

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE ČZU

Lesnická a dřevařská fakulta

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Návrh metodiky hodnocení odolnosti stromu proti vyvrácení**

Diplomová práce

2019/2020

Bc. Edita Schramm

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci: Návrh metodiky hodnocení odolnosti stromu proti vyvrácení zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Česká zemědělská univerzita v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

„Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém“

V Praze, dne 29. 6. 2020

Podpis studenta:

## **Poděkování**

*Na tomto místě bych ráda poděkovala v první řadě mému vedoucímu práce prof. Dr. Ing. Petru Horáčkovi za jeho odborný dohled nad psaním této práce, četné rady, doporučení a možnosti získat v dané problematice rozhled. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za aktivní podporu a motivaci a v neposlední řadě svému synovi za trpělivost.*

## **Abstrakt**

Nepostradatelná role stromů v krajině si žádá i správný přístup k péči o ně. Správná péče tkví v adekvátním a přesném zhodnocení stavu dřeviny proto je cílem této práce stanovení objektivnějšího postupu pro určení bezpečnosti stromu z hlediska vývratu stromu a zlomu kmene stromu. Stanovení rizikovosti z hlediska vývratu i zlomu proběhlo pomocí výpočtu bezpečnostních koeficientů pro zlom i pro vývrat. Tyto koeficienty byly následně porovnány se štíhlostními poměry. První štíhlostní poměr vychází z poměru výšky stromu a průměrem kmene a druhý poměr počítá s výškou těžiště a průměrem kmene. Z výsledků plyne, že štíhlostní koeficienty jsou nedostatečné pro stanovení bezpečnosti z hlediska vývratu, ale naopak je patrná korelace mezi štíhlostním koeficientem a bezpečnostním koeficientem pro zlom kmene. Zjednodušený výpočet pro výpočet stability stromu by se měl stát součástí současných standardů AOPK Hodnocení stromů. Určení stability by se tak stalo objektivnější.

**Klíčová slova:** vývrat, zlom, stabilita, štíhlostní poměr, strom

## **Abstract**

The indispensable role of trees in the landscape also requires the correct approach to their care. Proper care depends on the adequate and accurate assessment of the condition of the tree; thus the aim of this work is to determine a more objective design for determining the safety of the tree in terms of tree uprooting and breakages of the tree trunk. The determination of the risk in terms of uprooting and tree breakages was performed by calculating the safety coefficients for both tree breakages and tree uprooting. These coefficients were then compared with slenderness ratios. The first slenderness ratio is based on the ratio of the height of the tree to the diameter of the trunk, and the second ratio is based on the height of the centre of gravity and the diameter of the trunk. The results show that the slenderness coefficients are insufficient to determine the safety in terms of the tree uprooting, but on the contrary, a correlation is evident between the slenderness coefficient and the safety coefficient for tree breakage. The simplified calculation for calculating tree stability should become part of the current AOPK Tree Evaluation standard. This would make the determination of stability more objective.

**Key words:** tree uprooting, tree breakage, slenderness ration, tree

# OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	Cíl práce .....	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	9
3.1	Strom v krajině .....	9
3.1.1	Prostorové uspořádání dřevin .....	9
3.2	Pozitivní vliv a funkce stromů .....	10
3.2.1	Mikroklimatický význam .....	10
3.2.2	Zachytávání škodlivin .....	12
3.2.3	Snižování hlučnosti .....	13
3.2.4	Psychický a rekreační význam .....	14
3.2.5	Kulturní a estetický význam .....	15
3.2.6	Hospodářský význam .....	15
3.3	Negativní vlivy stromů .....	16
3.4	Strom jako biotop .....	17
3.5	Hodnocení stavu stromů .....	18
3.6	Stabilita stromu .....	20
3.7	Vývrat stromů .....	20
3.8	Zlom stromů .....	21
4	METODIKA .....	22
4.1	Práce v terénu .....	22
4.2	Vyhodnocení naměřených údajů .....	22
4.3	Výpočty .....	23
4.3.1	Výpočet bezpečnostního koeficientu pro vývrat stromu .....	23
4.3.2	Výpočet bezpečnostního koeficientu pro zlom kmene stromu .....	25
4.3.3	Výpočet dle štíhlostních koeficientů .....	26
4.4	Statistické vyhodnocení .....	26
5	VÝSLEDKY .....	27
5.1	Vyhodnocení výpočtů .....	27
5.1.1	<i>Tilia</i> shrnutí .....	27
5.1.1.1	Vývrat .....	27
5.1.1.2	Zlom .....	29
5.1.2	<i>Acer</i> shrnutí .....	30
5.1.2.1	Vývrat .....	30
5.1.2.2	Zlom .....	32
5.1.3	<i>Betula</i> shrnutí .....	33
5.1.3.1	Vývrat .....	33
5.1.3.2	Zlom .....	35
5.1.4	<i>Fraxinus</i> shrnutí .....	36
5.1.4.1	Vývrat .....	36
5.1.4.2	Zlom .....	38
5.1.5	<i>Aesculus</i> shrnutí .....	39

5.1.5.1	Vývrat.....	39
5.1.5.2	Zlom .....	41
5.2	Srovnání štíhlostního koeficientu a bezpečnostního koeficientu.....	42
5.2.1	Srovnání bezpečnostního koeficientu pro vývrat a štíhlostního poměru s celkovou výškou stromu.....	42
5.2.2	Srovnání bezpečnostního koeficientu pro zlom a štíhlostního poměru s celkovou výškou stromu	43
5.2.3	Srovnání bezpečnostního koeficientu pro vývrat a štíhlostního poměru s výškou těžiště stromu	43
5.2.4	Srovnání bezpečnostního koeficientu pro zlom a štíhlostního poměru s výškou těžiště stromu	44
5.3	Statistické vyhodnocení.....	45
6	DISKUZE .....	49
7	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE .....	51
8	SUMMARY.....	52
9	7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
9.1	Knižní zdroje.....	53
9.2	Internetové zdroje .....	55
10	SEZNAM PŘÍLOH .....	57
10.1	Tabulkové přílohy.....	57

# 1 ÚVOD

Strom jako nepostradatelnou součást městské i krajinné zeleně je nutné chránit, jak pro jeho funkce tak i významný vliv na okolí. Je živým biologickým systémem, který působí polyfunkčně. Je schopen ovlivnit své nejbližší stanoviště, jakožto prvek vytvářející specifický biotop či mikroklima, stejně tak dokáže ovlivnit i širší lokalitu. Stromy díky svému krajino tvornému významu mají i estetickou funkci v krajině a mohou figurovat jako liniové prvky dokreslující struktury krajiny ve formě stromořadí lemujících cestní sítě. V neposlední řadě metabolismus stromů ovlivňují globální faktory, jako je klima, koloběh vody a řady prvků a látek nebo recyklace vody v malých vodních cyklech. S tímto základním výčtem přínosů je strategické nejen stromy vysazovat, odborně o ně pečovat, ale hlavně podnikat odborná opatření k udržení vzrostlých stromů na stanovišti i na úrovni jedince. Arboristická praxe, která se odborným ošetřováním stromů zabývá, disponuje celou řadou zásahů pro zlepšení zdravotního stavu, vitality a stability stromů. Těmto zásahům však musí předcházet správný návrh ošetření v návaznosti na správné a jednoznačné zhodnocení dřeviny. Ke správnému zhodnocení nám v praxi slouží standard Agentury ochrany přírody a krajiny s názvem Hodnocení stavu stromů. Tento standard však vychází pouze z vizuálního posouzení rozsahu zjištěných defektů a jejich možného vlivu na stabilitu jedince, nikoli předvídání okamžiku selhání. Což se jeví jako nedostatečné. Při vizuálním hodnocení stavu stromů je součástí šetření pouze vizuální hodnocení odolnosti proti zlomu nikoliv vývratu. Podle standardů lze dosáhnout reprezentativní charakteristiky odolnosti stromů proti vyvrácení jen s využitím vybraných přístrojových metod. Využití těchto metod je finančně náročné při myšlence plošné aplikace. Předkládaná diplomová práce na téma „Návrh metodiky hodnocení odolnosti stromu proti vyvrácení“ si klade za cíl stanovení exaktního postupu pro výpočet rizika selhání dřevin zahrnující zlom kmene i vývrat stromu. Postup je sestaven na základě analytického výpočtu průhybu nosníku a vetknuté desky. Vychází tedy z již teoreticky popsané mechanické odezvy stromu na zatížení a tím přispívá k objektivnějšímu hodnocení dřevin v oblasti stability z hlediska selhání stromu včetně odolnosti kořenového systému.



## 2 Cíl práce

Práce upozorňuje na důležitou roli stromu v krajině i nepostradatelnou funkci při zachování specifických biotopů. Dále se zabývá návrhem nové metodiky při hodnocení stability stromu pro AOPK. Klade za cíl stanovení exaktního postupu pro výpočet rizika vývratu stromu a tím i zjednodušení hodnocení dřevin v oblasti stability z hlediska selhání kořenového systému. Dílčím cílem je pak upozornit na význam hodnocení pravděpodobnosti vývratu v porovnání s výpočtem odolnosti kmene vůči zlomu

## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1 Strom v krajině

#### 3.1.1 Prostorové uspořádání dřevin

Krajinnou zelení označujeme vegetaci rostoucí mimo les, která slouží k zachování a obnově přírodních a krajinných hodnot území. Tato zeleň patří k naší zemědělské krajině, a vzhledem k celé řadě pozitivních vlivů na krajinu je její role zcela nenahraditelná (Kolařík a kol., 2003).

Prvky krajinné zeleně tvoří tři typy útvarů dle (e-knihovna Mendelu, 2012):

1. **Bodové** – solitérní stromy a drobné shluky křovin. Jako solitéry jsou označovány samostatně rostoucí dřeviny nebo až 3 jedinci vyskytující se blízko u sebe. Ve své dominanci jsou tyto dřeviny vystaveny poměrně extrémním podmínkám. Solitéry se používají zejména k oživení větších trávníkových ploch, k vytvoření stínu u odpočívadel v parcích nebo na rozdělení průhledů.
2. **Liniové** – stromořadí, větrolamy, břehové porosty, izolační zeleň kolem zemědělských areálů, meze nebo lemy teras. Řešená je zejména problematika stromořadí. Pro stromořadí je charakteristické to, že jsou stromy vysázeny v pravidelných rozestupech. Stromy jsou zde značně omezeny prostorem. Tato forma výsadby se používá například podél silnic, náměstí, ulic apod.
3. **Plošné** – polní remízky a prameniště s dřevinami. Skupiny stromů jsou základní a nejčastěji používanou formou výsadby zeleně a lze je dělit podle hustoty výsadby na: a) zapojené, b) volné nebo rozvolněné, c) otevřené a na

tzv. d) zahuštěnou výsadbu. Ve skupině zapojené se dřeviny brzy po výsadbě vzájemně dotýkají a působí jako jeden celek. Otevřené skupiny jsou vysazovány tak, aby byly i později průhledné.

Prvky rozptýlené zeleně jsou často zařazeny do územního systému ekologické stability (ÚSES), jehož cílem je propojit přírodní plochy sítí liniových a plošných útvarů tak, aby byl obnoven kontakt mezi populacemi jednotlivých druhů na vzdálených lokalitách tzv. defragmentizace krajiny. (Ministerstvo životního prostředí 2017).

### **3.2 Pozitivní vliv a funkce stromů**

Stromy v krajině mají celou řadu funkcí a pozitivních vlivů. Při bližším zaměření na antropogenní krajinu může být jejich význam rozdělen do následujících hlavních kategorií: 1) mikroklimatický, 2) zdravotní (zachytávání škodlivin), 3) protihlukový, 4) psychický a rekreační, 5) kulturní a estetický a 6) hospodářský (ekonomický). Mimoto poskytují také další funkce, jako například prostředí pro další rostliny a živočichy nebo regulace a zadrž srážkové a odtokové vody (Bolund a Hunhammar, 1999; Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Jansson, 2013).

#### **3.2.1 Mikroklimatický význam**

Stromy v krajině významnou měrou přispívají k regulaci mikroklimatu a jejich význam je zmiňován a studován zejména v kontextu městského prostředí. Stromy v městském prostředí tlumí výkyvy teplot, přispívají k nižšímu ohřívání vzduchu a zvyšují relativní vlhkost vzduchu. K tomu přispívají prevencí zahřívání budov a dalších městských infrastruktur omezením slunečního záření dopadajícího na jejich povrch díky stínění a evapotranspirací (Bolund a Hunhammar, 1999; Dimoudi a Nikolopoulou, 2003; Georgi a Zafiriadis, 2006; Gago a kol., 2013; Gómez-Baggethun and Barton, 2013).

Kupříkladu ve větších porostech dřevin bývá v letním období teplota v průměru až o 3,5 °C nižší než na solární radiaci přímo exponovanému prostranství. Eliasson (1996) dokonce uvádí, že rozdíl mezi průměrnou teplotou v parku a městským centrem může být až 4 °C. Významný vliv stromů pro regulaci teploty, a tím i úsporu energií, v městském prostředí demonstruje například také Akbari (1997) nebo

Bolund a Hunhammar (1999). Akbari (1997) uvádí, že stín poskytnutý stromy způsobil významný pokles teploty povrchu exteriéru budov a přinesl také sezónní snížení spotřeby energie na klimatizaci dvou domácností v Sacramentu (Kalifornie) o přibližně 30 %, což odpovídá průměrným denním úsporám 3,6 a 8 kWh/d. Vzrostlý a vodou dobře zásobený strom může během jednoho dne odpařit až 400 l vody, čímž z ovzduší odčerpá přibližně 280 kWh tepelné energie a přispívá tak k regulaci teploty v mikroklimatickém měřítku. Nashromážděná energie se následně uvolňuje v noci při kondenzaci páry. V zimním období brání stromy vysázené v blízkosti budov jejich vysokým tepelným ztrátám (snížení o 20 až 50 %) prostřednictvím zmírnění proudění studeného vzduchu (Enviweb, 2012).

Zeleň může zvyšovat vlhkost vzduchu v průměru o 5 až 7 % prostřednictvím výparu vody, a to hned několika způsoby: (a) evapotranspirací (výpar z půdy a transpirace rostlin), (b) odparem rosy zkondenzované na povrchu vegetace a (c) odparem zachycených srážek. Při měřeních prováděných v České republice bylo zjištěno, že v městských parcích je vzdušná vlhkost ve dne o 5–10 % vyšší než uvnitř zastavěné části města. Večer se rozdíly mohou zvyšovat až na 20 %. Objem vody uvolněný za den ze stromu při transpiraci je závislý na objemu koruny (Bernatzky in Kolařík, 2003):

- Objem koruny 2700 m<sup>3</sup> uvolní za den přibližně 500 l vody,
- objem koruny 700 m<sup>3</sup> uvolní za den přibližně 400 l vody a
- objem koruny 25 m<sup>3</sup> uvolní za den přibližně 10 l vody.

Stromy v krajině mohou mimoto přispívat také k snižování rychlosti větru (Akbari 1997; Bolund a Hunhammar, 1999; Georgi a Zafiriadis, 2006; Gago a kol., 2013), respektive regulovat horizontální proudění vzduchu. Akbari (1997) při svém výzkumu zjistil, že stromy mohou snížit rychlost větru o 13–16 %. Zároveň ale udává, že jejich efektivita při redukci rychlosti větru může být ještě vyšší. V městském prostředí je síla proudění větru podstatně snížena díky zástavbě. Vegetace má funkci větrolamů v městském prostředí pouze na některých vhodných stanovištích, především v okrajových částech měst. Na návětrné straně může na základě výzkumů dojít ke snížení rychlosti větru o 30–50 % na vzdálenost 15–20násobku výšky větrolamu (Minářová, 2013). Redukci rychlosti větru až o 50 % zmiňuje například také Gago a kol., (2013). Zelené infrastruktury mohou na mikroklimatické úrovni ovlivňovat také vertikální proudění vzduchu. Během dochází

k poklesu relativně chladnějšího vzduchu uvnitř porostů k zemskému povrchu, zatímco okolní teplý vzduch je vytlačován do stran a stoupá vzhůru (Minářová, 2013).

Z hlediska makroklimatického je nezbytné také zmínit jejich význam například při uvolňování kyslíku a sekvestraci a ukládání uhlíku při fotosyntéze (Leung et al., 2011; Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Jansson, 2013).

### **3.2.2 Zachytávání škodlivin**

Jednou z velmi důležitých a studovaných funkcí stromů a zeleně obecně v antropogenní krajině je zachytávání škodlivin a tím také pozitivní vliv na zdraví člověka. V městském prostředí jsou škodliviny zachytávány zejména ze vzduchu, čímž dochází k pozitivnímu vlivu na jakost vzduchu. Při regulaci ovzduší stromy kromě produkce kyslíku částečně zbavují vzduch škodlivých plynů (zejména zplodiny z dopravy a průmyslu, jako jsou např. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO aj.), částic pachu apod. (Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Janhäll, 2015). Bernatzky (1983) in Bolund a Hunhammar (1999) uvádí, že vegetace v parku může odfiltrovat až 85 % znečištění ovzduší, zatímco stromy na ulici přibližně 70 %.

Efektivita vegetace ve snižování znečištění ovzduší závisí na řadě proměnných, jako jsou například tvar koruny, typ olistění a rozměry stromu (Carvalho a Szlafsztein, 2019). Prachové částice se usazují na listech a srážkami jsou následně splavovány do půdy (Janhäll, 2015). Mohou být ale také ukládány v listech, kmenech a kořenech (Gómez-Baggethun and Barton, 2013). Význam stromů pro zachytávání prachových částic je dán především mnohonásobně větší plochou listů, než je vlastní povrch terénu, a také uspořádáním listového povrchu. Efektivnější jsou v zachytávání prachových částic druhy, které mají koruny stromů tvořené drobnými lístky s drsnějším povrchem. Kupříkladu na 1 m<sup>2</sup> povrchu listu jilmu se zachytí 6krát více prachu (3,39 g) než na stejné listové ploše topolu (0,55 g) (33 metodika prachový částice). Při zaměření na efektivitu jehličnatých a listnatých porostů se zjištění různí. Podle (Ministerstvo životního prostředí, 2017) dokáže 1 ha jehličnatého lesa za rok zachytit 30–35 t prachových částic, zatímco 1 ha listnatého lesa zachytí dokonce až 50–70 t prachu za rok. Naproti tomu Bolund a Hunhammar (1999) uvádí, že 1 ha smíšeného lesa může ze vzduchu zachytit až 15 t prachových

částic za rok, zatímco smrkový les může zachytit dokonce i 2–3 více. V dlouhodobějším horizontu mohou být listnaté stromy výhodnější, neboť dochází ke každoročnímu opadu poničeného a znečištěného listí, a strom pak může být v nové sezóně s novým listím efektivnější. Celková efektivita stromů je také variabilní v rámci dne i sezóny – v noci jsou stomata uzavřena, a proto listy neabsorbují znečišťující látky ze vzduchu, v případě listnatých dřevin dochází také ke značnému poklesu vlivem opadu listí v zimě (Gómez-Baggethun and Barton, 2013). Význam hraje i blízkost zdroji znečištění – čím blíže je vegetace zdroji znečištění, tím více škodlivin zachytí (Janhäll, 2015).

