

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra hospodářské úpravy lesa



Prostorová analýza mortality smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) na LHC Lipník nad Bečvou

Diplomová práce

Autor: Bc. Jan Červený

Vedoucí práce: Ing. Karel Kuželka, Ph.D

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Červený

Lesní inženýrství

Název práce

Prostorová analýza mortality smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) na LHC Lipník nad Bečvou

Název anglicky

Spatial analysis of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) mortality in forest management area Lipník nad Bečvou

Cíle práce

Identifikovat odumřelé stromy na leteckých snímcích LHC Lipník nad Bečvou

Vytvořit mapu odumřelých stromů na LHC Lipník nad Bečvou

Ověřit závislost časové změny výskytu odumřelých stromů na parametrech prostředí

Identifikovat vzor šíření mortality na úrovni jedinců

Metodika

Na leteckých snímcích lesních porostů pokrývajících LHC Lipník nad Bečvou bude provedena manuální identifikace odumřelých stromů. Pozice identifikovaných odumřelých stromů budou uloženy do bodových shapefilů, které budou následně spojeny do souvislé mapy odumřelých stromů. Z dostupných datových sad budou odvozeny prostorové údaje a pomocí vhodných statistických metod budou identifikovány souvislosti mezi časovou změnou mortality a faktory prostředí. Na menším území bude provedena analýza vzoru šíření mortality na úrovni jedinců.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

mortalita, GIS, mapování, prostorová analýza, smrk ztepilý

Doporučené zdroje informací

Baguskas, S. A., Peterson, S. H., Bookhagen, B., & Still, C. J. (2014). Evaluating spatial patterns of drought-induced tree mortality in a coastal California pine forest. *Forest Ecology and Management*, 315, 43-53.

ESRI 2002: *Using ArcGIS Spatial Analyst*. ESRI Press.

Geletič Jan a kolektiv 2013: *Úvod do ArcGIS 10*. Univerzita Palackého Olomouc, 141 stran, ISBN 978-80-2443-390-5

HAINING, R P. *Spatial data analysis : theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0-521-77437-3.

Knížek M., Lubojacký J. 2015: K rojení lýkožrouta smrkového v letošním roce. *Lesnická práce*, 94 (9): 618-619 (38-39).

Knížek M., Lubojacký J. 2015: Sucho a biotičtí činitelé – kůrovcová gradace na pozadí klimaticky extrémního roku 2015. *Lesnická práce*, 94 (11): 740-742 (20-22).

Lubojacký J. 2013: Škodliví činitelé v lesích Moravskoslezského kraje v letech 2002-2012. *Lesnická práce*, 6: 18 – 19 (366 – 367).

Lubojacký J. 2014: Kůrovci na severovýchodě Česka v roce 2013. *Lesnická práce*, 93 (4): 40-41.

Negron, Jose F.; Anhold, John A.; Munson, A. Steve. 2001. Within-stand spatial distribution of tree mortality caused by the Douglas-Fir beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 30(2): 215-224.

Spurná, P. 2008: Prostorová autokorelace – všudypřítomný jev při analýze prostorových dat? *Sociologický časopis/Czech Sociological Review*, 2008, Vol. 44, No. 4

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Karel Kuželka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra hospodářské úpravy lesů

Elektronicky schváleno dne 22. 11. 2017

Ing. Peter Surový, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 14. 02. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Prostorová analýza mortality smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) H. Karst.) na LHC Lipník nad Bečvou“ jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Karla Kuželky, Ph.D a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom zveřejněním diplomové práce a souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek obhajoby

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

Podpis autora.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce za odborné vedení a cenné rady při vypracovávání této diplomové práce. Dále pak děkuji svým rodičům, sourozencům a v neposlední řadě mé přítelkyni Dominice Kloučkové za podporu během celého studia.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo provést prostorovou analýzu mortality smrku ztepilého v LHC Lipník nad Bečvou. Na leteckých snímcích (dlaždicových ortofotech) z roku 2016 byla provedena manuální identifikace souší v programu ArcGIS. Nakonec jich bylo identifikováno na 140 000 po oříznutí této vrstvy podle území LHC (poskytnutá ortofota zasahovaly i mimo území LHC) byl tento počet cca 83 000 souší, což bylo téměř trojnásobné množství oproti identifikacím provedených v letech 2012 a 2014. Ve stejném programu jako byla uskutečněna identifikace bylo provedeno další zpracování dat. Tím je myšleno: určení nadmořské výšky, sklonu svahu, expozice svahu, šíření mortality a sloučení jednotlivých shapefilů do jednoho. Finální atributová tabulka byla převedena do programu Microsoft Excel a v něm byla provedena analýza dat. Z modelového počtu stromů byl vypočten skutečný počet stromů v porostu a na základě počtu souší a počtu stromů v porostu byla vypočtena mortalita. Dále byl vypočten vážený průměr mortality (vahou ve váženém průměru byla rozloha jednotlivých polygonů – porostů) a vážený průměr rozdílu mortality (vzrůst mortality v roce 2016 oproti roku 2012) podle topografických faktorů (nadm. výška, sklon, expozice), ekologických faktorů (LVS, ekologické řady, edafické kategorie) a porostních faktorů (zakmenění, věk, relativní bonita). Následovala analýza vzoru šíření mortality na úrovni jedinců, dále byla určena vzdálenost mezi soušemi z různých ročníků (2014-2012; 2016-2014) a také směr šíření mortality. Při analýze z roku 2016 bylo zjištěno, že smrk má vyšší mortalitu v polohách do 450 m n. m., dále ve vyšších sklonech svahu byla také vyšší mortalita a u expozice svahu se úroveň mortality mezi jednotlivými světovými stranami příliš nelišila. U LVS analýza ukázala, že vyšší mortalita se týká těch LVS, které nejsou v optimu smrku. U ekologických řad byla nejvyšší mortalita u řad extrémních, obohacených vodou a obohacených humusem. Úroveň mortality podle zakmenění byla vyšší u nižších zakmenění. Mortalita podle relativní bonity byla vyšší u porostů s nižším produkčním potenciálem. Posledním faktorem byl věk, kde se zjistilo, že mortalita se zvyšuje od 13 věkového stupně.

Klíčová slova

mortalita, GIS, mapování, prostorová analýza, smrk ztepilý

Abstract

The aim of this thesis was to perform a spatial analysis of spruce mortality in LHC Lipník nad Bečvou. In the aerial images (tile orthophotos) from 2016, manual identification dead trees were performed in the ArcGIS program. Eventually, the 140,000 were identified after trimming this layer by LHC (orthopedic area interfered outside of the LHC area), the total number of dead trees was cca 83000, which was almost triple the number than in 2012 and 2014. In the same program as the identification was performed further data were processed. That means: determination of altitude, tend of the slope, slope exposure, mortality spreading, and merging individual shapes into one. The final attribute table was converted to Microsoft Excel and the data analysis was performed here. From the number of trees, the actual number of trees in the area was calculated and the mortality was calculated based on the number of trees and the number of dead trees in the area. In addition, the weighted average mortality (the weighted average weight was the area of the individual polygons - stands) and the weighted average mortality rate (2016 compared to 2012) according to topographical factors (altitude, tend, exposure), ecological factors (LVS, ecological series, educational categories) and forest factors (forest density, age, relative credit worthiness). An analysis of the pattern of mortality spreading at the individual level followed by a further analysis of the distance between the dead trees of different years (2014-2012, 2016-2014), as well as the direction of the spread of mortality. In the 2016 analysis, it was found that spruce had higher mortality at locations up to 450 meters above sea level, higher mortality rates were also in the higher tend of the slope, and mortality did not show much difference in the exposal of the slopes between individual cardinal points. The LVS analysis showed that higher mortality refers to LVS that are not optimum in spruce. The ecological series was the highest mortality at a series of extremes, enriched with water and enriched with humus. Mortality rate by forest density was higher for lower forest density. Mortality by relative creditworthiness was higher for forest with lower production potential. The last factor was the age when it was found that mortality increased from age 13.

Key words

Mortality, GIS, mapping, spatial analysis, Norway spruce

Obsah

Úvod	15
Cíle práce	15
1 Literární rešerše	16
1.1 Situace na severní Moravě	16
1.1.1 Stanovištní a půdní podmínky	16
1.1.1.1 Charakteristika stanovištních a půdních podmínek	16
1.1.2 Sucho	17
1.1.3 Imise	18
1.1.4 Houbové patogeny	19
1.1.4.1 Václavka (<i>Armillaria</i> sp.)	19
1.1.5 Podkorní hmyz.....	20
1.1.6 VLS divize Lipník nad Bečvou	21
1.2 Dálkový průzkum Země.....	22
1.2.1 Interpretace snímků DPZ.....	22
1.2.2 Pravidla a omezení při používání DPZ.....	23
1.2.3 Fotogrammetrie	23
1.2.3.1 Pozemní fotogrammetrie.....	24
1.2.3.2 Letecká fotogrammetrie	24
1.2.4 Ortofotomapa.....	25
1.2.5 DPZ v lesnictví	25
1.2.5.1 Využití DPZ při monitorování změn stavu lesa.....	26
1.2.5.2 Využití DPZ při monitorování půdního a vegetačního krytu a územního plánování.....	27
1.2.5.3 Využití DPZ v Národní inventarizaci lesů (NIL2)	27
1.2.6 Využití bezpilotních prostředků v lesnictví.....	28
1.2.6.1 Mapování lesů a biodiverzity.....	28
1.2.6.2 Precizní lesnictví, udržitelné hospodaření a plánování.....	29
1.2.6.3 Mapování porušeného zápoje	29
1.2.6.4 Měření výšky a dalších atributů porostu.....	29
1.3 Práce sledující prostorovou analýzu z leteckých snímků.....	29
1.3.1 Vyhodnocení prostorové mortality vyvolané suchem v pobřežním borovicovém lese.....	29

1.3.2 Kvalifikace mortality stromů ve smíšených porostech pomocí multitemporálních satelitních snímků s vysokým rozlišením	30
1.3.3 Posouzení mortality porostů za pomoci satelitních snímků po kalamitě způsobené <i>Dendroctonus ponderosae</i>	31
1.3.4 Širokopásmové Red-edge satelitní snímky zlepšující detekci stresu v lesích Nového Mexika	31
1.3.5 Mapování mortality <i>Pinus albicaluis</i> způsobené kalamitou <i>Dendroctonus ponderosae</i> ze satelitních snímků s vysokým rozlišením	32
1.3.6 Analýza závažnosti větrné kalamity a heterogenity zápoje v boreálním lese kombinací satelitních snímků s vysokým rozlišením a terénních dat	33
1.3.7 Detekce napadení porostů <i>Dendroctonus ponderosae</i> pomocí leteckých snímků s vysokým rozlišením	33
1.3.8 Inicializace modelu šíření napadení hmyzem pomocí stromové struktury a prostorových charakteristik odvozených z leteckých snímků s vysokým prostorovým rozlišením.....	34
1.3.9 Mapování defoliace a mortality způsobené hmyzem pomocí satelitních snímků s nízkým prostorovým rozlišením	34
1.3.10 Využití dálkového průzkumu Země při detekci sucha v Amazonských pralesích.....	35
2 Metodika	36
2.1 Použitá data	36
2.1.1 Ortofoto České republiky	36
2.1.2 Výškopis ČR.....	37
2.1.3 OPRL.....	37
2.1.4 LHP.....	37
2.2 Identifikace odumřelých stromů	38
2.2.1 Vektorizace.....	38
2.3 Zpracování dat v programu ArcGis 10.3.1.....	39
2.3.1 Nadmořská výška	39
2.3.1.1 IDW (Inverse distance weighted)	39
2.3.1.2 Reclassify.....	40
2.3.1.3 Raster to Polygon.....	40
2.3.1.4 Dissolve	40
2.3.1.5 Clip.....	40
2.3.2 Sklon.....	41
2.3.2.1 Slope	41

2.3.2.2 Reclassify	41
2.3.2.3 Raster to polygon	42
2.3.2.4 Dissolve	42
2.3.2.5 Clip.....	42
2.3.3 Expozice	43
2.3.3.1 Aspect	43
2.3.3.2 Reclassify	43
2.3.3.3 Raster to Polygon.....	44
2.3.3.4 Dissolve	44
2.3.4 Sloučení vrstev	45
2.3.4.1 Join and Relates	45
2.3.4.2 Spatial Join.....	45
2.3.5 Šíření mortality.....	46
2.3.5.1 Vytvoření shapefilu.....	46
2.3.5.2 Clip.....	47
2.3.5.3 Near.....	47
2.4 Zpracování dat v programu MS Excel 2016	47
2.4.1 Převod atributových tabulek do MS Excel	47
2.4.2 Vybrání porostů se zastoupením smrku	48
2.4.3 Aktualizování věku a určení věkových stupňů.....	48
2.4.4 Určení z SLT lesní vegetační stupeň edafickou kategorií	49
2.4.5 Zaokrouhlení zakmenění	49
2.4.6 Určení počtu stromů v porostu	49
2.4.7 Výpočet mortality pro jednotlivé porosty.....	49
2.4.8 Výpočet mortality pro faktory prostředí.....	50
2.4.9 Výpočet rozdílu mortality.....	51
2.4.10 Malá oblast	51
2.4.11 Vzdálenosti mezi soušemi	51
2.4.12 Směr šíření.....	52
3 Výsledky.....	53
3.1 Analýza mortality smrku v roce 2016.....	53
3.1.1 Topografické faktory	54
3.1.1.1 Nadmořská výška.....	54

3.1.1.2 Sklon svahu.....	54
3.1.1.3 Expozice svahu	55
3.1.2 Ekologické faktory	56
3.1.2.1 Lesní vegetační stupeň.....	56
3.1.2.2 Ekologické řady	56
3.1.2.3 Edafické kategorie	57
3.1.3 Porostní faktory	58
3.1.3.1 Zakmenění	58
3.1.3.2 Relativní bonita.....	58
3.1.3.3 Věkové stupně.....	59
3.2 Analýza rozdílu mortality mezi lety 2016 a 2012.....	59
3.2.1 Topografické faktory	60
3.2.1.1 Nadmořská výška.....	60
3.2.1.2 Sklon	60
3.2.1.3 Expozice.....	61
3.2.2 Ekologické faktory	62
3.2.2.1 Lesní vegetační stupně.....	62
3.2.2.2 Ekologické řady	62
3.2.2.3 Edafické kategorie	63
3.2.3 Porostní faktory	64
3.2.3.1 Zakmenění	64
3.2.3.2 Relativní bonita.....	65
3.2.3.3 Věkové stupně.....	65
3.3 Analýza šíření mortality	66
3.3.1 Rok 2012-2014	66
3.3.1.1 Vzdálenost souší	66
3.3.1.2 Směr šíření mortality	67
3.3.2 Rok 2016-2014	67
3.3.2.1 Vzdálenost mezi soušemi.....	67
3.3.2.2 Směr šíření mortality	68
4.Diskuze	69
4.1 Mortalita v roce 2016.....	69
4.1.2 Topografické faktory	69

4.1.3 Ekologické faktory	70
4.1.4 Porostní faktory	71
4.2 Analýza rozdílu mortality mezi lety 2016 a 2012	71
4.3 Analýza šíření mortality	71
4.3.1 Vzdálenost souší	72
4.3.2 Směr šíření	72
Závěr	73
Seznam literatury a použitých zdrojů	75
Seznam příloh	80
Přílohy	81

Seznam obrázků

Obrázek 1 Stres suchem 2012-2014 (Šrámek et al. 2016).....	18
Obrázek 2 Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v Česku v roce 2016 (Lubojacký et al. 2017).....	21
Obrázek 3 Dlaždicové ortofoto.....	36
Obrázek 4 Bodová vrstva souší za rok 2016.....	39
Obrázek 5 Mapa výsledného shapefilu nadmořské výšky.....	41
Obrázek 6 Mapa výsledného shapefilu sklonu.....	43
Obrázek 7 Mapa znázorňující expozici.....	44
Obrázek 8 místo umístění malé oblasti.....	46

Seznam grafů

Graf 1 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle nadmořské výšky.....	54
Graf 2 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle sklonu svahu.....	54
Graf 3 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle expozice svahu.....	55
Graf 4 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle LVS.....	56
Graf 5 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle ekologických řad.....	56
Graf 6 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle edafických kategorií.....	57
Graf 7 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle zakmenění.....	58
Graf 9 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle relativní bonity.....	58
Graf 10 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle věkových stupňů.....	59
Graf 11 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle nadmořské výšky.....	60
Graf 12 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle sklonu svahu.....	60
Graf 13 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle expozice svahu.....	61
Graf 14 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle lesních vegetačních stupňů.....	62
Graf 15 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle ekologické řady.....	62

Graf 16 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle edafické kategorie.....	63
Graf 16 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle zakmenění...	64
Graf 17 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle relativní bonity	65
Graf 18 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle věkový stupňů	65
Graf 19 Nejnižší vzdálenost souší z roku 2012 k souším z roku 2014.....	66
Graf 20 Směr šíření mortality podle světových stran (2012-2014)	67
Graf 21 Nejnižší vzdálenost souší z roku 2014 k souším z roku 2016.....	67
Graf 22 Směr šíření mortality podle světových stran (2014--2016).....	68

Úvod

V dnešní době leteckých a satelitních snímků je prostorová analýza důležitým prostředkem získávání dat. Je důležité vědět, co se dříve událo a co se teprve bude dít ve vztahu k umístění v prostoru. Postupem času převzaly nadvládu nad zpracováním veškerých dat informační technologie, bez kterých si dnes odvětví lidské činnosti už ani nelze představit. Mezi tyto technologie patří také geografické informační systémy (GIS), které jsou vyvíjeny pro správu, analýzu, zpracování a v neposlední řadě také vizualizaci prostorových dat. Využívání GISu je opravdu široké používá se od kartografie a geografie až po logistiku v dopravě a moderní cílenou reklamu – tzv. geomarketing (Geletič 2013).

V této diplomové práci byla prostorová analýza využita pro analyzování mortality smrkových porostů na severní Moravě, přesněji na území LHC Lipník nad Bečvou. Oblast severní Moravy se již dlouhodobě potýká s chřadnutím smrku. Objem kalamitního dříví se neustále zvyšuje – v roce 2016 objemy kalamitního dříví přesáhly milion metrů krychlových (1 356 tis. m³– Lubojacký et al. 2017), což bylo dvojnásobné množství než v roce předešlém (591 tis. m³ – Liška et al. 2016). Je potřeba zjišťovat a analyzovat příčiny tohoto masivního zvyšování objemu kalamitního dříví v této oblasti.

Cíle práce

Z důvodů, které byly předloženy v úvodu vznikla tato diplomová práce, která má za úkol zkoumat jak samotnou mortalitu, tak i její nárůst podle faktorů prostředí (topografické, porostní a ekologické faktory) a také ověřit, zda nejsou v šíření mortality na úrovni jedinců určitá pravidla (vzory). Jedná se o identifikaci odumřelých stromů z leteckých snímků (dlaždicová ortofota), pořízených v roce 2016 v programu ArcGIS 10.3.1, dále budou v tomto programu vygenerovány pomocí nástrojů geoprocessingu a vrstev ZABAGED, LHP a OPRL jednotlivé faktory prostředí, podle kterých bude prostorová analýza mortality smrku v LHC Lipník nad Bečvou prováděna.

1 Literární rešerše

1.1 Situace na severní Moravě

Severní Morava a Slezsko patří dlouhodobě, z hlediska ochrany lesa k nejproblematictějším regionům v České republice. Chřadnutí místních smrkových porostů je způsobeno kombinací abiotických, biotických a antropogenních vlivů. Tyto vlivy se podílejí různou měrou na stále se zhoršujícím stavu místních lesů (Lubojacký 2012).

Jak již bylo uvedeno, problémy smrkových porostů na severní Moravě jsou způsobené komplexem faktorů. Dochází k odumírání porostů všech věkových tříd, a to bez ohledu na jejich způsob vzniku (tj. přirozená, umělá obnova). Prvním faktorem je zakládání smrkových monokultur mimo jeho optimum, dále nepříznivý stav lesních půd, kde je problémem acidifikace půd a nerovnováha v minerální výživě. Významným faktorem jsou také tzv. klimatické anomálie, tj. nízké srážkové úhrny a vysoké teploty ve vegetačním období. Dále se také stav lesů v tomto regionu zhoršuje, kvůli opakovaným gradacím různých druhů kůrovců a četným napadením václavkou. Porosty jsou těmito faktory rozfragmentovány a dále rozvraceny působením sněhových, a hlavně větrných kalamit (Dušek et al. 2017).

1.1.1 Stanovištní a půdní podmínky

Velkou výhodou smrku jsou jeho nízké nároky na půdní vlastnosti a dokáže prosperovat na širokém spektru stanovišť, včetně velmi kyselých a chudých půd. Přesto, hlavně v oblastech, které vykazovaly poškození imisemi, docházelo k chřadnutí smrkových porostů a v některých případech dokonce i k jejich celkovému rozpadu. Tento případ nastal hlavně v horských oblastech s přirozeně chudými půdami. Vlivem dlouhodobého spadu kyselých látek byly z těchto půd vyplavovány bazické živiny, zejména vápník a hořčík (Šrámek et al. 2015).

1.1.1.1 Charakteristika stanovištních a půdních podmínek

Geomorfologie: ploché až členité pahorkatiny (Nízký Jeseník, Ostravská pánev, Podbeskydská pahorkatina) v nadmořské výšce 220-500 m

Potencionální vegetace: převažují soubory lesních typů 3-4 H, O, 4 B(*Querceto-Fagetum* a *Fagetum*). Smrk je dnes často navíc pěstován na původně zemědělských plochách, zalesňovaných od první poloviny 19. století

Půdní typ: převažují pseudoglejové Luvizemě a pseudoglejové Kambizemě

Půdní druh: hlinito-jílovité, které jsou na jaře zamokřené, ale naopak během léta vysychají a pukají

Půdní kyselost (H₂O): v horizontu Ah se pohybuje i pod 4 pH

Obsah živin: v Ah horizontu se projevuje nedostatek některých živin, který jsou však stromy schopny kompenzovat, protože jejich obsah v jehličí je (kromě hořčíku) dostatečný. Zásoba dusíku v půdě je dostatečná, i když naopak na některých místech je obsah v jehličí nízký. Především v humusu je obsah některých prvků vysoký), takže působí zátěž dřevinám. Tato situace však není neobvyklá, protože obsah živin v půdě, v jehličí i výše pH jsou plně srovnatelné s celou řadou jiných regionů ve Slezsku a na severní Moravě, kde se podobné příznaky odumírání nevyskytují (Holuša et al. 2002)

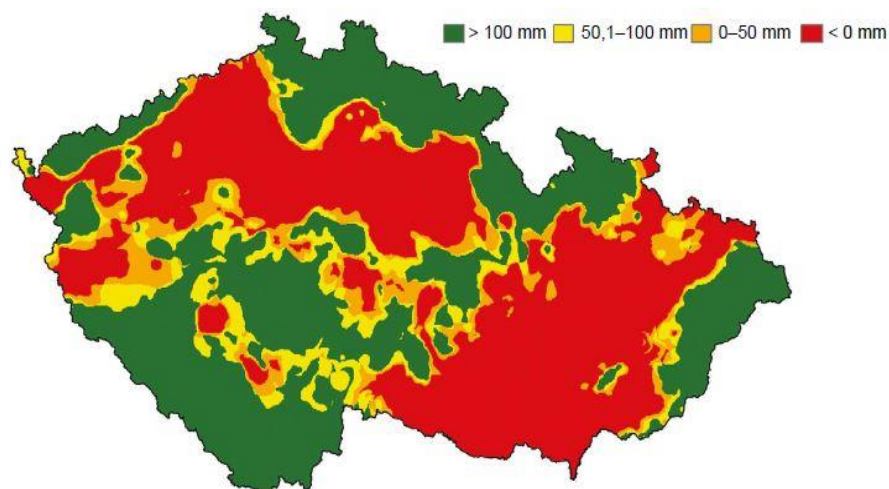
Často se setkáváme s názorem, že acidifikaci půd nelze považovat za hlavní příčinu chřadnutí porostů na severní Moravě, hlavně kvůli tomu, že často dochází ke chřadnutí i na příznivých stanovištích, a proto je role půdního prostředí považována za druhotnou a někdy dokonce i zcela bezvýznamnou (Novotný et al. 2008)

Šrámek et al. 2015 zjistil, že i na typologicky příznivých kategoriích mohou být svrchní horizonty půdy, které smrk prokořeňuje být výrazně ochuzené o bazické živiny. Pozorovaný nedostatek živin v jehličí, tudíž není vždy způsoben pouze trvalým nebo dočasným nedostatkem půdní vláhy, ale může zde hrát zásadní roli i půdní prostředí. Z těchto výsledků je zřejmé, že by se role půdního prostředí v komplexu faktorů způsobujících chřadnutí porostů na severní Moravě neměla dále podceňovat.

