré plochy), díky intenzivní kolonizaci bylo do konce 13. století zkulturnováno více než 50 % veškeré půdy a lesy tedy pokrývaly „jen“ polovinu země. Rozložení lesů a kultivované krajiny nebylo samozřejmě rovnoměrné (Vondruška 2010). Od 14. století, za vlády Karla IV., byly některé lesy zcela vyklučeny. Intenzivní rozvoj hospodářství za doby jeho panování představoval stále vzrůstající potřebu stavebního dříví na stavbu nových měst, osad, kostelů, klášterů a komunikací. Začaly se rozvíjet výroba skla, hutní výroba a hornická činnost. Ve středověku bylo považováno klučení a žďáření za „svatou povinnost“. Touto činností v kulturní krajině byla během staletí pozměněna celá příroda (Němec a Hrib 2009).

Ve středověku neexistovalo racionální lesní hospodaření, a pokud lidé chtěli zalesnit vykloučené mýtiny, nechávali je na pospas přírodě, aby se o obnovu postarala sama. V takovém případě se na nově zalesněné půdě obvykle samovolně zvyšoval podíl jehličnanů na úkor listnatých stromů. Důvodem je fakt, že jehličnany mají schopnost rozšiřovat svá semena ze šišek větrem postupně dále od mateřského stromu než stromy listnaté (bukvice a žaludy dopadají jen do úzkého okruhu kolem koruny stromu). Tímto způsobem se pomalu zvyšoval podíl jehličnanů v celkovém lesním pokryvu země, i když ve 13. století byl tento proces teprve na svém začátku (Vondruška 2010).

Zdalo by se, že změnou k lepšímu bude 15. století, kdy dochází k útlumu kolonizačních snah, mnohé osady a vesnice zanikají a les se vrací nebo alespoň nedochází k dalšímu odlesňování. Nastává však doba husitských válek a v dalším století postihne české země, nyní už v područí Rakouska – Uherska, třicetiletá válka, kdy byla řada měst i vesnic vypálena. S tím je sice spojen úbytek obyvatelstva a návrat lesa na opuštěnou zemědělskou půdu. Ale stále se zvyšující potřeba dřeva (na obnovu sídel), a s tím spojená snaha docílit co největších a pokud možno trvalých příjmů z lesa, měla za důsledek další devastaci lesů. Spotřeba dřeva byla doslova neuvěřitelná. Příkladem může být roční spotřeba dřeva na českokrumlovském panství na počátku 17. století. Pro vytápění zámku a klášterů, pro pivovar, vápenice a cihelny bylo potřeba 15 000 sáhů dřeva, což představovalo roční spotřebu 60 000 prostorových metrů dřeva (Němec a Hrib 2009).

Situace se mění v polovině 18. století vznikem prvního zákona o lesích. V roce 1754 vydala Marie Terezie zemský lesní řád (Císařský královský patent lesů a dříví, ustanovení v Království Českém se týkající). Byla to první zákonná norma upravující hospodaření v lesích v jednotlivých zemích Rakouska-Uherska. Vypracováním zákona byl pověřen Leopold Kinský (1713–1760), nejvyšší lovčí Království Českého. Návrh z valné části vypracoval jeho chlumecký lesmistr František Rang (1705–1785). Nařízení kromě řady jiných ustanovení nabádalo k všemožné úspoře dřeva v lesích a zakazovalo jeho prodej bez povolení úřadu (Reiser a Jiřík 2016). K vypracování zákonného ustanovení zřejmě vedla tzv. První energetická krize, jak o ní pojednává Němec, Hrib 2009. Četné oblasti trpěli nedostatkem dřeva stavebního i truhlářského, ale i nedostatek paliva byl trvalým zjevem. Nedostatkem dřeva trpěla celá Evropa. Tereziánský řád přísně zakazoval ničení lesů. Touto dílčí péčí tak stanovuje prvé základy státní lesnické politiky.

Další změnu v lidském chování vůči lesu a přírodě přináší romantismus v 19. století. Jeho nástupem se mění krajina kolem větších měst či na panstvích šlechty. Například v lesích v okolí města Karlovy Vary (Reiser, Jiřík 2016) dochází ke změnám vlastnictví, kdy město Karlovy Vary začalo cíleně zalesňovat holiny a další přikoupené pozemky. Dochází k úpravám lesních porostů. Návštěvníci města si brzy povšimli významných změn v okolí lázeňského města. V roce 1806 píše J.W. Goethe své ženě: „... *okolí je tu stejně jako před lety velmi hezké ... Bylo tu však mezitím zřízeno mnoho mimořádně příjemných vycházkových pěšin...*“ (Reiser a Jiřík 2016).

Od romantismu, potažmo od 19. století, prochází les dalším vývojem. Lesnatá krajina nabývá formy kulturního lesa, lesa přeměněného člověkem ku své potřebě. Zakládáním stejnorodých smrkových a borových porostů na přelomu 19. a 20. století v nižších polohách se sice výrazně zvýšila dřevní produkce, ale značně se rozšířili lesní kalamity i do vnitrozemí, neboť monokulturní porosty jsou poškozovány ve srovnání s původními listnatými porosty mnohem více, a to jak živly (větrem, sněhem), tak i hmyzími škůdci (kůrovcem a mniškou) (Němec a Hrib 2009). Hejda (2017) ve své práci uvádí, že: „*K největším kalamitám v ČR dochází především působením abiotických škodlivých činitelů – větru, sněhu, námrazy, ledovky, sucha a mrazu. Lesy narušovaly kalamity již v 19. století. Frekvence velkých větrných kalamit (nad 1 mil. m<sup>3</sup>) má stále se zrychlující trend. V letech 1740–1840 byl interval kalamit 33 roků, v letech 1841–1940 dosahoval 22 roků a v období 1941–2000 klesl na 10 roků.*“

Je zřejmé, že zásah člověka do krajiny na území dnešní České republiky byl od dob neolitu po současnost zprvu málo patrný, ale jak se měnily potřeby obyvatelstva, měnil se i způsob obhospodařování krajiny a získávání zdrojů pro nároky společnosti. A nemůžeme tvrdit, že dnešní stav poznání přináší, do krajiny člověkem ovlivněné, situace jen pozitivní jenom proto, že žijeme v moderní době a máme k dispozici informace, které generace před námi neměli. Nejednou je na vině nedostatečná „lesnická paměť“ a lesnický personál tak (často nechtěně) opakuje chyby svých předchůdců.

## 2. Cíl práce

Cílem práce je shrnout dosavadní poznatky o testech potomstev rodičovských stromů lesních dřevin se zvláštním důrazem na využívané designy experimentů. V rámci této práce bude vypracována podrobná syntéza dostupné literatury nejen z oboru šlechtění lesních dřevin, ale také z příbuzných oborů agronomických.

## 3. Historie šlechtění

### 3.1 Historie šlechtění rostlin

Pohledem do historie šlechtění rostlin, a tedy i lesních dřevin, zjišťujeme, že to je vědní disciplína stará skoro jako lidstvo samo. Zpočátku, v době rozvoje zemědělství v období (datováno přibližně 8 000 let před n.l.), se zřejmě jednalo o jednoduchou volbu. Člověk byl postavený před otázkou: Co pěstovat? Určitě si neuvědomoval hlubší důsledky svého výběru. Hlavním důvodem bylo: Uživit se. A pokud se v okolí lidského obydlí objevila rostlina, která nasýtla, bylo důvodem ji zachovat a později i rozšiřovat. Zajištění dostatku potravy vedlo k výraznému rozvoji tvořivých schopností člověka a ke vzniku civilizací (Smýkal 2009).

První krůčky ve vědním oboru šlechtění rostlin učinil Rudolf Jacob Camerer (Camerarius) (1665-1721), německý botanik, zabývající se problematikou rozmnožování rostlin a s tím související otázkou jejich sexuality. Pokusně křížil rostliny a první dokázal, že květy jsou obvykle oboupohlavné. Výsledky výzkumu (De Sexu Plantarum epistola 1694), publikoval v letech 1691 až 1694, kdy je zaznamenal formou dopisů (Möllerová 2009). V roce 1727 pracoval Louis Leveque de Vilmorin z francouzské rodiny producentů osiva Vilmorinů na položení základů pro zlepšení velikosti, tvaru a cukernatosti cukrové řepy. Podle principů genetiky a šlechtění rostlin (v této době neznámé disciplíny) byl poprvé použit test potomků k vyhodnocení pěstitelské hodnoty rostlin (Deerring 2017).

Roku 1865 přednášel Gregor Johann Mendel (1822-1884) na setkání Brněnského přírodovědeckého spolku o svých pokusech na rostlinách a následně publikoval práci „Pokusy

s rostlinnými hybridy“ (1866). Shrnul v ní své úsilí během let 1856-1863, kdy se věnoval křížení hrachu a sledování potomstva. Na základě svých pokusů formuloval tři pravidla, která později vešla ve známost jako Mendelovy zákony dědičnosti. Mendel svou vědeckou prací předběhl dobu, význam jeho experimentů byl objeven později. Základy učení, později nazvaného mendelismus, vytvořil 23 roků před tím, než se objevil termín chromozom a 31 let před první zmínkou o chromozomové teorii dědičnosti (Laudátová, Dostál 2012). Teprve po pětatřiceti letech jeho výzkum potvrdili tři vědci: Hugo Marie de Vries z Holandska (1848-1935), Erich von Tschermak-Seysenegg z Rakouska (1871-1962) a Carl Erich Correns z Německa (1864-1933).

Na počátku dvacátého století Wilhelm Johannsen z Dánska (1857-1927), označovaný jako Průkopník experimentální genetiky rostlin, zavádí jako první pojmy gen, genotyp a fenotyp (Teorie čistých linií 1903). Položil tím základy moderní genetické terminologie. Mezi další významné vědce patří anglický profesor William Bateson (1861-1926), který jako první použil termín genetika (1906), heterozygot a homozygot (Vaculka 2010).

### **3.2 Historie šlechtění lesních dřevin**

Lesní dřeviny na rozdíl od zemědělských plodin, stromů a keřů pěstovaných pro plody (ovoce) neprošly zušlechťovacím procesem, takže dodnes pracujeme většinou s planě rostoucími rostlinami. Historie ovocných stromů je velmi bohatá a sahá hluboko do tehdejších kultur jihovýchodní Asie, odkud mají původ především jabloně, hrušně a slivoně. Možnosti zušlechťovat lesní dřeviny s praktickým cílem byly během posledních více než 200 let několikrát předpovězeny a také realizovány. Je pravdou, že v daleko skromnějším měřítku, než je tomu u zemědělských plodin (Pospíšil a Koblíha 1988).

Prvotní práce ve šlechtění lesních dřevin vychází z poznatků šlechtění rostlin. Prvním, kdo předpověděl možnosti hybridizace lesních dřevin byl Josef Gottlieb Kölreuter (1733-1806), německý biolog, který provedl a popsal 65 křížení týkající se 54 druhů. Pracoval převážně s rody bylinného charakteru, přesto je možné ho označit za prvního badatele, který naznačil možnosti využití heterozního efektu u potomstev lesních dřevin, získaných záměrnou

hybridizací. Jeho práce, vydané v letech 1761-1765, můžeme považovat za počátek vědeckého studia rostlinných hybridů a za počátek experimentálních prací v genetice (Pospíšil a Kobliha 1988).

Další významné objevy učinili dva čeští lesníci, bratři Ondřej a Rudolf Geschwindové. Rudolf Geschwind (1829-1910) je spíše znám svou prací na šlechtění růží, ale jeho poznatky přispěli k rozvoji šlechtění lesních dřevin. Jeho bratr Ondřej Geschwind (1842-1893) se zabýval získáváním kvalitního hybridního osiva pomocí umělého opylování. Tato metoda pohlavního křížení se používá ve výzkumu a jsou známy první případy použití i v praxi (Václav 1961). Jak píše Václav (2006) v předmluvě elektronické verze almanachu k semináři *České lesnictví ve světě*: Ondřej Geschwind se zcela určitě stal prvním průkopníkem šlechtění lesních dřevin u nás a zároveň zřejmě i prvním českým lesnickým expertem v zahraničí, neboť působil od roku 1882 až do své smrti v roce 1893 v Illidži, Sarajevu a Travniku, v pozdější Jugoslávii. Ondřej Geschwind byl zaníceným šlechtitelským průkopníkem a z pohledu počátku 21. století je určitě zajímavý jeho výrok, že bude ve svých pokusech pokračovat, i kdyby byl nařčen „darwinistou“!

Přibližně ve stejné době jako bratři Geschwindové provádí své pokusy další francouzský šlechtitel z rodiny Vilmorinů, Hugo de Vilmorin. V roce 1868 provedl mezidruhové křížení mezi *Abies pinsapo* x *Abies cephalonica*, jehož výsledkem byl hybrid *Abies vilmorini* (Pospíšil a Kobliha 1988).

Nové poznatky z biologie a z praktického šlechtění umožnily na začátku 20. století přechod do etapy vědeckého šlechtění. Rozšiřování výchozího šlechtitelského materiálu sbírkami planých forem, uchovávání a studium světového sortimentu po vzoru N.I. Vavilova (1891-1951) a objevy nových šlechtitelských metod, umožnily rychlý vzestup šlechtitelské práce. Rychlý rozvoj nastal zejména po 2. světové válce. Šlechtění dosáhlo v dalších letech vysoké úrovně po vědecké, ale i po technické stránce. Od 80. let až do současnosti je snaha zavádět do šlechtění rostlin nejnovější poznatky z oblasti technik tkáňových kultur, z oblasti molekulární biologie a genových manipulací. Výsledkem úsilí jsou nové odrůdy s vysokými hodnotami jakosti a odolnosti (Graman a Čurn 1998).