Mimo zachytávání škodlivin stromy je pro zdraví člověka důležité také jejich význam pro snižování množství mikroorganismů v ovzduší, zejména prostřednictvím vylučováním látek, jako jsou estery, pryskyřice, terpeny, silice a zvláště fytoncidy. Mezi nejefektivnější dřeviny v tomto směru patří většina jehličnanů a z listnáčů např. ořešáky, střemchy, hlohy, lípy, hrušně, balzámové topoly apod. (Janhäll, 2015).

### **3.2.3 Snižování hlučnosti**

Znečištění hlukem bývá zmiňováno jako jeden z nejvýznamnějších environmentálních problémů pro obyvatele měst vzhledem k celé řadě negativních dopadů na zdraví (De Carvalho a Szlafsztein, 2019). Stromová vegetace představují jedno z efektivních řešení tohoto problému prostřednictvím absorpcí zvukových vln, zejména v případě hustých zapojených a více etážových porostů (Gómez-Baggethun and Barton, 2013). I v případě rozvolněnější až středně husté výsadby z nízkých stromů a keřů ale může docházet k efektivnímu snižování hluku o 8 dB, které může vykazovat obdobné výsledky jako hustá výsadba vzrostlých stromů (Ow a Ghosh, 2017). Efektivita dřevin v tomto případě závisí na orientaci zdroje hluku a jeho vzdálenosti, zastoupení jednotlivých frekvencí, složení vegetace, listové ploše apod. (Bolund a Hunhammar, 1999; Gómez-Baggethun and Barton, 2013). Z pohledu šířky pásu zeleně jsou poté informace velmi odlišné v závislosti na autorech, kteří udávají například stejné snížení o 2 dB při 2 i 100 m (Bolund a Hunhammar, 1999). Ow a Ghosh (2017) uvádí jako nejefektivnější šířku 5 m, neboť právě na této vzdálenosti podle nich dochází k největší redukci hlučnosti. Jako velmi efektivní se ukazují zejména zapojené pásy vegetace o výšce 13–20 m a šířce 20–30 m. Větve stromů fungují jako oscilátor a pohlcují zvukovou energii rezonancí, lineární vztah byl zjištěn také mezi velikostí kmene a snížením znečištění hlukem (Ow a Ghosh, 2017).

### 3.2.4 Psychický a rekreační význam

Vliv zeleně na chování člověka a jeho psychický stav byl dlouho přehlížen. Pozitivní účinky zeleně na psychiku lidí začaly být zkoumány až v 60. letech dvacátého století. Ukázalo se, že masivní urbanizace a městský život vedou k řadě problémů v oblasti duševního zdraví i chování člověka. Na základě následných výzkumů bylo zjištěno, že vyšší množství zeleně v městských ulicích se výrazně podílí na zlepšení duševního i tělesného zdraví lidí a rovněž pozitivně ovlivňuje sociální chování obyvatel (Bolund a Hunhammar, 1999; Nesbitt et al., 2017).

Například Smardon (1988) uvádí, že výhled na stromy z nemocnic má pozitivní terapeutický vliv na pacienty a vede k jejich větší psychické pohodě, což se odráží pozitivně na jejich zdravotním stavu a uzdravování. Stejný autor také uvádí, že vegetace skrze fyzické oddělení zdroje hluku od obyvatel měst (například oddělení silnice od návštěvníka parku obvodovou zelení parku) může přispívat k potlačení vnímání intenzity hluku, čímž také přispívá k lepší relaxaci a psychickému stavu člověka.

Zelené infrastruktury představují také vhodné místo pro pasivní i aktivní odpočinek, a tedy i rekreaci (Jansson, 2013; Satz et al., 2013; Nesbitt et al., 2017). Rekreační funkce vegetace, zejména v případě městských parků, kde je možnost hraní a odpočinku, je možná nejcennější ekosystémovou službou vegetace ve městech (Bolund a Hunhammar, 1999). Kromě rekreace představují parky také vhodné místo pro kognitivní vývoj (Gómez-Baggethun and Barton, 2013). Stromy jsou využívány dětmi pro lezení a skrývání, testování fyzických dovedností a stavění úkrytů, čímž opět přispívají k jejich rekreaci a rozvoji. Množství stromů ve městech také pozitivně koreluje s aktivitami, jako jsou čtení, spaní a stravování nebo tanec, zejména díky poskytování stínu (Smardon, 1988). Zmiňována jsou také pozitiva související se zvyšováním sociální koheze (Jansson, 2013; Satz et al., 2013; Nesbitt et al., 2017).

V případě pěstěné zeleně dochází k odlišnému druhu psychologického účinku – uspořádaná zeleň vzbuzuje dojem pořádku, bohatství a exkluzivity, což zpětně působí na lidi v její blízkosti, a do určité míry modifikuje jejich chování (Smardon 1988).

### **3.2.5 Kulturní a estetický význam**

Všechny ekosystémy poskytují městu estetické a kulturní hodnoty a propůjčují krajině strukturu (Bolund a Hunhammar, 1999). Kulturní ekosystémové služby, potažmo kulturní význam stromů v krajině, zahrnují některé měřitelnější služby, jako jsou dopady na zdraví a přímé ekonomické přínosy, zatímco jiné kulturní ekosystémové služby jsou nehmotné, jako například duchovní význam, přínosy pro výzkum, vzdělávání, umění a utváření kladného vztahu k přírodě nebo estetický význam (Chan et al., 2012; Jansson, 2013; Nesbitt et al., 2017). Stromy a jejich ekosystémy jsou často součástí kulturních symbolů, které se promítly také do jazyka, rituálů, tanců, písní, literatury nebo názvosloví (Smardon, 1988; Satz et al., 2013). Povaha kulturních ekosystémových služeb ztěžuje jejich definování, měření i oceňování (Nesbitt et al., 2017).

Vzhledem k odtržení městského prostředí od přírody umožňuje městská zeleň, a především stromy, vnímat přirozené přírodní cykly, zejména střídání ročních období. Druhová pestrost a různorodost okrasných vlastností rostlin dává neomezené možnosti vytváření uměleckého vzhledu městských i zámeckých parků, sadů, náměstí a jiných osázených území ve městech (Smardon, 1988). Estetická hodnota takovýchto míst může být atraktivní nejenom pro samotné obyvatele měst, ale také pro turisty, čímž může přispívat k ekonomice měst (Nesbitt et al., 2017). Zároveň může představovat také kulturní dědictví (Chan et al., 2012) a spoluutvářet kulturní identitu (Satz et al., 2013).

### **3.2.6 Hospodářský význam**

Zeleň ve městech má malý ekonomický význam, nicméně rozhodně ne přehlédnutelný. Její ekonomické benefity se dají rozdělit na přímé a nepřímé (Smardon, 1988). V sídelných útvarech je její přímý pozitivní ekonomický význam zanedbatelný (zisky z prodeje dřeva apod.), zejména v kontextu vysokých nákladů na péči. Z pohledu nepřímých benefitů je její hospodářský význam spatřován například zejména v úsporách na nákladech za energie při klimatizaci (Akbari 1997; Bolund a Hunhammar, 1999) a ve zvyšování hodnoty pozemků, neboť byty, domy, pozemky a jiné druhy nemovitostí pro obytné účely mají vyšší hodnotu, pokud se nacházejí v blízkosti zeleně, případně stromy rostou na pozemcích přímo (Smardon, 1988; Nesbitt et al., 2017).

Oproti sídelní zeleni je mnohem významnější zeleň krajinná a lesy, které představují ekonomicky relevantní produkci dřevní hmoty, mimoto má tak také význam klimatický, vodohospodářský, půdotvorný, protierozní a meliorační aj. (Satz et al., 2013). Vyčíslení přesné ekonomické hodnoty na základě mimoprodukčních funkcí (netržních) je v některých případech těžké stanovit a existuje k nim celá řada různých přístupů a hodnocení (v ČR např. Vyskot a kol., 2003; Šišák a kol., 2017).

Z pohledu tržního bývá, zejména v zahraničí, zmiňována například produkce potravin (Gómez-Baggethun and Barton, 2013), která má i v České republice prostřednictvím ovocnářství dlouhou tradici. Majoritně je ale spojována zejména s dřevní produkcí (Satz et al., 2013). V lesním hospodářství v České republice se uplatňují především dřeviny domácího původu, zejména smrk ztepilý (*Picea abies* L.), borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) nebo buk lesní (*Fagus sylvatica* L.). Jen výjimečně se uplatňují dřeviny introdukované, jako například douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Kromě produkčních dřevin pěstovaných pro dřevní hmotu je třeba do porostů zahrnout i dřeviny spodního patra, které mají především mimoprodukční význam a dostávají se do porostů formou náletu, jako například lípa malolistá (*Tilia cordata* Mill.) (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018).

### 3.3 Negativní vlivy stromů

I přes značné množství pozitivních přínosů stromů v antropogenní krajině se mohou projevat i určitá negativa. Mezi ty patří například:

1. **Škody na stavbách** – Dospělý strom se svými rozměry a hmotností svých částí blíží stavbám, čímž je může ohrožovat. K tomuto riziku dochází, zejména roste-li v blízkosti inženýrských sítí nebo chodníků, které mohou být snadno narušeny kořeny stromů. Opad větví, případně odlomení části koruny, je častý důsledek přetížení stromu větrem, a především ve vyšším věku je zcela běžným jevem. Tímto opadem mohou být poškozeny například dráty elektrického vedení nebo telefonní dráty (Kupilík, 2011).
2. **Tvorba alergenního pylu** – Zejména v jarním období působí negativně na dýchací orgány části lidské populace poletující pyl (Leung et al., 2011). U některých jedinců může mít výjimečně podobné účinky i silnější vůně květů nebo chmýřité přívěsky plodů. Zvýšený výskyt pylových alergií bývá pozorován zejména u obyvatel větších měst, kde hrají roli také faktory



nervové a psychické zátěže z častých stresových situací. Vůbec nejhorší alergologická situace bývá zejména u dětí na sídlištích na okrajích měst, neboť přicházejí nejčastěji do styku s alergizující vegetací v místě svého bydliště. Na základě toho je někdy nutné dřeviny produkující alergeny v zeleni sídelních celků omezovat. Mezi nejrizikovější dřeviny v tomto směru patří: olše (*Alnus* spp.); topoly (*Populus* spp.), vrby (*Salix* spp.); bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth); lisky (*Corylus* spp.); jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.); habr obecný (*Carpinus betulus* L.); platany (*Platanus* spp.) a bez černý (*Sambucus nigra* L) (Leung et al., 2011).

3. **Provozní bezpečnost stromu** – V případě extrémních vlivů (např. příliš silný vítr, nadměrná zátěž sněhem apod.) může dojít k poškození stromu a tím i ohrožení lidské bezpečnosti. K selhání stromu většinou dochází v případě, že dojde k přílišnému zatížení nosných prvků stromu, které jsou oslabeny určitým defektem. Takovým defektem může být zejména poškození či infekce dřevními houbami, ale také například nevhodný typ větvení či nevhodný habitus stromu. (Kolařík 2010). V případě zkoumání důvodu selhání stromu (například v případě škodných událostí) je často velmi obtížné zpětně analyzovat a zjistit detailní typy zátěže.

Při hodnocení provozní bezpečnosti stromu se zkoumají především defekty, které mohou mít vliv na stabilitu stromu ve dvou parametrech: a) *odolnosti proti zlomu* (zahrnují odlomení silných větví, rozlomení kosterního větvení nebo selhání kmene) a b) *odolnosti proti vyvrácení* (riziko selhání kořenového systému). (Kolařík a kol., 2010)

### 3.4 Strom jako biotop

V kontextu krajinné a městské zeleně je pro bohatost fauny a druhovou diverzitu obecně důležitá zejména bohatost různých typů biotopů a jejich velikost (Bolund a Hunhammar, 1999). Na druhou stranu samotné stromy představují také důležitý biotop, který může významně přispívat k biodiverzitě antropogenní krajiny. Zejména staré stromy jsou biotopem pro mikroekosystémy celé řady hub, rostlin a živočichů představovaných jednobuněčnými organismy, bezobratlými, i obratlovci zahrnujícími různé druhy ptáky, obojživelníků netopýrů i dalších savců. Stromy tak poskytují útočiště pro širokou škálu vzájemně se ovlivňujících organismů na různých úrovních biologické pyramidy. Zejména staré stromy zároveň představují samy o

sobě genetické bohatství, neboť jsou často reliktem původních populací dřevin s důležitým genofondem (Reš, 2012).

Faunistická biodiverzita ve městech je představována zejména překvapivě vysokým množstvím druhů hmyzu a ptáků (Gómez-Baggethun and Barton, 2013), nicméně v jejich případě i v případě dalších druhů je důležité, aby byly zachovány nebo budovány možné migrační trasy (Bolund a Hunhammar, 1999).

### **3.5 Hodnocení stavu stromů**

Při hodnocení stavu stromů se v současné praxi používá vizuální hodnocení spolu s přístrojovými metodami. Současnou metodikou hodnocení je standard Řady A Hodnocení stavu stromů SPPK A01 001:2018 (AOPK ČR, arboristické standardy)

V první části standardu dochází k hodnocení základních ploch, které jsou charakterizované třídou údržby. Jednotlivé základní plochy lze rozčlenit dle frekventovanosti území tedy hodnoty cíle pádu, celkovou hodnotu stability stromu na ploše případně svažítost terénu. V potaz je brána exponovanost stanoviště a hodnota dřeviny vzhledem k utváření vzhledu města, obce či kulturních památek. Všechny tyto parametry jsou stanoveny metodou kvalifikovaného odhadu nikoliv exaktním výpočtem a tak i v rukou odborníků se může náhled na hodnocení dřeviny značně lišit.

Samotné hodnocení stability je ve standardu popsáno jako hodnocení případného selhání vývratem, zlomem kmene či částí koruny. Jsou hodnoceny defekty, které by mohly mít za následek selhání dřeviny. Neslouží však k přesné předpovědi, kdy k němu může dojít. Při vizuálním hodnocení dochází pouze k řešení otázky selhání stromu zlomem nikoliv vývratem. Odolnost proti vyvrácení je hodnocena podle pozorovatelných symptomů. Standard uvádí, že reprezentativní představu o riziku vývratu stromu nám poskytují pouze přístrojové metody.

Samotná stabilita je hodnocena dle standardu na základně přítomnosti defektů ovlivňujících strukturální integritu stromu a jeho částí. Hodnocení probíhá pomocí následující stupnice:

#### **1 Výborná až dobrá (nenarušená)**

Bez zjištěného výskytu staticky významného defektu

## **2 Zhoršená**

Přítomnost staticky významných defektů ve fázi vývoje, dosud bez předpokládaného rizika selhání

Rozsah defektů lze většinou řešit běžnými pěstebními zásahy bez nutnosti speciálních stabilizačních zásahů.

## **3 Výrazně zhoršená**

Zjištěný výskyt jednoho vyvinutého defektu s předpokládaným vlivem na pravděpodobnost selhání stromu

Možný výskyt více staticky významných defektů ve fázi vývoje

Častá potřeba realizace speciálního stabilizačního zásahu

## **4 Silně narušená**

Zjištěný souběh několika vyvinutých staticky významných defektů

Nutná realizace speciálního stabilizačního zásahu s alternativou kácení stromu

Stabilizační zásahy je často potřeba realizovat v takovém rozsahu, že mohou sekundárně negativně ovlivňovat perspektivu jedince.

## **5 Kritická**

Stromy, které bezprostředně hrozí pádem nebo rozlomením.

Stabilizaci nelze provést pomocí nedestruktivního pěstebního zásahu.

Další z široce využívaných metod především v zahraničí je metoda VTA (Visual Tree Assessment) dle Matthecka (1991), která spojuje vizuální hodnocení s aplikací biomechaniky. Biomechanika je definována jako aplikace principů mechaniky při popisu chování biologických struktur (Mattheck 1991).

Zhodnocení odchylky od optima probíhá v arboristice na zjednodušené úrovni výpočtů, na úrovni vizuálního hodnocení individuálního jedince a na úrovni měření za pomoci přístrojů. Přístup, který vychází ze zjednodušeného výpočtu, a který používá standardně zjišťované dendrometrické parametry, se nazývá metoda SIA (Wessolly 1995b, Brudi a Wassenaer 2001). V České republice se využívá modifikovaný přístup WLA (Kolařík, 2010). Jedná se o zjednodušený výpočet zatížení na základě použití plochy koruny a výšky těžiště, a porovnáním napětí, které vzniká s pevností odpovídajícího druhu dřeva (Wessolly 1995b, Kolařík 2010).

### 3.6 Stabilita stromu

Pojem stabilita je možné definovat jako soubor principů vedoucích v živých systémech, na základě získaných informací, ke kompenzování odchylek vnějšího prostředí a tím k dynamické rovnováze vnitřního prostředí, které tak nabývá relativní nezávislosti na vnějším prostředí. (Míchal, 1994) V případě stromů jsou těmito principy optimalizace tvaru, adaptační růst, optimalizace materiálových vlastností a energetická bilance stromu. (Kolařík a kol., 2010) Mechanická stabilita stromu je úzce provázána s fyziologickou aktivitou stromu.

Je-li stabilita stromu narušena pouze částečně, například dojde k výraznému náklonu, strom je do určité míry schopen kompenzovat narušení modifikací růstu například napřímením terminálního výhonu, posunutím těžiště nad místo vetknutí, či zvýšením radiálního růstu (Mattheck a kol., 1991, Wessolly a Erb, 1998, Kolařík a kol., 2010). Při určování stability stromu je kromě vizuálního hodnocení nutná i kvantifikace řešeného problému. To je možné například tahovou zkouškou (umělým zatížením stromu silou a měřením deformace a náklonu), kdy se zjišťuje hodnota odolnosti stromu proti zlomu a vývratu. (Wessolly 1998) Další možností je stanovení stability podle vnějších symptomů vizuálně. (Mattheck a kol., 1991) Pouze vizuálního stanovení stability se využívá právě ve standardu AOPK 01 001 Hodnocení stromů (AOPK ČR, 2015).

### 3.7 Vývrat stromů

V problematice odolnosti proti vyvrácení je situace mnohem komplikovanější než u zlomu, jelikož se obecně zcela vymyká možnostem vizuálního průzkumu a spolehlivě ji lze hodnotit pouze prostřednictvím vybraných přístrojových testů. Bez přístrojů lze hodnotit pouze některé symptomy, které mohou být v konkrétním případě zásadně důležité, protože indikují až kritickou oblast možnosti selhání. (Kolařík a kol., 2010)

K selhání stromu u většiny případů dochází při přílišném zatížení nosných prvků (Kolařík a kol., 2010).

Strom je schopen reagovat na přiměřené podněty okolí a na změny prostředí do určité míry. V oblasti mechanické stability je touto reakcí adaptační růst (Kolařík a kol., 2010). Pokud ovšem nejsou ve vyšší míře v rovnováze základní složky systému stability tedy zatížení, geometrie a materiál může dojít k selhání stromu (Mattheck a

kol., 1991). Zatížením se miní působení větru a zatížení vyvolané vlastní hmotností. Do geometrie spadají parametry popisující tvar stromu tedy charakter a rozměr průřezu, výška stromu, těžiště, náklon kmene a větví, objem či plocha koruny stromu atd. Pro popis geometrie stromu lze využít i kombinované parametry jako například poměr výšky stromu a jeho tloušťky ve formě štíhlostního koeficientu. Materiál je definován vlastnostmi dřeva pozorovaného jedince, přičemž vliv změny geometrie se zdá být výraznější (Nicklas, 2007; Fournier a kol., 2013).

