

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Simulačná štúdia do predmetu IMS

4. Uhlíková stopa v zemědělství, lesnictví a zpracovatelském průmyslu

Zakládání lesů a kácení jiných lesů (deštné pralesy).

Produkce palmového tuku.

8. decembra 2019

Adam Kučera (xkucer95)

Július Marko (xmarko17)

Obsah

Úvod.....	3
Autori, zdroje	3
Rozbor témy a použitých metód	3
Rozbor témy.....	3
Použité metódy	4
Koncepcia modelu	4
Výrub pralesa	4
Palmová plantáž.....	4
Využitie spracovateľného dreva	5
Overenie validity modelu.....	5
Simulačné experimenty.....	5
Obecný popis	5
Experimenty.....	5
Zistenia plynúce z experimentov	8
Zhrnutie a záver	9

Úvod

Táto práca vznikla ako projekt do predmetu Modelovanie a simulácia. Práca sa zaoberá modelovaním uhlíkovej stopy pri zmene dažďového pralesa na palmovú plantáž, ktorá produkuje palmový olej. Zmyslom práce je demonštrovať správanie systému pri rôznych vstupných parametroch.

Autori, zdroje

Autori projektu sú Adam Kučera a Július Marko. Pri tvorbe sme využili znalosti získané z predmetu Modelovania a simulácie a informácií dostupných na internete. Pre vytvorenie modelu bolo potrebné zoznámiť sa s problematikou uhlíkovej stopy a vyhľadanie vhodnej štúdie, na ktorej by bol model založený.

Rozbor témy a použitých metód

Rozbor témy

Základná zložka živých organizmov na Zemi je uhlík. Preto každý ekosystém s jeho faunou a flórou sa dá považovať za skladisko uhlíka. Všetko to začína procesom tzv. primárnej produkcie. Ide o syntézu organických zlúčenín z atmosférického oxidu uhličitého procesom fotosyntézy. Do tohto procesu vstupuje energia slnečného žiarenia, voda a už spomínaný oxid uhličitý. Výstupom je biomasa.

Množstvo uhlíka, ktorý určitá plocha daného ekosystému dokáže premeniť na biomasu sa označuje GPP (gross primary product) a je vyjadrená jednotkou $\text{g C ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Z tohto kvanta však v ekosystéme ostáva v dlhodobom horizonte len určitá časť. Prirodzenou cestou sa uhlík uvoľňuje procesom respirácie a to najprv autotrofnou respiráciou (napr. dýchanie stromov). Po tomto procese ostáva v ekosystéme NPP (net primary product). Posledná časť uhlíka sa uvoľňuje zo systému heterotrofnou respiráciou (napr. hnilobný proces). Nakoniec teda v systéme ostáva len tzv. NEP (net ecosystem product), vyjadrujúci skutočný smer toku uhlíka medzi atmosférou a ekosystémom. Kladné hodnoty NEP znamenajú, že ekosystém uhlík „nasáva“. (Woodward, 2007)

Intervenciou človeka sa však toto prúdenie môže radikálne zmeniť. Pri problematike výrubu a transformácie lesa, na ktorú je naša štúdia zameraná, dochádza z krátkodobého hľadiska k vysokým emisiám v závislosti od rôznych parametrov tohto procesu. Napríklad, ak sa vypíli plocha lesa a toto drevo buď zhorí alebo zhnije, prakticky všetok uhlík ktorý sa v ňom ukladal celé desaťročia, sa uvoľní naspäť do atmosféry.

Aspekty skúmané v našej štúdii sú teda emisie vyprodukované pri samotnom procese výrubu, ale najmä osud dreva a odlesnenej pôdy. Zamerali sme sa na využitie tejto pôdy v podobe monokultúry olejovej palmy – palmovej plantáže. Táto plantáž je opäť ekosystémom, ktorý by teoreticky po nejakom čase mal absorbovať z atmosféry rovnaké alebo väčšie množstvo uhlíka, než bolo to ktoré sa uvoľnilo pri procese transformácie. Takýto umelo vytvorený systém sa však v mnohých vlastnostiach líši od jeho prirodzeného ekvivalentu a najmä množstvo biomasy ktorú produkuje je zbierané človekom, je z neho produkován palmový olej a uhlík obsiahnutý v ňom sa v závislosti od jeho využitia človekom v určitom časovom horizonte opäť uvoľňuje do atmosféry.