## 4. Experimentální design

### 4.1 Historie designu experimentů

Základy experimentálního designu položil Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), anglický matematik, statistik a genetik. Je považován za hlavního zakladatele moderní matematické statistiky. Ačkoli se zabýval výzkumy v oblasti lidské genetiky, jeho praktické objevy zasáhly do všech vědních oborů. Ve své knize *The Genetical Theory of Natural Selection* z roku 1930 se věnuje významu bádání Gregora Johanna Mendela. Fisher tvrdí, že Mendelovy zákony dědičnosti potvrzují Darwinovu teorii přirozeného výběru a své tvrzení potvrzuje statistickými propočty. V knize *The Design of Experiments*, vydané poprvé v roce 1935, se zabývá navrhováním výzkumu. Píše, že době připravený experiment s optimálním stanovením cíle a s prokazatelným průběhem vlastního výzkumu, ve kterém nedochází k záměrnému zkreslování výsledků tím, že by byly ovlivňovány nepřirozenými vlivy, nemůže být napadnut pro nespolehlivost úsudku. Předpokládá, že je možné vyvodit z výsledků experimentů platné závěry, a že je s nimi možné argumentovat od pozorování až po konečné hypotézy. Při zvažování vhodnosti jakéhokoli navrženého experimentálního návrhu, je vždy nutné předvídat všechny možné výsledky experimentu a rozhodnout, jaký bude mít každý z nich výklad (Fisher 1935).

Pro ověření správnosti experimentu Fisher (1935) navrhuje stanovit už na počátku pokusů postupy, kterými bude dosaženo výsledků. Návrhy se týkají zakládání různých bloků a jejich náhodného opakování – randomizace. Jednotlivé experimenty musí obsahovat základní záruku, že musí být připraveny v náhodném pořadí a výsledek pokusu tak nebyl ovlivněn tím, že by došlo k jeho zkreslení. Transparentnost experimentu je základem pro úspěšné obhájení jeho výsledků. Jakékoliv nepřirozené ovlivnění má za následek polemizování ze strany oponentů a nepřijetí výsledků celého experimentu.

Experiment v sobě zahrnuje tři základní principy-randomizaci, replikaci a kontrolu. Principy se navzájem doplňují ve snaze zvýšit přesnost experimentu a poskytnout platný test významnosti, přičemž si zároveň zachovávají charakteristické rysy svých rolí v každém experimentu a zabraňují systematické chybě. Randomizace zaručuje eliminaci systematické



chyby. Dále zajišťuje, že přetrvávající chybová složka je čistě náhodná. To poskytuje základ pro provedení platného odhadu náhodných výkyvů, které jsou tak podstatné pro testování významu skutečných rozdílů. Replikace je opakování experimentu za stejných podmínek s ohledem na design experimentu. Replikace s randomizací poskytne základ pro odhad chyb. Při absenci randomizace nemusí jakékoli množství replikace vést ke skutečnému odhadu chyby. Čím větší je počet replikací, tím větší preciznost experimentu je zajištěna (Jayaraman 1999).

## 4.2 Průběh experimentu

Průběh experimentu by měl být od začátku podrobně plánován, aby mohl na konci věrohodně odpovědět na počáteční otázky.

### 1. *Položení otázky, co je cílem experimentu*

Na počátku je třeba stanovit čeho chceme během experimentu dosáhnout. Cíl by měl být objektivní, konkrétní, měřitelný a praktický pro další využití (Montgomery 1976)

### 2. *Stanovení hypotézy*

Správně vytyčená hypotéza musí být podložena celou řadou faktorů vytyčující další směr výzkumu.

### 3. *Prognóza*

Předpověď opírající se o dosavadní vědecké poznatky. Pomáhá podpořit či vyvrátit spolehlivost hypotézy.

### 4. *Příprava experimentu*

V rámci přípravy by měl být popsán základní stav a navržený postup průběhu experimentu, aby byla zajištěna ověřitelnost zjištěných dat. Základem je vyjmenování přístrojů k měření, popis měření, výběr materiálu, hodnocení rizik.

### 5. *Provedení experimentu*

Během experimentu je třeba vyloučit všechny systematické chyby, které by ovlivnily výsledek. Pro analýzu výsledků musí být o průběhu proveden zápis (případně fotografický či jiný záznam na média) o všech okolnostech, které se udály a mohli by ovlivnit další postup.

## 6. *Analýza výsledků*

Výstupem analýzy, a vlastně též souhrnem celého experimentu, je podrobná zpráva s rozbohem výsledků experimentu. Součástí publikace by mělo být statistické šetření o přesnosti zjištěných údajů a jejich významu pro další použití.

Průběh experimentu a jeho zaznamenávání vede k průkaznosti spolehlivosti výsledků v rámci následných ověřování. Jejich věrohodnost vede k uplatnění v dalších navazujících experimentech nebo jejich následné uplatnění v praxi v podobě doporučení využitelnosti. Průběh pokusů a jejich výsledky musí být objektivní a měřitelné, měly by být dostatečně podrobné, aby bylo jasné, jak a kdy byly splněny (Montgomery 1976).

## 5. Zásady šlechtění lesních dřevin

### 5.1 Základy šlechtění

Problematiku šlechtění lesních dřevin možno rozvrhnout do několika úseků či etap. Základní metodou všech šlechtitelských prací je výběr (selekce), jenž se uplatňuje ve všech úsecích či etapách také ve šlechtění lesních dřevin.

1. Vyhledávání vhodných typů proveniencí lesních dřevin. Tak můžeme zajistit nejvhodnější provenience pro jednotlivé oblasti, ať již ve smyslu vertikálního nebo horizontálního rozmístění té které dřeviny. Je to jedna ze základních metod, která je dnes doceněna a je na ni pamatováno i v zákonných ustanoveních a prováděcím nařízení o uznávání porostů vhodných ke sběru osiva. Do této kapitoly můžeme také zahrnout vyhledávání a zjišťování různých místních sort a forem. Zvláště sorty s rezonančním dřevem, sorty s výraznou texturou dřeva, sorty odolné vůči chorobám, ale i jiné další, mají pro další šlechtitelské cíle velký význam.
2. Zavádění dřevin, případně sort u nás přirozeně se nevyskytujících (introdukce, pěstování exotických dřevin). Pěstování exot sleduje jeden hlavní cíl, v podstatě se shodující se šlechtěním lesních dřevin ve vlastním slova smyslu, tj. zvýšení přirůstavosti lesních porostů. U nás máme v pěstování exot určitou tradici, která souvisí těsně i s jejich zaváděním pro okrasné účely. Máme zkušenosti s douglaskou

tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*), borovicí vejmutovkou (*Pinus strobus*), dubem červeným (*Quercus rubra*) a řadou dalších. Mnohé tyto výsadby jsou staršího data a mohou být dobrým výchozím materiálem pro šlechtitelské práce.

3. Výběr a zajištění výběrových stromů. Výběrové stromy jsou takové jednotlivé stromy v porostech, které svou kvalitou s ohledem na cíl šlechtění vysoko překračují průměr druhu na určitém stanovišti. Tyto výběrové stromy nám představují výchozí šlechtitelský materiál při zakládání semenných plantáží (sadů) a pro generativní nebo vegetativní hybridizaci (dnešní platná legislativa tyto stromy označuje jako ortety, případně rodiče rodiny).
4. Zakládání semenných plantáží (sadů) je v podstatě vegetativní množení výběrových stromů roubováním. Semenné plantáže plní účel, abychom mohli rychle rozmnožit kvalitní jedince (výběrové stromy) k získání kvalitního osiva, po případě slouží ke generativní hybridizaci.
5. Generativní a vegetativní hybridizace je šlechtitelská strategie spočívající ve vhodné kombinaci rodičovských párů a v dalším generativním nebo vegetativním křížení. Rodičovský pár vybíráme mezi výběrovými stromy. Proto je nutno při vyhledávání výběrových stromů pro účely mezidruhově hybridizace vybírat i mezi kvalitními dřevinami exot u nás pěstovaných (Kantor 1958).

Václav (1961) uvádí, že úkolem lesnické genetiky je průzkum dědičnosti lesních dřevin a vzájemných vztahů mezi dědičnými vlastnostmi a prostředím. Tyto znalosti jsou důležitým předpokladem práce pěstitele a vůbec dalšího vývoje pěstování lesů. Vyjdeme-li z dnešního stavu lesů, má šlechtění lesních dřevin několik úkolů, které lze rozdělit na okamžité a dlouhodobé.

## **I. Okamžité úkoly šlechtění lesních dřevin.**

Je třeba omezit a odstranit chyby vzniklé používáním cizích sort, tím omezit ztráty na přírůstu a zvýšit odolnost a zlepšit zdravotní stav dřevin. To vyžaduje:

1. Návrat k původním odrudám dřevin nebo zajištění nejlepších odrud prověřených v dané oblasti. Jinými slovy, nepřetvářet osivo a sazenice na velké vzdálenosti, uznávat původní porosty a skupiny pro sběr osiva.
2. V souvislosti s uznáváním vhodných porostů a skupin vyhledávat též výběrové stromy.
3. Uznávat výběrové stromy vegetativně rozmnožovaných kultivarů topolů, zajistit jejich množení a selekci.
4. Propracovat praktické metody křížení dřevin, aby je bylo možno používat v praktickém lesnictví k získávání kvalitního materiálu pro další šlechtění.
5. Seznamovat stále co nejširší vrstvy zaměstnanců lesního hospodářství s pokrokovými metodami šlechtění lesních dřevin, aby vědecké poznatky prověřovala a doplňovala praxe.

## **II. Dlouhodobé úkoly šlechtění lesních dřevin.**

Mají zvýšit produkci výběrem a množením nejlepších jedinců z přirozených populací nebo umělým zaváděním druhů s rychlejším růstem a jinými lepšími vlastnostmi.

1. Vytvářet semenné porosty a semenné sady z nejvhodnějších forem dřevin pro sklizeň osiva.
2. To vyžaduje zvláště přísný výběr stromů, což znamená používat pouze ty nejkvalitnější výběrové stromy.
3. Pokračovat v úkolech, uvedených v bodech 4. a 5. krátkodobých úkolů (Václav 1961).

Dlouhodobé úkoly ve šlechtění lesních dřevin můžeme uvažovat jako stále opakující se sled událostí, ve kterém se provádí vyhodnocení testů potomstev, výběr stromů pro další generace semenných sadů a následná výsadba vybraných stromů. Semeno ze semenných sadů slouží k pěstování sazenic ve školkách nebo k přímému výsevu v lesních porostech. Nejlepší stromy jsou pak opět vybrány pro založení nové generace semenných sadů a proces se znovu opakuje. Máme tři možnosti pro zdokonalení šlechtění lesních dřevin:

1. Pro produkci osiva založit semenné sady

2. Pro produkci řízkovanců zřídit klonální archivy
3. Rozmnožování dřevin zajistit prostřednictvím tkáňových kultur (Eriksson et al. 2006).

## 5.2 Historie semenných sadů

Počátek zakládání semenných sadů na území dnešní České republiky spadá na konec šedesátých let, kdy byl založen první semenný sad na LZ Světlá nad Sázavou v lokalitě Čerňák, dnešní LS Ledec nad Sázavou. V roce 1958 získali první rouby z VÚLHM Uherské Hradiště – Kostelany. Jednalo se o sudetský ekotyp (jesenický) modřínu opadavého (*Larix decidua*) z oblasti Hrubého a Nízkého Jeseníku. Následující rok převzali další rouby z jiných oblastí (Moravský kras, Jaroměřice nad Rokytnou). Po založení (vysazení) semenné plantáže (sadu) začali roubovat a vysazovat i další dřeviny: buk lesní (*Fagus sylvatica*), douglasku tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*) a jedli bělokorou (*Abies alba*). Celkem bylo mezi lety 1959-1964 vysázeno na ploše 4,61 ha 1 841 roubovanců výše zmíněných dřevin (Semrád 1973). Další semenné sady vznikly v roce 1960 na území dnešní LS Náměšť nad Oslavou a LS Janovice další semenné sady modřínu opadavého. Jak píše Rambousek (2003) od roku 1958 do 1990 se datuje „éra modřínu“. V tomto období bylo založeno 27 sadů (na ploše cca 82 ha) modřínu opadavého, který se ukázal jako „vstřícná“ dřevina, ujmavost při roubování i při výsadbě byla vysoká. Navíc začíná plodit začíná už ve 4.-6. roce po výsadbě. Po dosažení plné plodnosti (12-15 let) se očekávala produkce 20 kg čistého semene na 1 ha výměry sadu za rok. U jedle bělokoré se očekávala produkce dokonce 45 kg čistého semene na 1 ha za rok, k dosažení plné plodnosti mělo však dojít až v rozmezí 20-25 let věku (Semrád 1973).

Skutečnou sklizeň modřínu ze semenného sadu Čerňák uvádí Semrád (1973) osm let po založení v roce 1966: 0,13 kg z 1 ha. V následujících třech letech má produkce stoupavou tendenci až po 0,40 kg z 1 ha v roce 1968. Ale už v roce 1971 je získáno celkem 82 kg čistého semene, což dělalo téměř 37 kg na 1 ha. Klíčivost semene byla abnormální, dosahovala 75 %, navíc se projevovala kvalita semene z roubovanců. Výsledky výsevu semene byly pozoruhodné: jednoleté semenáčky dosáhly výšky 18 cm, dvouleté 54 cm. Naproti tomu u dalších dřevin se na roubovancích objevily šišky ojediněle. U jedle bělokoré se neobjevily vůbec. Důvodem byl špatný sběr roubů, protože u jedle je nutné sbírat z posledního přeslenu.

Na začátku devadesátých let bylo v ČR založeno 98 ha semenných sadů modřínu opadavého. Až sady dosáhnou plné fruktifikace, bude možno očekávat přibližnou úrodu 500 až 550 kg osiva ročně, což při potřebě 2 000 kg za rok představuje zhruba jednu čtvrtinu potřeby osiva. Tyto perspektivy lze považovat za přiměřené. Osivo ze semenných sadů je třeba považovat za doplněk ke krytí celkové potřeby, protože je nutné, aby převážná část osiva pocházela z porostů uznaných ke sklizni, což zajistí udržení trvale dostatečnou genetickou proměnlivost populací lesních dřevin (Šindelář 1992).

