1. Identifikace plodin s využitím DPZ

Identifikace a prostorová lokalizace vybraných zemědělských plodin s využitím nástrojů a dat dálkového průzkumu Země

Kateřina Zelenková, Daniel Žížala

VÚMOP, v.v.i.

2020

Seznam použitých zkratek

AOT	Aerosol Optical Thickness – optická tloušťka aerosolu
API	Application Programming Interface – Rozhraní pro programování aplikací
BOA	Bottom of atmosphere – reflektance na úrovni zemského povrchu
CNES	Centre National d'Études Spatiales – Národní centrum kosmického výzkumu
CollGS	Sentinel Collaborative Ground Segment – Spolupracující pozemní segment Sentinel
ČR	Česká republika
DPB	Díl půdního bloku LPIS
DPZ	Dálkový průzkum Země
ESA	European Space Agency – Evropská kosmická agentura
EVI	Enhanced vegetation index – optimalizovaný vegetační index
ISRO	Indian Space Research Organisation – Indická kosmická agentura
LAI	Leaf Area Index – index listové plochy
LPIS	Land Parcel Identification System – registr půdy pro farmáře
MSI	Multispectral Instrument – Multispektrální sensor družice Sentinel 2
MZe	Ministerstvo zemědělství
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – Normalizovaný diferenční vegetační index
NN	Nearest Neighbour – nejbližší soused
ROI	Region Of Interest – zájmová území
S2A	data pořízená družicí Sentinel 2A
S2B	data pořízená družicí Sentinel 2B
SCL	Scene classification – klasifikace scény Sentinel 2
SNAP	Sentinel Application Platform – platforma (software) pro aplikace nad daty Sentinel
SVMs	Support Vector Machines
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
UTM	Universal Transverse Mercator – koordinační systém UTM, Mercatorovo válcové konformní zobrazení
VI	vegetační indexy
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
WV	Water Vapour – vodní pára

Obsah

1 Úvod 5
2 Možnosti mapování vegetace s využitím DPZ 5
2.1 Specifické vlastnosti sledování zemědělských plodin 6
2.2 Typy dat vhodných pro analýzu zemědělských plodin 11
2.2.1 Multispektrální data 12
2.2.2 Data z družic Sentinel-2 14
2.3 Metody analýz multispektrálních dat 17
2.3.1 Vegetační indexy 18
2.3.2 Klasifikace obrazu 18
2.4 Postup zpracování dat Sentinel-2 20
2.4.1 Výběr zájmového území a příprava dat 21
2.4.2 Předzpracování dat Sentinel 2 26
2.4.3 Řízená klasifikace 30
2.4.4 Možnosti identifikace a lokalizace vybraných plodin pro celé území ČR 34
2.5 Aplikace metodiky na zájmovém území 35
3 Seznam použité související literatury 40

1 Úvod

Způsoby získávání informací o typu, lokalizaci a výměře zemědělských plodin jsou tradičně založeny spíše na statistických metodách a časově a finančně náročných terénních šetřeních. Dálkový průzkum Země (DPZ) nabízí možnost získání relativně přesné prostorové informace o pěstovaných plodinách časově i finančně efektivním způsobem. Identifikace zemědělských plodin je v současné době již významnou aplikací v dálkovém průzkumu Země. Vedle získávání prostorové informace o plodinách je možné i určení kvalitativních parametrů vegetačního porostu (zdravotního stavu vegetace). Metody DPZ jsou v dnešní době v zemědělství dále využívány například pro stanovení produkce plodin, mapování úrodnosti půdy, identifikaci poškození porostů vegetace a monitorování agrotechnických zásahů na pozemcích. Evidence plodin na národní úrovni s využitím dat DPZ představuje důležitý a přínosný nástroj pro efektivní sledování zemědělské praxe téměř v reálném čase.

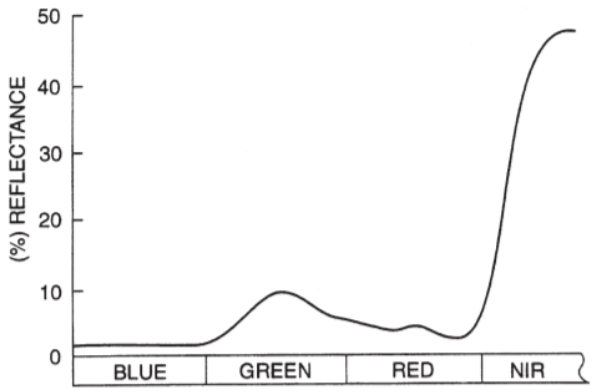
Metody digitálního pořizování dat DPZ pro identifikaci zemědělských plodin zahrnují zejména letecké, družicové a bezpilotní snímání. Volba způsobu mapování plodin závisí na požadavcích na prostorové rozlišení, velikosti zájmového území, včasnosti provedení průzkumu a v neposlední řadě na ceně. Mapování zemědělských plodin a kvantifikace nadzemní biomasy je nejčastěji založena na analýze časové řady multispektrálních družicových dat vysokého rozlišení.

Obrázek 1: Příklady využití DPZ v zemědělství – bezpilotní průzkum, letecké snímkování a družicový monitoring (převzato z Lukas et al., 2017).

Cílem metodiky je představit optimální a jednoduché postupy pro prostorovou lokalizaci a identifikaci hlavních zemědělských plodin s využitím zdarma dostupných družicových a dalších podpůrných dat na území České republiky. Ověřit použitelnost navržené metodiky na vybraném zájmovém území v regionálním měřítku. Metodika představuje základní postupy zpracování dat, které jsou rozšiřitelné v čase (sledování plodin v jiných letech a obdobích), prostoru (další zemědělské oblasti nebo celé území České republiky) i spektru plodin (rozšíření na další plodiny s menším zastoupením).

2 Možnosti mapování vegetace s využitím DPZ

Většina aplikací DPZ pro studium vlastností vegetace vychází ze znalosti spektrálních charakteristik listů rostlin, které jsou z tohoto pohledu nejvýznamnějším rostlinným orgánem. Záření ve viditelné části spektra



je ovlivněno především výrazně silnou absorpcí rostlinných fotosynteticky aktivních pigmentů, jako jsou karotenoidy, xantofyly a hlavně chlorofyly. Pohlcování záření chlorofylem je nejintenzivnější v modré a červené části viditelného záření a méně intenzivní v zelené části kolem 550 nm. V oblasti kolem 700 - 800 nm dochází k výraznému nárůstu odrazivosti a v blízké infračervené části spektra 700 – 1300 nm je tato odrazivost formována především uspořádáním buněk těch částí rostlin, které jsou nejvíce vystaveny dopadajícímu slunečnímu záření – tedy odrazivostí listů (Obrázek 2). Vzhledem k tomu, že buněčná struktura různých druhů rostlin je odlišná, také jejich odrazivost se liší a toho lze využít pro rozpoznávání druhů (skupin) plodin. Ve střední infračervené oblasti se projevují silné absorpční pásy vody (okolo 1200, 1450, 1940 a 2500 nm) a také dalších látek obsažených v rostlinách (lignin, celulóza, škrob, proteiny či dusík) (Halounová a Pavelka, 2008).

Obrázek 2: Spektrální odrazivost rostlin v oblasti viditelného a infračerveného záření (Campbell et al. 2002)

Naznačené obecné rysy spektrálního chování vegetace bývají modifikovány v důsledku vývoje rostlin a mění se také v důsledku stresů, kterým může být porost vystaven. Z pohledu identifikace zemědělských plodin je velmi důležitý fenologický vývoj dané plodiny, který v sobě odráží specifika, díky kterým je možné danou plodinu identifikovat. Každá vývojová fáze plodiny ovlivňuje její spektrální projev na leteckých a satelitních datech.

2.1 Specifické vlastnosti sledování zemědělských plodin

Sledování vývoje zemědělských plodin v čase a prostoru je důležité z hlediska analýz potravinové soběstačnosti, zemědělské praxe, zastoupení a pestrosti jednotlivých plodin i rozmanitosti krajiny. Pro úspěšné sledování zemědělských plodin jsou klíčová data s vysokým prostorovým a časovým rozlišením. Biologické životní cykly plodin mají výrazné sezónní vzorce. Pro úspěšnou identifikaci plodin z materiálů DPZ je klíčové zachycení všech důležitých fází vývoje plodiny, tedy analýza časové řady dat za účelem určení období, kdy je možné jednotlivé plodiny od sebe navzájem co nejlépe odlišit. Každá plodina má své typické fenologické fáze, které charakterizují její vývoj v průběhu vegetačního období od setí přes zrání až po sklizeň (Obrázek 3). V každé fenofázi má plodina různé charakteristické znaky a spektrální projevy, které lze pozorovat na družicových snímcích.

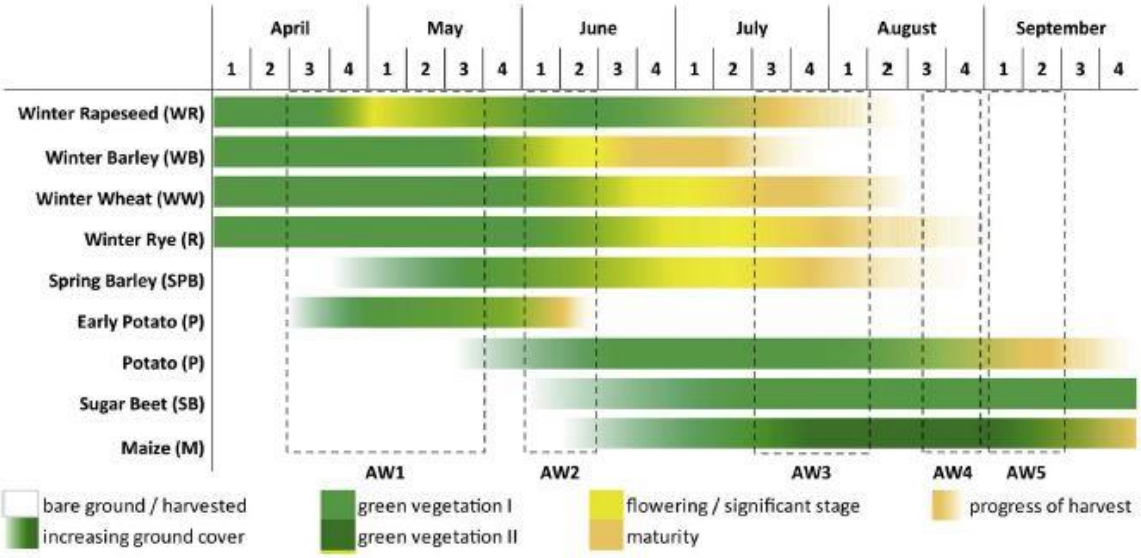
Základní parametry dat Dálkového průzkumu Země:

Prostorové rozlišení → vzdálenost na zemském povrchu (v m nebo km), který definuje 1 obrazový pixel.

Spektrální rozlišení → v jaké části elektromagnetického spektra jsou data snímána – rozsah a počet pásem.

Časové rozlišení → perioda snímání, jak často jsou data pořizována pro dané území.

Inglada et al. (2016) používají termín hustá časová řada v případě, kdy sledujeme a snímáme data o vývoji zemědělských plodin s intervalem dva a více obrazových dat za jeden měsíc. V závislosti na konkrétních plodinách definujeme období, která jsou vhodná pro pořízení a analýzu snímků. Pokud máme k dispozici větší množství dat, můžeme lépe sledovat dynamiku vývoje plodin a také máme na výběr v případě, že některé snímky nelze použít (např. z důvodu výskytu oblačnosti).

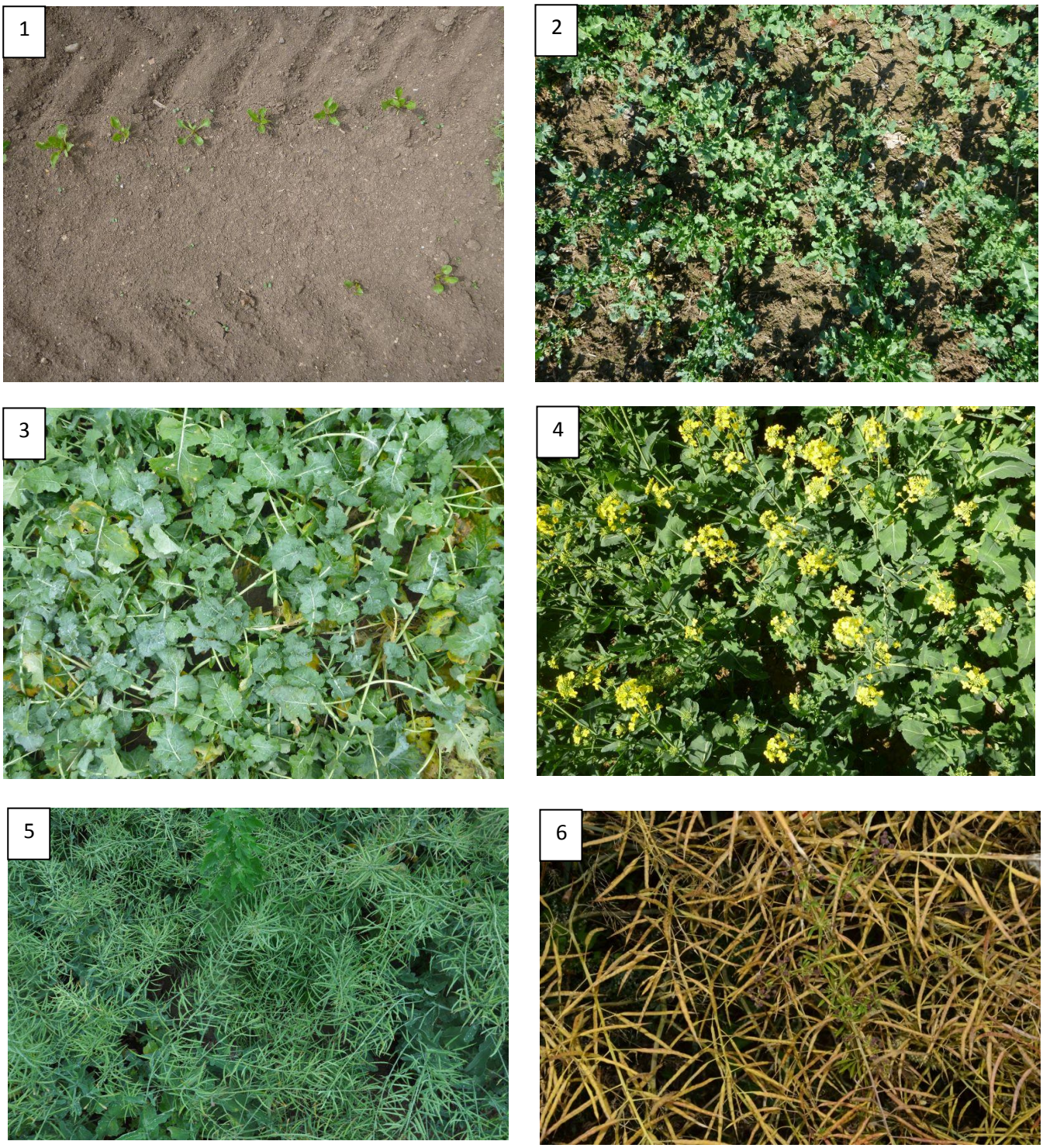


Obrázek 3: Model fenologie hlavních druhů plodin v povodí řeky Rur (Německo) v kombinaci s jejich předpokládanou detekcí a odlišením s využitím optických dat DPZ. Obdélníky vymezené čárkovanou čarou vymezují vhodná období pro sběr dat (Waldhoff et al.,2017).

Waldhoff et al. (2017) uvádějí vybraná období významných fenologických fází vhodných pro sledování a identifikaci plodin, mezi nimi např. následující:

- Polovina dubna až konec května (přibližně v období 15. 4. - 25. 5.)
    - řepka – fáze kvetení
    - zimní obilniny
    - holá půda (letní obilniny)
    - rané brambory
- Začátek června až polovina června (přibližně v období 1. 6. – 15. 6.)
    - odlišení pšenice ozimé a ječmene ozimého
    - letní obilniny (jařiny)
    - brambory
- Polovina července až začátek srpna (přibližně v období 15. 7. – 1. 8.)
    - Sklizeň ječmene ozimého
    - Možnost odlišení brambor, cukrové řepy

- 2. polovina srpna (přibližně v období 15. 8. - 31. 8.)
    - Sklizeň: řepka, pšenice ozimá, žito ozimé
    - Sklizeň ječmene jarního (zejména v jižní oblasti)
    - odlišení kukuřice, cukrové řepy a brambor od ostatních plodin
- 1. polovina září (přibližně v období 1. 9. – 15. 9.)
    - odlišení kukuřice, cukrové řepy a brambor



Obrázek 4: Hlavní fáze růstu řepky ozimé: 1 - fáze růstu, bez zapojení, 2 - fáze růstu, částečné zapojení, 3 - fáze růstu, plné zapojení, 4 - fáze kvetení, 5 - fáze dozrávání, 6 - fáze před sklizní; foto VUMOP

2.2 Typy dat vhodných pro analýzu zemědělských plodin

Z hlediska principu získávání obrazové informace metodami DPZ rozeznáváme dva hlavní typy dat. Jedná se o optická a radarová data. Optická data měří odražené sluneční záření ze zemského povrchu a na něm umístěných objektech. Jelikož je zdrojem světla, respektive elektromagnetického záření, sluneční energie (případně záření emitované povrchem), hovoříme o tzv. pasivních systémech. Optická data jsou nejvyužívanějším typem dat v rámci sledování zemědělských plodin. Aktivní systémy využívají naopak vlastní zdroj energie, který vysílají směrem k povrchu a následně měří zpětně odražené záření. Nejčastější takové systémy využívají mikrovlnné záření na vlnové délce 1 mm až 1 m. Radarová data nejsou na rozdíl od dat optických limitována oblačností vzhledem k faktu, že je využíváno záření o nižší frekvenci, a tedy delší vlnové délce a jeho signál prostupuje i skrze oblačnost. Zpracování a interpretace radarových dat však má, vzhledem k parametrům jejich získávání, svá specifika a je odlišná od zpracování optických dat. Podle typu nosiče, na kterém jsou upevněny senzory, rozlišujeme obecně data DPZ na letecká nebo družicová. Podrobnější dělení dat podle typu senzorů je v (Tabulka 1).

Tabulka 1 Přehled dat využívaných pro výzkum zemědělských plodin s využitím Dálkového průzkumu Země podle typu senzorů; zdroj: autoři

Typ pořízení dat	Použití dat pro mapování zemědělských plodin podle dostupné vědecké literatury	Aplikace
PASIVNÍ SENZORY		
Optické hyperspektrální senzory	spíše lokální studie	Kvantifikace nadzemní biomasy (např. Zemek 2014); lokální mapování
Optické senzory – multispektrální a superspektrální	ano	Určování druhů plodin - identifikace plodin, stav porostů, statistika pro zemědělské plochy s pěstovanými plodinami; Monitorování vývoje plodin a odhady zemědělské produkce - předpověď výnosů atd. ; Precizní zemědělství - stav růstu plodin, mapy výnosového potenciálu atd.
Panchromatické nebo barevné senzory (zejména letecké a bezpilotní)	méně	Jedná se často o doplňková data k jiným datům (např. multispetrálním) a pro potřeby analytiků při interpretaci/určování plodin
Termální senzory	středně, spíše lokální studie	Hodnocení vegetačního stresu plodin
Pasivní mikrovlnné senzory	spíše ojediněle	
AKTIVNÍ SENZORY		
Radarová data - Synthetic Aperture Radar (SAR)	ano	Určování druhů plodin - identifikace plodin, stav porostů, statistika pro zemědělské plochy s pěstovanými plodinami; často k kombinaci s optickými daty (při nedostatku bezoblačných dat a pro zlepšení přesnosti); zjišťování vlhkosti půdy
Altimetr (výškoměr)	spíše ojediněle	Odhady produkce plodin

Vědecké práce zaměřující se na analýzu plodin se věnují jak optickým, tak radarovým datům. Zejména v posledních letech se výzkum zaměřuje na využití obou typů dat současně (Lussem et al. 2016; Inglada et al. 2016). Často ale přinášejí závěry, že výsledky získané analýzou těchto typů dat, resp. jejich kombinací, nejsou zatím dostatečně ověřeny a potvrzeny (Lussem et al. 2016; Inglada et al. 2016). Pro mapování plodin v regionálním měřítku (větší než 1000 km^2) jsou multispektrální optická data s vysokým rozlišením (cca 10-30 m) stále nejvhodnější volbou. Nicméně, řada studií demonstruje potenciál radarových technologií (SAR) (Bargiel a Herrmann 2011; Hütt a kol. 2016; McNairn a kol. 2014) a jejich kombinace s optickými daty (Blaes

et al. 2005; Forkuor et al. 2014, Lussem a kol. 2016) a dalšími relevantními podpůrnými daty pro mapování zemědělských plodin.

Přístup, kdy byla využita kombinace různých dat, představil např. projekt CzechAgri, na kterém se podílela česká firma GISAT s.r.o. Zpracovány byly časové řady optických dat Sentinel-2, Landsat 7 a Landsat 8 a radarových dat Sentinel-1. Dále byla využita data LPIS, data o deklaraci plodin a data pořízená pozemním průzkumem v různých částech České republiky. Výsledkem jsou mapy plodin na národní úrovni pro roky 2015 a 2016.

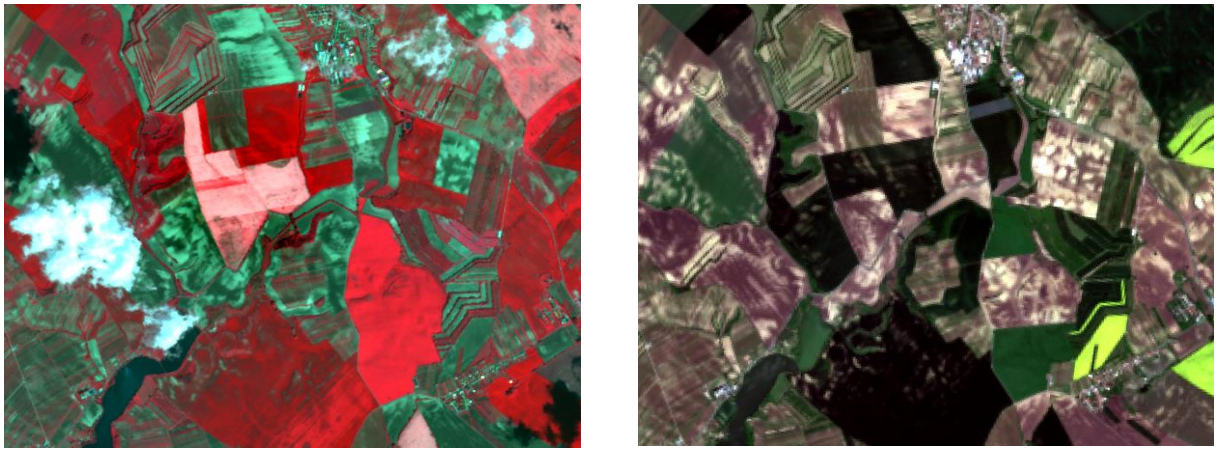
Další studie se věnují mapování vegetace s využitím hyperspektrálních dat, tedy optických dat s velkým spektrálním rozlišením (desítky úzkých spektrálních pásem). Hyperspektrální senzory jsou většinou využívány na leteckých nosičích, nicméně jsou dostupné i senzory na družicích, zatím spíše experimentálně.

Tato metodika je primárně zaměřena na využití optických dat pro lokalizaci a identifikaci vybraných hlavních zemědělských plodin pěstovaných v České republice. Proto se využití jiných zmíněných dat (radarová, hyperspektrální, atd.) věnujeme pouze okrajově.

2.2.1 Multispektrální data

V posledních třiceti letech hrála multispektrální data při mapování zemědělských plodin, predikci zemědělských výnosů a odhadech množství nadzemní biomasy důležitou roli. Kombinace relativně vysokého časového rozlišení spolu s nízkými pořizovacími náklady a snadnějším zpracováním je výhodná při použití na regionální a národní úrovni.

Optická data s nízkým prostorovým rozlišením (v řádu stovek metrů na obrazový bod) jsou k dispozici od 70. let 20. století, příkladem je několik současných i plánovaných misí jako je MODIS (Sakamoto et al. 2005; Wardlow et al. 2007; Vuolo et al. 2012), SPOT-VGT (Dubreuil, Arvor, & Debortoli, 2012; Nguyen et al. 2012), Proba-V nebo Sentinel-3, které zajišťují kontinuitu dat pro dalších 10 až 20 let (Atzberger & Rembold, 2013). Velký počet vědeckých prací s cílem mapovat zemědělské plodiny analyzuje data AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) družice NOAA (Reed et al. 1994; Atzberger a Rembold 2013; Xie et al. 2008;



Obrázek 5: Ukázka optických dat pořízených družicí SPOT 5 v nepravých barvách (vlevo) a družicí Sentinel 2 v pravých barvách (vpravo)

Vina et al. 2004).

Pro mapování plodin v regionálním měřítku (větší než 1000 km^2) jsou stále nejvhodnější volbou multispektrální optická data se středním nebo vysokým prostorovým rozlišením (velikost jednoho pixelu je přibližně 10-30 m) (Waldhoff et al. 2017), v některých případech i data s velmi vysokým prostorovým rozlišením 4 m jako jsou komerční data PlanetScope (přes 120 malých satelitů).

Velmi často jsou využívána data pořízená v rámci programu Landsat (Reed et al. 1994; Simonneaux et al. 2008), jehož největší výhoda spočívá v dlouhé časové řadě kontinuálního pořizování dat. Dále byla využívána data mise SPOT (Waldhoff et al. 2017, Nguyen et al. 2012) nebo data s velmi vysokým rozlišením např. z družice RapidEye (Waldhoff et al. 2017). Na druhé straně jsou data s vysokým rozlišením limitována velikostí území, které zachycuje jeden snímek, a obvykle i nižší periodou snímání v řádech několika dní (např. u Landsat je to 16 dní). Může tak nastat situace, že v zájmovém území nebudou k dispozici využitelná data zrovna v období, které je důležité pro rozlišení některých plodin. Data s nižším časovým rozlišením jsou proto méně vhodná pro identifikaci a lokalizaci zemědělských plodin.

Pro úspěšné sledování zemědělských plodin jsou vhodná data s vysokým prostorových rozlišením a zároveň s vysokým časovým rozlišením. Tyto podmínky splňují např. data pořízená dvojicí družic Sentinel-2, která jsou využita i pro analýzy popsané v této metodice. Jedná se o volně dostupná data v rámci evropského programu Copernicus, která jsou poskytována od roku 2015.

Tabulka 2: Hlavní charakteristiky vybraných optických senzorů umístěných na družicích; zdroj: Orynbaikyzy et al. 2019

Mise	Doba trvání mise	Provozovatel	Pásma	rozsah vlnových délek [µm]	prostorové rozlišení [m]	Velikost scény [km]	výška oběhu nad Zemí [km]	Perioda obletu [dní]
Landsat*8	2013-nyní	USGS & NASA	8MS + 1Pan + 2Ter	0.43–12.51	MS: 30; Pan:15;Ter: 100	170 x 185	705	16
SPOT*[5]	1986-nyní	CNES	3MS + 1Pan + 1SWIR	0.49–1.75	MS:10; Pan:5;SWIR: 20	60 x 60	832	26
RapidEye	2008-nyní	BlackBridge AG	5MS	0.44–0.85	MS:5	77 x 77	630	5.5
IRS*[1]	1988-nyní	ISRO	4MS + 1Pan + 2SWIR	0.52–1.70	MS: 23.5; Pan:5.8;SWIR:70	141 x 141	817	24
Terra MODIS	1999-nyní	NASA	4MS + 3SWIR	Band 1–7: 0.45–2.15	Band 1–2:250; Band 3–7:500	10 x 10	705	16
QuickBird	2001–2015	DigitalGlobe	4MS + 1Pan	0.45–0.9	MS:2.90;Pan:0.65	16.8 x 16.8	450	3,5
Thaichote	2007-nyní	Thajsko - Ministerstvo pro vědu a agentura pro vesmírné technologie	4MS + 1Pan	0.45–0.9	9 MS:15;Pan:2	22 x 22	822	3-nad územím Thajska
Kompsat*[2]	1999-nyní	Korejský výzkumný institut pro letectví a vesmír	4MS + 1Pan	0.45–0.9	MS: 1; Pan: 4	15 x 15	685	3
Sentinel-2	2015-nyní	ESA	10MS + 3SWIR	0.443–2.19	4 pásem – 10; 6 pásem – 20;3 pásma – 60	dlaždice: 100x100	786	5

pozn. *n – čísla jsou uvedena pro n-tou satelitní řadu mise; MS = multispektrální; Pan = panchromatické (jednopásmové), SWIR = oblast blízkého infračerveného záření; Ter = termální

Výhody použití multispektrálních dat (viz tab. 2) spočívají především v jejich volné dostupnosti (data z družic Landsat a Sentinel-2 jsou pro nekomerční účely poskytována zcela zdarma), v pořizování dat kontinuálně v relativně krátkých periodických intervalech, a také v širokém prostorovém záběru dat. Využití optických dat má i své limity. Hlavním z nich je výskyt oblačnosti.

Družice snímají sluneční záření odražené od zemského povrchu. V případě výskytu oblačnosti v atmosféře toto záření může projít pouze částečně nebo vůbec (záleží na typu oblačnosti). V takových místech jsou pak zobrazená data zkreslena nebo znehodnocena, resp. nenesou informaci o hodnotách záření odraženého od zemského povrchu (nelze je využít pro analýzy).

Dalším omezením může být podobnost spektrálních projevů jednotlivých typů plodin, zejména na začátku sezóny – na konci měsíce března a na začátku dubna (Lussem et al. 2016). Mapu ozimých plodin (např. pšenice ozimá, žito ozimé, ječmen ozimý a řepka ozimá) ve střední Evropě lze obvykle získat pomocí dat optického DPZ v období od konce dubna do začátku května za podmínky pokrytí celé sledované oblasti bezoblačnými snímky. Tyto předpoklady nemusí být každý rok splněny. Pokud je dostupnost optických dat omezena, kombinace s daty radarovými může být vhodným řešením.

Před analýzou plodin je nezbytné provést předzpracování satelitních snímků s cílem odstranění šumu a zvýšení interpretační schopnosti obrazových dat (atmosférické korekce), georeferenci (geometrické korekce) a koregistraci (sjednocení prostorového umístění obrazových dat pořízených v různých časových obdobích), obzvláště v případě multitemporálních analýz (Xie et al. 2008).

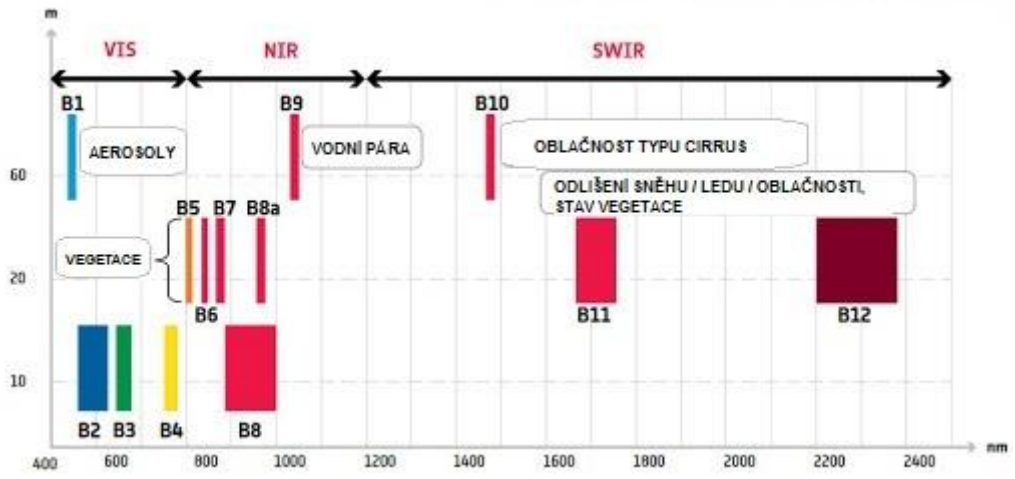
2.2.2 Data z družic Sentinel-2

Data všech misí Sentinel jsou poskytována v rámci evropského vesmírného programu Copernicus, jedná se o společný projekt Evropské kosmické agentury a Evropské komise. Data mise Sentinel-2 jsou primárně dostupná na webu Sentinels Scientific Data Hub (https://scihub.copernicus.eu/). Po registraci jsou dostupná všem uživatelům ke stažení zdarma. V ČR lze pro stahování dat využít tzv. CollGS – spolupracující pozemní segment Sentinel, který zajišťuje dostupnost dat Sentinel pro uživatele z ČR a také např. dlouhodobou archivaci dat pokrývajících území ČR. Na provozu CollGS se podílí Ministerstvo dopravy ČR a Cesnet pod záštitou ESA. Tabulka 3 uvádí hlavní technické specifikace senzoru MSI (Multi Spectral Instrument), které nesou družice tandemu Sentinel-2. Vzhledem k tomu, že první družice Sentinel se již blíží ke konci své plánované životnosti, probíhá vývoj nových družic, které budou mít stejné parametry jako ty stávající a postupně je nahradí.

Tabulka 3: Technické specifikace družic Sentinel-2 a senzoru MSI; zdroj: ESA

Charakteristika družic Sentinel	
Start	06/2015 (S2A), 07/2016 (S2B)
Dráha	polární slunečně synchronní (10:30 DN), inklinace 98,5°, výška 786 km
Perioda	jedna družice: 10 dní; obě družice: rovník 5 dní, Evropa a Kanada 2-3 dny
Životnost	7 let, palivo na 12 let
Archiv od	červen 2015
Charakteristika senzoru MSI (Multi Spectral Instrument)	
Typ dat	optická
Typ senzoru	multispektrální
Počet spektrálních pásem	13 (443-2190 nm; 4 VIS, 6 NIR, 3 SWIR)
Prostorové rozlišení	10 m, 20 m, 60 m (v závislosti na spektrálním pásmu)
Záběr senzoru	290 km
Úhel pohledu	20,6°

Dvojice družic Sentinel-2 pořizuje optická multispektrální data ve třech různých prostorových rozlišeních: 10 m, 20 m a 60 m. Data jsou snímaná s periodou 5 dní ve třinácti různých spektrálních pásmech, (Obrázek 6).



Obrázek 6: Spektrální a prostorové rozlišení dat Sentinel-2; zdroj:http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel-2_ESA_Bulletin161.pdf

Tabulka 4: Spektrální pásma senzoru MSI, umístěného na dvojici družic Sentinel-2A a Sentinel-2B; zdroj: ESA, autoři

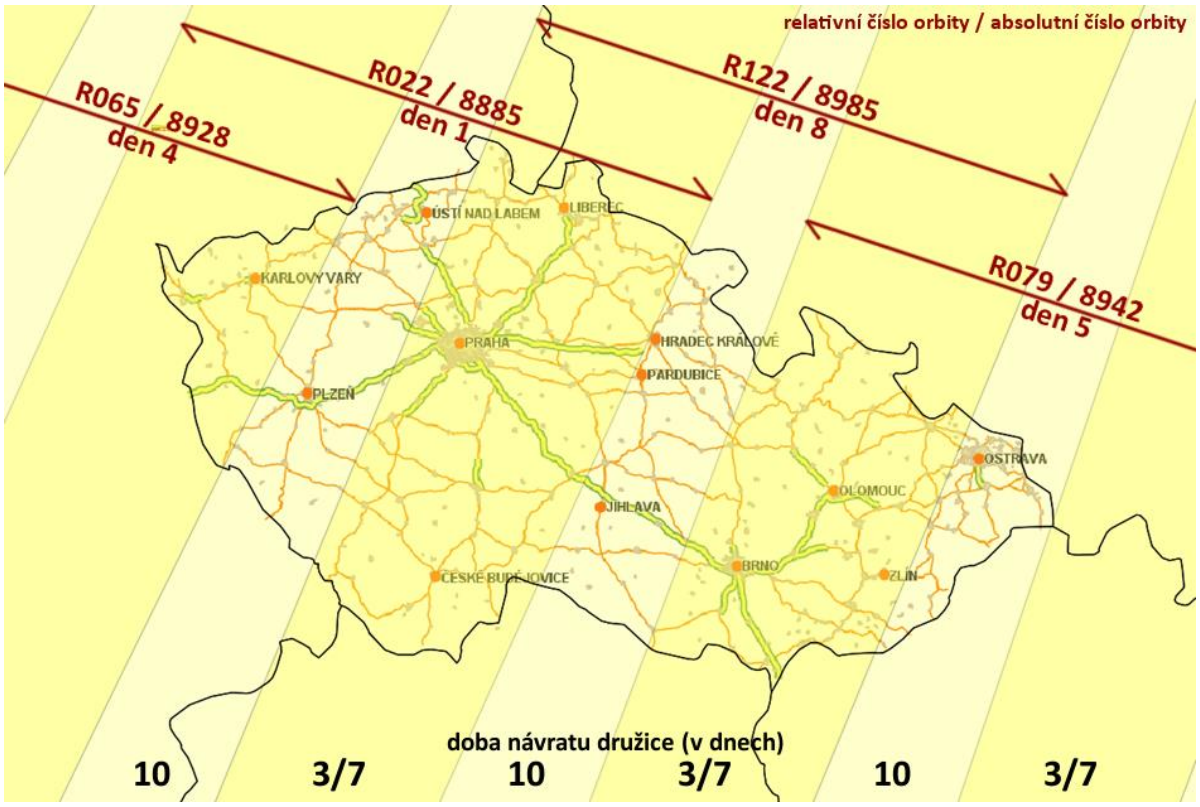
Prostorové rozlišení (m)	Pásmo	Název	Střední vlnová délka (nm)	Šířka pásma (nm)	Signal-to-noise (SNR)	Účel při tvorbě produktu úrovně L2
60	B01	Aerosols	443	20	129	Atmosferické korekce – korekce aerosolů
10	B02	Blue	490	65	154	Citlivé na vegetaci, rozptyl aerosoly
10	B03	Green	560	35	168	Citlivý na celkový chlorofyl ve vegetaci, tzv. green peak
10	B04	Red	665	30	142	Maximální absorpce chlorofylem
20	B05	Red Edge 1	705	15	117	-
20	B06	Red Edge 2	740	15	89	-
20	B07	Red Edge 3	783	20	105	-
10	B08	NIR	842	115	174	Leaf area index (LAI)
20	B8a	Red Edge 4	865	20	72	Použití pro absorpci vodní párou
60	B09	Water vapor	940	20	114	Atmosferické korekce – absorpce vodní párou
60	B10	Cirrus	1375	30	50	Atmosferické korekce – detekce oblačnosti typu cirrus
20	B11	SWIR 1	1610	90	100	Detekce půd
20	B12	SWIR 2	2190	180	100	Určení AOT (aerosol optical thickness)

Níže uvádíme hlavní výhody využití multispektrálních dat Sentinel-2:

- **Vyhovující prostorové rozlišení 10 m**, vhodné pro mapy v regionálním a národním měřítku
- **Vhodné spektrální rozlišení**
- **Vhodné časové rozlišení**
- **Volně a rychle dostupná data**
- **Kompatibilní data s jinými optickými daty**, která mají historický archiv (např. mise Landsat)

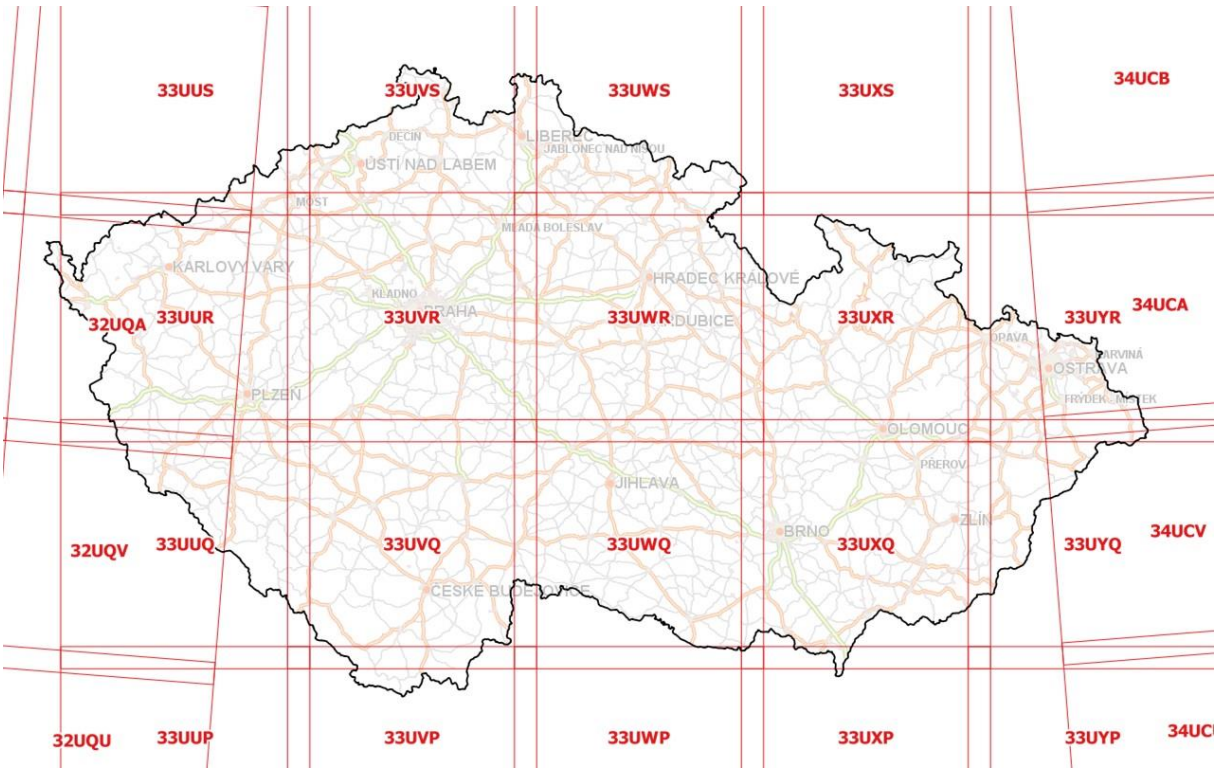
Z hlediska spektrálního rozlišení snímají senzory družic Sentinel-2 data v oblasti viditelného i infračerveného záření, které jsou důležité pro sledování vegetace. Časové rozlišení je přibližně každých 5 dní. Data družic Sentinel-2 jsou přístupná prakticky do jednoho dne od jejich pořízení, a to nejen pro vědeckou komunitu, ale pro všechny zájemce (např. i formou různých webových platforem jako je např. Sentinel Hub, https://www.sentinel-hub.com/).

Obrázek 7 znázorňuje způsob, jakým data Sentinel-2 pokrývají území České republiky. Sytější pruhy, jsou snímány častěji (překryvy) a mají tedy vyšší pravděpodobnost výskytu bezoblačných snímků.



Obrázek 7: Překryv pásů snímání dat družic Sentinel 2 na území ČR; zdroj: autoři

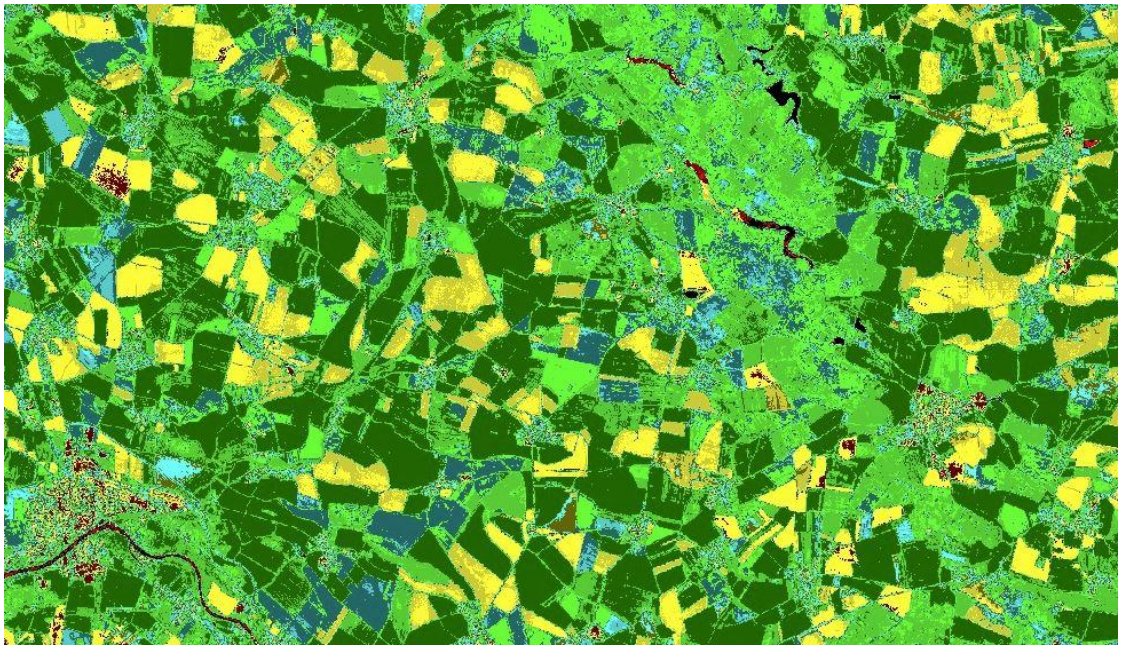
Celou Českou republiku pokrývá celkem dvanáct dlaždic dat družic Sentinel-2 (Obrázek 8). Dlaždice jsou definované oblasti, po kterých jsou data distribuována. Jedná se o ortorektifikované datové produkty pokrývající zemský povrch o čtvercové ploše 100x100 km.



Obrázek 8: Schéma jednotlivých dlaždic (tzv. tiles) dat družic Sentinel 2 pokrývajících území ČR; zdroj: autoři

2.3 Metody analýz multispektrálních dat

Pro sledování a identifikaci plodin s využitím multispektrálních dat je nejčastěji využíváno analýzy pásem ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra (včetně zóny tzv. red edge v rozmezí vlnových délek od 680 nm do 730 nm), kde lze identifikovat významné znaky a projevy jednotlivých plodin. Tyto znaky a projevy mohou být v určitých fázích vegetačního cyklu pro některé plodiny nebo jejich skupiny velmi podobné. Proto je při mapování zemědělských plodin nutné sledovat vybrané projevy v čase, tedy využít metod



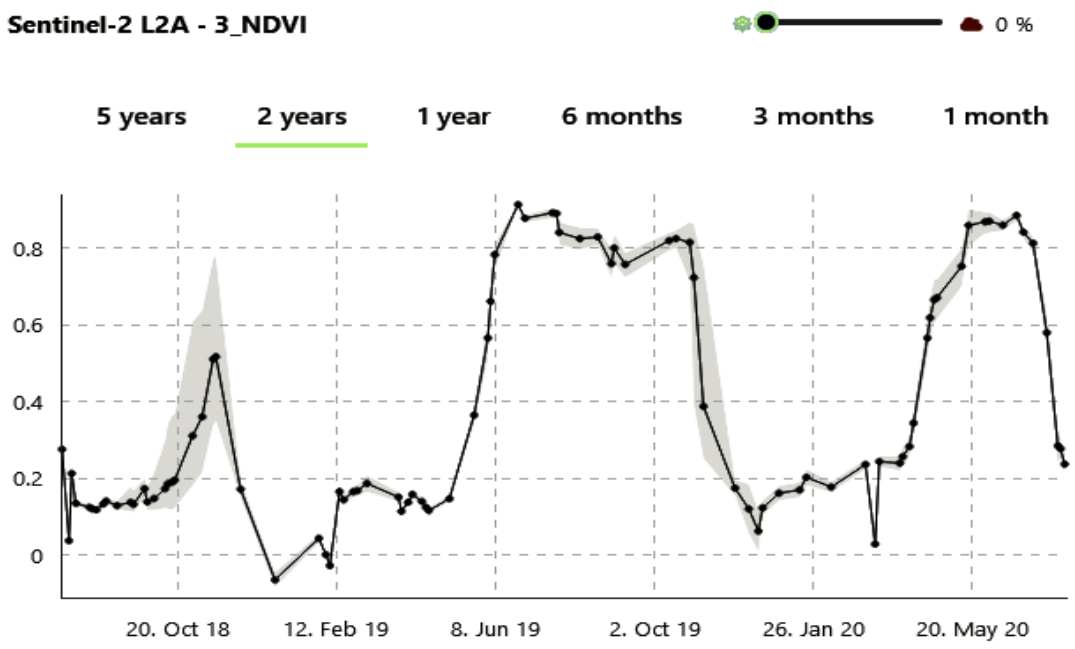
Obrázek 9: Ukázka vegetačního indexu NDVI v období květen 2017, lokalita okres Nymburk; zdroj: autoři

zpracování multitemporálních dat.

2.3.1 Vegetační indexy

Vegetační indexy představují tradičně využívaný způsob získávání informací o stavu vegetace, ale současně mají jistý potenciál i v oblasti mapování plodin. Vegetační indexy maximalizují citlivost na biofyzikální parametry rostlin (včetně zemědělských plodin) za účelem hodnocení jejich stavu a vegetačních podmínek. Jejich výhodou je také fakt, že snižují rušivé vlivy atmosféry, půdy apod. Hodnoty vegetačních indexů mohou být korelovány s různými měřitelnými parametry vegetace (obsah chlorofylu, celková biomasa atd.).

Podstatou vegetačních indexů je výpočet z nejméně dvou spektrálních pásem, které jsou využitelné pro kvantifikaci porostních parametrů (Rembold et al. 2013). Pro zvýraznění vegetační složky je vhodné využít její vysoké odrazivosti v blízké IČ části spektra a nízké odrazivosti v červené viditelné části spektra. Vždy se jedná o poměr pásem. Nejčastěji využívaným vegetačním indexem je Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI). NDVI je biofyzikální parametr, který koreluje s fotosyntetickou aktivitou vegetace, kromě toho, že poskytuje indikaci "zelenosti" vegetace (Wang a Tenhunen 2004). Při analýze časové řady snímků vegetační indexy zároveň nabízí cenné informace o dynamických změnách jednotlivých druhů vegetace. I proto je index dobrým ukazatelem periodických dynamických změn vegetačních skupin (Geerken et al., 2005).



Obrázek 10 Příklad vyhlazené křivky charakterizující průběh hodnot NDVI z časové řady dat Sentinel-2 (zemědělská oblast na území okresu Mělník)

2.3.2 Klasifikace obrazu

Klasifikace obrazu představuje jednu z metod analýzy obrazu. Pro mapování plodin se historicky používají přístupy klasifikace optických dat s vysokým prostorovým rozlišením, pořízené v období klíčových fenologických fází za účelem optimalizace odlišení jednotlivých tříd (Atzberger a Rembold 2013). Jedná se o automatickou nebo poloautomatickou analýzu, která je provedena pomocí zvoleného rozhodovacího pravidla, tzv. klasifikátoru.

Podle Orynbaikyzy et al. 2019 můžeme klasifikace dělit na:

a) parametrické a neparametrické,

b) objektové a pixelové (tzv. „per pixel“),

c) řízené a neřízené.

Mezi parametrické klasifikace řadíme například tzv. Maximum Likelihood – klasifikaci největší pravděpodobnosti. Mezi neparametrické klasifikátory patří metody strojového učení, např. *Support Vector Machine* (metoda podpůrných vektorů), *Random Forests* (náhodné stromy) a *decision trees* (rozhodovací stromy), neuronové sítě**.** Na rozdíl od neparametrických přístupů využívají přístupy parametrické klasifikace statistické předpoklady týkající se vstupních dat, např. požadavek na normální rozložení uvedených dat. V posledních letech se také čím dál více využívá neparametrických algoritmů rozhodovacích stromů (Pena-Barragan et al. 2011), které umožňují plnou kontrolu nad prováděnou klasifikací (Thenkabail et al. 2009). Klasifikátory vyvinuté na základě rozhodovacích stromů umožňují uživatelům vytvořit individuální klasifikační strategii pro každý typ s několika matematickými omezeními. Příkladem takového klasifikátoru jsou např. Random Forests (náhodné stromy), které ale byly využity pouze v několika málo vědeckých studiích zabývajících se klasifikací plodin (např. Long et al. 2013 nebo Sonobe et al. 2014). Každá s uvedených metod má své výhody i nevýhody, které zároveň mohou být odlišné pro různé plodiny. Cílem je tedy zvolit takovou metodu, jejíž výsledkem je co nejpřesnější klasifikace zvolených plodiny (žádná z kategorií plodin není nadhodnocena ani podhodnocena).

Při klasifikaci tzv. *per-pixel* (po jednotlivých obrazových bodech) algoritmus funguje tak, že analyzuje postupně každý pixel obrazu, zatímco objektová klasifikace využívá informací o jednotlivých objektech a jejich vztazích - analýzu např. dle tvarů a umístění sledovaných kategorií. Pro identifikaci plodin z družicových dat jsou aplikovány přístupy klasifikace per-pixel i objektové klasifikace. Tyto dva základní přístupy považujeme za srovnatelné z hlediska vhodnosti použití, pokud zpracováváme obrazová data středního rozlišení (Duro a kol. 2012, Dingle Robertson a King 2011). Dle rešerše Zhonga (2012) se pro potřeby klasifikace zemědělských plodin nejčastěji používají algoritmy řízených klasifikací. Jedním z nejpoužívanějších klasifikačních algoritmů je Maximum Likelihood (Waldhoff et al. 2017; El-Magd a Tanton 2003; Richards 2012). Klasifikace je vhodná pouze v případě, kdy je podpořena velkým souborem terénních dat (Zhong (2012). Maximum Likelihood byla otestována v mnoha vědeckých pracích a od 90. let 20. století dodnes neztratila svou oblíbenost a funkčnost.

