

# 1. Meziplodiny jako součást systémů hospodaření na půdě

Meziplodiny jsou plodiny, které lze na základě jejich biologických vlastností využít pro vytvoření vegetačního pokryvu půdy v meziorostním období. Cílem pěstování meziplodin je podpora mimoprodukčních a produkčních funkcí zemědělství. Mimoprodukční a produkční funkce meziplodin v systémech hospodaření na půdě nelze z hlediska jejich vzájemného propojení od sebe jednoznačně oddělit. Přesto je možné mimoprodukční funkce meziplodin vnímat zejména ve vztahu k zachování a ochraně přírodních zdrojů a jako prostředek stabilizace toků energie a hmoty v krajinném prostoru. Produkční funkce jsou spojovány s integrovanými systémy hospodaření na orné půdě, které zajišťují efektivní využívání přírodních podmínek a energomateriálových dodatků, s cílem dosáhnout požadovaného výnosu a kvality rostlinných produktů při současném zefektivnění dodatkových vstupů energie.

## 1.1. Mimoprodukční a produkční funkce meziplodin

Na samém začátku je potřebné připomenout, že rostliny meziplodin, coby autotrofní organismy, fixují oxid uhličitý a společně s vodou z něj v procesu fotosyntézy vytvářejí organické látky při současném uvolnění kyslíku. V procesu fotosyntézy dochází k transformaci energie slunečního záření do organických struktur v podobě rostlinné biomasy a obdobně jako ostatní rostliny se tak i meziplodiny podílejí na koloběhu uhlíku, minerálních látek a vody v agroekosystémech. Podstatná je však výše zmiňovaná skutečnost, že meziplodiny zajišťují průběh těchto procesů v době, kdy by půda v meziorostním období nebyla oseta žádnou plodinou, nebo během vegetace, kdy je součástí rostlinného pokryvu tvořeného hlavní plodinou a podsevovou meziplodinou.

Základem funkcí meziplodin v systémech hospodaření na orné půdě je produkce biomasy. Produkce biomasy je podmíněna kvalitativními a kvantitativními procesy odehrávajícími se v rostlině v závislosti na abiotických a biotických podmínkách prostředí. Celková produkce nadzemní a podzemní biomasy meziplodin ve vztahu k dynamice jejího nárůstu, efektivitě využití slunečního záření, schopnosti fixace živin, vláhovým nárokům plodiny, přímého a nepřímého fytosanitárního působení, intenzitě a hloubce prokořenění půdy určuje využitelnost jednotlivých druhů meziplodin v rámci procesů zajišťujících mimoprodukční a produkční funkce zemědělství. Funkce meziplodin lze vnímat z hlediska:

- zvýšení využití slunečního záření,
- stabilizace energetické bilance v zemědělství,
- podpory produktivního výparu a ochlazování krajiny,
- obohacení půdy o organickou hmotu a zlepšení půdních vlastností,
- omezení větrné a vodní eroze půdy,
- zamezení vyplavování živin a omezení znečišťování podzemních vod,
- regulace plevelných společenstev a potlačování výdrolu předplodiny,
- omezování šíření a výskytu chorob a škůdců,
- doplnění a zpestření krmivové základny,
- podpory druhové pestrosti v krajinně a potravních řetězců,
- krajinnotvorné funkce.

Pěstování meziplodin je v současnosti státem podporováno přímou finanční podporou určenou na pěstování meziplodin v podobě dotace v rámci agroenvironmentálních opatření, která však v budoucnu nemusí být zemědělcům poskytována. Nepřímo může vést pěstování meziplodin ke snížení variabilních nákladů v důsledku dobré předplodinové hodnoty.

