

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie



## **Vliv stanoviště na mechanickou stabilitu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) v závislosti na biomase kořenového systému**

Bakalářská práce

Autorka: Klára Janatová

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Trombik Ph.D.

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Klára Janatová

Lesnictví

Název práce

**Vliv stanoviště na mechanickou stabilitu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) v závislosti na biomase kořenového systému**

Název anglicky

**Site conditions influence on mechanical stability of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) considering its root system biomass**

---

### Cíle práce

- na vybraných lokalitách v rámci ČR u mechanicky vyvrácených stromů kvantifikovat jejich kořenový systém
- na základě získaných údajů stanovit vliv stanoviště na strukturu a biomasu kořenového systému smrku ztepilého

### Metodika

- měření budou vybrání jedinci smrku ztepilého (*Picea abies*)
- měřeny budou vždy všechny kořeny nad 2,5 cm, které se budou zařazovat do jednotlivých hloubkových a tloušťkových tříd
- na základě měření kvantifikovat objem kořenů, délku kořenů, přibližně také biomasu kořenů, povrchovou plochu kořenů vzhledem ke hloubkové pozici a tloušťkové třídě
- výsledky budou statisticky zpracovány za účelem stanovení vlivu stanoviště na tyto charakteristiky
- získané údaje budou srovnány s doposud známými údaji z literatury

**Doporučený rozsah práce**

30 stran včetně příloh

**Klíčová slova**

kořenový systém, biomasa, smrk ztepilý, mechanická odolnost

---

**Doporučené zdroje informací**

- NICOLL B.C., ACHIM A., MOCHAN S., GARDINER B.A. 2005: Does steep terrain influence tree stability? A field investigation. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 2360–2367
- PELTOLA H., KELLOMÄKI S., VÄISÄNEN H., IKONEN V.-P. 1999: A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway Spruce and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29, 647–661.
- RICH R.L., FRELICH L.E., REICH P.B. 2007: Wind-throw mortality in the southern boreal forest: effects of species, diameter and stand age. *Journal of Ecology*, 95, 1261–1273.
- VALINGER E., FRIDMAN J. 1999: Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24, 209–217.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Mgr. Jiří Trombik

**Garantující pracoviště**

Katedra ochrany lesa a entomologie

Elektronicky schváleno dne 21. 11. 2017

**prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2018

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2019

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv stanoviště na mechanickou stabilitu smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) v závislosti na biomase kořenového systému vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Jiřího Trombika Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří se ať už přímo nebo nepřímo podíleli na vzniku této práce. V první řadě je to můj úžasný vedoucí práce Mgr. Jiří Trombik Ph.D., který se mnou měl svatou trpělivost a dokázal mi vždy se vším poradit a pomoci. Dále mé díky patří všem, kteří se podíleli na projektu s pracovním názvem Stromotrh, díky kterému vznikla i má bakalářská práce. V neposlední řadě musím poděkovat těm, kteří mi poskytlí psychickou oporu a rodinné zázemí. Děkuji svým rodičům za maximální oporu, mé druhé rodině v Praze, spolužákům, kamarádům. Speciální poděkování patří mé nejlepší kamarádce Janče za hodiny strávené na telefonu a v NTK a mému milovanému za nekonečné množství lásky, čokolády a čaje.

## ABSTRAKT

Smrk ztepilý je v České republice nejhojněji zastoupenou dřevinou. Tvoří 50,3 % lesů a má tak v lesním hospodářství nezastupitelnou funkci. Smrkové porosty jsou každoročně výrazně poškozovány větrem. Náchylnost smrku na vítr se dá vysvětlit tím, že byl v minulosti často vysazován mimo své ekologické optimum a má plochý kořenový systém. Tento typ kořenového systému je považován za nejméně vhodný z hlediska mechanické odolnosti stromu. Tomu odpovídají i dosavadní výzkumy, ze kterých vyplývá, že působením větru na smrkové porosty častěji dochází k vývrátům než ke zlomům.

V rámci této práce bylo na čtyřech typově různých lokalitách v ČR zhodnoceno celkem 50 kořenových systémů u mechanicky vyvrácených smrků ztepilých. Kořenové systémy byly očištěny, změřeny a byla provedena jejich kvantifikace.

Výsledky potvrdily významný vliv půdního typu na parametry kořenových systémů. Zatímco v celkovém objemu a hloubkové třídě do 30 cm nebyly statisticky signifikantní rozdíly, ve větších hloubkách byly rozdíly významné. Jako statisticky signifikantní pro mechanickou odolnost smrku ztepilého se ukázala právě celková biomasa (objem) kořenového systému. Vliv hustoty kořenového systému se naopak ukázal jako statisticky nevýznamný.

**Klíčová slova:** kořenový systém, biomasa, smrk ztepilý, mechanická odolnost

## **ABSTRACT**

Norway spruce is the most abundant tree species in the Czech Republic. Its current distribution is 50,3 % of forests and plays an irreplaceable role in forestry. Spruce stands are damaged by wind every year. The susceptibility of spruce to the wind can be explained by the fact that in the past it was often planted outside its natural range and it has a flat root system. This type of root system is considered to be the least suitable in terms of tree mechanical resistance. This is reflected in the current research, which shows that windstorms in spruce stands usually causes uprooting of trees more often than breakage.

In this study, a total of 50 root systems of mechanically uprooted Norway spruces were evaluated in four habitats with different soil types in the Czech Republic. Root systems were cleaned, measured and quantified.

The results confirmed the significant influence of soil type on root system parameters. While there were no statistically significant differences in total volume and volume in depth class up to 30 cm, differences were significant at greater depths. The total biomass (volume) of the root system proved to be statistically significant for the mechanical resistance of Norway spruce. On the other hand, the effect of root system density proved to be statistically insignificant.

**Key words:** root system, biomass, Norway spruce, mechanical resistance

|   |    |
|---|----|
| OBSAH   |    |
| ABSTRAKT .....  | 6  |
| ABSTRACT .....  | 7  |
| SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ .....   | 10 |
| 1 ÚVOD .....  | 12 |
| 2 CÍLE PRÁCE .....  | 14 |
| 3 ROZBOR PROBLEMATIKY .....   | 15 |
| 3.1 Smrk ztepilý .....  | 15 |
| 3.1.1 Systematické zařazení .....   | 15 |
| 3.1.2 Charakteristika .....   | 15 |
| 3.1.3 Ekologie .....  | 17 |
| 3.1.4 Kořenový systém .....   | 17 |
| 3.1.4.1 Kvantifikace kořenového systému .....                                     | 19 |
| 3.1.4.2 Vliv stanoviště na kořenový systém a mechanickou<br>stabilitu smrku ..... | 19 |
| 3.1.5 Rozšíření a význam .....  | 20 |
| 3.1.6 Smrk v ČR .....   | 21 |
| 3.1.7 Škody na smrku způsobené větrem .....                                       | 22 |
| 4 METODIKA .....  | 24 |
| 4.1 Kontext práce .....   | 24 |
| 4.1.1 Studované lokality .....  | 24 |
| 4.2 Kvantifikace kořenového systému .....   | 26 |
| 4.2.1 Rozdělení kořenového systému .....  | 27 |
| 4.2.2 Měření jednotlivých kořenů .....  | 28 |
| 4.3 Statistika, digitalizace, výpočty .....                                       | 30 |
| 5 VÝSLEDKY .....  | 32 |
| 5.1 Naměřené hodnoty biomasy kořenového systému .....                             | 32 |



|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.2 | Srovnání biomasy na jednotlivých stanovištích.....                         | 34 |
| 5.3 | Korelace biomasy kořenového systému a mechanické<br>odolnosti stromů ..... | 42 |
| 6   | DISKUSE.....   | 45 |
| 7   | ZÁVĚR .....  | 48 |
| 8   | SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....                                  | 49 |
| 9   | PŘÍLOHY.....   | 52 |

# SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ

## Seznam obrázků a grafů

- Obr. 1: Smrk ztepilý. .... 16
- Obr. 2: Pohled na smrkový porost, Krkonoše. .... 16
- Obr. 3: Typy kořenových systémů. .... 18
- Obr. 4: Frekvence výskytu smrku ztepilého podle národních inventarizací lesů. .... 20
- Obr. 5: Evidované poškození porostů větrem, sněhem a námrazou od roku 1990 do roku 2017. .... 23
- Obr. 6: Podíl poškození porostů jednotlivými abiotickými vlivy v roce 2017. .... 23
- Obr. 7: Mapa lokalit terénních prací za rok 2016 a 2017 a jejich stručná charakteristika. .... 26
- Obr. 8: Označení stromu a rozhraní mezi kořeny a kořenovými náběhy sprejem. .... 27
- Obr. 9: Kořenový systém po vyvrácení (vlevo) a kořenový systém po očištění (vpravo). .... 27
- Obr. 10: Rozdělení kořenového systému do hloubkových tříd. .... 28
- Obr. 11: Kořenové systémy v různých fázích měření. .... 29
- Obr. 12: Porovnání celkového objemu kořenů mezi lokalitami. .... 34
- Obr. 13: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. .... 35
- Obr. 14: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. .... 36
- Obr. 15: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. .... 37
- Obr. 16: Porovnání celkové hustoty kořenového systému mezi lokalitami. .... 38
- Obr. 17: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. .... 39
- Obr. 18: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. .... 40

- Obr. 19: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. .... 41
- Obr. 20: Hodnoty kritické síly na jednotlivých lokalitách. .... 42
- Obr. 21: Korelace objemu kořenového systému a kritické síly. .... 43
- Obr. 22: Korelace hustoty kořenového systému a kritické síly. .... 44

## Seznam tabulek

- Tab. 1: Druhové složení lesů v ha a % z celkové plochy porostní půdy..... 22
- Tab. 2: Základní přehled výsledků..... 32
- Tab. 3: Průměrný objem kořenů v hloubkových třídách – srovnání lokalit. .... 33
- Tab. 4: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot celkového objemu kořenů mezi lokalitami. .... 34
- Tab. 5: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. .... 35
- Tab. 6: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. .... 36
- Tab. 7: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. .... 37
- Tab. 8: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot celkové hustoty kořenového systému mezi lokalitami..... 38
- Tab. 9: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. .... 39
- Tab. 10: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. .... 40
- Tab. 11: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. .... 41
- Tab. 12: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání biomasy kořenového systému a mechanické odolnosti stromů mezi lokalitami..... 42

# 1 ÚVOD

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) H. Karst.) je na území České republiky nejhojněji zastoupenou dřevinou. Spolu s borovicí tvoří téměř 70 % našich lesů (smrk 50,3 %, borovice 16,3 %). Ačkoliv se v posledních letech lesníci snaží vyšším zastoupením listnáčů a jedle přiblížit optimální druhové skladbě a větší stabilitě porostů (MZe, 2018), je smrk stále naší nejvýznamnější hospodářskou dřevinou. Přirozeně se vyskytuje jen na specifických stanovištích, ale díky své nenáročnosti a širokému hospodářskému využití byl v minulosti vysazován na ekologicky velmi rozmanitých lokalitách (Krása, 2007). Svým kyselým opadem navíc negativně ovlivňuje půdotvorné činitele a monokultury, které často tvoří, jsou náchylné jak na vlivy biotických tak abiotických činitelů (Slávik, 2016).

Jedním z nejvýznamnějších disturbančních činitelů smrkových porostů je vítr. Z pozorování, která dosud proběhla, je patrné, že působením větru na smrkové porosty častěji dochází k vývrátům než ke zlomům (Konôpka, 1997). To je dáno plošným typem kořenového systému smrku vlastního. Tento typ kořenového systému neumožňuje dostatečné prokořenění do hloubky, a často tak stromu neposkytuje potřebnou oporu. Vývoj kořenového systému je kromě genetických předpokladů daných typem dřeviny také značně ovlivněn prostředím - stanovištěm a především pak typem půdy. Z tohoto důvodu je třeba pro lepší pochopení odolnosti smrku proti škodám způsobeným větrem soustředit na jeho kořenový systém víc pozornosti (Konôpka, 1997).

V České republice je prozatím biomasa kořenových systémů lesních hospodářských dřevin poměrně opomíjeným tématem, ačkoliv se to jeví jako jeden z důležitých faktorů při hodnocení dřeviny, její odolnosti, nebo při pochopení fungování celého ekosystému. V Evropě již zájem vědecké obce o kořenové systémy dřevin vzrostl, příčinnou budou zřejmě následující důvody. Zaprvé rostou škody způsobené v lesním hospodářství vichřicemi, druhým důvodem je potřeba kvantifikovat biomasu dřevin komplexně, ať už z pohledu vázání uhlíku (Cairns a kol., 1997) nebo potencionálního využití stromů pro energetické účely (Schlamandinger a Marland, 1996).

Tato bakalářská práce si klade za cíl kvantifikovat kořenový systém u jedinců smrku ztepilého na různých stanovištích České republiky a popsat vliv

těchto stanovišť na biomasu kořenového systému, potažmo mechanickou stabilitu, smrku ztepilého. Přináší nové informace o biomase kořenového systému smrku na území České republiky a kvantifikuje vliv stanoviště na objem a strukturu kořenového systému.

## **2 CÍLE PRÁCE**

- na vybraných lokalitách v rámci ČR u mechanicky vyvrácených stromů kvantifikovat jejich kořenový systém
- na základě získaných údajů stanovit vliv stanoviště na strukturu a biomasu kořenového systému smrku ztepilého

## 3 ROZBOR PROBLEMATIKY

### 3.1 Smrk ztepilý

#### 3.1.1 Systematické zařazení

Z hlediska širšího systematického zařazení patří smrk do říše rostliny (*Plantae*), podříše cévnaté rostliny (*Tracheobionta*), oddělení nahosemenné (*Pinophyta*). Nahosemenné rostliny představují z hlediska evoluce mezistupeň mezi kaprad'orosty a rostlinami krytosemennými. Svě jméno dostaly podle toho, že jejich semeno leží „nahé“ na plodolistu, na rozdíl od krytosemenných rostlin, které mají semeno chráněno plodem. Dalším typickým znakem nahosemenných je absence květu, místo kterého utváří šištice, které velmi často zdřevnatí a vytvoří šišku.

Z užšího pohledu řadíme smrky do třídy jehličnany (*Pinopsida*), řád borovicotvaré (*Pinales*), čeleď borovicovité (*Pinaceae*), rod smrk (*Picea*).

Rod *Picea* zahrnuje více než 40 druhů, které P. A. Schmidt (1991) rozdělil podle morfologických znaků šišek a jehlic dále do dvou podrodů a ty do sekcí. *Picea abies* patří z tohoto pohledu do podrodu *Picea*, sekce *Picea* a je jediným původním smrkem na území ČR.