Když byly zvládnuty potřebné technologie zakládání semenných sadů, tj. zhruba 15 let po prvních výsadbách modřínu, započalo zakládání semenných sadů borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Od roku 1973 do 1990 bylo založeno 29 sadů o výměře 115 ha. Vzhledem k tomu, že pěstitelé měli dostatek informací z předchozích let, bylo zakládání semenných sadů snazší, neobjevovaly se zásadní technologické problémy. Snad pouze doba pro vypěstování výsadby plodících roubovanců je poněkud delší než u modřínu. Plodnost borovice nastupuje prakticky ve stejném věku jako u modřínu.

Ve stejné době jako semenné sady borovice lesní se ve větší míře objevují i sady smrku ztepilého (*Picea abies*). Ve srovnání s borovicí však byla situace v řadě věcí odlišná. Výměry zakládaných sadů nebyly tak velké. Nejmenší výměra sadu smrku byla 1,60ha, největší 6 ha (u borovice dosahovali sady výměry mnohem větší – některé až k 10 ha). Úspěšnost výsadby roubovanců byla nižší, delší je doba na dopěstování. Nástup doby plodnosti se očekával až po dvaceti letech. Jenom výjimečně plodí určité klony dřívě.

Sady ostatních jehličnanů (douglaska tisolistá, jedle bělokorá, jedle obrovská /*Abies grandis*/, borovice vejmutovka) jsou zakládány spíše výjimečně a jsou lokálního významu bez významnější produkce osiva (Rambousek 2003).

U listnatých dřevin začala realizace semenných sadů později. V šedesátých letech došlo k ojedinělé výsadbě roubovanců buku lesního, k dalším výsadbám došlo až v sedmdesátých letech, kdy bylo založeno pět sadů o průměrné výměře 1,50 ha. Další sady založené v letech 1978-1990 byly ovlivněny tehdejší tendencí zakládat sady větších výměr. Průměrná výměra se v tomto období zvýšila na 2,50 ha. Ve všech výše uvedených sadech bylo postupně zjištěno, že buk lesní není pro semenné sady vhodnou dřevinou. Plodnost ve srovnání s jinými dřevinami nastupuje pozdě. Ani na nejstarších sadech, které jsou ve věku 30-40 let, nebyla zaznamenána významnější úroda semene. Po dlouhou dobu se projevuje úhyn roubovanců

způsobený špatnou srůstavostí roubu a podnože, vyskytuje se i poškození korní spálou. Také výsadba dubu letního (*Quercus robur*) se v semenných sadech neukázala vhodnou po stránce technologie roubování a pěstování roubovanců. Také skutečnost, že u dubu i buku se sbírají na zem spadaná semena, omezuje přínos sadů spočívající ve snadné sklizni žaludů a bukvic (Rambousek 2003). Prakticky všechny semenné sady založené do začátku devadesátých let, byly založeny *ex situ*. Byl předpoklad, že mimo oblast přirozeného výskytu, v místě mírného klimatu, dojde ke kladnému heteróznímu efektu podmíněného důslednou selekcí výchozích nepříbuzných výběrových stromů (Kupka 2008).

Semenné sady dříve opomíjených dřevin jsou zakládány od počátku devadesátých let. Jmenovitě se jednalo o sady jilmu drsného (*Ulmus glabra*), jilmu vazu (*Ulmus laevis*), jilmu habrolistého (*Ulmus minor*), třešně ptačí (*Prunus avium*), javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*), lípy malolisté (*Tilia cordata*) či jeřábu oskeruše (*Sorbus domestica*). Pro všechny uvedené sady je charakteristická adresnost při výběru výchozích populací i užší lokalizace regionu, pro který je produkce ze sadu určena. Tak byly založeny například sady pro reprodukci regionálních populací horského javoru kleny z oblastí Jeseníků, Beskyd, Dražanské vrchoviny, Českomoravského meziohří a dalších oblastí (Rambousek 2003).

Ze Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky za rok 2017 vyplývá, že v roce 2016 je v Rejstříku uznaných zdrojů evidováno celkem 136 uznaných semenných sadů o celkové ploše 312,13 ha. Semenné sady jsou založeny pro 10 jehličnatých a 13 listnatých druhů dřevin a dále, že bylo v České republice evidováno celkem 25 uznaných směrů klonů pro 5 druhů dřevin o celkové ploše 18,11 ha.

### 5.3 Druhy semenných sadů

Semenné sady se zakládají z roubovanců či řízkovanců lesních dřevin zejména pro produkci semene známé nebo předpokládané genetické hodnoty s cílem snadného sběru osiva. Většina semenných sadů je založena z roubovanců výběrových stromů. Pro poznání genetické hodnoty získaného osiva se jednotlivé sady musí testovat. Neotestovaný semenný sad nazýváme semenný sad 1. generace. Semenný sad 1. generace, ze kterého byly odstraněny nevhodné klony (to platí pouze na základě testů potomstev – tzv. genetická probírka, patří mezi semenné sady 1,5. generace. Semenný sad založený pouze z otestovaných klonů (rouby

odebrány v testech potomstev semenného sadu první generace) je tzv. semenný sad 2. generace (Lesnický naučný slovník 1995).

## 5.4 Semenné sady 1. generace

Semenné sady 1. generace se zakládají, jak již bylo výše zmíněno, několika způsoby. Nejčastějším typem u nás je použití roubovanců. Jak píše Semrád (1973): Roubování lesních dřevin a zakládání semenných plantáží (sadů) není novou záležitostí. Již v roce 1902 navrhl Švéd Gunar Anderson roubování lesních dřevin jako způsob množení jehličnanů. První semennou plantáž v Dánsku založil v r. 1943 dr. Larsen. Rovněž i v jiných státech byl projeven o semenné plantáži zájem. U nás však tato velmi zajímavá i efektivní záležitost nezbudila dlouho patřičnou pozornost. Ještě po založení semenné plantáže v roce 1959, která byla jednou z prvních u nás, pohlíželi někteří, jinak odborně velmi dobře fundovaní lesníci, na nakládání s roubovanci s určitým despektem.

Jedním z nástrojů, který umožňuje uzpůsobit šlechtěnou populaci definovaným cílům šlechtitelského programu, je selekce. Selekcí nejlepších jedinců z kandidátské populace se realizuje tvorba genetického zisku, který je však na druhé straně vykoupen ztrátou genetické diverzity. Podle počtu selekčních cyklů  $n$  v rámci šlechtitelských populací, rozlišujeme semenné sady  $n$ . generace. V prvotní fázi šlechtitelských programů je využívána individuální fenotypová selekce bez znalosti informace o genetické kvalitě. Na bázi fenotypové selekce jsou založeny i všechny semenné sady 1. generace, tj. sady obsahující klony ortetů vybraných pouze podle jejich fenotypového projevu. Teto fázi odpovídá naprostá většina semenných sadů v ČR (Ivanek et al. 2010).

Nejstarší semenné sady v naší republice, zakládané v 70. letech minulého století, jsou zralé na rekonstrukci především z toho důvodu, že se při jejich projektování příliš neřešil původ všech použitých klonů zastoupených v sadu. Tak se stalo, že např. v semenném sadu Zbiroh jsou vedle místních populací borovice lesní zastoupeny klony rodičovských stromů původem z Českého Švýcarska, Plzeňska, jižních Čech apod., přesně podle toho, jaké roubovance měl projektant sadu k dispozici v době jeho zakládání. Použití osiva z těchto ramet ve svém důsledku znamená legalizaci nepovoleného přenosu osiva do jiných



semenářských oblastí. Teprve od 80. let minulého století se začalo dbát o čistotu původu potomstev ze semenných sadů a semenné sady začaly svým složením reprezentovat konkrétní regionální populace (Kaňák et al. 2009).

## 5.5 Semenné sady 1,5. generace

Semenné sady 1,5. generace obsahují klony vybrané na základě testování polosesterských potomstev klonů zastoupených v sadu 1. generace, u nichž známe pouze mateřského rodiče. Klíčovým krokem k uskutečnění převodu semenného sadu na sad vyšší generace je ověření geneticky podmíněných charakteristik potomstev klonů na testovacích plochách. Na základě výsledků těchto testů je následně prováděna selekce pozitivně ověřených klonů. Selektce vychází přímo z aditivní genetické hodnoty sledovaného znaku, která představuje hodnotu jedince jako rodiče, tedy hodnotu, kterou jedinec předá svým potomkům. Současně se selekcí na základě výsledků hodnocení testovacích výsadeb je vhodné vyčlenit z výběru ramety, u kterých bylo na základě genetického screeningu pomocí genových markerů prokázáno, že nepřísluší k deklarovanému klonu, tj. vytvářejí klonovou nehomogenitu. (Ivanek et al. 2010).

Převod na semenný sad 1,5. generace je možné povést třemi způsoby:

### 1. Genetická probírka

Na základě vyhodnocení testovacích výsadeb potomstev se provede negativní selekce, tj. ze semenného sadu 1. generace se fyzicky odstraní ty klony (resp. ramety), které nesplnily určitá předem zvolená kritéria. Dojde ke snížení produkce semen a dalším negativním aspektem je narušení původního prostorového schématu sadu, čímž může dojít k významným změnám v reprodukční dynamice sadu.

### 2. Selektivní sběr osiva

V případě, že nechceme snížit produkci sadu, je možné nežádoucí ramety nelikvidovat, ale pouze je vyloučit ze sběru osiva nejlepší jakosti. Je však potřeba zvážit dopad takového rozhodnutí. Na základě výsledků testů potomstev je možné uskutečnit pozitivní selekci a při sběru osiva pro účely obnovy lesa sbírat směsný vzorek ze skupiny nejlepších klonů, která obstála v rámci testování. Zbývající osivo

z méně kvalitních klonů je pro produkční účely rovněž využitelné, nemůže však dosáhnout hodnoty osiva testovaných jedinců.

### 3. Založení nové výsadby 1,5. generace

Na základě výsledků testování potomstev je možné ze selektovaných klonů založit zcela nový semenný sad 1,5. generace. Je však třeba zvážit ekonomické náklady. Uvažuje-li se totiž o výsadbě nového semenného sadu, většinou se vzhledem k finanční náročnosti volí semenný sad 2. generace. Při zakládání nového semenného sadu 1,5. generace je třeba doporučit odběr ramet z původních klonů. Pouze pokud není tento reprodukční materiál k dispozici, je možno odůvodnit odběr z ramet v semenném sadu. Obvyklá velikost semenného sadu 1. generace dnes činí 1–2 ha, což odpovídá 50–70 klonům, u semenných sadů vyšší generace bude většinou počet klonů nižší (Ivanek et al. 2010).

## 5.6 Semenné sady 2. generace a vyšší

Semenné sady 1. generace jsou složeny pouze z klonů, které byly selektovány podle vlastností fenotypu, nikoliv genotypu. Z tohoto důvodu je žádoucí, ověřit testováním potomstev těchto klonů, zda vlastnosti, kvůli kterým byli vybrány, jsou geneticky podmíněné. Pozitivně testované klony jsou pak základem k založení semenného sadu vyšší generace. Testování klonů semenného sadu prostřednictvím hodnocení jejich potomstev za účelem založení semenného sadu vyšší generace je možné dvěma způsoby:

1. potomstva jednotlivých klonů se získají kontrolovaným křížením vybraných klonů, známe tedy oba rodiče-jedná se o plnosesterská potomstva
2. potomstva jednotlivých klonů (resp. ramet) se získají z osiva jednotlivých ramet, známe tedy pouze matku-jedná se o polosesterská potomstva (Kaňák 2011).

V případě testování plnosesterských potomstev je možné z pozitivně testovaných potomstev zakládat sady vyšší generace. V případě testu polosesterských potomstev (z volného sprášení) je možné odstranit geneticky nevhodné jedince-rodčovské stromy (genetická probírka) ze sadu 1. generace (Kaňák, Klápště, Lstibůrek 2009), případně se nabízí

možnost rekonstrukce rodokmene (převedení polosesterských potomstev na potomstva plnosesterská) a následné založení sadu 2. generace (Kaňák 2011).

V zemích s nejvyspělejším šlechtěním lesních dřevin se lze setkat i se semennými sady 6. generace (Ivanek, Novotný, Frýdl 2010). V ČR se semenný sad 2. generace teprve připravuje. Záměr založit ho vznikl u Lesů České republiky, s.p. V rámci analýzy byly pro tento účel vybrány plochy na Plzeňsku a Třeboňsku (jedná se o semenný sad borovice lesní č. 79 – Doubrava a testovací plochu Skelná Hut'. V roce 2018 došlo skutečně k založení již druhého semenného sadu druhé generace v rámci této regionální populace. Prvním semenným sadem druhé generace byl sad s 20 klony třeboňské borovice založený v roce 2016 u Vodňan.

U státního podniku Lesy České republiky, s.p. tedy došlo k založení dvou semenných sadů 2. generace. Jde o lokální populace pahorkatinné borovice, které jsou velmi cenné. Jedná se o „Třeboňskou borovici“ na LS Vodňany a „Plzeňskou borovici“ u Plzně (LS Plasy).

Příprava semenných sadů 2. generace probíhá u Vojenských lesů a statků, s.p., realizací projektu převodu současných semenných sadů smrku ztepilého, borovice lesní, jedle bělokoré a třešně ptačí (Kobliha et al. 2012).



