

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra lesnických technologií a staveb

Reakce smrku ztepilého (*Picea abies*, (L.) Karst.) na namáhání ohybem

Bakalářská práce

Autor: Eliška Pařízková
Vedoucí práce: Ing. Václav Štícha, Ph.D.

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eliška Pařízková

Hospodářská a správní služba v lesním hospodářství

Název práce

Reakce smrku ztepilého (*Picea abies*, (L.) Karst.) na namáhání ohybem

Název anglicky

Norway spruce (*Picea abies*, (L.) Karst.) response to bending stress

Cíle práce

Zhodnotit reakci smrku ztepilého na namáhání ohybem v různých částech kmene.

Metodika

Vytvoření literární rešerše na zadané téma. Terénní práce – sběr dat (kamerový záznam, dendrometrické charakteristiky stromů, průběh sil), vyhodnocení získaných údajů. Vytvoření grafů popisujících reakci kmene na mechanické namáhání mobilním navigátorem. Zhodnocení výsledků experimentů.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

smrk ztepilý, ohyb, kmenový zlom, škody větrem, pevnost dřeva

Doporučené zdroje informací

- GARDINER, B. A., BYRNE, K., HALE, S., KAMIMURA, K., MITCHELL, S. J., PELTOLA H., RUEL, J. C. 2008: A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry*, 81: 447-463.
- GARDINER, B. A., PELTOLA, H., KELLOMÄKI, S. 2000: Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. *Ecology Modelling*, 129: 1–23.
- KAMIMURA, K., SHIRASHI, N. 2007: A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. *Journal of Forest Research*, 12: 162–176.
- KLOPCIC, M., POLJANEC, A., GARTNER, A., BONCINA, A. 2009: Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) forests in the Julian Alps. *Ecoscience*, 16: 48-57.
- PALUTIKOF, J. P., BRABSON, B. B., LISTER, D. H., ADCOCK, S. T. 1999: A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorological Application*. 6: 119-132.
- PELTOLA, H., KELLOMÄKI, S., VÄISÄNEN, H., IKONEN, V. P. 1999: A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 647–661.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Václav Štícha, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 30. 4. 2016

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2017

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Reakce smrku ztepilého (*Picea abies*, (L.) Karst.) na namáhání ohybem vypracovala samostatně pod vedením Ing. Václava Štíchy, Ph.D., a použila jsem prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1198 Sb. O vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

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

Podpis.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Václavu Štíchovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a za cenné rady a připomínky. Dále všem členům týmu STROMOTRH, kteří se účastnili terénních prací.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá simulací mechanických účinků větru, jako jednoho z nejdůležitějších abiotických činitelů v lesích ČR, na smrk ztepilý (*Picea abies*). Na základě naměřených dat vyhodnocuje reakci smrku na tento způsob namáhání.

Výzkum byl prováděn ve vybraných lokalitách na území České republiky a naměřená data byla dále statisticky vyhodnocena v teoretické části práce. Během výzkumu byly předem vybrané stromy namáhány pomocí mobilního hydraulického navijáku (který simuloval působení větru) a u každého stromu byla zaznamenána data o kritické síle, formě reakce stromu na mechanické působení a základní charakteristiky stromu.

Výsledky získané v rámci toho výzkumu jsou dále srovnávány s obdobnými výzkumy provedenými ve Finsku, Kanadě a na Novém Zélandu.

Klíčová slova: smrk ztepilý, ohyb, kmenový zlom, škody větrem, pevnost dřeva

Abstrakt

This bachelor thesis deals with the simulation of mechanical effects of the wind as one of the key abiotic factors on Norway spruce (*Picea abies*) in the forests in the Czech Republic. Based on the data obtained in the research, this thesis analyses the reaction of the spruce to this type of strain.

The research was conducted in selected locations in the Czech Republic. The obtained data was statistically processed in the theoretical part of the thesis. During the research, selected trees were strained through mobile hydraulic winch, which simulated the effect of the wind. For each tree, the data regarding the critical force, the form of reaction of the tree to mechanic strain, and the basic tree characteristics were recorded.

In the discussion part, the results obtained from the research were compared with those of similar research studies conducted in Finland, Canada, and New Zealand.

Key words: Norway spruce, bend, stem break, wind damage, stability of wood

Obsah

Obsah	8
Úvod.....	12
Cíl práce	13
1 Rozbor problematiky	14
1.1 Smrk.....	14
1.2 Vítr	16
1.2.1 Škody větrem.....	17
1.3 Metody měření mechanické odolnosti ve světě	19
1.3.1 Kanada (Achim a kol., 2005)	20
1.3.2 Finsko (Peltola a kol., 2000).....	21
1.3.3 Nový Zéland (Moore a kol., 2000)	22
2 Metodika	24
2.1 Charakteristika lokalit.....	25
2.1.1 Bělčice.....	25
2.1.2 Ostravice	26
2.1.3 Strakonice	27
2.1.4 Jihlava	28
2.1.5 Nejdek	30
2.2 Sběr dat	31
2.2.1 Seznam pomůcek:.....	34
2.2.2 Popis navijáku	34
3 Výsledky.....	35
3.1 Vyhodnocení jednotlivých lokalit	35
3.1.1 Bělčice.....	35
3.1.2 Ostravice	37

3.1.3	Strakonice	39
3.1.4	Jihlava	41
3.1.5	Nejdek	43
3.2	Vyhodnocení a srovnání výsledků mezi lokalitami	45
4	Diskuze	47
5	Závěr.....	50
6	Seznam literatury a použitých zdrojů	52
6.1	Tištěná literatura	52
6.2	Online zdroje.....	54

Seznamy obrázků, tabulek a grafů

Obrázek č. 1 - Zastoupení smrku ztepilého v krajích dle výsledků NIL2 (2011-20155). Zdroj: ÚHUL 2016	14
Obrázek č. 2 - Větrná mapa ČR – měření síly v m/s. Zdroj: Český hydrologický ústav	17
Obrázek č. 3 - Výzkumné lokality na území České republiky. Zdroj: Arcdata Praha	24
Obrázek č. 4 - Lokalita terénních prací v Bělčicích. Zdroj: Mapy.cz	25
Obrázek č. 5 - Lokalita terénních prací v Ostravici. Zdroj: Mapy.cz	26
Obrázek č. 6 - Lokalita terénních prací ve Strakonici. Zdroj: Mapy.cz.....	27
Obrázek č. 7 - Lokalita terénních prací v Jihlavě. Zdroj: Mapy.cz	29
Obrázek č. 8 - Lokalita terénních prací v Nejdku. Zdroj: Mapy.cz	30
Obrázek č. 9 - Mobilní navigátor s pohonnou jednotkou. Zdroj: Eliška Pařízková	32
Tabulka č. 1 - Přehled, nejvíce postižených krajů větrem v letech 2013-2015. Zdroj: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR za roky 2013-2015, uvedená čísla jsou polomy v tis. m ³ dřeva.	18
Tabulka č. 2 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ.....	25
Tabulka č. 3 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ.....	27
Tabulka č. 4 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ.....	28
Tabulka č. 5 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ.....	29
Tabulka č. 6 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ.....	31
Tabulka č. 7 - Naměřené údaje - Bělčice.	36
Tabulka č. 8 - Naměřené údaje – Ostravice.	38
Tabulka č. 9 - Naměřené údaje – Strakonice.	40
Tabulka č. 10 - Naměřené údaje – Jihlava.	42
Tabulka č. 11 - Naměřené údaje – Nejde.	44
Tabulka č. 12 - Srovnání naměřených dat.	48
Graf č. 1 - Srovnání údajů naměřených v Bělčicích.	36
Graf č. 2 - Srovnání údajů naměřených v Bělčicích.	37
Graf č. 3 - Srovnání údajů naměřených v Ostravici.....	39
Graf č. 4 - Srovnání údajů naměřených v Ostravici.....	39

Graf č. 5 - Srovnání údajů naměřených ve Strakonících.....	41
Graf č. 6 - Srovnání údajů naměřených ve Strakonících.....	41
Graf č. 7 - Srovnání údajů naměřených v Jihlavě.....	43
Graf č. 8 - Srovnání údajů naměřených v Jihlavě.....	43
Graf č. 9 - Srovnání údajů naměřených v Nejdku.....	45
Graf č. 10 - Srovnání údajů naměřených v Nejdku.....	45
Graf č. 11 - Vzájemné porovnání naměřených kritických sil v lokalitách. Červená horizontální linie určuje průměrnou sílu za všechny lokality, fialová linka v každém z pěti obdélníků značí průměrnou sílu vyvinutou k poškození stromu v dané lokalitě. Obdélník vyobrazuje směrodatnou chybu a fialová vertikální linie zobrazuje směrodatnou odchylku.	46
Graf č. 12 - Grafické zobrazení naměřených údajů.....	48

Úvod

Lesy jsou důležitou součástí přírodního prostředí, jsou zdrojem materiálu pro dřevařský průmysl, mají nezastupitelný význam pro životní prostředí. Lesy a lesní porosty jsou však vystaveny mnoha abiotickým a biotickým vlivům, které negativně ovlivňují jejich zdravý růst. Působení těchto činitelů výrazně ovlivňuje i člověk, hospodařením s nevhodnými a pro daná stanoviště nepůvodními dřevinami.

Česká republika se svými 34% zalesněné plochy se řadí mezi státy EU k těm průměrně zalesněným. Nejvyšší procento lesnatosti má Finsko - 73% a Švédsko - 69%. Mezi státy s nejnižším procentem lesů patří Velká Británie - 12% nebo Irsko a Nizozemí, které mají shodně 11% zalesněné plochy.

Nejen v České republice, ale i v dalších státech patří vítr mezi ty abiotické činitele, které výraznou měrou poškozují lesní porosty. Jako příklad lze uvést větrnou smršť na Slovensku v listopadu 2004, kdy celkový objem kalamity činil 2,5 mil. m³, což představuje 90% celoslovenské roční těžby (Moravčík a kol., 2005). Můžeme sem zařadit i ničivé účinky orkánu Lothar z roku 1999, který jen ve Švýcarsku poškodil 12,7 mil. m³ dřeva.

V České republice patří mezi nejvýznamnější abiotické škodlivé činitele ohrožující lesní porosty vítr (70% nahodilých těžeb) a poškození mokrým sněhem (20%). Poškozeny jsou především porosty jehličnatých dřevin, zejména smrku. Ostatní abiotické vlivy nezpůsobují významnější ztráty (Bělská a kol., 2011).

Tato práce je součástí projektu „Hodnocení rizika poškození lesních porostů větrem: vývoj a kalibrace národního prediktivního modelu“, který má za úkol zjistit účinky větru na smrk v podmínkách ČR a definovat parametry stromů a lesních porostů z hlediska jejich odolnosti k poškození větrem.

V teoretické části práce jsou definovány jednotlivé proměnné, které byly pro tuto výzkumnou práci vybrány - druh měřeného stromu, lokality a metodika měření. Součástí teoretické části práce je i rešerše několika odborných publikací, které se zabývají touto problematikou a uvádějí výsledky výzkumu v Kanadě (Achim

a kol., 2005), Finsku (Peltola a kol., 2000) a Novém Zélandu (Moore a kol., 2000)

Praktická část práce zhodnocuje data z terénních zkoušek, které probíhaly od května do října 2016. Jednalo se o destruktivní zkoušky na jednotlivých stromech na vybraných lokalitách České republiky. Shromážděná data jsou součástí praktické části a v závěrečné části je i uvedeno jejich vyhodnocení.

Poškození větrem se na lesním porostu projevuje zejména způsobením vývrátů či zlomení kmene. K poškození stromu dochází v případech, kdy strom není dostatečně schopný reagovat na tlak větru (Holuša a kol., 2016). V rámci bakalářské práce je působení větru simulováno mobilním navijákem za pomoci upevněného lana v těžišti koruny stromu a vyvinutím tažné síly. Simulace větru se zaznamenává pomocí tenzometru s dataloggerem.

Cíl práce

Cílem této práce je zjistit účinky větru, jako jednoho z abiotických činitelů na smrk ztepilý, vyhodnotit jeho reakce a porovnat výsledná data se závěry zahraničních výzkumných studií. Účinky větru jsou zastoupeny mechanickým namáháním stromů hydraulickým mobilním navijákem.

1 Rozbor problematiky

1.1 Smrk

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) H. Karst.) se řadí mezi nejdůležitější hospodářské dřeviny ČR. V současnosti je nejvýznamnějším zdrojem dřevní hmoty pro dřevozpracující průmysl. Zároveň se však řadí mezi dřeviny, které jsou nejméně odolné vůči působení větru.

Smrk ztepilý je domovem v severní a střední Evropě, kde je odpradáвна velmi důležitou lesní dřevinou (Hieke, 2008). Původním výskytem patří do vysokých poloh Evropy a Asie. Přirozeným stanovištěm jsou zejména horské lesy, rašeliniště, rokliny a lokality s vyšší půdní vlhkostí a kyselou půdou. Hospodařením v lesích byl smrk rozšířen i do nižších poloh, kde mnohdy vytváří monokultury.

V České republice má v současnosti smrk zastoupení na více než 50,6% plochy lesů (MZe, 2016), (Obrázek č. 1), je zastoupen na celém území s převahou stejnověkových smrkových porostů, které jsou zpravidla méně odolné vůči působení abiotických činitelů, jako je vítr, sníh, námraza nebo eroze.



Obrázek č. 1 - Zastoupení smrku ztepilého v krajích dle výsledků NIL2 (2011-20155). Zdroj: ÚHUL 2016

Smrk ztepilý patří do rodu smrk (*Picea*) a do čeledi borovicotvaré (*Pinaceae*). Do rodu smrku patří 35 – 40 druhů. Smrk ztepilý je nejrozšířenější druh, mezi další známé druhy smrku patří například: smrk černý (*Picea mariana*), smrk Englemanův (*Picea engelmannii*), smrk omorika (*Picea omorika*), smrk sitka (*Picea sitchensis*) či smrk pichlavý (*Picea pungens*).

Smrk je rychle rostoucí stálezelený jehličnan, který je schopen obvykle dorůstat do výšky 30 - 50 metrů (lze až i 70 m) a průměru kmene až 2 metry. Dožívá se i přes 500 let. Mýtní věk pro smrk je 80 let dle lesního zákona 289/1995 Sb.

