

**Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze**

Katedra Ekologie



Bakalářská práce

**Základní metody trvale udržitelného zemědělství**

Bachelor thesis

**Basic Methods of Sustainable Agriculture**

Tomáš Selecký

Školitel: prof. RNDr. Vojtěch Jarošík, CSc

Praha 2010

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému školiteli, profesoru Vojtěchu Jarošíkovi, za jeho vedení a připomínky a také za to, že mi umožnil vypracovat toto téma.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je seznámit čtenáře se základními metodami hospodaření, používanými v trvale udržitelném zemědělství. Důraz bude kladen hlavně na ty metody, o kterých se domnívám, že hrají nejpodstatnější roli pro dosažení ekonomické profitability, ochrany životního prostředí a trvalé udržitelnosti. Mezi tyto metody jsem vybral rotaci plodin, systém redukované orby a polykultury. Tato práce by také měla nastínit, že je přechod z konvenčního, energeticky náročného zemědělství na ekologické nejenom důležité pro ochranu životního prostředí, ale také, že tento způsob pěstování plodin může být dokonce ekonomicky výhodnější. Na práci bych rád navázal při vypracovávání práce diplomové v navazujícím magisterském studiu oboru agroekologie na zemědělské univerzitě.

**Klíčová slova:** trvalá udržitelnost, ekologické zemědělství, půda, polykultura, biodiverzita, rotace plodin, humus, orba

## **Abstract**

Goal of this bachelor thesis is to familiarize readers with the basic methods of management, used in sustainable agriculture. Emphasis will be placed particularly on those methods that I consider to be the most important for achieving economic profitability, environmental protection and sustainability. Considering these methods, I have chosen crop rotation, reduced tillage system and polycultures. This paper should also suggest that transition from conventional, energetically intensive agriculture to the sustainable one is not only important for the environment protection, but that this method of crop production can be even economically advantageous as well. I would like to continue my work on this thesis during my master degree studies in specialization of agroecology at agronomic university.

**Key words:** sustainability, alternative agriculture, soil, polyculture, biodiversity, crop rotation, humus, tillage

# Obsah

Úvod.....	1
1. Rotace plodin .....	3
1.1 Vliv na výnos .....	3
1.2 Vliv na výskyt škůdců .....	4
1.3 Alelopatie .....	6
1.4. Vliv na půdní biodiverzitu .....	6
1.5 Leguminózy v osevním postupu.....	7
2. Redukce orby .....	9
2.1 Půda v udržitelném zemědělství .....	9
2.2 Vliv orby na půdní strukturu a organismy.....	9
2.3 Bezorebný systém .....	10
3. Polykultury .....	13
3.1 Důležitost diverzity .....	13
3.2. Příklady polykultur a jejich výhody oproti monokulturám .....	14
3.3 Agrolesnictví .....	16
4. Geneticky modifikované rostliny v potravinové produkci .....	19
Závěr .....	21
Přehled literatury .....	22

# Úvod

S tím, jak se lidská populace rychle rozrůstá, její vliv na životní prostředí se neustále stupňuje. Lidé ke svému životu potřebují dostatek orné půdy, která vzniká často na úkor lesů a jiných přírodních ekosystémů. Tím se zároveň snižuje množství útočišť pro organismy, které jsou na tyto ekosystémy vázané. Dalším problémem je, že moderní, energeticky náročné metody zemědělství způsobují silnou degradaci životního prostředí, která je způsobena únikem agrochemikálií do okolního prostředí a erozí půdy, která je značně urychlena v důsledku orby polí, při které dochází k zvětšování relativního povrchu půdy a narušení ochranné rostlinné vrstvy bránící erozi (Govers et al. 2006). S tím, jak dochází ke globalizaci lidské společnosti, jsou tyto způsoby zemědělství rychle rozšiřovány po celé planetě a tak se tyto problémy také stávají mezinárodně aktuálními. Millennium Ecosystem Assessment (2005), organizace zabývající se shromažďováním dat a hodnocením změn probíhajících v ekosystémech, zahrnující práce více než 1360 expertů, zmiňuje zemědělství jako jednu z hlavních příčin snižování biodiverzity a transformace přirozených stanovišť. Stále více lidí si uvědomuje tento problém a snaží se hledat řešení, jak přinejmenším zmírnit negativní dopad lidské civilizace na životní prostředí. Jednou z možností nápravy je pokusit se změnit způsoby zemědělství. V dnešní době jsou již vymyšleny a v praxi ověřeny metody produkce potravin, které jsou schopny nejen degradaci zemědělských ploch zastavit, ale dokonce je revitalizovat, použitím technik omezujících orbu, hnojiva i pesticidy. Místa zemědělské produkce, která využívají metody ekologického zemědělství, se tak dokonce mohou stát útočištěm pro řadu rozmanitých druhů živočichů, a tím se podílet na ochraně biodiverzity (Bengtsson et al. 2005).

Trvale udržitelné zemědělství je sice v novodobé historii mladý pojem, nicméně jeho metody vycházejí z praktik mnohých farmářů z rozvojových zemí, kteří jsou schopni dosáhnout vysoké produkce potravin, bez použití umělých hnojiv či pesticidů. Dalším zdrojem inspirace je příroda samotná. Přírodní systémy jsou trvale udržitelné, oplývají velkou biodiverzitou, poskytují bohatou produkci biomasy a přitom vzkvétají bez použití jakýchkoliv pesticidů, hnojiv, umělého zavlažování nebo jakéhokoliv jiného zásahu člověka. V případě ekologického zemědělství jde vlastně o znovu-oživení a zdokonalení již zapomenutých technik produkce potravy. V průběhu svého vývoje dostal tento typ zemědělství mnoho různých, vzájemně zaměnitelných jmen. Pojmy jako ekologické (ekozemědělství), biodynamické, extenzivní, přírodní, organické, trvale udržitelné či alternativní zemědělství představují podobný systém hospodaření a sledují stejné cíle (Pretty 2008). Snahou je snížit

energetické a materiálové vstupy a tedy zvýšit poměr výnosu na jednotu dodané energie. Dalším cílem je ochraňovat půdu a zvyšovat její úrodnost, protože kvalitní půda je základním prostředkem umožňujícím efektivní hospodaření. V neposlední řadě je také cílem udržovat vysokou diverzitu systému a využívat z ní vyplývající výhody jako je odolnost proti škůdcům, efektivnější využití živin a celkově vysoká stabilita systému.

# 1. Rotace plodin

Velmi jednoduchým a přesto velice efektivním způsobem jak docílit zlepšení výnosu plodin je metoda zvaná rotace plodin, případně také osevní postup. Principem je střídání plodin na jenom poli tak, že při pěstování po sobě vždy následují odlišné plodiny. Jako příklad lze uvést norfolkský osevní postup, kdy dochází k čtyřfázovému střídání plodin. Cyklus začíná řepou (okopanina), další rok se sází ječmen (ozimá plodina), potom jetel a na konec pšenice (jarní plodina). Řepa s jetelem se používaly jako krmivo pro dobytek a jetel zároveň obohatil půdu o dusík. Od zvířat se potom svážel hnůj zpátky a aplikoval se při pěstování řepy, která dobře snáší přímé hnojení. Tento systém byl vymyšlen už ve středověku a přinášel mnohem větší úrodu a efektivnější využití zdrojů než kontinuální pěstování (Wilkins 2008). Dnes se dají jako okopanina použít brambory, které také dobře snášejí přímé hnojení. Když Guimarães a Mourão (2006) provedli studii u domorodých brazilských farmářů za účelem zjistit, jakým způsobem bojují proti škůdcům, tak s překvapením zjistili, že jedním z hlavních metod je právě rotace plodin. Na rozdíl od kontinuální kultivace vykazují rotační systémy vyšší odolnost vůči nákazám a škůdcům, zlepšení fyzikálně-chemických a biologických vlastností půdy a vyšší odolnost proti zaplevelení (Guimarães a Mourão 2006, Alexander a Waldenmaier 2002). Když jsou do rotace zahrnuty bobovité rostliny, dochází také k obohacování půdy o dusík. Technika rotace plodin byla v historii hojně praktikována, nicméně s nástupem umělých hnojiv a pesticidů se od ní většinou odstoupilo.