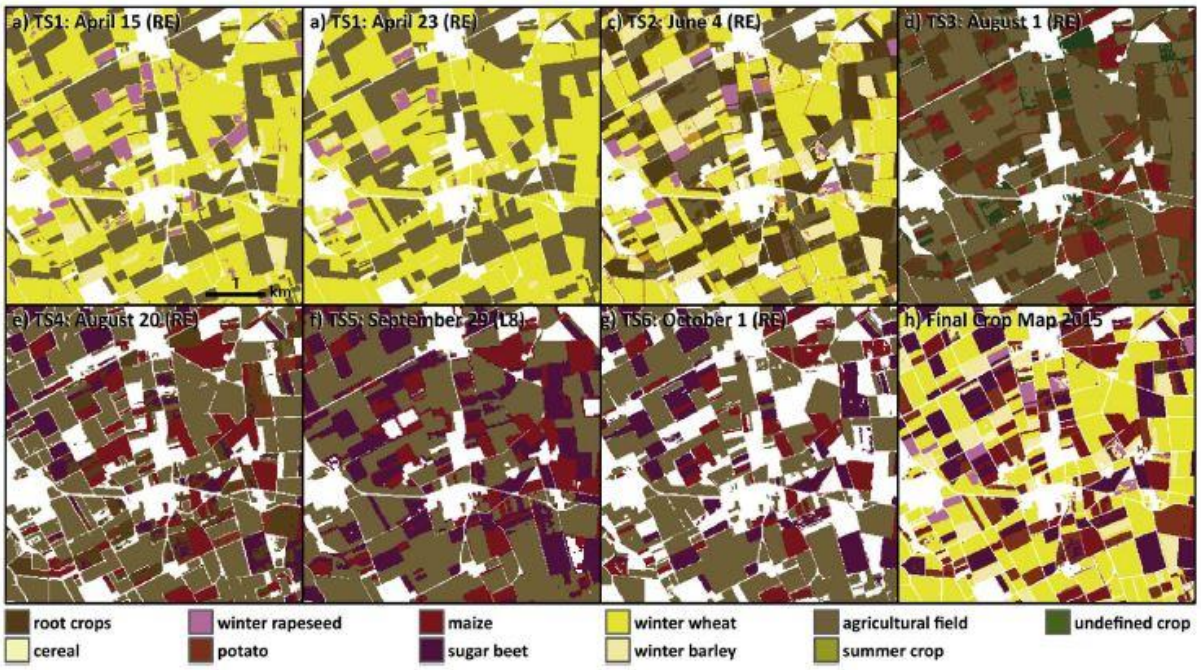
Neřízená klasifikace probíhá pouze automaticky (např. ISODATA, K-means). Při analýze plodin se převážně využívá klasifikace řízené, kdy analytik definuje trénovací plochy, které představují kategorie, resp. jednotlivé sledované plodiny nebo skupiny plodin.

Klasifikace **Maximum likelihood** – klasifikace maximální pravděpodobnosti – představuje jednu z metod analýzy obrazu. Jedná se o klasifikaci per-pixel, kdy do analýzy vstupuje každý pixel obrazových dat samostatně. Klasifikace je řízená, což znamená, že analytik definuje vstupní parametry – tzv. trénovací plochy. Předpokladem klasifikace je normální rozložení skupin trénovacích ploch.

Neparametrická klasifikace **Support Vector Machines (SVMs)** vychází z teorie strojového učení (Vapnik 1995). Klasifikace Support Vector Machines se v posledním desetiletí stala velmi oblíbenou při analýze dat DPZ, funguje dobře i s malým souborem trénovacích dat (Mountrakis et al. 2011). Support Vector Machines, na rozdíl od Maximum Likelihood, začleňuje trénovací plochy ležící spíše na okrajích rozdělení trénovacích tříd pro rozdělení do kategorií a zároveň vyřazuje vzorky ze středu souboru dat (Foody a Mathur 2004) promítnutého do tzv. n-prostoru (všech dostupných dimenzí dat).

Při analýze časové řady snímků máme k dispozici velký soubor dat, díky kterému se zvýší možnosti zobrazení sezónnosti plodin. Na druhé straně k tomu úměrně roste obtížnost zpracování velkého objemu dat (Zhong 2012). S tím souvisí také určitá nadbytečnost dat, která vyžaduje velkou sadu trénovacích dat pro klasifikační algoritmy jako je např. Maximum likelihood (Zhong 2012). Na druhé straně, pokud disponujeme dostatečným množstvím dat pro účely trénování a dimenze dat nejsou příliš velké, Maximum Likelihood umožňuje relativně rychlé a robustní výsledky klasifikace (Richards 2012). Některé přístupy

využívají současně klasifikace Maximum Likelihood a Support Vector Machines, kdy jedna z nich je použita pro vylepšení nebo doplnění té druhé. Např. Waldhoff et al. (2017) využili pro analýzu různých optických dat (ASTER, SPOT, RapidEye, Landsat) klasifikaci Maximum likelihood a v případě, že výsledky nebyly uspokojující, alternativně aplikovali Support Vector Machines s cílem dosáhnout přímé klasifikace plodin s přesností vyšší než 85 %.



Obrázek 11: Ukázka výsledků klasifikace pro jednotlivá časová období a finální mapa plodin pro rok 2015, lokalita v povodí řeky Rur v Německu (Waldhoff et al. 2017).

2.4 Postup zpracování dat Sentinel-2

Postup zpracování dat Sentinel-2 vyžaduje několik kroků, které uvádíme níže v přehledu (Tabulka 5). Jednotlivé kroky budou popsány podrobněji pro dvě zvolená období na jedné „dlaždici“ obrazových dat, a také pro časovou řadu.

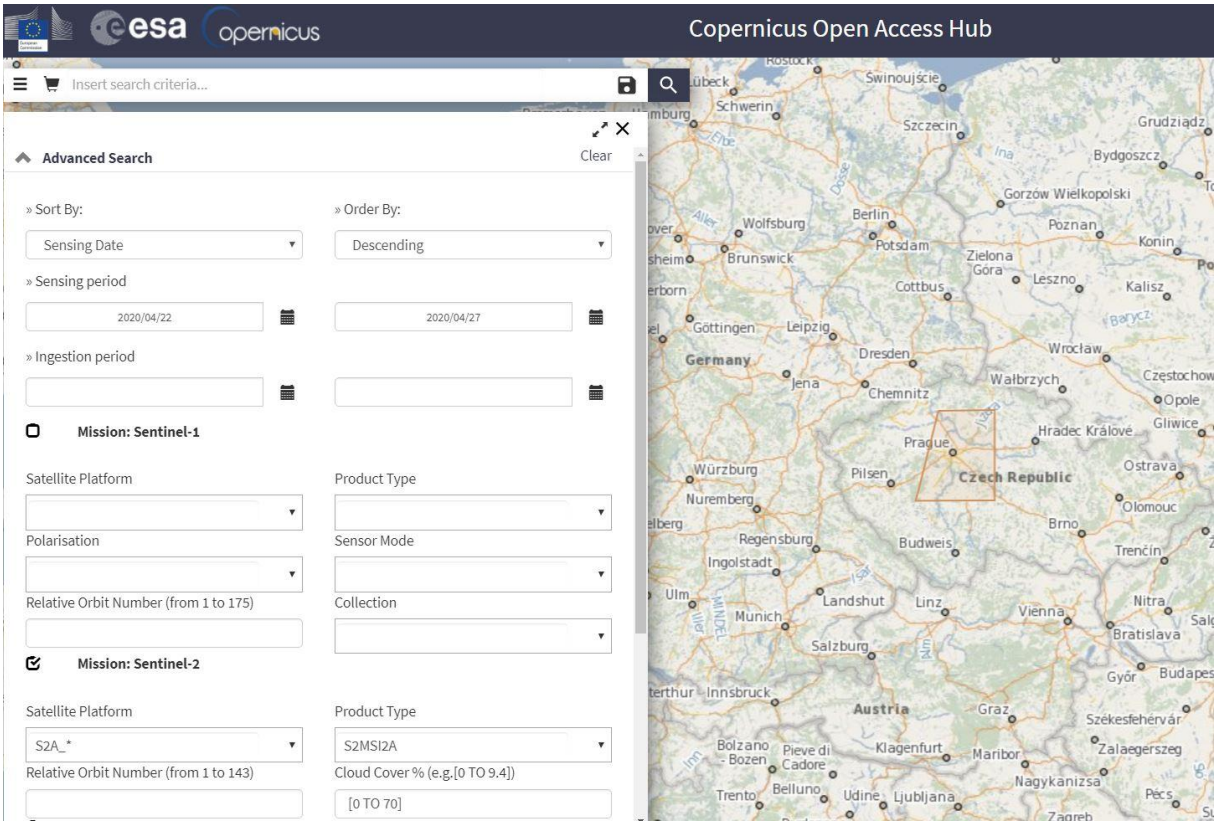
Tabulka 5: Postup vyhodnocení obrazových dat družic Sentinel 2

1 VÝBĚR ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ A ZAJIŠTĚNÍ DAT
1a) Výběr zájmového území
1b) Zajištění dat Sentinel-2
1c) Zajištění dalších datových vrstev
2 PŘEDZPRACOVÁNÍ DAT SENTINEL 2
2a) Spojení pásem a převzorkování
2b) Vytvoření masky oblačnosti
2c) Zpracování časové řady dat
3 KLASIFIKACE DAT
3a) Definování trénovacího a validačního souboru dat
3b) Statistické charakteristiky - volitelné
3c) Volba klasifikátoru, nastavení parametrů
3d) Klasifikace
3e) Postklasifikační úpravy a vyhodnocení klasifikace

2.4.1 Výběr zájmového území a příprava dat

Výběr lokality a stažení dat Sentinel-2

Pro přístup k datům Sentinel-2 je nezbytná registrace na webu https://scihub.copernicus.eu/. Uživatel tím získá přístup k webovému archivu dat družic Sentinel-2. Požadované zájmové území vybíráme zakreslením polygonu v mapě. Poté nastavíme požadované parametry (Tabulka 6) výběru dat v nabídce v levé části (Obrázek 12).



Obrázek 12: Sentinels Scientific Data Hub – webová aplikace určená k prohlížení, vyhledávání a stahování dat Sentinel, ukázka nastavení parametrů při vyhledávání dat; zdroj: https://scihub.copernicus.eu/

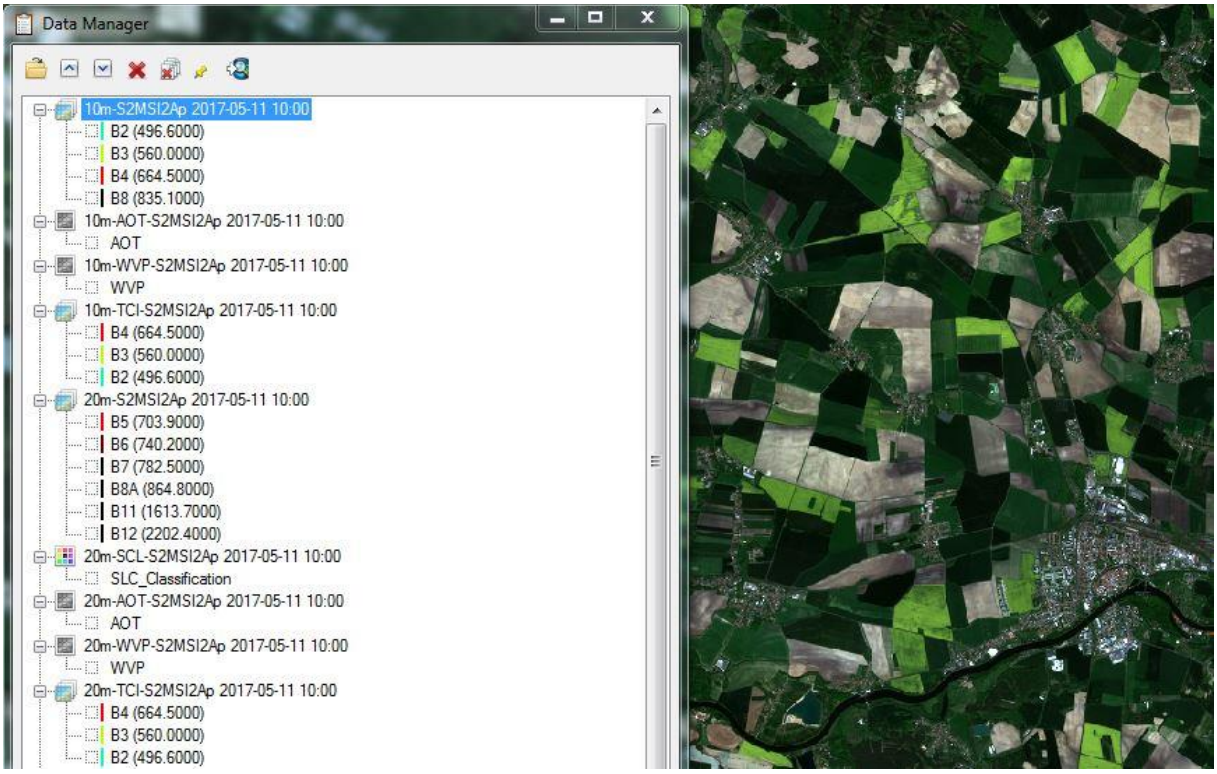
Zvolený produkt dat družic Sentinel-2 odpovídá úrovni zpracování Level-2A a představuje odrazivost na úrovni zemského povrchu (BOA → Bottom-Of-Atmosphere) ve formátu ortofotosnímků. Data navíc obsahují mapy optické tloušťky aerosolů (AOT), vodní páry (WV) a klasifikace scény (SCM), společně s kvalitativními indikátory (QI) pravděpodobnosti výskytu oblačnosti a sněhu v 60m rozlišení (Obrázek 13Obrázek 13).

Tabulka 6: Ukázka nastavení základních parametrů pro vyhledávání dat Sentinel 2

název parametru v anglickém jazyce	název parametru v českém jazyce	zvolená hodnota
Satellite Platform	družice	S2A,S2B
Product Type	typ produktu	S2MSI2A
Cloud Cover %	pokrytí oblačností (v %)	[0 TO 70]

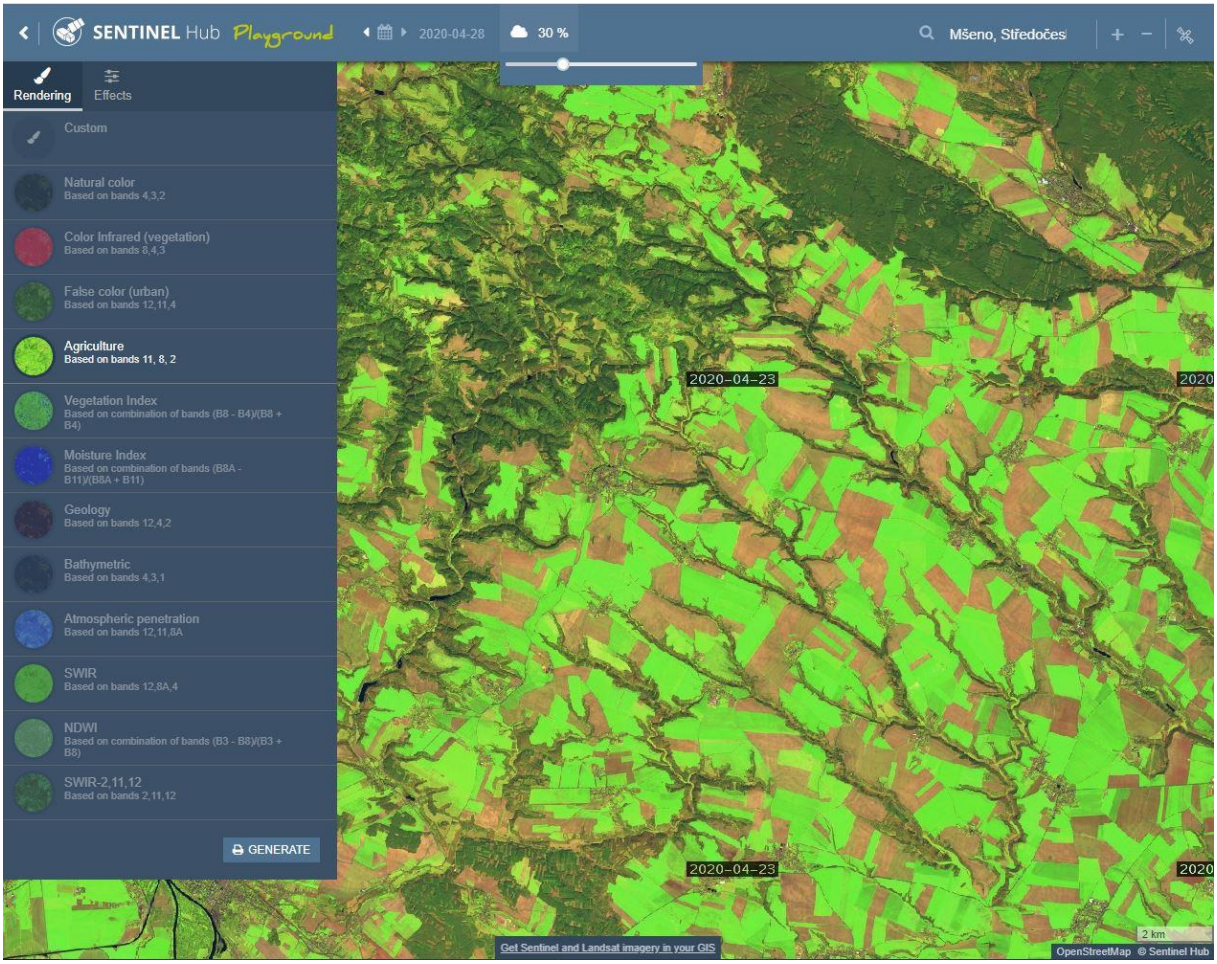
Zpracování dat na úroveň Level-2A zpočátku probíhalo na straně uživatele. Od prosince 2017 poskytovatel přistoupil u nově pořízených snímků k automatickému zpracování na tuto úroveň. Tyto úpravy byly provedeny i zpětně. Nyní je většina dostupných dat k dispozici na úrovni Level-2A. V případě, že uživatel

vyhledá snímek, který je poskytován pouze na nižší úrovni zpracování (Level-1C), má možnost si data zpracovat sám s využitím volně dostupných softwarových nástrojů (např. SNAP).



Obrázek 13: Ukázka struktury dat družic Sentinel 2 úrovně Level-2A v softwaru ENVI 5.5

Přístup k datům Sentinel 2 a jejich stahování umožňuje služba API open search z archivu ESA Copernicus Open Access Hub. S využitím skriptu v programovacích jazyce Python lze nastavit a volit parametry pro data, která požadujeme. Mezi základní parametry patří datum pořízení dat, typ družice (S2A nebo S2B), typ datového produktu. Jedním z našich výchozích nastavení je, že celkové procento oblačnosti pokrývající scénu by mělo být maximálně 70 %. Vhodným nástrojem k rychlému prohlížení dat a zjišťování výskytu oblačnosti může být také např. prohlížeč Sentinel Playground na webové platformě Sentinel Hub (Obrázek 14).



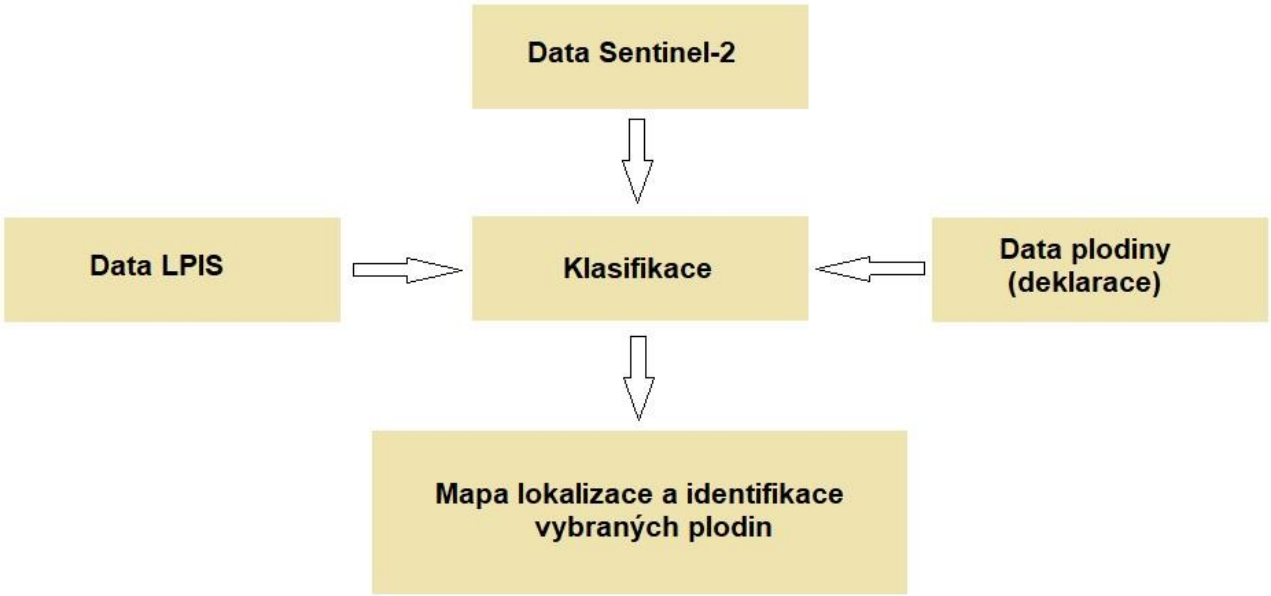
Obrázek 14: Prohlížeč Sentinel Hub Playground, zdroj: https://sentinel-hub.com/

Příprava dalších datových vrstev – trénovací a validační soubor dat

Kvalita trénovacího i validačního souboru dat představuje důležitý aspekt, který ovlivňuje výsledky a přesnost řízené klasifikace. Nejčastěji se celý soubor dat rozdělí na dva – trénovací a validační. Důležité je, aby validační soubor byl dostatečně velký a reprezentativní, a tím bylo zajištěno robustní určení přesnosti klasifikace.

Trénovací data slouží jako vstupní pro trénování klasifikátoru. Validační data jsou využita pro finální vyhodnocení výsledné klasifikace a její přesnosti. Existuje několik způsobů, jak tato data získat. V recenzovaných studiích jsou pozemní data (referenční data nebo tzv. ground truth data) získána během terénních exkurzí, z deklarací zemědělců, odvozením a vizuální interpretací z optických dat velmi vysokého rozlišení nebo jsou v některých zemích a případech poskytovány vládními zemědělskými organizacemi nebo ministerstvy (Orynbaikyzy et al. 2019).

Ministerstvo zemědělství ČR využívá a poskytuje data z registru půdy (LPIS). Standardní vektorová vrstva orné půdy LPIS zahrnuje tři kategorie: standardní orná půda, úhor a travní porost na orné půdě. Pro lokalizaci plodin využíváme pouze kategorii standardní orná půda.



Obrázek 15: Schéma metodického zpracování dat

Dalším důležitým zdrojem je databáze deklarovaných plodin pro roky 2015 – 2017. Jedná se o databázi, která obsahuje pěstované plodiny na dílech půdních bloků s kulturou orná půda, a to v rozsahu celé České republiky. Jako základní zdroj dat jsme použili vektorovou vrstvu pěstovaných plodin na dílech půdních bloků pro rok 2017. Jedná se o výběr půdních bloků, na kterých se daný rok pěstoval pouze jeden typ plodiny. Existují i díly půdních bloků (Obrázek 16), na kterých se pěstuje více plodin, nicméně informace o jejich prostorovém umístění není k dispozici.

Obrázek 16: Vlevo - díl půdního bloku s více plodinami (vyznačeno červeným polygonem), vpravo – ukázka klasifikace dat družic Sentinel 2 z období květen 2017, měřítko 1:15 000

Vrstva plodin 2017 byla v softwaru QGIS transformována ze systému JTSK (EPSG: 5514) do souřadnicového systému WGS 84/UTM Zone 33N (EPSG: 32633), ve kterém jsou umístěna i družicová data S2. Transformovaná data byla následně oříznuta podle dlaždice UVR dat družic Sentinel 2. Byla zvolena minimální mapovací jednotka 0,5 ha (velikost polygonu půdního bloku). Průnikem uvedených dvou

datových vrstev získáme novou vrstvu, ze které následně exportujeme dílčí vrstvy pro jednotlivé kategorie plodin zvolené pro klasifikaci (Tabulka 7).

Vrstva LPIS standardní orná půda pro území ČR → ořez (nástroj Clip v GIS) podle čtverce definovaného dlaždicí UVR

Vrstva plodin 2017 pro území ČR → ořez (nástroj Clip v GIS) podle čtverce definovaného dlaždicí UVR

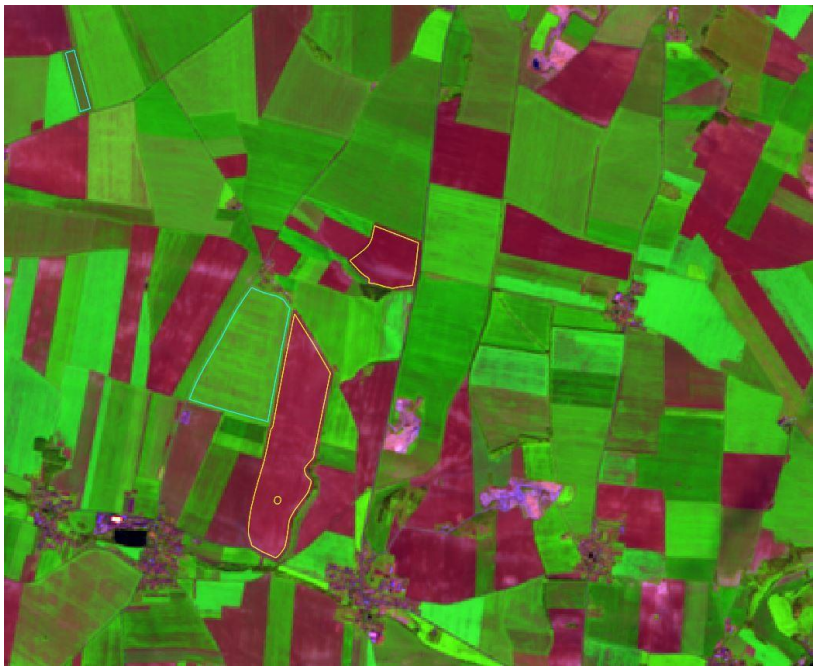
Z vrstvy deklarovaných plodin byla vybrána (nástroj *Select* v GIS) a exportována data nejvýznamnějších plodin pro následnou klasifikaci (Tabulka 7).

Tabulka 7: Vybrané plodiny pro identifikaci a lokalizaci na vybraném území v podmínkách ČR

Řepka ozimá (ŘO)
Pšenice ozimá (PO)
Ječmen jarní (JJ)
Pšenice jarní (PJ)
Ječmen ozimý (JO)
Pícniny (PIC)
Řepa cukrovka (CUKR)
Slunečnice (SLUN)
Kukuřice (KUK)
Brambory (BRAM)
Ostatní plodiny (OST) - např. trávy, vojtěška, oves, jetel, triticale, hrách

Z exportované vrstvy pro každou sledovanou plodinu byl vybrán soubor dat (polygonů - dílčích půdních bloků), který je dále rovnoměrně rozdělen na dva již zmíněné soubory: trénovací a validační. Polygony volíme tak, aby jejich rozmístění bylo po celé ploše zájmového území (vymezeno dlaždicí UVR pro data družic Sentinel 2), což je předpokladem pro kvalitnější výsledek klasifikace. Jejich počet se odvíjí od výskytu a prostorovém zastoupení dané plodiny v zájmovém území.

Pokud zobrazíme polygony vrstev plodin nad družicovými daty (družic Sentinel 2 nebo jinými), je zřejmé, že na hranicích jednotlivých půdních bloků existují tzv. mixely. Jedná se o krajní části zemědělských pozemků, které jsou na snímcích zobrazeny jako kombinace spektrálních odrazů dvou či více druhů povrchu (např. částečně zemědělská plodina, cesta, silnice, souvrať, vodní plocha apod.). Abychom minimalizovali vznik chyb při analýze dat, vymezíme co nejlépe vnitřní reprezentativní část půdních bloků bez okrajových částí. Prakticky v GIS (lze použít např. software QGIS nebo prostředí ArcGIS) aplikujeme tzv. vnitřní obalovou zónu dle vzdálenosti (nástroj *inner buffer*). V našem přístupu volíme tuto vzdálenost 30 m, kterou považujeme za optimální vzhledem k různé rozloze vybraných zemědělských půdních bloků.

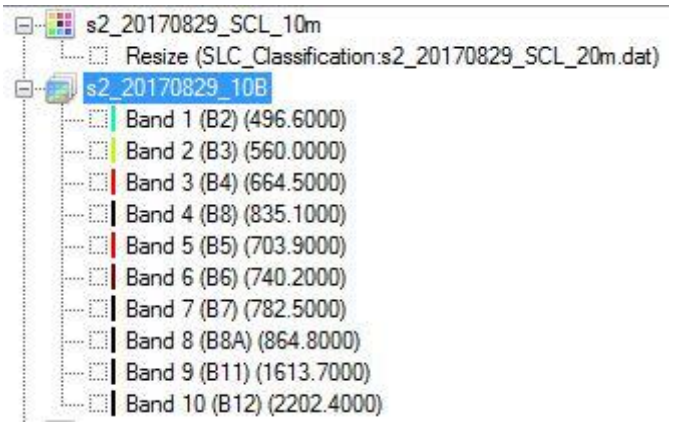


Obrázek 17: Ukázka definovaných trénovacích dat na podkladu dat družic Sentinel 2 v nepravých barvách - kombinace pásem 11-8-2

2.4.2 Předzpracování dat Sentinel 2

Spojení pásem a převzorkování

Pro maximální využití dat produktu Level-2A dat družic Sentinel 2 je zapotřebí sjednotit prostorové rozlišení všech pásem na nejpodrobnější (10 m), tzv. převzorkovat. Převzorkování lze provést v jednom kroku při sloučení jednotlivých pásem produktu. Vhodným nástrojem je *Build Layer Stack* (Raster Management) v softwaru ENVI. Vytvoříme tak vícepásmový soubor. Pro data Sentinel 2 vznikne datový produkt s deseti pásmy s prostorovým rozlišením 10 m. Pokud analyzujeme data pořízená v jeden den ve vybraném měsíci, tento datový produkt představuje hlavní vstup pro klasifikaci.



Obrázek 18: Ukázka dat Sentinel 2 úrovně Level-2A – klasifikace scény a desetipásmový datový produkt s prostorovým rozlišením 10 m

Vytvoření masky oblačnosti

Výskyt oblačnosti představuje dobře rozpoznaný limit, který nelze opomenout. Detekce oblačnosti je důležitou součástí předzpracování dat. Pro zaručení relevantních výsledků je důležité analyzovat pouze ty pixely, které nesou informaci o zemském povrchu a nejsou zakryta (zkreslena) oblačností nebo např. stíny

mraků. Nejčastěji používaným způsobem detekce oblačnosti je vytvoření tzv. masky oblačnosti. Maska je binární rastrová vrstva, která nám definuje dvě oblasti snímku – první s hodnotou 1, která vstupuje do analýzy (klasifikace) a druhou s hodnotou 0, která není analyzována vůbec (je tzv. odmaskována). Tato maska nám odfiltruje oblasti, kde se vyskytuje oblačnost, nebo plochy, které nechceme klasifikovat (jiné plochy než zemědělské s ornou půdou).

Pro definování pixelů s výskytem oblačnosti a dalších nezájmových tříd (místa, kde se vyskytují např. stíny oblačnosti, saturované a jinak defektní části apod.) byla využita vrstva klasifikace scény (SCL) dat Sentinel 2 (Obrázek 18). Jedná se již o vytvořenou základní klasifikaci, která je součástí produktu Level-2A dat Sentinel 2. SCL je v produktu Level-2B dat družic Sentinel 2 uložena jako samostatné pásmo s prostorovým rozlišením 20 m. Pro zajištění kompatibility dat pro další analýzy je nutné toto pásmo převzorkovat na nové pásmo s prostorovým rozlišením 10 m. Pásmo klasifikace scény je vhodné nejprve uložit jako novou rastrovou vrstvu, poté převzorkovat na rastr s rozlišením 10 m a nakonec rozklasifikovat dle předem určených kategorií (Tabulka 8).

Tabulka 8: Třídy klasifikované vrstvy scény (SCL) produktu Level-2A dat družic Sentinel 2

označení vrstvy	název kategorie v anglickém jazyce	název kategorie v českém jazyce
0	NO_DATA	žádná data
1	SATURATED OR DEFECTIVE	saturované nebo vadné pixely
2	DARK AREA PIXELS	tmavé objekty
3	CLOUD SHADOW	stíny mraků/oblačnosti
4	VEGETATION	vegetace
5	BARE_SOILS	holé půdy
6	WATER	voda
7	CLOUD LOW PROBABILITY	oblačnost - nízká pravděpodobnost výskytu
8	CLOUD MEDIUM PROBABILITY	oblačnost - střední pravděpodobnost výskytu
9	CLOUD HIGH PROBABILITY	oblačnost - vysoká pravděpodobnost výskytu
10	THIN CIRRUS	oblačnost typu cirrus
11	SNOW	sníh

Z rastru SCL byla odstraněna oblačnost a další nezájmové třídy (0-3, 6-11). Pro další analýzu jsou podstatné pouze kategorie vegetace (4) a holé půdy (5). Výslední vrstva pro klasifikaci byla vytvořena kombinací rastru zájmových tříd SCL a vektorové vrstvy orné půdy podle LPIS.

Vstupní vrstvy pro vytvoření masky oblačnosti:

- **LPIS – vektorová vrstva standardní orné půdy pro rok 2017**
- **Klasifikace scény – kategorie vegetace (4) a holé půdy (5)**
- **Původní datový produkt Level-2A dat družic Sentinel 2** (podklad pro detekci oblačnosti)

Vhodný nástroj pro vytvoření masky je např. *Build raster mask* (Raster Management, software ENVI). Existují dva způsoby použití masky oblačnosti. Při prvním vrstva masky oblačnosti vstupuje do analýzy při zadávání parametrů, při druhém nejprve aplikujeme masku na původní snímek a poté spouštíme analýzu na již „odmaskovaných“ datech.

Zpracování časové řady dat

Pro zaznamenání celé variability změn během vegetačního vývoje plodin je vhodné analyzovat časovou řadu družicových snímků. Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, pro úspěšnou lokalizaci a identifikaci

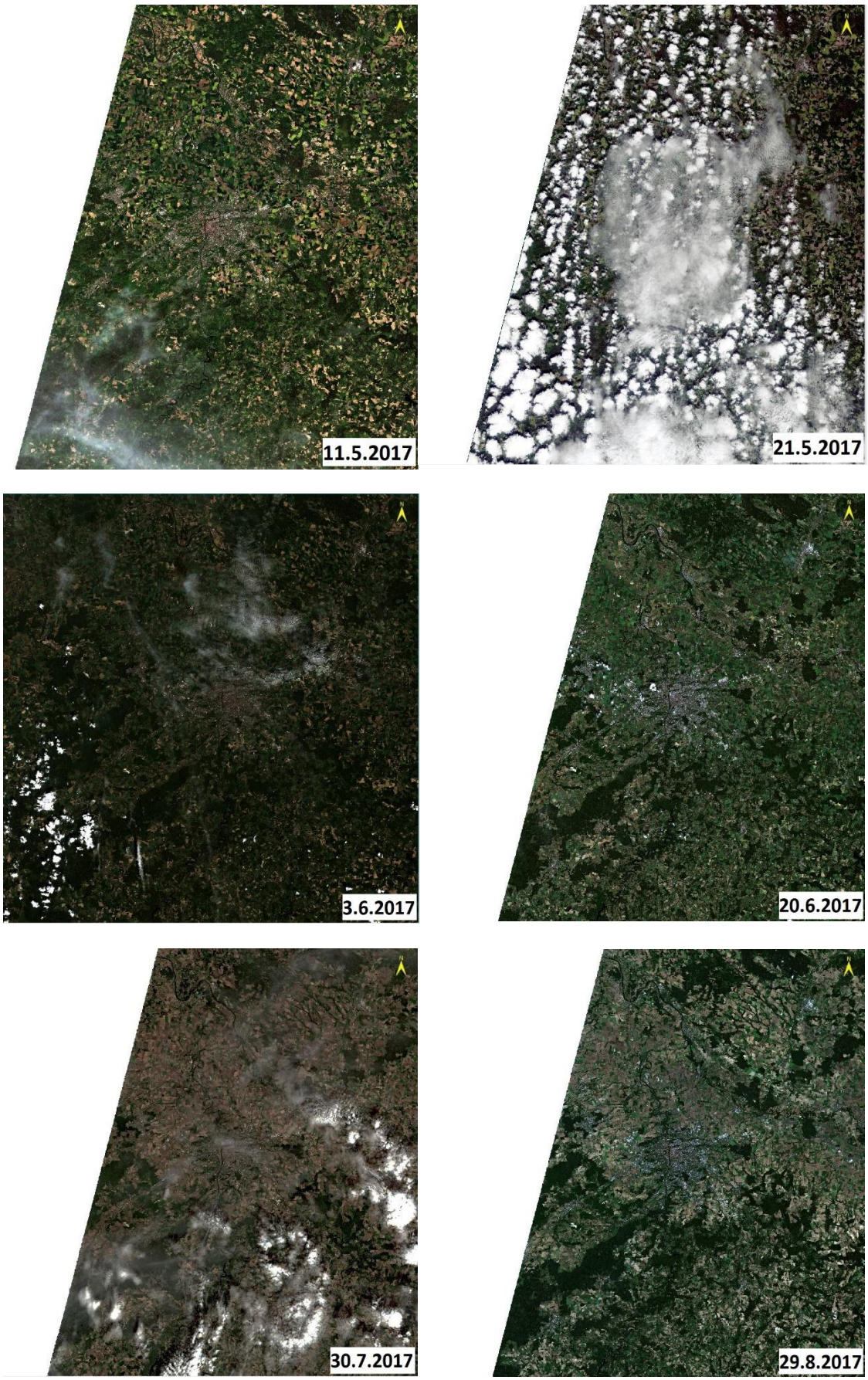
zemědělských plodin je důležité mít k dispozici alespoň jeden až dva snímky za měsíc během sledovaného časového období.

Nejprve jsme provedli průzkum všech dostupných dat družic Sentinel 2 pro sledované vegetační období od května do srpna 2017. Časová řada, kterou jsme zvolili, zahrnuje celkem 6 datových produktů družic Sentinel 2 (Tabulka 9, Obrázek 19Tabulka 9: Vybraná data Sentinel-2: přehled a základní informace; zdroj: autoři, https://sentinel-hub.com/). Vybrána byla data s nejnižším výskytem oblačnosti v roce 2017. Jedná se o 21 % ze všech dostupných dat družic Sentinel 2 (s výskytem oblačnosti menší než 70 %) ve sledovaném období. Obecně můžeme rok 2017 považovat za období s relativně vyšším výskytem oblačnosti. I proto bylo obtížnější vybrat alespoň jeden snímek za měsíc.

Tabulka 9: Vybraná data Sentinel-2: přehled a základní informace; zdroj: autoři, https://sentinel-hub.com/

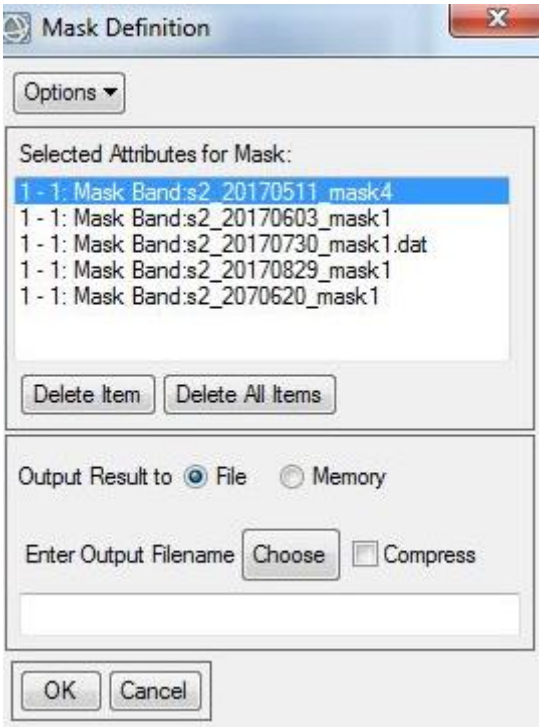
číslo snímku	dlaždice	datum pořízení dat	čas pořízení dat	oblačnosti dle aplikace Sentinel Hub (v %)
1	UVR	11. 5. 2017	10:00	23
2	UVR	21. 5. 2017	10:00	43
3	UVR	3. 6. 2017	10:00	10
4	UVR	20. 6. 2017	10:00	1
5	UVR	30. 7. 2017	10:00	53
6	UVR	29. 8. 2017	10:00	0

Všechna vybraná data časové řady byla spojena do jednoho vícepásmového datového produktu, tzv. „multiproduktu“ s pomocí již zmíněného nástroje *Build Layer Stack*. Výslední produkt je tvořen celkem šedesáti pásmy. Tím byly významně navýšeny dimenze dat, které následně vstupují do klasifikace.



Obrázek 19: Časová řada dat družic Sentinel 2 na zájmovém území Středočeského kraje a okolí Prahy (dlaždice UVR)

Obdobný postup lze zvolit i pro masku oblačnosti. Nejprve vytvoříme jednotlivě masky pro každý jeden snímek časové řady a následně všechny masky spojíme do jednoho finálního produktu. Opět lze využít nástroj *Build raster mask* (Obrázek 20). Výsledkem je průnik všech masek oblačnosti (všech pixelů s hodnotou 1). Tato finální maska je následně použita před samotnou klasifikací multiproduktu.



Obrázek 20: Ukázka postupu vytvoření kombinace masek oblačnosti pro časovou řadu dat družic Sentinel 2

2.4.3 Řízená klasifikace

Definování trénovacího a validačního souboru dat

Vektorové polygonové vrstvy, které byly vytvořeny pro vybrané kategorie plodin, slouží jako podklad pro vytvoření tzv. trénovacích ploch. Ty představují jeden z hlavních vstupů do procesu klasifikace. Celkem jsme pro vybrané plodiny definovali 440 polygonů, 220 pro trénování a 220 pro validaci. Trénovací plochy lze definovat s využitím nástroje Region of Interest (software ENVI), a to buď přímo vytvořením nových kategorií (*New ROI*), nebo do ROI konvertujeme již připravené vektorové vrstvy (nástroj *Convert Vector to ROI*). Výhoda práce s ROI spočívá v tom, že máme všechny vybrané kategorie uložené v jednom souboru, který pak vkládáme při zadávání parametrů klasifikace. Soubor ROI (ve formátu xml) lze vhodně využít i pokud potřebujeme upravit trénovací plochy a provést klasifikaci znovu. Proto jsme zvolili druhou z uvedených možností (konvertování).

Hodnocení trénovacích dat

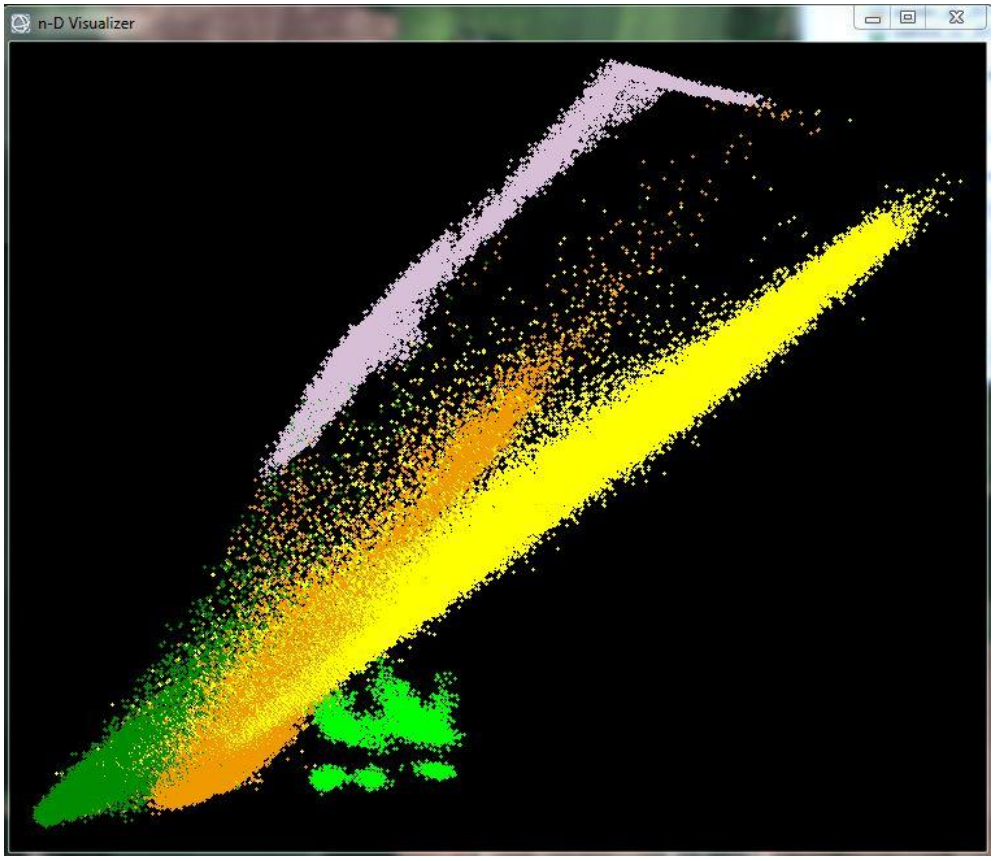
Cílem klasifikace je dosáhnout co nejvyšší přesnosti. Kvalitu klasifikace zásadně ovlivňuje zejména kvalita trénovacích dat. Proto je vhodné provést jejich vyhodnocení ještě před provedením samotné klasifikace. Inspekce dat je důležitá z hlediska zjištění, jak jsou od sebe jednotlivé kategorie „oddělitelné“ na základě spektrální informace.

Kvalitu dat hodnotíme metodami výpočtu statistických charakteristik z trénovacích ploch pro všechny třídy, v tomto případě na podkladu obrazových dat Sentinel 2 (hodnot odrazivosti pro pixely definované trénovacími plochami). Jedná se o výpočet statistických charakteristik průměr, směrodatná odchylka,

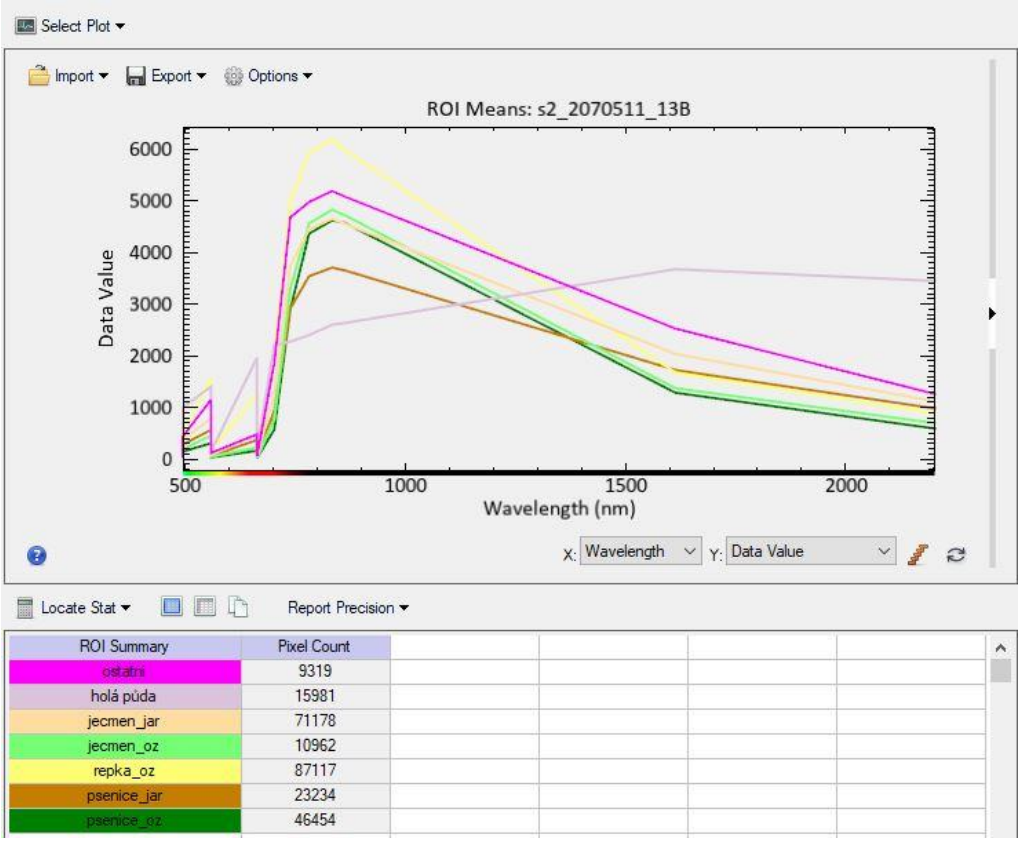
minimální a maximální hodnota v daném pásmu a histogram. Zvolené trénovací plochy byly vyhodnoceny s využitím nástroje Region of Interest (nabídka Options) v softwaru ENVI.

Pro hodnocení kvality trénovacích ploch se nejčastěji používají uvedené tři metody:

- **Vizuální analýza histogramů kategorií vybraných skupin trénovacích dat** (*Compute Statistics from ROIs),* např. grafy pro vypočtený průměr zobrazuje Obrázek 22
- **Vizuální analýza umístění skupin trénovacích dat v n-rozměrném prostoru** (*n-D Visualizer)*
- **Kvantitativní vyhodnocení spektrální odlišitelnosti skupin trénovacích dat** (*Compute ROI Separability)*



Obrázek 21: Ukázka rozmístění trénovacích dat v n-rozměrném prostoru - vybrané kategorie plodin v období květen 2017



Obrázek 22: Spektrální křivky trénovacích dat pro vybrané kategorie plodin v období květen 2017

Obrázek 22 znázorňuje a popisuje průběh spektrálních křivek trénovacích dat pro vybrané kategorie plodin. Čím méně se křivky plodin překrývají, tím lépe budou od sebe odlišitelné a tím přesnější bude jejich klasifikace. V květnu má velmi dobrý předpoklad pro odlišení od ostatních kategorií plodin řepka ozimá (zobrazena žlutou křivkou). Naopak problematičtější odlišení může nastat v případě pšenice ozimé a ječmene ozimého, jejichž křivky mají velmi podobný průběh. Stejný statistický předpoklad ukázal i výpočet odlišitelnosti tříd (ROI separability): nižší míra odlišení může nastat v případě ozimů (ječmen a pšenice) a také jařin (ječmen a pšenice).

Volba klasifikátoru

Podstatou řízené klasifikace je rozřazení všech pixelů do jednotlivých kategorií s použitím tzv. klasifikátoru, který volí analytik.

Níže uvádíme nejčastěji používané klasifikátory pro řízenou klasifikaci:

- Minimální vzdálenosti (Minimum Distance)
- Mahalanobisova vzdálenost (Mahalanobis Distance)
- Pravoúhelníků (Parallelpiped)
- **Maximální pravděpodobnosti (Maximum Likelihood).**
- Spectral Angle Mapper (SAM)
- Další na bázi strojového učení, např. Support vector machine

Klasifikátor maximální pravděpodobnosti kvantitativně hodnotí rozptyl hodnot, kovarianci i korelaci každé třídy a podle toho přiřazuje každý jednotlivý pixel do určité třídy, do které spadá s největší pravděpodobností. Ve vícerozměrném prostoru si lze tyto třídy (hodnoty stejných pravděpodobností) představit jako izolinie s tvarem elipsy.

Výhody a nevýhody klasifikace Maximum Likelihood:

+ VÝHODY

- Dlouhodobě otestovaná metoda
- Vhodná pro identifikaci a lokalizaci hlavních zemědělských plodin
- Vhodná pro mapování a přibližné odhady celkové produkce zemědělských plodin na území velikosti ČR
- Relativně rychlé a robustní výsledky
- Jednoduchý postup

-NEVÝHODY

- Předpoklad normálního rozložení dat
- Předpoklad velkého souboru terénních dat (pro trénování a validaci)

Klasifikace

Postup samotné klasifikace zahrnuje několik dílčích kroků. Nejprve si připravíme všechna vstupní data. V prvním kroku vybíráme podkladový rastr, který bude klasifikován. Tedy obrazová data Sentinel-2. Pokud nepracujeme již s vymaskovanými daty, je třeba načíst vytvořenou masku, která bude během klasifikace aplikována. Poté volíme možnost použití trénovacího souboru dat. Tím definujeme, že se bude jednat o řízenou klasifikaci. Pokud máme trénovací data připravena automaticky se načtou a zobrazí. Lze upravit finální výběr těchto kategorií. Dále volíme algoritmus, v našem případě klasifikátor největší pravděpodobnosti (Maximum Likelihood). Je možné volit parametry prahové hodnoty pravděpodobnosti (Probability Threshold) a chybu maximální vzdálenosti (Maximum Distance Error). Výsledná klasifikace je uložena primárně v rastru

Postklasifikační úpravy a vyhodnocení přesnosti klasifikace

Výsledný klasifikovaný rastr je vhodné finálně upravit vyhlazením (Smoothing) a odstraněním malých skupin osamocených pixelů (Aggregation), aby byl výsledný obraz vizuálně ucelenější. Přesnost dosažených výsledků klasifikace určujeme výpočtem tzv. chybové matice (Confusion Matrix), kdy jsou porovnány klasifikované třídy –s reálným pokryvem, který reprezentuje validační soubor dat (referenční data).

Počet řádků i počet sloupců v chybové matici definuje počet zvolených kategorií (skupin plodin) pro klasifikaci (ukázka viz Tabulka 10). Řádky tabulky tvoří klasifikována data a sloupce referenční data. Pro vybrané zájmové území bylo celkem klasifikováno 219 588 obrazových pixelů dat Sentinel 2. Klasifikovaná data, která jsou ve shodě s referenčními daty (odpovídají reálnému stavu zemského povrchu), tvoří diagonálu matice. Všechny ostatní hodnoty mimo tuto hlavní osu jsou chyby z opomenutí (omission) nebo chyby z nesprávného zařazení (commision), *(výukový materiál PřF UK).*

Z tabulky např. vyplývá, že 239 pixelů pšenice jarní bylo nesprávně zařazeno do kategorie pšenice ozimá. Největší zaznamenaná chyba byla z opomenutí (6189 pixelů), kdy pícniny byly nesprávně klasifikovány jako ostatní plodiny. Obě kategorie zahrnují více různorodých typů plodin s více spektrálními odezvami, které mohou v důsledku významně snížit možnost jejich vzájemného odlišení. Naopak nulové hodnoty chyb v prvním řádku potvrzují velmi dobrou odlišitelnost řepky ozimé od všech ostatních kategorií.

