

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a biometeorologie**



**Sledování výskytu plevelných druhů odolných vůči  
herbicidům na železniční dopravní cestě**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Pavel Janata**

**Vedoucí práce: Ing. Kateřina Hamouzová Ph.D.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Sledování výskytu plevelných druhů odolných vůči herbicidům na železniční dopravní cestě,, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

Ve Vlkavě dne 17. 4. 2015

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou věnoval poděkování paní Ing. Kateřině Hamouzové Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly zpracovat tuto bakalářskou práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Bulantovi za zaslání metodik a potřebných informací týkající se hubení plevelů na železniční dopravní cestě v České republice.

# Sledování výskytu plevelných druhů odolných vůči herbicidům na železniční dopravní cestě

## Souhrn

Tato práce se zabývá problematikou výskytu, mapováním plevelů na železniční dopravní cestě a možnostmi vzniku rezistence plevelů vůči herbicidům na nezemědělské půdě.

V jednotlivých kapitolách literárního přehledu jsou shrnuty poznatky o historii hubení plevelů za pomoci herbicidů a vzniku rezistence vůči triazinovým herbicidům patřící do skupiny inhibitorů fotosystému II. V současné době je největší počet plevelných druhů rezistentní vůči inhibitorům acetolaktátsyntázy. Dále se práce zabývá podstatou rezistence jednotlivých skupin herbicidů s různým mechanismem účinku (inhibitory fotosystému II, inhibitory ALS, glyciny, inhibitory ACCasy a další.).

V následující kapitole jsou popsány metody diagnostiky odolnosti plevelů vůči herbicidům a problematiky rezistence ve světě a v České Republice. V České Republice je chundelka metlice v poslední době nejvýznamnějším plevelným druhem na orné půdě s potvrzenou vícenásobnou rezistencí vůči PSII inhibitorům a ALS inhibitorům.

Další kapitola se zabývá invazními druhy plevelů, způsobem zavlékání a popisem cest a druhů zavlékání do České republiky. Tato kapitola je nejvíce zaměřena na plevely vyskytující se na železniční dopravní cestě a metodiky mapování plevelů.

Vlastní experimentální část je věnována plevelům na dopravní železniční cestě, kde byl proveden fytoecologický výzkum plevelných druhů zde se vyskytujících. Byl zmapován přibližně 18 km úsek železniční dopravní cesty krátce před a osm týdnů po aplikaci přípravku s účinnou látkou glyfosát. Byly zpracovány mapy výskytu jednotlivých druhů plevelů a rostlin, které se na dopravní cestě vyskytovaly. Celkem bylo na daném úseku nalezeno 19 druhů dvouděložných, 2 druhy jednoděložných rostlin a jeden druh ze třídy *Equisetopsida*. Nejvíce zastoupeným druhem byla přeslička rolní a kakost nachový. Bylo zjištěno, že chemický přípravek s účinnou látkou glyfosát nepůsobil na přesličku rolní a postřik také přežilo velké množství kakostu nachového a menší množství řeřichy chlumní, kde rostliny vykazovaly známky poškození, ale došlo u nich k opětovnému obnovení růstu.

**Klíčová slova:** glyfosát, jednoleté plevelné druhy, mapování, rezistence, mechanismy účinku, invazní druhy

# Monitoring of herbicide-tolerant weed species on railways

## Summary

The aim of this work is to discuss the issues of the origin of weed's resistance to herbicides on an arable land.

In the individual chapters it was summed up knowledge about the history of weed's killing by means of herbicides and the origin of resistance to triazine herbicides, which belong to the class of inhibitors of photosystem II. Currently, the greatest number of weed species is resistant to inhibitory acetolactatesynthase inhibitors (ALS). There is also given information about the origin of resistance of the individual classes of herbicides with different effect mechanisms (inhibitors of photosystem II, ALS enzyme, glycines, inhibitors of ACCase etc.)

Another chapter is dedicated to methods of the diagnostics of weed's resistance to herbicides and issues of weed's resistance not only in the Czech Republic, but also all over the world. In the Czech Republic, *Apera spica-venti* is recently the most important weed species on the farmland with a confirmed multiple resistance to PSII inhibitors and ALS inhibitors.

The next chapter deals with the invasive weed species, the way of their spreading and the description of the ways and kinds of spreading to the Czech Republic. That chapter is aimed at weed species which can be found along a railway line and the methodology for mapping weed.

The experimental part of this work is dedicated to weed species which grow along the railway line, where a phytocenological research of weed species was done. It was mapped approximately 18km of the railway line shortly before and eight weeks after applying a herbicide with an active substance glyphosate. It was drawn maps which show, where individual weed species can be found. Altogether, 19 dicotyledon species, 2 monocotyledon species and one species of class *Equisetopsida* were found. The most prevailing species, which occurred in the given part of the railway lines were *Equisetum arvense* and *Geranium purpureum*. It was found out that the herbicide with an active substance glyphosate did not have an effect on *Equisetum arvense*. Another weed species which mostly survived the spraying were *Geranium purpureum* and *Lapidium campestre*. These two species showed signs of damage, but both of them continued to develop.

**Keywords:** glyphosate, annual weed species, mapping, resistance, mechanisms of action, invasive species

## Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíl práce.....	8
3 Literární rešerše .....	9
3.1 Rezistence plevelů vůči herbicidům .....	9
3.1.1 Historie hubení plevelů pomocí herbicidů.....	9
3.1.2 Charakteristika účinné látky glyfosát .....	10
3.1.3 Herbicidní rezistence .....	11
3.1.4 Biologické aspekty vzniku rezistence vůči herbicidům.....	18
3.1.5 Diagnostika odolnosti plevelů vůči herbicidům .....	19
3.1.6 Problematika herbicidní rezistence ve světě.....	20
3.1.7 Plevelné druhy vyskytující se na území ČR s rezistencí vůči herbicidům .....	21
3.1.8 Způsoby zabránění vzniku rezistence plevelů vůči herbicidům .....	23
3.1.9 Invazní druhy a jejich zavlékání .....	24
3.1.10. Plevely vyskytující se na dopravní železniční cestě .....	26
3.1.11. Regulace plevelů na železniční dopravní cestě v ČR .....	28
3.1.12 Způsoby regulace v zahraničí .....	30
3.1.13 Mapování pokryvnosti a početnosti zaplevelení.....	32
4 Metodika .....	34
5 Výsledky výzkumu .....	35
6 Diskuze .....	44
7 Závěr .....	46
8 Seznam použitých zkratk .....	47
10 Seznam použité literatury .....	48
11 Samostatné přílohy .....	53

# 1 Úvod

Plevely jsou nedílnou součástí naší biosféry, mají pro nás kladný i negativní význam. Většinou jsou chápány negativně z důvodu konkurence námi pěstovaných polních plodin, které ochuzují o živiny, světlo a vodu.

Na železnici dochází vlivem nežádoucí vegetace k narušování železničního spodku kořeny a svršku větvemi a padlými stromy. V letních měsících by vlivem přílišného zaplevelení mohlo být zvýšené riziko požárů a naopak v deštivém období by hrozilo přílišné zamokření kolejiště vlivem kořenů rostlin, které zadržují vodu. Z toho důvodu musí být zajištěno, aby železniční dopravní cesta byla náležitým způsobem ochráněna.

Nejčastější ochranou proti nežádoucí zeleni je chemická ochrana. Důvodem je její efektivita, nutnost opakování maximálně dvakrát za rok a tím i nižší náklady oproti sečení, použití horké vod, páry, tekutého dusíku či otevřeného ohně. Pravidelné provádění chemické ochrany herbicidy se stejným mechanismem účinku má však za následek u některých druhů plevelů vytváření rezistence proti účinné látce daného herbicidu, a tím snížení účinku herbicidu a rozmnožování právě rezistentních populací. Tyto populace se poté mohou i dále šířit a dostávat do míst, kde jsou stejně nežádoucí, například na pole, sady atd. Musí být dbáno na to, aby se zamezilo vzniku rezistentních populací plevelů, které se poté velmi obtížně regulují.



## **2 Cíl práce**

Cílem práce je sledování výskytu jednoletých plevelných druhů na železniční dopravní cestě po ošetření herbicidním přípravkem s účinnou látkou glyfosát.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Rezistence plevelů vůči herbicidům

#### 3.1.1 Historie hubení plevelů pomocí herbicidů

Plevelné rostliny jsou nedílnou součástí ekosystému, již od počátku zemědělství patří k nejvýznamnějším škodlivým činitelům. Jejich regulace byla vždy finančně i časově náročná, v minulosti docházelo k odstranění plevelů především ručně, poté za pomoci mechanizace. Po začátku používání chemických přípravků se odstraňování plevele dále zdokonalovalo a zjednodušovalo, především použití herbicidů výrazně ovlivnilo regulaci plevelů (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Mechanismus účinku herbicidu se dělí na kontaktní, jež poškozují pouze rostlinná pletiva, která byla herbicidní látkou zasažena. Zasažení se projevuje žloutnutím listů, nekrotizací a odumíráním pletiv. Systémové listové herbicidy, které ovlivňují metabolismus rostliny, mohou způsobit růstové deformace a celkové zastavení růstu rostliny – tzv. „růstové herbicidy“. Systémové kořenové herbicidy, které ovlivňují systémově růst a metabolismus mladých a vzcházejících rostlin způsobují deformace a celkové odumření rostlin (Kulovaná, 2001).

Používání herbicidních přípravků se začalo rozšiřovat od počátku padesátých let minulého století, nejprve se používaly jen v některých plodinách, nyní se s nimi ošetřují téměř 100% orné půdy. Z počátku se používalo především růstových herbicidů typu 2,4-D a MCPA, které byly používány v obilninách. Účinek byl z počátku velký. Postupem let docházelo k postupnému snižování účinnosti jako přirozené reakce na používaný přípravek a zároveň docházelo ke změnám ve složení spektra plevelných rostlin na pozemku. Plevely jako penízek rolní, hořčice rolní, kokoška pastuší tobolka a další ustupovaly, avšak se začaly rozšiřovat dvouděložné plevely jako například svízel přitula, hluchavka objímavá, rozrazil perský, z jednoděložných oves hluchý a chundelka metlice. Celkový počet plevelných druhů se výrazně snížil, avšak míra zaplevelení zůstala, nebo dokonce narůstala. Plevelné druhy, které nebyly hubeny těmito herbicidy, se staly konkurenceschopnější vůči pěstovaným plodinám. Z toho důvodu se začalo používat více účinných látek v jednom herbicidním přípravku (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Zemědělství také výrazně ovlivnilo používání triazinových herbicidů, které zefektivnily pěstování kukuřice na siláž, na zrno a zelené krmení. Hubily jednoleté plevely a zajišťovaly spolehlivou ochranu po celou dobu vegetace pěstované plodiny. Triazinové herbicidy byly aplikovány ve velké míře. V podzemních vodách vznikly problémy s jejich rezidui. Také došlo k velkému nárůstu počtu vytrvalých plevelů jako je například pýr plazivý, svlačec rolní, pcháč oset a další. Řešení bylo ve zvyšování dávek, avšak ani to nepomohlo na likvidaci vytrvalých plevelů a navíc to zrychlilo vytvoření rezistence na tuto skupinu herbicidů. Tyto plevely neměly na půdě konkurenci, a proto se rychle šířily (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Postemergentní graminicidy jako je například haloxyfop-ethoxyethyl a další, pomohly s hubením pýru plazivého, jednoletých jednoděložných plevelů, ale i vytrvalých jednoděložných plevelů. Tyto přípravky jsou používány v širokořádkových plodinách (cukrovka, brambory, řepa) (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Sulfonylmočoviny jako například chlorsulfuron a tribenuron výrazně pomohly s hubením plevelů v obilninách a později také v kukuřici a cukrovce. Používají se v nízkých dávkách a účinkují jak na jednoděložné plevely (chundelka metlice, psárka polní), tak na odolné dvouděložné plevely (hluchavky, svízel přítula, heřmánky a další). Nízká cena a široké spektrum účinku sulfonylmočoviny zapříčinilo jejich používání po dobu více jak 20 let. Časem však docházelo k nahrazování vyhubených plevelů jinými druhy, především violkou rolní a svízelem přitulou, které se nejvíce rozšířily v devadesátých letech (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Regulaci plevelů výrazně ovlivnilo použití neselektivních herbicidů, především herbicid glyfosát umožňoval hubení vytrvalých i jednoletých plevelů. Představen byl poprvé v 1974 pod obchodním názvem „Roundup“ a od té doby byl uveden pod několika různými obchodními názvy (Monsanto, 2012)

### **3.1.2 Charakteristika účinné látky glyfosát**

Glyfosát, nebo N (fosfonomethyl-glycin) je jednou ze světově nejrozšířenějších účinných látek herbicidů, tvoří asi 25% světového trhu s herbicidy. Jedná se o neselektivní herbicidy přijímané listy. V rostlinách jsou rychle translokovány z listů do zbytku rostliny, což vede k jejímu zničení (Mikulka a Slavíková, 2008). Používá se na hubení širokého spektra jednoletých a vytrvalých druhů plevelů (Malone, 2012). Využívá se v zemědělství,

v zahradách, sadech, vinicích a podél železničních tratí. Několik evropských zemí včetně Německa používá glyfosát na téměř polovinu celkové plochy pěstovaných plodin. Glyfosát nahradil mechanickou kontrolu plevelů, a tím i snížil náklady na agrotechnické operace (Monsanto, 2012). Jde o efektivní a cenově ne příliš nákladný způsob hubení plevelů. Chemicky účinná látka glyphosate (N-fosfonomethyl-glycin) je derivát glycinu, nejmenší aminokyselina nacházející se v proteinech. V molekule glyfosátu je jeden z atomů vodíku aminoskupiny glycinu nahrazen fosfonomethylovou skupinou (Monsanto, 2012).