Samotný druh *Picea abies* vykazuje značnou vnitrodruhovou proměnlivost, v rámci které můžeme vylíčit různé formy biologické, biochemické a morfologické (Pagan, 1992).

#### 3.1.2 Charakteristika

Jedná se o stálezelený strom dosahující výšky až 50 m. Koruna je typicky kuželovitá a pravidelná, primární větve vyrůstají v přeslenech (co rok, to přeslen). Bývají mírně ohnuté k zemi, ke konci mírně srpovitě zakřivené (Slávik, 2016). Jen větve vrcholových partií jsou vždy mírně vztyčené (Krása, 2007). V závislosti na věku a podmínkách se tvar koruny a větví může lišit.

Kořenový systém smrku je plošný, rozložený blízko při povrchu a bez zjevného hlavního kořene. Ve velmi nepříznivých půdách (jíl) může hloubka prokořenění dosahovat i jen několika desítek centimetrů a naopak v příznivých půdách více než metr. Typ, tvar a velikost kořenového systému určují stabilitu stromů, a právě kvůli takto malé hloubce prokořenění nebývá smrk v půdě

dostatečně ukotven a dochází k jeho vyvrácení. Kořenový systém dále předurčuje, z jaké části půdního profilu může strom čerpat vodu a živiny. Důvodů, proč má smrk takovýto typ kořenového systému, se uvádí vícero. Na začátku druhohor, v podmínkách téměř arktického pásma, kdy část půdního profilu byla trvale zamrzlá, se začal vyvíjet *Picea protopicea*, předchůdce současných smrků. Další vývoj se odehrával ve vysokých nadmořských výškách, kde jsou podmínky podobné. Kvůli zmrzlé půdě kořeny nemohly prorůst do větších hloubek (vyvinul se plochý kořenový systém) a stromy tak dodnes získávají vodu především ze srážek (Slávik, 2016).

U mladších jedinců je kůra z počátku tenká a světlá. Ve vyšším věku se začne na spodní části tvořit borka, která je šupinovitá a odlupující se v různě velkých a různě tvarovaných šupinách. Odolnost borky není příliš velká, proto jsou smrky často napadány hmyzem, okusovány zvěří a trpí i na teplotní extrémy (Slávik, 2016). Jehlice jsou až 3 cm dlouhé, tmavě zelené, lesklé, na průřezu čtyřhranné. K opadu jehlice dochází po 6-9 letech (Slávik, 2016).



Obr. 1: Smrk ztepilý.  
Zdroj: www.conifers.org



Obr. 2: Pohled na smrkový porost, Krkonoše.  
Foto: Klára Janatová



U solitérů začíná plodnost kolem 35 let, u jedinců v zápoji až kolem 60, ve velmi nepříznivých podmínkách výjimečně plodí i výrazně mladší jedinci. Samčí šištice jsou elipsoidní až 2,5 cm dlouhé, červené. Samičí šištice jsou až 5,5 cm dlouhé, válcovité, na vrcholu zúžené, mohou být zelené nebo fialové. Zralé šišky jsou tuhé, hnědé, převislé a zůstávají na stromě (Slávik, 2016).

### **3.1.3 Ekologie**

Smrk není nijak zvlášť náročnou dřevinou. Nároky na světlo má středně vysoké, zvláště v mladším věku je tolerantní k zástinu (často v podrostu pod jiným druhem). Smrkové porosty bývají značně semknuté, proto na povrch půdy dopadá málo světla. Na geologické podloží taktéž nemá zvláštní nároky – roste jak na kyselých půdách, na vápencích, naplavených půdách tak i na křemičitých půdách a kyselých rašelinách, kde se mu sice nedaří dobře, ale přežije. Kvůli plošnému kořenovému systému je pro smrk limitujícím faktorem dostatek vláhy v horním půdním horizontu. Nejlépe se mu daří na svěžích hlinitopísčitých půdách (Slávik, 2016).

Svým kyselým opadem výrazně ovlivňuje půdotvorné činitele, a to především při nedostatku vláhy, chudosti půdy a hlavně při nedostatku vápníku. V takovém případě dochází snadno k podzolizaci (Slávik, 2016).

Přirozeně se smrk vyskytuje na specifických stanovištích – horské lesy, inverzní údolí, rašeliniště (vlhké a kyselé půdy). Díky svému značnému hospodářskému využití byl vysazován na různá stanoviště, kde často tvoří monokultury, které vykazují velkou ekologickou nestabilitu (Krása, 2007).

### **3.1.4 Kořenový systém**

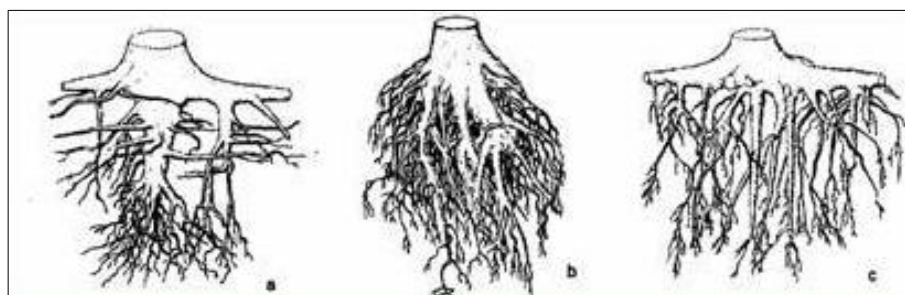
Hlavní funkce kořenů pro rostlinu jsou následující: příjem vody a minerálních látek, zásobárna živin, upevnění rostliny v půdě a někdy též vegetativní rozmnožování. Dále se účastní symbiózy s jinými rostlinami případně s houbami (mykorhiza).

Jako kořenový systém u dřevin obvykle označujeme podzemní část kmene a vlastní kořeny (Konôpka, 2005). Význam kořenů pro dřevinu shrnuli Kozłowski a Pallardy (1997) v jejím ukotvení, absorpci vody a živin z půdy,

ukládání zásobních látek a syntetizování některých hormonů. Dále zdůrazňují, že kořenový systém dřevin reflektuje jak půdní poměry, ve kterých dřevina roste, tak poměry nadzemních částí dřeviny.

Podle Köstlera a kol. (1968) rozeznáváme u dřevin tři typy kořenových systémů:

- **kůlový** (např. duby) – Pro tento typ kořenového systému je charakteristický jeden velmi mohutný hlavní kořen vedoucí přímo pod kmenem směrem do půdy. Z něho rostou do různých stran tzv. kosterní kořeny. Běžně se objevují i šikmé kořeny (Obr. 3, a).
- **srdcovitý** (např. modřín opadavý) – Typické je rovnoměrné prokořenění relativně malého prostoru v půdě. Obvykle nemá postranní kořeny táhnoucí se do dálky a ani žádný hlavní kořen rostoucí do hloubky (Obr. 3, b).
- **plochý** (např. smrk ztepilý) – Nejmohutnější kořeny vedou typicky horizontálním směrem těsně při povrchu, dále se rozvětvují – také hlavně horizontálně, vertikálně jen minimálně. Šikmo rostoucí kořeny se v podstatě nevyskytují (Obr. 3, c).



Obr. 3: Typy kořenových systémů: a - kůlový, b - srdcovitý, c - plochý  
Zdroj: [www.druidova.mysteria.cz](http://www.druidova.mysteria.cz)

Z hlediska mechanické stability a odolnosti proti vyvrácení je nejvhodnější kůlový typ kořenového systému, nejméně vhodný pak plochý, který je pro smrk naprosto typický. Mezidruhovými rozdíly kořenových systémů se zabývalo více výzkumníků a všichni se shodli, že smrk má zpravidla řídký a vůči větru labilní kořenový systém (Konôpka, 2001).

### **3.1.4.1 Kvantifikace kořenového systému**

Až 98 % celkové biomasy lesních ekosystémů našich zeměpisných šířek představuje biomasa dřevin. Při kvantifikaci jejich biomasy však narážíme na řadu metodologických problémů, ať už se jedná o jejich velikost, hmotnost, nebo variabilitu (Oszlányi, 1990). Při zkoumání kořenů dále narážíme na problematiku jejich extrakce z půdy. Kořeny však mají pro rostliny mnoho nezastupitelných funkcí, kvůli kterým si zaslouží větší pozornost vědecké obce (Kodrík, 1999).

Vůbec první literární zmínka o výzkumu týkajícího se podzemní biomasy pochází z roku 1727, kdy se Hales zabýval kořenovými systémy pěstovaných plodin. První výzkum kořenového systému dřevin pak provedl Duhamel Du Monceau v letech 1764/65 (Kodrík, 1999). Další podobná bádání proběhla až v druhé polovině 19. století při rozmachu hnojiv v zemědělství a týkala se právě hospodářsky významných plodin. Vzhledem k problematické extrakci kořenového systému se některé studie více věnovaly postupům získávání kořenů z půdy. Technický rozmach v polovině 20. století umožnil významný posun v této problematice, ale stále jsou kořenové systémy málo prozkoumaná oblast, která si zaslouží více pozornosti (Kodrík, 1999).

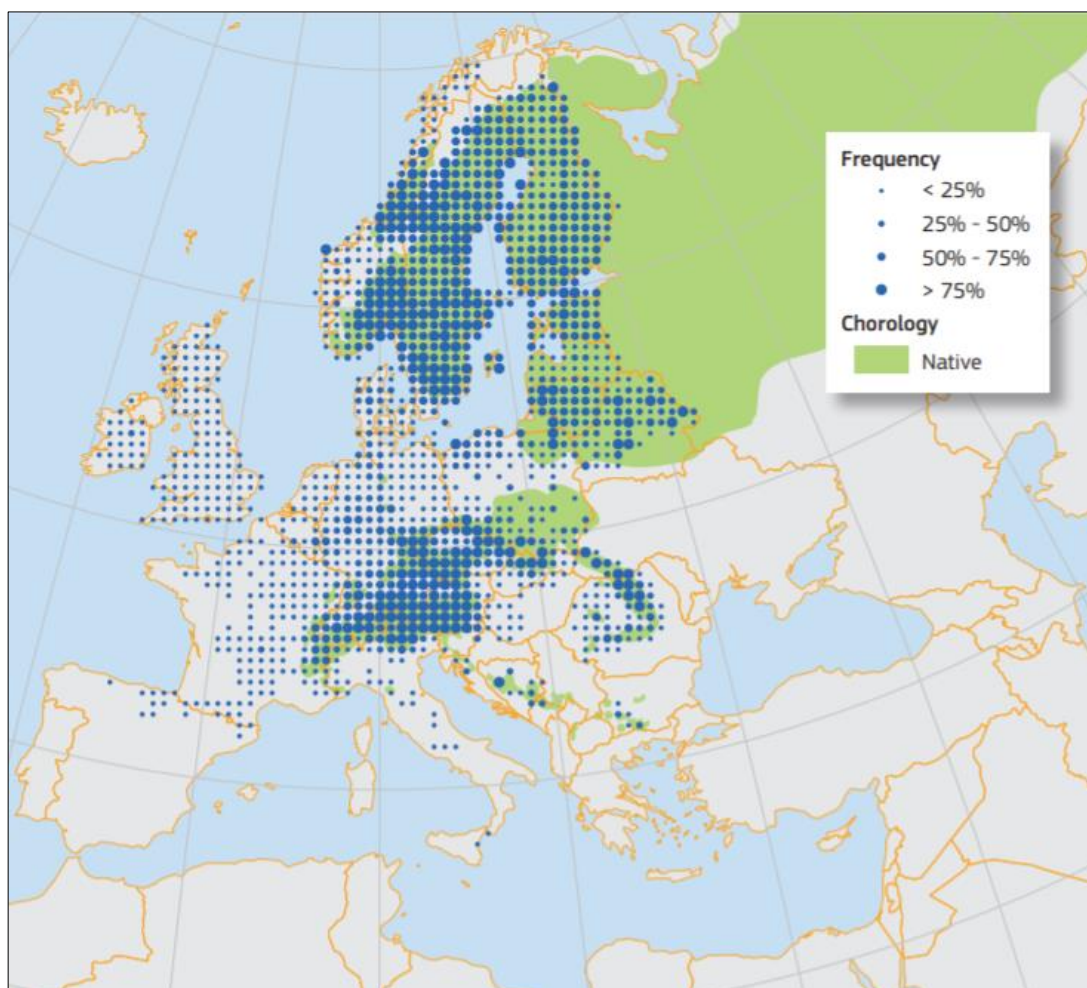
### **3.1.4.2 Vliv stanoviště na kořenový systém a mechanickou stabilitu smrku**

Odolnost dřeviny proti vyvrácení, tedy její mechanickou stabilitu, ovlivňuje více faktorů souvisejících s kořenovým systémem a půdou. U kořenového systému jde hlavně o jeho mohutnost, tvar, prostorovou distribuci, tloušťkovou strukturu, fyzikální vlastnosti pletiv a zdravotní stav (Konôpka, 2001).

Tyto parametry kořenového systému jsou na jednu stranu dány druhem dřeviny, na druhou stranu mohou být výrazně modifikovány půdou, ve které strom roste. V případě, že jsou půdní poměry vhodné pro nerušený vývoj kořenů, geneticky podmíněný tvar kořenového systému zůstane více méně zachován. K výrazným změnám naopak běžně dochází při nedostatku nebo nadbytku vody v půdě, výskytu nepropustné půdní vrstvy, půdního skeletu, nevhodných chemických a fyzikálních vlastností některých půdních horizontů a podobně (Konôpka, 2001).

### 3.1.5 Rozšíření a význam

Areál smrku ztepilého v Evropě má dvě oddělené části – Severskou oblast, kde roste především v nížinách (Skandinávie, Pobaltí, Rusko) a Středoevropsko-balkánskou oblast, kde roste ve vysokých horách střední a jihovýchodní Evropy. Protože areál ve Středoevropsko-balkánské oblasti nemá souvislý charakter, lze tuto oblast dále dělit na podoblasti podle horstev – Hercynsko-karpatská oblast (i ČR), Alpská oblast, Dinárská oblast a Rodopská oblast (Slávik, 2016).



Obr. 4: Frekvence výskytu smrku ztepilého podle národních inventarizací lesů.  
Zdroj: European Atlas of Forest Tree Species

Smrk ztepilý je hlavním druhem v boreálních a subalpínských jehličnatých lesích od střední Evropy (především v horách) po severní a východní Evropu až k pohoří Ural. Zde dochází k jeho křížení se smrkem sibiřským (*Picea obovata*) (kříženec je někdy považován za poddruh *Picea abies*). Výškový rozsah smrku ztepilého se pohybuje od hladiny moře

v severní Evropě až do výšky 2400 m n. m. v Alpách, kde roste v zakrnělé formě. Vzhledem ke svému velkému areálu rozšíření existuje velké množství odrůd a forem (Caudullo a kol., 2016).