## 1.1 Vliv na výnos

Když se pěstuje jedna plodina několik let za sebou na stejném místě, její výtěžky se každým rokem zmenšují a tento pokles se nedá zastavit dokonce ani přidávkem hnojiv a časem nevyhnutelně dojde k tomu, že se dané místo stane na několik let pro danou plodinu pustinou. Tento stav se označuje jako únava půdy (De Candolle 1832 podle Schreiner a Sullivan 1909). Ostatním druhům rostlin by však růst v takových místech většinou nečinil problém. Důvodem tohoto jevu může být specifický nedostatek živin, kdy je například rostlina náročná na určitý mikroprvek a tím, že je pěstována každoročně, se v půdě vytvoří jeho nedostatek. Může také dojít k tomu, že v půdě dojde k pomnožení škůdců. Mnoho rostlinných škůdců využívá posklizňových zbytků jako zdroj potravy a jako útočiště, kde vyčkává na příležitost napadnout novou úrodu. Protože jsou škůdci často specializovaní na specifický druh rostliny, vyplatí se opětovně zasít danou plodinu s několikaletým odstupem,

aby došlo k vyhladovění a usmrcení škůdce (Cook 2006). Důvodem půdní únavy může také být akumulace organických sloučenin, které vylučují rostliny pomocí kořenů do půdy. Tyto exudáty zabraňují růstu příbuzným rostlinám, a naopak mohou podporovat růst rostlin geneticky vzdálenějších (De Candolle 1832 podle Schreiner a Sullivan 1909).

Za účelem zjistit, jak silně pozitivní efekt na zvýšení výnosu bude mít použití metody osevního postupu při pěstování sóji, provedli Weaver et al. (1995) pokus, při kterém zároveň provedli porovnání efektivity několika systému hospodaření na půdě zamořené parazitickými hlísty napadajícími sóju. Porovnávaly se metody kontinuálního pěstování sóji, pěstování sóji po předplodině, kterou byl hybrid čiroku a súdánské trávy a metoda pěstování sóji na poli, které předtím leželo rok ladem. Zároveň se testoval a porovnával účinek pesticidu aldicarb na všechny systémy produkce. Z výsledků jejich výzkumu vyplývá, že nejefektivnějším z výše zmíněných způsobů kultivace je sója pěstovaná po předplodině hybrida čiroku. Tento systém produkce přinesl výtěžek vyšší průměrně o 111 kg/ha v porovnání se systémem, kdy byla sója pěstována po ročním úhoru. V porovnání se systémem kontinuálního pěstování byl tento výnos vyšší o 600 kg/ha. Použití pesticidu zvýšilo výnosy u všech systémů o 428 kg/ha. Když tedy porovnáme výnosy sóji, pěstované kontinuálně s použitím aldicarbu, s výnosy při použití techniky rotace plodin bez aldicarbu, zjistíme, že metoda osevního postupu byla výnosnější o 172 kg/ha. Z práce tedy zřetelně vyplývá výhodnost rotačního systému.

## 1.2 Vliv na výskyt škůdců

Pro zemědělce je jedním z velmi nepříjemných živočichů, parazitujících hlavně na bramborách a rajčatech, hlíst *Pratylenchus penetrans* (Cobb). Škody na rostlinách způsobuje dvojitým způsobem. Jednak svými požitky, ale také tím, že rostlinu učiní náchylnější k různým onemocněním. Tím, jak rostlinu napadne, ulehčí houbovým a bakteriálním onemocněním proniknout rostlinnými ochrannými bariérami (Abawi a Chen 1998 podle Alexander a Waldenmaier 2002). Hlísty parazitující na rostlinách je velice obtížné kontrolovat, protože jsou často skryti uvnitř kořenů samotných rostlin. Jakmile je rostlina infikována hlísty, možnosti ošetření jsou většinou velice omezené, a proto se uvažuje o zařazení rostlin odpuzujících hlísty do osevních postupů. Rostliny rodu marigold (*Tagetes spp.*) se ukazují být velice efektivní v rámci boje proti hlístům. Rostlina vylučuje do půdy výměšky, které úspěšně brání přemnožení a snižují hladinu výskytu rozmanitých druhů hlístů (Krueger et al. 2007).



Za účelem porovnat vliv jednotlivých předplodin na redukci výskytu parazitických hlístů a na výnos brambor, provedli Kimpinski et al. (2000) polní pokus. Zasázeli brambory na několika polích, která se lišila tím, co na nich bylo pěstováno minulý rok v monokultuře. Byla to sója, čtyři odrůdy marigoldu, červený jetel a několik dalších rostlin. Měřila se hustota výskytu parazitických hlístů na kořenech a výnos brambor. Studie přinesla zajímavé výsledky. Více než 95 % všech nalezených hlístů představoval druh *Pratylenchus penetrans*. Populační hustota těchto hlístů byla nejnižší při pěstování marigoldu jako předplodiny bez ohledu na jeho odrůdu. Nejvyšší hustota byla naopak naměřena u sóji a jetele. Výnos brambor byl o 14 % vyšší při pěstování po marigoldu než u ostatních předplodin. Podobný pokus byl proveden Alexanderem a Waldenmaierem (2002). Tři roky trvající studie prokázala, že s použitím marigoldu jako předplodiny pro brambory a rajčata, dojde k redukci populační hustoty hlísta *P. penetrans* o 93 % u brambor a 98 % u rajčat. Mnoho jiných rostlin má podobný efekt. Z rostlin čeledi brukvovitých, jako je třeba řepka, brokolice nebo hořčice, které jsou bohaté na sirné metabolity, se podařilo získat extrakty, které také odpuzují hlísty (Cox et al. 2006). Je však třeba podotknout, že nejenom hlísty, ale i mnoho dalších škůdců je možno kontrolovat a udržovat pod prahem ekonomické škodlivosti pomocí rotačního principu. Příkladem může být využití řepky olejky v osevním postupu jako předplodiny pro pšenici. Tímto opatřením je možno se s úspěchem bránit proti onemocnění pšenice, způsobené houbou *Gaeumannomyces graminis* (Arx a Olivier) (Cunfer et al. 2006). Použitím techniky rotace plodin sice nedojde k úplnému vyhubení škůdce, ale o to ani v trvale udržitelných systémech nejde. Jde o to udržovat agroekosystém v rovnováze a zabraňovat takovému výskytu jednotlivých škůdců, který by znamenal překročení ekonomického prahu škodlivosti. Pokud je hustota škůdce pod tímto prahem, nevyplatí se proti němu zasahovat, protože by finanční prostředky, potřebné na jeho kontrolu, převýšily hodnotu škody, kterou by mohl způsobit. Navíc, přirozená hladina výskytu škůdce zajistí přežití jeho predátorům, a tak dokonce může být žádoucí a důležitá pro zajištění stability systému.

Je tedy zřejmé, že s využíváním osevních postupů je možné redukovat množství používaných pesticidů, a přesto udržet vysokou produktivitu systému. To může hrát velmi významnou roli v rámci ochrany životního prostředí, když vezmeme v úvahu negativní dopady spojené s používáním těchto látek. S nástupem Zelené Revoluce, kdy došlo ke globální intenzifikaci zemědělství, se používání pesticidů stalo běžnou součástí produkce potravin. Za posledních 40 let vzrostlo množství používaných pesticidů třikrát (Fox et al. 2007). Z moderních výzkumů však jasně vyplývají četná rizika spojená s jejich aplikací. Například atrazin, nejhojněji používaný pesticid v USA, pronikl do tamějšího životního

prostředí tak důkladně, že je možné nalézt jeho stopy téměř všude, dokonce i ve srážkové vodě (Hayes et al. 2007). Má hormonům podobné účinky a obzvláště znepokojující může být fakt, že je schopný silně narušovat endokrinní rovnováhu obojživelníků již při mizivé koncentraci 0.1 ppb (Hayes et al. 2007). Další pesticidy jsou zase podezřelé z toho, že jsou schopny vyvolat u lidí rakovinu, nebo že narušují symbiotické vztahy mezi bobovitými rostlinami a bakteriemi vázajícími dusík (Bassil 2007, Fox 2007).

### **1.3. Alelopatie**

Je zřejmé, že k tomu, aby byla dosažena vysoká efektivita produkce, je třeba důkladně zvážit výběr specifických předplodin a jejich vzájemnou následnost. Každá rostlina má specifický vliv a účinek na své okolní prostředí a dokonce i změna pořadí rostlin v osevním postupu může přinést velmi odlišné výsledky (Larkin a Honeycutt 2005). Rostliny pěstované po sobě v pěstebním cyklu se ne vždy musí dobře snášet a může dojít i k jevu negativnímu, kdy se navzájem potlačují. Jako příklad lze uvést inhibiční vliv ořešáku černého (*Juglans nigra* L) na okolní rostliny, popsany dokonce už římským přírodopiscem a filozofem Pliniem (Macias et al. 2003). Rostliny vylučují různými částmi svého těla do svého okolí množství chemických látek, kterými komunikují s okolím. Vzájemné interakce rostlin a mikroorganismů prostřednictvím metabolitů, ať už pozitivní či negativní, bývají označovány jako alelopatie (Halbrendt 1996). Zkoumání takovýchto interakcí hraje velice významnou roli v procesu hledání nových alternativních způsobů pěstování plodin, protože se takové znalosti dají využít nejen k stimulaci nebo inhibici růstu plodin a plevelů, ale také k ochraně proti škůdcům a celkovému zvýšení efektivity hospodaření (Macias et al. 2003, Halbrendt 1996). Přestože se tato oblast výzkumu rychle rozvíjí, ještě stále zatím zůstává málo probádaná a celá řada interakcí rostlin mezi sebou navzájem a k jiným druhům organismů zůstává doposud skryta, nebo je předmětem intenzivních studií.