Má korunu kuželovitého typu, v horských oblastech nebo řídké rostoucích porostech zpravidla zavětvenou až k zemi. Větve jsou mírně vztyčené či ohnuté k zemi. Jehlice jsou čtyřhranného tvaru se špičatým zakončením, tmavě zelené barvy, jednotlivé, přisedlé na drobných „polštářcích“ 1 až 2,5 cm dlouhé.

Samčí šištice jsou červené až 2 cm dlouhé, samičí jsou červené nebo zelené až 6 cm dlouhé. Zralé šišky jsou hnědé, převislé až 15 cm dlouhé. Pyl se tvoří od května do června zpravidla ve čtyřletých cyklech. Borka je červenohnědá až šedá, odlupující se v tenkých šupinách.

Kořenový systém smrku je kulovitý, má bohatě větvené vedlejší kořeny, které jsou pouze mělce pod povrchem, proto ve větrných polohách trpí na větrné polomy.

U nás se smrk řadí k průmyslově nejdůležitějším dřevinám vzhledem k růstovým vlastnostem dřeva. Smrk je rychle rostoucí dřevina s poměrně rovným kmenem. Dřevo smrku je lehké, pevné, pružné, ale je poněkud měkké a ve vlhku nepříliš trvanlivé. Jeho barva je smetanově bílá až nahnědlá s výraznými letokruhy. Při vhodném uskladnění velmi snadno vysychá.

Při zpracování smrkového dřeva se oceňují jeho dobré vlastnosti, které se využívají především v nábytkářském, papírenském a stavebním průmyslu – dělají se z něj střešní konstrukce, smrk se také využívá jako palivové dřevo. Smrk můžeme využít i k výrobě hudebních nástrojů, ke kterým nejlépe slouží tzv. rezonanční smrk. Z borky se získává pryskyřice.

Smrk je však lákavý i pro škůdce, proto je nutné produkty ze smrku chránit nátěrem či postřikem.

Smrk je dřevina, která preferuje stinná až polostinná místa, zvláště v mládí snáší zástin, a proto snadno vniká do porostů jiných dřevin. Má vyšší nároky na vlhkost půdy i vzduchu, jinak na půdu a geologické podloží velké nároky nemá. Klimaticky také není náročná, je odolná k mrazům. Nejlépe se jí daří ve vyšších polohách, nad 700 metrů n. m. Ve středních polohách prospívá na severních svazích, v nížinách na dně údolí, kde je dostatečná vlhkost.

Tím, že vysazování smrku neprobíhalo vždy jen na přirozených a vhodných stanovištích, v mnoha českých oblastech dochází v posledních desetiletích k odumírání smrku ztepilého, které souvisí s více faktory. (Křístek a kol., 2007), např.: výsadba na nevhodných lokalitách, ale i periody sucha, poškozování větrem, sněhem, houbovými infekcemi, podkorním a listožravým hmyzem.

1.2 Vítr

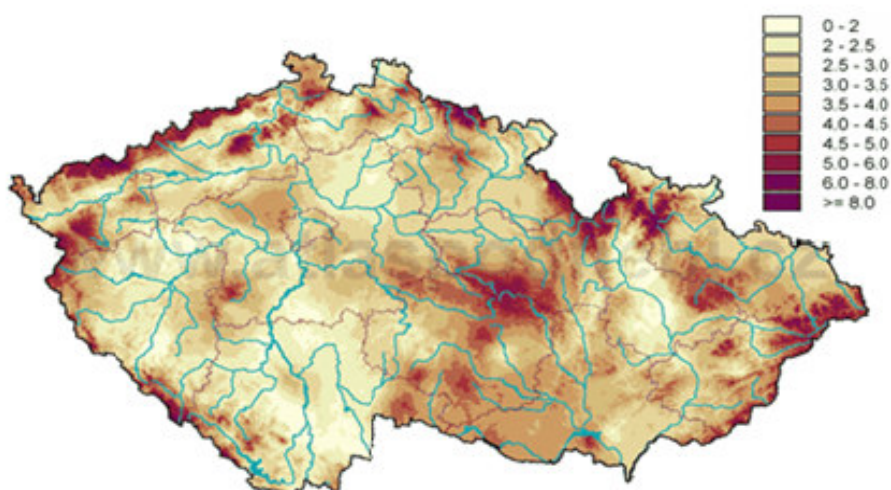
Nejvýznamnějšími disturbančními faktory hospodářských lesů v České republice jsou abiotičtí činitelé (Rychtecká a kol., 2008). Vítr je činitelem abiotickým a působí na lesních porostech největší škody ze všech těchto činitelů. Jedná se o škody zasahující velká území s obrovskými následky, převážně na jehličnatých porostech, s převahou smrku.

Intenzivní poškozování lesů abiotickými faktory (sníh, námraza a vítr) je velice častým fenoménem v zemích, kde je lesnictví založeno na umělé obnově s jednou převažující dřevinou (Spiecker, 2000) a kde se vyskytují odpovídající klimatické podmínky pro výskyt těchto disturbančních činitelů. Tato situace je běžná ve všech středoevropských zemích, ale také ve Velké Británii, Austrálii, na Novém Zélandě nebo v Japonsku (Slodičák, 1996).

Vítr vzniká neustálým přemísťováním vzduchu díky nerovnoměrnému rozložení atmosférického tlaku, nejčastěji horizontálním směrem. Rychlost větru se vyjadřuje v m/s nebo v km/h (1 m/s = 3,6 km/h) a na meteorologických stanicích se měří ve výšce 10 m nad zemí. Rychlostí větru se rozumí průměrná rychlost větru za období 10 minut. V Evropě často dochází k náhlým změnám směru a rychlosti větru. Průměrná rychlost větru se pohybuje od 2 do 8 m/s v závislosti s nadmořskou výškou. V České republice se pro les nebezpečné rychlosti větru vyskytují především na jaře a na podzim. V tomto období se zde nejčastěji vyskytují hluboké tlakové níže, které přes naše území postupují východním

směrem. V letním období jsou největší větrné poryvy při intenzivní větrné činnosti.

Pro vyjádření síly větru se rovněž často používá Beaufortova stupnice, která rychlost větru dělí do 12 stupňů, od bezvětří až po orkán. Směr větru udává převládající směr, odkud vítr fouká. V České republice převažuje severozápadní směr. Průměrné rychlosti větru v rámci České republiky jsou znázorněny na Obrázku č. 2.



Obrázek č. 2 - Větrná mapa ČR – měření síly v m/s. Zdroj: Český hydrologický ústav

1.2.1 Škody větrem

Z ekonomického hlediska narušení hospodářských lesů větrem snižuje výnos z těžby dříví a naopak zvyšuje náklady na nahodilé těžby, obnovu a způsobuje další problémy v lesním hospodářství (Savill, 1983). Každoročně je v Evropě vytěženo 35 milionů m³ dříví jako důsledek přirozených disturbancí, způsobených především větrnými vichřicemi (Schelhaas a kol., 2003). Od roku 1990 představují nahodilé těžby v důsledku působení abiotických a biotických činitelů v České republice 2/5 celkových těžeb. Nejvážnější škody ze všech činitelů způsobuje právě vítr.

Mezi roky 2013 až 2015, podle evidence Lesní ochranné služby, docházelo k postupnému nárůstu objemu dřeva poškozeného větrem. Celkový objem

nahodilých těžeb činil v roce 2015 4,41 mil. m³., z toho 2.67 mil. m³ mají na svědomí abiotické vlivy. Největší škody ze všech abiotických činitelů způsobuje vítr, a to až 2/3 nahodilých těžeb. V číselném vyjádření to je necelých 1,79 mil. m³ dřeva. Pro porovnání v roce 2014 bylo poškozeno větrem 1,31 mil. m³ dřeva a v roce 2013 to bylo 1,28 mil. m³.

Větrem jsou zpravidla nejvíce postižené horské oblasti. Jedná se zejména o Krušné hory, Šumavu, následují Krkonoše, na Moravě hlavně Beskydy a Jeseníky, ve středních Čechách se jedná o Brdy. V rámci jednotlivých regionů jsou v posledních letech zasaženy hlavně kraje: Karlovarský, Jihočeský, Olomoucký, Plzeňský, Moravskoslezský a Vysočina (Tabulka č. 1).

Tabulka č. 1 - Přehled, nejvíce postižených krajů větrem v letech 2013-2015. Zdroj: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství ČR za roky 2013-2015, uvedená čísla jsou polomy v tis. m³ dřeva.

Kraje	2013	2014	2015
Vysočina	340	167	286
Jihočeský	285	199	646
Moravskoslezský	224	351	304
Karlovarský	184	neudáno	254
Středočeský	249	116	293
Plzeňský	227	147	421
Olomoucký	146	377	326
Zlínský	neudáno	261	neudáno
Jihomoravský	neudáno	134	306

Výrazně periodicky ohrožené oblasti větrem jsou na území ČR poměrně malé, na ostatním území bývají škody poměrně vzácné a rozhodně nejsou tak rozsáhlé, jedná se spíše o ojedinělé případy zlomů či vývrátů. Místa nejvíce postižená větrem byla zohledněna při vybírání lokalit pro terénní práce v roce 2016.

V současnosti lze komplexně pojistit v rámci zemědělského pojištění lesní porosty, a to jak hospodářské, tak i ochranné, příměstské nebo lesy rekreační, lesní školky i proti poškození vichřicí. Jedná se ovšem pouze o finanční náhradu přímých škod vzniklých větrem vlastníkům lesa. Z hlediska přírody zde není adekvátní náhrada.

Největší živelnou kalamitou od roku 1870 byl v roce 2007 orkán Kyrill. Poničil více než 10 mil. m³ dřeva. Jednalo se o 95% ročních nahodilých těžeb, což je 75% celkové roční těžby v roce 2007. Ve státních lesích způsobil škodu za 1 miliardu korun a poničil 6 mil. m³ dřeva. Nejvíce postižené oblasti byly Novohradsko, Karlovarsko, Plzeňsko a Trutnovsko.

Škody, které způsobuje vítr, o jejich rozsahu a vniku rozhodují i další činitelé. Průměrný strom je považován za svislý vetknutý nosník s proměnným průřezem. Zlomy vznikají porušením rovnováhy, kdy zatížení vyvolává v kmeni větší napětí v tahu tlaku při ohybu, než je pevnost dřeva. Ke zlomům dochází zpravidla tehdy, jsou-li stromy pevně zakořeněné. Vývraty nastávají jako výsledek porušení rovnováhy, kdy statickému momentu vyvolanému zatížením větrem neodporuje statický moment vetknutí (Lubojacký, 2013).

Odolnost smrku ztepilého proti větrným polomům výrazně ovlivňuje tvar kmene a velikost koruny. Nejvíce ohrožené stromy jsou ty, co mají tenké a vysoké kmene s krátkou korunou a rostou na trvale podmáčených a rašelinných půdách, protože jejich kořenový systém je mělký. Chceme-li předejít poškození porostu, vybíráme výsadbu na chudých půdách, neboť zde stromy rostou pomaleji, lépe zakoření, dosahují menšího vzrůstu, ale průměr kmene je silnější a koruna stromu delší.

Štíhlostní koeficient (poměr výšky (m) a výčetní tloušťky (cm)) by neměl dosahovat hodnot vyšších než 80-120, protože s vyššími hodnotami vzrůstá i riziko vzniku větrných polomů (Lubojacký, 2013).

Stabilita porostu závisí kromě vlastností jednotlivých dřevin také na stanovištní vhodnosti dřevin, výstavbě porostu, zápoji a jeho genezi, bonitě apod. Výškově a tloušťkově diferenciované porosty jsou odolnější než porosty homogenní, neboť lépe rozkládají sílu větru. Velmi odolný je z tohoto pohledu tzv. výběrný les (Lubojacký, 2013).

1.3 Metody měření mechanické odolnosti ve světě

Problematikou vlivů abiotických činitelů na lesy se zabývá poměrně mnoho výzkumných týmů z celého světa, které se zajímají o ochranu lesů. Co se týče konkrétního případu, tedy větru a škody jím způsobené, nejvíce se jím zabývají týmy z Kanady, Finska či Nového Zélandu.

1.3.1 Kanada (Achim a kol., 2005)

Výzkumná činnost v Kanadě probíhala vždy v letním období v letech 1996 a 1998. Celá studie byla situovaná 75 km severně od Québecu, v Montmorenckém lese (Montmorency forest) v Laurentidách, což jsou rozsáhlá nevysoká pohoří v jižním Québecu, s dominujícími boreálními vlhkými lesy. Průměrné roční srážky jsou zde 1416 mm a průměrná roční teplota 0,3°C. Lokality byly vybrány v místech, které se přirozeně obnovují po vytěžení z let 1939 a 1945.

V obou letech měření byly vybrány 4 lokality s vyrovnaným věkovým rozpětím porostu. Lokality byly situovány na hlubokých ledovcových podzolech s hlinitopísčitou nebo písčitohlinitou texturou. V roce 1996 byly vybrány středně vlhké lesní lokality bez přítomných průsaků, naopak v roce 1998 byly vybrány velmi vlhké lesní lokality s přítomnými průsaky.

Průměrná výška měřených stromů byla 17 m na velmi vlhkých lokalitách a 14 m na středně vlhkých lokalitách. Na každé lokalitě bylo vybráno v každém roce 20 stromů, 10 vzorků smrku bílého (*Picea glauca*) a 10 vzorků jedle balzamové (*Abies balsamea*). Měřený výzkum tedy zahrnuje 160 stromů.

Současná výzkumná metoda namáhání stromů je podobná té, kterou použil při výzkumu Meunier a kol., 2002, Silva a kol., 1998., (Achim a kol., 2005). Popruh nebo úvazek, upevněný ve střední výšce vybraného stromu, byl navázán na lano s kladkou tak, aby byl spojen s navijákem - Radio-tire 740 TM. Vzdálenost mezi vybraným stromem a navijákem byla stanovena na minimální délku výšky jednoho průměrného stromu. Síla, vyvinutá během tahání stromu, byla nahrávána každou 0,5 s na datalogger. Během celého výzkumu byla na zaznamenání všech zlomů či vývratů použita kamera, umístěna kolmo k danému stromu.

