

Simulační studie

Uhlíková stopa

Varianta 4: Uhlíková stopa v zemědělství, lesnictví
a zpracovatelském průmyslu

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Autoři a zdroje.....	3
2	Fakta	3
2.1	Roční produkce CO ₂ na území ČR.....	3
2.2	Počet metrů krychlových vytěženého dřeva na hektar lesa.....	3
2.3	Těžba a přirozená obnova lesů v roce 2018	4
2.4	Počet stromů na hektar dospělého lesa.....	4
2.5	Struktura lesů v roce 2018.....	4
3	Koncepce	4
3.1	Budoucí vývoj produkce CO ₂ na území České republiky	4
3.2	Odhad těžby dřevin v následujících letech.....	4
3.3	Průměrný věk českých stromů	4
3.4	Množství absorpce CO ₂ na hektar jehličnatého/listnatého lesa.....	5
3.5	Popis a forma konceptuálního modelu	5
4	Způsob řešení.....	6
4.1	Použité technologie	6
4.2	Popis simulačního modelu.....	6
4.3	Spuštění simulačního modelu.....	6
5	Simulační experimenty a jejich průběh a závěry	7
5.1	Experiment č. 1.....	7
5.2	Experiment č. 2.....	8
5.3	Experiment č. 3.....	9
5.4	Experiment č. 4.....	10
5.5	Závěr experimentování.....	11
6	Závěr	11
6.1	Ověření validity	11
	Literatura.....	12

1 Úvod

V současné době jsou české lesy spojovány především s kůrovcovou kalamitou a s tím, že musíme do budoucna výrazně změnit jejich skladbu. Právě struktura našich lesů společně s přetrvávajícími suchy zavinila to, jak mohutným způsobem decimuje kůrovec naše jehličnaté, především pak ty smrkové, lesy. Koncem roku 2018 se legislativně stanovilo, že nově založené lesní plochy budou tvořeny smrkovým porostem maximálně z 60 % [4]. Zbylá plocha by pak měla být osázena především listnatými stromy. Vzhledem k tomu, že se v roce 2017 Česká republika svojí roční produkcí 9,8 tuny CO₂ na jednoho obyvatele celosvětově zařadila na 20. místo a na 5. místo v rámci evropských států [1], to však není pozitivní zpráva. V roce 2017 totiž české lesy dokázaly absorbovat více než 29 % naší celkové roční produkce CO₂ a to především díky jehličnanům, o které nyní ve velkém přicházíme. Průměrný pětadvacetiletý jehličnan (resp. borovice) totiž dokáže ročně absorbovat až 6,8 kg CO₂, zatímco průměrný stejně starý listnatý strom (resp. buk) pouze 1,14 kg CO₂, tedy šestkrát méně. V následujících letech tedy lze počítat s tím, že nám lesy v boji s emisemi CO₂ nepomohou tak jako v minulých letech [11].

V rámci našeho projektu jsme se zaměřili na vytvoření modelu [3] budoucího vývoje našich lesů včetně jejich schopnosti absorbovat oxid uhličitý. Nad tímto modelem jsme provedli řadu simulačních experimentů [3], podle kterých lze předpovědět, jakým způsobem a v jaké míře bychom měli v několika následujících letech zakládat nové lesy, abychom se alespoň přiblížili 29% hranici absorbování CO₂ z roku 2017.

1.1 Autoři a zdroje

Na vypracování projektu do předmětu Modelování a simulace se rovným dílem podíleli studenti Fakulty informačních technologií VUT v Brně Jakub Kachlík (xkachl06) a Ondřej Dacer (xdacer00). Nejdůležitější informace jsme čerpali především z Českého statistického úřadu. Další informace, především o kumulaci uhlíku v jehličnatých a listnatých lesech, poskytl vedoucí Katedry pěstování lesů a zároveň bývalý děkan Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc. Ostatní zdroje jsou uvedeny v kapitole Literatura na konci souboru.

