

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra pozemkových úprav

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Posouzení pěstování energetických plodin z hlediska eroze

Autor diplomové práce : Monika Poláková

Vedoucí diplomové práce : Ing. Pavel Ondr, CSc.

2010

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Katedra pozemkových úprav
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika POLÁKOVÁ**
Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**

Název tématu: **Posouzení pěstování energetických plodin z hlediska eroze.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je posoudit a vyhodnotit erozní jevy na vybraných energeticky využitelných plodinách.
Vybrat zájmovou lokalitu - povodí a posoudit z hlediska pedologického, hydrogeologického a klimatologického.
Vyhodnotit srážkové úhrny pro nejbližší meteorologické stanice.
Vyhodnotit a propočítat erozní parametry pro místní podmínky.
Posoudit možnosti využití netradičních protierozních opatření pro energetické plodiny .
Navrhnout zobecnění a upřesnění jednotlivých faktorů pro řešenou oblast .

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- Forman, R.T., Godron, M.: Landscape ecology. J.Wily and sons, New York, 1986
Sklenička, P.: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha, 2003
Dumbrovský, M.: Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace. VÚMP Praha, 2000.
Holý, M.: Protierozní ochrana. SNTL, Praha, 1978
Časopis Soil and Water.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Ondr, CSc.
Katedra pozemkových úprav
Datum zadání diplomové práce: 13. března 2008
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2010


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMLĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

L.S.


doc. Ing. Tomáš Kyjůšek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 13. března 2008

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma Posouzení pěstování energetických plodin z hlediska eroze, vypracovala samostatně, na základě vlastních zjištění a vědomostí. Použitá literatura a prameny jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

V Českých Budějovicích 28.4.2010

Monika Poláková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Ondrovi, CSc. za cenné rady při zpracování dat, za připomínky a za odborné vedení práce.

Anotace

Cílem diplomové práce je vyhodnotit, jak energetické plodiny ovlivňují erozní jevy, následně určit vhodnou alternativní plodinu, která má protierozní schopnosti. Podrobněji je vyhodnocena lokalita Třeboňska, jako osevní plochy vhodné pro fytoenergetiku a výrobu bioplynu. Dále byl zkoumán provoz zemědělské bioplynové stanice, která používá biomasu jako vstup pro výrobu bioplynu. Z vypočtených hodnot pomocí univerzální rovnice dle Wischmeiera a Smithe byly určeny plodiny způsobující značnou erozi. Následně jsou vypočtené hodnoty vztaženy na lokality celého Jihočeského kraje. Díky univerzální rovnici je možné najít alternativní plodiny, které působí protierozně a zároveň jsou vhodné pro výrobu bioplynu.

Klíčová slova: eroze, energetické plodiny, bioplyn, ztráta půdy vodní erozí dle Wischmeiera a Smithe, alternativní energetické plodiny

Annotation

The aim of thesis is to assess and evaluate how energy crops affect erosion phenomena, then identify a suitable alternative crop that has anti-erosion ability. Location is evaluated in detail Trebon, as cultivation areas suitable for Phytoenergetics and biogas. Furthermore, I studied agricultural biogas plant that uses biomass as input for biogas production. To evaluate and calculate erosion parameters for a given locality the method of universal soil loss equation by Wischmeier and Smith, and the value showed crops causing erosion. The calculated values are related to locations all over the South Region. Thanks to the universal equation it is possible to find alternative crops, which cause erosion and both are suitable for biogas production.

Keywords: erosion, energy crops, biogas, soil loss by water erosion and Wischmeiera Smith, alternative energy crops

Obsah

1. ÚVOD	9
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
2.1. Eroze	11
2.1.1. Větrná eroze	14
2.1.2. Vodní eroze	15
2.1.3. Druhy eroze podle normy	16
2.1.4. Mechanismy erozních procesů	20
2.1.5. Výpočet vodní eroze	25
2.1.6. Protierozní opatření	27
2.2. Pěstování energetických plodin	29
2.2.1. Biomasa	29
2.2.2. Energetické plodiny vhodné pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma	31
2.2.3. Technologie pěstování energetických plodin	32
2.2.4. Kukuřice setá	33
2.2.5. Řepka olejná	36
2.2.6. Energetický šťovík	39
2.2.7. Laskavec	40
2.2.8. Pěstování biomasy	42
3. CHARAKTERISTIKA LOKALITY	45
3.1. Geomorfologické zařazení	45
3.1.1. Českomoravská soustava	45
3.2. Třeboňsko	46
3.2.1. Geologické poměry	46
3.2.2. Půdní poměry	47
4. CÍLE A METODIKA PRÁCE	48
4.1. Cíl práce	48
4.2. Metodika	48
4.2.1. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy	

erozí- USLE, dle Wischmeiera a Smithe	48
4.2.2. Agrotechnika energetických plodin	50
4.2.3. Výpočet G	55
5. VÝSLEDKY A DISKUZE	57
5.1. Výroba bioplynu	57
5.1.1. Zemědělská bioplynová stanice	57
5.1.2. Desatero bioplynových stanic	59
5.1.3. Materiál pro produkci bioplynu – bioodpady	60
5.1.4. Produkce bioplynu z kukuřice	61
5.2. Provoz modelové zemědělské bioplynové stanice	62
5.3. Dlouhodobá průměrná ztráta půdy pozemků	64
5.4. Bioplynové stanice v Jihočeském kraji	68
5.4.1. Strategie pro bioplynové stanice	68
5.4.2. Diverzifikace substrátových vstupů pro bioplynové stanice	69
5.4.3. Testy vhodnosti šťovíku na výrobu bioplynu	70
5.4.4. Pozitiva pěstování šťovíku jako alternativy kukuřice	71
6. ZÁVĚR	73
7. POUŽITÁ LITERATURA	74
8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	79

1. Úvod

Půda je bezesporu nejcennější přírodní bohatství. Spolu se vzduchem a vodou tvoří podmínky veškerého života na zemi. Nezastupitelně plní mnoho funkcí. Půda je základním článkem potravního řetězce a současně substrátem pro růst rostlin. Kromě své primární produkční funkce, která směřuje k dosažení základních lidských potřeb, ovlivňuje zemědělství od jeho počátků v neolitu. Formuje krajinný ráz, vytváří nebo eliminuje biotopy, hraje zcela zásadní roli ve stabilitě a biodiverzitě ekosystémů, bilancí látek a energií. Celkově ovlivňuje kvalitu životního prostředí.

Půda je velmi citlivá na znečištění a destrukci, jedním z činitelů, které ohrožují přirozený potenciál půdy, je intenzivní využívání půdy pro zemědělskou výrobu. Dochází při něm k scelování pozemků, rozšiřování plodin okopaninového charakteru na úkor víceletých píceňin a trvalých travních porostů. Takové hospodaření vede k narušení přirozeného krytu půdy a vede k erozním procesům.

Eroze je celosvětovým problémem. Spočívá v destrukčním účinku vody a větru na půdní povrch. Dochází k rozrušování a odnosu půdní hmoty zemského povrchu a k jejímu ukládání v místech poklesu účinnosti erozních faktorů. Činnost vody, větru i ledovců, jež v přirozených podmínkách probíhala zvolna, z hlediska lidské generace nepozorovatelně, se v intenzivně využívané krajině výrazně zrychlila a přinesla pro společnost řadu nepříznivých důsledků. V našich podmínkách působí vodní eroze jeden z nejzávažnějších problémů v komplexu ochrany životního prostředí. Dochází ke škodám způsobeným smyvem jemných humusových částic, tím pádem ke snížení půdní úrodnosti. Dalšími faktory mimo poškozování půdního profilu je i zvýšení vláhového deficitu, vysychavost, snížení hladiny spodních vod, znečišťování vodních toků pesticidy a hnojivy se zanášením půdními částicemi. Eroze půdy se stává velmi nežádoucím doprovodným jevem prudkých bouřek a přívalových dešťů, které se vyskytují v poslední době stále častěji. Podstatný vliv na půdní erozi má její obhospodařování.

Těžká mechanizace, uplatňovaná na velkých zemědělských celcích, rozrušuje půdní strukturu a zhoršuje infiltrační schopnost půdy postupným zhutňováním půdního profilu. Vztah zemědělství k přírodě a krajině se dlouhodobě formuje a je vytvářen mnoha faktory, technickou a technologickou vyspělostí, ekonomickou úrovní společnosti, postoji zemědělců k přírodě a krajině a potřebami společnosti.

Přihlíží se na zachování a posílení udržitelných způsobů hospodaření, ochranu a posílení vysoké hodnoty přírody, údržbu a obnova krajinných prvků. Význam zemědělství je stále více vnímán mnohem komplexněji, na zemědělství není nahlíženo pouze jako na produkci potravin, ale jsou stále více zdůrazňovány jeho mimoprodukční funkce.

V posledních letech došlo ke zvětšení plochy oseté energetickými plodinami. Vzrostla produkce bioplynu a produkce biopaliv. Výsledkem je hrozící dlouhodobá změna v osevních postupech a skladbě plodin pěstovaných na zemědělské půdě. Ochuzení těchto postupů a omezení plodin na kukuřici, řepku a obiloviny přináší rizika ať už v oblasti kvality a struktury půdy, tak z hlediska biodiverzity a udržení kulturní krajiny, včetně údržby luk a pastvin. Takové využívání zemědělské půdy orientované především na produkci kukuřice se v dlouhodobé perspektivě může ukázat jako neudržitelné.

Nutné je tedy nalezení nových plodin, vhodných pro fytoenergetiku, které působí protierozně.

Tato diplomová práce popisuje technologii pěstování energetických plodin a porovnává, jak každá z plodin ovlivňuje půdní erozi. Podrobněji jsou zhodnoceny osevní plochy na území Třeboňska, jako lokalita pro výrobu bioplynu. Výsledky jsou vztaženy na celý Jihočeský okres. Cílem práce je určení plodin, které způsobují degradaci půdy a značnou erozi, následně navržení alternativních energetických plodin, které mají pro půdu příznivé účinky a navíc jsou perspektivní pro odvětví fytoenergetiky.

2. Literární přehled

2.1. Eroze

Eroze (z lat. *erodere*- rozhlodávat, vytvářet na povrchu duté tvary) je komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody, větru, ledu a jiných činitelů (Janeček, 1992).

Eroze je jevem, který se uplatňuje i bez vlivu člověka - eroze přirozená (geologická). Vinou člověka se však tento jev plošně rozšířil a současně intenzifikoval - dochází ke ztrátě půdy vyšší, než je schopno se na daném místě v daném čase vyvinout přirozenými procesy - zrychlená eroze. Hlavními faktory podmiňujícími vznik zrychlené eroze jsou: odlesnění, klimatické poměry, morfologické poměry (především sklon a délka svahů), vegetační, geologické, půdní poměry a způsob využívání krajiny (Sklenička, 2003).

Významná je také antropogenní (strojová) eroze, ke které se řadí přemísťování půdy zemědělskou technikou při orbě (Takken a kol., 2001).

Krajina je heterogenní část zemského povrchu, skládající se ze souboru vzájemně se ovlivňujících ekosystémů, který se v dané části povrchu v podobných formách opakuje (Forman, Gordon, 1993).

Krajina může být různými odborníky chápána různě v rámci jejich oboru. Sklenička (2003) tak hovoří o definicích krajiny v různých pojetích. Právní, geomorfologické, geografické, ekologické, architektonické, historické, demografické, umělecké, emociální, ekonomické.

Forman a Gordon (1993) mluví o "umělcově krajině" v souvislosti s malbou a zobrazováním krajiny ve výtvarném umění v průběhu lidské historie a zmiňují i vnímání krajiny v sociálních vědách (krajina jako místo bitev, krajina jako místo pro zdroj potravy, krajina jako místo pro život) a přírodních vědách (vertikální vztahy

mezi rostlinami, živočichy, vzduchem, vodou, půdou uvnitř relativně homogenních prostorových jednotek a horizontální vztahy mezi prostorovými jednotkami).

Výrazným dopadem lidské činnosti na krajinu, vlivem jejího obhospodařování a využívání půdy je stále výrazněji se projevující vliv na rozrušování půdy a její následnou erozi. Tento vliv má dalekosáhlý dopad na dané území, proto včasná a účinná predikce těchto jevu může výrazně přispět k ochraně těchto území před ničivými dopady eroze (Vavroš, 2007).

Při převaze odhodových pochodů nad půdotvornými nastává destrukce půdního profilu, snížení úrodnosti půdy, případně úplná devastace půdy. Erozní procesy v půdě lze dělit následujícím způsobem (Fulajtár, Janský, 2001) :

- ❖ Větrná eroze
 - odnos, vyvívání (deflace)
 - obrušování (koraze)

- ❖ Vodní eroze
 - dešťová eroze
 - kapková eroze
 - odtoková (ronová) eroze
 - plošná eroze
 - liniová eroze
 - rýhová eroze
 - výmolová eroze
 - stržová eroze
 - podpovrchová eroze
 - podpovrchové vymílání (sufoze)

- tunelová eroze
 - říční eroze
 - dnová eroze
 - břehová eroze
 - povodňová eroze
 - mořská (jezerní) eroze
 - pobřežní eroze (abraze)
 - proudová eroze
- ❖ Kryogenní eroze
 - sněhová (nivální) eroze
 - lavinová eroze
 - plazivá eroze
 - ledovcová (glaciální) eroze
 - plošná ledovcová eroze
 - liniová ledovcová eroze
- ❖ Biologická eroze
 - sešlap
 - hrabání
- ❖ Antropogenní eroze
 - nepřímá antropogenní eroze (odstranění rostlinného krytu)
 - přímá antropogenní eroze
 - orba
 - závlahová eroze
 - kanálová eroze (antropogenní případ říční eroze)
 - cestní eroze (nezpevněné cesty)

- pastevní eroze
- technogenní eroze (stavební a těžební)

2.1.1. Větrná eroze

Činnost větru se v krajině projevuje jako modelační činitel především tam, kde chybí se svou ochrannou funkcí vegetace, např. v semiaridních, aridních a kryogenních oblastech. Kromě funkce modelační (*deflace* - odnos volných částic s povrchu reliéfu až do velikosti zrna o průměru 1mm, *koraze* - obrus především dolních částí výčnělků - vznik skalních hřibů, *akumulace* - při poklesu transportní rychlosti vznik eolických sedimentů spraší a vátých písků) je vítr významným činitelem přenosu atmosférické vláhy a působí také na biotu a půdu. V suchém podnebí se suchými a sypkými zvětralinami se vítr uplatňuje více než v krajinách s vlhčím klimatem. Působení větru se projevuje nepřímo a přímo. Nepřímo působí rozvlněním hladiny moří, která pak jako mořský příboj způsobuje plošnou erozi (abrazi) pobřežních skal a útesů, ale i tím že přináší mraky a tím i srážky, které jsou pak původcem veškeré geologické činnosti vody. Přímo působí rušivě (již výše zmíněný odnos = *deflace*, větrný obrus = *koraze*) a tvořivě (větrná sedimentace v místech slábnoucí rychlosti větru tj. tvorba eolických sedimentů písčitých a prachových). Eolické procesy podmiňují vznik dun a spraší (Horník a kol., 1986).

Z meteorologických faktorů ovlivňují větrnou erozi především poměry větrné, srážky a výpar. Rychlost větru a vlhkost půdy jsou základem pro stanovení tzv. erozně klimatického faktoru (Pasák, 1984).

Větrnou erozí jsou ohroženy půdy lehké (písčité a hlinitopísčité) s nízkým obsahem humusu, menší je ohroženost půd středně těžkých (písčitohlinitých, hlinitých a jílovitohlinitých) a nízká až velmi nízká je u půd těžkých (jílovitých a jílu). Odnosu větrem nejvíce podléhají částice půdy o velikosti 0,25–0,4 mm. Větrnou erozi dále ovlivňuje rychlost větru. Ta, při které dochází k větrné erozi nad přípustnou mez, se nazývá kritická rychlost (Janeček a kol., 2002).

Důsledkem větrné eroze na zemědělské plodiny jsou přímé ztráty na výnosech způsobené větrnou abrazí a odkrytím kořenů kulturních rostlin v raném růstovém

stadiu. Ohrožení větrnou erozí se zvyšuje v tomto pořadí: ozimé obiloviny, jarní obiloviny, okopaniny pozdě pokrývající půdu. Ke snížení větrné eroze slouží obdobně jako u vodní eroze organizační, agrotechnická a technická (biotechnická) opatření (Šarapatka, 2001).

Pro odolnost půdy proti vodní a větrné erozi je rozhodující struktura půdy, obsah humusu, textura půdy a vlhkost půdy (zejména u větrné eroze). Nejvíce bude očekávanou klimatickou změnou ovlivněna pravděpodobně vlhkost půdy, která má vliv na odtok a současně působí výrazně na soudržnost půdy.

Větrnou erozí je v ČR ohroženo celkem 28.8% zemědělských půd. Větrná eroze nejvíce postihuje oblast jižní Moravy (Toman, 2002).