Před taháním stromu byla u každého stromu naměřena výčetní tloušťka ($d_{1,3m}$) a tloušťka stromu v 0,3 m. Poté, co byl strom stržen, byly naměřeny další hodnoty, a to celková výška stromu, výška báze koruny a výška upevnění úvazku. Strom byl poté rozříznut na 2 hlavní sekce, korunu stromu a kmen. První sekcí byla koruna stromu, která byla dále rozříznuta podél kolmé osy na dvě části. Spodní – druhá sekce byla, počínaje od báze koruny, naměřena

a rozřezána na úseky po 2,55 m. Každá ze sekcí stromu byla poté zvážena. V případě zlomení stromu byla výška zlomu zaznamenána kamerou.

V metodice výpočtu kritických hodnot momentu ohybu byly využity dva parametry. Síla vyvinutá na kmen stromu a síla vyvinutá na převislou hmotnost visícího stromu gravitací.

1.3.2 Finsko (Peltola a kol., 2000)

Experiment probíhal ve východním Finsku v letech 1995-1996, v porostech borovice, smrku a břízy rostoucích na podzolových půdách. Půda byla středně bohatá představující lesní typ Vaccinium a Myrtillus, tedy nejvhodnější stanoviště pro růst borovice (*Pinus*) smrku (*Picea*) a břízy (*Betula*) ve Finsku. Při výzkumu bylo naměřeno celkem 115 stromů z toho 51 borovic, 33 smrků a 11 bříz na nezamrzlých půdách a 20 borovic na zamrzlé půdě.

K namáhání stromů byl použit navijákový systém. Aplikovaná maximální síla vyvinuta na vyvrácení či zlomení stromu, byla měřena ve spodní části kmene. V závislosti na velikosti stromu byl využit ruční naviják (tažná síla do 40 kN) nebo traktor Valmet Terra s navijákovým systémem (tažná síla do 80 kN s dvojitým lanem). Tažná síla byla naměřená na siloměr propojený s digitální váhou, která umožnila měřit sílu až do 5000 kg.

Upevnění lana na strom bylo v konstantní výšce 6 m nad zemí, což představovalo jednu třetinu až jednu polovinu výšku stromu, a bylo tím umožněno současné měření kmene a modulu elasticity. Výška umístění byla použita na základně předchozích studií (např. Fraser 1962, Fraser a kol., 1967, Smith a kol., 1987, Moore a kol., 1999), avšak toto umístění nevyvolávalo vyrovnané napínání vláken stromu. Vyrovnaného napínání by bylo dosaženo při upevnění lana do cca 80% výšky stromu. Proto i v této studii docházelo k většímu namáhání stromu a tedy i k více zlomům ve spodní části kmene.

Na začátku namáhání každého dílčího stromu (kdy bylo vybráno vždy 10 stromů každého druhu zastupující různé tloušťkové stupně), byla deformace kmene měřena v 1,30 m výšky kmene stromu za pomoci lehkého zatížení 500-600 N tak, aby byl co nejméně narušen kořenový systém daného stromu. Tímto způsobem byly získány údaje o deformaci kmene při nízkých tažných silách ve

srovnání s napětím při zlomu. Senzor je složen ze snímačů, které vypočítají deformaci vláken kmene stromu.

Měřily se také základní dendrometrické charakteristiky u každého stromu, a to výška stromu, průměr stromu v 1,30 m a 6 m, dále pak hloubka a šířka koruny a kořenového systému. Pokud byl strom zlomen, naměřila se také výška bodu zlomu. U dílčích vzorků stromu byla zaznamenána váha kmene, koruny a kořenového systému za použití váhového optimalizátoru (Kajaani Oy, Finsko). Váha kmene byla zjišťována v těch případech, kde kmen dosáhl většího průměru než 6 cm, části, kde byl průměr menší než 6 cm, byly započteny do koruny. Ve výšce 1,30 m kmene stromu byly odebrány vzorky pro stanovení věku stromů a hustoty letokruhů.

1.3.3 Nový Zéland (Moore a kol., 2000)

Data z výzkumu na Novém Zélandu byla nasbíraná ze sedmi různých lokalit s rozdílnými půdními typy. Zvolenými lokalitami byly - Berwick, Chaney's, Eyrewell, Kaingaroa, Kinleith, Maramarua a Otago Coast, celkově bylo naměřeno 164 vzorků Borovice montereyské (*Pinus radiata*). Stromy, určené pro výzkumné měření, byly vybrány ze severní části daného porostu, kde kořenové systémy borovic sahají do hloubky 3 - 4 m (Will, 1966). Výzkum byl proveden během místních letních měsíců (prosinec – březen), kdy vlhkost půdy byla nejnižší. Během výzkumu bylo naměřeno 164 stromů.

Nejnižší počet měřených stromů na jedné lokalitě byl 13, maximálně bylo naměřeno 62 stromů, a to na stanovišti v Eyrewell forest. Stromy byly vybírány napříč tloušťkovou stupnicí, věk stromů se pohyboval v rozmezí 9 - 39 let.

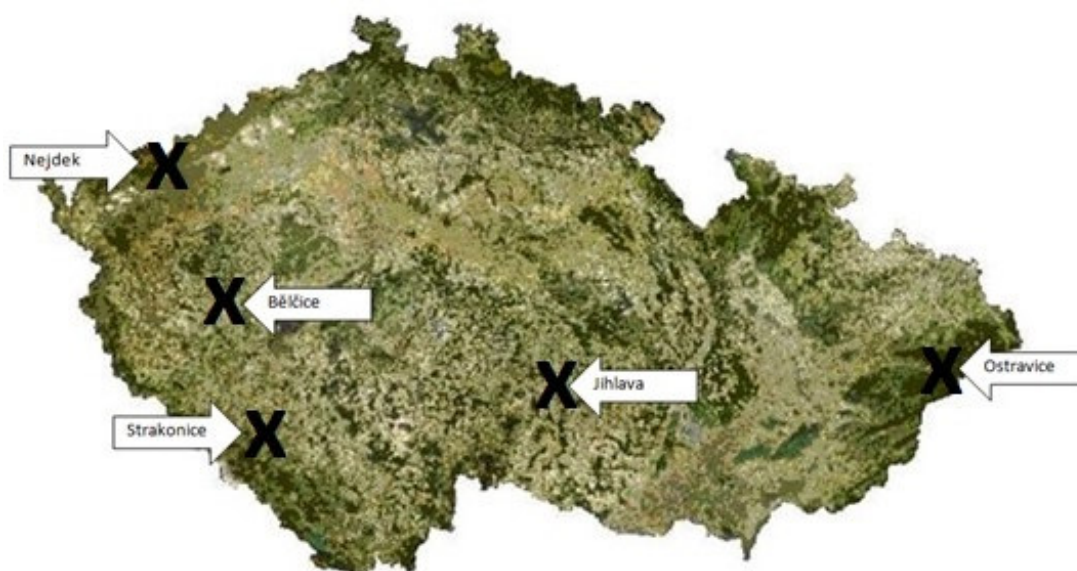
Vybrané stromy byly lámány pomocí navijáku, lana a kladek. Ručník naviják (Tirfor block) tahem lana působil silou na daný strom až do bodu zlomu (definuje maximální tlak/sílu která byla vyvinuta). Tažná síla byla měřena pomocí Reliance SSM5000 (snímače síly), který byl kalibrován na přesnost 1 kg. Data byla dále zpracována RM4SG modelem a nahrána pomocí přenosného dataloggeru. Výška umístění lana na stromě byla mezi 30-50 % jmenovité hodnoty výšky, což je méně než 80% výšky stromu vypočítané Woodem (1995), která je nezbytná k rovnoměrnému napínání vláken stromu. Výška, která zde byla použita, byla uvedena už v předešlých studiích.

Na všech lokacích, kromě Eyrewell forest, byly celkové průměry kmenu stromů změřeny ve výšce 0,15 m, 1,4 m, 3 m a dále pak v 3 metrových intervalech. V Eyrewell forest byl na základě $d_{1,3m}$ a výšky vypočten štíhlostní koeficient. Dále byly uříznuty kotouče každého stromu v 5 metrových sekcích pro změření hmotnosti dřeva a jeho hustoty. Při zlomu stromu byla naměřena výška zlomového bodu stromu. U vyvrácených stromů byly změřeny čtyři základní parametry kořenového systému u stromů.

2 Metodika

Pro praktickou část výzkumu bylo vybráno 5 lokalit v České republice (Obrázek č. 3), a to Bělčice (Blatenská pahorkatina), Ostravice (Moravskoslezské Beskydy), Strakonice (Kašperská vrchovina), Jihlava (Křížanovská vrchovina) a Nejdek (Krušné hory).

Lokality byly vytipovány tak, aby zohlednily charakter stanovišť typických pro pěstování smrku v České republice. Společným bodem pro výběr lokalit byl požadavek na polohu stanoviště, která měla mít minimální výšku 500 metrů nad mořem. Nadmořská výška vybraných lokalit se nakonec pohybovala od 580 metrů nad mořem do 920 metrů nad mořem. Měření probíhala od jara 2016 do podzimu téhož roku.



Obrázek č. 3 - Výzkumné lokality na území České republiky. Zdroj: Arcdata Praha

Každého měření se účastnilo cca 10 osob – 3 lezci, 4 měřiči, 2 obsluhovači navijáku a kameraman. Výzkumné práce na jednotlivých stanovištích trvaly od 3 do 7 dnů odvíjejících se od časových možností pracovníků a v závislosti na počasí. Průměrně bylo na každém stanovišti zpracováno 20 stromů.

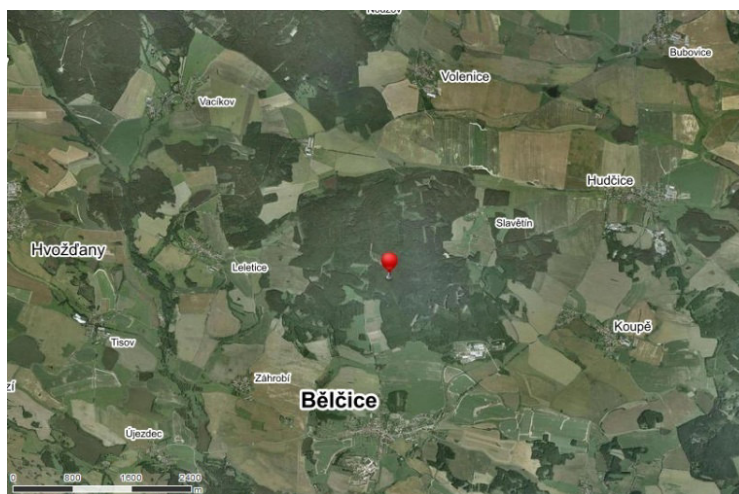
Celkem v rámci uvedeného období bylo testováno 84 stromů. Průběh každého měření stromu bylo zdokumentováno kamerovým záznamem, síly změřeny pomocí tenzometru a zaznamenány pomocí dataloggeru. Po ukončení experimentu (vývratem nebo zlomením stromu) byly změřeny veličiny stromu

(výška, tloušťka, atd.) a zapsány do formuláře. Zaznamenány byly i základní informace o okolním porostu.

2.1 Charakteristika lokalit

2.1.1 Bělčice

První lokalitou, kde probíhalo měření, byly Bělčice v Jihočeském kraji v oblasti Blatenské pahorkatiny. Lokalita je situována na souřadnicích 49. 5217525N a 13.8781069E (Obrázek č. 4, Tabulka č. 2), v nadmořské výšce 580-620 metrů nad mořem. Měření se uskutečnilo od 6. června do 8. června 2016.



Obrázek č. 4 - Lokalita terénních prací v Bělčicích. Zdroj: Mapy.cz

Vlastníkem lokality je společnost Kaiser s.r.o., která hospodaří na 1550 ha lesních porostech, kromě jiného zajišťuje veškerou lesnickou činnost požadovanou LHP a lesním zákonem. Společnost vznikla v roce 2001.

V oblasti Blatenské pahorkatiny je nejběžnějším druhem půdy kambizem. Je to nejrozšířenější půdní typ, typický vnitřním zvětráváním. Původním porostem jsou doubravy a bučiny, ve vyšších polohách smíšené lesy.

Klimatické podmínky – dlouhodobý srážkový průměr je zde 659 mm/rok. V roce 2016 spadlo v této oblasti 680 mm srážek.

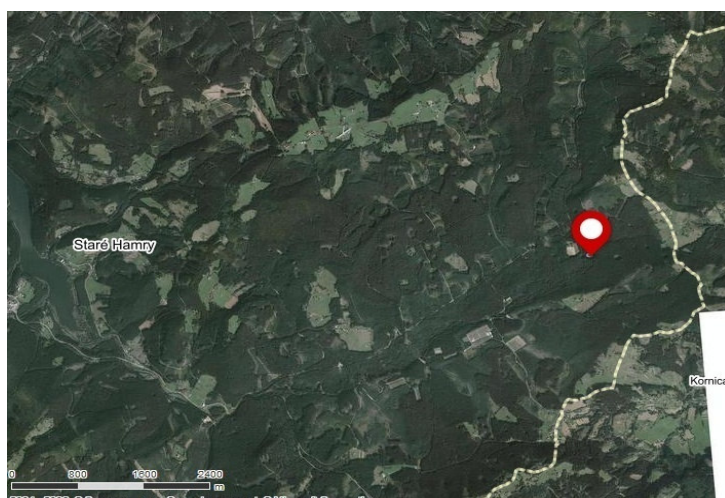
Tabulka č. 2 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ

Datum	Oblačnost	Teplota v °C	Vítr km/h	Srážky v mm
6.6.	Polojasno	23	neudáno	0,1
7.6.	Polojasno	22	neudáno	0
8.6.	polojasno	25	46,9	0,1

Hospodářský způsob používaný v této lokalitě je způsob holosečný. Zvolené stanoviště mělo rovinatý charakter, jednalo se o paseku po vytěženém lese, kde byly zachovány určité stromy pro výzkumnou činnost. Bylo zde naměřeno 7 stromů a 2 kořenové systémy.

2.1.2 Ostravice

Lokalita Ostravice leží v oblasti Moravskoslezských Beskyd, nedaleko hranic se Slovenskem. Měření probíhala na souřadnicích 49,4737839 N, 18,5288728 E, (Obrázek č. 5, Tabulka č. 3) v nadmořské výšce 600 - 620 metrů nad mořem v termínu od 27. června do 3. července 2016.