1.1.2 Sucho

Dalším faktorem, který se podepisuje na chřadnutí smrkových porostů je sucho. Smrk často chřadne na lokalitách, kde není jeho výskyt přirozený. Na těchto lokalitách měl vždy nadprůměrnou produkci, ale jeho stav se v posledních desetiletích zhoršuje. Spouštěcím mechanismem kalamitního poškození jsou opakující se periody

sucha (Vít Šrámek et al. 2016). Hlavní příčinou, proč je často smrk ohrožován suchem je jeho mělký kořenový systém (Lubojacký 2012).



Obr. 1.
Dlouhodobý stres suchem 2012–2014
Fig. 1.
Long-term drought stress in the period of 2012–2014

Obrázek 1 Stres suchem 2012-2014 (Šrámek et al. 2016)

Tato mapa vznikla na základě hodnocení podle aktuální (skutečné) a potenciální evapotranspirace (E_{ta}/E_{Tp}) mezi lety 2012-2014, výsledné hodnoty byly rozděleny do čtyř kategorií. První kategorií je *negativní bilance* – celková bilance je menší než 0 mm, v těchto oblastech jsou porosty výrazně stresovány suchem. Smrk je poškozován i v dalších dvou kategoriích – s *bilancí 0-50* a s *bilancí 50,1-100* je to z toho důvodu, že mapy ČHMÚ, ze kterých Šrámek et al. 2016 vychází jsou počítány pro evapotranspiraci travních porostů. Tato transpirace je nižší než u středně starých a dospělých smrkových porostů. Poslední kategorií jsou oblasti s *bilancí vyšší než 100 mm* tato kategorie obsahuje oblasti, kde docházelo ke stresování suchem buď mírně nebo vůbec. U jinak zdravých porostů by na takových lokalitách nemělo docházet k akutním kalamitním poškozením, a to ani při výrazném přísušku během jedné vegetační sezóny (Šrámek et al. 2016). Z obrázku XX je zřejmé, že je severní Morava a Slezsko velmi zasažena přísušky, a proto zde hrozí stresování porostů suchem.

1.1.3 Imise

Lesy v ČR byly v minulosti výrazně ovlivňovány imisní zátěží. Poškození oxidem siřičitým bylo podrobně popsáno již ve dvacátých letech 20. století (Stoklasa

1923). Však k velkoplošnému imisnímu poškození porostů dochází až v sedmdesátých letech. Při teplotním zvratu z 31.12. 1978 na 1.1. 1979 vzniká velkoplošné poškození lesních porostů v celé hřebenové části severní Čech, dále v Jeseníkách a Moravskoslezských Beskydech. Imisní poškození porostů pak kulminovalo koncem osmdesátých let minulého století. Produkce oxidu siřičitého v tomto období dosahovala až 2 milionu tun za rok. V průběhu devadesátých let se tato produkce začala prudce snižovat, díky odsiřování největších zdrojů znečištění. Dnes jsme s produkcí toho oxidu na cca 350 tis. tun za rok. K poslednímu velkému imisnímu poškození došlo během zimy 1995/1996, kdy došlo k poškození asimilačních orgánů spojené s červenaním prvních ročníků jehlic, k tomuto poškození došlo hlavně v porostech s nadmořskou výškou nad 700 m n. m.

Od této události se stav lesů, které byly poškozeny imisemi postupně zlepšoval. Došlo ke snížení defoliace korun v roce 2007 to již bylo kolem 20 %. Tyto hodnoty defoliace odpovídají průměrným hodnotám v ČR.

V současnosti se velkoplošná imisní poškození prakticky nevyskytují. Dnes se jedná spíše o lokální problematiku, kdy k poškozování porostů dochází pouze u místních zdrojů imisí. U těchto zdrojů může dojít k úniku plynu nebo provozních kapalin a tím poškodit porost, který s tímto zdrojem sousedí.

Neznamená to však, že bychom se problematice imisí již neměli věnovat. Imise stále ovlivňují stav ekosystémů, i když ne tolik jako tomu bylo v osmdesátých letech 20. století (Lomský et al. 2015)

1.1.4 Houbové patogeny

Nejčastějším houbovým patogenem u smrku na severní Moravě je václavka (*Armillaria* sp.). Ještě na přelomu tisíciletí bylo václavkové dříví evidováno pouze výjimečně. Po roce 2003 došlo k výraznému nárůstu nahodilých těžeb. K masivnímu napadání začalo docházet po suché a teplé vegetační sezóně v roce 2003 a v dalších letech (Lubojacký 2012).

1.1.4.1 Václavka (*Armillaria* sp.)

Václavka infikuje kořenové systémy dřevin. Často jsou tyto dřeviny oslabené přímými faktory (suchem, větrem, nesprávně provedenou výsadbou). V mýtních a

předmýtních porostech smrku, při dlouhodobém napadení dochází ke ztloustnutí bazální části kmene.

Po napadení stromu václavkou, má choroba dvojitý průběh, a to buď akutní nebo chronický. Chronický průběh bývá běžnější. Hostitelský strom může být napaden i několik desítek let. V tomto případě dochází k napadení kořenového systému a tím je redukován i asimilační aparát, což snižuje přírůst dřeviny. Tento stav zvyšuje riziko zlomu kmene v bazální části, ale nezpůsobuje přímé ohrožení života stromu.

Však při chronickém napadení je život stromu ohrožen přímo. K tomu dojde při fyziologickém oslabení dřeviny (často výrazným a opakovaným přísuškem). Odumírání stromů, které je zapříčiněno přísuškem je nejčastěji lokálního charakteru. V dnešní době nedochází k velkoplošným „václavkovým“ kalamitám (Pešková et al. 2013).

Vyvstávající otázkou je, zdali mají výchovné zásahy vliv na proces odumírání smrkových porostů v důsledku napadení václavkou. Na tuto otázku se snaží odpovědět projekt, který byl zahájen na jaře roku 2012 s názvem „Integrované hodnocení dopadů hmyzích škůdců a houbových patogenů na smrkové porosty ČR jako východisko pro operativní management“. Cílem tohoto projektu je vytvoření systému pro operativní management lesa v podmínkách zvýšeného výskytu houbových patogenů (hlavně václavky) a jeho aplikace na území s dlouhodobým rozpadem smrkových porostů. Při vyhodnocování výsledků z terénního měření je hlavním parametrem náchylnost smrkových porostů k infikování václavkou (Pešková et al. 2015).

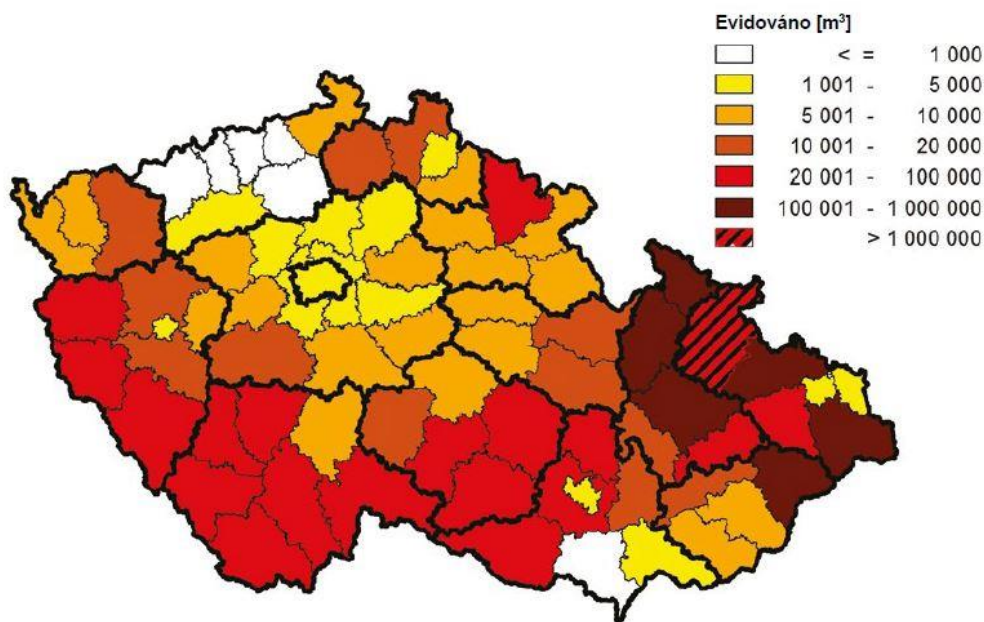
V letech 2006-2009 byl na vybraných plochách na LS Jablunkov proveden výzkum biotických činitelů. Výsledky ukázaly, že působením václavky a podkorního hmyzu se dá považovat za jeden z největších faktorů, který se podílí na chřadnutí smrkových porostů (Pešková et al. 2013).

1.1.5 Podkorní hmyz

V roce 2016 bylo evidováno rekordních 3 mil. m³ kůrovcového dříví. Jedná se o znatelný nárůst oproti roku minulému, kdy bylo evidováno 1,5 mil. m³ kůrovcového dříví. Jde hlavně o smrkové druhy kůrovců. Dominantní roli má lýkožrout smrkový – *Ips typographus*, který je doprovázen několika dalšími druhy, hlavně lýkožroutem lesklým – *Pityogenes chalcographus*, lokálně pak lýkožroutem menším

– *Ips amitinus* a lýkohubem matným – *Polygraphus poligraphus* a také lýkožrout severský – *Ips duplicatus* (Lubojacký et al. 2017).

Lýkožrout napadá hlavně předmýtní a mýtní porosty. V těchto porostech napadá kmenovou část se silnější kůrou, někdy je doprovázen l. severským, který napadá korunovou část ve vrcholových partiích. U smrkových porostů první věkových stupňů dominuje lýkožrout lesklý s lýkožroutem menším (Lubojacký 2012).



Obrázek 2 Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v Česku v roce 2016 (Lubojacký et al. 2017).

Přestože došlo ke zhoršení stavu na celém území ČR, výše těžeb kůrovcového dříví jsou rozloženy nerovnoměrně (obr XX). Dlouhodobě je nejhorší situace v oblastech severní, střední Moravy a Slezska. Katastrofálně byl postižen Moravskoslezský kraj, kde bylo evidováno 1 356 tis. m³ a olomoucký kraj s 565 tis. m³, což jsou téměř 2/3 z celkového objemu kůrovcového dříví v ČR za rok 2016 (Lubojacký et al. 2017).

1.1.6 VLS divize Lipník nad Bečvou

Po druhé světové válce bylo na tomto území zrušeno 25 vesnic. V okolí těchto vesnic se intenzivně zemědělsky hospodařilo. Většina těchto ploch v průběhu 50. a 60. let zarostla nálety modřínu a smrku a část ploch byla zalesněna uměle, hlavně smrkem. V letech 1968-1990 využívá tento vojenský újezd sovětská armáda. V roce 1991 je

polovina jižní části újezdu Libavá zasažena rozsáhlou větrnou kalamitou, další větrná kalamita přichází hned o rok později. Po větrných kalamitách na začátku 90. let přicházejí velmi suché roky, které způsobily nárůst nahodilých těžeb na 348 290 m³ v roce 1995. V dalších letech v období 1997-2002 byl bez větších kalamit, což znamenalo návrat k normálnímu hospodaření. Tento stav trval až do 28.10.2012, kdy vlivem vichřice popadalo přibližně 120 tis. m³ tentokrát ve střední a severní části újezdu Libavá. Další rok byl velmi suchý, v tomto roce se v této oblasti objevil i lýkožrout severský (*Ips duplicatus*), který se v dalším období začal podílet na objemu evidovaného kůrovcového dříví okolo 40 %. Od tohoto kritického roku, neklesl roční objem zpracované těžby u divize Lipník nad Bečvou pod 200 tis. m³. Na tomto území činí nahodilá těžba od roku 2003 do současnosti cca 80 % těžby celkové (Jeniš 2017).

1.2 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum země (DPZ) je v obecném pojetí soubor metod a technických postupů zabývajících se pozorováním objektů a jevů na zemském povrchu a také v podpovrchových a nadzemních vrstvách, bez přímého kontaktu s těmito objekty (Plánka 2007).

Výhodou DPZ je že získávání potřebných údajů se neomezuje na cesty přímo vnímatelné lidskými smysly. Využitím přístrojové techniky umožňuje zaznamenávat údaje, které jsou pro člověka nezjistitelné, a ještě k tomu jejich velikost mohou vyjádřit i číselně. Tak je možné získávat údaje, které bychom bez DPZ zjišťovali jen obtížně (Plánka 2007).

1.2.1 Interpretace snímků DPZ

Interpretace snímků je specifickým procesem, ve kterém jde o rozpoznávání, identifikaci a prostorovou lokalizaci jednotlivých objektů a terénních útvarů, které jsou zachyceny v obsahu leteckých snímků a družicových obrazových záznamů. Nedílnou součástí DPZ je určování všech dostupných kvantitativních i kvalitativních charakteristik pozorovaných objektů, zkoumání vztahů mezi nimi a odhalování zákonitostí, kterými je existence pozorovaných objektů a jevů v daném území podmíněna a ovlivněna.

Interpretace leteckých a družicových snímků se řídí několika pravidly. Interpretace snímků spočívá v systematickém „čtení“ jejich obsahu, tzn. ve správném rozpoznávání a klasifikaci jednotlivých objektů, v určování jejich vlastností a jejich kvantitativních a kvalitativních charakteristik, dále v přesné prostorové lokalizaci zjištěných objektů, ve zkoumání a hodnocení vzájemných vztahů a příčin souvisejících se zobrazenými objekty a jevy, a nakonec v analýze těchto vazeb a odhalování zákonitostí charakterizujících rozhodující složky a vlastnosti zobrazeného území. Interpretovat snímek znamená rozklíčovat jeho obsah z hlediska účelu, kterému mají zjištěné poznatky sloužit (Svatoňová 2006).

1.2.2 Pravidla a omezení při používání DPZ

Samozřejmě i letecké snímkování má svá pravidla a omezení, jedním z nich je prostorové rozlišení leteckých snímků. Nabízí se tvrzení, že čím vyšší je rozlišení snímků, tím lépe. To bohužel není pravda, čím vyšší je rozlišení, tím je potřeba pro pokrytí dané oblasti více dat (pixelů) pro pokrytí dané oblasti. To znamená, že oblast pořízená snímky s vyšší rozlišením je menší než oblast pořízená snímky s nižším rozlišením. Proto je nejlepší před samotným snímkováním si ujasnit, jaké je nejnižší možné rozlišení snímků, pro použití analýzy, protože obecně platí čím méně snímků pro zmapování celé zkoumané oblasti tím lépe. Toto pravidlo souvisí s velikostí datových souborů, čím vyšší je rozlišení tím vyšší je i velikost snímků.

Dále nejčastějším limitem, pro zařazení leteckého snímkování do projektu jsou finance. Sice je pravda, že dostupnost leteckých snímků je vysoká a neustále se zlepšuje, ale častým problémem bývá nedostatečné rozlišení leteckých snímků pro použití v daném projektu, navíc vyhledávání konkrétních leteckých snímků, může být časově náročné. Další nevýhodou využití veřejně dostupných leteckých snímků je datum pořízení snímků. Například v archivu Landsat GeoCover se letecké snímky obnovují za dobu 10 let. Proto často nezbyvá nic jiného než letecké snímky zakoupit a v některých případech se cena leteckých snímků pohybuje i kolem 100 USD za km², což je při mapování rozsáhlých území značný zásah do rozpočtu projektu. (Horning et al. 2010)

1.2.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je geodetický obor zabývající se rekonstrukcí tvaru, rozměru a polohy předmětů, které jsou zobrazeny na snímcích. Základem fotogrammetrie je

skutečnost, že fotografický snímek vyhotovený za určitých podmínek je přesným zobrazením fotografovaného předmětu. Jednoznačné geometrické vztahy, které byly v čase expozice mezi předmětem a jeho snímkem, je možné rekonstruovat na základě geometrických veličin zobrazených na snímku a tím je možné nahradit měření předmětu v terénu, měřením snímku, na kterém je předmět (území) zobrazeno. V tomto ohledu je hlavní rozdíl mezi fotogrammetrií a geodezií, geodezie se zabývá měřením objektů v terénu a fotogrammetrie se zabývá měřením objektů vyobrazených na snímku. Největší výhodou fotogrammetrie jsou náklady, které bývají i několikanásobně nižší než u klasických zeměměřických metod. Dále také je nosným médiem fotografie, což je ideální pro další archivaci z důvodu dokumentace. (Šteflová 2005)

1.2.3.1 Pozemní fotogrammetrie

Tento druh fotogrammetrie je nejvhodnější pro použití ve výškově členitém terénu, její využití při mapovacích pracích je značně omezené. Dříve se používala hlavně při mapování ve vysokohorském terénu. Dnes je využívána při určování kubatur těžby v povrchových dolech, měření pohybů mostů, těles hrází a ve velké míře ve stavebnictví při dokumentování fasád, kleneb, a to u historických a jinak důležitých budov. Dále pod tento druh fotogrammetrie spadá tzv. „blízká fotogrammetrie“, která se využívá při dokumentaci trestného činu nebo při autonehodách (Bohm 2002), ale i v lesnictví např. při inventarizaci lesních porostů, kde se využívá kombinace pozemní a letecké fotogrammetrie (Mikita et al. 2016), dále při určování tvaru kmene (Surový et al. 2016) apod.

1.2.3.2 Letecká fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie se nejčastěji využívá při zhotovování map nejrůznějších měřítek a také pro jejich aktualizaci. Vyhotovené mapy jsou poté využívány pro projektování stavebních děl nebo pro hospodářsko-technické úpravy pozemků a evidenci půdy. Velkou výhodou fotografického snímku je, že dokáže zachytit ve zlomku vteřiny zájmovou oblast. Tato vlastnost je využívána při dokumentování rychle se měnících dějů, např. na územích které jsou postihovány povodněmi, vichřicemi, požáry. Další výhodou je, že se dá využít v nepřístupných oblastech (Bohm 2002).

1.2.4 Ortofotomapa

Ortofotomapa je kartografickým dílem, které jako hlavní podklad využívá letecký snímek, ale zároveň si zachovává všechny náležitosti mapy, tzn měřítko, orientaci, rámové a mimorámové údaje. Do leteckých snímků jsou umístovány informace o komunikacích, vodních liniích a plochách apod. Tím tradiční ortofoto získává symboliku a lze do jeho označení umístit výraz mapa. Součástí vektorové nadstavby je i popis, který umožňuje základní orientaci v území zachyceném na snímku. Množství popisu, které jsou obsaženy v ortofotomapě, by mělo být přiměřené a měl by se řídit podle obecných kartografických pravidel užívanými pro klasické mapy (Bělka 2007).

1.2.5 DPZ v lesnictví

Obecnou úlohou dálkového průzkumu Země v lesním hospodářství je získávání dat z relativně malého počtu zdrojů, ale DPZ není všelék, který můžeme aplikovat v jakékoliv případě. V mnoha situacích jako je například posuzování rozsahu poškození jednotlivých stromů na určité lokalitě nebo v určitém porostu, také v případě zkoumání lokalit, kde se vyskytují vzácné, ohrožené druhy nebo ekosystémy, je pozorování v terénu jediným způsobem získání potřebných informací. V jiných situacích je dálkový průzkum naopak, jediným možným způsobem, jak získat data. V současné době se předpokládá, že při pozorování *in situ* (původní druhy, ekosystémy apod.) existuje jen málo alternativ k leteckému snímkování. Pouze za vzácných okolností je vhodné zvážit, zdali se nám nevyplatí jiná alternativa. Musíme si položit otázku, zdali je DPZ legitimním způsobem sbírání dat o lesních porostech v případě, když tato data nelze získat jiným způsobem. Nejlepších výsledků dosáhneme v případě, když budou jednotlivé metody sběru dat doplňovat. Existuje mnoho situací v lesním výzkumu, kdy je terénní sběr dat nezbytný, ale není dostačující, tudíž je potřeba tento výzkum doplnit leteckými snímky a také naopak (Franklin 2001).

Monitorování stavu lesa za pomoci leteckých snímků má jak u nás, tak i v zahraničí dlouho tradici. Nejčastěji se vyhodnocování leteckých snímků využívá při zkoumání zdravotního stavu lesa. K tomuto účelu se nejčastěji využívá infračervené letecké snímky nebo multispektrální satelitní data. Vyhodnocení poškození lesa podkorním hmyzem se ze snímků s velkým prostorovým rozlišením (VHR) bylo testováno v Kanadě. (Hájek et al. 2007)

Dálkový průzkum Země má jednu nespornou výhodu a tou výhodou je cena ku získaným datům a také ku vynaloženému úsilí, které je v případě DPZ velmi nízké.

Předpokládá se, že by se DPZ v lesnictví dal využít ve čtyřech kategoriích, které zahrnují klasifikaci typů lesních porostů, odhad struktury lesních porostů, detekci změn v lesích a modelování porostů. Dále se dá DPZ využít k určení běžných parametrů porostů například výška, věk a uzavření koruny. Dále můžeme určit index olistění LAI, které se dá využít k detekci a modelování stavu lesa a také ke zjištění produkce.

Dá se předpokládat, že v budoucnu DPZ v lesnictví se bude považovat za jeden z hlavních rozhodovacích nástrojů při řízení v lesním hospodářství. Lze dálkový průzkum Země považovat za rozhodující nástroj, pružnou metodu a jednu z důležitých částí technologického postupu (Franklin 2001).

1.2.5.1 Využití DPZ při monitorování změn stavu lesa

Tato možnost se nabízí v podstatě sama. Stačí zanalyzovat letecké snímky z minulých let a porovnat je se snímky aktuálními. Často se také zajímáme i o jiné změny než o úbytek lesů, těmi například jsou individuální těžba dřeva, diferenciací mezi mladými středně starými a starými porosty a také pozorování vývoje porostů s nižší hustotou stromů. Sledování těchto méně dramatických změn lesních porostů je obtížnější, hlavně kvůli tomu, že změna není náhlá, ale postupná. Přestože dosahujeme určitého pokroku v DPZ, monitorování postupné degradace lesa z působení individuálním kácením se zjišťuje obtížně také proto že během několika let se koruny okolních stromů roztáhnou a mezera v porostu se zacelí.