Počátky pěstování smrku ztepilého se datují do 18. století. Díky široké amplitudě ekologických podmínek, začalo rozšiřování smrku i mimo oblasti jeho přirozeného výskytu (např. v nížinách). Tak došlo k přeměně přirozených lesů na lesy hospodářské. Dnes již zdomácněl na mnoha nepůvodních místech v Evropě včetně Anglie a Pyrenejí. Byl také introdukován do mnoha zemí mimo Evropu – Spojené státy americké, Kanada, Japonsko, Jižní Afrika, Tasmánie, Nový Zéland (Caudullo a kol., 2016).

Mezi jehličnatými druhy patří smrk ztepilý k nejvýznamnějším dřevinám v Evropě, a to jak z ekonomického, tak z ekologického hlediska. Díky svému pravidelnému a rovnému kmeni nachází široké uplatnění pro stavbu dřevěných konstrukcí a na výrobu nábytku. Používá se též při výrobě papíru a mnoho dalšího. Jeho dřevo je krémově bílé a snadno se zpracovává (Caudullo a kol., 2016).

### **3.1.6 Smrk v ČR**

Na území České republiky se vyskytuje výhradně smrk hercynsko-karpatského typu. Roste nejčastěji od 550 do 1000 m n. m., může však vystoupat až k horní hranici lesa, nebo naopak vlivem klimatické inverze sestoupit až na 200 m n. m. Těžištěm jeho rozšíření na našem území jsou okrajová horstva, ale vyskytuje se i v řadě vnitrozemských horských skupin (Slávik, 2016).

Přestože se plocha jehličnatých dřevin nadále snižuje ve prospěch dřevin listnatých, stále jehličnany v čele se smrkem v druhovém složení dominují (Tab. 1).

Podle dat z roku 2017 smrk zabírá 1 308 432 ha plochy porostní půdy, což je 50,3 %. Druhou nejhojnější dřevinou je borovice s 424 201 ha plochy porostní půdy (16,3 %). Listnáčem s nejvyšším zastoupením je buk se 218 781 ha, tedy 8,4 % (MZe, 2018).

Tab. 1: Druhové složení lesů v ha a % z celkové plochy porostní půdy.  
Zdroj: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017

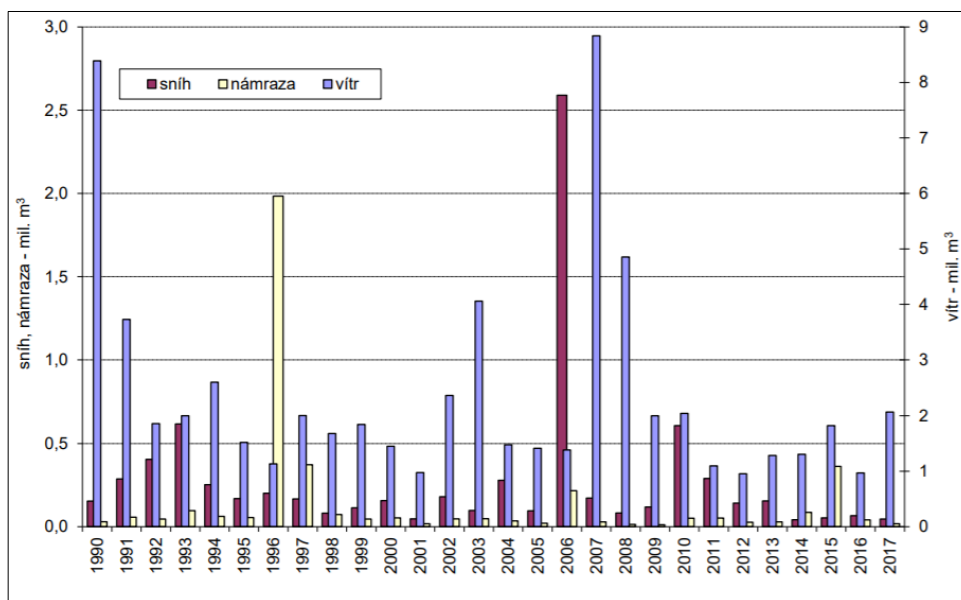
| Dřeviny            | Rok                         |           |           |           |           |           |
|--------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2000                        | 2010      | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      |
|                    | plocha porostní půdy ha / % |           |           |           |           |           |
| Smrk ztepilý       | 1 397 012                   | 1 347 239 | 1 319 733 | 1 315 487 | 1 312 204 | 1 308 432 |
|                    | 54,1                        | 51,9      | 50,7      | 50,6      | 50,5      | 50,3      |
| Jedle              | 23 138                      | 25 869    | 28 251    | 28 699    | 29 086    | 29 458    |
|                    | 0,9                         | 1,0       | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| Borovice           | 453 159                     | 436 308   | 429 636   | 428 030   | 425 687   | 424 201   |
|                    | 17,6                        | 16,8      | 16,5      | 16,5      | 16,4      | 16,3      |
| Modřín             | 97 170                      | 100 761   | 100 749   | 100 283   | 99 917    | 99 773    |
|                    | 3,8                         | 3,9       | 3,9       | 3,9       | 3,8       | 3,8       |
| Ostatní jehličnaté | 4 586                       | 6 352     | 7 755     | 7 846     | 8 068     | 8 150     |
|                    | 0,2                         | 0,2       | 0,3       | 0,3       | 0,3       | 0,3       |
| Jehličnaté         | 1 975 065                   | 1 916 529 | 1 886 124 | 1 880 344 | 1 874 961 | 1 870 015 |
|                    | 76,5                        | 73,9      | 72,5      | 72,3      | 72,1      | 71,9      |
| Dub                | 163 761                     | 178 466   | 184 441   | 185 044   | 186 718   | 188 068   |
|                    | 6,3                         | 6,9       | 7,1       | 7,1       | 7,2       | 7,2       |
| Buk                | 154 791                     | 189 998   | 207 595   | 211 835   | 215 535   | 218 781   |
|                    | 6,0                         | 7,3       | 8,0       | 8,2       | 8,3       | 8,4       |
| Bříza              | 74 560                      | 72 264    | 71 779    | 71 796    | 71 579    | 71 783    |
|                    | 2,9                         | 2,8       | 2,8       | 2,8       | 2,8       | 2,8       |
| Ostatní listnaté   | 183 696                     | 209 559   | 219 363   | 219 207   | 221 243   | 223 103   |
|                    | 7,1                         | 8,1       | 8,4       | 8,4       | 8,5       | 8,6       |
| Listnaté           | 576 808                     | 650 287   | 683 178   | 687 882   | 695 075   | 701 734   |
|                    | 22,3                        | 25,1      | 26,3      | 26,5      | 26,7      | 27,0      |
| Celkem bez holiny  | 2 551 873                   | 2 566 816 | 2 569 302 | 2 568 227 | 2 570 036 | 2 571 749 |
|                    | 98,8                        | 98,9      | 98,7      | 98,8      | 98,8      | 98,8      |

### 3.1.7 Škody na smrku způsobené větrem

Pro lesy střední Evropy jsou časté škody způsobené větrem typické. Ke škodám dochází především v porostech smrku ztepilého a jedle bělokoré. Všichni autoři zabývající se touto problematikou (např. Hochtanner, 1967; Rodenwaldt, 1973; Mayer 1984) se shodli, že smrk je na poškození způsobená větrem mimořádně náchylnou dřevinou. Má řídký a proti větru málo odolný kořenový systém (Konôpka, 1997).

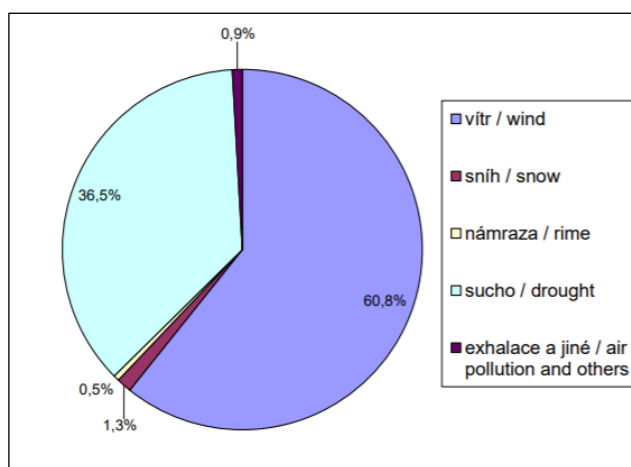
Když síla větru převyší pevnost ukotvení dřeviny, dojde k jejímu vyvrácení. Pokud je vítr mimořádně silný a dřevina je pevně ukotvena, může dojít ke korunovému nebo kmenovému zlomu (Konôpka, 2010).

Na Obr. 5 je znázorněno množství poškozených porostů v milionech metrech krychlových pro hlavní abiotické činitele v letech 1990 - 2017. Až na pár výjimek (1996 námraza, 2006 sníh) má každoročně nejvíc škod na svědomí právě vítr.



Obr. 5: Evidované poškození porostů větrem, sněhem a námrazou od roku 1990 do roku 2017.  
Zdroj: Zpravodaj ochrany lesa, Supplementum 2018

V roce 2007 zažila Česká republika vůbec největší zaznamenané škody způsobené větrem během orkánu Kyrill. Škody po orkánu tvořily téměř 3 mil. m³ dřeva, což je víc jak polovina celkových škod způsobených abiotickými činiteli za tento rok (Obr. 6).



Obr. 6: Podíl poškození porostů jednotlivými abiotickými vlivy v roce 2017.  
Zdroj: Zpravodaj ochrany lesa, Supplementum 2018

## 4 METODIKA

### 4.1 Kontext práce

Téma této bakalářské práce vzniklo v rámci řešení projektu „**Hodnocení rizika poškození lesních porostů větrem: vývoj a kalibrace národního prediktivního modelu**“.

Data pro bakalářskou práci byla získána experimentálním destruktivním měřením stability stromů. Tato simulace působení větru byla zajištěna tahem lanového systému poháněného přenosným motorovým navijákem – Stromotr.

Pro vykonání tahové zkoušky byl lezcem umístěn do geometrického těžiště koruny úvazek s lanem, přes které byl strom následně strojem mechanicky namáhán až k vyvrácení. Průběh každé zkoušky byl zdokumentován kamerovým záznamem a naměřené síly záznamem z tenzometru. Vždy byla zaznamenána hodnota kritické síly nutné k vyvrácení kmene v silových kilogramech (kgf).

#### 4.1.1 Studované lokality

Pro hodnocení kořenových systémů byly vybrány 4 lokality v České republice (Obr.7). Všechny vybrané porosty jsou charakteristické většinovým zastoupením smrku ztepilého (> 80 %) a věkem nad 100 let. Kvůli destruktivnímu způsobu mechanické zkoušky, a časté nutnosti skácení stromů v nejbližším okolí testovaného jedince, byly v ideálním případě vybírány plochy před plánovanou mýtní těžbou.

- **Lokalita Nejdek, plocha Nové Hamry**

Tato studovaná plocha se nachází v nadmořské výšce **932 m n. m.**, bylo zde zhodnoceno **9 vzorníků**. Půdním typem je zde **podzol**. Pro podzol je typický humusový horizont mor, ochuzený a obohacený půdní horizont. Mor vzniká za podmínek nepříznivých pro rozklad a transformaci organických látek (chladné, vlhké klima, minerálně chudá půda, kyselý opad jehličí). K ochuzení horizontu dochází postupným vyplavováním



minerálních kolidních látek (podzolizací) do nižších horizontů (ty jsou pak obohacené) (Vokoun a kol., 2002).

Porost spadá do **7. LVS** (bukosmrkový) a **ekologické řady M** (kyselá, chudá s velmi chudým podložím). Typickým rostlinným krytem pro tyto podmínky je borůvčí, mechy a třtina, což odpovídá skutečnosti na ploše.

- **Lokalita Kutná Hora, plocha Opatovice**

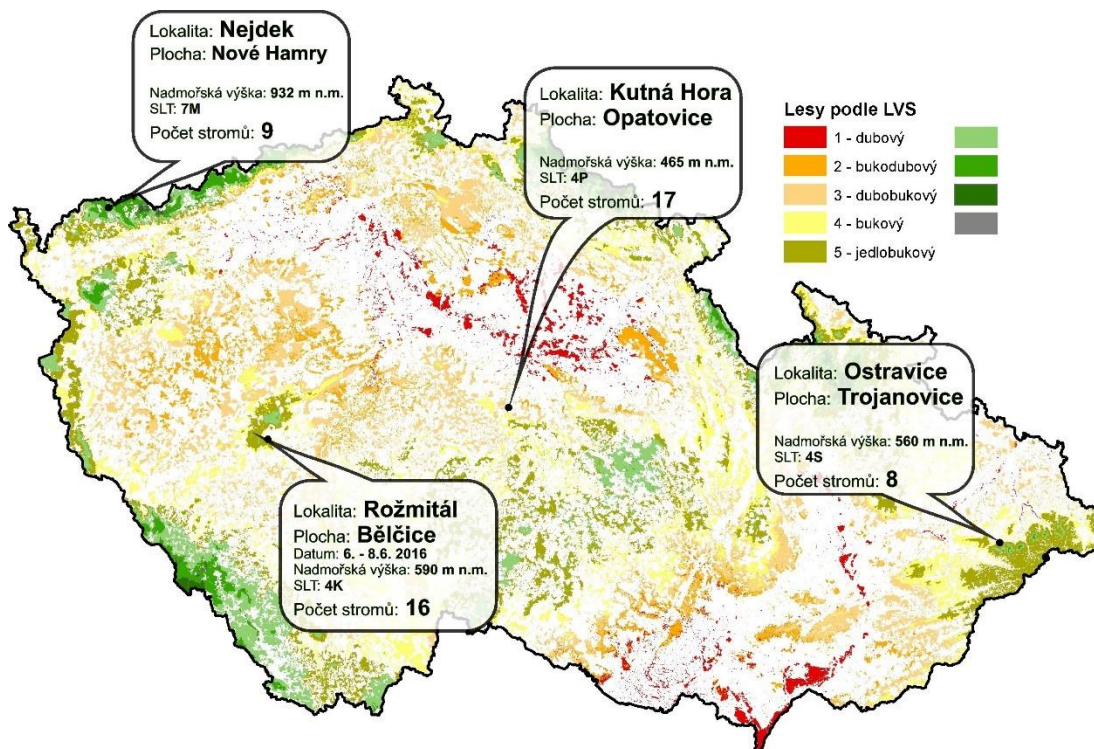
Nadmořská výška plochy Opatovice je **465 m n. m.** a zhodnoceno zde bylo **17 kořenových systémů**. Půdní typ zde je **pseudoglej**. Pseudoglej vzniká periodickým převlhčováním půdy, redukcí a oxidací manganu a železa (oglejení). Tím vznikají mramorované půdní horizonty (Vokoun a kol., 2002). Plocha spadá do **4. LVS** (bukový), **ekologická řada P** (kyselá, podloží kyselé, střídavě vlhké).