### **1.4. Vliv na půdní biodiverzitu**

To, že se rostliny střídají v osevním postupu, napomáhá nejen k udržování škůdců pod kontrolou, ale také k zajištění vysoké půdní biodiverzity. Když Larkin a Honeycutt (2005) zkoumali vliv různých tříletých osevních postupů a kontinuálního pěstování brambor na početnost a rozmanitost půdních mikroorganismů, zjistili, že všechny formy rotace plodin

byly spojeny s vyšší mikrobiální aktivitou a populační hustotou, než byla zjištěna u kontinuálního pěstování. Rotační systémy snížily procento výskytu houbovitého onemocnění brambor (*Rhizoctonia solani* Kiihn) a dále přinášely vyšší úrodnost a bohatost půdního substrátu. Tato studie jasně demonstrovala schopnost jednotlivých osevních postupů specificky ovlivnit, v závislosti na pořadí a typu zahrnutých plodin, složení mikrobiálního půdního společenství a její spojitost se zdravím rostlin a produktivitou systému (Larkin a Honeycutt 2005). Tím, že každým rokem dojde ke změně pěstované plodiny, zabrání se přílišnému nahromadění jednoho typu alelochemikálií v půdě, které by způsobilo nerovnováhu v početnosti půdních organismů. Při kontinuálním pěstování brambor došlo přednostně k množení hub rodu *Penicillium*, zatímco populace ostatních druhů sledovaných mikroorganismů byly zřetelně potlačeny (Larkin a Honeycutt 2005).

### 1.5 Leguminózy v osevním postupu

Jedním z hlavních principů ekologického zemědělství je snižovat energetické vstupy do systému. Na výrobu, přepravu a aplikaci umělých hnojiv se každoročně vynaloží obrovské finanční prostředky. K tomu je však třeba ještě započítat externality, jako jsou škody způsobené na životním prostředí. Po aplikaci hnojiv, následované prudkými dešti, totiž často dochází k povrchovému smyvu z pole do vodních toků, kde tím dochází k eutrofizaci, následované rychlým pomnožením sinic. Aktivní mikrobi, rozkládající odumřelá těla sinic, potom zapříčiní vyčerpání ve vodě rozpuštěného kyslíku a následuje úhyn mnoha vodních organismů. Za účelem zjistit, jaký efekt bude mít dlouhodobé používání dusíkatých hnojiv na půdní organismy, provedli Potter et al (1985) pokus, při kterém po sedm let testovali vliv různých hladin dusičnanu amonného, jakožto jednoho z nejběžněji používaných dusíkatých hnojiv, na populační hustotu žížal a jiných bezobratlých živočichů. Zároveň se testoval i jeho vliv na změnu pH půdy. Vliv dusičnanu amonného byl testovaný při aplikaci šesti různých koncentrací, odpovídající 0, 5, 10, 15, 20 a 25 g N/m<sup>2</sup> za rok. Z výsledku jejich studie jasně vyplynulo, že se zvyšující se koncentrací aplikovaného dusičnanu došlo k významnému lineárnímu poklesu pH půdy. Hustota a celková biomasa žížal klesala také dosti významně. Při použití nejvyšší dávky dusičnanu došlo až k 66% redukci jejich populace (Potter et al. 1985). Přesto je však dusík jednou ze základních a nejvíce potřebných živin pro zdravý růst a vývoj rostlin, a proto se v udržitelném zemědělství hledají alternativní postupy, které by vedly k obohacování půdy o tento prvek.

Velmi efektivní řešení tohoto problému nabízí zařazení bobovitých plodin do osevního postupu. Tyto rostliny žijí v symbióze s hlízkovými bakteriemi rodu *Rhizobium*, které jsou schopné vázat atmosférický dusík, a představují proto účinný způsob jak zvýšit úrodnost půdy. Rochester et al. (1998) zkoumali, jaké množství dusíku jsou bobovité rostliny schopny v průběhu svého růstu zachytit. Porovnávalo se několik různých druhů rostlin. Například bob obecný v průměru fixoval 177 kg N/ha. Naměřené hodnoty se však pohybovaly v rozmezí od 10 do 350 kg N/ha. U jetele bylo naměřeno v průměru 118 kg N/ha, v rozmezí od 75–247 kg N/ha. Sója si vedla nejlépe s průměrnou hodnotou 371 kg N/ha a rozmezím 246–488 kg N/ha. Burský ořech zachytil v průměru 273 kg N/ha s rozptylem 258–288 kg N/ha. Z výsledků vyplývá jasná nekonzistentnost fixace. Je to proto, že fixace dusíku je složitý děj, závislý na mnoha faktorech. Pro zdárnou fixaci je nutná úspěšná kolonizace rostlinných kořenů zmíněnými bakteriemi. Jedním z hlavních činitelů, rozhodujících o úspěšné kolonizaci je nejspíše způsob kultivace, přičemž orba se ukázala mít velmi negativní dopad na populace *Rhizobií* (Coventry a Hirth 2003). O tom, kolik dusíku rostlina nakonec poskytne do půdy, rozhoduje pochopitelně také její sklizňový index, tedy poměr hmotnosti sklizené části k celkové hmotnosti rostliny. U rostlin, u kterých dochází ke sklizni, jako je sója a burský ořech, je tak třeba odečíst dusík obsažený ve sklizeném produktu. Bylo naměřeno, že pro obě plodiny to bylo v průměru 110 kg N/ha (Rochester et al. 1998). Je tedy vidět, že i přesto, že dojde ke sklizni, mohou být leguminózy vhodným zdrojem půdního dusíku a jejich zařazení do osevního postupu může vést k významné redukci používaných umělých hnojiv.

## 2. Redukce orby

### 2.1 Půda v udržitelném zemědělství

Starost a péče o půdu je v ekologickém zemědělství centrálním bodem veškerého hospodaření. Důvodem je to, že na kvalitě půdy, na jejím minerálním a mikrobiálním složení, struktuře a schopnosti vstřebávat vodu a vzduch závisí to, kolik plodin se vypěstuje a jak budou zdravé a odolné vůči nepříznivým vlivům počasí a k útokům škůdců. Zdravá půda by měla poskytovat vhodné podmínky k životu rozmanitým půdním organismům, kteří jsou hlavním indikátorem půdní úrodnosti. Půda hostí obrovské množství rozmanitých druhů živočichů, kteří svými životními projevy příznivě ovlivňují půdní vlastnosti. Půdní mikroorganismy mají zásadní úlohu v degradaci odumřelých rostlinných a živočišných těl a zásadní měrou se podílejí na koloběhu živin. Řada půdních bakterií se podílí na vázání vzdušného dusíku. Mykorhizní houby žijí v symbióze s řadou rostlin a umožňují jim efektivněji vstřebávat vodu a živiny. Bezobratlí živočichové, tím jak se v půdě pohybují, se podílejí na kypření půdy a promíchávání jejích vrstev. Nezanedbatelnou funkci plní půdní organismy také při vytváření půdní struktury. Například arbuskulárně mykorhizní houby vylučují do svého okolí glykoprotein glomalin a další jemu podobné proteiny, kterými slepují půdní částice do drobných agregátů a tím velmi kladně ovlivňují vlastnosti půdy (Rillig 2004, Rillig a Mummey 2006). Tím, že je půda ve formě kompaktních agregátů, je mnohem méně náchylná k vytvoření půdního škraloupu a k erozi. Mezi těmito agregáty zároveň vznikají mezery, kterými může do půdy snadno pronikat vzduch, voda i kořeny rostlin. Protože mají půdní organismy tolik klíčových funkcí, je jejich ochrana velice důležitou součástí efektivního hospodaření.