Diferenciací porostů podle věků pomocí DPZ může být také obtížné. V průběhu několika desetiletí se nově založený porost přestane odlišovat od starších porostů. Například jedna studie prokázala, že v tropickém lese, jehož část byla vykácena nebylo po 14 letech možné určit, která část byla vykácena (Steininger 1996 in Horning et al. 2010)

Sledování změn porostního zápoje v oblastech s nižší hustotou stromů je taktéž obtížné, protože čím nižší bude hustota tím více bude porost vypadat jako okolní keře, vegetace a pastviny.

1.2.5.2 Využití DPZ při monitorování půdního a vegetačního krytu a územního plánování

Mapové výstupy zahrnující půdní a vegetační kryt lze rozdělit do dvou kategorií: klasifikované mapy a statistika. Klasifikované mapy se běžně využívají pro stanovení místa výskytu půdních krytů pro dané oblasti. Tento soubor map rozděluje krajinu do jednotlivých tříd jako les voda a louky. Jednou z hlavních výhod těchto map je, že poskytují mapový výstup ve formátu, který umožňuje automatické prostorové analýzy jako je modelování a výpočet krajinných měřítek. Statistický výstup může být generována právě z klasifikovaných map. Takže při vytváření klasifikovaných map můžeme vytvořit i statistický výstup.

Klasifikované mapy, ale mají navzdory těmto výhodám i několik nevýhod. Například proces klasifikace, může být velmi časově náročný. Dále se často stává, že klasifikované mapy bývají používány i pro účely pro které nebyly původně vytvořeny. Nejčastějším případem je používání map ze satelitních snímků s neodpovídajícím rozlišením.

V době, kdy se s používáním DPZ k monitorování půdního a vegetačního krytu začínalo byl statistický výstup častější než tvorba klasifikovaných map, bylo to jednoduše z toho důvodu, že klasifikované mapy vyžadovaly hodně výkonné počítače. Největší nevýhodou statistického výstupu je absence mapového výstupu, při tom mapový výstup je často důležitým prvkem projektu. (Horning et al. 2010)

1.2.5.3 Využití DPZ v Národní inventarizaci lesů (NIL2)

Při NIL2 se využívá stereo-analýza LMS (Letecké měřické snímky) pro šetření na inventarizačních plochách v kombinaci s pozemním šetřením je podstatou národních inventarizací v zahraničí (Francie, Švýcarsko, Finsko atd.). Výhodami této metody jsou například – výrazné zvýšení přesnosti výstupů, získání odhadů pro menší rozlohy (kraje, přírodní lesní oblasti) zvýšení efektivity pozemního šetření, zajištění výstupů odpovídající požadavkům mezinárodních organizací a také doplnění spektra ve vztahu k diverzitě krajiny jako celku.

Stereo interpretace NIL 2 mají za úkol zařazovat body inventarizační sítě v souladu s definicemi FAO (klasifikační systém OSN pro výživu a zemědělství), ENFIN (Evropská národní síť pro inventarizaci lesů). Dále pak vyhodnocení délek hranic a rozlohy kategorií pozemků, zjištění růstové fáze porostu, vyhodnocení

dřevinné skladby a typu smíšení, vyhodnocení zápoje, rozlišení stromů a keřů, identifikace vodních ploch a nepropustných povrchů a také odhad celkového počtu délek ploch objektů (vodní toky, komunikace, liniové porosty).

Dalším využití DPZ v národní inventarizaci lesů je například určení hranice lesa, také se dají detekovat holiny, pomocí radarového DSM (Digitální model povrchu) se dají určovat zásoby porostů, podpora realizace NIL za pomoci stratifikace území před terénním měřením, napomůže zpřesnění výstupů NIL pro menší geografické rozlohy, tvorba mapových výstupů, dalším využití DPZ je při určování lesnatosti v ČR za pomoci družicových dat z družice LANDSAT 5

Plánované aktivity ÚHULU v oblasti DPZ v dalších letech:

- využití dat LDCM – Landsat 8 v produktových řadách
- posouzení využití výstupů a služeb v programu Copernicus
- DSM z radarových dat Sentinel-1
- mapa dřevin z multi/hyperspektrálních dat Sentinel-2
- publikace výstupů na informačním portálu NIL (Hájek 2013)

1.2.6 Využití bezpilotních prostředků v lesnictví

Tyto prostředky se označují zkratkou UAV (unmanned aerial vehicle). Jsou to létající prostředky, tyto prostředky mohou být ovládány třemi různými způsoby – buď jsou ovládány dálkově, nebo pomocí před programovaných letových plánů nebo za pomoci složitějších autonomních systémů. UAV se začala používat nejprve armáda a poté se začaly používat i na plnění civilních úkolů například policejnímu sledování, průzkumu terénu a v neposlední řadě se také začaly využívat v lesnictví. (Čeřovský 2017)

Dálkový průzkum Země za pomoci dronů má několik výhod. Jednou z těchto výhod jsou snížené náklady, snadný transport UAV na místo měření a rychlý sběr relativně přesných dat (Banu et al. 2016).

1.2.6.1 Mapování lesů a biodiverzity

Mapování biodiverzity a lesů za pomoci dronu bylo použito v indonéském pralese (Koh et al. 2012). V tomto experimentu byl použit malý dron do 1 kg s 25minutovým letem, za jeden let uletěl až 15 km. Získané obrázky byly sestaveny do souvislé mapy zkoumaného území. Záběry a videa pořízena UAV se daly použít pro zkoumání lidské činnosti – těžba dřeva a sledování flóry a fauny.

1.2.6.2 Precizní lesnictví, udržitelné hospodaření a plánování

Parametry porostu jako jsou zápoj, počet stromů, odhad objemu, vitalitu nebo druhové složení porostů. Tyto parametry jsou důležité při plánování péče o porosty. K určení stavu zápoje, lze snadno a rychle použít bezpilotní prostředek. Díky snímkům pořízených z dronu můžeme učinit snáze rozhodnutí pro další péči o porost a tím zlepšit jeho zdravotní stav a produktivitu, protože díky záběrům z výšky můžeme vidět to co je při pohledu ze země skryto, navíc pochůzková metoda je mnohonásobně pomalejší (Chianucci et al. 2016).

1.2.6.3 Mapování porušeného zápoje

Lesní kalamity, zvláště ty, které jsou způsobené větrem a sněhem, přímo ovlivňují regeneraci, biologickou diverzitu a produkci lesní porostů. Díky mapování za pomoci dronu, můžeme zjistit rozsah těchto kalamit. Mapování porostních mezer, lze provádět i za pomoci družicových snímků, ale družice ještě nedokáže zaznamenat menší mezery, tudíž použití dronu je přesnější. Toto mapování bylo využito v Německu (Getzin et al. 2012) u listnatých a smíšených porostů. Výsledkem bylo, že na snímku z dronu bylo možné rozeznat porostní mezeru o velikosti 1 m².

1.2.6.4 Měření výšky a dalších atributů porostu

Porostní výška je jedním z nejdůležitějších parametrů v lesnictví. V běžné praxi se výška stromů zjišťuje měřením za pomoci výškoměru. V současné době je možné UAV použít i pro měření porostní výšky.

Měření výšek za pomoci dronů proběhlo například ve Španělsku. Měření probíhalo na území velkém 150 ha dron byl vybaven infračervenou kamerou, která pořizovala snímky ve vysokém rozlišení. Výsledek měření byl velmi dobrý, měření porostní výšky bylo přesné (Zarco – Tejada et al. 2014).

1.3 Práce sledující prostorovou analýzu z leteckých snímků

1.3.1 Vyhodnocení prostorové mortality vyvolané suchem

v pobřežním borovicovém lese

Baguskas et al. 2014—V pobřežních porostech na ostrově Santa Cruz v jižní Kalifornii byla zaznamenána zvýšená mortalita Borovice biskupské (*Pinus muricata*) po sice krátkém (2letém), ale intenzivním suchu. Zatímco, neoficiální důkazy

naznačují, že borovice biskupská je náhlá na sucho, tato studie je jedna z prvních, která se snaží zachytit prostorové rozložení mortality a snaží se pochopit enviromentální faktory, které jsou příčinou těchto událostí. Pro kvantifikaci prostorového rozsahu mortality byly použity snímky dálkového průzkumu s vysokým rozlišením byly použity barevné letecké fotografie a digitální elevační model. LiDAR. Byl použit rozhodovací algoritmus Random Forest k tomu, abychom mohli otestovat, který faktor (letní oblačnost, sluneční záření atd.) má největší vliv na mortalitu stromů. V analýze byla také zahrnuta výška stromů jako proměnná, která byla použita jako zástupce pro celkový objem stromu a taky jako přibližné rozložení stromu. Na základě analýzy Random Forest byla vytvořena mapa zobrazující pravděpodobnost přežití stromů. Největší vliv na mortalitu stromů mělo množství mraků v letním období, nadmořská výška a výška stromů. Nejvyšší pravděpodobnost přežití měli stromy s větší výškou, v oblastech, s mírnějším klimatem a v nižších nadmořských výškách. Bylo zjištěno, že nejvyšší riziko mortality je ve vnitrozemí, kde se borovice biskupské nacházejí na hranici nadmořských výšek jejich výskytu. Koexistence těchto hlavních faktorů s dalšími proměnnými pomáhá určit vhodné prostředí pro porosty borovice biskupské.

1.3.2 Kvalifikace mortality stromů ve smíšených porostech pomocí multitemporálních satelitních snímků s vysokým rozlišením

Garrity et al. 2012 ve své práci hodnotí schopnost satelitních snímků s vysokým prostorovým rozlišením určit mortality stromů ve smíšených porostech na jihozápadě USA. Pro tuto analýzu byly použity archivované letecké snímky, které jsou z období před odumíráním porostů a pak snímky, které jsou z doby po defoliaci porostů. Garrity et al. 2012 vyvinul přístup založený na více stupňové klasifikaci, který používá zakrývání míst, kde nejsou lesy. Diferencování normalizovaného rozdílu vegetačního indexu (NDVI) a poměru červené a zelené (RGI), dále také multivariační shlukování pixelů, díky kterým byly rozlišovány odumřelé a živé stromy, toho bylo docíleno pomocí metody „*Gaussian mixture model*“. Přesnost určení živých a mrtvých stromů byla ještě vylepšena pomocí zpřesnění pravidel klasifikace pixelů. Byly vytvořeny klasifikace pro dva snímky získané po mortalitě s celkovou přesností 97,9 % a 98,5 %. Klasifikované snímky byly kombinovány s údaji o půdním krytu, které obsahovali prostorovo-časové charakteristiky mortality stromů v oblastech se

smíšenými porosty. Bylo zjištěno, že 38 % korunové plochy bylo v období sucha 2002 až 2006 poškozeno. Nejvyšší mortalita stromů se objevovala u porostů *Pinus edulis* a *Juniperus monosperma*. Dalších 20 % porostů odumřelo nebo bylo v letech 2006-2011 odstraněno, především v oblastech, kde dochází často k požárům a v oblastech, kde se intenzivně lesnický hospodaří. Z výsledků práce je zřejmé, že tato metoda využívání satelitních snímků je vhodná pro zjišťování mortality u smíšených porostů.

1.3.3 Posouzení mortality porostů za pomoci satelitních snímků po kalamitě způsobené *Dendroctonus ponderosae*

Denission et al. 2010 – Rozšiřující se kalamita způsobená broukem *Dendroctonus ponderosae* v západní části Severní Ameriky vedli k rozsáhlým rozpadům porostů borovice pokroucené (*Pinus contorta*). Tato studie zkoumá využití nově dostupných dat GeoEye-1 pro odumírající porosty v jihovýchodním borovém lese ve Wyomingu. Pro klasifikaci oblastí zeleného, červeného a šedého zápoje byly použity snímky s rozlišením 0,5 m. Data byla shromážděna na dvanácti terénních výzkumných plochách o rozloze 500 m². Nejasné barvy porostů, u kterých nebylo dostatečně jasné, jestli se jedná o zelenou, červenou nebo šedou, byly vyhodnocovány s průměrnou absolutní chybou 8,3 %, pro zelenou 5,4 % pro červenou a šedou třídu 7,2 %. Když bylo všech 12 výzkumných ploch spojeno chyba se pro zelené, červené a šedé porosty pohybovala v rozmezí 1,7 %. Z těchto výsledků je zřejmé, že multispektrální datové snímky s vysokým rozlišením jsou slibným nástrojem pro mapování mortality u porostů u brouka *Dendroctonus ponderosae*.

1.3.4 Širokopásmové Red-edge satelitní snímky zlepšující detekci stresu v lesích Nového Mexika

Eitel et al. 2011 – Mnoho stresových faktorů může ovlivnit vitalitu, vzhled a hodnotu dřeva. Pro sledování prostorových a časových dynamických podmínek stresu lesních porostů je zapotřebí získat přesné informace, a to nejlépe co nejrychleji a co s nejnižšími náklady. Tyto podmínky nejvíce splňuje dálkový průzkum Země. V této práci byly použity spektrální širokopásmové snímky s červenými okraji (690-730 nm) elektromagnetického spektra. V této práci byla testovaná hypotéza, zdali širokopásmové satelitní snímky s červeným okrajem zlepšují včasné odhalení stresu (jak se projevují změny v listovém chlorofilu) v lesním ekosystému ve srovnání

s jinými běžněji využívanými leteckými snímky. Byly analyzovány časové řady z lesních porostů v centrálním Novém Mexiku získané před a po stresu, který byl indikován odkorněním jedinců. Bylo zjištěno, že index normalizovaného rozdílu Red-Edge, umožnil rozpoznání stresu již po 13-16 dnech po odkornění, tudíž dříve, než byl stres odhalen u ostatní satelitních snímků. Autoři došli k závěru, že informace z širokopásmových Red-Edge snímků mají potenciál výrazně zlepšit monitorování stresu lesa a může zajistit další analýzy tykajících se lesních ekosystémů.

1.3.5 Mapování mortality *Pinus albicaluis* způsobené kalamitou *Dendroctonus ponderosae* ze satelitních snímků s vysokým rozlišením

Hickey et al. 2009 – Cílem této studie bylo vyvinout prostředek klasifikaci mortality u *Pinus albicaluis* způsobené napadením *Dendroctonus ponderosae* v horské oblasti pomocí satelitních snímků s vysokým rozlišením. Byly překonány tři problém ztěžující analýzu mortality ze satelitních snímků: (1) oddělení oblastí bez vegetace od oblastí s vegetací, (2) změny osvětlení slunečními paprsky v důsledku členitosti terénu (3) obtížnosti georegistrace snímků pro porovnání s terénním měřením. Byly použity multispektrální snímky o rozlišení 2,4 m spolu s klasifikační metodou s maximální pravděpodobností pro klasifikaci vegetačních typů na ploše 6400 ha. Klasifikátor byl nejprve vyzkoušen, byly vybrány pixely v každé třídě zápoje ze studovaných oblastí. Proměnné používané v klasifikátoru zahrnovali poměr červené odrazivosti k zelené odrazivosti. Tyto proměnné byly rozděleny podle úhlu dopadu slunečního záření, aby se zohlednila proměnlivost osvětlení. Výsledky klasifikovaného snímku byly vyhodnoceny pomocí vyhrazené sady tříd odvozených ze snímků a měření v terénu živých a mrtvých stromů. Z výsledku je zřejmé, že tato metoda je velmi přesná (86 % a 91 % u metody získání obrazem a měření v terénu). V celé oblasti bylo identifikováno 31 % lesa ve fázi červenaní korun. Hrozba mortality stromů v tomto stavu činila až 100 % s výjimkou některých malých oblastí. Tyto výsledky naznačují, že satelitní snímky s velkým prostorovým rozlišením mohou poskytnout cenné informace pro mapování a monitorování smrtelnosti stromů i v drsném horském terénu.

1.3.6 Analýza závažnosti větrné kalamity a heterogenity zápoje v boreálním lese kombinací satelitních snímků s vysokým rozlišením a terénních dat

Rich et al- 2009 – Větrné kalamity ovlivňují prostorovou strukturu porostů a zvyšují riziko dalších poškození. Tato studie zkoumala jak spektrální, tak texturální charakteristiky satelitních snímků IKONOS s vysokým prostorovým rozlišením zobrazují poškozenou strukturu porostů po větrné kalamitě na ploše o velikosti 121 km² v oblastech severovýchodní Minnesoty v USA. Rozlišení těchto snímků umožňuje sledovat nejmenší možné území o velikost 0,045 ha. To autorům umožnilo získat data pro vytvoření empirického modelu, který se zabývá závažností větrné kalamity v rámci dané oblasti. Díky kombinaci spektrálních a texturních rysů byl vytvořen více regresní model, který objasnil 68 % odchylky stejně dobře jako pozemní data, která nebyla zahrnuta do vývoje modelu. Výsledky naznačují užitečnost kombinace prostorových a spektrálních dat pro zjištění rozdílu ve struktuře lesů způsobenými ekologickými procesy, jako jsou větrné a jiné kalamity.

1.3.7 Detekce napadení porostů *Dendroctonus ponderosae* pomocí leteckých snímků s vysokým rozlišením

White et al. 2005 – Pokračující kalamita způsobená *Dendroctonus ponderosae* v Kanadské Britské Kolumbii dosáhla historických rozměrů. V této práci se autoři zabývají použitím multispektrálních satelitních IKONOS snímků pro detekci červenaní korun po napadení *Dendroctonus ponderosae* v místech s nízkým a středním napadením. K určení přesností satelitních snímků byly použity letecké fotografie. Byly použity buffery o velikosti 1-4 m, které v místě červených pixelů (červené pixely indikují napadené stromy). Při použití jednopixelového bufferu (4 m) byla přesnost detekce napadení *Dendroctonus ponderosae* u multispektrálních snímků IKONOS 71 % u slabého napadení a 92 % u středního napadení. Analýza silně napadených porostů, byla při analýze multispektrálních snímků IKONOS vynechána, ukázala, že detekce porostů se silným napadením byla nejpřesnější, nejučinnější byla u větších korun s průměr nad 1,5 m a ve vzdálenosti vyšší než 11 m od ostatních napadených stromů. Výsledky tedy dokazují, že pro detekci různých stupňů napadení je možné použít i multi spektrální snímky IKONOS.

1.3.8 Inicializace modelu šíření napadení hmyzem pomocí stromové struktury a prostorových charakteristik odvozených z leteckých snímků s vysokým prostorovým rozlišením

Coggins et al. 2008 – V této studii byly shromážděny data měřena v terénu a letecké snímky s vysokým prostorovým rozlišením. Studovaná oblast se nacházela na hranicích Alberty a Britské Kolumbie, která zažívá kalamity způsobené broukem *Dendroctonus ponderosae*. Snímky byly zpracovávány algoritmem založených na objektech, které správně identifikoval v průměru v 80,2 % případů v porovnání s terénním měřením. Stromy s malým průměrem a malou korunou většinou napadené nebyly, bylo to z toho důvodu, že mladé stromy nejsou tolik náchylné na napadení *Dendroctonus ponderosae*. Po přesné identifikaci umístění stromů byly z leteckých snímků odvozeny porostní parametry jako jsou průměry kmene a hustota porostu, tyto výsledky byly porovnány s terénním měřením. Výsledky naznačují, že tyto dva porostní parametry odvozené od leteckých snímků byly dostatečně korelovány s pozemním měřením, které by mělo mít úlohu vstupních dat. Tyto modely mohou být použity pro předvídání možného dopadu na lesní porosty způsobené napadením *Dendroctonus ponderosae* a také k informování lesníků o opatřeních, které povedou k rychlému a trvalému zmírnění napadení porostů.

1.3.9 Mapování defoliace a mortality způsobené hmyzem pomocí satelitních snímků s nízkým prostorovým rozlišením

Fraser et al. 2007 – Defoliace zapříčiněná gradacemi hmyzu způsobuje v mnoha zemích výrazné ztráty na dřevě a na produkci uhlíku. Účelem této analýzy je prozkoumat potenciální využití satelitních snímků s nízkým rozlišením pro mapování defoliace a mortality jedinců způsobené hmyzem. Výzkum probíhal v jehličnatých lesích v Kanadském Quebecu, které byly v letech 1998-2000, těžce zasaženy gradací *Lambdina fuscicornis*. Byl vytvořen logistický regresní model založený na změnách v jednotlivých letech k mapování defoliace a úmrtnosti. Z výsledků je zřejmé, že satelitní snímky s nižším rozlišením se dají použít pro mapování rozsáhlých kalamit u jehličnatých lesů a také by se mohli použít pro mapování mortality v reálném čase, i když s nižší přesností.

1.3.10 Využití dálkového průzkumu Země při detekci sucha v Amazonských pralesích

V této práci byly analyzovány soubory satelitních snímků s vysokým rozlišením, kvůli zhodnocení dopadů sucha v Amazonských pralesích v roce 2005. Byly kombinovány vegetační indexy (VI) a klimatologické proměnné pro vyhodnocení prostorovo-časových modelů souvisejících se suchem v roce 2005 a dále prozkoumány vztahy mezi indexy zjištěnými ze satelitních snímků a dat z lesní inventarizace pojednávajících o mortalitě stromů. Ve výsledcích se objevovali rozdíly. Ve výsledcích založených na datech c4 a c5 MODIS C VI nebyl vykazován žádný prostorový vztah se srážkami, avšak některé oblasti reagovali v roce 2005 na zvýšené záření. Zvýšení hodnoty Enhanced VI (EVI) v roce 2005 ukázalo pozitivní vztah s úmrtností stromů. Naproti tomu normalizovaný rozdílový vodní index (NDWI), vykazoval negativní vztah s úmrtností stromů. Předěšlé studie naznačují, že zvýšené EVI, během sucha v roce 2005 bylo spojeno s pozitivní reakcí fotosyntézy lesa na změny příjmu záření. Je možné, že toto zvýšení může souviset se strukturálními změnami v zápoji.

2 Metodika

2.1 Použitá data

2.1.1 Ortofoto České republiky

Ortofoto ČR představuje pravidelně aktualizovanou sadu barevných ortofot o stejných rozměrech a kladu mapových listů jako státní mapy 1:5000 (2 x 2,5 km). Ortofoto je georeferencované ortofotografické zobrazení zemského povrchu. Na ortofotu je fotografický obraz zemského povrchu překreslený tak, aby byly odstraněny posuny obrazu vznikající při pořízení leteckého snímku. Ortofota jsou barevně vyrovnaná a zdánlivě bežešvá (švy jsou vedeny po přirozených liniích). V rámci jednotlivých pásem zobrazují stav území ke stejnému roku. Kvalita ortofot je neustále zlepšovaná, do roku 2008 byla velikost pixelu o 0,5 m, od roku 2009 do roku 2015 byla ortofota s pixely o velikosti 0,25 m. Od roku 2016 jsou ortofota pořizována s 0,20 m velkými pixely. Od tohoto roku jsou navíc letecké snímky pořizované digitální kamerou. Díky těmto faktorům se kvalita ortofot neustále zvyšuje.

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(q5rnrforvw2mpw320uhnnino\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto&menu=23](http://geoportal.cuzk.cz/(S(q5rnrforvw2mpw320uhnnino))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto&menu=23)



Obrázek 3 Dlaždicové ortofoto

2.1.2 Výškopis ČR

Výškopis pro Českou republiku se označuje jako ZABAGED (Základní báze geografických dat). Jedná se o digitální geografický model území ČR. Výškopisnou část ZABAGED doplňuje odvozený digitální model terénu v podobě pravidelné mřížky 10x10 m, trojrozměrně vedených 3 D bodů. Vrstva ZABAGED umožňuje v programu ArcGis 10. 3. 1. pomocí několika nástrojů geoprocessingu (viz. další kapitoly) zjistit nadmořské výšky pro celou zájmovou oblast.