Obrázek 1 Semenný sad 1. generace borovice lesní Holičky LS Třeboň (foto J. Fučík 2019)

## 5.7 Zakládání semenných sadů

Většina semenných sadů u nás je založena vegetativním způsobem (klonové semenné sady), jsou tedy založené z roubovanců (ramet) vybraných klonů (ortetů). Semenné sady je možno zakládat rovněž z řízkovanců - např. pro rody *Salix* a *Populus*. Jádrové semenné sady jsou sady zakládáné z generativně vypěstovaných jedinců a jsou vhodné zejména pro ty druhy dřevin, které velice brzy plodí, anebo druhy považované za pionýrské. V ČR je pouze jeden jádrový semenný sad borovice pokroucené (*Pinus contorta*), založený v Krušných horách jako pokusná plocha Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Význam semenných sadů pro záchranu a využití genofondu získává na váze především v poslední době v kontextu se změnami klimatu a poškozováním životního prostředí (Kaňák et al. 2009).

Hlavním předpokladem toho, aby semenné sady dobře plnily svoji funkci, je především ověření jednotlivých klonů (vybraných na základě fenotypu) testováním za účelem zjištění, zda i jejich potomstva odpovídají daným kritériím výběru, tzn. zda jsou kritéria jejich výběru dědičně podmíněná (Kaňák et al. 2009).

Záměru založit semenný sad by měl předcházet průzkum současných a výhledových potřeb reprodukčního materiálu v dané oblasti. Nejčastější motivace pro založení semenných sadů je buď trvalý nedostatek geneticky hodnotného rostlinného materiálu určitého druhu dřeviny v dané oblasti, nebo záchrana a reprodukce genofondu vzácně se vyskytujících dřevin, resp. cenné zbytkové populace. Motivem však může být i usnadnění sběru reprodukčního materiálu a umožnění vzájemného opylování vybraných kvalitních jedinců v přirozených podmínkách od sebe velmi vzdálených (Kaňák et al. 2009).

Motivací pro založení semenných sadů na konci padesátých let byly tyto důvody:

- očekávaná brzká sklizeň kvalitního, vysoce klíčivého semene
- velmi snadný, rychlý, a tedy i levnější sběr šišek „ze země“ proti tradiční sklizni z vysokých stromů pomocí školených trhačů
- výše zmíněný důvod zajišťoval i bezpečný sběr za předcházení úrazů z pádů ze stromů (Semrád 1973).

V pozdějších letech vznikají další pohnutky pro zakládání semenných sadů:

- trvalý nedostatek geneticky hodnotného rostlinného materiálu určitého druhu dřeviny v dané oblasti
- záchrana a reprodukce genofondu vzácně se vyskytujících dřevin, resp. cenné zbytkové populace
- udržení a upevnění specifické hospodářsky významné vlastnosti nebo vlohy, např. rezistence u části populace smrku ztepilého z oblasti Krušných hor
- umožnění vzájemného opylování vybraných kvalitních jedinců v přirozených podmínkách od sebe velmi vzdálených (Kaňák aj. 2009).

## 5.8 Příprava realizace semenného sadu

Při výběru klonů pro konkrétní semenný sad se dodržují následující zásady:

- všechny klony v semenném sadu musí být z jedné přírodní lesní oblasti (dále jen PLO), u vzácně se vyskytujících druhů dřevin mohou být i z více PLO
- povolené přenosy reprodukčního materiálu v rámci LVS jsou dány legislativou a je povinností je dodržovat i při zakládání semenných sadů
- při zakládání semenného sadu musíme rovněž respektovat tzv. klimatické ekotypy: u smrku ztepilého vysokohorský, horský a chlumní, u borovice lesní náhorní a pahorkatinný – uvedené klimatypy mají rozdílné ekologické nároky (Kaňák et al. 2009).

Poloha semenného sadu by měla odpovídat ekologickým nárokům dané dřeviny či její populace, a to především pedologickým, klimatickým a LVS (nadmořskou výškou). Výhodná je poloha na rovině kvůli použití mechanizace, popř. menší svah mimo severní expozici. Optimální jsou teplé slunné polohy, půdy lehké a dobře propustné. Při výběru vhodného místa pro semenný sad musíme vzít v úvahu i skutečnost, že by optimálně neměly být v nejbližším okolí nekvalitní porosty stejného druhu kvůli kontaminaci sadu cizím pylem. I když toto riziko nemůžeme nikdy vyloučit, je třeba ho alespoň zmírnit. Využít můžeme např. negativní selekci (Kaňák et al. 2009).

Semenné sady bývají obvykle zakládány v podmínkách *in situ* (tedy v oblasti původu); umístění *ex situ* (mimo oblast původu) se volí pouze tehdy, je-li k tomu zvláštní důvod (např. záchrana genetických zdrojů). Při výběru klonů pro konkrétní semenný sad je třeba dodržet povolené přenosy reprodukčního materiálu mezi lesními vegetačními stupni (LVS) dane platnou legislativou (Ivanek et al. 2010).

Velikost plochy se volí podle potřeby a očekávané produkce semen a je závislá na disponibilním počtu klonů (ortetů) a roubovanců/řízkovanců (ramet) dané dřeviny a na použitém sponu výsadby. Použitý počet klonů je obecně nejdiskutovanější otázkou při zakládání semenných sadů. K tomu, aby nedocházelo k nežádoucímu snižování variability potomstev vypěstovaného reprodukčního materiálu původem ze semenného sadu, bývá doporučován v 1. generaci semenného sadu minimální počet 50 klonů (ortetů). Hlavním kritériem je v tomto případě jejich nepříbuznost, kterou ale lze s jistotou zjistit až za pomoci genetických markerů (Kaňák et al. 2009).

Semenné sady ze 70. a 80. let 20. století o rozloze až 12 ha jsou již minulostí. Vycházeli se z minimálního počtu 50 klonů se 6–8 opakováními, pak celkový počet představuje 300 až 480 roubovanců. Při obvyklém sponu sazenic 6 x 6 m, případně 4 x 6 m, je tedy pro uvedený příklad semenného sadu potřeba plocha cca 1 až 2 ha (Kaňák et al. 2009).

Semenný sad se zakládá podle dokumentace registrované pověřenou osobou, přičemž součástí této dokumentace je projekt výsadby. Projekt výsadby semenného sadu musí zhotovit kvalifikovaná osoba podle přesně daných postupů. Důležité je rozmístění jednotlivých ramet na ploše (musí být náhodné, stejné ramety by měly být co nejdále od sebe, aby se omezila možnost samoopylení, a měly by mít i různé sousedy). Sazenice musí být po ploše rozmístěny přesně podle plánku a po výsadbě je nutno ještě jednou zkontrolovat čísla vysazených ramet podle plánku a v případě souhlasu odstranit z roubovanců jmenovky, aby později nezaškrtily kmínky (Kaňák et al. 2009)

Návrh rozmístění ramet v semenném sadu, v rámci zajištění minimalizace samoopylení a podpory panmiktické populace, by měl zajistit specifické prostorové uspořádání ramet s ohledem na jejich rodičovskou příslušnost. Úspěšnou konstrukcí je permutated

neighbourhood design COOL (Computer Organized Orchard Layouts), který v roce 1978 navrhli Bell a Fletcher, který je schopný efektivně oddělit stejné ramety pomocí předem stanovených minimálních pozic mezi nimi (Funda a El-Kassaby 2012). Na druhou stranu, i když jsou v designu COOL ramety vhodně rozmístěny, výsledné vzdálenosti mezi nimi nejsou maximalizovány a očekávané samoopylení není minimalizováno (Lstibůrek a El Kassaby 2010).

Obecné požadavky v návrhu sadu podle Schmidta (1993) jsou:

1. Minimalizace poškození jedinců
2. Maximalizace křížení a párování všech genotypů
3. Jednoduché a snadné založení a ošetřování
4. Vybírat počet klonů nebo ramet, které se hodí dle návrhu semenného sadu.

Dva nejčastěji používané návrhy jsou náhodný design rozmístění jedinců a randomizované rozmístění bloků.

1. Náhodný design rozmístění jedinců: všechny ramety nebo klony jsou distribuovány náhodně po celém místě
2. Randomizované rozmístění bloků: areál semenného sadu je rozdělen na bloky s rovnoměrnou velikostí, které zahrnují jednu ramenu každého klonu. Ramety jsou umístěny náhodně v rámci každého bloku.

Náhodnost v jednom ze dvou modelů může být upravena, aby se zabránilo náhodné výsadbě dvou ramet stejného klonu vedle sebe, např. v sousedních blocích. Existují různé modely, které dokáží navrhnout libovolný počet klonů nebo rodin a maximalizovat vzdálenost mezi jedinci. Randomizované rozmístění bloků se často používá, jestliže návrh slouží jako test potomků (obvyklé u jádrových sadů) (Schmidt 1993).

Je důležité, aby každá pozice byla přiřazena zcela náhodně. Jayaraman v roce 1999 navrhl Completely randomized design (CRD), kde má každá experimentální jednotka stejnou šanci na umístění v prostoru. Pro CRD je jakýkoliv rozdíl mezi experimentálními jednotkami, které dostaly stejnou pozici, považován za experimentální chybu. Hlavní výhodou CRD je jednoduchost výpočtu analýzy rozptylu, zejména pokud počet opakování není jednotný (Jayaraman 1999).

S cílem co nejvíce omezit inbreeding přichází návrh designu semenného sadu MI (Minimum-Inbreeding). Snížení inbreedingu s jeho různými stupni vztahu, např. selfing (mezi rametami stejného klonu) či sib-mating (mezi jedinci, kteří mají společného rodiče), je důležité. Prostorové rozložení stromů v semenném sadě ovlivňuje jejich křížení. Empirické studie naznačují, že většina opylování probíhá mezi blízkými sousedy, a se vzdáleností pravděpodobnost klesá. Návrh MI není omezen tvarem či velikostí pozemku a je vhodný i pro vyšší generace semenných sadů. Prostorové uspořádání vede k co nejmenšímu inbreedingu v semenném sadu. Struktura zajišťuje, že vzdálenost mezi rametami stejného klonu je maximalizována, zatímco vzdálenost mezi přednostně vybranými klony je minimalizována (Lstibůrek a El-Kassaby 2010).

V roce 2014 byl navržen software R<sup>2</sup>SCR na rozmístění ramet a klonů v semenné sadě, který má potenciál optimalizovat umístění jedinců a tím zajistit nejvhodnější péči, ať už se jedná o sběr osiva, nebo ošetřování proti buření či škůdcům, a následně i maximalizovat produkci semen. Program je mimořádně flexibilní bez ohledu na velikost a konfiguraci pro snadné uspořádání semenných sadů. Navíc design odděluje ramety a klony napříč sadem, tak aby se zamezilo nežádoucím vazbám mezi jednotlivými páry klonů (El-Kassaby et al. 2014).

Návrh Optimum neighborhood algorithm (ONA) vytváří minimální rozptyl mezi dvěma různými klony. Prvním krokem je vytvoření prázdné matice, následovně dojde k výběru první pozice v semenném sadě. Na vybranou pozici je navržen jeden z klonů a postupně jsou přiřazovány pozice pro další klony. Po každém umístění dochází k vyhodnocení vzájemných vlivů a postup se opakuje, dokud není celý semenný sad je plně obsazen. Design ONA tak umožňuje efektivní uspořádání, kdy v semenném sadu dochází k zamezení sousedství ramet stejného klonu (Chaloupková et al. 2016).



35	26	33	32	16	14	22	19	11	27	25	39	26	38	27	13	29	36	24	8
28	30	12	4	37	11	20	2	17	18	33	40	3	36	19	40	31	34	7	1
24	2	25	29	39	36	9	37	26	13	24	20	30	1	23	14	8	6	33	21
38	31	7	15	35	21	5	10	34	11	10	23	32	31	9	25	28	3	17	10
33	28	10	22	31	4	18	39	12	40	6	29	18	19	26	16	22	32	25	1
29	19	4	27	3	14	2	6	38	9	22	1	16	7	5	8	21	34	35	37
30	8	15	23	12	15	32	5	30	18	34	38	20	12	13	23	2	3	19	24
10	37	38	17	28	36	40	27	20	15	14	29	21	6	37	22	33	16	6	25
3	7	40	35	13	18	8	35	16	13	26	27	24	15	27	36	17	14	36	4
9	4	11	1	2	32	12	39	23	4	1	39	9	33	11	29	5	24	30	34
17	8	5	28	9	10	31	19	7	14	20	28	37	21	25	3	31	16	17	7
20	31	33	34	27	35	14	21	28	39	40	26	30	13	38	11	18	37	40	32
34	23	11	30	18	7	5	25	22	24	32	22	12	9	32	4	24	21	23	5
26	16	10	38	23	22	20	15	12	1	26	8	29	3	24	38	26	15	1	3
6	36	2	29	35	6	17	19	2	27	6	14	13	2	7	25	5	11	39	17
35	33	40	30	15	4	39	25	8	34	21	10	39	36	31	13	9	22	30	8
13	16	1	31	28	13	34	23	28	3	20	32	19	38	20	6	19	4	37	7
22	38	12	37	27	40	12	17	36	18	35	33	37	34	28	29	11	20	29	18
33	14	11	2	14	4	21	35	9	8	10	5	18	5	24	16	21	26	9	39
32	7	17	23	36	1	2	40	15	16	25	6	30	19	27	3	31	10	15	12

Obrázek 2 Design ONA se 40 klony (Chaloupková et al. 2016)

## 5.9 Ošetřování semenného sadu

Zvláštní pozornost by měla být věnována jedincům během prvního roku, v němž jsou vysazeni a jsou zvláště zranitelné.

1. Rostliny by měly být bráněny od konkurence plevelů během založení. Kompletní odplevelení by mělo být prováděno přinejmenším kolem každé rostliny. Plevelé mezi rostlinami mohou být vysekány nebo zcela odstraněny. Pokud se používají chemické postřiky, je třeba dbát na čas, podmínky počasí a dávky aplikace.
2. Jakmile je k dispozici výsledek testu potomstva, musí dojít odstranění nežádoucích ramet nebo klonů.
3. Kromě odstranění (viz bod 2) mohou být jedinci nebo jednotlivé větve systematicky prořezávány, aby se vytvořila otevřená koruna a usnadnila se sklizeň semen.