Obrázek č. 5 - Lokalita terénních prací v Ostravici. Zdroj: Mapy.cz

Vlastníkem je, poté co bylo obnoveno vlastnictví majetku zabaveného církví minulým režimem, Diecéze Ostravsko-Opavská. Biskupské lesy vznikly 1. 7. 2014. Diecéze postupně obnovuje hospodaření v lesích a na zemědělských pozemcích. Výnos z hospodaření slouží jako hlavní zdroj financování pastorační činnosti církve. Biskupství zřídilo samostatný odbor Biskupské lesy, který spravuje 17 234 ha.

Klimaticky se jedná o chladné oblasti, vyznačující se relativně vysokými srážkami (průměrný roční úhrn 1000-1200 mm), s průměrnými ročními teplotami 5 - 6°C. Půdní fond je zde ohrožen erozí. Nejrozšířenější typ půdy v tomto regionu je kambizem, ale v lokalitě našeho měření jsou rozšířené gleje.

Klimatické podmínky – dlouhodobý srážkový průměr je v měřené oblasti 816 mm/rok. V roce 2016 spadlo 828 mm srážek.

Tabulka č. 3 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ

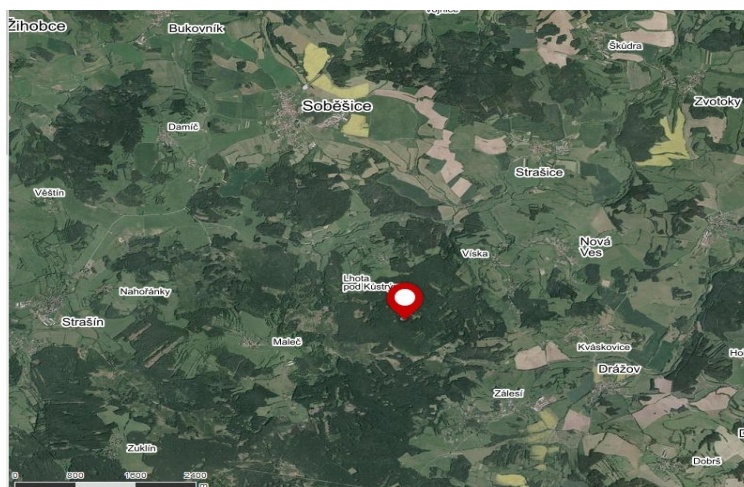
Datum	Oblačnost	Teplota v °C	Vítr km/h	Srážky v mm
27.6.	Polojasno, přeháňka	18	19	0,3
28.6.	Polojasno, přeháňka	24	21	0,3
29.6.	slunečno	31	16	0
30.6.	Polojasno, přeháňka	31	16	0,9
1.7.	polojasno	32	16	0
2.7.	Polojasno, přeháňka	33	15	3
3.7.	Zataženo, déšť	23	18	29,7

V Ostravici bylo měření rozděleno do 2 lokalit. Půda v lokalitách je ovlivněna vodou z řeky Ostravice. Obě lokality se nacházely v celkem rovinném, ale podmáčeném terénu. Hospodářský způsob používaný v této lokalitě je způsob holosečný a naměřeno zde bylo 18 stromů. Dále zde byly naměřeny 3 kořenové systémy.

2.1.3 Strakonice

Lokalita je situována v Jihočeském kraji na soutoku Otavy a Volyňky, v Kašperské vrchovině. Na souřadnicích 49.1772275 N, 13.7048447 E (Obrázek č. 6, Tabulka č. 4), v nadmořské výšce 800-845 metrů nad mořem. Měření ve Strakonících probíhalo od 11. července do 17. července 2016.

Vlastníkem je MVDr. Václav Dlahoweský. Majetek byl rodině navrácen po roce 1989 v rámci restitucí. Informace o velikost pozemků a lesů nejsou uvedeny, jako soukromý vlastník je nemá povinnost zveřejňovat.



Obrázek č. 6 - Lokalita terénních prací ve Strakonících. Zdroj: Mapy.cz

Pro Strakonice a jejich okolí – Kašperskou vrchovinu jsou obvyklé 2 typy půdy. Fluvizem se vyskytuje v těsné blízkosti města, v širším okolí je rozšířenější kambizem. Typickým lesním porostem jsou jehličnaté lesy smrkové a borové.

Klimatické podmínky – dlouhodobý srážkový průměr je zde 659 mm/rok. V roce 2016 bylo naměřeno 680 mm.

Tabulka č. 4 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ

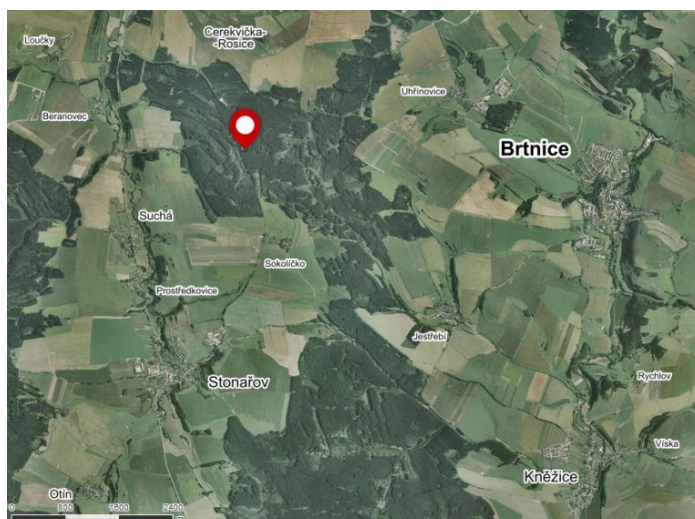
Datum	Oblačnost	Teplota v °C	Vítr km/h	Srážky v mm
11.7.	Slunečno, bouřka	31	14	0,5
12.7.	Zataženo, déšť	22	10	8,4
13.7.	Zataženo, déšť	23	8	8,9
14.7.	Zataženo, déšť	14	8	15,7
15.7.	Zataženo, déšť	16	14	15,7
16.7.	Polojasno	22	8	0
17.7.	Zataženo, déšť	22	5	14,5

Hospodářský způsob používaný v této lokalitě je způsob holosečný. Les je zde velmi zanedbaný. Ve Strakonících bylo měření opět rozděleno do 2 lokalit. První lokalita byla situována ve svažitém, kamenitém terénu se silným náletovým porostem, druhá v terénu rovinatém. Celkem zde bylo naměřeno 18 stromů. U dvou vývratů byly naměřeny i kořenové systémy.

2.1.4 Jihlava

V kraji Vysočina byla vybrána lokalita v oblasti Křižanovské vrchoviny, v blízkosti krajského města Jihlava na souřadnicích 49.3121683 N a 15.6011667 E (Obrázek č. 7, Tabulka č. 5), v nadmořské výšce 600 – 630 metrů nad mořem. Měření u Jihlavy probíhalo od 15. srpna do 21. srpna 2016.

Vlastníkem je Správa městských lesů Jihlava s.r.o., která hospodaří na celkové výměře 3 716,65 ha. Ta je rozdělena územně do sedmi lesnických celků Zborná, Bílý Kámen, Bradlo, Slavice, Sokolíčko, Otín a Nepomuky. Hlavním zaměřením správy je lesnictví, těžba dřeva, zakládání a údržba parků a veřejné zeleně, provozování pohřebišť a výroba pilařská.



Obrázek č. 7 - Lokalita terénních prací v Jihlavě. Zdroj: Mapy.cz

Nejrozšířenějším půdním typem Vysočiny jsou hnědé půdy (kambizemě). Vznikly převážně ve zvětralinách žul a rul ve výškách od 400 do 600 metrů nad mořem. Tyto půdy jsou spíše mělké s vyšším obsahem skeletu. V malé míře je v severní a severovýchodní části Jihlavska i půdní typ pseudoglej. Lesy pokrývají asi 30% území, z toho smrkové porosty zabírají téměř 75% lesní plochy.

Klimatické podmínky – dlouhodobý srážkový průměr této oblasti je 640 mm/rok. V roce 2016 bylo naměřeno 540 mm srážek.

Tabulka č. 5 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ

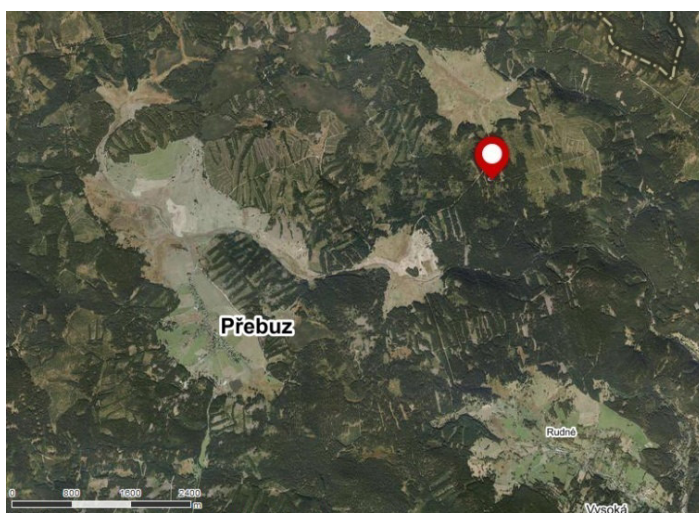
Datum	Oblačnost	Teplota v °C	Vítr km/h	Srážky v mm
5.8.	polojasno	31	14	0,5
16.8.	polojasno	22	10	8,4
17.8.	polojasno	23	8	8,9
18.8.	polojasno	14	8	15,7
19.8.	polojasno	16	14	15,7
20.8.	Zataženo	22	8	0
21.8.	zataženo	22	5	14,5

Hospodářský způsob obhospodařování v této lokalitě je podrovní. V Jihlavě se naměřilo celkem 20 stromů. U dvou kořenových systémů bylo provedeno zaměření.

2.1.5 Nejdek

Poslední lokalitou, která byla v roce 2016 pro výzkumnou část vybrána, byl Nejdek, v oblasti Krušných hor v Karlovarském kraji. Lokalita je situována na 50.3850436 N a 12.6725375 E (Obrázek č. 8, Tabulka č. 6), v nadmořské výšce 860-920 m.n.m. Měření probíhala od 12. září do 18. září 2016.

Vlastníkem je Arcibiskupství pražské, kterému byla v roce 2015 vrácena již většina lesního majetku zabaveného státem v době komunistického režimu. Lesní správa v současnosti zajišťuje péči o cca 22 000 ha lesa. Dalších 6 000 hektarů je stále v probíhajícím procesu restitucí. Cílem Arcibiskupství pražského je udržet či zlepšit stav těchto lesů a podílet se na hospodářské činnosti.



Obrázek č. 8 - Lokalita terénních prací v Nejdku. Zdroj: Mapy.cz

Typickým půdním typem pro Nejdek a okolí, speciálně v jeho severní části, je podzol a kryptopodzol. Tyto typy půd vznikají na kyselých matečných horninách. Vyskytují se v prostředí se silně kyselými srážkami ve výškách nad 800 metrů nad mořem.

V Karlovarském kraji je oproti celorepublikovému průměru vyšší podíl jehličnatých dřevin, i výrazně větší zastoupení smrku ztepilého. Významným specifickým znakem tohoto kraje je velmi silný vliv antropické činnosti na zdravotní stav lesů. Vysoké imisní zatížení a jeho důsledky byly důvodem pro vznik porostů náhradních dřevin.

Klimatické podmínky – dlouhodobý srážkový průměr je zde 681 mm/rok. V roce 2016 zde spadlo 676 mm srážek.

Tabulka č. 6 - Počasí během měření. Zdroj: ČHMÚ

Datum	Oblačnost	Teplota v °C	Vítr km/h	Srážky v mm
12.9.	slunečno	28	neudáno	0
13.9.	slunečno	28	neudáno	neudáno
14.9.	Slunečno	26	neudáno	neudáno
15.9.	Slunečno	25	36,6	0
16.9.	Oblačno, místní déšť	25	neudáno	10,6

Hospodářský způsob pěstování lesa v této lokalitě je holosečný. V Nejdku bylo měření rozděleno opět do 2 lokalit. Celkem se změřilo 21 stromů. Dále zde byly naměřeny 3 kořenové systémy.

2.2 Sběr dat

Celý proces měření začal výběrem správné plochy v dané lokalitě a určením měřeného stromu. Výběr místa z hlediska vhodnosti je popsán v kapitole 2.

Stromy byly vybírány zdravé, úrovňové s průměrnými dendrometrickými charakteristikami studovaných porostů. Další přípravnou částí je určení těžiště stromu. Od vybraného stromu si stoupne (cca 2 délky stromu) jeden člen týmu a těžiště stromu se určí odborným odhadem. Vyhodnocení je odvislé od tvaru koruny, pro zjednodušení se uvažovaly dva typy - trojúhelníkový a kosočtverečný a těžiště bylo odborně odhadnuto na základně tohoto zjednodušení. Ve většině případů je určeno v cca 1/3 výšky koruny.

Před vlastním měřením je třeba připravit dané stanoviště z hlediska bezpečnosti práce, tj. ohraničit dostatečně velký prostor lokality výstražnou páskou na dvě výšky stromu tak, aby žádná cizí osoba ani náhodně nevkročila do měřicí zóny a nedošlo k jejímu ohrožení. Po zabezpečení prostoru přichází na řadu výběr vhodného místa pro usazení navijákové soupravy, která se skládá z hydraulického navijáku a pohonné jednotky (Obrázek č. 9) a s jejíž pomocí probíhá vlastní namáhání stromů. Místo pro soupravu musí být tedy stabilní. Důležitý je i dostatečně velký prostor kolem navijákové soupravy k zajištění její správné a bezpečné manipulace obsluhou. Samozřejmostí je vytyčení únikové cesty od navijáku v případě jeho nepředvídatelné poruchy či závady.



Obrázek č. 9 - Mobilní naviják s pohonnou jednotkou. Zdroj: Eliška Pařízková

Další fází měření je příprava lezců na výstup do těžiště vybraného stromu. Součástí jejich vybavení jsou stupačky, lano, kmenovka, sedák, bezpečnostní smyčka, helma, ochranné brýle, rukavice, chrániče paží, pilka na odřezávání větví a měřičský metr. Na strom lezci vylézají pomocí stupaček připevněných k obuvi. Proti pádu jsou zajištěni bezpečnostní smyčkou, kmenovkou a lanem. Při výstupu na strom lezci odřezávají živé i mrtvé větve stromu tak, aby mohli hladce postupovat výše po stromu. Po spadnutí odříznuté živé větve určený měřič zapíše pomocí průměrky její parametry, to znamená její tloušťku a délku v centimetrech, zaznamená také, na jakou světovou stranu větev směřovala. Během jejich výstupu na stromy je důležité, aby obsluha navijáku připravila lano z mobilního navijáku k jeho připevnění na strom. Po dosažení požadované výšky stromu, tedy těžiště, plní lezec dva úkoly.