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(q5rnrforvw2mpw320uhnnino\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VG&mapid=8&menu=305](http://geoportal.cuzk.cz/(S(q5rnrforvw2mpw320uhnnino))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VG&mapid=8&menu=305)

2.1.3 OPRL

Oblastní plány rozvoje lesů (OPRL) jsou metodickým nástrojem státní lesnické politiky. Doporučují zásady hospodaření v lesích, především při tvorbě a schvalování lesních hospodářských plánů a osnov.

S odkazem na výsledky terénních průzkumů mají OPRL zásadní význam především při oceňování lesa a lesních pozemků, při tvorbě lesních hospodářských plánů a osnov, při tvorbě posudků a vyhlášení kategorizace lesů <http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu>.

V této diplomové práci byl použit shapefile OPRL, který obsahoval SLT (soubor lesních typů) a LT (lesní typ), které byly využity při analýze.

2.1.4 LHP

Lesní hospodářské plány jsou nástrojem vlastníka lesa a zpracovávají se zpravidla na deset let. Plány obsahují ustanovení závazná a doporučující. Závaznými ustanoveními plánu jsou maximální celková výše těžeb a minimální podíl melioračních a zpevňujících dřevin při obnově porostu.

<http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100051783.html>

Z vrstvy LHP byly zjištěny porostní faktory, a to relativní bonita, zakmenění a věkový stupeň.

2.2 Identifikace odumřelých stromů

Identifikace odumřelých stromů probíhala na georeferencovaných ortofotech, díky čemuž bylo možné tyto snímky analyzovat v geografickém programu ArcGIS 10.3.1.

2.2.1 Vektorizace

Vektorizace je proces, při němž vytváříme digitální prezentaci prostorových prvků. Rozeznáváme tři druhy vektorizace: 1) Bodová

2) Liniová

3) Polygonová

V této diplomové práci identifikujeme jednotlivé odumřelé stromy, proto byla využita vektorizace bodová.

Prvním krokem bylo vytvořit bodový shapefile. V záložce katalog jsme vybrali složku, do které chceme vložit nový shapefile, na tuto složku klikneme pravým tlačítkem, zvolíme možnost „new“ a dále shapefile. Otevřela se nám nová tabulka, do níž zadáme jméno nového shapefile a vybereme point (bodový shapefile). Dále je třeba vybrat souřadnicový systém, ve kterém shapefile bude operovat. Klepnutím na tlačítko „Edit“ se zobrazily veškeré souřadnicové systémy. Nejvhodnějším souřadnicovým systémem pro ČR je S–JTSK Krovak EastNorth. Poté stačí potvrdit a nový bodový shapefile je vytvořený.

Dalším krokem je samotná vektorizace. Po kliknutí pravým tlačítkem na nový shapefile zvolíme možnost „edit features“ a po otevření záložky „start editing“. Dále je třeba odumřelý strom označit a na místě souše se nám objeví bod. Důležité je vektorizaci průběžně ukládat tlačítkem „save edits“. Při samotném vektorizování je vhodné používat funkci „Zoom to raster resolution“. Tato funkce zajistí nejvyšší přiblížení, při kterém ještě nedochází ke ztrátě ostrosti.



Obrázek 4 Bodová vrstva souší za rok 2016

2.3 Zpracování dat v programu ArcGis 10.3.1

Úkolem této diplomové práce je také porovnávat mortalitu jedinců vzhledem k faktorům prostředí. Jakými jsou například nadmořská výška, expozice, sklon terénu, SLT (soubor lesních typů). Pomocí bodové vrstvy, která obsahuje výškopis (každý bod zaznamenává jednu nadmořskou výšku) od základní báze geodetických dat (ZABAGED) se některé z těchto faktorů dají vygenerovat.

2.3.1 Nadmořská výška

2.3.1.1 IDW (Inverse distance weighted)

V češtině tato funkce znamená „*inverzní vážená vzdálenost*“ a umožňuje převádět bodové vrstvy na raster. Nejčastěji se využívá právě u nadmořských výšek. IDW pomocí interpolace sousedících bodů v bodových shapefilech vytváří raster, který zobrazuje nadmořské výšky.

Do této funkce geoprocessingu byla vložena vrstva ZABAGED (bodová vrstva výškopisu) z níž IDW interpolací vytvořil raster s nadmořskými výškami.

2.3.1.2 Reclassify

Pro další zpracování dat je potřeba mít k dispozici polygonovou vrstvu (shapefile) s atributovou tabulkou. Funkce „*Reclassify*“ ji vytvoří. Po spuštění této funkce je třeba rozdělit hodnoty do jednotlivých tříd. Pro nadmořskou výšku bylo zvoleno 20 tříd po 25 m (0-250; 251-275 atd.). V nově vytvořené tabulce sice hodnoty nadmořské výšky byly rozděleny po 25 m, ale hodnoty neměly fyzicky přiřazenou výšku a byly označeny pouze čísli od 1 do 20. Z tohoto důvodu byl vytvořen v atributové tabulce nový textový sloupec s názvem „*nadm_vyska*“, zapnuta vektorizace (editování) a do jednotlivých sloupců byly rozepsány intervaly.

2.3.1.3 Raster to Polygon

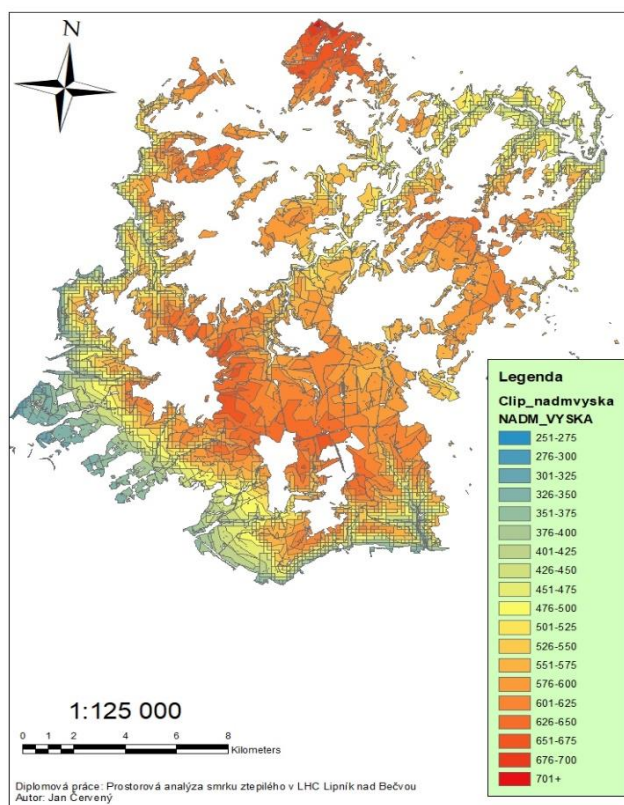
Díky tomu, že IDW raster má atributovou tabulku, je možné ho převést na polygon. K tomu lze použít nástroj „*Raster to Polygon*“. Do nástroje vložíme raster a v řádku „*Field*“ zvolíme možnost „*nadm_vyska*“. Výsledkem je polygonový shapefile.

2.3.1.4 Dissolve

Tento nástroj geoprocessingu slučuje polygony a tím zjednodušuje analýzy a zpracovávání dat. V našem v nově vzniklém polygonu potřebujeme, aby byl počet polygonů v shapefileu stejný, jako je počet tříd nadmořských výšek. Spustíme nástroj „*Dissolve*“ v tabulce zvolíme „*add field*“ *nadm_vyska*. Výsledný shapefile má pouze 20 polygonů.

2.3.1.5 Clip

Tento nástroj geoprocessingu ořízne jednu vrstvu na základě vrstvy druhé. Je potřeba, aby rozloha shapefileu nadmořské výšky odpovídala rozloze analyzovaného LHP. Do řádku „*Input Features*“ vložíme shapefile s LHC a do řádku „*Clip Features*“ vložíme shapefile s nadmořskou výškou. Výsledkem je shapefile s nadmořskými výškami, který prostorově odpovídá shapefileu LHC.



Obrázek 5 Mapa výsledného shapefilu nadmořské výšky

2.3.2 Sklon

2.3.2.1 Slope

Dalším faktorem prostředí, které musíme zjistit je sklon. K tomu se používá nástroj „Slope“ (Spatial Analyst). Tento nástroj vychází z rasteru IDW a vypočítává sklon svahu pomocí nadmořských výšek a vzdáleností mezi nimi. Pokud je hodnota sklonu nízká terén je rovinný pokud je naopak vysoká terén je strmý

Do této funkce byl vložen raster IDW (nadmořská výška) a výsledkem je raster s hodnotami sklonů.

2.3.2.2 Reclassify

I z tohoto rasteru je potřeba vytvořit shapefile. Musíme tedy nově vzniklý raster vložit do funkce reclassify a navolit jednotlivé intervaly hodnot. Sklony budou rozděleny na 10 tříd po 3°. Výsledkem je raster s atributovou tabulkou. Poté je nutné

vytvořit nový sloupec s názvem „*sklon*“ a v atributové tabulce zapnout editování a do nově vytvořeného sloupce rozepsat intervaly.

2.3.2.3 Raster to polygon

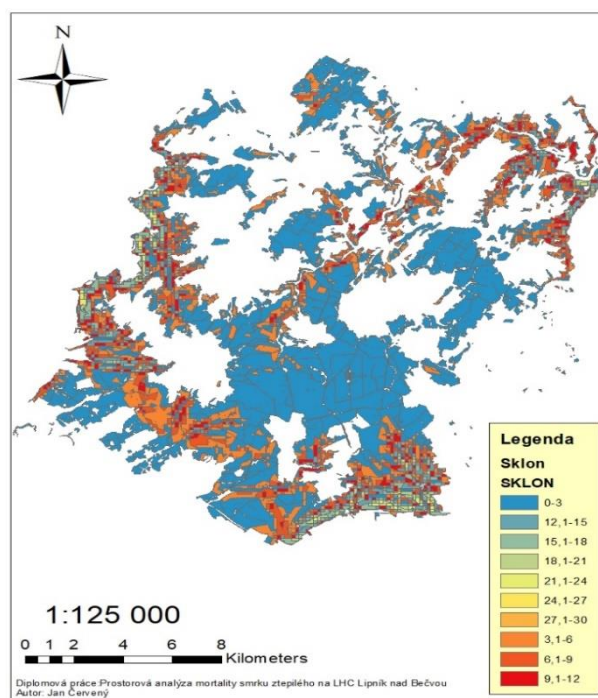
Jestliže má raster vytvořenou atributovou tabulku, je možné raster převést na shapefile. K Tomu opět použijeme nástroj geoprocessingu s názvem „*Raster to polygon*“, vložíme raster s atributovou tabulkou do tohoto nástroje a v řádku „*field*“ zvolíme sloupec „*sklon*“. Výsledkem je shapefile s vysokým počtem polygonů.

2.3.2.4 Dissolve

Nově vzniklý shapefile má vysoký počet polygonů. Nás zajímají pouze sklony. Tudíž je potřeba použít nástroj „*Dissolve*“, který nám na základě zvoleného atributu polygony v shapefile sloučí. Vložíme shapefile do tohoto nástroje a zvolíme atribut „*sklon*“. Výsledný shapefile má pouze 10 polygonů. Každý polygon znázorňuje jeden interval sklonu.

2.3.2.5 Clip

Opět je potřeba oříznout shapefile, aby se jeho plocha shodovala s plochou LHP. K tomu nám pomůže nástroj „*Clip*“ který novou vrstvu ořízne. Do nástroje vložíme shapefile s LHP a náš nově vytvořený shapefile. Výsledkem je shodná rozloha našeho shapefile s rozlohou LHP.



Obrázek 6 Mapa výsledného shapefilu sklonu

2.3.3 Expozice

2.3.3.1 Aspect

Z rasteru IDW (nadmořských výšek) je možné pomocí nástrojů geoprocessingu zjistit další důležitý faktor prostředí a tím je expozice. K tomu se používá nástroj „Aspect“. Ten identifikuje směr sestupů svahu od každé buňky k sousedům. Expozice se měří ve směru hodinových ručiček od 0° kde je sever do 360° znovu na sever. Hodnota -1 označuje místo, kde se svah nenachází, tudíž zde není ani expozice.

Vložíme raster s nadmořskými výškami do nástroje „Aspect“ a výsledkem je raster s určenými expozicemi.

2.3.3.2 Reclassify

Opět je potřeba k rasteru vytvořit atributovou tabulku, aby se z něj dal vytvořit shapefile. Nově vytvořený raster vložíme do nástroje. Tentokrát intervaly ponecháme tak, jak jsou. Celkem je 10 tříd. Třídy znázorňují všechny světové strany, sever je zde dvakrát a navíc je zde rovná plocha (flat) s již už zmíněnou hodnotou -1.

Stejně jako v předchozích případech vytvoříme nový sloupec s názvem expozice a poté zapneme editování a k příslušným hodnotám dopíšeme světové strany.

2.3.3.3 Raster to Polygon

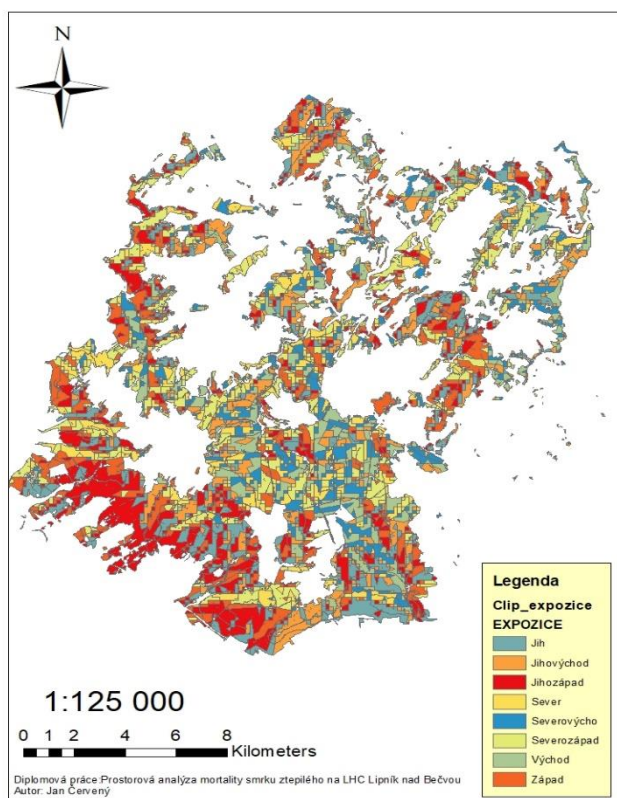
Potřebujeme vytvořit polygonový shapefile. K tomu opět použijeme nástroj „*Raster to Polygon*“ a do řádku „*field*“ vložíme námi vytvořený sloupec „*expozice*“. Výsledkem je shapefile s mnoha polygony

2.3.3.4 Dissolve

Opět chceme docílit, aby polygony v shapefile byly zredukovány na co nejnižší počet. Vložíme tedy nově vzniklý shapefile do nástroje a do řádku „*field*“ zadáme atribut „*expozice*“. Nyní máme shapefile pouze s 8 polygony, z nichž každý znázorňuje jednu světovou stranu. Sever, který zde byl původně dvakrát se sloučil a hodnota „*flat*“ (rovina), se zde nevyskytovala.

2.3.3.5 Clip

Posledním krokem je oříznutí shapefile, aby měl rozlohu stejnou jako LHP.



Obrázek 7 Mapa znázorňující expozici

2.3.4 Sloučení vrstev

2.3.4.1 Join and Relates

Dále je potřeba bodový shapefile, který reprezentuje suché stromy sloučit s polygonovým shapefilem LHP. To lze provést za pomoci funkce Join and Relates.

Nejdříve musíme v bodovém shapefileu vytvořit nový sloupec s názvem „Count“, následně na tento sloupec klikneme pravým tlačítkem a zvolíme možnost „Field Calculator“, kam do okénka napíšeme číslo 1 a potvrdíme. Výsledkem je sloupec v atributové tabulce, kde jsou všechny hodnoty číslo jedna. Tento krok byl proveden z důvodu, že až sloučíme bodový a polygonový shapefile, zobrazí se nám počet bodů v jednotlivých polygonech. V LHP shapefileu zobrazují polygony jednotlivé porosty, tudíž po sloučení shapefilů uvidíme, jaký je počet souší v jednotlivých porostech.

Nyní už můžeme přistoupit k sloučení shapefilů. Klikneme pravým tlačítkem na shapefile LHP, zvolíme možnost „Join and Relates“ a následně „Join“, kde v novém okně v řádku s názvem „What do you want to join this layer?“ zvolíme možnost „Join data from another location“, poté vybereme bodový shapefile a potvrdíme. Výsledkem bude nový shapefile, který zobrazuje počty souší pro rok 2016 v jednotlivých porostech. Pomocí bodových shapefilů se soušemi z let 2012 a 2014, jsem tyto shapefilly stejným způsobem sloučil s LHP. Tudíž bylo možné pozorovat změny počtu souší v jednotlivých letech.

2.3.4.2 Spatial Join

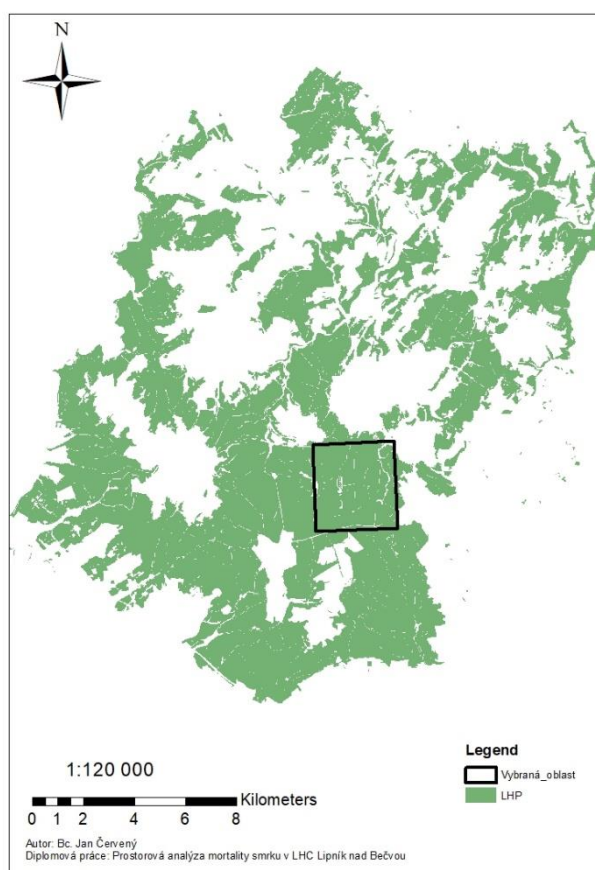
Dalším krokem bylo sloučení polygonových shapefilů, které znázorňují faktory prostředí s polygonovým shapefilem LHP. K tomuto úkonu je potřeba nástroj geoprocessingu s názvem „Spatial Join“ (Prostorové spojení). Do okénka s názvem „Target Features“ vložíme LHP a do okénka „Join Features“ vložíme shapefile nadmořská výška. Potvrdíme a tím se vytvořil polygonový shapefile, který má nový sloupec s nadmořskými výškami. Tudíž známe u každého porostu jeho nadmořskou výšku. Dále pak stejným způsobem sloučíme nový shapefile s expozicí, sklonem a nakonec s polygonovým shapefilem, který obsahuje údaje OPRL, jako jsou Soubor lesních typů, lesní typ a lesní oblast.

2.3.5 Šíření mortality

Dalším úkolem diplomové práce bylo vybrat malou oblast, na které bychom prezentovali vzor šíření mortality na úrovni jedinců. Toto území by se mělo nacházet v místě, kde se nacházejí souvislé plochy lesních porostů, bez polí, luk a plošných staveb.

2.3.5.1 Vytvoření shapefilu

Jak již bylo uvedeno, vybrané území by se mělo nacházet pouze na souvislém území majetku LHC Lipník nad Bečvou. Cílem bylo vytvořit polygonový shapefile ve tvaru čtverce o velikosti 11 km². Dalším úkolem bylo oříznutí bodového shapefilu znázorňující souše z let 2016, 2014 a 2012 podle nově vzniklého shapefilu.



Obrázek 8 místo umístění malé oblasti

2.3.5.2 Clip

Tento nástroj geoprocessingu byl využit proto, aby bodové shapefiley znázorňující souše z let 2012, 2014, 2016 byly oříznuty podle malé oblasti.

2.3.5.3 Near

Tato funkce geoprocessingu zobrazuje vzdálenost, úhel a souřadnice objektů z jedné vrstvy ke druhé vrstvě, pozn. souřadnice se zobrazují jen pokud jsou obě dvě vrstvy bodové. K dosažení cíle diplomové práce je potřeba pouze úhlů a vzdáleností.

Do funkce můžeme vložit pouze dvě vrstvy, proto vložíme nejprve vrstvy z roku 2014 a 2012, a poté 2016 a 2014. Do řádku „*in_features*“ umístíme vrstvu z roku 2014 a do řádku „*near_features*“ vložíme vrstvu z roku 2012. V druhém případě do „*in_features*“ 2016 a „*near_features*“ 2014 a v řádku angle zadáme možnost „*geodesic*“, což znamená, že odpočítávání stupňů začíná na severu. Výsledkem je, že v atributové tabulce vrstev 2014 nám přibyly nové sloupce s názvy „NEAR_DIST“, „NEAR_X“, NEAR_Y“ a „NEAR_ANGLE“

NEAR_DIST: znamená vzdálenost, která je mezi dvěma nejbližšími body z roku 2012, 2014

NEAR X, Y: Tyto dva sloupce znázorňují souřadnice bodu z roku 2014 od bodu z roku 2012

NEAR_ANGLE: Úhel, který je mezi dvěma nejbližšími body z těchto vrstev

Stejný výsledek je i u bodové vrstvy z roku 2016. Díky tomuto nástroji geoprocessingu, tedy víme přesnou polohu nejbližší souše z druhé vrstvy a tím můžeme určit šíření a vzdálenost souší a také ověřit, zdali v tomto šíření není nějaký trend.

2.4 Zpracování dat v programu MS Excel 2016

2.4.1 Převod atributových tabulek do MS Excel

Tento krok provedeme rozkliknutím složky se shapefile a v průzkumníku souborů Windows najdeme soubor s koncovkou .DBF, na který klikneme pravým tlačítkem, zvolíme možnost „*Otevřít v programu*“ a zde najdeme excel. Tím se nám atributová tabulka zobrazí v excelu. Poté je potřeba, ještě před započítáním samotné

analýzy, nově spuštěnou atributovou tabulku uložit s koncovkou .XLSX, jelikož v souboru s koncovkou .DBF nelze provádět změny. Tímto způsobem byla převedena atributová tabulka obsahující LHP, kde je pro každý porost obsažena nadmořská výška, sklon, expozice, SLT, zakmenění, zastoupení, věk. Dále převedeme další dvě atributové tabulky do excelu, a to tabulky obsahující data o bodových shapefilech pro malou oblast – souše 2014 a souše 2016

2.4.2 Vybrání porostů se zastoupením smrku

Tento úkon byl potřeba zejména kvůli tomu, že ve vstupních datech (atributová tabulka LHP), byla pro každý řádek jedna dřevina, tudíž když jsme měli například v porostu 3 dřeviny, tak jeden porost zde byl obsažen 3x, což by nám komplikovalo další analýzu a z toho důvodu je potřeba vybrat pouze smrk. Provedeme to tak, že označíme sloupec pojmenovaný jako dřevina a na vybraný sloupec klikneme pravým tlačítkem, zadáme možnost „Seřadit“ a poté se otevře tabulka se dvěma možnostmi, kterými jsou rozšíření vybrané oblasti, nebo zda má program pracovat s vybranou oblastí. Zvolíme „Rozšířit vybranou oblast“, to znamená že údaje o porostech se přesunou s dřevinami (přesune se celý řádek). Poté co jsou porosty seřazeny podle dřevin, můžeme jednoduše odstranit všechny porosty (řádky), kde nebyl uveden smrk.