2 Fakta

2.1 Roční produkce CO₂ na území ČR

Velmi důležitou hodnotou v našem modelu je informace z webového serveru iRozhlas [1], kde se uvádí, že v roce 2017 bylo v České republice vyprodukováno 9,8 tuny CO₂ na obyvatele za rok, Celková roční produkce za onen rok tedy činila 103,88 milionů tun oxidu uhličitého.

2.2 Počet metrů krychlových vytěženého dřeva na hektar lesa

Z tabulek Těžba dřeva – jehličnaté dřeviny [8] a Těžba dřeva – listnaté dřeviny [9] dostupných na stránkách Českého statistického úřadu lze zjistit, kolik metrů krychlových dřeva se v daném roce na našem území vytěžilo. Z tabulky Bilance holin [10] se pak lze dozvědět, jak velké území vytěžené dřevo zabíralo. Z těchto údajů byl vypočítán počet metrů krychlových vytěženého dřeva, v průměru za poslední 4 roky (2015 – 2018), na ploše jednoho hektaru.

$$\frac{16\,162\,645 + 17\,616\,553 + 19\,387\,109 + 25\,688\,785}{15\,510 + 17\,552 + 20\,741 + 27\,824} \cong 966 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

2.3 Těžba a přirozená obnova lesů v roce 2018

Z uvedených tabulek [8][9] a tabulek Zalesňování a přirozená obnova – jehličnaté dřeviny [6] a Zalesňování a přirozená obnova – listnaté dřeviny [7] čerpáme počáteční hodnoty pro náš model, tedy množství vytěženého jehličnatého a listnatého dřeva (v metrech krychlových) a přirozeně obnovené plochy.

2.4 Počet stromů na hektar dospělého lesa

Podle [11] počítáme s údajem, že se na jednom akru nachází průměrně 700 stromů, na jednom hektaru se pak tedy nachází 1730 stromů.

$$1 \text{ hektar} \cong 2,471 \text{ akrů}$$

2.5 Struktura lesů v roce 2018

Na základě Tabulky 2.3.1 Druhové složení lesů v ha a % z celkové plochy porostní půdy [13] jsme získali poměr jehličnatých a listnatých lesů v roce 2018. Jehličnaté lesy v roce 2018 zabíraly 72,35 % našich lesních ploch, listnaté lesy tedy zbylých 27,65 %.

3 Koncepce

3.1 Budoucí vývoj produkce CO₂ na území České republiky

V posledních šesti letech byly emise oxidu uhličitého prakticky totožné [1] a měnily se jen velmi sporadicky. Předpokládáme tedy, že ani v následujících letech se toto číslo nezmění. Budeme tedy počítat, že se i v následujících letech v ČR vyprodukuje 103,88 milionů tun CO₂. Na základě této hodnoty počítáme, jak velký podíl z této hodnoty ročně absorbují naše lesy.

3.2 Odhad těžby dřevin v následujících letech

V našem modelu předpokládáme, že rok 2019 bude z pohledu těžby jehličnatého dřeva kvůli kůrovcové kalamitě podobný jako rok 2018. V dalších letech se bude množství vytěžených milionů kubických metrů jehličnatých dřevin snižovat až na konec v roce 2023 dosáhne hodnoty z období před deseti lety [8]. Předpokládáme také, že se nebude měnit množství vytěžených listnatých dřevin stejně jako tomu bylo v posledních letech [9].

3.3 Průměrný věk českých stromů

Na základě Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018 [13] předpokládáme průměrný věk českých stromů na 51,2 let.