Prvním úkolem lezce je přivázání úvazku na strom ve výši těžiště. Úvazek je s namotaným lanem od navijáku a barevným sprejem, který je potřebný pro druhou část úkolu uvázán týmovým spolupracovníkem na pomocné lano, po kterém si lezec pomůcky přitáhne k sobě. Lezec přiváže úvazek ke stromu pomocí uzlu a dřevěné zarážky, která zabraňuje rozvázání a sklouznutí úvazku ze stromu. Pokud je lano navijáku kratší, než vzdálenost mezi mobilním navijákem a stromem, pomůže si lezec dalším lanem, které prodlouží celkovou délku. Směr natáhnutého lana se může korigovat pomocí kladek, upevněných úvazkem ke stromu či pařezu.

Druhým úkolem lezce je změření výšky stromu a označení metrových sekcí na kmeni od těžiště až po patu stromu pomocí měřičského pásma a barevného

spreje. Označené metrové úseky slouží k orientačnímu určení výšky v případě zlomu stromu. Zřetelné barevné označení je také výborným pomocníkem při vyhodnocování kamerového záznamu průběhu měření.

Po odměření metrových sekcí se lezec odpoutá od stromu a probíhá vyklizení prostoru, aby bylo vše připraveno k trhání (lámání) stromu. K lanu navijáku, případně pomocnému lanu, se připevní tenzometr, který zaznamenává sílu vynaloženou k vyvrácení či zlomení stromu. Všechna data, která tenzometr s dataloggerem zaznamená, se přesunou na datový disk (flashdisk) pomocí USB portu.

Obsluha navijáku pomocí hydraulických hadic připojí naviják k pohonné jednotce. Po nastartování a za pomoci ovládací páčky umístěné na navijáku zajišťující navíjení a odvíjení lana, začne samotné navíjení lana. Jak se lano navíjí zpět do navijáku, strom se začne ohýbat. Pomocí kladek lze korigovat pád stromu, v tomto případě je zvolena jihovýchodní strana (proti směru převládajících větrů). Navíjením lana na buben navijáku vzniká tahová síla, která působí na kmen stromu tak dlouho, dokud nedojde k jeho zlomení či vyvrácení. Působení síly lana navijáku na strom trvá průměrně kolem 2-5 minut.

Zaznamenávanou veličinou je tloušťka stromu. Měření kmene začíná u země, pokračuje ve 20 centimetrech nad zemí, v 1 metru a v 1,30 metru. Dále pak v každém další metrové sekci až ke koruně plus doměrek. Při měření se také zapíše výška těžiště – místo úvazku stromu a celková výška stromu měřena lesnickým pásmem.

Po naměření všech potřebných veličin jsou všechny pomůcky vráceny do výchozího stavu tak, aby byly připraveny pro další měření. Během 1 dne měření lze zaměřit až 4 stromy.

Po dokončení měření se strom odvětví a odřízne od kořenového systému. Strom se může nasortimentovat dle majitelova požadavku.

Data, která byla na jednotlivých stanovištích zaměřena a zapsána do formulářů, byla dále zpracována pomocí excelovských tabulek, grafů a programu Statistika (Dell Inc.) se zaměřením na dva základní parametry - štíhlostní koeficient a výčetní tloušťka (DBH).

2.2.1 Seznam pomůcek:

Hydraulický naviják s pohonnou jednotkou, kalač, sekera, motorová pila, ruční pila, úvazky, tenzometr s dataloggerem, kladka, řetězy, dřevorubecká lopatka s obracákem, stupačky, lezecká souprava, měřičské pásmo, rozkládací metr, barevné spreje, pomocná lana, ochranné pomůcky – helma, pracovní rukavice, průměrka, váha, vlhkoměr, štípačky, krumpáč, lopata, vzorníky.

2.2.2 Popis navijáku

Naviják (Obrázek č. 9), který byl použit k výzkumným pracím, se skládá ze dvou samostatných částí - hydraulického navijáku a oddělené pohonné jednotky.

Hydraulický naviják obsahuje skříň navijáku, v níž je umístěn buben navijáku se šnekovou převodovkou a s tažným lanem, které je odvíjeno a navíjeno pomocí rotačního hydromotoru, včetně baterie k zajištění chodu elektroventilů. Pro přesun v terénu je naviják opatřen podvozkem se dvěma koly a odnímatelným madlem pro snadnější manipulaci.

Pohonná jednotka je uložena na dvoukolovém podvozku s madlem a obsahuje spalovací benzínový motor, ke kterému je pružnou spojkou připojena hnací hřídel olejového čerpadla s olejovou nádrží. Pohonná jednotka dodává energii ve formě hydraulického tlaku do hydraulického navijáku.

Propojení hydraulického navijáku a pohonné jednotky je zajištěno hydraulickými hadicemi spojujícími olejové čerpadlo s rotačním motorem navijáku.

Naviják je ovládán elektroventily řízenými přes kabelový ovladač nebo manuálně páčkou.

Celá sestava má kompaktní rozměry a nízkou hmotnost a konstrukční řešení umožňuje snadný pojezd terénem.

Při pracích byl hydraulický naviják fixován ke kmeni stromu pomocí úvazků.

3 Výsledky

V první části této kapitoly jsou zpracována data u každé lokality zvlášť z hlediska hodnoty kritické síly vynaložené na vývrát nebo zlom z pohledu štíhlostního koeficientu a pohledu DBH. V druhé části jsou data zpracována za všechny lokality dohromady.

Štíhlostní koeficient charakterizuje poměr mezi výškou (h) a výčetní tloušťkou kmenu ($d_{1,3}$) stromu tedy DBH, která patří mezi základní veličiny stromu. Jeho hodnota je zpravidla menší než $1,00 \text{ m.cm}^{-1}$. Štíhlostní koeficient je vhodným a často používaným ukazatelem stability stromu proti škodám sněhem, větrem apod. Čím větší štíhlostní koeficient je, tím jsou stromy méně odolné. Jeho velikost závisí na hustotě porostu. Velmi úzce štíhlostní koeficient souvisí s tvarem kmene a s velikostí koruny (Sequens, 2007).

$$\text{ŠK} = \frac{h \text{ (m)}}{D_{1,3} \text{ (cm)}}$$

V grafech v první části jsou zlomy na každé lokalitě zobrazeny růžovou barvou, vývraty jsou zobrazeny modrou barvou.

3.1 Vyhodnocení jednotlivých lokalit

3.1.1 Bělčice

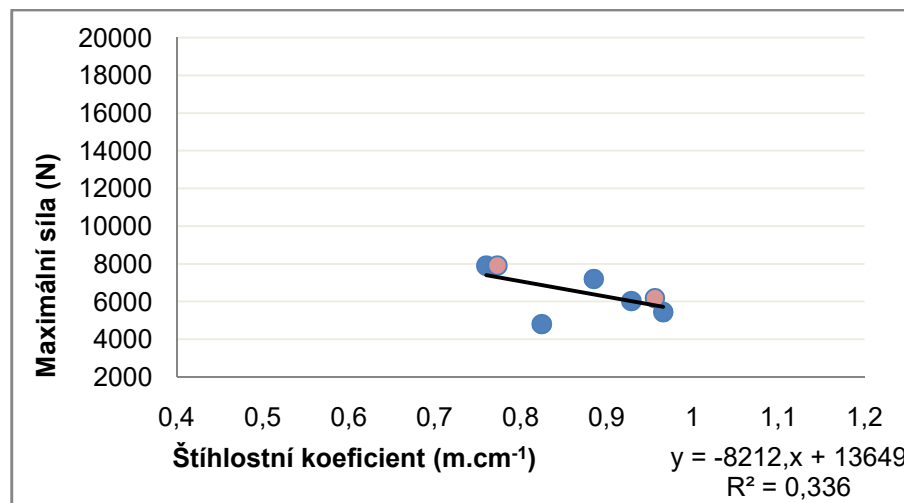
V Bělčicích bylo celkem naměřeno 7 stromů, z toho 5 vývratů a 2 zlomy, naměřené údaje jsou popsány v Tabulce č. 7. Lokalita se nacházela v rovinném terénu. V této lokalitě se používá holosečný hospodářský způsob. Pro přesnější analýzu dat zde nebylo naměřeno dostatečné množství vzorků.

Průměrná síla vyvinutá na zlom či vývrát stromu v této lokalitě byla aritmetickým průměrem spočítána na 6502,85 N. Průměrný štíhlostní koeficient $0,87 \text{ m.cm}^{-1}$ a průměrná tloušťka 33,64 cm.

Tabulka č. 7 - Naměřené údaje - Bělčice.

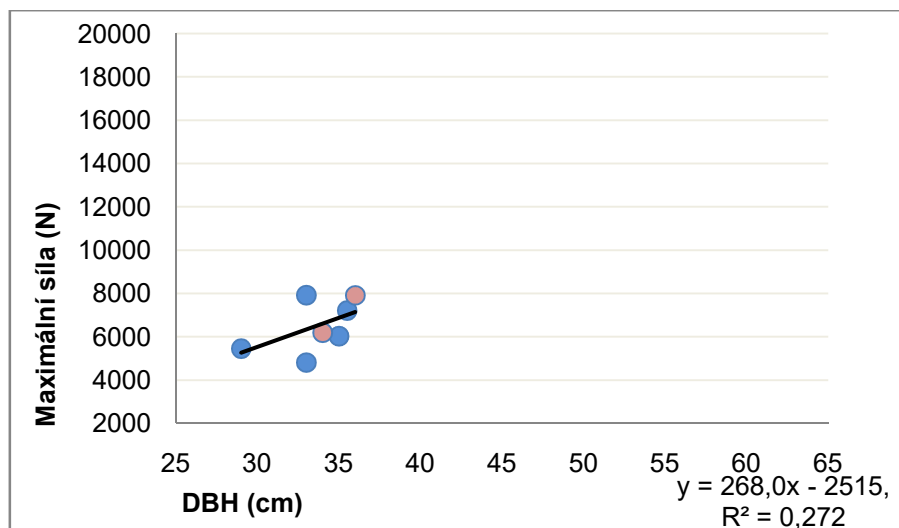
ID	Výška (m)	Typ poškození	Výška zlomu (m)	Maximální síla (N)	Výška těžiště (m)	Štíhlostní koeficient (m.cm ⁻¹)	DBH (cm)
B001	28	vývrat	-	5450	19,3	0,9655172	29
B002	27,2	vývrat	-	4810	21	0,8242424	33
B003	32,5	zlom	7	6030	23	0,9285714	35
B004	32,5	vývrat	-	6190	25	0,9558824	34
B005	31,41	vývrat	-	7210	22	0,8847887	35,5
B006	27,35	zlom	8	7910	24	0,7597222	36
B007	25,5	vývrat	-	7920	16	0,7727273	33

Graf. č. 1 znázorňuje vztah štíhlostního koeficientu a maximální síly, která byla na strom vyvinuta. Z grafu je patrné, že čím vyšší štíhlostní koeficient byl, tím nižší síla musela být vyvinuta na daný strom.



Graf č. 1 - Srovnání údajů naměřených v Bělčicích.

V Grafu č. 2 je znázorněn vztah DBH a maximální síly. Zde je patrné, že čím větší tloušťka kmene stromu, tím větší síla musela být vyvinuta.



Graf č. 2 - Srovnání údajů naměřených v Bělčicích.

3.1.2 Ostravice

V této lokalitě bylo naměřeno 18 stromů, z toho 14 vývrátů a 4 zlomy. Naměřené údaje jsou popsány v Tabulce č. 8. Lokalita byla ovlivněna nejen řekou Ostravice, ale i podmáčeným terénem, což se projevilo na síle, která byla nutná k vynaložení zlomu či vývratu stromu.

V Ostravici se používá holosečný hospodářský způsob.

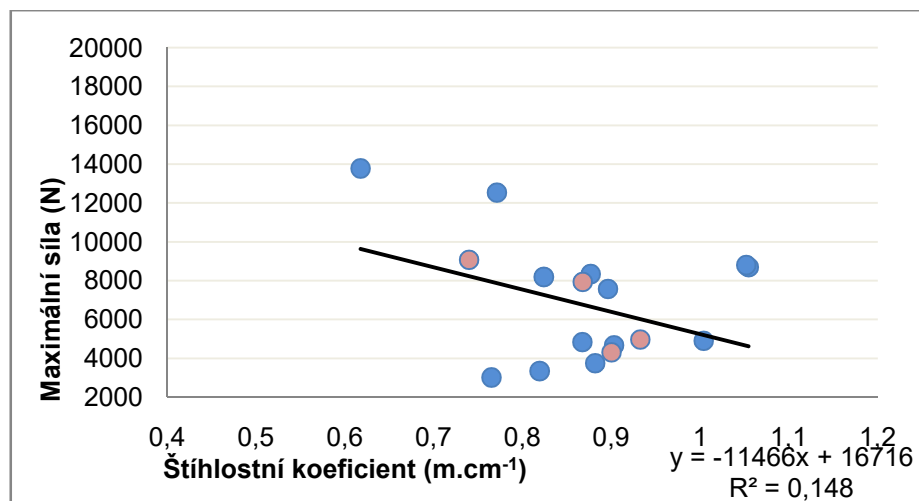
Průměrné hodnoty naměřené v Ostravici jsou o něco vyšší než v Bělčicích, kromě štíhlostního koeficientu, který je stejný, a to $0,87 \text{ m.cm}^{-1}$. Průměrná tloušťka naměřených stromů je 39,41 cm, což je skoro o 3 cm větší, než průměrná tloušťka naměřená v Bělčicích. Průměrná síla vyvinutá na stromy zde byla 6695, 55 N.

Tabulka č. 8 - Naměřené údaje – Ostravice.