Působí tak, že blokuje metabolickou dráhu šikimátu, která je nezbytná pro růst rostliny. Ta se nachází ve všech rostlinách, ale není u zvířat. Jakmile je glyfosát absorbován rostlinou, váže se a blokuje aktivitu enzymu 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát (EPSPS). EPSPS je šestý enzym šikimátové dráhy, který převádí prekurzory glykózy, aromatických aminokyselin a mnoha dalších důležitých rostlinných metabolitů. Enzym se obvykle nachází uvnitř chloroplastů, kde katalyzuje reakci šikimát-3-fosfát (S3P) a fosfoenolpyruvátu za vzniku 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfátu (ESP). ESP je prekurzorem aromatických aminokyselin, hormonů, vitamínů a dalších důležitých rostlinných metabolitů. Strukturální podobnost fosfoenolpyruvátu umožňuje glyfosátu vázat se na vazebné místo substrátu EPSPS, inhibuje jeho aktivitu a blokuje jeho transport do chloroplastů. Inhibice šikimátové dráhy způsobuje nedostatek aromatických aminokyselin v rostlině, což vede k jejímu postupnému úhynu. Navzdory skutečnosti, že glyfosát je malá molekula, má nízkou rozpustnost ve vodě, proto se musí míchat s jinými pomocnými látkami pro zlepšení jeho účinnosti. V mnoha přípravcích je glyfosát ve formě solí, aby se zvýšila jeho rozpustnost ve vodě (Monsanto, 2012).

Prvním zaznamenaným plevelem s rezistencí vůči glyfosátu byla turanka kanadská, která byla zjištěna v geneticky modifikované plodině. Rezistentní turanka kanadská je evidována i v České republice. V současné době jde o nejvíce rozšířený plevelný druh s rezistencí vůči glyfosátu na světě (Tóth, 2014).

### **3.1.3 Herbicidní rezistence**

Rezistence je přirozeně se vyskytující dědičná schopnost některých plevelných biotypů v rámci dané populace přežít ošetření herbicidem, který by měl za normálních podmínek použití účinně hubit plevelné populace ([www.hracglobal.com](http://www.hracglobal.com)). První známky rezistence se objevily již v první polovině šedesátých let v Kanadě a USA vůči triazinovým

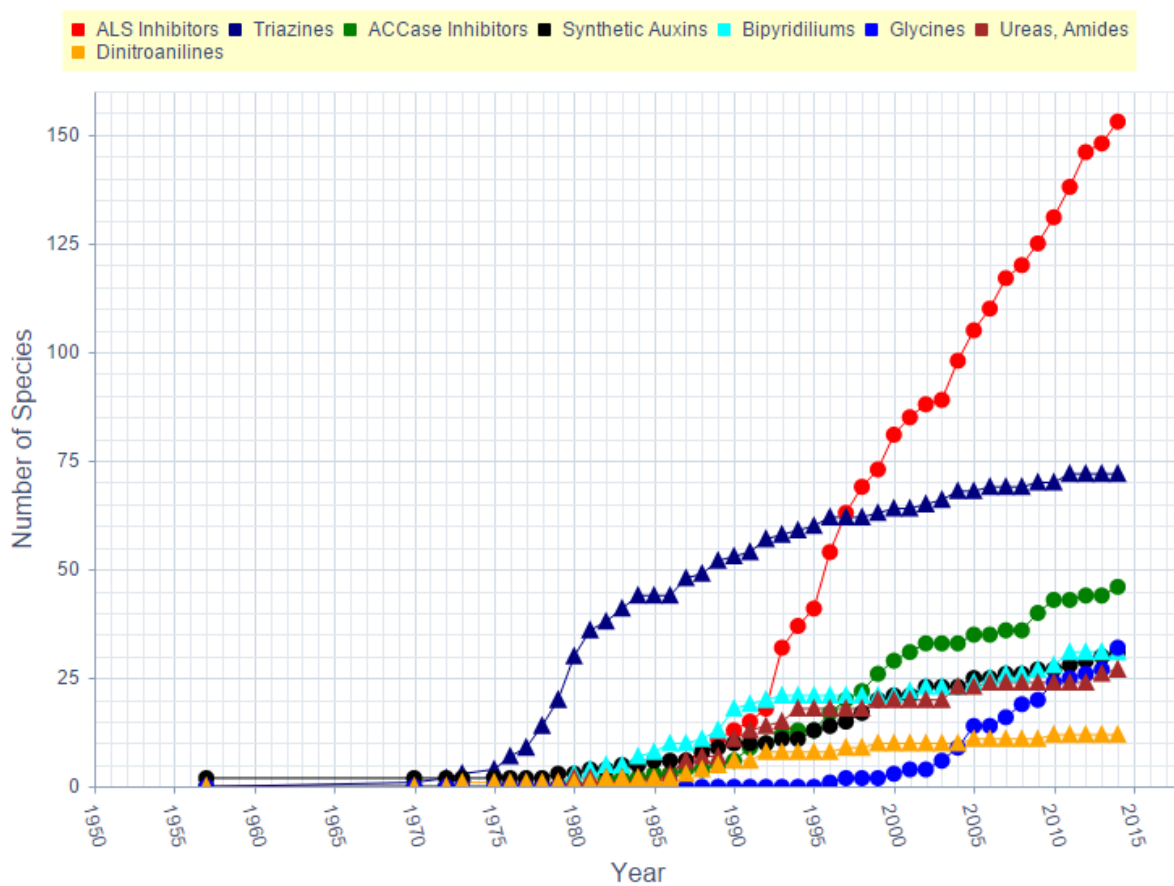
herbicidům. V roce 1983 zaujímaly plevele s rezistencí vůči triazinu 68% ze všech rezistentních plevelů, roce 1999 jen 24% vlivem úbytku užívání těchto typů herbicidů (Mikulka a Chodová, 2002).

Rezistence se může vyskytovat na místech, kde herbicid nikdy nebyl aplikován. Procentické zastoupení rezistentních jedinců v populaci je nízké. Aplikací herbicidu hubíme převážně citlivé jedince, což má za následek rozšiřování rezistentních jedinců ve větší míře (Tóth, 2014).

Největší šíření a vznik herbicidně rezistentních populací byl při monokulturním pěstování plodin a ve vytrvalých kulturách s dlouhodobým používáním herbicidů na nezemědělské půdě. Vznik rezistence závisí na mechanismu účinku herbicidu (Mikulka a Chodová, 1998). Rezistence je způsobena jak změnami v místě účinku v důsledku mutace, tak i metabolizací účinné látky rostlinou (Hamouzová a kol., 2014).

Plevelný druh, který byl dříve daným herbicidem regulován, po nevhodné aplikaci přežívá a je schopen reprodukce. Rezistence se rozšířila především díky nevhodnému velkoplošnému používání herbicidů při použití vysokých či nízkých dávek (Mikulka a Chodová, 2002).

Předpokládá se, že vysoké dávky herbicidů podporují selekci target-site rezistentních populací, jejichž rezistence je založena monogenně. Nízké dávky herbicidů, nebo herbicidy s nižší účinností podporují vznik polygenně založených rezistencí jako je metabolická rezistence (Jursík a kol., 2011). Na obrázku č. 1 je znázorněn postupný vývoj rezistence plevelů vůči herbicidům dle místa účinku.



Obrázek č. 1: Chronologický nárůst rezistentních plevelů ve světě, (<http://weedsociety.org/graphs/soagraph.aspx>)

Křížová rezistence (angl. cross-resistance) představuje typ rezistence, kdy je rostlina schopna tolerovat herbicidy se stejným mechanismem účinku, ale z odlišných chemických skupin (Jursík a kol., 2011).

Může to být zapříčiněno změnou jednoho nebo více genů, které ovlivňují cílové místo účinku (Mikulka a Chodová, 2002).

Hamouzová a kol. (2011) uvádí, že křížová rezistence je obvykle založena polygenně, díky tomu má plevel schopnost odolat různým chemickým skupinám herbicidů se stejným mechanismem účinku.

Mnohonásobná rezistence byla definována jako mechanismus, díky kterému má rostlina schopnost tolerovat herbicidy z chemických skupin se zcela odlišným mechanismem účinku (Mikulka a Chodová, 2002).

## **Mechanismy rezistence**

Rezistenci způsobují biochemické nebo fyziologické změny či morfologické odlišnosti, které ovlivňují příjem herbicidu rostlinou, degradují herbicid nebo mění jeho biochemickou funkci v rostlině. Popřípadě pozměňují místo, na které se herbicid v rostlině váže (Jursík a kol., 2011).

### **Změna místa působení herbicidu v rostlině (targetsite rezistence)**

V rostlině dochází k záměně aminokyselin v primární struktuře cílového enzymu v místě, na které se herbicid váže. Tento mechanismus rezistence je rozšířený zejména u populací rezistentních vůči ALS inhibitorům, triazinům, dinitroanilinům a inhibitorům ACCasy. Rezistence je obvykle založena dominantně, takže ani několikanásobné zvýšení dávky není efektivní (Jursík a kol., 2011).

### **Nespecifická rezistence (non-targetsite rezistence)**

Mechanismus rezistence spočívá v jednom nebo v kombinaci mechanismů, které zabraňují molekulám herbicidu dosáhnout v dostatečném množství cílového místa účinku. Tyto mechanismy zahrnují sníženou propustnost membrán pro herbicid, sníženou translokaci, či zvýšení sekvestrace herbicidu. To vede k minimalizaci množství herbicidu, který se dostane na cílové místo. Plevelé s nespecifickou rezistencí jsou schopny velmi rychle metabolizovat herbicid na méně toxické nebo netoxické látky. Podobným způsobem je založena také selektivita zemědělské plodiny. Genetický a molekulární základ metabolické rezistence není doposud příliš jasný a pravděpodobně je založen polygenně. Byly identifikovány i další mechanismy rezistence, například kompartmentace herbicidu nebo jeho toxických metabolitů do buněčných vakuol, odkud nemohou aktivovat místo působení (Jursík a kol., 2011).

### **Rezistence plevelů vůči herbicidům, které inhibují fotosystém II**

Herbicidy inhibující PS II zabraňují přenosu elektronů přes thylakoidní membránu chloroplastů v PS II, které se uvolňují při fotolýze vody přes plastochinon Q<sub>B</sub> v integrálním proteinu D1. Volné elektrony se hromadí a vzniklá energie je absorbována chlorofylem a karotenoidy, v důsledku čehož dochází k chlorózám. Volná energie také iniciuje tvorbu chlorofylových tripletů, které reagují s O<sub>2</sub> za vzniku jednomocných kyslíkových radikálů,

kteřé způsobují destrukci lipidových membrán a dochází k vylití obsahu buněk do mezibuněčných prostor a následně nekróze listů (Jursík a kol., 2010).

Nejvýznamnější zástupci inhibitorů PS II jsou atrazin a simazin. Triazinové herbicidy pronikají kutikulou, jsou rychleji přijímány a jsou výrazně selektivní. Například kukuřice má schopnost tyto herbicidy metabolizovat na neúčinné metabolity. V roce 1968 byl popsán starček obecný rezistentní vůči těmto herbicidům v USA v okrasných školkách. V roce 1973 v Rakousku byl poprvé popsán laskavec ohnutý s rezistencí vůči triazinovým herbicidům (Mikulka a Chodová, 2002).

Podstata rezistence byla poprvé vysvětlena na merlíku bílém ve Francii, jednalo se o mutaci v cílovém místě účinku herbicidu (Mikulka a Chodová, 2002). Tento typ rezistence je výsledkem spontánní mutace proteinu D1 ve fotosystému II. Výsledkem mutace je, že se triazinové herbicidy nemohou navázat na tento protein a stávají se neúčinnými (Mikulka a Chodová, 1998).

Podle Hamouzové (2011) odolnost vůči triazinovým herbicidům může být zapříčiněna změnou cílového místa účinku, mutací genu *psbA*, který kóduje protein D1 ve fotosystému II, nebo detoxikací herbicidu rostlinou.

Rezistence vůči inhibitorům fotosystému II v České republice byla prokázána u rdesna blešního, laskavce ohnutého, merlíku bílého, turanky kanadské, starčku obecného, lipnice roční, rdesna červivce, ježatky kuří nohy, lilku černého a rosičky krvavé ([www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)).

### **Rezistence vůči herbicidům, které inhibují enzym acetolaktátsyntázu (ALS)**

Enzym acetolaktátsyntáza (ALS) je též známý jako acetohydroxidacidsyntáza (AHAS). ALS je první enzym, který se účastní syntézy esenciálních větvených aminokyselin valinu, leucinu a izoleucinu (Mikulka a Chodová, 1998).

Tyto aminokyseliny jsou syntetizovány rostlinami, řasami, houbami, bakteriemi a prokaryotickými buňkami, ne živočišnými buňkami, proto jsou vhodným cílem vývoje herbicidů (Hamouzová, 2011).