2.4.3 Aktualizování věku a určení věkových stupňů

Vstupní data obsahovala pouze údaje o věku, a navíc bylo LHP z roku 2000-2010, proto bylo potřeba věk aktualizovat. Vytvořil jsem tedy nový sloupec s názvem aktualizovaný věk a připočetl jsem k věku uvedeném ve vstupních datech 16 let. Z toho důvodu, že ortofota pocházejí z roku 2016

Poté pomocí funkce „*ZAOKR.NAHORU*“ určíme věkový stupeň. Vzorec vypadá následovně: *ZAOKR.NAHORU*(Věk aktualizovaný/10;1). Deseti je věk dělený, protože jsou věkové stupně po 10 letech a číslo 1 v tomto případě určuje, na jaký řád bude číslo zaokrouhleno, tedy na celá čísla. Tím, že byla použita funkce *ZAOKR.NAHORU* bylo umožněno určit přesný věkový stupeň, např. věk 22 let spadá do 3. věkového stupně.

2.4.4 Určení z SLT lesní vegetační stupeň edafickou kategorií

Z dostupného LHP byl znám pouze lesní typ a soubor lesních typů. Tyto dva parametry jsou pro analýzu hůře použitelné z toho důvodu, že mají příliš mnoho složek. Proto bylo potřeba tento parametr zgeneralizovat. Nejjednodušším zobecněním je rozdělit SLT na LVS a edafickou kategorií (SLT: 3K – LVS: 3; edaf. kategorie: K). Rozdělení na LVS a edaf. kat. bylo provedeno pomocí nástroje „KDYŽ“. Tento nástroj za pomoci vložených podmínek rozdělí SLT na dva další parametry.

Dále bylo také možné pomocí stejného nástroje určit z edafických kategorií ekologické řady. Stejným způsobem tedy byly vygenerovány i ekologické řady.

2.4.5 Zaokrouhlení zakmenění

Je potřeba analyzovat závislost mortality i na porostních faktorech. Zejména se jedná o zakmenění, které bylo ve vstupních datech (LHP) nezaokrouhleno, což by opět vadilo kvůli velkému počtu složek. K tomu byla použita funkce s názvem „ZAKROUHLIT“. Vzorec vypadal následovně: ZAKROUHLIT(zakmenění;-1), číslo -1 znamená, že číslo bude zaokrouhleno na celé desítky. Tím byly hodnoty faktorů prostředí zobecněny a díky tomu byla usnadněna budoucí analýza.

2.4.6 Určení počtu stromů v porostu

Nejprve je potřeba určit modelový počet stromů na hektar z růstových tabulek. Modelový počet stromů na ha, znamená počet stromů v ideálním modelovém lese při 100% zastoupení té dané dřeviny a při plném zakmenění. Modelový počet stromů se určí z tabulek na základě absolutní výškové bonity a věku. Tento údaj se musí spočítat pro každý porost zvlášť. Bohužel i po odstranění porostů neobsahujících smrk a také duplicitních porostů, počet v LHP čítá 4499 porostů, což znamená, že určení modelového počtu stromů ručně, pro každý porost, by bylo zbytečně zdlouhavé. Proto vedoucí mé diplomové práce použil skript, který hodnoty modelového počtu stromů pro každý porost vypočítal automaticky.

2.4.7 Výpočet mortality pro jednotlivé porosty

Dalším krokem bylo vypočítat skutečný počet stromů v porostech. Modelový počet stromů byl vynásoben zakmeněním, zastoupením a plochou porostu. Tím jsme dostali skutečný počet stromů v porostu. Poté již zbývalo pouze vypočítat mortalitu

v procentech. Mortalita se určí tak, že počet souší vydělíme celkovým počtem stromů v porostu a vynásobíme 100, mortalita byla určena pro všechny dostupné ročníky (2012, 2014, 2016).

2.4.8 Výpočet mortality pro faktory prostředí

Nejjednodušší možnost, jak vypočítat mortalitu pro jednotlivé faktory, je vytvořit kontingenční tabulku, do které bychom umístili do řádků faktor prostředí a do hodnot počet souší a celkový počet stromů. Poté vypočteme pro každý parametr faktoru mortalitu, tím že vydělíme součet počtu souší a součet počtu stromů a vynásobíme stem. Tento způsob je sice nejjednodušší a nejrychlejší, ale není příliš přesný, protože dochází ke zkreslení výsledků z toho důvodu, že v mladých porostech je mnohem vyšší počet stromů než v porostech starších, proto jsem tuto možnost v diplomové práci nevyužil.

Jelikož se mortalita uvádí v procentech, znamená to, že je relativní, a tudíž ji nelze dále relativizovat například plochou. Další možností je aritmetický průměr, ale to také není nejlepší řešení z toho důvodu, že porost o velikosti 0,01 ha má stejnou váhu jako porost o velikosti 10 ha. Tento způsob by tedy nebyl příliš přesný. Nejlepším řešením je výpočet váženého průměru, kde váha bude rozloha jednotlivých porostů (polygonů).

Nejprve je potřeba ve vstupních datech vytvořit nový sloupec, ve kterém vynásobíme mortalitu v % s plochou daného porostu. Poté byla vytvořena kontingenční tabulka, kde do kolonky „*řádky*“ byl zadán faktor, podle kterého jsme chtěli mortalitu ověřit (př. nadmořská výška) a do hodnot byla zadána mortalita v % * plocha (ha) a plocha (ha). Dále bylo důležité dát pozor, jestli u hodnot není možnost „*počet*“, jelikož počet zobrazuje, v kolika řádcích se jednotlivá hodnota vyskytla a my potřebujeme celkovou sumu, tudíž možnost „*součet*“. Tím byla vytvořena tabulka se třemi sloupci, v jednom sloupci byl faktor prostředí (u nadmořských výšek to byly jednotlivé intervaly), ve druhém byla mortalita násobená plochou a ve třetím suma ploch pro jednotlivé faktory (např. rozloha jednotlivých intervalů nadm. výšek). Dále vydělíme mortalitu*plocha součtem ploch a díky tomu získáme vážený průměr z mortality pro jednotlivé ročníky (2012, 2014, 2016).

Takto byly vypočteny vážené průměry mortality v % pro:

- 1) Topografické faktory: Nadmořská výška, sklon, expozice
- 2) Ekologické faktory: Lesní vegetační stupeň, edafická kategorie, ekologická řada
- 3) Porostní faktory: Zakmenění, věkový stupeň, relativní bonita

2.4.9 Výpočet rozdílu mortality

To, že máme k dispozici data z vícero ročníků, nám nabízí možnost prověřit, zda se mortality zvyšuje u některých faktorů prostředí více než u jiných. Při výpočtu rozdílu mortality byl opět použit vážený průměr.

Ve vstupních datech jsem vytvořil nový sloupec, kde jsem vypočetl pro každý porost rozdíl mortality 2016 a 2012 a vynásobil jej plochou porostu. Poté jsem vytvořil stejným způsobem jako při výpočtu mortality kontingenční tabulku a vypočetl vážený průměr rozdílu mortality (2016-2012). Rozdíl mortality byl porovnáván stejně jako tomu bylo u mortality. Zvolil jsem pouze výpočet rozdílu 2016 a 2012 proto, že se ročníky 2014 a 2012 v počtu souší příliš nelišily. V obou dvou ročnících bylo identifikováno okolo 30 000 souší, kdežto v roce 2016 bylo identifikováno přibližně 140 000 souší proto nemělo příliš velký smysl ročníky 2012 a 2014 mezi sebou porovnávat.

2.4.10 Malá oblast

Po určení polohy a vzdálenosti nejbližších souší z jednotlivých vrstev (ročníků), bylo potřeba opět převést atributovou tabulku do Excelu, provedl jsem naprosto stejným způsobem jako u předchozích tabulek.

2.4.11 Vzdálenosti mezi soušemi

V atributové tabulce byl sloupec s názvem „*NEAR_DIST*“, který označoval vzdálenost od souše z jednoho ročníku k nejbližší souši z jiného ročníku. Pro přehlednější prezentaci dat, jsem vytvořil sloupec, kde jsem pomocí funkce „*ZAOKROUHLIT*“ vzdálenosti zaokrouhlil na celé desítky. Poté jsem vytvořil další sloupec s názvem „*COUNT*“, kde jsem pro každý řádek vložil číslo jedna, aby šla vytvořit kontingenční tabulka, kde se znázorní jednotlivé četnosti vzdáleností. Vytvořil jsem kontingenční tabulku, kde v řádcích byl sloupec se zaokrouhlenými vzdálenostmi a v hodnotách sloupec s názvem „*COUNT*“. Sice byly vzdálenosti

zaokrouhleny na celé desítky, ale ani to nestačilo, jelikož dosahovaly hodnot až 870 m, tudíž bylo potřeba data více zgeneralizovat. Proto jsem vyhotovil tabulku, kde byly intervaly po deseti, ale jen do hodnoty 290 m, zbylé četnosti vzdáleností jsem sečetl. Také jsem z grafu vyřadil hodnoty 0 a 10, protože tyto hodnoty zobrazují stromy, které jsou od sebe vzdáleny do 14 m a je zde vyšší riziko, že se jedná o identický strom.

2.4.12 Směr šíření

Směr šíření určoval v atributové tabulce sloupec s názvem „*NEAR_ANGLE*“. Hodnoty v tomto sloupci znamenaly úhel, který souše z jedné vrstvy (ročníku) svírá s nejbližší souší z vrstvy druhé. Hodnoty se pohybovaly mezi -180° až 180° od severu přes západ na jih to bylo 0° až -180° a od severu přes východ na jih to bylo 0° až 180° . Mohl bych vytvořit nový sloupec, ve kterém bych hodnoty opět zaokrouhlil na desítky, ale to by znamenalo, že tabulka by měla 36 řádků, s hodnotami, kterým by nemusel každý porozumět. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl hodnoty zjednodušit a to tak, že jednotlivé intervaly stupňů převedu na světové strany, viz tabulka č. 1.

Tabulka 1 Intervaly stupňů podle světových stran

Sever	$(-22,5^\circ) - 22,5^\circ$	Jih	$157,6^\circ - (-157,5^\circ)$
Severovýchod	$22,6^\circ - 67,5^\circ$	Jihozápad	$(-157,6^\circ) - (-112,5^\circ)$
Východ	$67,6^\circ - 112,5^\circ$	Západ	$(-122,6^\circ) - (-67,5^\circ)$
Jihovýchod	$112,6^\circ - 157,5^\circ$	Severozápad	$(-67,6^\circ) - (22,5^\circ)$

Intervaly stupňů na světové strany jsem převedl jednoduchým způsobem. Vytvořil jsem sloupec a poté jsem seřadil hodnoty stupňů podle velikosti. Dále jsem napsal tu světovou stranu, které odpovídaly hodnoty stupňů a „roztáhl“ jsem název až do konce intervalu. Takto jsem to provedl u všech světových stran.

3 Výsledky

Na LHC Lipník nad Bečvou o rozloze 22 900 ha byla provedena prostorová analýza mortality smrku. Souše byly identifikovány ručně v programu ArcGis, na 105 dlaždicových ortofotech, přičemž jedna dlaždice měla plochu 500 ha.

V této diplomové práci byla zpracovávána zvlášť pouze mortalita za rok 2016, i přesto, že byly k dispozici data z let 2014 a 2012. Důvodem je nízký počet identifikovaných souší, a navíc počty těchto souší byly v obou letech velice podobné (cca 30 000). Naproti tomu na snímcích z roku 2016 bylo mnou identifikováno na 140 000 souší. Tento počet se po oříznutí bodové vrstvy vrstvou LHP sice snížil na 83 000 souší, ale i tak byl počet identifikovaných souší v roce 2016 téměř trojnásobný. Tento pokles souší po oříznutí vrstvy byl z toho důvodu, že poskytnutá ortofota zasahovala i mimo území LHC Lipník nad Bečvou, a proto bylo třeba je po dokončení identifikování souší oříznout, aby bodová vrstva zobrazovala pouze souše na území LHC.

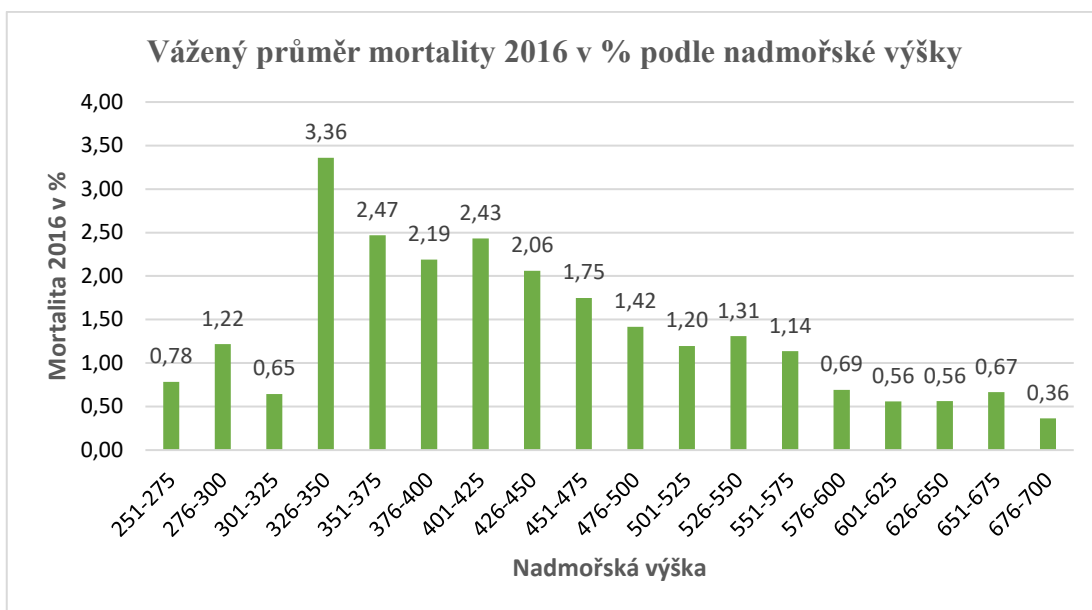
Dále byl analyzován vážený průměr rozdílu mortality mezi lety 2016 a 2012, ročník 2014 nebyl zařazen, jak již bylo uvedeno, z důvodu obdobné četnosti souší jako v roce 2012.

3.1 Analýza mortality smrku v roce 2016

Vážený průměr mortality byl rozdělen podle několika faktorů – Topografické faktory (nadmořská výška, sklon, expozice), ekologické faktory (LVS, edafická kategorie, ekologická řada) a porostní faktory (relativní bonita, zakmenění a věkové stupně).

3.1.1 Topografické faktory

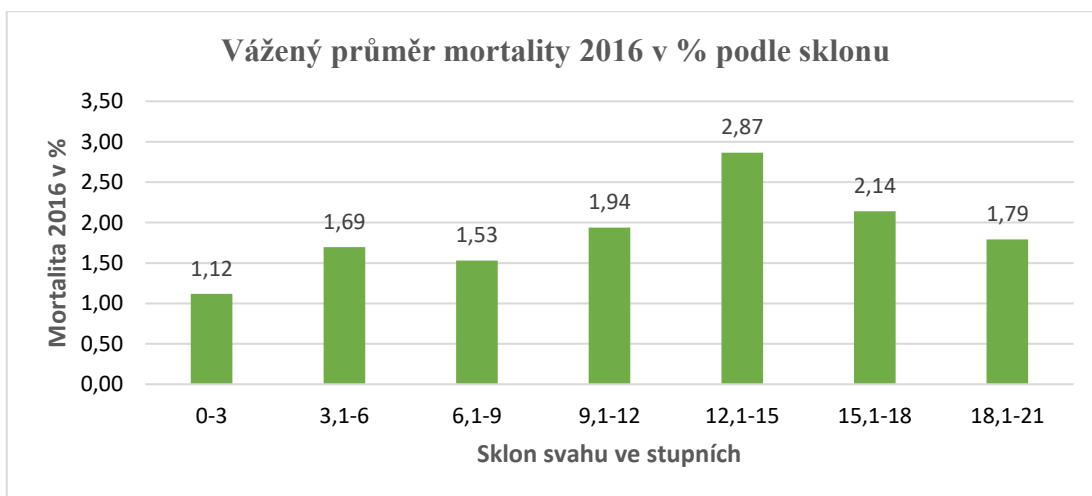
3.1.1.1 Nadmořská výška



Graf 1 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle nadmořské výšky

Nadmořské výšky jsou v rozmezí 251-700 m n. m. rozděleny do 18 intervalů po 25 m. Nejvyšší mortalitu vykazuje interval 326-350 m n. m. (3,36 %), druhou nejvyšší mortalitu má následující interval 351-375 (2,47 %) se zvyšující nadmořskou výškou se mortalita pomalu snižuje až do intervalu s nejvyšší nadmořskou výškou 676-700 m n. m., který vykazuje 0,36 % mortality.

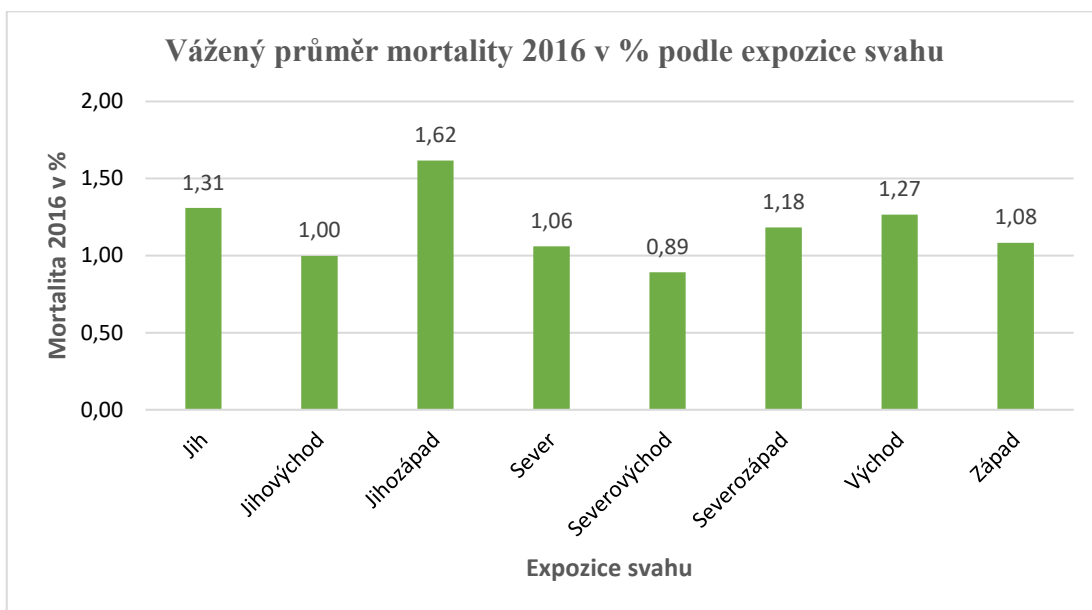
3.1.1.2 Sklon svahu



Graf 2 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle sklonu svahu

Dalším topografickým faktorem je sklon svahu ve stupních. Nejvyšší mortalitu vykazuje interval 12,1-15° (2,87 %), s větším odstupem následuje interval 15,1-18° (2,14 %), mortalita u dalších intervalů se pohybuje od 1,12 % do 1,94 %, tedy v rámci jednoho procenta.

3.1.1.3 Expozice svahu

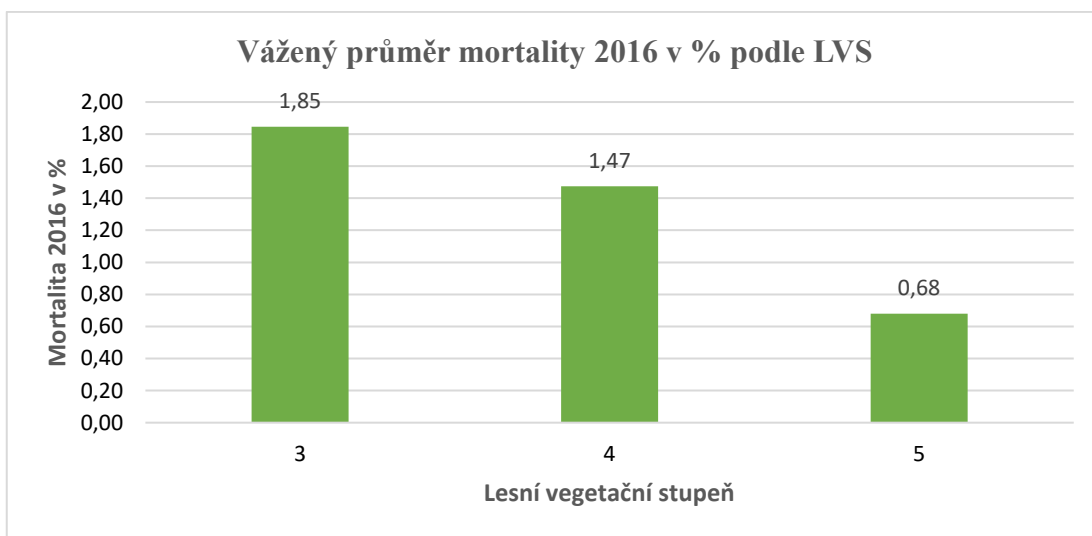


Graf 3 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle expozice svahu

Graf č. 3 zobrazuje výši mortality podle expozice svahu. Hodnoty jednotlivých světových stran se pohybují od 0,89 % (Severovýchod) do 1,62 % (jihozápad), tudíž rozdíly se pohybují v rámci 1 %. Vyšší mortalita je na jihu (1,31%) a jihozápadě (1,62 %) a naopak nižší na severních (1,06 %) a severovýchodních (0,89 %) svazích.

3.1.2 Ekologické faktory

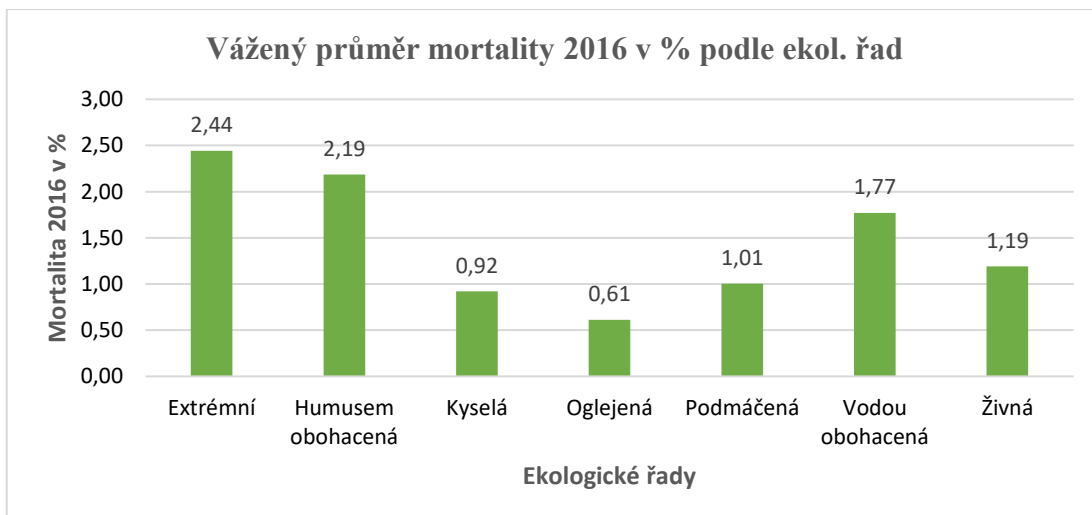
3.1.2.1 Lesní vegetační stupeň



Graf 4 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle LVS

Do grafu nebyly zahrnuty lesní vegetační stupně č. 1, 2 z důvodu malé plochy (> 1 ha) a absence souší. Nejvyšší mortalitu vykazuje LVS-3 s hodnotou 1,85 %. V dalších vegetačních stupních již mortalita klesá LVS-4 s hodnotou 1,47 % a nejnižší hodnota mortality byla zaznamenána u LVS-5 (0,68 %), tudíž by se dalo říci, že s rostoucím lesními vegetačními stupni se v. p. mortality snižuje.