Použité metódy

Ako jazyk implementácie sme zvolili C++, ktorý nám poskytuje obdobný výkon ako jazyk C, avšak na vyššej úrovni abstrakcie, objektovo orientovaný prístup zjednodušil proces implementácie návrhu. Nepoužili sme žiadne externé knižnice, iba štandardné knižnice jazyka (STL).

Koncepcia modelu

Modelovali sme diskretný systém pracujúci v čase. Ako časovú jednotku sme zvolili 1 rok. Rozhodli sme sa tak na základe veličín reálneho sveta, ktoré sme v našom modeli zohľadnili. Priestor je simulovaný ako diskretné úseky plochy, veľkosť tejto plochy v pomere k reálnemu svetu je vyjadrená hektároch a je nastaviteľná parametrom. Uhlíková stopa je vyjadrená v mega gramoch uhlíka (Mg C).

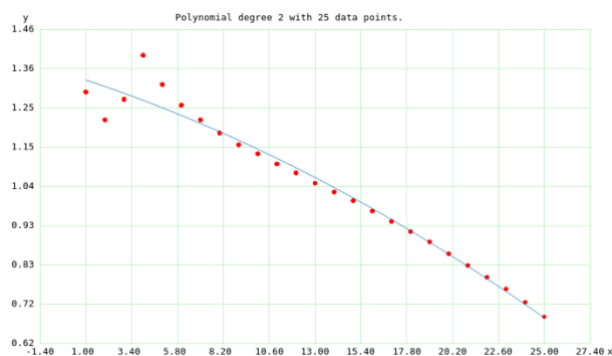
Výrub pralesa

Na základe parametrov modelu je každý rok vyrúbané parametrom nastavené množstvo diskretných úsekov pralesa, až kým nie je dosiahnutý limit, kedy sa výrub zastaví. Každý tento úsek má definované svoje skladisko uhlíku. Toto je rozdelené na 4 kategórie: nadzemná biomasa (kmeň, konáre, listy), podzemná biomasa (korene), mŕtva biomasa a SOC (organický uhlík v pôde). Množstvo uhlíka v jednotlivých kategóriách sa generuje náhodne pre každý úsek v rámci normálneho rozloženia pravdepodobnosti určeného získanými dátami.

Určitá časť nadzemnej biomasy po odrátaní odhadnutého pomeru odpadu (napr. listy) môže byť priemyselne spracovateľná. Tieto jednotky dreva sa hromadia, pre každú je vygenerovaná dĺžka života, po ktorej uplynutí je uhlík obsiahnutý v tejto jednotke opäť uvoľnený do atmosféry. (Thomas Guillaume, 2018)

Palmová plantáž

Keď je vyrúbané určité parametrom nastavené množstvo pralesa, táto plocha sa premieňa na jednotku plantáže, ktorá začína svoj rotačný cyklus. Dĺžka tohoto cyklu je určená parametrom, avšak jeho maximálna modelovateľná hodnota je 25 rokov, pretože sa nám nepodarilo získať dáta pre staršie palmy. Rotačný cyklus plantáže je časový úsek, po ktorom sú palmy vyrúbané a vysadené na novo. Tento proces trvá opäť určitý nenulový čas závislý na veľkosti plantážovej jednotky a maximálnom množstve presadených hektárov za rok. Osud dreva získaného z tohto procesu je simulovaný rovnako ako pri tom z pralesa. Plantáž sa skladá z úsekov, ktoré majú tak ako úseky pralesa svoje skladisko uhlíku. Pri premene pôdy pralesa na pôdu plantáže sa uvoľňujú určité emisie rovné rozdielu SOC. Následne začnú rásť palmy, ktoré zdieľajú vek v rámci plantáže. NPP sa mení s funkciou veku, ktorej vývoj sme aproximovali z dát získaných zo starších štúdií.



funkcia zmeny NPP palmovej plantáže v čase

Palmy staršie ako 3 roky začínajú rodiť a ich produkcia lineárne rastie do 8. roku života, kedy sa zastaví na maxime až po 20. rok života. Potom začne mierne klesať. Tento trend sme

získali zo štúdie zameranej na produkciu palmového oleja. (Lotte S.Woittiez, 2017), (Kian Pang Tan, 2014)

Využitie spracovateľného dreva

Z výrubu pralesa a na konci každého rotačného cyklu plantáže sa generuje priemyselne spracovateľné drevo. Toto je modelované vyššie spomenutým generovaním dĺžky života. Ak je drevo napr. spálené, použije sa na papier alebo sa nechá zhniť, jeho životnosť je krátka. Ak sa z neho ale vyrobí nábytok, uhlík v ňom ostane zafixovaný podstatne dlhšie.