Tabulka 10: Ukázka chybové matice pro období květen 2017; chyby ze špatného zařazení jsou zvýrazněny modrou barvou a chyby z opomenutí jsou zvýrazněny šedou barvou

	Referenční data (počet pixelů)									
	třída	Řepka ozimá	Pšenice ozimá	Pšenice jarní	Pícniny	Ostatní plodiny	holá půda	Ječmen ozimý	Ječmen jarní	celkem
Klasifikované plodiny (počet pixelů)	Řepka ozimá	56741	0	0	0	0	0	0	0	56741
	Pšenice ozimá	0	32442	239	0	308	0	308	0	33297
	Pšenice jarní	0	381	7778	235	33	0	619	1838	10884
	Pícniny	1	5	0	10552	171	0	9	52	10790
	Ostatní plodiny	36	18	528	6189	2291	14	52	5555	14683
	holá půda	0	0	0	0	47	45211	0	0	45258
	Ječmen ozimý	0	32	746	430	93	0	6494	671	8466
	Ječmen jarní	259	1	2370	249	1166	0	0	30936	34981
	celkem	61486	32879	11661	17655	4141	45225	7483	39058	219588

Na základě výpočtu chybové matice získáme následující ukazatele přesnosti:

- Uživatelská přesnost (User's Accuracy)
- Zpracovatelská přesnost (Producer's Accuracy)
- Celková přesnost (Overall Accuracy)
- Kappa koeficient (Kappa Coefficient).

Hodnoty kappa koeficientu se pohybují v rozmezí od 0 do 1. Čím více se výsledný koeficient blíží hodnotě 1 (100 % bez chyby), tím je klasifikace přesnější. Přesnost klasifikace je považována za dobrou při hodnotě nad 0,75 a za velmi dobrou při hodnotě vyšší než 0,85.

2.4.4 Možnosti identifikace a lokalizace vybraných plodin pro celé území ČR

Stejným způsobem zpracování, který uvádíme pro klasifikaci vybrané dlaždice je možné zpracovat celé území ČR. Tímto způsobem lze získat mapu lokalizace a identifikace vybraných plodin pro celou ČR. Celkem se jedná o dvanáct dlaždic: UUR, UUQ, UVS, UVR, UVQ, UWS, UWR, UWQ, UXR, UXQ, UYR, UYQ (Obrázek 8).

Existují dva způsoby, jak uvedenou mapu vytvořit:

a) Nejprve provést klasifikaci pro každou dlaždici a všechny výsledné klasifikované rastry následně spojit do jedné finální vrstvy klasifikace (pro zvolené období), nebo

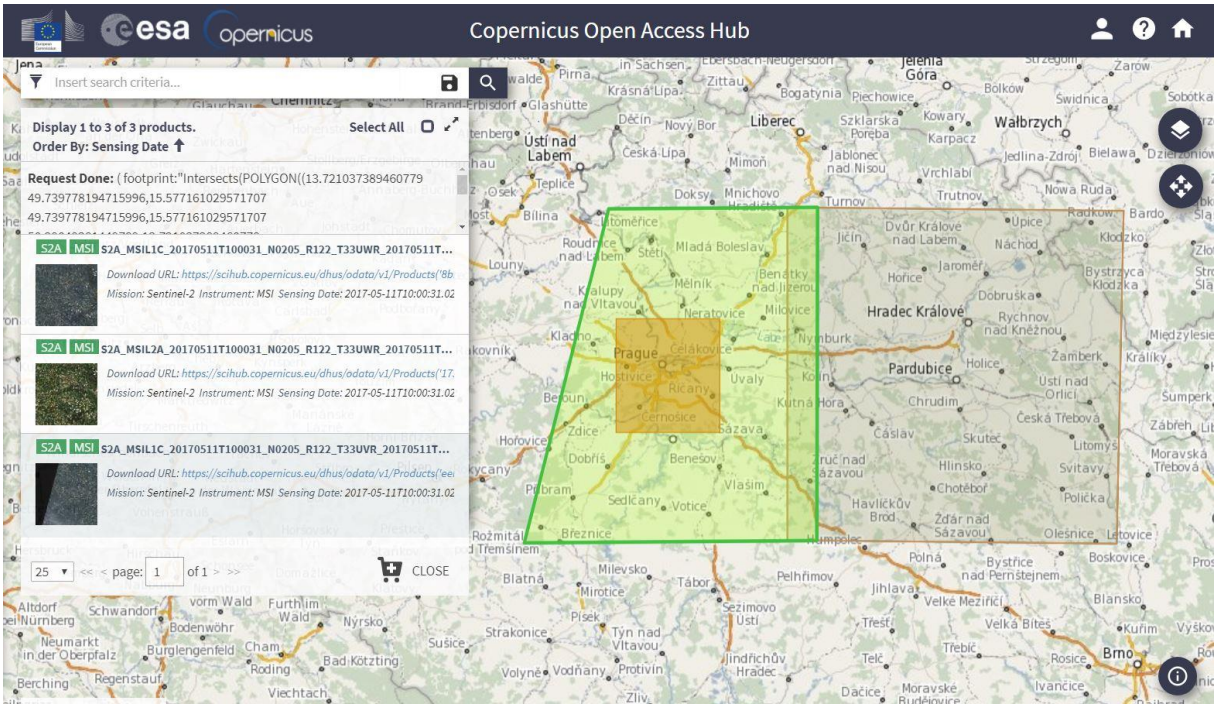
b) nejprve spojit všechny dlaždice do tzv. bezešvé mozaiky pro celé území ČR a poté provést klasifikaci (pro zvolené období).

Je důležité upozornit na to, že oba výše uvedené postupy představují výpočetně náročný proces, který vyžaduje využití adekvátního hardwarového i softwarového vybavení. Na druhou stranu vývoj v oblasti DPZ

- zpracování objemných družicových dat, testování, vylepšování a invence nových algoritmů apod. - je velmi rychlý. Rozvoj nových technologií na bázi cloudových řešení umožňuje velice rychlé zpracování velkého množství dat na vzdálených serverech a představuje tak velký potenciál využití v budoucnu, např. právě v oblasti zemědělství, a to i pro území velikosti státu.

2.5 Aplikace metodiky na zájmovém území

K ověření metodiky na vybraném zájmovém území byla vybrána oblast definovaná dlaždicí UVR, resp. její část vzhledem k (šikmé) dráze družice při snímání dat (Obrázek 23). Obrazová data vymezená dlaždicí UVR (Obrázek 8) pokrývají zemědělské oblasti převážně Středočeského kraje. Geograficky dlaždice UVR pokrývá území přibližně na spojnici mezi městy Plzeň – Mladá Boleslav. Zastoupení půdních typů a pěstovaných plodin je v této oblasti různorodé. Hlavní skupiny půdních typů v tomto území reprezentují černozemě, hnědozemě, luvizemě, kambizemě, regozemě. Podrobněji jsme se zaměřili na dvě lokality odpovídající přibližně okresům Nymburk (lokalita A) a Mladá Boleslav (lokalita B).



Obrázek 23: Sentinels Scientific Data Hub – webová aplikace určená k prohlížení, vyhledávání a stahování dat Sentinel

Pro otestování navržené metodiky byly zpracovány nejprve dva samostatné snímky (období květen 2017 a srpen 2017) a poté časová řada Data pro období květen a srpen byla vybrána proto, že jsou vhodná pro identifikaci a lokalizaci specifických projevů určitých plodin. V květnu je řepka ozimá ve fázi kvetení, a tím je velmi dobře rozpoznatelná a odlišitelná od ostatních plodin. Toto období je vhodné také pro identifikaci a lokalizaci ozimů (pšenice, ječmen), které jsou již více vzrostlé oproti jiným plodinám a na obrazových datech se projevují jako vegetace s fotosyntetizující složkou. Pro měsíc květen byla k dispozici data s výskytem oblačnosti minimální (23 %). V srpnu byla k dispozici data s téměř nulovou oblačností, která jsou vhodná i pro detekci dalších důležitých plodin: kukuřice, řepa cukrovka, brambory, slunečnice.

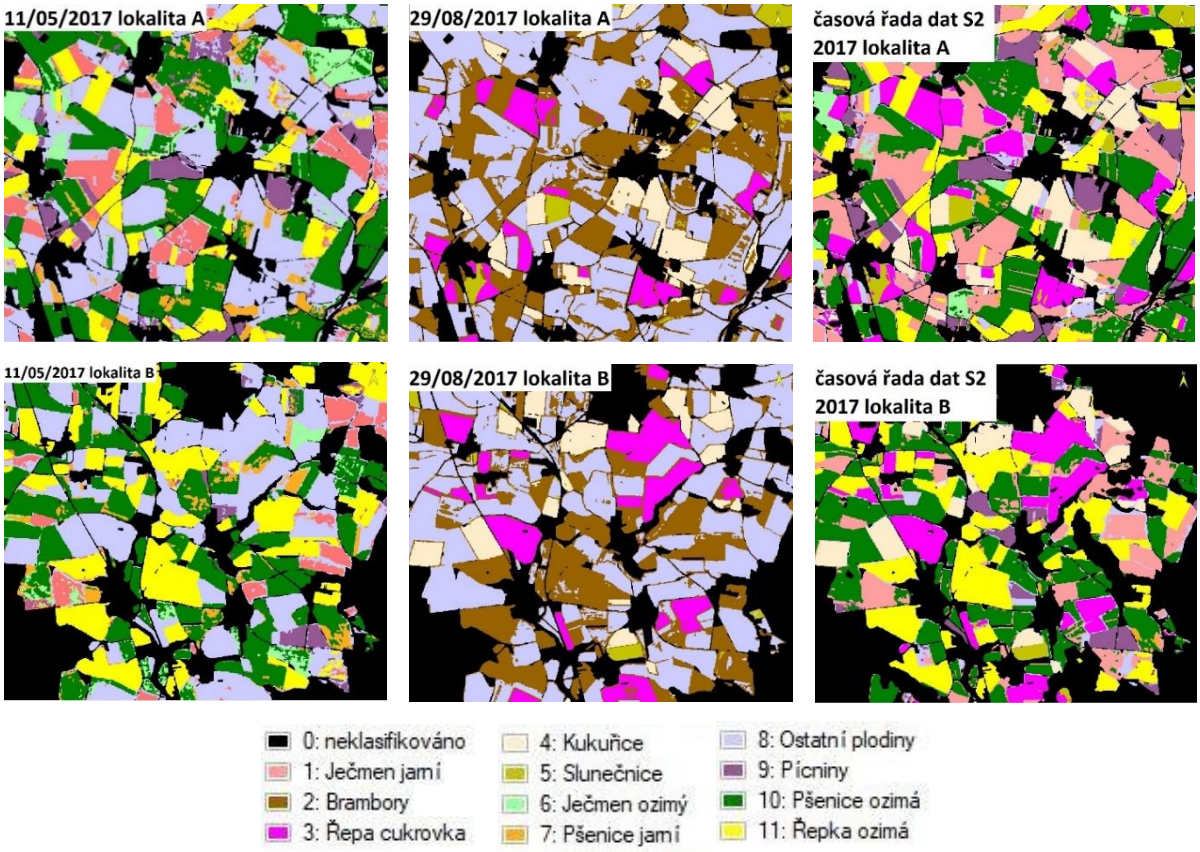
Zpracování časové řady bylo provedeno za účelem sledování dynamiky vývoje plodin. Časová řada zahrnuje šest obrazových dat z období květen-září 2017, z nichž byl vytvořen vícepásmový produkt s využitím nástroje *Build Layer Stack*. Pro převzorkování byla zvolena metoda nejbližšího souseda (Nearest Neighbor). Pro definování pixelů, které jsou bezoblačné na všech datech časové řady byl využit nástroj *Build raster mask* (Obrázek 20).

Výsledkem je průnik všech masek oblačnosti (všech pixelů s hodnotou 1). Tato finální maska byla použita při klasifikaci.

Tabulka 11: Vybrané a klasifikované plodiny pro jednotlivá období (zvýrazněna zeleně)

	Řepka ozimá	Pšenice ozimá	Pšenice jarní	Ječmen ozimý	Ječmen jarní	Pícniny	Řepa cukrovka	Slunečnice	Kukuřice	Brambory	Ostatní plodiny*
data S2 11/05/2017											
data S2 29/08/2017											
časová řada dat S2 2017											
*např. trávy, vojtěška, oves, jetel, triticale, hrách											

Pro uvedená tři období (květen 2017, srpen 2017, časová řada květen – srpen 2017) byla provedena řízená klasifikace hlavních vybraných plodin (Tabulka 11). Pro celý proces klasifikace jsme využili komplexních nástrojů Region Of Interest (ROI) a Classification workflow v softwaru ENVI 5.5. Data pro všechna tři uvedená období byla klasifikována s využitím klasifikátoru největší pravděpodobnosti (Maximum Likelihood). Volitelné parametry prahová hodnota pravděpodobnosti (Probability Threshold) a chyba maximální vzdálenosti (Maximum Distance Error) nebyly nastaveny (hodnota „None“). Výsledný klasifikovaný rastr byl upraven vyhlazením (*Smoothing*) a odstraněním osamocených pixelů (*Aggregation*). Výsledné klasifikace jsou podkladem pro vytvoření map identifikace a lokalizace vybraných zemědělských plodin v regionálním měřítku (Středočeský kraj a okolí Prahy). Uvádíme ukázku i na lokální úrovni pro dvě vybrané lokality (okresy Nymburk a Mladá Boleslav) a zvolená časová období (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



Obrázek 24: Ukázka výsledků klasifikace pro jednotlivá časová období pro rok 2017, nahoře lokalita A – okres Nymburk, dole lokalita B - okres Mladá Boleslav, měřítko 1: 25 000

Pro všechny klasifikované rastry byla vypočtena chybová matice. Pro její výpočet jsme použili nástroj *Confusion Matrix Using Ground Truth ROI (*software ENVI*)*. Vypočtené hodnoty kappa koeficientu a celkové přesnosti klasifikace pro všechna sledovaná období ukazují, že přesnost klasifikací je poměrně vysoká. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při klasifikaci plodin v období srpen 2017 (Tabulka 12).

Tabulka 12: Hodnocení přesnosti klasifikovaných dat Sentinel 2 pro sledovaná období

	data S2 11/05/2017	data S2 29/08/2017	časová řada
Celková přesnost klasifikace (%)	87,6	97	86,5
Kappa koeficient	0,85	0,95	0,85

Z výsledků vyplývá, že analýzou časové řady je možné data klasifikovat s uživatelskou přesností vyšší než 75 % (Tabulka 13). Řepka ozimá, pšenice ozimá, ječmen jarní, kukuřice a řepa cukrovka patří mezi plodiny, které se podařilo identifikovat a lokalizovat s velmi vysokou přesností. Naopak nižších hodnot přesnosti bylo dosaženo v kategorii ostatní plodiny. Tato kategorie je specifická tím, že osahuje méně zastoupené plodiny (např. trávy, vojtěška, oves, jetel, triticale, hrách, zelenina apod.), které mají různé spektrální projevy. Proto je složitější je identifikovat a lokalizovat. Současně mohou být při analýze zaměněny za jiné plodiny.

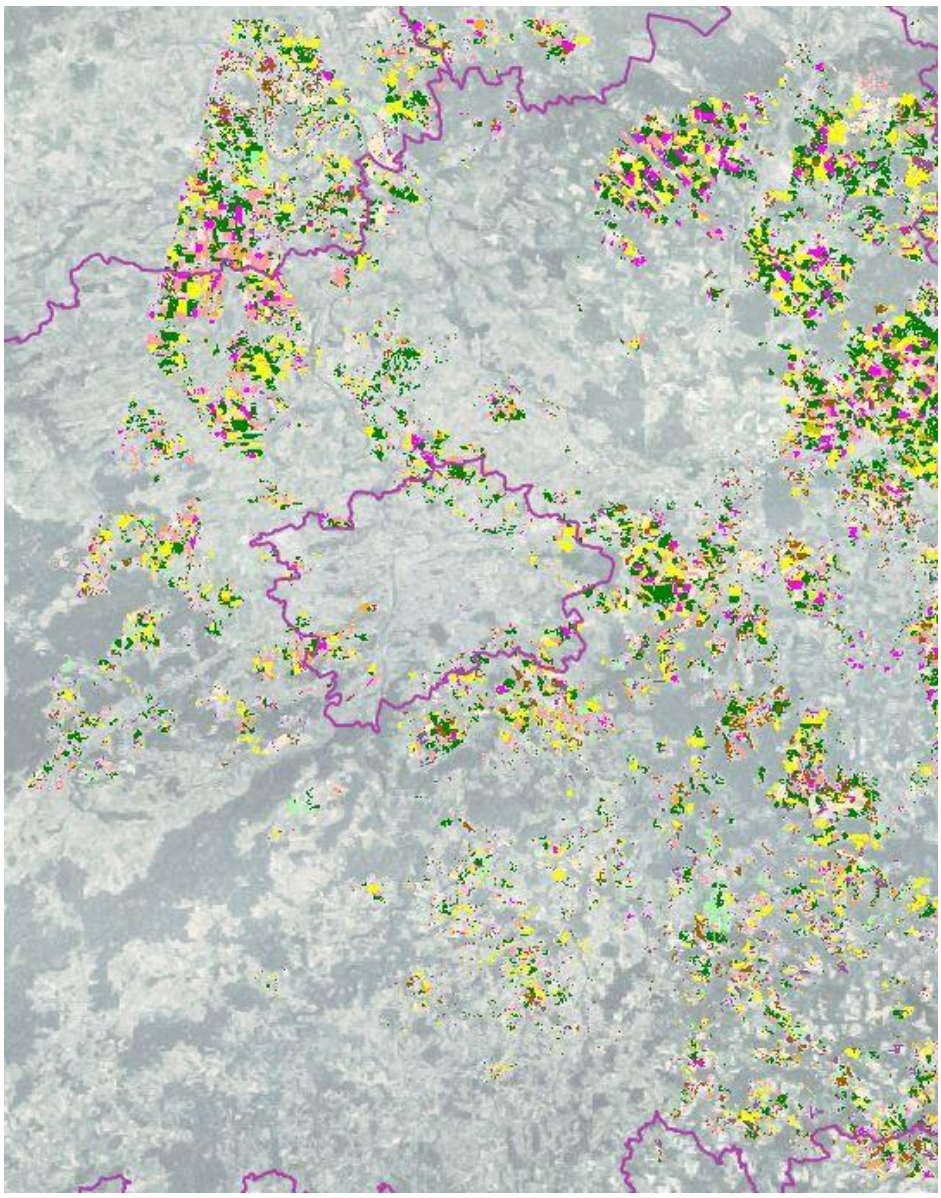
Tabulka 13: Výsledky zpracovatelské a uživatelské přesnosti klasifikace dat družic Sentinel 2 pro vybrané plodiny a jednotlivá období (seřazeno od nejvyšší uživatelské přesnosti po nejnižší)

data S2 11/05/2017	zpracovatelská přesnost (%)	uživatelská přesnost (%)		časová řada dat S2	zpracovatelská přesnost (%)	uživatelská přesnost (%)
Řepka ozimá	92.28	100		Řepka ozimá	99.68	100
Pícniny	59.77	97.79		Slunečnice	59.44	100
Pšenice ozimá	98.67	97.43		Kukuřice	89.52	100
Ječmen jarní	79.21	88.44		Pšenice jarní	72.33	99.83
Ječmen ozimý	86.78	76.71		Ječmen jarní	95.23	96.71
Pšenice jarní	66.7	71.46		Pšenice ozimá	99.19	96.18
Ostatní plodiny	55.32	15.6		Brambory	95.3	96.1
				Řepa cukrovka	100	79.95
data S2 29/08/2017	zpracovatelská přesnost (%)	uživatelská přesnost (%)		Ječmen ozimý	90.74	67.47
Kukuřice	95.39	100		Pícniny	74.45	62.52
Ostatní plodiny	99.98	99.98		Ostatní plodiny*	38.11	39.45
Řepa cukrovka	96.6	98.73				
Slunečnice	92.35	98.68				
Brambory	84.01	40.77				

Kategorie slunečnice byla klasifikována s velmi vysokou přesností v období srpen 2017 i v časové řadě dat - uživatelská přesnost dosáhla 100 %. Tato maximálně dosažitelná hodnota uživatelské přesnosti znamená,

že ve výsledném rastru vybraných plodin by žádný pixel klasifikovaný jako kategorie slunečnice neměl představovat jinou kategorii plodin. Zpracovatelská přesnost je pro slunečnici nižší (59,4 %), což znamená, že přibližně 40 % pixelů klasifikátor označil jako jiný povrch než je slunečnice. Klasifikací časové řady dat bylo dosaženo vysokých hodnot uživatelské přesnosti u řepky ozimé (100 %), slunečnice (100 %), kukuřice (100 %) a pšenice jarní (99.8 %). U pšenice ozimé bylo dosaženo vysokých hodnot přesnosti (zpracovatelské i uživatelské) při klasifikaci dat v období květen 2017 i celé časové řady dat V obou případech nad 96 %. V období srpen 2017 bylo dosaženo nejlepších výsledků pro kategorii kukuřice (zpracovatelská přesnost 95,4 %, uživatelská přesnost 100 %).U kategorií ostatní plodiny, řepa cukrovka a slunečnice dosáhly všechny přesnosti nad 92 %, což lze považovat za velmi dobrý výsledek. Nižší uživatelská přesnost u kategorie brambory může být důsledkem nedostačující velikosti validačního souboru dat, který ale odpovídá výskytu plodiny v zájmovém území.

Celková přesnost klasifikace vybraných zemědělských plodin může být vylepšena v případě, že bude možné pracovat s větším množstvím bezoblačných dat družic Sentinel 2 během vegetačního období. Tento faktor ale nelze ovlivnit. Za účelem dosažení vyšší přesnosti klasifikace může být vhodné otestovat další metody, a to na bázi strojového učení, jako je např. Support vector machine. Lze ji použít i alternativně v případě některých plodin, u kterých bylo dosaženo nižší přesností klasifikací Maximální pravděpodobnosti, jak uvádí některé zdroje (např. Waldhoff et al. 2017). Jedním z možných řešení je varianta doplnění informace z dat radarových (např. Sentinel 1). Kombinace optických a radarových dat vyžaduje zpracovatelsky náročnější postupy a tento přístup má otevřený potenciál v oblasti lokalizace a identifikace zemědělských plodin.



Obrázek 25: Finální mapa klasifikace vybraných zemědělských plodin pro rok 2017 na území části Středočeského kraje a kraje Hlavního města Prahy

3 Seznam použité související literatury

Atzberger, C., Rembold, F. (2013). Mapping the spatial distribution of winter crops at sub-pixel level using AVHRR NDVI time series and neural nets. *Remote Sensing*, *5*(3), 1335–1354.

Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. Remote Sens.

Atzberger, C.; Eilers, P.H.C. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. Int. J. Dig. Earth 2011, 4, 365–386.

Baret F. and Guyot G., Potentials and limits to vegetation indices for LAI and APAR assessments, Remote Sens- ing of Environment 35 (1991), pp. 161–173.

Bargiel, D., Herrmann, S., 2011. Multi-temporal land-cover classification of agricultural areas in two European regions with high resolution spotlight TerraSAR-X data. Remote Sensing 3, 859–877.

Blaes, X., Vanhalle, L., Defourny, P., 2005. Efficiency of crop identification based on optical and SAR image time series. Remote Sens. Environ. 96, 352–365. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.010.

Beck, P.S.A.; Atzberger, C.; Høgda, K.A.; Johansen, B.; Skidmore, A.K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. Remote Sens. Environ. 2006, 100, 321–334. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. Guilford Press.

Brodsky L., Vobora V., Sourkova L., Kodesova R., 2008. Supervised crop classification from middle-resolution multitemporal images. Proc. of the ´2nd MERIS / (A)ATSR Users Workshop´, Frascati, Italy 22-26 (ESA SP-666, November 2008).

Dingle Robertson, L., King, D.J., 2011. Comparison of pixel- and object-based classification in land cover change mapping. Int. J. Remote Sens. 32, 1505–1529. http://dx.doi.org/10.1080/01431160903571791 .

Duro, D.C., Franklin, S.E., Dubé, M.G., 2012. A comparison of pixel-based and objectbased image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. Remote Sens. Environ. 118, 259–272. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.020 .

El-Magd, I.A., Tanton, T.W. (2003). Improvements in land use mapping for irrigated agriculture from satellite sensor data using a multi-stage maximum likelihood classification. International Journal of Remote Sensing, 24, s. 4197-4206

Foody, G.M., Mathur, A., 2004. Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification. Remote Sens. Environ. 93, 107–117.

Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T., Zoungrana, E., 2014. Integration of optical and Synthetic Aperture Radar imagery for improving crop mapping in Northwestern Benin, West Africa. Remote Sens. 6, 6472–6499.

Geerken, R., Batikha, N., Celis, D., & Depauw, E. (2005). Differentiation of rangeland vegetation and assessment of its status: field investigations and MODIS and SPOT VEGETATION data analyses. International Journal of Remote Sensing, 26(20), s. 4499-4526.

Hansen, M.C., Defries, R.S., Townshend, J.R.G., Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. International Journal of Remote Sensing, 21, s. 1331-1364

Halounová L., Pavelka K. (2008). Dálkový průzkum Země. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Hütt, C., Koppe, W., Miao, Y., Bareth, G., 2016. Best accuracy land use/land cover (LULC) classification to derive crop types using multitemporal, multisensor, and multipolarization SAR satellite images. Remote Sens. 8, 684.

Chang, J.; Hansen, M.C.; Pittman, K.; Carroll, M.; DiMiceli, C. Corn and soybean mapping in the United States using MODIS time-series data sets. Agron. J. 2007, 99, 1654–1664.

Kopecký, K. (2017). Multi-temporal classification of agricultural crops using Sentinel-1. Diplomová práce. Karlova Univerzita, Praha.

Lillesand, T. M.; Kiefer R. W.; Chipman, J. W. 2008. Remote Sensing and Image Interpretation. 6th ed. United States of America: Wiley, 2008. 756 s. ISBN: 978-0-470-05245-7.

Long, J.A.; Lawrence, R.L.; Greenwood, M.C.; Marshall, L.; Miller, P.R. Object-oriented crop classification using multitemporal ETM+ SLC-off imagery and random forest. GIScience Remote Sens. 2013, 50, 418–436.

Lukas V., Neudert L., Novák J. (2017). Metody dálkového průzkumu v precizním zemědělství. Agrojournal (online). Dostupné z https://www.agrojournal.cz/clanky/metody-dalkoveho-pruzkumu-v-preciznim-zemedelstvi-263. [cit. 12-01-2018].

Lussem, U., Hütt, C., Waldhoff, G., 2016. Combined analysis of sentinel-1 and rapideye data for improved crop type classification: an early season approach for rapeseed and cereals. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLI-B8 959–963. http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-959-2016.

McNairn, H., Champagne, C., Shang, J., Holmstrom, D., Reichert, G., 2009. Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 64, 434–449. http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.07.006 .

Murthy, C.S., Raju, P.V., & Badrinath, K.V.S. (2003). Classification of wheat crop with multi-temporal images: Performance of maximum likelihood and artificial neural networks. International Journal of Remote Sensing, 24, 4871-4890

Nguyen, T.T.H.; De Bie, C.A.J.M.; Ali, A.; Smaling, E.M.A.; Chu, T.H. Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal SPOT NDVI image analysis. Int. J. Remote Sens. 2012, 33, 415–434.

Pal, M., Mather, P.M. (2006). Some issues in the classification of DAIS hyperspectral data. International Journal of Remote Sensing, 27, s. 2895-2916

Pena-Barragan, J.M., Ngugi, M.K., Plant, R.E., Six, J. (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. Remote Sensing of Environment, 115, s. 1301-1316

Oubrechtová, V. (2016). Využití družicových dat vysokého časového rozlišení v sledování zemědělských ploch v Česku. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Praha.

Reed, B.C.; Brown, J.F.; Vanderzee, D.; Loveland, T.R.; Merchant, J.W.; Ohlen, D.O. Measuring phenological variability from satellite imagery. J. Veg. Sci. 1994, 5, 703–714.

Rembold, F., Atzberger, C., Savin, I., Rojas, O. (2013). Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection. Remote Sensing, 5(4), s. 1704-1733.

Richards, J.A., 2012. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, 5th ed. Springer, Berlin Heidelberg.

Ritchie, S. W., Hanway, J. J. (1989). How a corn plant develops (No. REP-11237. CIMMYT.).

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III, Final Report. Greenbelt, MD.

Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N., Ohno, H. (2005). A crop phenology detection method using time-series MODIS data. Remote Sensing of Environment, 96(3–4), s. 366–374.

Simonneaux, V., Duchemin, B., Helson, D., Er-Raki, S., Olioso, A., Chehbouni, A. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in Central Morocco. Int. J. Remote Sens. 2008, 29, 95–116.

Skriver, H. (2011). Crop Classification Using Short-Revisit Multitemporal SAR Data, IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, vol. 4, no. 2, s. 423-430

Schumullius, C., Nithack, J. (1995). Crop Monitoring With Multi-Temporal Airborne DLR E-SAR Images, Geoscience and Remote Sensing Symposium, Proceedings of the IGARSS'95, s. 719 – 721

Sonobe, R.; Tani, H.; Wang, X.; Kobayashi N.; Shimamura, H. Random forest classification of crop type using multi-temporal TerraSAR-X dual-polarimetric data. Remote Sens. Lett. 2014, 5, 157–164.

Thenkabail, P.S., Biradar, C.M., Noojipady, P., Dheeravath, V., Li, Y., Velpuri, M., et al. (2009). Global irrigated area map (GIAM), derived from remote sensing, for the end of the last millennium. International Journal of Remote Sensing, 30, s. 3679-3733

Vapnik, V.N., 1995. The Nature of Statistical Learning Theory. Springer, New York.

Viña, A., Gitelson, A. A., Rundquist, D. C., Keydan, G., Leavitt, B., Schepers, J. (2004). Monitoring maize (L.) phenology with remote sensing. Agronomy Journal, 96(4), s. 1139-1147

Vuolo, F.; Mattiuzzi, M.; Klisch, A.; Atzberger, C. Data service platform for MODIS vegetation indices time series processing at BOKU Vienna: Current status and future perspectives. Proc. SPIE 2012, 8538A, 1–11.

Wang, Q., Tenhunen, J., Dinh, N. Q., Reichstein, M., Vesala, T., Keronen, P. (2004). Similarities in ground-and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. Remote Sensing of Environment, 93(1), s. 225-237

Wardlow, B.D.; Egbert, S.L.; Kastens, J.H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the US Central Great Plains. Remote Sens. Environ. (2007), 108, 290–310. Dostupné na: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=droughtfacpub

Xie, Y., Sha, Z., Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. Journal of plant ecology, 1(1), s. 9-23.

Zhong, L. (2012). Efficient crop type mapping based on remote sensing in the Central Valley, California. Disertation thesis. University of California.

Zemek, F. (2014). Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Brno.

Žížala D., Krása J., Báčová M., Zelenková K., Laburda T., Novotný I.: *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země.* Certifikovaná metodika, VÚMOP, v.v.i., Praha, 2016, ISBN: 978-80-87361-63-4.

Ilustrace

Obrázek 1: Příklady využití DPZ v zemědělství – bezpilotní průzkum, letecké snímkování a družicový monitoring (převzato z Lukas et al., 2017). 5
Obrázek 2: Spektrální odrazivost rostlin v oblasti viditelného a infračerveného záření (Campbell et al. 2002) 6
Obrázek 3: Model fenologie hlavních druhů plodin v povodí řeky Rur (Německo) v kombinaci s jejich předpokládanou detekcí a odlišením s využitím optických dat DPZ. Obdélníky vymezené čárkovanou čarou vymezují vhodná období pro sběr dat (Waldhoff et al.,2017). 7
Obrázek 4: Hlavní fáze růstu řepky ozimé: 1 - fáze růstu, bez zapojení, 2 - fáze růstu, částečné zapojení, 3 - fáze růstu, plné zapojení, 4 - fáze kvetení, 5 - fáze dozrávání, 6 - fáze před sklizní; foto VUMOP 9
Obrázek 5: Ukázka optických dat pořízených družicí SPOT 5 v nepravých barvách (vlevo) a družicí Sentinel 2 v pravých barvách (vpravo) 12
Obrázek 6: Spektrální a prostorové rozlišení dat Sentinel-2; zdroj: http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel-2_ESA_Bulletin161.pdf 15
Obrázek 7: Překryv pásů snímání dat družic Sentinel 2 na území ČR; zdroj: autoři 16
Obrázek 8: Schéma jednotlivých dlaždic (tzv. tiles) dat družic Sentinel 2 pokrývajících území ČR; zdroj: autoři 17
Obrázek 9: Ukázka vegetačního indexu NDVI v období květen 2017, lokalita okres Nymburk; zdroj: autoři 17
Obrázek 10 Příklad vyhlazené křivky charakterizující průběh hodnot NDVI z časové řady dat Sentinel-2 (zemědělská oblast na území okresu Mělník) 18
Obrázek 11: Ukázka výsledků klasifikace pro jednotlivá časová období a finální mapa plodin pro rok 2015, lokalita v povodí řeky Rur v Německu *(Waldhoff et al. 2017)*..... 20
Obrázek 12: Sentinels Scientific Data Hub – webová aplikace určená k prohlížení, vyhledávání a stahování dat Sentinel, ukázka nastavení parametrů při vyhledávání dat; zdroj: https://scihub.copernicus.eu/..... 21
Obrázek 13: Ukázka struktury dat družic Sentinel 2 úrovně Level-2A v softwaru ENVI 5.5..... 22
Obrázek 14: Prohlížeč Sentinel Hub Playground, zdroj: https://sentinel-hub.com/..... 23
Obrázek 15: Schéma metodického zpracování dat 24
Obrázek 16: Vlevo - díl půdního bloku s více plodinami (vyznačeno červeným polygonem), vpravo – ukázka klasifikace dat družic Sentinel 2 z období květen 2017, měřítko 1:15 000 24
Obrázek 17: Ukázka definovaných trénovacích dat na podkladu dat družic Sentinel 2 v nepravých barvách - kombinace pásem 11-8-2 26
Obrázek 18: Ukázka dat Sentinel 2 úrovně Level-2A – klasifikace scény a desetipásmový datový produkt s prostorovým rozlišením 10 m 26
Obrázek 19: Časová řada dat družic Sentinel 2 na zájmovém území Středočeského kraje a okolí Prahy (dlaždice UVR)..... 29
Obrázek 20: Ukázka postupu vytvoření kombinace masek oblačnosti pro časovou řadu dat družic Sentinel 2 30
Obrázek 21: Ukázka rozmístění trénovacích dat v n-rozměrném prostoru - vybrané kategorie plodin v období květen 2017..... 31
Obrázek 22: Spektrální křivky trénovacích dat pro vybrané kategorie plodin v období květen 2017 32
Obrázek 23: Sentinels Scientific Data Hub – webová aplikace určená k prohlížení, vyhledávání a stahování dat Sentinel..... 35
Obrázek 24: Ukázka výsledků klasifikace pro jednotlivá časová období pro rok 2017, nahoře lokalita A – okres Nymburk, dole lokalita B - okres Mladá Boleslav, měřítko 1: 25 000..... 37
Obrázek 25: Finální mapa klasifikace vybraných zemědělských plodin pro rok 2017 na území části Středočeského kraje a kraje Hlavního města Prahy 39

Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek
v dopravě a chemickém průmyslu
(ČTPB)

Projekt NAZV - QK1710307

Ekonomická podpora strategických a rozhodovacích procesů na národní i regionální úrovni vedoucí k optimálnímu využití obnovitelných zdrojů energie, především pak biomasy, při respektování potravinové soběstačnosti a ochrany půdy

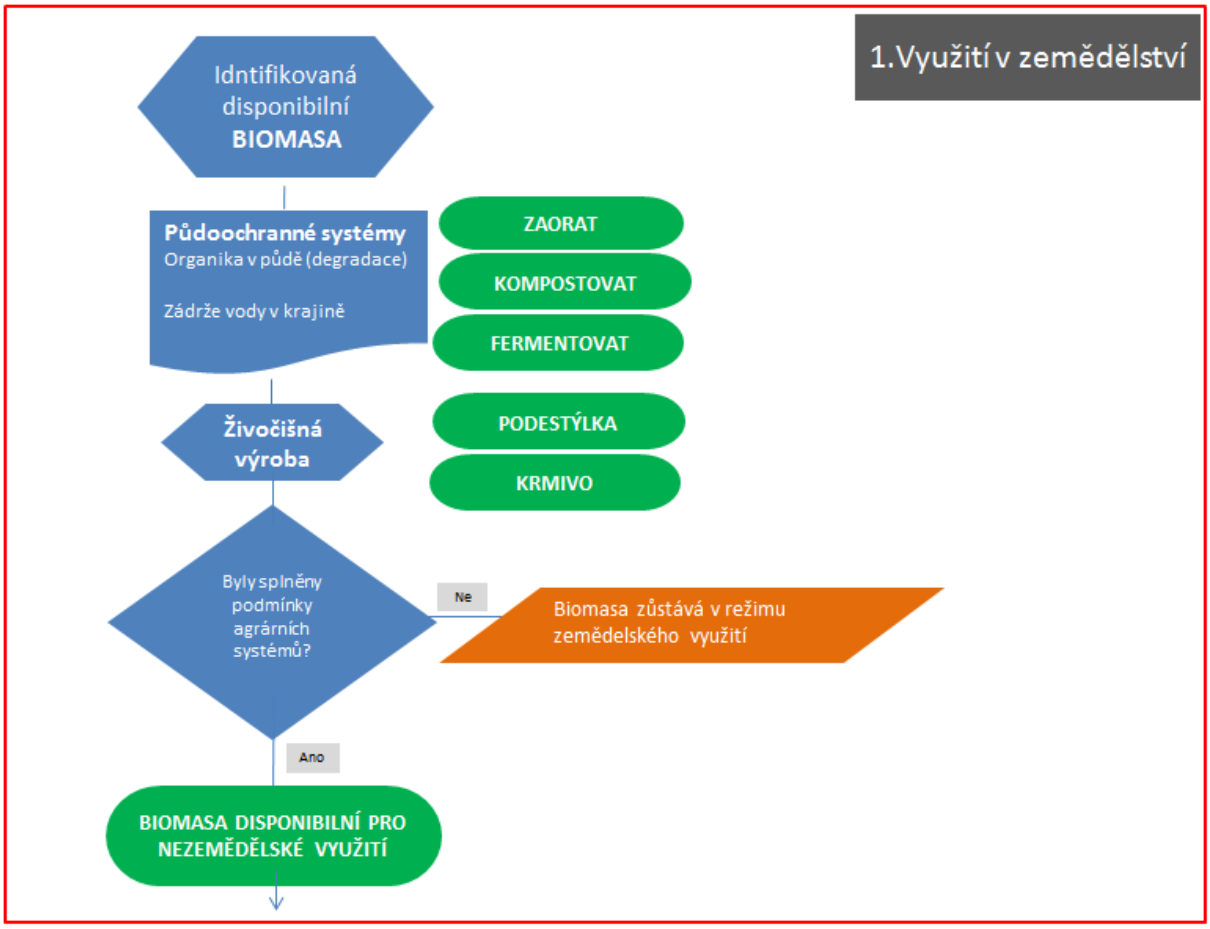
Využití biomasy v zemědělství

2. Biomasa a návrat organické hmoty do půdy
   1.1. SOC- Soil Organic Carbon - Organický uhlík v půdě
   1.2. Zapracování uhlíku do půdy

2. Využití slámy jako steliva, krmiva

Vypracoval: Ing. Leoš Gál
Předseda řídícího výboru ČTPB
2020
mobil 736-5050-12

Úvahy o využití biomasy, tzv. zbytků (reziduí), musí být v první řadě jejich aplikace v rámci zemědělského využití.



1.1. SOC- SOIL ORGANIC CARBON - ORGANICKÝ UHLÍK V PŮDĚ

PŮDA

Půda všeobecně představuje heterogenní médium sestávající z pevné, tekuté a plynné fáze. Na tvorbě půdy se podílí pět vzájemně reagujících faktorů: klima, topografie, matečný materiál (hornina), čas a v neposlední řadě půdní organismy (mikroorganismy). Vzhledem k nedostatku využitelného C a N v raných stádiích tvorby půdy připadá klíčová role mikrobům schopným vázat tyto elementy, tedy foto-syntetizujícím a dusík-poutajícím mikroorganismům, ke kterým se postupně přidávají další skupiny mikrobů, jejichž funkcí je využití a především degradace vytvořené organické hmoty a návrat všech prvků do přirozeného koloběhu látek.[1]

[1] https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps2014/mikrob_spol/web/pages/01-uvod.html

SLOŽKY ORGANICKÉ HMOTY - (Soil Organic Matter-SOM)

Půdní organická hmota je pojem, jehož chápání se v průběhu času měnilo. Dříve byla půdní organická hmota zcela ztotožňována s humusem a rozuměla se jí půdní frakce tvořená výlučně nerozloženými rostlinnými a živočišnými zbytky. Tento názor byl rozšířen i u nás (Kopecký, 1928; Pelíšek, 1957), ale i ve světě (Soil Science Society of America, 1987). Až později byla půdní organická hmota (anglicky Soil Organic Matter – SOM) pro laboratorní účely více specifikována, a SOM je chápán jako všechen organický materiál v půdě, jehož částice jsou menší než 2 mm (Burt, 2004). V podstatě je možné chápat SOM jako sumu veškerého přírodního a termicky, biologicky změněného organického materiálu v půdě nebo na jejím povrchu, bez ohledu na jeho zdroj. Jsou v ní zahrnuty živé i neživé organismy (bez nadzemních orgánů rostlin), a to bez ohledu na stupeň dekompozice.
Uhlík v půdě v zásadě identifikujeme v tzv. živé a neživé složce půdy.

A. <u>ŽIVÁ SLOŽKA PŮDY</u>

MIKROEDAFON - (bakterie, houby, aktinomycety, sinice aj.), zajišťují rozkladné ale i transformační procesy s uvolňováním CO_2. Také rostliny svým kořenovým systémem, jeho utvářením, mohutností a prokořeněním půdního profilu značně ovlivňují biologické i chemické procesy v období vegetace. Nesporný je vliv kořenových exudátů a komplexní působení rhizosféry, tj. prostředí v těsném okolí kořenů (cca do 5 mm od kořene).

B. <u>NEŽIVÁ SLOŽKA PŮDY</u> – má dvě skupiny **<u>PRIMÁRNÍ ORGANICKÁ HMOTA a HUMUS</u>**

PRIMÁRNÍ ORGANICKÁ HMOTA - odumřelé (neživé) části rostlin a půdních mikroorganizmů, které se nacházejí v půdě nebo se do půdy dostávají zapravením zbytků rostlin nebo aplikací organických hnojiv.

Primární organická hmota v půdě podléhá mineralizaci (rozkladu mikroorganizmy), přičemž rychlost rozkladu je ovlivněna půdními podmínkami (teplota, vlhkost, provzdušnění, pH apod.), a také vlastnostmi (složením) jednotlivých komponentů primární organické hmoty. Primární organická hmota je často označována jako <u>dynamická část SOC</u>, která může vykazovat kolísání obsahu podle přísunu organických látek do půdy a průběhu mikrobiálních procesů.

Většina dodané půdní organické hmoty <u>je postupně mineralizována.</u>

Mineralizace - pomalé spalování kdy produktem je CO_2 a minerální živiny. Je to proces, exotermický), přičemž většina energie se vyzáří a jen část se spotřebuje na humifikaci. Mineralizace ale vždy mnohonásobně převyšuje humifikaci. To platí zejména v půdách nižších poloh, kde jsou vhodnější podmínky pro mikroorganizmy, a proto je větší část půdní organické hmoty mineralizována. V těchto půdách jsou ale i vhodné podmínky pro humifikaci, a tak může být a část organických látek transformována na humus. Je proto důležité **<u>do určitých půdních podmínek volit vhodný zdroj primární organické hmoty</u>**.
Někde je vhodnější zelené hnojení, zaorání slámy, ale někde je potřeba dodávat již organické látky částečně humifikované v podobě hnoje nebo kompostu.

<u>Mylné jsou proto představy, že dodáváním pouze rostlinné hmoty zvýšíme obsah humusu.</u>

Naopak při podmínkách, které podpoří rychlou mineralizaci, můžeme půdě „uškodit“.

Například zaorávka slámy s vysokým obsahem rychle rozložitelné celulózy může podpořit rozklad již transformovaných semistabilních organických látek.

Primární organická hmota tedy:

- primárně slouží pro výživu mikrobioty
- po mineralizaci slouží jako minerální výživa pro rostliny. Než dojde k uvolnění živin, umožňuje jejich zadržování v půdě **biologickou sorpcí**, čímž brání vyplavení mobilnějších živin (například $N\text{-}NO_3^-$; $S\text{-}SO_4^-$)
- snižuje objemovou hmotnost půdy
- zvyšuje pórovitost a zlepšuje tím transport vody v půdě
- zvyšuje schopnost půdy zadržovat vodu ze srážek (infiltrace)
- nemá ale schopnost zadržovat vodu zadržovat (vázat)
- její rozklad považujeme za nepřímé „hnojení“ uhlíkem. CO_2 uvolněný mineralizací zvyšuje v půdě rozpustnost některých sloučenin, a tím přispívá k uvolnění živin pro rostliny. Toto působení je však krátkodobé. Pouze několik týdnů či měsíců, podle podmínek pro mineralizaci.

I to je důvodem disproporcí výsledků jednotlivých metod výpočtu SOC (SOMic, CORPSE, MIMICS , MEND a RESOM) viz dále. Novější bilanční postupy by měly hodnotit také rychlost mineralizace jednotlivých vstupů. Počítána je pak tzv. **efektivní organická hmota**, která odhaduje množství organických látek zbylé v půdě po jednom roce od aplikace.

Například aplikací 5 t slámy/ha s obsahem 80 % organických látek (OL) dodáme 4 t OL na ha. Stejné množství bychom dodali aplikací 24 t hnoje při obsahu 17 % OL. Většina organických látek slámy se rozloží v průběhu několika měsíců a v půdě zůstane po jednom roce do 20 % aplikovaných organických látek, avšak z hnoje více než 50 %. Údaje efektivní organické hmoty jsou uvedeny v tabulce:

Hnojivo	**Obsah organických látek (%)**	**Dávka hnojiva (t/ha)**	**Efektivní organická hmota (%)**	**Zbytek organických látek (t/ha)**
Hnůj	17	24	55	2,2
Sláma	80	5	20	0,8
Zelené hnojení, chrást	12	33	15	0,6
Kejda	6	67	10	0,4

Efektivní organická hmota a zbytek OL po roce[2]

HUMUS

Jako druhá složka neživé půdy má v půdě zcela jiné poslání než primární organická hmota. Jelikož je humus odolný mikrobiálnímu rozkladu, **jsou humusové složky v půdě velice stabilní.**

Složka humusu	**Poločas rozkladu**
Fulvokyseliny (fyzikálně stabilizovaná organická hmota)	30–80 let
Huminové kyseliny a humáty (chemicky stabilizovaná organická hmota)	600–3 000 let
Huminy (složka humusu, která je pevně vázaná na anorganické půdní koloidy)	> 3 000 let

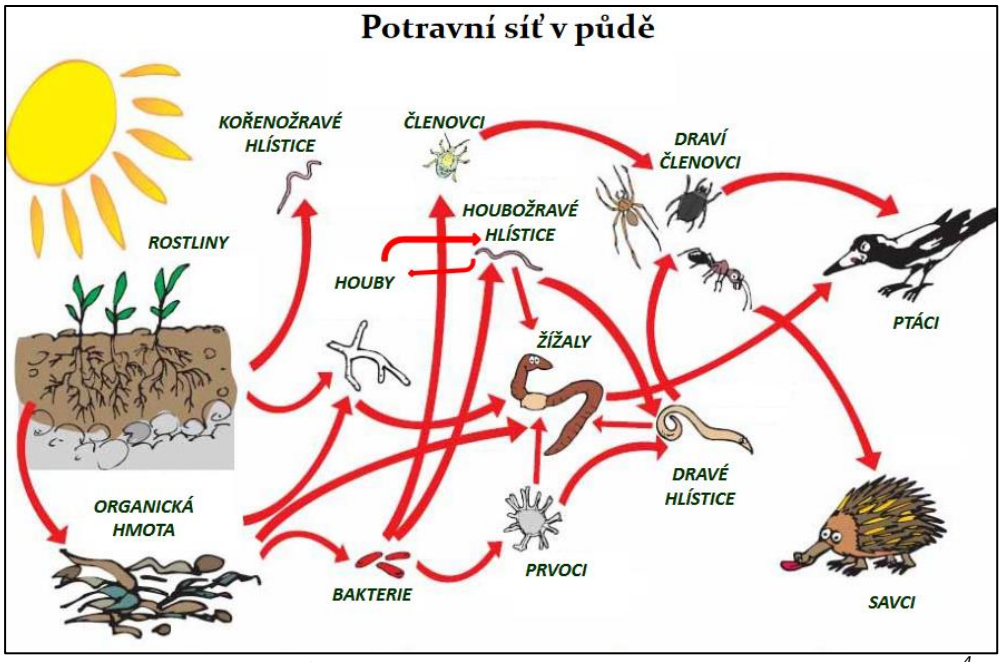
[2] https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam

Nejsou tedy zdrojem živin rozkládané organické hmoty, ale mají **významné sorpční a iontovýměnné vlastnosti**. To znamená, že na povrchu mohou poutat ionty, především kationty, čímž vytváří jejich „rezervu“ v půdě. Důležité je, že živiny jsou již ve formě iontů, tedy v podobě přijatelné pro rostliny. Podmínkou pro jejich přijatelnost je ale také uvolnění do půdního roztoku a transport až ke kořenům. Půdy s vyšším obsahem humusu mají vyšší kationtovou výměnnou kapacitu a vyšší obsah potenciálně přístupných živin. Na sorpční vlastnosti má vliv také půdní druh (obsah jílnatých částic) a na přístupnost živin pak další půdní vlastnosti (vlhkost, pH apod.)
Sorpční vlastnosti významně přispívají k zadržování bazických kationtů (zejména vápníku) a dokáží dlouhodobě stabilizovat (pufrovat) případné změny pH v půdě a půdním roztoku. Pozitivní je také působení sorpčních vlastností humusu na snížení mobility řady těžkých kovů, či vazbu xenobiotických polutantů - reziduí pesticidů a dalších látek, kde jsou na povrchu humusových látek snadněji atakovány mikroorganizmy.

Velmi významná je schopnost tvorby organominerálních komplexů (huminové kyseliny + jílové minerály), které mají vysokou stabilitu a vykazují vysokou pórovitost (velké množstvím dutin a vnitřních prostorů) a vytváří předpoklad tvorby dobré a stabilní struktury půdy.
Obdobně jako primární organická hmota, tak humusové látky přispívají ke snížení objemové hmotnosti půdy, zvyšují pórovitost, umožňují transport vody v půdě a zvyšují infiltraci vody do půdy. Humusové látky ale dlouhodobě! Vědecké studie uvádí, že mohou zadržet až dvacetinásobek své hmotnosti, přičemž většina zadržené vody může být využívána rostlinami.

V ČR zkoumá vztah kvalitu půdy a mikroorganizmů Biologické centrum AV ČR, v. v. i. – Ústav půdní biologie a varuje, že **jeden centimetr zdravé, funkční půdy vzniká až tisíce let.** [3] Organická hmota (biomasa), je přitom „vstupní surovinou“ (potravou) celého složitého následného řetězce, který v celém svém komplexu zajišťuje a udržuje kvalitu půdy.

[3] https://aa.ecn.cz/img_upload/410697af7dfcb092dfd4e3937dd69e3f/jiri-jirout-av-cr.pdf



Schematické znázornění důležitosti organické hmoty v následném potravinovém řetězci[4]

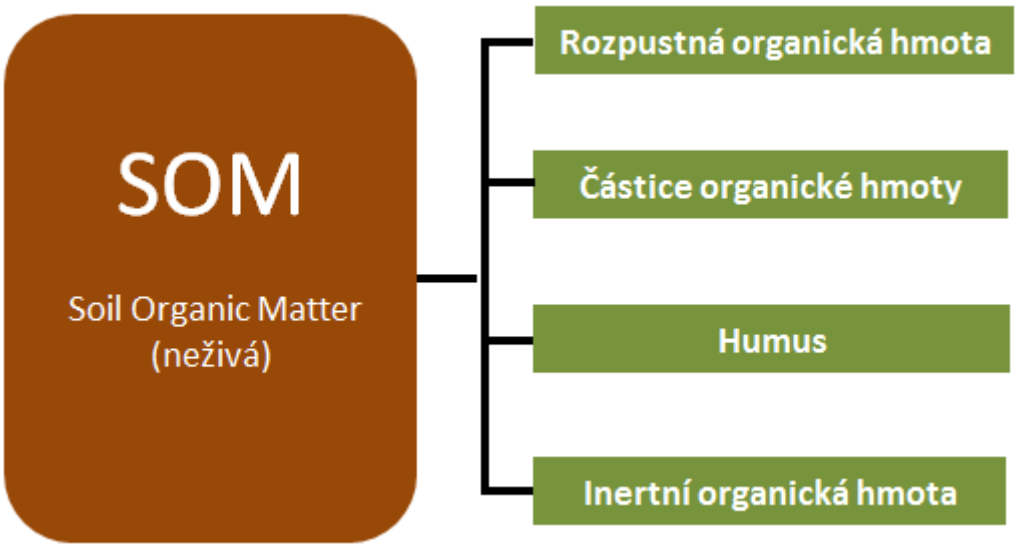
Ve skutečnosti je na organické hmotě závislý kvantitativně mnohem bohatší počet organizmů. Kdy na svrchní vrstvě 20 cm zeminy na 1m2 je především mikrobiota (bakterie, archea, houby a řasy) v nepředstavitelně vysokých počtech – viz tabulka Ústavu půdní biologie Biologického centra AV ČR:

Počty organismů ve svchní vrstvě (20 cm) půdy na ploše 1 m²

		Počty jedinců průměrně
Mikrobiota	bakterie	100 000 000 000 000 (10^{14})
	archea	1 000 000 000 000 (10^{12})
	houby	100 000 000 000 (10^{11})
	řasy	100 000 000 (10^{8})
Mikrofauna	prvoci	10 000 000 (10^{7})
	hlístice	1 000 000 (10^{6})
Mesofauna	roztoči	70 000
	chvostoskoci	50 000
	roupice	30 000
Makrofauna	žížaly	100
	stonožkovci	100
	brouci	100

Organizmy v půdě dle Ústavu půdní biologie Biologického centra AV ČR

[4] https://aa.ecn.cz/img_upload/410697af7dfcb092dfd4e3937dd69e3f/jiri-jirout-av-cr.pdf



Neživá složka půdy z hlediska SOM schematicky[5]

Rozpustná organická hmota < 0,45 µm

Jednoduché organické sloučeniny (např. organické kyseliny, aminokyseliny, cukry), které se snadno rozkládají. Aktivita je kratší než 12 měsíců. Jedná se o exudáty[6] z kořenů rostlin.