2.1.2. Vodní eroze

Vodní eroze je nejrozšířenější erozí, která se v naší republice vyskytuje. Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Stojatá mořská voda, rybníční a jezerní způsobuje erozi pobřežní, podzemní vody zejména vody v krasových útvarech vyvolávají kromě mechanické eroze i chemickou erozi. Mechanickou erozní činnost vody označujeme jako korozi chemickou korozi. Při vymílání hornin krouživým pohybem vody hovoříme o erozi. Obrušování skalního podkladu na dně vodních toků jezer a moří se nazývá abraze (Holý, 1978).

Erozní procesy mohou vést až k úplnému zničení půdy, základního výrobního prostředku v zemědělství. Při intenzivních srážkách se smyje mělká půdní vrstva a obnaží se půdní podklad, což má při dlouhodobém procesu tvorby nové půdy pro zemědělskou výrobu velmi nepříznivé důsledky. Pokles úrodnosti půdy ztrátou půdních částic záleží na druhu půdy a na hloubce půdního profilu. Škody způsobené erozními procesy se projevují ztrátou půdy, její degradací (zhoršení fyzikálně-chemických vlastností půd, zmenšení mocnosti půdního profilu, zvýšení šterkovitosti), zvýšením transportu půdních částic a chemických látek (Kadlec, 2003).

Podle intenzity (množství odneseného materiálu na jednotku plochy za jednotku času) se rozlišuje normální a zrychlená eroze. Ke zrychlené erozi dochází

tehdy, když je ztráta půdy rychlejší než vznik nové půdní vrstvy. Výsledkem je pokles hloubky půdního profilu a obnažení spodních horizontů. Při snížené unášecí schopnosti dochází v úpatích svahů k sedimentaci většiny erodovaného materiálu. Výsledkem je nový půdní typ – koluvizem (Vašků, 2002).

Erozi v důsledku dešťových srážek lze popsat na příkladu dopadajících kapek deště, které rozrušují půdní agregáty. Uvolněné půdní částice jsou pak následně transportovány v důsledku povrchového odtoku. V případě, že unášecí síla vody je menší, tyto částice sedimentují. (Vavroš, 2007).

Dalšími faktory mimo poškozování půdního profilu a pěstovaných kultur je i zvýšení vláhového deficitu, vysychavost, snížení hladiny spodních vod, znečišťování vodních toků pesticidy a hnojivy se zanášením půdními částicemi. Z ekonomického hlediska vyčíslené škody způsobené vodní erozí mají neblahý dopad na celkovou organizaci rostlinné výroby a vývoj krajiny (Pasák, Janeček, Šabata, 1983).

2.1.3. Druhy eroze podle formy

Formy eroze jsou odvozeny podle působení erozních činitelů. Odtok vody z pozemku lze rozdělit na povrchový a podpovrchový. Povrchový odtok můžeme definovat jako odtok srážkové vody na ploše povodí bez ohledu na její další činnost. Smyv půdy nastává v důsledku povrchového odtoku za předpokladu že vrstva půdy po které voda stéká je zhutnělá na tolik, že voda unáší pouze volné částice na povrchu půdy (Kudrna, 1985).

Druhy povrchové vodní eroze:

- plošná
- výmolová
- proudová

Rozeznáváme tři formy povrchové vodní eroze:

Plošná vodní eroze

Její prvním stupněm je eroze selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající selektivní erozi se stávají hrubozrnnějšími a mají snížený obsah živin, půdy obohacené smyvm jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivní eroze probíhá zvolna, často nepozorovatelně a nezanechává viditelné stopy. Lze ji zjistit z jemného materiálu akumulovaného v dolních částech svahu po přívalovém dešti. Selektivní plošná vodní eroze způsobuje nestejný vývoj vegetace, projevující se rozdílným růstem, rozdílnou barvou a kvalitou v částech svahu, v nichž došlo ke smyvu jemných půdních částic a živin, a v dolní části svahu, v níž došlo k akumulaci smytého materiálu (Holý, 1978).

Plošná eroze přechází v erozi rýhovou. Rýhy se dále postupně prohlubují až stékající voda nabývá charakter soustředěného toku se stále větší vymílací schopností. Na delších svazích může rýhová eroze vyvolat tvorbu výmolů a strží (Pasák, 1984).

Výmolová eroze

U výmolové eroze jsou půdní částice oddělovány smykovým působením vody proudící po povrchu půdy a poklesem bočních stěn a malých zhlaví. Oddělené částice jsou transportovány kombinací válení, odskakování a suspendování. (Janeček, 1978).

Výmolová vodní eroze vzniká postupným soustředěním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně se prohlubující. Prvním stadiem výmolové vodní eroze je eroze rýžková a brázdová. Vzhledem k tomu, že rýžková a brázdová eroze postihují obvykle velkou část povrchu svahu, označuje se tato eroze často jako nejvyšší stadium plošné eroze. Z rýžek a brázd vznikají pokračujícím soustředěným odtokem hlubší rýhy, které se směrem po svahu postupně prohlubují. Jsou výsledkem rýhové eroze. Ta pak přechází ve vyšší stupeň - erozi výmolovou a ta v nebezpečnou, území devastující erozi stržovou. Výsledkem výmolové a stržové eroze jsou hluboké výmoly a strže. (Holý, 1978)

Výmolvé zářezy, které již nelze zahladit obvyklým zpracováním půdy, poškozují velmi citelně kulturně používané půdy, neboť často ničí rozsáhlé plochy polí, pastvin a lesů a znemožňují také řádné obhospodařování okolních pozemků. Jsou rovněž škodlivé tím, že dešťová voda rychle stéká do jejich prostorů, aniž zavlažila půdu (Cablík, Jůva, 1963).

Proudová vodní (říční) eroze

Tato eroze probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Jeli rozrušováno pouze dno, mluvíme o erozi dnové, jsou-li rozrušovány břehy, o erozi břehové. Dnová eroze je formou podélné eroze, prohlubující podélné osy toku, břehová eroze je formou eroze, probíhající směrem kolmo na osu toku. Nejvýrazněji se projevuje proudová eroze v bystřinách, jež nesou obvykle velké množství splavenin (Holý, 1978).

Voda tekoucí korytem vodního toku má schopnost přepravovat usazeniny dodávané do vody ze svahů kopců nebo přímo naerodované usazeniny z břehů či řečiště. Množství transportovaných usazenin závisí hlavně na objemu průtoku; ten samozřejmě souvisí s velikostí povodí a bude kolísat podle vstupů ze srážek (Montgomery, 2007).

Produkty plošné, výmolné a proudové eroze, které se dostávají do hydrografické sítě, označujeme jako splaveniny. Podle způsobu pohybu rozlišujeme plaveniny a dnové splaveniny. Plaveniny jsou pevné částice minerálních nebo organických látek, přemísťované v suspenzi proudící vodou. (Gabrielová, 1998).

Z hlediska zrnitostního složení náleží většina plavenin do kategorie jílu, prachu a jemného písku. Hlavním mechanismem, který udržuje plaveniny v pohybu, je turbulentní proudění. Pokud je svislá složka turbulence menší než usazovací rychlost částic, dochází k sedimentaci plavenin na dně toku (Michael, 2001).

Dnové splaveniny se pohybují po říčním dně vlečením, salutací (skoky) a válením. Plaveniny i dnové splaveniny jsou nedílnou součástí přírodě blízkých vodních toků a významně přispívají k dynamickému utváření říčního koryta (Just a kol, 2003).

Problematické však mohou být plaveniny, vzniklé jako produkt plošné eroze intenzivně využívané zemědělské půdy v povodí. Při nevhodném použití umělých hnojiv se spolu s plaveninami do vodních toků dostávají živiny, zejména dusičnany a sloučeniny fosforu, které poškozují říční ekosystém a mají nepříznivý dopad na kvalitu vody v nádržích (Langhammer a kol., 2003).

Podpovrchová eroze

Méně častou formou dešťové eroze je podpovrchová eroze. Vsakování srážkových vod může vést k nasycení půdy vodou. Pokud tato půda obsahuje dostatek navzájem propojených pórů a dutinek umožňujících proudění vody dochází k podpovrchovému odtoku. Tento jev je častější zejména u půd s méně propustným podložím. Podle intenzity může mít podpovrchová eroze dvě formy. Při malé intenzitě dochází k podpovrchovému vymílání (sufozi). Voda vsakující se do půdy unáší nejdrobnější jílové částice a hlubších vrstvách, zejména pokud narazí na méně propustnou vrstvu, proudí pomalu a přitom unáší jemné částice laterálně směrem dolů. Při větší intenzitě podpovrchového odtoku, nebo pokud propustnost podložní vrstvy je velmi malá, dochází k tunelové erozi. Při tunelové erozi proudí vsakující se voda nad rozhraním méně propustné vrstvy tak intenzivně, že vytvoří podzemní tunely. Takové případy jsou známy zejména ze sprašových oblastí. Tunely se časem proboří a mění se na výmoly (Fulajtár, Janský, 2001).

V půdách podléhajících lehce destruktivnímu účinku vody, zejména ve spraších, dochází k vymílací činnosti podzemních vod, jež se hromadí na nepropustné vrstvě. Vznikají tunely, jež snižují stabilitu nadložních vrstev. Činnost vody vedoucí ke vzniku tunelů se označuje jako tunelová eroze (Holý, 1978).

2.1.4. Mechanismy erozních procesů

Erozní procesy probíhaly a budou probíhat neustále; jsou činitelem, který působí nepřetržitý vývoj a změny povrchu Země. Vyvolávají je přírodní síly, k jejichž vlivu přispívá činnost člověka, jež je výrazná zejména v posledním období, v němž společnost intenzivně využívá přírodní zdroje pro svůj další rozvoj. Mechanismus erozních procesů se řídí působením a vzájemnou interakcí faktorů, které je vyvolávají a ovlivňují.

Nejvýznačnější faktory jsou:

- klimatický a hydrologický,
- morfologický,
- geologický a půdní,
- vegetační,
- hospodářsko-technický,
- sociálně ekonomický (Holý, 1978).

Klimatický a hydrologický faktor

Patří sem: zeměpisná poloha, nadmořská výška, množství, rozdělení a intenzita srážek, teplota, oslunění, výpar, odtok a výskyt, směr a síla větrů (Janeček 1992).

° Srážky

Ukazatelem erozní účinnosti deště je R – faktor, který je součinem kinetické energie a maximální třicetiminutové intenzity deště (Janeček, 1992).

Pro vznik a intenzitu erozních procesů jsou ve většině případů rozhodující přívalové srážky. Přívalové srážky jsou charakterizovány značnou intenzitou, krátkou dobou trvání, omezeným plošným rozsahem a výskyt těchto erozně nebezpečných dešťů v našich podmínkách je v období od konce dubna do počátku října (Janeček a kol., 2002).

Projeví-li se očekávaná klimatická změna možným zvýšením extrémních projevů počasí, tedy i srážkových úhrnů, lze očekávat změny nejen v četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů ale též změny v sezonalitě jejich výskytu v jednotlivých měsících, vydatnosti, intenzitě a době trvání (Carter, Parry, Porter, 1991).

Důvodem zvyšování erodovatelnosti půdy v jarních měsících je silně snížená rychlost průsaku vody do spodních vrstev. Proto je v povrchové vrstvě půdy relativně intenzivní eroze i tehdy, je-li množství tajícího sněhu malé. Na vznik eroze z tajícího sněhu má také vliv opětovné zamrzání půdy ve studené periodě a tím silně snížená rychlost průsaku vody do spodních vrstev. Pro vznik povrchového odtoku z tání sněhu je důležitá existence sněhové pokrývky minimálně 10 cm, která v průběhu několika dnů vlivem zvýšených teplot odtaje a způsobí povrchový smyv půdy (Bureš, 2001).

Jestliže budeme předpokládat postupné mírné oteplování, vlivem klimatické změny, nemůžeme potom vyloučit změnu v charakteristikách sněhových srážek, které mají na erozní procesy, zejména v předjarním období, velký vliv. Zde by se zejména jednalo o rozložení, výšku a dobu trvání sněhové pokrývky. Vlivem postupného oteplování by se mohlo snížit nebezpečí výskytu erozních procesů, způsobených prudkým táním sněhu v předjarním období, v důsledku nižšího výskytu sněhových srážek (Litschmann, Rožnovský, 1994).

° Povrchový odtok

Popis erozního a odtokového procesu je rozdělen na 5 základních fází: uvolnění půdních částic deštěm, přemístění půdních částic deštěm, uvolnění půdních částic povrchovým odtokem, transport půdních částic povrchovým odtokem a sedimentace při snížení unášecí rychlosti (Holý, 1994).

Odtok je především určen množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, porostem, nepropustnými plochami a retencí povrchu. Významné budou změny ve využití půdy v povodí a ve funkci vegetačního pokryvu. Stanovení kulminačního průtoku a transportu splavenin vychází v podstatě z objemu přímého odtoku jehož případné korekce v důsledku klimatické změny se i zde promítnou (Litschmann, Rožnovský, 1994).

Morfologický faktor

◦ Sklon svahu

S narůstající délkou a sklonem svahu stoupá nebezpečí eroze. Proto schůdnou cestou pro omezení eroze může být zkrácení délky svahu, nejjednodušší protierozní ochranou a jejím základem je zapojený vegetační kryt (Šarapatka, 2001).

Pro naše podmínky uvádí Cablík, Jůva 1963, in Holý 1978, že vodní eroze na zemědělských půdách není nebezpečná do sklonu 2° , stává se patrnou při 4° a zřetelně výraznou na půdách o sklonu větším než 8° . Podle Spirhanzla 1952, in Holý 1978, je půda při sklonu $1,5^\circ$ mírně vymílána, při sklonu $2,4^\circ$ vznikají větší škody a při sklonu 5° se tvoří výmoly a strže. Zemědělská půda do sklonu 7° je považována za neohroženou nebo jen slabě, od 4° do 10° za mírně ohroženou, od 8° do 15° za středně ohroženou a od 12° do 17° za silně ohroženou (Holý, 1978).

U svažitéch pozemků nad 15% (zejména u mělkých půd) dochází k diferenciaci produkční schopnosti v rámci těchto jednotlivých zón. K nejvýraznějšímu snížení výnosu dochází v zóně přechodu z části infiltrační do transportní (Dumbrovský, 2000).

◦ Délka svahu

Vzájemné působení délky a sklonu svahu vedlo při návrzích protierozní ochrany k určení maximální přípustné délky svahu, což je hranice, kdy se opět mění plošný odtok v soustředěný (Cablík, Jůva, 1963).

◦ Tvar svahu

Na průběh a intenzitu eroze má vliv tvar svahů. Dělí se na vypuklé (konvexní), vyduté (konkávni) a přímé. Kombinované se vyskytují v různém uspořádání, nejčastěji vypuklo- vyduté a stupňovité svahy. Maximální účinek erozních procesů se projeví v těch místech svahu, kde jsou sklon a vzdálenost od rozvodí v nejpříznivějším poměru (Holý, 1978).

◦ Expozice svahu

Sluneční expozice na jižních a západních svazích je příčinou rychlého tání sněhu při změnách denních a nočních teplot. Odtok sněhových vod je značný zejména u závětrných svahů, na nichž se v průběhu zimního období nahromadí vysoká vrstva sněhu. Půda osluněných svahů rychleji vysychá a dochází v ní k rychlejšímu rozkladu organických látek, což zmenšuje její soudržnost a zvětšuje nebezpečí vodní a větrné eroze (Holý, 1978).

Geologický a půdní

Pro odolnost půdy proti vodní a větrné erozi je rozhodující struktura půdy, obsah humusu, textura půdy a vlhkost půdy (zejména u větrné eroze). Nejvíce bude očekávanou klimatickou změnou ovlivněna pravděpodobně vlhkost půdy, která má vliv na odtok a současně působí výrazně na soudržnost půdy (Litschmann, Rožnovský, 1994).

Struktura půd je dána uspořádáním částic a obsahem nekapilárních pórů. Nejstabilnější jsou půdy s drobtovitou strukturou propouštějící nekapilární póry srážkovou vodu do hlubších vrstev a poutající její část v kapilárních pórech drobtů. Podle výzkumů mají drobtovité půdy plnou vsakovací schopnost ještě při sklonu terénu 17%. K vytvoření drobtů je nezbytný účinný, to je vápníkem nasycený humus, který stmeluje půdní částice, a výměnný vápník vyvolávající koagulaci půdních koloidů a tím tvorbu pevných agregátů (Holý, 1978).

Mezi geologické faktory patří:

- povaha horninového substrátu
- půdní druh a půdní typ
- textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu (Podhrázká, Dufková, 2005).

Vegetační faktor

Působení vegetačního faktoru na průběh a intenzitu erozních procesů se projevuje ochranou půdního povrchu před přímým dopadem dešťových kapek a před působením větru, podporou vsaku srážkové vody do půdy, zpomalením povrchového odtoku a zlepšením fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Protierozní účinnost jednotlivých kultur a plodin je různá. Pozorování a měření v přírodě umožňuje sestavit jednotlivé kultury do pořadí: les, travní porost, plodiny na orné půdě. U polních plodin je pořadí od protierozně odolných k erozně náchylným takové: píce, obiloviny, luštěniny, okopaniny. Protierozní účinnost jednotlivých plodin závisí na době setí (sázení), délce vegetačního období, zařazení v osevním postupu a použité agrotechnice pěstování. Z pohledu možné klimatické změny bude pravděpodobně ovlivněna doba setí (sázení) a následně pak vlastní protierozní účinnost během vegetačního období s ohledem na sezonalitu výskytu erozně nebezpečných dešťů. Další změny lze očekávat i ve struktuře jednotlivých plodin pěstovaných na orné půdě, možné jsou i změny ve využití půdního fondu jako celku a to vše bude ovlivňovat intenzitu erozních procesů a odtokové poměry (Litschmann, Rožnovský, 1994).