### 2.2 Vliv orby na půdní strukturu a organismy

Při konvenčním zemědělství se orbou rozrušuje vrchní vrstva půdy do hloubky přibližně 20-30 cm, aby došlo k redukci plevele, rozrušení půdního škraloupu, promísení půdních vrstev a obohacení půdy o vzduch. Toto počínání však zároveň přináší mnoho negativních jevů. Tím, jak je povrchová vrstva organických zbytků převrácena, je půda náchylnější k větrné a vodní erozi. Rozrušením struktury půdy dochází současně k rozbití ustálených vrstev v půdě a následnému snížení diverzity půdního prostředí, které koreluje s diverzitou mikroorganismů. Takováto redukce biodiverzity má negativní dopady na koloběh živin a na

udržování rovnováhy v půdním ekosystému (Hendrix et al. 1990 podle Altieri 1999). Výzkum provedený Wrightem et al. (1999) také ukázal, že intenzivní kultivace půdy spojená s orbou způsobuje poškozování půdní struktury tím, že snižuje výskyt glykoproteinu glomalinu v půdě a způsobuje tak snižování celistvosti půdních agregátů. Zajímavé výsledky přinesl také experiment Eriksen-Hamelové et al. (2009). Zkoumaly se tři různé typy orby při pěstování kukuřice a jejich vliv na výskyt žížal. Zkoumané způsoby představovaly konvenční orbu, pronikající do hloubky 30 cm, redukovanou orbu do hloubky 10 cm a posledním typem byl bezorebný systém, který nevyužívá orby vůbec. Není velkým překvapením, že nejvyšší hustota žížal byla zaznamenána při systému nevyužívajícího orby, kdy nedochází k fyzické ujmě žížal způsobené těžkou technikou a ani k narušování jejich podzemních chodeb (Eriksen-Hamel et al. 2009). Žížaly hrají velmi významnou roli při recyklaci živin a udržování přirozené půdní struktury a úrodnosti (Kooch et al. 2008). Tím, že dojde k redukcí jejich počtu, potřeba dodávat energetické vstupy v podobě hnojiv a orby značně vzroste. Při pokusu, kdy se hodnotil vliv žížal na množství mikrobiálně vázaného a minerálního ( $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) dusíku v půdě se zjistilo, že se zvyšující se hustotou populace žížal se také lineárně zvyšovala zásoba obou dvou zdrojů dusíku v půdě (Eriksen-Hamel a Whalen 2007). Orba také negativně ovlivňuje populace bakteriálních vazačů atmosférického dusíku, *Rhizobii* (Coventry a Hirth 2003). Tím, že dojde k redukcí jejich populace, je schopnost bobovitých rostlin obohacovat půdu o dusík značně omezena.

### 2.3. Bezorebný systém

Protože půdní společenstvo zastává tolik důležitých funkcí v agroekosystému, a proto, že orba toto společenstvo narušuje a negativně ovlivňuje, je v ekologickém zemědělství snahou orbu omezit, nebo ji dokonce úplně vyloučit. Jednou z hlavních výhod orby je to, že umožňuje efektivně potlačovat plevel. Boj s plevelem představuje nejspíš největší výzvu při zavádění systému nevyužívajícího orby. Často se tento problém řeší použitím různých druhů herbicidů, a proto jsou počátky bezorebného systému spojovány s počátkem výroby herbicidů v padesátých letech 20. století (Triplett a Dick 2008). Nicméně s tím, jak se postupně herbicidy ukazují být škodlivé pro životní prostředí i pro zdraví lidí (Kogevinas et al. 1997), hledají se alternativní postupy, které by přítomnost plevelu redukovaly bez použití agrochemikálií. Při bezorebném systému jsou rostliny sázeny přímo do posklizňových zbytků předchozí plodiny, tedy do nekultivované půdy. K zabránění prorůstání plevelu se využívá

mulčování a krycích plodin, které vytvoří ochrannou vrstvu na povrchu půdy. Jako mulč se používají nevyužité posklizňové zbytky plodin, kterými se pokryje pole. Krycí plodiny rostou jako podsev pod hlavní plodinou. Fisk et al. (2001) provedli pokus, který měl zjistit, jestli je možno s pomocí krycích plodin opravdu efektivně bojovat s plevelem při využívání systému bez orby. V dvouleté studii testovali vliv vojtěšky a jetele, zasetých do posklizňových zbytků pšenice, na redukci sušinné hmotnosti a hustoty plevelů při pěstování kukuřice, která po pšenici následovala v osevním postupu. Obě dvě plodiny se při tom ukázaly být vysoce efektivním nástrojem k potlačení plevelů. Hmotnost sušiny ozimých jednoletých plevelů byla potlačena až o 80 % v porovnání se systémem bez krycích plodin. U letních jednoletých plevelů došlo k redukci až o 70 % a u vytrvalých plevelů došlo k redukci sušiny až o 75 %. Je tedy zřejmé, že zařazením krycích plodin do bezorebného systému kultivace je možné se plevelům bránit se značným úspěchem, a je tedy možné významně omezit nebo dokonce úplně vyloučit nutnost aplikace herbicidů.

Schopnost krycích plodin redukovat plevel je zapříčiněna kombinací několika různých faktorů. Krycí plodina zabráni průniku světla k plevelům, a tak je vlastně připraví o zdroj energie. Zároveň soutěží s plevelem o vláhu a živiny a neumožňuje jim tak ve společenstvu převládnout. Krycí plodiny mohou také bránit plevelům v růstu vylučováním inhibičních metabolitů (Macias et al. 2003). Aby si hlavní plodina s krycí vzájemně nekonkurovaly a neomezovaly se, je třeba dobře zvážit jejich kombinaci. Výhodné je zvolit rostliny kořenící v různých hloubkách půdy, aby nesoutěžily o vláhu a živiny. Kvůli využití světla je dobré kombinovat rostliny vysoké a řídké sázené, s rostlinami nízkými a setými nahusto, aby dopadal dostatek světla na obě plodiny. Příkladem může být kukuřice s jetelem ve výše zmíněné studii. K omezení světelné konkurence je také možné kombinovat rostliny světlomilné se stínomilnými. Zvýšenou pozornost je také třeba věnovat vzájemnému alelochemickému působení jednotlivých plodin, aby nedocházelo k jejich vzájemné inhibici.

Při kultivaci bez využití orby je snahou udržovat povrch půdy neustále pokrytý, což přináší řadu výhod. Půda je chráněna před větrnou i vodní erozí. Sluneční paprsky ochrannou vrstvou také projdou jen stěží, takže je omezen i růst plevelu (Triplett a Dick 2008). Dochází také k lepšímu zadržování vody, protože povrchová krycí vrstva zabraňuje jejímu odpařování vlivem větru a slunečních paprsků. Rozkládající se mulč poskytne rostlinám živiny a když se zvolí jako krycí plodina leguminóza, dojde ještě k obohacení půdy o dusík. Systém bez orby je v porovnání s konvenční orbou šetrnější k půdním organismům, nenarušuje život žížal a podhoubí mykorhizních hub, protože nechává vrchní vrstvu půdy, kde se vyskytuje největší množství živých organismů, neporušenou. Nedochází k degradaci kompaktní struktury

půdních agregátů, což umožňuje efektivní průnik vody, vzduchu a kořenů rostlin do půdy (Grandy et al. 2006, Awodun 2007). Protože je snížena četnost přejezdů těžké techniky přes pole, nedochází k tak intenzivnímu zhutňování půdy, které má neblahý vliv na úrodu a vodní režim půdy (Nelson et al. 1975). Zabraňuje se přílišnému vysoušení půdy, protože je půda kryta organickým materiálem a také tím, že není zorána a její styčná plocha se vzduchem je tak menší. V porovnání s konvenčním systémem je v půdě také vyšší obsah živin a organické hmoty (Arshad et al. 1990, Awodun 2007).

Za účelem porovnat energetickou náročnost, pracovní náročnost a výnosy plodin u konvenčního způsobu orby a u bezorebného systému, provedl Košutič et al. (2005) velmi zajímavý polní experiment. Hodnotil se vliv těchto systémů na výnosy kukuřice, pšenice a sóji. K měření energetické náročnosti obou systémů se zaznamenávala spotřeba pohonných hmot traktoru. Pracovní náročnost se určila měřením času, nutnému k dokončení kultivačního procesu a výnos se měřil vážením zrn jednotlivých plodin. Z výsledků pokusu vyplynulo, že ve srovnání s konvenčním systémem, bezorebný systém spotřeboval o 85 % méně energie a o 76-78 % méně pracovních sil. Výnosy přitom byly velmi podobné a rozdíly mezi nimi statisticky bezvýznamné. Experiment byl proveden v Chorvatsku a je jasné, že výsledky se vlivem rozdílných klimatických podmínek budou v různých částech světa lišit, přesto ale tento experiment jasně dokazuje, že zavedení bezorebného systému do praxe může být pro zemědělce ekonomicky daleko přijatelnější a výhodnější než konvenční orba. Ušetřené peníze za mnohonásobně nižší energetické a pracovní požadavky lehce vynahradí i případný nižší výnos. Navíc, když se ještě zahrne fakt, že je bezorebný systém mnohem šetrnější k půdním organismům a zabraňuje půdní erozi, a je proto do budoucna více udržitelným, není divu, že dochází velice rychle k jeho osvojování všude ve světě. Jenom ve Spojených Státech v roce 2008 zaujímaly plochy, kde se praktikoval tento systém, 23 % z celkové zemědělsky obdělávané půdy (Triplett a Dick 2008).

Domnívám se, že se tento systém kultivace bez orby velmi rychle rozšíří po celém světě a umožní velmi razantně redukovat množství energetických a materiálových vstupů, které dnes do procesů spojených se zemědělstvím putují. Tím, že se zavedením tohoto systému zároveň silně sníží vliv větrné i vodní eroze na zemědělské plochy, dojde také k značnému posunu rostlinné produkce směrem k trvalé udržitelnosti.