Částice organické hmoty 53 µm – 2 mm

Zbytky rostlin, zvířecí výkaly a produkty aktivity mikroorganismů. Většinou trvale procházejí rozkladem. Doba trvání je kratší než 10 let. Rozklad méně aktivní složky může trvat 15 až 100 let. Na povrchu částice organické hmoty zachycují energii dešťových kapek a chrání fyzické povrchy půdy před poškozením. Rozklad uvolňuje energii potřebnou pro půdní organismy a poskytuje stabilní uvolňování živin do půdního prostředí.

Humus zabírá až 45-75% podíl půdy

Není biologicky úplně inertní, ale je velmi odolný vůči modifikaci a změnám. Je klíčovým faktorem stabilizace a dobré struktury půdy. Existuje v půdě po celá desetiletí.

Inertní organická hmota - biouhel

Není biologicky aktivní, ale pozitivně přispívá ke strukturálním vlastnostem půdy, včetně kapacity zadržování vody, kapacity pro výměnu tepelných vlastností. Aktivita až stovky let.

[5] http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_toolbox_organic_forms
[6] https://is.cuni.cz/studium/dipl_st/index.php?id=&tid=&do=main&doo=detail&did=179475

Soil Organic Carbon (SOC) - půdní biota a organická hmota

SOC je hlavním zdrojem energie pro celou půdní biotu. Organická hnojiva (na rozdíl od hnojiv minerálních), má především zajistit rozvoj půdní bioty - MIKROEDAFONU.

Půdní biota působí jako hlavní hnací prostředek pro:

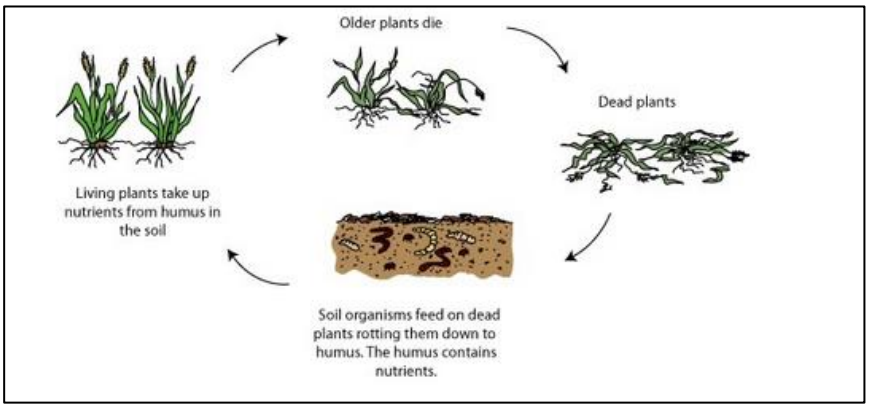
- koloběh živin
- zvýšení množství a účinnosti přijímání živin vegetací
- regulaci dynamiky SOM, sekvestrace uhlíku v půdě a emisí skleníkových plynů
- úpravě fyzikální struktury půdy a vodních režimů
- zlepšení zdraví rostlin.

Hodnota „ekosystémových služeb“ poskytovaných každoročně půdní biotou v zemědělských systémech na celém světě přesahuje 1 542 miliard USD (FAO 2002). Téměř 40-48 milionů tun N ročně je biologicky fixováno v zemědělských plodinách ve srovnání s 83 miliony tun N ročně fixovaných průmyslově na výrobu hnojiv.

Nedostatek organické hmoty vede ke snížení mikrobiální populace a aktivity, což zase snižuje rychlost mineralizování celkového uhlíku v půdě.
A naopak, zvýšení objemu čerstvé organické hmoty zvyšuje mikrobiální populaci a aktivitu, čímž se zvyšuje rychlost rozkladu ostatních SOC komponentů. [7]
Obdobně výzkum podpořen Evropskou komisí (Marie Curie IIF projekt MICROSOM) prokazuje, že mikrobiální biomasa je přímým činitelem rozkladu a všech ostatních skupin SOC a její aktivita je zásadním parametrem ovlivňujícím rychlosti rozkladu SOC.[8]

Soil Organic Carbon - zadržování CO_2 do půdy a uvolňování do ovzduší

Zatímco CO_2 a CH_4 jsou hlavními GHG na bázi uhlíku, autotrofní organismy (hlavně rostliny) a mikroby syntetizují atmosférický CO_2 na organický materiál. Následně je pak mrtvý organický materiál (hlavně ve formě rostlinných zbytků) do půdy zapracován půdní faunou, což vede k uhlíkovému vstupu do půdy (transformaci organického materiálu) heterotrofními mikroorganismy[9]:



[7] https://www.nature.com/articles/s41598-019-43026-8
[8] http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.699.7234&rep=rep1&type=pdf
[9] https://cs.wikipedia.org/wiki/Heterotrofie

Do půdy:
Sekvestrace SOC všeobecně zahrnuje tři fáze:
- odstranění CO_2 z atmosféry fotosyntézou rostlin;
- převod uhlíku z CO_2 na rostlinnou biomasu;
- přenos uhlíku z rostlinné biomasy do půdy

Proces transformace organického materiálu do půdy vede ke komplexní biogeochemické směsi sloučenin rostlinného odpadu a produktů mikrobiálního rozkladu (Von Lützow et al., 2006; Paul, 2014), které bývají spojeny s půdními minerály a uzavřeny v agregátech, což umožňuje uchování SOC v půdě po celá desetiletí, staletí nebo dokonce tisíciletí.
Do ovzduší:
CO_2 se uvolňuje zpět do atmosféry, když jsou půdní organické látky (SOM) rozkládány mikroorganismy - oxidovány organické zbytky nebo SOM. Uvolněné CO_2 půdní faunou a podzemními kořeny z půdy do atmosféry se označuje jako **půdní dýchání** a představuje druhý největší suchozemský tok uhlíku.
Uhlík je také částečně vyplavován z půdy do řek a oceánů ve formě rozpuštěného organického uhlíku (DOC-Dissolved Organic Carbon) nebo jako důsledek vodní eroze.
Dynamika těchto nežádoucích procesů narůstá a dochází k tzv. **DEHUMIFIKACI**, když ztráty organiky výrazně převyšují vstupy. Organická hmota, která se dostává do půdy, je během rozkladu v půdě akumulována jen z 10 až 30 % ve formě SOC. Zbytek uhlíku je mineralizován a uvolňován ve formě CO_2 do ovzduší. [10]
Při mineralizaci dochází k rozkladu organické hmoty za přístupu vzduchu na základní sloučeniny: H_2O, CO_2, NO_2^-, NO_3^-, N_2, NH_3, S, ionty K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$, a mikroelementy (B, Mn, Cu, Zn, Mo aj. přičemž dochází k uvolňování energie.[11]

DEHUMIFIKACE
může být zapříčiněna mnoha faktory.
Zvýšené kypření a provzdušňování (aerace) půdy spolu s hlubším prooráváním spodin během intenzivního způsobu kultivace zpomaluje proces humifikaci organických zbytků a zrychluje proces mineralizace. Nadměrnou aerací a následnou zvýšenou mineralizací organické hmoty trpí i rozorané louky a pastviny.
Pěstování monokultur, nedostatečný přídavek organických hnojiv a posklizňových zbytků a jejich následná rychlá mineralizace. Hlavním problémem českých polí, je **nedostatečný přísun klasického organického hnojiva ve formě hnoje a kejdy, nebo digestátu či kompostu**, který je způsoben především poklesem chovu hospodářských zvířat po roce 1989.
Změny hydro termického režimu (odvodnění, ale i závlaha) a změna využití půdy (land-use).
Ke ztrátám dochází i během vodní a větrné eroze, která je druhým nejvýraznějším nebezpečím pro půdy v ČR.
Zhoršení stability půdní struktury, následně je půda degradována utužením, a tím je omezen i biologický život v půdě. Snížena je tak retenční a infiltrační schopnost půdy, což má za následek, že srážky jsou využity pouze z části. Pomalejší infiltrace do půdy podporuje povrchový odtok a rozvoj vodní a větrné eroze a půda nemá dostatek vláhy pro překonání period sucha. S tím souvisí následné zhoršené poutání živin, zvýšení obsahu dusičnanů v půdě a v neposlední řadě snížená produkční schopnost půdy. Degradovaná půda nedokáže odolávat extrémním výkyvům počasí, které přitom mají být s probíhajícími změnami klimatu stále častější.

[10] https://biom.cz/cz/odborne-clanky/proc-je-dulezita-organicka-hmota-v-pude
[11] https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda

HUMIFIKACE

Ke zvýšení obsahu humusu naopak dochází na zatravněných půdách, které jsou bohatě „dotovány“ organickými látkami z kořenového systému trav.

Dalším významným zdrojem organické hmoty mohou být recyklované bioodpady ve formě kompostů. Optimální obsah a kvalita organické hmoty v půdě vedou k lepšímu koloběhu prvků, jejich sorpci a uvolňování živin do půdního roztoku. Je podpořena biologická činnost a zlepšuje se fyzikální stav půdy (infiltrace a retence vody, ale i provzdušnění).

Optimální obsahu organické hmoty v půdě zajišťují v zásadě tři hlavní procesy:

- pravidelné organické hnojení
- zaorávání rostlinných zbytků po sklizni hlavních plodin,
- cílené pěstování meziplodin za účelem zvýšení podílu organické hmoty v půdě.

Postupy podporující sekvestraci SOC a humifikaci se tedy logicky zaměřují:

buď na aktivní zvyšování vstupů organického materiálu, nebo na zpomalení rychlosti obratu organické hmoty snížením narušování půdy (např. bez zpracování půdy).[12]

Aktivní opatření, která zvyšují vstup organických materiálů (např. krycí plodiny, střídání plodin, lepší řízení pastvy, agrolesnictví…) jsou přitom účinnější než ty, které pouze omezují narušování půdy.

Soil Organic Carbon - dynamický faktor

Změna klimatu, postupující degradace půdy a ztráta biologické rozmanitosti má na půdu devastující vliv. Půdy se staly jedním z nejzranitelnějších zdrojů na světě.

SOC je však dynamický faktor a díky antropogenním dopadům na půdu se půda může stát buď úložištěm uhlíku, nebo naopak čistým zdrojem skleníkových plynů.[13] SOC je přitom hlavní komponentou celkové organické hmoty v půdě - SOM (Soil Organic Matter).

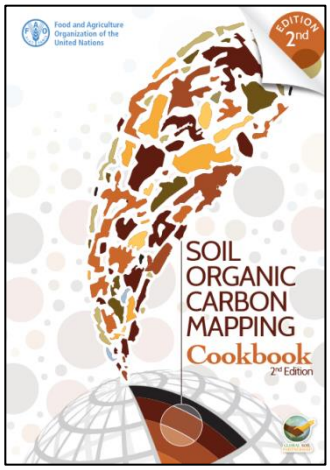
Dostatečně vysoký obsah SOM poskytuje rostlinám živiny a zlepšuje dostupnost vody, což zvyšuje úrodnost půdy a nakonec zvyšuje produktivitu potravin.

Kromě toho SOC zlepšuje strukturní stabilitu půdy podporou tvorby agregátů, které společně s pórovitostí zajišťují dostatečné provzdušňování a infiltraci a zádrž vody na podporu růstu rostlin. S optimálním množstvím SOC podporuje filtrační kapacita půdy další zásobování čistou vodou.

Soil Organic Carbon – mapování a kvantifikace

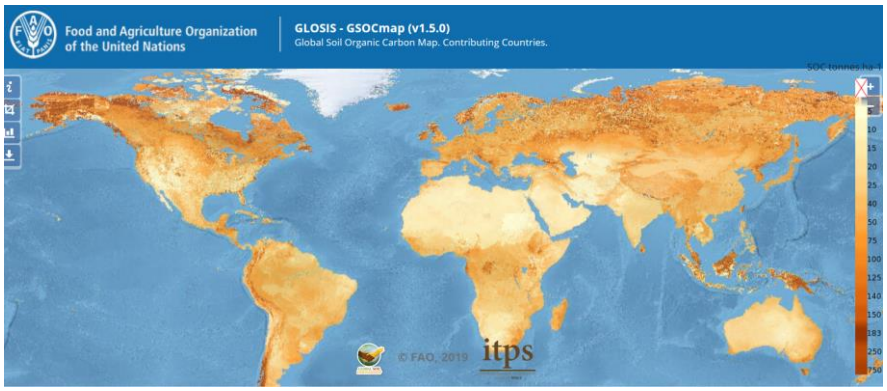
Celosvětově z 2700 Gt C [giga ton uhlíku] uložených v půdách po celém světě je 1550 Gt C organický a 950 Gt C anorganický uhlík, což je přibližně třikrát vyšší obsah, než současný atmosférický C a 240krát vyšší ve srovnání se současnými ročními emisemi fosilních paliv.[14]

I když jejich distribuce je prostorově a časově proměnlivá. Vyšší podíly jsou v oblastech s vysokým obsahem SOC (např. rašeliniště nebo černé půdy). Tyto oblasti se pravděpodobně stanou čistými zdroji emisí skleníkových plynů. Na druhou stranu ale, při správném přístupu, mají potenciál velké množství uhlíku v půdě sekvestrovat.



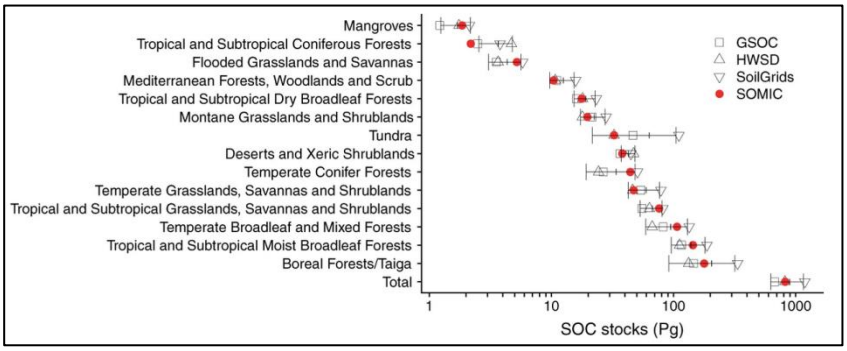
[12] http://www.fao.org/3/I7268EN/i7268en.pdf
[13] http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf
[14] https://www.agric.wa.gov.au/climate-change/soil-organic-carbon-and-carbon-sequestration-western-australia

FAO vytvořila v této oblasti nadnárodní kooperaci GLOBAL SOIL PARTNERSHIP [15][16] a vytvořila světovou mapu SOC - Global Soil Organic Carbon Map (**GSOC** Map) a manuál (cookbook).[17]
Zástupci ČR jsou ČZU a Česká pedologická společnost, kontaktní osobou v ČR je Radim Vácha (VUMOP). [18][19][20]



GLOSIS – GSOC map (v1.5.0) http://54.229.242.119/GSOCmap/

Jednotlivé zásoby SOC v různých půdách jsou různé a dle společnosti SOMic se pohybují v rozmezí odhadovaných hodnot souboru GSOC,[21] (HWSD) a SoilGrids [22] pro všechny biomy, s výjimkou tropických/subtropických jehličnatých lesů, kde je odhaduje SOMic na 2,2 Pg C, což je mírně pod odhadem GSOC 2,5 Pg C.



K výpočtům globálního rozložení SOC v horní části ornice 0–0,3 m model SOMic aplikoval historické teploty půdy, vlhkosti půdy, opadávání odpadů a heterotrofní respirace od roku **1850 do roku 2010**.
Celkové globální zásoby SOC v horní vrstvě 0,3 m předpovídané SOMic byly 822 Pg C, což je také v rozmezí hodnot odvozených z HWSD (817 Pg C), GSOC (673 Pg C), SoilGrids (1190 Pg C), a půdní mapa světa FAO / UNESCO39 (684-724 Pg C). SOMic tak poskytuje robustní a komplexní odhady pro širokou škálu podmínek prostředí na celém světě.

Soil Organic Carbon - IPCC
V rámci úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC) a mezinárodních dohod, jako Kjótský protokol a Pařížská dohoda, byli vytvořeni pravidla pro emisní cíle

[15] http://www.fao.org/global-soil-partnership/about/why-the-partnership/en/
[16] http://www.fao.org/global-soil-partnership/partners/gsp-partners/en/
[17] http://www.fao.org/3/I8895EN/i8895en.pdf
[18] http://www.fao.org/global-soil-partnership/partners/country-focal-points/en/
[19] http://54.229.242.119/GSOCmap/
[20] http://www.fao.org/global-soil-partnership/partners/gsp-partners/en/
[21] https://daac.ornl.gov/SOILS/guides/HWSD.html
[22] https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105992

skleníkových plynů, jakož i nutnost pravidelně podávat zprávy o antropogenních emisích skleníkových plynů. V rámci tohoto úsilí by měly být hlášeny přesné soupisy emisí způsobené změnami zásob SOC.
Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) poskytuje pokyny pro měření, vykazování a ověřování národních inventur zásob SOC podle rámce pro monitorování, vykazování a ověřování (MRV – Monitoring, Reporting, Verifying), čímž se má zajistit, aby reporty splňovali kritéria úplnosti, transparentnosti, konzistence, přesnosti a tedy srovnatelnosti. [23]

Soil Organic Carbon – Indikátor kvality půdy

SOC ovlivňuje vlastnosti půdy:

- Fyzikální - je sypná hmotnost, stabilita, zadržování vlhkosti,…
- Chemické - živiny, výměnná kapacita, reakce s kovy a kontaminujícími látkami.
- Biologické -mineralizace, mikrobiální biomasa a enzymatické aktivity.

Organická hmota vytváří organominerální komplexy s neživou složkou půdy a svými vlastnostmi ovlivňuje mnohé fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Půda spolu s organickou hmotou potom slouží jako tzv. výkonná „biologická továrna“, protože v půdě látky vznikají, jsou rozkládány i transformovány.

Kvalitní organická hmota pozitivně ovlivňuje půdní strukturu[24] (soudržnost půdy a půdní agregáty) a současně tak má vliv na retenční schopnost půdy (**zdravá půda dokáže zadržet až 400 l.m^{-3}**), voda je v půdě zároveň filtrována a čištěna. Organická hmota má vliv i na vzdušný a tepelný režim půdy a v neposlední řadě detoxifikuje a váže některé škodlivé látky.
Obsah SOC se v našich zemědělských půdách pohybuje od 1,5 – 7 %, (průměrně 2 – 3 %)
Zásoba humusu se pohybuje v rozmezí 50 – 800 t.ha^{-1} (průměrně 100 – 200 t.ha^{-1})

Půdy s relativně vyšším obsahem organické hmoty lépe plní funkci, zemědělské produktivity, která je rozhodující pro rostlinnou výrobu a ochranu životního prostředí. Zvýšení SOC o 1 Mg C ha-1 v kořenové zóně může zvýšit výnos např. pšenice o 15-33 (kg ha^{-1}).
Humusové látky a jejich přítomnost vedou k vysokému poutání živin, které je 6 až 7 x vyšší než například u jílových minerálů (ty se vyznačují velkým povrchem, který dokáže vázat významné množství živin a dalších látek) a mají tak přímý stimulační vliv na růst rostlin. Kromě humusových látek je až 30 % organické hmoty tvořeno polysacharidy (které převládají a hrají důležitou roli při tvorbě půdních agregátů), organickými kyselinami a látkami bílkovinné povahy.[25]

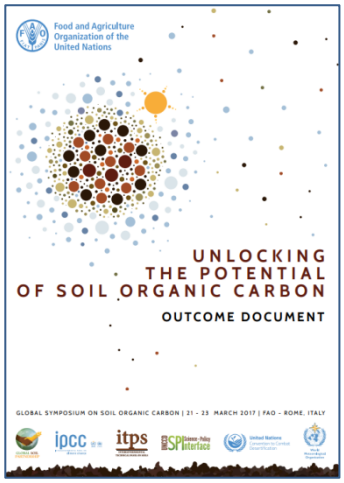
Soil Organic Carbon – výpočtové modely[26]

Nedávná inter-srovnávací studie, která zahrnovala další čtyři mikrobiální modely SOC (CORPSE, MIMICS , MEND a RESOM), ukázala, že dlouhodobé modelové projekce se liší v závislosti na strukturálních variacích mezi modely a hloubce a komplexnosti uvažovaných faktorů jako kinetika aproximace chemie prvního řádu, MM, reverzní MM nebo rovnovážné chemie; zda model zahrnuje fond DOC; zda je míra mikrobiální úmrtnosti ovlivněna hustotou MB nebo vlhkostí půdy; texturní závislost minerální ochrany; zda se podmínky mění s

[23] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/03COP25_2019-Refinement.pdf
[24] https://biom.cz/cz/odborne-clanky/proc-je-dulezita-organicka-hmota-v-pude
[25] https://biom.cz/cz/odborne-clanky/proc-je-dulezita-organicka-hmota-v-pude
[26] https://www.nature.com/articles/s41598-019-43026-8

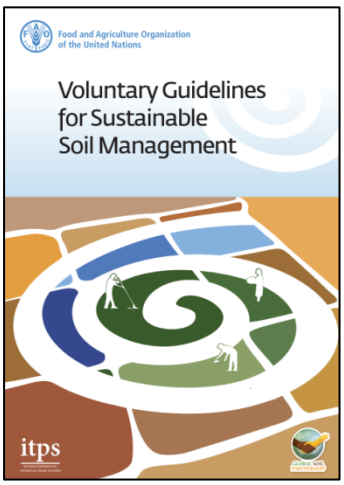
teplotou nebo podkladem; zda je zahrnut enzymový rozklad; a zda existuje spící mikrobiální fond.
Kombinace strukturálních rysů má každá půda jiné a specifické.
Proto přesné stanovení SOC všeobecně zatím nelze vyřešit.
V budoucnu se budou pravděpodobně brát v potaz i další faktory například půdní mineralogie, pH, stechiometrie živin, interakce rostlin a mikrobů a jak se mění funkční složení mikrobiální komunity v reakci na faktory, jako je stres a hojnost substrátu apod.
Lze očekávat, že informace o budoucím vývoji modelu prostřednictvím dalších vzájemně srovnávacích studií bude (například při pohledu na odlišný výkon modelu v rozsahu časových období od hodin do staletí) v kombinaci se začleněním dalších procesů, které dosud nejsou dostatečně zastoupeny, může vést k rychlému zdokonalování modelů SOC v nadcházejících letech.

Soil Organic Carbon – FAO závěry expertní závěry[27]:
Existují jasné důkazy, že SOC má zásadní pozitivní přínosy v oblastech:[28]
- produkce potravin
- přizpůsobení se změně klimatu a dosažení LDN (Land Degradation Neutrality)
- zlepšování kvality půd
    - snižování eroze
    - zvyšování schopnosti půdy zadržovat vodu
    - zvyšování odolnosti vůči suchu.



Hlavními prioritami agendy SOC je prevence dalších ztrát SOC, a pokud je to možné, poskytování pobídek ke zvýšení zásob SOC. Zemědělci se ale obvykle nejvíce zajímají o zvýšení a stabilitu výnosů a tím o zajištění jejich živobytí. Udržování a zvyšování zásob SOC by mělo být zastřešeno udržitelným hospodařením s půdou. K podpoře osvědčených postupů SOC je nutné vytvořit systémové pobídky.

Soil Organic Carbon – doporučení VGSSM[29]



FAO uznává, že primární odpovědnost za dosažení potravinové soběstačnosti jejich obyvatel mají jednotlivé státy, který se doporučuje:

• převzít aktivní roli v podpoře využívání a hodnocení VGSSM

• vytvořit příslušné platformy a rámce pro kolektivní akci na místní, celostátní a regionální úrovni nebo k podpoře těchto VGSSM využít stávající systémy

• podporovat služby, které se při svých činnostech opírají o řádné výzkumné a vzdělávací instituce a začleňují SSM

V tomto úsilí mohou státy požádat o technickou podporu FAO, případně jiné mezinárodní a regionální orgány.

[27] http://www.fao.org/3/I7268EN/i7268en.pdf str.18
[28] http://www.fao.org/3/I7268EN/i7268en.pdf
[29] http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf

1.2. ZAPRACOVÁNÍ UHLÍKU DO PŮDY

Půdní organická hmota je velice složitý a vzájemně provázaný systém jednotlivých jejích složek. Humusové látky se v půdě vytváří tisíce let a obdobně pomalý je jejich případný rozklad. Naopak primární organická hmota představuje dynamickou složku půdní organické hmoty, jejíž obsah se může rychleji měnit s ohledem její vstupy a na podmínky pro mineralizaci.
Na základě dlouhodobých polních pokusů a výsledků se značenými izotopy uhlíku a dusíku bylo například vypočteno, že při zapravení organické hmoty v množství 1 t C/ha (tj. např. 2 t sušiny slámy/ha nebo 14 t čerstvé hmoty zeleného hnojení) po dobu 10 000 let (ano, deset tisíc let!) by v půdě 1 ha vzniklo pouze 12,2 t chemicky stabilizované organické hmoty, 11,3 t fyzikálně stabilizované organické hmoty a 0,47 t by tvořily stabilnější komponenty zbytků rostlinné hmoty (např. lignin, fytin apod.).[30]

Přestože organická hmota tvoří jen malý podíl z pevné fáze půdy, lze vypočítat, že při obsahu 2–3 % organických látek v orniční vrstvě (0–30 cm) je na jednom hektaru půdy 80–120 t organické hmoty. Z těchto údajů lze pak odvodit, že moc nezměníme její obsah aplikací několika litrů nebo kilogramů hnojiv s humáty, ale musíme racionálně používat organická/statková hnojiva.

Způsobů, jak dodat SOM zpět do půdy, je hned několik. Je možno používat schválená hnojiva, jimž jsou **hnojiva minerální, vápenatá a hořečnatá, organická, organominerální, dále statková hnojiva** (**zbytky rostlinného původu), vedlejší produkty chovu hospodářských zvířat (chlévská mrva, hnůj apod.), nebo upravené kaly z vodních nádrží nebo ČOV** (dle zákona 156/1998 Sb.
Účinky minerálních hnojiv nejsou jednoznačně pozitivní (např. způsobují zrychlení mineralizace a tím redukci organické hmoty), obdobně kaly z ČOV dnes již značně chemicky kontaminovaná a jejich aplikace na zemědělskou půdu je sporná.[31] [32]

Integrovaný přístup k zvyšování SOM

Důležitým zjištěním z dlouhodobých experimentů je, že pro zlepšování parametrů SOM je nejúčinnější redukovat aktivity zpracování půdy (orby), v kombinaci s rotací plodin, nebo krycími plodinami. Tedy hluboce zakořeněné a rezidua produkující rostliny, jako je vojtěška (Franzluebbers, 2010).[33]
Oba tyto postupy - diverzifikace vstupů zbytků a snižování intenzity zpracování půdy - je nutné praktikovat dlouhodobě, aby bylo možné budovat půdní organickou hmotu ve všech třech skupinách (rozpustná organická hmota, částice organické hmoty, humus).

Krátkodobé aplikace v řádu pouze několik málo let může mít nějaký účinek na obsah aktivního C, ale bude mít malý (pokud vůbec nějaký) účinek na dlouhodobou stabilizaci

[30] https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam
[31] https://www.tretiruka.cz/news/reakce-zakaz-vyuziti-kalu-v-zemedelstvi-od-2020-nenarizuje-brusel/
[32] https://www.envigroup.cz/zmeny-v-nakladani-s-kaly-z-cistiren-odpadnich-vod.html
[33] https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/advanced_soil_organic_matter_(e3137).pdf

půdního fondu. Aby došlo k významnému zlepšení produktivity půdy a kvality životního prostředí, je nutné tento postup dodržovat dlouhodoběji.
Jedním ze způsobů, jak toho lze dosáhnout přidáním různých vstupů (drůbeží trus, kejda, hnůj, sláma, kompost) s různým chemickým složením a poměry C: N.

Odstranění vedlejší plodiny (zbytků) ohrožuje kvalitu půdy (Doll & Snapp, 2009). Jedním z kompromisních řešení při prodeji zbytků, je použití kompostu nebo pěstování krycí plodiny, která by zbytky nahradila a půdu konzervovala. Přidávání hnoje a kompostu jsou nejúčinnější způsoby, jak budovat půdní organickou hmotu i při úplném odstranění zbytků (Thelen, Fronning, Kravchenko, Min, & Robert-son, 2010).

Hnoje z kompostu a kejdy jsou dva dostupné zdroje organického charakteru. Zejména kompost je dostatečně obohacený o uhlík a živiny. V experimentu s polními plodinami roční aplikace 2 tun kompostu zvýšila SOM o 50 procent za deset let.[34]

Porovnání vlastnosti organických zbytků, včetně hnojů z různých druhů hospodářských zvířat, a luštěnin. Složení hnoje se může lišit v závislosti na druhu krmiv použitých ke krmení a ustájení hospodářských zvířat.[35]

	Drůbeží trus	Kejda kravská, prasečí	Hnůj kravský, prasečí	Pšeniční sláma	Kořeny a listy luštěnin
Obsah N	2-4%	1-3%	1-4%	< 1%	2-5%
Obsah C	19-28%	14-23%	16-45%	45%	45%
Poměr C:N	15-14	4-25	11-45	> 40	< 25
pH	Neutrální/Alkalické	Kyselé	Neutrální	Neutrální	Neutrální
Kvalita SOM (dodávka nutrientů)	Vysoká	Střední	Nízká - střední	Nízká	Vysoká
Stabilita SOM (zapracování C)	Nízká	Nízká	Střední -Vysoká	Vysoká	Nízká - Střední

Evropský výzkum CropSyst [36] potvrdil, že přístupy obhospodařování půdy zvýšily zásobu organického uhlíku, především v případech, kdy byly zbytky ponechány na půdě, a to od 1756 $kg.ha^{-1}$ za rok v konzervativním zemědělství do 86 $kg.ha^{-1}$ za rok v managementu s minimalizovanou orbou. Nejvyšší zásoby organického uhlíku v půdě byly tedy zaznamenány v případech, kdy byli posklizňové zbytky na půdě ponecháni. Nicméně zvýšení zásob organického uhlíku v půdě nevedlo k vyšším výnosům zrna, proto je finanční podpora zemědělců v tomto systému hospodaření s půdou stále nezbytná.[37]

[34] https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/advanced_soil_organic_matter_(e3137).pdf
[35] https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/advanced_soil_organic_matter_(e3137).pdf
[36] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169917300030
[37] https://www.ctpz.cz/vyzkum/zpracovani-pudy-a-hospodareni-s-poskliznovymi-zbytky-v-systemu-kontinualniho-pestovani-psenice-v-jizni-italii-modelovani-agronomicke-a-pudni-urodnosti-357

STATKOVÉ HNOJIVA

Používání statkových hnojiv je v současném intenzivním zemědělství nesmírně potřebné, ale i to sebou nese potenciální problémy se znečištěním ovzduší, půdy nebo spodních vod rychlím uvolňování obsažených živin, nebo těžkých kovů a přítomnosti patogenů.

KOMPOSTOVÁNÍ

Je ekologicky šetrný způsob zpracování těchto organických zbytků na cenné organické hnojivo, které je ale nevhodné pro dlouhodobé skladování a problém uplatnitelnosti představuje jeho nízká hustota a nízká koncentrace živin. Řešením může být jeho peletizace. Kvalita kompostů (průběh procesu, stabilita, obsah živin, absence patogenních mikroorganismů) splňuje veškeré podmínky použitelnosti jako hnojiva. Peletizované komposty lze použít jako hnojivo s pomalým uvolňováním N, které snižuje ztráty při vyplavování a zvyšuje příjem N, včetně pozitivních účinků na půdu z hlediska SOM.[38]

V rámci EU existuje sdružení EUROPEAN COMPOST NETWORK – ECN [39]
Za ČR je členem CZ Biom.
Mapování kompostáren v ČR se zabývalo VÚZT [40] v rámci projektu MZe ČR č. 358/2015-17221 včetně analýzy parametrů kompostáren a kontaktů. Projektovaná kapacita kompostáren v ČR podle ankety VÚZT je přes 1 milion tun/rok.

KOMPOSTÁRNA		TYP				TECHNOLOGIE					Kapacita BRO - projektovaná	Skutečné množství zpracovaného BRO					VYROBENÝ KOMPOST				Cena kompostu	Dotace	
		malé zařízení	komunitní	průmyslová	jiná	TECHNOLOGIE	uzavřené zařízení	ve vacích	vermikompostování	jiná		celkem	zeměd.biomasa	kaly z ČOV	BRKO	ostatní	vyrobené množství	z toho na zeměděl. půdu	registrován				
Poř. č.	Kraj										t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	t.rok^{-1}	ANO	NE	Kč.t^{-1}	ANO	NE
1	Olomoucký		1			1					2 000	2 370	0	0	354		947	0		1	xxx 0	1	
2	Jihomoravský			1			1				25 000	19 000	12 000	3 000	4 000		17 000	17000	1		xxx xxx	1	
3	Jihočeský			1		1					150 000	14 000	100	13 000	900		3 500	0		1	170 xxx		1
4	Moravskoslezský				1				1		20	10	10	0	0		8	8	1		2 800 18 000		1
5	Středočeský	1							1		1	1	1	0	0		1		1		xxx xxx		1
6	Olomoucký		1					1			900	805	0	0	805		650	650	1		0 400	1	
7	Středočeský			1			1				25 000	25 000	18 000	4 000	3 000		24 000	24 000	1		480 550	1	
8	Liberecký		1			1					4 200	3 440	0	0	3 440		880	0		1	xxx xxx	1	

Českým paradoxem je skutečnost, že kompostárny eviduje několik subjektů s radikálně rozlišnými údaji – viz tabulka:[41]

[38] https://www.ctpz.cz/vyzkum/vyzivova-hodnota-zhutneleho-kompostu-z-praseciho-a-drubeziho-hnoje-a-jejich-vliv-na-plodiny-a-chemicke-vlastnosti-hlinite-pudy-944
[39] https://www.compostnetwork.info/
[40] http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2015/110.pdf
[41] http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2015/110.pdf

Organizace - instituce	Počet kompostáren v ČR	Kapacita BRO - projektovaná ($t.rok^{-1}$)	Skutečně využitá kapacita ($t.rok^{-1}$)
MŽP ČR	**397**	**2 371 702**	**832 587** *(pouze průmyslová zařízení)*
BIOM.cz	**217**	**1 266 590**	**1 090 876**
ZERA, z.s.	**707**	**1 702 568**	**1 099 860**
ČAOH	**429**	**2 498 064**	**900 411**
VÚZT, v.v.i.	**154** *(výsledek anketní akce)*	**1 065 009**	**510 196**

ZÁVĚR

V zemědělství se přidávají k prvotním a jasným potřebám vyšších výnosu i nutnost zachování dlouhodobé dobré kondice půdy - tedy zvyšování organické hmoty SOM v půdě.
Nově dochází i k uvědomění, že půda je druhým největším skladištěm CO2 (po oceánech) a hledají se cesty jak CO2 z půdy neuvolňovat či ho naopak do půdy zapracovat.

Na správné zapracování uhlíku do půdy ale neexistují jednoduché a šablonovité návody. Bylo zmíněno, že je důležité **do určitých půdních podmínek volit vhodný zdroj primární organické hmoty**. Někde je vhodnější zelené hnojení, zaorání slámy, ale někde je potřeba dodávat již organické látky částečně humifikované v podobě hnoje nebo kompostu.
Mylné jsou proto představy, že dodáváním pouze rostlinné hmoty zvýšíme obsah humusu. Naopak při podmínkách, které podpoří rychlou mineralizaci, můžeme půdě „uškodit“. Například zaorávka slámy s vysokým obsahem rychle rozložitelné celulózy může podpořit rozklad již transformovaných semistabilních organických látek. Je nutné volit optimální způsob dle konkrétních půdních charakteristik, v reálných- regionálních a specifických podmínkách v dané lokalitě.

Zahraniční výpočtové moduly návratu uhlíku do půdy (SOC) - SOMic, CORPSE, MIMICS , MEND a RESOM se liší v závislosti na strukturálních variacích mezi modely (obrovské množství proměnných a stupňů volnosti těchto proměnných). Proto exaktní a univerzálně platný výpočtový modul neexistuje a bude velmi obtížné ho vytvořit. Nicméně pro potřeby ČR platí metodika vytvořená VÚRV – Ing. Jana Klíra [42].

[42] https://www.vurv.cz/index.php?p=aktuality&id=433&site=instituce

2. VYUŽITÍ SLÁMY JAKO STELIVA, KRMIVA

Podestýlka používaná v živočišné výrobě má významný vliv na dobré životní podmínky a výkonnost zvířat. Pro hospodářská zvířata se již mnoho let používá jako podestýlka obilní sláma.
Kvalita podestýlky, např. u dojnic, ovlivňuje dobu, po kterou zvířata zůstávají ležet. Dojnice přitom obvykle upřednostňují odpočinek před jiným chováním, obvykle tráví 8 až 16 hod denně vleže. Tato doba tedy závisí, mimo jiné, na kvalitě a kvantitě podestýlky. Krávy raději tráví více času vleže, když je ložní **podestýlka hluboká, měkká a suchá**.
Existují jasné důkazy, že podestýlka hraje důležitou roli při zvyšování produktivity mléčných farem a zajištuje pohodlí a hygiena zvířat. Hlavní funkcí kvalitního ložního pohodlí je poskytnout ležící povrch s tepelným komfortem a měkkostí.[43]

Zatímco hodnota krmiva slámy je podstatně nižší než kvalitní seno nebo siláže, může sláma poskytnout určitou energetickou hodnotu dávky.[44]

Drenážní funkce podestýlky
Podestýlky umožňují tekutině procházet skrz něj a odtékat. Na podlaze stáje musí být adekvátní drenážní systém pro odvádění kapaliny. Typickou drenážní podestýlkou je sláma. Nevýhodou slámy jako podestýlky je, že ji některá zvířata můžou žrát. To samo o sobě není nebezpečné, ale při konzumaci znečištěné slámy již problém může vzniknout, protože jsou přijímány parazity a může dojít k narušení trávení.
Stará sláma je lepší než nová sláma, pokud byla dobře skladována, protože je sušší a pružnější.

Čtyři typy drenážní slámy jsou:

- Pšeničná sláma
  je nejlepší na podestýlku. Má tvrdou stopku, takže se pod váhou rychle nevyrovná. To je důležité pro odvodnění.
- Ovesná sláma
  je měkčí než pšeničná sláma a má sklon k větší absorpci. Je dražší, protože má krmnou hodnotu pro dobytek a koně.
- Ječmenná sláma
  není ideální, jelikož má markýzy, které dráždí pokožku a oči. Také je kontaminují vši snadněji než jiné podestýlky.
- Žitná sláma
  je velmi vhodná na podestýlku, je tvrdá, ale není snadné ji získat.

[43] https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(20)30485-9/fulltext
[44] https://www.ag.ndsu.edu/carringtonrec/center-points/2017/how-much-straw-do-we-need-for-the-cow-herd-for-bedding

V podmínkách ČR se problematice podestýlky věnuje VÚZV [45]
Ustájení intenzivně vykrmovaného skotu na hluboké podestýlce má pozitivní vliv na pohodu ustájených zvířat. Nevýhodou tohoto systému může být horší zdravotní stav, rizika nutných porážek nebo dokonce úhynů při nedodržení vhodného chovného prostředí. Ustájení na hluboké podestýlce má v porovnání s ostatními systémy nižší produktivitu práce, je zde dosahováno nižších denních přírůstků hmotnosti, značná část chovů má četné zoohygienické problémy a ekonomika výkrmu je v řadě případů prokazatelně horší. Na druhou stranu tento systém ustájení zvířatům vyhovuje po fyziologické stránce. Jsou zde předpoklady i pro ekologickou produkci kvalitního chlévského hnoje. Ten vzniká neustálým sešlapáváním hluboké podestýlky, která je denně obohacována novými výkaly a zvlhčována močí zvířat při pravidelném vrstvení nového podestýlkového materiálu. Neustálým zvyšováním vrstvy hluboké podestýlky dochází k rychlejšímu průsaku tekutých složek do její spodní části, čímž je zajištěna relativní suchost lože a klesá spotřeba podestýlky.
Rozměrové parametry volného ustájení skotu – hluboká podestýlka-Agro normativy [46]

Poř. č.	Kategorie skotu	Plocha stlané lehárny [m2/ks]	Hloubka lože [mm]	Šířka pevného krmiště neprůjezd. (1) [mm]	Opt. šířka pevného krmiště průjezdného vč. předp. sch. (1) [mm]
1	**Krávy (2)**	5	5300 - 6600	2500	3000
2	**Telata 2. - 6. měsíc**	1,2 - 1,5	2600 - 4400	1500	2200
3	**Jalovice 7. - 11. měsíc**	1,5 - 1,9	3500 - 4800	1650	2400
4	**Jalovice 12. - 18. měsíc**	1,9 - 2,4	4000 - 5000	1800	2600
5	**Jalovice 19. - 24. měsíc**	2,4 - 3,0	4300 - 5200	2000	2800
6	**Výkrm býků do 350 kg**	1,9	3500 - 5000	1800	2500
7	**Výkrm býků nad 350 kg**	2,8	4000 - 5500	2000	2800
8	**Výkrm býků nad 550 kg**	3,2	4500 - 6000	2200	3000

Legenda k tabulce:
Hluboká podestýlka s frekvencí odklizu min. 90 dní.
(1) - Pohybové chodby rýhovány (rýhy profil 15x15 mm, mezery 100-130 mm)
(2) Tento systém je vhodný pouze pro krávy masné nebo NS

Pramen: Technická doporučení MZe ČR - Informační listy. Výzkumné zprávy VÚŽV Praha.
Zpracoval: Doc.Ing. Oldřich Doležal, DrSc., Daniela Černá

Pro zjednodušení základní parametry hluboké podestýlky [45]:

ZÁKLADNÍ PARAMETRY - HLUBOKÁ PODESTÝLKA				
Hmotnostní kategorie	**Minimální plocha lehárny na ks**	**Hloubka kotce**	**Šířka krmiště**	**Šířka krmného místa (při krmení 1,5:1)**
kg	(m^2)	(m)	(m)	(cm)
do 350	**1,9**	**3,5 až 5,5**	**1,8 až 2,2**	**55**
nad 350	**2,8**	**4,0 až 5,8**	**2,0 až 2,5**	**68**
nad 550	**3,2**	**4,5 až 6,0**	**2,2 až 2,7**	**72**

[45] https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/11/8229.pdf
[46] http://www.agronormativy.cz/docs/rpttab3050010.pdf

Velmi orientačně pak lze uvažovat potřeby jedné dobytčí jednotky:

Průměrná spotřeba nejčastěji používaného podestýlkového materiálu – slámy je na 1 DJ 5 až 8 kg.den^{-1}.

To znamená, že orientačně je možné kalkulovat s celoroční potřebou slámy na podestýlku pro 1 DJ cca **1,8 až 3 tuny/rok.**

Pro podrobnější a přesnější kalkulace specificky zaměřené na konkrétní druh živočišné výroby platí v ČR agronormativy: [47]

Poř. č.	Druh, kategorie zvířat	Ustájení s produkcí kejdy a dr. trusu				Ustájení s produkcí hnoje, bez prod. močůvky					Ustájení s produkcí hnoje a močůvky			
		neředěná kejda, drůb. trus		ředěná kejda 2), vč. technologických vod 3)		hluboká podestýlka 4)		úsporná podestýlka		prod. technol. vod 6)	stelivo	hnůj	volná moč	močůvka 7)
						stelivo	hnůj 5)	stelivo	hnůj 5)					
		t/rok	suš. %	t/rok	suš. %	kg/den	t/rok	kg/den	t/rok	t/rok	kg/den	t/rok	t/rok	t/rok
1	Telata	19,0	7,4	23,7	5,9	7,9	13,3	6,0	12,7	1,0	3,7	10,5	3,4	6,1
2	Jalovice, býci	13,5	10,5	15,4	9,2	8,5	11,8	6,0	11,0	1,0	3,7	8,7	1,8	6,1
3	Krávy dojené	14,4	10,0	20,0	7,2	8,5	12,4	6,0	11,6	7,4	4,0	9,1	1,7	8,4
4	Skot bez tržní produkce m							8,5	11,5					
5	Předvýkrm prasat	21,0	6,5	29,0	4,7	15,0	18,9	12,5	18,1	5,0	10,0	13,5	5,3	10,0
6	Výkrm prasat, prasničky	12,0	8,0	16,0	6,0	8,0	9,6	3,5	8,2	4,0	3,1	6,0	4,8	8,9
7	Prasnice	10,0	6,9	15,0	4,6	6,0	8,1	2,3	7,0	4,5	2,0	4,1	4,7	8,5
8	Ovce, kozy					7,0	7,8	5,5	7,4					
9	Koně					6,0	7,2	3,0	6,3					
10	Drůbež - čerstvý trus	9,4	28,0							0,8				
11	Drůbež - uleželý trus	6,3	32,0							0,8				
12	Drůbež - sušený trus	2,8	73,0							0,8				
13	Drůbež - podestýlka					2,1	5,9	0,8	5,5	0,8				

Legenda k tabulce:
DJ (dobytčí jednotka) = 500 kg živé hmotnosti
1) Technologické vody vznikající v souvislosti s procesem dojení, při napájení zvířat a očistě stájí.
2) Při odlišném obsahu sušiny se produkce kejdy úměrně přepočte.
3) Technologické vody z dojírny, mléčnice a přilehlých prostor (roční produkce 4,2 - 5,6 t/DJ, tj. 15 - 20 litrů na krávu a den) mohou být skladovány samostatně. Technologické vody vznikající při očistě stájí a při napájení zvířat (roční produkce u dojených krav 0 - 1,4 t/DJ, tj. 0 - 5 litrů na krávu a den) jsou skladovány společně s kejdou.
4) Způsob ustájení, kdy se podestýlka ponechá ve stáji nejméně 3 týdny.
5) Při odlišné spotřebě steliva se produkce hnoje úměrně přepočte (1 kg steliva na 1 DJ za den = 0,3 t hnoje na DJ za rok).
6) Technologické vody s obsahem 1 % sušiny a 0,9 kg N/t.
7) Močůvku tvoří volná moč, která se nezasákla do steliva a technologické vody.
Pramen: Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv.
Zpracoval: Ing. Jan Klír, CSc.

Sláma jako krmivo se používá pouze doplňkově. Slouží především ke zvýšení obsahu vlákniny v krmné dávce a napomáhá tak pocitu sytosti u zvířat. Obsah vitamínů a minerálních látek je ve slámě minimální. Sláma se využívá jako objemné sacharidové krmivo pro zvířata. Vyznačuje se:

- vysokým obsahem sušiny (nad 85%),
- vysokým obsahem vlákniny,
- nízkou nutriční hodnotou,
- nízkým obsahem dusíkatých látek,
- nízkou stravitelností organických živin díky vysokému obsahu ligninu.

[47] http://www.agronormativy.cz/docs/rpttab3030010.pdf

Za kvalitnější krmnou slámu se považuje pouze sláma z obilnin, tedy sláma ječná a ovesná. Termín sklizně slámy je podřízen termínu sklizně hlavní plodiny, tedy semene, obsah vody by v případě sklizně slámy neměl přesáhnout 17 %.

Používání slámy v USA na krmení se v posledních letech zvyšuje. A to i ve stravě mléčného skotu. Používá se primárně u krmiv dokonce i u krmiv pro kojící krávy. Používá se především sláma pšeničná, ale běžná jsou i sláma ovesná, ječmenová a tritikalová. Tyto slámy jsou obvykle nasekány před krmením a krmeny nízkou mírou inkluze v celkových smíšených dávkách. [48]
Jako důvod aplikace slámy uvádějí, když je potřeba zvýšit efektivní vlákninu v krmné dávce pro lepší přežvykování, naplnění bachoru nebo zpomalení rychlosti průchodu trávení z bachoru.

Nicméně v podmínkách ČR se jedná o marginální oblast využití slámy a z dnešního pohledu není nutné s touto spotřebou slámy jako krmiva počítat.

[48] https://fyi.extension.wisc.edu/forage/use-of-straw-in-dairy-cattle-diets/

Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek v dopravě a chemickém průmyslu (ČTPB)

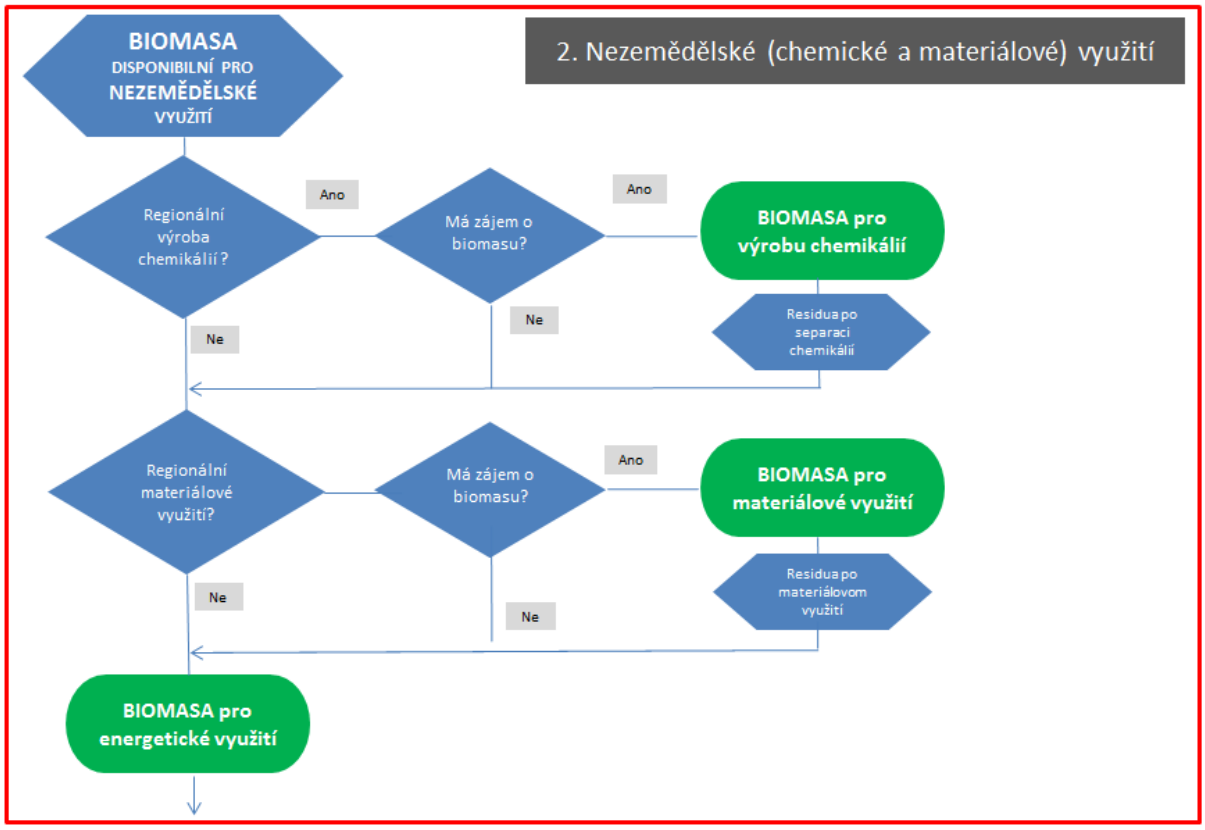
Projekt NAZV - QK1710307

Ekonomická podpora strategických a rozhodovacích procesů na národní i regionální úrovni vedoucí k optimálnímu využití obnovitelných zdrojů energie, především pak biomasy, při respektování potravinové soběstačnosti a ochrany půdy

3. BIOMASA
Biosložky- potenciál využití v chemii

Vypracoval: Ing. Leoš Gál
Předseda řídícího výboru ČTPB
2019
mobil 736-5050-12

V hodnotové pyramidě využití biomasy po v druhé řadě již nezemědělského využití Následuje chemické a materiálové využití.