Podle erozivní účinnosti vegetačního krytu jsou jednotlivé vegetace v pořadí (Holý, 1978):

- Lesní porost
- Trvalé travní porosty
- Dočasné travní porosty
- Úzkořádkové plodiny (obiloviny, řepka, apod.)
- Širokořádkové plodiny (kukuřice, řepa, brambory)

Schůdnou cestou pro omezení eroze může být zkrácení délky svahu, nejjednodušší protierozní ochranou a jejím základem je zapojený vegetační kryt. Jednotlivé kulturní rostliny jsou v omezování eroze různě účinné a jejich efekt je zohledněn při výpočtu průměrné dlouhodobé ztráty půdy ve faktoru ochranného vlivu vegetace (Šarapatka, 2001).

Hospodářsko-technický

Intenzivní větrná a vodní eroze vznikají v největším měřítku přeměnou oblastí s přirozeným vegetačním krytem (zejména lesním) v zemědělskou půdu a jejím intenzivním obděláváním. Očekávaná klimatická změna (zejména zvýšení teploty) by mohla způsobit změnu intenzity využívání půdního fondu a zároveň i ovlivnění erozního ohrožení území. Změna intenzity obdělávání by se nejvíce projevila na velikosti pozemků a jejich polohového a tvarového uspořádání (Litschmann, Rožnovský, 1994).

Sociálně ekonomický

Způsob využití přírodních zdrojů je určen stupněm rozvoje a uspořádáním společnosti. Nejeefektivnější využití vyžaduje, aby se veškeré zásahy prováděly v souhlase s potřebou společnosti a s hloubkou znalostí přírodních zákonů. Tyto základní principy jsou však zejména v současné době velmi často opomíjeny se všemi svými negativními důsledky (Nermut, 2007).

2.1.5. Výpočet vodní eroze

Za účelem přímého měření eroze na svahu jsou zřizovány výzkumné plošky, oddělené od okolní půdy nepropustnou překážkou. V místě výtoku z plošky je zachycována voda i transportované půdní částice. To umožňuje přesně určit ztrátu půdy z výzkumné plochy i zrnitostní složení a další charakteristiky transportovaných částic následkem jednotlivého deště i za delší období. Ke stanovení erozní účinnosti deště se provádí ombrografické měření, nebo je možné i v polních podmínkách s výhodou využít přenosný simulátor deště (Chmelová, Šarapatka, 2002).

Empirické modely

Statistické vyhodnocení souborů naměřených dat na výzkumných plochách umožňuje hledat a číselně vyjádřit závislost mezi sledovanými veličinami. Prokáže-li se stanovený matematický vztah jako statisticky významný, je možné jej použít pro

předpověď výstupních hodnot (např. objem odtoku, odnos splavenin) i pro jiné území s podobnými podmínkami, kde jejich měření neprobíhá. Takto získaný vztah se označuje jako **empirický model**. Známým a rozšířeným empirickým modelem je tzv. Univerzální rovnice ztráty půdy, podle anglického názvu označovaná zkratkou „USLE“ (Wischmeier a Smith, 1965 in Renard a kol., 1997). Tato rovnice byla odvozena měřením na více než 10 000 výzkumných plochách s přesně definovanými parametry (délka 22,13 m, sklon 9 %, trvalý úhor obdělávaný ve směru sklonu) v oblasti podhůří Skalistých hor v USA.

Fyzikálně založené modely

Prohlubování znalostí o fyzikálních zákonitostech erozních jevů spolu s rozvojem výpočetní techniky vedl k vytvoření fyzikálně podložených modelů, které jsou založeny na matematickém vyjádření procesu odtoku vody (Holý, 1994). Základem fyzikálně podloženého modelu je soustava diferenciálních rovnic, popisující zákonitosti povrchového odtoku na idealizované elementární odtokové ploše, vyjádřené např. ve tvaru nakloněné roviny. Popis erozního a odtokového procesu je rozdělen na 5 základních fází: uvolnění půdních částic deštěm, přemístění půdních částic deštěm, uvolnění půdních částic povrchovým odtokem, transport půdních částic povrchovým odtokem a sedimentace při snížení unášecí rychlosti (Holý, 1994).

Konceptuální modely

Část v současné době využívaných erozních modelů je označována jako **konceptuální** (koncepční). Základní zákonitosti jsou popsány ve zjednodušené (koncepční) formě a obvykle připouštějí jistou míru empirických vztahů, nahrazujících složité vazby komplexního popisu chování systému povodí (Daňhelka a kol., 2003). Oproti většině empirických modelů je výhodou možnost výpočtu eroze a transportu plavenin pro jednotlivé srážkoodtokové události. Další výhodou je popis důležitých faktorů a procesů: infiltrace, nasycení půdy, růst rostlin, eroze a sedimentace v říční síti, které mohou významně ovlivňovat transport splavenin z povodí.

2.1.6. Protierozní opatření

Protierozní opatření u vodní eroze se stejně jako u větrné dělí na organizační, agrotechnická a biotechnická (biologická, stavebně-technická). První dvě skupiny opatření jsou relativně levnější než skupina třetí. Z finančních důvodů bývají někdy tato opatření preferována (Pasák, 1984).

Organizační opatření

Principy zajišťující ochranu půdy proti vodní erozi:

pěstování plodin dle specifik stanoviště a plodiny, včasný termín výsevu plodin, výsev víceletých píceň do krycí plodiny, posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, zařazování bezorebně setých plodin, rozmístění plodin dle svažitosti pozemku, ochranné zatravnění a zalesnění, protierozní rozmístování plodin, protierozní oseední postupy,
- pásové střídání plodin, protierozní směr výsadby sadů a vinic (Dumbrovský, 2004).

Organizační opatření umožňují následující postupy:

- Ovlivnění tvaru pozemku je vhodné zejména přerušением jeho délky vhodným protierozním opatřením.
- Změnou druhu pozemku do TTP nebo zalesněním lze vyřešit erozi zejména na mělkých a svažitých půdách, zamokřených půdách a v lokalitách vodohospodářsky významných.
- Protierozní rozmístování plodin na orné půdě se řídí jejich protierozním účinkem. Hlavní skupiny plodin lze rozdělit do těchto kategorií:
 - plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace (travní porosty, jetelotrávy, jeteloviny),
 - plodiny s dobrou PEO půdy po větší část vegetačního období (obilniny, meziplodiny, luskoviny),
 - plodiny s nedostatečnou PEO půdy po převážnou část vegetačního období (kukuřice, slunečnice, brambory, cukrovka).

- Pásové střídání plodin sleduje snížení erozního účinku vložení různě širokých pásů s plodinami erozně méně ohroženými (travní porost, vojtěška, jetel, příp. obilovina) na pozemek s pěstovanou erozně ohroženou plodinou (Podhrázská, Dufková, 2005).

Agrotechnická opatření

- protierozní agrotechnologie na orné půdě,
- výsev do ochranné plodiny, strniště, mulče či posklizňových zbytků,
- hrázkování a důlkování povrchu půdy,
- protierozní agrotechnologie ve speciálních kulturách,
- zatravnění mezičásí,
- krátkodobé porosty v mezičásí,
- mulčování,
- hrázkování a důlkování půdy v meziřadí (Janeček, 1992).

Vlastní protierozní agrotechnika, tj. způsob obdělávání zemědělské půdy, je podmíněna speciálními nebo vhodně upravenými mechanizačními prostředky. V první řadě jde o směr orby, setí a o všechny ostatní kultivační i sklizňové operace. Pokud to sklon a systém mechanizačních prostředků dovolují, měla by být uplatněna zásada provádění agrotechnických operací ve směru vrstevnic, nejvýše s malým odklonem od tohoto směru (Podhrázská, Dufková, 2005).

Biotechnická opatření

- terasy - úzké vrstevnicové terasy, úzké paralelní terasy, široké terasy, terasové dílce
- záchytné, svodné příkopy,
- cestní síť a příkopy,
- zatravněné pásy podél vodotečí,
- obdělávatelné a zatravněné průlehy – zatravněné údolnice,
- nádrže (Dumbrovský, 2004).

Podstatný vliv na půdní erozi má její obhospodařování. Při porovnání bezkrevného zpracování půdy s konvenčním se mění půdní struktura, která ovlivňuje schopnost půdy absorbovat a přemísťovat vodu. Z mnoha výsledků různých autorů vyplývá, že z bezorebně zpracovaných ploch došlo k dvakrát nižšímu povrchovému odtoku a pětikrát nižší ztrátě půdy. Podobných výsledků dosáhl i Tippl a kol. (2001), který sledoval porosty kukuřice, varianty tradičně pěstované s kypřením svrchní vrstvy půdy a bez kypření. Nejmenší odtok byl zaznamenán u bezorebné varianty s ponechanými posklizňovými zbytky a s prokypřením půdy. Důležitým faktorem pro zabránění či zmírnění vodní eroze je nenechávat povrch půdy bez ochranného pokryvu. Pokryv půdy rostlinnými zbytky po sklizni předplodiny nebo umrtvenou nadzemní biomasou meziplodin, mulčem, sehrává důležitou roli při protierozní ochraně půdy (Javůrek, Šimon, 2005).

2.2. Pěstování energetických plodin

Současná situace využívání energetických zdrojů směřuje jednoznačně ke hledání nových netradičních zdrojů, včetně zdrojů obnovitelných. Tradiční fosilní zdroje jsou limitovány, neboť jsou vyčerpitelné. Z obnovitelných zdrojů energie má největší význam biomasa, protože zaujímá až 75% v rámci všech obnovitelných forem energie (voda, vítr, solární energie apod.). Její výhodou je i to, že ji lze „konzervovat“ – může se usušit, uskladnit a použít v době, kdy je potřeba (Petříková, 1998).

Výsledným produktem energetických plodin jsou biopaliva (fytopaliva), která mohou být tuhá (řezanka, balíky, brikety, pelety), tekutá (rostlinné oleje, bionafta, bioetanol) nebo plynná (bioplyn) (Ušák, 1998).

2.2.1. Biomasa

Jako biomasa je obecně označována veškerá hmota organického původu. Má široký rozsah druhů zahrnující dendromasu (dřevní biomasu), fytomasu (rostlinnou biomasu, zemědělské a energetické plodiny) a biomasu živočišného původu. Jedním ze zdrojů biomasy jsou tak i biologicky rozložitelné odpady (čisté nebo vytríděné z ostatních složek). (Petříková, 2000)

Zdroje biomasy

Energetická biomasa se nejčastěji využívá ve formě nejrůznějších odpadních hmot organického původu, nebo vedlejších produktů. Jedná se především o dřevní či lesní odpady nebo slámu: obilní, řepkovou, kukuřičnou apod. Využívání odpadních hmot je nejlevnější zdroj biomasy. S rostoucím počtem nově budovaných biokotelen se ale již vyskytují signály o nedostatku lesních a dřevních odpadů. S tím souvisí obvykle i jejich vzrůstající cena. Záměrné pěstování rostlin pro energetickou biomasu má stále větší význam. Poměrně známé jsou plantáže rychle rostoucích dřevin, které se zakládají i u nás, ale jsou rozšířeny hlavně v zahraničí (Petříková, 2005).

V současných ekonomických podmínkách není pěstování vhodné pro velkoplošné uplatnění v ČR, neboť rychle rostoucí dřeviny vyžadují vysoký podíl ruční práce, nebo obrovské investice do moderní specializované techniky (Ust'ak, 2000).

Mají místo zejména ve vlhkých podmáčených půdách, neboť se jedná zpravidla o vrby či topoly. Jejich porosty se mohou doplňovat s energetickými plodinami bylinného charakteru, z nichž mnohé naopak podmáčené půdy nesnáší. Méně známé jsou energetické rostliny bylinného charakteru (např. laskavec *Amaranthus* L., pupalka dvouletá *Oenothera biennis* L., čičorka pestrá *Coronilla varia* L.) Z těchto rostlin jsou nejdůležitější rostliny víceleté a vytrvalé. Jejich výhodou je snížení nákladů na pěstování, kdy není třeba každoročně nově porost zakládat a provádět veškeré kultivační práce, které jednoleté plodiny jinak vyžadují, včetně setí a každoročního nákupu osiv (Petříková, 2005).

Pěstované plodiny pro energetické účely má velký ekologický význam projevující se v omezení skleníkového efektu, v úspoře neobnovitelných zdrojů surovin a energie, ve správnosti ovzduší a v omezení zaplevelenosti území (Ust'ak, 2000).

Další nesporná výhoda vytrvalých rostlin je jejich protierozní působení, které se jinak při každoroční orbě může často objevit a poškodit tak půdu a zasáhnout

mnohdy negativně i do ekologie celé krajiny. Jako nejperspektivnější energetická plodina se jeví krmný šťovík (Petříková, 2005).

2.2.2. Energetické plodiny vhodné pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma.

V podmínkách ČR se zkouší podle Petříkové (2005) pro energetické využití tyto plodiny:

Jednoleté - tritikale, ozimé žito, čiroky *Sorghum sp.*, sudanská tráva, konopí seté *Canabis sativa*, laskavec *Amaranthus sp.*, sléz krmný *Malva verticillata*, hořčice sareptská *Brassica juncea*, katrán habešský (Krambe) *Crambe abyssinica*, světlice barvířská *Carthamus tinctorius*, lnička setá *Camelina sativa*, uvažuje se také o vedlejších produktech vznikajících při sklizni lnu, řepky olejky a slunečnice.

Víceleté a vytrvalé - pupalka dvouletá *Oenothera biennis*, komonice bílá *Melilotus alba*, jestřabina východní *Galega officinalis*, topinambur hlíznatý *Helianthus tuberosus*, šťovík krmný *Rumex tianshanicus* x *Rumex patientia*, mužák prorostlý *Silphium perfoliatum*, bělotrn kulatohlavý *Echinops shaerocephalus*, boryt barvířský *Isatis tinctoria*, topolovka růžová *Alce rosea*, ozdobnice čínská *Miscanthus sinensis*, křídlatka *Reynoutria sp.*

Energetické trávy - chrastice rákosovitá *Phalaroides arundinaceae*, kostřava rákosovitá *Festuca arundinacea*, psineček veliký *Agrostis gigantea*, ovsík vyvýšený *Arrhenatherum elatius*, sveřep samužníkový *Bromus catharticus* a sveřep bezbranný *Bromus inermis*.

Uvádí se kolem jednoho sta rostlinných druhů z celého světa, které byly vytipovány jako potenciální energetické plodiny (Stražil, 1999).

Jednoleté byliny dávají rychlou produkci a z pěstitelského hlediska nejsou náročné na mechanizaci, zajímavěji se ale jeví vytrvalé druhy a rychle rostoucí dřeviny, které po fázi narůstání dávají vyšší produkci a není nutné každoroční

zakládání porostu. Pro fytoenergetiku se využívají také vedlejší produkty rostlinné produkce, jako je například sláma obilovin (Petříková, 1998).

Není-li narušována horizontální struktura krajiny, má krajina tendenci vyvíjet se k homogenitě. Mírné disturbance v krajině působí změny v krajině a zvyšují její heterogenitu. Silné disturbance mohou heterogenitu zvyšovat i snižovat. O krajině lze tedy prohlásit, že se v každém okamžiku nachází ve stavu dynamické rovnováhy (Forman, Gordon, 1993).

2.2.3. Technologie pěstování energetických plodin

Na základě dlouhodobých zkušeností byly vytypovány následující základní požadavky na perspektivní energetické plodiny:

- 1) vysoké nízkonákladové výnosy nadzemní biomasy;
- 2) možnost uplatnění jednoduchých nízkonákladových zemědělských technologií;
- 3) rozmnožení setím je více preferované než sadbou;
- 4) vytrvalé plodiny mají přednost před jednoletými;
- 5) nízké požadavky na hnojení a ochranu rostlin;
- 6) možnost využití běžné zemědělské techniky má přednost před použitím úzce specializovaných strojů;
- 7) poskytnutí rostlinou vhodných technologických podmínek pro sklizeň a zpracování biomasy;
- 8) bezpečnost plodiny z hlediska ochrany životního prostředí (Ust'ak, 2000).

Při protierozní organizaci plodin se běžně používá rámcové klasifikace pěstovaných plodin do tří skupin:

- plodiny s vysokým protierozním účinkem po celou dobu vegetace (travní porosty, jeteloviny, jetelotrávy) ;
- plodiny s dobrou protierozní ochranou pro větší část vegetačního období (obilniny, luskoviny, ozimá řepka, meziplodiny) ;
- plodiny s nízkým protierozním účinkem po převážnou část vegetačního období (cukrovka, brambory, kukuřice) (Kokolia, Kos, 1989).