- **Lokalita Ostravice, plocha Trojanovice**

Plocha Trojanovice se nachází **560 m n. m.**, zhodnoceno zde bylo **8 stromů**. Půdní typ pod studovaným porostem je **kambizem**. Kambizemě se vyskytují na rozsáhlém území ve značně rozdílných klima-tických podmínkách i na rozdílných půdotvorných substrátech. Jejich charakter je tak dost proměnlivý (Vokoun a kol., 2002). Porost spadá do **4. LVS** (bukový), do **ekologické řady S** (přechod kyselá a živné řady, středně bohatá, svěží).

- **Lokalita Rožmitál, plocha Bělčice**

Bělčice se nachází v nadmořské výšce **590 m n. m.**, hodnoceno zde bylo **16 kořenových systémů**. Půdním typem je zde **kambizem** s výrazným podílem **skeletu**. Skelet zde tvořily především kameny (velikost <3 cm). Plocha patří do **4. LVS**, **ekologické řady K** (normální kyselá, kyselé podloží, průměrná poloha).



Obr. 7: Mapa lokalit terénních prací za rok 2016 a 2017 a jejich stručná charakteristika.

Celkově bylo zhodnoceno 50 kořenových systémů ze čtyř lokalit. Z hlediska lesnické typologie se jednotlivé lokality nachází ve 4. a 7. LVS, takže v jedněch z nejvíce zastoupených lesních vegetačních stupních ČR. Reprezentují rovněž ekologickou řadu kyselou (4K, 7M), kyselou/bohatou (4S) a oglejenou (4P).

## 4.2 Kvantifikace kořenového systému

Při přípravě stromu na mechanickou zkoušku je mimo jiné vhodné sprejem naznačit hranici mezi nadzemní a podzemní částí kmene. Tento předěl je stanoven výškou půdy (zbavené hrabanky) a značí rozhraní mezi kořenem a kořenovým náběhem. Označení lze udělat i dodatečně po vyvrácení stromu (Obr. 8).



Obr. 8: Označení stromu a rozhraní mezi kořeny a kořenovými náběhy sprejem  
Foto: Klára Janatová

#### 4.2.1 Rozdělení kořenového systému

Kořenový systém se nejprve rozdělí pomocí pásma na polovinu (horní a dolní). Pásmo musí procházet středem kmene, hranice se opět označí sprejem. Měření a kvantifikace se provádí jen pro horní polovinu, která je nad zemí. Kořenový systém je nutné očistit od hlíny, kamenů a drnů tak, aby byly všechny kořeny dobře viditelné a změřitelné (Obr. 9). K čištění se používají nástroje jako krumpáč, motyka, zahradnické nůžky.



Obr. 9: Kořenový systém po vyvrácení (vlevo) a kořenový systém po očištění (vpravo).  
Foto: Klára Janatová



Po očištění se nejprve změří šířka a výška kořenového systému (celkové rozměry), ze kterých se později dopočítá plocha kořenového koláče. Dále se kořeny rozdělí podle hloubky půdy, ve které se nachází. Hranice vedeme ve 30 a 60 cm (hranice v 0 cm je tvořena předělem mezi nadzemní a podzemní částí kmene), tím vzniknou hloubkové třídy 0-30 cm, 30-60 cm a nad 60 cm. Pro stanovení těchto hranic se používá výtyčka umístěná podél svislé osy kmene (od „nulté“ hranice směrem ke kořenům), je možné pomoci si pásmem. Rozhraní jednotlivých hloubkových tříd se opět označí sprejem (Obr. 10).



*Obr. 10: Rozdělení kořenového systému do hloubkových tříd.  
Zdroj: vlastní*

#### **4.2.2 Měření jednotlivých kořenů**

V každé hloubkové třídě (0-30 cm, 30-60 cm a nad 60 cm) jsou vytvořeny tloušťkové třídy pro všechny kořeny nad 1 cm. Kořeny s tloušťkou pod 1 cm se neměří – předpokládáme, že jejich vliv na stabilitu je zanedbatelný (Konôpka, 1997). Tloušťkové třídy jsou vytvořeny po 2,5 cm – tedy: <2,5 cm, 2,5-5 cm, 5,0-7,5 cm, 7,5-10,0 cm, 10,0-12,5 cm, 12,5-15,0 cm, atd. Kořeny se měří ve dvou na sebe kolmých směrech. Důležité je správně najít rozhraní tloušťkových tříd a kořeny správně zařadit. Změřené kořeny je vhodné si označit sprejem, aby nedocházelo k více měření jednoho úseku (Obr. 11).

Při měření se postupuje směrem od kmene – od širších částí k tenčím. Vždy se změří širší část daného úseku, a pak se pomocí dvou na sebe kolmých měření najde rozhraní s další tloušťkovou třídou. To se označí sprejem a změří se délka daného úseku, hodnota se zapíše do zápisníku (Příloha 1).

U kořenů v nižších tloušťkových třídách, především u tloušťkové třídy <2,5 cm, se může postupovat odlišně. Kořeny v daném tloušťkovém intervalu se odstříhnou (s ohledem na jejich tvar – snaha, aby odebrané úseky byly rovné). Tyto úseky se naskládají na pásmo (metr) a odečte se jejich celková délka. Vzhledem k jejich množství to podstatně usnadní práci.

Naměřené výsledky umožní kvantifikovat objem kořenů, délku kořenů, přibližně také biomasu kořenů, povrchovou plochu kořenů vzhledem k hloubkové pozici a tloušťkové třídě.

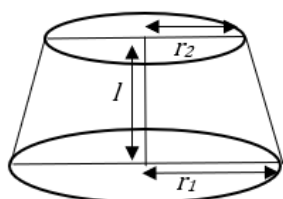


Obr. 11: Kořenové systémy v různých fázích měření.  
Foto: Klára Janatová



### 4.3 Statistika, digitalizace, výpočty

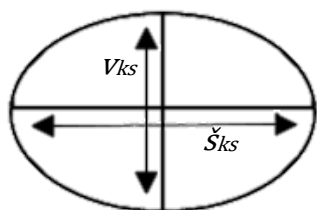
Veškerá naměřená data byla převedena do digitální podoby v programu **Microsoft Excel**. V rámci kvantifikace kořenových systémů byly vypočítány **objemy jednotlivých kořenů** v jednotlivých hloubkových třídách podle vzorce:



$$V_{ks} = \frac{\pi l}{3} \times (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

$V_{ks}$ .....objem kořenového systému  
 $l$ .....délka kořenů v tloušťkové třídě  
 $r_1$ .....horní hodnota tloušťkové třídy  
 $r_2$ .....dolní hodnota tloušťkové třídy

**Celkové objemy kořenových systémů** (biomasa) pro jednotlivé stromy potom tvoří suma všech objemů jednotlivých kořenů. Z vypočítaných hodnot jednotlivých stromů se následně spočítal aritmetický průměr pro každou lokalitu. Další vypočtenou hodnotou je **plocha kořenového systému** spočítaná podle vzorce:



$$S_{ks} = \pi \times \frac{v_{ks}}{2} \times \frac{\check{s}_{ks}}{2}$$

$S_{ks}$  .....plocha kořenového systému  
 $v_{ks}$  .....výška kořenového systému  
 $\check{s}_{ks}$  .....šířka kořenového systému

Z objemu a plochy kořenového systému se vypočetla **hustota kořenového systému**. Výpočet byl proveden vzorcem:

$$H_{ks} = \frac{V_{ks}}{S_{ks}}$$

$H_{ks}$  .....*hustota kořenového systému*

$V_{ks}$  .....*objem kořenového systému*

$S_{ks}$  .....*plocha kořenového systému*

Pro data jako výška a tloušťka stromu byl vypočítán aritmetický průměr, aby bylo možné porovnat lokality mezi sebou.

Data byla dále hodnocena v programu **STATISTICA**. Pro analýzu rozdílů hodnot objemů kořenových systémů mezi jednotlivými lokalitami byl využit **Kruskal-Wallisův neparametrický test pro mnohonásobné porovnávání**.

Na konec byla hodnocena korelace mezi mechanickou odolností smrku a objemem kořenového systému pomocí **lineární regrese** a **Spearmanova korelačního koeficientu**.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Naměřené hodnoty biomasy kořenového systému

Kvantifikace biomasy kořenového systému byla provedena celkem u 50 jedinců smrku ztepilého na čtyřech lokalitách s různými stanovištními a půdními podmínkami. Počet hodnocených jedinců na jednotlivých lokalitách se pohyboval od 8 - 17 ks (Tab. 2). Průměrná výška stromů na jednotlivých lokalitách se pohybovala od 24,1 m (Nejdek) do 28,8 m (Ostravice). Průměrná výčetní tloušťka se pohybovala od 31,9 cm (Rožmitál) do 38,3 m (Ostravice) (Tab. 2).

Průměrná plocha kořenového systému (postupy výpočtů v kap. 4.3) se pohybovala od 57 860,5 cm<sup>2</sup> (Rožmitál) do 140 744,5 cm<sup>2</sup> (Kutná Hora). Průměrný objem (biomasa) kořenového systému se pohyboval od 78 067,3 cm<sup>3</sup> (Rožmitál) po 142 394,8 cm<sup>3</sup> (Ostravice) (Tab. 2). Za povšimnutí stojí fakt, že v Rožmitále je nejmenší jak průměrná plocha kořenového systému, tak nejmenší průměrný objem kořenů, přesto má druhou nejvyšší hustotu prokořenění.

Tab. 2: Základní přehled výsledků

| Lokalita<br>(půdní typ)            | Počet<br>stromů | Průměrná<br>výška<br>stromů<br>(m) | Průměrná<br>tloušťka<br>stromů<br>(cm) | Průměrná<br>plocha<br>kořenového<br>systému<br>(cm <sup>2</sup> ) | Průměrný<br>objem<br>kořenů<br>(cm <sup>3</sup> ) | Hustota<br>prokořenění |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|--|---|---|------------------------|
| Nejdek<br>(podzol)                 | 9               | 24,1                               | 36,5                                   | 121 665,2   | 114 701,4   | 1,09                   |
| Kutná Hora<br>(pseudoglej)         | 17              | 27,1                               | 32,6                                   | 140 744,5   | 98 129,9  | 0,84                   |
| Ostravice<br>(kambizem)            | 8               | 28,8                               | 38,3                                   | 76 350,5  | 142 394,8   | 1,89                   |
| Rožmitál<br>(kambizem -<br>skelet) | 16              | 26                                 | 31,9                                   | 57 860,5  | 78 067,3  | 1,32                   |



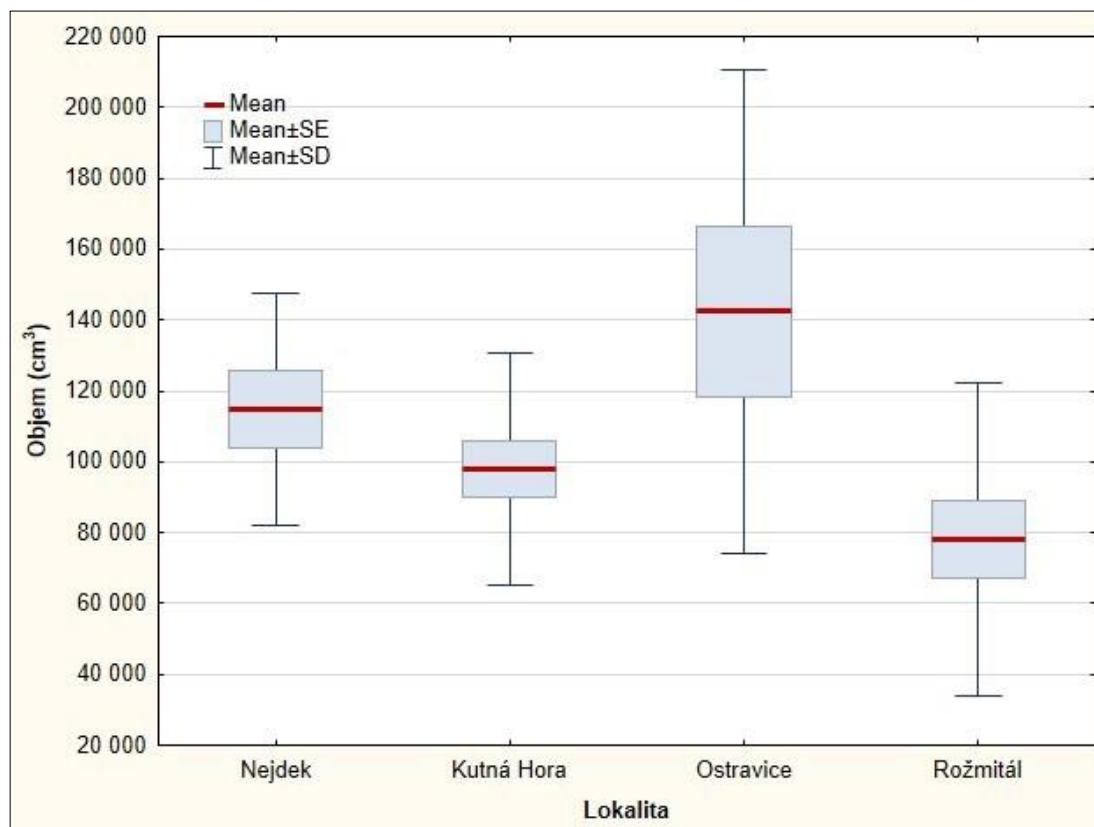
Z Tab. 3 je jasně patrné, že na všech zkoumaných lokalitách mají smrky největší část objemu kořenů v hloubkové třídě 0-30 cm. Nejmenší objemy jsou naopak v hloubce nad 60 cm, na lokalitách Kutná Hora a Nejdek dokonce žádné kořeny tak hluboko naměřeny nebyly. Kořeny byly nejvíce vertikálně rozprostřené v Rožmitále, v půdě výrazně ovlivněné skeletem.