3.4 Množství absorpce CO₂ na hektar jehličnatého/listnatého lesa

Nejdůležitějšími hodnotami pro náš model jsou hodnoty absorbování CO₂ listnatými a jehličnatými lesy. V článku [11] se lze dočíst následující informace:

- 25 let starý listnatý les (javor, buk, bříza) za rok absorbuje asi 798,3226 kilogramů CO₂ na akr, tedy 1972,655 kilogramů CO₂ na hektar.
- 120 let starý listnatý les (javor, buk, bříza) za rok absorbuje asi 1773,0926 kilogramů CO₂ na akr, tedy 4381,3118 kilogramů CO₂ na hektar.
- 25 let starý jehličnatý les (borovice) za rok absorbuje asi 4456,9986 kilogramů CO₂ na akr, tedy 11013,2435 kilogramů CO₂ na hektar.
- 120 let starý jehličnatý les (borovice) za rok absorbuje asi 3409,2003 kilogramů CO₂ na akr, tedy 8424,1339 kilogramů CO₂ na hektar.

Na základě těchto hodnot tedy předpokládáme, že jehličnatý strom dokáže absorbovat největší množství CO₂ okolo 50. roku života a sice asi 8,5 kg za rok. Poté se začne tato schopnost jehličnanů velmi mírným tempem utlumovat. Naopak listnaté stromy s přibývajícím věkem dokáží absorbovat větší množství oxidu uhličitého.

3.5 Popis a forma konceptuálního modelu

Smyslem naší práce je určit vhodný poměr a počet vysazovaných jehličnatých a listnatých stromů v čase od roku 2019 až do roku 2030 za účelem udržení absorpce emisí CO₂ minimálně na 29% hranici. Pro každý rok se tedy stanovuje, kolik stromů se má za příslušný rok vysadit a kolik z nich má být jehličnatých a kolik listnatých. Kromě umělého vysazování lesů počítáme v simulaci každého roku i s tím, že se malá část našich lesů přirozeně obnovují sama. Tuto hodnotu během 12 let, které simulujeme, neměníme, protože se poslední roky mění jenom minimálně [10]. Tuto hodnotu jsme u jehličnatých lesů stanovily na 2357 hektarů za rok a na 1718 hektarů za rok pro lesy listnaté. Rovněž počítáme i s každoročním úbytkem v podobě těžby (viz 3.2). Je také nutné počítat s tím, že se každým rokem mění průměrný věk českých lesů, což se projevuje především na tom, jaké množství oxidu uhličitého dokáží lesy absorbovat. Po uvážení všech těchto hodnot každý rok získáme hodnotu pro plochu, kterou pokrývají jehličnaté lesy a pro plochu, kterou pokrývají listnaté lesy. Na základě průměrného věku našich stromů vypočítaného pro daný rok pak získáme i množství CO₂, které naše lesy za daný rok absorbovaly. Následně je vypočítán i podíl tohoto množství v porovnání s roční produkcí CO₂ na území naší republiky.

Popis konceptuálního modelu [3] je tedy složen z těchto matematických vzorců:

$$\text{plocha těžby jehličnatých lesů [ha]} = \frac{\text{těžba jehličnatých lesů [m}^3\text{]}}{\text{počet m}^3 \text{ na hektar dospělého lesa}}$$

$$\text{plocha těžby listnatých lesů [ha]} = \frac{\text{těžba listnatých lesů [m}^3\text{]}}{\text{počet m}^3 \text{ na hektar dospělého lesa}}$$

$$\text{průměrný věk lesů} = \frac{\text{plocha lesů [ha]} \cdot (\text{průměrný věk lesů} + 1) + (\text{uměle zalesněné plochy [ha]} \cdot 1)}{\text{plocha lesů [ha]} + \text{uměle zalesněné plochy [ha]}}$$