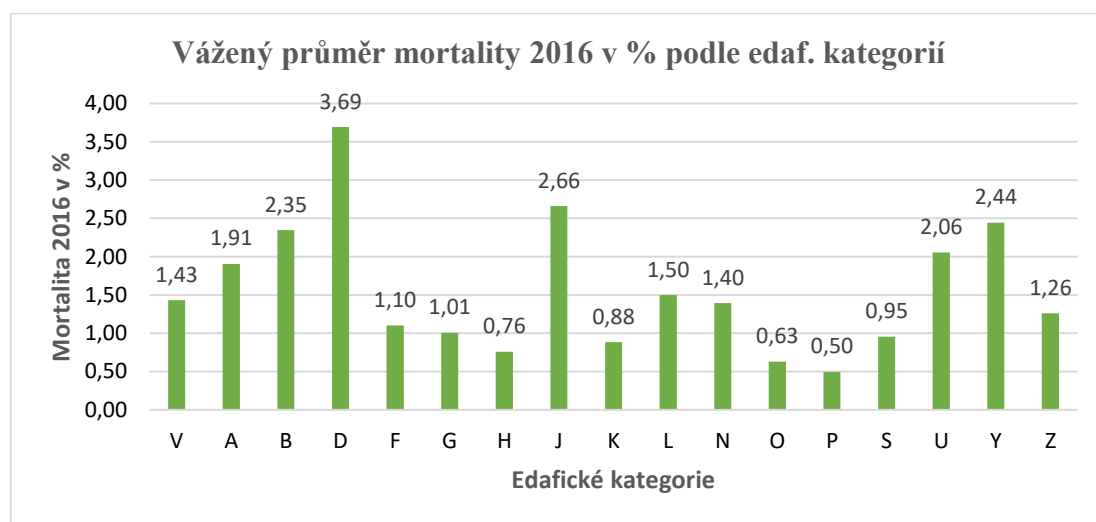
3.1.2.2 Ekologické řady



Graf 5 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle ekologických řad

Graf č. 5 znázorňuje mortality podle ekologických řad. Nejvyšší mortalitu vykazují řady extrémní (2,44 %) a humusem obohacená (2,19 %), třetí nejvyšší mortalitu vykazuje vodou obohacená řada (1,77 %). U ostatních ekologických řad se úroveň mortalita pohybuje od 0,92 % do 1,19 %, takže v řádech desetín procent.

3.1.2.3 Edafické kategorie

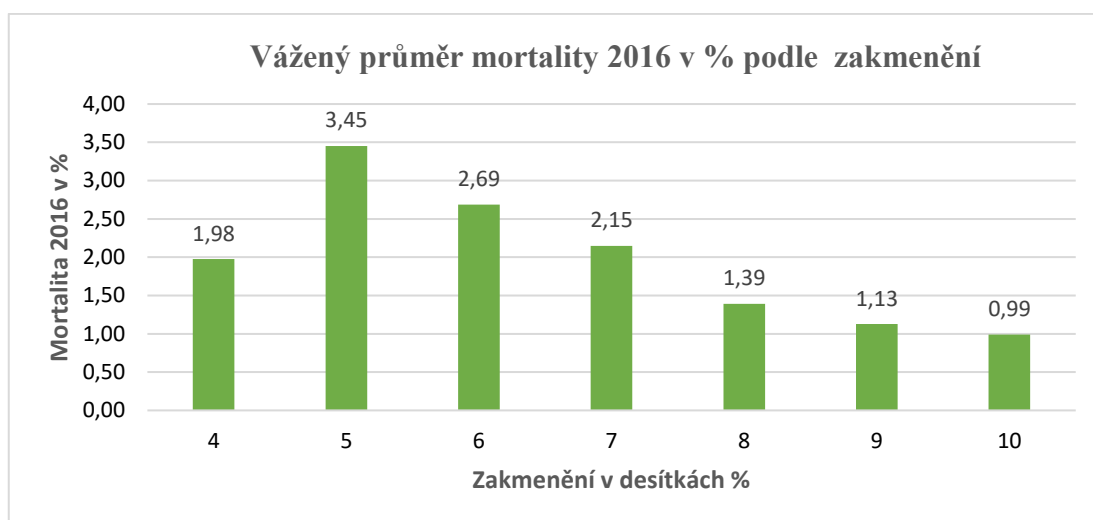


Graf 6 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle edafických kategorií

Posledním ekologickým faktorem jsou edafické kategorie. Nejvyšší mortalitu vykazuje kategorie D – hlinitá (3,69 %), druhou nejvyšší mortalitu vykazuje řada J – suťová 2,66 % a třetí nejvyšší mortalitu vykazuje řada Y – skeletová (2,44 %). Naopak nejnižší mortalitu má kategorie P – podmáčená (0,50%), O – oglejená (0,63 %) H – hlinitá (0,76 %).

3.1.3 Porostní faktory

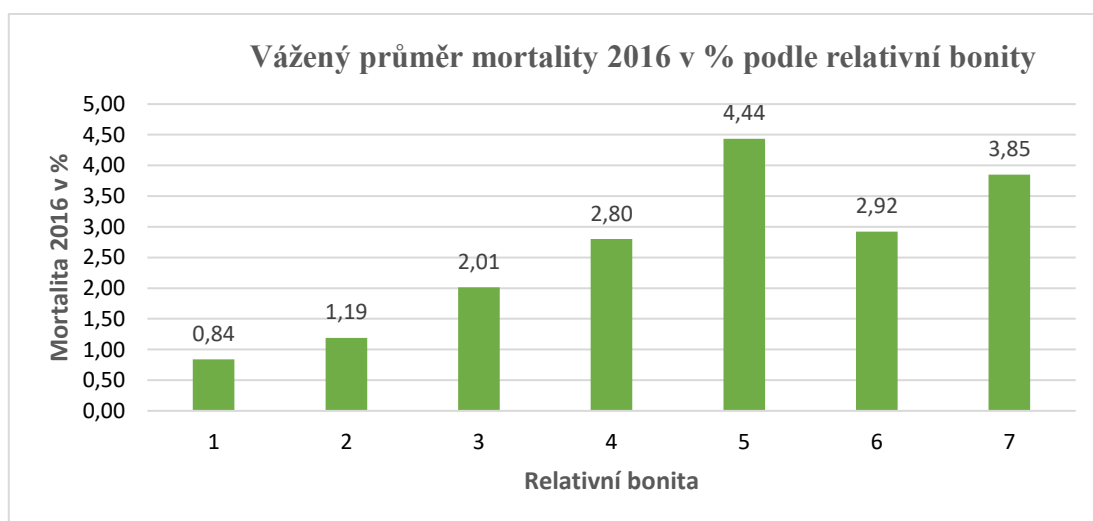
3.1.3.1 Zakmenění



Graf 7 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle zakmenění

Kvůli nízké ploše u zakmenění 1, 2, 3 byly tyto hodnoty z grafu č. 7 vyřazeny. Nejvyšší mortalita je u zakmenění-5 (3,45 %), pak zakmenění-6 (2,69 %). U zbylých zakmeněních se hodnota mortality pohybuje od 0,99 % do 1,98 %, dalo by se říci, že nižší mortalitu mají porosty s vyšším zakmeněním.

3.1.3.2 Relativní bonita

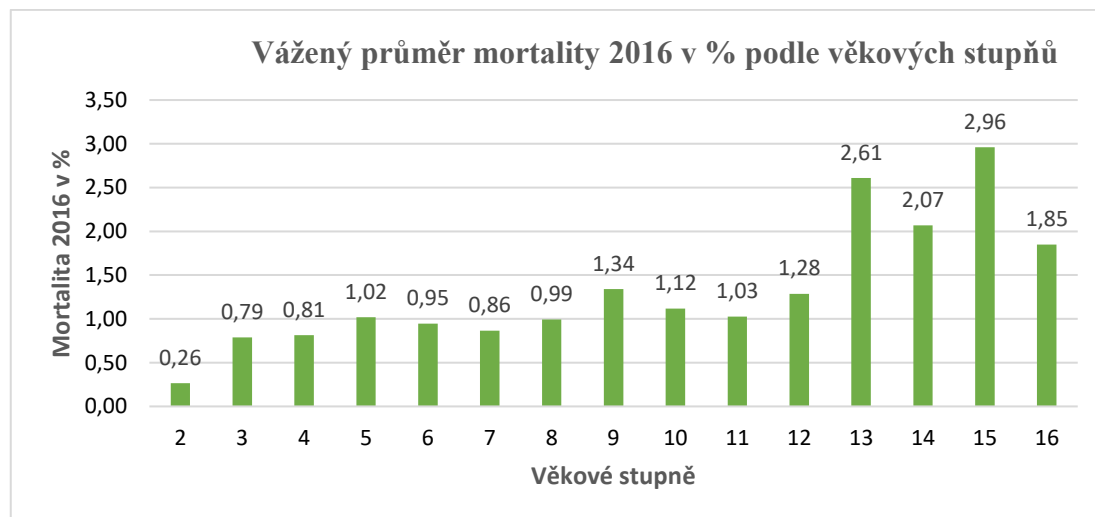


Graf 8 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle relativní bonity

Hodnota relativní bonity se pohybuje v intervalu 1-9, přičemž 1 označuje porosty s nejvyšší produkční schopností a 9 s nejhorší produkční schopností. Nejvyšší

mortalitu má rel. bonita-5 4,44 % a druhou nejvyšší mortalitu má bonita-7 (3,85 %). Naopak bonity s nejnižší mortalitou jsou bonity-1 (0,84 %).

3.1.3.3 Věkové stupně



Graf 9 Vážený průměr mortality v % za rok 2016 podle věkových stupňů

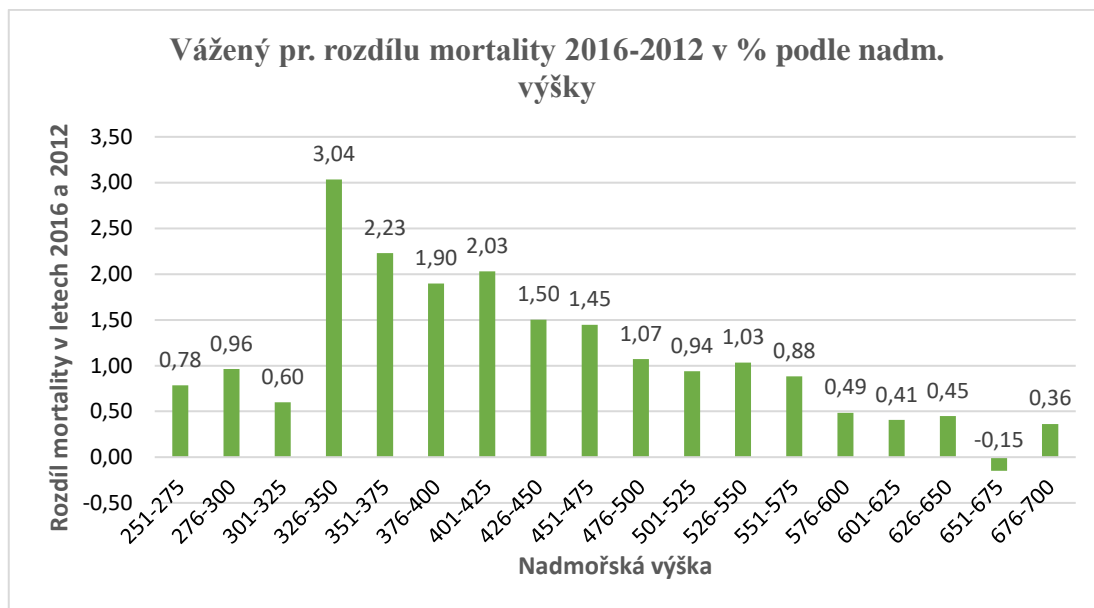
V tomto grafu není zahrnut první věkový stupeň z důvodu aktualizace věku v LHP. Nejvyšší mortalitu vykazují věkové stupně-14 (2,07 %), 13 (2,61 %) a 15 (2,96 %), tedy téměř nejvyšší věkové stupně. Naopak nejnižší mortalitu mají věkové stupně-2(0,26 %) 3 (0,79 %), 4 (0,81%). Dalo by se tedy říci, že mortalita se s věkem zvyšuje.

3.2 Analýza rozdílu mortality mezi lety 2016 a 2012

Jak již bylo řečeno na zkoumaném území se dramaticky zvýšil počet identifikovaných souší, v letech 2012 a 2014 to bylo „pouze“ 30 000 souší a v roce 2016 bylo identifikováno celkem 140 000 souší, tím se naskytla možnost ověřit, zdali není ve vzrůstu mortality nějaký trend závisející na faktorech prostředí. Na stejných faktorech jako byla provedena analýza mortality v roce 2016.

3.2.1 Topografické faktory

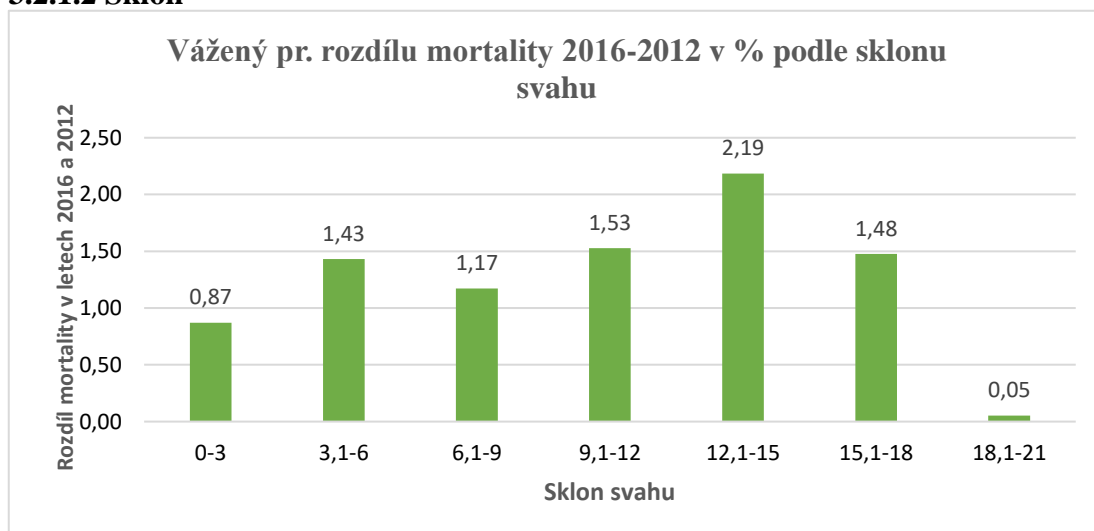
3.2.1.1 Nadmořská výška



Graf 10 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle nadmořské výšky

Nejvyšší rozdíl mortality je v intervalu 326-350 m n. m. (3,04 %), dále pak interval 351-375 m n. m. (2,23 %) a 401-425 m n. m. (2,03 %). Naopak záporný rozdíl – mortalita v roce 2012 byla vyšší než v roce 2016 je u intervalu 651-675 m n. m. (-0,15 %), další intervaly s nízkým rozdílem mortality jsou 676-700 (0,36 %), 601-625 (0,41 %) a 625-650 (0,45 %), tudíž u intervalů vyšších nadmořských výšek.

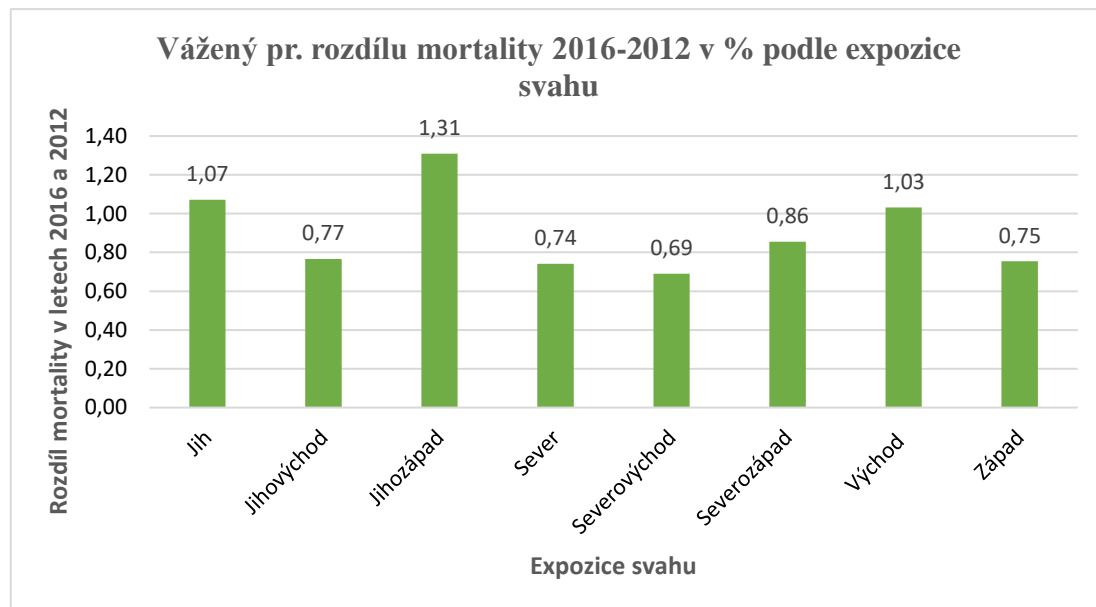
3.2.1.2 Sklon



Graf 11 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle sklonu svahu

Nejvyšší vzrůst mortality je u intervalu sklonu 12,1-15° (2,19 %), výše rozdílu mortality se pak u ostatních intervalů pohybuje od 0,87 do 1,48 %, tedy s výjimkou nejvyššího sklonu 18,1-21°, který vykazuje rozdíl mortality pouze 0,05 %.

3.2.1.3 Expozice

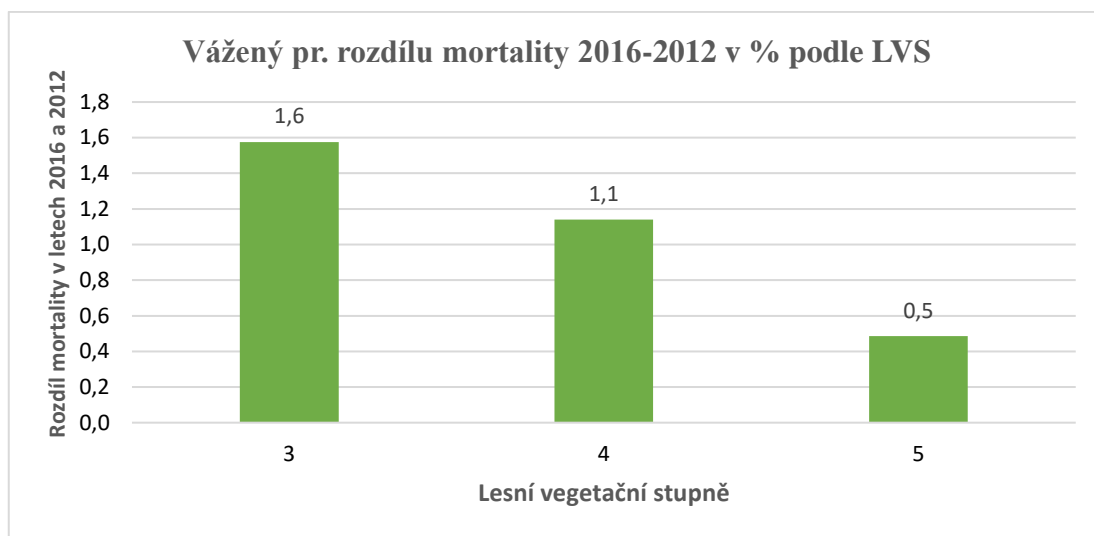


Graf 12 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle expozice svahu

V grafu č. 13, který zobrazuje rozdíly mortality podle expozice svahu můžeme vidět, že se rozdíly mortalit pohybují od 0,77 % do 1,31 %, nejvyšší nárůst je na jihu (1,07 %) a jihozápadě (1,31 %), nejméně pak na severu (0,74 %) a severovýchodě (0,69 %). Hodnoty rozdílu mortality se však mezi sebou příliš neliší.

3.2.2 Ekologické faktory

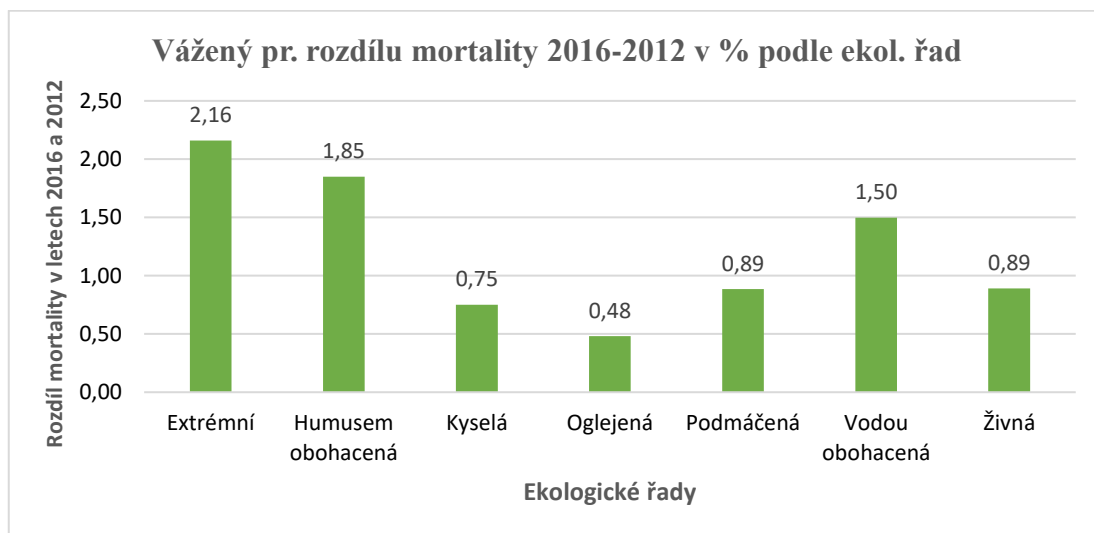
3.2.2.1 Lesní vegetační stupně



Graf 13 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle lesních vegetačních stupňů

Nejvyšší rozdíl mortality je u lesního vegetačního stupně-3 (1,6 %), dále pak následuje LVS-4 s 1,1 % a nejnižší rozdíl je u LVS-5 (0,5 %). Z výsledků vyplývá, že se mortalita se zvyšujícím se LVS snižuje.