Tab. 3: Průměrný objem kořenů  
v hloubkových třídách - srovnání lokalit

| Hloubková třída (cm)                | Průměrný objem kořenů (cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------------|--|
| <b>Nejdek (podzol)</b>              |  |
| 0-30                                | 107 447,0                                |
| 31-60                               | 7 254,4                                  |
| >60                                 | 0,0                                      |
| Celkem                              | 114 701,4                                |
| <b>Kutná Hora (pseudoglej)</b>      |  |
| 0-30                                | 95 225,5                                 |
| 31-60                               | 2 904,4                                  |
| >60                                 | 0,0                                      |
| Celkem                              | 98 129,9                                 |
| <b>Ostravice (kambizem)</b>         |  |
| 0-30                                | 127 253,3                                |
| 31-60                               | 14 660,1                                 |
| >60                                 | 481,4                                    |
| Celkem                              | 142 394,8                                |
| <b>Rožmitál (kambizem - skelet)</b> |  |
| 0-30                                | 62 925,4                                 |
| 31-60                               | 12 995,1                                 |
| >60                                 | 2 146,8                                  |
| Celkem                              | 78 067,3                                 |

## 5.2 Srovnání biomasy na jednotlivých stanovištích

Ačkoli se **celkový objem** kořenového systému mezi jednotlivými lokalitami signifikantně nelišil (Kruskal-Wallisův test, Tab. 4), největší biomasa kořenů byla pozorována na lokalitě Ostravice (kambizem), nejmenší potom v Rožmitále (kambizem-skeletová). Lokalita Nejdek a Kutná Hora mají srovnatelný celkový objem kořenů (Obr. 12).

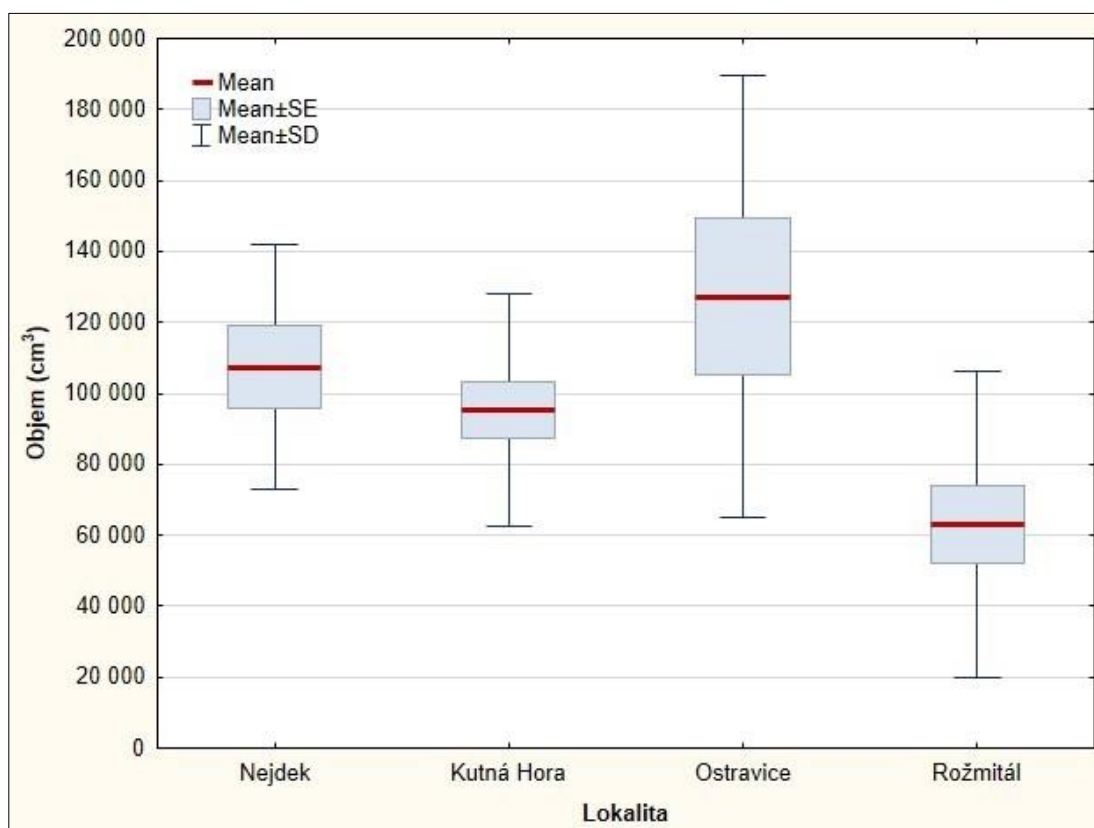


Obr. 12: Porovnání celkového objemu kořenů mezi lokalitami.  
Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka

Tab. 4: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot celkového objemu kořenů mezi lokalitami.  
Oranžově statisticky signifikantní rozdíly (zde chybí).

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 1,234480   | 0,403922  | 2,224908 |
| Kutná Hora | 1,234480 |            | 1,644706  | 1,200504 |
| Ostravice  | 0,403922 | 1,644706   |           | 2,594187 |
| Rožmitál   | 2,224908 | 1,200504   | 2,594187  |          |

Při porovnání **objemu kořenového systému v hloubkové třídě 0-30 cm** opět zjišťujeme, že se mezi jednotlivými lokalitami signifikantně neliší (Kruskal-Wallisův test, Tab. 5). Přesto je vidět, že nejvíce biomasy vykazuje lokalita Ostravice (kambizem), nejméně Rožmitál (kambizem-skeletová). Lokalita Nejdek a Kutná Hora mají v této hloubkové třídě srovnatelný objem kořenů (Obr. 13).

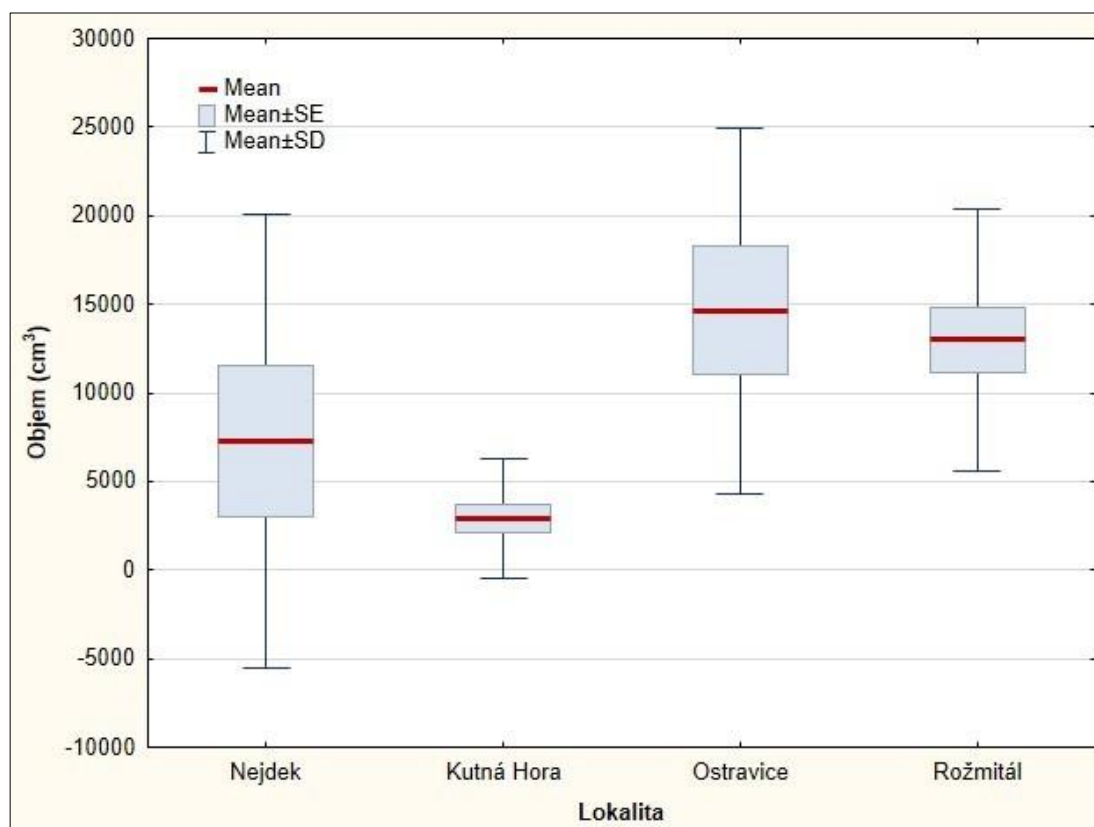


Obr. 13: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka

Tab. 5: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly (zde chybí).

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 0,767879   | 0,239216  | 2,447856 |
| Kutná Hora | 0,767879 |            | 1,009412  | 2,019425 |
| Ostravice  | 0,239216 | 1,009412   |           | 2,623891 |
| Rožmitál   | 2,447856 | 2,019425   | 2,623891  |          |

Při porovnávání **objemu kořenového systému v hloubkové třídě 31-60 cm** se statisticky signifikantně liší lokality Kutná Hora - Ostravice, Kutná Hora - Rožmitál a Nejdek - Rožmitál (Kruskal-Wallisův test, Tab.6). Statisticky signifikantně se neliší Nejdek (podzol) - Kutná Hora (pseudoglej) a Rožmitál (kambizem-skeletová) - Ostravice (kambizem) (Obr. 14).

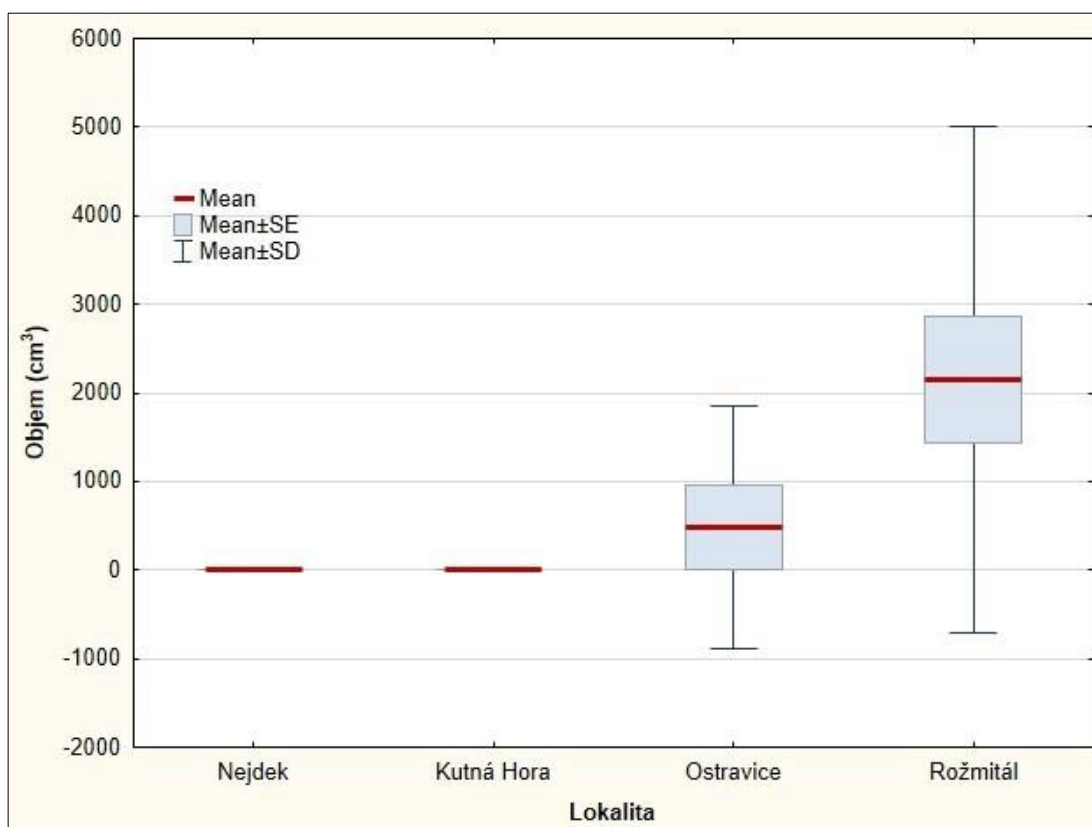


Obr. 14: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka

Tab. 6: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 0,044594   | 2,603922  | 3,036668 |
| Kutná Hora | 0,044594 |            | 2,908235  | 3,579790 |
| Ostravice  | 2,603922 | 2,908235   |           | 0,000000 |
| Rožmitál   | 3,036668 | 3,579790   | 0,000000  |          |

Při porovnávání **objemu kořenového systému v hloubce nad 60 cm** se statisticky signifikantně liší Nejdek (podzol) - Rožmitál (kambizem-skeletová) a Kutná Hora (pseudoglej) - Rožmitál (kambizem-skeletová) (Kruskal-Wallisův test, Tab.7). Vzhledem k absenci kořenů v této hloubkové třídě na lokalitách Nejdek a Kutná Hora lze dále konstatovat jen to, že největší biomasu zde vykazuje Rožmitál (Obr.15).