$$\begin{aligned} & \text{plocha listnatých lesů [ha]} \\ &= \text{plocha přirozené obnovy listnatých lesů [ha]} + \text{uměle zalesněné listnaté plochy [ha]} \\ & \quad - \text{plocha těžby listnatých lesů [ha]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{plocha jehličnatých lesů [ha]} \\
= & \text{plocha přirozené obnovy jehličnatých lesů [ha]} + \text{uměle zalesněné jehličnaté plochy [ha]} \\
& - \text{plocha těžby jehličnatých lesů [ha]} \\
& \text{absorpce CO}_2 \text{ jehličnany [mt]} \\
= & \frac{\text{stromů na hektar} \cdot \text{plocha jehličnatých lesů [ha]} \cdot \text{absorpce CO}_2 \text{ hektaru jehličnatého lesa daného věku [kg]}}{1\,000\,000\,000} \\
& \text{absorpce CO}_2 \text{ listnatými lesy [mt]} \\
= & \frac{\text{stromů na hektar} \cdot \text{plocha listnatých lesů [ha]} \cdot \text{absorpce CO}_2 \text{ hektaru listnatého lesa daného věku [kg]}}{1\,000\,000\,000}
\end{aligned}$$

4 Způsob řešení

4.1 Použité technologie

Řešení projektu je implementováno v jazyce C s použitím základních knihoven. K překladu zdrojového souboru byl použit Makefile.

4.2 Popis simulačního modelu

Po spuštění simulačního modelu [3] se zahájí série 12 cyklů, které simulují jednotlivé roky (až do roku 2030) našich experimentů. K zahájení jednoho cyklu dojde po zadání nových hodnot poměru sázených stromů (v procentech) a počtu sázených stromů (v hektarech) a následně dojde k využití těchto hodnot k výpočtům pro daný rok (viz vzorce v sekci 3.5). Po dokončení každého cyklu je uživatel vyzván k zadání nových hodnot pro aktuální rok. Dynamicky se v průběhu jednotlivých let mění proměnná průměrného věku lesa, která slouží jako koeficient absorbování CO₂. Další proměnnou, která v průběhu experimentu mění nezávisle svoji hodnotu je množství vykáčeného jehličnatého dřeva za rok. Tato hodnota se bude 5 let postupně snižovat a následně se ustálí na průměrné hodnotě z roku 2010, protože předpokládáme, že kůrovcová kalamita sice již dosáhla svého vrcholu, ale způsobené škody bude nutné ještě několik let odstraňovat. Získané informace pro uplynulý rok jsou vypisovány na standardní výstup pomocí funkce `printf()`. Použité funkce:

```

void cycleChange() – provede základní inkrementace a úpravy vybraných proměnných
void inputFunction() – obstará vstup od uživatele a hodnoty zpracuje
void ageChanger () – mění průměrný věk lesů
void tezbaChanger () – mění hodnoty vytěžených jehličnanů za rok
void changeCounter () – dopočítává nové hodnoty a počty listnatých a jehličnatých lesů
void changesPrinter() – vytiskne vypočítané hodnoty z předchozích funkcí

```

4.3 Spuštění simulačního modelu

Simulační model je nutné nejprve přeložit pomocí příkazu `make` a následně jej spustit zadáním příkazu `make run`. Pro dokončení jednotlivých cyklů je nutné vždy zadat dvojici údajů o poměru a počtu zasazených stromů. Simulační model je ukončen po 12 iteracích, jejichž průběh a rozdíly můžeme sledovat na standardním výstupu.

5 Simulační experimenty a jejich průběh a závěry

Cílem experimentů je porovnání jednotlivých přístupů k zakládání nových lesů s ohledem na redukci oxidu uhličitého v ovzduší, ale i na počet vysazených stromů právě za tímto účelem.

5.1 Experiment č. 1

V rámci prvního experimentu se bude každý rok vysazovat stejný počet stromů ve stejném poměru a sice 60 % jehličnanů a 40 % listnatých lesů. Tento experiment by se měl kvůli úpravě legislativy z konce loňského roku nejvíce blížit realitě. Každoročně se bude zalesňovat stejná plocha 20 tisíc hektarů. Vycházíme tak z čísel z loňských let. V roce 2018 se vysadilo 46 milionů sazenic [14] na ploše 21 tisíc hektarů. O rok dříve se osadilo necelých 20 tisíc hektarů [10].