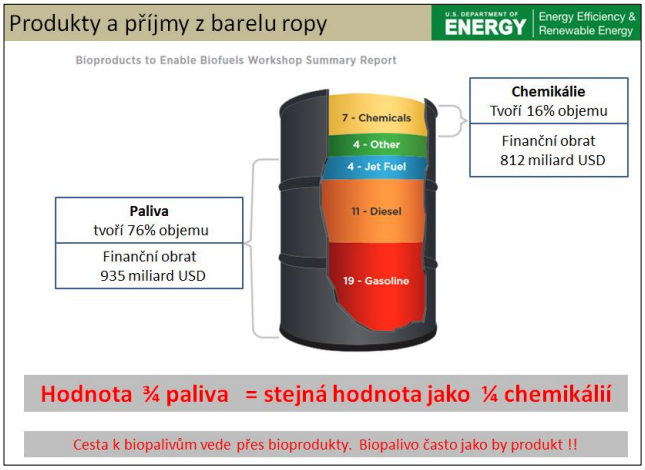


Hodnotové poměry produktů ropy

U.S. Department of Energy (DOE) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)

ve své studii analyzuje hodnotové poměry jednotlivých produktů ropy.[1]

Ze studie je zřejmá vysoká hodnota frakce uplatněné v chemickém průmyslu v tom nejširším slova smyslu (plastová chemie, medicína, kosmetika,…)



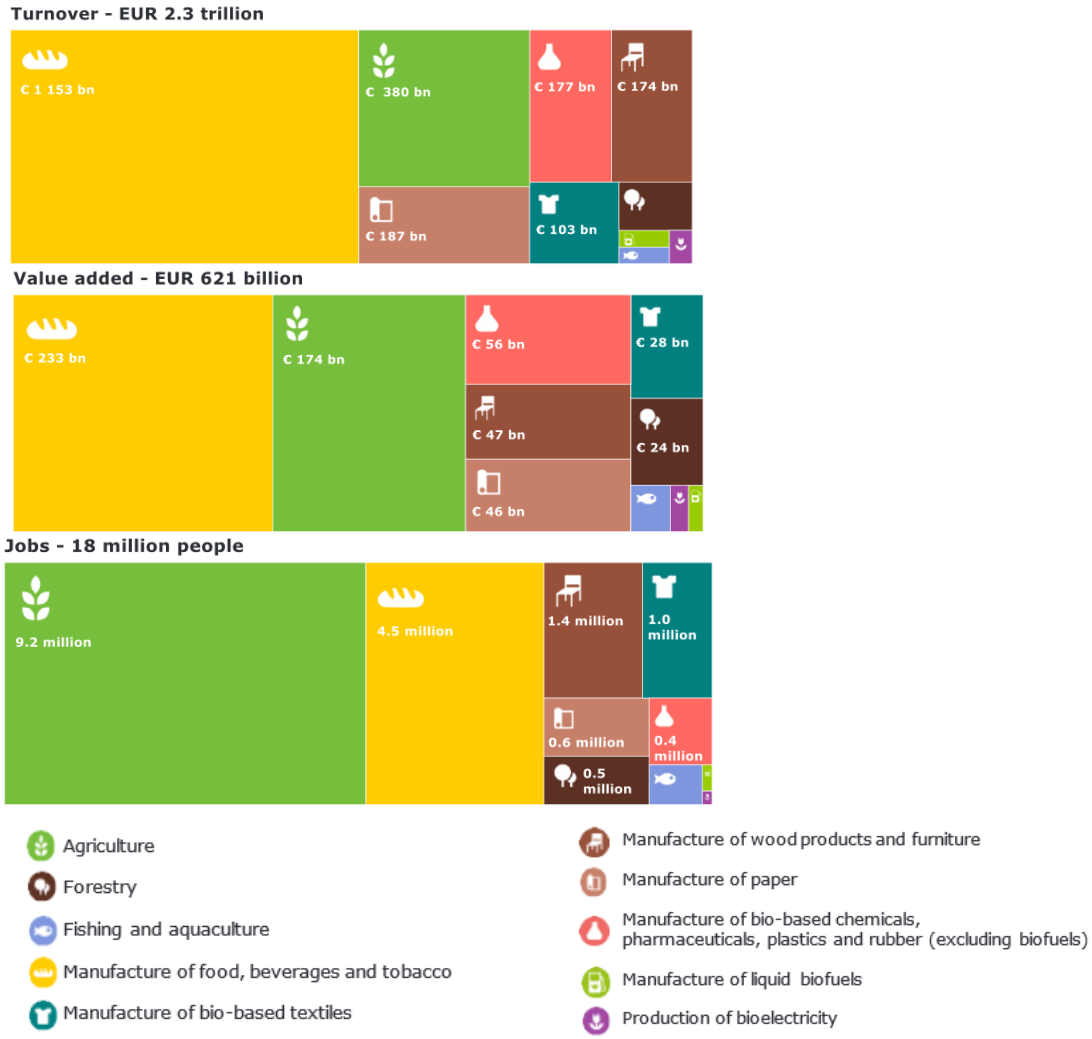
Příroda vytvořila téměř nevyčerpatelnou řadu molekulárních entit, což představuje ohromný zdroj pro vývoj léčiv a dalších cenných bioaktivních činidel. Přestože se používání **bioaktivních přírodních produktů** jako rostlinných léčivých přípravků datuje před stovkami až tisíci lety, jejich aplikace jako izolovaných a charakterizovaných sloučenin na moderní vývoj léčiv začala až v 19. století. Přírodní produkty hrály klíčovou roli v moderním vývoji

1 https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/12/f27/bioproducts_to_enable_biofuels_workshop_report.pdf

léčiv, zejména pro antibakteriální a protinádorová činidla. Kromě přírodních produktů, které se přímo uplatnily v léčebných aplikacích jako léčivé entity, může mnoho dalších sloužit jako chemické složky pro navrhování, syntézu a polo-syntézu nových látek pro léčení nemocí lidstva. Dosud bylo testováno 35 000 - 70 000 rostlinných druhů a jejich léčebné účely a objevy vedli k izolaci mnoha důležitých proti-rakovinových léků, jako je paklitaxel, kamptothecin atd.
Snaha nahradit ropu biomasou přinášejí i otazníky jaké jsou asi hodnotové poměry v této vstupní surovině. V kontextu biopaliv má smysl mluvit o lignocelulózní biomase a přesněji o zemědělských zbytcích, které primárně neslouží v potravinovém a částečně ani krmném řetězci, na druhou stranu je možná jejich masivnější a efektivnější produkce.

Bio-based industry v Evropské unii

Evropská komise (EK) definuje bio ekonomiku jako „výrobu obnovitelných biologických zdrojů a přeměnu těchto zdrojů a toků odpadů na produkty s přidanou hodnotou, jako jsou potraviny, krmiva, produkty na bázi biomasy a bioenergie. Toto odvětví má silný inovační potenciál díky využívání široké škály vědních oborů a průmyslových technologií.
Roční charakteristiky tohoto odvětví v EU:[2]



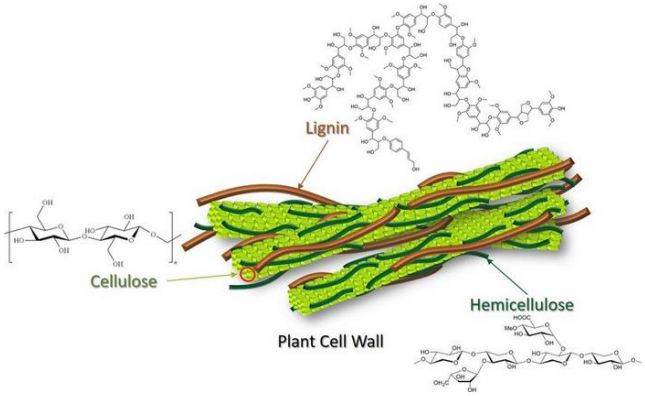
[2] https://www.roadtobio.eu/uploads/publications/roadmap/RoadToBio_strategy_document.pdf

Procentní podíl biologického původu v různých skupinách produktů v EU:

Podíl bio-based chemikálií (%)	Skupiny produktů
< 1	Agrochemikálie, rozpouštědla
1 - 2	Lepidla, plasty/polymery
10 - 30	Umělá vlákna, mazadla; barvy a nátěry; povrchově aktivní látky
> 40	Kosmetika

Struktura lignocelulózní biomasy

Lignocelulózní biomasa je složena hlavně ze tří polymerů: **celulózy, hemicelulózy a ligninu** spolu s malým množstvím dalších složek, jako jsou acetylové skupiny, minerály a fenolické substituenty. V závislosti na typu lignocelulózní biomasy jsou tyto polymery organizovány do komplexních, ale nerovnoměrných trojrozměrných struktur do různých stupňů a různého relativního složení. Lignocelulóza se vyvinula, aby odolávala degradaci, a tato robustnost nebo opětovné získání lignocelulózy pramení z krystalinity celulózy, hydrofobicity ligninu a zapouzdření celulózy matricí lignin-hemicelulóza.

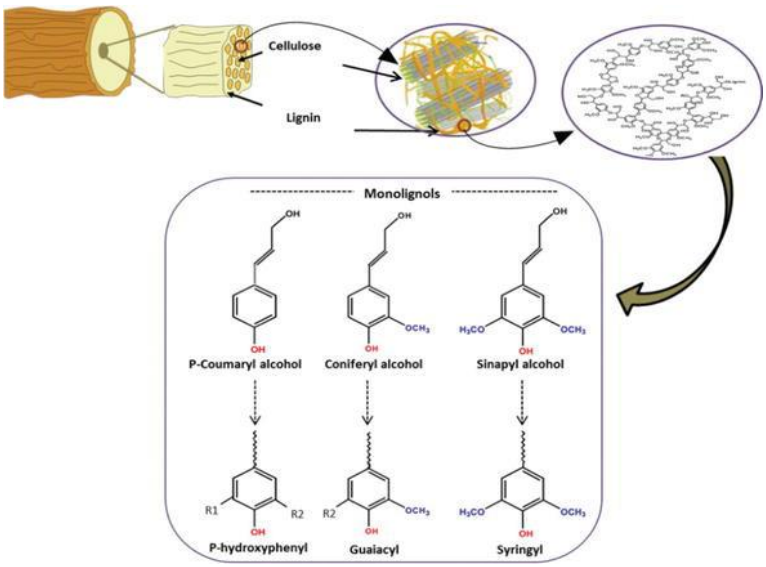


Structure of lignocellulosic biomass.

CELULÓZA - Hlavní složka. Na rozdíl od glukózy v jiných glukanových polymerech je opakující se jednotkou celulózového řetězce disacharidová celobióza $C_{12}H_{22}O_{11}$. Struktura se skládá z rozsáhlých intramolekulárních a intermolekulárních vodíkových vazebných sítí, které pevně váží glukózové jednotky. Přibližně polovina organického uhlíku v biosféře je přítomna ve formě celulózy.

HEMICELULÓZA - druhý nejčastější polymer. Na rozdíl od celulózy má hemicelulóza náhodnou a amorfní strukturu, která se skládá z několika heteropolymerů včetně xylanu, galaktomananu, glukuronoxylanu, arabinoxylanu, glucomananu a xyloglukanu. Hemicelulózy se liší také svým složením; hemicelulózy z tvrdého dřeva obsahují převážně xylany, zatímco hemicelulózy z měkkého dřeva obsahují většinou glukomanany. Heteropolymery hemicelulózy se skládají z různých 5- a 6-uhlíkových monosacharidových jednotek: pentózy (xylóza, arabinóza), hexózy (manóza, glukóza, galaktóza) a acetylované cukry. Hemicelulózy jsou vloženy do buněčných stěn rostlin a vytvářejí komplexní síť vazeb, které zajišťují strukturální pevnost spojením celulózových vláken do mikrofibril a zesítění ligninem.

LIGNIN - trojrozměrný polymer fenylpropanoidových jednotek. Funguje jako buněčné lepidlo, které poskytuje pevnost v tlaku rostlinné tkáni a jednotlivým vláknům, ztuhlost buněčné stěny a odolnost proti hmyzu a patogenům a zajišťuje transport vody v bunkách.



Primární perkursory ligninu jsou
trans-p-coumaryl
trans-p-coniferyl
trans-sinapyl

Každoročně k dispozici velké množství ligninu v celulózových a papírenských provozech.
Tato skutečnost odůvodňuje úvahy o jeho použití v průmyslových aplikacích[3]. Lignin by mohl být jedním z nejdůležitějších a nejudržitelnějších biologických zdrojů jako suroviny pro **vývoj ekologického polymerního kompozitu**. Díky své chemické struktuře může lignin poskytovat další funkce, jako je plnivo, ztužující činidlo, stabilizátor atd. Díky vysoké schopnosti hoření se lignin efektivně používá jako zdroj uhlíku v kombinaci s jinými retardéry hoření pro navrhování intumescentního systému pro polymerní materiály.

Celulóza, hemicelulóza a lignin ale nejsou rovnoměrně distribuovány uvnitř buněčných stěn. Struktura a množství těchto složek buněčné stěny se liší podle druhu, tkání a zralosti buněčné stěny. Obecně, **lignocelulózní biomasa sestává z 35–50% celulózy, 20–35% hemicelulózy a 10–25% ligninu**. Zbývající frakce - oleje a popel.

Tabulka shrnuje jednotlivé typy lignocelulózní biomasy a jejich chemické složení v % [4]

[3] https://www.intechopen.com/books/lignin-trends-and-applications/an-overview-on-the-use-of-lignin-and-its-derivatives-in-fire-retardant-polymer-systems
[4] https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/py/c5py00263j

BIOMASA		Celulóza (%)	Hemicelulóza (%)	Lignin (%)
Tvrdé dřevo	Topol	50.8–53.3	26.2–28.7	15.5–16.3
	Dub	40.4	35.9	24.1
Měkké dřevo dřevo	Borovice	42.0–50.0	24.0–27.0	20.0
	Douglaska	44.0	11.0	27.0
	Smrk	45.5	22.9	27.9
Agro zbytky	Sláma pšenice	35.0–39.0	23.0–30.0	12.0–16.0
	Sláma oves	31.0–35.0	20.0–26.0	10.0–15.0
	Sláma ječmen	36.0–43.0	24.0–33.0	6.3–9.8
	Sláma žito	36.2–47.0	19.0–24.5	9.9–24.0
	Sláma čirok	32.0–35.0	24.0–27.0	15.0–21.0
	Kukuřice slupky	33.7–41.2	31.9–36.0	6.1–15.9
	Kukuřice stvol	35.0–39.6	16.8–35.0	7.0–18.4
	Cukrová třtina	25.0–45.0	28.0–32.0	15.0–25.0
Traviny	Trávy	25.0–40.0	25.0–50.0	10.0–30.0
	Switchgrass (Proso prutnaté)	35.0–40.0	25.0–30.0	15.0–20.0

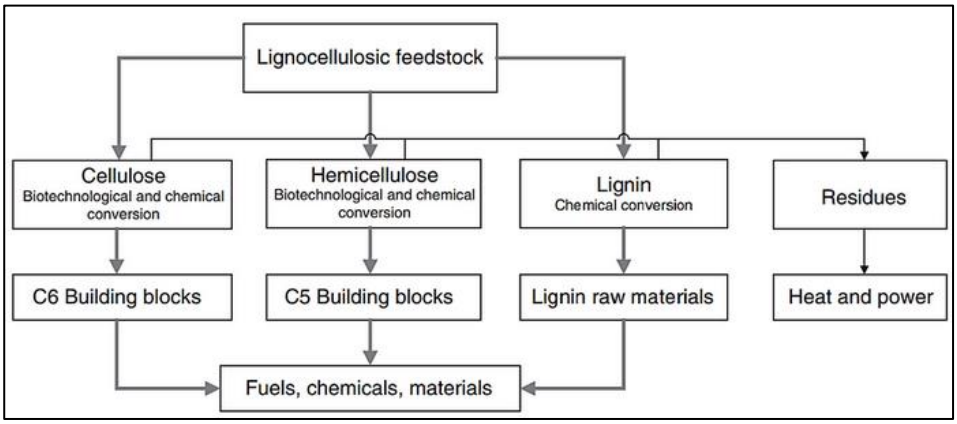
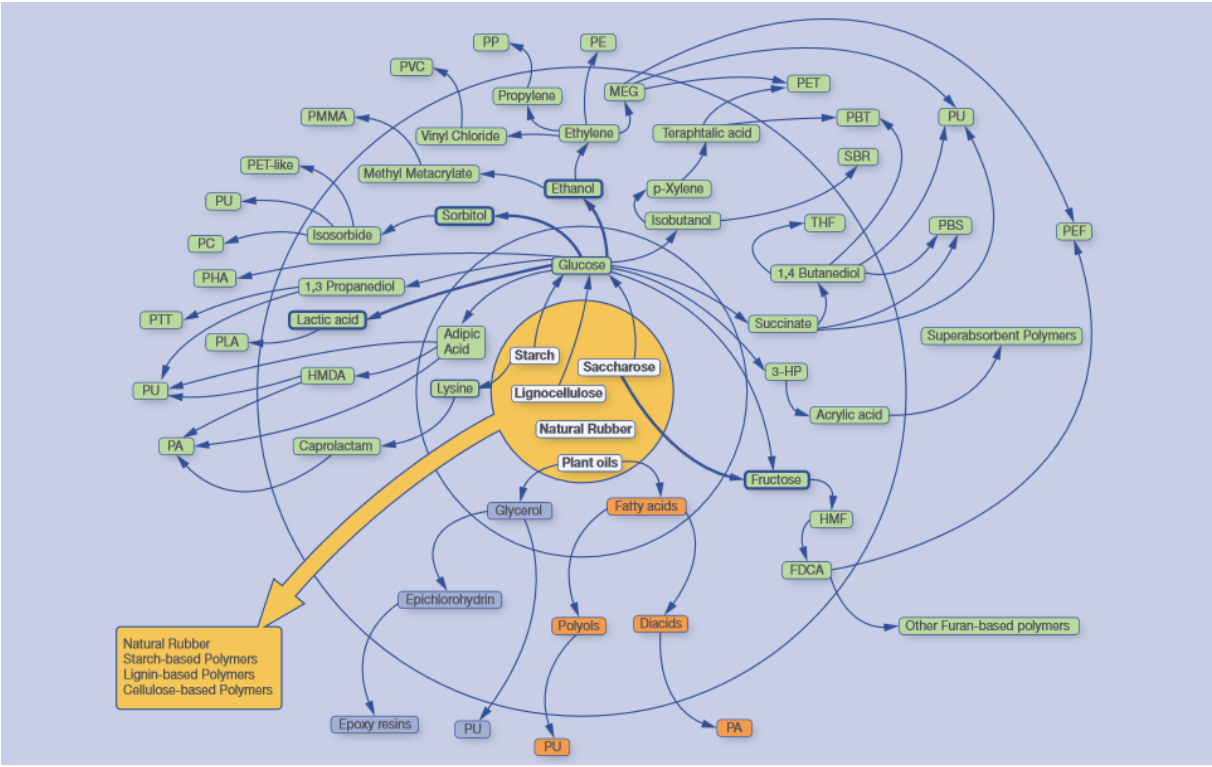


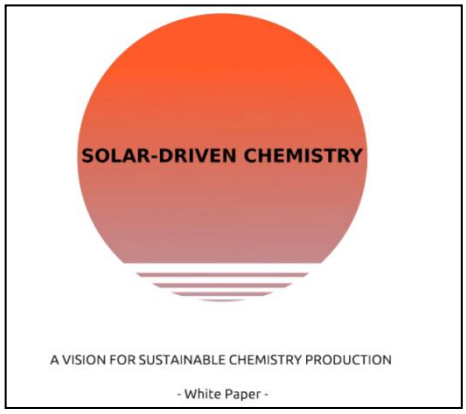
Schéma komplexního využití biomasy v tzv. bio-rafinerii

Biomasa - pro chemické využití

Potenciál obnovitelné chemie na základě fotosyntézy znázorňuje následující obrázek [5]



Potenciál tohoto obnovitelného zdroje má aplikační potenciál v mnoha oblastech a je představuje novou výzvu pro moderní chemii. Tedy odklon od chemie postavené na fosilních zdrojích (neobnovitelných a produkujících CO2) k tomuto zdroji který má naopak primární zdroj slunce, vodu a CO2. V mnoha oblastech se jedná o složitější a technologicky i ekonomicky náročnější procesy než jsou již zaběhlé procesy postavené na fosilních zdrojích.



Nicméně je zřejmé, že se jedná o odklon a procesy které moderní chemie podporuje.

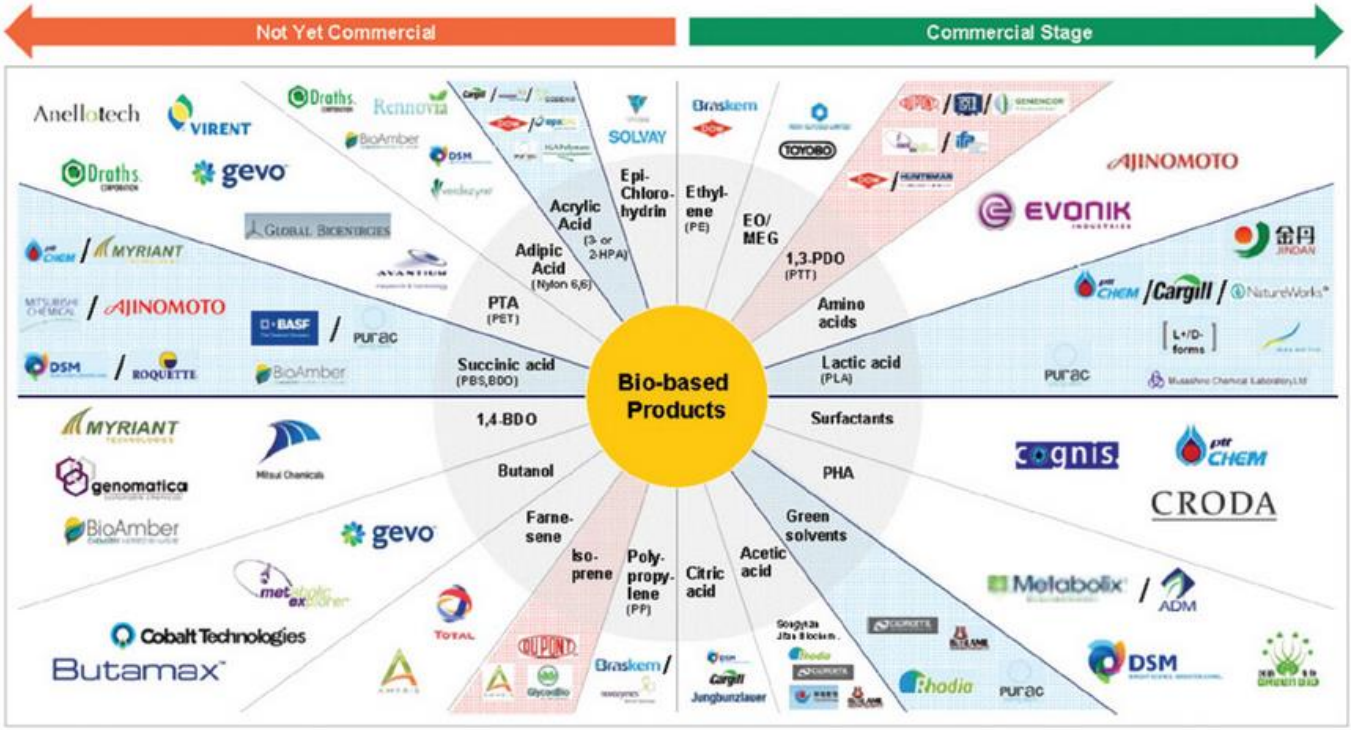
EuChemS
European Chemical Society

Viz bílá kniha
White paper - SOLAR DRIVEN CHEMISTRY[6]

[5] http://bio-based.eu/market_study/media/files/13-06-21MSBiopolymersExcerpt.pdf
[6] https://www.euchems.eu/proposals-solar-driven-chemistry/

Lignocelulózní biomasa - pro neenergetické využití

Biomasa má široké pole využití, kterým se zabývá celá plejáda výzkumných ale i průmyslových entit. V následujícím obrázku je členění transferu biomasy do chemikálií, která zatím není komercionalizovaná (vlevo) a transfer, který již je ve fázi komercionalizace.



Komerční fáze transferu biomasy na chemikálie Bio-based products:

Etylen C_2H_4
Etylen glycol (Ethan-1,2-diol) $C_2H_6O_2$
Monoethylen glycol MO/MEG

PRODUKCE - PROCES

Etylen nejjednodušší zástupce uhlovodíků – plyn ze skupiny alkenů. Je obsažen v zemním a koksárenském plynu, dále se získává krakováním. Patří mezi základní suroviny v chemickém průmyslu. Klasicky se vyrábí z fosilních zdrojů. V případě vstupní obnovitelné suroviny - biomasy se vyrábí prvotně bioetanol a následně etylen (cca 0,3% z celkové produkce)[7]

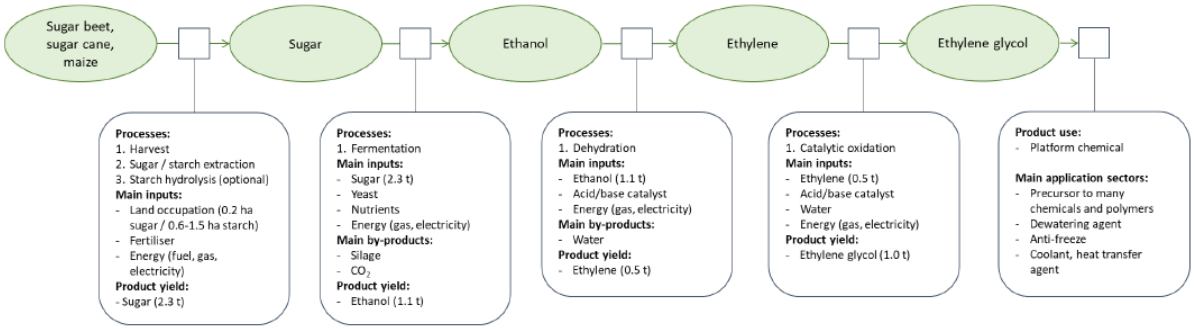
[7] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cben.201600025

Etylen glykol

Oxidací etylenu se nejdřív vyrobí etylen oxid (EO) za přítomnosti kyslíku nebo vzduchu a katalyzátoru na bázi oxidu stříbrného. Surová směs etylen glykolu se potom získá hydrolýzou EO vodou pod tlakem. Směs voda-glykol se přivádí do odpařovačů, kde se voda recykluje. Frakční destilace ve vakuu se používá k oddělení mono etylen glykolu od dietylenu a trietylen glykolu.

Monoethylen glycol (MEG)

MEG se vyrábí z etylenu přes meziprodukt etylenoxid. V tomto procesu etylenoxid reaguje s vodou za vzniku etylen glykolu podle požadované chemické rovnice. Jako katalyzátor se používají kyseliny.



Schema obnovitelnéprodukce etylenu a etylen glykolu

PRODUKT-VLASTNOSTI

Ethylenglykol, ethan-1,2-diol nebo monoethylenglykol (MEG) je sladká bezbarvá kapalina. v průmyslu známý také jako FRIDEX, je alkohol se dvěma -OH skupinami, chemická sloučenina široce používaná v nemrznoucích chladicích kapalinách pro automobily. V čisté formě jde o viskózní jedovatou kapalinu sladké chuti, bez barvy a zápachu v průmyslu známý také jako Fridex, je alkohol se dvěma -OH skupinami, chemická sloučenina široce používaná v nemrznoucích chladicích kapalinách pro automobily. V čisté formě jde o viskózní jedovatou kapalinu sladké chuti, bez barvy a zápachu.

MEG se obvykle vyrábí hydrolýzou ethylenoxidu (EO), který se sám získává oxidací ethylenu. Klasickým jsou zdrojem fosilní suroviny.

PRODUKT-APLIKACE

Etylen rostliny biologicky syntetizují a etylen způsobuje rychlejší dozrávání ovoce. Zralé ovoce produkuje tohoto plynu nejvíce. V potravinářském průmyslu se využívá jako inhibitor pro dozrávání ovoce.

Monoetylenglykol (MEG), také známý jako ethylenglykol (EG) nebo jednoduše glykol, je diol, který se většinou používá k výrobě polyesterových vláken a polyethylen tereftalátových (PET) pryskyřic. Používá se také v nemrznoucích aplikacích a ve farmaceutických a kosmetických prostředcích.

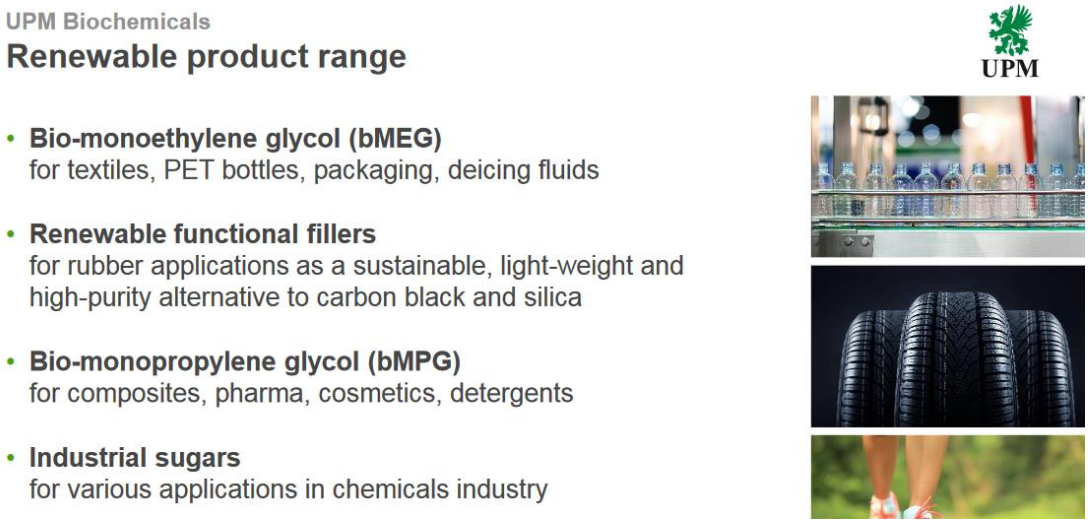
PRODUKT-TRH

Komerční technologie na výrobu bio etylenu jsou v Brazílii a Indii, několik výrobních závodů je ve výstavbě nebo plánováno (např. V Číně). Největší výrobce bio etylenu se nachází v Brazílii s výrobní kapacitou bio-etylenu 200 kt/rok. Jedná se ovšem o výrobu z B1G (z etanolu

vyráběného z potravinářské suroviny). V EU se v této oblasti angažuje švédská firma Chematur Engineering.[8] Etylen z etanolu není zajímavou perspektivou z hlediska konkurenceschopnosti, jelikož výchozí surovina- etanol je relativně drahá. Přímá produkce etylenu z biomasy a CO2 se zkoumá především ze sinic, ovšem je v raném stádiu výzkumu[9] a v ČR se tomu nikdo nevěnuje.

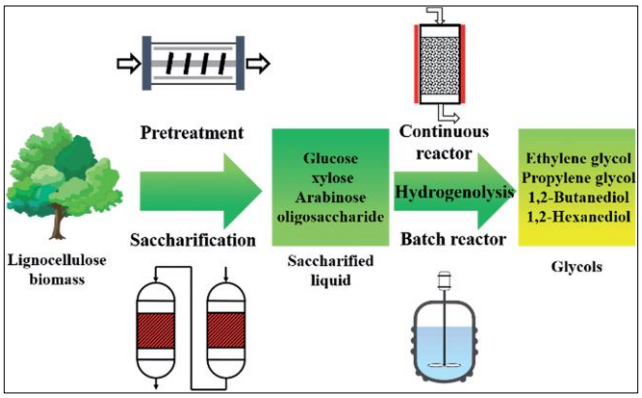
Obnovitelný MEG na báze biomasy

- je předmětem spolupráce **BASKEM a HOLDOR TOPSOE**, která má komercionalizovat jejich proces MOSAIK™ [10] cenově konkurenceschopné výroby MEG z cukrnaté biomasy. Zařízení v Lyngby v Dánsku produkuje cca 100 tun/rok glykol aldehydu.[11] MOSAIK™ - ***MO**no**SA**ccharide **I**ndustrIal **C**racker* - je řešení pro krakování cukrů na meziprodukt, který může být dále převeden na monoethylenglykol (MEG) nebo jiné biochemikálie, jako je methylvinylglykolát nebo kyselina glykolová, pomocí patentovaných procesů a katalyzátorů Haldor Topsoe. S komercionalizací v průmyslovém měřítku se počítá v roce 2023.
- Je předmětem projektu *Bio-MEG Proeffabriek* holandské firmy **Avantium** financovaný Evropskou bankou pro regionální rozvoj (ERDF) pro demonstrační jednotku technologie MEKONG cca 11 tun/rok, posuzování LCA a příprava ke ke komercionalizaci[12]. Realizace 11/2019.
  Následně po ověřovacím období, kdy se provozně potvrdí očekávané předpoklady, padne rozhodnutí ohledně up-scale v roce 2021-2022.
  UPM v Luena Germany investuje 550 mio Euro na výrobu chemikálií z dřevní biomasy.[13]



[8] http://chematur.se/technologies/bio-chemicals/bio-ethylene-ethene/
[9] https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12934-017-0645-5
[10] https://info.topsoe.com/biochemicals?hsCtaTracking=7cbf3491-27e6-4d2e-8e07-2ab5a58a6280%7C1b8eb515-2780-44ed-8d7e-74de194609eb
[11] https://blog.topsoe.com/braskem-and-haldor-topsoe-start-up-demo-unit-for-developing-renewable-meg
[12] https://www.avantium.com/technologies/ray/bio-meg-proeffabriek/
[13] http://aci12.activeci.co.uk/assets/file/Pres%20Panu%20Routasalo.pdf

Ve světě probíhá intenzivní vývoj transferu celulózy (hemicelulózy) na glykoly např.: MEG, EG, PG, PET,…. [14] [15] [16]



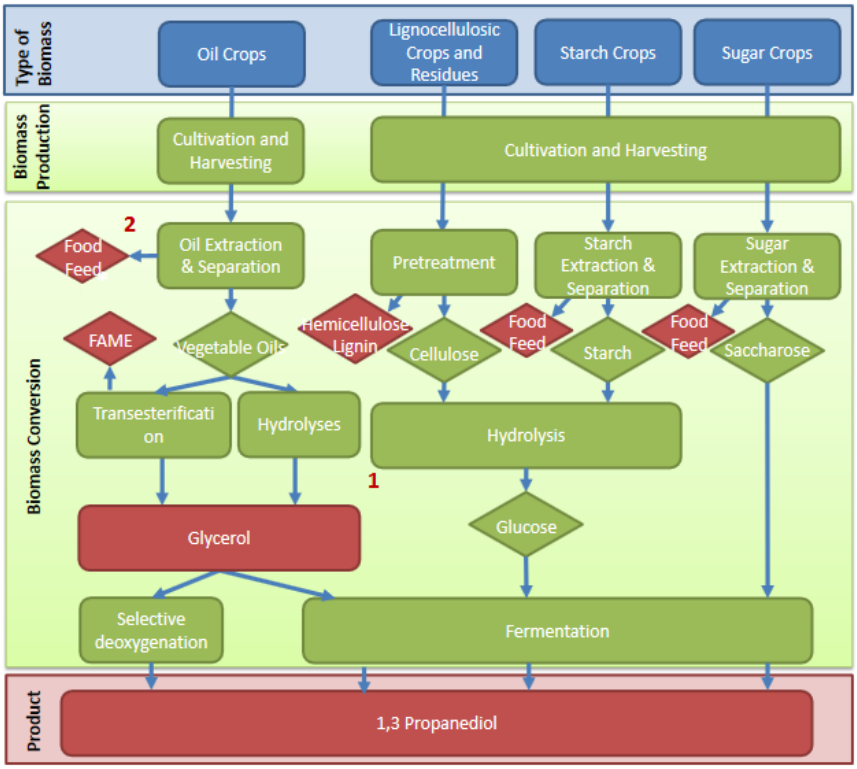
Schematické znázornění využití biomasy pro výrobu glykolů

ČR se této problematice nevěnuje významnější odborná pozornost.

1,3-PDO - $C_3H_8O_2$ - Propan 1,3-diol (1,3-Propanediol)

PRODUKCE – PROCES

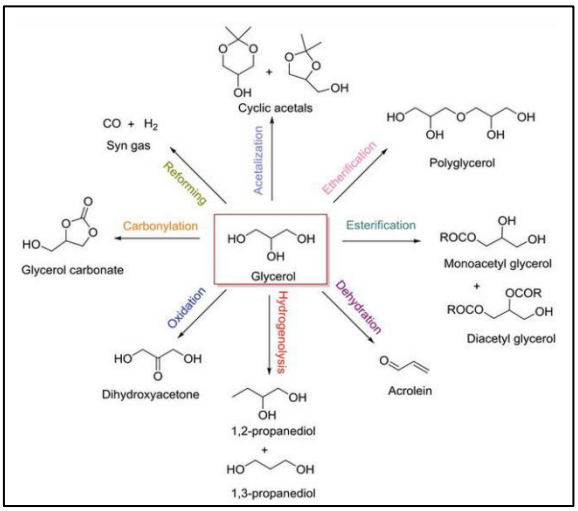
Možnosti výroby 1,3, PDO z biomasy jsou možné jak z olejnatých či cukrnatých plodin, tak i z lignocelulózy:



Schematické znázornění možnosti transferů biomasy na 1,3 PDO

[14] https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ra/c8ra03806f#!divAbstract
[15] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527698202.ch10
[16] https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/sc500380c

V případě výroby MEŘO (metyl esteru řepkového oleje) vzniká jako vedlejší produkt glycerol, kterého jedním z možných využití je právě výroba 1,3 PDO[17] především mikrobiologickou nebo katalytickou cestou.



PRODUKT-VLASTNOSTI

1,3 PDO je nehořlavá málo toxická látka bez barvy a zápachu. Je hygroskopická a neomezeně mísitelné s vodou a také s nízkomolekulárními alkoholy a ketony. Je málo rozpustná v aromatických uhlovodících a takřka nemísitelná s alifatickými organickými rozpouštědly a má charakteristické vlastnosti alkoholů.

Základní fyzikální vlastnosti můžeme vyčíst z tabulky:

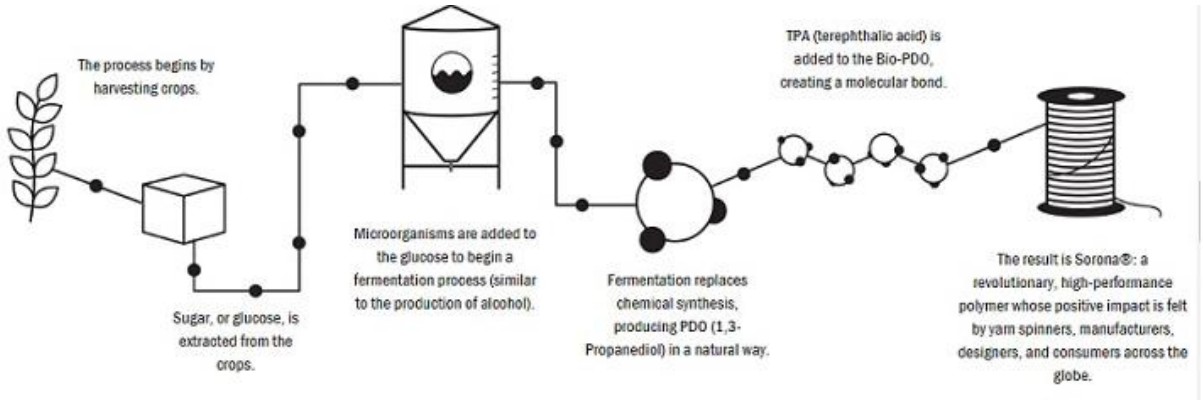
Molekulová váha	79,09 g/mol
Hustota při 20 °C	1,0526 g/cm^3
Teplota varu	214 °C
Teplota tání/tuhnutí	- 24 °C
Viskozita	52 cP
Teplota vzplanutí	129 °C

PRODUKT-APLIKACE

hlavně jako surovina na výrobu polymerů jako je polytrimethylentereftalát.
Přidává do mnoha průmyslových výrobků jako jsou kompozitní materiály, lepidla, laminát, nátěrové hmoty a polyestery. Používá se také jako rozpouštědlo v nemrznoucích kapalinách a v barvách.
Uplatnění při solární energetice:
Nemrznoucí teplonosné kapaliny používané v současné době jsou odvozeny z automobilových systémů a chybí směsi, navrženy primárně pro solární systémy. Nejpoužívanější ethylenglykol EG a propylenglykol PG, primárně pro chladiče automobilů, nedokáží snášet vysoké teploty, kterých solární systémy dosahují. Směsi v zážehových motorech fungují při teplotách okolo 80 °C, kdežto běžné solární systémy mnohdy dosahují teplot okolo až 100 °C a vakuové systémy až 200 °C.

DuPont, INVISTA a DuPont Tate & Lyle Bio Products předvádějí nejnovější generaci odolných rostlinných textilních řešení – bio textilní vlákno SORONA

[17] https://www.intechopen.com/books/glycerine-production-and-transformation-an-innovative-platform-for-sustainable-biorefinery-and-energy/glycerol-transformation-to-value-added-1-3-propanediol-production-a-paradigm-for-a-sustainable-biore



Vývojový diagram výrobního procesu pro SORONA vyrobený z glukózy extrahované z plodin.[18]

Schematické znázornění transferu biomasy na bio textilní produkty[19]

PRODUKT-TRH

Dva současní největší výrobci 1,3-propandiolu jsou **Shell Chemicals a DuPont + Tate & Lyle** [20] [21], vyvíjejí po dlouhá léta technologické postupy na levnou výrobu PDO.

DuPont - výroba Bio-PDO z kukuřice fermentací geneticky upravenými bakteriemi na produkty Susterra® [22]a Zemea® [23].

Shell vyrábí PDO z ethylen oxidu, kdy jeho hydroformylací se syntetickým plynem (syngas) vzniká 3-hydroxypropionaldehyd (3-HPA), ze kterého se hydrogenací vyrábí PDO.

Většina výroby PDO na světě je soustředěna v USA. EU zatím vydala alespoň product „information study“.[24] Hlavní hráči na trhu 1, 3-Propanediol (PDO) jsou:

- Henan Tianguan
- Glory Biomaterial

[18] https://www.plasticstoday.com/packaging/dupont-accelerating-bioplastics-packaging-and-more/170761548757311

[19] https://www.polyestertime.com/bio-products-durable-plant-based-textile-solutions/

[20] http://www.duponttateandlyle.com/news_112706

[21] https://www.youtube.com/watch?v=nhDPPS06gJo

[22] http://biosciences.dupont.com/article/plant-based-footwear-from-dupont-tate-lyles-bio-pdo/

[23] http://duponttateandlyle.com/zemea

[24] https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/BISO-EnvSust-Bioproducts-13PDO_140930.pdf

- Shanghai Demao
- Shell Chemicals LP
- Chenneng
- DOW
- DuPont Tate & Lyle Bio Products
- Metabolic-Explorer
- Shangdong Mingxing
- TCI Chemicals

Amino acids –Aminokyseliny[25]

PRODUKCE – PROCES

Syntéza aminokyselin je soubor biochemických procesů (metabolických drah), kterými jsou aminokyseliny produkovány. Substráty pro tyto procesy jsou různé sloučeniny ve stravě organismu nebo v růstovém médiu. Ne všechny organismy jsou schopné syntetizovat všechny aminokyseliny.

Dnes lze téměř všechny aminokyseliny technologicky vyrobit kteroukoli ze čtyř metod: - -

- extrakcí z hydrolyzátů proteinů
- chemickou syntézou
- enzymatickou syntézou
- fermentací.

Avšak z průmyslového hlediska je nejvýhodnější pro každou jednotlivou aminokyselinu volit separátní způsob.

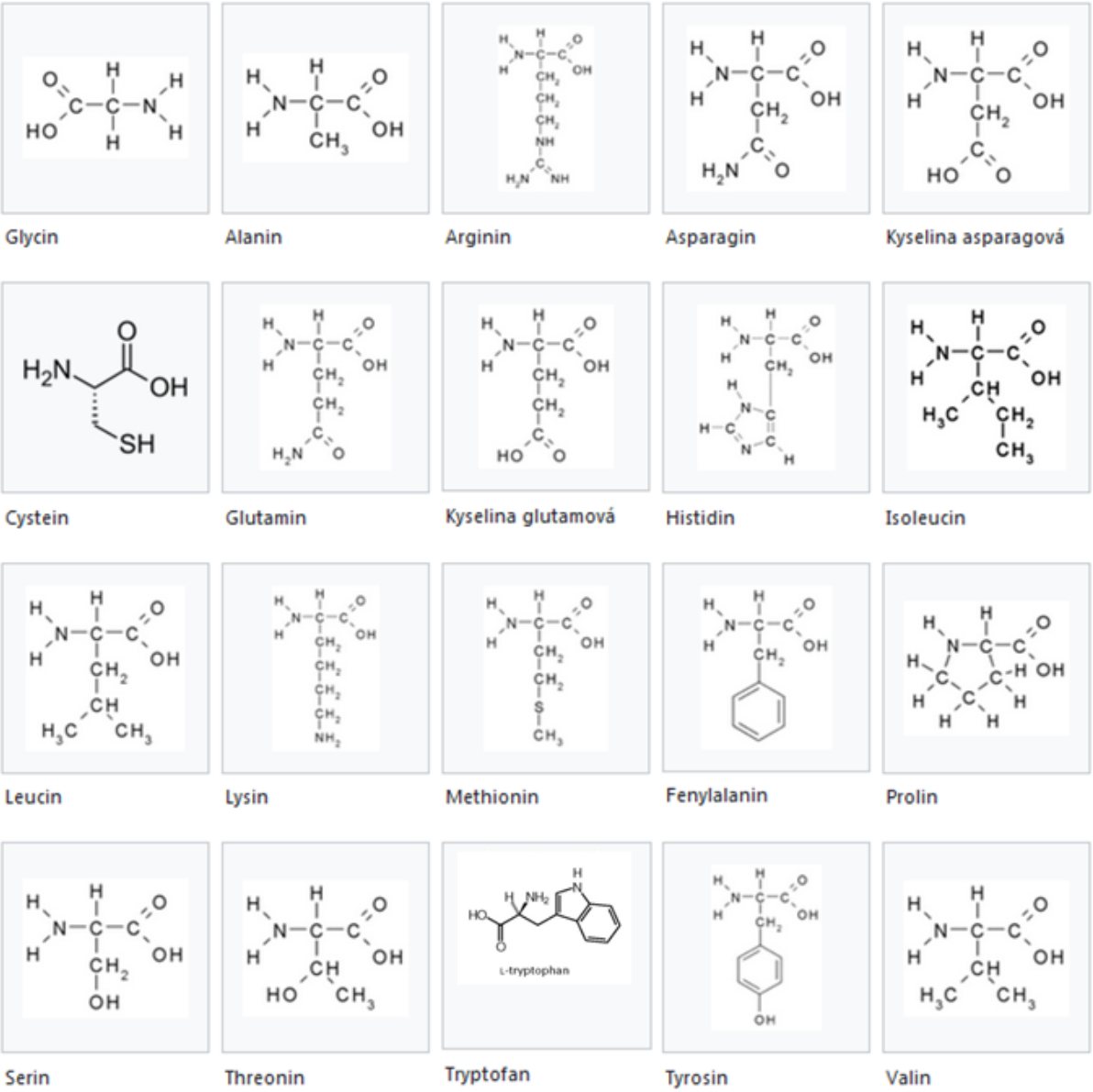
Klíčovou pozici mají fermentační technologie. Fermentované aminokyseliny představují hlavní produkty biotechnologie z hlediska objemu i hodnoty. Tato oblast je vysoce konkurenceschopná na světovém trhu a ekonomika procesů má prvořadý význam. Pro nákladově efektivní výrobu bylo vyvinuto mnoho technologií k zavedení vysoce produktivních fermentačních a regeneračních procesů. Mikroorganismy používané ve velkých a dobře zavedených procesech dnes fermentují s vysokou produktivitou.

PRODUKT-VLASTNOSTI

Aminokyseliny - obecně jakékoliv molekuly obsahující karboxylovou (-COOH) a aminovou (-NH_2) funkční skupinu. Jsou základní stavební složkou proteinů.

Vlastnosti proteinů jsou dány druhem aminokyselin a jejich vzájemnými prostorovými vztahy. V přírodě se vyskytuje více než 300 aminokyselin, pouze 20 z nich se objevuje v proteinech výhradně ve formě L-α-aminokyselin (kromě glycinu, většina proteinů obsahuje relativně malé množství glycinu, kromě kolagenu, který se skládá z glycinu z jedné třetiny. Tyto aminokyseliny se označují jako **BIOGENÍ (PROTEINOGENÍ) AMINOKYSELINY**, ve kterých jsou obě skupiny navázány na stejném uhlíkovém atomu

[25] https://cs.wikipedia.org/wiki/Aminokyselina



Kombinací biogenních aminokyselin jsou tvořeny všechny známé bílkoviny. Aminokyseliny se dělí podle toho, jestli je lidský organizmus schopen jejich produkce na esenciální a neesenciální aminokyseliny.

Esenciální aminokyseliny tělo nedokáže samo vytvořit:
valin, leucin, izoleucin, fenylalanin, tryptofan, lyzin, methionin, threonin, histidin
U esenciálních aminokyselin jsme odkázáni na jejich příjem v potravě nebo doplňků.
Neesenciální aminokyseliny si tělo vytvořit dokáže a tím i částečně pokrýt jejich potřebu pro organismus.
Esenciální aminokyseliny-označovány jako stavební kameny proteinů, jsou sloučeniny, které hrají v těle mnoho závažných a kritických funkcí.

PRODUKT-APLIKACE ESENCIÁLNÍ AMINOYSELINY

1. **Fenylalanin**: je předchůdcem neurotransmiterů tyrosin, dopamin, epinefrin a norepinefrin. Hraje nedílnou roli ve struktuře a funkci proteinů a enzymů a produkci dalších aminokyselin.
2. **Valin**: je jednou ze tří aminokyselin s rozvětveným řetězcem, což znamená, že má řetězec rozvětvený na jednu stranu své molekulární struktury. Valine pomáhá stimulovat růst a regeneraci svalů a podílí se na tvorbě energie (5).
3. **Threonin**: je hlavní součástí strukturálních proteinů, jako je kolagen a elastin, které jsou důležitými složkami kůže a pojivové tkáně. To také hraje roli v metabolismu tuků a imunitní funkce (6).
4. **Tryptofan**: Ačkoli je často spojován s ospalostí, tryptofan má mnoho dalších funkcí. Např. udržuje správnou rovnováhu dusíku a je předchůdcem serotoninu, neurotransmiteru, který reguluje vaši chuť k jídlu, spánku a náladě.
5. **Methionin**: hraje důležitou roli v metabolismu a detoxikaci. Je také nezbytný pro růst tkání a vstřebávání zinku a selenu, minerálů, které jsou životně důležité pro zdraví.
6. **Leucin**: Stejně jako valin je leucin aminokyselinou s rozvětveným řetězcem, která je rozhodující pro syntézu proteinů a obnovu svalů. Pomáhá také regulovat hladinu cukru v krvi, stimuluje hojení ran a produkuje růstové hormony.
7. **Isoleucin**: Poslední ze tří aminokyselin s rozvětveným řetězcem, izoleucin, se podílí na metabolismu svalů a je silně koncentrován ve svalové tkáni. Je také důležitý pro imunitní funkce, produkci hemoglobinu a regulaci energie.
8. **Lysin**: hraje hlavní roli při syntéze proteinů, produkci hormonů a enzymů a vstřebávání vápníku. Je také důležitý pro produkci energie, imunitní funkce a produkci kolagenu a elastinu.
9. **Histidin**: se používá k produkci histaminu, neurotransmiteru, který je nezbytný pro imunitní odpověď, trávení, sexuální funkce a cykly spánek-bdění. Je rozhodující pro udržení myelinového obalu, ochranné bariéry, která obklopuje nervové buňky.

USA doporučené denní dávky na 1 kg tělesné hmotnosti jsou:

Histidin: 14 mg
Isoleucin: 19 mg
Leucin: 42 mg
Lysin: 38 mg
Methionin (+ neesenciální aminokyselina cystein): 19 mg
Fenylalanin (+ neesenciální aminokyselina tyrosin): 33 mg
Threonin: 20 mg
Tryptofan: 5 mg
Valine: 24 mg

V současné době se aminokyseliny primárně vyrábějí mikrobiální cestou a kultivačními procesy, které jsou nákladné, časově náročné a vyžadují rozsáhlé separační procesy. Alternativou je chemicko-katalytický přístup k produkci aminokyselin z obnovitelných surovin například cukrů z biomasy. Na biologické bázi by mohly vzniknout rychlé a potenciálně více efektivní způsoby syntézy aminokyselin.

PRODUKT-TRH

Výrobci aminokyselin:

NĚMECKO Amino Actives Products Carbolution Chemicals GmbH Welding GmbH & CO. KG
USA Ajinomoto Aminoscience Ajinomoto North America, Inc. Ryss Lab, Inc. SK Life Science
UK Biochrom Ltd.
ŠVÝCARSKO Senn Chemicals
ČÍNA CITIC Ningbo Int'l Development Corp., Ltd. Donboo Amino Acid Co., Ltd. Hanhong Group
Dodavatelé aminokyselina derivátů
Sichuan Tongsheng Amino Acids Co.,Ltd.
Wuxi Jinghai Amino Acid Co. Ltd.
JAPONSKO Nippon Rika Co., LTD.

Global "Amino Acids Market" 2019 Industry Research Report uvádí podrobnosti ohledně trhů, cen a výhledů 2025. Jako hlavní producenty roku 2019 uvádí:[26]

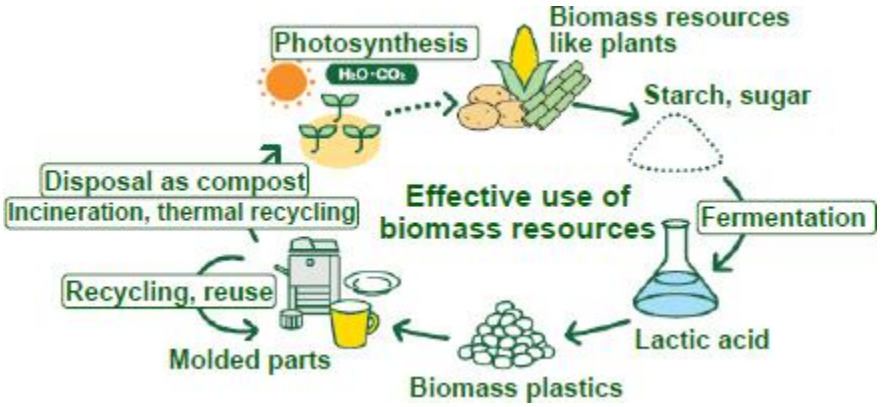
- Ajinomoto Co., Inc. (Japan)
- Adisseo France S.A.S (France)
- Archer Daniels Midland Company (United States)
- Chongqing Unisplendour Chemical Co., Ltd. (China)
- CJ CheilJedang Corporation (South Korea)
- Daesang Corporation (South Korea)
- Evonik Industries AG (Germany)
- Fufeng Group Company Limited (China)
- Global Bio-Chem Technology Group Company Limited (Hong Kong)
- Hebei Donghua Chemical Group (China)
- Kyowa Hakko Bio Co., Ltd. (Japan)
- Linghua Group Limited (China)
- Meihua Holdings Group Co., Ltd. (China)
- Newtrend Group (China)

[26] https://www.marketwatch.com/press-release/amino-acids-market-2019-industry-trends-size-growth-insight-share-emerging-technologies-share-competitive-regional-and-global-industry-forecast-to-2025-2019-07-16

Lactic acid (PLA) $C_3H_6O_3$
Polylactic acid $(C_3H_4O_2)_n$ – Kyselina polymléčná

PRODUKCE – PROCES

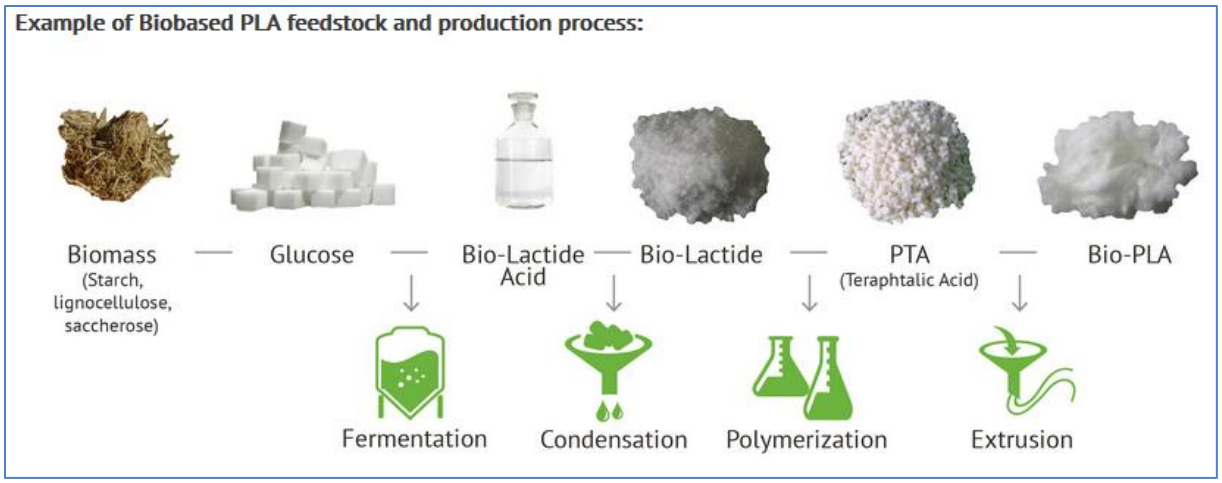
Kyselina polylaktová nebo polylaktid (PLA) je termoplastický alifatický polyester získaný z obnovitelných zdrojů. V roce 2010 byla PLA druhá z nejdůležitějších bioplastů na světě z hlediska objemu spotřeby. Název „poly (kyselina mléčná)“ neodpovídá standardní nomenklatuře IUPAC a je potenciálně matoucí, protože PLA není polykyselina (polyelektrolyt), ale spíše polyester.