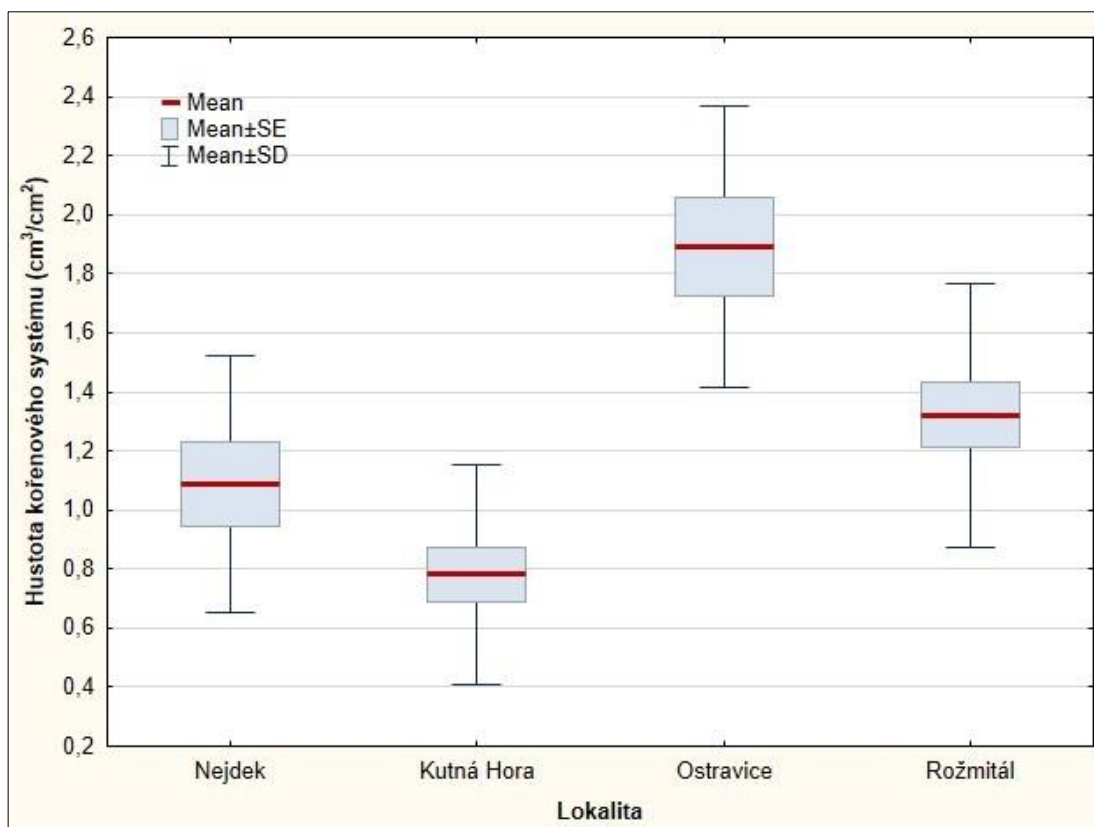


Obr. 15: Porovnání objemu kořenů v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka

Tab. 7: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot objemu kořenů v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 0,000000   | 0,485294  | 2,804002 |
| Kutná Hora | 0,000000 |            | 0,550000  | 3,354243 |
| Ostravice  | 0,485294 | 0,550000   |           | 2,153571 |
| Rožmitál   | 2,804002 | 3,354243   | 2,153571  |          |

Při porovnávání **celkové hustoty** kořenového systému mezi jednotlivými lokalitami se významně liší Kutná Hora (pseudoglej) - Ostravice (kambizem) a Kutná Hora (pseudoglej) - Rožmitál (kambizem-skelet) (Kruskal-Wallisův test, Tab. 8). Na Obr. 16 je vidět, že výrazně největší hustota kořenového systému byla pozorována na lokalitě Ostravice (kambizem).

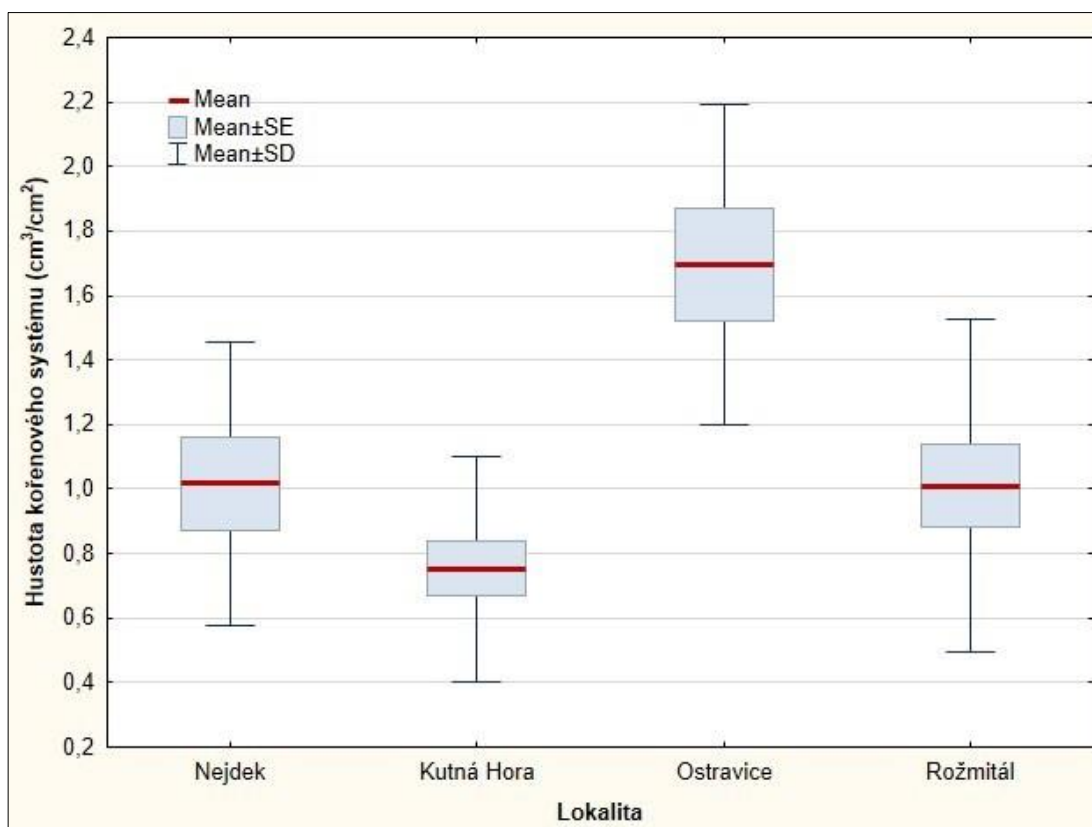


Obr. 16: Porovnání celkové hustoty kořenového systému mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka.

Tab. 8: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot celkové hustoty kořenového systému mezi lokalitami. Oranžově statisticky významné rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 1,540109   | 2,588235  | 1,053001 |
| Kutná Hora | 1,540109 |            | 4,414118  | 3,082356 |
| Ostravice  | 2,588235 | 4,414118   |           | 1,891182 |
| Rožmitál   | 1,053001 | 3,082356   | 1,891182  |          |

Při porovnávání **hustoty kořenového systému v hloubce 0-30 cm** se statisticky významně liší pouze Kutná Hora (pseudoglej) - Ostravice (kambizem) (Kruskal-Wallisův test, Tab. 9). Z Obr. 17 je patrné, že největší hustota kořenového systému byla opět pozorována na lokalitě Ostravice (kambizem), rozdíly mezi ostatními lokalitami jsou poměrně malé.

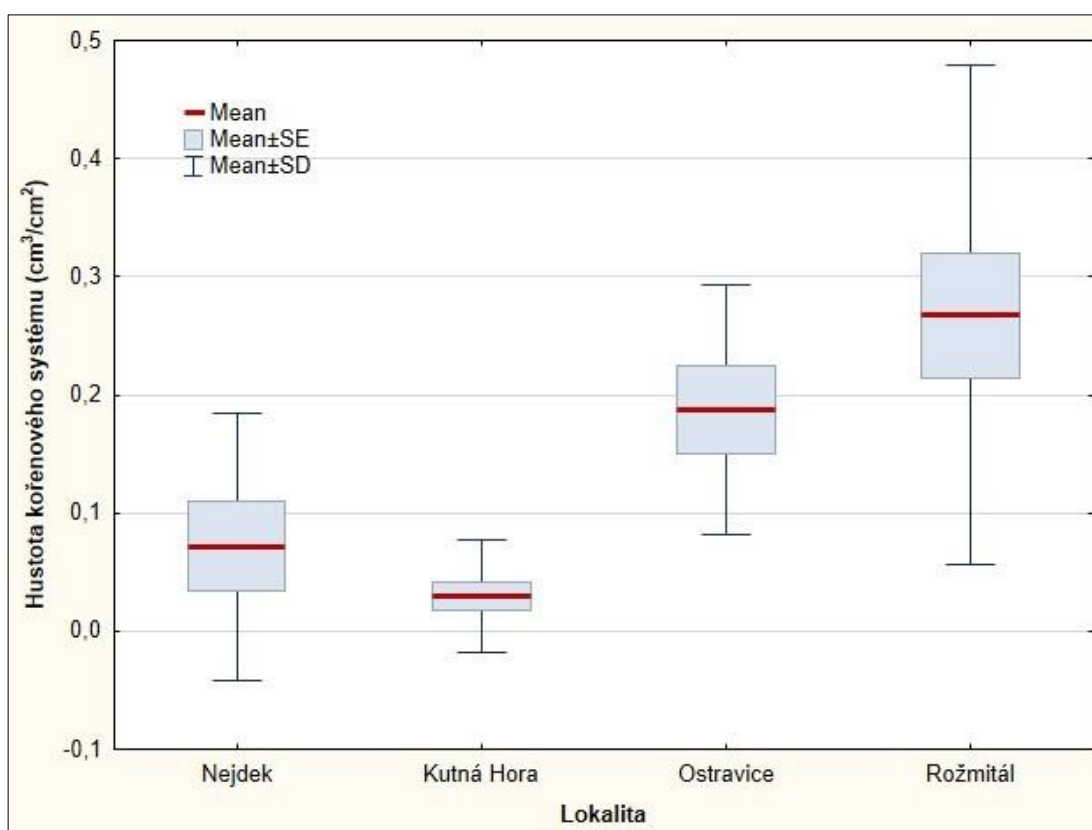


Obr. 17: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka.

Tab. 9: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 0-30 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 1,418292   | 2,190196  | 0,100613 |
| Kutná Hora | 1,418292 |            | 3,845882  | 1,558193 |
| Ostravice  | 2,190196 | 3,845882   |           | 2,554581 |
| Rožmitál   | 0,100613 | 1,558193   | 2,554581  |          |

Při porovnávání **hustoty kořenového systému v hloubce 31-60 cm** se statisticky signifikantně liší Nejdek (podzol) - Rožmitál (kambizem-skeletová) a Kutná Hora (pseudoglej) - Rožmitál (kambizem-skeletová) (Kruskal-Wallisův test, Tab.10). V této hloubkové třídě byla pozorována největší hustota kořenového systému na lokalitě Rožmitál (kambizem-skeletová) (Obr. 18).



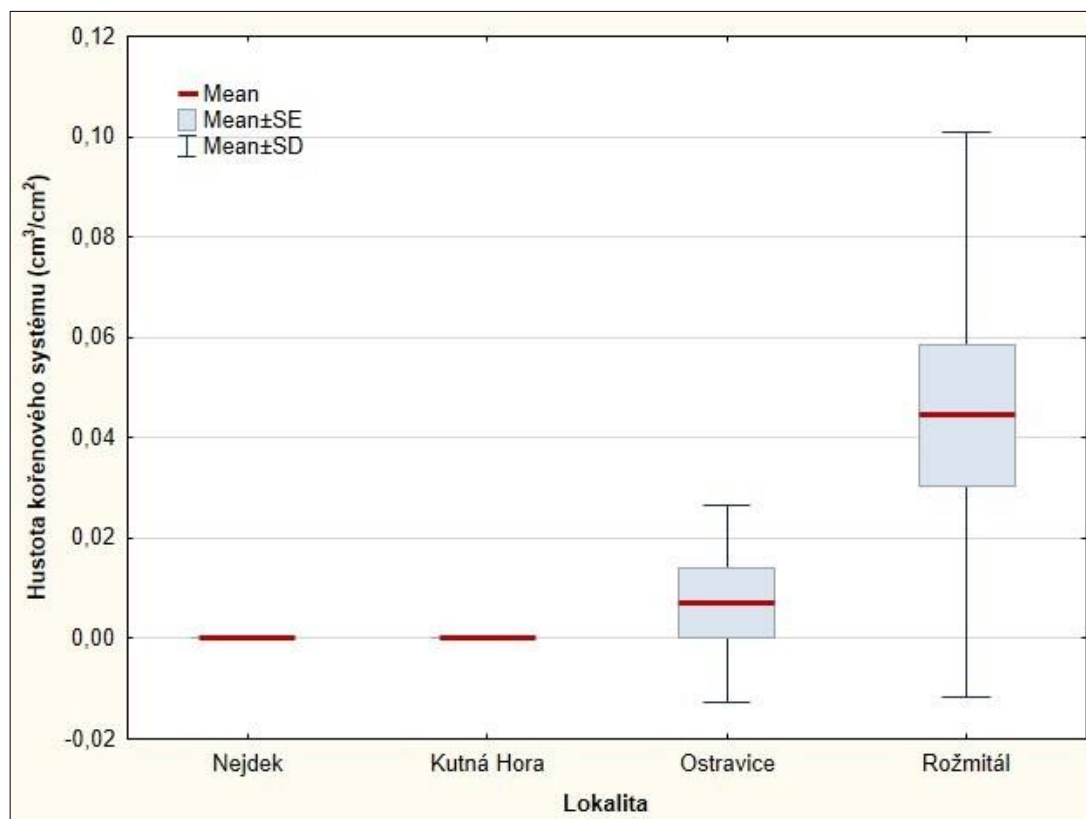
Obr. 18: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka.

Tab. 10: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě 31-60 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 0,000000   | 0,450000  | 2,824582 |
| Kutná Hora | 0,000000 |            | 0,510000  | 3,378861 |
| Ostravice  | 0,450000 | 0,510000   |           | 2,212980 |
| Rožmitál   | 2,824582 | 3,378861   | 2,212980  |          |



Při porovnávání **hustoty kořenového systému v hloubce nad 60 cm** se statisticky signifikantně liší Nejdek (podzol) - Rožmitál (kambizem-skeletová) a Kutná Hora (pseudoglej) - Rožmitál (kambizem-skeletová) (Kruskal-Wallisův test, Tab.11). Výsledky jsou obdobné jako při porovnávání objemu kořenového systému nad 60 cm - absence kořenů na lokalitách Nejdek a Kutná Hora, největší biomasa na lokalitě Rožmitál (kambizem-skeletová) (Obr. 19).