2.2.4. Kukuřice setá (*Zea mays*)

V podmínkách ČR je hlavním směrem využití ke krmným účelům (siláž i zrno). Kukuřičná siláž tvoří základní součást krmných dávek přežvýkavců, a to nejen v zimním, ale i v letním krmném období. S rostoucí užítkovostí dojnic rostou požadavky na kvalitu krmiv, a tím narůstá také význam kukuřice (Prugar, 2008).

Energetická kukuřice

Při hledání alternativních energií a surovin se do středu zájmu stále více posouvá kukuřice. Jako obnovitelná surovina je vhodná pro produkci bioplynu. Bioplyn z kukuřice použitý na výrobu elektrické energie má podle plánů EU příspěvek k tomu, že se podíl regenerativních energií na výrobě elektrické energie zvýší z dnešních 10 % na 12,5 % v roce 2010 (Michal, 2008).

Pro výrobu bioplynu z energetických rostlin má v současné době jako surovina největší význam kukuřice. Za prvé má jako rostlina C4 ze všech u nás domácích kulturních rostlin nejvyšší výnosový potenciál. Za druhé se pro kukuřici diferencovaně vyvinuly a dále technologicky optimalizovaly systémy pěstování, sklizně, konzervace, odběru a přepravy. V současné době se intenzivně diskutuje otázka, jak má vypadat optimální energetická kukuřice pro výrobu bioplynu. Při praktickém použití kukuřice jako kukuřice energetické lze rozlišovat tři formy použití:

- Energetická kukuřice se ve vegetačním roce pěstuje a využívá jako jediná hlavní kultura.
- Energetická kukuřice se pěstuje jako hlavní kultura po předplodině jako je třeba ozimé žito.
- Energetická kukuřice se pěstuje v kombinaci s jinými druhy kulturních rostlin, jako je třeba slunečnice.

Jak ukazují zkušenosti s pěstováním energetické kukuřice, byly pěstitelské strategie na specializovanou energetickou kukuřici, které spočívají v použití spíše později zrajících odrůd krmné kukuřice, relativně úspěšné. Konvenční odrůdy s mírně

větším stupněm zralosti vykazují dosud největší hektarové výtěžnosti metanu při současné dobré silážovatelnosti biomasy a při vysoké jistotě výnosu. Další zkoušky musejí objasnit roli obsažených látek siláže z celých rostlin a především roli složek vlákniny a škrobu na specifické schopnosti tvorby metanu. Energetická kukuřice se k výrobě bioplynu může využívat nejlépe tehdy, když je optimálně integrována do trvalého, místu stanoviště přizpůsobeného systému osevních postupů. Výnosnost (hektarový výnos metanu) nových "hybridů energetické kukuřice" se musí zkoumat na různých stanovištích po dobu více vegetačních období (Amon, 2006).

Pěstování kukuřice

Doporučuje se pěstovat 7 – 11 rostlin na metru čtverečním. Kořenové soustavě pravděpodobně vyhovuje úživná plocha blízká se čtverci. Naproti tomu nadzemní část rostliny vyžaduje širší řádky s ohledem na lepší prostupnost pro světlo (a také pro proudění vzduchu) a tedy využití sluneční energie celým porostem. V hustších porostech si rostliny extrémně konkurují, později dozrávají, mají vyšší obsah vody v zrnu a zhoršuje se poměr mezi palicí a celkovou zelenou hmotou (Chloupek, 2005).

Je to plodina, která má svými požadavky na agrotechniku a hnojení charakter okopaniny. Vyžaduje neutrální až slabě kyselou reakci půdy a má dlouhou vegetační dobu. Přestože je obilninou, je vhodná jako přerušovač obilních sledů v osevních postupech, po sobě je snášenlivá a její opakované pěstování je možné. Nejvhodnějšími předplodinami pro pěstování jsou jeteloviny, okopaniny či víceleté pícniny, ty zejména ve vláhově příznivých podmínkách. Méně vhodnými, ale nejčastěji používanými jsou obilniny. V tomto případě je nejvhodnější předplodinou pšenice. Jako předplodina je kukuřice z hlediska technologie vhodná pouze pro jařiny. Vzhledem k vysoké pravděpodobnosti výskytu klasových fuzarióz na následných obilninách není pro ně dobrou předplodinou (Vrzal, 1995).

Kukuřice je na přípravu půdy velmi náročná. Aby se mohl plně rozvinout její mohutný kořenový systém, a tím vytvořit příznivé podmínky pro příjem vody a živin, vyžaduje půdy hluboko zpracované. Příprava půdy má zajistit dobrou strukturu půdy, uchování vody v půdě, prohřátí půdy a zasakování vody (Chloupek, 2005).

Kukuřice klíčí od 8 – 10 °C, vysévá se většinou od poloviny do konce dubna. Dřívější výsev působí zpožděné a nerovnoměrné vzcházení, porost je citlivý na změnu teploty půdy, na choroby a škůdce. To se pak projeví mezerovitým porostem. Proto je nutné moření osiva. Pozdní výsevy sice rychle vzcházejí, ale protože mají k dispozici kratší vegetační dobu, bývají pak méně výnosné. Hloubkou výsevu se reguluje dostupnost vody a teplota půdy. Většinou stačí hloubka 4 – 6 cm. Kukuřice, vzhledem k dlouhé vegetační době, využívá živiny i z organických hnojiv včetně kejdy (aplikace kejdy na povrch půdy do meziřádků kukuřice zlepšuje teplotní, vláhové podmínky a částečně omezuje erozi půdy) (Vrzal, 1995).

Při pěstování po sobě se za účelný považuje dvouletý až tříletý sled kukuřice. Ani na úrodné půdě se nedoporučuje pěstování po sobě více než pět až šest let. V suchých oblastech jsou nevhodnými předplodinami vojtěška a jeteloviny (výrazný vláhový deficit). Rovněž je nevhodné její pěstování jako následné plodiny po ozimých směskách. Vlivem kratší vegetační doby a ztráty vláhy při jarní orbě dochází vždy ke snižování výnosu a zhoršení kvality sklizené silážní kukuřice. Intenzivně pěstovaná kukuřice jako hlavní plodina poskytne větší výnos sušiny o vyšší kvalitě než ozimá směska a následná kukuřice dohromady. Jako zlepšující plodina se kukuřice projevuje pokud je organicky hnojena. (Svoboda, 2004).

Kukuřice roste v počáteční fázi velmi pomalu a to bývá příležitost pro rychlý růst plevelů. Kultivační opatření v počátečních fázích růstu musí směřovat jednoznačně k potlačení plevelů. Děje se tak cestou mechanického nebo chemického ošetření. Prvním zásahem po zasetí kukuřice bývá válení. V suchých oblastech a za suchého jara je nutné na všech druzích půdy, ve vlhčích oblastech pouze na lehké půdě. Na těžší půdě se válením zvyšuje nebezpečí vytváření půdního škraloupu. Na svažitéch pozemcích válení podporuje erozi spojenou se splavováním nejen půdy, ale i herbicidů a živin (Vrzal, 1995).

Využívá-li se kukuřice na siláž pro výrobu bioplynu, měla by dosáhnout fáze voskové zralosti i v méně příznivých ročnících. To je třeba mít při výběru hybridu pro určitou oblast na zřeteli. Při časnější sklizni odtéká ze silážované hmoty více silážních šťáv, je v ní méně cukrů a bylo prokázáno, že produkce metanu z jednotky plochy je

nižší. Rozhodující není celkový výnos zelené hmoty, ale výnos fermentovatelné hmoty (Hofmanová, 2006).

Hybridy určené pro využití v bioplynových stanicích je vhodné sklízet při celkové sušině celých rostlin v rozmezí 28 – 32 % (Prokop, 2008).

Z hlediska ochrany půdního a životního prostředí je používání minimalizačních technologií zpracování půdy ke kukuřici žádoucí. Významné je především omezení eroze půdy a ztrát pohyblivých forem dusíku z půdního prostředí do podzemních vod. U technologických postupů s výsevy kukuřice do meziplodin je navíc půda obohacována o snadno rozložitelnou organickou hmotu meziplodin, což zvyšuje mikrobiální aktivitu půdy. Organická hmota z kořenů a nadzemních částí meziplodin dále zlepšuje fyzikální, zejména strukturní stav půdy (Procházková, 2005).

Ve složitých erozních podmínkách bude nezbytné na úkor kukuřice rozšířit plochy víceletých pícnin (Kokolia, Kos, 1989).

2.2.5. Řepka olejná (*Brassica napus napus*)

V Čechách se její pěstování ujalo hlavně v letech 1820 – 1839 a ve velkém rozsahu je pěstována od roku 1942. Od roku 1974 se plochy ozimé odrůdy řepky s minimálním obsahem kyseliny erukové začaly rychle šířit. Podařilo se zjednodušit pěstování, podstatně zvýšit výnosy a zásadním způsobem změnit kvalitu olejů, která vyhovuje nárokům zpracovatelům a potravinářů. Po roce 1990 se začala řepka uplatňovat jako energetická surovina a od roku 2000 se stala nejvýznamnější exportní komoditou rostlinné výroby ČR. Z toho důvodu se za období 1989 – 2000 plochy řepky zvětšily asi o 350% a mají tendenci dále narůstat, k čemuž přispívá i velmi dobrá prodejnost (Vašák a kol., 2000).

Pěstování řepky

Semeno řepky začíná klíčit při teplotě +1°C, kořeny rostou již při +2,9°C a nadzemní biomasa při +5°C. Rostliny se silou kořenového krčku nad 8 mm odolávají

v půdě i opakovaným holomrazům do -20°C . Jarovizace probíhá u mladých rostlin v rozmezí $2 - 8^{\circ}\text{C}$ po dobu 30 – 60 dnů (Vašák a kol., 2000).

Řepka vytváří kořen s velkým množstvím postranních větví. Hloubka zakořeňování se udává v rozmezí 110 – 312 cm. Lysá lodyha vyplněná dřevem je 120 – 150 cm vysoká, ale dosahuje výšky i 2 m. lodyha se v horní části větví. Hroznovité květenství je od počátku vývoje prodloužené, kališní lístky odstálé, korunní plátky zelenožluté, bledě žluté až sytě žluté. Šešule je hladká, válcovitá, 5 – 10 cm dlouhá. Zralá snadno puká (Hudák a kol., 1989).

V systému střídání plodin má řepka mimořádné postavení, což je dáno trojicí nejvýznamnějších přínosů. Dodání organické hmoty do půdy a její mikrobiální oživení, výrazné antifytopatogenní působení a tvoření drobtovité struktury půdy s vynikajícími fyzikálními vlastnostmi. Pro tyto vlastnosti se řepka považuje za vynikající přerušovač obilních sledů. Problematickou předplodinou je jarní ječmen. Zanechává půdu nestrukturní, poškozenou vodní, větrnou i sluneční erozí a chudou živinami. Do stejného osevního postupu s řepkou by neměla být řazena hořčice, mák, len, řepa, většina zelenin (Vašák a kol., 2000).

Tradiční způsoby půdy k ozimé řepce je založeno na dobré podmítce do hloubky kolem 10 cm, bezprostředně po sklizni předplodiny. Podle potřeby se podmítnutá půda může ošetřit válením a vláčením. Následuje středně hluboká seťová orba, kterou mohou být zapravena do půdy fosforečná a draselná hnojiva a hnůj. Pro předseťovou přípravu půdy mohou být použity kombinátory (kompaktory) nebo stroje s aktivně poháněnými pracovními orgány. U posledně jmenovaných strojů je výhodné jejich spojení se secími stroji (Hůla a kol., 1999).

U minimalizačních technologií se ke zpracování půdy používají radličné podmiťáče a častěji talířové podmiťáče a brány (Vašák a kol., 2000).

I při zakládání porostů ozimé řepky mohou najít uplatnění úsporné technologie spojující mělké kypření povrchu půdy do hloubky setí se setím. Přímý výsev se zpravidla neobejde bez použití herbicidů před setím. Pravidlem bývá v tomto případě i zvýšená dávka dusíku (Hůla a kol., 1999).

Při vlastním výběru odrůdy jsou rozhodující zejména výnos semene, obsah glukosinolátů, odolnost proti vyzimování, chorobám a poléhání. Zásadně je třeba volit pouze ty odrůdy, které jsou registrované (Baranyk, 2005).

Nejobvyklejší meziřádková vzdálenost činí v současné době 12,5 cm (úzké řádky) a 21 – 25 cm (střední řádky). Ve vhodných podmínkách se uplatňují i široké řádky (37,5 – 45 cm). Hloubka výsevu činí 1,5 – 2 cm. Hlubší výsev (2,5 cm) volíme na suchých a lehčích půdách při použití fytotechnických herbicidů. Objevení se bílých kořínků je signálem jarní obnovy vegetace. Kořenový systém regeneruje při +2,9°C, většinou v první dekádě března. Toto období je agrotechnicky nejvhodnější pro regenerační hnojení (Vašák a kol., 2000).

V oblastech s velkou koncentrací můžeme očekávat přemnožení dřepčíka olejkového, slimáků, pilatky řepkové, krytonosců, blýskáčka řepkového, bejlomorky kapustové, mšice zelné. Ve srovnání s ostatními škodlivými činiteli, škůdci řepce způsobují největší ztráty (Häni, 1993).

Významným agrotechnickým opatřením pro regulaci plevelů je provedení podmítky do maximální hloubky 10 cm bezprostředně po sklizni obilniny, úklid nebo rozptýlení slámy se současným uválením v jedné operaci. Za příznivých podmínek se osvědčilo provést podmítku dvakrát. Obecně platí zásada, že v podnicích s větší plochou pěstované ozimé řepky by měly být podle podmínek použity 2 – 3 technologické postupy ošetření proti plevelům (Vašák a kol., 2000).

Řepka dozrává podle oblasti koncem června a v první polovině července. Sklízet se musí pečlivě, protože odspodu nestejně dozrává a šešule lehce pukají. Proto je důležité správně stanovit dobu sklizně (Škaloud a kol., 1971).

Z hlediska vhodného momentu začátku sklizně je velmi významná rovnoměrnost dozrávání a celková vyrovnanost porostu (Vašák a kol., 2000).

Nejvhodnější doba pro sklizeň ozimé řepky nastává tehdy, když je většina šešulí tmavě žlutě zbarvena, semena jsou lesklá a tmavá a při pohybu v šešulích

chrastí. Podíl zelených semen na průřezu děloh nemá být větší než 3 – 5%, lodyhy až do výšky větvení bývají často ještě zelená (Baranyk, 2005).

2.2.6. Energetický šťovík (Rumex)

Šťovík krmný je vytrvalá plodina, neboť může vydržet na svém stanovišti 15 až 20 let, což je z hlediska fytoenergetiky bezpochyby velmi výhodné. Je to statná, vysoká rostlina, která od 2. roku po založení kultury má silnou rozvětvenou lodyhu, která dosahuje 1,5 až 2 m výšky. Je odolný vůči vymrzání (Petříková, 2005).

Vhodnými předplodinami jsou veškeré pícniny, okopaniny a obiloviny (poslední s výjimkou těch pozemků, kde se v předchozím roce aplikoval herbicid Glean nebo jeden z výše citovaných přípravků). Víceleté trávy jako předplodina jsou méně vhodné z důvodu možného sekundárního zaplevelení, čímž vznikají větší nároky na chemickou ochranu herbicidy (Ust'ak, 2000).

Pěstování šťovíku

Setí krmného šťovíku bylo dle autorů odrůdy stanoveno obecně na jarní období. Aby ve druhém roce byly vytvořeny již plodonosné lodyhy, a tím první sklizeň, je nutné šťovík zaset do konce června. V poslední době, kdy bývá jarní sucho, doporučujeme setí podzimní, kdy je pro řádné vzejití osiva jistá zimní vláhá. Termín podzimního setí není nijak omezen. Lze jej set od září až do listopadu. Pokud nevzejde na podzim, spolehlivě vzchází na jaře, semeno se nijak nepoškodí (Petříková, 1998).

Jako optimální byly stanoveny: výsevek 5-6 kg.ha⁻¹, hloubka setí 1-1,5 cm, šířka řádků 12,5-25 cm pro energetické účely a 40-60 cm – pro produkci zelené biomasy na krmivo. Optimální vzdálenost mezi jednotlivými rostlinami v řádku je 6-10 cm pro energetické účely a 12-16 – při pěstování na krmivo. Co do termínů setí je to velmi plastická plodina a lze ji sít od dubna do července, ale pouze za příznivého vlhkostního stavu půdy. Hlavními možnými příčinami špatného vzcházení energetického šťovíku mohou být špatně připravený povrch půdy (půda příliš

nakypřená nebo hrudkovitá), nedostatek vláhy pro klíčení a přežití nezesílených rostlin v prvních 2-3 týdnech po vzejití, špatný kontakt mezi půdou a semenem, příliš velká nebo nerovnoměrná hloubka setí apod. Pro zabezpečení rovnoměrné hloubky setí, lepšího kontaktu semena s půdou a zlepšení zásobení klíčků rostlin vláhou doporučujeme půdu uválet před a po setí hladkými válci (Ust'ak, 2000).

V průběhu prvního roku je nutné porost odplevelovat pouze mechanicky, tedy pravidelným posečením, nejméně 2 – 3x do roka, s tím, že se posečená hmota nechá na poli jako mulč (Petříková, 2005).