Všechny herbicidy z této skupiny inhibují aktivitu tohoto enzymu lokalizovaného v chloroplastech rostlinných buněk. Přerušeni tvorby ALS se projeví zastavením tvorby výše jmenovaných aminokyselin a následně i proteinů. Druhotným důsledkem je inhibice syntézy DNA a zástava buněčné dělení v meristematických pletivech, to vede k omezení floémového



transportu asimilátů vodivými pletivy a konečnému zastavení růstu. Vizuelní projevy poškození se projeví až za několik dní vlivem zásoby aminokyselin v buňkách, které udržují funkční metabolismus. Nedostatek těchto aminokyselin je kritický pro růst nových tkání a dochází k zániku rostliny (Klemová a kol., 2010).

Z počátku dochází ke zpomalení až zastavení růstu, poté žloutnutí vegetačního vrcholu a následně i k jeho zaschnutí (Jursík a kol., 2010).

Mezi herbicidy, které inhibují enzymy (ALS) patří pět strukturálně odlišných skupin herbicidů: pyrimidinylthiobenzany, triazolopyrimidiny sulfonamidy, sulfonylmočoviny, imidazolinony a sulfonylaminokarbonyltriazolinony (Mikulka a Chodová, 1998). U těchto typů herbicidů byla objevena metabolická rezistence a vícenásobná rezistence spojující metabolickou rezistenci s rezistencí v místě účinku.

Podle Klemové a kol. (2010) je nejčastějším mechanismem rezistence jednoduchá bodová mutace v genu *als*, avšak nejnovější poznatky ukazují převládající non-target site rezistenci.

Dále Hamouzová a kol. (2011) uvádí, že bylo v současné době popsáno pět mechanismů herbicidní rezistence vůči ALS inhibitorům:

- změna cílového místa v důsledku mutací v místě účinku herbicidu
- metabolická deaktivace, účinná látka se převede na nefytotoxické metabolity
- snížení absorpce, nebo translokace herbicidu
- sekvestrace – části herbicidů se nachází ve vakuolách, nebo buněčných stěnách
- amplifikace genu – nadměrná exprese cílového místa

Rezistence vůči ALS inhibitorům v České Republice byla prokázána u chundelky metlice a psárky polní ([www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)).

### **Rezistence vůči herbicidům, které inhibují biosyntézu lipidů (ACCasy)**

V rostlinách se nachází přibližně 200 mastných kyselin. Nejvýznamnějšími nasycenými jsou kyselina laurová, myristová, palmitová a stearová a nenasycenými olejová a linoleová. Acetyl-CoA karboxylasa (ACCasa) je enzym, který se podílí na transkarboxylaci acetyl-CoA na malonyl-CoA, tedy první reakci při biosyntéze mastných kyselin (Jursík a kol., 2010).

Herbicid ovlivňuje enzym acetyl-CoA-karboxylázu, který katalyzuje biosyntézu mastných kyselin. Ty jsou nezbytné pro tvorbu nových buněčných membrán (Mikulka a Slavíková, 2008).

ACCasa je lokalizována v chloroplastech a v cytoplazmě buněk dělivých pletiv. Poškození je patrné nejprve v mladých rostlinných pletivech, kde dochází k porušení tvorby buněčných membrán, především tylakoidních. Druhotně je inhibována také mitóza a syntéza DNA (Jursík a kol., 2010). Mezi tyto inhibitory patří řada významných účinných látek. Jedná se o herbicidy ze skupiny aryloxyphenoxypropionových kyselin a cyklohexanediony (Mikulka a Chodová, 1998).

V rostlině dochází k záměně aminokyselin v primární struktuře cílového enzymu v místě, kde se herbicid váže. Podle toho k jaké záměně došlo (celkem popsáno 8 mutací), může být plevel rezistentní jen vůči aryloxyphenoxypropionátům (fopům), cyklohexandionům (dimům), phenylpyrazolinům (denům) nebo vůči několika zároveň.

Molekulární podstata rezistence vůči inhibitorům ACCasy není doposud příliš objasněna, ale je zřejmé, že úroveň target-site rezistence vůči ACCase je ovlivněna nejen místem záměny aminokyselin, ale také podílem homozygotů a heterozygotů v populaci a použitým herbicidem i jeho dávkou. Změna místa účinku je také častým mechanismem rezistence vůči dinitroanilinům a růstovým herbicidům (Jursík a kol., 2011).

### **Inhibitory biosyntézy aminokyselin**

Biosyntéza aminokyselin je významná v metabolismu rostlin, neboť je spjata s dalšími metabolickými pochody – syntézou purinových a pyrimidinových bází, fotorespirací, fotosyntézou a dalšími. Většina těchto pochodů včetně biosyntézy aminokyselin probíhá za světla v chloroplastech, proto se zde nachází cílové enzymy této herbicidní skupiny. Z hlediska herbicidního účinku jsou v pochodech biosyntézy aminokyselin nejvýznamnějšími cílovými enzymy – glutaminsyntáza (GS), enolpyruvyšikimát-3-fosfátsyntáza (EPSPS) a acetolaktátsyntáza (ALS) (Jursík a kol., 2010).

### Rezistence vůči inhibitorům EPSPS

Výměra ploch, na níž byly popsány plevele s rezistencí na účinnou látku glyfosát dosahuje v současnosti 6,5 milionů hektarů. Tato rezistence byla zjištěna především v severní a jižní Americe, kde se přešlo k pěstování geneticky modifikované pšenice, kukuřice, sóji,

bavlny a cukrové řepy s rezistencí vůči herbicidům. Více jak 90% plevelů rezistentních vůči glyfosátu patří do třech čeledí tvořící 22 druhů (laskavcovité, asterovité, lipnicovité). V GMO (geneticky modifikovaných) plodinách bylo zjištěno 13 druhů, v sadech a vinicích 12 druhů a na úhorech 3 druhy (Tóth, 2014).

Dle Jursíka a kol. (2011), spočívá princip v jednom nebo kombinaci mechanismů, které zabraňují molekulám herbicidu dosáhnout v dostatečném množství cílového místa účinku. Tyto mechanismy zahrnují sníženou propustnost membrán pro herbicid, sníženou translokaci, či zvýšení sekvestace. Toto vede k minimalizaci množství herbicidu, který dosáhne cílového místa účinku. Rezistence v České republice byla prokázána u turanky kanadské ([www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)). U turanky kanadské dochází k jeho snížené translokaci v rostlině, nikoli snížením příjmu, nebo detoxikací v rostlině. Dále bylo zjištěno, že rezistence je řízena jedním neúplně dominantním genem lokalizovaným v jaderném genomu. Heterozygotní genotypy F1 generace přežívají ošetření, a proto dochází ke zvýšenému výskytu rezistentní alely při silném selekčním tlaku (Chodová a kol., 2006). U jílku vytrvalého a mnohokvětého byla prokázána rezistence mutací EPSPS genu v aminokyselinové pozici 106 (Chodová a kol., 2009).

U těchto čtyř mechanismů účinku byl zjištěn největší počet rezistentních plevelů, vyjma výše jmenovaných byla herbicidní rezistence potvrzena prakticky ke všem známým skupinám herbicidů – tj. inhibitorům biosyntézy karotenoidů, syntetickým auxinům, inhibitorům fotosystému I, tvorby buněčných mikrotubulů, prodlužování syntézy mastných kyselin, syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (Mikulka a Chodová, 1998).

### **3.1.4 Biologické aspekty vzniku rezistence vůči herbicidům**

Dříve existoval názor, že rezistence vůči herbicidům vzniká na základě neúměrného plošného používání herbicidů v nadměrných dávkách. Nyní se vědci přiklání k názoru, že rezistence je dána mutací, které vznikají náhodně v populacích plevelů. Četnost mutací je udávána  $10^{-3}$  až  $10^{-10}$  jedinců v populaci (Jander a kol., 2003).

Plevele, které jsou rezistentní, patří mezi kolonizující a pionýrské druhy, osidlující prvotně uvolněný prostor. Typická je pro ně skutečnost, že produkují velké množství semen. Některé rezistentní druhy mohou tvořit několik generací za rok a produkovat semena i v době, kdy ostatní nerezistentní druhy nemají ještě semena zralá (Mikulka a Chodová, 2002).

## **Fitness**

Obecně je definováno jako reprodukční úspěšnost a odvíjí se od schopnosti přežít a rozmnožovat se. Porovnání reprodukční úspěšnosti v polních podmínkách je velmi složité a proto se studie zaměřují na sledovatelné charakteristiky jako například rychlost růstu a produkce biomasy, které s rozdíly ve fitness úzce souvisí. Snížený fitness rezistentních plevelů se občas uvádí jako jejich základní projev a typický rys, především u rezistence v místě účinku. V případě triazinových herbicidů jsou pozorovány rozdíly ve fitness u rezistentních a citlivých biotypů, protože účinnost fotosyntézy úzce souvisí se strukturou proteinů podílejících se na přenosu elektronů, takže většina mutací se projeví snížením účinnosti fotosyntézy a tyto rostliny vykazují nižší vitalitu. Nicméně u mnoha populací s rezistencí vůči herbicidům s jiným mechanismem účinku se nepodařilo snížení fitness prokázat a dá se předpokládat, že u těchto populací je snížené fitness jen neprůkazně. Z hlediska selekce může však i nepatrné snížení fitness hrát významnou roli a vyselektovat rezistentní jedince z populace (Jursík a kol., 2011).

## **Dědičnost rezistence**

Rezistence je vyvolána jednou nebo několika mutacemi genů, které kódují cílová místa účinku herbicidu v rostlině (Mikulka a Chodová, 2002).

Studie zjistily, že rezistence v místě účinku je obvykle založena na jednom jaderném genu, jehož rezistentní alely vykazují vysoký stupeň dominance. Dědičné vlastnosti mohou být založeny různě (úplná dominance alel, neúplná dominance alel, recesivita alel, mateřská dědičnost chloroplastové DNA a polygenně založená dědičnost). Je-li rezistence udělena recesivními alelami, trvá dlouho, než se četnost alel v populaci dostane na takovou úroveň, aby se rezistence projevila. Je-li rezistence udělena dominantními alelami, je šíření rezistentní populace rychlejší. U triazinových herbicidů se zjistilo, že rezistence není kódována chromozomální DNA, ale nejadernou DNA, která je v chloroplastech buněk mateřské rostliny. Tudíž se gen rezistence nemůže přenášet pylem, ale pouze semeny. Semena vzniklá na rezistentní rostlině produkují vždy opět rezistentní jedince (Jursík a kol., 2011).

### **3.1.5 Diagnostika odolnosti plevelů vůči herbicidům**

Pro diagnostikování rezistentních plevelných druhů slouží diagnostické laboratoře. Ty analyzují zaslaný biologický materiál různými metodami. Jelikož rezistentní i citlivé

plevele jsou morfologicky shodné, byla vyvinuta řada diagnostických metod na jejich určení (Mikulka, Chodová 2002).

V současné době se nejvíce používá biologický test a molekulární metody, avšak dle mechanismu účinku je možné použít celou škálu různých metod.

### **Biologický test**

Tato metoda je vhodná jak pro diagnostické laboratoře, tak i pro zemědělce. Lze jimi prokázat rezistenci proti všem herbicidům. Jedná se o ošetřování rostlin vypěstovaných ze semen s neznámou citlivostí vůči herbicidům, u kterých se postupně zvyšuje dávka a porovnává se s rostlinami se známou citlivostí. Dochází k aplikaci herbicidu ve stupňovaných dávkách (Mikulka a Chodová, 2002).

### **Molekulární metody**

Tyto metody se používají kratší dobu než ostatní. Využívají faktu, že rezistence je geneticky založená vlastnost. Tyto metody odhalí mutaci, která určuje rezistenci. Detekce se obvykle provádí ze zelené rostlinné hmoty, po odběru vzorků následuje izolace rostlinné genomické DNA či RNA. Gen odpovědný za rezistenci je následně amplifikován pomocí metod PCR (polymerázová řetězová reakce). Samotná identifikace místa mutace je určena buď štěpením genomu či genů restrikcí analýzou, nebo analýzou sekvence genomu (Mikulka, a Slavíková, 2008).

Další, méně používané metody - stanovení rezistence ze semen z půdní zásoby, metoda aktivity Hillovy reakce, metoda agarových půd, metoda vodních kultur, metoda měření rychlosti fotosyntézy.

### **3.1.6 Problematika herbicidní rezistence ve světě**

V současné době bylo popsáno 449 případů (druhy x místo působení) plevelů rezistentních vůči herbicidům na celém světě s 245 druhy (143 dvouděložných a 102 jednoděložných rostlin). U plevelů se rozvinula rezistence na 22 z 25 známých míst účinku a na 156 různých druhů herbicidů. Plevelé s herbicidní rezistencí byly hlášeny v 86 plodin v 66 zemích ([www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)), na více jak 600 tisících lokalitách, avšak skutečnost je podstatně vyšší (Tóth, 2014).

Nejvíce rezistentních plevelných druhů v minulosti bylo vůči PSII inhibitorům. V dnešní době je největší problém s rezistencí vůči ALS inhibitorům. V roce 1987 byla poprvé popsána rezistence vůči sulfonylmočovinám u lociky kompasové ve státě Idaho v porostech pšenice, kde se ošetřovalo chlorsulfuronem od roku 1982. V roce 1989 byly popsány následující plevele s rezistencí: ptačinec žabinec, bytel metlatý a slanobýl ruský v USA a Kanadě. Následně i další plevele jako: laskavec bouchonův, jílek vytrvalý a laskavec rozkladitý (Mikulka a Chodová, 2002).