## 1.2. Zvýšení využití slunečního záření

Sluneční záření je vnímáno jako nevyčerpatelný přírodní zdroj (Altman 1997). Schopnost autotrofních rostlin získat svou energii fixací energie doslova pro naprostou většinu organismů na celé planetě (Procházka *et al.* 1998). Vytvoření vegetačního pokryvu půdy v mezíporostním období pomocí porostů meziplodin přispívá ke zvýšení využití slunečního záření na orné půdě během vegetačního období a k následné transformaci energie biomasy do půdy. Gliessman (2007) na základě zpracování rozdílných literárních zdrojů uvádí, že průměrné hodnoty využití slunečního záření dosahují u přirozené vegetace asi 0,1 % dopadajícího slunečního záření, u pšenice 0,2 %, u rýže 0,3 %, u brambor 0,4 % a u kukuřice 0,5 %. Dle Hulberta (1971) je v procesu fotosyntézy z ročního vstupu záření na zeměkouli využito asi 0,8 % slunečního záření.

V našich pokusech prováděných v letech 2004–2006 se hodnoty efektivity využití globální radiace porosty strniskových meziplodin v řepařské oblasti v závislosti na rostlinném druhu, výskytu výdrolu obilní předplodiny a ve vztahu k průběhu povětrnostních podmínek pohybovaly v rozmezí od 0,02 až 0,47 % (tabulka 1). Zajímavé je rovněž využití slunečního záření výdrolem obilní předplodiny, jehož hodnoty u méně vzrůstných a vůči výdrolu konkurenčně slabých meziplodin převyšovaly hodnoty využití sluneční energie samotnými meziplodinami (tabulka 1).

Tab. 1: Průměrné procentuální hodnoty využití slunečního záření (globální radiace) meziplodinou (M) a výdrolem obilní předplodiny (V, pšenice ozimá) od výsevu do ukončení vegetace v letech 2004–2006. Délka vegetace činila 87 dní v roce 2004, 57 dní v roce 2005 a 64 dní v roce 2006.

rostlinný druh	využití slunečního záření (%)							
	2004		2005		2006		průměr 2004–2006	
	M	V	M	V	M	V	M	V*
hořčice bílá	0,11	0,01	0,47	0,07	0,3	0,03	0,29	
jetel inkarnát	0,13	0,03	0,1	0,15	0,17	0,1	0,13	
jetel podzemní	-	-	0,14	0,14	0,18	0,14	0,16	
jílek mnohokvětý	0,07	0,01	0,09	0,15	0,03	0,05	0,06	0,08
jílek vytrvalý	0,05	0,01	0,04	0,19	0,03	0,1	0,04	
ředkev olejná	-	-	0,32	0,13	0,26	0,02	0,29	
řepka ozimá	0,02	0,03	0,05	0,16	0,19	0,09	0,09	
svazanka vratičolistá	0,12	0,01	0,17	0,11	0,3	0,04	0,20	

\* průměrná hodnota pro všechny druhy

Opodstatněnost pěstování meziplodin v mezíporostním období v podmínkách střední Evropy z hlediska fixace slunečního záření je dána ročním průběhem hodnot slunečního záření na severní polokouli. V podmínkách České republiky připadá začátek mezíporostního období

následujícího po sklizni hlavních plodin zastoupených v osevních postupech, tj. obilnin a ozimé řepky, na přelom měsíců července a srpna. V podmínkách střední Evropy jsou nejvyšší hodnoty globální radiace během roku typické právě pro období měsíců května až srpna (Kittler a Mikler 1986, Hupfer a Chmielewski 1990). Výrazný pokles hodnot globálního záření nastává v měsíci říjnu.

### 1.3. Stabilizace energetické bilance v zemědělství

Energie obsažená v biomase meziplodin může přispět ke zvýšení podílu mezi získanou a vloženou energií v zemědělských systémech, neboť v rámci dosavadního vývoje zemědělství narůstají vstupy dodatkové energie do zemědělské výroby (Nátr 2002). Přítomnost strniskových meziplodin na pozemku umožňuje využít sluneční záření v mezíporostním období (Ammon a Scherrer 1994), a tím přispět ke zlepšení celkové energetické bilance a koloběhu organické hmoty v zemědělském systému (Kudrna 1979). Dalgaard *et al.* (2001) uvádějí, že vytvoření energeticky efektivních zemědělských systémů s nízkými energetickými vstupy a vysokými energetickými výstupy povede rovněž ke snížení emisí skleníkových plynů ze zemědělství.