## 3. Polykultury

### 3.1 Důležitost diverzity

V alternativním zemědělství hraje vysoká diverzita, biologická i environmentální, velice významnou roli, protože zabezpečuje systému odolnost, pružnost a stabilitu (Tilman et al. 2006). Polykultura znamená pěstování dvou a více různých druhů rostlin na jednom místě. Plodiny mohou růst navzájem promíseny, nebo odděleně tak, že tvoří souběžné pásy či aleje. Mohou být odděleny také časově například tak, že jedna následuje druhou, nebo že při dozrávání první se zaseje druhá. Výše zmíněné systémy rotace plodin a krycích plodin jsou vlastně také příkladem polykultury. Na rozdíl od monokultury, kdy celou plochu pole tvoří jeden druh plodiny, přináší polykultura pro pěstitele řadu výhod. Když se na poli vyskytuje mnoho různých druhů rostlin, vzniká tak zároveň velká diverzita různých útočišť, úkrytů a stanovišť, která lákají rozmanité spektrum živočichů, jako jsou různé druhy půdních organismů, které se podílejí na zlepšování půdní struktury a jejích fyzikálních vlastnostech, a tím zvyšují její úrodnost a také odolnost plodin proti škůdcům (Larkin a Honeycutt 2005). Dále jsou lákány různé druhy opylovačů a živočichů, kteří mohou působit jako predátoři na případné škůdce, u nichž tím v polykultuře dochází k přemnožení jen velmi zřídka. K tomu, aby se výrazně zvýšila odolnost systému před patogeny, může stačit i pěstování různých odrůd jednoho druhu plodiny. Jako příklad lze uvést polní pokus s rýží uskutečněný v Číně. Zhu et al. (2000) porovnávali, jaký vliv bude mít kombinované pěstování dvou různých odrůd rýže na celkový výnos a na výskyt houby *Magnaporthe grisea* (Herbert), která je nejrozšířenějším patogenem rýže, způsobujícím vznik devastujícího plísňového onemocnění. Pokus přinesl velice zajímavé výsledky. Tím, že se pěstovaly dvě odrůdy rýže místo jedné, došlo k redukci výskytu této houbovité choroby o neuvěřitelných 94 %. Výnos rýže přitom byl o 89 % větší. Jednou z hlavních příčin této zvýšené odolnosti je vyšší genetická variabilita rostlin, která zabraňuje kalamitnímu rozšíření škůdce, protože tomu už tak nestačí adaptovat se pouze na jeden specifický rostlinný genotyp. Další příčinou mohou být změněné mikroklimatické podmínky, jako je teplota, vlhkost a světelné podmínky, způsobené rozdílným vzrůstem jednotlivých odrůd, které jsou pro život plísně méně příznivé. Systém byl tak úspěšný, že zemědělcům umožnil úplně přestat s používáním fungicidů.

V monokultuře jsou rostliny velmi náchylné k přemnožení škůdců s katastrofálními důsledky také proto, že pro škůdce tyto rostliny představují téměř neomezený zdroj potravy. Celková úroda je také náchylnější k rozmarům počasí, protože jedna negativní událost může

zničit všechny rostliny zároveň. Naopak u polykultury, když dojde k podobné události, je šance, že některé druhy rostlin přežijí. Tím, že se pěstují rozmanité druhy rostlin s různou odolností k specifickým extrémům počasí, dochází k rozložení rizika a pěstitel tak má často alespoň část úrody zajištěnu a může tak kompenzovat případné ztráty. Je tedy vidět, že i malá změna směřující ve prospěch vyšší diverzity může vést k velice razantnímu zvýšení produkce agroekosystému. Tím, že má systém vysokou druhovou rozmanitost, dochází k zajištění základních seberegulačních mechanismů, které umožňují snížit přísun dodávaných vstupů v podobě pesticidů, hnojiv nebo orby a umožňují tak zvýšit ekonomickou efektivitu produkce potravin a snížit její negativní dopad na životní prostředí (Altiery 1999).

### **3.2. Příklady polykultur a jejich výhody oproti monokulturám**

Protože se při nevhodné kombinaci plodin může také z různých důvodů stát, že dojde ke snížení efektivity polykulturní produkce v porovnání s monokulturním systémem, vznikl za účelem ohodnotit a porovnat účinnosti jednotlivých metod hospodaření systém LER (land equivalent ratio). LER vlastně slouží k měření pozitivních a negativních interakcí plodin a matematicky vyjadřuje míru efektivity daného specifického polykulturního systému. K výpočtu LER je třeba vydělit výnos plodiny pěstované v polykultuře výnosem té samé plodiny pěstované v monokultuře a k výsledku přičíst stejný poměr výnosů druhé plodiny, případně dalších, v závislosti na tom, kolik plodin je v polykultuře pěstováno. Příklad výpočtu LER pro smyšlený polykulturní systém obsahující tři různé plodiny je znázorněn v tabulce 1. Pro hodnoty LER vyšší než 1,0 je souběžné pěstování plodin výhodné, pokud je LER menší než 1,0, je naopak pěstování plodin v polykultuře nevýhodné. Při hodnotě  $LER = 2$  je polykultura dvakrát více produktivní než jednotlivé monokultury dohromady a k produkci stejného množství plodin tedy stačí poloviční plocha zemědělské půdy (Kantor 1999).

Tabulka 1 – Příklad výpočtu hodnoty LER (land equivalent ratio) pro smyšlenou polykulturu, složenou ze tří různých plodin.

	<b>Výnos v polykultuře (t/ha)</b>	<b>Výnos v monokultuře (t/ha)</b>	<b>Dílčí LER</b>
<b>Plodina A</b>	6,6	6	$6,6/6 = 1,1$
<b>Plodina B</b>	10	20	$10/20 = 0,5$
<b>Plodina C</b>	1	2,5	$1/2,5 = 0,4$
<b>Celkový LER</b>	—	—	$1,1 + 0,5 + 0,4 = 2$

To, že může být velice výhodné a efektivní pěstovat více plodin současně, názorně dokazuje polní experiment, který uskutečnil Li et al. (2009) na 15,302 hektarech půdy v provincii Yunnan v Číně. Předmětem studie bylo porovnat monokulturní pěstování tabáku, kukuřice, cukrové třtiny, brambor, pšenice a fazolu s pěstováním těchto plodin v různých kombinacích v polykultuře. Aby se dala úroda efektivně sklízet pomocí zemědělské techniky, byly polykultury pěstovány ve formě souběžných střídavých monokulturních pásů. Když se pěstoval tabák současně s kukuřicí, ukázalo se, že na jednotku plochy byly výnosy tabáku srovnatelné s monokulturou. Avšak tím, že se pěstoval v polykultuře, mohl si farmář ke svému výnosu ještě započítat sklizeň kukuřice, která dosahovala hodnoty 85 % monokulturní produkce. Hodnota LER tedy dosahovala hodnoty 1,85. Navíc, výskyt kukuřičné spály, choroby, kterou způsobuje houba *Exserohilum turcicum* (Luttrell), byla v porovnání s monokulturou redukována o 19 %. Když se pěstovala cukrová třtina spolu s kukuřicí, výsledky byly podobné. Výnos cukrové třtiny byl v monokultuře i polykultuře srovnatelný, zato v polykultuře dozrála ještě kukuřice o výnosu odpovídajícímu 64 % kontrolní monokulturní produkce. Hodnota LER byla tedy 1,64. Kukuřičná plíseň byla v tomto případě redukována dokonce až o 56 %. Souběžné pěstování fazolu a pšenice bylo také výhodné. Pšenice dávala v polykultuře výnos stejný jako v monokultuře a fazol přinesl 34 % monokulturního výnosu. Hodnota LER pro tento systém tedy činila 1,34. Bobová plíseň, jejímž původcem je houba *Botrytis fabae* (Sardiña), byla redukována o 33 %. Hlavní příčinou, která způsobila omezení této choroby, byl pravděpodobně způsob výsevu plodin, kdy řady rostlin fazolu byly odděleny řadami rostlin pšenice, což značně omezilo rychlost přenosu

parazitické houby (Li et al. 2009). Poslední a zdaleka nejefektivnější kombinací bylo souběžné pěstování brambor a kukuřice. Kombinací vysokých rostlin kukuřice a nízkých rostlin bramboru došlo k velmi účinnému využití daného prostoru. Výnosy kukuřice byly oproti monokultuře vyšší o 47 %. U brambor byl výnos v polykultuře vyšší o 20 %. Výsledná hodnota LER tedy dosahovala úctyhodné hodnoty 2,67. To tedy znamená, že současným pěstováním brambor a kukuřice se efektivita produkce zvýšila více než dva a půl krát. Výskyt plísně bramborové, způsobené oomycetou *Phytophthora infestans* (Mont.), patogenem zodpovědným za hladomor v Irsku v 18. století, byl přitom redukován o 39 %. Kukuřičná spála byla v porovnání s monokulturou redukována o 30 %.