ID	Výška (m)	Typ poškození	Výška zlomu (m)	Maximální síla (N)	Výška těžiště (m)	Štíhlostní koeficient (m.cm ⁻¹)	DBH (cm)
O001	34,6	vývrat	-	8190	21	0,8238095	42
O002	29	vývrat	-	8690	23	1,0545455	27,5
O003	30,6	vývrat	-	3010	20	0,765	40
O004	35,5	zlom	1	9070	21	0,7395833	48
O005	39,45	vývrat	-	8340	21,5	0,8766667	45
O006	31,36	vývrat	-	7570	19	0,896	35
O007	36,57	vývrat	-	4670	21	0,902963	40,5
O008	30,6	zlom	3	4310	17	0,9	34
O009	29,5	zlom	6	7930	18	0,8676471	34
O010	33,82	vývrat	-	4830	22	0,8671795	39
O011	33,63	vývrat	-	4900	21	1,0038806	33,5
O012	39,17	zlom	14	4970	21	0,932619	42
O013	33,5	vývrat	-	3750	20	0,8815789	38
O014	38,5	vývrat	-	3340	24	0,8191489	47
O015	26,9	vývrat	-	1840	25	0,9607143	28
O016	29,45	zlom	6,5	8800	29,45	1,0517857	28
O017	41,63	vývrat	-	12530	24	0,7709259	54
O018	33,34	vývrat	-	13780	24	0,6174074	54

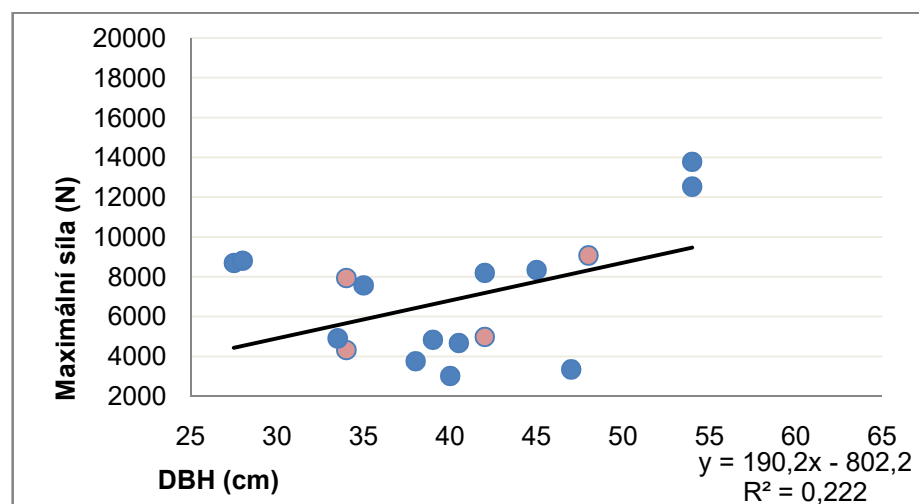
Kritická síla naměřená v Ostravici se pohybuje v rozpětí mezi 3010 – 13780 N, kromě měření č. O015 v Tabulce č. 8, kde je abnormálně nízká síla zapříčiněná hnilobou stromu, přesto je tato hodnota započítaná do aritmetického průměru naměřené síly.

V Grafu č. 3 je zobrazen vztah mezi naměřeným štíhlostní koeficientem a maximální silou.



Graf č. 3 - Srovnání údajů naměřených v Ostravici.

V Grafu č. 4 je znázorněný vztah mezi naměřeným DBH a maximální silou.



Graf č. 4 - Srovnání údajů naměřených v Ostravici.

3.1.3 Strakonice

Ve Strakonících bylo měřeno 18 stromů, 13 stromů činily vývraty a 5 stromů činily zlomy. Lokalita ve Strakonících se nacházela na kamenité půdě a les zde byl hospodářsky zanedbaný. Naměřené údaje jsou zaznamenány v Tabulce č. 9.

Na strakonické lokalitě se využívá hospodářský způsob holosečný.

Průměrné hodnoty síly a tloušťky naměřené na této lokalitě jsou vyšší, než údaje na prvních dvou lokalitách. Průměrná hodnota štíhlostního koeficientu je

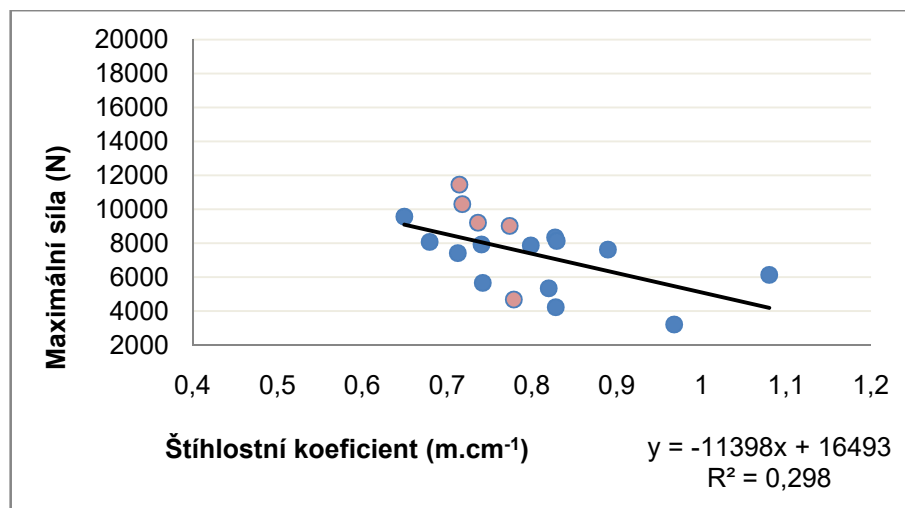
zde nižší - $0,79 \text{ m.cm}^{-1}$, což ukazuje na skutečnost, že čím nižší štíhlostní koeficient je, tím musí být síla potřebná k poškození stromu vyšší. Průměrná tloušťka zde činila 44,11 cm a průměrná síla 7447,77 N.

Tabulka č. 9 - Naměřené údaje – Strakonice.

ID	Výška (m)	Typ poškození	Výška zlomu (m)	Maximální síla (N)	Výška těžiště (m)	Štíhlostní koeficient (m.cm^{-1})	DBH (cm)
S001	35	zlom	4	11440	23	0,7142857	49
S002	32,3	zlom	6	10300	24	0,7177778	45
S003	32,48	vývrat	-	9560	24	0,6496	50
S004	33,1	vývrat	-	8340	25	0,8275	40
S005	31,3	zlom	9	9200	22	0,7364706	42,5
S006	31,32	vývrat	-	6120	23	1,08	29
S007	37,54	vývrat	-	7860	26	0,7987234	47
S008	34,25	vývrat	-	7620	22	0,8896104	38,5
S009	35,33	vývrat	-	8060	23	0,6794231	52
S010	31,7	vývrat	-	7400	20	0,7123596	44,5
S011	35,42	zlom	8,5	4680	-	0,7784615	45,5
S012	34,43	zlom	8,5	9020	25	0,7737079	44,5
S013	38,55	vývrat	-	8120	28	0,8290323	46,5
S014	37,3	vývrat	-	5340	27,55	0,8197802	45,5
S015	35,32	vývrat	-	3200	25,5	0,9676712	36,5
S016	36,85	vývrat	-	4220	26	0,8280899	44,5
S017	34,8	vývrat	-	7920	24,5	0,7404255	47
S018	34,5	vývrat	-	5660	26,5	0,7419355	46,5

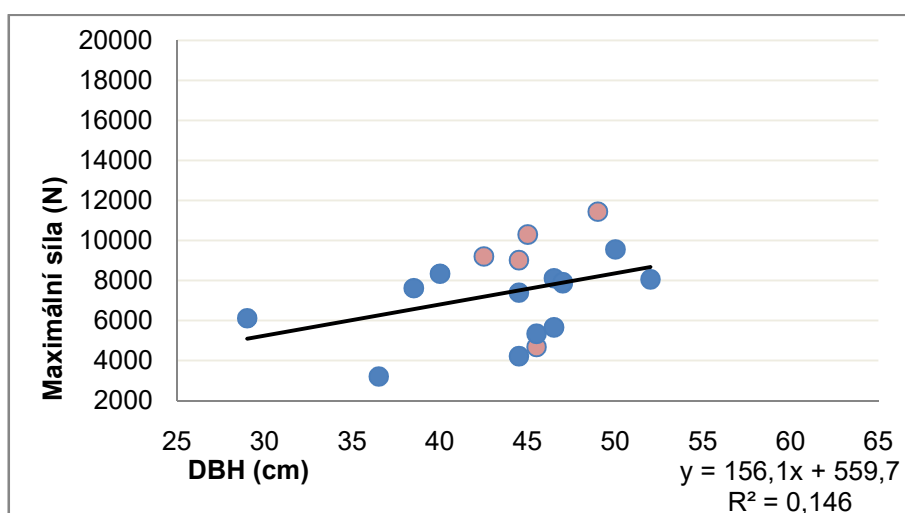
Naměřené síly na této lokalitě se pohybují od 3200 do 11440 N s tím, že strom č. S015 v Tabulce č. 9 byl napadený houbovými patogeny, což se projevilo ve vynaložené síle na vývrat.

V Grafu č. 5 je vyjádřena závislost štíhlostního koeficientu a maximální síly vyvinuté na poškození stromu. Je zde dobře patrné, že na přeštíhlený strom s hodnotou $1,08 \text{ m.cm}^{-1}$ v Tabulce č. 9 s ID S006, byla naměřená síla k jeho poškození pouze 6120 N. Naopak u stromu č. S003, se štíhlostním koeficientem $0,65 \text{ m.cm}^{-1}$, byla potřebná síla 9560 N.



Graf č. 5 - Srovnání údajů naměřených ve Strakonících.

Na Grafu č. 6 je vyobrazen vztah mezi výčetní tloušťkou (DBH) a maximální silou. Kromě dvou extrémů jsou naměřené hodnoty vyrovnané a se zvětšující se tloušťkou stromu se zvětšuje i potřebná maximální síla tahu.



Graf č. 6 - Srovnání údajů naměřených ve Strakonících.

3.1.4 Jihlava

V lokalitě Jihlava bylo naměřeno celkem 20 stromů, z toho 2 vývraty a 18 zlomů. Výzkum v Jihlavě ukázal obrácený poměr v počtu vývratů a zlomů oproti ostatním uvedeným lokalitám viz Tabulka č. 10.

Využívaný hospodářský způsob v těchto lesích je způsob podrostní.

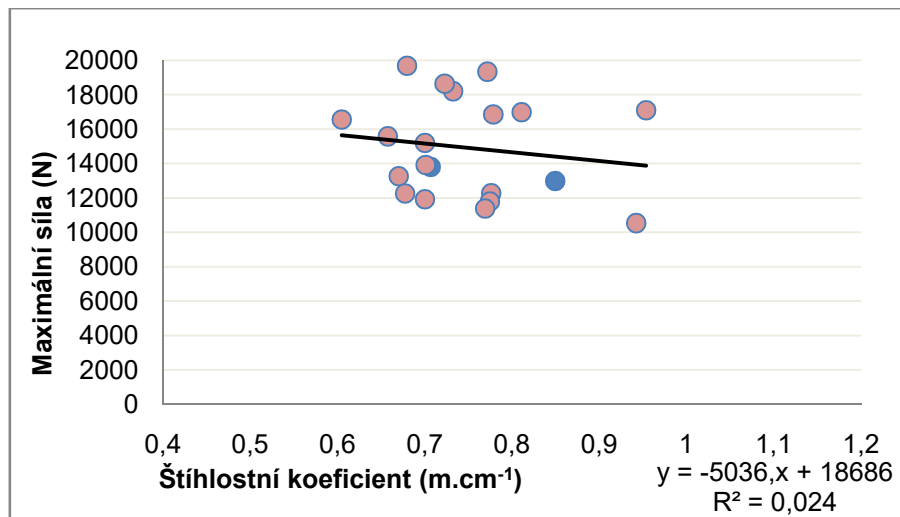
Všechny naměřené síly se zde pohybovaly nad 10000 N. V průměru byla potřebná síla vyvinutá k poškození stromu 14914 N. Průměrná tloušťka kmene

stromu zde byla 44,25 cm a průměrná hodnota štíhlostního koeficientu byla 0,74 m.cm⁻¹.

Tabulka č. 10 - Naměřené údaje – Jihlava.

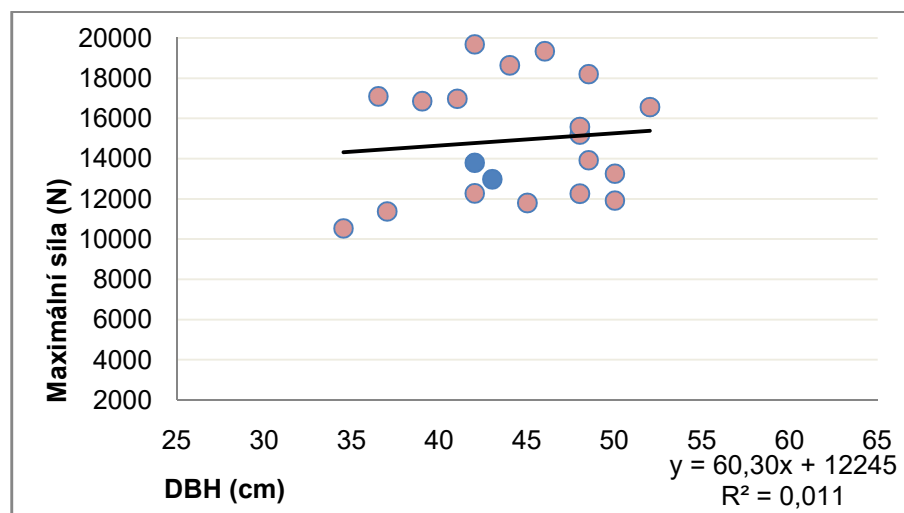
ID	Výška (m)	Typ poškození	Výška zlomu (m)	Maximální síla (N)	Výška těžiště (m)	Štíhlostní koeficient (m.cm ⁻¹)	DBH (cm)
J001	29,68	vývrat	-	13800	17,4	0,7066667	42
J002	34	zlom	3	13920	20,3	0,7010309	48,5
J003	33,5	zlom	5	13260	23	0,67	50
J004	30,36	zlom	2,2	16860	19,75	0,7784615	39
J005	34,81	zlom	6,5	17100	22,55	0,9536986	36,5
J006	32,51	zlom	9,5	10540	19,8	0,9423188	34,5
J009	32,59	zlom	7	12280	26,4	0,7759524	42
J010	33,61	zlom	1,5	15200	19	0,7002083	48
J011	34,86	zlom	3	11800	20	0,7746667	45
J012	36,53	vývrat	-	12980	21,5	0,8495349	43
J013	35,5	zlom	6	19340	20,5	0,7717391	46
J014	31,45	zlom	3,7	16560	18,5	0,6048077	52
J015	35,52	zlom	1	18200	27,8	0,7323711	48,5
J016	33,25	zlom	4,7	16980	20,7	0,8109756	41
J017	31,8	zlom	1,2	18640	17,5	0,7227273	44
J018	28,54	zlom	4,5	19680	15	0,6795238	42
J019	35,01	zlom	2	11920	18,5	0,7002	50
J020	32,52	zlom	1,8	12260	22,15	0,6775	48
J021	31,56	zlom	4,5	15580	19,3	0,6575	48
J022	28,46	zlom	4,5	11380	16,5	0,7691892	37

V Grafu č. 7 je zobrazen vztah štíhlostního koeficientu a maximální síly. Závislost štíhlostního koeficientu a maximální síly je zde mnohem vyrovnanější než u jiných lokalit, což zapříčiňuje i odlišný hospodářský způsob, který je v této oblasti používán.