Především rostlinné druhy, které za nízkých vstupů dodatkové energie naakumulují velké množství energie vázané v biomase, jsou potenciálně vhodné pro pěstování jako meziplodiny. Vos a van der Putten (1997) uvádějí, že produkce 1,12 g sušiny výnosu meziplodiny odpovídá množství akumulované energie 1 MJ globálního záření, a to bez ohledu na roční dobu, druh, termín výsevu a zásobení dusíkem. Celková produkce energie obsažená v biomase na stanovišti pozitivně koreluje s celkovou produkcí biomasy (Ercoli *et al.* 1999). Dále je množství energie na stanovišti závislé na energii uložené v rostlinách, resp. na energetickém obsahu látek, ze kterých jsou tvořeny. Kromě vlivu fotosyntézy se na energetické hodnotě biomasy podílí i genotyp a vnější prostředí (Hansen a Diepenbrock 1994, Feuerstein *et al.* 1998, Kocourková *et al.* 2004). Obecně se uvádí, že 1 kg sušiny rostlinné biomasy obsahuje v průměru 16,74 MJ, ale významně se liší jednotlivé rostlinné části (Hnilička *et al.* 2000, Fuksa *et al.* 2006b) a obsah energie se mění i v průběhu vegetace (Tsubo *et al.* 2001, Fuksa *et al.* 2006a).

Produkce energie na stanovišti je také závislá na obsahu netto energie v rostlinných produktech. Na základě výsledků Strašila (1987) dosahují průměrné hodnoty netto energie v listech obilnin 17,70 MJ kg<sup>-1</sup> a ve stéblech 17,86 MJ kg<sup>-1</sup>. Zrno kukuřice obsahuje 18,93–19,02 MJ kg<sup>-1</sup> netto energie (Fuksa *et al.* 2006b). Tito autoři dále uvádějí, že v biomase plevelů se obsah netto energie pohybuje v rozmezí od 16,80 do 18,21 MJ kg<sup>-1</sup>. Výsledky stanovení spalného tepla u podsevoových a strniskových meziplodin z našich pokusů byly publikovány Fuksou *et al.* (2005, 2007).

Průměrné hodnoty obsahu netto energie v biomase meziplodin a výtvaru obilní předplodiny v našich pokusech dokumentuje tabulka 2. V tabulce 3 je uveden obsah netto energie v podzemní biomase strniskových meziplodin v letech 2006–2007. Obsah netto energie byl stanoven automatickým adiabatickým kalorimetrickým systémem IKA C 5000 control. Výpočet obsahu netto energie byl proveden dle ČSN ISO 1928 (bez opravy na rozpouštěcí teplo kyseliny sírové a dusičné).

Tab. 2: Průměrné obsahy netto energie (MJ kg<sup>-1</sup>) v nadzemní biomase strniskových meziplodin a výtrodu obilní předplodiny (pšenice ozimá) stanovené za období 2004–2006.

rostlinný druh	hodnoty energie (MJ kg <sup>-1</sup> )	rostlinný druh	hodnoty energie (MJ kg <sup>-1</sup> )
hořčice bílá	16,23	jílek vytrvalý	17,64
jetel inkarnát	17,71	ředkev olejná	17,28
jetel podzemní	16,93	řepka ozimá	17,34
jílek mnohokvětý	17,78	svazenka vratičolistá	16,18
		výdrol předplodiny	17,71

Tab. 3: Průměrný obsah netto energie (MJ kg<sup>-1</sup>) v podzemní biomase strniskových meziplodin v letech 2006 a 2007.