Nespornou výhodou šřovíku je brzké dozrávání. Jako krmná plodina vyniká především extrémně rannou zralostí (první seč koncem dubna) a vysokým obsahem surového proteinu v ranných stádiích růstu. Pro fytoenergetiku je důležité, že tato plodina rychle ukončí vegetaci a vysychá „na kořenu“ již uprostřed léta. Je to jedna z mála energetických plodin, kterou lze sklídit již v červenci v suchém stavu (do 25 % vlhkosti). Navíc, sklizená biomasa má vynikající vlastnosti jako biopalivo a svou kvalitou se přibližuje dřevní štěpce. Jako všechny ostatní energetické plodiny se pro spalování sklízí jednou za rok. Druhá seč není vhodná, neboť odstranění zelených listů snižuje zásobu výživných látek v kořenech. Použijeme běžné zemědělské stroje (Ust'ak, 2000).

2.2.7. Laskavec (*Amaranthus* sp.)

Laskavec patří do skupiny rostlin s C4 cyklem, které mají velkou rychlost fotosyntézy, ekonomičtěji využívají světelnou energii při fixaci CO₂, mají sníženou fotorespiraci a dosahují vysoké hodnoty fotosyntetické produkce, tedy i tvorby biomasy. Kromě širokého potravinářského využití zrna i mouky lze laskavec uplatnit i jako krmivo pro hospodářská zvířata. Senáž je kvalitou blízká vojtěškové. Vzrůstné formy jsou využitelné jako zelené hnojení, energetické plodiny (produkce sušiny biomasy je přes 20t/ha) i pro výrobu papíru, některé druhy

zase poskytují surovinu pro produkci barviv a kosmetických přípravků (Moudrý, Stražil, 1999).

Pěstování laskavce

Patří k teplomilným rostlinám. V našich podmínkách mu vyhovují humózní, hlubší a střední půdy, nížinné, teplé a sušší klima. Podle Dostálka a kol. (2000) nesnáší utužení a zamokření.

Autoři Moudrý a Stražil (1996) naopak uvádějí vedle odolnosti vůči zasolení i odolnost k zamokření. Není náročný na předplodinu, nevhodné jsou pozemky zaplevelené merlíky, lebedami nebo planým laskavcem, se kterým se může křížit.

Laskavec dobře reaguje na organické hnojení. K rychlému růstu a vytvoření velkého množství biomasy potřebuje dostatek živin. Příprava půdy má udržet vláhu a potlačit plevele, proto se opakovaně vláčí. Vysévá se do půdy prohřáté na 10-12°C přibližně ve stejné době, kdy se sejí fazole nebo kukuřice. V době vzcházení je laskavec citlivý na nedostatek vláhy. Při výsevu do nevyhřáté a zamokřené půdy napadají mladé rostliny choroby. Laskavec je citlivý na zaplevelení počátkem vegetace, proto se do zapojení porostu meziřádkově kultivuje plečkou (Ježková, 2002).

Sklizeň je druhé kritické období v pěstování laskavce. V době zralosti semen má rostlina vysoký obsah vody, což ztěžuje sklizeň. Vhodná je desikace prvními mrazy a neprodlená sklizeň, aby se snížily ztráty výpadem zrna. Další ztráty vznikají při vlhnutí květenství během podzimních dešťů. Po sklizni se zrno dočistí a vysuší na vlhkost 10-12% (Dostálek a kol., 2000).

2.2.8. Pěstování biomasy

Výrazné je snížení vodní eroze oproti jednoletým plodinám. Výmladkové plantáže jako jiné porosty dřevin také stabilizují odtokové poměry zejména při vyšších a snižují erozi půdy při extrémních srážkách. Výmladkové plantáže velmi dobře odolávají povodňovým vodám (ohýbají se a nevyvracejí se) a jsou schopné růst i na takto poškozených půdách (šterkové nánosy) (Weger, 2000).

Pro ekologické zemědělství jsou tyto plodiny zajímavé hned z několika důvodů. Primárně by pěstování energetických plodin pro potřeby ekofarmy posílilo snahu ekologického zemědělství o co nejvíce uzavřený koloběh živin a energie. Energetické rostliny mohou dosahovat dobrých výnosů i při relativně nízkých vstupech (Stražil, 1999).

Hodí se především pro pěstování v marginálních oblastech, které jsou v současnosti dominujícími plochami ekologického zemědělství. Zejména trvalé porosty mohou plnit mimoprodukční funkce zemědělství, jak o tom píše Ust'ak (1998).

Mají kulturně-estetické, protierozní a revitalizační funkce, pozitivní vliv na půdu a biodiverzitu zemědělské krajiny. U některých těchto plodin je možné i kombinované využití, například u topinamburu je možné použít nadzemní biomasu na topení a hlízy jako krmivo nebo v potravinářském průmyslu (Moudrý, Stražil, 1998).

Mezi pozitivní faktory zvyšování produkce biomasy v ČR je možné také začlenit problematiku tzv. marginálních zemědělských půd s nižším produkčním potenciálem z hlediska konvenční zemědělské produkce, které lze využít k záměrnému pěstování biomasy. Česká republika je ve srovnání s průměrem EU zemí s vysokým zorněním zemědělské půdy (73,8 % proti 54,3 %), které pokrývá 54,3 % rozlohy státu (v EU15 je to jen 41,5 %). Velká část zemědělské půdy (45 %) navíc leží v horských a podhorských oblastech s členitým kopcovitým terénem a tvrdými klimatickými podmínkami, kde v dnešní době není intenzivní zemědělská výroba ekonomicky efektivní (Havlíčková, 2000).

Potenciálně negativní vlivy pěstování biomasy na krajinu České republiky

Za nejdůležitější rizika vlivu pěstování biomasy na krajinu v České republice je potřeba označit:

- zhoršení odolnosti území proti vodní erozi
- unifikace a další ochuzování agroekosystémů
- nadměrné vyčerpání a postupná degradace půdy
- zhoršení retenčních schopností krajiny
- rozšiřování geograficky nepůvodních druhů rostlin

Každý záměr plošně rozsáhlého pěstování plodin využitelných jako energetická biomasa by měl být před jeho zavedením podrobně vyhodnocen z hlediska výše uvedených potenciálních rizik (Mana, 2007).

Lidská činnost v krajině působí změny rytmů přírodních procesů v krajině, které pak vedou k dalekosáhlým změnám (Forman, Gordon, 1993).

Hlavní zásady pro pěstování energetické biomasy z hlediska ochrany krajiny

Ochrana krajiny v České republice by měla mít pro rozhodování o vhodnosti pěstování plodin pro energetickou biomasu k dispozici přehled o vhodných oblastech a územích. Vymezení takových oblastí a území by mělo vycházet z dostupných poznatků o zranitelnosti půd, o výskytu přírodních biotopů, o vymezení a funkčnosti částí územních systémů ekologické stability a o hodnotě krajinného rázu konkrétní oblasti.

Vzhledem ke geologické a geomorfologické pestrosti území České republiky je důležité:

- omezit a v nejlepším případě zcela vyloučit při pěstování energetické biomasy velkoplošné technologie
- respektovat existenci krajinných prvků, zajistit jejich ochranu a podle možností také obnovu

- upřednostňovat regionální využívání energetické biomasy a podporovat tak snižování závislosti obyvatel a obcí na centrálních energetických zdrojích
- odborně posuzovat všechny záměry plošného pěstování energetické biomasy na krajinné struktury, krajinné prvky a krajinně-ekologické vazby (Mana, 2007).

3. Charakteristika lokality

Pro porovnání výsledků erozních jevů je zvolenou zájmovou lokalitou celý Jihočeský kraj, podrobněji je popsáno území Třeboňska, jako lokalita, kde se pěstují energetické plodiny pro výrobu bioplynu.

3.1. Geomorfologické zařazení

Podle regionálního geomorfologického členění je území Jihočeského kraje součástí provincie Česká Vysočina. Je tvořen Šumavskou a Česko-moravskou provincií, které se dále dělí na Šumavskou hornatinu, Středočeskou pahorkatinu, Jihočeské pánve a Českomoravskou vrchovinu.

Šumavskou soustavu můžeme v této oblasti rozdělit ještě na: Šumavu, Šumavské podhůří, Novohradské hory a Novohradské podhůří. I tyto celky můžeme dále dělit. Do Českobudějovického kraje spadá východní část Šumavského masívu. Šumava se dále dělí na Trojmeznou hornatinu, Boubínskou hornatinu, Želnavskou hornatinu a Vltavickou brázdu. Vltavická Brázda rozděluje Šumavu na dvě pásma (pohraniční a vnitřní), část tohoto zlomového údolí je v dnešní době zaplavena Lipenskou přehradní nádrží. Svahy sklánějící se do České republiky jsou poněkud mírnější než svahy do Bavorska. Šumavskému podhůří náleží Bavorská vrchovina, Prachatická hornatina, Českokrumlovská hornatina, Vimperská vrchovina. Novohradské podhůří se skládá na našem území z pěti podcelků – z Kaplické brázdy Soběnovské vrchoviny, Stropnické pahorkatiny, Klopanovské vrchoviny a Hornodvořišské .

3.1.1. Českomoravská soustava:

Podsoustavy: Středočeská pahorkatina, Českomoravská vrchovina , Jihočeské pánve.

Středočeská pahorkatina:

Horažďovická, Blatenská , Vlašimská, Táborská pahorkatina - tyto celky zasahují na území kraje. Jedná se o mírně zvlněnou krajinu o nadmořské výšce v rozmezí 450-750 m n. m.

Českomoravská vrchovina:

Z Javořické vrchoviny zasahuje do Českobudějovického kraje její podcelek Novobystřická vrchovina, jejíž nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 480-520 m , pouze ojediněle vystupují vrcholy do výšky nad 550 m n m.

Jihočeské pánve:

Českobudějovická pánev

Její geomorfologickým podcelkem je Blatnická ,Vodňanská pánev a Strakonická kotlina . Pánev se nachází v nadmořských výškách 380- 400m. Je položena níže než jádro třeboňské pánve a je i rozlohou mnohem menší.

3.2. Třeboňsko

Zájmové území se z geologického hlediska nachází v oblasti třeboňské pánve vyplněné sedimenty klikovského souvrství. Tyto sedimenty jsou svrchnokřídového stáří. Ve středu pánve v tzv. lomnické pánvi jsou druhohorní sedimenty překryty sedimenty mydlovarského souvrství neogenního stáří. Při povrchu terénu se často projevují soliflukční jevy. Lomnická pánev se rozkládá mezi Šalmanovicemi a Veselím nad Lužnicí. Kvartérní pokryv je tvořen pleistocenními i holocenními náplavy Lužnice, převážně slabě hlinitými písiky, na okrajích nivy pak soliflukčními hlínami, jílovitými hlínami, jílovitými či hlinitými písiky. Území je svažité směrem k severu, povodím náleží k řece Lužnici a Nežárce. Zejména řeka Lužnice má při povodních velkou akumulaci schopnost, zmírňuje a prodlužuje tedy povodňové vlny. Písčité sedimenty Lužnice jsou významnou a chráněnou přirozenou akumulací podzemní vody, která je u Suchdola nad Lužnicí jímána pro vodárenské účely.

3.2.1. Geologické poměry

Největší rozsah mají metamorfované horniny: ruly, svory, granulity. Tento komplex byl nazván moldanubikum. V některých oblastech je složení těchto metamorfovaných hornin velmi pestré. V horninách vzniklých přeměnou usazenin lze nalézt krystalické čočky vápence či ložiska tuhy. Z hornin vzniklých přeměnou vyvřelin jsou zde hojné amfibolity a ortoruly. Velmi významnými

tělesy jsou granulitové masivy. Obsahují hadce a granáty. Na mnoha místech vystupují na povrch velká tělesa žul a příbuzných hornin magmatického původu (zejména tzv. moldanubického plutonu), které sice utuhly pod povrchem, ale následkem zvětrávání se ocitly na povrchu. Velká část pánví je vyplněna druhohorními a třetihorními sedimenty (štěrk, písky, jíly). Projevem fosilní činnosti větru jsou ojedinělé písečné přesypy podél Lužnice a Nežárky v Třeboňské pánvi.

3.2.2. Půdní poměry

Ve vyšších polohách se vyskytují zejména podzoly, tyto chudé půdy jsou většinou podkladem jehličnatých lesů Šumavy a Novohradských hor. V šumavském podhůří se vyskytují zejména hnědé lesní půdy (vyšších poloh-vrchoviny a hornatiny), které bývají zalesněny nebo využívány jako pastviny. V nižších polohách se vyskytují bohatší hnědé lesní půdy (tzv. nižších poloh-pahorkatiny a vrchoviny). Velká část území kraje však zahrnuje zamokřené půdy (rašeliniště, slatiniště, podél řek a rybníků). V oblasti toku Lužnice se vyskytují také nivní půdy.

4. Cíle a metodika práce

4.1. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení erozních jevů, způsobených energetickými plodinami, v závislosti na technologii jejich pěstování. Podrobněji je vyhodnocena lokalita Třeboňska, jako osevní plochy vhodné pro fytoenergetiku a výrobu bioplynu.

Z vypočtených hodnot pomocí univerzální rovnice dle Wischmeiera a Smithe byly určeny plodiny způsobující značnou erozi. Následně jsou vypočtené hodnoty vztaženy na lokality celého Jihočeského kraje.

Díky univerzální rovnici je možné najít alternativní plodiny, které působí protierozně a zároveň jsou vhodné pro výrobu bioplynu.

4.2. Metodika

4.2.1. Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí-USLE, dle Wischmeiera a Smithe

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G ... dlouhodobá průměrná ztráta půdy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)

R ... faktor erozní účinnosti deště ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)

R je vyjádřený v závislosti na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii přívalových dešťů,

Pro Českou republiku byla průměrná roční hodnota faktoru erozní účinnosti deště

$R = 20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek ve

stanicích Českého hydrometeorologického ústavu Praha- Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná.

K ... faktor erodovatelnosti půdy

K závisí na textuře, struktuře a zrnitosti půdy .

Lokalita pro kterou byl proveden výpočet, má číslo bonitační soustavy půd- BPEJ: 54600, HPJ: 46, které je přiřazena hodnota $K= 0,47$.

L ... faktor délky svahu

L vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu.

Svah má nepřerušenu délku 200m, pro které je přiřazeno $L=3,02$.

S ... faktor sklonu svahu

S vyjadřuje vliv sklonu svahu.

Sklon svahu počítaného území $I= 4\%$, pro které je $S= 0,462$.

C ... faktor ochranného vlivu vegetace

C závisí na druhu pěstovaných plodin. Vliv vegetačního pokryvu na smyv půdy se projevuje přímou ochranou povrchu půdy před destruktivním působením dopadajících dešťových kapek a zpomalováním rychlosti povrchového odtoku a nepřímo působením vegetace na půdní vlastnosti, zejména na pórovitost a propustnost, včetně omezení možnosti zanášení pórů jemnými půdními částicemi a mechanickým zpevněním půdy kořenovým systémem.

Pro řešení protierozní ochrany pozemků a posouzení jejich dlouhodobé erozní ohroženosti se faktor **C** stanoví pro konkrétní osevní postup včetně období mezi střídáním plodin a při určení nástupu a způsobu agrotechnických prací v 5-ti obdobích:

1. období podmínky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení,
3. období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení, u ozimů do 30.4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště.

4.2.2. Agrotechnika energetických plodin

Faktor C je výrazně ovlivňován agrotechnikou

Agrotechnika Kukuřice	
Podzim	<ul style="list-style-type: none">- zkyplení ornice do hloubky 20- 35 cm- zapravení posklizňových zbytků, ničení plevelů- aplikace hnojiva do půdy- po podmítce je vhodné pozemek uválet- podzimní orbu je nutné provádět včas, po sklizni plodiny, u víceletých pícnin po druhé seči, nejpozději v první polovině listopadu- po hluboké podzimní orbě se nechá pozemek v hrubé brázdě- sklizeň při celkové sušině celých rostlin v rozmezí 28 – 32 %, což odpovídá termínu sklizně kukuřice na siláž (druhá polovina září)
Jaro	<ul style="list-style-type: none">- smykování- aplikace plošných hnojiv- před setím prokypření do hloubky setí- při pozdním nástupu jara se provádí příprava půdy jednou operací- kompaktozem- výsev 15. 4.- 30. 4.

Agrotechnika Řepka

Léto

- Termín setí je od 10.srpna po konec měsíce až začátek září, záleží na několika faktorech: nadmořská výška, výrobní oblast, výběr odrůd
- Při setí dbáme hlavně na hloubku a výsevek
- Hloubka by měla být 2 – 3 cm
- Šířka řádku 25 cm v praxi běžně 12,5 cm
- Sklizeň probíhá ve druhé polovině července
- Používají se běžné obilní sklízecí mlátičky

Podzim

Používají se různé druhy přípravy půdy:

1, minimalizace:

- ošetření podmítky provádíme pro rychlejší rozklad posklizňových zbytků
- následuje druhá podmítka, která by měla být hlubší
- Záleží na typu půdy a pohybovat by se měla mezi 12 až 20cm
- Potom následuje setí

2, klasické zpracování

- po sklizni je dobré provést podmítku do 10 cm
- následuje orba, která má být provedena 3 týdny před setím nebo čerstvá 3 dny před setím záleží na sklizni předplodiny
- orba by měla být mělká do 21 cm
- po orbě následuje úprava povrchu
- záleží na typu půdy a pohybovat by se měla mezi 12 až 20 cm
- Používáme brány, smyky, smykobrány, kombinátory atd.