Parameter určujúci generovanie životnosti je hrubý odhad, aký zlomok dreva sa v prvých pätnástich rokoch od výrubu opäť premení na uhlík v atmosfére. Z toho je vypočítané použité exponenciálne rozloženie pravdepodobnosti nasledujúcou úvahou:

Ak x je tento zlomok, pre exp. rozloženie p platí $\int_0^{15} p(t) dt = x$ a teda $\lambda = -\frac{\ln(1-x)}{15}$

Drevo z pralesa a palmové drevo má však rozdielnú využiteľnosť a preto majú obe vlastné rozloženie. Exponenciálne rozloženie sme zvolili, pretože najlepšie popisuje trvanie nezávislých javov v čase.

Overenie validity modelu

Validita modelu je vysoko závislá na validite získaných dát, na ktorých je založený. Validovali sme tak, že sme vykonali krátke jednoduché simulácie s očakávaným správaním a porovnali s nameranými hodnotami rôznych štúdií. Pretože model bol vytvorený syntézou viacerých štúdií, prihliadali sme na jednotlivé odchýlky v celom kontexte a usúdili, že model je validný.

Simulačné experimenty

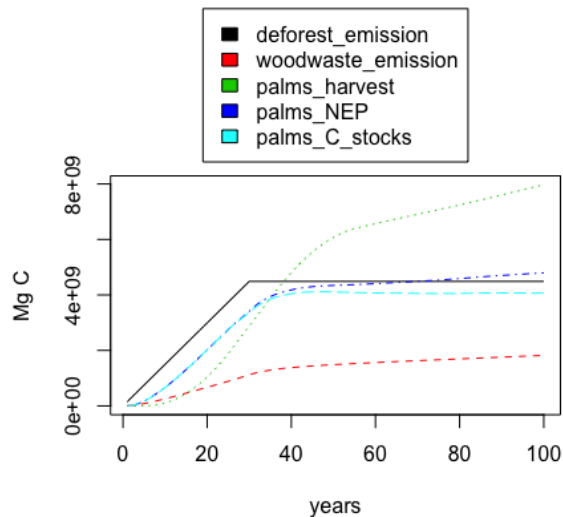
Obecný popis

Vykonali sme celkovo 6 experimentov, každý zameraný na iný detail. Všetky simulovali vývoj v priebehu 100 rokov, diskretný úsek plochy bol nastavený na 100 hektárov (1 km²).

Experimenty

Experiment 1

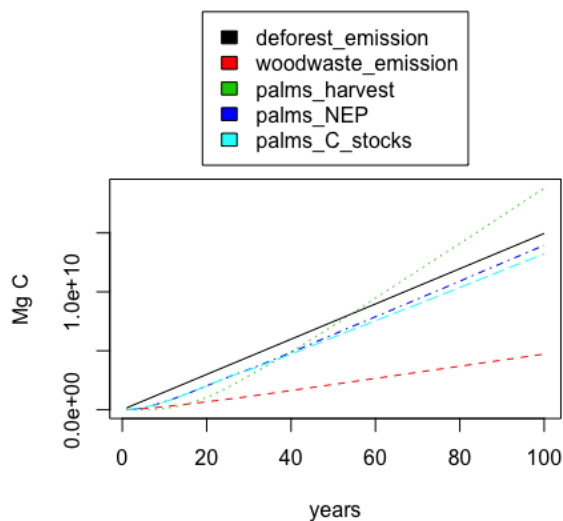
Simulovali sme transformáciu 30 miliónov ha pralesa na plantáže v priebehu 30 rokov. Toto je podľa viacerých zdrojov približný vývoj tohto procesu vo svete medzi rokmi 1980 až 2020. Veľkosť jednotky plantáže sme nastavili na 260 000 ha a maximálnu rýchlosť presádzania sme nastavili na 180 000 ha za rok. Rotačný cyklus bol nastavený na zaužívaných 25 rokov. Hrubý odhad spracovateľného dreva, ktoré sa do 15 rokov od výrubu zmení na uhlík v atmosfére sme nastavili na 80% pre prales a na 99% pre palmy z plantáží, keďže toto drevo sa väčšinou používa na biomasu pre jeho nízku priemyselnú využiteľnosť.



Experiment odhaduje vývoj, ak by sa v roku 2020 sa odlesňovanie a premena pralesa na plantáže zastavila.