Rok 2019

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
40	60	20 000	27	72
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
719 896	1 851 738		29,16	28,07

Rok 2025

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
40	60	20 000	29	70
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
769 036	1 824 392		28,79	27,71

Rok 2030

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
40	60	20 000	30	69

Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
809 986	1 818 197		28,81	27,73

5.2 Experiment č. 2

V rámci druhého experimentu se budou vysazovat jehličnany a listnaté stromy rovným dílem a celková zalesněná plocha bude jako v prvním experimentu neměnná. Tentokrát však bude o 50 % větší, tedy 30 tisíc hektarů

Rok 2019

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
50	50	30 000	28	71
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
726 896	1 854 738		29,22	28,13

Rok 2025

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
50	50	30 000	30	69
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
818 036	1 845 392		29,23	28,13

Rok 2030

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
50	50	30 000	32	67
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
893 986	1 854 197		29,55	28,45

5.3 Experiment č. 3

V rámci třetího experimentu se bude vysazovat 60 % listnatých a 40 % jehličnatých lesu. Tentokrát se v roce 2019 zasadí 25 tisíc hektarů a poté rok co rok o 500 hektarů méně.

Rok 2019

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
60	40	25 000	28	71
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
726 896	1 849 738		29,14	28,06

Rok 2025

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
60	40	22 000	31	68
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
811 736	1 806 192		28,63	27,56

Rok 2030

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
60	40	19 500	32	67
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
874 186	1 780 997		28,42	27,36

5.4 Experiment č. 4

V rámci čtvrtého experimentu se začne vysazovat 40 % listnatých a 60 % jehličnatých lesů. Rok co rok se ale procento zastoupení listnatých lesů zvětší o 2 procenta a podíl jehličnatých lesů se naopak o 2 procenta zmenší. Tentokrát se bude zasazovat rovnoměrně po celou dobu 20 tisíc hektarů lesa.

Rok 2019

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
40	60	20 000	27	72
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
719 896	1 851 738		29,16	28,07

Rok 2025

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
52	48	20 000	29	70
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
777 436	1 815 992		28,69	27,62

Rok 2030

Poměr nově vysazených listnatých stromů (%)	Poměr nově vysazených jehličnatých stromů (%)	Plocha nově vysazených stromů (ha)	Nový poměr listnatých stromů (%)	Nový poměr jehličnatých stromů (%)
62	38	20 000	31	68
Listnaté lesy (ha)	Jehličnaté lesy (ha)		Absorbováno CO ₂ (mt)	Absorbováno CO ₂ z celkové produkce (%)
836 386	1 791 797		28,48	27,42

5.5 Závěr experimentování

Nejvýhodnějším z uvedených 4 postupů je postup použitý ve druhém experimentu a to hlavně kvůli velikosti zalesňovaných ploch. Pokud by na to byly finanční prostředky, rozhodně by bylo nejideálnějším řešením zalesňovat ročně větší plochy než 20 tisíc hektarů. Druhý uvedený experiment navíc ukazuje, že v takovém případě ani není nutné vysazovat jehličnany na horní hranici 60 %, ale naprosto postačí, když se budou jehličnané a listnaté lesy sázet v poměru 1 : 1. Roční uměle zalesněná plocha se pak bude moci postupem let zmenšovat v souvislosti se zmenšující se těžbou dřeva z důvodu kůrovcové kalamity až na uváděnou hodnotu 20 tisíc hektarů.

6 Závěr

V rámci experimentů bylo zjištěno, že dosáhnout 29% hranice absorbování CO₂ do roku 2030 bude problematické, ale jak naznačuje druhý experiment není nereálné se této hranici alespoň přiblížit. Obnova našich lesů je dlouhodobou záležitostí a nelze tak očekávat okamžité výsledky. Experimenty ukázaly, že by se v nejbližších pěti letech, kdy u nás budou doznívat následky kůrovcové kalamity, mělo zalesňovat v co největším možném množství a vzhledem k již zmíněné kůrovcové kalamitě by se také mělo zalesňovat dostatečně různorodě, aby se události posledních dvou a několika následujících let již neopakovaly. Lesy jsi pro naši společnost životně důležité.