Obecně k vývratu stromu tedy selhání podzemní biomasy stromu dojde při nerovnováze mezi základními složkami stability celého systému. Tedy když strom nereaguje na stres či zatížení materiálovou či tvarovou optimalizací (Kolařík a kol., 2010). Hodnocení odolnosti stromu vůči vývratu je postavené na tzv. tahové zkoušce, která umožňuje změření náklonu stromu při definovaném zatížení. Toto zatížení je následně extrapolováno pomocí vývratové křivky na náklon při extrémním zatížením. Pokud je tento náklon vyšší než limitní hodnota náklonu stromů, (spodní hranice 1,2°, vrchní hranice 2,5°) je strom vyhodnocen jako nebezpečný.

### **3.8 Zlom stromů**

V problematice odolnosti kmene proti zlomu je rozsáhlým způsobem rozpracovaná vizuální diagnostika a naprostou většinu defektů v tomto směru je možno zachytit a interpretovat prostřednictvím vizuálních či akustických metod. Nejčastěji dochází k selhání v oblasti větví a kosterního větvení, méně často pak v oblasti kmene. I zde platí, že k selhání stromu u většiny případů dochází při přílišném zatížení nosných prvků (Kolařík 2010) Tedy pokud nejsou v rovnováze základní složky systému stability tedy zatížení, geometrie a materiál může dojít k selhání stromu (Mattheck a kol., 1991). Na rozdíl od vývratu je možné pro vyhodnocení odolnosti kmene vůči zlomu využít i jednoduchých výpočetních metod jako např. WLA či SIA jmenované výše. Tyto metody vychází t teorie jednostranně vetknutého nosníku (Wessolly,1995b, Kolařík 2010) a umožňují objektivnější vyhodnocení stability stromu, ale pouze v oblasti kmene.

## 4 METODIKA

Metodika je rozdělena na čtyři dílčí části:

- I. Práce v terénu,
- II. Vyhodnocení naměřených údajů III.
- III. Výpočtová část, I
- IV. Část statistického srovnání.

### 4.1 Práce v terénu

Celkem bylo zhodnoceno 100 stromů. U každého z vybraných taxonů dřevin *Tilia spp.*, *Betula spp.*, *Acer spp.*, *Fraxinus spp.* a *Aesculus spp.* bylo hodnoceno vždy 20 jedinců. Tyto výběrové soubory byly rozděleny podle exponovanosti stanoviště a míry zapojení (porost, skupina, solitéra). Stanoviště se dělí na exponovaná a klidná z hlediska terénního průzkumu byla jako exponovaná stanoviště označena okrajová zeleň polí, výše položená stanoviště nekrytá okolní zástavbou či terénem. Naopak klidná stanoviště byla převážně situována ve městech a obcích s hustou okolní zástavbou nebo na místech krytých okolním terénem a tím izolována od nárazů větru. U každého stromu proběhlo nejprve zhodnocení okolního stanoviště a míry zápoje. Zhodnocením míry zápoje došlo k rozdělení dat do tří skupin: solitéra, skupina, porost. Následně bylo provedeno měření obvodu kmene ve výšce 130cm. Pro stanovení dalších údajů bylo využito čtyři metry dlouhé nivelační latě, která byla ve svislém směru a nulové vzdálenosti od kmene stromu zachycena na fotografii jako měřítko pro další práci s daty.

### 4.2 Vyhodnocení naměřených údajů

Údaj o obvodu kmene  $o$  byl následně přepočítán na průměr  $d$  dle vzorce  $d=o/\pi$ . Každá fotografie byla vyhodnocena v programu Image J, kde nivelační lať na fotografii sloužila jako měřítko. V nastavení programu došlo k volbě zobrazení potřebných parametrů. Před začátkem měření každého stromu bylo nutné v programu nastavit známou vzdálenost, tedy měřítko. Program image J následně provedl přepočet této vzdálenosti na pixely a tím stanovil výchozí vzdálenost pro měření dalších parametrů. Funkcí line byla změřena výška nasazení koruny a celková výška jedince. Následně byla funkcí polygon ručně vytyčena a vyhodnocena plocha koruny, výška těžiště koruny a excentricita koruny. Součtem výšky těžiště koruny a výšky nasazení koruny se zjistila výška těžiště celého stromu.

### 4.3 Výpočty

#### 4.3.1 Výpočet bezpečnostního koeficientu pro vývrat stromu

Výpočet je sestaven na základě porovnání teoretického náklonu kořenového balu daného stromu a kritického náklonu získaného z naměřených dat tzv. vývratové křivky publikované Wessolly a Erb(1998). Do výpočtu teoretického náklonu daného stromu vstupují faktory popisující působící zatížení, materiálové vlastnosti a geometrii.

Celková hodnota momentového zatížení byla stanovena jakou součet ohybových momentů vyvolaných větrem a hmotností vlastní koruny v případě její excentricity. Pro ohybový moment vyvolaný větrem byl použit vzorec  $M=Fl$ , kde  $F$  je síla větru a  $l$  je výška těžiště. Hodnota síly větru  $F$  vychází ze vzorce pro výpočet síly větru:  $F=0,5 \rho cv^2A$  (Kolařík 2010), kde  $v$  je rychlost větru,  $c$  je prodouvavost koruny pro daný taxon a  $\rho$  je hustota vzduchu.

Rychlost větru by stanovena dle Beafortovi stupnice jako hodnota vichřice, tedy  $32 \text{ ms}^{-1}$  (METEOGRAM, 2020). Dále výpočet vychází z hustoty vzduchu, která byla vypočtena na daném stanovišti podle stavovské rovnice ideálního plynu (Praus a kol., 2015). Pro nadmořskou výšku 500 a teplotu  $8^\circ\text{C}$  je hustota stanovena na  $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Plocha koruny byla měřena v programu image J. Prodouvavost, neboli koeficient aerodynamického odporu  $c$  byl stanoven pro každý taxon dle katalogu materiálových vlastností (Wessolly a Erb, 1998)

Tabulka 1. Koeficienty aerodynamického odporu

taxon	koeficient aerodynamického odporu $c$
<i>Tilia spp.</i>	0,25
<i>Acer spp.</i>	0,25
<i>Betula spp.</i>	0,12
<i>Fraxinus spp.</i>	0,20
<i>Aesculus spp.</i>	0,25

Pro zatížení vyvolané hmotností koruny byl použit vzorec  $M=mege$ , kde  $m$  je hmotnost koruny vynásobená tíhovým zrychlením  $g$  a excentricitou koruny  $e$ .(Obdržálek a Houfková, 2017)

Dalším vstupem do výpočtu teoretického náklonu kořenového balu jsou jeho materiálové vlastnosti v analytickém modelu popsány modulem pružnosti. Kořenový bal je v podstatě kompozitem kořenů a půdy a proto bylo pro výpočet modulu pružnosti celého balu použito následující směšné pravidlo.

$E_{kb} = V_k E_k + (1 - V_k) E_p$ , kde  $E_{kb}$  je modul pružnosti celého kořenového balu,  $V_k$  je podíl kořenů v půdě,  $E_k$  je modul pružnosti kořenů a  $E_p$  je modul pružnosti půdy. Ve vzorci se vychází z podílu kořenů  $V_k$  a půdy  $(1 - V_k)$  v kořenovém balu. Podíl kořenů byl stanoven odhadem na 30%, tento údaj je vysoce variabilní a vychází z předchozích studií, kde reakce stromů na zatížení přibližně odpovídá tomuto podílu (Vojáčková, 2015; Vojáčková et al., 2020). Přičemž byla použita spodní hranice těchto hodnot pro zachování bezpečnostní rezervy. Modul pružnosti půdy  $E_p$  byl na hodnoceném stanovišti stanoven na 30 MPa Bowles (1996); Obrzud a Truty (2012) pro hlinitou a jílovitou půdu. Modul pružnosti kořenů daného taxonu  $E_k$  byl stanoven jako 1/3 modulu pružnosti dřeva daného taxonu. Modul pružnosti kořenů je další z variabilních a obtížně zjistitelných parametrů. Pro jeho stanovení se vycházelo z předpokladu, že moduly pružnosti pro kořeny jsou výrazně nižší než pro dřevo kmene (Tabulka 2. Moduly pružnosti) (Commandeur a Pyles, 1991, Lui et al. 1994) a že se jejich vlastnosti mění se vzdáleností od kmene (Schweingruber, 2007).

**Tabulka 2. Moduly pružnosti**

<b>taxon</b>	<b>Modul pružnosti <math>E</math> MPa</b>
<i>Tilia spp.</i>	6 600 MPa
<i>Acer spp.</i>	8 000 MPa
<i>Betula spp.</i>	10 000 MPa
<i>Fraxinus spp.</i>	9 750 MPa
<i>Aesculus spp.</i>	5 300 MPa

Vzorec pro výpočet teoretického náklonu kořenového balu byl vytvořen na základě teorie popisující průhyb a náklon desky (Young a Budynas, 2002). A byl upraven do následující formy:  $\Phi = (\alpha M)/(Et^3)$ , kde  $(\alpha)$  je stanovena jako podíl poloměru kořenového balu a průměru kmene.  $M$  je výsledné momentové zatížení počítané jako součet zatížení v ohybu a zatížení způsobeného hmotností koruny.  $E$  je modul pružnosti kořenového balu a  $t$  je hloubka kořenového balu.



Parametry  $\alpha$  a  $t$  popisují geometrii kořenového balu. Poloměr kořenového balu byl stanoven jako trojnásobek průměru kmene, který je považován za statisticky významnou část kořenového balu (Smiley, 2008, SPPK A01 002:2015).

Hloubka kořenového systému ( $t$ ) byla stanovena dle vztahu  $t=0,5d$  (Mattheck a Breoler, 1994).

Posledním krokem při výpočtu bylo stanovení bezpečnostního koeficientu pomocí podílu kritického a zjištěného náklonu. Tento podíl byl vynásoben číslem sto pro interpretaci v procentech dle vzorce  $SF=(\Phi_{\text{kryt}}/\Phi_{\text{vyp}})100$ . Pro kritický náklon byla použita hodnota  $1,2^\circ$  odpovídající spodní hranici vývratové křivky (Wessolly 1998). Strom s bezpečnostním koeficientem nad 150% byl hodnocen jako bezpečný, strom s bezpečnostním koeficientem 100% - 150% byl hodnocen jako rizikový a strom s bezpečnostním koeficientem nižším jak 100% byl hodnocen jako nebezpečný.

#### **4.3.2 Výpočet bezpečnostního koeficientu pro zlom kmene stromu**

Celková hodnota momentového zatížení byla stanovena jakou součet ohybových momentů vyvolaných větrem a hmotnostní vlastní koruny v případě její excentricity viz. 4.3.1 Výpočet bezpečnostního koeficientu pro vývrat stromu. Dále bylo vypočteno napětí v ohybu dle vzorce  $\sigma=M/W$ , kde  $M$  je výsledný moment a  $W$  je průřezový modul počítaný ze vzorce  $W = \pi d^3/32$ . Konstanta  $\pi$  je Ludolfovo číslo,  $d$  je průměr kmene v metrech. Pro výpočet tlakového napětí, vyvolaného vlastní hmotností byla stanovena síla, dle  $F=mg$ , kde  $m$  je celková hmotnost stromu a  $g$  je tíhové zrychlení. Celková hmotnost stromu je počítána jakou součet hmotnosti kmene a koruny stromu. Hmotnost kmene byla počítána dle vzorce  $m=V\rho$ , kde  $V$  je objem kmene a  $\rho$  je hustota stanovená pro daný taxon. Objem kmene stromu byl stanoven dle vzorce  $V= \pi d^2/4h$ , kde  $\pi$  je konstanta neboli Ludolfovo číslo,  $d$  je průměr kmene v metrech a  $h$  je výška kmene tedy výška nasazení koruny. Pro výpočet hmotnosti koruny by použito vztahu  $m_{\text{koruny}}=0,5* m_{\text{kmene}}$ , kdy hmotnost koruny byla popsána jako 0,5 násobek hmotnosti kmene. Následně bylo vypočítáno napětí způsobené vlastní hmotností dle vzorce  $\sigma=F/A$ , kde  $F$  je působící síla a  $A$  je plocha koruny. Hodnota celkového napětí tedy pevnost dřeva v tlaku byla stanovena jako součet napětí v ohybu a napětí způsobené vlastní hmotností. K výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom bylo potřeba stanovit maximální napětí tedy pevnost v tlaku pro daný taxon a podělit jej vypočteným napětím. Pevnost dřeva

v tlaku (Tabulka 3. Hodnoty pevnosti dřeva) byla stanovena na základě hodnot čerstvého dřeva uvedených v literatuře ( Niklas a Spatz, 2010; Lavers 1993; Kretschmann 2010).

**Tabulka 3. Hodnoty pevnosti dřeva v tlaku**

<b>taxon</b>	<b>pevnost dřeva v tlaku <math>\sigma</math></b>
Tilia spp.	18 MPa
Acer spp.	23 MPa
Betula spp.	26 MPa
Fraxinus spp.	26 MPa
Aesculus spp.	17 MPa

Pro interpretaci v procentech byl podíl vynásoben číslem 100 dle vzorce  $SF_{zlom} = \sigma_{max} / \sigma_{vyp} * 100$ , kde ( $\sigma_{max}$ ) je maximální napětí dřeva daného taxonu a ( $\sigma_{vyp}$ ) je vypočítané napětí. Strom s bezpečnostním koeficientem nad 150% byl hodnocen jako bezpečný, strom s bezpečnostním koeficientem 100% - 150% byl hodnocen jako rizikový a strom s bezpečnostním koeficientem nižším jak 100% byl hodnocen jako nebezpečný.

### **4.3.3 Výpočet dle štíhlostních koeficientů**

Štíhlostní koeficienty definují závislost výšky stromu na průměru kmene. Došlo k výpočtu dvou štíhlostních koeficientů tedy  $h/d$ , kde  $h$  je celková výška stromu a  $d$  je průměr kmene. Druhým vzorcem pro výpočet štíhlostního poměru je  $I/d$ , kde  $I$  je výška těžiště a  $d$  je průměr kmene. Stromy, u kterých při výpočtu štíhlostního koeficientu, který počítá s výškou celého stromu, vyjdou s koeficientem vyšším, jak 30 jsou vyhodnoceny jako nestabilní. Stromy, u kterých při výpočtu štíhlostního koeficientu, který počítá s výškou těžiště stromu, vyjdou s koeficientem vyšším, jak 20 jsou vyhodnoceny jako nestabilní.

### **4.4 Statistické vyhodnocení**

Statistické vyhodnocení proběhlo pomocí Korelační matice s Pearsonovými korelačními koeficienty, které byly vytvořeny v MS Excel v doplňku Analýza dat. Čím větší číslo vyšlo tím vyšší interpretovaná korelace. Záporná hodnota znázorňuje nepřímou úměrnost tedy zápornou korelaci. Míra korelace byla hodnocena v absolutních hodnotách.

## 5 VÝSLEDKY

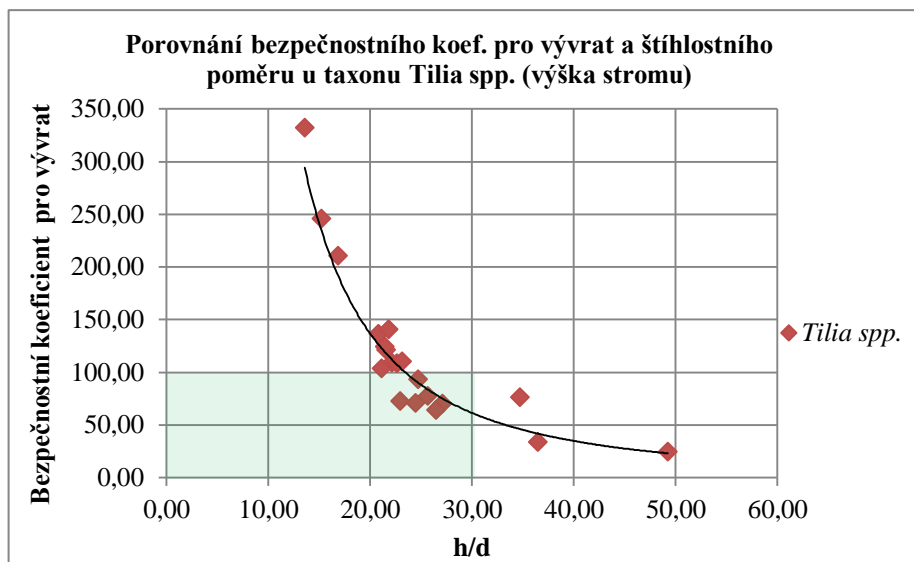
### 5.1 Vyhodnocení výpočtů

Celkem bylo vyhodnoceno 100 stromů tedy 20 stromů od každého ze zvolených taxonů (*Tilia spp.*, *Acer spp.*, *Betula spp.*, *Fraxinus spp.*, *Aesculus spp.*). Hodnocen byl bezpečnostní koeficient pro vývrát a pro zlom. Veškerá hodnocení byla spočítána pro extrémní podmínky tedy pro rychlost větru  $32 \text{ ms}^{-1}$ . Dále byly vypočteny štíhlostní poměry a následně byly bezpečnostní koeficienty a štíhlostní poměry porovnány. V každém grafu je vyznačen kvadrant, pro který platí, že nachází-li se v tomto kvadrantu strom, je bezpečný jak podle štíhlostního koeficientu, tak podle bezpečnostního koeficientu. Kvadrant je vyznačen světle zelenou barvou.

#### 5.1.1 *Tilia* shrnutí

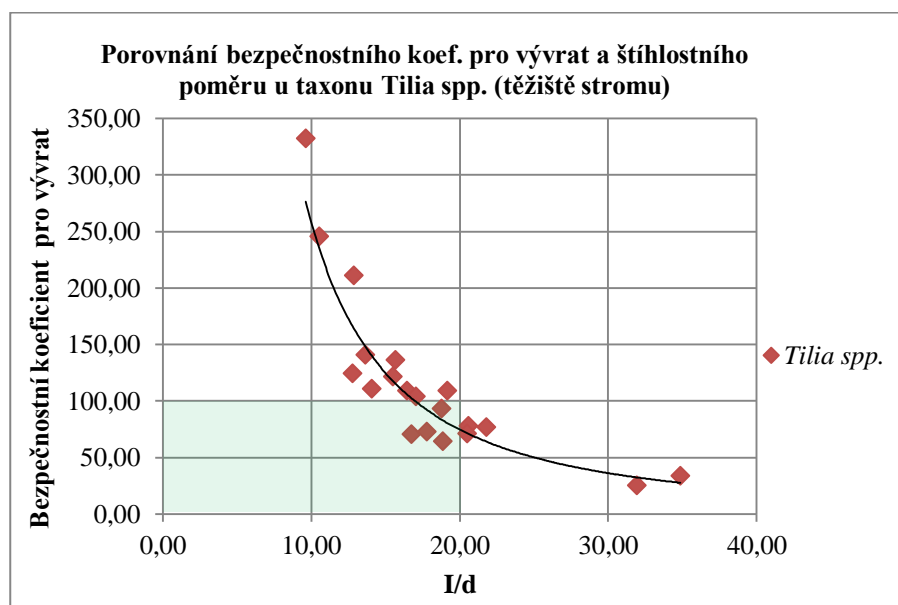
##### Vývrát

Podle bezpečnostního koeficientu pro vývrát stromu vyšlo 9 stromů jako nebezpečných, 8 stromů vyšlo rizikových a 3 stromy vyšly jako zcela bezpečné (viz Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia spp.*) Vyhodnocení bezpečnosti podle štíhlostního koeficientu počítaného z celkové výšky stromu bylo odlišné. Jako nebezpečné stromy byly vyhodnoceny pouze tři stromy jako nebezpečné (viz Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia spp.*) Dva z těchto tří stromů zároveň reprezentují nejnižší výsledek bezpečnostního koeficientu pro vývrát v datovém souboru *Tilia spp.* Z grafů (Graf 1. Závislost mezi bezpečnostním koef. ro vývrát a štíhlostním poměrem (výška stromu)) a (Graf 2. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostní poměr pro taxon *Tilia spp.* (těžiště stromu) pro taxon *Tilia spp.*) lze vidět, že stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako bezpečné spadají z pohledu vývratu stromu mezi kategorii stromů nebezpečné.