Plevele s rezistencí vůči herbicidům se vyskytují na všech světadílech. Zajímavostí je, že rezistentní plevele se soustřeďují pouze do několika botanických čeledí. Největší počet patří do čeledi lipnicovitých, laskavcovitých, rdesnovitých a merlíkovitých. Většina je soustředěna do dvanácti botanických čeledí. Počet plevelů s rezistencí vůči sulfonylmočovinám se každoročně zvyšuje. Tyto plevele často vykazují křížovou rezistenci vůči imidazolinonům (Mikulka a Chodová, 2002).

Situace s problémem herbicidní rezistence je vážnější v oblastech, kde jsou pěstovány GMO (geneticky modifikované organismy) plodiny s rezistencí nebo tolerancí k herbicidům. V USA bylo potvrzeno asi 144 případů herbicidně rezistentních plevelů v takovýchto porostech. V Evropě se v současné době opouští od pěstování geneticky modifikovaných plodin, proto je hrozba herbicidní rezistence v těchto případech menší. Nejvíce případů bylo zaznamenáno v těchto zemích Evropy: ve Francii 35, ve Španělsku 32, v Německu 31. Nelze však říci, že by v ostatních státech nebyly populace plevelů s herbicidní rezistencí. Obrázek, který o herbicidní rezistenci je k dispozici, je do značné míry zkreslen zájmem vědců o tuto problematiku v dané zemi a odpovídá tomu, že např. ve Francii a v Německu se tímto problémem zabývá hodně výzkumných pracovníků.

### **3.1.7 Plevelné druhy vyskytující se na území ČR s rezistencí vůči herbicidům**

První nález laskavce ohnutého rezistentního vůči atrazinu byl učiněn v roce 1985 v jabloňovém sadu v oblasti Lovosic, kde byl dlouhodobě aplikován herbicid s účinnou látkou simazin (Mikulka a Chodová, 2002).

Dále se v České republice později prokázala rezistence lipnice roční, merlíku bílého, starčku obecného, laskavce ohnutého, rosičky krvavé, bytele metlatého, rdesna blešníku, rdesna červivce, které se vyskytovaly na nezemědělské půdě a na stanovištích s intenzivní

chemickou ochranou jako jsou sady, vinice, železnice a další. U těchto druhů byla popsána rezistence vůči triazinovým přípravkům (Jursík a kol., 2011).

V dalších letech se začaly objevovat rezistentní plevele na orné půdě zejména v porostech kukuřice, řepy cukrové, na železnici a jiných nezemědělských oblastech (Mikulka a Chodová, 2002).

Mezi druhy, u kterých byla potvrzena herbicidní rezistence, přibyla ježatka kuří noha, merlík bílý, merlík tuhý, lilek černý s rezistencí vůči PS II inhibitorům (Jursík a kol., 2011).

Některé druhy byly nalezeny velkoplošně, jako například laskavec ohnutý a turanka kanadská. Některé jen pouze v ojedinělých lokalitách (merlík tuhý) (Mikulka a Chodová, 2002).

Počet plevelných druhů s rezistencí je alarmující. Do budoucna se dá předpokládat, že v řadě oblastí převládnu rezistentní nebo vzniknou směsné populace plevelů vlivem postupného šíření. Tyto populace budou z hlediska agronomického těžce regulovatelné. Výčet rezistentních druhů není zdaleka konečný (Mikulka a Chodová, 2002).

V tabulce č. 1 je vypsán seznam plevelných rostlin a potvrzenou rezistencí v České republice. V posledních letech je prováděn výzkum rezistentní populace chundelky metlice po celém území ČR, u níž rezistence byla potvrzena již v roce 2005. Jednalo se o rezistenci vůči účinné látce chlorsulfuron ze skupiny inhibitorů ALS (Košnarová a kol., 2014).

V roce 2009 byla zaznamenána populace s vícenásobnou rezistencí se třemi mechanismy účinku současně (Klemová a kol., 2010). Jedním z důvodů proč jsou u chundelky metlice problémy s rezistencí vůči ALS inhibitorům, je velmi rychlá populační dynamika plevelu s vysokou reprodukční schopností. Jedna rostlina dokáže vyprodukovat více než tisíc semen, která mají krátkou primární dormanci. Gen *als* má jadernou dědičnost, proto se může rezistence šířit pylem i semeny. Populační dynamika chundelky je v posledních letech podporována zvyšováním výsevu ozimých plodin spolu s rostoucím podílem ploch s omezeným zpracováním půdy, nebo přímým setím do nezpracované půdy (Košnarová a kol., 2014).

Na území ČR bylo při monitoringu v letech 2010-2013 nalezeno více než 100 populací s rezistencí vůči ALS inhibitorům, což bylo více než 70% testovaných vzorků. Je ale nutné podotknout, že se nejednalo o náhodné testování, nýbrž byly vybrány populace, u kterých docházelo k výpadkům účinnosti herbicidních přípravků. Všechny rezistentní vzorky pocházejí z oblastí, kde v minulosti docházelo k opakovaným ošetřením herbicidů na bázi

sulfonylmočovin. V posledních letech přibývá případů ke vzniku rezistence vůči účinným látkám ze skupiny inhibitorů PSII a také vícenásobné rezistence vůči PSII a ALS inhibitorům (Košnarová a kol., 2014).

Tab. 1: Seznam plevelných rostlin s potvrzenou rezistencí v České republice, (<http://www.weedscience.org/Summary/Country.aspx?CountryID=12>, Klíč ke květeně české republiky 2002)

	Vědecký název - latinsky	Vědecký název - česky	Rok	Mechanismus účinku herbicidů, vůči kterým byla rezistence potvrzena
1	<i>Polygonum lapathifolium</i>	Rdesno blešník	1982	Inhibitory fotosystému PSII (C1/5)
2	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Laskavec ohnutý	1985	
3	<i>Chenopodium album</i>	Merlík bílý	1986	
4	<i>Conyza canadensis</i>	Turanka kanadská	1987	
5	<i>Senecio vulgaris</i>	Starček obecný	1988	
6	<i>Poa annua</i>	Lipnice roční	1988	
7	<i>Amaranthus powellii</i>	Laskavec zelenovlasý	1989	
8	<i>Chenopodium album</i> var. <i>striatum</i> (= <i>C. strictum</i> var. <i>glaucophyllum</i> )	Merlík bílý	1989	
9	<i>Polygonum persicaria</i>	Rdesno červivec	1989	
10	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Ježatka kuří noha	1994	
11	<i>Kochia scoparia</i>	Bytel metlatý	1996	ALS inhibitory (B/2), inhibitory fotosystému PSII (C1/5)
12	<i>Solanum nigrum</i>	Lilek černý	1999	Inhibitory fotosystému PSII (C1/5)
13	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Rosička krvavá	2005	
14	<i>Apera spica-venti</i>	Chundelka metlice	2005	ALS inhibitory (B/2), inhibitory fotosystému PSII (C1/5)
15	<i>Conyza canadensis</i>	Turanka kanadská	2007	Inhibitory EPSPS (G/9)
16	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Psárka polní	2008	ALS inhibitory (B/2)

### 3.1.8 Způsoby zabránění vzniku rezistence plevelů vůči herbicidům

Je důležité předcházet šíření rezistentních plevelů, protože na mnohých lokalitách a celých oblastech se ještě rezistentní biotypy plevelů nevyskytují. Tyto plevely se vyskytují zejména v monokulturním pěstování kulturních rostlin s intenzivním používáním herbicidů stejného druhu několik let po sobě. Při zabránění šíření rezistentních plevelných druhů by měla být dodržována určitá pravidla (Mikulka a Chodová, 2002).



Zejména zvýšit diverzitu pěstovaných plodin (nepěstovat monokultury), týká se to především kukuřice, vinné révy, sadů, obilovin. Důsledně kontrolovat osivo, aby se zabránilo šíření invazních druhů (Tóth, 2014). Uplatňovat všechny metody mechanického hubení plevelů. Při orbě jsou svrchní vrstvy plevelů zapravovány hlouběji do půdy, kde umírají a semena ze spodních vrstev naopak na povrch, kde přes zimu zmrznou nebo jsou regulovány předseťovou jarní přípravou (Mikulka a Chodová, 2002). Především by se měly držet zásady integrované regulace plevelů a regulace plevelů v meziporostním období (Jursík a kol., 2011).

Při aplikaci herbicidů je nutné dodržovat zásady správného používání a předepsané dávky. Stále ještě převládá názor, že nízké (subletální/níže než doporučené výrobcem) dávky herbicidů mají za následek vznik rezistence, protože si na něj plevel může „zvykat“. Avšak pravda je opačná, naopak nadměrně silné dávky mají za následek vznik rezistence. V tomto případě je selekční tlak vyšší a perzistence herbicidu je dlouhodobá. Dlouhodobá perzistence má za následek vzejití především rezistentních rostlin, které nemají v daném ekosystému konkurenci, protože citlivé rostliny jsou dlouhodobě hubeny vzniklými rezidui v půdě (Mikulka a Chodová, 2002).

Nutné je také střídání herbicidů, střídání přípravků s různým místem účinku, střídání kontaktních a systémových přípravků (Tóth, 2014). Dobré je používání kombinovaných herbicidů (Mikulka a Chodová, 2002). Musí se neustále sledovat účinnost herbicidního ošetření. V případě snížení účinku herbicidu může být známkou vyvíjející se rezistence. Test na rezistenci plevelů vůči herbicidům si může udělat každý zemědělec sám nebo může požádat o pomoc specializované pracoviště (Jursík a kol., 2011).

Zanedbání těchto doporučení se může vymstít a znemožnit tak používání některých druhů herbicidů nebo dokonce i pěstování některých plodin (Mikulka a Chodová, 2002).

### **3.1.9 Invazní druhy a jejich zavlékání**

Vzhledem ke zvyšujícímu se počtu obyvatel na naší planetě stoupá i potřeba pěstování plodin a výroby potravin, které jsou třeba transportovat. Již po celá staletí dochází k postupnému rozšiřování různých druhů plevelných rostlin. Stále se rozšiřující trh se zemědělskými komoditami a množství druhů dopravy především (železniční, letecká, lodní a automobilová) umožňují šíření plevelných druhů na velké vzdálenosti. Dnes je velmi obtížné říct, které plevelné druhy jsou původní a které se k nám dostaly z jiných oblastí (Kneifelová a Mikulka, 2003).

Podle Mikulky (2011) je nejčastější možnost se s invazními druhy setkat na překladištích zboží, u zpracoven dovážených surovin, kolem zemědělských objektů a podobně. Tyto plevely jsou pro naše podmínky nové a nemají zde přirozenou konkurenci, tudíž se rychle rozmnožují. Většinou jde o plevely z teplejších oblastí, které se nejprve uchytí v příhodném klimatickém regionu, jako je například jižní Morava. Odtud se postupně dostávají do poloh vyšších. Tyto plevely nejprve zaujímají nezemědělské lokality, jako je rumiště, skládky, příkopy, kolejiště. Postupně se dostávají na ornou půdu (Mikulka a kol., 2010).

Pojem doba zavlečení (angl. residence time) zavedl Marcel Rejmánek, který si první uvědomil její důležitost. Mezi rozsahem rozšíření a počtem zavlečených druhů na určitém území a v určité době, po které jsou tyto druhy přítomné, existuje průkazný vztah. Tato skutečnost je důležitá například pro analýzy invazibility společenstev či vlastností invazních druhů. Pokud budou srovnávány, musí být bráno v úvahu, že různé druhy měly různě dlouhou dobu na to, aby uspěly. Důsledkem rozdílného času od zavlečení do naturalizace bude mít za následek, že počet invazních druhů plevelů bude v budoucnu vrůstat, i kdyby zavlékání najednou ustalo (Pyšek a kol., 2008).

Invazní plevely lze rozdělit na archeofyty, neofyty, invazní a expanzivní.

**Archeofyty** – patří sem nepůvodní rostliny, které na naše území byly zavlečeny úmyslně či neúmyslně od počátku neolitu (začátek zemědělství) do začátku novověku tj. před objevením Ameriky v roce 1492. Jsou brány jako plevely původní. Například kopřiva žahavka, mák vlčí.

**Neofyty** – také nepůvodní druh rostlin, které byl na naše území zavlečen úmyslně či neúmyslně po objevení Ameriky do současnosti, například puškvorec obecný, nebo pětour malouborný (Pyšek a kol., 2008).

**Plevely invazní** – invazi si lze představit jako proces překonávání bariér, od environmentálních, geografických, reprodukčních, přes bariéry bránící šíření po bariéry, které invaznímu druhu klade do cesty vegetace v místě invaze. Podle toho jak daleko se druh v tomto procesu dostane, se hodnotí jako přechodně zavlečený, naturalizovaný (zdomácnělý), nebo invazní (Pyšek a kol., 2008). Invazní druh je na daném místě nepůvodní (introdukovaný), úmyslně či neúmyslně zavlečený a dochází k jeho šíření. Tím hrozí vytlačení původních druhů, které nedokáží konkurovat (Jehlík, 1998).

**Plevele expanzivní** – v dané oblasti jsou původní, ale v důsledku životních podmínek se jejich areál zřetelně rozšiřuje (Jehlík, 1998).