6.1 Ověření validity

Na základě výsledků experimentování lze říci, že se model chová tak, jak by se dalo čekat. Čím více sazenic se v daném roce vysadí, tím více pro daný rok klesne celková absorpce. V dlouhodobějším měřítku pak ale začne celková absorpce narůstat, především tedy když se vysazuje dostatečné množství jehličnatých stromů. Celková absorpce rovněž klesne, pokud vysazujeme stromy jenom minimálně (především pak na počátku simulace).

Literatura

- [1] BOČEK, Jan, Tomáš JELEN a Štěpán SEDLÁČEK. Za změny klimatu nemůžeme? Omyl, české emise CO₂ na hlavu patří mezi bohatými zeměmi k nejvyšším. *iROZHLAS* [online]. 2018 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/klima-co2-znecisteni-limity-brabec-cez_1812110600_jab
- [2] *Czech Forest Think Tank* [online]. 2018 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.czechforest.cz/informace-o-lesich>
- [3] PERINGER, Petr a Martin HRUBÝ. Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online]. 24. října 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [4] ŠIMKOVÁ, Alžběta a Dominika HROMKOVÁ. Konec lesů, jak je známe. V některých krajích už ani nejsou smrky k těžbě. *iDnes* [online]. 2019, 21. července 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/kurovec-les-ekologie-kalamita-lesnictvi-sucho.A190715_085544_domaci_jum
- [5] *Výstupy Národní inventarizace lesů uskutečněné v letech 2011–2015* [online]. 2016 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: http://nil.uhul.cz/data/documents/vysledky_projektu_nil2/vekova_struktura_lp_cervenec_2016.pdf
- [6] *Tab. 2.7 Zalesňování a přirozená obnova - jehličnaté dřeviny* [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232997/100004192k27.pdf/ca4537ae-0d89-40e7-9df1-c7f046a317a6?version=1.0>
- [7] *Tab. 2.8 Zalesňování a přirozená obnova - listnaté dřeviny* [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232997/100004192k28.pdf/fbe02a99-a869-491c-b1bd-c61b9d0d650d?version=1.0>
- [8] *Tab. 2.9 Těžba dřeva - jehličnaté dřeviny* [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232997/100004192k29.pdf/dbbd6a21-5074-4a95-bf30-d3b4562a393a?version=1.0>
- [9] *Tab. 2.10 Těžba dřeva - listnaté dřeviny* [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232997/100004192k210.pdf/e33d15ba-7499-46aa-82ac-8b7de638d06b?version=1.0>
- [10] *Tab. 2.14 Bilance holin* [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91232997/100004192k214.pdf/54ca7c78-9988-4e0a-b69e-469613adce94?version=1.0>
- [11] TOOCHI, Egbuche Christian. Carbon sequestration: how much can forestry sequester CO₂? *MedCrave Step into World of Research* [online]. University of Technology Owerri, Nigeria, 2018 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://medcraveonline.com/FREIJ/FREIJ-02-00040.pdf>
- [12] ZELENKA, Jan. Les: Co všechno umí jeden hektar, kolik dává kyslíku a kolik „živí“ lidi? *Epochplus* [online]. 2015 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://epochplus.cz/les-co-vsechno-umi-jeden-hektar-kolik-dava-kysliku-a-kolik-zivi-lidi/>
- [13] *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018* [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/634125/Zprava_o_stavu_lesa_2018_verze_vladni.pdf
- [14] Lesy ČR kvůli kůrovci zvýší výsadbu na 55 milionů stromů. Obnova lesů stojí ročně miliardy. *Lidovky* [online]. 2019, 18. srpna 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/domov/lesy-cr-kvuli-kurovci-zvysi-vysadbu-na-55-milionu-stromu-obnova-lesu-stoji-rocne-miliardy.A190818_075641_ln_domov_ele