Graf 1. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Tilia* spp. (výška stromu)

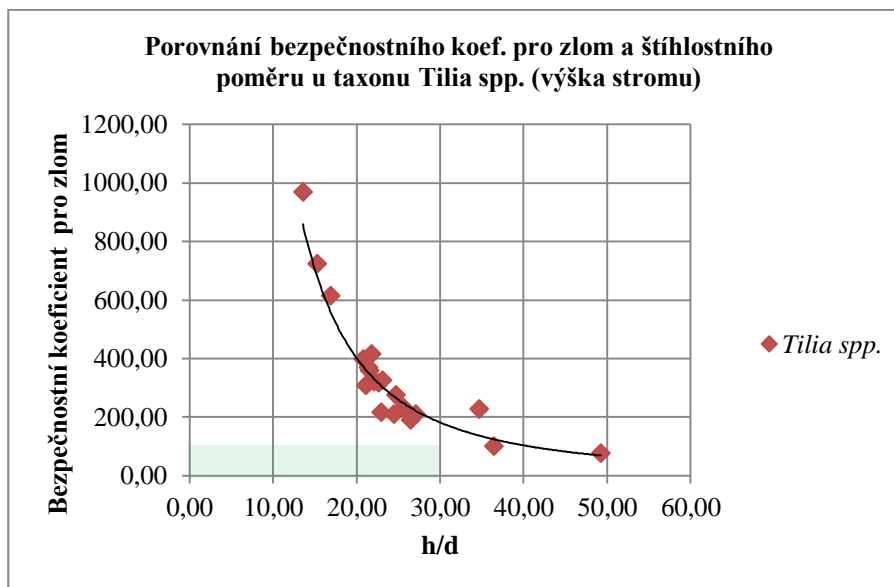
Při stejném porovnání jako u předchozího grafu (Graf 1. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem), kde místo štíhlostního koeficientu, který počítal s celkovou výškou stromu, byl dosazen výškový koeficient, který počítal pouze s výškou těžiště stromu. Zde bylo vyhodnoceno 5 stromů jako nebezpečných. Viz tabulka (Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia* spp.) Dva z těchto stromů však reprezentují dva nejnebezpečnější stromy z hlediska vývratu v datovém souboru.



Graf 2. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostní poměr pro taxon *Tilia* spp. (těžiště stromu)

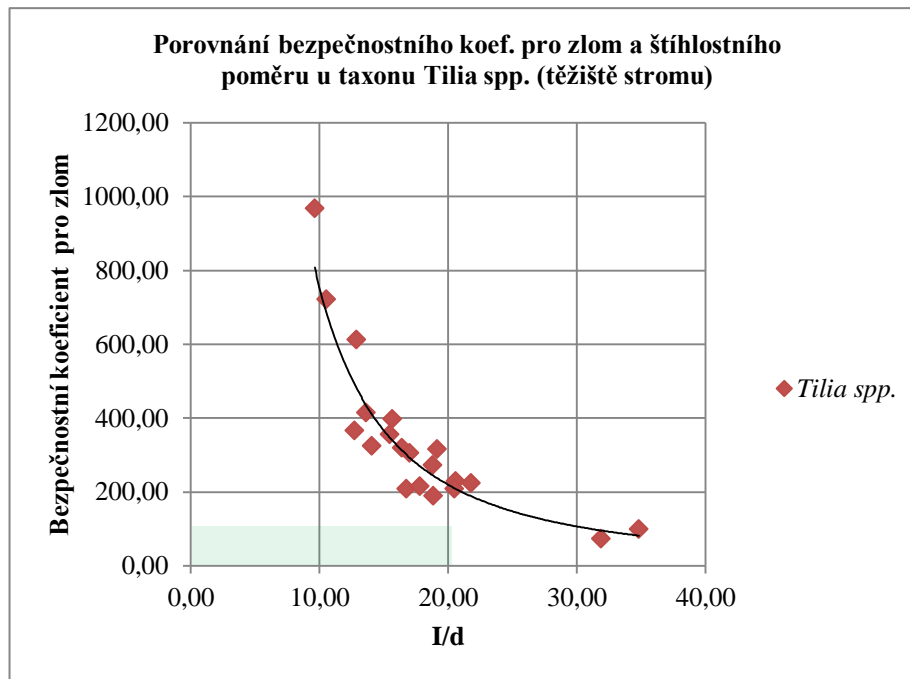
## Zlom

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšel 1 strom jako nebezpečný, 1 strom vyšel jako rizikový a 18 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz. Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia spp.*). Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s celkovou výškou stromu, byly vyhodnoceny 3 stromy jako nebezpečné. Dva z těchto stromů reprezentují nejnižší hodnoty bezpečnostního koeficientu pro zlom z datového souboru *Tilia spp.*



Graf 3. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostního poměru pro taxon *Tilia spp.* (výška stromu)

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšel 1 strom jako nebezpečný, 1 strom vyšel jako rizikový a 18 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz. Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia spp.*). Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 5 stromů jako nebezpečné. Oba dva postupy zhodnocení bezpečnosti se shodly na rizikovosti dvou stejných jedinců. Tedy na dvou stromech, které při výpočtu vyšly s nejnižším bezpečnostním koeficientem pro zlom v celém datovém souboru *Tilia spp.*



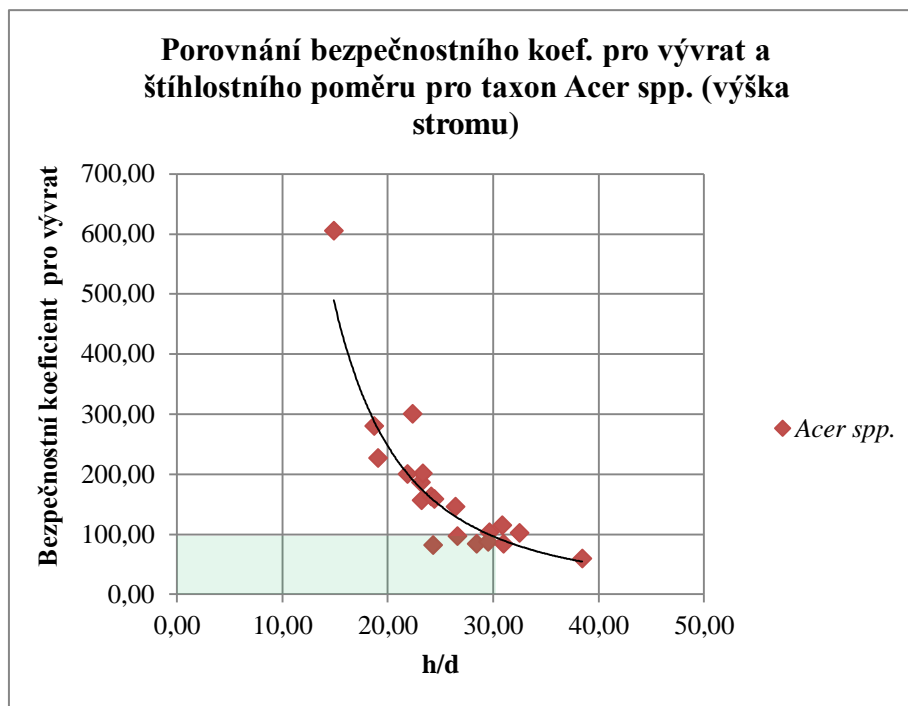
Graf 4. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostního poměru pro taxon *Tilia spp.* (těžiště stromu)

Díky štíhlostnímu koeficientu, který počítal s výškou těžiště stromu, bylo, pro taxon *Tilia spp.*, možné vybrat nejrizikovější jedince v souboru. Štíhlostní koeficient byl přesnější při porovnání s bezpečnostním koeficientem pro zlom.

### 5.1.2 Acer shrnutí

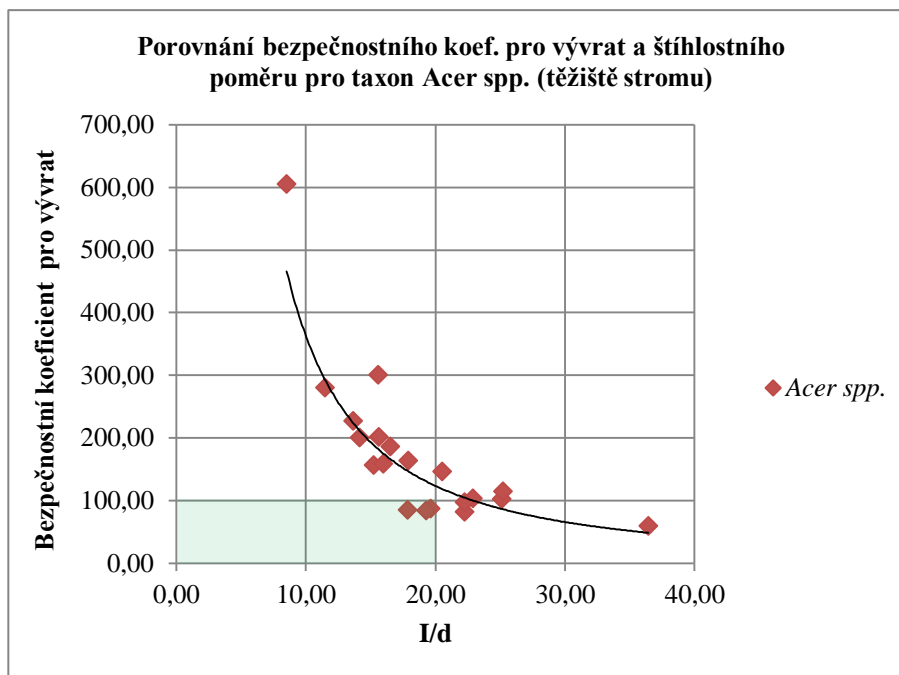
#### Vývrat

Podle bezpečnostního koeficientu pro vývrat stromu bylo 6 stromů vyhodnoceno jako nebezpečných, 4 stromy vyšly jako rizikové a 10 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.*) Vyhodnocení bezpečnosti podle štíhlostního koeficientu počítaného z celkové výšky stromu bylo odlišné. Jako nebezpečné stromy byly vyhodnoceny pouze 4 stromy (viz Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.*). Pouze jeden z těchto 4 stromů reprezentoval nejnižší výsledek bezpečnostního koeficientu pro vývrat v datovém souboru *Acer spp.* Z grafů (Graf 5. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem pro taxon *Acer spp.* (výška stromu)) a (Graf 6. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem pro taxon *Acer spp.* (těžiště stromu)) lze vidět, že stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako bezpečné spadají z pohledu vývratu stromu mezi kategorii stromů nebezpečných.



**Graf 5. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostního poměru pro taxon *Acer spp.* (výška stromu)**

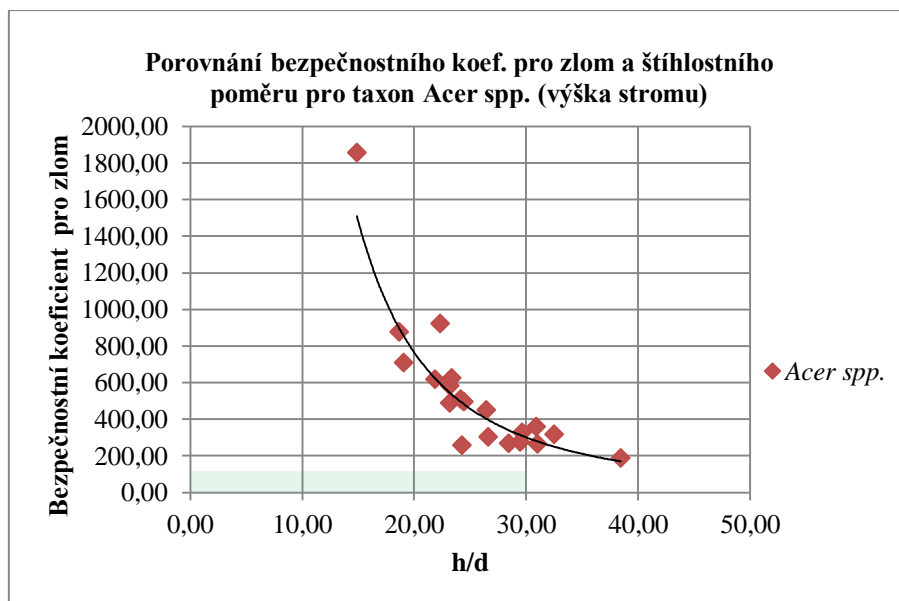
Při stejném porovnání jako u předchozího grafu (Graf 5. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem), kde místo štíhlostního koeficientu, který počítal s celkovou výškou stromu, byl dosazen výškový koeficient, který počítal pouze s výškou těžiště stromu. Bylo vyhodnoceno 7 stromů jako nebezpečné (Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.*). Strom s nejvyšší hodnotou štíhlostního koeficientu reprezentuje nejnebezpečnější strom z hlediska bezpečnostního koeficientu vývratu v datovém souboru *Acer spp.*



Graf 6. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostního poměru pro taxon *Acer spp.* (těžiště stromu)

### Zlom

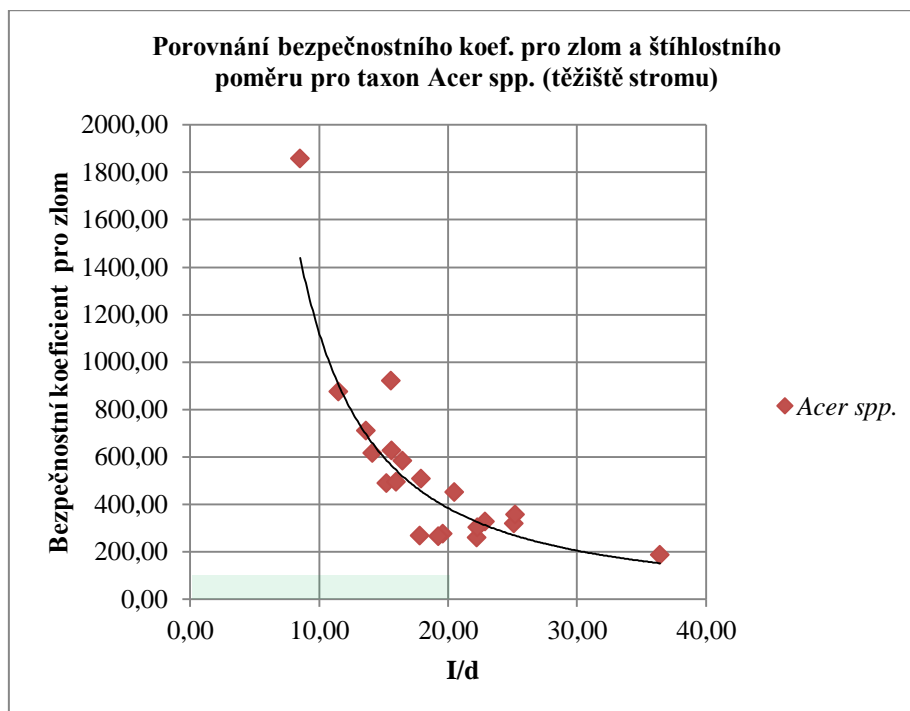
Podle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu nevyšel žádný strom jako nebezpečný ani jako rizikový. Všechny 20 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz. Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s celkovou výškou stromu, byly vyhodnoceny 4 stromy jako nebezpečné. Jeden z těchto stromů reprezentuje nejnižší hodnotu bezpečnostního koeficientu pro zlom z datového souboru *Acer spp.*



Graf 7. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostního poměru pro taxon *Acer spp.* (výška stromu)



Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšly všechny stromy jako bezpečné (viz. Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 7 stromů jako nebezpečných. Tento strom reprezentuje nejnižší hodnotu bezpečnostního koeficientu pro zlom z datového souboru *Acer spp.*



Graf 8. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostní poměr pro taxon *Acer spp.* (těžiště stromu)

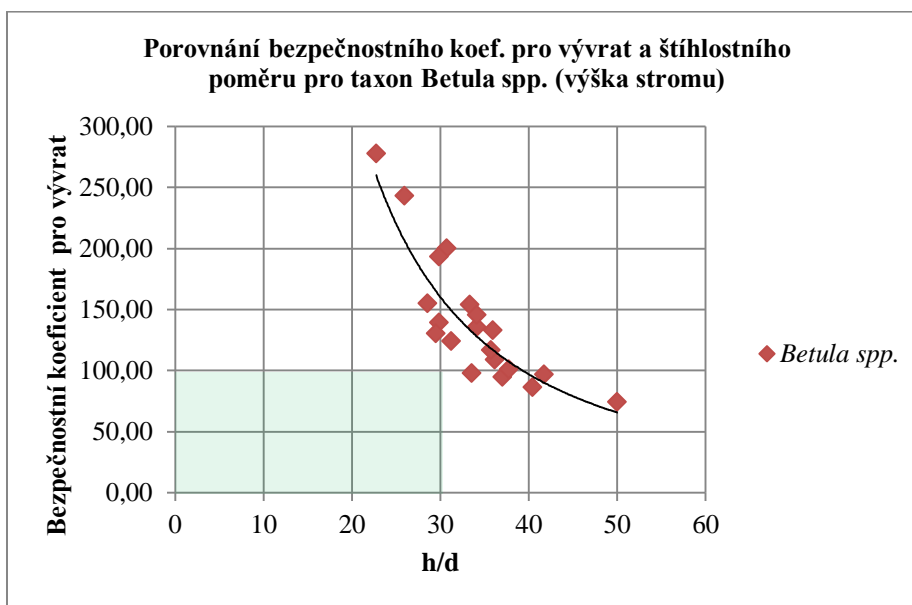
Pro taxon *Acer spp.*, bylo sice možné, díky štíhlostnímu koeficientu, který počítal s výškou těžiště stromu, vybrat nejrizikovější jedince v souboru pro vývrát i pro zlom. U vývratu nereprezentuje celou škálu nebezpečných a rizikových stromů a pro zlom naopak určuje strom jako nebezpečný i když bezpečnostní koeficient pro zlom jasně definuje všechny dřeviny jako bezpečné.