3.2.2.2 Ekologické řady

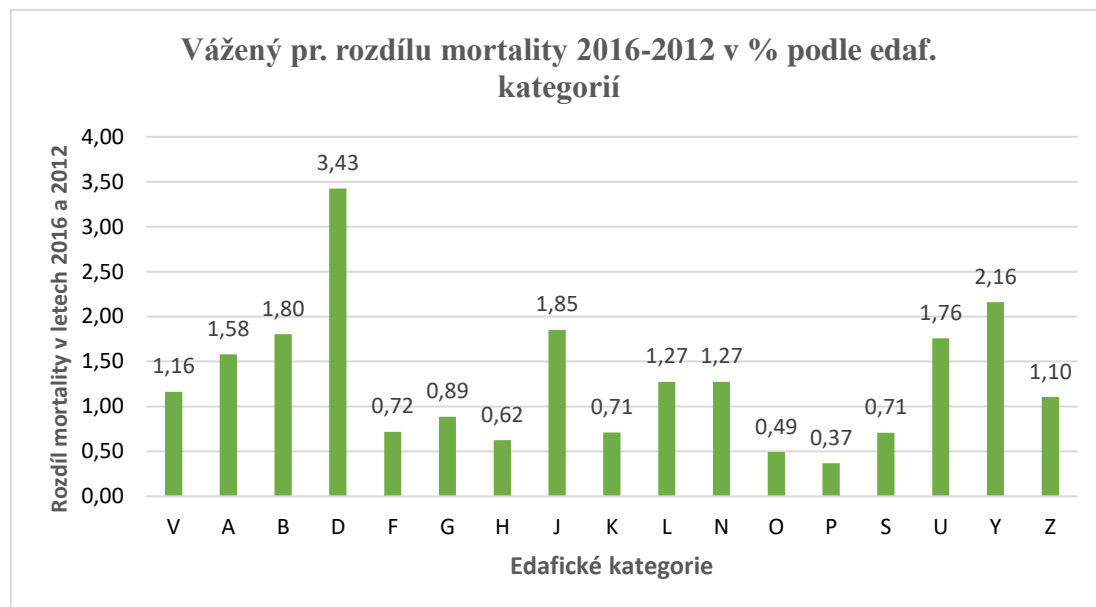


Graf 14 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle ekologické řady

Nejvyšší nárůst mortality je u řady extrémní (2,16 %), humusem obohacené (1,85 %) a vodou obohacené (1,50 %). Naopak nízkou mortalitu vykazují řady kyselá

(0,75 %) a oglejená (0,48 %). Řady podmáčená a živná mají stejný rozdíl mortality a to 0,89 %.

3.2.2.3 Edafické kategorie

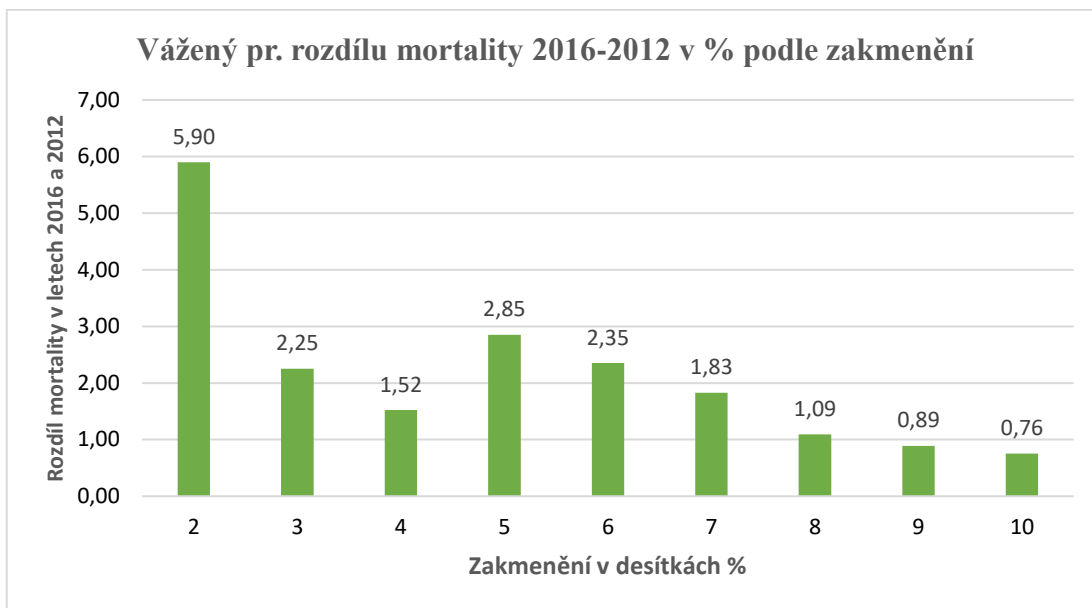


Graf 15 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle edafické kategorie

Nejvyšší rozdíl mortality má edafická kategorie D (3,43 %)– hlinitá, kde je hodnota rozdílu mortality 3,43 %, pak následuje edaf. kategorie Y – skeletová (2,16 %), dále pak řady J – suťová (1,85 %) a U – údolní (1,76 %). Naopak nejnižší rozdíl mortality vykazují kategorie P – kyselý pseudoglej, O – středně bohatý pseudoglej (0,49 %) a K – kyselá (0,71 %).

3.2.3 Porostní faktory

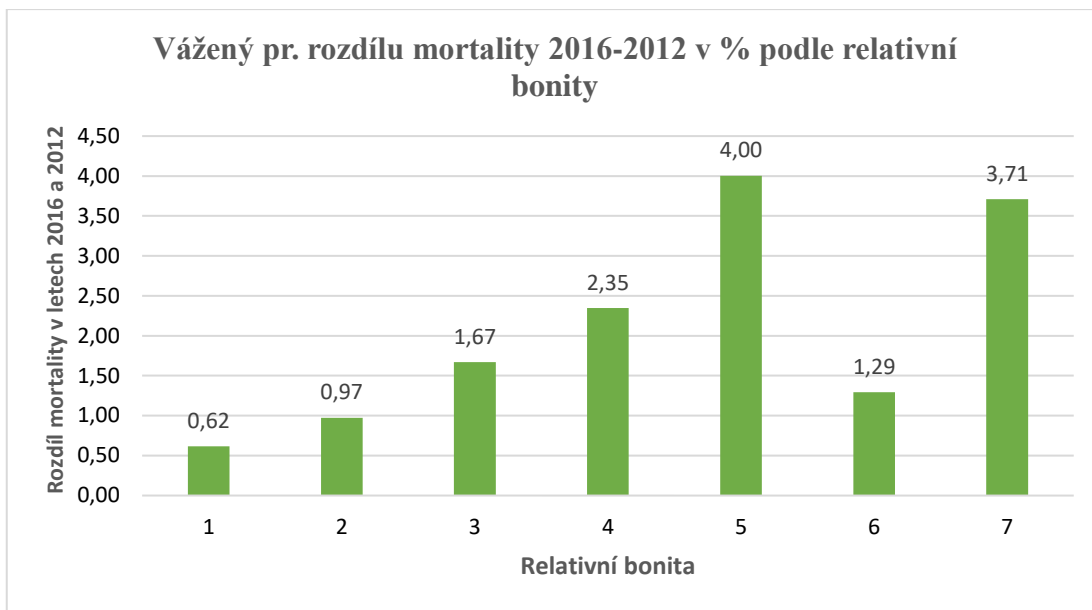
3.2.3.1 Zakmenění



Graf 16 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle zakmenění

Nejvyšší rozdíl mortality je u zakmenění-2 (5,90 %), což je dvojnásobně více než u zakmenění-5 (2,85%), které je v pořadí druhé. Naopak nejnižší rozdíl mortality má zakmenění-10 (0,76 %), 9 (0,89 %) a 8 (1,09%). Vyšší zakmenění tedy vykazuje nižší rozdíl mortality.

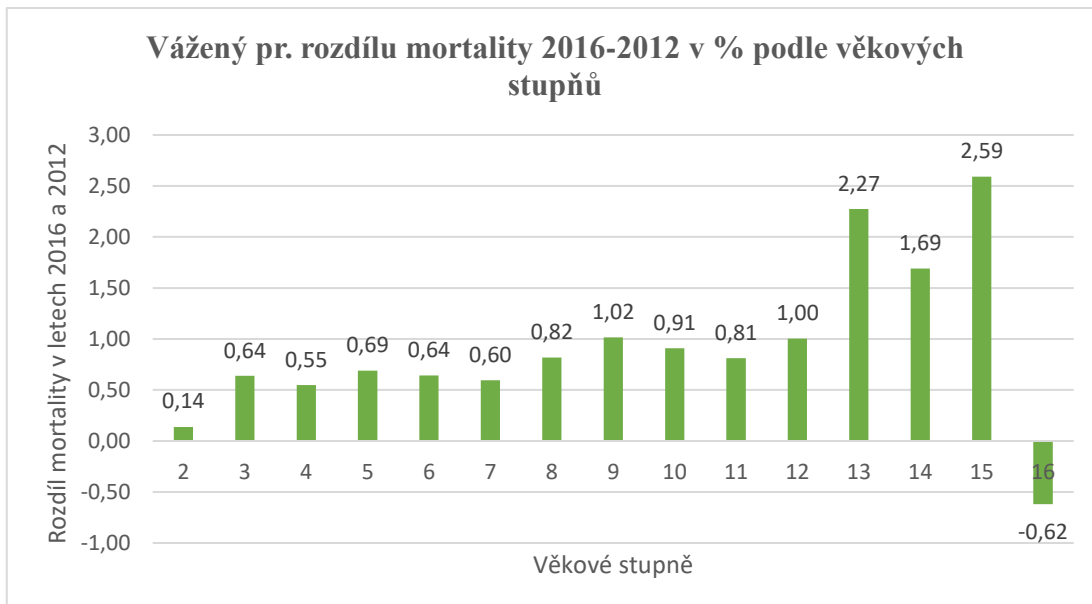
3.2.3.2 Relativní bonita



Graf 17 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle relativní bonity

Nejvyšší rozdíl mortality vykazuje rel. bonita-5 (4,00%) následuje rel. bonita-7 (3,71 %). Nejnižší rozdíly mortality jsou u rel. bonity-1 (0,62 %) a 2 (0,97 %). U zbývajících bonit rozdíly mortality nejsou příliš rozdílné

3.2.3.3 Věkové stupně



Graf 18 Vážený průměr rozdílu mortality v letech 2016 a 2012 podle věkových stupňů

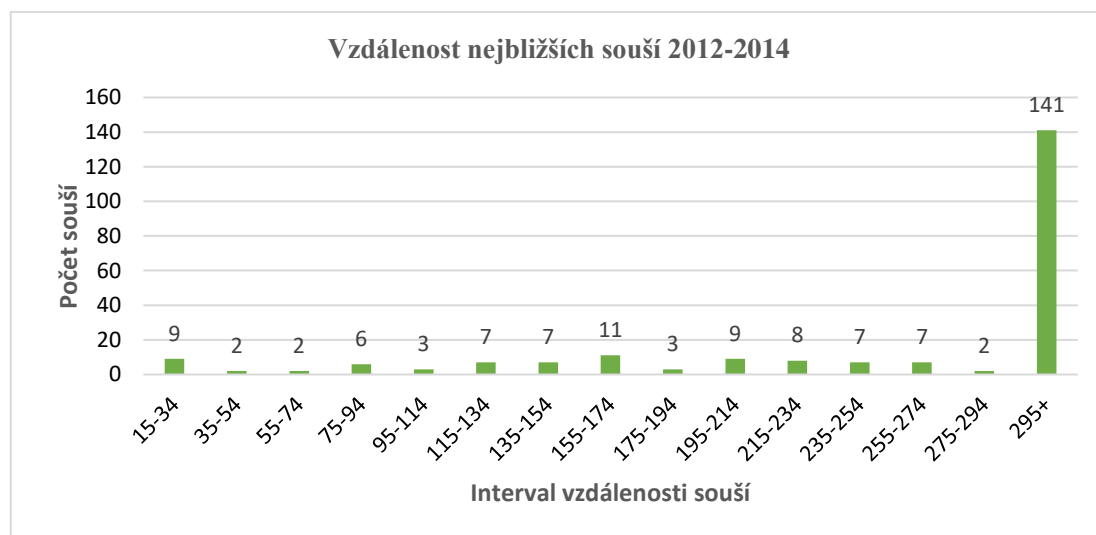
Nejvyšší rozdíl mortality v tomto grafu vykazuje věkový stupeň-15 (2,59 %) pak následuje věkový stupeň-13 (2,27 %) a 14 (1,69 %). Naopak vyšší počet souší v roce 2012 vykazoval věkový stupeň č. 5 (-0,62%) a nízký rozdíl mortality má také věkový stupeň č. 2 (0,14 %). Ostatní věkové stupně se liší v řádech desetin procent.

3.3 Analýza šíření mortality

Další částí této diplomové práce je ověření, zdali šíření mortality nemá nějaké zákonitosti. Bylo vybrána malá oblast na území LHC Lipník nad Bečvou, na kterém byla proveden pomocí nástrojů geoprocessingu, a programu Excel analýza šíření mortality v období (2014-2012 a 2016-2012)

3.3.1 Rok 2012-2014

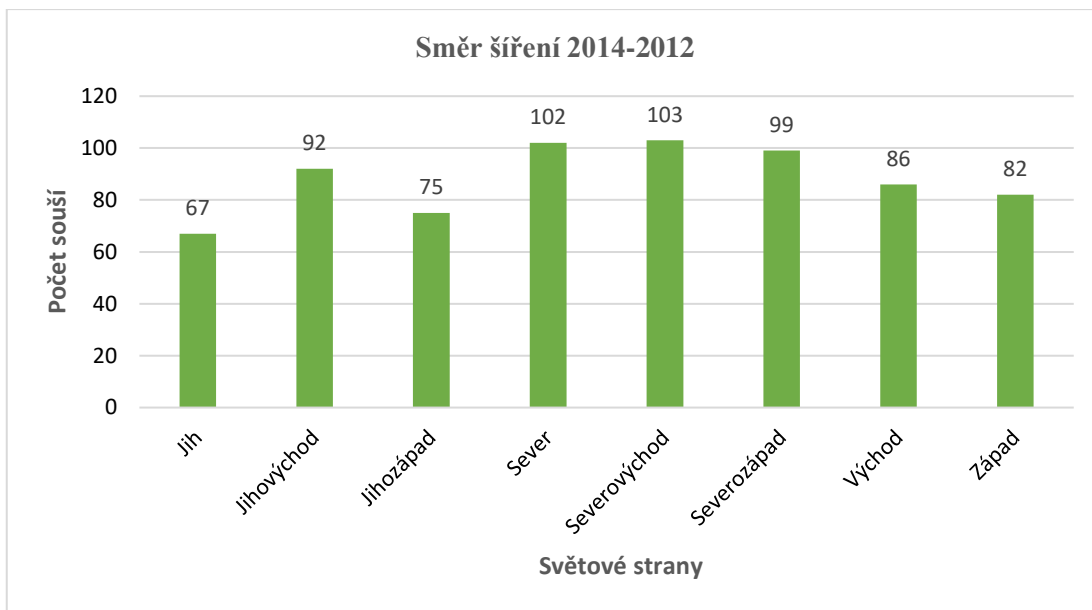
3.3.1.1 Vzdálenost souší



Graf 19 Nejnižší vzdálenost souší z roku 2012 k souším z roku 2014

Do grafu č. 21 nebyl zařazen interval 0-14 m kvůli možnosti, že se mohlo jednat o identický strom. Nejvíc zastoupeným intervalem je vzdálenost 295 + (141 jedinců) a v porovnání s ostatními intervaly jde o opravdu velký rozdíl, například druhá nejpočetnější třída je 155-174 m, která má 11 jedinců. Na základě těchto zjištění se dá odhadnout, že mezi těmito ročníky nejspíše nebudou nějaké trendy.

3.3.1.2 Směr šíření mortality

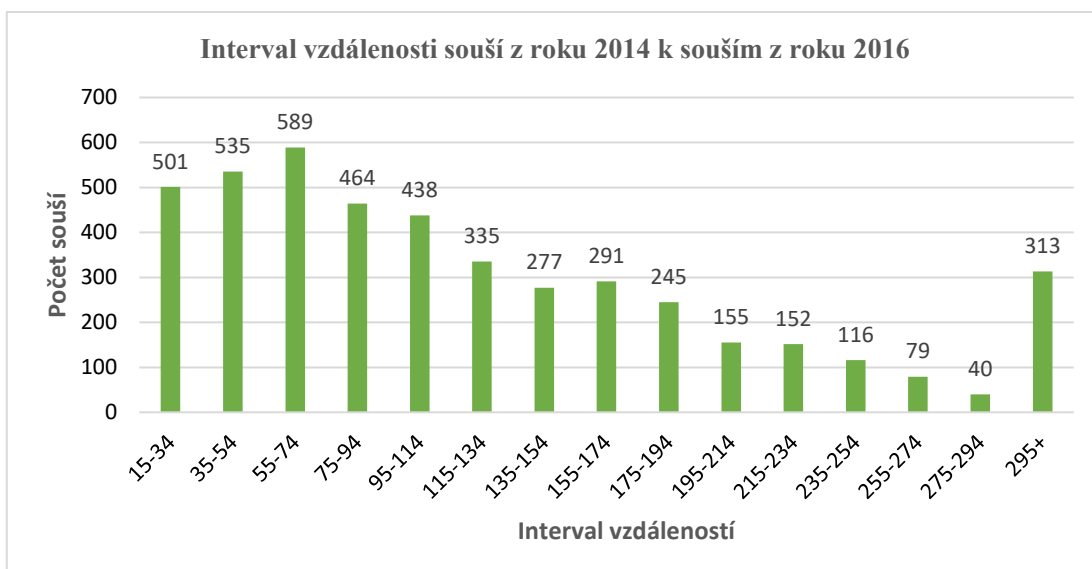


Graf 20 Směr šíření mortality podle světových stran (2012-2014)

Z grafu č. 22 můžeme vypočítat, že nejbližší souše z roku 2014 k souším z roku 2012 se nacházely na severovýchodě (103 jedinců) a severu (102 jedinců), nejmenší počet byl na jihu a jihozápadě, rozdíly mezi jednotlivými světovými stranami však nejsou nijak závratné mezi nejvyšším a nejnižším počtem je rozdíl 35 jedinců.

3.3.2 Rok 2016-2014

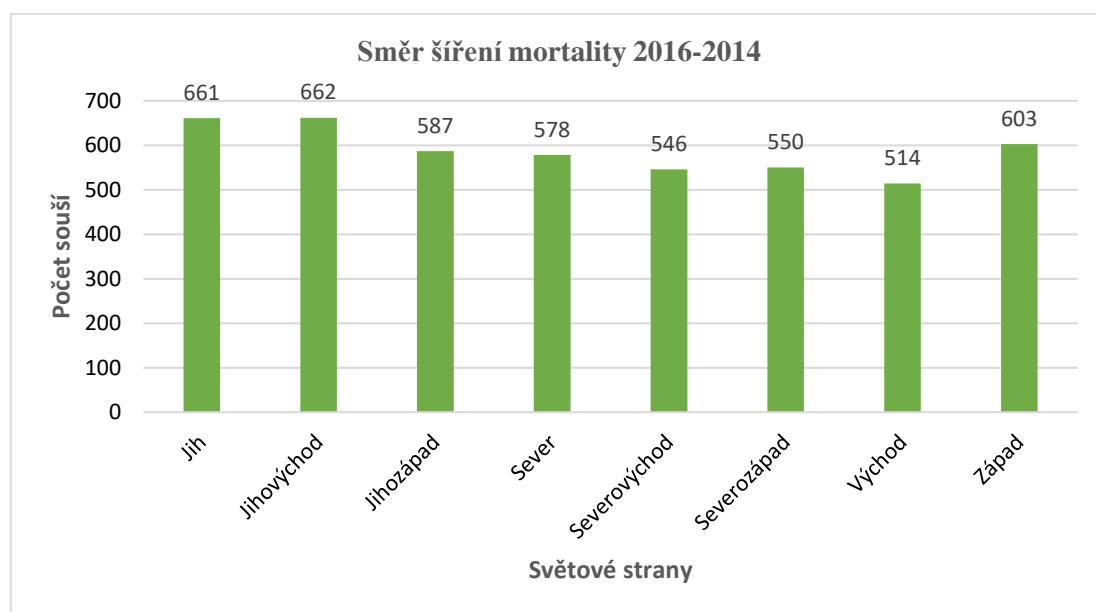
3.3.2.1 Vzdálenost mezi soušemi



Graf 21 Nejnižší vzdálenost souší z roku 2014 k souším z roku 2016

Při porovnávání grafu č. 23 a grafu č. 21, je zřejmé, že vzdálenosti mezi soušemi z jednotlivých ročníků jsou mnohem nižší. Nejvyšší četnosti jsou u prvních třech intervalů, což je velký rozdíl oproti hodnotám v grafu č. 21, může to být tím, že počet souší v roce 2016 byl oproti ročníkům 2014 a 2012 několikanásobně vyšší. To se dá vyzorovat i když porovnáme počty souší v jednotlivých třídách v grafech č. 21, 23

3.3.2.2 Směr šíření mortality



Graf 22 Směr šíření mortality podle světových stran (2014--2016)

Směr šíření mortality v letech 2016 a 2014 je celkem vyrovnaný, při četnostech v jednotlivých světových stranách, které se pohybují kolem 600 souší, jsou rozdíly maximálně 150 jedinců. Nejvíce se šíří jedinci směrem na jih (661 jedinců) a jihovýchod (662 jedinců) nejnižší počet má světová strana – východ (514 jedinců).

4. Diskuze

Díky identifikování souší v ArcGIS 10.3.1 a následné analýze v tomto programu, můžeme sledovat a vyvozovat závěry z úrovně mortality na základě faktorů prostředí. Tím jsou myšleny topografické faktory (nadmořská výška, sklon a expozice), ekologické faktory (lesní vegetační stupně, ekologické řady a edafické kategorie) a porostní faktory (zakmenění, relativní bonita a věkové stupně). Dále byla vybrána oblast o velikosti 1100 ha, na které byl prezentován vzor šíření mortality, tudíž bylo zkoumána pozice souší z jednoho roku (2016 nebo 2014) ku souším z roku druhého (2014 nebo 2012).

4.1 Mortalita v roce 2016

Úroveň mortality z roku 2016 několikrát převýšila úroveň z let 2014 a 2012, diskuze z důvodu vyšší přehlednosti závěrů bude oproti výsledkům zgeneralizována jen na úroveň topografických, ekologických a porostních faktorů bez jejich dalšího dělení.

4.1.2 Topografické faktory

Mortalita v roce 2016 byla také posuzována podle následujících topografických faktorů: (1) Nadmořská výška (2) Sklon a (3) expozice. Výsledky podle nadmořské výšky vykazují vyšší mortalitu u nižších intervalů nadmořských výšek, tedy od 276-450 m n. m. od 451 m n. m. má mortalita spíše klesající tendenci. S největší pravděpodobností je to způsobeno tím, že smrk má optimum ve vyšších nadmořských výškách (Dušek 2016).

Dalším faktorem je sklon. Škála sklonu se pohybuje od 0-21°, nejnižší mortalitu má nejmenší interval sklonu, který je také nejvíce zastoupeným intervalem. Naopak se zvyšující se sklonem se zvyšuje i úroveň mortality. Mortalita dosahuje svého maxima u sklonu 12,1-15°, který je nejvyšším intervalem, jehož rozloha je v řádech stovek hektarů. Zbylé dva intervaly mají rozlohu <100 ha, tudíž tyto to výsledky nemusí být zcela reprezentativní. Zvýšená mortalita u větších intervalů sklonu svahu může být způsobena tím, že ve svazích dochází k vyplavování živin směrem ze svahu a jelikož smrk má mělký kořenový systém, který zasahuje pouze do

svrchních horizontů půdy (Šrámek et al. 2015) může díky tomuto faktoru ztrácet vitalitu a tím být více náchylnější k mortalitě.