rostlinný druh	hodnoty energie (MJ kg <sup>-1</sup> )	
	rok 2006	rok 2007
hořčice bílá	18,65	18,47
jetel inkarnát	19,41	18,79
jílek mnohokvětý	18,54	18,72
ředkev olejná	17,05	18,02
řepka ozimá	17,81	18,03
svazenka vratičolistá	18,22	17,90

Pěstování meziplodin může při dostatečné produkci biomasy zvýšit produkci energie obsažené v produktech a zvýšit tak rozdíl mezi energií obsaženou v produktech a energií představující primární vstupy. Pospíšil a Vilček (2000) vyčíslili potenciální energetickou bilanci orné půdy Slovenska, na které vstupy představují 22,9 GJ ha<sup>-1</sup> a produkce činí 100,7 GJ ha<sup>-1</sup>. Jansson a Siman (1978) uvádějí, že v podmínkách Švédska dosahuje spotřeba primárních energetických vstupů 14,5 GJ ha<sup>-1</sup>, zatímco v produktech bývá kolem 65 GJ ha<sup>-1</sup>. Börjesson (1996) stanovil, že energetický výnos dosahuje u pšenice (sláma a zrna) 130 GJ ha<sup>-1</sup> a u řepky ozimé (sláma a semena) 106 GJ ha<sup>-1</sup>. Primární energetické vstupy poté u pšenice činí 19,5 GJ ha<sup>-1</sup> a řepky ozimé 17,2 GJ ha<sup>-1</sup>. Hodnocením energetických bilancí v našich podmínkách se podrobně zabýval Preininger (1987).

V případě pěstování strniskových meziplodin se však může na celkové produkci významně podílet také výtrod předplodiny. Beaudoin *et al.* (2005) poukazují na skutečnost, že průměrná produkce suché biomasy výtrodu hrachu setého, ječmene jarního a řepky ozimé dosahovala hodnoty 0,9 t ha<sup>-1</sup>. Na základě výsledků Branta *et al.* (2006a) se hodnoty produkce nadzemní biomasy výtrodu obilní předplodiny v porostech strniskových meziplodin pěstovaných v oblastech s nedostatkem srážek pohybovaly v rozmezí od 0,04 do 0,83 t ha<sup>-1</sup>. Dle výsledků stanovených v našich pokusech může pěstování meziplodin v řepařské výrobní oblasti zvýšit produkci energie obsaženou v produktech o 9,31 GJ ha<sup>-1</sup> (jílek vytrvalý) až o 42,4 GJ ha<sup>-1</sup> (hořčice bílá) a výskyt výtrodu v porostech meziplodin o 2,6 až 10,2 GJ ha<sup>-1</sup> (průměr let 2004–2007).

Základním předpokladem pro vysokou energetickou efektivnost je snaha o co nejvíce uzavřený koloběh hmoty a energie v systému, ke kterému pěstování meziplodin významně přispívá. Pro dosažení nejvyšších hodnot výnosu čisté energie je samozřejmě nutné pěstovat meziplodiny s vysokým výnosem biomasy jako je hořčice bílá, ředkev olejná a svazenka vratičolistá, neboť množství netto energie bylo v biomase námi hodnocených meziplodin obdobné.

Při současné všeobecné snaze zemědělské praxe minimalizovat náklady na založení porostů meziplodin lze očekávat, že primární energetické vstupy budou dosahovat nízkých hodnot.