### 5.1.3 *Betula* shrnutí

#### Vývrát

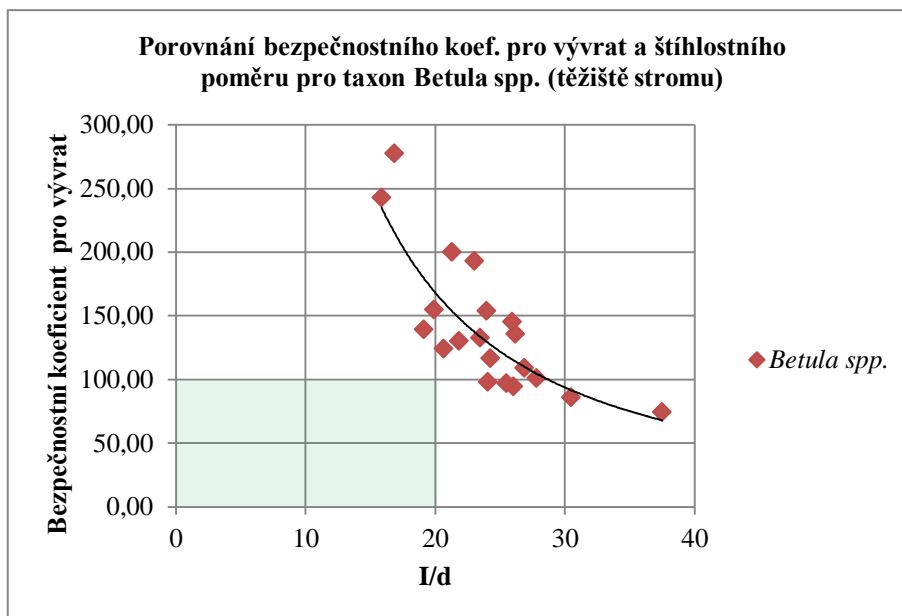
Podle bezpečnostního koeficientu pro vývrát stromu vyšlo 5 stromů jako nebezpečných, 9 stromů vyšlo rizikových a 6 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.*) Vyhodnocení bezpečnosti podle štíhlostního koeficientu počítaného z celkové výšky stromu bylo odlišné. Jako nebezpečné stromy bylo vyhodnoceno 14 stromů (viz Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.*) Mezi těmito jedinci se znovu nacházel strom s

nejnižším výsledkem bezpečnostního koeficientu pro vývrát v datovém souboru *Betula spp.* Nicméně všechny stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako nebezpečné, nereprezentují nejnižší hodnoty bezpečnostního koeficientu pro vývrát. Z grafů (Graf 9. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostního poměru pro taxon *Betula spp.* (výška stromu)) a (Graf 10. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Betula spp.* (těžiště stromu)) lze vidět, že stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako bezpečné spadají z pohledu vývratu stromu mezi kategorii stromů nebezpečných.



Graf 9. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostního poměru pro taxon *Betula spp.* (výška stromu)

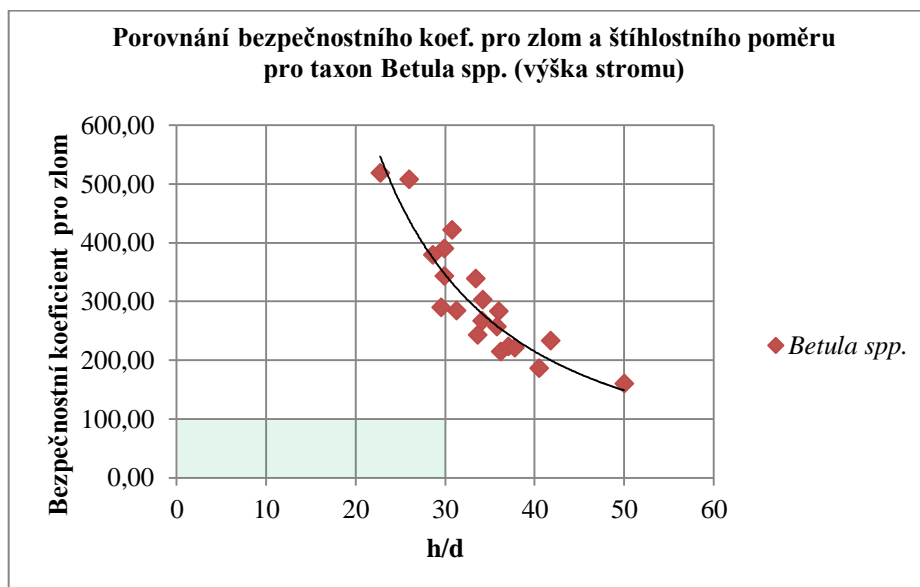
Při stejném porovnání jako u předchozího grafu (Graf 9. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem), kde byl místo štíhlostního koeficientu, který počítal s celkovou výškou stromu, dosazen výškový koeficient, který počítal pouze s výškou těžiště stromu. Zde bylo shledáno 16 stromů jako nebezpečných (viz Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.*) Dva z těchto stromů však reprezentují dva nejnebezpečnější stromy z hlediska vývratu v datovém souboru *Betula spp.*



Graf 10. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem pro taxon *Betula spp.* (těžiště stromu)

### Zlom

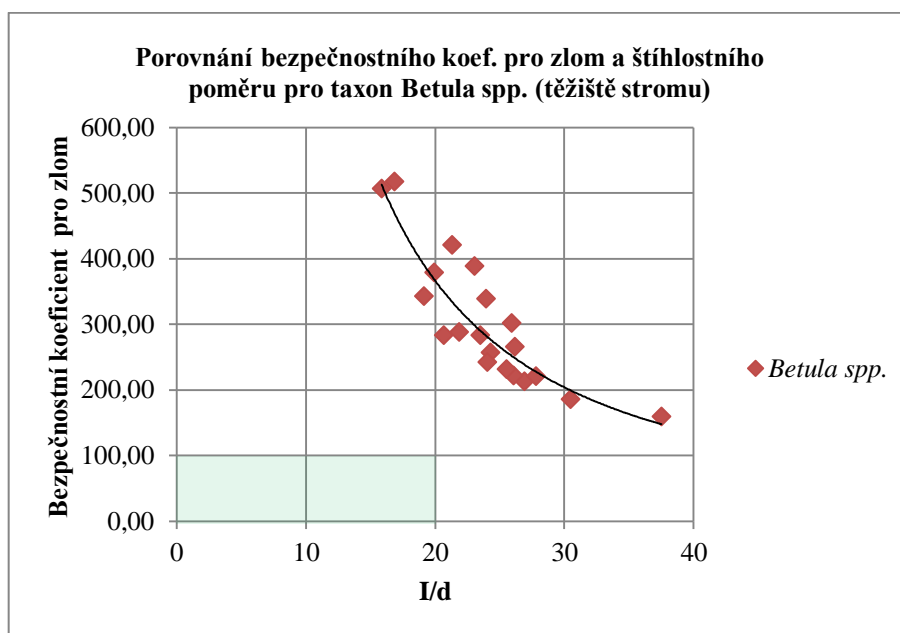
Podle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšly všechny stromy jako bezpečné (viz Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s celkovou výškou stromu, bylo vyhodnoceno 14 stromů jako nebezpečných. I když štíhlostní koeficient odhalil nejrizikovější strom, pro tento datový soubor reprezentativní není.



Graf 11. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Betula spp.* (výška stromu)

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu, vyšly všechny stromy jako bezpečné (viz Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 16

stromů jako nebezpečných. Tyto dva stromy mají nejnižší bezpečnostní koeficient zlomu v datovém souboru *Betula spp.*, avšak z hlediska bezpečnostního koeficientu pro zlom se stromy jeví jako bezpečné.



**Graf 12. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Betula spp.* (těžiště stromu)**

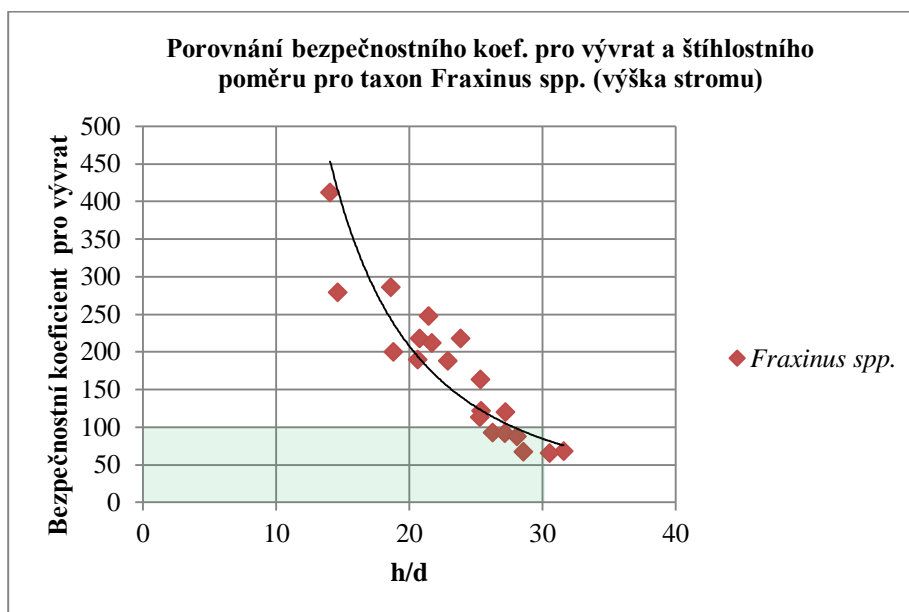
Pro taxon *Betula spp.* bylo možné díky štíhlostnímu koeficientu, který počítal s výškou těžiště stromu, vybrat nejrizikovější jedince v souboru. Štíhlostní koeficient však nebyl schopen odhalit všechny stromy rizikové a nebezpečné pro vývrát a naopak u zlomu vypočtený bezpečnostní koeficient nadhodnocoval. Štíhlostní koeficient, který počítá s celkovou výškou stromu, se jeví v tomto datovém souboru, jako nevhodný.

#### 5.1.4 *Fraxinus* shrnutí

##### Vývrát

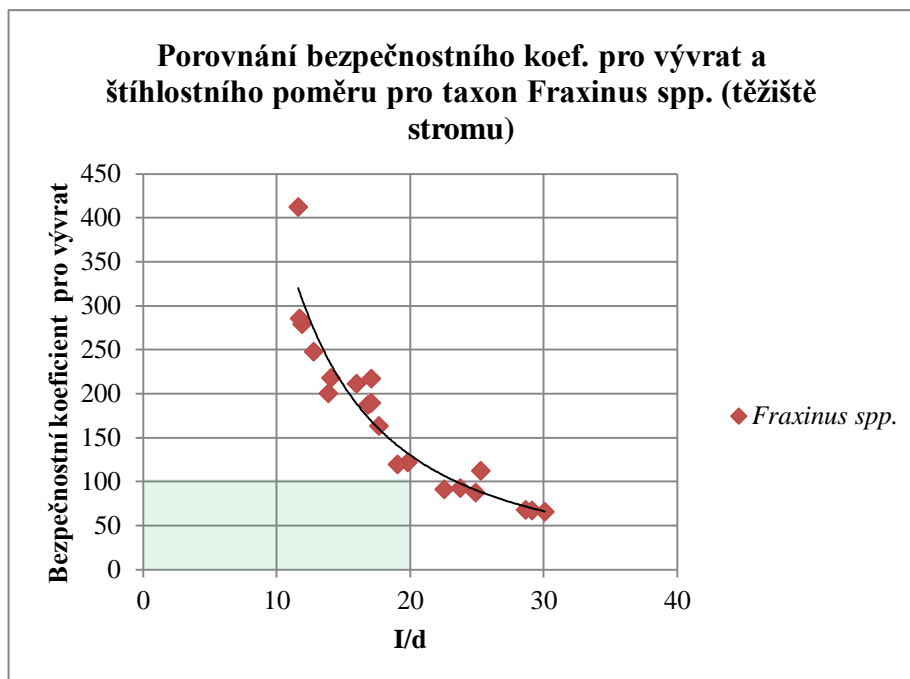
Podle bezpečnostního koeficientu pro vývrát stromu vyšlo 6 stromů jako nebezpečných, 3 stromy vyšly jako rizikové a 11 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.*). Vyhodnocení bezpečnosti podle štíhlostního koeficientu počítaného z celkové výšky stromu bylo odlišné. Jako nebezpečné stromy byly vyhodnoceny pouze 2 stromy (viz Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.*) Jeden ze dvou stromů u tohoto výpočtu zároveň reprezentuje nejnižší výsledek bezpečnostního koeficientu pro vývrát v datovém souboru *Fraxinus spp.* Z grafů (Graf 13. Závislost mezi

bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (výška stromu)) a (Graf 14. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (těžiště stromu)) lze vidět, že stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako bezpečné spadají z pohledu vývratu stromu mezi kategorii stromů nebezpečných.



Graf 13. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (výška stromu)

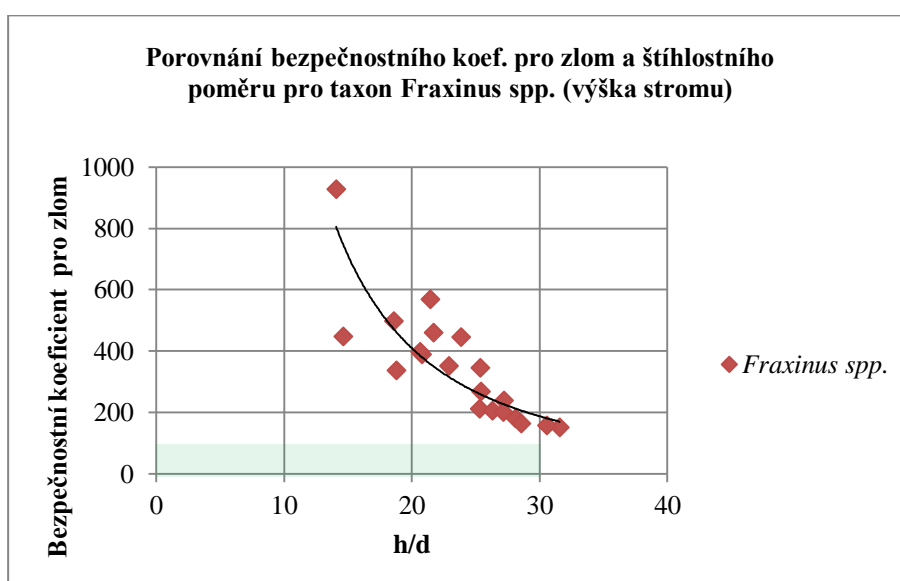
Při stejném porovnání jako u předchozího grafu (Graf 13. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem), kde byl místo štíhlostního poměru, který počítal s celkovou výškou stromu, dosazen výškový poměr, který počítal pouze s výškou těžiště stromu. Vyhodnoceno bylo 7 stromů jako nebezpečných (viz Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.*) Tento strom reprezentuje nejnebezpečnější strom z hlediska vývratu v datovém souboru *Fraxinus spp.*



Graf 14. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (těžiště stromu)

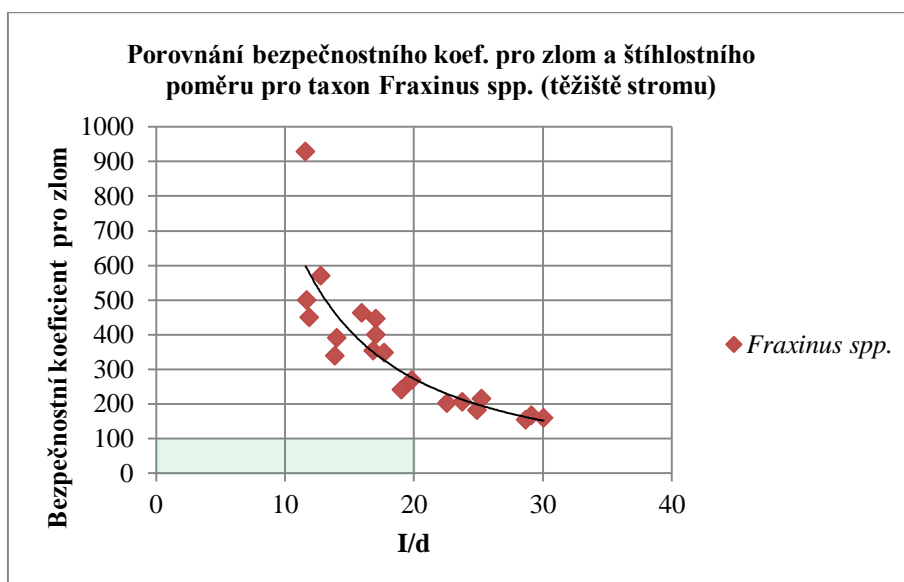
### Zlom

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšly všechny stromy jako bezpečné (viz Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s celkovou výškou stromu, byly vyhodnoceny 2 stromy jako nebezpečné. Jeden z těchto stromů reprezentuje nejnižší hodnotu bezpečnostního koeficientu pro zlom v tomto datovém souboru.



Graf 15. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (výška stromu)

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšly všechny stromy jako bezpečné (viz Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 7 stromů jako nebezpečných. Tento strom má nejnižší koeficient bezpečnosti pro zlom z celého datového souboru *Fraxinus spp.*



Graf 16. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Fraxinus spp.* (těžiště stromu)

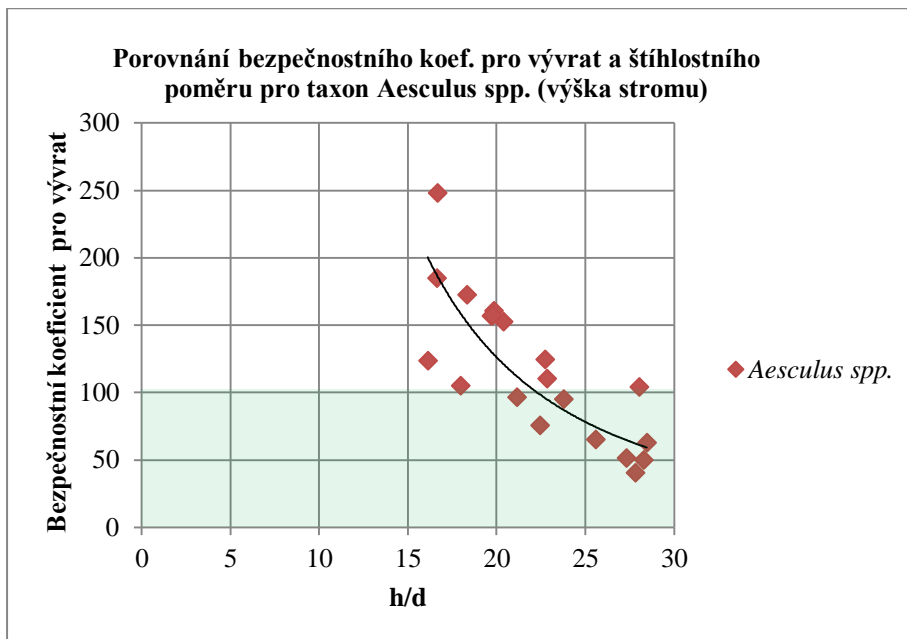
Pro taxon *Fraxinus spp.* nebyly oba štíhlostní koeficienty schopné pokrýt všechny nebezpečné a rizikové stromy, jak pro zlom, tak pro vývrát. Jsou schopné určit nejrizikovějšího jedince v souboru pro zlom i pro vývrát. Štíhlostní poměry v tomto souboru se jeví jako reprezentativnější pro zlom.