Tímto rozsáhlým polním pokusem bylo názorně předvedeno, že souběžná kultivace několika rostlin na jednom místě může pro pěstitele přinést řadu výhod. Pěstováním odlišných rostlin dojde k lepšímu využití zdrojů na daném stanovišti, protože různé rostliny mají různě hluboký kořenový systém a tak využívají vláhu z různých půdních hloubek. Mají také odlišné požadavky na množství jednotlivých živin a jejich vzájemný poměr. Rostliny jsou dále různě vysoké, což způsobuje lepší vzduchovou prostupnost vedoucí k omezení vlhkosti a plísní. Mají odlišné nároky na světlo, takže jejich vhodnou kombinací lze světelné podmínky optimálně využít. Výsledkem polykulturního pěstování jsou potom výrazně vyšší výnosy a nižší náchylnost k nemocem než je běžné u monokultur. Zatímco monokulturní pěstování je náročné na energetické vstupy, polykulturní systém je náročný na design a znalosti. Je nutné znát alelopatické působení rostlin, aby nedocházelo k vzájemné inhibici plodin. Tím, že je na jedné ploše více rostlinných druhů, je také obtížnější plošně aplikovat rostlinné dodatky, které se pro jednotlivé plodiny v polykultuře mohou značně lišit.

### 3.3 Agrolesnictví

Jednou z dalších forem polykulturního systému pěstování rostlin může představovat agrolesnictví. Při tomto způsobu hospodaření dochází k současnému pěstování běžných polních plodin společně se stromy či keři, které mají v těchto systémech roli nejenom produkční, ale dále také mnoho funkcí mimoprodukčních. Stromy mohou být zdrojem jídla, kdy poskytují rozmanité druhy plodin, jako jsou ovoce a ořechy. Obzvláště v tropických a subtropických oblastech světa mají plody stromů, jako jsou banány, citrusy, kakao nebo káva, velmi velký význam při zajišťování výděleku nebo potravy pro tamější populaci. Dalším významným produktem stromů je samozřejmě dřevo, využívané jako konstrukční materiál

nebo jako palivo. Mohou být také pěstovány jako zdroje významných léčiv či koření. Tím, že se stromy pěstují společně s polními plodinami, stává se zemědělcova produkce mnohem bohatší a stabilnější. Mnoho stromů a keřů navíc představuje bohatý zdroj kvalitní píce pro hospodářská zvířata, která tím omezí pastvu, takže si chovatel vystačí s menšími pozemky travních porostů a případně i ušetří peníze za kupovaná krmiva. Pro zvířata navíc mohou stromy sloužit jako útočiště před prudkým sluncem nebo deštěm. Pěstování stromů dále pomáhá ochraňovat biodiverzitu, protože mnoho různých druhů živočichů je na nich svým životním stylem vázaná. Vysoká biodiverzita agroekosystému zase přispívá k posílení jeho seberegulačních schopností a vede k nižší závislosti na vnějších energetických vstupech (Altiery 1999). Stromy dále, vlivem svých hluboko pronikajících kořenů, velmi výrazně zabraňují půdní erozi, což může být velice významné hlavně tam, kde dochází k obdělávání svažitého terénu, které jsou obzvláště náchylné k vodní erozi a půdnímu smyvu. K zajištění efektivní ochrany se tak mohou vytvořit souvislé pásy stromů či keřů, probíhající ve směru kolmo ke svahu a tvořit tak jakousi protierozivní bariéru (Lal 1990). Protože zvýšená půdní eroze vlivem silných srážek vede také ke znečišťování vodních toků a jejich kontaminaci agrochemikáliemi, mohou agrolesy úspěšně řešit i tento problém (Gregersen et al. 2003). Častým používáním umělých i statkových hnojiv na zemědělských plochách dochází k nahromadění živin v půdě, které při silných deštích často prosakují do velkých hloubek a kontaminují podzemní vody. Zavedením agrolesnických systémů lze tyto úniky značně redukovat, protože kombinace hluboko kořenících stromů s mělce kořenícími bylinami umožňuje efektivní zachytávání živin z mnoha různých hloubek půdního profilu, takže rostliny tyto živiny využijí dříve, než stačí hladiny podzemní vody dosáhnout (Nair a Graetz 2004). Stromy také fungují jako účinné větrolamy, a tak pomáhají zmírnit vliv větrné eroze na půdu a umožňují růst rostlinám, kterým by jinak silný vítr škodil. Výběrem takových stromů, které jsou schopny vázat atmosférický dusík, navíc dojde k snížení závislosti systému na dodacích ve formě umělých hnojiv.

Tím, že se do zemědělského systému zakomponují stromy, dojde k výrazné změně mikroklimatu na daném pozemku. Míra vlivu, který mají stromy na komplementární plodinu, se odvíjí od mnoha různých faktorů. Mělké a rozsáhlé kořeny budou zcela jistě běžným plodinám více konkurovat než kořeny přímé a hluboké. V závislosti na stáří, výšce, hustotě výsadby a míře olistění stromů samozřejmě dochází k různému stupni redukce osvětlení tím, jak koruny stromů vrhají na půdu stín. To může pro některé druhy rostlin, obzvláště pro ty světlomilné, představovat značný problém, a proto je třeba pečlivě zvážit, jaké druhy rostlin do systému zařadit a také jaké stromy k nim vybrat. Bargali et al. (2009) zkoumali, jaký vliv

bude mít pěstování akácií na výnosy rýže. Zjistili, že šestileté stromy měly pozitivní vliv na produkci rýže, která byla vyšší o 4 %. Devítileté stromy už ale působily inhibičně a výnos byl redukován o 4,7 %. Stromy, které byly staré 28 let už ale vlivem kompetice o vláhu a živiny produkci snížily o 29 %. V tomto případě tedy došlo k významnému snížení produkce. Pokud ale došlo k ořezání deseti procent spodních větví stromů, výnosy se opět zvedly o 3 procenta. Aby tedy byl tento systém efektivní, musely by se stromy ořezávat nebo kácet již v raném věku. Naopak některé druhy plodin mohou z poskytnutého stínu profitovat. Například Mouen Bedimo et al. (2008) zjistili, že plísňové onemocnění, způsobené houbou *Colletotrichum kahawae* (Bridge & Waller), které napadá rostliny kávovníku, bylo velmi silně redukováno, když byl kávovník pěstován v polykultuře spolu se stromy. Důvodem může být to, že zastíněním dojde ke změnám mikroklimatických podmínek a dojde k redukcii teploty a teplotních rozdílů během dne, dojde k omezení pohybu vzduchu a ke zvýšení vzdušné vlhkosti, což se může projevit na nižším výskytu této plísně. Protože houba každoročně zničí až 60% kávové produkce, je agrolesnictví perspektivní alternativou k monokulturní produkci (Mouen Bedimo et al. 2008). Pro optimální produkci agrolesů je tedy bezpodmínečně nutné znát, jak se stromy s pěstovanou plodinou navzájem snášejí a ovlivňují. V některých případech může zavedení agrolesů přinést velice pozitivní výsledky. Například u studie provedené v Usambarském pohoří v Tanzánii došlo při polykulturním pěstování pepřovníku současně s grevilleou, okrasnou rostlinou, k dosažení neuvěřitelné efektivity produkce. Hodnota LER (Land Equivalent Ratio) dosáhla hodnoty 4,5. To znamená, že k vypěstování stejného množství produktů v jednotlivých monokulturách by byla potřeba 4,5 krát větší zemědělská plocha. Když se k těmto dvěma plodinám zařadilo ještě pěstování kardamomu, hodnota LER zůstala stále vysoká, o velikosti 4,1. S vyšší efektivitou produkce také samozřejmě velmi významně vzrostl i příjem zemědělců (Reyes 2008). Je tedy zřejmé, že zavedením metod agrolesnictví může dojít nejen k lepšímu a udržitelnějšímu hospodaření s přírodními zdroji, ale také k opravdu dramatickému zlepšení ekonomických poměrů a k omezení chudoby v rozvojových zemích.