Graf č. 7 - Srovnání údajů naměřených v Jihlavě.

V Grafu č. 8 je zachycen vztah mezi DBH a maximální silou. I zde je vidět, že závislost mezi těmito veličinami je v této lokalitě mnohem vyrovnanější, než u ostatních stanovišť.



Graf č. 8 - Srovnání údajů naměřených v Jihlavě.

3.1.5 Nejdek

V Nejdku bylo změřeno 21 stromů, z toho 18 vývrátů a 3 zlomy, jejich naměřené údaje jsou zobrazeny v Tabulce č. 11.

Hospodářský způsob používaný v této lokalitě je způsob holosečný. Lokalita byla situována na podzolových půdách.

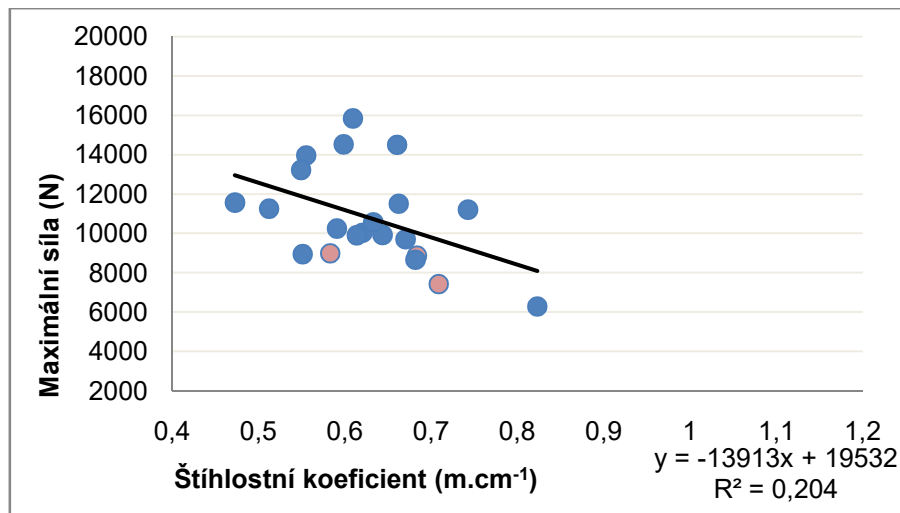
Průměrná síla potřebná k poškození stromu v této lokalitě byla 10810,95 N, průměrná tloušťka kmene stromu činila 41,09 cm, a průměrná hodnota

štíhlostního koeficientu byla $0,63 \text{ m.cm}^{-1}$. Štíhlostní koeficient v této lokalitě byl ze všech lokalit nejmenší.

Tabulka č. 11 - Naměřené údaje – Nejdek.

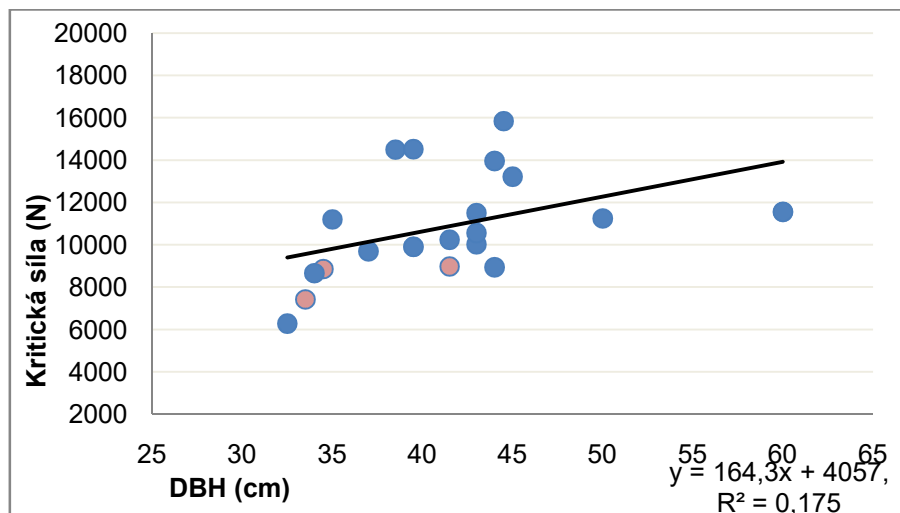
ID	Výška (m)	Typ poškození	Výška zlomu (m)	Maximální síla (N)	Výška těžiště (m)	Štíhlostní koeficient (m.cm^{-1})	DBH (cm)
N001	24,8	vývrat	-	9700	12	0,6702703	37
N002	23,74	zlom	5	7420	14,5	0,7086567	33,5
N003	24,42	vývrat	-	13960	13,5	0,555	44
N004	25,43	vývrat	-	14500	15	0,6605195	38,5
N005	26,67	vývrat	-	10020	15	0,6202326	43
N006	23,64	vývrat	-	14520	14,4	0,598481	39,5
N007	24,24	vývrat	-	8940	14	0,5509091	44
N008	25,42	vývrat	-	9920	16	0,6435443	39,5
N009	25,99	vývrat	-	11200	14,5	0,7425714	35
N010	24,71	vývrat	-	13220	15,5	0,5491111	45
N011	28,48	vývrat	-	11500	15	0,6623256	43
N012	25,61	vývrat	-	11250	13	0,5122	50
N013	28,36	vývrat	-	11560	15	0,4726667	60
N014	24,24	vývrat	-	9900	16,5	0,6136709	39,5
N015	27,21	vývrat	-	10560	15	0,6327907	43
N016	24,51	vývrat	-	10240	16	0,5906024	41,5
N017	27,11	vývrat	-	15840	15	0,6092135	44,5
N018	23,58	vývrat	-	8860	15,5	0,6834783	34,5
N019	24,19	zlom	2,5	8980	16	0,5828916	41,5
N020	26,74	vývrat	-	6280	17	0,8227692	32,5
N021	23,18	zlom	2,5	8660	-	0,6817647	34

Graf č. 9 nám zachycuje vztah mezi štíhlostním koeficientem a maximální silou v lokalitě Nejdek. I v této lokalitě se potvrdila domněnka, že čím vyšší a užší strom je (tzn. přeštíhlený), tím je síla vyvinutá na poškození menší.



Graf č. 9 - Srovnání údajů naměřených v Nejdku.

Na Grafu č. 10 je vyobrazen vztah mezi výčetní tloušťkou a maximální silou.



Graf č. 10 - Srovnání údajů naměřených v Nejdku.

3.2 Vyhodnocení a srovnání výsledků mezi lokalitami

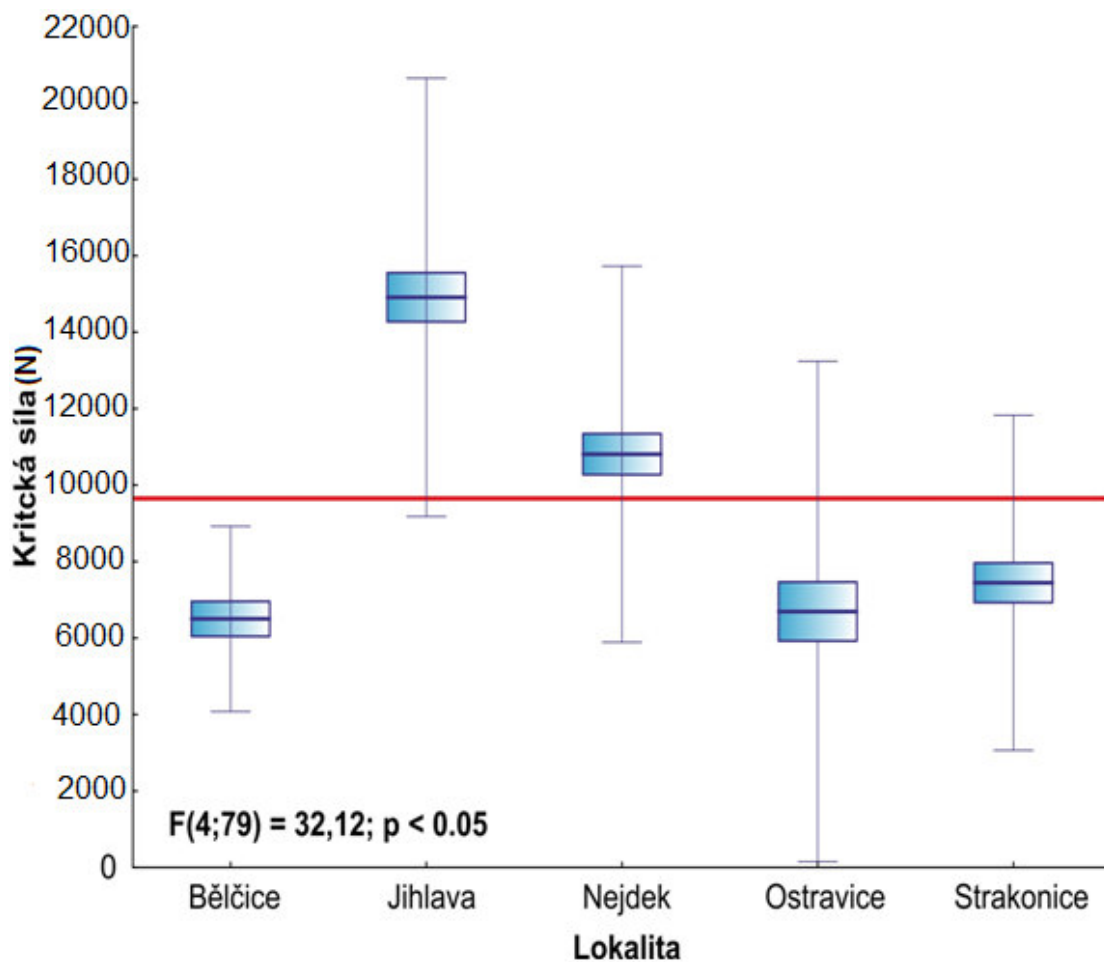
Během výzkumných prací bylo měřeno celkem 84 stromů, výsledkem bylo 51 vývrátů a 33 zlomů.

Průměrná síla, která byla nezbytná k poškození stromu, činila 9820,63 N. Průměrná naměřená tloušťka byla 41,51 cm, průměrný štíhlostní koeficient činil 0,76 m.cm⁻¹.

V Grafu č. 11 jsou zobrazeny průměrné síly, které bylo potřeba vyvinout k poškození stromu na každé lokalitě. Červená horizontální linie v Grafu č. 11 určuje průměrnou sílu potřebnou k poškození stromu za všechny lokality.

Fialová linka v každém z pěti obdélníků značí průměrnou sílu vyvinutou k poškození stromu potřebnou v dané lokalitě. Obdélník vyobrazuje směrodatnou chybu a fialová vertikální linie zobrazuje směrodatnou odchylku.

Z Grafu č. 11 je patrné, že lokality, kde převládá holosečný hospodářský způsob, mají poměrné srovnatelné hodnoty kritických sil nutné k poškození stromu. Mírný odklon od průměru mají Bělčice, musí se ale zohlednit skutečnost, že zde bylo naměřeno málo vzorků a uvedené hodnoty nejsou zcela průkazné. Zcela odlišné hodnoty byly zjištěny v lokalitě Jihlava, pravděpodobně způsobené odlišným způsobem pěstování lesa, kterým je podrovní hospodářský způsob.



Graf č. 11 - Vzájemné porovnání naměřených kritických sil v lokalitách. Červená horizontální linie určuje průměrnou sílu za všechny lokality, fialová linka v každém z pěti obdélníků značí průměrnou sílu vyvinutou k poškození stromu v dané lokalitě. Obdélník vyobrazuje směrodatnou chybu a fialová vertikální linie zobrazuje směrodatnou odchylku.

4 Diskuze

Vítr jako abiotický činitel nepoškozuje lesy jen v České republice, ale je jedním z nejvýznamnějších disturbančních činitelů i v jiných státech. Jeho působení vede nejen k přírodním katastrofám, ale má i dalekosáhlé hospodářské důsledky, protože dřevo patří k žádaným průmyslovým materiálům. Mezi státy, které postavily výzkumné týmy zabývající se touto problematikou, patří např. Finsko (Peltola a kol., 2005), Kanada (Achim a kol., 2000), Nový Zéland (Moore a kol., 2000) a další např. Velká Británie (Nicoll a kol., 2006) nebo Švýcarsko (Lundström a kol., 2007)

Uvedené výzkumné týmy vycházejí ze stejné metody měření, ale přizpůsobují si metodu přírodním podmínkám měřených lokalit. Jedním z odlišných parametrů je rozdílnost stanovení výšky pro upevnění lana. Zatímco naše metoda vycházela ze skutečného těžiště stromu (tedy 1/3 výšky daného stromu), Peltola a kol., 2000 umísťovali upevnění lana do konstantní výšky 6 m stromu, Moore a kol., 2000 upevňoval lano do 30-50% výšky stromu.

Ani výběr z hlediska věku stromu nebyl shodný. Náš výběr zahrnoval mýtní porosty, naproti tomu v Novém Zélandu bylo věkové rozpětí stromu mezi 9 a 39 lety (Moore a kol., 2000). Ve Finsku bylo rozmezí věku stanoveno mezi 40-100 lety (Peltola a kol., 2000).

Rozdílné bylo i vyhodnocování naměřených dat. Achim a kol., 2005 vycházel jak z měřených sil, tak i váhových údajů. Oproti tomu náš tým vycházel pouze z hodnot naměřených sil.