### 3.1.10. Plevely vyskytující se na dopravní železniční cestě

Migrace rostlin, která je spjatá s dopravní cestou se nazývá agestochorie, pokud jde o železniční dopravní cestu, používá se označení ferrovíatická migrace (Kovář, 2005).

Železnice má na šíření plevelů v České republice velký význam, protože je zde velmi hustá železniční síť, která slouží jak pro vnitrostátní tak i pro nákladní tranzitní přepravu (Jehlík, 1998).

Zavlékané rostliny se šíří především v určitých materiálech, které jsou vhodné k zachycení a udržení diaspor (rozmnožovacích částic rostlin). Největší objemy tvoří suroviny jako je dřevní hmota, palivo, vytěžené rudy, potraviny, stavebniny. Největší šanci na ferrovíatickou migraci mají plevelné rostliny z polí, hlavně v obilninách, okopaninách, bavlně, okopaninách a z pastvin v ostříhané vlně ovcí. Diaspory jsou z vlaků vytřeseny a za pomoci vířivých větrů vyneseny do okolí (Kovář, 2005).

Železniční substrát je variabilní – s dobrou výhřevností, dobře zásoben živinami, zasolení minerálními hnojivy, i zamokřený což zajišťuje dobré podmínky pro celou škálu rostlinných druhů (Kovář, 2005).

Procházka a Kovář (1976) uvádí, že napočítali v polovině 70. let 20. století na 180 ha českořebovského železničního uzlu přibližně 500 druhů rostlin. Pouze menší část patřila k původním. Významný podíl zaujímaly rostliny transportované s obilím z Ukrajiny. Například ambrózie peřenolistá, locikovník tatarský, lnička drobnolistá, nebo rukevník východní.

Podle Pyška a Tichého (2001) existují tři hlavní cesty zavlékání invazních druhů do České republiky. Jako hlavní zdroj zavlékání je **tzv. labská cesta**, kterou se na naše území zavlékají zejména severoamerické druhy z přístavu Hamburk za pomoci lodní dopravy do všech Labských přístavů a poté železnicí do celé České republiky. Další cestou je **tzv. panonská**, kterou se k nám dostávají invazní druhy z jihovýchodu (Balkán). A poslední cesta je **tzv. východní**, kterou se k nám dostávají plevely ze Středomoří, Ruska, Ukrajiny a Asie.

Jehlík (1998) uvádí, že železnice jsou vhodným stanovištěm pro teplomilné plevely. Adventivy (geograficky nepůvodní druhy) se pohybují z jihu na sever nebo rovnoběžným směrem, nikoli severojižně. Stanoviště v okolí železnic má dle Jehlíka (2008) tyto společné rysy: mladé antropogenní půdy, plochy bez vegetace, kde je snížena konkurence místních

roślin. Výsušná stanoviště, trvalý přísun nových diaspor a zvýšená teplota díky tmavé barvě železničního svršku.

Proces zdomácnění má dle Jehlíka (2008) tato stádia: **Agestochorní zavlečení** – invazní plevel se na naše území dostávají za pomoci dopravy, spolu s dováženým materiálem. **Opakovaná reprodukce na primárním ohnisku výskytu** – počátek šíření plevelu. **Ferroviatická migrace** – šíření rostlin za pomoci železnice podél železničních tratí, expanze nového druhu na nové synantropní stanoviště mimo železnice (trávníky, úhory, pole).

### **Nejčastější plevely vyskytující se na železniční dopravní cestě**

#### Turanka kanadská (*Conyza canadensis*)

Jednoletý ozimý plevel z čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*) tvoří větvenitý kořen s tenkými postranními kořeny. Velikost 20-80cm. Původem je ze Severní Ameriky, do Evropy byla zavlečena v 17. století. Nyní je rozšířena po celém světě převážně v mírném subtropickém pásu. U nás byla poprvé objevena a zaznamenána v roce 1750, nyní je rozšířena po celém území v nížinách i horských polohách. Je nenáročná na půdu, velmi houževnatá. Výskyt nejčastěji na okrajích cest, železnic, silnic. (Jursík a kol., 2011).

#### Kakost nachový (*Geranium purpureum*)

Jednoletá invazní 10-35cm vysoká bylina z čeledi kakostovitých (*Geraniaceae*), která je původem z jižní Evropy, vyskytuje se v kolejištích a na železničních náspech. Roste na kamenitém železničním substrátu. Do střední Evropy je zavlékána od 70. let 20. století hlavně po železnici. U nás nebyl do roku 2005 znám, první doklady o jeho expanzi byly zaznamenány v okolí Brna, odkud se rozšířil po celém území ČR. Doba kvetení je duben až květen ([www.kvetenacr.cz](http://www.kvetenacr.cz)).

#### Přeslička rolní (*Equisetum arvense*)

Vytrvalý, výběžkatý, výtrusný a hluboce kořenící plevel z čeledi přesličkovité (*Equisetaceae*). Vyskytuje se po celé Evropě, Severní Americe, mimotropické Asii, jižní Africe a na Novém Zélandu. Nejlépe jí vyhovují vlhčí stanoviště s vysokou hladinou spodní vody. Je značně přizpůsobivá a roste i na sušších stanovištích. Patří mezi velmi nebezpečné plevelné druhy ([www.jvsystem.net](http://www.jvsystem.net)).

Vytváří dva typy lodyh, na jaře vyrůstají nevětvené tzv. jarní lodyhy 10-20cm vysoké, ukončené výtrusnicovým klasem. Po vyprášení klasy zasychají a vyrůstají zelené, bohatě větvené letní lodyhy 20-70cm vysoké (Holec a Jursík, 2008).

Použití glyfosátu naopak podporuje růst přesličky, protože vyhubí její konkurenty. Při použití 1x ročně mohou částečně konkurovat přesličkám ostatní rostliny v průběhu vegetace, při vícečetném použití je konkurence přesličky velmi slabá (Swiss agency for the environment, 2001).

#### Ptačinec prostřední (*Stellaria media*)

Jednoletý, sytě zelený, mělce kořenící druh z čeledi hvozdíkovité (*Caryophyllaceae*). Lodyhy jsou 5-40 cm vysoké, vystoupavé nebo poléhavé. Rozmnožuje se generativně, v případě nepříznivých podmínek koření i lodyhami. Kvetení probíhá po celý rok i v mírné zimě. Rostliny mají velice krátkou vegetační dobu (40 dní), v roce může mít 2-3 generace. Původně eurasijský druh. V dnešní době vlivem člověka rozšířen po celém světě včetně arktické a antarktické oblasti. Nejlépe se mu daří na vlhčích humózních stanovištích. Patří k našim nejrozšířenějším plevelům, ale nezařazuje se mezi nebezpečné ([www.jvsystem.net](http://www.jvsystem.net)).

### **3.1.11. Regulace plevelů na železniční dopravní cestě v ČR**

Nejefektivnější metodou potlačování nežádoucí vegetace je chemickými přípravky (herbicide). Mechanické kosení je velmi nákladné, účinné jen do určité míry, dlouhodobě neefektivní a z tohoto důvodu se provádí pouze okrajově. Biologická likvidace se pro potřeby správy železniční a dopravní cesty (SŽDC) nevyužívá.

Hubení nežádoucí vegetace mechanickým způsobem se provádí v průběhu celého vegetačního období. Chemickým způsobem pak zpravidla dvakrát. První termín je od dubna do května a druhý termín od srpna do září. Kromě SŽDC má oprávnění provádět chemickou ochranu i držitel CPS (držitel má průkaz pro povolení vstupu do míst veřejnosti nepřístupných). SŽDC je rozdělena na sedm oblastních ředitelství (OŘ), které si hubení buď provádí samostatně, nebo si tuto službu nechávají provádět firmou. Z firem je to nejčastěji Jaro Česká Skalice, s.r.o.

Pokud si OŘ provádějí aplikace sami, pak používají schválené postřikovače pro železnici různých typů, které jsou namontovány na MUV typu 69 (motorový univerzální vozík). Jinak se k postřiku používají nízkoúkapové a nízkoúletové typy trysek od firem Hypro, Lurmark a Albus. Pro příklad je uvedeno použití trysek v OŘ Praha a OŘ Olomouc.

OŘ Praha používají trysky LD 05 110 plochoproudé, kde je úhel rozstříku 110° (prostřední trysky směřující dolů), trysky 280 C08 plochoproudé s úhlem maximálně 90° (krajové do boku) a trysky XT 043R dalekonosné (na koncích ramen samostatně spouštěné).

OŘ Olomouc aplikují přípravky pomocí trysek Hypro XT 043R – velká tryska a ULD 12008 – malá tryska.

Co se týče samotných herbicidů, používá se účinná látka glyfosát v komerčních přípravcích s označením: Roundup Rapid, Roundup Klasik, Glyphomax a v malé míře pak herbicid s účinnou látkou MCPA s obchodním názvem Dicopur M 750. Dávkování se opět liší dle použitých přípravků, jelikož se regulace plevelů na železnicích provádí dvakrát za vegetaci.

Obvyklé dávky přípravků jsou:

Roundup v dávce 5 l přípravku ve 300 l vody na ha,

Glyphomax 4,5 l/250 l vody na ha a

Dicopur 1,8 l/350 l vody na ha.

Aplikace herbicidů na železnicích se řídí příslušnou legislativou a seznamem povolených chemických přípravků pro daný rok, který vydává Státní rostlinolékařská správa – SRS. Činnosti související s hubením nežádoucích plevelů mohou provádět pouze zaměstnanci SŽDC nebo CPS, kteří mají odbornou způsobilost se zacházením s přípravky stupně 1., 2. nebo 3. O použití herbicidů se musí vést písemný záznam předepsaným způsobem dle vyhlášky (Bulant, 2013).

Před ošetřením je nutno vypracovat harmonogram. Před jeho sestavením se musí shromáždit tyto informace:

- Uvažovaná délka kolejí a šíře záběru
- Stupeň zaplevelení
- Naléhavost ošetření
- Druhové zastoupení plevelů
- Vhodný výběr povolených herbicidů
- Možnost nasazení aplikační techniky

Při vypracování harmonogramu je nutné respektovat:

- Skutečnost, že v některých lokalitách nelze provádět chemické ošetření
- Nelze ošetřovat plochy preventivně, ale pouze při středně silném až silném zaplevelení
- Účelně navrhovat ošetření ploch odstavných a v železničních stanicích
- Vhodné načasování aplikace přípravku (klimatické podmínky, termín postřiku)

Při aplikaci herbicidů je nutné věnovat zvláštní pozornost:

- Dodržovat předepsané dávkování a postupy

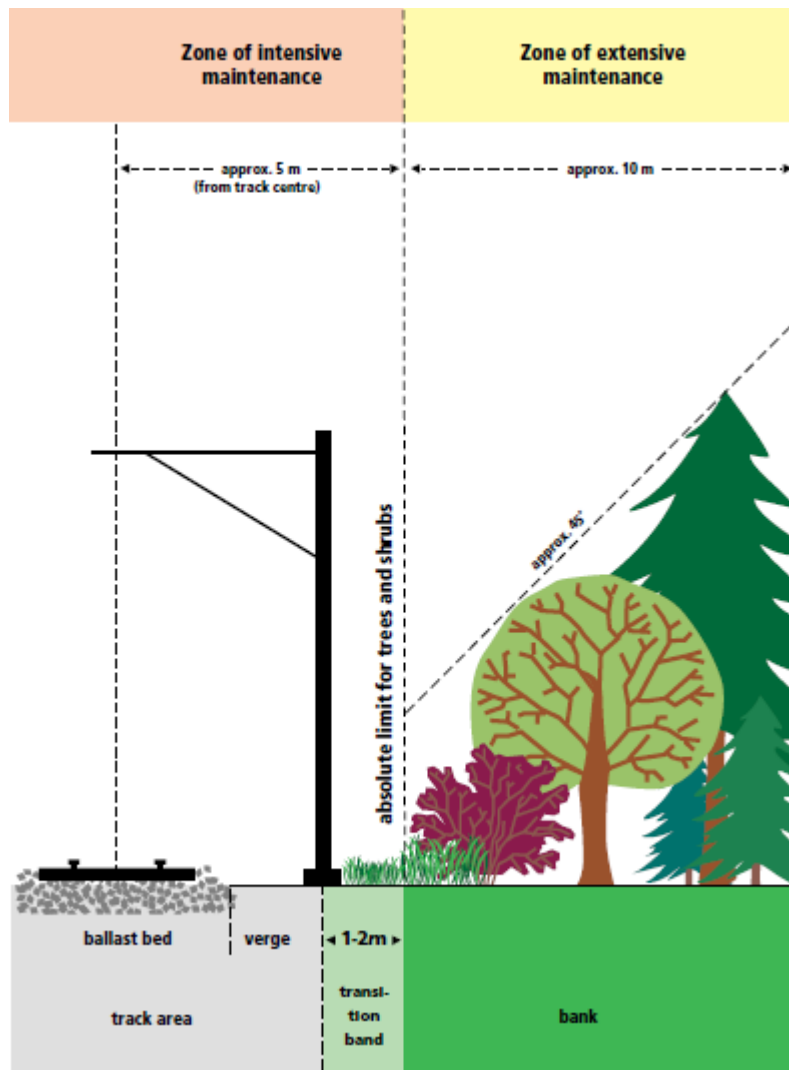
- Respektovat ochranu včel, ryb a lovné zvěře
- Dodržovat bezpečnostní opatření i s prázdnými obaly
- Zajistit údržbu a seřízení aplikační techniky a poté i její asanaci (Bulant, 2013).