## 4. Geneticky modifikované rostliny v potravinové produkci

Koncem 20. století došlo k velmi rychlému rozvoji metod genového inženýrství, které přineslo řadu průkopnických vědeckých inovací. Dnes tak například můžeme využívat mikroorganismy k produkci rozmanitých druhů lidských bílkovin. Příkladem může být lidský růstový hormon (hGH). Dříve se tento hormon získával z mrtvých lidských těl, zatímco dnes je možné ho produkovat pomocí geneticky upravené bakterie *E. coli* (M.). Tento postup navíc umožňuje získávat hGH o vyšší chemické čistotě, a proto jsou i jeho fyziologické účinky na lidský organismus předvídatelnější (Olson et al. 1981). V současnosti se modifikují nejen mikroorganismy, ale i rostliny a živočichové. Geneticky modifikované (GM) rostliny mají v dnešní době mnoho způsobů využití. Podobně jako mikroorganismy, i rostliny mohou být využity k produkci specifických bílkovin. Jako příklad lze uvést práci Sijmonse et al. (1990), kteří úspěšně modifikovali rostliny bramboru a kukuřice takovým způsobem, že začaly syntetizovat lidský serum albumin. Dalším způsobem využití GM rostlin může být bioremediace znečištěných území. Bizily et al. (1999) vpravili do rostliny *Arabidopsis thaliana* (L.) gen, který se přirozeně vyskytuje v půdní bakterii. Tento gen kóduje lyázu, která katalyzuje rozklad organokovové sloučeniny obsahující rtuť. Rostlina je díky tomuto genu schopna růst v prostředí s vysokou koncentrací methylrtuti, ve kterém je růst rostlin postrádajících tento gen silně potlačen. Methylrtuť je enzymem rozložena a atomární rtuť se hromadí v rostlinném těle. Takto modifikované rostliny lze tedy využívat k extrakci a izolaci rtuti z půdy v oblastech kontaminovaných methylrtutí (Bizily et al. 1999).

I přes zjevné přínosy GM rostlin zůstává genetická modifikace zemědělských plodin značně kontroverzním tématem s řadou zastánců i odpůrců. Jednou z nejrozšířenějších vlastností geneticky modifikovaných (GM) plodin je produkce Bt toxinu. Bt plodiny obsahují gen bakterie *Bacillus thuringiensis* (Berliner), kódující tvorbu toxinu, který chrání rostlinu před požitky rozmanitých druhů škůdců a jejich zavedením je tak možné snížit množství aplikovaných pesticidů a zvýšit tak efektivitu produkce (Pray et al. 2002). Bt toxin však svým širokospektrálním účinkem může negativně ovlivnit nejenom škůdce, ale i mnoho dalších živočichů a narušit tak mnohé ekologické procesy. Pyl z Bt kukuřice je větrem unášen na velké vzdálenosti a usazuje se na rostlinách rostoucích poblíž a může tak být pozřen živočichy, kteří tyto rostliny konzumují. V laboratorním výzkumu bylo prokázáno, že larvy motýla monarchy *Danaus plexippus* (L.) při pozření rostliny pokryté pylem Bt kukuřice vykazovaly vyšší mortalitu a rostly pomaleji (Loosey et al. 1999). Mnoho lidí má strach GM plodiny a produkty z nich vyrobené ze zdravotních důvodů konzumovat. Na podporu toho, že

jsou tyto obavy na místě, lze například uvést aktuální srovnávací studii, kterou provedli Vendômois et al. (2009). Po dobu tří měsíců krmili potkany GM kukuřicí a sledovali, jak bude ovlivněn jejich metabolismus. Získaná data se porovnávala s výsledky od potkanů, kteří byli krmeni nemodifikovanou kukuřicí. Testovali se tři nejběžnější druhy GM kukuřice, které se dnes pěstují jako jídlo pro lidi i jako krmivo pro dobytek. Byly to dvě různé odrůdy Bt kukuřice a jedna odrůda s rezistencí proti širokospektrálnímu herbicidu Roundup. Z výsledků vyplývá, že všechny tři odrůdy GM kukuřice měli významný negativní efekt na orgánové soustavy potkanů; přitom ledviny a játra, hlavní detoxifikační orgány, byly postiženy nejvíce. Je třeba si také uvědomit, že studie trvala pouze 90 dní, a proto výsledky ukazují pouze akutní toxicitu. K zjištění možných negativních chronických efektů bude třeba dlouhodobější studie, nejlépe vícegenerační, která by mohla odhalit kancerogenní či teratogenní toxicitu GM kukuřice.

Kromě snížení negativního vlivu na životní prostředí je jedním z hlavních cílů ekologického zemědělství snaha představit takové pěstební techniky, které umožní dosáhnout vysoké a kvalitní produkce potravin při použití minimálního množství dodaných energetických vstupů a tak pomoci rozvojovým zemím stát se nezávislými na drahých zemědělských technologiích a dosáhnout soběstačnosti v produkci potravin. Celosvětová produkce potravin by dnes bohatě stačila k výživě všech lidí na planetě. Problémem je to, že hladovějící lidé jsou příliš chudí na to, aby si jídlo mohli koupit. Paradoxem je, že mnoho hladem postižených zemí potraviny vyváží do zahraničí (Lappé et al. 1998). Rozvoj udržitelného zemědělství v chudých zemích povede k výraznému snížení dodávaných vstupů a současně vyšší produkci, což umožní produkovat potraviny levněji. Počet hladovějících lidí by tak mohl rapidně poklesnout (Pretty 1999). Vývoj GM plodin je však technologicky vysoce náročnou procedurou, a při současné patentové politice, kdy si farmáři nemohou ponechávat GM osivo z vlastní produkce, povede adopce těchto plodin k prohloubení závislosti rozvojových zemí na zahraničních korporacích. Přestože se domnívám, že GM rostliny jsou velice perspektivní oblastí biotechnologie, před jejich zavedením do zemědělské produkce je třeba je podrobit ještě mnoha pokusům, aby byla prověřena jejich bezpečnost. Myslím si, že metody udržitelného zemědělství představují mnohem efektivnější a výhodnější způsob, jakým lze produkovat potraviny a bojovat proti světovému hladovění.



## Závěr

Alternativní způsoby zemědělské produkce, které jsou představeny v této bakalářské práci, reprezentují nejpodstatnější změny, kterými se ekologické zemědělství odlišuje od konvenčního. Je však třeba poznamenat, že tyto techniky zachycují pouze malou část z rozmanitého a bohatého souboru postupů, vedoucích k dlouhodobě udržitelnějšímu hospodaření s přírodními zdroji. Je nutno zdůraznit, že nic takového jako univerzální metody alternativního zemědělství neexistuje a ke každému specifickému místu je třeba přistupovat s originálním řešením, které bude zohledňovat rozmanitý soubor charakteristických parametrů daného území jako je klima daného regionu, specifická mikroklimata jednotlivých míst pozemku, svažitost terénu, orientace ke slunci, fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, druhové složení místní flóry a fauny a mnoho dalších rysů. To umožní vytvořit propracovaný komplexní agroekosystém, který bude vykazovat silnou stabilitu a vysokou míru nezávislosti na agrochemikáliích.

S tím, jak se ochrana životního prostředí stává předním tématem mezinárodních diskusí, stává se i výzkum nových metod potravinové produkce významným a aktuálním tématem. Protože je tato oblast výzkumu relativně mladá a mnoho otázek je třeba podrobit intenzivnímu bádání, zůstává potenciál těchto nových metod zatím stále nevyužitý. Proto je možné v budoucnu očekávat rychlý a dynamický rozvoj stávajících alternativních metod i vývoj metod zcela nových, které dále povedou k podstatnému zvýšení efektivity produkce zemědělských systémů. Domnívám se, že přijetí těchto nových postupů umožní silně redukovat negativní dopad zemědělství na životní prostředí a snížit energetické vstupy do zemědělství při současném zachování nebo dokonce zvýšení velikosti produkce potravin. Protože je moderní zemědělství jedním z energeticky nejnáročnějších odvětví lidské činnosti, i snížení energetické spotřeby o pouhá procenta umožní ušetřit obrovské sumy peněz. Myslím si, že s tím, jak se široká veřejnost postupně seznámí s fakty o tom, že ekologické zemědělství může být nejenom ekologicky příznivější, ale také ekonomicky mnohem efektivnější než je zemědělství konvenční, je jenom otázkou času, kdy metody trvale udržitelného zemědělství zcela nahradí dosavadní konvenční postupy.

## Přehled literatury

- Abawi G. S., Chen J (1998): Concomitant pathogen and pest interactions. *Plant nematode interactions* 7, 135–158, NEPŘÍMÁ CITACE
- Alexander S. A., Waldenmaier C. M. (2002): Suppression of *Pratylenchus penetrans* populations in potato and tomato using african marigolds. *Journal of Nematology* 34, 130–134
- Altieri M. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19–31
- Arshad M. A., Schnitzer M., Angers D. A., Ripmeester J. A. (1990): Effects of till vs. no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 22, 595-599
- Awodun M. A. (2007): Effect of reduced tillage on soil properties and cowpea yield in rainforest zone of south west Nigeria. *Asian Journal of Agricultural Research* 1, 23-26
- Bassil K. L., Vakil C., Sanborn M., Cole D. C., Kaur J. S., Kerr K. J. (2007): Cancer health effects of pesticides. *Canadian Family Physician* 53, 1704–1711
- Bargali S. S., Bargali K., Singh L., Ghosh L., Lakhera M. L. (2009): Acacia nilotica-based traditional agroforestry system: effect on paddy crop and management. *Current Science* 96, 581-587
- Bengtsson J., Ahnström J., Weibull A. (2005): The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42, 261–269
- Bizily S. P., Rugh C.L., Summers A. O., Meagher R. B. (1999): Phytoremediation of methylmercury pollution: merB expression in *Arabidopsis thaliana* confers resistance to organomercurials. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96, 6808-6813
- Cox C. J., McCarty L. B, Toler J. E., Lewis S. A., Martin S. B. (2006): Suppressing sting nematodes with brassica sp., poinsettia, and spotted spurge extracts. *Agronomy Journal* 98, 962-967
- Cook J. R. (2006): Toward cropping systems that enhance productivity and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103, 18389–18394
- Coventry D. R., Hirth J. R (2003): Effects of tillage and lime on *Rhizobium trifolii* populations and survival in wheat-subterranean clover rotation in southeastern Australia. *Soil and Tillage Research* 25, 67-74
- Cunfer B. M., Buntin G. D., Phillips D. V. (2006): Effect of crop rotation on take-all of wheat in double-cropping systems. *Plant disease* 90, 1161-1166
- deCandolle A. P. (1832): *Physiologie végétale ou exposition des forces*, str. 282, NEPŘÍMÁ CITACE