Z dosažených výsledků je zřejmé, že u všech výzkumných týmů – Finsko, Kanada, Nový Zéland a Česká republika, převládaly vyvrácené stromy nad zlomenými.

Peltola a kol., 2000 měřil na podmáčených, písčítých a na úplně zamrzlých půdách. Z celkem 115 měřených stromů jich bylo 78 vyvráceno a 37 zlomeno včetně 20 stromů, které byly měřeny na zamrzlé půdě a kde byly zlomeny kompletně všechny měřené stromy (20).

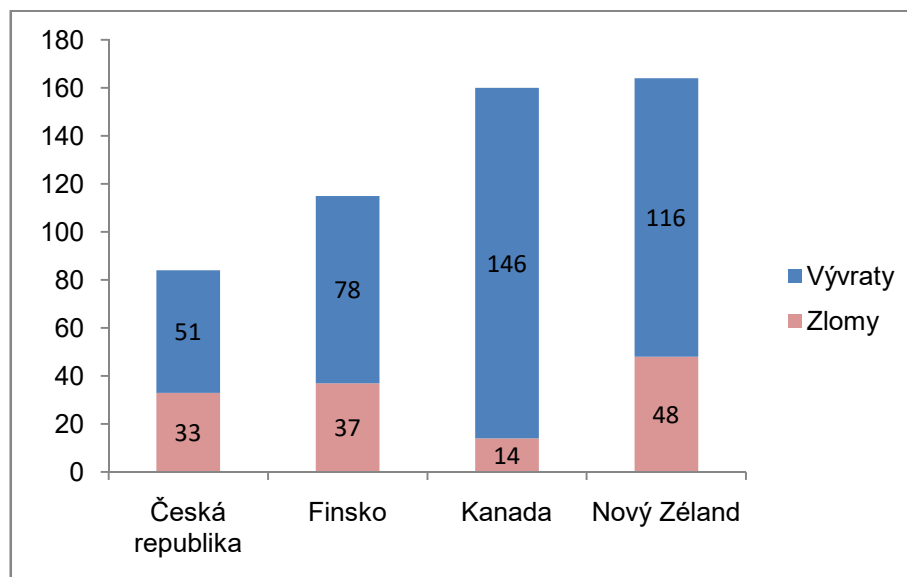
Achim a kol., 2005 měřil na vlhkých boreálních, podmáčených a nepodmáčených stanovištích s typem půdy podzol a kambizem, tedy podobných, jako jsou naše lokality s tím, že podmáčenou půdu zde

reprezentuje stanoviště Ostravice. Výsledkem měření 160 stromů bylo 146 vývratů a 14 zlomů.

V práci Moore a kol., 2000 byly výzkumné pokusy provedeny na lokalitách, kde byla půdním typem žlutohnědá kambizem, dále půdy písčité, kamenité a vyvěrlá hornina pemza. Ze 164 měřených stromů bylo 116 vývratů a 48 zlomů. Zlomy byly naměřeny téměř výhradně na kambizemích. Vývraty byly naměřeny na písčitých, kamenitých stanovištích a na stanovišti vyvěrlé horniny pemza. Podobného výsledku bylo dosaženo i v našich měřeních, a to v lokalitách Strakonice a Nejdek, kde půdní typ byl kamenitý respektive hornatý a i zde převažovaly vývraty (18/14 vývratů, 21/16 vývratů). V Tabulce č. 12 jsou porovnány počty zlomů a vývratů a následuje grafické provedení v Grafu č. 12.

Tabulka č. 12 - Srovnání naměřených dat.

Země	Testovaná dřevina	Celkem	Zlomy	Vývraty
Česká republika	smrk	84	33	51
Finsko	borovice, smrk, bříza	115	37	78
Kanada	smrk, jedle	160	14	146
Nový Zéland	borovice	164	48	116



Graf č. 12 - Grafické zobrazení naměřených údajů.

Ve všech výše zmíněných výzkumech převažovaly vyvrácené stromy nad zlomenými, a byla zde podobnost v naměřených datech na přibližně stejných

půdních typech stanovišť. Nejvýznamnějším činitelem, který ovlivňuje poškození stromu ve všech výzkumných lokalitách, ať už v České republice nebo ostatních státech, je štíhlostní koeficient stromu.

Studie ve Velké Británii prokázala spojitost mezi typem půdy na lokalitě a kritickou silou potřebnou k poškození stromu. Uvádí se zde, že u stromů, které mají přibližně stejné parametry, může vliv půdy tvořit až třetinový rozdíl tažné síly, potřebné k vyvrácení či zlomení stromu. (Nicoll a kol., 2006)

Uvedená čísla podporují i výsledky naměřené v České republice. V Ostravici, na podmáčených půdách (gleji), byla naměřena průměrná síla k poškození stromu 6695, 55 N. V lokalitě Strakonice s půdou kamenitou byla průměrná síla potřebná k poškození stromu 9560 N. Nejvyšší hodnota průměrné síly (10810,95 N) potřebná k poškození stromu byla naměřena v Nejdku, kde převažují podzolové půdy.

Z výsledků je patrné, že na podmáčených půdách byla naměřená síla výrazně nižší než na půdách s kamenitým či hornatým podložím.

5 Závěr

Z uvedených výsledků vyplývá, že poškození stromu vývratem převládá na stanovištích, kde je využíván holosečný hospodářský způsob (Bělčice, Ostravice, Strakonice, Nejdek). V holosečném způsobu převládají stromy s vyšším štíhlostním koeficientem a síla, která na ně musí být vyvinuta, je nižší. Naopak na stanovišti, která využívají podrostní hospodářský způsob, převládá v poškození stromu zlom. Stromy jsou zde nižší a silnější a síla nutná k poškození stromu je vyšší.

Stabilitu stromu ovšem neovlivňuje pouze štíhlostní koeficient a hospodářský způsob, ale také půdní typ. Přesto, že na čtyřech lokalitách je stejný hospodářský způsob – holoseč, naměřené tažné síly se pohybují v různých hodnotách. Na lokalitě Ostravice, kde je stanoviště ovlivněno podmáčenou půdou, byly naměřeny mnohem nižší hodnoty kritických sil (6695,55 N), než na lokalitě Strakonice (9560 N), kde je půda velmi kamenitá, či v krušnohorské lokalitě Nejdek (10810,95 N), kde se vyskytuje podzol.

Lokalita Bělčice, s půdním typem kambizem a rovinatým terénem, vykazuje sice podobné hodnoty kritické síly, která je potřeba vyvinout na poškození stromu, nemůže však být plnohodnotně srovnávána s ostatními lokalitami z důvodu nedostatečného počtu naměřených stromů.

Půdní typ také ovlivňuje vlastnosti kořenového systému stromu. V lokalitách s podzolovou půdou (lokalita Nejdek) jsou kořeny rozprostřeny lehce pod povrchem oproti kamenitým (Strakonice) či kambizemním (Bělčice, částečně Ostravice) stanovištím, kde kořenový systém zasahuje hlouběji pod povrch. Přesto na obou lokalitách převládaly vývraty stromů.

Výsledky naměřených dat ukazují na skutečnost, že poškození stromu nejvíce ovlivňuje štíhlostní koeficient, tedy poměr mezi výškou a tloušťkou stromu a dále hospodářský způsob a půdní typ stanoviště. Naopak signifikantní vztah mezi výškou stromu či výškou báze koruny a mechanickou stabilitou stromu prokázán nebyl.

K utvrzení těchto výsledků je nezbytně nutné naměřit další vzorky, které jsou naplánovány pro rok 2017. Zařazeny budou také další lokality, které používají

podrobní hospodářský způsob, aby mohlo dojít k porovnání s již naměřenými vzorky z lokality Jihlava.

Zmírnění účinků poškozením větrem na lesních porostech, v našem případě smrku, lze předejít vhodným výběrem dřevin dle stanoviště, hospodářským způsobem a celkovou rekonstrukcí smrkových monokultur na nepůvodních stanovištích.

Výsledky této BP lze využít jako podklady pro tvorbu simulačních modelů. Tyto modely lze využít k odhadnutí rizika poškození lesních porostů větrem.

6 Seznam literatury a použitých zdrojů

6.1 Tištěná literatura

ACHIM, A., RUEL J.C., GARDINER B.A., LAFLAMME G., MEUNIER S. *Modelling the vulnerability of balsam fir forests wind damage*. Forest Ecology and Management. [S.l.]: [s.n.], 2005, 204, 35-50.

HIEKE, K. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. Brno: Computer Press, 2008, 248 s. ISBN 978-80-251-1901-3.

KNÍŽEK, M., LIŠKA J., MODLINGER R., PEŠKOVÁ V., SOUKUP F., LUBOJACKÝ J., ŠRÁMEK V. *Výskyt lesních škodlivých faktorů v Česku v roce 2014*. Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2015, 94, 6, 12-18.

KOUBA, J. *Přírodní kalamity v lesích podle českých kronik 1091-1627*. Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2006, 85, 12, 16-18.

KULHANOVÁ, P. *Pojištění lesních porostů a lesních školek*. Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2010, 89, 12, 24-25.

LUBOJACKÝ, J. *Škody působené větrem*. Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2013, 92, 12, I.-IV.

MOORE, J. R. *Differences in maximum resistive bending moments of Pinus radiata trees grow on a range of soil types*. Forest Ecology and Management. [S.l.]: [s.n.], 2000, 135, 63-71.

Neperiodická zpráva za rok 2016: QJ1520006 „Hodnocení rizika poškození lesních porostů větrem: Vývoj a kalibrace národního prediktivního modelu“. Praha, 2016.

NICOLL, B. C., GARDINER B. A., RAYNER B., PEACE A. J. *Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type, and rooting depth*. Canadian Journal of Forest Research. [S.l.]: [s.n.], 2006, 36, 7, 1871-1883.

NOVOTNÝ, R., ŠRÁMEK V. *Povětrnostní podmínky a abiotická poškození v roce 2015*. Zpravodaj ochrany lesa: Škodliví činitelé v lesích Česka 2015/2016. Průhonice: [s.n.], 2016, 19, 8-12. ISSN 1211-9342.

- PATŘIČNÝ, M. *Dřevo krásných stromů*. 3., přeprac. vyd., v nakl. Grada 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 144 s. ISBN 978-80-247-1193-5.
- PELTOLA, H., KELLOMAKI S., HASSINEN A., GRANANDER M. *Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland*. Forest Ecology and Management. 2000, 135, 143-153.
- SAVILL, P.S. *Silviculture in windy climate*. Forest Abstrakt. [S.l.]: [s.n.], 1983, 44, 473-488.
- SEQUENS, J. *Dendrometrie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007.
- SCHELHAAS, M. J., NABUURS G. J., SCHUCK A. *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*. Global Change Biology. [S.l.]: [s.n.], 9, 1620-1633.
- Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2005*. Bratislava: Ministerstvo pôdohospodárstva SR, 2005, 201 s. ISBN 0-88853-89-3.
- TOLASZ, R. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- WAISOVÁ, J. *Analýzy škodlivých biotických a abiotických činitelů na jehličnaté a listnaté porosty LHC Škola Žlutice*. Praha, 2012. Disertace. Česká zemědělská univerzita. Vedoucí práce Prof. Ing. M. Turčáni, Ph.D.
- Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2015*. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce, 2016, 132s. ISBN 978-80-7434-324-7.
- Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2010*. Praha: Ministerstvo zemědělství v nakladatelství Lesnická práce, 2011, 128 s. ISBN 978-80-7084-995-8.

6.2 Online zdroje

Archiv počasí, klima České republiky. *In-Počasí* [online]. [S.l.]: © InMeteo, 2015 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv/>

Biskupské lesy. *Diecéze Ostravsko - Opavská* [online]. Ostrava: © Diecéze ostravsko-opavská, 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.doo.cz/hospodarska-cinnost/biskupske-lesy.html>

Družicová mapa České republiky. *Arctdata Praha* [online]. Praha: © ARCDATA PRAHA, 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://old.arctdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/Dru%C5%BEicov%C3%A1+mapa+%C4%8CR/>

Historie firmy. *Kaiser lesnicko dřevařská výroba* [online]. [S.l.]: © Kaiser, 2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.kaiser-sro.cz/o-spolecnosti/historie-firmy/>

Historie firmy. *Správa městských lesů Jihlava* [online]. [S.l.]: [s.n.], 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.sml-jihlava.cz/o-firme/historie/14-historie-firmy>

Informační portál Karlovarského kraje: *Hospodaření v lesích, myslivost a včelařství Karlovarského kraje* [online]. © Karlovarský kraj, 2015 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://www.kr-karlovarsky.cz/zivotni/stranky/lesy/info_lesy.aspx

KŘÍSTEK, Š., URBAŇCOVÁ N., HOLUŠA J. *Hodnocení škod způsobených sněhem na lesních porostech*. Lesnický průvodce [online]. Strnady: [s.n.], 2012, 7, 7 [cit. 2017-03-15]. ISSN 0862-7657. Dostupné z: http://www.vulhm.cz/sites/File/vydavatelska_cinnost/lesnicky_pruvodce/LP_7_2_012.pdf

KŘÍSTEK, Š., ŽÁRNÍK M. *Aktuální versus přirozené rozšíření smrku ztepilého v ČR*. Vesmír [online]. Praha, 2007, 86, 778-779 [cit. 2017-03-19]. ISSN 0042-4544. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/aktualni-versus-prirozene-rozsireni-smrku-ztepileho-v-cr>

KUČERA, M., ADOLT R., KOHN I., PIŠKYTLOVÁ K., KRATĚNA L., FEJFAR J., ZÁVODSKÝ J., ČECH Z. *Zastoupení smrku ztepilého*. Výstupy Národní inventarizace lesů uskutečněné v letech 2011–2015 [online]. 2016 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z:

http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky_projektu_nil2/zastoupeni_drevin_lp_cerven_2016.pdf

Lesní správa. *Lesní správa - Arcibiskupství pražské* [online]. [S.l.]: [s.n.], ©2013-2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.apha.cz/les>

Ministerstvo životního prostředí: *Půdní mapy ČR* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy

Pojištění lesů a lesních školek. *Česká pojišťovna* [online]. [S.l.]: Česká pojišťovna, ©2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <https://www.ceskapojistovna.cz/p?pojisteni-lesu>

Smrk ztepilý. *Botany.cz* [online]. [S.l.]: [s.n.], 2007 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/picea-abies/>

Vítr. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [Praha]: ČHMÚ, [2011] [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>