### **3.1.12 Způsoby regulace plevelů na železnici v zahraničí**

Aplikace herbicidů na železnicích má určitá specifika. Vzhledem k délce železniční cesty, je zde velká prostorová variabilita půd a také plevelů. Růst plevelů na železnici brání odtoku vody. Kořeny také mohou destabilizovat kolejové lože, proto je nutné jejich pravidelné hubení (Ramwell a kol., 2004). Železniční postřikovače používají podobné technologie jako postřikovače plodin. Je možné adaptovat způsoby a techniku hubení z konvekčního zemědělství (Antuniassi a kol., 2004).

V zahraničí bylo testováno mnoho alternativních způsobů odstraňování plevelů na železniční dopravní cestě, například použití horké vody, páry, otevřeného ohně či tekutého dusíku, avšak neefektivnější a cenově nejlevnější je chemická ochrana. Dříve se používal například herbicid s účinnou látkou atrazin, avšak ten dlouhou perzistencí v prostředí vedl ke znečištění spodních vod, z toho důvodu se přestal používat (Torstensson a kol., 2005).

Další možnost proti zabránění růstu plevelů je pomocí nepropustné vrstvy uvnitř kolejiště. V okolí kolejiště jsou dále udržovány určité zóny (obrázek č. 2). První zóna v nejtěsnějším okolí kolejiště je zóna intenzivní údržby, druhá vzdálenější je udržována extenzivně. Štěrkové lože (angl. ballastbed) pro moderní vysokorychlostní železnice musí být prakticky bez vegetace. Kořeny zadržující vodu, která v zimě zmrzne, by mohly vést ke geometrickým změnám kolejí a v nejhorším případě i vykolejení vlaků. Rostliny, které by rostly přes koleje, by mohly vést ke snížení přilnavosti kol vlaku. Krajnice (angl. verge) slouží jako prvek na odvodnění, jako bariéra pro plevely i jako chodník pro železniční obsluhu. Přejížděvací pás (angl. transition bank) je nutné pravidelně sekat, aby se vytvořil hustý porost, který brání invazi problémových plevelných druhů z oblasti okolních břehů. Břeh (angl. bank) brání náletu invazních rostlin.



Obr. č. 2.: Zóna údržby, (Swiss agency for the environment, 2001)

K zabránění růstu nežádoucí vegetace se používají různá opatření: konstrukční – asfaltové bariéry, konstrukce krajnice, boční zábrany, fólie, betonové bariéry, což napomáhá k minimálnímu použití herbicidů.

**Biologické** – Greening (úmyslné zasetí požadovaných rostlin) a sečení

**Mechanické** – čištění šterku (bagrem se odebere šterk na vyčištění a poté se vloží zpět do kolejového lože), odsávání nečistot (odsání nečistot z povrchu kolejového lože), mechanické a ruční odplevelení a sečení

**Chemické metody** – ruční postřikovač (rychlost 1 m/sec, maximálně 11 km/den), vlakový postřikovač (45 km/h, širší záběr postřiku)



## **Termální metody – vypalování a infračervené ozařování**

Hlavním výběrovým kritériem likvidace plevelů je cena. Cenově nejméně výhodné jsou konstrukční opatření, ale z dlouhodobého hlediska jsou nejefektivnější. Další kritérium je šetrnost k životnímu prostředí. Správné použití glyfosátu se dá považovat za ekologicky šetrnou metodu. Nelze však splnit všechna hlediska najednou (ekologické, cenové a provozní).

Obecně se doporučuje kombinovat ochranné metody proti růstu plevelů. Použití jedné metody má obecně selektivní účinky. V současné době neexistuje cenově dostupné dlouhodobé řešení na potlačení plevelů. Mělo by být dbáno na to, aby plevelné složení obsahovalo plevele s mělčím kořenovým růstem. Například sečení podporuje trávy, přesličky koření až do 2m. Nutný je monitoring zaplevelení specialistou, který může prozkoumat vegetační pokryv a dle toho vyvodí nejlepší způsob regulace. A nelze opominout, že upravená železnice je také příjemná pro zákazníka, který využívá jejich služeb (Swiss agency for the environment, 2001).

### **3.1.13 Mapování pokryvnosti a početnosti zaplevelení**

Druhové spektrum plevelů je ovlivňováno půdními a klimatickými podmínkami stanovištěm pěstovanou plodinou a dalšími agrotechnickými opatřeními, která jsou spojena s obděláváním polí. V současné době nejvíce ovlivňuje systém regulace zaplevelení především použití herbicidů. Následkem těchto zásahů je ovlivněno druhové zastoupení plevelných společenstev. V ekologickém zemědělství je vyloučeno používání herbicidů a je nutná regulace plevelů jinými způsoby. Velký důraz je kladen na nepřímá a preventivní opatření spojená s ochranou půdy před zanášením nových rozmnožovacích orgánů plevelů. Ke snímkování zaplevelení se nejčastěji používá Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti a početnosti (Kolářová a kol., 2011).

Stupnice je pojmenovaná podle francouzského fytoceologa a botanika Josiase Braun-Blanqueta (1884 – 1980) a původně měla jen 7 stupňů. Stupně 2m, 2a a 2b byly doplněny později. Tato modifikovaná stupnice byla upravena Westhoffem & van der Maarelem v roce 1978 a je zobrazena v tabulce č. 2. Při analýze se nejprve provedou fytoceologické snímky (zápis o konkrétní vegetaci), které se roztřídí. Zapiší se základní údaje o stanovišti (expozice, orientace, velikost plochy snímků, lokalizace, geomorfologie, pokryvnost jednotlivých pater

v %), dále populace přítomných druhů a přiřadí se jim odhadnutá pokryvnost. Ke snímkování se kromě Braun-Blanquetovy používají také stupnice dle Domina, Domin-Krajnova (Americký kontinent), Domin-Hadačova (střední Evropa). Pícnináři používají stupnici dle Blažkové ([www.kbfr.agrobiologie.cz](http://www.kbfr.agrobiologie.cz)).

Tab. 2: Stupnice pokryvnosti, (<http://kbfr.agrobiologie.cz/fytocenologie/analza.html>)

stupnice	Braun-Blanquet	Domin-Hadač	Blažková
jednotlivě (1-2 exempláře)	r	+	r
několik exemplářů - minimální pokryvnost	+	1	+
roztroušeně - malá pokryvnost		2	++
pokryvnost do 5 %	1	3	1
pokryvnost 5 - 14 %	2	4	2
pokryvnost 15 - 24 %	2	5	2+
pokryvnost 25 - 32 %	3	6	3
pokryvnost 33 - 49 %	3	7	3+
pokryvnost 50 - 74 %	4	8	4
pokryvnost 75 - 89 %	5	9	5
pokryvnost 90 - 100 %	5	10	(5+)

## 4 Metodika

Výzkum spočíval v monitoringu plevelů na železniční dopravní cestě. Byl vybrán úsek železniční trati mezi Nymburkem a Mladou Boleslaví. Konkrétně byl mapován úsek od železniční stanice Veleliby (N 50°13.146, E015°01.273) po železniční stanici Dobrovice (N 50°21.181, E014°56.586) o celkové železniční vzdálenosti 18 kilometrů. Tato železniční dopravní cesta patří pod Nymburskou správu. Informace týkající se údržby trati byly získány od traťvedoucího p. Ing. Janhuba a dalších zodpovědných osob (p. Prokopa a p. Bígla).

Tato trať je chemicky ošetřována 1x ročně, vždy v květnu. Přesný termín aplikace záleží na dostupnosti techniky a na počasí. V loňském roce byl proveden dne 19. 5. 2014 za pomoci MUV 69, herbicidem Glyphomax, IPA 480 g/l, Agristar – Agrochemicals s.r.o., v dávce 4,5 l herbicidu/250 l vody na ha. Na MUV 69 byly namontovány trysky ULD 12008 a Hypro XT 043R o šířce záběru 5 metrů. Dva dny před aplikací herbicidu bylo provedeno mapování plevelů výše uvedeného úseku železniční dopravní cesty. Výskyt plevelných druhů spolu se zeměpisnými souřadnicemi byl zaznamenán vždy po 300 m. Na každém sledovaném bodě byla zmapována plocha 5 x 15 m. Celkem byl zaznamenán výskyt druhů na 50 snímcích. Železniční vlakové stanice nebyly do mapování zahrnuty, protože byly většinou bezplevelné.

Mapování bylo opakováno o 8 týdnů později s tím rozdílem, že byly zaznamenávány všechny plevelné druhy, které přežily ošetření, tudíž zastávky byly nepravidelné. Souřadnice byly zaznamenány pomocí GPS přístroje Garmin Oregon 450 s mapovým podkladem Topo Czech 2011, u kterého je díky vysoce citlivému GPS přijímači a zpřesňujícímu systému WAAS (družicový systém) přesnost pod hranicí 3 metry.

Vzhledem k tomu, že se snímky před aplikací a po aplikaci lišily, nemohly být v tomto výzkumu použity statistické metody běžné pro fytoecologický výzkum. Byla vypočtena frekvence výskytu druhů před a po aplikaci herbicidů. Výskyt jednotlivých druhů byl zaznamenán do map výskytu. Mapy byly vytvořeny na webovém portálu [www.google.cz](http://www.google.cz), do nichž byly zaneseny souřadnice z mapovaného úseku a k nim byl připsán stupeň pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice. V případě, že některé druhy přežily aplikaci herbicidem, byly zaznamenány symptomy poškození.

## 5 Výsledky výzkumu

Na sledovaném úseku železniční dopravní cesty bylo před aplikací přípravku s účinnou látkou glyfosát nalezeno celkem 17 druhů jednoletých, 1 druh dvouletých a 3 druhy vytrvalých plevelů. Nejčastěji se vyskytujícím druhem byly přeslička rolní, kakost nachový, bér sivý a ptačinec prostřední, kokoška pastuší tobolka, turanka kanadská a mák polní. Největší abundance (početnost) byla zaznamenána u druhů řeřicha chlumní, přeslička rolní a mák polní. Mezi méně se vyskytující druhy patří bodlák obecný, jetel luční, hluchavka objímavá, penizek rolní, pryšec kolovratec, úhorník mnohodílný, vikev ptačí a silenka širokolistá dlouhá. Jejich seznam je uveden v tabulce č. 4.

Geografické souřadnice, na kterých byly zaznamenány fytoocenologické snímky, jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Č. snímku	Souřadnice (snímky před aplikací herbicidu)		Č. snímku	Souřadnice (snímky po aplikaci herbicidu)	
1	N 50°13.146	E015°01.273	1	N50°13.185	E015°01.247
2	N 50°13.187	E015°01.245	2	N50°13.228	E015°01.221
3	N 50°13.324	E015°01.150	3	N50°13.292	E015°01.178
4	N 50°13.377	E015°01.106	4	N50°13.359	E015°01.122
5	N 50°13.439	E015°01.043	5	N50°13.399	E015°01.082
6	N 50°13.529	E015°00.913	6	N50°13.454	E015°01.019
7	N 50°13.612	E015°00.770	7	N50°13.612	E015°00.769
8	N 50°13.700	E015°00.614	8	N50°13.700	E015°00.615
9	N 50°13.791	E015°00.451	9	N50°13.735	E015°00.551
10	N 50°13.873	E015°00.304	10	N50°13.911	E015°00.237
11	N 50°13.955	E015°00.160	11	N50°13.968	E015°00.137
12	N 50°14.059	E014°59.977	12	N50°14.023	E015°00.039
13	N 50°14.059	E014°59.977	13	N50°14.159	E014°59.797
14	N 50°14.123	E014°59.861	14	N50°14.302	E014°59.542
15	N 50°14.203	E014°59.717	15	N50°14.390	E014°59.382
16	N 50°14.317	E014°59.515	16	N50°14.634	E014°58.950
17	N 50°14.417	E014°59.336	17	N50°14.754	E014°58.738
18	N 50°14.482	E014°59.220	18	N50°14.870	E014°58.531
19	N 50°14.600	E014°59.009	19	N50°15.188	E014°57.899
20	N 50°14.727	E014°58.784	20	N50°15.212	E014°57.847
21	N 50°14.729	E014°58.796	21	N50°15.312	E014°57.633
22	N 50°14.844	E014°58.574	22	N50°15.411	E014°57.484