Experiment 2

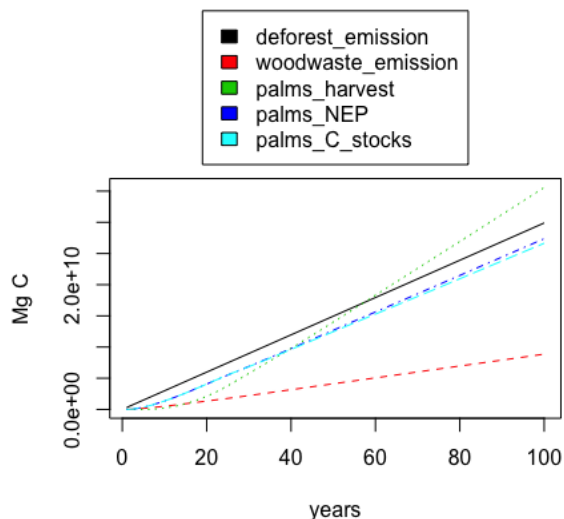
Simulovali sme transformáciu 100 miliónov ha pralesa na plantáže v priebehu 100 rokov, to znamená, že odlesňovanie prebiehalo rovnakým tempom ako v prvom experimente. Ostatné parametre sú zhodné s prvým experimentom.



Experiment odhaduje vývoj, ak by odlesňovanie a premena pralesa na plantáže pokračovala.

Experiment 3

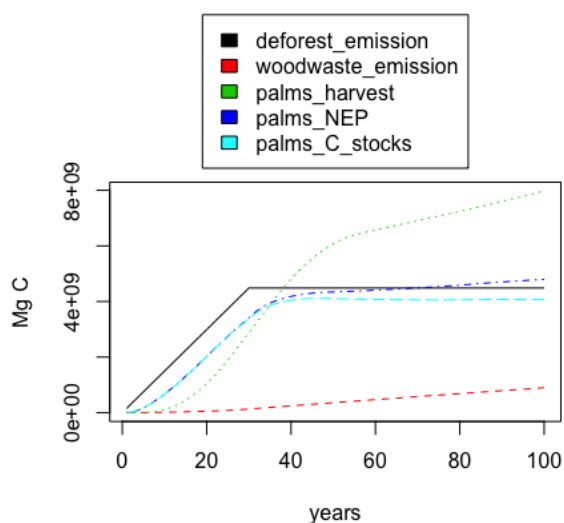
Simulovali sme transformáciu 200 miliónov ha pralesa na plantáže v priebehu 100 rokov, to znamená, že odlesňovanie prebiehalo polovičným tempom ako v predošlých experimentoch.



Experiment odhaduje vývoj, ak by odlesňovanie a premena pralesa na plantáže pokračovala a od začiatku by celý proces prebiehal polovičným tempom.

Experiment 4

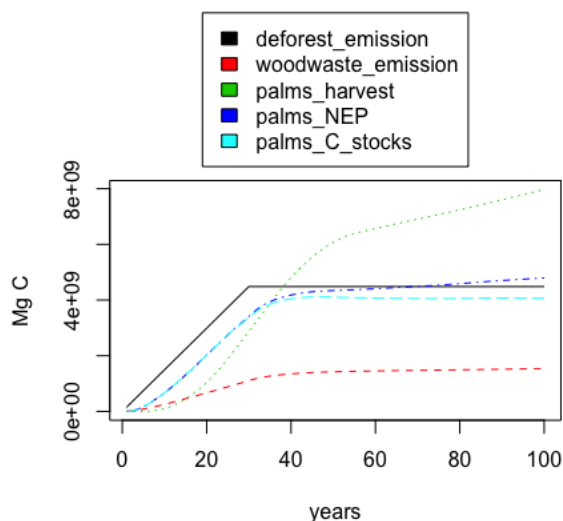
Simulovali sme maximálne využitie dreva z pralesa, nastavili sme odhad spracovateľného dreva, ktoré sa do 15 rokov od výrubu zmení na uhlík v atmosfére na 5%. Ostatné parametre sú rovnaké ako v prvom experimente.



Experiment odhaduje, do akej miery by maximalizácia využitia pralesného dreva, t.j. minimalizácia techník ako slash-and-burn (väčšina pralesa sa spáli), ovplyvnila uhlíkovú stopu z dlhodobého hľadiska.