<ul style="list-style-type: none"> - V dnešní době existují secí stroje, které sdružují pracovní operace a předseťové zpracování provádí po orbě secí stroj
--

Agrotechnika Šťovík	
Podzim	<ul style="list-style-type: none"> - možné zasetí, jistý dostatek vláhy
Jaro	<ul style="list-style-type: none"> - půdu před setím uválet hladkými válci - setí obecně od dubna až do konce června - po zasetí znovu uválet
Léto	<ul style="list-style-type: none"> - pro energetické účely je jen jedna hlavní sklizeň, před plným dozráním semen, v první dekádě července - po sklizni vhodné porost prokypřit, obrůstá velmi rychle, proto není vláčení vždy možné, ale není nutné, bude se vyvíjet i bez vláčení

Agrotechnika Laskavec	
Jaro	<ul style="list-style-type: none"> - opakované mělké vláčení v době, kdy vzházejí plevelé, nutnost připravit čistý pozemek bez plevelů - připravení kypré půdy, ale tuhého lůžka pro výsev - setí květen až první dekáda června

- Podzim**
- optimální sklizeň když jsou dvě třetiny semen zralé, ale dozrávají nerovnoměrně
 - sklízí se většinou až po prvních mrazech- přírodní dedikace

Váhu hodnot C- faktoru v jednotlivých pěstebních obdobích je nutné korigovat procentuálním rozdělením R- faktoru v průběhu roku po dnech, dekadách či měsících.

Tab. 4.1. Rozložení faktoru R na jednotlivé měsíce

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
% faktoru R	0,5	10	23	32	27	7	0,5

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C . R
1. období	od 10.8. do 20.4.	$0,70 \cdot 0,358 = 0,250$
2. období	od 21.4. do 30.5.	$0,90 \cdot 0,102 = 0,092$
3. období	od 1.6. do 30.6.	$0,70 \cdot 0,230 = 0,161$
4. období	od 1.7. do 20.9.	$0,35 \cdot 0,660 = 0,231$
5. období	od 21.9. do 15.10.	$0,70 \cdot 0,026 = 0,018$
Roční hodnota faktoru C kukuřice		$\Sigma C \cdot R = 0,752$

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C . R
1. období	od 1.8. do 20.8.	$0,65 \cdot 0,174 = 0,113$
2. období	od 21.8. do 30.9.	$0,70 \cdot 0,166 = 0,116$
3. období	od 1.10. do 30.4.	$0,45 \cdot 0,010 = 0,004$
4. období	od 1.5. do 20.7.	$0,08 \cdot 0,536 = 0,043$
5. období	od 21.7. do 31.7.	$0,25 \cdot 0,114 = 0,029$
Roční hodnota faktoru C řepky		$\Sigma C \cdot R = 0,305$

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C . R
1. období	od 1.4. do 30.5.	$0,65 \cdot 0,150 = 0,052$
2. období	od 1.6. do 30.6.	$0,70 \cdot 0,230 = 0,161$
3. období	od 1.7. do 30.7.	$0,45 \cdot 0,320 = 0,144$
4. období	od 1.8. do 30.9.	$0,08 \cdot 0,340 = 0,027$
5. období	od 1.10. do 30.10.	$0,04 \cdot 0,005 = 0,0002$
Roční hodnota faktoru C šťovíku (v prvním roce, pěstovaný jako obilnina)		$\Sigma C \cdot R = 0,384$

Roční hodnota faktoru C šťovíku (v dalších letech, pěstovaný jako vojtěška)	C= 0,02
--	----------------

Průměrná roční hodnota faktoru C šťovíku (pěstovaný v 5-ti letém osevním postupu)	C= 0,384 + 0,02 . 4 $\Sigma C = 0,093$
--	--

Průměrná roční hodnota faktoru C šťovíku (pěstovaný v 5-ti letém osevním postupu)	C= 0,384 + 0,02 . 2 $\Sigma C = 0,14$
--	---

Období vývoje plodiny	Kalendářní období	Součin faktorů USLE C . R
1. období	od 1.4. do 30.4.	0,65 . 0,005 = 0,003
2. období	od 1.5. do 30.5.	0,70 . 0,100 = 0,070
3. období	od 1.6. do 30.6.	0,45 . 0,230 = 0,103
4. období	od 1.7. do 30.10.	0,08 . 0,665 = 0,053
5. období	od 1.11. do 30.11.	0,04
Roční hodnota faktoru C laskavce		$\Sigma C . R = 0,269$

Plodina	Kukuřice	Řepka	Šťovík	Laskavec
Průměrná roční hodnota faktoru C	0,75	0,30	0,14	0,27

P ... faktor protierozních opatření

P vyjadřuje účinnost protierozních opatření. Jelikož se v našem zemědělství protierozní opatření neprovádějí, do rovnice se dosazuje $P=1$.

4.2.3. Výpočet G

Výpočet byl proveden pro každou plodinu na stejném poli, aby došlo ke srovnání, jak která plodina ovlivňuje dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy.

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy na poli, kde se pěstuje kukuřice:

$$G = 20 \cdot 0,47 \cdot 3,02 \cdot 0,57 \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$G = 12,11 \text{ (t.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}\text{)}$$

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy na poli, kde se pěstuje řepka:

$$G = 20 \cdot 0,47 \cdot 3,02 \cdot 0,57 \cdot 0,30 \cdot 1$$

$$G = 4,85 \text{ (t.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}\text{)}$$

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy na poli, kde se pěstuje šťovík:

$$G = 20 \cdot 0,47 \cdot 3,02 \cdot 0,57 \cdot 0,09 \cdot 1$$

$$G = 1,45 \text{ (t.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}\text{)}$$

Dlouhodobá průměrná ztráta půdy na poli, kde se pěstuje laskavec:

$$G = 20 \cdot 0,47 \cdot 3,02 \cdot 0,57 \cdot 0,27 \cdot 1$$

$$G = 4,37 \text{ (t.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}\text{)}$$

Plodina	Kukuřice	Řepka	Šťovík	Laskavec
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)	12,11	4,85	1,45	4,37

Tab. 4.2. Povolný smyv půdy v závislosti na hloubce půdy a příslušné BPEJ

Kód BPEJ (5. číslice kódu)	Hloubka půdy	Přípustná ztráta půdy erozí (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)
0	> 60 cm	10,0

Při pěstování kukuřice dojde k velkému překročení přípustné ztráty půdy erozí o 2,11 (t.ha⁻¹ . rok⁻¹).

5. Výsledky a diskuze

5.1. Výroba bioplynu

Bioplyn je směs plynů, v níž podstatnou část tvoří metan (50-75 %) a zbytek je doplněn oxidem uhličitým (25-50 %) a malým množstvím dalších příměsí. Vzniká bakteriálním rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu. Tento proces se nazývá anaerobní fermentace. V bioplynu je nositelem energie pouze metan, CO₂ a ostatní příměsi jsou balastními plyny. Pro metan izolovaný z bioplynu používáme označení biometan. Energetický obsah 1 m³ biometanu je asi 10 kWh.

5.1.1. Zemědělská bioplynová stanice

Ze všech druhů bioplynových zařízení se nejrychleji rozvíjí kategorie zemědělských bioplynových stanic. Do této kategorie jsou řazeny stanice zpracovávající převážně organické látky vznikající zemědělskou činností, cíleně pěstované, nebo vznikající jako odpad. Počátkem roku 2010 bylo v ČR v provozu téměř 200 zemědělských bioplynových stanic s instalovaným výkonem 96,55 MW (Česká bioplynová asociace o. s.).

Technologie bioplynová stanice

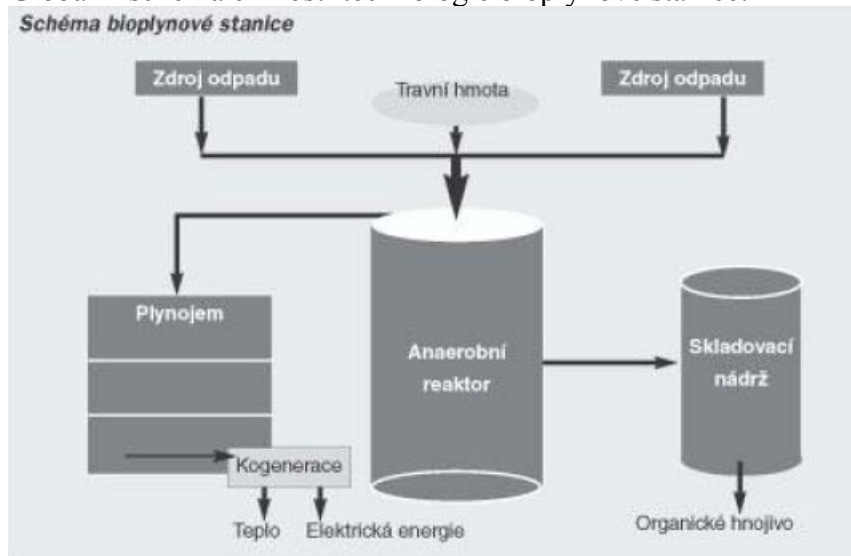
Ve starších bioplynových stanicích byla využívána zejména kejda, chlévská mrva a kaly z čističek odpadních vod. Takto provozované zařízení však nevykazovalo dostatečnou rentabilitu a návratnost vložených prostředků. Energetická hodnota těchto vstupů je velmi malá a jsou vhodné pouze jako stabilizátory startovacího procesu fermentace. V moderních zařízeních je využíván proces „kofermentace“, tj. proces kontinuální výroby bioplynu mokrou nebo suchou cestou. Směs připravená podle přesné receptury je z míchacího zařízení postupně dávkována do vlastního fermentoru BPS. Směs je tvořena kukuřičnou siláží, travní senáží, hnojem, ale je také možné přidávat nejrůznější biologické odpady. To znamená, že bioplynová stanice může likvidovat také část průmyslových odpadů, které jsou pro

podniky placenou službou a dle zákonných norem je musí biologicky likvidovat (jako např. odpady z jatek, cukrovarů, lihovarů, pivovarů, mlékáren, pekáren, atd.).

Vlastní zařízení bioplynové stanice se skládá z:

- Skladů suroviny a materiálů (silážní jámy atd.)
- Distribuce materiálu do fermentoru – rostlinná biomasa musí být manipulátorem nakládána do stacionárního bunkru, který zajišťuje dávkování. Tento proces je plně automatizován podle potřeb fermentoru.
- Fermentor – prostor, ve kterém dochází ke kvašení biomasy. Fermentor by byl tvořen betonovou jámkou zapuštěnou do země, která působí jako účinný a levný izolant. Součástí fermentoru by měly být zbytkové sklady, ze kterých bude také jímán bioplyn.
- Automatická řídicí jednotka. Slouží k řízení celého procesu kvašení, jímání plynu, dávkování vstupní biomasy a odtahu sušiny a zbytkového fermentátu.
- Kogenerační jednotka. Jedná se o spalovací motor přizpůsobený pro spalování bioplynu v závislosti na obsahu methanu v bioplynu (to je mezi 50 % - 62 % v závislosti na vstupní biomase). Účinnost kogenerační jednotky se pohybuje mezi 30 % až 42 %.
- Výměník tepla pro odvod odpadního tepla. Při provozu biostanice vzniká přibližně 1,3 násobek výroby elektrické energie v podobě odpadního tepla, které by mělo být odváděno pro využití v biorafinérii.

Globální schéma činnosti technologie bioplynové stanice:



Obrázek 5.1. Zdroj: CzBA (Česká bioplynová asociace o. s.)

5.1.2. Desatero bioplynových stanic

Zájem o výstavbu bioplynových stanic na našem území v posledních letech stoupá. Kvalitně zpracovaný projekt a důsledné dodržování zásad udržitelného provozu mohou předejít mnohým problémům, které provoz bioplynové stanice často doprovázejí. České sdružení pro biomasu proto zpracovalo Desatero bioplynových stanic, které má poskytnout základní informace všem zájemcům o výstavbu zemědělských bioplynových stanic. Zkrácená verze desatera:

1. Precizní příprava projektu
2. Dostatek kvalitních vstupních surovin
3. Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů
4. Komunikace se samosprávou a veřejností
5. Spolehlivá a ověřená technologie
6. Optimalizace investičních nákladů
7. Volba vhodné kogenerační jednotky
8. Využití odpadního tepla
9. Nakládání s digestátem – kvalitní hnojivo
10. Další možnosti využití bioplynu

5.1.3. Materiál pro produkci bioplynu – bioodpady

Velký potenciál pro produkci bioplynu skýtají biologicky rozložitelné odpady (také bioodpady či zbytková biomasa). Mezi hlavní producenty bioodpadů patří:

- zemědělství - exkrementy hospodářských zvířat, zbytky rostlin,
- průmysl - potravinářský, živočišný, papírenský,
- domácnosti - kuchyňský odpad, odpady ze zahrad,
- čistírny odpadních vod - čistírenské kaly.

Podstatná část těchto odpadů se v České republice nijak energeticky nevyužívá a často končí na skládkách.

Tab. 5.1. Pro ukázkou jsou v tabulce porovnány výtěžnosti produkce bioplynu:

Biomasa	Produkce BP (m³/t)
Prasečí kejda	55
Hovězí kejda	40
Drůbeží podestýlka	110
Travní senáž	140
Kukuřičná siláž	230
Brambory	145

Energetické využití odpadní (zbytkové) biomasy

Zbytkovou biomasu není energeticky ani ekonomicky výhodné vozit na velké vzdálenosti, proto by měla být energeticky zpracována co nejbližší místa svého vzniku. Uvádí se, že bioodpady pro anaerobní fermentaci by měly být transportovány maximálně 5 až 30 km do místa jejich zpracování. Vezmeme-li rádius 5 km od bioplynové stanice, na pokrytí území naší republiky by bylo třeba cca 1 000 bioplynových stanic.

Vhodným řešením pro zpracování bioodpadu by mohlo být využití již existujících čistíren odpadních vod s již vybudovanými reaktory pro anaerobní fermentaci. Vhodným místem pro umístění bioplynové stanice jsou zemědělské areály, kde je zajištěna celoroční dodávka zpracovávaného materiálu. I zemědělské

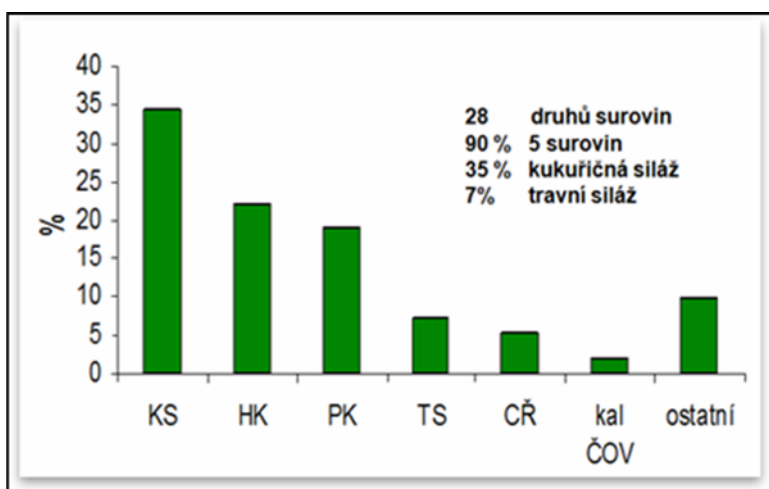
bioodpady je vhodné zpracovávat společně s komunálními či průmyslovými bioodpady.

5.1.4. Produkce bioplynu z kukuřice

Rostlinná biomasa, kukuřičná a travní siláž, představuje přes 50 % hmotnostních všech substrátů bioplynových stanic. V přepočtu na obsah energie představuje rostlinná biomasa až 80 % energetického obsahu všech substrátů. Hlavním důvodem pro používání rostlinné biomasy k výrobě bioplynu je relativně vysoká produkce bioplynu z jednotky hmotnosti a zavedené agrotechnické postupy jejího pěstování, sklizně a konzervace. Anaerobní fermentací se získá z tuny kukuřičné siláže až 200 m³ bioplynu. Produkce bioplynu získaného anaerobní fermentací biomasy z trvalých travních porostů (TTP) je 150 – 190 m³/tunu travní siláže.