Č. snímku	Souřadnice (snímky před aplikací herbicidu)		Č. snímku	Souřadnice (snímky po aplikaci herbicidu)	
23	N 50°14.914	E014°58.451	23	N50°15.455	E014°57.443
24	N 50°15.086	E014°58.119	24	N50°15.566	E014°57.383
25	N 50°15.184	E014°57.908	25	N50°15.592	E014°57.373
26	N 50°15.407	E014°57.490	26	N50°15.693	E014°57.332
27	N 50°15.457	E014°57.442	27	N50°15.862	E014°57.209
28	N 50°15.698	E014°57.329	28	N50°16.004	E014°57.065
29	N 50°15.906	E014°57.165	29	N50°16.889	E014°56.849
30	N 50°16.001	E014°57.068	30	N50°17.153	E014°56.803
31	N 50°16.670	E014°56.886	31	N50°17.245	E014°56.787
32	N 50°16.858	E014°56.854	32	N50°17.333	E014°56.771
33	N 50°17.086	E014°56.816	33	N50°17.387	E014°56.762
34	N 50°17.249	E014°56.785	34	N50°17.538	E014°56.761
35	N 50°17.478	E014°56.757	35	N50°17.585	E014°56.767
36	N 50°17.704	E014°56.798	36	N50°17.687	E014°56.792
37	N 50°17.747	E014°56.815	37	N50°18.081	E014°57.037
38	N 50°18.045	E014°57.010	38	N50°18.613	E014°57.062
39	N 50°18.298	E014°57.166	39	N50°18.613	E014°57.062
40	N 50°18.557	E014°57.085	40	N50°18.668	E014°57.032
41	N 50°18.634	E014°57.050	41	N50°18.689	E014°57.019
42	N 50°18.908	E014°56.888	42	N50°18.757	E014°56.978
43	N 50°19.284	E014°56.668	43	N50°19.310	E014°56.652
44	N 50°19.492	E014°56.624	44	N50°19.598	E014°56.642
45	N 50°19.748	E014°56.693	45	N50°19.732	E014°56.689
46	N 50°20.140	E014°56.813	46	N50°20.118	E014°56.807
47	N 50°20.426	E014°56.899	47	N50°20.168	E014°56.820
48	N 50°20.567	E014°56.934	48	N50°20.259	E014°56.851
49	N 50°20.834	E014°56.895	49	N50°20.468	E014°56.915
50	N 50°21.181	E014°56.586	50	N50°20.583	E014°56.942
			51	N50°20.639	E014°56.937
			52	N50°20.680	E014°56.935
			53	N50°20.874	E014°56.876

Tab. 4: Fytcenologický snímek před aplikací herbicidu

druh	Číslo snímku																																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50					
Běr sivý	2	-	-	-	-	1	2	2	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	2	1	-	-	1	-	-	-	1	-	2	1	-	-	2	1	-	1	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	1	1					
Bodlák obecný	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-					
Brukev řepka olejka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Heřmánkovec nevonný	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-					
Hluchavka objímavá	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Jetel luční	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Jetel plazivý	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Kakost dlanitosečný	1	-	-	-	-	1	1	-	r	-	1	1	2	-	-	1	1	-	r	-	-	4	-	-	-	-	4	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kakost maličký	-	-	r	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kokoška pastuší tobolka	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	3	-	3	1	1	-	+	-	-	-	-	-			
Kopřiva žahavka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Mák polní	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Penízek rolní	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

druh	Číslo snímku																																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50					
Pryšec kolovratec	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Přeslička rolní	-	4	-	-	-	-	-	5	-	2	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	-	-	-	-			
Ptačinec prostřední	-	2	-	-	-	3	4	2	-	1	3	3	2	2	5	2	-	-	2	-	5	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Rozchodník bílý	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Rozrazil perský	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Řeřicha chlumní	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Šilenka širokolistá dlouhá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Sveřep střešní	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	-	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		
Svízel přítula	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Trýzel malokvětý	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Turanka kanadská	-	-	-	-	-	r	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Úhorník mnohohříbný	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vikev ptačí	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

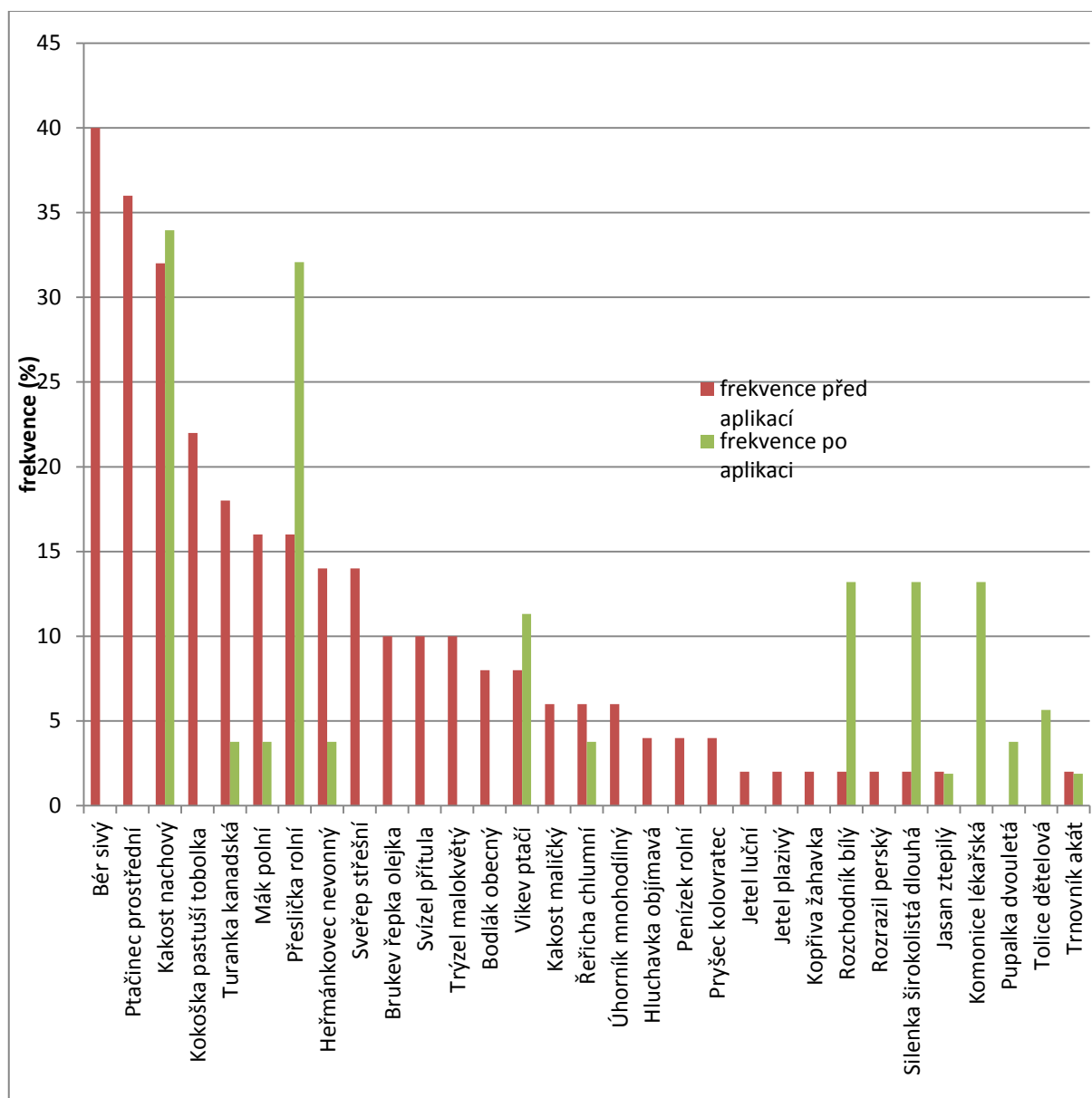
Herbicid měl výborný účinek na všechny jednoleté plevely, kromě kakostu nachového, který aplikaci částečně přežil. U dvouletých došlo k obnovení růstu i po aplikaci u řeřichy chlumní a u vytrvalých plevelů u přesličky rolní, vikve ptačí a dřevin. Tabulka č. 5 zobrazuje fytocenologický snímek po aplikaci herbicidu.





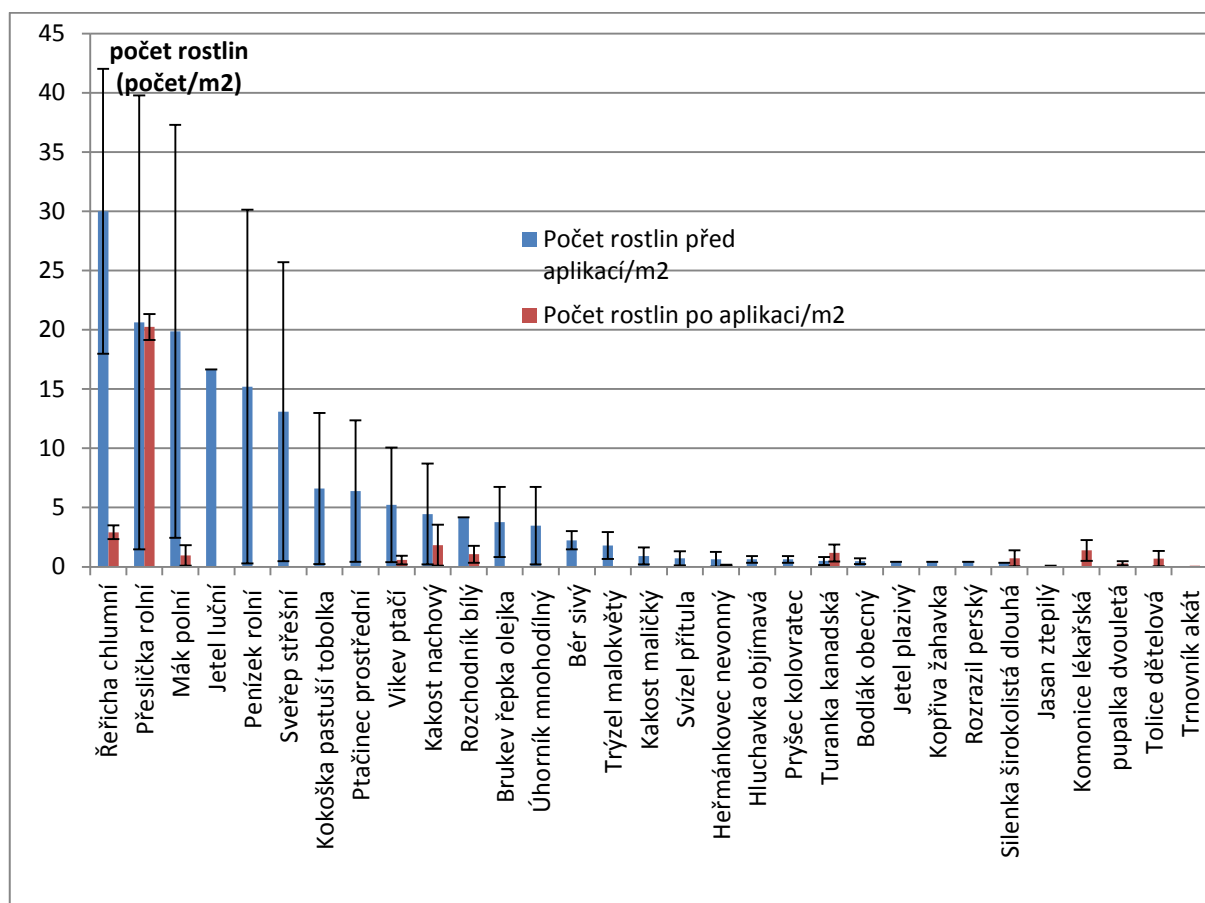
Z výsledků je zřejmé, že po aplikaci účinné látky glyfosát se navýšil počet rostlin přesličky rolní, který spolu s kakostem nachovým tvořil převážný podíl plevelných rostlin vyskytující se na kolejišti. V grafu č. 1 je znázorněna frekvence výskytu plevelných druhů před a po aplikaci.

Graf č. 1: Frekvence výskytu plevelů před a po aplikaci



Z grafu č. 1 je zřejmé, že frekvence výskytu byla nejvyšší u bérů sivého a ptačince prostředního, které však aplikaci nepřežily jako většina druhů plevelů. Kakost nachový vykazoval vysokou frekvenci výskytu jak před aplikací, tak i po aplikaci. U rozhodníku bílého, silenky širokolisté dlouhé, komonice lékařské a přesličky rolní došlo k vysokému nárůstu frekvence po aplikaci herbicidu. V grafu č. 2 je znázorněna početnost plevelných druhů před a po aplikaci herbicidu.

Graf č. 2: Početnost před a po aplikaci herbicidu



Z grafu č. 2. Je zřejmé, že největší početnost před aplikací měla řeřich chlumní a po aplikaci přeslička rolní.

## 6 Diskuze

Obecná definice označuje plevel jako každou rostlinu, která se na určitém stanovišti vyskytuje proti vůli člověka, například na kolejistkách se vyskytují rostliny, které nelze mezi „klasické“ polní plevele zařadit, avšak v tomto případě je jako plevel nazýváme (Jursík a kol., 2011). Na železničních tratích a nádražích se často vyskytují rostliny s malou konkurenční schopností a s krátkou vegetační dobou na jaře, nebo na podzim, které stihnou vyrůst a vyklíčit před chemickým ošetřením, také se zde mohou objevit rostliny, které mají původní stanoviště podobné železničním substrátům ([www.botani.cz](http://www.botani.cz)). U pozorovaných plevelů na železnici převládaly jednoleté dvouděložné druhy. Na vlhčích stanovištích se vyskytovala převážně přeslička rolní a na suších kakost nachový a bér sivý. Na mostech, které jsou nejsušší, byla téměř 100% pokryvnost sveřepem střešním.

Manuální mapování plevelů přímým hodnocením porostu na železniční dopravní cestě je časově náročné, výhoda je v přesnosti mapovaných druhů. Hamouz a Soukup (2006) uvádí, že spotřebu času lze snížit použitím map z předchozích let, protože druhové spektrum a četnost se během jednoho roku výrazněji nemění. V posledních letech lze také využít senzorů k automatické detekci plevelů či leteckého snímání, které je výrazně časově méně náročné. V dnešní době se používá moderního způsobu mapování plevelů za pomoci kamery, která je umístěna v přední části vlaku a umožňuje automatickou detekci plevelných druhů. Na základě vyhodnocení druhu plevele, je možné použít až čtyři různé typy herbicidů, které jsou pak aplikovány pouze v místě, kde byl výskyt plevelného druhu zaznamenán. Celý proces je řízen a zaznamenán pomocí systému GPS ([www.gesgkft.hu](http://www.gesgkft.hu)).