### 5.1.5 Aesculus shrnutí

#### Vývrát

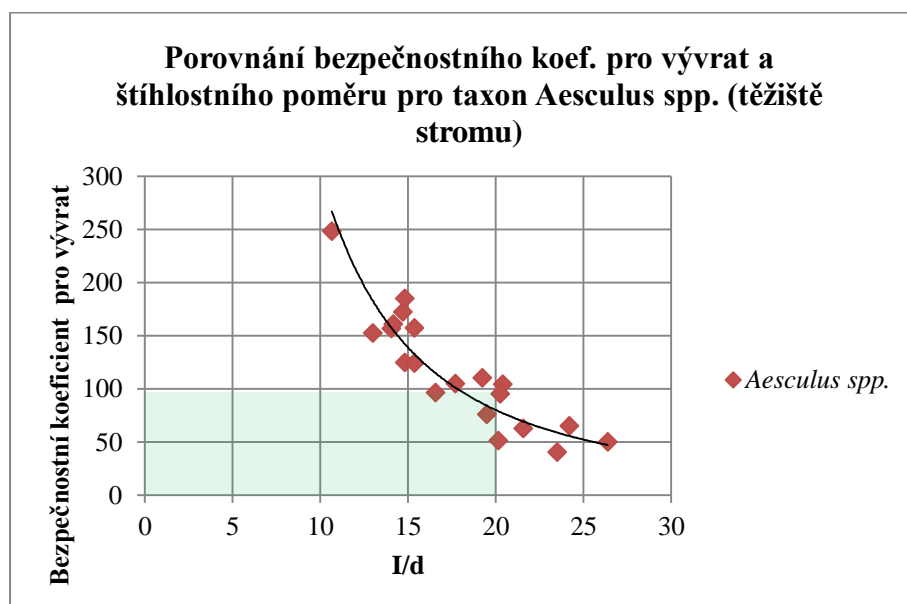
Podle bezpečnostního koeficientu pro vývrát stromu vyšlo 8 stromů jako nebezpečných, 5 stromů vyšlo rizikových a 7 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz Příloha 5. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.*) Vyhodnocení bezpečnosti podle štíhlostního koeficientu počítaného z celkové výšky stromu bylo odlišné. Všechny stromy byly vyhodnoceny jako bezpečné (viz Příloha 5. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.*). Z grafů (Graf 17. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus spp.* (výška stromu)) a (Graf 18. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrát a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus spp.* (těžiště stromu)) lze vidět, že

stromy vyhodnocené štíhlostním poměrem jako bezpečné spadají z pohledu vývratu stromu mezi kategorii stromů nebezpečné.



Graf 17. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus* spp. (výška stromu)

Při stejném porovnání jako u předchozího grafu (Graf 17. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem), kde místo štíhlostního koeficientu, který počítal s celkovou výškou stromu, byl dosazen výškový koeficient, který počítal pouze s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 7 stromů jako nebezpečných.

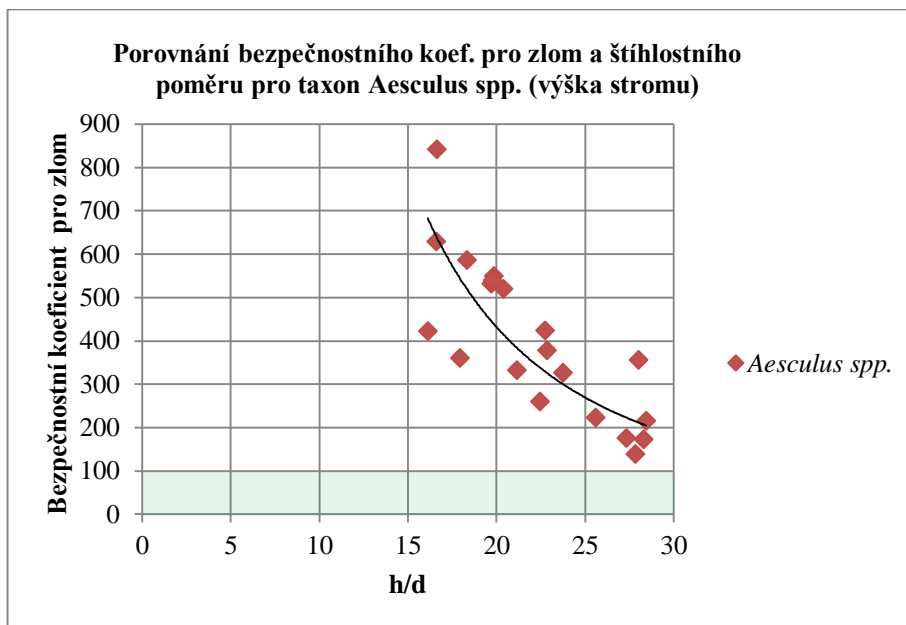


Graf 18. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro vývrat a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus* spp. (těžiště stromu)



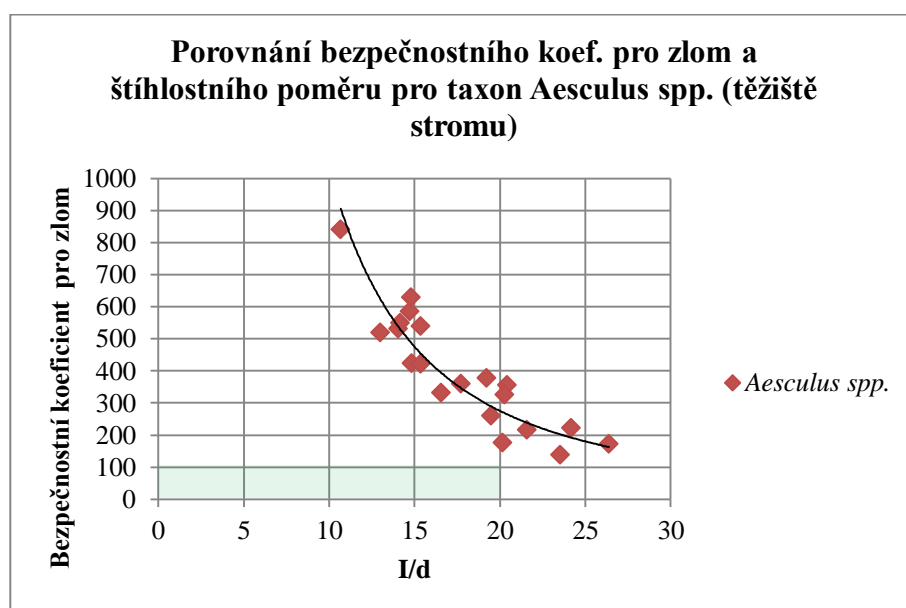
## Zlom

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšel 1 strom jako rizikový a 18 stromů vyšlo jako zcela bezpečné (viz Příloha 5. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s celkovou výškou stromu, byly všechny stromy vyhodnoceny jako bezpečné.



Graf 19. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus spp.* (výška stromu)

Dle výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom stromu vyšel 1 strom jako rizikový a 18 stromů vyšlo jako zcela bezpečných (viz Příloha 5. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.*) Dle štíhlostního koeficientu, kdy se počítá s výškou těžiště stromu, bylo vyhodnoceno 7 stromů jako nebezpečných.



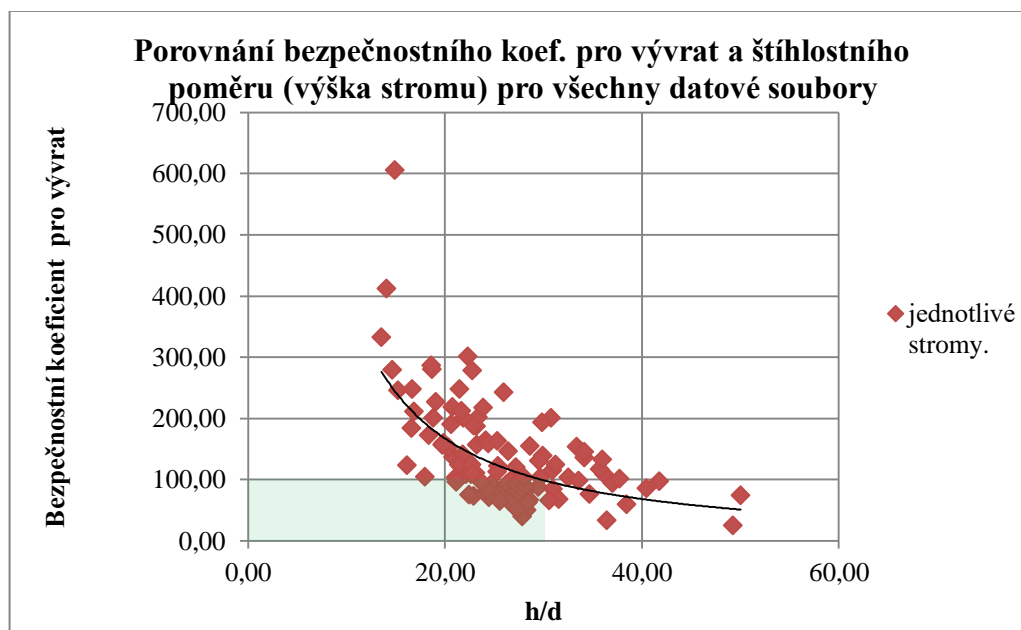
Graf 20. Závislost mezi bezpečnostním koef. pro zlom a štíhlostním poměrem pro taxon *Aesculus spp.* (těžiště stromu)

Pro taxon *Aesculus spp.* není ani jeden z štíhlostních poměrů reprezentativní v interpretaci vývratu, ačkoliv srovnání s bezpečnostním koeficientem pro zlom se jeví jako zcela shodné. V tomto datovém souboru štíhlostní poměry neurčily nejnižší hodnotu bezpečnostních koeficientů.

## 5.2 Srovnání štíhlostního koeficientu a bezpečnostního koeficientu

### 5.2.1 Srovnání bezpečnostního koeficientu pro vývrat a štíhlostního poměru s celkovou výškou stromu

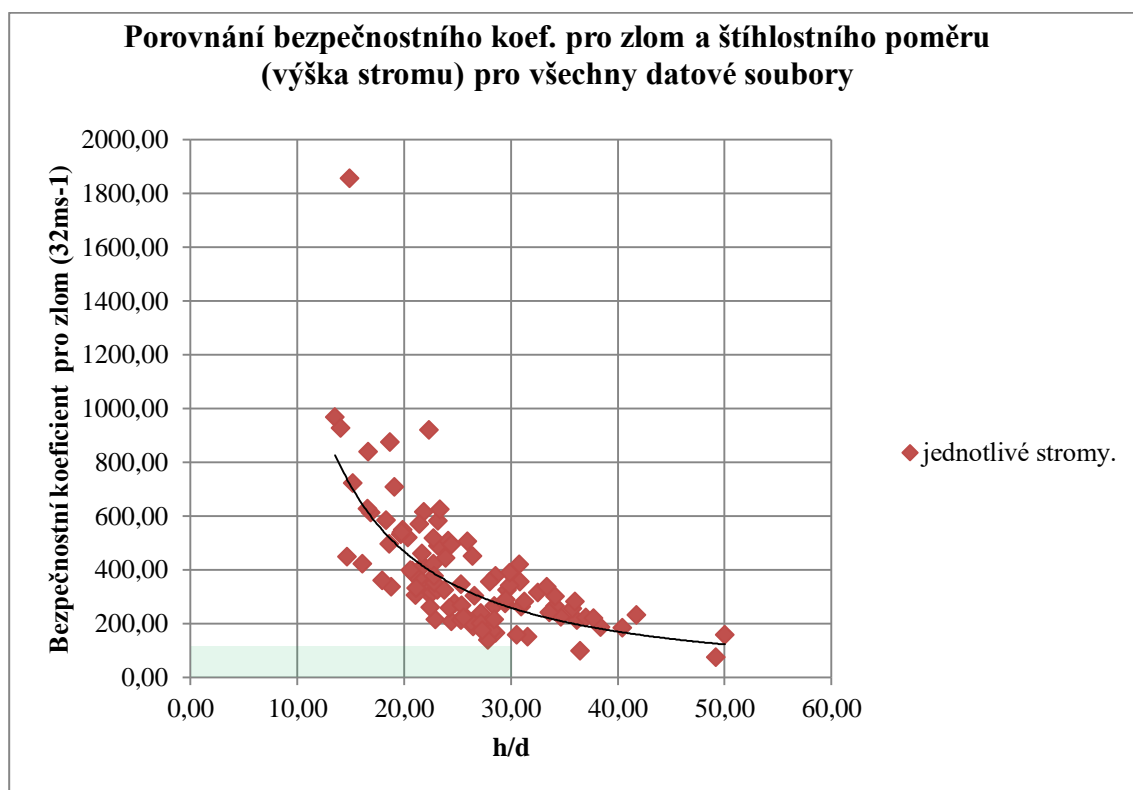
Ke srovnání štíhlostního poměru tedy podílu výšky stromu a jeho průměru s bezpečnostním koeficientem pro vývrat při rychlosti větru  $32 \text{ ms}^{-1}$  byl využit graf (Graf.21 Porovnání bezpečnostního koef. pro vývrat a štíhlostního poměru(výška stromu) pro všechny datové soubory. Z tohoto grafu je možné vyčíst, že mezi bezpečnostním koeficientem a štíhlostním poměrem je patrný trend mocninné křivky. Avšak štíhlostní poměr zachytil pouze 35 % rizikových a nebezpečných stromů stanovených dle bezpečnostního koeficientu. Což znamená, že v tomto případě štíhlostní koeficient podhodnocuje bezpečnost oproti bezpečnostnímu koeficientu pro vývrat.



Graf 21 Porovnání bezpečnostního koef. pro vývrat a štíhlostního poměru (výška stromu) všechny datové soubory

### 5.2.2 Srovnání bezpečnostního koeficientu pro zlom a štíhlostního poměru s celkovou výškou stromu

Ke srovnání štíhlostního poměru tedy podílu výšky stromu a jeho průměru s bezpečnostním koeficientem pro zlom při rychlosti větru  $32 \text{ ms}^{-1}$  byl využit graf (Graf 22 Porovnání bezpečnostního koef. pro zlom a štíhlostního poměru (výška stromu) pro všechny datové soubory). Z grafu je patrné, že stromy vyhodnoceny štíhlostním koeficientem jako nebezpečné, jsou z pohledu koeficientu vyhodnoceny jako bezpečné tedy dochází u štíhlostního koeficientu k podhodnocování bezpečnostního koeficientu.

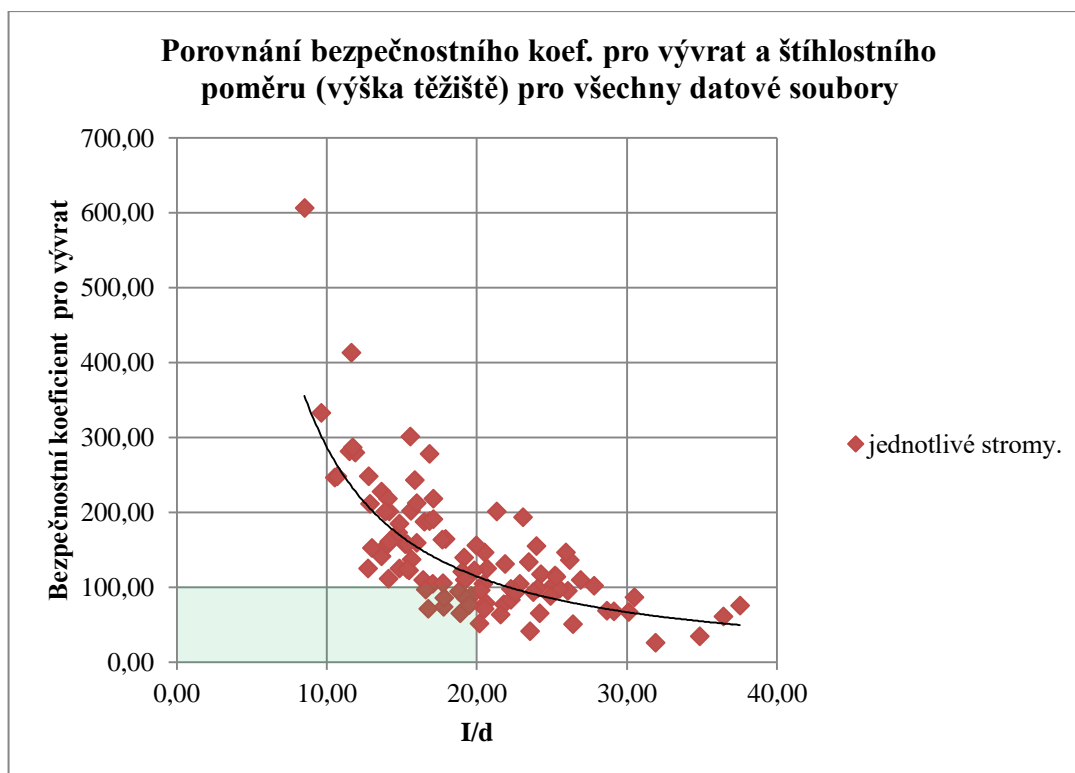


Graf 22 Porovnání bezpečnostního koef. pro zlom a štíhlostního poměru (výška stromu) pro všechny datové soubory

### 5.2.3 Srovnání bezpečnostního koeficientu pro vývrat a štíhlostního poměru s výškou těžiště stromu

Ke srovnání štíhlostního poměru tedy podílu výšky těžiště stromu a jeho průměru s bezpečnostním koeficientem pro vývrat při rychlosti větru  $32 \text{ ms}^{-1}$  byl využit graf

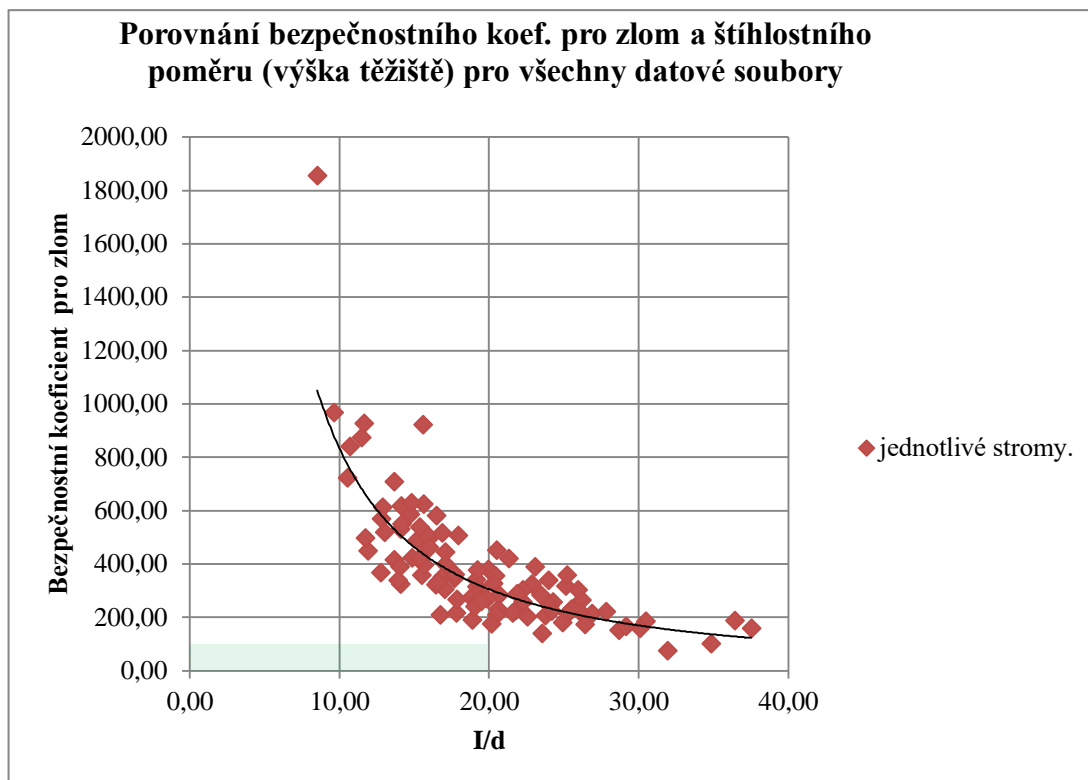
(Graf 23 porovnání bezpečnostního koef. pro vývrát a štíhlostního poměru (výška těžiště) pro všechny datové soubory). Z grafu je patrné, že u štíhlostního koeficientu dochází k podhodnocování bezpečnostního koeficientu. Je zde vidět podobný trend jako u Grafu 21 Porovnání bezpečnostního koef. pro vývrát a štíhlostního poměru (výška stromu) všechny datové soubory



Graf 23 Porovnání bezpečnostního koef. pro vývrát a štíhlostního poměru (výška těžiště) pro všechny datové soubory

#### 5.2.4 Srovnání bezpečnostního koeficientu pro zlom a štíhlostního poměru s výškou těžiště stromu

Ke srovnání štíhlostního poměru tedy podílu výšky těžiště stromu a jeho průměru s bezpečnostním koeficientem pro zlom při rychlosti větru  $32\text{ms}^{-1}$  byl využit graf (Graf 24 Porovnání bezpečnostního koef. pro zlom a štíhlostního poměru (výška těžiště) pro všechny datové soubory). Z grafu je patrné, že u štíhlostního koeficientu dochází k podhodnocování bezpečnostního koeficientu.