4. Voda a hnojivo by měly být aplikovány, kdykoli je to nezbytné, aby stromy dosáhly optimálních podmínek růstu, což je zvláště důležité při kvetení. Množství a typ hnojiva se liší podle druhu dřeviny (Schmidt 1993).



Obrázek 3 Údržba semenného sadu mulčováním (foto J. Fučík 2019)

## 6. Testování potomstev

### 6.1 Základy testování potomstev

Testování potomstev semenných sadů lze podle konkrétního cíle pojmout dvojitým způsobem. Buď je naším cílem zařadit pozitivně hodnocené rodičovské stromy do kategorie testovaných zdrojů reprodukčního materiálu, anebo testujeme jednotlivé klony v semenných sadech 1. generace s cílem použít pozitivně ověřené klony či jejich potomstva při zakládání semenných sadů dalších generací. V tomto případě ověřujeme testováním potomstev mateřských stromů (klonů) jejich genetickou hodnotu. První testovací plochy byly v ČR zakládány pracovníky VÚLHM, popř. samotným lesním provozem (LČR) v 90. letech 20. století. Testovací plochy byly zakládány s cílem zařadit pozitivně ověřené klony mezi testované zdroje reprodukčního materiálu. Testovací výsadby jsou dvojího druhu: jednak pro

testování potomstev porostů kategorie „A“ a jednak pro testování potomstev semenných sadů. Způsob tohoto testování spočívá v porovnávání potomstev ze směsných vzorků (všech klonů) jednotlivých semenných sadů (resp. porostů kategorie „A“) z jednoho konkrétního roku mezi sebou. Navíc jsou k testování přiřazeny pro porovnání tzv. standardy, vzorky osiva porostů kategorie „B“ známé kvality (Kaňák et al. 2009).

V rámci testování jsou zjišťovány pomocí biometrických měření kvantitativní a kvalitativní znaky. Měření a hodnocení všech jedinců probíhá stejným způsobem. Z kvantitativních znaků je sledována výška a tloušťka, z kvalitativních znaků především tvar kmene a mortalita. Dalším hodnoceným kvalitativním znakem může být charakter větvení, tvar kmene, případně další znaky. Očekává se, že měření ploch bude probíhat opakovaně a porovnáním měření bude sledována dynamika růstu jednotlivých potomstev (Kaňák et al. 2009).

Semenné sady 1. generace jsou složeny pouze z klonů, které byly selektovány podle vlastností fenotypu, nikoliv genotypu. Z tohoto důvodu je žádoucí, ověřit testováním potomstev těchto klonů, zda vlastnosti, kvůli kterým byly vybrány, jsou geneticky podmíněné. Pozitivně testované klony jsou pak základem pro založení semenného sadu vyšší generace. Testování klonů semenného sadu prostřednictvím hodnocení jejich potomstev za účelem založení semenného sadu vyšší generace je možné dvěma způsoby:

1. potomstva jednotlivých klonů se získají kontrolovaným křížením vybraných klonů, známe tedy oba rodiče: jedná se o plnosesterská potomstva,
2. potomstva jednotlivých klonů, resp. ramet se získají z osiva jednotlivých ramet, známe tedy pouze matku: jedná se o polosesterská potomstva.

V případě testování plnosesterských potomstev je možné z pozitivně testovaných potomstev zakládat sady vyšší generace. V případě testu polosesterských potomstev (z volného sprášení) je možné odstranit geneticky nevhodné jedince (rodičovské stromy) pomocí genetické probírky ze sadu 1. generace (Kaňák 2011).

## 6.2 Způsoby testování potomstev

U semenných sadů jsou v rámci ověřovacích experimentů testována jak generativní potomstva vypěstovaná ze směsí osiva, kdy jedno potomstvo reprezentuje příslušný semenný sad, tak potomstva jednotlivých klonů zastoupených v semenných sadech. Ověřovací výsadby mají přinést další informace významné z hlediska způsobu dalšího využívání reprodukčního materiálu z uznaných porostů, rodičovských stromů a semenných sadů. Společně se získáním informací o geneticky podmíněné proměnlivosti hospodářsky významných charakteristik testovaných jednotek je tak možno posoudit i adaptační schopnosti testovaného materiálu a získané výsledky využít pro formulaci návrhů aktualizace zásad rajonizace reprodukčního materiálu pro potřeby lesnické praxe (Frýdl et al. 2009).

Ověřování a testování je třeba provádět opakovaně, pro ověřitelnost experimentů se vžily postupy, které se v průběhu růstu testovaných potomstev provádí:

1. Časné testy – většinou v laboratorních podmínkách
  2. Krátkodobé testy – krátce po výsadbě na testovací ploše
  3. Střednědobé testy – v období zhruba jedné třetiny doby obmýtní
  4. Dlouhodobé testy – v období za polovinou doby obmýtní
1. Jako Časné testy jsou zpravidla označovány všechny metody orientované na zkoumání proměnlivosti proveniencí (potomstev) k získání orientačních, nejčasnějších informací o pravděpodobném chování zkoumaných jednotek v pozdějších stadiích vývoje. Časné testy se často používají jako součást obecného biosystematického výzkumu druhů a dílčích populací lesních dřevin. Časné testy jsou dále využívány i jako kontrola autentičnosti proveniencí, jejichž osivo bylo získáno od semenářských závodů či z jiných zdrojů. Časné testy mohou začínat již zjišťováním charakteristik osiva (hmotnost 1 000 semen, podíl hluchých semen, podíl semen klíčivých nebo životaschopných, velikost embrya, klíčivost, energie klíčení) za standardních podmínek. Po výsevu jsou pozorovány semenáčky. Výsledky pozorované v časném stadiu vývoje mohou být pak cestou mnohonásobné regresní analýzy vztaženy k výsadbám v pozdějším věku. V rámci časných testů se výsevy zpravidla realizují v laboratoři, v klimatizovaných komorách nebo ve sklenících.

2. Za Krátkodobé testy se považují takové výsadby, které mají poskytnout informace ještě před tím, než se porost zapojí a projeví se konkurenční vztahy mezi jedinci vysazenými na ploše. Pro krátkodobé pokusy se většinou volí menší parcely ve formě čtverců, obdélníků nebo řad, např. jen s devíti nebo šestnácti jedinci. Použitelné jsou též parcely reprezentované jedním stromem. Tyto způsoby zakládání výzkumných ploch jsou charakteristické tím, že v průběhu zapojení kultury dochází k rychlému vzájemnému ovlivňování pokusného materiálu sousedními jedinci. Tento proces nastává velmi brzy zvláště v těch případech, kdy rozstup (spon) není příliš široký.
3. Střednědobé testy se zakládají s představou, že mohou poskytnout realistické informace v období od výsadby až do třetiny, případně poloviny obmýtní doby. Četné druhy dřevin dosáhnou v tomto věku výčetních tlouštěk kolem 15 m. Na dobrých stanovištích dosáhne smrk a borovice těchto dimenzí ve věku asi 35 let. Výzkumné plochy těchto dřevin musí být probírány zpravidla 1 až 3krát podle rychlosti růstu a zvoleného sponu při výsadbě. V rámci střednědobých testů už lze hodnotit morfologické vlastnosti kmene a koruny, rozměry větví, vlastnosti dřeva.
4. Dlouhodobé výzkumné plochy se zakládají tak, aby umožnily zjišťování a hodnocení produkce ve věku vyšším, než je polovina doby obmýtní. S ohledem na dlouhověkost a relativně velké parcely je nutné výsadby tohoto charakteru zvláště pečlivě plánovat. Značný důraz je třeba klást na stejnorodost stanovištních podmínek. Funkce dlouhodobých výzkumných ploch nespočívá pouze v tom, že umožňují relativně spolehlivě posoudit produkci. Plochy mohou také sloužit k hodnocení rezistence zkoumaných proveniencí ke škodlivým klimatickým vlivům, proti hmyzu a parazitickým houbám. Tyto škodlivé faktory se mohou vyskytovat ve velmi dlouhých časových odstupech, někdy i jen jedenkrát během života porostu (např. výjimečné mrazy, suché období, kalamitní žír hmyzu aj.). Dlouhodobé výzkumné plochy mohou být využívány ke sledování kvetení a fruktifikace zkoumaných proveniencí, k posouzení habitu vzrostlých stromů (např. délky průběžného kmene až po jeho rozvětvení). Dále lze zkoumat vlastnosti vyvrátého dřeva, typ borky, kořenové systémy, odolnost k náporu větru aj (Šindelář 2004).

V osmdesátých letech byly založeny série testovacích ploch v rámci zachování genofondu smrku ztepilého z Krušných hor. Jednalo se zejména o záchranu jedinců, kteří, v oblasti nejvíce poškozené imisemi, měli vitální růst a jevíli snahu o reprodukci. Nejdříve

došlo k výsadbě klonů vybraných stromů v semenných sadech a následně sadební materiál vypěstovaný z první úrody byl vysazen na srovnávací plochu. Pokusné plochy slouží k testování jednotlivých plodících klonů. Potomstva převážně krušnohorských klonů byla podrobena některým fyziologickým testům, které byly zaměřeny i na odolnost proti působení SO<sub>2</sub>. Předpokládalo se, že relativně odolnější potomstva budou dále vegetativně množena a dále testována i v podmínkách Krušných hor (Hynek a Frýdl 1988).

Na základě hodnocení početného souboru dvaceti ověřovacích ploch bylo možno posoudit hospodářskou hodnotu, ale doporučit i rajonizaci vybraných dílčích populací zejména se zřetelem na přírodní lesní oblasti a lesní vegetační stupně. Obdobným způsobem byly na konci šedesátých a v průběhu sedmdesátých let založeny série ověřovacích ploch s potomstvy klonů modřínu opadavého z volného sprášení a kontrolovaného křížení v semenných sadech. V devadesátých letech minulého století byly založeny série ověřovacích ploch s generativními potomstvy uznaných porostů a semenných sadů borovice lesní a modřínu opadavého (Frýdl et al. 2009).

Geneticky podmíněné charakteristiky zdrojů reprodukčního materiálu vybraných lesních dřevin jsou v rámci lesnického výzkumu ověřovány v České republice zejména ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. (dříve VÚLHM Jíloviště-Strnady) již od druhé poloviny 60. let minulého století a v současné době je již k dispozici řada významných výsledků. Jedná se o selekci některých pozitivně otestovaných dílčích populací (uznaných porostů) smrku ztepilého a borovice lesní. V rámci testování klonů sudetského ekotypu modřínu opadavého bylo v minulém období založeno několik sérií ověřovacích experimentů, které jsou průběžně vyhodnocovány. Výsledky těchto ověřovacích prací bylo možno rovněž využít při selekci pozitivně otestovaných klonů a formulaci návrhů na jejich další šlechtitelské využití (Frýdl et al. 2009).

### **6.3 Zakládání testovacích ploch**

Zakládání dlouhodobých výzkumných ploch musí sledovat stanovený cíl výzkumu a respektovat specifické klimatické, půdní a ostatní podmínky území, kde mají být pokusy založeny a získané výsledky v praxi aplikovány (Šindelář 2004). Nejvhodnější jsou lokality se stejnorodým prostředím, na kterých je eliminován vliv různých faktorů: půdních,

klimatických, geomorfologických. Šindelář (2004) navrhuje, že v případě, že se na zvolené lokalitě vyskytují místa, která se zřetelně odlišují od půdních podmínek převážné části plochy, je vhodné tyto lokality vyloučit. Tyto případy se vyskytují v praxi dosti často a obecně se v rámci přípravných prací řeší. Čím je stanoviště plochy stejnorodější, tím větší lze volit velikost parcel. Na velmi heterogenních plochách je třeba s ohledem na žádoucí přesnost pokusu volit menší parcely a větší počet opakování. Počet opakování se může pohybovat od dvou výše, v extrémních případech může dosahovat až třiceti.

Pokud jde o velikost parcel, musí odpovídat požadavku posouzení produkce ve věku vyšším, než je polovina obmýtní doby. Pro střednědobé pokusy má být velikost parcel taková, aby na nich bylo možno vysadit alespoň 6 x 6 sazenic. Zpravidla se však i pro střednědobé pokusy používá větších parcel, zpravidla pro 7 x 7 až 12 x 12 sazenic. Plošná velikost parcely je výsledkem zvoleného počtu sazenic a sponu, resp. počtu sazenic na parcele vysazených. U velkých parcel lze stromy uvnitř parcely považovat za vlastní pokusný materiál, který je měřen a hodnocen, zatímco stromy podél hranic parcel jsou považovány za okraj, resp. izolační pás (Šindelář 2004).

Pro dlouhodobé pokusy se považuje za minimální velikost parcely 0,10 ha. Tato velikost je však v novějších pokusech s větším počtem pokusných variant zřídka dodržována s ohledem na to, že celková potřebná plocha pro založení pokusu by byla příliš velká. Vedle toho, že značně velké plochy pro založení experimentálních výsadeb nejsou vždy k dispozici, nebo se obtížně vyhledávají, hraje značnou roli i stanovištní nestejnorodost, která se teoreticky zvětšuje s narůstající plochou lokality (Šindelář 2004).

Ověřování potomstev klonů či ramet semenných sadů se na testovacích plochách provádí ve věku cca 15 až 20 let. Výsadby jsou hodnoceny z hlediska kvantitativních i kvalitativních znaků (Ivanek et al. 2010).