Základní surovinou pro výrobu je rostlinná biomasa např. (kukuřice, obilniny, brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, sója, tabák). Ze škrobu (nejčastěji obilného) se vyrábí enzymatickou hydrolýzou glukóza, ze které se fermentací získává kyselina mléčná. Tato se mění speciální polymerizací na polymléčnou kyselinu. Vlákna PLA se obvykle vyrábějí z taveniny polymléčné kyseliny suchým nebo i mokrým zvlákňováním. Aby se škrob přeměnil na látku vlastnostmi odpovídající plastům z ropy, je nutné jej vystavit vysokým teplotám a pomocí izolace z něj získat glukózu. Kvašením je z glukózy získána kyselina mléčná a později kyselina polymléčná (Polylactid acid) tzv. „PLA“.

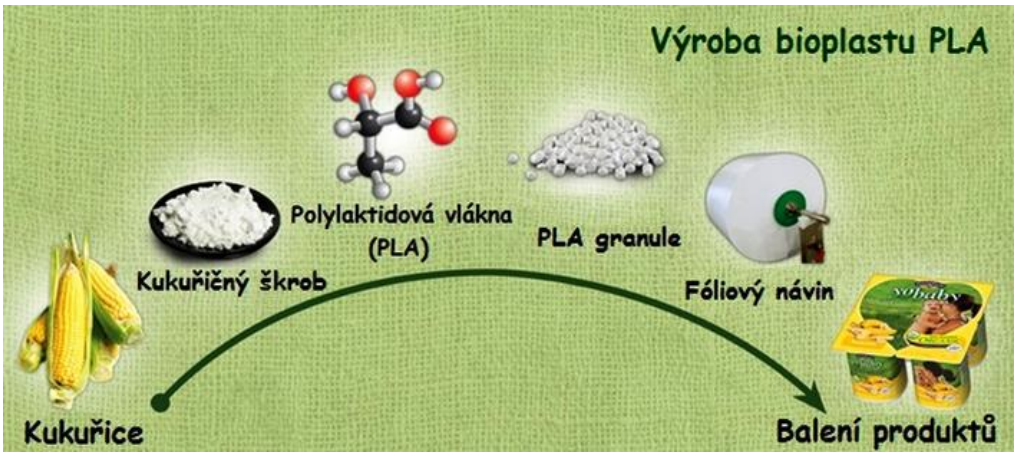
Polymerizační proces PLA je dvoudílný a přeměňuje škrob na kyselinu mléčnou a kyselinu mléčnou prostřednictvím polymerace na polymer PLA. Například NatureWorks 'Ingeo.[27]

[27] https://aboutbiosynthetics.org/feedstock-to-fashion/



PRODUKT-APLIKACE

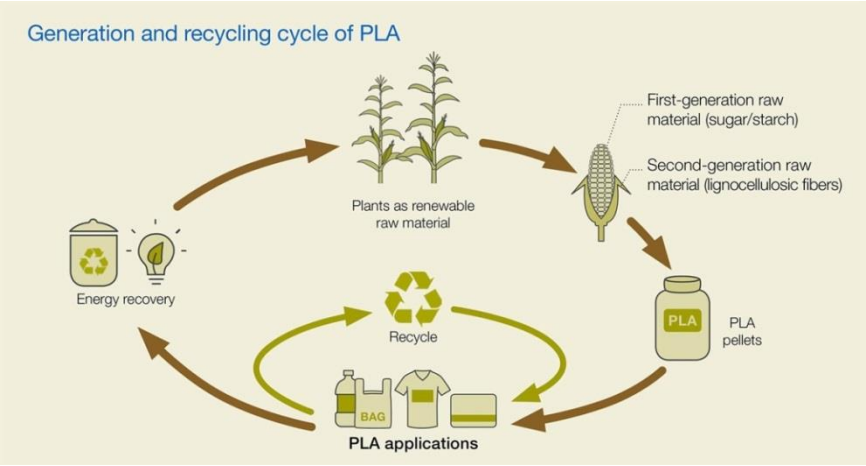
Často jsou používány tam, kde je potřeba použít plast se zkrácenou životností, nebo tam, kde se vyžadují vyšší požadavky na kvalitu a zdravotní nezávadnost – což jsou zejména nemocniční zařízení, ale také jako produkty pro domácnost a kuchyni, kde přichází plast do styku s potravinami. V současné době lze z těchto materiálů vyrobit takřka vše (talíře, příbory, kelímky, sáčky, tašky, dózy na jídlo, krájecí prkénka, tácy, podnosy atd.) Nacházejí konečně využití v rychlých občerstveních, restauracích, apod.Masovému rozšíření bioplastů prozatím bránila jejich vysoká cena.



PRODUKT-TRH

V oblasti výroby bio-plastů se angažují stovky výzkumných ale i výrobních subjektů
Např.: Firma SULZER[28]
Biobased - biologicky rozložitelné a 100% recyklovatelné - to jsou hlavní výhody plastů vyrobených z kyseliny polymléčné (PLA). S dlouholetými zkušenostmi v čištění laktidů a PLA polymeraci poskytuje Sulzer know-how a klíčové vybavení pro výrobu PLA.

[28] https://www.sulzer.com/en/shared/about-us/2018/09/24/15/15/leading-technology-for-biobased-pla-plastics



Firma CARGIL [29] - vývoj nového biokatalyzátoru - kvasinek s nízkým pH.
Firma CORBION[30] vyvinula farmaceutický roztok kyseliny mléčné PURAC® PF
MARKET STUDY: Bio-based Polymers in the WorldCapacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020 [31] uvádí podíl biomasy v různých bio plastech a počty Producentů jednotlivých bioplastů, největší koncentrace je práve v PLA:

Bio-based polymers		Average biomass content of polymer	Producing Companies until 2020	Locations
Cellulose Acetate	CA	50%	9	15
Polyamide	PA	rising to 60%*	14	17
Polybutylene Adipate Terephthalat	PBAT	rising to 50%*	3	3
Polybutylene Succinate	PBS	rising to 80%*	11	12
Polyethylene	PE	100%	3**	2
Polyethylene Terephthalat	PET	30% to 35%***	4	4
Polyhydroxy Alkanoate	PHAs	100%	14	16
Polylactic Acid	PLA	100%	27	32
Poylpropylene	PP	100%	1	1
Polyvinyl Chloride	PVC	43%	2	2
Polyurethane	PUR	30%	10	10
Starch Blends ****		40%	19	21
Total companies covered with detailed information in this report			**114**	**135**
Additional companies included in the "Bio-based Polymer Producer Database"			133	228
Total companies and locations recorded in the market study			247	363

V ČR se v oblasti bio plastů (především biologicky rozložitelných) výzkumně aktivně angažuje a věnuje se tomu mnoho univerzit a výzkumných ústavů.[32] S výraznou státní podporou TAČR:
TU Liberec (1,15 mil Kč) [33]
VURV, EKO-KOM a. s., Ústav experimentální botaniky A.V. (12,8 mil Kč) [34]
Ústav makromolekulární chemie A.V. (5,6 mil Kč) [35]
UTB Zlín (0,165 mil Kč)[36]

[29] https://www.cargill.com/about/research/fermentation-case-study
[30] https://www.corbion.com/bioplastics
[31] http://bio-based.eu/market_study/media/files/13-06-21MSBiopolymersExcerpt.pdf
[32] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=62724
[33] https://starfos.tacr.cz/cs/project/LTAB19007
[34] https://starfos.tacr.cz/cs/project/TA01020744?query_code=tcaaxtj5#project-main
[35] https://starfos.tacr.cz/cs/project/GA14-17921S#project-main
[36] https://starfos.tacr.cz/cs/project/8JPL19031#project-main

UTB Zlín (0,155)[37]
VŠCHT, Nafigate Corp., MBÚ A. V. VÚT Brno (19 mil Kč) [38]
VÚB Ústí n/Orlicí (4 mil Kč)[39]
Nafigate, VÚT Brno (6,5 mil Kč)[40]
Nafigate (1,8 mil Kč)[41]
Nafigate, MBÚ (7,05 mil Kč) – využití fritovacích olejů[42]
Nafigate, VÚT Brno (17,6 mil Kč) přenos dobré praxe do Číny [43]
PLA produkty jsou kompostovatelné, tj. vyhovují požadavkům normy ČSN EN 13432 jako vhodné ke kompostování.[44]
Nicméně přínosy bioplastů na základě PLA, však čeští vědci v roce 2019 zpochybnili [45]
Vědci z Ústavu experimentální botaniky Akademie věd ČR, že pět let zkoumali rozklad bioplastových pytlů a lahví a zjistili, že se plasty z modifikovaných škrobů samy nerozpadají a některé z nich do půdy uvolňují chemikálie a ftaláty.[46][47]

Surfactans – povrchově aktivní látky Surfaktanty, neboli Tenzidy [48]

PRODUKCE – PROCES
Výroba konvenčních povrchově aktivních látek - petrochemický výrobní proces, výroba z biomasy procesem fermentace.

PRODUKT – APLIKACE
Různé aplikace podle průmyslu:
- chemický průmysl: prací prostředky, barvy, antikorozní nátěry, odstraňování kontaminace olejem a ropou, syntéza polymerů.
- farmaceutický průmysl: antimikrobiální aktivita
- kosmetický průmysl: hygiena, výrobky pro péči těla
- životní prostředí: bioremediace půdy a vody

Různé funkce povrchově aktivního činidla se projevují hlavně změnou vlastností rozhraní kapalina-kapalina a rozhraní kapalina-pevná látka, snižují nebo odstraňují povrchové napětí kapalin. Používají se jako prací prostředky, saponáty, smáčedla, emulgátory, pěnotvorné

[37] https://starfos.tacr.cz/cs/project/7AMB16PL070#project-finance
[38] https://starfos.tacr.cz/cs/project/FV40094#project-finance
[39] https://starfos.tacr.cz/cs/project/LI002013?query_code=rmaa2iar#project-main
[40] https://starfos.tacr.cz/cs/project/TH01011353#project-main
[41] https://starfos.tacr.cz/cs/project/TG01020003?query_code=zcfyaacdad2a#project-main
[42] https://starfos.tacr.cz/cs/project/FV10326?query_code=zcfyaacdad2a#project-main
[43] https://starfos.tacr.cz/cs/project/TF02000062?query_code=zcfyaacdad2a#project-main
[44] http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_04_291-297.pdf
[45] https://www.idnes.cz/hobby/domov/bioplasty-recyklace-rozlozitelnost.A190516_101249_hobby-domov_bma
[46] https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/mzp-bioplasty-mohou-predstavovat-vetsi-hrozbu-nez-bezny-plast/1755740
[47] https://www.casopis-sifra.cz/kolosalni-podvod-bioplasty-se-podle-vyzkumu-prirode-vubec-nerozkladaji-navic-se-nich-uvolnuji-ftalaty-jine-chemikalie/
[48] https://blog.biolinscientific.com/what-are-surfactants-and-how-do-they-work

látky apod. Molekula je tvořena dlouhým uhlíkovým řetězcem o C_{12} - C_{20}, což představuje hydrofobní část. Na řetězci je polární substituent, který tvoří hydrofilní část, např. skupiny -COO-, $-SO_2O^-$, $-NR_3^+$.

Např. Esterquaty jsou široce používanou třídou biologicky rozložitelných kationtových povrchově aktivních látek, které dodávají detergentům jejich změkčovací vlastnosti.

PRODUKT-TRH

V ČR Děčínská firma Chemotex vyrábí povrchově aktivní látky pro výrobu desinfekčních prostředků včetně produktů pro jejich modifikaci. Pro průmyslové i domácí použití.

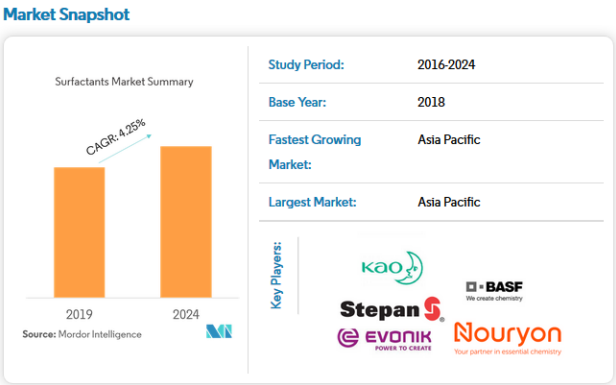
Trh je členěn podle:

- **typu** (aniontové povrchově aktivní látky, kationtové povrchově aktivní látky, neiontové povrchově aktivní látky, amfoterní povrchově aktivní látky a silikonové povrchově aktivní látky)
- **původu** (syntetické povrchově aktivní látky a biologické povrchově aktivní látky),
- **aplikace** (domácí mýdlo a čisticí prostředky, osobní péče, maziva, paliva, aditiva, pro průmyslové a institucionální čištění, zpracování potravin, chemikálie na ropných polích, zemědělské chemikálie, textilie a jiné aplikace).

Hlavní světový producenti:

BASF[49], EVONIK [50], ECOVER, Nouryon, Henkel, Saraya, Soliance, Stepan[51], KAO Corporation[52] Wheatoleo[53]

Předpoklad CAGR: 4,25%



PHA – Polyhydroxyalkanoáty (PHA) jsou termoplastické polymery (termoplastické proto, že jejich teploty tání se nacházejí v oblasti 50 – 180 °) vznikající nejčastěji v buňkách bakterií, které ukládají uhlík jako zásobu energie v případě stresu nebo v případě, kdy je jejich růst omezen nedostatkem základních látek – dusíku, kyslíku, fosforu nebo hořčíku. Použití - bioplasty.

[49] https://www.scribd.com/doc/242288848/BASF-Surfactants-b-pdf
[50] https://corporate.evonik.com/en/media/press_releases/pages/article.aspx?articleId=101537
[51] https://www.stepan.com/Products/Surfactants.aspx
[52] https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/surfactants-market
[53] http://www.wheatoleo.com/en/search/node/surfactant

GAČR

- Ústav přístrojové techniky A.V. Brno a VÚT Brno:
  projekt „ Řízená evoluce bakterií produkujících polyhydroxyalkanoáty“ (10 mil Kč) [54]
- Ústav přístrojové techniky A.V. a VÚT Brno
  Projekt „Zapojení polyhydroxyalkanoátů do stresové odpovědi bakterií“ (9,5 mil Kč) [55]

Dizertační práce: Studium metabolismu bakteriálních buněk a vlivu stresu na biosyntézu PHA[56]
ČR má v této oblasti v Praze i Brně silné odborné zázemí [57]

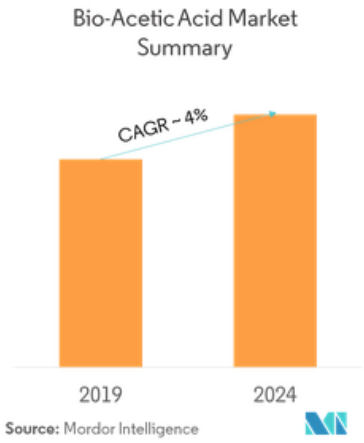
Green solvents - Zelená rozpouštědla [58] byla vyvinuta jako ekologičtější alternativa k petrochemickým rozpouštědlům. Ethyllaktát je například zelené rozpouštědlo získané zpracováním kukuřice. Ethyllaktát je ester kyseliny mléčné. Rozpouštědla laktátových esterů jsou běžně používaná rozpouštědla v průmyslu nátěrových hmot a mají řadu atraktivních výhod, včetně toho, že jsou 100% biologicky rozložitelné, snadno recyklovatelné, nekorozivní, nekarcinogenní a neozonové. Ethyllaktát je zvláště atraktivním rozpouštědlem pro nátěrový průmysl v důsledku jeho vysoké rozpustnosti, vysokého bodu varu, nízkého tlaku par a nízkého povrchového napětí. Je to žádoucí nátěr na dřevo, polystyren a kovy a působí také jako velmi účinný odstraňovač nátěrů a odstraňovač graffiti. Ethyllaktát nahradil rozpouštědla jako toluen, aceton a xylen, což vedlo k mnohem bezpečnějšímu pracovišti.
K dalším aplikacím ethyllaktátu patří vynikající čistič pro polyuretanový průmysl. Ethyllaktát má vysokou schopnost solventnosti, což znamená, že je schopen rozpustit širokou škálu polyurethanových pryskyřic. Vynikající čisticí schopnost ethyllaktátu také znamená, že může být použit k čištění různých kovových povrchů, k účinnému odstraňování mastnoty, olejů, lepidel a pevných paliv. Použití ethyllaktátu je vysoce cenné, protože eliminovalo použití chlorovaných rozpouštědel.
Výzamný je produkt firmy SOLVEY Rhodiasolv® IRIS je inovativní okysličené rozpouštědlo s vynikajícími ekologickými vlastnostmi, určené pro různé aplikace, jako je průmyslové čištění, čištění pryskyřice, slévárenské pryskyřice, stripování barev, nátěrové hmoty a kombinace nátěrů. Toto inovativní rozpouštědlo je ve vztahu k právním předpisům EU (1999/13 / ES) netoxické, snadno biologicky rozložitelné, nehořlavé a s nízkým obsahem VOC (těkavých organických sloučenin).

Acetic acid CH_3COOH – Kyselina octová druhá nejjednodušší jednosytná organická (karboxylová) kyselina, je jednou z nejvýznamnějších průmyslových organických surovin. Ročně se jí na světě vyrobí přes 5 mil. tun.
Používá se v laboratoři i v chemickém průmyslu jako významné rozpouštědlo při přípravě čistých chemických sloučenin.

[54] https://www.isibrno.cz/cs/rizena-evoluce-bakterii-produkujicich-polyhydroxyalkanoaty
[55] https://starfos.tacr.cz/cs/project/GA15-20645S#project-participants
[56] https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124207
[57] http://chemicke-listy.cz/docs/full/2016_12_860-867.pdf
[58] https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/green-solvents

Přímo jako chemická surovina slouží k výrobě řady dalších organických sloučenin. Nejvýznamnějším produktem je vinylacetát, který následně slouží jako surovina (monomer) pro přípravu polyvinylacetátu.
Derivát kyseliny octové, acetanhydrid, je používán jako silné acylační činidlo, zejména při výrobě acetylcelulosy, která v minulosti sloužila jak k výrobě syntetických vláken (acetátové hedvábí), ze surovin pro výrobu kyseliny acetylsalicylové, která je hlavní složkou nejrozšířenějších léků proti horečkám a zánětům (Acylpyrin, Aspirin, Anopyrin aj.).
Octan vápenatý je surovinou pro výrobu acetonu.
Ve srovnání s průmyslovými aplikacemi je spotřeba kyseliny octové ve formě octa v kulinářských aplikacích pro okyselování jídel a při konzervaci zeleniny zcela zanedbatelná.
Další použití v domácnosti nachází díky své kyselosti a schopnosti rozpouštět uhličitany jako součást čisticích přípravků, zejména pro odstraňování vodního kamene.
V zemědělství je vedle kyseliny mravenčí používána jako přísada ke konzervaci siláže, kde zesiluje baktericidní a fungicidní účinek kyseliny mléčné, spontánně vznikající při kvašení rostlinného materiálu.

Očekává se, že trh bio-octové kyseliny vzroste v prognózovaném období 2019–2024 nad 4%. Hlavními faktory, které ovlivňují růst trhu, jsou rostoucí ceny ropy, rostoucí poptávka trhu po monomeru vinylester kyseliny octové (VAM) a přísná vládní regulace. [59]



Citric acid – $C_6H_8O_7$ kyselina citronová [60]

V potravinářství se kyselina citronová používá jako ochranná a dochucovací látka, hlavně u nápojů (označována jako přídatná látka E 330). Soli (citráty, a především ty s kovy) se používají jako zdroj minerálů při dietách či při onemocnění, kdy dané minerály organismu schází. Díky schopnosti tvořit s kovy cheláty se kyselina citronová přidává do mýdel a čisticích prostředků.

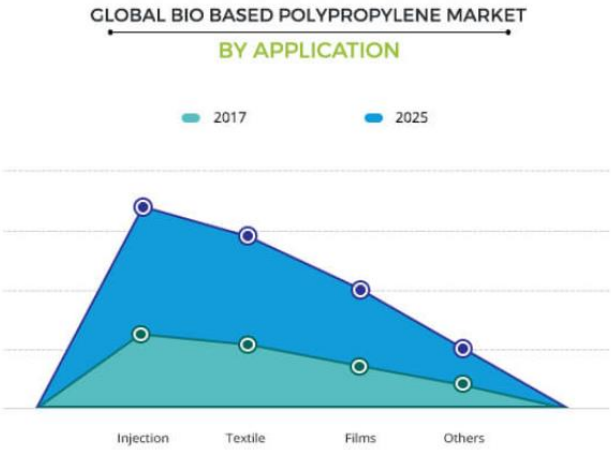
<u>Před komerční fáze R&D transferu biomasy na chemikálie:</u>

[59] https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/bio-acetic-acid-market
[60] https://www.solverde.bio/en/wissen/zitronensaure/

PP-Polypropylen - Bio polypropylen.

Nový způsob výroby, který se pokouší o komercializaci, orientuje se na různé druhy biomasy, zejména nepotravinářské rostliny, jsou fermentovány za vzniku isopropanolu (IPA), který je poté dehydratován za účelem získání propylenu metodou IPA prvního druhu. Ve srovnání s jinými přístupy k produkci biomasy, které prozatím prozkoumaly jiné společnosti, by se tento mohl ukázat jako nákladově efektivnější způsob výroby bio propylenu. Výzkumem se zabývá především japonská firma MITSUI. [61] Výrobou PP z cukrové třtiny firma Novozymes [62]

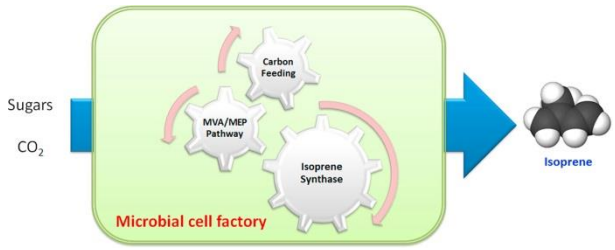
Předpovídá se výrazný nárůst poptávky trhu pro bio PP především v oblasti využití v procesech vstřikování.[63]



Isoprene C_5H_8 - Izopren

Isopren, který se používá v chemickém průmyslu, se dnes získává jako vedlejší produkt při krakování ropy. Z většiny získaného izoprenu se prostřednictvím polymerizace syntetizuje *cis*-1,4-polyisopren, což je látka, jež tvoří hlavní součást přírodního kaučuku. Tento polymer proto slouží jako jeho umělá varianta. Jiná pružná přírodní látka – gutaperča – je tvořena především *trans*-1,4-polyisoprenem, což je na rozdíl od přírodního kaučuku trans-izomer polymerovaného isoprenu. Díky tomu je gutaperča kromě jiného mnohem méně elastická.
Z odpadních olejů produkuje izopren firma GEVO [64]
Goodyear a DuPont Industrial Biosciences společně pracují na vývoji BioIsoprenu, revoluční alternativy pro isopren získaný z ropy. Může být použit pro výrobu syntetického kaučuku, který je alternativou pro přírodní kaučuk a další elastomery. Podle společnosti Goodyear „vývoj BioIsoprenu pomůže snížit závislost průmyslu pneumatik a gumárenského průmyslu na výrobcích získaných z ropy“.

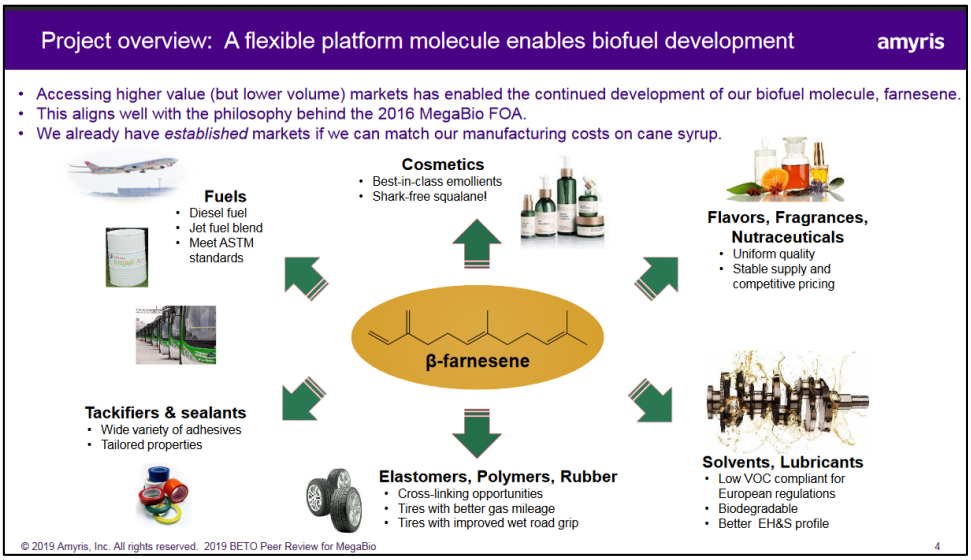
Intenzivně se zkoumá také využití mikrobiologie. Procesy postavené na cukrech (škrobech) a CO2 [65]



Farnesene $C_{15}H_{24}$ – Farnesen soubor šesti

[61] https://www.mitsuichem.com/en/release/2019/2019_0612.htm
[62] https://www.novozymes.com/pt/news/news-archive/2009/12/45619
[63] https://www.alliedmarketresearch.com/bio-based-poly-propylene-PP-market
[64] https://www.rubbernews.com/article/20190211/NEWS/190219992/gevo-process-offers-low-cost-isoprene-from-waste-bio-oils
[65] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096717616300581#f0020

úzce příbuzných chemických sloučenin, které jsou všechny seskviterpeny. α-Farnesene a β-Farnesene jsou isomery, které se liší umístěním jedné dvojné vazby.
α - Farnesene byl izolován z oleje z perily křovité. Oba izomery jsou také látky proti hmyzu; působí jako poplašné feromony v termitech.
β -Farnesen má jeden přirozeně se vyskytující isomer. E izomer je složkou různých éterických olejů. To je také jako poplašný feromon, který zahání mšice. Několik rostlin, včetně druhů brambor, syntetizuje tento feromon jako přírodní repelent hmyzu.
Francouzký TOTAL vyvinul Krasol© F-3000 [66] první bio diol.
Konsorcium AMYRIS-TOTAL-Renmatric společně pracují na procesu MegaBio:[67]



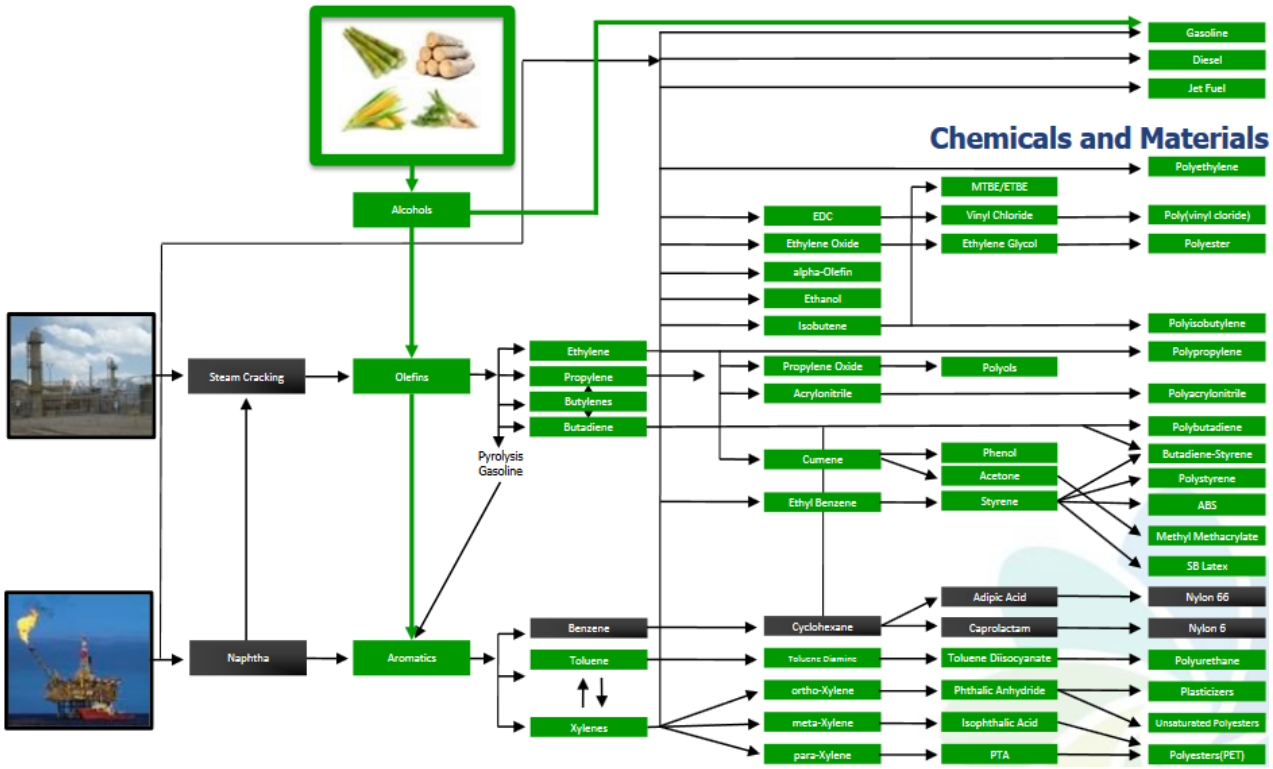
Výsledek se předpokládá kromě celého spektra produktů i letecké palivo a palivo dieselového typu.

Butanol C_4H_9OH - Tvoří čtyři izomery:

n-butanol sec-butanol terc-butanol **isobutanol**

Tyto izomery mají rozdílné chemické a fyzikální vlastnosti, ale všechny jsou mírně rozpustné ve vodě. Podobně jako většina alkoholů je i butanol jedovatý.
Bio izobutanol může být mísen s benzínem ve vyšších koncentracích než stávající biopaliva, což pomáhá snižovat emise skleníkových plynů bez snížení výkonu.
Z izobutanolu je také možné efektivně vyrábět další chemikálie [68]

[66] http://www.crayvalley.com/news-events/news/news-article/2017/06/29/total-cray-valley-introduces-krasol-f-3000-the-first-polyfarnesene-diol
[67] https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/03/f61/Integrated%20process%20for%20commercial%20production%20of%20farnesene%20a%20versatile%20platform%20chemical%20from%20domestic_EE0007729_v2.pdf
[68] https://www.svebio.se/app/uploads/2017/05/Gruber_Patrick_ABC17.pdf



Americká společnost GEVO a indická Praj společně pracují na komercializací obnovitelného isobutanolu, jet-paliva a isooktanu.[69]

V této oblasti vytvořili DuPont a BP joint venture s názvem BUTAMAX.[70] Americká EPA schválila přimíchávání Butamax isobutanolu do benzínu až do výše 16% podílu[71]

1,4 BDO $C_4H_{10}O_2$ - 1,4-butandiol (1,4-Butanediol)

Chemická látka 1,4-butandiol je řazena mezi průmyslová rozpouštědla, využívá se též jako základ pro výrobu plastických hmot, elastomerů a fólií. Ve 20. stole-tí byla tato substance v České republice často zneužívána pro své prosexuální a relaxační účinky jako rekreační droga, jako anabolikum a prostředek ke zvýšení tělesné výkonnosti.

1,4-Butandiol se průmyslově používá jako rozpouštědlo a při výrobě některých druhů plastů, elastických vláken a polyuretanů. V organické chemii se 1,4-butandiol používá k syntéze y-butyrolaktonu (GBL). V přítomnosti kyseliny fosforečné a vysoké teploty se dehydratuje na důležité rozpouštědlo tetrahydrofuran. Při asi 200 ° C v přítomnosti rozpustných rutheniových katalyzátorů podléhá diol dehydrogenaci za vzniku butyrolaktonu.

[69] https://www.globenewswire.com/news-release/2019/04/09/1799735/0/en/Gevo-to-Work-With-Praj-Industries-to-Commercialize-Renewable-Isobutanol-Jet-Fuel-and-Isooctane-in-India.html
[70] https://www.butamax.com/
[71] http://biomassmagazine.com/articles/15377/epa-approves-isobutanol-fuel-registration-filed-by-butamax

Světová produkce 1,4-butandiolu se odhaduje na jeden milion metrických tun ročně a tržní cena je asi 2 000 USD (1 600 EUR) za tunu (2005). V roce 2013 byla celosvětová produkce vyčíslená na miliardu liber (což odpovídá přibližně miliónu metrických tun)

Společnosti GC Innovation America a Johnson Matthey Davy Technologies (JM Davy) spojily síly a přinášejí na trh nákladově konkurenceschopný, 100% bio-založený 1,4-butandiol (BDO). Tyto procesy kombinují biologickou sílu, využívající bio kyselinu jantárovou vyrobenou z cukru, s chemií, s využitím komerčního procesu BDO společnosti JM Davy, za účelem výroby 100% obnovitelné bio-BDO za srovnatelnou cenu s ropou.[72]

Společnost GENOMATICA[73] proklamuje svůj proces GENO BDO ™ jako komerčně připraven k licenci.

BioAmber je další společností která produkuje bio 1,4 BDO (z bio kyseliny jantárové).[74]

Succinic acid $C_4H_6O_4$ Kyselina jantarová

PRODUKCE - PROCES

Cukry jsou fermentovány mikroorganismy. Po získání kyseliny jantarové v dostatečně vysoké koncentraci dochází k čištění. Každý výrobce vyvinul a patentoval svůj vlastní proces regenerace a čištění. Obecně - proces filtrace, následuje odpařování a krystalizace.

PRODUKT-VLASTNOSTI

Kyselina jantarová je bezbarvý, nebezpečný, ve vodě rozpustný krystal s kyselou chutí.
Je nasycená dikarboxylová kyselina. Její aniont se nazývá sukcinát. Vyskytuje se v ovoci, cukrové řepě a víně. Je to bílá krystalická látka dobře rozpustná ve vodě. Vyskytuje se v Krebsově cyklu, kde vzniká z sukcinyl-CoA pomocí sukcinyl-CoA-syntetázy a mění se na fumarát pomocí sukcinátdehydrogenázy.

PRODUKT-APLIKACE

Aplikace kyseliny jantarové zahrnují tradiční trhy (potravinářství, farmacie).
Je jedním z hlavních bio-based změkčovadel na americkém trhu (podle výnosů), nahrazující kontroverzní fosilní změkčovadla na bázi fosilních látek.
Jako chemický meziprodukt kyselina jantarová může být použita k výrobě:
BDO (1,4-butandiol), polybutylen tereftalát, polyesterové polyoly, potraviny, léčiva, alkylové pryskyřice a další….
Konečné produkty, které lze vyrobit pomocí kyseliny jantarové jsou např. polyurethany, barvy a povlaky, lepidla, tmely, umělé kůže, potravinářské a chuťové přísady, kosmetika a výrobky pro osobní hygienu, biologicky rozložitelné plasty, nylony, průmyslová maziva, plastifikátory bez obsahu ftalátů, barviva a pigmenty a farmaceutické sloučeniny.

PRODUKT- TRH:

[72] https://www.gcinnovationamerica.com/wp-content/uploads/2018/10/Bio-BDO-Brochure-2018.pdf
[73] https://www.genomatica.com/products/
[74] http://news.bio-based.eu/bioamber-produces-bio-based-14-butanediol-14-bdo/

Hlavní producenti dnes:
1.BioAmber
2.Reverdia (joint venture between DSM and Roquette Frères)
3.Myriant
4.Succinity GmbH (joint venture of BASF and Corbion Purac).

Kombinovaná výrobní kapacita se odhaduje na 64 000 tun / rok (2015).
Celkový dosažitelný objem trhu v roce 2020 byl odhadnut na 600 000 tun / rok, s CAGR (složená roční míra růstu) kolem 27,4%. Více než polovina tohoto objemu trhu je pro výrobu BDO (1,4 - butandiol).
Odhadované výrobní náklady na kyselinu jantarovou na bázi biomasy činí 41% produkce kyseliny jantarové na fosilní bázi náklady (1,17 USD / kg proti 2,86 USD / kg), což ukazuje potenciál této suroviny na biologické bázi.

V této dekádě vzniklo několik funkčních jednotek produkujících bio kyselinu jantarovou:[75]

Cassano Biorefinery	
Owner	Reverdia (www.reverdia.com/). It is a JV of DSM and Roquette Frères.
Location	Cassano Spinola (Italy).
Feedstocks	Starch and sugars.
Technology	Biosuccinium™ developed by Reverdia. Hydrolysis and low pH yeast fermentation.
Capacity	10,000 tons per year.
Start-up	December 2012.

Lake Providence Biorefinery	
Owner	Myriant (www.myriant.com/).
Location	Lake Providence (Lousiana, USA)
Feedstocks	Renewable feedstocks. Some of these feedstocks include grain sorghum, sugarcane bagasse and other cellulosic feedstocks.
Technology	Single-step, anaerobic fermentation process developed by Myriant. Proprietary microorganisms.
Capacity	13,600 tons per year.
Start-up	June 2013.

[75] https://biorrefineria.blogspot.com/2015/10/succinic-acid-biorefineries.html

Montmeló Biorefinery	
Owner	Succinity GmbH (www.succinity.com/). It is a JV of Corbion Purac and BASF.
Location	Montmeló (Spain)
Feedstocks	Renewable substrates (glycerol, sugars,...).
Technology	Succinity® developed by Succinity GmbH. Proprietary fermentation process based on the bacterium Basfia succiniciproducens. Proprietary gypsum-free downstream purification process.
Capacity	10,000 tons per year.
Start-up	March 2014.

Sarnia Biorefinery	
Owner	BioAmber (www.bio-amber.com/) and Mitsui & Co (www.mitsui.com).
Location	Sarnia (Ontario, Canada)
Feedstocks	Glucose sourced from southern Ontario agricultural suppliers.
Technology	The production process is based on fermentation technology that uses a proprietary yeast.
Capacity	30,000 tons per year.
Start-up	August 2015.
Previous pilot plant	Companies: BioAmber and ARD. Location: Pomacle (France). Capacity: 3.000 tons/y. Operational from January 2010 to December 2014.

Dvě nové jednotky se staví

Location	Companies	Capacity	Status
Shandong province (China)	Tianjin Institute of Industrial Biotechnology (TIB)	50,000 tons/y	Under construction
China	BioAmber and CJ CheilJedang Corporation (CJCJ)	36,000 tons/y	Planned

PET $(C_{10}H_8O_4)n$ Polyethylentereftalát

Termoplast ze skupiny polyesterů, známý pod zkratkou PET poly(ethylen tereftalát) PET se poměrně dobře mechanicky recykluje, přičemž významná je čistota separovaného odpadního plastu. Pokud by byl zaveden zálohový systém jako v Německu, lze tyto láhve opět ze 100 % recyklovat zpátky do nových láhví bez ztráty kvality. Stávající sběrný systém je nevyhovující, jelikož materiál degraduje a ztrácí čirost. Probíhá také intenzivní výzkum chemické recyklace PET, a to i v České republice, kde se chystá patent pro tuto technologii.[1] Spotřebitelské aplikace se pro potřeby pozdějšího třídění a recyklace označují jedničkou uprostřed trojúhelníku ze zacyklených šipek. Již od roku 2005 se PET recykluje v České republice v Bohumíně, kde sídlí rovněž jeden z největších recyklátorů PET láhví v Evropě.

Existuje také „**Bio-PET**“ (nazývá se tak „PET s biologického zdroje“), jedná se o polyethylen tereftalátovou (PET) pryskyřici vyrobenou z petroskupiny - kyseliny tereftalové - ale tentokrát z etlylenglykolu s biologického zdroje, kdy se ethylenglykol získává z rostlin (například cukrové třtiny, cukrové řepy ...) různými termochemickými procesy. Nedávný vývoj v této oblasti dokladuje, že existuje PET z čistě biologického zdroje.
V rámci programu na vývoj lahví Novinpak® bylo upřednostněno zavedení 50% recyklovaného PET do láhve před použitím bio-PET. [76]

PTA $C_8H_6O_4$ Purified terephthalic acid – Kyselina tereftalová

Kyselina tereftalová má mimořádný význam pro výrobu především polyesteru, který se poté používá např. na výrobu PET lahví.

- Polyesterová vlákna na bázi PTA - textilie, a to jak samostatně, tak ve směsích s přírodními a jinými syntetickými vlákny. Polyesterové filmy jsou široce používány v audio a video záznamových páskách, páskách pro ukládání dat, fotografických filmech, štítcích a dalších listových materiálech vyžadujících jak rozměrovou stabilitu, tak houževnatost.
- Kyselina tereftalová se používá jako nosná látka v barvě.
- Kyselina tereftalová se používá jako surovina k výrobě změkčovadel tereftalátu, jako je dioktyltereftalát a dibutyltereftalát.
- Používá se ve farmaceutickém průmyslu jako surovina pro některé léky.
- Kromě těchto konečných použití se polyestery a polyamidy na bázi kyseliny tereftalové také používají v tavných lepidlech.
- PTA je důležitou surovinou pro nasycené polyestery s nízkou molekulovou hmotností pro práškové a ve vodě rozpustné povlaky.
- Ve výzkumné laboratoři byla kyselina tereftalová popularizována jako složka pro syntézu kovově-organických struktur.
- Analgetický lék oxykodon občas přichází jako tereftalátová sůl; obvyklejší solí oxykodonu je však hydrochlorid. Farmakologicky je jeden miligram tereftalas oxycodonae ekvivalentní 1,13 mg hydrochloridum oxycodonae.

Bio PTA [77] [78]

Adipic acid $C_6H_{10}O_4$ -Kyselina adipová

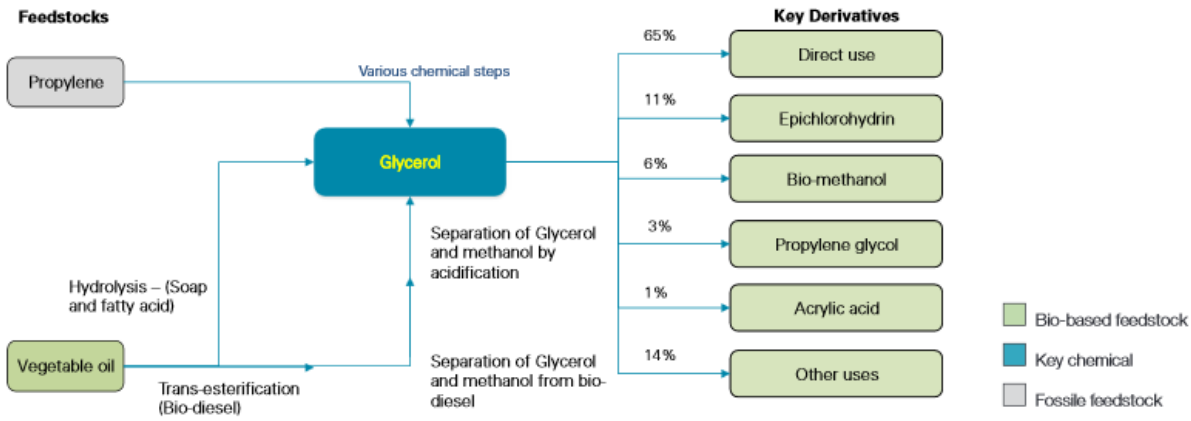
Jedná se o významnou dikarboxylovou kyselinu - ročně se jí ve světě vyrobí cca 2,5 mil. tun, hlavně jako prekurzor pro výrobu nylonu. V přírodě se však kyselina adipová vyskytuje zřídka (především ve formě esterů s glycerolem jako součást tuků).
I mezi další významné aplikace patří polymery: je monomerem při výrobě polyuretanu a její estery se využívají jako plastifikátory, hlavně v PVC.

[76] http://www.novinpak.org/faq-en/pet-recycled-pet-and-bio-pet
[77] https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/gc/c8gc03666g#!divAbstract
[78] https://www.researchgate.net/publication/271740797_A_preliminary_LCA_case_study_Comparison_of_different_pathways_to_produce_purified_terephthalic_acid_suitable_for_synthesis_of_100_bio-based_PET

Kyselina adipová, stavební blok pro nylon, a katechol, stavební blok pro léčiva a pesticidy, jsou dvě chemikálie zásadního průmyslového významu. Dr. Draths a profesor Frost syntetizovali z cukrů kyselinu adipovou a katechol z ekologicky nezhoubných geneticky upravených mikrobů. Tyto dvě chemikálie jsou tradičně vyráběny z benzenu, ropného produktu.
Dnes mohou být vyrobeny s menším rizikem pro lidské zdraví a životní prostředí.[79] [80]
produkce bio katalytickou cestou.
Na vývoji bio kyseliny adipové pracují další společnosti jakko Ashai Kasei, BASF, DSM, Dupont, Honeywell, Huntsman, Koch, Lanxess a Rhodia. Ale i menší společnosti jako Rennovia, Genomatica, BioAmber a Verdezyne.

Acrylic acid $C_3H_4O_2$ kyselina akrylová

Společnost Dow Chemical Company a její partner OPX Biotechnologie zkoumají fermentaci cukru k výrobě kyseliny 3-hydroxypropionové (3HP), prekurzoru kyseliny akrylové. Cílem je snížit emise skleníkových plynů.
Očekává se, že zvyšující se povědomí o produktech získaných z OZE spolu s vyčerpáním petrochemických rezerv povede ke zvýšení poptávky pro bio-akrylovou kyselinou. Velikost trhu s kyselinou akrylovou byla v roce 2015 odhadnuta na více než 5,5 milionu tun a do roku 2023 pravděpodobně překročí 8,7 milionu tun, což podle CAGR od roku 2016 do roku 2023 vzroste o více než 5,5%.
Další významné společnosti, jako jsou Nippon Shokubai a Arkema, investovaly do vývoje kyseliny založené na biologickém základě z glycerinu / glycerolu. Pilotní výroba byla úspěšná, ale další provedení procesu závisí na dostupnosti a nákladech glycerolu, což je do značné míry ovlivněno vládními zákonodárci pro výrobu biopaliv. Glycerol je vedlejší produkt při výrobě bionafty.

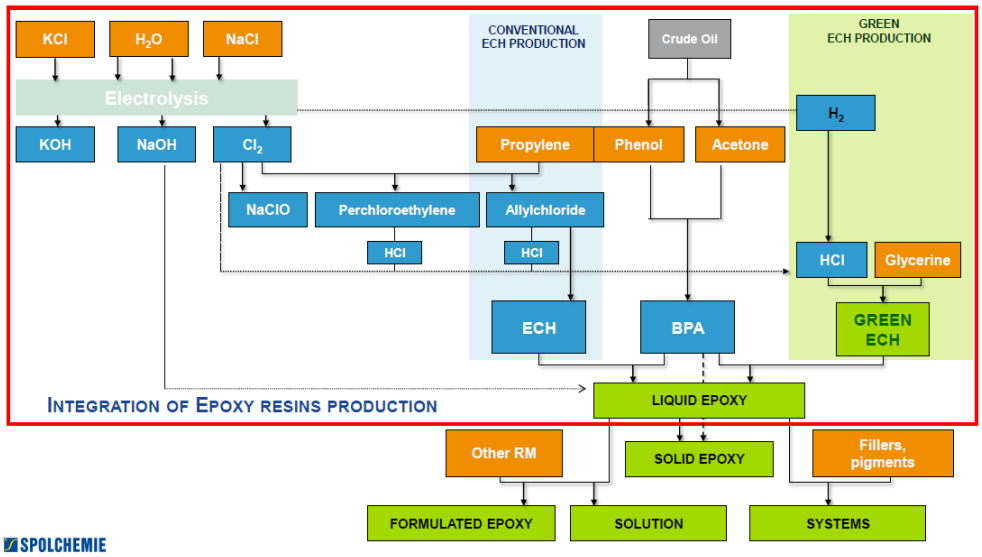


[79] https://www.epa.gov/greenchemistry/presidential-green-chemistry-challenge-1998-academic-award-draths-and-frost
[80] https://www.researchgate.net/publication/322922317_Biocatalytic_Production_of_Adipic_Acid_from_Glucose_Using_Engineered_Saccharomyces_cerevisiae

Epichlorohydrin C_3H_5ClO je reaktivní chlor-organická látka (v podstatě chlorovaný epoxid)

Epichlorhydrin se převádí hlavně na bisfenol diglycidylether, stavební blok ve výrobě epoxidových pryskyřic. Je také předchůdcem monomerů pro jiné pryskyřice a polymery. Dalším použitím je transfer na syntetický glycerol. Rychlý nárůst výroby bionafty, kde je glycerol odpadním produktem, však vedl k nadbytku glycerolu na trhu, což tento proces učinilo neekonomickým. Syntetický glycerol se nyní používá pouze v citlivých farmaceutických a biotechnologických aplikacích, kde jsou standardy kvality velmi vysoké. Chemické produkty z biomasy a bio rafinerie, jsou žhavé témata této dekády. Problematika si vyžaduje systematizaci a standardizaci a v této oblasti vznikají nové standardy platné v EU [81]:

V této oblasti patří česká SPOLCHEMIE v Ústí nad Labem k významným producentům Epichlorhydrinu - ECH a výroby pryskyřic:



[81] http://www.mdpi.com/1420-3049/22/1/48

COMMODITY EPOXY RESINS

LIQUID EPOXY RESINS

CHS-EPOXY 510, CHS-EPOXY 520, CHS-EPOXY 525

Protective coatings (e.g. automotive), Composites (wind mill blade, marine, pipe for gas oil and water, aerospace, tooling, sport goods), Civil engineering, Electro (transformer, printed circuit, electro engine, insulator)

SOLID EPOXY RESINS

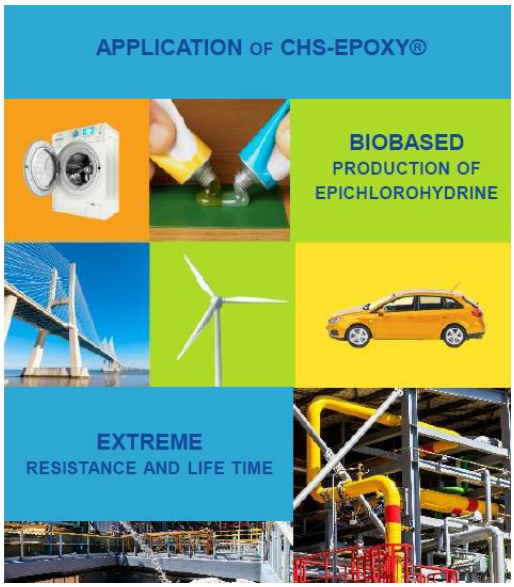
Type 1 – type 9

Powder coatings, can and coil coatings, automotive, electro, composites

SOLUTION EPOXY RESINS

CHS-EPOXY 210x75

Protective coatings (e.g. Automotive, anticorrosion, metal coatings)



SPECIAL EPOXY SYSTEMS

CHS-EPODUR®

Electro industry – epoxy systems for casting (transformers, insulators, electro-engines, condensers) and for lamination; Adhesives for civil engineering

EPOSTYL®

Water based and solvent-free epoxy system for flooring; High decorative self-levelling flooring system, systems for anti-static flooring, topcoats on concrete, metal, and wood, primers, penetrating sealers

SADURIT®

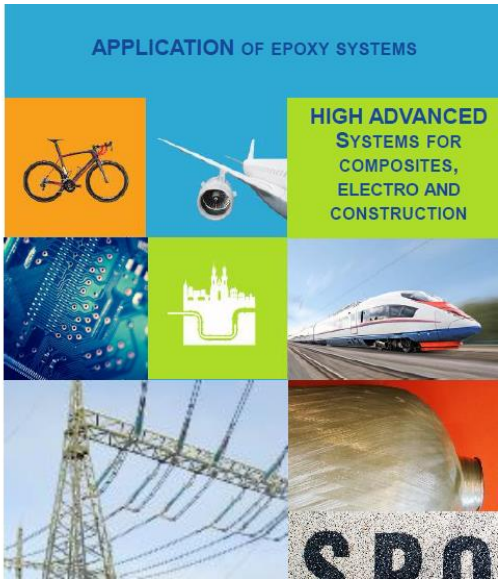
Solvent based epoxy system for construction and civil engineering; Coloured coating systems, topcoats for interior wood flooring

VEROPAL®

Epoxy systems for high-performance adhesives and sealants

TELALIT®

Hardeners for wide range of high-advanced application



ALKYD RESINS

CHS-ALKYD®

Long oil: Industrial coatings (air-drying, fast drying), decorative coatings (universal, interior, exterior, metal, wood, air-drying), Printing Inks

Medium oil: Industrial coatings (exterior, metal, primer, topcoat, one-layer, putty & filler, air-drying, force-drying, baking, anticorrosive), Decorative coatings (interior, exterior, primer, air-drying)

Short oil: Industrial coatings (exterior, primer, one-layer, fast overcoating, air-drying, corrosion resistance)

High solid and solventless: Decorative coating (interior, exterior, metal, wood, corrosion resistance)

Stoving alkyds: Wood and metal nonyellowing coatings, baking enamels

CHS-HYDROSPOL®

Waterborne binders for decorative and protective coatings: air-drying, primer, topcoat, one-layer

Bio-based Epichlorhydrin je v rámci EU vyráběn:

- ve Francii 28% (10 kt/rok)
- ČR 72% (26 kt/rok)

EU standarty BIO-BASED

EU standardy v oblasti bio-based produktů

Table 1. European standards for bio-based products developed in CEN/TC 411 unless stated otherwise [8].