Graf 24 Porovnání bezpečnostního koef. pro zlom a štíhlostního poměru (výška těžiště) pro všechny datové soubory

### 5.3 Statistické vyhodnocení

Tabulka 4 Korelační matice *Tilia* spp.

<i>Tilia</i> spp.	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	1			
Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	0,999947639	1		
štíhlostní koeficient h/d	-0,747327686	-0,748780049	1	
štíhlostní koeficient I/d	-0,746296596	-0,748892147	0,89335832	1

Tabulka 4 Korelační matice *Tilia* spp. popisuje korelace jednotlivých bezpečnostních koeficientech s štíhlostními koeficienty. V tomto případě je zřejmé že vyšší hodnota korelace se nachází mezi bezpečnostním koeficientem pro vývrát a štíhlostním koeficientem počítajícím s celkovou výškou stromu. Taktéž mezi bezpečnostním

koeficientem pro zlom kmene a štíhlostním koeficientem počítajícím s výškou těžiště. Rozdíly jsou však v tomto případě zanedbatelné.

**Tabulka 5 Korelační matice Acer spp.**

<i>Acer spp.</i>	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	1			
Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	0,9999	1		
štíhlostní koeficient h/d	-0,7788	-0,7827	1	
štíhlostní koeficient I/d	-0,6994	-0,7034	0,9164	1

Tabulka 5 Korelační matice Acer spp. popisuje korelace jednotlivých bezpečnostních koeficientech s štíhlostními koeficienty. V tomto případě je zřejmé že vyšší hodnota korelace se nachází mezi bezpečnostním koeficientem pro vývrát a štíhlostním koeficientem počítajícím s celkovou výškou stromu. Stejně je tomu u bezpečnostního koeficientu pro zlom.

**Tabulka 6 Korelační matice Betula spp.**

<i>Betula spp.</i>	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms-1	1			
Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	0,9740	1		
štíhlostní koeficient h/d	-0,8160	-0,8598	1	
štíhlostní koeficient I/d	-0,7549	-0,8393	0,9345	1

Tabulka 6 Korelační matice Betula spp. popisuje korelace jednotlivých bezpečnostních koeficientech s štíhlostními koeficienty. V tomto případě je zřejmé

že vyšší hodnota korelace se nachází mezi bezpečnostním koeficientem pro vývrati zlom a štíhlostním koeficientem počítajícím s celkovou výškou stromu.

Tabulka 7 Korelační matice *Fraxinus spp.*

<i>Fraxinus spp.</i>	Koeficient bezpečnosti pro vývrati [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
Koeficient bezpečnosti pro vývrati [%] při rychlosti větru 32ms-1	1			
Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	0,9648	1		
štíhlostní koeficient h/d	-0,9278	-0,8356	1	
štíhlostní koeficient I/d	-0,8878	-0,8023	0,9004	1

Tabulka 7 Korelační matice *Fraxinus spp.* potvrzuje, že vyšší hodnota korelace se nachází mezi bezpečnostním koeficientem jak pro vývrati tak i pro zlom a štíhlostním koeficientem počítajícím s celkovou výškou stromu.

Tabulka 8 Korelační matice *Aesculus spp.*

<i>Aesculus spp.</i>	Koeficient bezpečnosti pro vývrati [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
Koeficient bezpečnosti pro vývrati [%] při rychlosti větru 32ms-1	1			
Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	0,9999	1		
štíhlostní koeficient h/d	-0,8078	-0,8094	1	
štíhlostní koeficient I/d	-0,8921	-0,8930	0,8381	1

Tabulka 8 Korelační matice *Aesculus* spp. popisuje korelace jednotlivých bezpečnostních koeficientech s štíhlostními koeficienty. Jako v jediném datovém souboru zde vyšla vyšší hodnota korelace mezi bezpečnostním koeficientem pro vývrat a zlom a štíhlostním koeficientem počítajícím s výškou těžiště stromu.



## 6 DISKUZE

Datový soubor *Tilia spp.* vykazuje korelaci mezi bezpečnostním koeficientem pro zlom kmene a štíhlostními koeficienty. Štíhlostní koeficienty v tomto datovém souboru identifikovaly nejnebezpečnější strom jak z hlediska vývratu tak zlomu, ale nejsou reprezentativní pro celý soubor. Naopak při srovnání bezpečnostního koeficientu pro zlom a štíhlostního koeficientu, který počítá s výškou těžiště, došlo k zařazení bezpečných stromů podle bezpečnostního koeficientu do nebezpečných podle štíhlostního koeficientu. U datového souboru *Acer spp.*, který při výpočtu bezpečnostního koeficientu pro zlom kmene určil všechny stromy jako bezpečné, ukazuje vliv materiálových vlastností, při tomto výpočtu. Ve srovnání se štíhlostními koeficienty, u kterých oproti bezpečnostnímu koeficientu pro zlom vyšla až třetina stromů jako nebezpečných.

Podobného vyhodnocení se dočkal i datový soubor *Betula spp.*, ve kterém došlo k tomu, že štíhlostní koeficienty určily více nebezpečných stromů než bezpečnostní koeficienty. V tomto případě taktéž budou hrát významnou roli při výpočtu materiálové vlastnosti. V datovém souboru *Fraxinus spp.* je patrná korelace bezpečnostního koeficientu pro vývrat se štíhlostním koeficientem, který počítá s výškou těžiště. Bezpečnostní koeficient pro zlom pak více koreluje se štíhlostním koeficientem, který počítá s celkovou výškou stromu. Stejně jako u předchozích souborů odhalili štíhlostní koeficienty nejnebezpečnější strom z hlediska vývratu i zlomu, ale nejsou schopny reprezentovat celý datový soubor. U datového souboru *Aesculus spp.* je možné jako u jediného sledovat vyšší míru korelace mezi bezpečnostním koeficientem pro zlom i pro vývrat a štíhlostního koeficientu počítajícím s výškou těžiště jedince.

V souborech dochází převážně ke korelaci štíhlostního koeficientu počítajícím s výškou stromu a bezpečnostního koeficientu pro vývrat i zlom. Korelace se štíhlostním koeficientem počítajícím s výškou těžiště zřejmě dostatečně nekoreluje z důvodu nastavení hranice bezpečnosti na 20 na rozdíl od štíhlostního poměru, který počítá s výškou celého stromu, kde je limitní hodnota 30.

Porovnáním koeficientu bezpečnosti pro vývrat a štíhlostního koeficientu je možné říci, že štíhlostní koeficient počítajícím s výškou těžiště určil v každém z pěti souborů strom s nejnižší hodnotou bezpečnostního koeficientu jak pro vývrat, tak pro zlom kmene. I přes vysoké hodnoty korelačních koeficientů, lze v celkovém rozsahu vidět,

že stromy vyhodnocené jako nebezpečné pro vývrat stromu, spadají do kategorie stromů bezpečných z pohledu štíhlostních koeficientů. Tyto koeficienty jsou sestaveny především pro kontrolu odolnosti kmene vůči zlomu, a tedy podhodnocují skutečnost v případě vývratu. Na rozdíl od vývratu stromu, byla úzká korelace v případě zlomu kmene očekávaná. Z grafů, lze ale pozorovat, že především v případě souboru *Acer spp.* a *Betula spp.* jsou stromy vyhodnocené jako bezpečné z pohledu bezpečnostních koeficientů zařazeny mezi nebezpečné z pohledu štíhlostních koeficientů. Materiál je definován vlastnostmi dřeva pozorovaného jedince, přičemž vliv změny geometrie se zdá být výraznější (Nicklas, 2007; Fournier a kol., 2013). Tedy i zde mohou hrát roli materiálové vlastnosti daných taxonů (Commandeur a Pyles, 1991, Lui et al. 1994) a (Niklas a Spatz, 2010; Lavers 1993; Kretschmann 2010), které umožňují stromům jinou tvarovou optimalizaci. Tedy stále platí, že pokud nejsou ve vyšší míře v rovnováze základní složky systému stability tedy zatížení, geometrie a materiál může dojít k selhání stromu (Mattheck a kol., 1991).

## 7 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

Standard AOPK 01 001 Hodnocení stromů je jediným schváleným obecným postupem od AOPK při hodnocení stability stromu a stupnice, která se zhodnocením tohoto parametru ve standardech zabývá je nejednoznačná a v interpretaci značně variabilní. Nelze z ní přesně interpretovat či kvantifikovat riziko zlomu či vývratu. Dle této práce se jeví štíhlostní koeficienty jako nedostatečné kritérium při hodnocení stability stromu, především ke vztahu k vývratu stromu. Z výsledků je patrné, že ve výpočtech nelze opomenout ani význam materiálových vlastností. Štíhlostní koeficienty však počítají pouze s dendrometrickými parametry. Proto pro doplnění metodiky hodnocení stability stromů navrhuji použít zjednodušeného výpočtu pro bezpečnostní koeficienty nikoliv pro štíhlostní koeficienty. Dále také zařadit navržený výpočet odolnosti stromu vůči vývratu, který je hlavním přínosem této práce. Výpočty jsou sestaveny na základě parametrů získaných standardní inventarizací, lze je tedy snadno provést a získat tak základní přehled o stabilitě stromů

V běžné praxi při hodnocení stromů, tak lze využít nástroje, kterým dojde ke zpřesnění a objektivizaci hodnocení stability stromu.

## **8 SUMMARY**

Tree evaluation standards, according to AOPK 01 001, are the only approved general procedure from AOPK in the evaluation of tree stability and the scale, which deals with the evaluation of this parameter in the standards, is ambiguous and highly variable in interpretation. It is not possible to accurately interpret or quantify the risk of breakage or uprooting. According to this work, slenderness coefficients appear to be an insufficient criterion in evaluating the tree stability. The importance of material properties cannot be neglected in the calculations and only dendrometric parameters can be used. Therefore, to replendish the methodology of tree stability assessment, I propose to use a simplified calculation for safety coefficients, not for slenderness coefficients.

In common practice, the evaluation will refine and generalize the evaluation of tree stability. However, including the calculation of the slenderness coefficient in the current visual assessment could identify the most at-risk individuals in the inventories. However, in the interpretation of entire data sets, slenderness coefficients appear to be an insufficient criterion in evaluating the tree stability. In view of the importance of material properties cannot be neglected in calculations and only dendrometric parameters can be used.

## 9 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 9.1 Knižní zdroje

AKBARI H., 1997: Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and buildings*, 25.2.

BERNATZKY A., 1983: The effects of trees on the urban climate. *Trees in the 21st Century*. Academic Publishers, Berkhamster, 59-76.

BOLUND P., HUNHAMMAR S., 1999: Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29.2: 293-301.

BOWLES J. E., 1996: *Foundation Analysis and Design*. 5. vyd. USA: McGraw-Hill. ISBN 0-07-912247-7.

COMMANDEUR P. R., PYLES M. R., 1991: Modulus of elasticity and tensile strength of Douglas-fir roots. In *Canadian Journal of Forestry Research* 21: 48-51.

DE CARVALHO R. M., SZLAFSZTEIN C. F., 2019: Urban vegetation loss and ecosystem services: the influence on climate regulation and noise and air pollution. *Environmental pollution*, 245: 844-852.

DIMOUDI A., NIKOLOPOULOU M., 2003: Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings*, 35.1: 69-76.

ELIASSON I., 1996: Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30.3: 379-392."

FOURNIER, M., J. DLOUHÁ, G. JAOUEN a T. ALMERAS, 2013. Integrative biomechanics for tree ecology: Beyond wood density and strength. *Journal of Experimental Botany* [online]. roč. 64, č. 15, s. 4793–4815. ISSN 00220957. Dostupné z: doi:10.1093/jxb/ert279

GAGO, E. J. et al., 2013: The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 749-758.

GEORGI N. J., ZAFIRIADIS K., 2006: The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*, 9.3: 195-209.

GÓMEZ-BAGGETHUN E., BARTON D. N., 2013: Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological economics*, 86: 235-245.

HURYCH V., 2011: Význam zeleně pro člověka In – *Tvorba zeleně (Sadovnictví – Krajinářství)*. Mělník: Vyšší odborná škola zahradnická a Střední zahradnická škola ve spolupráci s Grada Publishing, 303 s. ISBN 978-80-247-3605-1

CHAN K. M. A., et al., 2012: Where are cultural and social in ecosystem services? A framework for constructive engagement. *BioScience*, 62.8: 744-756.

JANHÄLL S., 2015: Review on urban vegetation and particle air pollution–Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105: 130-137.

JANSSON Å., 2013: Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. *Ecological Economics*, 86: 285-291.

KOLAŘÍK J. et al., 2003: Péče o dřeviny rostoucí mimo les – I.. Vlašim: ČSOP Vlašim, 87 stran. ISBN 80-86327-36-1.

KOLAŘÍK J. et al., 2010: Péče o dřeviny rostoucí mimo les – II.. Vlašim: ČSOP Vlašim, 696 stran. ISBN 978-80-86327-85-3.

[1.] Kretschmann, D.E., 2010. *Wood Handbook*, Forest Service.

LAVERS, G. M. 1993. The strength properties of timber. Building Research Establishment.

LEUNG D. Y. C et al., 2011: Effects of urban vegetation on urban air quality. *Landscape Research*, 36.2: 173-188.

LIU J., KOOLEN A. J., HEIJ W., 1994: The tensile strength of beech and larch roots. In *Proceedings 6th European ISTVS Conference*, Vienna, Austria, September 28- 30.

MATTHECK C., BRELOER H., 1994: The body language of trees. Research for amenity trees, number 4.1st ed. Great Britain: TSO – The Stationery Office. 239 s.

MATTHECK C. et al., 1991: *Body Language of Trees: A Handbook for Failure Analysis (Research for Amenity Trees)*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, ISBN: 9783923704897.

NESBITT L. et al., 2017: The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25: 103-111.

NIKLAS, Karl J, 2007. Maximum plant height and the biophysical factors that limit it. *Tree physiology* [online]. roč. 27, s. 433–440. ISSN 0829-318X. Dostupné z: doi:10.1093/treephys/27.3.433

NIKLAS, Karl J. a Hanns Christof SPATZ, 2010. Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *American Journal of Botany* [online]. roč. 97, č. 10, s. 1587–1594. ISSN 00029122. Dostupné z: doi:10.3732/ajb.1000150

OW L. F., GHOSH, S., 2017: Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120: 15-20.

PRAUS L., VOJÁČKOVÁ B., SEBERA V., TIPPNER H., 2015: Metodika výpočtu zatížení stromu pro vizuální hodnocení a vyhodnocování přístrojových metod. Certifikovaná metodika. Mendelova univerzita v Brně, 50 s.

SATZ D. et al., 2013: The challenges of incorporating cultural ecosystem services into environmental assessment. *Ambio*, 42.6: 675-684.

SCHWEINGRUBER F. H., 2007: *Wood Structure and Environment*. Springer-Verlag, Berlin, ISBN 978-3-540-48548-3. SHIGO A. L., 1991: *Modern arboriculture*. Shigo & Trees Assoc; 1st edition, 424 s.

SMARDON R. C., 1988: Perception and aesthetics of the urban environment: Review of the role of vegetation. *Landscape and Urban planning*, 15.1-2: 85-106.

SMILEY T. E., 2008: Root pruning and stability of young willow oak. In *Arboriculture & Urban forestry*. Roč. 34. No. 2. s. 123 – 128.

SPPK A01 002:2015., 2015: *Ochrana dřevin při stavební činnosti - Standard péče o přírodu a krajinu, řada A Arboristické standardy - koncept*. Praha: Agentura ochrany a přírody krajiny ČR.

ŠIŠÁK L. et al., 2017: *Metodika hodnocení společenské sociálně-ekonomické významnosti ekosystémových služeb lesa v České republice*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 33 s.

TOMKOVÁ A., 2011: *Vodní režim stromů ve vztahu k mikroklimatu*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy – Bakalářská práce, 35 s.

VOJÁČKOVÁ B., 2015: *Numerický model odezvy stromu během tahové zkoušky*. Diplomová Práce LDF MENDELU. Vedoucí Jan Tippner.

VOJÁČKOVÁ B., TIPPNER J., HORÁČEK P., SEBERA V., PRAUS L., Mařík R., BRABEC M., 2020: The effect of the stem and root-plate defects to the tree response during static loading – numerical analysis. – under review.

VYSKOT I. et al., 2003: *Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 188 s.

WESSOLLY L. a ERB M., 1998: *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Patzer Verlag Berlin. 288 p.

YOUNG W. C., BUDYNAS R. G., 2002: *Roark's formulas for stress and strain*. 7th ed. The McGraw-Hill Companies, New York, 928 s. ISBN: 9781260453751.

„Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem“ (ČSN EN 1991-1-4).