Zakládání testů potomstev semenných sadů předpokládá mít k dispozici osivo ze všech zastoupených klonů, resp. ramet. Jednou z možností je využití semenného roku s bohatou úrodou. Druhou možností je použít vzorky semenného materiálu za delší časové období. Jednotlivé klony je možno testovat směsným vzorkem z jejich ramet, nebo testovat každou rametu zvlášť. Testování podle jednotlivých ramet je sice pracnější, ale při následné selekci výhodnější, neboť eliminuje možné omyly v označení a evidenci jednotlivých ramet (Ivanek et al. 2010).

Testovací výsadby by měly být založeny s opakováním. S ohledem na proměnlivost testovaných potomstev se počet opakování na homogenních plochách omezuje zpravidla na tři až čtyři. Na heterogenních plochách je žádoucí testovací výsadbu aplikovat na menší parcely a větší počet opakování. Dostatečný počet sazenic od jednoho vzorku by měl být 40 až 60 ks. Jestliže uvažujeme výsadbu čtyř opakování, minimálně po 10 až 15 ks. Pro prokázání výrazně lepších genetických vlastností testovaných jedinců, zařazují se do testování pro porovnání vybraná potomstva uznaných porostů příslušných dřevin (Ivanek et al. 2010).

Pro zkoumání jednoho faktoru při relativně malém počtu pokusných členů (asi do 25) se používá úplného blokového uspořádání. Do rámce této skupiny se zařazuje obvykle prosté blokové uspořádání, latinský čtverec a latinský obdélník. Jestliže jde o zkoumání jednoho faktoru při velkém počtu pokusných členů, volí se metody s neúplnými bloky, a to metoda dvojitého mřížového uspořádání, vyvážená (balancovaná) mříž, mřížový čtverec. Další možné metody s neúplnými bloky, např. trojitá mříž, jsou se zřetelem na možnou výraznou redukci chyby pokusu výhodné, avšak složitější pro výpočet. Jestliže se na ploše má zkoumat současně větší počet faktorů, pak se volí faktoriální pokusné systémy uspořádání buď, v blocích, ve formě latinského čtverce nebo obdélníku (Šindelář 2004). Každý blok obsahuje všechna testovaná potomstva a odpovídá tak jednomu opakování. Testovaná potomstva jsou rozdělena do bloků (opakování) náhodně. Testovací plocha by měla být souvislá, se všemi bloky (opakováními) na jedné lokalitě (Ivanek et al. 2010).

### **6.3.1 Uspořádání testovacích ploch**

Podle Šindeláře (2004) se pro zakládání testovacích ploch používají metodické postupy vycházející z hlavních principů zakládání provenienčních ploch. Využívá se metoda blokového uspořádání nebo metoda dvojitého mřížového uspořádání.

#### **6.3.1.1 Metoda blokového uspořádání**

Metoda blokového uspořádání je také nazývána metodou náhodného blokového uspořádání (Šindelář 2004). Potomstva testovaných jednotek jsou soustředěna do bloků, které lze libovolně opakovat. Každý blok tedy obsahuje všechna testovaná potomstva a odpovídá



tak jednomu opakování. Testovaná potomstva jsou rozdělena do bloků a opakování je náhodné. Zakládaná plocha je zpravidla souvislá, se všemi opakováními na jedné lokalitě. Pokud tento postup není možný, například proto, že není k dispozici souvislá plocha dostatečné velikosti, lze experimentální výsadbu založit na dvou nebo více místech za předpokladu, že na každé lokalitě bude souvisle umístěno alespoň jedno celé opakování. Je žádoucí, aby jednotlivá opakování byla umístěna na jednotlivých lokalitách, byly shodná, nebo alespoň podobná. Zcela zásadní význam má požadavek, aby plocha každého opakování byla v maximální míře homogenní. Metoda blokového uspořádání se nejčastěji používá při zakládání provenienčních výzkumných ploch a v jiných šlechtitelských pokusech, pokud počet pokusných členů není příliš veliký. Je velmi flexibilní a může se přizpůsobit nejrůznějším problémům (Ivanek et al. 2010). Této metody se používá při ověřování malého počtu pokusných členů, zpravidla do dvanácti ve čtyřech nebo šesti opakováních (Pospíšil a Koblíha 1988).

2	4	7	8	6	1	5	3
6	5	1	7	4	2	3	8
7	1	2	3	8	5	6	4
8	7	6	5	4	3	2	1

Obrázek 4 Blokové uspořádání: osm pokusných členů, čtyři opakování (Pospíšil, Koblíha 1988)

Do kategorie pokusných variant orientovaných na hodnocení jednoho faktoru a malý počet pokusných členů patří vedle blokového uspořádání ještě latinský čtverec a latinský obdélník. S ohledem na tyto skutečnosti, a dále s ohledem na časté obtíže se získáním dostatečně velké, a přitom stanovištně homogenní plochy, se v lesnictví metody latinského čtverce (obdélníka) používá spíše výjimečně (Šindelář 2004).

I	II	III	IV
IV	I	II	III
III	IV	I	II
II	III	IV	I

Obrázek 5 Latinský čtverec

### 6.3.1.2 Metoda dvojitého mřížového uspořádání

Metoda dvojitého mřížového uspořádání je nejvhodnějším a nejčastěji používaným způsobem při zakládání testovacích ploch, na kterých je testován větší počet experimentálních variant. Počet testovaných potomstev musí přitom představovat druhou mocninu určitého základního čísla. Charakteristickým znakem této metody je používání neúplných bloků. Bloky neobsahují všechna testovaná potomstva, nýbrž jen jejich část. Nevýhodou tohoto postupu je skutečnost, že počet testovaných potomstev je s ohledem na tento systém experimentu stanoven a nelze jej volit podle rozsahu materiálu, který je k dispozici. V praxi dochází proto často k tomu, že sortiment testovaných potomstev musí být omezen na počet, který představuje druhou mocninu nejvyššího čísla, které je v počtu disponibilních potomstev obsaženo (Ivanek et al. 2010). Na druhou stranu umožňuje s relativně vysokou spolehlivostí zhodnotit i velký počet zkoumaných pokusných členů, například 64, 81, 100 i více (Pospíšil a Koblíha 1988).

Struktura dvojité mříže je v zásadě velmi jednoduchá. Jestliže jde o 9 pokusných členů, které se mají na výzkumné ploše založené metodou dvojité mříže zkoumat, rozdělí se pokusný materiál na 3 bloky po 3 pokusných členech. V prvním bloku jsou zastoupeny pokusné členy 1, 2, 3, ve druhém 4, 5, 6 a ve třetím 7, 8, 9. Tyto bloky tvoří první sadu dvojité mříže. Ve druhé sadě jsou zahrnuty opět tři bloky, přičemž však blok 1 obsahuje pokusné členy 1, 4, 7, druhý 2, 5, 8 a třetí 3, 6, 9. Tím jsou veškeré pokusné členy rozděleny do 6 bloků ve dvou základních sadách (Šindelář 2004).

blok	3						4						blok
23	26	28	30	25	27	29	19	31	7	25	13	1	24
21	12	7	10	9	11	8	11	29	5	23	35	17	22
19	3	5	2	1	4	6	24	12	30	36	6	18	20
17	23	22	19	21	24	20	26	14	8	20	32	2	18
15	34	36	32	35	33	31	15	33	3	21	9	27	16
13	18	17	16	14	15	13	22	10	4	34	16	28	14
11	31	32	33	34	35	36	8	20	2	32	14	26	12
9	25	26	27	28	29	30	11	29	23	5	17	35	10
7	19	20	21	22	23	24	1	13	31	7	19	25	8
5	13	14	15	16	17	18	10	22	34	16	28	4	6
3	7	8	9	10	11	12	24	6	36	12	30	18	4
1	1	2	3	4	5	6	9	27	21	3	33	15	2
	1						2						

Obrázek 6 Schéma dvojité mříže pro zkoumání 36 členů ve čtyřech opakováních (Pospíšil a Koblíha 1988)

### 6.3.1.3 Metoda Úplně randomizovaný design (CRD)

Metodu Úplně randomizovaný design (CRD) zmíněnou v kapitole 5.8 navrhnul Jayaraman v roce 1999. Je vhodná i pro testování potomstev. Pozice je přiřazena zcela náhodně, takže každá experimentální jednotka má stejnou šanci na umístění v testovacím bloku. Přiřazení pozic na experimentálních plochách vzniká náhodně za použití tabulky náhodných čísel. Na následujícím obrázku č. 6 je uveden příklad vybraných 20 náhodných čísel.

Náhodné číslo	Pořadí	Pozice	Náhodné číslo	Pořadí	Pozice
37	1	8	86	11	19
80	2	18	30	12	6
76	3	16	67	13	14
02	4	1	05	14	3
65	5	13	50	15	11
27	6	5	31	16	7
54	7	12	04	17	2
77	8	17	18	18	4
48	9	10	41	19	9
73	10	15	89	20	20

Obrázek 7 Příklad dvaceti náhodných čísel (Jayaraman 1999)

Pro náš příklad je dvacet řad rozděleno do čtyř skupin, z nichž každá se skládá z pěti čísel – obrázek č.7.

Číslo skupiny	Pozice ve skupině				
1	8	13	10	14	2
2	18	5	15	3	4
3	16	12	19	11	9
4	1	17	6	7	20

Obrázek 8 Rozdělení dvaceti řad do čtyř skupin (Jayaraman 1999)

Příklad uspořádání vzorku kompletně randomizovaného designu, kdy čtyři pozice A, B, C a D se replikovali pětkrát – obrázek č.8.

1 D	2 A	3 B	4 B
5 B	6 D	7 D	8 A
9 C	10 A	11 C	12 C
13 A	14 A	15 B	16 C
17 D	18 B	19 C	20 D

Obrázek 9 Vzorek randomizovaného designu (Jayaraman 1999)

Výhodou metody CRD je jednoduchost ve výpočtu její analýzy rozptylu, zejména když počet opakování není jednotný. U většiny jiných konstrukcí se analýza rozptylu stává komplikovanou, když ztráta dat v některých grafech vede k nerovnoměrným replikacím mezi testovanými pozicemi (Jayaraman 1999).

## 6.4 Vlastní testování potomstev

Průběh testování potomstev lze vidět na měření a vyhodnocování dvou testovacích ploch s potomstvy klonů borovice lesní v západních Čechách. U testování potomstev semenných sadů lze sledovat dva cíle:

1. zařadit pozitivně hodnocené do kategorie testovaných zdrojů reprodukčního materiálu
2. testovat jednotlivé klony v semenných sadech 1. generace s cílem použít pozitivně ověřené klony při zakládání semenných sadů dalších generací.

Testování potomstev se týkalo zjištění genetické hodnoty mateřských stromů (klonů). Finálním výstupem se stal návrh selekčního zásahu v semenných sadech (tzv. genetická probírka). V devadesátých byl proveden sběr osiva ze semenných sadů a vysázeny dvě testovací plochy: 1. Skelná Huť - testující semenný sad č. 79 – Doubrava (LS Plasy)  
2. Nepomuk – testující semenný sad č. 43 – Silov u Nepomuka

Měření testovacích ploch probíhalo jednak v roce 2000 a jednak v letech 2007 a 2008. Ze semenného sadu Doubrava byla testována od každého klonu potomstva cca 5 ramet. Na testovací plochu Skelná Huť bylo sázeno každé potomstvo ve 3 opakováních. Každé opakování bylo reprezentováno 10 sazenicemi ve sloupci po 0,7 m, jednotlivé sloupce byly od sebe vzdáleny 1,40 m, tedy klasický spon, používaný v lesnickém provozu. V semenném sadu Silov u Nepomuku byly sbírány šišky pouze podle jednotlivých klonů. Výsadba testovací plochy Nepomuk byla prováděna opět ve sponu 0,7 x 1,4 m, na rozdíl od předešlé plochy však na parcelách po 50 sazenicích (5 x 10 řad) ve 4 opakováních (Kaňák et al. 2009).

Vlastnímu měření předcházelo hodnocení lokalit z hlediska homogenity a možnosti ovlivnění výsadeb nebo jejich částí stanovištěm (okrajem porostu, expozicí, reliéfem, půdním horizontem, vláhou apod.). Všechny stromy na obou testovacích plochách byly měřeny a

hodnoceny stejným způsobem. Z kvantitativních znaků byla sledována jejich výška a tloušťka, z kvalitativních znaků především tvar kmene a mortalita. Další kvalitativní znaky jako jsou množství, tloušťka a charakter větvení nebyly v této fázi hodnoceny. Výška na ploše Skelná Huť, kde se pohybovala výška stromků mezi 4 až 8 metry, na ploše Nepomuk, která je o 3 roky starší, jsou stromky jsou vyšší, 8 až 12 m. U deformací kmene bylo sledováno, zda jako primární poškození bylo biotické (např. obaleč prýtový, ptáci apod.) nebo abiotické (vítr, kroupy, námraza apod.) a neperspektivní jedinci byli z dalšího šlechtění vyřazeni (Kaňák et al. 2009).

Na závěr šetření bylo konstatováno, že svědčí o tom, že potomstva sadů 1. generace jsou kvalitnější než běžné provozní výsadby:

1. byla prokázána významná hodnota geneticky podmíněné proměnlivosti hospodářsky významných znaků u borovice lesní
2. bude nezbytné ověřit alternativní modely, zejména pro kvantifikaci účinku kompetice na obou lokalitách
3. tato geneticky podmíněná proměnlivost je přímo využitelná v selekčním opatření, v genetické probírce
4. genetická probírka umožní dosažení dodatečného hospodářského užitku plynoucího z využívání osiva původem ze semenných sadů
5. takto „vylepšené“ semenné sady mohou sloužit jako významný zdroj reprodukčního materiálu pro umělou obnovu borovice lesní před dosažením plodnosti sadů druhé generace (Kaňák et al. 2009)

## 6.5 Údržba testovacích ploch

Obdobně jako u semenných sadů by obdobná péče měla být věnována jedincům na testovacích plochách. Zabezpečení pravidelné péče od chvíle založení až do doby zajištění podpoří snížení mortality a podpoří kvalitní růst. Ošetření by mělo být voleno stejné pro celou testovací plochu, případně intenzivnější na místě silnějšího lokálního vlivu, například buřene. Zajistíme tím stejné podmínky pro růst a následné vyhodnocení. Pěstební činnost je tedy obdobná jako v bodech č. 1 a 4 uvedených v kapitole 5.9. Jen zálivka bude místě lesních porostů poněkud obtížná a často neproveditelná.