Experiment 5

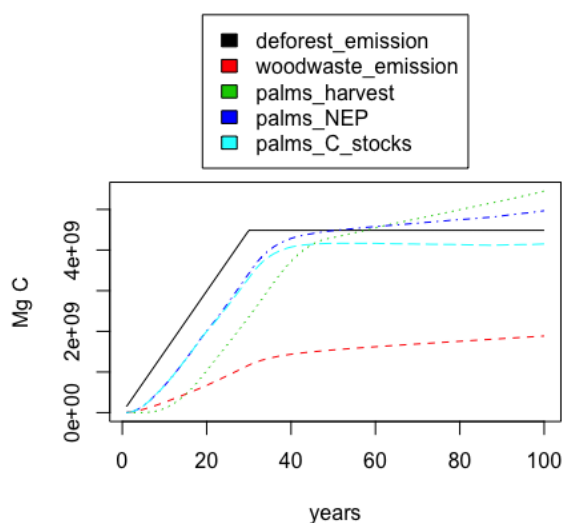
Simulovali sme maximálne využitie dreva z palmových plantáží, nastavili sme odhad spracovateľného dreva, ktoré sa do 15 rokov od výrubu zmení na uhlík v atmosfére na 10%. Ostatné parametre sú rovnaké ako v prvom experimente.



Experiment odhaduje, do akej miery by maximalizácia využitia palmového dreva, t.j. minimalizácia množstva použitého napr. na energiu, ovplyvnila uhlíkovú stopu z dlhodobého hľadiska.

Experiment 6

Simulovali sme kratšie rotačné cykly plantáží, nastavili sme ich na 18 rokov. Ostatné parametre sú rovnaké ako v prvom experimente.



Experiment odhaduje zmenu kratšieho rotačného cyklu oproti zaužívaným 25 rokom.

Zistenia plynúce z experimentov

Pri procese odlesňovania je uhlíková stopa priamo úmerná veľkosti odlesnenej plochy. Hodnota NEP paliem, t.j. prúdenia uhlíka z atmosféry do ekosystému zo začiatku rastie. Po cca 10 až 15 rokoch sa tento rast zastaví. Podobne je to aj s krivkou sumy uhlíka v úrode, avšak tá má kvadratický priebeh až do 30. roku.

Za predpokladu, že premena na plantáže prebieha celých 100 rokov, derivácia sumy NEP je rovná derivácii okamžitej emisie vzniknutej pri odlesňovaní, t.j. bez emisii zo získaného

dreva, ktoré sa uvoľňujú neskôr v závislosti od jeho využitia. Krivka vyprodukovanej úrody preťala krivku okamžitej emisie pri odlesňovaní cca po 50 rokoch.

Vo väčšine experimentov sme však simulovali zastavenie výrubu po 30 rokoch a následný proces pestovania paliem. Po zastavení výrubu sa s pár ročným oneskorením výrazne znížili hodnoty NEP a rastu sumy uhlíka v úrode a opäť sa stabilizovali na konštantnej hodnote. Krivka vyprodukovanej úrody preťala krivku okamžitej emisie pri odlesňovaní cca po 35 rokoch. V experimente s kratším rotačným cyklom sa však tento prienik opäť nachádzal v čase 50. roku aj napriek zastaveniu ťažby. V tomto experimente bol síce prienik NEP s okamžitou emisiou dosiahnutý o 20 rokov skôr ako pri 25 ročnom cykle, produkcia plodov bola nesmierne nízka.

Uhlík nahromadený v biomase plantáží bol ako sme očakávali, vždy rovný sume NEP až do konca prvého rotačného cyklu na prvej vysadenej jednotke plantáže. Následne sa pomaly začali tieto dve hodnoty rozchádzať. V prípade neprerušenej ťažby táto krivka rástla o niečo pomalšie ako suma NEP. V experimentoch kde sa ťažba prerušila sa toto množstvo uhlíka stabilizovalo na konštantnej hodnote a výrazne sa už nezmenilo.

Najúspešnejšie sa nám podarilo znížiť uhlíkovú stopu minimalizáciou dreveného odpadu z odlesňovania. Emisie vznikajúce z tohto dreva boli na konci simulácie polovičné v porovnaní s experimentami kde sa k drevu pristupovalo nehospodárne. Pri využití palmového dreva rozdiel síce bol, ale nebol tak významný a prejavil sa len na konci simulácie.

Rozhodne najviac uhlíka sa však vo všetkých experimentoch premenilo na plody a opustilo systém ako surovina na výrobu palmového oleja.