## 9.2 Internetové zdroje

Arnika ©2014: *Stromy a Země* (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <<https://arnika.org/stromy-a-zeme>>

Arnika ©2014: Význam stromů pro města (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <<http://arnika.org/stromy-a-zelen>>

Dlupal 2020: Větrné oblasti České republiky (online) [cit. 2020 06.16.] Dostupné z <<https://www.dlupal.com/cs/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim/vitr-csn-en-1991-1-4.html#&center=49.818140479319496,15.474952500000008&zoom=7&marker=50.075865,14.434609>>

e-knihovna Mendelu 2012: Význam zeleně pro člověka (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <[https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=71330](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71330)>

Ekolist ©2019: Stromy automaticky neznamenají návrat vody. Vegetace může vyvolat i sucho (online) [cit.2020.05.29], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/stromy-automaticky-neznamenaji-navrat-vody.vegetace-muze-vyvolat-i-sucho>>

Enviweb 2012: Role alejí v krajině (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <<http://www.enviweb.cz/91672>>

Meteogram.cz ©2020: Beaufortova stupnice rychlosti větru (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <<https://www.meteogram.cz/beaufortova-stupnice-rychlosti-vetru/>>

Náše voda ©2017: Význam stromů pro koloběh vody a teplotu vzduchu (online) [cit.2020.05.29], dostupné z <<https://www.nase-voda.cz/vyznam-stromu-pro-kolobeh-vody-teplotu-vzduchu/>>

OBRZUD R. F., TRUTY A., The Hardening Soil Model – A Practical Guidebook. (online) [cit.2020.05.20], dostupné z <[http://www.zsoil.com/zsoil\\_manual\\_2018/Rep-HS-model.pdf](http://www.zsoil.com/zsoil_manual_2018/Rep-HS-model.pdf)>

Sdružení Calla ©2007: Stromy v krajině a ve městě (online) [cit.2020.05.29], dostupné z <[https://www.calla.cz/data/o\\_prirody/ostatni/stromy.pdf](https://www.calla.cz/data/o_prirody/ostatni/stromy.pdf)>

Záhradník Lukáš ©2020: Záhradny dizajn (online) [cit.2020.05.29], dostupné z <<http://www.zahradnydizajn.sk>>

Ministerstvo zemědělství ©2018: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce (online) [cit.2020.05.29], dostupné z <[http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava\\_o\\_stavu\\_lesa\\_2018.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava_o_stavu_lesa_2018.pdf)>



## 10 SEZNAM PŘÍLOH

### 10.1 Tabulkové přílohy

Příloha 1. Vyhodnocení datového souboru *Tilia spp.*

Pořadové číslo	Stanoviště	Koef. bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koef. bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 25 ms <sup>-1</sup>	Koef. bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koef. bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 25ms <sup>-1</sup>	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
1	klid	70,94	109,98	210,23	325,34	27,08	16,74
2	klid	93,51	124,89	274,91	365,78	24,72	18,78
3	klid	211,28	261,00	613,37	753,51	16,86	12,87
4	klid	109,32	150,60	321,73	441,52	22,11	16,42
5	klid	246,05	360,31	723,55	1054,09	15,23	10,54
6	exp	121,81	167,01	358,24	489,17	21,57	15,47
7	exp	136,70	171,83	398,33	498,15	20,80	15,66
8	exp	109,17	125,67	316,69	363,20	22,62	19,16
9	exp	78,23	115,13	231,07	338,99	25,64	20,58
10	exp	141,02	205,60	416,24	604,79	21,80	13,63
11	exp	332,39	447,69	969,58	1297,34	13,55	9,62
12	exp	64,55	88,31	190,06	259,10	26,47	18,87
13	exp	73,03	112,09	216,52	331,81	22,91	17,78
14	klid	34,04	50,39	100,86	149,09	36,46	34,86
15	klid	110,86	155,81	326,34	456,83	23,11	14,08
16	exp	71,03	104,12	210,06	307,17	24,45	20,49
17	klid	25,40	39,30	75,36	116,49	49,23	31,91
18	klid	76,82	104,19	226,17	305,69	34,68	21,77
19	exp	124,57	190,80	368,42	562,66	21,40	12,75
20	exp	103,91	148,71	307,11	438,40	21,10	17,03

**Příloha 2. Vyhodnocení datového souboru *Acer spp.***

Pořadové číslo	stanoviště	Koeficient bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 25 ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 25ms <sup>-1</sup>	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
1	klid	85,04	126,68	267,01	397,00	28,44	17,83
2	klid	82,25	122,41	258,23	383,58	24,28	22,25
3	klid	104,09	145,82	325,93	455,44	29,64	22,87
4	klid	156,81	226,64	490,20	705,91	23,20	15,20
5	klid	87,93	132,82	275,78	415,57	29,49	19,60
6	exp	163,90	196,56	508,51	607,97	24,13	17,91
7	exp	103,25	110,10	317,65	338,18	32,50	25,10
8	exp	115,14	136,29	357,79	422,43	30,88	25,20
9	klid	84,34	124,32	264,61	389,22	31,00	19,27
10	klid	301,06	361,74	921,97	1101,50	22,34	15,57
11	exp	227,28	321,29	709,42	998,90	19,08	13,62
12	exp	280,77	403,17	875,13	1250,65	18,68	11,48
13	exp	606,01	745,06	1857,32	2269,12	14,88	8,51
14	klid	186,83	252,90	582,35	785,21	23,16	16,48
15	klid	60,23	74,36	187,77	231,23	38,42	36,43
16	exp	97,35	127,04	303,70	395,13	26,60	22,26
17	klid	201,81	267,08	626,33	824,83	23,33	15,61
18	klid	200,62	238,72	616,99	730,82	21,87	14,13
19	klid	158,88	213,61	494,65	662,24	24,41	15,96
20	klid	146,38	167,29	451,39	514,29	26,41	20,49

**Příloha 3. Vyhodnocení datového souboru *Betula spp.***

Pořadové číslo	stanoviště	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 25 ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 25ms <sup>-1</sup>	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
1	klid	135,99	173,01	266,21	311,81	34,14	26,18
2	klid	200,49	268,18	421,46	517,25	30,77	21,30
3	klid	86,37	117,31	186,00	232,00	40,46	30,46
4	klid	109,26	138,84	214,05	250,54	36,18	26,89
5	klid	243,04	324,02	507,44	620,44	25,94	15,85
6	klid	117,19	161,30	257,12	325,24	35,74	24,27
7	klid	94,69	136,53	222,55	297,30	37,04	26,05
8	klid	139,54	207,43	343,02	476,96	29,90	19,11
9	exp	98,15	146,27	242,55	338,65	33,58	24,05
10	klid	124,32	175,96	284,15	371,01	31,26	20,68
11	klid	101,26	138,99	221,30	279,09	37,74	27,80
12	klid	74,66	100,75	159,51	197,70	50,02	37,52
13	klid	154,12	212,64	338,98	429,78	33,39	23,95
14	exp	193,35	251,37	389,32	464,72	29,88	23,05
15	exp	145,82	193,31	302,60	368,10	34,16	25,92
16	exp	277,82	342,15	517,94	590,15	22,74	16,85
17	exp	133,01	179,51	283,40	351,02	35,99	23,46
18	exp	97,14	141,72	232,43	315,25	41,79	25,51
19	exp	130,82	180,94	289,13	367,72	29,51	21,86
20	exp	154,99	229,61	379,39	525,26	28,60	19,93

**Příloha 4. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.***

Pořadové číslo	stanoviště	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro vývrát [%] při rychlosti větru 25 ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 25ms <sup>-1</sup>	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
1	klid	218,14	256,96	391,12	430,85	20,79	14,05
2	klid	188,03	228,71	352,78	398,01	22,89	16,84
3	klid	200,56	226,22	338,64	362,27	18,80	13,88
4	exp	248,01	347,62	570,41	735,46	21,44	12,78
5	exp	212,10	286,67	462,45	573,15	21,68	15,98
6	exp	217,91	281,84	446,02	529,78	23,87	17,07
7	exp	412,48	569,89	927,76	1176,68	14,07	11,61
8	klid	279,63	305,47	449,83	471,70	14,64	11,88
9	klid	286,27	330,69	498,70	541,87	18,59	11,71
10	klid	122,36	166,12	269,17	335,34	25,39	19,84
11	klid	163,40	217,08	347,73	423,65	25,34	17,68
12	exp	119,98	152,53	240,72	281,81	27,21	19,03
13	exp	113,08	138,17	214,42	242,90	25,31	25,27
14	exp	190,24	250,22	398,95	481,35	20,62	17,07
15	exp	68,49	93,94	153,31	193,21	31,58	28,67
16	exp	93,18	126,93	206,61	258,52	26,29	23,75
17	exp	91,83	124,72	202,52	252,52	27,17	22,57
18	exp	87,88	114,32	182,16	217,69	28,09	24,90
19	exp	66,06	95,37	159,66	213,73	30,56	30,09
20	exp	67,55	98,68	166,10	225,70	28,58	29,14

**Příloha 5. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.***

Pořadové číslo	stanoviště	Koeficient bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 32ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro vývrat [%] při rychlosti větru 25 ms <sup>-1</sup>	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 32ms-1	Koeficient bezpečnosti pro zlom [%] při rychlosti větru 25ms-1	štíhlostní koeficient h/d	štíhlostní koeficient I/d
1	klid	104,99	149,40	361,28	512,26	17,95	17,71
2	klid	152,37	196,76	520,31	668,76	20,37	13,01
3	klid	124,45	157,30	424,49	534,10	22,73	14,83
4	klid	103,93	137,35	355,96	468,44	28,02	20,42
5	klid	156,70	195,27	532,48	660,11	19,71	14,06
6	klid	247,94	326,26	841,67	1099,88	16,64	10,68
7	klid	50,06	72,75	172,93	250,78	28,30	26,39
8	klid	172,46	222,13	586,44	750,95	18,32	14,72
9	klid	184,63	244,09	629,35	827,22	16,61	14,81
10	klid	95,14	127,38	326,68	435,80	23,76	20,26
11	klid	110,29	149,18	378,89	510,63	22,84	19,23
12	klid	160,49	225,28	550,18	768,46	19,86	14,15
13	klid	157,28	212,56	539,56	726,24	19,77	15,35
14	exp	96,43	144,44	332,98	497,45	21,13	16,57
15	exp	75,56	107,09	260,69	368,57	22,44	19,49
16	exp	65,05	89,83	223,68	307,79	25,58	24,18
17	exp	62,82	87,77	216,45	301,56	28,46	21,58
18	exp	40,34	62,32	139,76	215,68	27,83	23,52
19	exp	51,10	77,61	176,96	268,46	27,32	20,16
20	klid	123,71	170,31	423,13	579,31	16,11	15,35

**Příloha 6. Inventarizace datového souboru *Tilia spp.***

Pořadové číslo	obvod kmene v 130 (cm)	průměr kmene v 130 cm (cm)	plocha koruny (m <sup>2</sup> )	výška stromu (m)	výška nasazení koruny (m)	výška těžiště koruny (m)	celková výška těžiště	excentricita koruny
1	152	48,4	66,7	13,1	2,6	5,5	8,1	4,8
2	291	92,6	117,0	22,9	6,7	10,7	17,4	10,8
3	354	112,7	84,8	19,0	6,3	8,2	14,5	8,9
4	287	91,4	121,5	20,2	5,2	9,8	15,0	9,8
5	328	104,4	127,1	15,9	2,5	8,5	11,0	6,5
6	268	85,3	99,6	18,4	5,0	8,2	13,2	8,8
7	299	95,2	82,5	19,8	8,2	6,7	14,9	8,3
8	282	89,8	48,2	20,3	12,6	4,6	17,2	8,9
9	174	55,4	58,2	14,2	4,7	6,7	11,4	5,5
10	219	69,7	75,7	15,2	2,9	6,6	9,5	6,8
11	575	183,0	257,3	24,8	3,2	14,4	17,6	12,0
12	273	86,9	159,0	23,0	8,4	8,0	16,4	10,2
13	288	91,7	215,0	21,0	2,2	14,1	16,3	12,4
14	137	43,6	49,6	15,9	5,5	9,7	15,2	8,0
15	261	83,1	121,6	19,2	5,0	6,7	11,7	8,0
16	230	73,2	111,6	17,9	4,2	10,8	15,0	9,3
17	127	40,4	68,0	19,9	4,5	8,4	12,9	6,7
18	202	64,3	61,9	22,3	7,1	6,9	14,0	7,9
19	276	87,9	160,8	18,8	2,4	8,8	11,2	6,6
20	262	83,4	112,9	17,6	3,2	11,0	14,2	11,7

**Příloha 7. Inventarizace datového souboru *Acer spp.***

číslo	obvod kmene v 130cm (cm)	průměr kmene v 130 cm (cm)	výška stromu	výška nasazení koruny	plocha koruny	výška těžiště koruny	celková výška těžiště	excentricita
1	148	47,1	13,4	2,4	77,4	6,0	8,4	7,30
2	132	42,0	10,2	2,5	50,0	6,8	9,3	6,4
3	115	36,6	10,8	3,3	31,0	5,0	8,3	5,6
4	174	55,3	12,8	2,8	68,5	5,6	8,4	5,3
5	147	46,7	13,8	2,9	73,0	6,2	9,1	4,8
6	200	63,6	15,3	5,2	48,4	6,2	11,4	8,6
7	217	69,0	22,4	12,7	49,9	4,5	17,3	8,9
8	176	56,0	17,3	6,6	36,4	7,4	14,1	8,9
9	188	59,8	18,5	2,8	108,5	8,6	11,5	8,7
10	223	70,9	15,8	5,2	39,2	5,8	11,0	5,2
11	214	68,1	13,0	2,3	67,0	6,9	9,2	6,5
12	222	70,6	13,2	2,1	73,4	5,9	8,1	5,2
13	307	97,7	14,5	2,5	56,9	5,8	8,3	6,7
14	166	52,8	12,2	3,2	43,1	5,5	8,7	5,8
15	148	47,1	18,1	9,7	51,2	7,4	17,1	8,3
16	235	74,8	19,9	5,6	105,0	11,0	16,6	11
17	202	64,3	15,0	4,1	62,7	5,9	10,0	5,8
18	306	97,4	21,3	6,6	119,0	7,1	13,7	8,7
19	226	71,94	17,560	4,180	94,5	7,3	11,48	7,5
20	201	63,98	16,900	8,110	51,4	5	13,11	7,4

**Příloha 8. Inventarizace datového souboru *Betula spp.***

číslo	obvod kmene v 130 (cm)	průměr kmene v 130 (cm)	plocha	výška	nasazení	výška těžiště koruny	výška celková těžiště	excentricita
1	150	47,7	40,8	16,3	6,5	6,0	12,5	6,4
2	146	46,4	38,0	14,3	3,7	6,2	9,9	5,8
3	132	42,0	52,7	17,0	5,9	6,9	12,8	7,0
4	132	42,0	38,1	15,2	5,8	5,5	11,3	7,9
5	218	69,3	93,0	18,0	3,9	7,1	11,0	6,9
6	167	53,1	80,9	19,0	4,5	8,4	12,9	7,9
7	123	39,1	56,7	14,5	4,0	6,2	10,2	5,8
8	166	52,8	102,0	15,8	2,7	7,4	10,1	5,9
9	145	46,1	88,4	15,5	2,6	8,5	11,1	7,4
10	196	62,3	132,3	19,5	3,7	9,2	12,9	8,8
11	139	44,2	56,2	16,7	5,2	7,1	12,3	6,7
12	103	32,7	29,6	16,4	5,3	7,0	12,3	7,3
13	143	45,5	46,0	15,2	4,0	6,9	10,9	5,7
14	184	58,5	52,9	17,5	5,5	8	13,5	5,9
15	160	50,9	50,2	17,4	5,3	7,9	13,2	6,4
16	221	70,3	59,2	16,0	4,8	7,0	11,8	7,1
17	158	50,2	62,5	18,1	4,9	6,9	11,8	6,8
18	109	34,6	45,5	14,5	3,3	5,5	8,85	5,4
19	148	47,1	64,0	13,9	3,8	6,5	10,3	7,2
20	134	42,6	57,0	12,2	2,0	6,5	8,5	6,0



**Příloha 9. Vyhodnocení datového souboru *Fraxinus spp.***

číslo	obvod kmene v 130 cm (cm)	průměr kmene v 130 cm (cm)	výška stromu (m)	výška nasazení koruny	plocha koruny	výška těžiště koruny	celková výška těžiště	excentricita
1	284	90,4	18,7	7,6	70,2	5,1	12,7	8,1
2	302	96,1	22,0	7,4	90,4	8,7	16,1	9,0
3	367	116,8	21,9	9,8	96,9	6,4	16,2	10,2
4	268	85,3	18,2	3,2	114,6	7,7	10,9	6,9
5	205	65,2	14,1	4,4	56,9	6,0	10,4	5,6
6	214	68,1	16,2	5,0	49,3	6,6	11,6	6,3
7	297	94,5	13,3	2,2	89,8	8,7	10,9	7,1
8	457	145,4	21,3	9,8	93,9	7,4	17,2	10,0
9	343	109,1	20,3	6,8	83,2	5,9	12,7	8,8
10	172	54,7	13,9	5,8	56,7	5,0	10,8	6,0
11	215	68,4	17,3	5,8	69,8	6,3	12,1	6,4
12	213	67,8	18,4	6,2	74,9	6,7	12,9	10,0
13	232	73,8	18,6	8,4	60,4	10,2	18,6	10,0
14	208	66,2	13,6	5,3	56,4	6,0	11,3	6,1
15	152	48,3	15,2	6,8	56,3	7,0	13,8	7,6
16	196	62,3	16,4	4,8	81,5	10,0	14,8	10,7
17	197	62,7	17,0	5,9	87,2	8,2	14,1	9,0
18	205	65,2	18,3	7,5	78,4	8,7	16,2	9,7
19	147	46,7	14,3	3,7	59,0	10,3	14,0	9,6
20	186	59,2	16,9	3,7	97,9	13,5	17,2	10,8

**Příloha 10. Vyhodnocení datového souboru *Aesculus spp.***

číslo	obvod kmene v 130 (cm)	průměr kmene v 130 (cm)	výška stromu	výška nasazení koruny	plocha koruny	výška těžiště koruny	celková výška těžiště	excentricita
1	202	64,2	11,5	2,8	68,3	8,5	11,3	6,6
2	229	72,8	14,8	3,7	77,6	5,7	9,4	7,0
3	264	84,0	19,1	4,9	102,4	7,5	12,4	8,3
4	194	61,7	17,3	4,5	52,5	8,1	12,6	6,5
5	248	78,9	15,5	4,8	75,9	6,3	11,1	6,8
6	329	104,7	17,4	3,1	107,2	8,0	11,1	6,7
7	137	43,6	12,3	3,3	48,6	8,2	11,5	6,9
8	220	70,0	12,8	4,2	56,3	6,1	10,3	5,4
9	237	75,4	12,5	3,4	56,7	7,7	11,1	5,8
10	158	50,2	11,9	3,9	42,1	6,2	10,1	6,1
11	173	55,0	12,5	3,2	41,7	7,3	10,5	6,6
12	256	81,4	16,1	2,7	84,9	8,8	11,5	6,4
13	160	50,9	10,0	2,6	32,4	5,2	7,8	5,4
14	146	46,4	9,8	1,9	46,0	5,8	7,7	4,9
15	148	47,1	10,5	2,7	49,1	6,4	9,1	7,2
16	162	51,5	13,1	5,0	60,6	7,4	12,4	6,0
17	153	48,7	13,8	4,1	63,0	6,4	10,5	6,7
18	140	44,5	12,4	1,6	67,8	8,8	10,4	8,2
19	125	39,7	10,8	1,5	49,9	6,5	8,0	8,3
20	219	69,7	11,2	4,2	54,0	6,5	10,7	5,2