## 7. Rychle rostoucí dřeviny

### 7.1 Výsadby rychle rostoucích dřevin

Jak už bylo zmíněno v části 3.2 je šlechtění lesních dřevin je časově náročné. Když vezmeme možnosti šlechtění a následné testování u zemědělských plodin, vše probíhá v rovině měsíců, maximálně roků. U lesních dřevin jsme odkázáni na dlouhodobé vědecké sledování, kdy s dlouhodobými testy se dostáváme za polovinu předpokládané doby obmýetí, kdy osoba zakládající pokus se výsledku většinou za svého produktivního života nedočká. Jakým si myšleným mezistupněm mezi zemědělskými plodinami a lesními dřevinami jsou rychle rostoucí dřeviny (RRD). Ty jsou svým způsobem růstu blízké lesnímu hospodářství, přičemž doba sklizně (obmýetí) je výrazně kratší (Weger 2017). Pro RRD se ze zemědělství přejímá systém pěstování, využívají se podobné zemědělské postupy. Pro zjištění zásoby se používají metody používané v lesnictví (Slováček 2005). Jedná se převážně o topolové a vrbové plantáže, které jsou zakládány z klonů, pro produkci biomasy pro energetické účely. Ve světě je přes 8 mil. ha plantáží rychle rostoucích dřeví, v Evropě přes 40 000 ha. V ČR se nachází přibližně 2 800 ha a trend výsadeb je vzrůstající (Weger 2017).

Pěstování RRD bylo na území dnešní České republiky zahájeno bez předchozí znalosti problematiky, což vedlo k některým nezdarům. Vhodné jedince se podařilo najít až po dlouhodobých testech vlastností a stanovištních nároků několika desítek topolových klonů. Následně bylo nutné statisticky vyhodnotit a doporučit pro pěstování v našich přírodních podmínkách (Čížek a Čížková 2009)

Výsledky testování pokusných výsadeb rychle rostoucích dřevin jsou však k dispozici výrazně dříve, nežli u lesních dřevin z testovacích výsadeb jako je modřín opadavý, borovice lesní či smrk ztepilý. V rámci České republiky jsou dvě významná místa se specializací na rychle rostoucí dřeviny: VULHM Uherské Hradiště – Kunovice a VÚKOZ, v.v.i. Průhonice. Kromě jiné výzkumné činnosti se zabývají i testováním výsadeb rychle rostoucích dřevin. Důvodem je rozšiřování nabídky vhodných klonů a odrůd pro výmladkové pěstování v

přírodních a legislativních podmínkách ČR. Další testování se týká např. klonů domácích druhů vrb, které by bylo možné pěstovat i v ZCHÚ (Weger 2017).

## **7.2 Testování rychle rostoucích dřevin**

Jak probíhá testování výsadeb rychle rostoucích dřevin, nám může přiblížit průběh pokusu, který proběhl v rámci testování topolů a vrb z genové sbírky umístěné v Dendrologické zahradě v Průhonicích. Cílem pokusu bylo vyhodnotit výnosnost a další vlastnosti nových klonů topolů a vrb z domácích sbírek pro pěstování výmladkovým způsobem na zemědělské půdě v hydrologicky méně příznivých podmínkách. Bylo vybráno 10 klonů, které zatím nebyly testovány a dosáhly vysoké hodnocení požadovaných parametrů: výmladnost, tloušťkový přírůst, zdravotní stav (Weger 2017).

Klonový test topolů a vrb byl založen pro ověření a výběr vhodných genotypů pro výmladkové pěstování na zemědělské půdě v oblastech s nižšími srážkami. Jednotlivé pokusné parcely klonů dřevin se schematicky střídali ve 4 opakováních tak, aby byly minimalizovány okrajové efekty a nahodilé vlivy na ploše 1 099 m<sup>2</sup> v hustotě výsadby 13 650 ks/ha. Pozemek se nacházel v rovinném terénu v oblasti s průměrným úhrnem srážek 500–600 mm a průměrnou roční teplotou 8–9 °C. Lokalitu je možno charakterizovat jako průměrně vhodnou pro pěstování testovaných klonů vrb a topolů (Weger 2017).

Při výsadbě bylo použito několik druhů klonů. V rámci pokusu byl sledován přírůst pomocí měření veličin (výška a výčetní tloušťka) pro zjištění objemu jednotlivých jedinců před sklizní a následně vyhodnocení získané biomasy po sklizni. Sledována byla mortalita a zdravotní stav jednotlivých klonů. Při hodnocení bylo konstatováno, že každý druh klonu za sledované období reagoval na přírodní podmínky různým přírůstem biomasy (Weger 2017).



## **8. Testování potomstev v zemědělství**

### **8.1 Šlechtění zemědělských plodin**

U zemědělských plodin má šlechtění několik strategií. Cílem je zlepšení vyšlechtěných odrůd v oblasti zvýšené odolnosti k chorobě, škůdci, zlepšení výnosu, či kvality produktu. Šlechtitel se většinou soustředí na jeden cíl, v jeho práci musí být určitý předpoklad žádanosti jeho výsledku v době, kdy dojde k vyšlechtění potřebné odrůdy. Naléhavostí dneška je šlechtění na suchovzdornost, odolnost proti klimatickým změnám zajištěním tolerance rostlin vůči suchu (Ehrenbergerová 2014).

Šlechtění zemědělských plodin se provádí více u rostlin s generativní formou rozmnožování, jako jsou obilniny, bobovité, len či rajčata a okurky. Využívají se šlechtitelské postupy, při níž dochází k sprašování vybraných jedinců a následně z nich vznikají křížením hybridy. (Ehrenbergerová 2014).

Genové inženýrství umožnilo vývoj hospodářsky významných rostlin s unikátními znaky a to způsobem, který není možný běžným křížením. Produktem jsou geneticky modifikované organismy (dále GMO). Možnost genetických modifikací, usměrněných změn rostlinného genomu, se poprvé objevila v roce 1978. Některé z nich byly dovedeny až do formy registrovaných odrůd. Tyto odrůdy se již významně uplatnily v systému rostlinné výroby. Nejznámějším příkladem je sója odolná vůči herbicidu Roundup, tzv. Roundup Ready sója (Ovesná 2005).

### **8.2 Šlechtění a testování kukuřice**

Kukuřice je první plodinou, u které se začali šlechtit hybridní odrůdy. Významným šlechtitelským cílem je adaptabilita na nepříznivé podmínky umožňující posunout pěstování kukuřice do vyšších nadmořských výšek – kukuřice je teplomilná rostlina. Důležitost šlechtění se ukazuje na zvyšování odolnosti vůči chladu, odolnosti vůči poléhání, vyrovnanému zrání, vysychání před sklizní, odolnost vůči chorobám a škůdcům, tolerance k pesticidům (Ehrenbergerová 2014).

U kukuřice se používá top-cross, neboli vrcholové křížení. Všechny komponenty se nakříží s jedním rodičem, tzv. testerem. Testované linie se vysévají na řádky střídavě s testerem. Sklizené osivo se použije v dalším roce pro výsev. Hybridy s nejvyšším výnosem ukazují na vysokou kombinační schopnost svých matek a tyto se v dalším šlechtění použijí jako rodiče hybridních odrůd. Kromě kukuřice bylo dosaženo výrazných úspěchů při šlechtění hybridních odrůd prosa (zvýšení výnosu až o 50 %), cukrovky, cibule, žita, řepky, brokolice, celere, mrkve, okurek, zelí a velmi se využívá u zahradních a okrasných plodin (Ehrenbergerová 2014).

U testování potomstev odrůd hybridů se vyloučí odlišné nevhodné rostliny, poté dojde k podpoře samoopylení, čímž je zaručena čistota linie. Následně po dozrání se semena jednotlivých rostlin vysejí do řádků, znovu proběhne samoopylení, osivo vyrovnaných rostlin se posoudí, část osiva se ponechá pro testování potomstev a ostatní osivo z každé rostliny se smíchá jako osivo inbreední linie (Ehrenbergerová 2014).

### **8.3 Testování potomstev chmele**

V období mezi roky 2008-2013 řešil tým pod vedením Vladimíra Nesvadby z firmy Chmelařský institut s.r.o. ze Žatce výzkumný úkol spojený s tvorbou genofondu chmele s rezistencí k biotickým a abiotickým faktorům. Šlechtitelský materiál byl testován umělými infekcemi a následně byl zjišťován vliv rodičů na odolnost u získaných potomstev. Tolerantní a rezistentní genotypy byly vysazeny do šlechtitelské chmelnice, kde byly dále hodnoceny. Hodnocení probíhalo v pravidelných týdenních intervalech až do sklizně v polovině září. Před sklizní se hodnotila sekundární infekce. Všechny nadějně genotypy byly sklizeny a podrobně vyhodnoceny. Nadějně genotypy byly následně testovány na odolnost k peronospoře chmelové v polních podmínkách šlechtitelských chmelnic, kde se neprovádělo chemické ošetření. V průběhu řešení projektu byly všechny získané genotypy opět testovány na odolnost k biotickým a abiotickým faktorům. Důvodem bylo ověření dosažených výsledků. Testování bylo nezbytné, protože rezistence mohla být výrazně ovlivněna prostředím. Výzkumem bylo získáno 502 nových genotypů chmele s rezistencí k biotickým a abiotickým faktorům s požadovanou kvalitou znaků. Získané genotypy chmele byly vysazeny do polních podmínek (Nesvadba 2014).

## 9. Diskuze a závěr

Pro lesní majetky je, a jistě i do budoucna bude, důležitá včasná a bezproblémová obnova lesních porostů a následné zajištění nově vzniklých kultur. Je samozřejmé, že každý hospodář má snahu o obnovu lesa podporou přirozeného zmlazení autochtonního původu, která je ekonomicky výhodnější než obnova umělá a také podporuje původní dřevinnou skladbu. Ze Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017 však lze vyčíst, že poměr obnovy umělé vůči přirozené je v naší zemi 4:1. Tento trend je za posledních dvacet let víceméně stálý a lze očekávat, že i v blízké budoucnosti se nebude výrazně měnit.

Každý hospodář by se měl poučit z chyb předchozích generací a neopakovat omyly svých předchůdců. Je zřejmé, že v minulosti se prováděla obnova lesních porostů po kalamitách abiotických (vzpomeňme větrnou kalamitu na Šumavě popisovanou Karlem Klostermanem) nebo biotických (mnišková kalamita z dvacátých let minulého století) pomocí osiva, které bylo získáno z různých míst. Často tak byla použita nevhodná provenience špatné kvality a porosty vykazovaly známky pomalého růstu, obtížně odolávaly vlivům biotickým i abiotickým.

V těchto dobých lesníci projevíli úsilí dozvědět se něco více o původu osiva a zajistit pro další obnovu kvalitní zdroje semenného materiálu. Jistě už dříve vyhledávali kvalitní jedince pro sběr osiva a k nákupu osiva neproověřeného je vedl nedostatek v místě, například vlivem slabé úrody nebo dokonce neúrody. Snaha o zajištění kvalitního semene pro obnovu porostů vyvrcholila hledáním vhodných jedinců či celých porostů a následným označením uznaných stromů, respektive porostů určených pro sběr osiva.

Vzhledem k rostoucím nákladům a přetrvávajícímu riziku spojenému se sběry ze semenných porostů, řadíme k hlavním cílům šlechtění dřevin zakládání semenných sadů jakožto dostupného zdroje kvalitního osiva. Předpokládá se, že klony získané z předem vytipovaných kvalitních stromů, zajistí v semenném sadu pravidelnou úrodu v požadované kvalitě za nižších nákladů než u stromů v lesních porostech. Nezanedbatelné je, jak již výše naznačeno, i nižší riziko při sběru osiva v semenném sadu oproti sběru ze stojících stromů. Mějme v první řadě na mysli riziko nebezpečí pádu sběračů osiva, ale i další v podobě

zanesení škodlivých patogenů na poraněných místech, čemuž se i při velké opatrnosti sběrač neubrání. Poškození má pak vliv na další životnost stromů.

Zpočátku u nás semenné sady vznikaly bez větších znalostí problematiky a došlo tak k neuváženým výsadbám klonů různých proveniencí v jedné oblasti. Teprve poté, co nabyl na důležitosti aspekt jednotného místa původu, vnesl se důraz na založení semenného sadu klony jedinců z jedné oblasti, stejné provenience. Dalším podnětem k výsadbě semenných sadů byly snahy o zachování genofondu. Mohlo se v minulosti jednat například o jedince, u kterých se projevila forma rezistence vůči různým vnějším vlivům. Ale až do nedávné doby se stále jednalo o semenné sady 1. generace, výběr probíhal pouze podle fenotypových vlastností. Ověření, zda jedinci byli příhodně vybráni, má zajistit až testování klonů a hodnocení jejich potomstev v rámci testovacích výsadeb. V rámci provedených experimentů lze získat hodnověrné výsledky pro další rozvoj semenných sadů, hlavně pro jejich přechod na vyšší generaci ověřením genotypu klonů.

Z dosavadních zkušeností vyplývá, že není vhodné projektovat semenné sady o velkých výměřích, vhodné jsou pozemky o velikosti do 2 ha. Měly by být umístěny v lokalitách, kde dojde k minimalizaci opylení ze stromů stejného druhu – tzv. kontaminace. Nejvhodnější dřevinou pro zakládání semenných sadů se ukázal být v našich podmínkách modřín opadavý, který plodí již během několika let od výsadby. Dobře se jeví i borovice lesní. Naopak naprosto nevhodnou dřevinou se ukázal být buk lesní. Podle zkušeností z praxe je vhodnější získávat semenný materiál sběrem bukvic přímo v porostech. Obdobná situace je u i našich dubů.