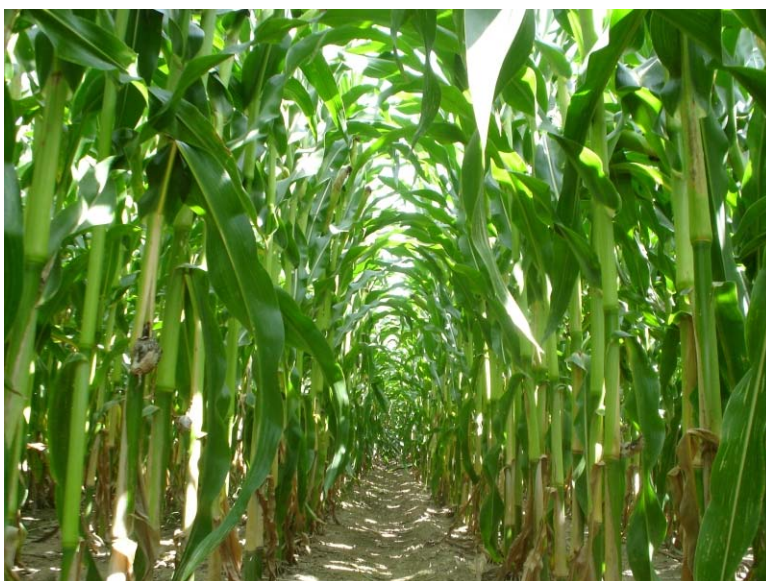
Hlavním substrátem pro zemědělské bioplynové stanice (BPS) je cíleně pěstovaná fytomasa. K pěstování rostlinné biomasy pro plynná biopaliva je k dispozici relativně omezené množství zemědělské půdy, cca 9 % to jest 390 tisíc ha. To je důvod k hledání a k lepšímu využívání všech substrátů vhodných pro výrobu bioplynu. Z analýzy padesáti plánovaných bioplynových stanic vyplývá, že dominovat bude **kukuřičná siláž**. Měla by tvořit **34 % z celkového množství používaných substrátů**.

Zastoupení substrátů u plánovaných BPS (KS – kukuřičná siláž, HK – hovězí kejda, PK – prasečí kejda, TS – travní siláž, CŘ – cukrová řepa)



Obrázek 5.2. Zdroj: Biom

Atletico, nejrozšířenější hybrid energetické kukuřice



Obrázek 5.3. Zdroj: Biom

5.2. Provoz modelové zemědělské bioplynové stanice

Podle několika případových studií je zde sestaven plán provozu bioplynové stanice s těmito parametry:

Výkon 1,0 MWe / hod. elektrické energie.

Hlavními součástmi bioplynové stanice jsou silážní žlaby pro skladování vstupních surovin, podávací zařízení, fermentory a nádrže digestátu. Pomocnými zařízeními jsou spojovací potrubí, čerpadla, kogenerační jednotka pro vlastní spotřebu a velín.

Vstupy BPS:

Vstupní biomasa	[t/rok]
kukuřičná siláž	14 500
travní siláž	4 300
prasečí kejda	3 000
celkem	21 800

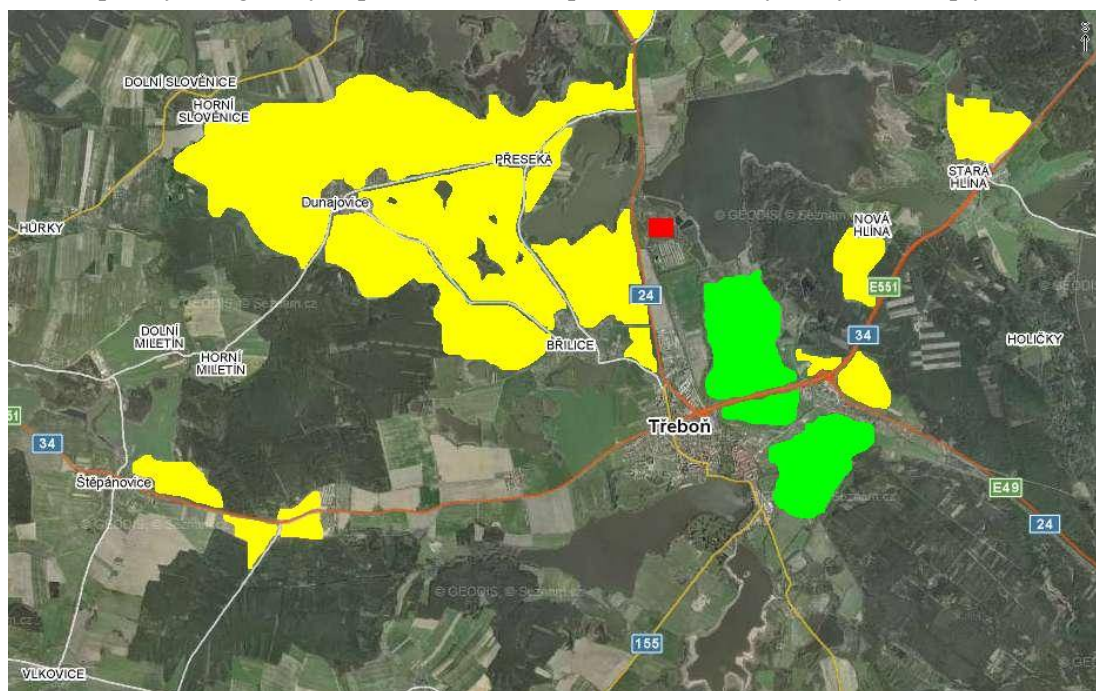
Dodávky kukuřice na siláž se uskutečňují jednorázově v průběhu asi třiceti dnů v době sklizně kukuřice. Navážení kejdy a ostatních substrátů probíhá jednou denně.

Zajištění vstupní biomasy v závislosti na využití vlastních osevních ploch:

Pro zajištění výše definovaného množství biomasy pro BPS je třeba cca **2000 ha půdy**, **1600 ha kukuřice** a 400 ha travního porostu.

Hlavním prvkem výroby bioplynu jsou fermentory zajišťující anaerobní rozklad fytomasy bohaté na energii na metan (cca 53%) a oxid uhličitý. Vedlejším produktem je digestát (vykvašený roztok). Jeho kapalná složka je výborným hnojivem a pevné částice (převážně nerozložený lignin) po odloučení z roztoku mohou být kompostovány.

Osevní plochy energetických plodin, sloužící k produkci biomasy na výrobu bioplynu



Obrázek 5.4. Zdroj: CzBA (Česká bioplynová asociace o. s.)

5.3. Dlouhodobá průměrná ztráta půdy pozemků

(výpočet pro vybraných 15 pozemků, tvořících osevní plochy, které produkují biomasu pro výrobu bioplynu)

G=	R .	K .	L .	S .	a) C kukuřice	b) C řepky	c) C šťovíku	d) C laskavce	.P
1.	20	0,47	3,59	0,23	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					5,81	2,32	1,08	2,10	
2.	20	0,38	4,74	0,30	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					8,10	3,24	1,51	2,91	
3.	20	0,40	4,15	0,34	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					8,46	3,38	1,58	3,04	
4.	20	0,38	3,70	0,13	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					3,47	1,39	0,65	1,26	
5.	20	0,37	4,69	0,34	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					9,08	3,63	1,69	3,27	

6.	20	0,37	5,15	0,30	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					8,57	3,43	1,60	3,08	
7.	20	0,37	4,52	0,28	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					7,02	2,80	1,30	2,52	
8.	20	0,40	3,75	0,34	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					7,65	3,06	1,42	2,75	
9.	20	0,38	4,69	0,47	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					12,50	5,01	2,33	4,51	
10.	20	0,40	4,15	0,34	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					8,46	3,38	1,57	3,04	
11.	20	0,44	5,22	0,30	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					10,33	4,13	1,92	3,72	
12.	20	0,44	5,15	0,29	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					9,85	3,94	1,83	3,54	

13.	20	0,38	4,52	0,29	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					7,47	2,98	1,39	2,68	
14.	20	0,44	5,10	0,34	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					11,44	4,57	2,13	4,12	
15.	20	0,38	3,82	0,27	0,75	0,30	0,14	0,27	1
G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)					5,87	2,35	1,09	2,11	

Průměrná ztráta půdy z 15 vybraných pozemků:

G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)	Kukuřice	Řepka	Šťovík	Laskavec
Průměr z 15 vybraných pozemků (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)	8,27	3,30	1,53	2,97

Většina pozemků v zájmové lokalitě má pátou číslici BPEJ 1, řadí se tedy do středně hlubokých půd, pro které je přípustná ztráta půdy:

Tab. 5.2. Povolený smyv půdy v závislosti na hloubce půdy a příslušné BPEJ

Kód BPEJ (5. číslice kódu)	Hloubka půdy	Přípustná ztráta půdy erozí (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)
1	půda středně hluboká (30 - 60 cm)	4

Přípustná mez je tedy mnohonásobně překročena hlavně při pěstování kukuřice, kdy dosahovala hodnot i 12,5 (t.ha-1 . rok-1). Velmi často je mez překročena při pěstování řepky, jen ve dvou případech při pěstování laskavce. Nejlépe ze všech plodin působí protierozně šťovík, který způsobuje průměrně ztrátu půdy pouze 1,5 (t.ha-1 . rok-1).

Výpočet ztrát půdy byl proveden z osevních ploch určených pro bioplynovou stanici nacházející se poblíž Třeboně. Lokalita spadá do Třeboňské pánve, tudíž je terén velmi rovinný, místy jen mírně zvlněný. Hodnoty pro ostatní bioplynové stanice v Jihočeském kraji, budou mnohonásobně vyšší, protože se všechny nenachází na Jihočeské pánvi, ale na Šumavské hornatině, Středočeské pahorkatině a Českomoravské vrchovině. Razantně se zvýší S faktor, změní se K faktor, L faktor. Průměrná ztráta půdy bude mnohonásobně vyšší.

Ztráta půdy z osevních ploch určených pro tuto bioplynovou stanici- 1600 ha.

(zbytek plochy 400 ha je travní porost)

Plodina	Kukuřice	Řepka	Šťovík	Laskavec	Přípustná ztráta půdy z pozemku 1600 ha (t)
G, průměrná ztráta půdy z pozemku 1600 ha (t)	13232	5280	2448	4752	6400

Při pěstování kukuřice na osevních plochách 1600 ha je přípustná mez ztráty půdy překročena o 6832 tun.

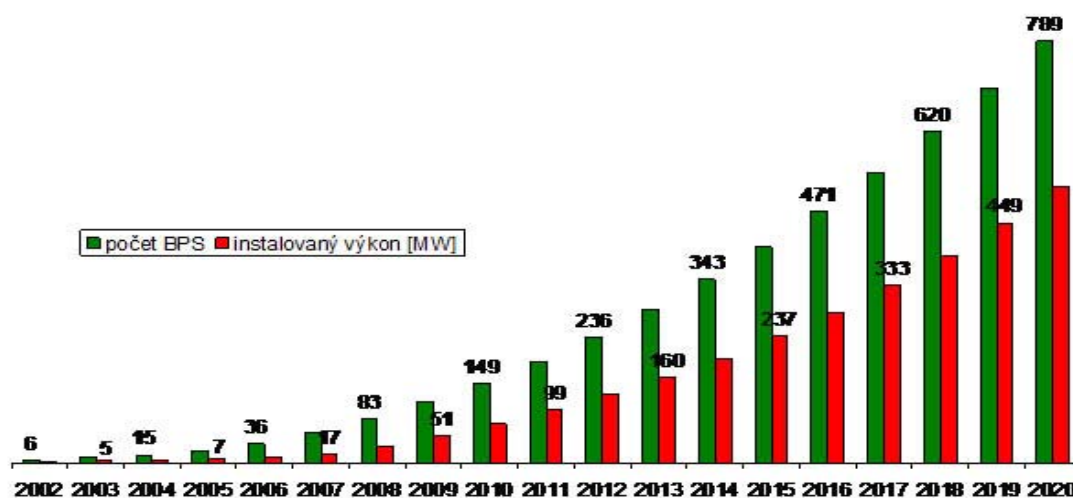
Při pěstování šťovíku na osevních plochách 1600 ha je ztráta půdy jen 2448 tun, přičemž přípustná mez je 6400 tun. Šťovík tedy vychází jako velmi protierozně účinná plodina. Zatímco za kukuřici je nutné vyhledat jiné alternativní energetické plodiny, jako je například šťovík, či laskavec.

5.4. Bioplynové stanice v Jihočeském kraji



5.4.1. Strategie pro bioplynové stanice

Graf předpokládaného vývoje počtu bioplynových stanic a jejich instalovaného výkonu na území ČR naznačuje cestu k dosažení prezentovaného cíle:



Obrázek 5.5. Zdroj: CzBA (Česká bioplynová asociace o. s.)

CzBA (Česká bioplynová asociace o. s.) představila v říjnu 2009 na konferenci v Třeboni cíl pro Českou republiku v oblasti produkce a využití bioplynu v roce 2020:

- 700 BPS v provozu
- 500 MW instalovaného výkonu
- 10 000 GWh vyrobené energie ročně (z toho: 20 % ve formě biomethanu do sítě ZP - 10 % pro pohon vozidel)
- 800 000 tun bioodpadu zpracovaného v BPS ročně

5.4.2. Diverzifikace substrátových vstupů pro bioplynové stanice

Celoevropské zkušenosti s provozem bioplynových stanic jasně ukazují na preferenci využití kukuřičné siláže jako hlavního vstupního substrátu. Tyto závěry jsou potvrzeny i v České republice. Výsledkem je hrozící dlouhodobá změna v osevních postupech a skladbě plodin pěstovaných na zemědělské půdě. Ochuzení těchto postupů a omezení plodin na kukuřici, řepku a obiloviny přináší rizika ať už v oblasti kvality a struktury půdy, tak z hlediska biodiverzity a udržení kulturní krajiny, včetně údržby luk a pastvin.

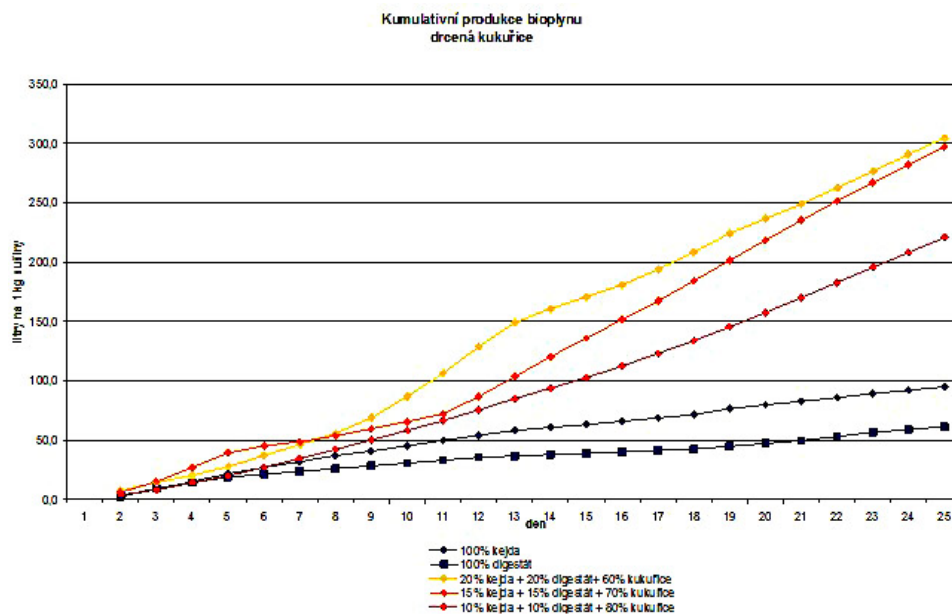
Využívání zemědělské půdy orientované především na produkci kukuřice se v dlouhodobé perspektivě může ukázat jako neudržitelné a bude pravděpodobně vést k potřebě větší diverzifikace substrátových vstupů pro bioplynové stanice.

Nutné je tedy nalezení nových vhodných plodin, resp. jiných zemědělských vstupů do bioplynové stanice, posouzení technických a provozních problémů při pěstování a využití těchto substrátů a promítnutí zjištěných údajů do ekonomiky provozu bioplynové stanice.

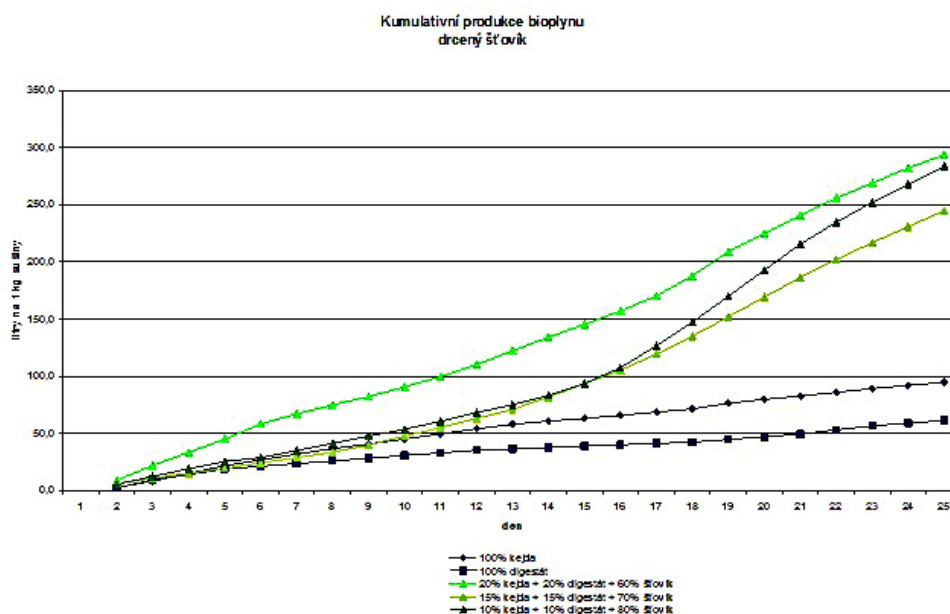
Podle modelových testů je reálná šance, že budou nalezeny zemědělské či speciální energetické plodiny a jejich kombinace, jejichž využití přinese výrazně lepší ekonomické výsledky pro provozovatele bioplynové stanice.