Zhrnutie a záver

Pokiaľ sa premena dažďového pralesa nezastaví, emisie spojené s ťažbou aj pestovaním paliem budú rásť. Palmy však po čase začnú tieto emisie kompenzovať vďaka kladným hodnotám NEP. Najväčší vplyv na to kedy a či vôbec tieto plantáže dokážu splatiť svoj uhlíkový dlh je osud palmového oleja z ich plodov. Proces jeho výroby ako aj následné využitie sme nesimulovali. Dá sa však predpokladať že ak je tento olej použitý prevažne na biopalivá, môžeme očakávať že väčšina uhlíka z plodov sa dostane do atmosféry veľmi rýchlo po ich vzniku. Teda práve táto premenná a to spôsob využitia palmového oleja, má najväčší vplyv na celkové emisie nami simulovaného procesu. Táto premenná určuje kedy a či vôbec je možné aby tieto palmové monokultúry vyrovnali svoju uhlíkovú stopu. Toto isté platí aj keď by sa ťažba zastavila.

Najvýraznejšia zmena uhlíkovej stopy zo samotného odlesňovania bolo využitie dreva, to dokonca dokázalo uhlíkovú stopu znížiť približne tak, že keby došlo aj k spáleniu všetkého vyprodukovaného oleja, celková uhlíková stopa bude po 100 rokoch veľmi blízka nule. Otázne však je, na koľko je takýto scenár uskutočniteľný po finančnej aj technickej stránke. Efektívnejšie využitie vyťaženého dreva z dažďového pralesa však môže výrazne znížiť uhlíkovú stopu.

Uhlík a jeho kolobeh v prírode je nekonečný cyklus, kde organizmy vznikajú z uhlíka a uhlík sa opäť uvoľňuje skrze organické procesy. Prúdi medzi atmosférou a ekosystémami. Zistenia z našej štúdie sa vzťahujú na proces zmeny jedného ekosystému na iný. Tento proces je v dlhodobom horizonte za predpokladu, že je so získanou biomasou zachádzané tak, aby sa

minimalizovala uhlíková stopa z jej použitia, uhlíkovo neutrálny či dokonca pozitívny (pohlčuje uhlík). No aj takéto „produktívne“ odlesňovanie je v konečnom dôsledku zodpovedné za znižovanie biodiverzity života na zemi a mnoho ďalších negatívnych dopadov na prírodu. To už je však nad rámec tejto štúdie.

Bibliography

- Fitri Nurfatriani, R. G. (2018). *Replanting the oil palm to save forests*. Načteno z <https://forestsnews.cifor.org/58240/replanting-the-oil-palm-to-save-forests?fnl=en&fbclid=IwAR0of3Eik3DpUzgi420KfY8TAeVvDXN4UGqsco2nsPhbPbDFCEM8bwFPQCw>
- Kian Pang Tan, K. D. (2014). *On the upstream inputs into the MODIS primary productivity products using biometric data from oil palm plantations*. Načteno z https://www.researchgate.net/publication/259928915_On_the_upstream_inputs_in_to_the_MODIS_primary_productivity_products_using_biometric_data_from_oil_palm_plantations?fbclid=IwAR2VU9a3dD-CnErUWZe8APK2pPoP-igmFoSRHYMxznGkGJVT7DeW0uZc-W4
- Lotte S.Woittiez, M. T. (2017). *Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors*. Načteno z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030116302131?fbclid=IwAR2evW-gN4Cs55RI1aCbvJs-dQrnM4iX1JA31wFIYFlzidqI-o44O6sqWuw#fig0015>
- Thomas Guillaume, M. M. (2018). *Carbon costs and benefits of Indonesian rainforest conversion to plantations*. Načteno z <https://www.nature.com/articles/s41467-018-04755-y>
- What is slash and burn farming?* . (nedatováno). Načteno z <https://www.rainforestsaver.org/what-slash-and-burn-farming?fbclid=IwAR1UpXiqqZFW9NhjdassZXGbc7BZooEb6eWqSMih6r6aJ7vkWzsQF9l8eN8>
- Woodward, F. (2007). *Global primary production* . Načteno z [https://www.cell.com/current-biology/comments/S0960-9822\(07\)00893-7?fbclid=IwAR3FJ5G7YfJqu0i80WLLvlylN_5TEs9HRY9JskpGSYmwbJb9cHGUGepG_XQ](https://www.cell.com/current-biology/comments/S0960-9822(07)00893-7?fbclid=IwAR3FJ5G7YfJqu0i80WLLvlylN_5TEs9HRY9JskpGSYmwbJb9cHGUGepG_XQ)