Testovací výsadby se zakládají na plochách k tomu účelu pečlivě vybraných. Plocha by se měla nacházet na území, z kterého původně klony pochází, aby byly zajištěny příhodné podmínky pro další růst testovaných výsadeb s tím, že sadba bude umístěna v lokalitě, která zajistí homogenní prostředí. Rozmístění jedinců zajistí eliminaci chyb v rámci pozdějších kontrolních měření a statistických analýz. Založení testovacích ploch modifikujeme s ohledem na to, zda budeme testovat jeden či více faktorů, zda máme dostatek sadebního materiálu a také dostatek místa s homogenními podmínkami (v případě heterogenních pozemků stoupá náročnost na množství sadby/počet opakování). Testovaná potomstva jsou

rozdělena na základě randomizace do bloků náhodně, vyloučíme tím vznik systematické chyby.

Na založených testovacích plochách by se mělo provádět pravidelné hodnocení kvalitativních (výška a tloušťka kmene) i kvantitativních znaků (mortalita, tvárnost kmene). Následné vyhodnocení má totiž za účel ověření kvality klonů v příslušném semenném sadě a v případě záporného posouzení eliminaci nevhodných jedinců. Potvrdí se tím, nebo vyvrátí, vhodnost jedince i po stránce genotypu. Důležitá je pravidelnost měření, porušení či dokonce opomenutí pravidelných kontrolních měření by mělo za následek zkreslení výsledků.

Pro lesnictví je důležité zajištění trvalé dostupnosti kvalitního semenného materiálu v dostatečném množství. Semenné roky u některých dřevin se opakují v delších periodách, plodnost semenných sadů zajišťuje pravidelnou dodávku potřebného semenného materiálu s jistou pravidelností. Je sice obtížné rychle reagovat na zvýšenou poptávku po osivu, které by zajistilo ujímavost i v současných podmínkách opakujících se suchých roků s výrazným deficitem srážek. Pravidelné testování by však mělo zajistit lesnímu hospodářství osivo kvalitní a vhodné do dalších let.

## 10. Seznam citované literatury

BAYEROVÁ, Z., Metody analýzy fragmentace populací pomocí mikrosatelitů, Bakalářská práce MASARYKOVA UNIVERZITA v Brně, Přírodovědecká fakulta 2009.

ČÍŽEK, V., ČÍŽKOVÁ, L., Determinace hybridních topolových klonů pěstovaných v České republice. Lesnický průvodce. Strnady. č. 10/2009.

DEERING, J., Building on Success, Seedworld.com [online]. 2017, (poslední úprava 18.5.2017) SEEDWORLD.COM INTERNATIONAL EDITION 2017 (cit.7.2.2019)  
Dostupné

z [https://www.worldseed.org/wp-content/uploads/2017/07/Seed-World\\_articles\\_May-2017.pdf](https://www.worldseed.org/wp-content/uploads/2017/07/Seed-World_articles_May-2017.pdf)

EHRENBERGEROVÁ, J., Odrůdy, osivo a sadba. Mendelova univerzita v Brně. Brno. 2014

EL-KASSABY, Y. A., FAYED, M., KLÁPŠTĚ, J., LSTIBŮREK, M., Randomized, replicated, staggered clonal-row (R2SCR) seed orchard design. Tree Genetics & Genomes [online]. 2014.

Dostupné z

[https://www.researchgate.net/publication/262485031\\_Randomized\\_replicated\\_staggered\\_clonal-row\\_RSCR-S-2\\_seed\\_orchard\\_design](https://www.researchgate.net/publication/262485031_Randomized_replicated_staggered_clonal-row_RSCR-S-2_seed_orchard_design)

ERIKSSON, G., EKBERG, I., CLAPHAM, D., An introduction to forest genetics. Genetic Center, Department of Plant Biology and Forest Genetics, Uppsala, 2001. ISBN 91-576-7190-7

FISHER, R. A., The Genetical Theory of Natural Selection. Oxford 1930 Oxford University Press, opakované vydání z roku 1958 New York, Dover Publications.

FISHER, R. A., The Design of Experiments. Edinburgh. 1935, opakované vydání z roku 1971 The University of Adelaide, New York.

FRÝDL, J., NOVOTNÝ, P., ČÁP, J., BURIÁNEK, V., Metodické postupy ověřování zdrojů reprodukčního materiálu lesních dřevin v České republice. Lesnický průvodce. Strnady. č. 12/2009

FUNDA, T., EL-KASSABY, Y. A., Seed Orchards Genetics. CAB Reviews [online]. 2012,

Dostupné z [https://www.researchgate.net/profile/Yousry\\_El-](https://www.researchgate.net/profile/Yousry_El-Kassaby/publication/235765316_Seed_orchard_genetics/links/0912f513521ffceb6e000000.pdf)

[Kassaby/publication/235765316\\_Seed\\_orchard\\_genetics/links/0912f513521ffceb6e000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yousry_El-Kassaby/publication/235765316_Seed_orchard_genetics/links/0912f513521ffceb6e000000.pdf)

GRAMAN, J., ČURN, V., Šlechtění rostlin. Jihočeská univerzita. České Budějovice. 1998

HEJDA, V., Chroust maďalový (*Melolontha hippocastani* Fabr.) významný škůdce lesních porostů LS Choceň, Diplomová práce Mendelova univerzita v Brně 2016.

HYNEK, V., FRÝDL, J., Šlechtitelská opatření k záchraně a reprodukci genofondu smrku ztepilého z Krušných hor, Lesnická práce 1988 (číslo 8)

CHALOUPKOVÁ, K., STEJSKAL, J., EL-KASSABY, Y. A., LSTIBŮREK, M., Optimum neighborhood seed orchard design. Tree Genetics & Genomes [online]. 2016.

Dostupné z

[https://www.researchgate.net/profile/Yousry\\_El-Kassaby/publication/310493663\\_Optimum\\_neighborhood\\_seed\\_orchard\\_design/links/59ce583a4585150177db79f1/Optimum-neighborhood-seed-orchard-design.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yousry_El-Kassaby/publication/310493663_Optimum_neighborhood_seed_orchard_design/links/59ce583a4585150177db79f1/Optimum-neighborhood-seed-orchard-design.pdf)

IVANEK, O., BERAN, F., ČÁP, J., FRÝDL, J., KAŇÁK, J., MANNOVÁ, J., NOVOTNÝ, P., Zakládání semenných sadů druhé generace pro borovici lesní. VÚLHM. Strnady. 2009.

IVANEK, O., NOVOTNÝ, P., FRÝDL, J., Metodika zakládání semenných sadů 1,5. generace. Lesnický průvodce. Strnady. č. 7/2010.

JAYARAMAN, K., A statistical manual for forestry research. Kerala Forest Research Institute. 1999.

KAŇÁK, J., KLÁPŠTĚ, J., LSTIBŮREK, M., Úvodní genetické hodnocení semenných sadů borovice lesní v západních Čechách. Zprávy lesnického výzkumu, svazek 54, č. 3/2009.

KAŇÁK, J., FRÝDL, J., NOVOTNÝ, P., ČÁP, J., Metodika zakládání semenných sadů. Lesnický průvodce. Strnady. č. 9/2008.

KAŇÁK, J., Návrh šlechtitelských postupů pro borovici lesní v západních a jižních Čechách. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. 2011.

KANTOR, J., Několik připomínek k lesnické genetice, Lesnická práce 1958 (číslo 9)

KOBLIHA, J., STEJSKAL, J., LSTIBŮREK, M., ČEŠKA, P., Péče o genové zdroje lesních dřevin v podmínkách VLS ČR, Lesnická práce 2012 (číslo 8)

KUPKA, I., Pěstování lesů I. Česká zemědělská univerzita v Praze. 2008. Praha

LAUDÁTOVÁ, H., a DOSTÁL, O., Gregor Johann Mendel – životní osudy a jeho působení na Moravě, ziva.avcr.cz [online]. Živa 6/2012 (Poslední úprava červen 2012) Dostupné z <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/gregor-johann-mendel-zivotni-osudy-a-jeho-pusobeni.pdf>

LESNICKÝ NAUČNÝ SLOVNÍK. Praha: Agrospoj, 1995. ISBN 80-7084-131-1.

LSTIBŮREK, M., EL-KASSABY, Y. A., Minimum-Inbreeding Seed Orchard Design. Forest Science [online]. 2010. Dostupné z [https://www.researchgate.net/publication/233629728\\_Minimum-Inbreeding\\_Seed\\_Orchard\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/233629728_Minimum-Inbreeding_Seed_Orchard_Design)

Ministerstvo zemědělství, Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017. [online]. Praha. 2017. Dostupné z

[http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2017.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava_o_stavu_lesa_2017.pdf)

MÖLLEROVÁ, J., Camerer, Rudolf Jacob, Botany.cz [online]. 2009, (poslední úprava 22.5.2009) Dostupné z <https://botany.cz/cs/camerer/>

MONTGOMERY, D., C., Design and Analysis of Experiments. Arizona State Univerzity. 1975. opakované vydání z roku 2005 Wiley. 2005

NESVADBA, V., KOFTA, K., KOŘEN, J., PATZAK, J., JEŽEK, J., VOSTŘEL, J., SVOBODA, P., KŘIVÁNEK, J., KUDRNA, T., Tvorba genofondu chmele s rezistencí k

biotickým a abiotickým faktorům s požadovanou kvalitou znaků. Chmelařský institut s.r.o. Žatec. 2014

NĚMEC, J. a HRIB M., ed. Lesy v České republice. Praha: Lesy ČR, 2009. ISBN 978-80-903482-5-7.

OVESNÁ, J., Geneticky modifikované organismy a jejich možné uplatnění v rostlinné výrobě. Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou. 2005

POSPÍŠIL, J., KOBLIHA, J., Šlechtění lesních dřevin. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně 1988.

REISER, P. a JIŘÍK, M., 260 let řízené správy Městských lesů karlovarských, Lesnická práce 2016 (číslo 10).

SÁDLO, J. et al. Krajina a revoluce: významné přelomy ve vývoji kulturní krajiny českých zemí. Praha: Malá Skála, 2005. ISBN 80-86776-02-6.

SEMRÁD, L., K problematice semenných plantáží na LZ Světlá nad Sázavou, Lesnická práce 1973 (číslo 6)

SLOVÁČEK, M., Nedestruktivní metoda odhadu množství produkce biomasy vrb a topolů v energetických plantážích. Zprávy lesnického výzkumu, svazek 50, č. 3/2005.

SMÝKAL, P., Domestikace rostlin z pohledu současné genetiky, ziva.avcr.cz [online]. Živa 1/2009 (Poslední úprava leden 2009) Dostupné z <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/domestikace-rostlin-z-pohledu-soucasne-genetiky.pdf>

SCHMIDT, L., SEED ORCHARDS, Fao.org [online]. 1993, Dostupné z <http://www.fao.org/docrep/006/ad223e/AD223E00.htm>

ŠINDELÁŘ, J., Jak dále se semennými sady modřínu?, Lesnická práce 1992 (číslo 2)

ŠINDELÁŘ, J., Výzkumné provenienční a jiné šlechtitelské plochy v lesním hospodářství České republiky. Lesnický průvodce. Strnady. č. 2/2004.

VÁCLAV, E., Šlechtění lesních dřevin Úkoly šlechtění lesních dřevin, Lesnická práce 1961 (číslo 1)

VÁCLAV, E., Šlechtění lesních dřevin Technika pohlavního křížení, Lesnická práce 1961 (číslo 4)

VÁCLAV, E., Almanach České lesnictví ve světě (elektronická verze), uhul.cz [online]. UHUL 2006, Dostupné z [http://www.uhul.cz/images/prehled\\_projektu/almanach/page0003.htm](http://www.uhul.cz/images/prehled_projektu/almanach/page0003.htm)

VACULKA, T., Identifikace osob pomocí DNA, Bakalářská práce Univerzita Tomáše Baťi ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky 2010.

VONDRUŠKA, V. Život ve staletích 13. století Lexikon historie. Brno: Moravská Bastei MOBA, 2010. ISBN 978-80-243-3809-5.

WEGER, J., a kolektiv, Pěstování rychle rostoucích dřevin (RRD) na zemědělské a lesní půdě – stručný přehled historie, stavu a perspektiv v ČR. Sborník Semináře „Rychle rostoucí dřeviny pro zemědělské a lesnické využití v podmínkách České republiky“ Průhonice. 2017



WEGER, J., BUBENÍK., J., Produkce biomasy nových klonů vrb a topolů po šesti letech pěstování na zemědělské půdě v tříletém obmýtí. Acta Pruhoniana 100. Průhonice. 2012

## 11. Seznam obrázků

Obrázek 1 Semenný sad 1. generace borovice lesní Holičky LS Třeboň (foto J. Fučík 2019) .....	27
Obrázek 2 Design ONA se 40 klony (Chaloupková et al. 2016) .....	33
Obrázek 3 Údržba semenného sadu mulčováním (foto J. Fučík 2019) .....	34
Obrázek 4 Blokované uspořádání: osm pokusných členů, čtyři opakování (Pospíšil, Kobliha 1988) .....	41
Obrázek 5 Latinský čtverec .....	41
Obrázek 6 Schéma dvojité mříže pro zkoumání 36 členů ve čtyřech opakováních (Pospíšil a Kobliha 1988) .....	43
Obrázek 7 Příklad dvaceti náhodných čísel (Jayaraman 1999) .....	44
Obrázek 8 Rozdělení dvaceti řad do čtyř skupin (Jayaraman 1999) .....	44
Obrázek 9 Vzorek randomizovaného designu (Jayaraman 1999) .....	44