Posledním z topografických faktorů, podle kterého byla zkoumána mortalita, je expozice svahu. Úroveň mortality se pohybuje od 0,89 do 1,62 %, tudíž by se dalo říci, že rozdíly mezi jednotlivými expozicemi nejsou nijak výrazné. Guarin et al. 2005 ve své práci zjistil, že vyšší hustota odumřelých stromů byla na severních svazích, což v této práci vykazovala vyšší mortalitu expozice jihozápad a jih, ale jak již bylo řečeno, rozdíly byl pouze v desetinách procent, proto musíme konstatovat, že v tomto případě expozice svahu nemá na mortalitu vliv.

4.1.3 Ekologické faktory

Prvním ekologickým faktorem, podle kterého byla posuzována mortalita jsou lesní vegetační stupně. Mortalita byla analyzována pouze u tří lesních vegetačních stupňů, a to u dubo-bukového (LVS-3), bukového (LVS-4) a jedlo-bukového (LVS-5). Nejvyšší mortalitu vykazuje LVS-3 (1,85 %) a LVS-4, který má o 0,37 % nižší mortalitu. Nejvyšší lesní vegetační stupeň má mortalitu téměř o procento nižší. Tato vysoká mortalita u LVS-3,4 je nejspíše způsobená tím, že smrk v těchto lesních vegetačních stupních nemá své přirozené optimum. Naproti tomu LVS-5 již je v optimu smrku (Viewegh 1995).

Dalším ekologickým faktorem jsou ekologické řady. Zde vysokou mortalitu oproti ostatním řadám nejvíce vykazovaly řady extrémní, humusem obohacená a vodou obohacená, jejichž hodnota mortality byla téměř o procento vyšší než u ostatních. Řada extrémní zahrnuje soubory lesních typů na extrémně nepříznivých stanovištích, proto nejspíše tato řada vykazuje nejvyšší mortalitu. Dále následuje řada obohacená humusem, tato řada obsahuje stanoviště sutí a roklin a také řada obohacená vodou, které obsahuje lužní společenstva na čtvrtohorních náplavech potoků a řek (Viewegh 1995). Na obou těchto řadách se smrk přirozeně nevyskytuje a nejspíše z tohoto důvodu je u těchto řad zvýšená mortalita.

Posledním ekologickým faktorem jsou edafické kategorie. Výsledky mortality podle edaf. kategorií v podstatě odpovídaly výsledkům ekologický řad. Nejvyšší mortalitu měli řady D a J (řada obohacená humusem) a také Y (řada extrémní).

4.1.4 Porostní faktory

Byly analyzovány celkem čtyři porostní faktory a to (1) zakmenění, (2) relativní bonita a (3) věk ve formě věkových stupňů.

Zakmenění udává míru využití růstového prostředí v desítkách procent. Míra mortality je vyšší u nižších zakmenění. Může to být způsobeno tím, že rozvolněné porosty jsou náchylnější ke sněhovým a větrným kalamitám (Dušek et al. 2017)

Relativní bonita je odhad míry produkční schopnosti dřeviny na stanovišti na základě zařazení změřené biometrické veličiny (zpravidla střední porostní výšky) v daném věku do intervalově vymezeného, číselně označeného bonitního stupně. Relativní bonita se pohybuje na škále od 1 (nejlepší bonita) do 9 (nejhorší bonita) (Simon 2008). Nejnižší úroveň mortality vykazovala bonita-1 v dalších bonitách se mortalita postupně zvyšovala a u bonity č. 5 byla nejvyšší (4,44%). U bonit 6 a 7 mortalita klesla, ale plocha těchto bonit byla pouze několik desítek hektarů, proto je nelze brát jako reprezentativní.

U věkových stupňů byla absence prvního věkového stupně. Je to z důvodu aktualizace věku, protože LHP mělo platnost od roku 2000 do roku 2010 a dlaždicová ortofota jsou z roku 2016, proto věk porostů v LHP byl zvýšen o 16 let. Výše mortality se pohybovala kolem 1 % do 12. věkového stupně od 13. věkového stupně se mortalita zvyšuje na dvě a více procent. Nejspíše je to způsobeno tím, smrkové porosty od tohoto věkového stupně začínají postupně chřádnout.

4.2 Analýza rozdílu mortality mezi lety 2016 a 2012

Dále byl zkoumán vzrůst mortality mezi jednotlivými ročníky. Počet souší v roce 2016 oproti roku 2012 byl ale tak vysoký, že ve většině případů byly jednotlivé grafy v podstatě s drobnými rozdíly „stejně“, proto je zbytečné v podstatě výsledky diskutovat dvakrát.

4.3 Analýza šíření mortality

Poslední analýzou provedenou v této diplomové práci byla analýza šíření mortality na vybraném území. Bylo vybrána oblast, která se nacházela na souvislém území LHC Lipník nad Bečvou a zde byla provedena již zmíněná analýza. Tentokrát

bylo analyzováno šíření mortality i mezi ročníky 2014 a 2012, z důvodu analyzování změny vzoru šíření mezi roky 2014-2016 a 2012-2014.

4.3.1 Vzdálenost souší

Byla zkoumána vzdálenost mezi soušemi z jednoho roku (2016, 2014) k souším z roku druhého (2014, 2012). U grafů vzdálenosti souší byl vyřazen interval vzdáleností 0-14 m, a to z toho důvodu, že se mohlo jednat o stejné souše.

Vzdálenost mezi soušemi 2012-2014 je opravdu vysoká. U 62,95 % souší byla vzdálenost vyšší než 295 m, což naznačuje, že nejspíše žádný vzor šíření mezi těmito ročníky nebude.

Kdežto mezi soušemi 2016-2014 jsou vzdálenosti o dost nižší, nejvyšší četnosti mají první tři intervaly (tedy do vzdálenosti 75 m) a u těchto ročníků bylo pouze 6,91 % souší ve vyšší vzdálenosti než 295 m. Tato změna oproti ročníkům 2014-2012 může být způsobena vysokou hustotou souší v roce 2016, tudíž je vyšší pravděpodobnost, že se v okolí souše 2014 bude nacházet souše z roku 2016, než v případě analýzy ročníků 2014-2012.

4.3.2 Směr šíření

Také byl analyzován směr šíření podle světových stran. Bohužel nebyl nalezen žádný vzor směru šíření mortality, a to v ani jednom případě, nikde nebyla preferována světová strana natolik, aby se dala považovat za dominantní směr šíření.

Závěr

V této diplomové práci byla provedena prostorová analýza mortality smrkových porostů v LHC Lipník nad Bečvou. Výstupy diplomové práce by se daly rozdělit na tři části: (1) úroveň mortality v roce 2016, (2) vzrůst mortality v roce 2016 oproti roku 2012 a (3) vzor šíření mortality na úrovni jedinců.

V první části výstupů byla zkoumána mortalita smrku v roce 2016 podle devíti faktorů. U nadmořské výšky se ukázalo, že nejvyšší mortalita je u výšek do 450 m n. m., tyto výšky jsou mimo optimum smrku. Dalším faktorem byl sklon svahu, u kterého nejvyšší mortalitu vykazovaly vyšší sklony a expozice svahu neprokázala žádnou výrazně vyšší mortalitu u jednotlivých světových stran. Další tři faktory byly ekologické. U lesních vegetačních stupňů bylo zjištěno, že mortalita je zdatelně vyšší u těch lesních vegetačních stupňů, které nespádají do optima smrku. U ekologických řad byly zjištěny nejvyšší mortality u těch řad, které jsou pro smrk nevyhovující (extrémní, vodou obohacená, humusem obohacená). V podstatě to samé vyplynulo z analýzy mortality podle edafických kategorií. Posledním souborem faktorů byly porostní. Prvním tímto faktorem bylo zakmenění, kde bylo zjištěno, že vyšší mortalitu vykazují porosty s nižším zakmeněním, nejspíše kvůli vyšší náchylnosti na rozvracení porostů. Dalším faktorem byla relativní bonita, kde bylo prokázáno, že porosty s nižším produkčním potenciálem mají vyšší mortalitu. Posledním zkoumaným faktorem byl věk, který byl rozdělen do věkových stupňů. Zde bylo podle výsledků zjištěno, že mortalita smrku se začíná zvyšovat od třináctého věkového stupně, tedy od věku 121 let.

Druhým výstupem byl vzrůst mortality v roce 2016 oproti roku 2012. Bohužel počet souší v roce 2016 byl téměř trojnásobný oproti roku 2012, tudíž výsledky z této části se až na několik desetin procent ve většině shodovaly s první částí výstupů.

Poslední výstup řešil vzor šíření mortality na úrovni jedinců. Ani u jednoho ročníku nebyl zjištěn dominantní směr šíření a u vzdálenosti souší z jednoho ročníku ke druhému se i přesto, že byly výsledky z ročníků 2014-2012 dost rozdílné od ročníku 2016-2012, nepodařilo nic zásadního zjistit.

Určitě do budoucna doporučuji se prostorovou analýzou mortality smrku na severní Moravě zabývat. Jednak z toho důvodu, že by bylo jistě zajímavé porovnat úroveň mortality z roku 2016 a 2018, a také toho důvodu, že je třeba zkoumat příčiny velkoplošného chřadnutí smrku v této oblasti všemi dostupnými možnostmi.

Seznam literatury a použitých zdrojů

Anderson L, Malhi Y, Aragão L., Ladle R, Arai E, Barbier N, Phillips O. 2010: Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies., *New Phytologist*,

Baguskas S.A., Peterson S. H, Bodo Bookhagen, Christopher J. Still 2014: Evaluating spatial patterns of drought-induced tree mortality in a coastal California pine forest, *Forest ecology and management*, 315, str. 43-53

Bělka Lukáš 2007: Popis ortofotomap, Vojenský geografický ústav hydrometeorologický úřad, str. 1-10

Bohm Jozef 2002: Fotogrammetrie – učební texty, institut geodézie a důlního měřictví, str. 4-5

Coggins, S., Coops, N. C., Wulder, M. A. 2008: Initialization of an insect infestation spreadmodel using tree structure and spatial characteristics derived from high spatial resolution digital aerial imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34, 485–502

Čeřovský David 2017: DP_Využití dronů v praxi v rámci IZS, Fakulta aplikované informatiky – Univerzita Tomáše Bati, str. 10

Philip E.Dennison, Andrea R.Brunelle, Vachel A.Carter 2010: Assessing canopy mortality during a mountain pine beetle outbreak using GeoEye-1 high spatial resolution satellite data, *Remote sensing of environment*, str. 2431-2435

David Dušek – Jiří Novák – Marian Slodičák – Dušan Kacálek 2017: Zdravotní stav smrkových mlazin v oblasti chřadnutí smrku v prvních výchovných zásazích, zpráva lesnického výzkumu, str. 17-21

Dušek Miroslav 2017: Působení škodlivých činitelů v oblasti chřadnutí smrku na severní Moravě a ve Slezsku, *Zpravodaj ochrany lesa 20/2017*, str. 40-43

Eitel U. H. Jan, Vierling A. Lee, Litvak E. Marcy. Ager Dan, Krofcheck JJ., Leo Stoeckel 2011: Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland, *Remote sensing of environment*, str. 3640-3646

Franklin E: Steven 2001: Remote Sensing for Sustainable Forest Management, Lewis Publishers, str. 6-8, 16-18

Fraser R. H., Latifovic R. 2007: Mapping insect-induced tree defoliation and mortality using coarse spatial resolution satellite imagery, International Journal of Remote Sensing str.193-200

Garrity S. R., Allen C. D., Brumby S.P., Gangodagamage Ch., McDowell N. G., Cai D. M 2012: Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution satellite imagery, Remote sensing of environment, str.54-65

Geletič Jan 2013: Úvod do ArcGis 10, Univerzita Palackého v Olomouci – Přírodověcká fakulta, str. 11-15

Getzin, S., Wiegand, K., and Schonig, I. 2012: Assessing Biodiversity in Forests Using very High-Resolution Images and Unmanned Aerial Vehicles., Methods Ecol Evol 3 (2): 397-404.

Guarín A., Taylor A. H. 2005: Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA, Forest Ecology and Management, str. 229-244

Hájek Filip, Miroslav Svoboda 2007: Vyhodnocení odumírání horského smrkového lesa Trojmezí (NP Šumava) metodou automatizované klasifikace leteckých snímků, Silva Gabreta, str.69-81

Hájek Filip 2013: Využití fotogrammetrie a DPZ v Národní inventarizaci lesů (NIL2), Přednáška k projektu LANDTEAM, 2. 12. 2013, Mendelova univerzita v Brně

Hickey J. A., Logan J. 2009: Mapping whitebark pine mortality caused by a mountain pine beetle outbreak with high spatial resolution satellite imagery, International Journal of remote sensing str. 4427-4441

Holuša J., Liška J.:2002: Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku. Zpráva lesnického výzkumu 1/2002, str. 9-15

Horning N., Robinson H. A., Sterling E. J., Turner W., Sacha S. 2010: Remote Sensing for Ecology and Conservation, Techniques in Ecology and Conservation Series, Oxford university press, str. 15-25, 82-83, str. 93

Chianucci, F., Disperati, L., Guzzi, D., Bianchini, D., Nardino, V., Lastri, C., et al. 2016: Estimation of Canopy Attributes in Beech Forests Using True Colour Digital Images from a Small Fixed-Wing UAV, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 47: str. 60-80

Jeniš J. 2017: Chřadnutí smrkových porostů ve správě VLS ČR s. p., divize Lipník. n. B., Zpravodaj ochrany lesa 20/2017, str. 44-48

Koh, L. P., and Wich, S. A. 2012: Dawn of Drone Ecology: Low-Cost Autonomous Aerial Vehicles for Conservation. Tropical Conservation Science 5 (2): 121-132

Lomský B., Novotný R., Šrámek V. 2015: Nedostatečná výživa a imisní poškození – historie, ale i aktuální problém ovlivňující zdravotní stav lesa v ČR 2015, Zpravodaj ochrany lesa svazek 18/2015, str. 44-47

Lubojacký J. 2013: Škodliví činitelé v lesích Moravskoslezského kraje v letech 2002-2012. Lesnická práce, 6: 18–19 (366–367).

Lubojacký J., Liška J., Knížek M., Roman Modlinger 2017: Živočišní škůdci v lesích Česka v roce 2016, Zpravodaj ochrany lesa 20/2017, str. 16-20

Liška J., Knížek M., Lubojacký J., Modlinger R. 2016: Živočišní škůdci v lesích Česka v roce 2015, Zpravodaj ochrany lesa 19/2016, str. 14-19

Mikita T., Janata P., Surový P. 2016: Forest Stand Inventory Based on Combined Aerial and Terrestrial Close-Range Photogrammetry, Forest (MDPI), str, 1-17

Novotný R., Lachmanová Z., Šrámek V., Vortelová L. 2008: Nedostatečná výživa a imisní poškození – historie, ale i aktuální problém ovlivňující zdravotní stav lesa v ČR, Journal of Forest Science 54, str. 49-54

Pešková V., Soukup F. 2013. Škody působené václavkou v smrkových porostech severní Moravy a Slezska. Lesnická práce, 92 (6): 368-369 Pešková V., Soukup F. 2013.

Pešková V., Soukup F., Lubojacký J. 2015: Největší fytopatologické problémy posledních 20 let Zpravodaj ochrany lesa 18/2015, str. 59-65

Plánka L. 2007: Dálkový průzkum Země – Teoretické základy, Modul 01, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, str. 8-11

Rich L. F, Reich P., Bauer M. E.2009: Detecting wind disturbance severity and canopy heterogeneity in boreal forest by coupling high-spatial resolution satellite imagery and field data, Remote sensing and environment, str. 299-308

Simon J., Vacek S. 2008: Výkladový slovník hospodářské úpravy lesů, str. 1-126

Surový P., Yoshimoto A., Panagiotidis D. 2016: Accuracy of Reconstruction of the Tree Stem Surface Using Terrestrial Close-Range Photogrammetry, Remote sensing, str. 1-13

Svatoňová H., Lauermann L. 2006: Dálkový průzkum Země z družice. Katedra geougrafie PdF MU, str. 11-16

Šteflová D. 2005: Některé metody fotogrammetrie, 25. konference o geometrii a počítačové grafice, str. 1-4

Šrámek V., Neudertová Hellebrandová K. 2016: Mapy ohrožení smrkových porostl suchem jako nástroj identifikace rizikových oblastí

Šrámek V., Novotný R. Fadrhonsová V. 2015: Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd v oblasti severní Moravy a Slezska, Zpráva lesnického výzkumu 60, str. 157-153

Tiberiu P. B., Gheorghe F. B., Banu C. 2016: The use of drones in forestry, Journal of Environmental Science and Engineering B, str. 557-560

Viewegh Jiří 1995: Klasifikace rostlinných společenstev, Skripta na lesnickou typologii a fytocenologii, ČZU – Lesnická fakulta str. 1-179

White J.C., Wulder M. A., Brooks D., Reich R., Wheate R. D. 2005: Detection of red attack stage mountain pine beetle infestation with high spatial resolution satellite imagery, Remote sensing of environment, str. 340-351

Zarco-Tejada, Diaz Varela P. J., Angileri V., Loudjani P. 2014: Tree Height Quantification Using Very High Resolution Imagery Acquired from an Unmanned

Aerial Vehicle (UAV) and Automatic 3D Photo-Reconstruction Methods.” European Journal of Agronomy 55: 89-99

Internetové zdroje

<http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu>

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(q5rnrforvw2mpw320uhnnino\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VG&mapid=8&menu=305](http://geoportal.cuzk.cz/(S(q5rnrforvw2mpw320uhnnino))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VG&mapid=8&menu=305)

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(q5rnrforvw2mpw320uhnnino\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto&menu=23](http://geoportal.cuzk.cz/(S(q5rnrforvw2mpw320uhnnino))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=ortofoto_info&side=ortofoto&menu=23)

Seznam příloh

Příloha 1 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle nadmořské výšky ..	81
Příloha 2 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle sklonu svahu ve stupních.....	81
Příloha 3 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle expozice svahu	82
Příloha 4 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle LVS	82
Příloha 5 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle ekologických řad...	82
Příloha 6 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle edafické kategorie .	83
Příloha 7 Tabulka výpočtu váženého průměru podle relativní bonity.....	83
Příloha 8 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle zakmenění porostu	84
Příloha 9 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle věkový stupňů	84

Přílohy

Nadmořská výška	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle nadmořské výšky
251-275	10,52	13,43	0,78
276-300	54,10	44,45	1,22
301-325	54,02	83,69	0,65
326-350	1143,82	340,44	3,36
351-375	887,59	359,47	2,47
376-400	1380,65	631,15	2,19
401-425	1688,96	694,17	2,43
426-450	1796,60	871,24	2,06
451-475	1451,22	829,79	1,75
476-500	1640,21	1158,41	1,42
501-525	1738,70	1452,03	1,20
526-550	2082,42	1589,83	1,31
551-575	2733,42	2404,80	1,14
576-600	2204,21	3187,59	0,69
601-625	1172,10	2098,66	0,56
626-650	497,25	884,34	0,56
651-675	158,72	238,53	0,67
676-700	8,50	23,41	0,36

Příloha 1 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle nadmořské výšky

Sklon svahu ve stupních	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle sklonu
0-3	16857,87	15097,04	1,12
3,1-6	1427,28	842,14	1,69
6,1-9	289,87	189,36	1,53
9,1-12	83,98	43,33	1,94
12,1-15	1884,22	657,27	2,87
15,1-18	145,81	68,08	2,14
18,1-21	13,79	7,70	1,79
21,1-24	0,20	0,52	0,38

Příloha 2 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle sklonu svahu ve stupních

Expozice svahu	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle expozice svahu
Jih	8011,00	6121,46	1,31
Jihovýchod	2781,94	2785,18	1,00
Jihozápad	4040,84	2499,25	1,62
Sever	3160,92	2979,76	1,06
Severovýchod	802,27	899,27	0,89
Severozápad	1230,49	1039,89	1,18
Východ	324,13	256,05	1,27
Západ	351,42	324,58	1,08

Příloha 3 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle expozice svahu

Lesní vegetační stupeň	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle LVS
1	0,00	0,97	0
2	0,00	0,18	0
3	5257,68	2847,60	1,85
4	10021,64	6801,07	1,47
5	4406,43	6475,97	0,68

Příloha 4 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle LVS

Ekologické řady	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle ekol. řad
Extrémní	209,33	85,71	2,44
Humusem obohacená	1760,16	804,98	2,19
Kyselá	377,39	409,87	0,92
Oglejená	1465,29	2386,76	0,61
Podmáčená	407,14	404,87	1,01
Vodou obohacená	3454,13	1950,18	1,77
Živná	11996,83	10071,12	1,19

Příloha 5 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle ekologických řad

Edafické kategorie	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle edaf. kategorií
V	660,58	461,44	1,43
A	1256,70	659,34	1,91
B	3996,20	1704,06	2,35
D	415,28	112,49	3,69
F	573,86	521,30	1,10
G	407,14	404,87	1,01
H	213,82	282,04	0,76
J	88,18	33,15	2,66
K	335,56	379,90	0,88
L	716,93	478,66	1,50
N	41,83	29,97	1,40
O	1341,15	2136,35	0,63
P	124,14	250,42	0,50
S	7212,94	7563,72	0,95
U	2076,62	1010,08	2,06
Y	209,33	85,71	2,44
Z	15,47	12,29	1,26

Příloha 6 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle edafické kategorie

Relativní bonita	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle relativní bonity
1	8208,51	9745,80	0,84
2	4636,26	3894,36	1,19
3	4539,86	2254,13	2,01
4	1849,26	659,72	2,80
5	1126,27	253,93	4,44
6	176,01	60,27	2,92
7	96,46	25,07	3,85
8	6,73	6,47	1,04
9	63,65	5,68	11,20

Příloha 7 Tabulka výpočtu váženého průměru podle relativní bonity

Zakmenění v desítkách %	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle zakmenění
0	0,00	2,15	0,00
1	119,52	6,04	19,80
2	109,53	14,70	7,45
3	47,52	17,60	2,70
4	131,68	66,64	1,98
5	340,10	98,49	3,45
6	732,40	272,60	2,69
7	1546,60	720,00	2,15
8	3657,31	2627,58	1,39
9	8585,26	7622,01	1,13
10	5326,38	5375,62	0,99
11	101,72	77,03	1,32
12	2,73	3,25	0,84
13	0,00	0,74	0,00
14	2,28	0,99	2,29

Příloha 8 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle zakmenění porostu

Věkové stupně	Součet z Mort_i16*area	Součet z Plocha(ha)	Vážený průměr mortality 2016 v % podle věkových stupňů
2	63,46	239,94	0,26
3	1842,83	2340,23	0,79
4	858,66	1054,84	0,81
5	812,36	798,37	1,02
6	902,29	954,48	0,95
7	1578,93	1826,93	0,86
8	1662,70	1672,44	0,99
9	1858,09	1385,17	1,34
10	1931,48	1729,05	1,12
11	1237,38	1206,93	1,03
12	1893,01	1473,64	1,28
13	3161,50	1212,30	2,61
14	1089,42	526,35	2,07
15	819,08	276,49	2,96
16	173,48	93,86	1,85
17	514,79	54,11	9,51
18	300,83	57,25	5,26
19	2,72	1,63	1,67
23	0,00	1,41	0,00

Příloha 9 Tabulka výpočtu váženého průměru mortality podle věkových stupňů