### 1.4. Podpora produktivního výparu a ochlazování krajiny

Pěstování meziplodin v meziporostním období je jednoznačně spojeno s podporou produktivního výparu. Pohyb vody v systému tvořeného atmosférou, půdou a rostlinami je určován dostupností zásoby vody v půdě, příkonem energie do porostu a prouděním vzduchu nad rostlinným krytem. Dopadající energie v kombinaci s procesy její přeměny na teplo způsobuje ohřívání rostlin. Z ohřátých rostlin vyzařuje do atmosféry zjevné teplo (Šír *et al.* 2005). Pokud odvod latentního tepla z porostů není dostatečný, brání se rostlina přehřátí nad určitou optimální teplotu transpirací (Pražák *et al.* 1994). Je-li vody v půdě nedostatek, transpirace neprobíhá, rostliny se nechladí, a dochází k zahřívání atmosféry. Je-li v půdě naopak dostatek vody, mohou rostliny transpirovat dle svých potřeb. Půda poté slouží jako nádrž chladiwa a rostliny se chovají jako chladič, kterým se snižuje teplota aktivního povrchu, především listů. Oběh vody je plně určován reakcí rostlin na příkon tepla ze slunečního záření, prouděním vzduchu a evaporačními nároky, vyjádřenými např. vodní jímavostí vzduchu či sytostním doplňkem. V takovém případě se jedná o biotický hydrologický cyklus (Šír *et al.* 2005).

Zásobení porostů meziplodin v meziporostním období vodou je však problematické zejména v teplejších a suchých oblastech. Gregorová (1992) prokázala pozitivní korelaci mezi produkcí nadzemní biomasy svazanky vratičolisté a sumou srážek a průměrnou denní teplotou vzduchu od července do srpna. Na základě našich pokusů se ukazuje, že v suchých a teplejších oblastech rozhoduje o produkci nadzemní biomasy meziplodin suma srážek spadlá od 1. května do termínu výsevu. Tyto srážky jsou schopny alespoň částečně doplňovat ztráty vody evapotranspirací a zajistit dostatek vody pro růst porostů strniskových meziplodin. Z hlediska hodnocení vlivu srážek na produkci biomasy hořčice bílé (pěstovaná jako strnisková meziplodina) v období let 2004–2006, byla stanovena statisticky průkazná závislost mezi produkcí suché biomasy hořčice bílé na konci vegetace ( $Y$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) a sumou srážek spadlých od 1. května do termínu výsevu ( $X$ ,  $\text{mm}$ ) pomocí lineárního modelu  $Y = -531,755 + 6,63208 \cdot X$  s hladinou významnosti 99 % (korelační koeficient = 0,58,  $n = 24$ ). Hodnocená lokalita je podle klimatické regionalizace České republiky (Moravec a Votýpka 2003) řazena do třídy III, která je charakterizována průměrnou délkou období s teplotou vzduchu  $\geq 10^\circ\text{C}$  v rozmezí 160–177 dní, průměrným ročním úhrnem srážek  $\leq 580$  mm a obdobím bez srážek delším než 22 dní.

Malou efektivitu využití srážek porosty meziplodin popisuje Brant *et al.* (2006b) na základě jejich vlivu na změny hodnot vodního potenciálu v půdě. Dle těchto autorů ovlivnily hodnoty vodního potenciálu půdy na plochách osetých hořčicí bílou v hloubce 50–72 mm pouze srážky, jejichž denní suma přesáhla hodnotu 8 mm. Jestliže však dojde ke snížení zásoby vody v půdě a zamezení zásobování horních vrstev půdy v důsledku přerušení kapilárního vztlávacího proudění vody, dochází k ohřívání rostlin a vzduchu a k přeměně hydrologického cyklu na abiotický (Šír *et al.* 2005).

### 1.5. Obohacení půdy o organickou hmotu a zlepšení půdních vlastností

K obohacení půdy o organickou hmotu při pěstování meziplodin dochází na základě zapravení nadzemní biomasy do půdy a vlivem rozkladu kořenového systému. Meziplodiny jsou proto často využívány pro zelené hnojení. Pojem zeleného hnojení definuje Kahnt (1980) jako zapravení živé, zelené a na vodu bohaté biomasy rostlin do půdy, které zároveň zajistí umrtvení kořenového systému. Za

základní cíle vlivu zeleného hnojení na půdu považuje zejména akumulaci živin v půdě (především dusíku), z dlouhodobého hlediska vliv na zvýšení obsahu humusu, snížení ztrát živin vyplavením, omezení půdní eroze, vytváření stínové zralosti půdy, podporu biologického zpracování půdy a nakyplení orníční a podorníční vrstvy půdy. Kromě zeleného hnojení lze za zdroj organické hmoty považovat také vymrzající či nevymrzající meziplodiny, které jsou využívány v rámci půdoochranných technologií a podsevné meziplodiny v širokořádkových i hustěji vysévaných plodinách.