Standard	Title	Stage of Development [a]
EN 16575	Bio-based products: Vocabulary	Published 2014.
CEN/TR 16721	Bio-based products: Overview of methods to determine the bio-based content	Published 2014.
CEN/TS 16640	Bio-based products: Determination of the bio based carbon content of products using the radiocarbon method	Published 2014.
CEN/TR 16957	Bio-based products: Guidelines for life cycle inventory (LCI) for the end-of-life phase	Published 2016.
FprEN 16640	Bio-based products: Bio-based carbon content—Determination of the bio-based carbon content using the radiocarbon method	Waiting approval.
EN 16785-1	Bio-based products: Bio-based content—Part 1: Determination of the bio-based content using the radiocarbon analysis and elemental analysis	Published 2015.
prEN 16785-2	Bio-based products: Bio-based content—Part 2: Determination of the bio-based content using the material balance method	Waiting approval.
EN 16760	Bio-based products: Life cycle assessment	Published 2015.
EN 16751	Bio-based products: Sustainability criteria	Published 2016.
EN 16848	Bio-based products: Requirements for business to business communication of characteristics using a data sheet	Published 2016.
FprEN 16935	Bio-based products: B2C reporting and communication—Requirements for claims	Waiting approval.
CEN/TS 16766	Bio-based solvents: Requirements and test methods	Published 2015.
EN 16807	Bio-lubricants: Criteria and requirements of bio-lubricants and bio-based lubricants	Published 2016. [b]
CEN/TS 16398	Plastics: Template for reporting and communication of bio-based carbon content and recovery options of biopolymers and bioplastics—Data sheet	Published 2012. [c]
FprCEN/TS 17035	Surface active agents: Bio-based surfactants—Requirements and test methods	Waiting approval. [d]

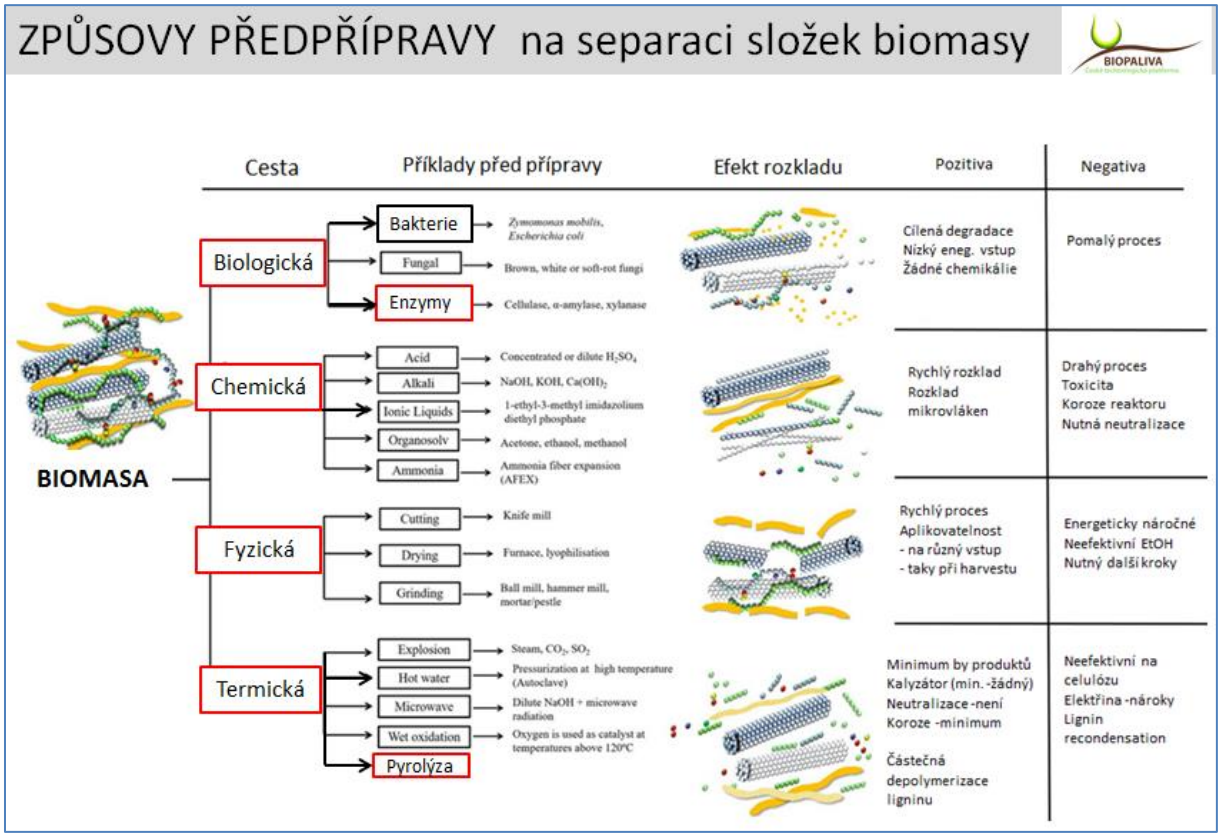
Metody zpracování lignocelulózní biomasy

Jedním z nejdůležitějších cílů využití lignocelulózní biomasy je frakcionace lignocelulózy na její tři hlavní složky: celulózu, hemicelulózy a lignin. Jednostupňové metody zpracování, jako je pyrolýza, nejsou účinné. Ačkoli jsou levnější, dochází k dekonstrukci lignocelulózní biomasy, protože tyto metody se obecně spoléhají na vysoké teploty.

Je velmi obtížné oddělit cílové chemikálie a paliva pomocí jednostupňových metod, protože vyrobený bio-olej se skládá ze směsi stovek sloučenin. Pro následné a efektivní separace jsou nutné další náklady a různé metody předúpravy. Aplikace metod předúpravy mění přirozené vazebné vlastnosti lignocelulózních materiálů modifikací supra molekulární struktury matrice celulóza-hemicelulóza-lignin. Předzpracování lignocelulózní biomasy je tedy nezbytným krokem ke zvýšení dostupnosti celulózy a hemicelulózy a jejich separace.

Metody předúpravy jsou rozděleny do různých kategorií, jako jsou mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické metody nebo různé jejich kombinace. Existují různé možnosti předúpravy, které frakcionují, hydrolyzují a oddělují komponenty celulózy, hemicelulózy a ligninu. Patří se mletí, ozařování, mikrovlnná trouba, exploze páry, exploze amoniakových vláken (AFEX), superkritický CO2 a jeho exploze, SO2, alkalická hydrolýza, kapalná předúprava horkou vodou, organosolvové procesy, mokrá oxidace, ozonolýza, zředěné a koncentrované kyselé hydrolýzy, a biologická předúprava. Společným cílem těchto

metod je zmenšení objemů biomasy a otevření její struktury. Každá z těchto metod má svoje výhody a nevýhody (pozitiva-negativa)[82]:



Výzkum a vývoj předúpravy lignocelulózní biomasy má velký potenciál pro zlepšení účinnosti a snížení výrobních nákladů při výrobě biopaliv z biomasy. Integrace různých způsobů předběžné úpravy biomasy s jinými procesy, jako je enzymatická sacharifikace, detoxikace, fermentace hydrolyzátů a regenerace produktů výrazně sníží celkové náklady na používání lignocelulózy pro praktické účely. Očekává se, že budoucí úspěchy konverze lignocelulózy v komerčním měřítku budou záviset na zdokonalení technologií předúpravy, mikroorganismů produkujících rozkladné enzymy ke komplexnímu využití složek biomasy.

[82] http://www.biofuelstp.eu/pretreatment.html

Evropský trh pro BIO-BASED chemikálie top 50

	Bio-based produkt	Sumární chemický vzorec	Druh vstupní suroviny	vstupní surovina na výrobu tuny produktu (t/t)	vstupní surovina pro produkci v EU (kt/rok)
CHEMIKÁLIE	Etylen	C_2H_4	škrob/cukr	4,30	0
	Etylen glykol (fridex)	$C_2H_6O_2$	škrob/cukr	2,30	0
	Propylen glykol	$C_3H_8O_2$	rostlinný olej	1,40	28
	1,3 propanediol	$C_3H_8O_2$	škrob/cukr	2,50	20
	Kyselina octová	CH_3COOH	škrob/cukr	2,00	48
	Anhydrid kys.octové	$C_4H_6O_3$	škrob/cukr	2,00	20
	Kyselina sebaková	$C_{10}H_{18}O_4$	ricínový olej	1,20	0
	Kyselina mléčná	$C_3H_6O_3$	škrob/cukr	1,30	84
	Epichlorohydrin	C_3H_5ClO	rostlinný olej	1,00	36
ROZPOUŠTEDLA SOLVENTS	Butanol (iso-butanol)	$C_4H_{10}O$	škrob/cukr	2,60	0
	Etyl acetát (ester kys.octové)	$C_4H_8O_2$	škrob/cukr	1,20	43
	Etyl laktát (ester kys.mléčné)	$C_5H_{10}O_3$	škrob/cukr	1,10	0
	Aceton	C_3H_6O	škrob/cukr	2,30	0
	Terpentín	$C_{10}H_{16}$	dřevo	1,10	80
POLYMERY PLASTY	PE - Polyetylen	$(C_2H_4)_n$	škrob/cukr	4,30	0
	PET (27%) Polyethylentereftalát	$(C_{10}H_8O_4)n$	škrob/cukr	0,70	0
	PHA - Polyhydroxyalkanonáty	lineární polyestery	škrob/cukr/olej	2,90	7
	PLA (kyselina polymléčná)	lineární polyestery	škrob/cukr/olej	1,60	11
	Škrob pro plasty	směs polysacharidů	škrob	1,00	130
BARVY - NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA	Kyselina ricinoleinová	$C_{18}H_{34}O_3$	ricínový olej	1,20	0
	PUR (45%) - polyuretan (molitan)	polymer org.složek	rostlinný olej	0,50	20
	Alkydová pryskyřice		rostlinný olej	0,60	259
POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY SURFACTANTS	Glykolipidy	lipidy s cukr.složkou	rostlinný olej	5,00	50
	Esterquats Dialkyl ammonium methosulfát		rostlinný olej	0,80	106
	Soforolipidy		rostlinný olej	1,50	77
	APG Alkyl polyglikosidy		škrob/cukr/olej	0,60	55
	Karboxy metyl škrob (80%)		škrob	0,80	20
BARVY - NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA	Kyselina ricinoleinová	$C_{18}H_{34}O_3$	ricínový olej	1,20	0
	PUR (45%) - polyuretan (molitan)	polymer org.složek	rostlinný olej	0,50	20
	Alkydová pryskyřice		rostlinný olej	0,60	259
POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY SURFACTANTS	Glykolipidy	lipidy s cukr.složkou	rostlinný olej	5,00	50
	Esterquats Dialkyl ammonium methosulfát		rostlinný olej	0,80	106
	Soforolipidy		rostlinný olej	1,50	77
	APG Alkyl polyglikosidy		škrob/cukr/olej	0,60	55
	Karboxy metyl škrob (80%)		škrob	0,80	20
KOSMETIKA	Limonen (cyklický terpen)	$C_{10}H_{16}$	pomeranč.slupky	2,20	9
	Lauril alkohol (Dodecyl alkohol)	$C_{12}H_{26}O$	kokosový olej	1,10	108
	Stearyl alkohol	$C_{18}H_{38}O$	rostlinný olej	1,10	106
	Vanillin	$C_8H_8O_3$	dřevo	1,00	2
	Xantan	$C_{35}H_{49}O_{29}$	škrob/cukr	1,30	57
	Ethoxylované mastné alkoholy		rostlinný olej	0,50	119
	N-acetyl glucosamin	$C_8H_{15}NO_6$	krab,kreveta shell	0,00	0
LEPIDLA ADHESIVES	Metakryláty (deriváty kys.metakryl)		rostlinný olej	0,80	8
	Furfuryl alkohol	$C_5H_6O_2$	cukr.třtina, bagasse	1,00	40
	Epoxy pryskyřice (50%)		rostlinný olej	0,50	2
	Pryskyřice tallového oleje		smrkové dřevo	1,00	141

MAZIVA LUBRICANTS	Alkany (iso-)		rostlinný olej	**0,40**	0
	Mastné kyseliny tallového oleje		smrkové dřevo	**1,00**	2
	MEŘO (FAME) 90%		olej	**0,90**	104
	Mastné kyseliny PEB estery 60%		rostlinný olej	**0,60**	30
ZMĚKČOVADLA PLASTICIZERS	Kyselina Azelaová	$C_9H_{16}O_4$	ricínový olej	**2,10**	27
	Kyselina jantárová (succinic)	$C_4H_6O_4$	škrob/cukr	**1,30**	29
	ESBO (Epoxidized soybean oil)	$C_{57}H_{106}O_{10}$	sojový olej	**1,30**	0
UMĚLÁ VLÁKNA MAN-MADE FIBERS	PTT (Polytrimethylentereftalát)	$(C_{11}H_{10}O_4)_n$	škrob/cukr	**1,00**	0
	Umělé hedvábí - Rayon		dřevo	**1,00**	576
	Polyamid-11 (Nylon 11)		ricínový olej	**1,30**	31
	Polyamid - 4,10 (Nylon 4,10)		ricínový olej	**0,90**	1
	Celulozové vlákna Cellulose acetate		dřevo	**0,70**	123

Červeně je označená průměrná potřeba suroviny k výrobě jedné tuny daného produktu. Poslední sloupec udává množství bioproduktu vyrobeného v EU každý rok.
V některých případech je použití suroviny menší než množství produktu, z důvodu že byla započítaná pouze surovina na biologickém základě, protože některé produkty mají i nebiologické složky (např. fosilní uhlík, chlor atd.).

	PRODUKTOVÁ KATEGORIE	EU Bio-based produkce (kt/rok)	EU TOTAL produkce (kt/rok)	EU Bio-based produkce podíl (%)	EU Bio-based spotřeba podíl (kt/rok)	CENA (€/kg)	OBRAT (€milion/rok)
1	**CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	181	60 791	0	197	**1,48**	268
2	**ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	75	5 000	2	107	**1,01**	76
3	**POLYMERY** -POLYMERS for PLASTICS	268	60 000	0	247	**2,98**	799
4	**BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	1 002	10 340	13	1 293	**1,62**	1 623
5	**POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	1 500	3 000	50	1 800	**1,65**	2 475
6	**KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	558	1 263	44	558	**20,70**	1 155
7	**LEPIDLA** - ADHESIVES	237	2 680	9	320	**1,65**	391
8	**MAZIVA** - LUBRICANTS	237	6 764	4	220	**2,33**	552
9	**ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	67	1 300	9	117	**3,60**	241
10	**UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	600	4 500	13	630	**2,65**	1 590

Produktové kategorie bio chemikálii v EU - roční produkce, spotřeba- ceny za kg a roční obrat.

Až na výjimky (vanillin a N-acetylglukosamin) jsou ceny produktů nižší než 10 EUR/ kg.
Ceny chemikálií pro chemické využití se obvykle pohybují kolem 1–2 EUR / kg.

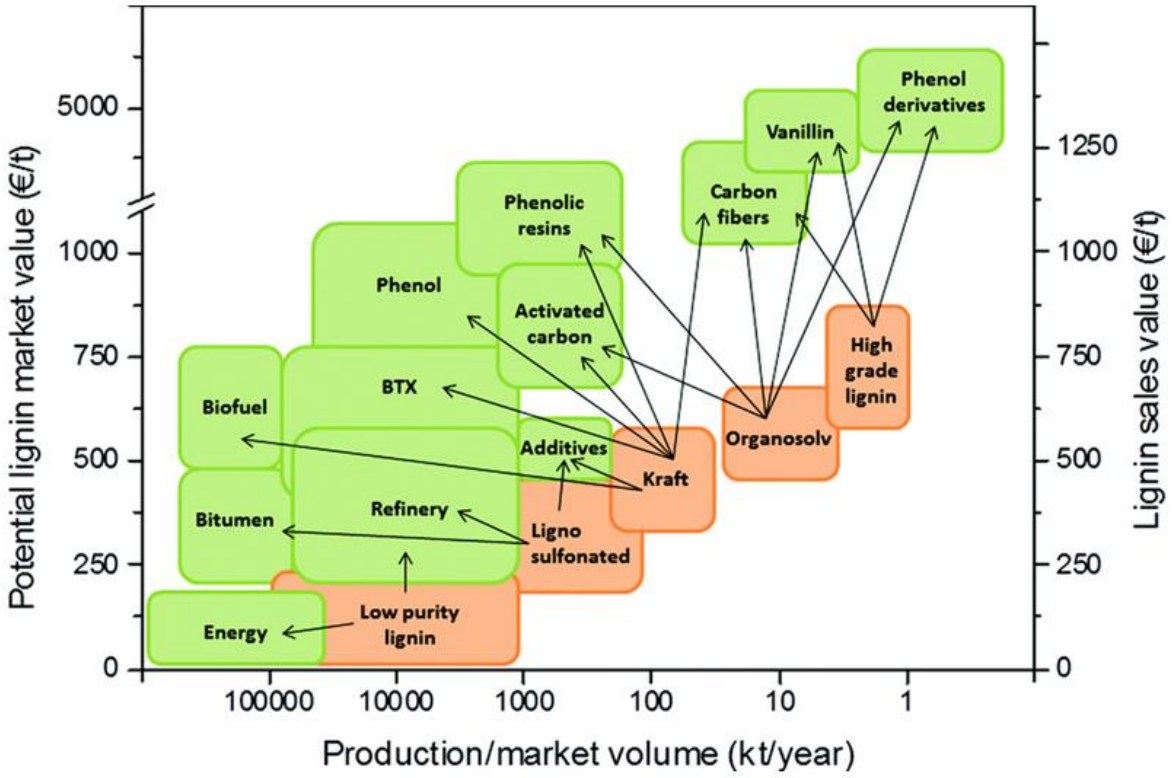
Bio-based ekonomika se počítá velmi obtížně, jelikož vstupní materiál může mít více zdrojů. Například produkt pocházející z rostlinného oleje může být vyroben z řepky, sóji, palmového oleje, jathropy atd…
Protože se některé suroviny dovážejí, není vždy jasné, která surovina se používá pro jaký produkt. V případě, že nebyla identifikována konkrétní plodina, tato datová nejasnost byla řešena pomocí aritmetického průměru všech olejnatých plodin. Tento předpoklad má významný dopad na odhadované využití půdy, protože výnosy jednotlivých výnosů se značně liší. Např. olejové palmy (3,5 t / ha) a jiné olejniny (0,5–1 t / ha).

Výnosy surovin z komoditních plodin používaných k produkci bio-produktů

PLODINA	Druh vstupní suroviny	Výnos (t/ha)	Podíl suroviny v plodině (%)	Podíl plodiny v cukrech a škrobech (%)
Cukrová třtina	cukr	9,1	85	17
Cukrová řepa	cukr	9,8	15	3
Kukuřice	škrob	3,5	58	46
Brambory	škrob	3,6	6	5
Pšenice	škrob	1,6	30	24
Tapioka z kořene manioku	škrob	2,9	6	5
Borovice	buničina	1,6	n.a.	
Buk	buničina	3,4	n.a.	
Fazole	rost.olej	0,6	0,4	
Palmový olej	rost.olej	3,5	38	
Sojový olej	rost.olej	0,6	34	
Řepkový olej	rost.olej	0,7	12	
Slunečnicový olej	rost.olej	0,6	8	
Kokosový olej	rost.olej	0,8	5	
Palmové jádro	rost.olej	0,4	4	
Pomeranč	pomeranče	23,7	n.a.	
Průměr	cukr/škrob	4,2		
Průměr	cukr	9,2		
Průměr	škrob	2,9		
Průměr	rost.olej	1,7		

Výnos suroviny (t/ha) je výnos plodiny na poli (v t / ha), který se skutečně použije jako surovina.

POTENCIÁL VYUŽITÍ BIOMASY



http://pubs.rsc.org/-/content/articlelanding/2016/gc/c5gc03061g#!divAbstract

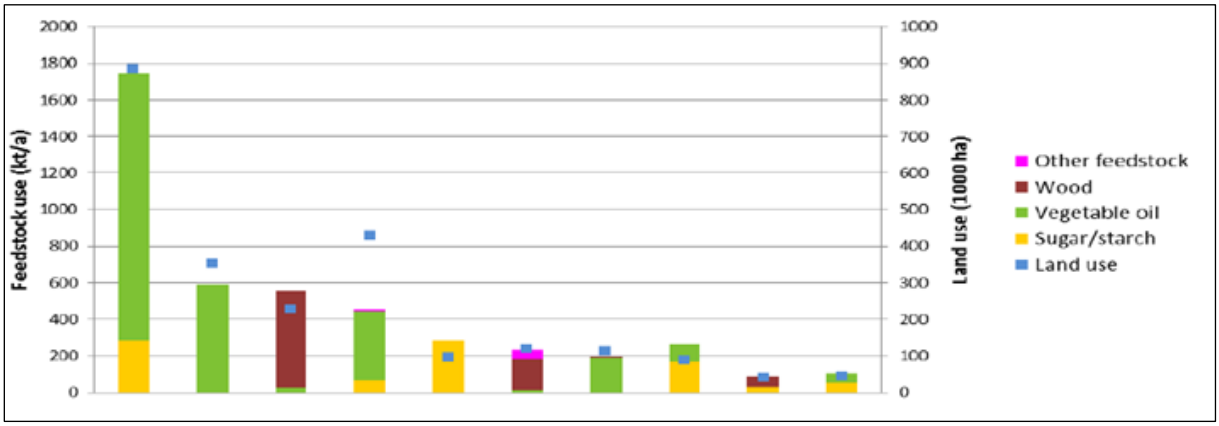
Využití suroviny a požadavky na půdu

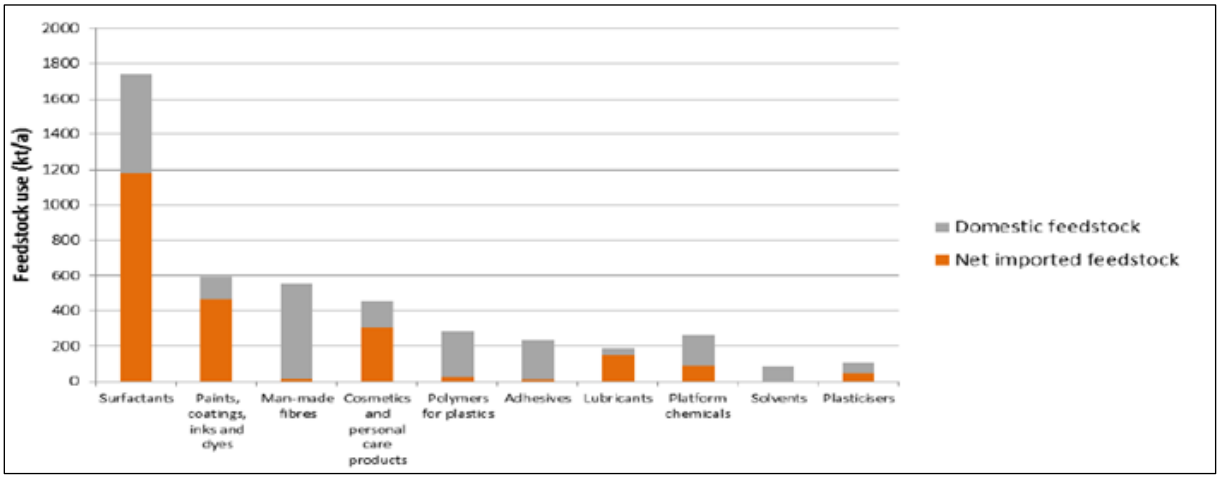
Číselné údaje o využití surovin pro biologické produkty a požadavcích na půdu byly vypočteny na základě odhadů využití surovin na tunu produktu a zemědělských výnosů.

Mezi produkty na bázi rostlinného oleje ty, které jsou odvozeny od specifického ne palmového oleje (např. Nylon-11, produkovaného z ricinového oleje nebo epoxidovaného sójového oleje (ESBO), obecně používají více půdy na jednotku produktu než jiné výrobky na bázi rostlinného oleje.
To lze vysvětlit významným podílem palmového oleje na celkové směsi rostlinných olejů, přičemž olejová palma je ve srovnání s ostatními olejnatými plodinami vysoce výnosná. U všech kategorií produktů byla stanovena závislost na dovozu ve vztahu k použití suroviny. Je třeba poznamenat, že
Odhady využití půdy zde nerozlišují mezi různými typy půdy. Kromě toho nebyly zohledněny ani další možné dopady na biologickou rozmanitost, jako je eutrofizace.
Je zřejmé, že některé produkty na bázi biomasy jsou náročnější na půdu než jiné.
Produktů, které vyžadují více půdy jsou vyrobeny z ricinového oleje, například kyseliny sebakové, kyseliny ricinoleové, kyseliny azelaové, polyamid-11 (nylon-11) a polyamid-4,10 (nylon-4,10). Jsou značné rozdíly mezi výnosy ricinového oleje a výnosy ostatních olejnin. Palmový olej má výnosy v průměru 3,5 t/ha (na plantážích v zemích, jako je Malajsie, výnos může být dokonce vyšší než 5 t/ha), zatímco jiné olejniny, jako je sója, řepka, mají v průměru méně než 1 t/ha. Proto výrobky vyrobené z různých rostlinných olejů (včetně palmového oleje) potřebují v průměru třikrát méně půdy než produkty, které jsou vyrobeny ze speciálních rostlinných olejů, jako je kyselina sebaková,nylon-11 a ESBO.

PRODUKTOVÁ KATEGORIE	Biomasa využita pro EU produkci bio-based produkty			Plocha pro EU produkci bio-based produktů	
	TOTAL včetně importů (kt/rok)	IMPORT BIOMASY (kt/rok)	ZÁVISLOST NA DOVOZECH (%)	1 000 ha	ha/t produktu
1 **CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	262	90	34	88	0,49
2 **ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	87	3	3	42	0,56
3 **POLYMERY** -POLYMERS for PLASTICS	284	28	10	95	0,36
4 **BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	593	468	79	351	0,35
5 **POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	1 744	1 179	68	885	0,59
6 **KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	456	306	67	430	0,77
7 **LEPIDLA** - ADHESIVES	232	14	6	117	0,49
8 **MAZIVA** - LUBRICANTS	192	149	78	114	0,48
9 **ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	106	46	44	43	0,64
10 **UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	555	19	3	228	0,38

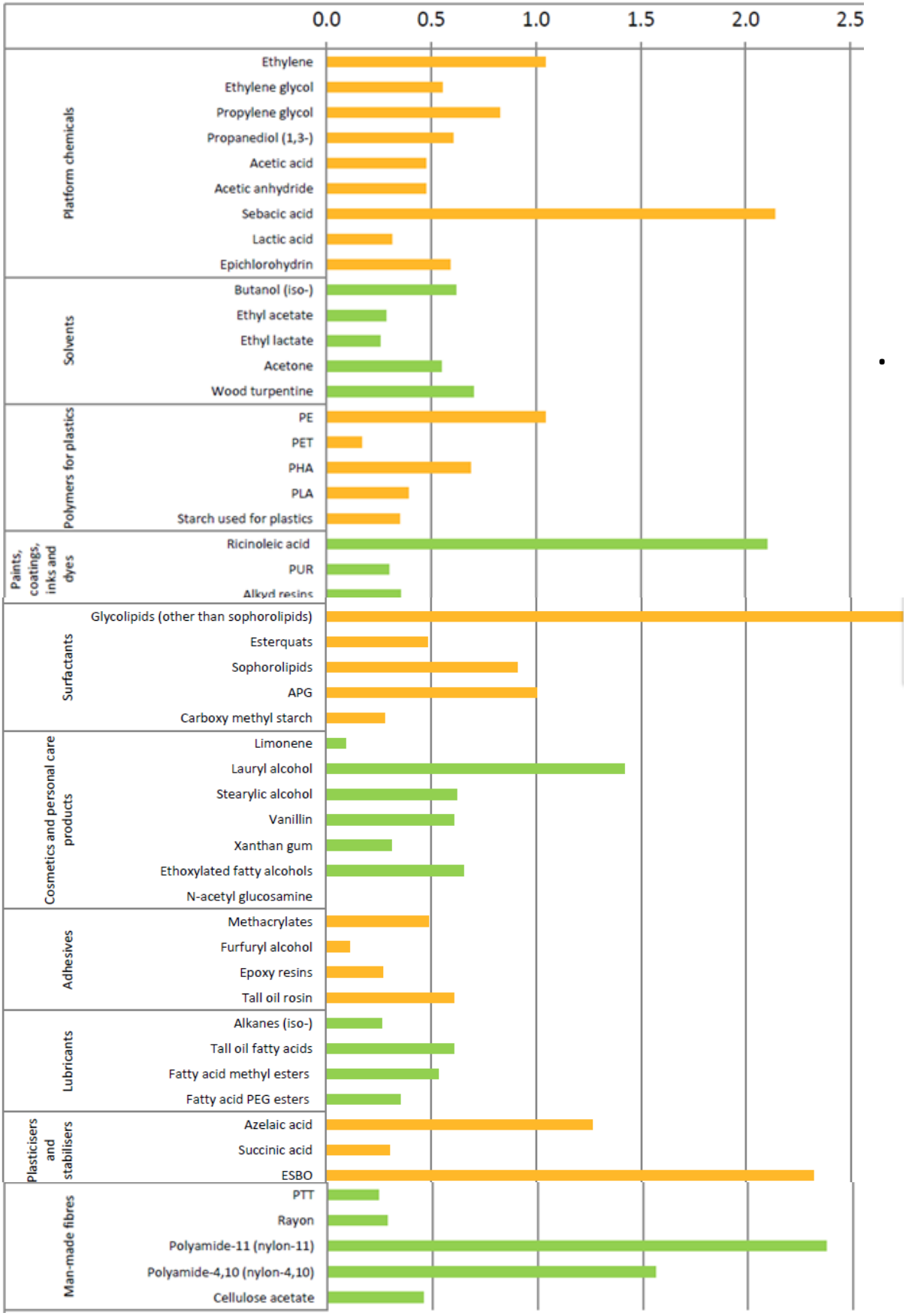
Produktové kategorie bio chemikálii - roční využití, importy a zábor zemědělské půdy.





Bio chemikálii – druh biomasy (dřevo, oleje, cukry/škroby, a nároky ZPF)
Podíly biomasy EU a importované biomasy

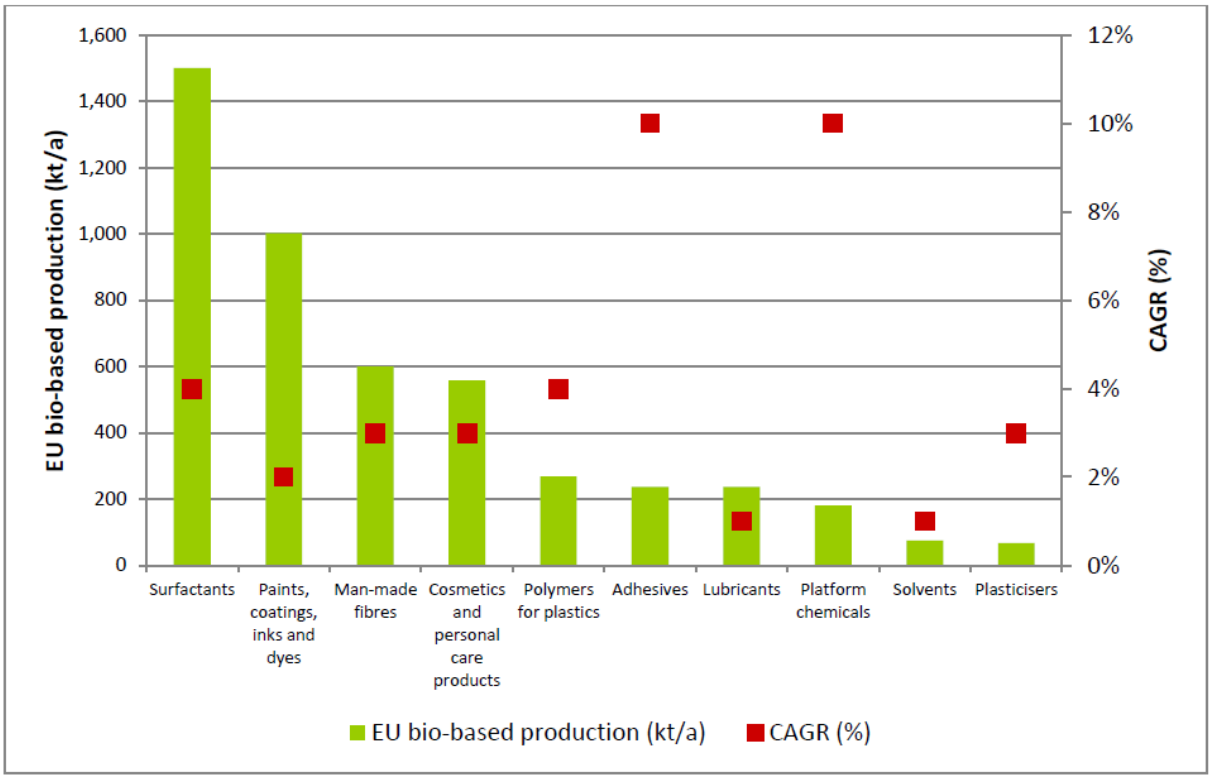
Potřeba zemědělské půdy graficky


0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Platform chemicals
Ethylene
Ethylene glycol
Propylene glycol
Propanediol (1,3-)
Acetic acid
Acetic anhydride
Sebacic acid
Lactic acid
Epichlorohydrin
Solvents
Butanol (iso-)
Ethyl acetate
Ethyl lactate
Acetone
Wood turpentine
Polymers for plastics
PE
PET
PHA
PLA
Starch used for plastics
Paints, coatings, inks and dyes
Ricinoleic acid
PUR
Alkyd resins
Surfactants
Glycolipids (other than sophorolipids)
Esterquats
Sophorolipids
APG
Carboxy methyl starch
Cosmetics and personal care products
Limonene
Lauryl alcohol
Stearylic alcohol
Vanillin
Xanthan gum
Ethoxylated fatty alcohols
N-acetyl glucosamine
Adhesives
Methacrylates
Furfuryl alcohol
Epoxy resins
Tall oil rosin
Lubricants
Alkanes (iso-)
Tall oil fatty acids
Fatty acid methyl esters
Fatty acid PEG esters
Plasticisers and stabilisers
Azelaic acid
Succinic acid
ESBO
Man-made fibres
PTT
Rayon
Polyamide-11 (nylon-11)
Polyamide-4,10 (nylon-4,10)
Cellulose acetate

Složená roční míra růstu - Compound Annual Growth Rate

Složená roční míra růstu (CAGR) - ukazuje míru návratnosti investice za určité časové období, vyjádřenou v ročních procentech.

PRODUKTOVÁ KATEGORIE	CAGR Compound Annual Growth Rate (%)	Bio based produkce 2025 (kt/rok)	Total privat investment 2025 (€ milion/rok)
1 **CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	10	353	128
2 **ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	1	80	16
3 **POLYMERY** -POLYMERS for PLASTICS	4	353	144
4 **BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	2	1 151	437
5 **POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	4	1 974	805
6 **KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	3	687	349
7 **LEPIDLA** - ADHESIVES	10	462	195
8 **MAZIVA** - LUBRICANTS	1	254	63
9 **ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	3	83	52
10 **UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	3	738	494



CAGR - Produktové kategorie bio chemikálii v grafickém vyjádření.

Z údajů je zřejmé vysoké očekávání růstu u platformy chemikálií, lepidla

PRODUKTOVÁ KATEGORIE		Úroveň znalosti	EU import závislost	Důležitost	Top 3 účastníků		
1	**CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	nízká	nízká	střední	Belgie	Francie	Švédsko
2	**ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	nízká	střední	nízká	Švédsko	Německo	Belgie
3	**POLYMERY** - POLYMERS for PLASTICS	střední	exportér	vysoká	Itálie	Francie	Německo
4	**BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	nízká	střední	nízká	Německo	Francie	Itálie
5	**POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	vysoká	nízká	střední	Německo	Belgie	Holandsko
6	**KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	vysoká	nízká	vysoká	Německo	Francie	Švýcarsko
7	**LEPIDLA** - ADHESIVES	střední	střední	vysoká	Finsko	Belgie	Švédsko
8	**MAZIVA** - LUBRICANTS	vysoká	exportér	vyská	Finsko	Švédsko	Německo
9	**ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	nízká	vysoká	nízká	Itálie	Španělsko	Francie
10	**UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	střední	nízká	střední	Rakousko	Portugalsko	Německo

Důležitost produktových kategorií, závislost EU na importech a hlavní hráči EU

PRODUKTOVÁ KATEGORIE		CAGR Compound Annual Growth Rate (%)	Komentář
1	**CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	10	Petrochemikálie mají nízký CAGR, ale Bio-based předpokládají radikální růst a nové produkty (např.butanediol)
2	**ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	1	Rozvoj zatím příliš nepokročil
3	**POLYMERY** -POLYMERS for PLASTICS	4	Experti předpokládají 20% nárust za 5 let
4	**BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	2	Předpokládá se nárust ale jn v řádu procet
5	**POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	4	Jsou na trhu. Předpokládá se střední úroveň rozvoje
6	**KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	3	Výhodou jsou vysoké ceny, preference zákazníků na bio
7	**LEPIDLA** - ADHESIVES	10	Předpokládá se radilální nárust
8	**MAZIVA** - LUBRICANTS	1	Nepředpokládá se nárust investic na zavedeném trhu maziv
9	**ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	3	Tady chybí expertní odhady. Odhad je přibližný
10	**UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	3	Nízký až střední investic ale předpokládá se navyšování kapacit výroby.

SOUKROMÉ INVESTICE

Údaje o soukromých investicích jsou citlivé a výrobní procesy se značně liší v rozsahu a složitosti, což vede k velkým rozdílům v kapitálových nákladech. Byla použita metoda výpočtu pro všechny produktové kategorie, na základě odhadu podílu investičních výdajů (CAPEX). Odhaduje se výše investice do rozšíření výroby v období 2018–2025 na základě očekávaného růstu produkce.

V období 2018–2025 soukromé investice do další výroby na bázi biomasy se očekává, že kapacita 10 produktů bude vyšší než 5,5 miliardy EUR. Dosahující téměř 786 milionů EUR ročně.

PRODUKTOVÁ KATEGORIE	CAPEX	Investice		EXPANZE Investice		TOTAL PRIVATE INVESTMENT	
	Milion EUR/kt	Milion EUR/rok	Milion EUR 2018-25	Milion EUR/rok	Milion EUR 2018-25	Milion EUR/rok	Milion EUR 2018-25
1 **CHEMIKÁLIE** - CHEMICALS PLATFORM	3,0	54	380	74	515	128	896
2 **ROZPOUŠTEDLA** - SOLVENTS	1,9	14	100	1	10	16	110
3 **POLYMERY** -POLYMERS for PLASTICS	3,7	99	694	45	313	144	1 007
4 **BARVY, NÁTERY INKOUSTY, BARVIVA**	3,6	361	2 525	77	536	437	3 061
5 **POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY** - SURFACTANTS	3,7	555	3 885	250	1 753	805	5 638
6 **KOSMETIKA** - COSMETICS & PERSONAL CARE	4,7	262	1 837	86	603	349	2 440
7 **LEPIDLA** - ADHESIVES	3,5	83	581	112	787	195	1 368
8 **MAZIVA** - LUBRICANTS	2,4	57	398	6	41	63	439
9 **ZMĚKČOVADLA** - PLASTICIZERS	5,8	39	273	13	90	52	363
10 **UMĚLÁ VLÁKNA** - MAN-MADE FIBERS	6,2	372	2 604	122	855	494	3 459

Jednotlivé produktové kategorie mají různé pozice a předpoklady rozvoje [83]:

Chemikálie

Celkový potenciál trhu s chemickými látkami na platformě biomasy je obrovský s globální produkcí **403 Mt /rok**; trh pro biotechnologie je však stále mladý, což je patrné z dnes malého podílu cca **0,3%.** Významné investice potřebné k přechodu na biologický průmysl jsou hlavní překážkou, kterou je třeba překonat, a chemický průmysl bude potřebovat čas na provedení těchto investic. Vzhledem k tomu, že se budují nové závody, očekává se, že trh s chemickými látkami na platformě biologických produktů rychle poroste.

Rozpouštědla

Pouze 3% celosvětové produkce biologických rozpouštědel probíhá v EU a 43% biologických rozpouštědel spotřebovaných v EU se dováží. Neočekává se, že by se tato čísla brzy změnila.

Polymery pro plasty

Environmentální problémy spojené s používáním plastů jsou dnes zřejmé, což vede k tomu, že se producenti EU přiklánějí k přechodu na biologické polymery pro plasty. V kombinaci se silnou produkcí škrobu v EU to vede k čistému vývozu biologických polymerů pro plasty. Očekává se, že trh bude v příštích 5 letech nadále růst o 4% ročně.

Barvy, nátěry, inkousty a barviva

S několika tradičními produkty na biologické bázi, jako jsou alkydové pryskyřice, má kategorie produktů pro barvy, potahy, inkousty a barviva v současné době biologický podíl přibližně **12,5%.** Očekává se, že trh vzroste pouze o několik procent.

Povrchově aktivní látky

Široké použití vede k vysokému podílu biologických látek, **50%.** Bioaktivní povrchově aktivní látky mají často funkční výhody, jako je nižší toxicita a /nebo biologická odbouratelnost oproti povrchově aktivním látkám na bázi benzinu. Bioaktivní povrchově aktivní látky tvoří stabilní a vyspělý trh, u kterého se očekává růst stejným tempem jako na celkovém trhu s povrchově aktivními látkami.

Kosmetika a výrobky pro osobní péči

Kosmetika a výrobky pro osobní péči mají výhodu, že jsou přímo ovlivňovány konečným spotřebitelem. Touha po přírodních produktech, spolu s historií bio produktů založených na tucích a olejích, má za následek rozvinutý bio kosmetický trh. Další výhodou je, že zvýšené výrobní náklady hrají menší roli a spotřebitelé jsou ochotni zaplatit zelenou prémii. Očekává se, že trh bude i nadále růst a zdá se, že je poháněn zejména spotřebitelskou poptávkou.

Lepidla

EU vyrábí velké množství lepidel, což představuje 35% celosvětové výroby. Příspěvek EU na trh s biologickými lepidly je ještě výraznější, přičemž **54% produkce biologického lepidla na bázi 441kt / rok pochází z EU**. Průmysl očekává, že tento trh bude s rostoucím počtem aplikací pokračovat v dalším růstu.

Maziva

Dnes se používají převážně v severských zemích (například pro řetězové pily). Další růst trhu, například na (potenciálně mnohem větším) trhu s biologickými mazivy pro motory, bude záviset na zavedení stimulující legislativy. V opačném případě se neočekává, že by trh s mazivy na biologické bázi příliš vzrostl.

Změkčovadla

Díky snížení používání některých toxických plastifikátorů na bázi ftalátů v hračkách a předmětech pro péči o děti vzrostla poptávka po alternativách na bázi bio. Vyšší náklady na tato změkčovadla však omezují tržní potenciál. Výroba probíhá převážně mimo EU, přičemž v rámci objednávek **EU se vyrábí pouze 8% plastifikátorů** na biologické bázi. EU má ve vztahu k těmto výrobkům vysokou závislost na dovozu.

Umělá vlákna

Výroba probíhá převážně mimo EU, tj. **pouze 2%** z celosvětové produkce 36 Mt / produkce se odehrává v EU. Trh je velmi smíšený s některými velmi moderními produkty, jako je umělé hedvábí a acetát celulózy, a s některými novějšími produkty, jako je nylon-4,11 a PTT.

[83] file:///C:/Users/admin/AppData/Local/Temp/jrc_europeanmarket_biochemicals_online.pdf

Komplexnější seznam bio-based chemikálií (350)

Platform chemicals	***Platform chemicals continued***
Acetaldehyde	Mannose
Acetic acid	Methacrylic esters
Acetic anhydride	Methane
Acetoin	Methanol
Acetone	Octadecanedioic acid (1,18-)
Alkanes (iso-)	Octanol (2-)
Aminoundecanoic acid (11-)	Oleic acid
Ammonia	Oxalic acid
Arabinose	Palmitic acid (aka hexadecanoic acid)
Arabitol	Pelargonic acid (aka nonanoic acid)
Azelaic acid (aka nonanedioic acid)	Pentanediamine (1,5-)
Bio-'naphtha'	Propane
Bio-syngas	Propanediol (1,3-)
Butanediol (1,2-)	Propylene glycol (aka 1,2-propanediol)
Butanediol (2,3-)	Ricinoleic acid (aka 12-Hydroxyoctadec-9-enoic acid)
Butanol (iso-)	Sebacic acid (aka decanedioic acid)
Butanol (n-)	Sorbose
C10+ olefins	Starch
Capric acid (aka decanoic acid)	Stearic acid (aka octadecanoic acid)
Caproic acid (aka hexanoic acid)	Stearylic alcohol (1-octadecanol)
Caprylic acid (aka octanoic acid)	Succinic acid
Cellulose	Tall Oil, Crude (CTO)
Cetostearyl alcohol	Tall Oil, Distillated (DTO)
Cetylic alcohol (palmityl alcohol)	Turpentine
Citric acid	Undecanoic acid (aka undecylic acid)
Docosahexaenoic acid	
Epichlorohydrin	
Ethanol	**Solvents**
Ethyl acetate	Acetic acid
Ethyl lactate	Acetone
Ethylene	Alkanes (iso-)
Ethylene chloride (aka vinyl chloride)	Butanediol (1,2-)
Ethylene glycol	Butanol (iso-)
Ethylene oxide	Butanol (n-)
Farnesene	C10+ olefins
Fatty alcohols	Ethanol
Fatty amines	Ethyl acetate
Fructose	Ethyl lactate
Furfural	Ethylene glycol
Furfuryl alcohol	Furfural
Glucose	Furfuryl alcohol
Glutamic acid / Monosodium glutamate	Glycerol
Glycerol	Glycerol carbonate
Glycerol carbonate	Heptanol
Heptanoic acid (aka enanthic acid)	Lactate esters
Heptanol	Limonene
Isosorbide	Methanol
Itaconic acid	Octanol (2-)
Kojic acid	Poly(ethylene glycol) - PEG
Lactic acid	Propanediol (1,3-)
Lactide	Propylene glycol (aka 1,2-propanediol)
Lauric acid (aka dodecanoic acid)	Turpentine
Lauryl alcohol	
Levulinic acid	

Surfactants	***Paints, coatings, inks and dyes continued***
Alkyl polyglucosides (APG)	Carboxymethyl cellulose
Alkyl polypentosides (C5-surfactants)	Cellulose acetate
Alkyl-glycosides (from monosaccharide)	Cellulose ethers
Capric acid (aka decanoic acid)	Chitin/Chitosan
Caproic acid (aka hexanoic acid)	Ethoxylated fatty alcohols
Caprylic acid (aka octanoic acid)	Ethyl acetate
Carboxy methyl starch	Ethyl lactate
Carboxymethyl cellulose	Ethylene glycol
Cellulose ethers	Farnesene
Cetostearyl alcohol	Fatty alcohols
Cetylic alcohol (palmityl alcohol)	Indigo
Docosahexaenoic acid	Lactate esters
Enzymes	Lecithin
Esterquats	Lignin
Ethoxylated fatty alcohols	Lignin polymers functionalized
Ethylene diamine disuccinate	Methacrylic esters
Ethylene oxide	Octadecanedioic acid (1,18-)
Farnesene	Octanol (2-)
Fatty acid PEG esters (e.g. polyoxyethylene oleate)	Oxalic acid
Fatty alcohols	Poly(ethylene glycol) - PEG
Fatty amines	Poly(urethane) - PUR
Glycolipids	Ricinoleic acid (aka 12-Hydroxyoctadec-9-enoic acid)
Heptanoic acid (aka enanthic acid)	Rosin
Lauric acid (aka dodecanoic acid)	Scleroglucan
Lauryl alcohol	Tall Oil Fatty Acids (TOFA)
Lecithin	Tall Oil Rosin (TOR)
Lignin	Turpentine
Lipopeptides	Zeaxanthin
Octadecanedioic acid (1,18-)	
Oleic acid	
Oxalic acid	**Polymers for plastics**
Palmitic acid (aka hexadecanoic acid)	Alkyd resins
Pelargonic acid (aka nonanoic acid)	Carboxy methyl starch
Poly(ethylene glycol) - PEG	Carboxymethyl cellulose
Ricinoleic acid (aka 12-Hydroxyoctadec-9-enoic acid)	Cellulose
Rosin	Cellulose acetate
Sophorolipids	Cellulose esters
Sorbitan esters	Cellulose ethers
Starch (alkylated)	Chitin/Chitosan
Stearic acid (aka octadecanoic acid)	Epoxy resins
Stearylic alcohol (1-octadecanol)	Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) rubber
Tall Oil Fatty Acids (TOFA)	Guayule
Undecanoic acid (aka undecylic acid)	Lignin
	Lignin polymers functionalized
	Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) - PHBV
Paints, coatings, inks and dyes	Poly(amide-10,10) - nylon-10,10
Acetone	Poly(amide-10,12) - nylon-10,12
Alginate	Poly(amide-11) - nylon-11
Alkyd resins	Poly(amide-4,10) - nylon-4,10
Azelaic acid (aka nonanedioic acid)	Poly(amide-4,6) - nylon-5,6
Beta-carotene	Poly(amide-5,10) - nylon-5,10
Butanol (iso-)	Poly(amide-6,10) - nylon-6,10
Butanol (n-)	Poly(butylene adipate-co-terephthalate) - PBAT
Carboxy methyl starch	Poly(butylene succinate) - PBS

Polymers for plastics continued	*Cosmetics and personal care products cont.*
Poly(butylene succinate-co-adipate) - PBSA	Lauric acid (aka dodecanoic acid)
Poly(ethylene glycol) - PEG	Lauryl alcohol
Poly(ethylene terephthalate) - PET	Lecithin
Poly(ethylene) - PE	Leucine
Poly(hydroxyalkanoates) - PHA	L-Hydroxyphenylalanine (aka tyrosine)
Poly(hydroxybutyrate) - PHB	Limonene
Poly(lactic acid) - PLA	Lipopeptides
Poly(methacrylate)s	Lysine
Poly(trimethylene terephthalate) - PTT	Mannose
Poly(urethane) - PUR	Methionine
Pullulan	N-acetyl glucosamine
Rayon	Octadecanedioic acid (1,18-)
Starch	Octanol (2-)
Starch (alkylated)	Oleic acid
	Pantothenic acid (aka Vit B5)
	Phenylalanine
Cosmetics and personal care products	Phospholipids
Acetoin	Poly(ethylene glycol) - PEG
Acetone	Proline
Alanine	Propanediol (1,3-)
Arabinogalactan	Ricinoleic acid (aka 12-Hydroxyoctadec-9-enoic acid)
Arginine	Scleroglucan
Ascorbic acid (aka vitamin C)	Sebacic acid (aka decanedioic acid)
Aspartic acid	Serine
Astaxanthine	Squalene
Biotin (aka vitamin B7)	Starch
Butanediol (1,2-)	Stearylic alcohol (1-octadecanol)
Butanol (n-)	Terpenes
Carboxymethyl cellulose	Threonine
Cellulose ethers	Trypthophan
Cetostearyl alcohol	Valine
Cetylic alcohol (palmityl alcohol)	Vanillin
Chondroitin	Vitamin A
Coenzyme Q10 (ubiquinone)	Vitamin B12
Dextran	Vitamin B2
Dihydroxyacetone	Vitamin B3
Ethoxylated fatty alcohols	Xanthan
Ethyl lactate	Xylitol
Ethylene diamine disuccinate	
Eugenol	
Fatty acid PEG esters (e.g. polyoxyethylene oleate)	**Plasticisers (and stabilisers for rubber and plastics)**
Fatty alcohols	Azelaic acid (aka nonanedioic acid)
Fatty amines	Carboxymethyl cellulose
Gelatin	Epoxydised soybean oil (ESBO)
Glutamic acid / Monosodium glutamate	Ethoxylated fatty alcohols
Glutamine	Farnesene
Glycerol	Isosorbide
Heptanol	Lignin polymers functionalized
Histidine	Polyols (Agrol)
Hyaluronic acid	Sebacic acid (aka decanedioic acid)
Isoleucine	Succinic acid
Kojic acid	
Lactamide	
Lactoferrin (proteins)	

ADHESIVES	***Lubricants cont.***
Acetone	Stearic acid (aka octadecanoic acid)
Butanol (n-)	Tall Oil Pitch (TOP)
Carboxy methyl starch	Undecanoic acid (aka undecylic acid)
Carboxymethyl cellulose	Xanthan
Epoxy resins	
Ethyl acetate	
Ethyl lactate	**FIBRES**
Farnesene	Carboxy methyl starch
Furfuryl alcohol	Carboxymethyl cellulose
Gelatin	Cellulose
Lactate esters	Cellulose acetate
Lignin polymers functionalized	Cellulose esters
Methacrylic esters	Cellulose ethers
Octanol (2-)	Epoxy resins
Poly(ethylene glycol) - PEG	Poly(amide-10,10) - nylon-10,10
Poly(methacrylate)s	Poly(amide-10,12) - nylon-10,12
Poly(urethane) - PUR	Poly(amide-11) - nylon-11
Rosin	Poly(amide-4,10) - nylon-4,10
Scleroglucan	Poly(amide-4,6) - nylon-5,6
Starch	Poly(amide-5,10) - nylon-5,10
Tall Oil Fatty Acids (TOFA)	Poly(amide-6,10) - nylon-6,10
Tall Oil Rosin (TOR)	Poly(butylene adipate-co-terephthalate) - PBAT
	Poly(butylene succinate) - PBS
	Poly(ethylene terephthalate) - PET
Lubricants	Poly(ethylene) - PE
Alkanes (iso-)	Poly(hydroxyalkanoates) - PHA
Azelaic acid (aka nonanedioic acid)	Poly(hydroxybutyrate) - PHB
Base oil (oil used for lubricant, Ref134)	Poly(lactic acid) - PLA
Butanol (n-)	Poly(methacrylate)s
C10+ olefins	Poly(trimethylene terephthalate) - PTT
Capric acid (aka decanoic acid)	Poly(urethane) - PUR
Caproic acid (aka hexanoic acid)	Rayon
Caprylic acid (aka octanoic acid)	Starch (alkylated)
Carboxymethyl cellulose	
Cellulose ethers	
Cetylic alcohol (palmityl alcohol)	
Chitin/Chitosan	
Docosahexaenoic acid	
Ethylene oxide	
Farnesene	
Fatty acid methyl esters (e.g. methyl palmitate)	
Fatty acid PEG esters (e.g. polyoxyethylene oleate)	
Fatty alcohols	
Heptanoic acid (aka enanthic acid)	
Lauric acid (aka dodecanoic acid)	
Lauryl alcohol	
Lecithin	
Octadecanedioic acid (1,18-)	
Octanol (2-)	
Oleic acid	
Palmitic acid (aka hexadecanoic acid)	
Pelargonic acid (aka nonanoic acid)	
Poly(ethylene glycol) - PEG	
Sebacic acid (aka decanedioic acid)	

Table 21: Feedstock yields from commodity crops used for the production of bio-based products

Crop	Feedstock type	Feedstock yield (t/ha)	Proportion of crop in feedstock type (%)	Proportion of crop in total sugar and starch (%)
Sugar cane	Sugar	9.1	85	17
Sugar beet	Sugar	9.8	15	3
Maize	Starch	3.5	58	46
Potato	Starch	3.6	6	5
Wheat	Starch	1.6	30	24
Tapioca	Starch	2.9	6	5
Pine tree	Pulpwood	1.6	n.a. ([a])	
Beech tree	Pulpwood	3.4	n.a.	
Castor bean	Vegetable oil	0.6	0.4	
Oil palm	Vegetable oil	3.5	38	
Soybean	Vegetable oil	0.6	34	
Rapeseed	Vegetable oil	0.7	12	
Sunflower	Vegetable oil	0.6	8	
Coconut	Vegetable oil	0.8	5	
Palm kernel	Vegetable oil	0.4	4	
Orange tree	Oranges	23.7	n.a.	
Average	Sugar/starch	4.2		
Average	Sugar	9.2		
Average	Starch	2.9		
Average	Vegetable oil	1.7		

Note: Feedstock yield (in t/ha) is the part of the crop yield in the field (in t/ha) that is actually used as raw material.