- Eriksen-Hamel N. S., Speratti A. B., Whalen J. K., Legere A., Madramootoo C. A. (2009): Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. *Soil & Tillage Research* 104, 311–316
- Eriksen-Hamel N. S., Whalen J. K. (2007): Impacts of earthworms on soil nutrients and plant growth in soybean and maize agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120, 442–448
- Fisk J. W., Hesterman O. B., Shrestha A., Kells J. J., Harwood R. R., Squire J. M., Sheaffer C. C. (2001): Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal* 93, 319–325
- Fox J. E., Gullledge J., Engelhaupt E., Burow M. E., McLachlan J. A. (2007): Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104, 10282–10287
- Guimarães A. S. a J.S Mourão (2006): Management of plant species for controlling pests, by peasant farmers at Lagoa Seca, Paraíba state, Brazil: an ethnoecological approach. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2, 42
- Govers G., Vandaele K., Desmet P., Poesen J., Bunte K. (2006): The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science* 45, 469 – 478
- Grady A. S., Loecke T. D., Parr S, Robertson G. P. (2006): Long-term trends in nitrous oxide emissions, soil nitrogen, and crop yields of till and no-till cropping systems. *Journal of Environmental Quality* 35, 1487–1495
- Gregersen B., Aalbæk J., Lauridsen P. E., Kaas M., Lopdrup U., Veihe A., van der Keur P. (2003): Land use and soil erosion in Tikolod. ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation (ARBEC), January-March 2003
- Halbrendt J. M. (1996): Allelopathy in the management of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 28, 8-14
- Hayes T., Haston K., Tsui M., Hoang A., Haeffele C., Vonk A. (2007): Atrazine-induced hermaphroditism at 0.1 PPB in american leopard frogs (*Rana pipiens*): laboratory and field evidence. *Environmental Health Perspectives* 111, 568-575
- Hendrix P.F., Crossley D.A. Jr., Blair J.M., Coleman D.C. (1990): Soil biota as components of sustainable agroecosystems. *Sustainable Agricultural Systems* 37, 637–654, NEPŘÍMÁ CITACE
- Kantor S. (1999): Comparing yields with land equivalent ratio (LER). Washington State University Cooperative Extension King County.
- Kimpinsky J., Arsenault W. J., Gallant C. E., Sanderson J. B. (2000): The Effect of marigolds (*Tagetes* spp.) and other cover crops on *Pratylenchus penetrans* and on following potato crops. *Journal of Nematology* 32, 531–536
- Kogevinas M., Becher H., Benn T., Bertazzi P. A., Boffetta P., Bueno-de Mesquita H. B., Coggon D., Colin D., Flesch-Janys D., Fingerhut M., Green L., Kauppinen T., Ljttorin M., Lynge L., Mathews J. D., Neuberger M., Pearce N., Saracci R. (1997): Cancer mortality in workers exposed to phenoxy herbicides, chlorophenols, and dioxins. *American Journal of Epidemiology* 145, 1061-1075

- Kooch Y., Jalilvand H., Bahmanyar M. A., Pormajidian M.R. (2008): Abundance, biomass and vertical distribution of earthworms in ecosystem units of hornbeam forest. *Journal of Biological Sciences* 8, 1033-1038
- Košutić S., Filipović D., Gospodarić Z., Husnjak S., Kovačev I., Čopec K. (2005): Effects of different soil tillage systems on yield of maize, winter wheat and soybean on Albic Luvisol in north-west Slavonia. *Journal of Central European Agriculture* 6, 241-248
- Krueger R., Dover K. E., McSorley R., Wang K. H. (2007): Marigolds (*Tagetes* spp.) for nematode management. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Entomology & Nematology Department, document ENY-056 (NG045)
- Lal R. (1990): Agroforestry systems to control erosion on arable tropical steeplands. *Proceedings of the Fiji Symposium* 192, 338 – 346
- Lappé F. M., Collins J., Rosset P. (1998): World hunger: twelve myths. *Grove Press, New York*, 8 – 11
- Larkin R. P., Honeycutt C. W. (2005): Effects of different 3-year cropping systems on soil microbial communities and rhizoctonia diseases of potato. *Phytopathology* 96, 68-79
- Li C., He X., Zhu S, Zhou H., Wang Y., Li Y., Yang J., Fan J., Yang J., Wang G., Long Y., Xu J., Tang Y., Zhao G., Yang J., Liu L., Sun Y., Xie Y., Wang H., Zhu Y. (2009): Crop diversity for yield increase. *PLoS One* 4, e8049
- Losey J. E., Rayor L. S., Cater M. E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399, 214
- Macias F. M., Marin D., Oliveros-Bastidas A., Varela R. M., Simonet A. M., Carrera C., Molinillo M. G. (2003): Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. *Biological Sciences in Space* 17, 18–23
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, DC., str. 8
- Mouen Bedimo J. A., Njiayouom I., Bieysse D., Ndoumbè Nkeng M., Cilas C., Nottéghem J. L. (2008): Effect of shade on arabica coffee berry disease development: toward an agroforestry system to reduce disease impact. *Phytopathology* 98, 1320-1325
- Nair V. D., Graetz D. A. (2004): Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: the Florida experience. *Agroforestry Systems* 61, 269-279
- Nelson W. E., Rahi G. S., Reeves L. Z. (1975): Yield potential of soybean as related to soil compaction induced by farm traffic. *Agronomy Journal* 67, 769-772
- Olson K. C., Fenno J., Lin N., Harkins R. N., Snider C., Kohr W. H., Ross M. J., Fodge D., Prender G., Stebbing N., (1981): Purified human growth hormone from *E. coli* is biologically active. *Nature* 293, 408-411

- Potter D. A., Bridges B. L., Gordon F. C. (1985): Effect of N fertilization on earthworm and microarthropod populations in kentucky bluegrass turf. *Agronomy Journal* 77, 367-372
- Pray C. E., Huang J., Hu R., Rozelle S. (2002): Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. *The Plant Journal* 31, 423-430
- Pretty J. (1999): Can sustainable agriculture feed Africa? New evidence on progress, processes and impacts. *Environment, Development and Sustainability* 1, 253-274
- Pretty J. (2008): Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of Royal Society* 363, 447-465.
- Reyes T. (2008): Agroforestry systems for sustainable livelihoods and improved land management in the East Usambara Mountains, Tanzania. Academic Dissertation, Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki
- Rillig M. C. (2004): Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* 84, 355-363
- Rillig M. C., Mummey D. L. (2006): Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171, 41-53
- Rochester I. J., Peoples M. B., Constable G. A., Gault R. R. (1998): Faba beans and other legumes add nitrogen to irrigated cotton cropping systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 253-60
- Schreiner O., Sullivan M. X. (1909): Soil fatigue caused by organic compounds. *The Journal of Biological Chemistry* 6, 39-50
- Sijmons P. C., Dekker B. M., Schrammeijer B., Verwoerd T.C., van den Elzen P. J., Hoekema A., (1990): Production of correctly processed human serum albumin in transgenic plants. *Biotechnology (N Y)* 8, 217-221
- Tilman D., Reich P. B., Knops J. M. (2006): Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441, 629-632
- Triplett G. B., Dick W. A. (2008): No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Agronomy Journal* 100, 153-165
- Vendômois J. S., Roullier F., Cellier D.Séralini G. E. (2009): A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *International Journal of Biological Sciences* 5, 706-726
- Weaver D. B., Rodriguez-Kabana R., Carden E. L. (1995): Comparison of crop rotation and fallow for management of heterodera glycines and meloidogyne spp. in soybean. *Journal of Nematology* 27, 585-591
- Wilkins R. J. (2008): Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363, 517-525
- Wright S. F Starr J. L.,Paltineanu I. C. (1999): Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal* 63, 1825-1829

Zhu Y., Chen H., Fan J., Wang Y., Li Y., Chen J., Fan J., Yang S., Hu L., Leung H., Mew T. W., Teng P. S., Wang Z., Mundt C. C. (2000): Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406, 718 - 722