Vnos organické hmoty do půdy je všeobecně spojen se zvyšováním půdní úrodnosti, podporou stability půdních agregátů a celkovým zlepšením půdní struktury (Williams a Cooke 1961, N´ Dayegamiye a Angers 1990, Hassink a Whitmore 1997). Tabulka 4 dokumentuje vliv pěstování meziplodin na stabilitu půdních agregátů (%) před zapravením porostů do půdy v jarním období. Tyto hodnoty byly v našich pokusech stanoveny v řepařské výrobní oblasti na jílovito-hlinité půdě s průměrným zastoupením zrnitostních kategorií: < 0,01 mm 53 %, 0,01–0,05 mm 39 %, 0,05–0,1 mm 2 % a 0,1–2 mm 6 %.

Tab. 4: Vliv pěstování strniskových meziplodin v řepařské výrobní oblasti (průměr let 2004–2006) na stabilitu půdních agregátů (%) před zapravením porostů do půdy v jarním období.

rostlinný druh	stabilita půdních agregátů (%)	rostlinný druh	stabilita půdních agregátů (%)
jílek mnohokvětý	43,9	hořčice bílá	40,1
jílek vytrvalý	41,5	jetel inkarnát	40,5
řepka ozimá	36,2	svazenka vratičolistá	41,3

Produkce biomasy meziplodin pro zelené hnojení kolísá v závislosti na rostlinném druhu, termínu výsevu, průběhu povětrnostních podmínek a délce vegetace. Na základě výsledků Michelmana (1975 a 1976) se produkce suché nadzemní biomasy hořčice bílé pěstované jako meziplodiny dle termínu výsevu pohybovala od 2,5 do 4,3 t ha<sup>-1</sup>, u svazenky vratičolisté od 2,9 do 5,4 t ha<sup>-1</sup> a u řepky ozimé od 2,0 do 3,2 t ha<sup>-1</sup>. Produkce suché nadzemní biomasy strniskových meziplodin (jílek mnohokvětý, řepka ozimá a ředkev setá) dosahovala dle Müllera *et al.* (2006) hodnoty kolem 5,0 t ha<sup>-1</sup>. Vos a van der Putten (1997) uvádějí, že celková průměrná produkce suché nadzemní biomasy meziplodin (žito seté, řepka ozimá a ředkev olejná) se pohybovala v závislosti na termínu výsevu v rozmezí 0,28 až 2,58 t ha<sup>-1</sup>. V našich pokusech dosahovaly nejvyšší průměrné hodnoty suché nadzemní biomasy v řepařské výrobní oblasti porosty hořčice bílé a ředkve olejné (tabulka 5). V bramborařské výrobní oblasti byly stanoveny nižší průměrné hodnoty produkce nadzemní biomasy strniskových meziplodin (tabulka 6).

Tab. 5: Průměrné hodnoty produkce suché nadzemní biomasy (t ha<sup>-1</sup>) strniskových meziplodin v řepařské výrobní oblasti (průměr let 2004–2006). Statistické vyhodnocení bylo provedeno analýzou variance, Tukey,  $\alpha = 0,05$ , odlišné indexy dokumentují průkazně odlišné průměry.

rostlinný druh	produkce biomasy (t ha <sup>-1</sup> )	rostlinný druh	produkce biomasy (t ha <sup>-1</sup> )
hořčice bílá	1,382 e	jílek vytrvalý	0,172 a
jetel inkarnát	0,553 bc	ředkev olejná	1,159 de
jetel podzemní	0,602 bc	řepka ozimá	0,336 ab
jílek mnohokvětý	0,266 ab	svazenka vratičolistá	0,826 cd