Proportion of crop is the percentage that each crop makes up of the total volume of feedstock (weight in production). For example, 85% of sugar originates from sugar cane and 15% from sugar beet.

Product	Prices (EUR/kg), bio-based			UI	Prices (EUR/kg), fossil-based			UI
	Result	Min.	Max.		Result	Min.	Max.	
Esterquats	0.98[a]	0.91	1.04	4	na			
Sophorolipids	3.15[l]	1.8	4.5	2	na			
APG	1.8[l]	0.9	2.7	2	na			
Carboxy methyl starch	0.66(a)	0.58	0.74	4	na			
Cosmetics and personal care products								
Limonene	8.55[l]	8.1	9	2	na			
Lauryl alcohol	1.79[fp]			4	1.79[l]	1.26	2.7	1
Stearylic alcohol (1-octadecanol)	2.25[fp]			4	2.25[l]	1.8	2.7	2
Vanillin	12.5[l]			2	13.5[l]			2
Xanthan	4.09[l]	1.76	8.82	3	na			
Ethoxylated fatty alcohols	1.56[fp]			4	1.56[l]	1.51	1.6	2
N-acetyl glucosamine	80[l]	20	140	3	na			
Adhesives								
Methacrylates	1.98[fp]			4	1.98[l]			2
Furfuryl alcohol	1.82[p]			3	na			
Epoxy resins	3.74[fp]			4	3.74[p]			3
Tall oil rosin	1.52[p]			3	na			
Lubricants								
Alkanes (iso-)	1.75[fp]			4	1.75[p]			3
Tall oil fatty acids	0.585[C]	0.53	0.64	3	na			
FAME (e.g. methyl palmitate, stearate, laurate)	2.35[l]	1.7	3	2	na			
Fatty acid PEG esters (e.g. polyoxyethylene oleate, palmitate)	2.35[l]	1.7	3	2	na			
Plasticisers								
Azelaic acid (nonanedioic acid)	5.33[c]			3	na			
Succinic acid	2.64[l]	2.57	2.7	1	4.50[l]	2.16	8.1	1
ESBO	1.06[a]	0.75	1.33	4	na			
Man-made fibres								
PTT	2.3[l]			2	4[l]			2
Rayon	2[l]			2	na			
Polyamide-11 (nylon-11)	2.61[p]			3	na			
Polyamide-4,10 (nylon-4,10)	5.42[l]	3.23	7.61	3	na			
Cellulose acetate	5[l]			2	na			

[a] market prices from Alibaba; [c] Export price from Eurostat – Prodcom, [fp] fossil price for the corresponding fossil-based product, [l] Production price from expert interview, [l] Production price from literature, [p] Production price from Eurostat – Prodcom.

Table 20: Feedstock use of the 50 selected bio-based products

Bio-based product	Feedstock type	Feedstock used per tonne of bio-based product produced (t/t prod., with allocation correction)	Feedstock used for EU production of bio-based product (kt/a)
Platform chemicals			
Ethylene	Starch/sugar	4.3	0
Ethylene glycol	Starch/sugar	2.3	0
Propylene glycol	Vegetable oil	1.4	28
Propanediol (1,3-)	Starch/sugar	2.5	20
Acetic acid	Starch/sugar	2.0	48
Acetic anhydride	Starch/sugar	2.0	20
Sebacic acid	Castor oil	1.2	0
Lactic acid	Starch/sugar	1.3	84
Epichlorohydrin	Vegetable oil	1.0	36
Solvents			
Butanol (iso-)	Starch/sugar	2.6	0
Ethyl acetate	Starch/sugar	1.2	43
Ethyl lactate	Starch/sugar	1.1	0
Acetone	Starch/sugar	2.3	0
Wood turpentine	Wood	1.1	80

Bio-based product	Feedstock type	Feedstock used per tonne of bio-based product produced (t/t prod., with allocation correction)	Feedstock used for EU production of bio-based product (kt/a)
PE	Starch/sugar	4.3	0
PET (27%)	Starch/sugar	0.7	0
PHA	Starch/sugar	2.9	7
PLA	Starch/sugar	1.6	11
Starch used for plastics	Starch	1.0	130
Paints, coatings, inks and dyes			
Ricinoleic acid	Castor oil	1.2	0
PUR (45%)	Vegetable oil	0.5	20
Alkyd resins (60%)	Vegetable oil	0.6	259
Surfactants			
Glycolipids (other than sophorolipids)	Vegetable oil	5.0	50
Esterquats (73%)	Vegetable oil	0.8	106
Sophorolipids	Vegetable oil	1.5	77
APG	Starch/sugar and vegetable oil	0.6 and 0.5	55
Carboxy methyl starch (80%)	Starch	0.8	20
Cosmetics and personal care products			
Limonene	Orange peel	2.2	9
Lauryl alcohol	Vegetable oil	1.1	108
Stearylic alcohol	Vegetable oil	1.1	106
Vanillin	Wood	1.0	2
Xanthan	Starch/sugar	1.3	57
Ethoxylated fatty alcohols (50%)	Vegetable oil	0.5	119
N-acetyl glucosamine	Crab or shrimp shells	0	0
Adhesives			
Methacrylates (73%)	Vegetable oil	0.8	8
Furfuryl alcohol	Sugar cane bagasse	1.0	40
Epoxy resins (50%)	Vegetable oil	0.5	2
Tall oil rosin	Wood	1.0	141
Lubricants			
Alkanes (iso-)	Vegetable oil	0.4	0
Tall oil fatty acids	Wood	1.0	2
FAME (90%)	Vegetable oil	0.9	104
Fatty acid PEG esters (60%)	Vegetable oil	0.6	30
Plasticisers			
Azelaic acid	Castor oil	2.1	27
Succinic acid	Starch/sugar	1.3	29
ESBO	Soybean oil	1.3	0
Man-made fibres			
PTT (33%)	Starch/sugar	1.0	0
Rayon	Wood	1.0	576
Polyamide-11 (nylon-11)	Castor oil	1.3	31
Polyamide-4,10 (nylon-4,10) (67%)	Castor oil	0.9	1
Cellulose acetate (47%)	Wood	0.7	123

Table 14: Price data on the 50 bio-based products investigated

Product	Prices (EUR/kg), bio-based			UI	Prices (EUR/kg), fossil-based			UI
	Result	Min.	Max.		Result	Min.	Max.	
Platform chemicals								
Ethylene	1.49[(l)]	1.17	1.8	1	0.6[(l)]			2
Ethylene glycol	1.26[(l)]	1.17	1.35	2	1.01[(p)]			3
Propylene glycol (1,2-propanediol)	1.68[(l)]	1.01	2.34	2	1.04[(l)]	0.81	1.26	1
Propanediol (1,3-)	1.58[(l)]			2	1.49[(l)]	1.35	2.75	1
Acetic acid	0.56[(l)]			2	0.68[(l)]			2
Acetic anhydride	1.09[(fp)]			4	1.09[(p)]			3
Sebacic acid (decanedioic acid)	3.51[(c)]			3	na			
Lactic acid	1.46[(l)]	1.17	2.07	1	na			
Epichlorohydrin	2.12[(fp)]			4	2.12[(c)]			3
Solvents								
Butanol (iso-)	1.55[(l)]			2	1.5(p)			3
Ethyl acetate	1.04[(fp)]			4	1.04[(l)]	1.02	1.05	2
Ethyl lactate	3.15[(l)]			2	na			
Acetone	1.26[(p)]			2	1.15			3
Wood turpentine	1[(l)]	0.66	1.35	2	na			
Polymers for plastics								
PE	1.5[(l)]			3	1.33[(l)]	1.2	1.45	1
PET	1.04[(fp)]			4	1.04[(l)]	0.95	1.13	1
PHA	5.43[(l)]	5	5.85	1	na			
PLA	1.85[(l)]	1.65	2	1	na			
Starch used for plastics	3[(l)]			2	na			
Paints, coatings, inks and dyes								
Ricinoleic acid (12-hydroxyoctadec-9-enoic acid)	1.64[(l)]	1.64	1.65	2				
PUR	3.5[(fp)]	3	4	4	3.5[(l)]	3	4	2
Alkyd resins	1.45[(fp)]			4	1.45[(p)]			3
Surfactants								
Glycolipids (other than sophorolipids)	4.5[(l)]			2	na			

Product	Prices (EUR/kg), bio-based			UI	Prices (EUR/kg), fossil-based			UI
	Result	Min.	Max.		Result	Min.	Max.	
Esterquats	0.98[a]	0.91	1.04	4	na			
Sophorolipids	3.15[i]	1.8	4.5	2	na			
APG	1.8[i]	0.9	2.7	2	na			
Carboxy methyl starch	0.66(a)	0.58	0.74	4	na			
Cosmetics and personal care products								
Limonene	8.55[i]	8.1	9	2	na			
Lauryl alcohol	1.79[fp]			4	1.79[i]	1.26	2.7	1
Stearylic alcohol (1-octadecanol)	2.25[fp]			4	2.25[i]	1.8	2.7	2
Vanillin	12.5[i]			2	13.5[i]			2
Xanthan	4.09[i]	1.76	8.82	3	na			
Ethoxylated fatty alcohols	1.56[fp]			4	1.56[i]	1.51	1.6	2
N-acetyl glucosamine	80[i]	20	140	3	na			
Adhesives								
Methacrylates	1.98[fp]			4	1.98[i]			2
Furfuryl alcohol	1.82[p]			3	na			
Epoxy resins	3.74[fp]			4	3.74[p]			3
Tall oil rosin	1.52[p]			3	na			
Lubricants								
Alkanes (iso-)	1.75[fp]			4	1.75[p]			3
Tall oil fatty acids	0.585[C]	0.53	0.64	3	na			
FAME (e.g. methyl palmitate, stearate, laurate)	2.35[i]	1.7	3	2	na			
Fatty acid PEG esters (e.g. polyoxyethylene oleate, palmitate)	2.35[i]	1.7	3	2	na			
Plasticisers								
Azelaic acid (nonanedioic acid)	5.33[c]			3	na			
Succinic acid	2.64[i]	2.57	2.7	1	4.50[i]	2.16	8.1	1
ESBO	1.06[a]	0.75	1.33	4	na			
Man-made fibres								
PTT	2.3[i]			2	4[i]			2
Rayon	2[i]			2	na			
Polyamide-11 (nylon-11)	2.61[p]			3	na			
Polyamide-4,10 (nylon-4,10)	5.42[i]	3.23	7.61	3	na			
Cellulose acetate	5[i]			2	na			

[a] market prices from Alibaba; [c] Export price from Eurostat – Prodcom, [fp] fossil price for the corresponding fossil-based product, [i] Production price from expert interview, [l] Production price from literature, [p] Production price from Eurostat – Prodcom.

Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek
v dopravě a chemickém průmyslu
(ČTPB)

Projekt NAZV - QK1710307

Ekonomická podpora strategických a rozhodovacích procesů na národní i regionální úrovni vedoucí k optimálnímu využití obnovitelných zdrojů energie, především pak biomasy, při respektování potravinové soběstačnosti a ochrany půdy

BIOMASA

Materiálové využití

Vypracoval: Ing. Leoš Gál
Předseda řídícího výboru ČTPB
2019
mobil 736-5050-12

V Evropě se staví cca 600 budov ze slámy za rok. Z toho cca 500 ve Francii, v tržní hodnotě asi 50 Mio €. Ve Francii to představuje asi 0,15% všech postavených domů. V ostatních zemích je to mnohem méně. Nicméně požadavky životního prostředí, hospodářství, bydlení a změny klimatu mění i stavební trendy, které podporuje i evropský projekt Up-Straw. [1]

Sláma je v soudobém stavitelství ČR používána také okrajově a zejména především v rámci svépomocné výstavby. Přestože jsou pozitivní vlastnosti slámy jako stavebního materiálu již dlouho dobře známy, nezískala si zatím širší důvěru stavebníků ani projektantů. Stavební firmy s ní zatím pracovat nedovedou a na pověsti nepřidává ani řada mýtů, které se s tímto materiálem pojí.
V podmínkách ČR se tak dnes jedná o marginální segment využívání biomasy. Především však kvůli environmentálním aspektům je nutné i materiálové využití biomasy, v rámci cirkulární ekonomiky, vnímat jako perspektivní a efektivní způsob nakládání s biomasou.

ČR bylo v posledním desetiletí **postaveno cca 150 domů s významným podílem slámy** v konstrukcích. Panelové konstrukce realizuje ECO COCON [2]. Slaměné a rákosové došky jsou oblíbené spíš v zahraničí, v ČR se dnes realizuje pouze ojediněle [3].

EVROPSKÁ ASOCIACE

O využití slámy ve stavebnictví se zasasuje v rámci Evropy především EUROPEAN STRAW BUILDING ASSOCIATION [4], podle které je sláma široce dostupným materiálem vhodným pro stavení účely v nových stavbách (domy, kanceláře, školy, veřejné budovy) či izolační účely stávajících budov. Sláma může být použita okamžitě z místa produkce (zemědělská půda), bez dalšího zpracování. Díky tomu ESBA identifikuje slámu jako ***prémiový biologický stavební materiál***.

[1] http://cncp-feuillette.fr/up-straw/
[2] https://ecococon.eu/cz/
[3] http://www.rakosovestrechy.cz/
[4] http://www.strawbuilding.eu/

VLASTNOSTI SLÁMY

Sláma má poměrně dobré izolační, mechanické i akustické vlastnosti: [5]

TEPELNĚ – FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

součinitel tepelné vodivosti **λ = (0,045 – 0,068) W/mK**
(pro objemovou hmotnost 90 – 150 kg/m³)
(závisí i na orientaci stébel)

absolutní vlhkost materiálu w = (5 – 15%)
(pro relativní vlhkost ϕ = (20 – 75%)

faktor difůzního odporu μ = 2

Zdroj: CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. Praha, 2009

MECHANICKÉ VLASTNOSTI

empirická únosnost jednopodlažní stavby z balíků: stěna tl. 0,5m výšky 3m

testování únosnosti velkých balíků : až **150 kPa (15t/m²)**

u nosných konstrukcí je nutné balíky zatížit, nebo předepnout

Zdroj: CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. Praha, 2009

POŽÁRNÍ ODOLNOST

třída reakce na oheň E, hořlavost B2
omítaná slaměná stěna - požární odolnost F 90

Zdroj: ÖNORM B 3800

Požární zkouška Fsv ČVUT **PAVÚS**, 30. 6. 2011
nosná stěna ze slaměných balíků omítaná hliněnou a vápennou omítkou: **požární odolnost REI 120 DP3**
(požadovaná odolnost na nosnou stěnu RD je 45 min.)

Zdroj: Projekt 1221420507, Fsv ČVUT

AKUSTIKA (vzduchová neprůzvučnost)

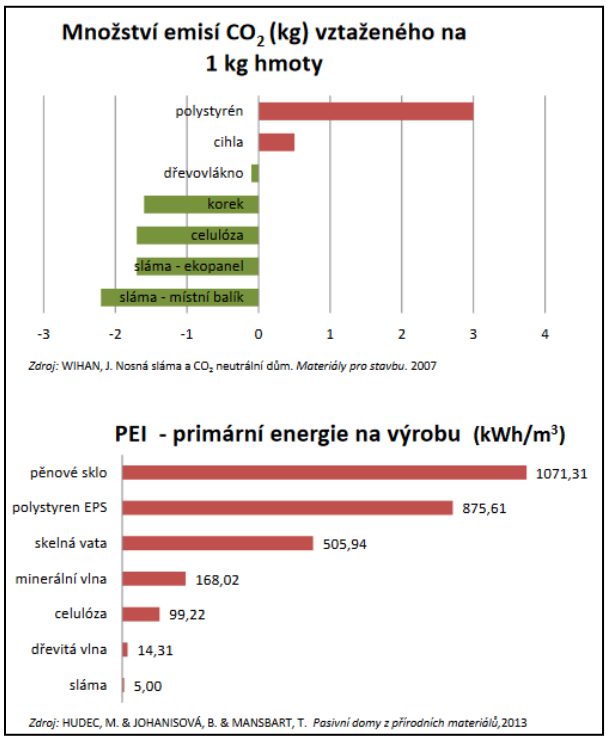
nosný stěnový panel tl. 500mm R_w= **54** dB
(objemová hmotnost 100 kg/m³)

Zdroj: certifikát výrobce Ecococon

Příčka z Ekopanelu tl. 120 mm R_w= **45** dB
(objemová hmotnost 380 kg/m³)

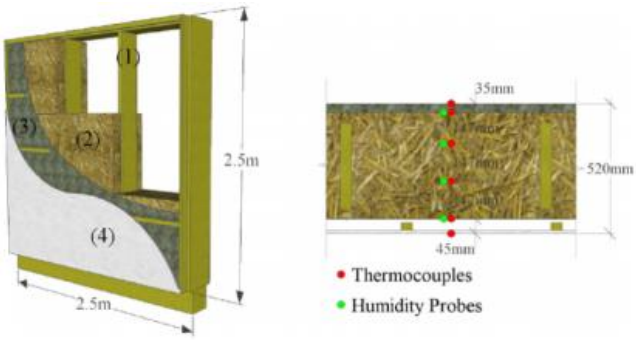
Zdroj: výrobce Ekopanely

Sláma má také příznivé parametry LCA jak z pohledu produkce CO2, tak z pohledu potřebné primární energie na výrobu: [6]



[5] https://www.fa.cvut.cz/studium/predmety/ekologie-i/ekologie-i-vyuziti-slamy-v-soucasne-archtiekture.pdf
[6] https://www.fa.cvut.cz/studium/predmety/ekologie-i/ekologie-i-vyuziti-slamy-v-soucasne-archtiekture.pdf

Vlastnosti slámy jako stavebního materiálu prověřovala i francouzská ADEME (Agentura pro řízení ekonomiky). V roce 2015 financovala výzkum zaměřen jak na izolační vlastnosti slámy tak i odolnosti proti vlhkosti slámy jako stavebního materiálu: "**Hydrothermal performance of a straw bale building in situ and laboratory investigations**" [7]. Výzkum potvrdil, že sláma vhodně reguluje úroveň vlhkosti i teploty interiéru a zajišťuje komfort bydlení.



Construction details of the straw bale wall specimen: (1) wooden frame ; (2) straw bales ; (3) lime plaster ; (4) plasterboard

Sláma jako profesionální stavební materiál

Vzhledem k nevýhodám, které se pojí se slámou ve formě klasických balíků, se objevují pokusy vytvořit profesionální stavební produkt, který by oslovil mnohem širší skupinu stavebníků. Jednou z cest je příprava individuálních celo-stěnových panelů.
V této podobě se již jedná o produkt stejnoměrných vlastností poskytující určité záruky. Panel je certifikován a vyráběn s velkou přesností v halách, celý proces je tak mnohem méně závislý na počasí. Je důležité dbát na podmínky a kvalitu slámy při sklizni – musí být čistá, suchá a zlatavé barvy, poté ji lze skladovat a zpracovávat několik let.

Na trhu již existuje více typů panelů vyráběných odlišnými způsoby. Některé firmy pracují s většími rozměry a na stavbě je tak potřeba těžká zvedací technika, jiné produkují panely takové velikosti, aby manipulace mohla probíhat ručně. Velikost panelu je v tomto případě modul, se kterým je dobré pracovat již při architektonickém návrhu. Cena takového panelu je srovnatelná s cenou sendvičové konstrukce nízkoenergetické dřevostavby s kvalitními přírodními izolanty, jako jsou vlna, konopí nebo dřevovlákno. Panel je přesnou pevnou konstrukcí, kterou již není třeba doplňovat o další nosné prvky. Samotná montáž na stavbě je velmi rychlá. Omítky nemusí dosahovat takové tloušťky jako při aplikaci na nerovný povrch balíků, eliminují se tím problémy s praskáním a nerovnoměrným vysycháním omítek.

7 https://www.researchgate.net/publication/282847689_Hygrothermal_performance_of_a_straw_bale_building_In_situ_and_laboratory_investigations#pf5

V ČR se výrobou panelů v šířkách 40 a 60 mm se zabývá firma EKOPANELY SERVIS s.r.o. [8] resp. firma EKOPANELY PRO [9]

Příprava

Základní surovinou pro výrobu ekopanelů je obilná sláma svázaná v hranatém balíku. Při vstupní kontrole se důsledně prověřuje její vlhkost, nevyhovující surovina je vyřazena. Vybrané balíky jsou pak naloženy na pásový dopravník a následně rozdruženy.

Lisování

Rozdružená vlákna obilné slámy jsou následně vysokotlace lisována na požadovanou tloušťku ekopanelu, která činí cca 6 cm. Z nepřetržitě pracujícího lisu je vytlačován nekonečný pás ekopanelu.

Pro dosažení deklarovaných fyzikálních vlastností není zapotřebí pojiv (jako např. u dřevotřískových desek), spory plísní jsou zničeny vysokou teplotou během lisování. Do výrobku se v této fázi přidává speciální odpuzující prostředek proti hlodavcům.

Polepování

Pro dosažení jednotného povrchu je zhutněné slaměné jádro olepováno recyklovanou lepenkou. Toto opatření pak umožňuje realizovat povrchové úpravy stejně jako u konvenčních stavebních materiálů.

Finalizace

Olepený nekonečný pás ekopanelu pak směřuje po válečkovém dopravníku k formátovacímu zařízení. Tam je za stálého provozu linky pomocí automatické okružní pily krácen na požadovanou délku. Po olepení řezných hran a označení je ekopanel připraven k expedici.

POUŽITÍ

Ekopanel je určen k montáži příček, podhledů a k opláštění veškerých typů dřevostaveb (nízkoenergetické dřevostavby, pasivní dřevostavby, nulové domy apod.). Použít ho lze všude, kde se požaduje rychlost a jednoduchost výstavby z kvalitního trvanlivého materiálu. Dále také pro montované domy, jako ztracené bednění, mobilní příčky atd. [10]

EKOLOGIE

Ekopanel je klasifikován jako zdravotně nezávadný a ekologický výrobek. Suroviny k jeho výrobě jsou získávány z přírodních obnovitelných zdrojů. Je plně recyklovatelný, společnost zdarma odebírá odpady z montáže (např. odřezky) pro opětovné použití.

[8] https://www.ekopanely.cz/sluzby-a-produkty/ekopanely/technicke-parametry/
[9] http://www.ekopanelypro.cz/Ekopanely-vyroba.aspx
[10] http://www.ekopanelypro.cz/Ekopanely-pouziti.aspx

V rámci EU je ve výrobě panelových prefabrikátů (standartní šířka 40 cm) nejznámější litevská firma ECOCOCON [11].

DRCENÁ SLÁMA

S drcenou slámou ve stavebnictví se setkáme minimálně, pokud vůbec. Tomuto tématu se věnuje výzkum, který probíhá na Fakultě stavební VŠB-TUO nepřetržitě od roku 2013. Cílem výzkumu číslo projektu SP2016/129. bylo stanovit požární, tepelně technické a akustické charakteristiky drcené slámy. [12]

Velkou nevýhodou využití drcené slámy z pohledu legislativy je to, že doposud nebyly publikovány informace o důležitých vlastnostech, nutných pro využití drcené slámy ve stavebnictví. Bez znalosti těchto vlastností není možné stavby s drcenou slámou navrhovat a s největší pravděpodobností by nebylo možné získat stavební povolení pro jejich realizaci. Naproti tomu u staveb ze slaměných balíků je možno získat celou řadu informací o tepelně technických, vlhkostních, akustických a požárních vlastnostech.

ZKOUŠKA ZÁPALNOSTI

Výsledky všech provedených požárních zkoušek VŠB byly pro všechny zúčastněné velkým překvapení, protože u veřejnosti panuje přesvědčení, že slaměné domy velmi dobře hoří. Měření hodnoty součinitele tepelné vodivosti pak prokázalo, že je drcená sláma dobrým tepelným izolantem a svými tepelně izolačními schopnostmi je srovnatelná se všemi ostatními přírodními izolacemi. V porovnání se slaměnými balíky je pak drcená sláma přibližně o 25 % lepší tepelný izolant.

DOPORUČENÍ VŠB

VŠB prohlašuje, že drcená sláma může být ve stavebnictví využívána jako ekologický, plně recyklovatelný a cenově dostupný tepelný izolant. Svým charakterem je vhodná pro aplikace do obvodových konstrukcí dřevostaveb, a to jako foukaná nebo sypaná tepelná izolace.

Zda se stane sláma v architektuře běžně užívaným materiálem, závisí zejména na jednoduché, dostupné a bezpečné stavební technologii schopné vyhovět legislativním požadavkům a zároveň oslovit otevřené architekty a osvícené stavebníky. Pobídkou můžou být zvýšené tlaky na úsporu energií a CO2 ve stavebnictví.

[11] https://ecococon.eu/the-panel

[12] https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/15389-drcena-slama-jako-stavebni-material

Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek
v dopravě a chemickém průmyslu
(ČTPB)

Projekt NAZV - QK1710307

Ekonomická podpora strategických a rozhodovacích procesů na národní i regionální úrovni vedoucí k optimálnímu využití obnovitelných zdrojů energie, především pak biomasy, při respektování potravinové soběstačnosti a ochrany půdy

BIOMASA

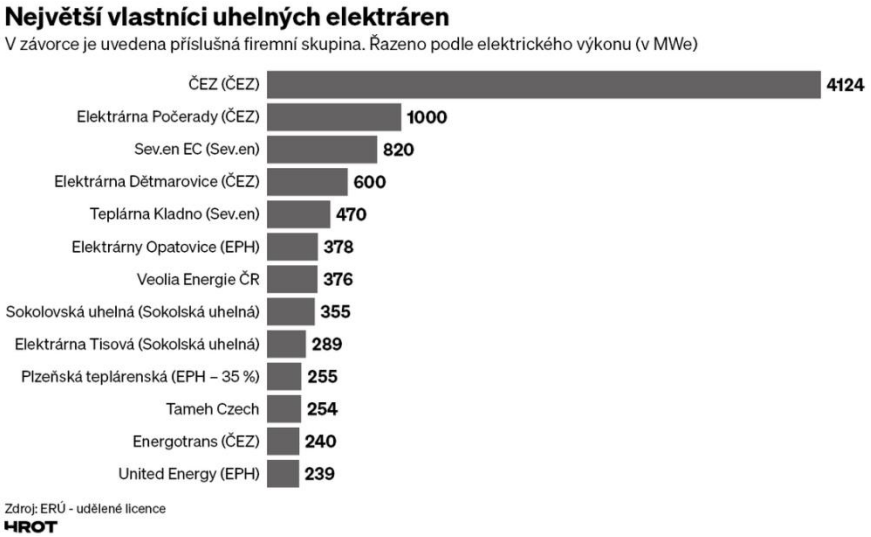
5. Energetika

Vypracoval: Ing. Leoš Gál
Předseda řídícího výboru ČTPB
2019
mobil 736-5050-12

BIOMASA JAKO VSTUPNÍ SUROVINA
NA VÝROBU TEPLA / ELEKTRICKÉ ENERGIE /BIOPALIV

Vzhledem na environmentální politiku EU byla v ČR zřízená 12 - ti členná komise. Úkolem je optimalizovat termín definitivního konce, ale také tvar takzvané útlumové křivky. [1] Zjednodušeně řečeno, o jak rychlý proces půjde. Uhelná doba bezpochyby končí, zájmem nás všech by ale mělo být, aby se přechod k jiným zdrojům energie odehrál bezbolestně, bez výpadků dodávek elektřiny a za přijatelnou cenu pro občany i podniky.

Komise prozatím rámcově definovala 5 scénářů útlumu. Nejdříve za 10, nejpozději za 30 let. Všech 5 scénářů počítá s významným posílením OZE. Tak jako tak, transfer uhelných elektráren v řádu jednotek dekád bude klást obrovské nároky na rozvoj OZE především biomasy.

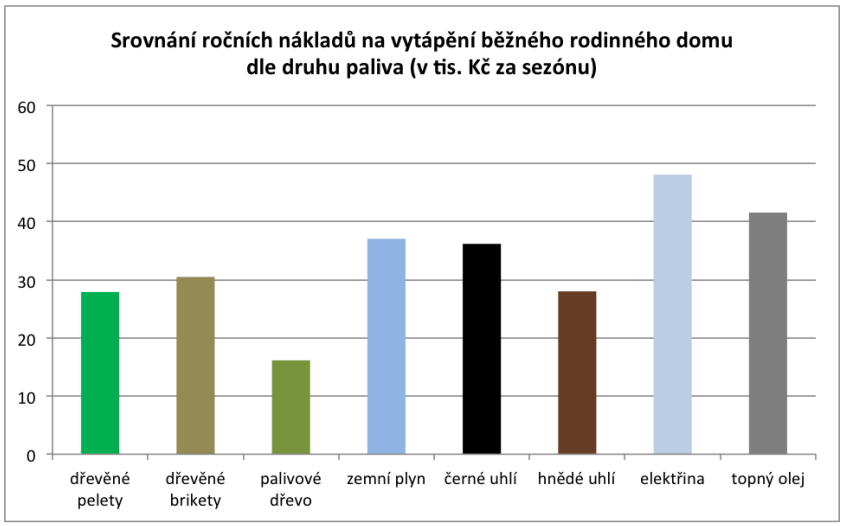


[1] https://www.seznamzpravy.cz/clanek/vsichni-pracuji-naplno-havlicek-odmita-ze-by-nestihal-ridit-uhelnou-komisi-118759

1. Výroba tepla v individuálních rodinných topeništích

Biomasa se historicky podílí na výrobě tepla (spalování) v regionech. Tento trend podporuje i MŽP program „Zelená úsporám“ (tzv.kotlíkové dotace). Podpora zaměřená na modernizaci domácích topenišť (kotlů), přičemž se vylučuje podpora kospoalování s uhlím. Cílem je výměna cca 100 000 kotlů.[2] Při průměrné spotřebě 15 m3 biomasy/kotel se tak ročně jedná o spotřebu cca 1,5 mio m3 topné biomasy (především dendromasy). Tedy cca 1 milion tun (záleží od vlhkosti). Logika lokální produkce a lokální spotřeby vytváří předpoklady, že tento segment bude jistě dlouhodobě preferován. Biomasu lze regionálně zajišťovat především ze žádoucích výchovných zásahů v regionálních lesních porostech (prořezávky, probírky) či kalamitního dřeva, či dřeva nízké kvality pro materiálové využití.

V ČR propaguje moderní způsob vytápění peletkami klastr ČESKÁ PELETA [3]



V ČR se vyrábí několik druhů moderních kotlů. Kde např.systémy multibio [4] již nevyžadují peletky nejvyšší kvality a poradí si i se štěpkou.

[2] https://www.mzp.cz/cz/articles__170904_pravo_kotle
[3] https://ceska-peleta.cz/
[4] https://www.multibio.eu/

2. Výtopny a CZT

Centrální zásobování teplem (CZT) je systém zajišťující centrální výrobu tepla v jednom nebo více zdrojích a následný rozvod vyrobeného tepla tepelnými sítěmi odběratelům do větších územních celků – města, městské čtvrti, sídliště, obchodní nebo průmyslové zóny. V České republice je dle Teplárenského sdružení České republiky zásobováno teplem z CZT **téměř 1,5 milionu domácností.** Pro uspokojování potřeb všech odběratelů je v České republice využíváno celkem 10 000 km tepelných sítí.
Proces začíná spalováním paliva (uhlí, zemní plyn, topné oleje, biomasa) v kotli, při kterém dochází k ohřevu vody. Tepelná energie je následně přes tepelný výměník dodávána do rozvodné soustavy CZT. Cyklus se vyznačuje až 90% účinností.[5]

Výroba tepla v rámci CZT probíhá v zařízeních:

1. **Výtopna (pouze výroba tepla)**
2. **Teplárna – KVET (výroba tepla a elektrické energie)**
3. Paroplynová teplárna
4. Kogenerační motor

V podmínkách ČR dnes stále dominuje vstupní surovina uhlí. S plánovanou redukcí využívání uhlí je nutné předpokládat, že v budoucnu segment teplárenství bude více a více využívat biomasu jako náhradu hnědého uhlí.

Vybudovaná infrastruktura tepelních sítí je efektivním a environmentálně výhodným řešením zásobování teplem. Z tohoto pohledu má přednost před individuální podporou domácích kotlů, kde hrozí nelogické a nežádoucí odpojování od CZT a budování individuálního vytápění.

Plánované projekty využití biomasy v teplárenství jsou v řádu **několika milionu tun/rok**.[6]

Z hlediska podílu na požadovaném množství dřevní biomasy představují nejvyšší spotřebu realizované a plánované investice u velkých tepláren (minimálně 900 kt/r) a plánované projekty u papírenských závodních energetik (860 kt/r). Menší množství budou požadovat zdroje v malých teplárnách (160 kt/r) a závodních energetikách (340 kt/rok)

Žádná z 30 ti významných uhelných tepláren si nezajistí průměrně více než 15 % potřeby biomasy při svozové vzdálenosti do 80 km. Při náhradě uhlí v 30 teplárnách (při výhřevnosti 10,8 MJ/kg a 40% vlhkosti) by byla potřeba biomasy **kolem 18 milionůt/ročně**. Investice do přestavby na biomasu představují až 3 násobné zvýšení ceny tepla (u náhrady plynem „jen“ 2 násobné). Každopádně plánovaný odklon využití uhlí může dramaticky zvýšit požadavky na náhradu uhlí biomasou.

[5] https://oenergetice.cz/elektrina/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr
[6] http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/S2_06.pdf

3. Kogenerace

je efektivní, spolehlivý a relativně ekologicky šetrný způsob výroby elektřiny (ve srovnání s uhelným zdrojem), při kterém dochází současně k dodávce tepla. Díky využití tepla, (které je při výrobě elektřiny v konvenčních elektrárnách bez užitku vypouštěno do okolního prostředí), se výrazně zvyšuje účinnost využití energie. Klasické zdroje elektřiny (kondenzační elektrárny) dosahují při výrobě elektřiny účinnosti kolem 30-40 %, zatímco účinnost výroby energie u moderních kogeneračních zdrojů je často i nad hranicí 90 %.

V ČR je KVET již po desetiletí provozován v teplárnách, které zásobují teplem lokality rozlohou od skupiny budov, přes sídliště, až po celá města.

Podle Teplárenského sdružení České republiky pokrývá KVET téměř 2/3 dodávek tepla ve zmíněných soustavách. Elektřina vyrobená v **KVET pokrývá, více než 15 % netto spotřeby elektřiny v ČR**.[7] V tabulce je vývoj výroby elektřiny z vysokoúčinné KVET v letech 2007 – 2013 (elektřina podpořená zeleným bonusem).

Nad 5 MWe [MWh]	7 479 543	6 561 082	6 874 299	8 353 131	7 826 844	7 564 846	7 400 625
Pod 5 MWe [MWh]	335 804	322 454	298 120	567 057	717 158	805 945	986 441

Výroba elektřiny z vysokoúčinné KVET v České republice. Zdroj dat: Teplárenské sdružení ČR

V ČR je významným výrobcem a dodavatelem kogeneračních jednotek TEDOM TEDOM

Vstupem do jejich kogenračních jednotek jsou jak fosilní zdroje tak především bioplyn, skládkový, kalový plyn,…[8]

Vývoj technologií KVET čistě na biomasu

je v neustálem vývoji i když v ČR není etablován, přesto že nabízí možnost i pro menší obce směrem k soběstačnosti teplem a výrobě elektrické energie – např. KVET Wave [9] [10] Elektřinu ukládá Wave do baterií. V obci Mikolajice jí část spotřebují a část si nechávají do zálohy. Díky mikroelektrárně jsou tak připraveni i na krizové situace, jako je delší výpadek proudu, nebo třeba sněhová kalamita apod.

Palivo si umí Wave odebírat automaticky ze zásobníku a svůj výkon přizpůsobuje podle dat ze senzorů. Obec tak nemusela najímat zaměstnance, který by přikládal a kotel ovládal. A nenáročná je i údržba, stačí zhruba jednou za měsíc vysypat dva malé popelníky.

V zahraničí je tento segment silně etablován. Existují zhruba dvě desítky komerčně dostupných kogeneračních jednotek pro regionální využití na principu zplyňování biomasy.[11]

---

[7] https://oenergetice.cz/teplarenstvi/kogenerace-v-ceske-republice
[8] https://www.tedom.com/cs/
[9] https://radiozurnal.rozhlas.cz/kotel-a-zalozni-zdroj-v-jednom-v-mikolajicich-na-opavsku-testuji-mikroelektrarnu-8140005
[10] https://www.uceeb.cz/projekty/mikroelektrarna-wave
[11] file:///C:/Users/admin/AppData/Local/Temp/187_prehled_zplynovacich_technologii_pouzitelnych_v_regionalnim_meritku-1.pdf

Spalování biomasy z chemického resp. emisného pohledu:

Vzniká spalováním což lze z chemického pohledu definovat rovnicemi:

$$C + O_2 + N \rightarrow CO_2 + N + teplo$$
$$H_2 + 1/2O_2 + N \rightarrow H_2O + N + teplo$$
$$S + O_2 + N \rightarrow SO_2 + N + teplo$$

Při spalování reagují prveky (C, H, S) s kyslíkem za vzniku oxidů a tepla. Když je při reakci dostatečná teplota a dostatečný přístup vzduchu, vzniká oxid uhličitý (CO_2), kdyby tyto podmínky nebyly zajištěny, reakce by proběhla za vzniku oxidu uhelnatého (CO). Síra poté reaguje na oxid siřičitý (SO_2) a vodík se s kyslíkem spaluje na vodní páru. Dusík je v těchto rovnicích přítomen jako tzv. balastní složka, tedy se reakce neúčastní a přechází do odpadních plynů v nezměněné podobě. Při vysokých teplotách by se mohl dusík spalovat na oxidy dusíku (NO_X).

Spalování biomasy z pohledu emisí je sice lepší než spalování uhlí, nicméně produkuje CO_2 a především popílek (PM) někdy s obsahem těžkých kovů.

Preferovanější formou výroby tepla, z tohoto hlediska, by měla být aplikace tepelných čerpadel.

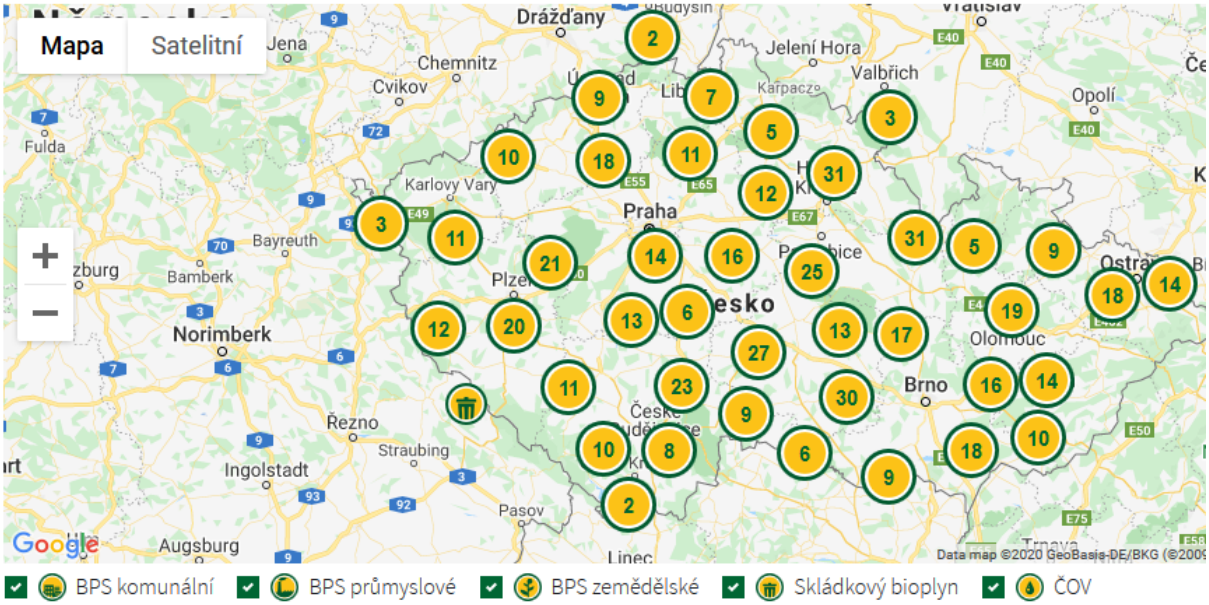
4. Bioplyn

Bioplyn se využívá dnes především v kogeneraci k výrobě elektřiny i tepla a může sloužit také jako náhrada zemního plynu. Bioplyn obsahuje až 70 % metanu, který známe taktéž jako hlavní složku zemního plynu. S bioplynem tedy můžeme počítat jako s možnou alternativou tohoto neobnovitelného fosilního zdroje. BPS jsou komunální, průmyslové, zemědělské, případně na kaly z ČOV.

BPS sehrávají pozitivní roli v rámci regionální výroby tepla a elektrické energie. Jsou ovšem závislé od podpůrných dotačních mechanizmů.

V ČR se tomuto segmentu věnuje Česká bioplynová asociace, která provozuje i mapu českých bioplynových stanic (BPS)

Mapa bioplynových stanic



5. Biopaliva

Výroba biopaliv prošla v minulosti vývojovou etapou podpory tzv. 1. Generace (B1G), která již dnes ale nesplňuje nároky na efektivní a environmentálně dostatečně účinný transfer biomasy na paliva (etanol, MEŘO). Evropská unie již omezuje další extenzivní rozvoj, a naopak, EU dospěla k závěru, že vytěsnění fosilních paliv biopalivy první generace pravděpodobně negativně ovlivní celosvětovou biologickou rozmanitost. [12] To potvrzuje podrobnější studie dopadů B1G[13].Proto EU rozhodla, že biopaliva první generace mají být do roku 2030 postupně vyřazena, resp. nebudou se započítávat do cílů povinných závazků náhrad fosilních paliv.Novelizovaná RED II (Renewable Energy Direction) ze dne 11. 12. 2018 definuje v příloze IX (str. 204) definuje suroviny pro výrobu pokročilých biopaliv.[14]

PŘÍLOHA IX

Část A. Suroviny pro výrobu bioplynu pro dopravu a pokročilých biopaliv, jejichž příspěvek k minimálním podílům uvedeným v čl. 25 odst. 1 prvním a čtvrtém pododstavci lze považovat za dvojnásobek jejich energetického obsahu:

a) řasy, pokud jsou pěstovány na pevnině ve vodních nádržích či fotobioreaktorech;

b) podíl biomasy na směsném komunálním odpadu, nikoli však tříděný domácí odpad, který spadá pod cíle recyklace podle čl. 11 odst. 2 písm. a) směrnice 2008/98/ES;

c) biologický odpad ve smyslu čl. 3 bodu 4 směrnice 2008/98/ES ze soukromých domácností, na který se vztahuje tříděný sběr ve smyslu čl. 3 bodu 11 uvedené směrnice;

d) podíl biomasy na průmyslovém odpadu, který není vhodný pro využití v potravinovém či krmivovém řetězci, včetně materiálů pocházejících z maloobchodu a velkoobchodu a zemědělsko-potravinářského průmyslu, jakož i odvětví rybolovu a akvakultury, ale ne suroviny uvedené v části B této přílohy;

e) sláma;

f) chlévská mrva a kal z čistíren odpadních vod;

g) odpadní vody z lisovny palmového oleje a trsy prázdných palmových plodů;

h) dehet z tálového oleje;

i) surový glycerin;

j) bagasa;

k) matoliny a vinné kaly;

l) ořechové skořápky;

m) plevy;

n) kukuřičné klasy zbavené zrn;

o) podíl biomasy na odpadu a zbytcích z lesnictví a z dřevozpracujících odvětví, jako jsou kůra, větve, nekomerční pročistky, listí, jehličí, koruny stromů, piliny, hobliny, černý louh, hnědý louh, kal z vláknovin, lignin a tálový olej;

p) další nepotravinářské celulózové vláknoviny;

q) další lignocelulózové vláknoviny, s výjimkou pilařského dřeva a dýhařského dřeva.

Technologie B2G jsou ekonomicky i technologicky mnohem náročnější než technologie B1G a budou vyžadovat kvantitativně objemnější vstupní surovinu. V podmínkách ČR tak přichází ze zemědělského pohledu v úvahu především bod **e) sláma**

Protože:

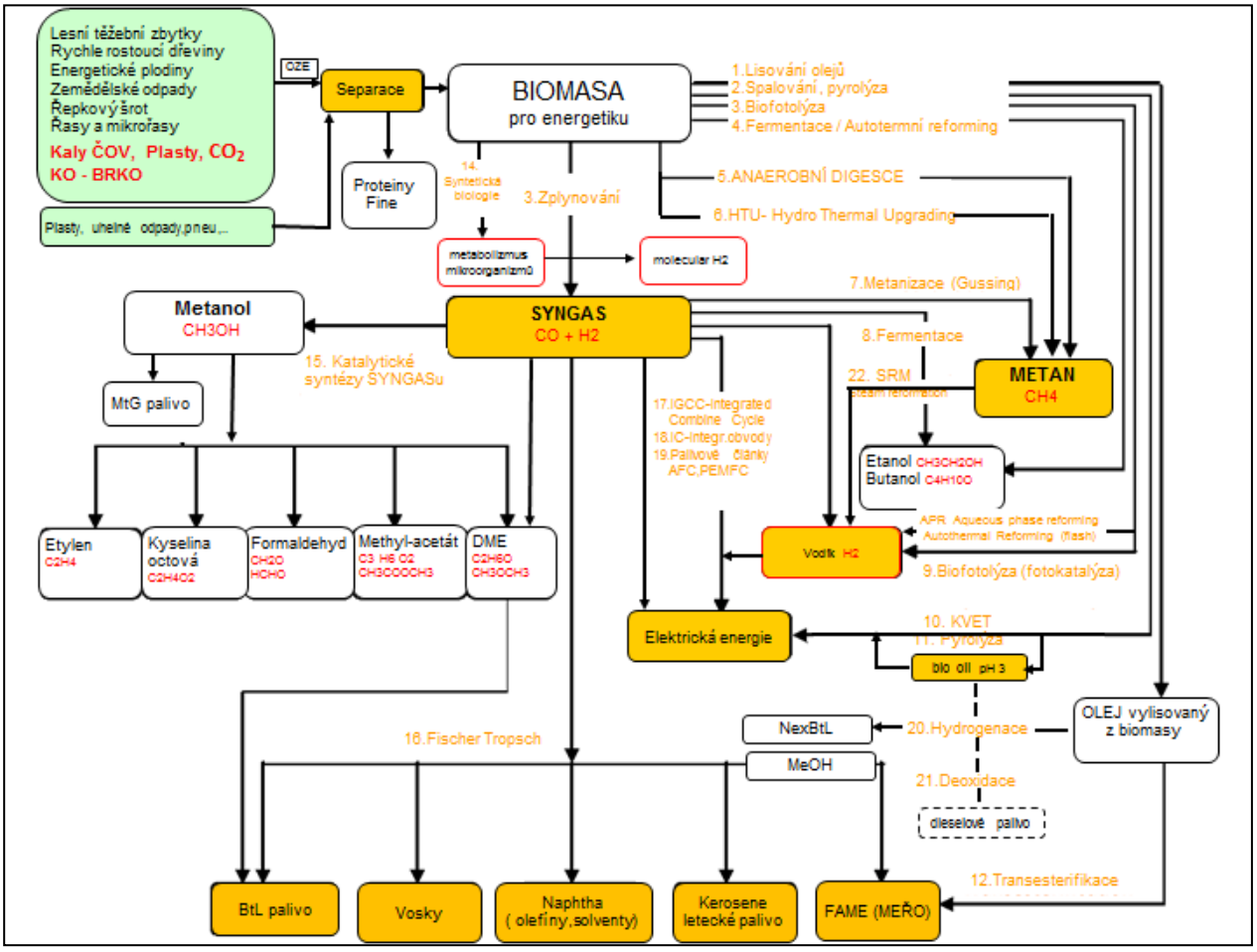
- obiloviny zajímají cca 50% zemědělské půdy a jedná se o kvantitativně dostatečně velká množství pro výrobu B2G
- Procesy enzymatického rozkladu a hydrolýzy pro biochemické zpracování na alkoholy vyžadují homogenní strukturu vstupní suroviny.

[12] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12597

[13] https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/global-relative-species-loss-due-first-generation-biofuel-production-transport-sector

[14] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001#d1e32-204-1

Reálně ale přichází v úvahu spíše regionální mix uhlovodíkových směsí (mix odpadů) s významnou složkou BRKO (organická složka KO), kaly z ČOV a lesní těžební zbytky, apod. Posiluje se tedy role transferu přes SYNGAS (zplynování biomasy) a následná syntéza na kapalné či plynná paliva.
Schéma (matrix) výrobních možností B2G znázorňuje chemicko-technologické možnosti výroby B2G:



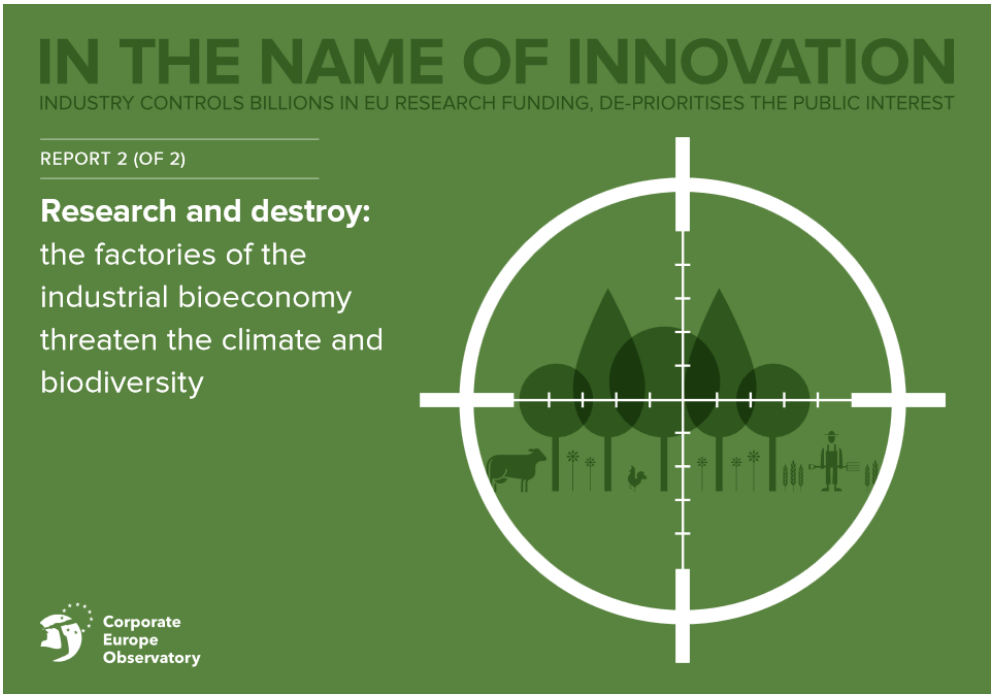
Matrix B2G jak ho definovala Česká technologická platforma biopaliv

Biomasa nebude hrát hlavní roli v procesech výroby B2G či dnes již spíše alternativních paliv. Za perspektivní zdroje je možné považovat čistírenské kaly, komunální odpady, plasty, a především CO2 jako zdroj pro CCU (Carbon capture and utilization) [15], které propaguje Asociace CO2 Value Evrope.

Navíc je velmi pravděpodobné, že v kaskádovitém sítu efektivního využití biomasy, tato nebude k dispozici, nebo bude disponibilní pouze lokálně a jen v omezené míře.

[15] https://www.co2value.eu/wp-content/uploads/2020/06/CVE-Position-Paper-CCU-In-RED-II-How-to-tap-into-the-full-potential-of-CO2-based-e-fuels.pdf

Corporate Europe Observatory (CEO) výzkumná skupina, která se snaží odhalit a zpochybnit privilegovaný přístup a vliv, kterého se těší korporace a jejich lobbistické skupiny při tvorbě politik EU vydala podrobnou analýzu projektů bio ekonomiky a BBI (Bio Based Industry),



Analýza se velmi podrobně zabývá investicemi EU do bioekonomiky a vyhodnocuje jejich efektivitu. Ta je v celkovém pohledu velmi tristní. V oblasti biopaliv česká ČTPB sleduje a vyhodnocuje všechny pilotní aktivity v oblasti B2G a v naprosté většině dochází ke shodnému hodnocení úspěšnosti/neúspěšnosti projektů B2G jak to uvádí studie.
Studie tvdí, že komise EU si je vědoma nízké efektivity BBI a i proto snižuje rozpočet a přejmenovává BBI na **Cirkular Bio-Based Europe** a upozorňuje, že intenzifikace využívání biomasy může ve skutečnosti urychlit klimatickou krizi a ničení biologické rozmanitosti jelikož v EU chybí analýza a regulace dopadů využívání biomasy na klima a biodiverzitu.
CEO je velmi kritická k aktivitám bio based industry a je v silném kontrastu s „bruselskou rétorikou“ optimizmu v oblasti bio based. Nicméně úroveň zpracování je na vysoké analytické úrovni. Také některá doporučení jako podpora aktivit SOC (soil organic carbon) či kaskádovité posuzování priorit nakládání s biomasou jako i další doporučení mají své opodstatnění.

Tento materiál by měl být varováním, aby nově vzniklé iniciativy **Cirkular Bio-Based Europe** Neopakovali chyby BBI.

[16] https://corporateeurope.org/sites/default/files/2020-05/BBI-report-final_0.pdf