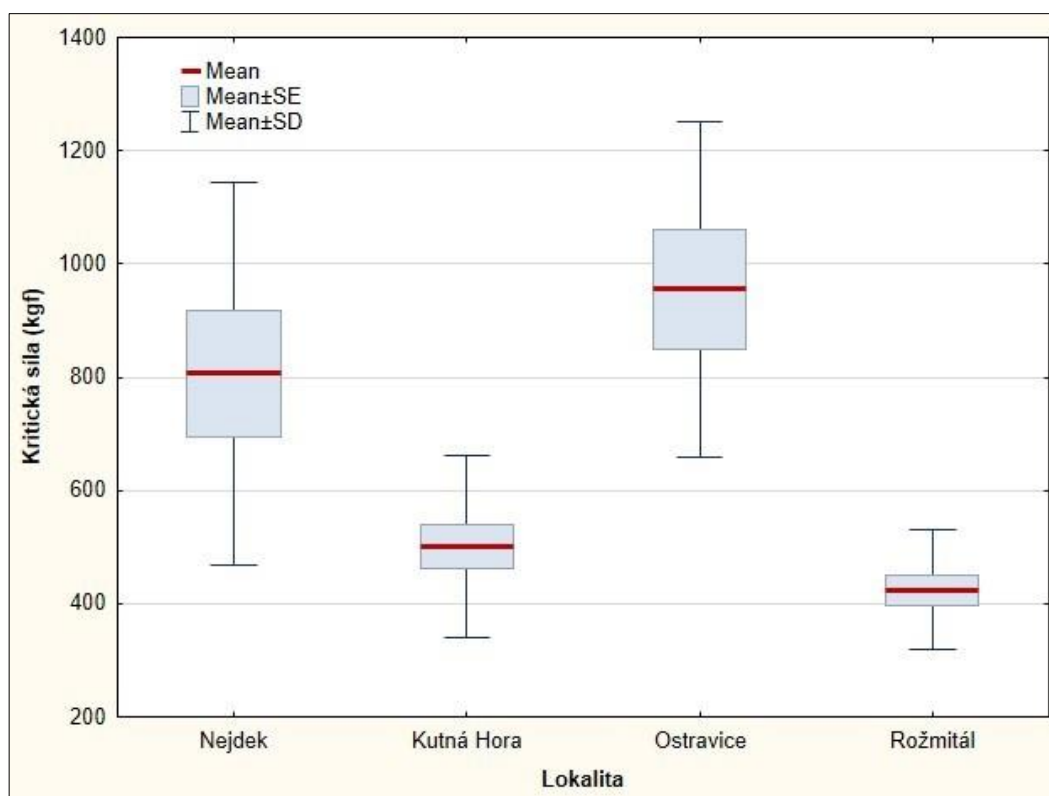
Obr. 19: Porovnání hustoty kořenového systému v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka.

Tab.11: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání hodnot hustoty kořenového systému v hloubkové třídě > 60 cm mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 0,063084   | 2,690196  | 3,538587 |
| Kutná Hora | 0,063084 |            | 2,988235  | 4,158320 |
| Ostravice  | 2,690196 | 2,988235   |           | 0,386158 |
| Rožmitál   | 3,538587 | 4,158320   | 0,386158  |          |

### 5.3 Korelace biomasy kořenového systému a mechanické odolnosti stromů

Dosažené hodnoty kritických sil nutných k vyvrácení stromu jsou zobrazeny na Obr. 20. Největších kritických sil bylo třeba na lokalitě Ostravice (kambizem), pak v Nejdku (podzol), dále v Kutné Hoře (pseudoglej) a nejmenší síly k vyvrácení byly použity na lokalitě Rožmitál (kambizem-skeletová). Tyto výsledky korespondují s výsledky celkového objemu kořenů (Obr.12), ale zde se již nachází statisticky signifikantní rozdíly (Tab. 12). Konkrétně se statisticky signifikantně liší lokality Nejdek (podzol) - Rožmitál (kambizem-skeletová), Kutná Hora (pseudoglej) - Trojanovice (kambizem) a Kutná Hora (pseudoglej) - Rožmitál (kambizem-skeletová).

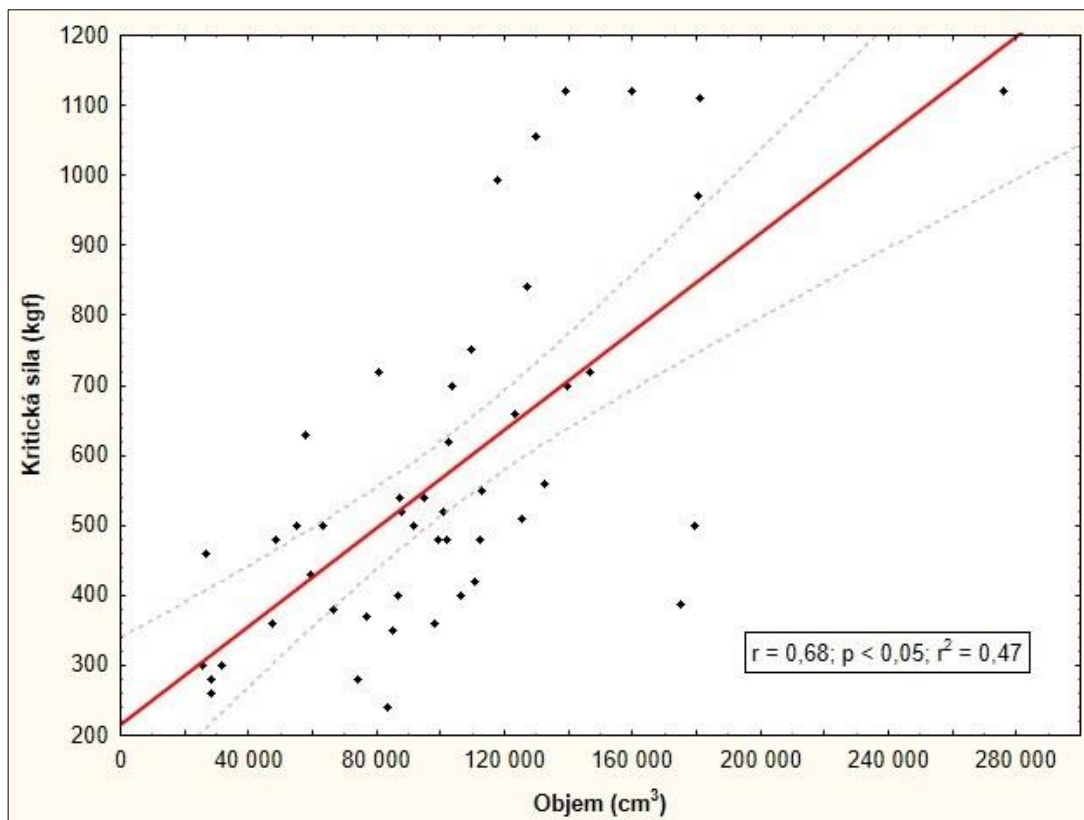


Obr. 20: Hodnoty kritické síly na jednotlivých lokalitách.  
Červená čára - průměr; obdélník - směrodatná chyba; svorky - směrodatná odchylka.

Tab. 12: Výsledky Kruskal-Wallisova testu porovnání biomasy kořenového systému a mechanické odolnosti stromů mezi lokalitami. Oranžově statisticky signifikantní rozdíly.

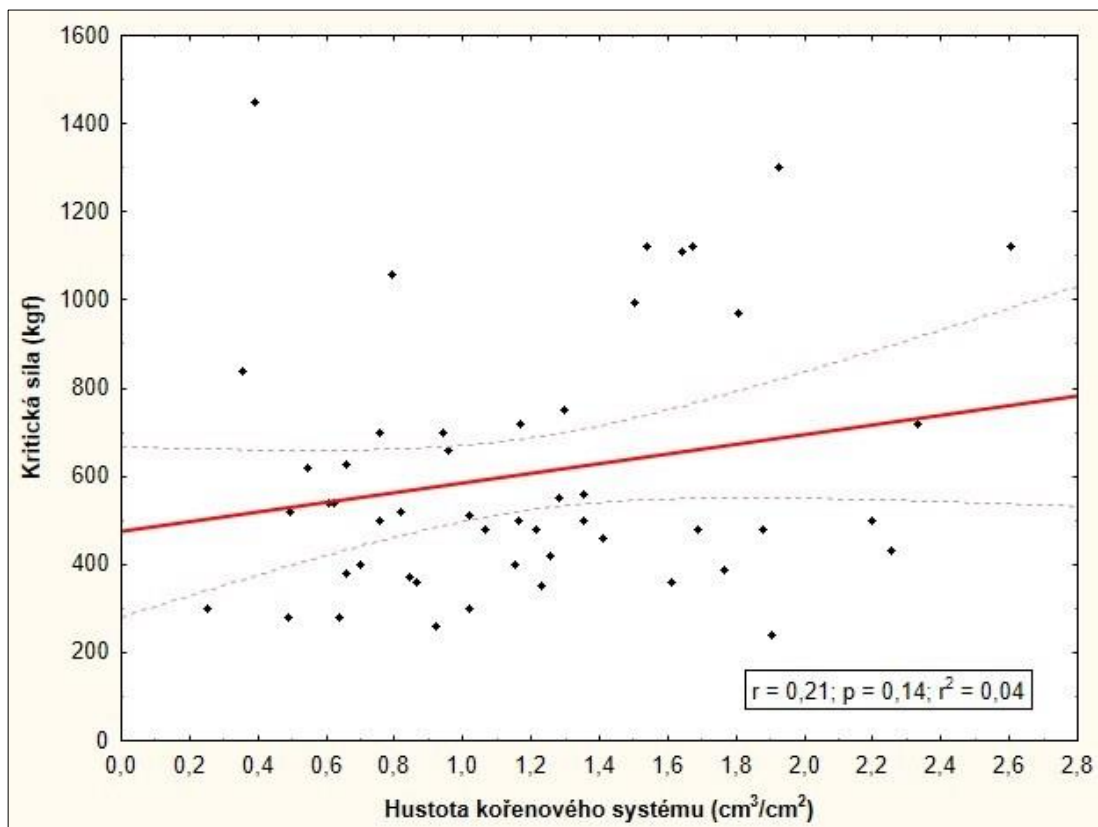
| Lokalita   | Nejdek   | Kutná Hora | Ostravice | Rožmitál |
|------------|----------|------------|-----------|----------|
| Nejdek     |          | 2,186715   | 0,831373  | 3,130993 |
| Kutná Hora | 2,186715 |            | 3,044706  | 1,157422 |
| Ostravice  | 0,831373 | 3,044706   |           | 3,945738 |
| Rožmitál   | 3,130993 | 1,157422   | 3,945738  |          |

**Naměřené hodnoty kritické síly signifikantně korelují s celkovým objemem kořenového systému ( $r = 0,68$ ,  $p < 0,05$ ; Obr. 21)., tzn. čím větší celkový objem kořenů stromu, tím větší hodnota kritických sil nutných k vyvrácení stromu.**



Obr. 21: Korelace objemu kořenového systému a kritické síly. Červená čára - průměr; čárkovaná čára = 95% konfidenční interval; černé body - jednotlivé kořenové systémy.

Naopak mezi kritickou silou potřebnou k vyvrácení stromů a celkovou hustotou kořenového systému nebyla nalezena statisticky signifikantní korelace ( $r = 0,21$ ;  $p = 0,14$ ; Obr. 22).



Obr. 22: Korelace hustoty kořenového systému a kritické síly. Červená čára - průměr; čárkovaná čára = 95% konfidenční interval; černé body - jednotlivé kořenové systémy.

## 6 DISKUSE

Data pro tuto bakalářskou práci byla získána ze čtyř lokalit v České republice s různými stanovištními a půdními podmínkami. Konkrétně šlo o 9 smrků na podzolu (lokalita Nejdek), 17 smrků na pseudogleji (lokalita Kutná Hora), 8 smrků na kambizemi (lokalita Ostravice) a 16 smrků na kambizemi s výrazným podílem skeletu (lokalita Rožmitál). Typově se jednalo o podobné porosty - zastoupení smrku ztepilého více než 80 %, věk nad 100 let. I dimenze stromů byly podobné - průměrná výška na lokalitách se pohybovala od 24,1 m do 28,8 m, průměrná výčetní tloušťka pak od 31,9 cm do 38,3 cm. Přestože porosty působí na první pohled podobně, v horizontální distribuci (ploše), vertikální distribuci (hloubce prokořenění) a celkové biomase (objemu) kořenových systémů byly pozorovány významné rozdíly, které hrají významnou roli v jejich mechanické odolnosti.

Pyatt (1966) píše, že smrky na vodou ovlivněných půdách dosahují výrazně menšího prokořenění, podobně i Konôpka (2002) uvádí, že smrky na podmáčených půdách mají kořenové systémy výrazně širší a mělčí než smrky, které rostou na půdách nepodmáčených. Nejvyšší průměrná plocha kořenového systému byla zaznamenána na pseudogleji (Kutná Hora), tedy na periodicky zamokřované půdě. Rottmann (1989) odůvodňuje mělčí kořenový systém na vodou ovlivněných půdách i nedostatečným prokysličením a tím ztíženou kořenovou respirací. Voda v kombinaci s oglejenou vrstvou nedovolí kořenovému systému prorůst do hlubších vrstev půdního profilu. To se odrazí na malé hloubce podzemní části kmene a na tenčích kořenech. Kořenový systém se roztáhne víc do dálky v malé hloubce pod povrchem, ale je zpravidla řídký (Konôpka, 2005).

Jen o málo menších ploch kořenových systémů dosahovaly smrky na podzolu (Nejdek). Jak na pseudogleji tak na podzolu byla zároveň zaznamenána mnohem menší vertikální distribuce kořenů půdním profilem než u zbývajících dvou lokalit. Maximální objem kořenů byl naměřen v hloubkové třídě do 30 cm, tedy těsně pod povrchem. Naopak v hloubkové třídě nad 60 cm kořeny zcela chyběly. Důvodem, proč na podzolu na lokalitě Nejdek pozorujeme podobné hodnoty jako na pseudogleji v Kutné hoře, by mohly být nevhodné chemické a fyzikální vlastnosti této půdy. Vlivem

podzolizace dochází postupným vyplavováním minerálních koloidních látek k ochuzení některých půdních horizontů (Vokoun a kol., 2002). Vliv nevhodných chemických a fyzikálních vlastností půdních horizontů na parametry kořenového systému zmiňuje např. Konôpka (2001) ve svém výzkumu ve Vysokých Tatrách.

Vysockij (1930) a Kačinskij (1925) dokázali, že mechanické složení půdy má velký vliv na rozšíření a formu kořenového systému dřevin a tím i na jejich odolnost vůči větru. Slávik (2016) píše, že se smrku nejlépe daří na svěžích hlinitopísčitých půdách. Na kambizemi (Ostravice) měly smrky výrazně menší průměrnou plochu kořenového systému a vůbec nejmenší plochy byly naměřeny na kambizemi ovlivněné skeletem (Rožmitál). Naopak vertikální distribuce kořenů půdním profilem zde byla zaznamenaná podstatně vyrovnanější. Největší objem kořenů ale stále nacházíme v hloubkové třídě do 30 cm. Potvrdila se tedy teze, že pro smrk je typický plochý kořenový systém s největším podílem biomasy kořenového systému těsně pod povrchem (např. Köstler a kol. 1968). Oproti ostatním lokalitám nacházíme podstatně větší část celkového objemu v hloubkové třídě 31-60 cm a kořeny zasahují i do hloubky nad 60 cm, a to především na kambizemi ovlivněné skeletem na lokalitě Rožmitál.