5.4.3. Testy vhodnosti šťovíku na výrobu bioplynu

O vhodnosti šťovíku svědčí výsledky modelových testů, kde je porovnán vývin bioplynu za přidavku kukuřice a v dalších variantách za přidavku stejného množství krmného šťovíku. V závěru testování bylo zjištěno, že intenzita vývinu bioplynu dle kumulativní produkce byla u obou testovaných plodin v podstatě stejná. Při dávce 80 % zelené hmoty byl kumulativní vývin Bioplynu vlivem šťovíku dokonce vyšší, než vlivem kukuřice (viz grafy).



Obrázek 5.6. Kumulativní produkce bioplynu - drcená kukuřice, Zdroj: Biom



Obrázek 5.7. Kumulativní produkce bioplynu - drcený šťovík, Zdroj: Biom

Obdobný byl výsledek i při hodnocení podílu CH₄ a CO₂: ten se pohybuje u obou plodin mezi 65 až 70 % od patnáctého dne pokusu. Produkce metanu byla v případě všech 3 variant se šťovíkem velmi vyrovnaná, stejně jako po přidavku kukuřice (Kára, Petříková: Krmný šťovík pro výrobu bioplynu, Zemědělec, 18.2.2008).

Krmný šťovík v provozu bioplynové stanice

Výsledky testů jsou slibné, ale je nezbytné ověření přímo v provozu bioplynové stanice. Toto ověřování bylo zajištěno v zemědělské bioplynové stanici. Vývin bioplynu byl stejně intenzivní někdy i lepší. Krmný šťovík byl poté ověřován přímo v provozu bioplynové stanice zemědělského typu. Zde je základem substrátu pro fermentaci hnůj, senáž kukuřičná a travní. Krmný šťovík byl použit od 7. dne po nastartování fermentace místo travní senáže, celkem po dobu 20 dnů. Projevil se příznivě, když se po jeho přidávání zvyšoval vývin bioplynu, a tak bylo možné zvýšit výkon až na plných 250 kWh (Kára, Petříková: Krmný šťovík pro výrobu bioplynu, Zemědělec, 18.2.2008).

5.4.4. Pozitiva pěstování šťovíku jako alternativy kukuřice

Nejdůležitější předností šťovíku je jeho vytrvalost: brzy z jara obrůstá kompaktním porostem, poskytuje proto rannou sklizeň, ale současně dokonale chrání půdu proti erozi. Vydrží na svém stanovišti 10 i více let. Od druhého roku vegetace každoročně velmi brzy zjara obrůstá a již v polovině května jej lze sklízet jako zelenou hmotu nebo na siláž. Po této sklizni znovu obrůstá, takže další sklizeň bývá v létě. Předností krmného šťovíku jsou bezesporu i nižší náklady na jeho pěstování. Osivo v ceně zhruba 3200 Kč/ha stačí na několik let, kdežto osivo kukuřice za přibližně stejnou cenu je nutné kupovat každoročně. Počínaje druhým rokem vegetace je v případě šťovíku podstatně snazší kultivace půdy, neboť stačí jen lehké diskování po letní sklizni, proti hluboké orbě pro kukuřici.

Šťovík je navíc tolerantní vůči nízkým teplotám, proto je vhodný i do vyšších poloh,

kde se kukuřici ne vždy dobře daří. V těchto vyšších polohách se vyskytují zpravidla i strmější pozemky, kde může krmný šťovík účinně zasáhnout- na rozdíl od kukuřice i proti půdní erozi, což dokládá i tabulka výsledných hodnot ztráty půdy z osevních ploch určených pro bioplynovou stanici:

G, dlouhodobá průměrná ztráta půdy (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)	Kukuřice	Šťovík
Průměr z 15 vybraných pozemků (t.ha⁻¹ . rok⁻¹)	8,27	1,53

6. Závěr

Diplomová práce se zabývala vyhodnocením toho, jak energetické plodiny ovlivňují erozi. Posuzována byla lokalita Třeboňska, kde slouží osevní plochy jako zdroj biomasy vhodné pro výrobu bioplynu.

Došlo k porovnání míry eroze způsobenou kukuřicí, řepkou, laskavcem a šťovíkem na patnácti modelových pozemcích. Z výsledků univerzální rovnice dle Wischmeiera a Smithe jasně vyplývá, že plodinou nejvíce způsobující odnos půdy, je kukuřice. Jen na jediném pozemku byla vypočtená ztráta půdy pod přípustnou mezí, jinak na všech pozemcích byl odnos půdy mnohonásobně překročen, někdy dokonce i třikrát. Průměrná ztráta půdy z území byla pro kukuřici dvakrát větší než je přípustná mez.

Jelikož dochází k velkému rozvoji fytoenergetiky a výroby bioplynu, roste počet bioplynových zemědělských stanic. Jejich vstupy jsou tvořeny biomasou, v největší míře kukuřičnou siláží. Nastane tedy potřeba rozšiřovat osevní plochy energetických plodin a nutnost najít alternativní plodinu, která nezpůsobuje tak velké erozní jevy.

Díky univerzální rovnici dle Wischmeiera a Smithe, byla nalezena vhodná alternativa energetické plodiny za kukuřici. Vypočtené hodnoty ztráty půdy způsobené šťovíkem, byly pokaždé nižší než je přípustná mez, průměr z patnácti pozemků dokonce nedosahoval ani poloviny přípustné meze. Šťovík je navíc plodinou nenáročnou, vyžaduje daleko jednodušší agrotechniku a menší zásahy do půdy. Má nižší náklady na pěstování, je možné ho pěstovat i ve vyšších polohách, kde jsou strmější svahy.

Šťovík je podle modelových testů zároveň velmi vhodná plodina na výrobu bioplynu, dosahuje stejných hodnot jako kukuřičná siláž, navíc už je úspěšně testován v provozu zemědělských bioplynových stanicích.

Pěstování šťovíku, jako energetické plodiny, působí velmi pozitivně na půdní kryt, tudíž je velmi perspektivní plodinou v rozvíjející se fytoenergetice.

7. Použitá literatura:

- Amon T.: Landtechnik, č. 2, s. 86, 2006.
- Baranyk, P.: Výsledky poloprovozních odrůdových pokusů SPZO s řepkou jarní 2005. In , 23. 11. 2005 Hluk. Praha: SPZO, 2005.
- Bureš, P.: Podmínky vzniku eroze způsobené táním sněhu. Diplomová práce. Agronomická fakulta MZLU v Brně, 53s., 2001.
- Cablík, J., Jůva, K.: Protierozní ochrana půdy. Praha: Státní zemědělská nakladatelství, 1963.
- Carter, T.R., Parry, M.L., Porter, J.H.: Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. Int. J. Climatol., 11, s. 251-269. 1991.
- Daňhelka, J., Krejčí, J., Šálek, M., Šercl, P., Zezulák, J.: Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU, Praha, 2003.
- Dostálek, P., Michalová, A., Škeřík, J., Hutař M., Mitáček, T.: Netradiční plodiny, bulletin ekologického zemědělství. PRO-BIO Šumperk, 2000.
- Dumbrovský, M.: Pozemkové úpravy. Brno: CERM, ISBN 80-214-2668-3. 2004.
- Dumbrovský, M., Mezera, J. a kol.: Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace. VÚMOP Praha, 189 s. ISSN 1211-3972. 2000.
- Forman, R.T., Gordon, M.: Krajinná ekologie. 1.vyd. Praha: Academia: Ministerstvo životního prostředí České republiky. 583 s. ISBN 80.200.0464.5. 1993.
- Fulajtár, E., Janský, L.: Vodná erozia pody a protierozna ochrana. VÚPOP. Bratislava. 310 s. 2001.
- Gabrielová, Z.: Plaveniny říčky Blšanky (diplomová práce). PšF UK, Praha, 102 s. 1998.
- Havlíčková K.: Závěrečná zpráva dílčí etapy výzkumného projektu „Zdokonalování stávajících technologií využívání obnovitelných zdrojů a úspor energie“, Etapa: Osvěta a informatika využívání biomasy. VÚKOZ, Průhonice. 2000.

- Háni, F. et al.: *Obrazový atlas chorob a škůdců polních plodin*, Scientia, Praha, 336 s. 1993.
- Hofmanová D.: *Budoucnost patří energii z bioplynu*, Úroda, str. 14 – 15, 12/2006.
- Holý, M.: *Protierozní ochrana*. SNTL Praha, 1978.
- Holý, M.: *Eroze a životní prostředí*. ČVUT, Praha, 1994.
- Horník, S.: *Fyzická geografie II.* . Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 320 s. ISBN 14-380-86, 1986.
- Hudák, J. a kol.: *Biológia rastlín*. SPN, Bratislava 1989.
- Hůla, J.: *Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin*. Studijní informace, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 1999.
- Chloupek, O., Procházková, B., Hrudová, E.: *Pěstování a kvalita rostlin*. 1. vyd. Brno: MZLU v Brně, s. 181. ISBN 80-7157-897-5. 2005.
- Chmelová, R., Šarapatka, F.: *Současné metody výzkumu eroze půdy*. In: Borůvka, L. (ed): *pedologické dny 2002 (sborník konference)*. ČZU, Praha, s. 115 - 121. 2002.
- Janeček, M.: *Vliv eroze půdy na znečištění povrchových vod*. Praha: Stud. Inform. ÚVTIZ, č.4, 72 s. 1978.
- Janeček, M. a kol.: *Ochrana půdy před erozí*. Metodika ÚVTIZ č.5., Praha 1992.
- Janeček, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV, Praha, 201 s. 2002.
- Javůrek M., Šimon J.: *Možnosti využití mulče*. *Farmář*, 6, s. 31-33.2005.
- Ježková, E.: *Laskavec (Amaranthus sp.)*. *Biom.cz* [online]. 2002-02-26 [cit. 2010-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/laskavec-amaranthus-sp>>. ISSN: 1801-2655.
- Just, T. a kol.: *Revitalizace vodního prostředí*. AOPK ČR, Praha, 144 s. 2003.
- Kadlec, M.: *Disertační práce „Regionalizace protierozních opatření“*. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, fakulta agronomická, Ústav krajinné ekologie. 69 s. 2003.
- Kára, Petříková: *Krmný šťovík pro výrobu bioplynu*, *Zemědělec*, 18.2.2008.
- Kokolia V., Kos M.: *Protierozní oseední postupy*. Praha, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. 1989.

- Kudrna, K.: Zemědělské soustavy, SZN, Praha 1985.
- Langhammer, J., Kliment, Z., Stehlík, J.: Modelování zátěže z plošných zdrojů znečištění. (závěrečná zpráva o řešení projektu COST 623 na pracovišti spoluřešitele v období 2002 - 2003). PřF UK, Praha, 44 s. 2003.
- Litschmann, T., Rožnovský, J. (ed): Klimatická změna a zemědělství. Sborník referátů, Brno 1.9.1994. s. 50-52. 1994.
- Mana V., Pěstování biomasy v podmínkách ČR se zřetelem na ochranu krajiny, [online]. [cit.2008-8-16]. dostupné z www.belbo.cz/wpcontent/.../Pestovani_energeticke_biomasy_v_CR.pdf, 2007.
- Michael, A.: Anwendung des physikalisch begründeten Erosionsprognosemodells ERROSION 2D 3D - Empirische Ansätze zur Ableitung der Modellparameter. Freiberg, 147 s. 2001.
- Michal, P.: Kariéru dělá nová energetická rostlina – kukuřice [online]. [cit.2008-9-16]. Dostupný z WWW: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=138&ch=1&typ=1&val=47895>, 2008.
- Montgomery, D. R.: Soil erosion and agricultural sustainability. PNAS, 104, s. 268-272. 2007.
- Moudrý, J., Stražil, Z.: Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Spolek poradců v ekologickém zemědělství, Hradec Králové, 1998.
- Nermut Z.: Zhodnocení faktoru erozní účinnosti přívalového deště na Olomoucku. diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007.
- Pasák, V. a kol.: Ochrana půdy před erozí. SZN Praha, 1984.
- Pasák, V., Janeček, M., Šabata, M.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika ÚVTIZ Praha, 1983.
- Petříková, V.: Sborník: Energetické a průmyslové rostliny IV, Chomutov 1998.
- Petříková, V.: Sborník: Energetické a průmyslové rostliny VI, Chomutov 2000.
- Petříková, V.: Pěstování rostlin pro energetické účely, Praha 2005.
- Podhrázká, J., Dufková, J.: Protierozní ochrana půdy. Brno: MZLU v Brně, 2005.
- Procházková B., Hartman I., Dovrtěl J., Illek F.: Minimalizace zpracování půdy a zakládání porostů kukuřice, Úroda, 3/2005, str. 19 - 21. 2005.

- Prokop M.: Sklizeň kukuřice na siláž v roce 2008, Agromanuál, str. 44 – 45, 9/2008.
- Prugar, J. a kol.: Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. 1. vyd. Praha: 327 s. ISBN 978-80-86576-28-2, 2008.
- Sklenička, P.: Základy krajinného plánování. 2. vyd. Praha: Naděжда Skleničková, 321 s.. ISBN 80-903206-1-9, 2003.
- Strašil, Z.: Pěstování a možnosti využití některých energetických plodin s ohledem na rajonizaci. IN: Jak se ohřát biomasou, Liga energetických alternativ, s. 33-40. 1999.
- Svoboda M.: Zakládání porostů kukuřice, Úroda, 4/2004, str. 19 – 21. 2004.
- Škaloud, J., Hudák, J., Kumštýř, K., & Vondřejc, J.: Rostlinná výroba. SZN, Praha. 1971.
- Šarapatka, B. a kol.: Ekologické zemědělství v mikroregionu Jeseníky. Vývoj – současný stav – možnosti rozvoje. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 83 s. ISBN 80-244-0408-7. 2001.
- Takken, I. a kol.: The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns. *Geomorphology*, 37, s. 205 - 214. 2001.
- Tipl, M., Janeček, M., Bohuslávka, J., Pivcová, J.: Vliv půdní krusty na povrchový odtok a erozi. *Vědecké práce VÚMOP Praha* 12: 127-136. 2001.
- Toman, F.: Analýza vlivu klimatických podmínek na vznik eroze způsobené táním sněhu. *Soil and Water* 1/2002. Scientific studies. RISWC Praha, 115-123, ISSN 1213 8673. 2002.
- Ust'ak S.: Sborník: Energetické a průmyslové rostliny IV, Chomutov 1998.
- Ust'ak S.: Sborník: Energetické a průmyslové rostliny VI, Chomutov 2000.
- Vašák J. a kol.: Řepka. Agrospoj, Praha, 322 s, 2000.
- Vašků, Z.: Hodnocení vodní eroze půdy v rámci podrobného pedologického průzkumu. In: Borůvka, L. (ed): *Pedologické dny 2002* (sborník konference). ČZU, Praha, s. 115 - 121. 2002.
- Vavroš P.: Srovnání výsledku rovnice RUSLE a dynamického erozního modelu SWAT na příkladu povodí Rožnovské Bečvy, diplomová práce, Institut geoinformatiky, Hornicko–geologická fakulta, VŠB–TU Ostrava. 2007.

- Vrzal, J., Novák, D. a kol.: Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícein. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělání MZe ČR, s. 32. ISBN 807105-097-0. 1995.
- Weger, J.: Výběr energetických plodin pro různé stanovištní podmínky. - 56 p., ms. (Zpr. Projektu VaV320/3/99; depon. in: Knih. VÚKOZ, Průhonice). 2000.
- Wischmeier, W.H. - Smith, D.D.: Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr. Handbook No.537. USDA, Washington. 1978.

Obrázky čerpány ze zdrojů:

- www.biom.cz
- www.czba.cz

8. Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek 5.1. Globální schéma činnosti technologie bioplynové stanice, Zdroj: Biom
- Obrázek 5.2. Zastoupení substrátů u plánovaných BPS, Zdroj: Biom
- Obrázek 5.3. Atletico, nejrozšířenější hybrid energetické kukuřice, Zdroj: Biom
- Obrázek 5.4. Osevní plochy energetických plodin, sloužící k produkci biomasy na výrobu bioplynu, Zdroj: CzBA (Česká bioplynová asociace o. s.)
- Obrázek 5.5. Graf předpokládaného vývoje počtu bioplynových stanic a jejich instalovaného výkonu v ČR, Zdroj: CzBA (Česká bioplynová asociace o.s.)
- Obrázek 5.6. Obrázek 5.6. Kumulativní produkce bioplynu - drcená kukuřice, Zdroj: Biom
- Obrázek 5.7. Kumulativní produkce bioplynu - drcený šťovík, Zdroj: Biom

- Tab. 4.1. Rozložení faktoru R na jednotlivé měsíce
- Tab. 4.2. Povolený smyv půdy v závislosti na hloubce půdy a příslušné BPEJ
- Tab. 5.1. Výtěžnosti produkce bioplynu
- Tab. 5.2. Povolený smyv půdy v závislosti na hloubce půdy a příslušné BPEJ