Podíl skeletu v půdě také významně ovlivňuje ukotvení kořenů. Z pravidla se se zvyšujícím množstvím skeletu zvyšuje i stabilita kořenů. Ty však musí mít možnost proniknout mezi kameny do hloubky. V opačném případě je vliv objemnějšího skeletu v půdě negativní. (Konôpka, 2001). V Rožmitále byla zaznamenaná druhá nejvyšší hustota prokořenění a největší podíl kořenů v hloubkové třídě nad 60 cm (v porovnání s ostatními lokalitami). Zjištěné hodnoty kritických sil nutných k vyvrácení stromu zde však byly nejnižší. Skelet tedy sice zapříčinil na lokalitě podstatně hlubší prokořenění, ale mechanická odolnost z hlediska hodnot kritických sil potřebných k vyvrácení stromu byla v porovnání s ostatními lokalitami nejnižší. Musíme vzít ovšem v potaz také to, že zde byl zjištěn nejmenší objem kořenů. Práce navíc probíhaly v sychravém počasí, při aktuální vlhkosti půdy řádově vyšší než při měřeních na jiných lokalitách. Dlouhodobá zvýšená vlhkost půdy způsobuje mnohem nižší soudržnost půdy a kořenů, proto se kořeny stromů již při nižších rychlostech

větru v takových půdách mohou začít pohybovat (Hütte, 1967). Tímto procesem se v okolí kořenů začnou vytvářet duté prostory, které se zaplní vodou. Mechanická odolnost stromů s takto uvolněnými kořeny podstatně klesá a vítr je může snadno vyvrátit (Konôpka, 2005).

## 7 ZÁVĚR

Byla provedena kvantifikace kořenových systémů na různých lokalitách České republiky a byl zhodnocen vliv těchto stanovišť na biomasu kořenového systému, resp. na mechanickou odolnost smrku ztepilého.

Práce z velké části potvrdila předpokládané výsledky, které se v mnohém shodují s výzkumy jiných autorů. Rozdíly v naměřených hodnotách jsou potom pravděpodobně způsobeny kombinací mnoha faktorů jako třeba rozdílný věk zkoumaného porostu, nadmořská výška, jiné metodologické postupy a podobně. Klíčové jsou výrazné rozdíly v ploše kořenového systému mezi jednotlivými lokalitami a rozdíly v objemu kořenů v hlubších hloubkových třídách (pod 30 cm). Zatímco celkové objemy kořenů a objemy kořenů do 30 cm se statisticky signifikantně v rámci lokalit neodlišovaly, rozdíly v hloubkách nad 30 cm již byly statisticky signifikantní. Výrazný podíl kořenů v hloubce nad 30 cm byl zaznamenán pouze na v ČR nejrozšířenějším půdním typu - kambizemi. Mechanická stabilita smrku byla ovlivněna především na celkovou biomasou kořenového systému, hustota kořenů se jeví jako výrazně méně významná.

Výsledky sice potvrdily již známá fakta a vazby mezi vývojem kořenového systému a stanovištními podmínkami, jedná se však o pro naše podmínky unikátní data, kvantifikující kořenový systém smrku v mýtním věku s ucelenou metodikou zjišťování objemu kořenů a jeho vlivu na mechanickou stabilitu smrkových porostů na různých stanovištích. Získaná data mohou tvořit základ pro budoucí výzkum biomasy kořenového systému nejen při hodnocení biomasy kořenů s ohledem na půdní poměry a vazby na stabilitu porostů, ale i při sesterských výzkumech jako např. vázání CO<sub>2</sub> v ekosystémech, potenciálního využití biomasy kořenů nebo hodnocení významu hustoty a celkové plochy prokořenění při vzájemné komunikaci stromů.



## 8 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

CAIRNS, M.A., S. BROWN, E.H. HELMER a G.A. BAUMGARDNER. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. Berlin: Springer-Verlag, 1997, (111), 1-11.

HOCHTANNER, G. Waldbauliche Probleme auf labilen Fichtenstandorten. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*. Dransfeld: J.D. Sauerländer's Verlag, 1967, 310-312

HÜTTE, P. Die standortlichen Voraussetzungen der Sturmschäden. *Forstwissenschaftliches centralblatt*, 1967, (86), 276-295

KAČINSKIJ, N. A. Kornevaja sistema rastenij v počvach podzolistogo tipa., 1925. Cit. In: KODRÍK, M. *Výskumy podzemnej biomasy a jej zdravotného stavu hlavných hospodárskych drevín Slovenska: Habilitačná práca*. Zvolen: Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied Zvolen, 1999.

KODRÍK, M. *Výskumy podzemnej biomasy a jej zdravotného stavu hlavných hospodárskych drevín Slovenska: Habilitačná práca*. Zvolen: Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied Zvolen, 1999.

KONÔPKA, B. Porovnanie ukotvenia smreka obyčajného (*Picea abies* L. Karst) a jedle bielej (*Abies alba* Mill.) v zmiešanom jedľovo-smrekovom poraste. *Lesnícky časopis: Forestry Journal*. Zvolen: Lesnícky výskumný ústav, 1997, **43**(4), 221-227.

KONÔPKA, B. Relationship between parameters of the aboveground parts and root systém in Norway spruce with respect to soil drainage. *Ekológia*. Bratislava: Slovenská akadémie vied, 2002, (21), 155-165.

KONÔPKA B. Vlastnosti koreňových systémov smreka obyčajného na dvoch stanovištiach s rôznym vodným režimom. In: KONÔPKA, B. *Zborník prednášok VII: Zjazd SSPLPVV při SAV*, 2005, 127-136.

KONÔPKA, B., J. PAJTÍK a M. LUKAC. Výskum vzťahov medzi pôdnymi pomermi a vlastnosťami koreňových systémov smreka obyčajného vo Vysokých Tatrách. In: KONÔPKA, B. *Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi: Vědecký recenzovaný zborník*. Zvolen: Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2010, 227-238.

KONÓPKA, B. a Z. STEINER. Biomass of Norway Spruce and Silver Fir Rootlets in a Mixed Spruce-Fir Stand. In: *Perspectives of the Ecological Research in Mountain Forest Ecosystems*. Zvolen: Lesnický výzkumný ústav, 2001, 90-91.

KÖSTLER, J. N., E. BRÜCKNER a H. BIBELRIETHER. *Die Wurzeln der Waldbaüme*. Hamburg und Berlin: Paul Parey, 1968.

KOZŁOWSKI, T. T. a S. G. PALLARDY. *Physiology of Woody Plants*. San Diego: Academic Press, 1997.

MAYER, H. *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. Stuttgart: G. Fisher Verlag, 1984.

OSZLÁNYI, J. *Analýza ekologickej situácie vo vybraných lesných ekosystémoch ovplyvnených ľudskou činnosťou: Závěrečná zpráva*. Bratislava: ÚEB SAV, 1990.

PAGAN, J. *Lesnícka dendrológia*. Zvolen: TU Zvolen, 1992.

PYATT, D.G. The soils and windthrow surveys of Newcastleton Forest. *Scottish Forestry*. Roxburghshire, 1966, 176-183.

RODENWALDT, U. Waldbauliche Lehren aus der Windwurf - Katastrophe 1967. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*. Dransfeld: J.D. Sauerländer's Verlag, 1973, (141), 125-133.

ROTTMANN, M. *Wind- und Sturmschäden im Wald*. Dransfeld: J.D. Sauerländer's Verlag, 1989

SCHLAMADINGER, B., L. CANELLA, G. MARLAND a J. SPITZER. Bioenergy strategies and the global carbon cycle. *Science géologiques*. Strasbourg: Persée, 1997, **50**(1-4), 157-182.

SCHMIDT, P. A. Beitrag zur Kenntnis der in Deutschland anbaufähigen Fichten. (Gattung *Picea* A. Dietr.). *Mitteilungen der Deutschen dendrologischen gesellschaft*. Wendisch-Wilmersdorf: Deutschen dendrologischen gesellschaft, 1991, (80), 7-72.

SLÁVIK, M. a V. BAŽANT. *Dřevařská dendrologie I.: Dřeviny nahosemenné - Gymnospermophytae*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016.

VOKOUN, J. a kol. *Příručka pro průzkum lesních půd: Taxonomický klasifikační systém půd ČR (Jan Němeček a kol.) v lesnické praxi*. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 2002.

VYSOCKIJ, G. N. Kak sadit' les v načich stepjach i kak za nim uchaživat., 1930. Cit. In: KODRÍK, M. *Výskumy podzemnej biomasy a jej zdravotného stavu hlavných hospodárskych drevín Slovenska: Habilitačná práca*. Zvolen: Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied Zvolen, 1999.

#### INTERNETOVÉ ZDROJE:

CAUDULLO, G., TINNER, W. a D. DE RIGO. *Picea abies* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: SAN-MIGUEL-AYANZ, J., DE RIGO, D., CAUDULLO, G., HOUSTON DURRANT, T. a A. MAURI (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, 2016, e012300+

DRUIDOVA MYSTÉRIA. *Stromy, křoviny a lesy: (botanický, historický a hospodářský exkurz)*. In: *Stromy, křoviny a lesy* [online]. *Druidova mystéria* [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [http://druidova.mysteria.cz/STROMY/STROMY\\_KROVINY\\_LESY.htm](http://druidova.mysteria.cz/STROMY/STROMY_KROVINY_LESY.htm)

EARLE, CH.J. In: *The Gymnosperm Database* [online]. The Gymnosperm Database, 2019 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.conifers.org/pi/pi/a/abies03.jpg>

KNÍŽEK, M. a J. LIŠKA. *Zpravodaj ochrany lesa Supplementum 2018: Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 2017 a jejich očekávaná stav v roce 2018*. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2018.

KRÁSA, P. *PICEA ABIES (L.) H. Karst - smrk ztepilý/smrek obyčejný*. *BOTANY* [online]. *BOTANY*, 2007, 15.7.2007 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/picea-abies/>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky 2017*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018.

## 9 PŘÍLOHY

Příloha 1: Zápisek pro kvantifikaci kořenového systému.

|              |           |
|--------------|-----------|
| Datum        | 26.7.2017 |
| Lokalita     | Trojance  |
| Číslo stromu | Troj 9    |

**Tab. D) Podzemní část kmene**

*Podzemní část kmene (udává se na základě dvou kolmých měření)*

|  |    |
|--|----|
| Tloušťka podzemní části kmene – vrchol /t.j. $d_{0,0}$ (cm)/ | 40 |
| Tloušťka podzem. části kmene – báze (cm)                     | 40 |
| Výška podzem. části kmene (cm)                               | 35 |

*Kořenové náběhy (udává se průměr na základě dvou kolmých měření)*

| Kořenový náběh (pořadové číslo) | Tloušťka na bázi /hranice s kmenem/ (cm) | Tloušťka ve středu (cm) | Tloušťka na konci (cm) | Délka (cm) |
|---------------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------|
| č. 1                            | 20                                       | 13                      | 10                     | 60         |
| č. 2                            | 11                                       | 11                      | 8                      | 65         |
| č. 3                            | 10                                       | 10                      | 7                      | 17         |
| č. 4                            | 23                                       | 23                      | 22                     | 35         |
| č. 5                            | 17                                       | 9                       | 7                      | 35         |
| č. 6                            |  |                         |                        |            |
| č. 7                            |  |                         |                        |            |
| č. 8                            |  |                         |                        |            |
| č. 9                            |  |                         |                        |            |
| č. 10                           |  |                         |                        |            |

**Tab. E) Kořenový systém**  
**Rozměry kořenového systému /vývratu-talíře/ (cm)**

|            |     |
|------------|-----|
| Výška (cm) | 200 |
| Šířka (cm) | 440 |

**Kořenový systém (udává se průměr na základě dvou kolmých měření)**

| Hloubková třída (cm) | Tloušťková třída (cm)                  | Délka (cm)   |
|----------------------|--|--|
| <b>0-30</b>          | Celková délka kořenů s tloušťkou < 2,5 | $850 + 700 + 11 = 1561$  |
|                      | 2,5-5,0                                | $25 + 21 + 18 + 20 + 19 + 18 + 17 + 17 + 18 + 20 + 10 + 10 + 20 + 13 + 30 + 25 + 17 + 50 + 25 + 40 + 20 + 14 + 23 = 490$ |
|                      | 5,0-7,5                                | $15 + 17 + 9 + 20 + 19 + 23 + 18 + 18 = 139$   |
|                      | 7,5-10,0                               | $13 + 17 + 11 + 17 + 25 + 40 + 14 = 137$   |
|                      | 10,0-12,5                              | $24 + 23 = 47$   |
|                      | 12,5-15,0                              | $19 + 40 = 59$   |
|                      | 15,0-17,5                              | <del>10</del> $10 + 30 + 18 = 58$  |
|                      | 17,5-20,0                              | 20   |
|                      | 20,0-22,5                              |  |
|                      | 22,5-25,0                              |  |
|                      | 25,0-27,5                              |  |
|                      | 27,5-30,0                              | 20   |

| Hlubková třída (cm) | Tloušťková třída (cm)                  | Délka (cm)  |
|---------------------|--|---|
| <b>31-60</b>        | Celková délka kořenů s tloušťkou < 2,5 | $870 + 18 + 10 + 30 = 928$  |
|                     | 2,5-5,0                                | $17 + 25 + 17 + 10 + 16 + 16 + 21 + 22 + 15 + 18 + 26 + 23 + 12 + 8 + 10$ |
|                     | 5,0-7,5                                | $23 + 17 + 17 + 15 + 10 + 14 = 96$  |
|                     | 7,5-10,0                               | 0   |
|                     | 10,0-12,5                              |   |
|                     | 12,5-15,0                              |   |
|                     | 15,0-17,5                              |   |
|                     | 17,5-20,0                              |   |
|                     | 20,0-22,5                              |   |
|                     | 22,5-25,0                              |   |
|                     | 25,0-27,5                              |   |
|                     | 27,5-30,0                              |   |

$27 + 15 + 30 + 12 + 10 + 30 + 15 = 100$

|                |  |                         |
|----------------|--|-------------------------|
| <b>&gt; 60</b> | Celková délka kořenů s tloušťkou < 2,5 | $865 + 110 + 30 = 1005$ |
|                | 2,5-5,0                                | $17 + 9 + 13 = 39$      |
|                | 5,0-7,5                                | $17 + 10 = 27$          |
|                | 7,5-10,0                               |                         |
|                | 10,0-12,5                              |                         |
|                | 12,5-15,0                              |                         |
|                | 15,0-17,5                              |                         |
|                | 17,5-20,0                              |                         |
|                | 20,0-22,5                              |                         |
|                | 22,5-25,0                              |                         |
|                | 25,0-27,5                              |                         |
|                | 27,5-30,0                              |                         |