Nejmenší účinnost byla pozorována u přesličky rolní, která je přirozeně tolerantní vůči celé řadě herbicidů, mezi něž patří i herbicidy s účinnou látkou glyfosát (Sammons a kol., 2007). Plochy její pokryvnosti se po postřiku naopak výrazně zvýšily. Dle Holce a Jursíka (2008) přeslička velmi rychle regeneruje. Slabou účinnost vykazuje většina sulfonylmočovín a neselektivní listové herbicidy s účinnou látkou glyfosát. Vysokou účinnost vykazují růstové herbicidy především MPCA. Ve vysokých dávkách byla zaznamenána také dobrá účinnost s látkou imazapyr (James a Rahman, 2010). Také odvodňování zamokřených pozemků výrazně ovlivňuje zaplevelení přesličkou.

Herbicidní postřik měl slabý účinek i u kakostu purpurového a řeřichy chlumní. Bylo zde zřejmé poškození, ale rostliny dokázaly v menší četnosti než před postřikem přežít.

U obce Všejanya došlo k přežití velkého počtu rostlin vikve ptačí, na kterých byly známky poškození. Rostliny byly viditelně deformované a částečně zaschlé vlivem postřiku, ale opět obnovily růst. U kakostu nachového, řeřichy chlumní a vikve ptačí mohlo dojít k přežití vlivem zvýšené tolerance vůči glyfosátu. Dle Jursíka a kol. (2011) vzhledem k narůstající spotřebě glyfosátových herbicidů některé druhy plevelů vůči tomuto herbicidu vykazují zvýšenou přirozenou toleranci, jiné se stávají rezistentní. V ČR však byly dosud popsány pouze populace turanky kanadské se sníženou citlivostí vůči glyfosátu. U trnovníku akátu a jasanu ztepilého došlo pouze k pokřivení listů. Na nežádoucí dřeviny dle ([www.ridex.cz](http://www.ridex.cz)) lze použít k jejich likvidaci 3-7 l/ha ve 200 l vody. Při opakované aplikaci maximálně 10 l/ha.

Chodová a kol. (2009) prováděli výzkum na železnici na nádraží Praha Bubny, kde v roce 2006 nasbírali rostliny turanky kanadské, které i po opakovaném ošetření herbicidem na bázi účinné látky glyfosát aplikaci přežily, což mohlo být způsobeno vlivem její rezistence. Mueller a kol. (2002) testovali turanku kanadskou na rezistenci vůči glyfosátu v Tennessee. Výzkum dokázal, že množství šikimátu v rostlině ovlivňuje rezistenci turanky vůči glyfosátu. V citlivých rostlinách dochází k jeho hromadění, naopak v rezistentních je menší množství šikimátu. Rostliny, které přežily ošetření herbicidem na sledovaném úseku trati, by bylo nutné podrobit dalšímu zkoumání, které by potvrdilo či vyloučilo, že se jedná o některý z mechanismů rezistence u turanky kanadské.

Vzhledem k výše uvedenému, je možné doporučit změnu termínu aplikace. Je pravděpodobné, že v pozdějším období by mohla být u některých druhů (které mohly vzejít až po provedení aplikace - např. komonice, pupalka či tolice dětelová) zvýšena účinnost. U dřevin, které jevíly známky poškození herbicidem, avšak obnovily růst, by bylo vhodné provést druhou aplikaci.

## 7 Závěr

Z výsledků je patrné, že látka glyfosát měla velmi dobrý herbicidní účinek téměř na všechny nalezené druhy, výjimku tvoří kakost purpurový a řeřicha chlumní a v jednom případě vikev ptačí. Tyto druhy vykazovaly obnovení růstu i po aplikaci glyfosátu, ačkoli na nich bylo možné pozorovat známky poškození herbicidem. U těchto druhů by bylo vhodné provést změnu typu herbicidního postřiku. Rozchodník bílý, komonice lékařská a silenka širokolistá dlouhá se zde před aplikací nevyskytovaly. V době postřiku zřejmě byly ve formě diaspor. V těchto případech by bylo účelné oddálit termín ošetření přibližně o měsíc.

Účinná látka glyfosát neměla žádný vliv na přesličku rolní, která bez problému aplikaci přežila, a abundance její populace se po postřiku výrazně navýšila. Zde by bylo žádoucí provést postřik 2x do roka a na podzim aplikovat herbicidní přípravek Dicopur M 750 s účinnou látkou MPCA. Také některé dřeviny – trnovník akát a jasan ztepilý přežily aplikaci bez větších známek poškození. V takovém případě je nutné rostliny odstranit mechanicky.

Účelné by také bylo podrobné mapování před aplikací herbicidu odborně způsobilou osobou, která by posoudila druhovou skladbu plevelů, vybrala vhodný přípravek a termín na jejich efektivní likvidaci.

V případě nevhodné aplikace hrozí přežití a vysemenění velkého množství plevelů, které se dále mohou šířit nejen podél železnice, na zemědělskou půdu, ale dokonce narušit svojí invazí celé ekosystémy vytlačáním původních druhů ze stanovišť.

## 8 Seznam použitých zkratek

MCPA – 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic kyselina

EPSPS – 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát

S3P – šikimát-3-fosfát

PS I – fotosystém I

PS II – fotosystém II

ALS – acetolaktátsyntáza

AHAS – acetoxyhydroxidacidsyntáza

ACCasa – acetyl-CoAkarboxylasa

GS – glutaminsyntáza

DNA – deoxyribonukleová kyselina

PCR – polymerázová řetězová reakce

RNA – Ribonukleová kyselina

GMO – geneticky modifikované organismy

SŽDC – správa železniční a dopravní cesty

CPS – průkaz pro povolení vstupu do míst veřejnosti nepřístupných

OŘ – oblastních ředitelství

MUV – motorový univerzální vozík

GPS – globální polohovací systém

WAAS – družicový systém



## 10 Seznam použité literatury

Antuniassi U. R., Veliny E. D., Nogueira H. C. 2004. Soil and Weed Survey for Spatially Variable. Precision agriculture. 5. 27-39.

Bulant M. 2013. Směrnice SZDC pro hubení plevelů.

EL-Ghany ABD., Hasaneen N. 2011. Herbicides - Mechanisms and Mode of Action. Weedresistance to herbicides in the Czech Republic: History, occurrence, detection and managment. 204 s. ISBN: 978-953-307-774-4.

GlyfoMax 480 SL. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <<http://www.ridex.cz/userdata/products/155/glyfomax-480-sl-etiketa.pdf>>.

Hamouz P., Soukup J. 2006. Precizní zemědělství v oblasti regulace zaplevelení. Česká zemědělská univerzita. Praha.

Hamouzová K., Košnarová P., Salava J., Soukup J., Hamouz P. 2014. Mechanisms of resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. Pest management science. 70 (4). 45-50.

Herba Atlas plevelů. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <[http://www.jvssystem.net/app19/Species.aspx?pk=10019&lng\\_user=1](http://www.jvssystem.net/app19/Species.aspx?pk=10019&lng_user=1)>.

Herbicide resistance action committee – partnership in the management of resistance. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <<http://hracglobal.com/pages/managementofresistance.aspx>>

Hoskovec L. 2009. Květena pražských nádraží: Soupis rostlin železničních nádraží Prahy. [cit. 201-04-15]. Dostupné z: <<http://botany.cz/cs/soupis-rostlin-prazskych-nadrazi/>>

Chodová D., Salava J., Martincová O., Cvikrová M. 2009. Horseweed with Reduced Susceptibility to Glyphosate Found in the Czech Republic. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57 (15). 6957-6961.

James T.K., Rahman A. 2010. Chemical control of field horsetail (*Equisetum arvense*). New Zealand Plant Protection. 63. 102-107.

Jander, G., Scott R. B., Jebecka A. H., Kathleen A. G., Kenneth J. G., Last L. R. 2003. Ethylmethanesulfonate Saturation Mutagenesis in *Arabidopsis* to Determine Frequency of Herbicide Resistance. *Plant Physiology*. 131 (1). 50-55.

Jehlík V. 1998. Cizí expanzivní plevelé České republiky a Slovenské republiky. Academia. Praha. 506 s. ISBN 80-200-0656-7.

Jursík M. 2011. Plevelé: biologie a regulace. Kurent. České Budějovice. 232 s. ISBN 978-80-87111-27-7.

Jursík M., Hamouzová K., Soukup J., Holec J. 2011. Rezistence plevelů vůči herbicidům a problémy s rezistentními populacemi v ČR. *Listy cukrovarnické a řepařské*. Praha. 127 (4). 123-129.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr J. 2010. Inhibitory acelolaktátsyntázy (ALS inhibitory). *Listy cukrovarnické a řepařské*. Praha. 126 (11). 376-384.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr J. 2011. Inhibitory biosyntézy dlouhých řetězců mastných kyselin. *Listy cukrovarnické a řepařské*. Praha. 127 (1). 15-19.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Venclová V. 2010. Inhibitory biosyntézy aminokyselin. *Listy cukrovarnické a řepařské*. Praha. 126 (7/8). 250-253.

Jursík M., Soukup J., Venclová V., Holec J., Andr J. 2010. Inhibitory fotosyntézy. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 126 (2). 48-54.

Klemová Z., Svačinová I., Klem K., Jagošová L., Matušinský P. 2010. Chundelka metlice s rezistencí k inhibitorům ALS - příčiny selekce rezistentních populací. *Obilnářské listy*. XVIII (4). 24-27.

Kneifelová M., Mikulka J. 2003. Významné a nově se šířící plevelé. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 59 s. ISBN 80-727-1142-3.

Košnarová P., Hamouzová K., Soukup J. 2014. Vývoj herbicidní rezistence u chundelky metlice v ČR. Úroda. LXII (12). 15-17.

Kovář P. 2005. K čemu jsou rostlinám dobré koleje a nádraží. Živa. 1. 15-18.

Kubát K., Bělohávková R. 2002. Klíč ke květeně České republiky. Academia. Praha. 927 s. ISBN 80-200-0836-5.

Kulovaná E. 2001. Poškození polních plodin herbicidy. Úroda. 3. 18-19.

Květena ČR. [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <<http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=831>>.

Melone J., Cook A., Wu H., Hashem A., Preston Ch. 2012. Management of glyphosate resistant weeds in non-agricultural areas. [cit. 2015-02-05] Dostupné z: <<http://www.caws.org.au/awc/2012/awc201211841.pdf>>

Mueller T. C., Massey J. H., Hayes M.R., Main L.C., Stewart N. C. 2003. Shikimate Accumulates in Both Glyphosate-Sensitive and Glyphosate-Resistant Horseweed. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51 (3). 680-684

Mikulka J. 2011. Expanze teplomilných plevelných druhů na zemědělské půdě. Úroda. 10. 20-23.

Mikulka J., Chodová D. 2002. Hubení plevelů odolných vůči herbicidům. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 54 s. ISBN 80-727-1116-4.

Mikulka J., Chodová D. 1998. Rezistence plevelů vůči herbicidům. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 45 s. ISBN 80-861-5395-9.

Mikulka J., Slavíková L. 2008. Metody diagnostiky a regulace rezistentních populací plevelů vůči herbicidům. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 40 s. ISBN: 978-80-87011-50-8.

Mikulka J., Štrobach J., Andr J. Burešová V. 2010. Metody regulace invazních plevelů na zemědělské půdě. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.. Praha. 34 s. ISBN: 978-80-7427-042-0.

Monsanto J. F. 2012. Glyphosate Facts, Transparency on safety aspects and use of glyphosate-containing herbicides in Europe – History of glyphosate. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <<http://www.glyphosate.eu/history-glyphosate>>.

Pyšek P., Chytrý M., Prach K. 2008. Dvanáct let výzkumu rostlinných invazí v České republice a ve světě. Zprávy České Botanické společnosti. 23. 3-15.

Pyšek P., Tichý L. 2001. Rostlinné invaze. Rezekvítek. Brno. 40 s. ISBN 80-902-9544-4.

Railway chemical weed kontrol. [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <[http://www.gesgkft.hu/gg/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4&Itemid=3&lang=en](http://www.gesgkft.hu/gg/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=3&lang=en)>.

Ramwell C.T., Heather A.I.J., Shepherd A.J. 2004. Herbicide loss following application to a railway. Pest Management Science. 60 (6). 556-564.

Sammons R. D., Heering D. C., Dinicola N., Glick H., Elmore G. A. 2007. Sustainability and stewardship of glyphosate and glyphosate-resistant crops. Weed Technology. 21 (2). 347-354.

Soukup J., Hamouzová K. 2014. International survey of herbicide resistant weeds. Praha. Copyright. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <<http://www.weedscience.org/Summary/Country.aspx?CountryID=12>>

Swiss agency for the environment, Forests and Landscape (SAEFL). 2001. Vegetation control on railway tracks and grounds. Swiss Federal Railway. Switzerland. 33 s.

Torstensson L., Börjesson E., Stenström J. 2005. Efficacy and fate of glyphosate on Swedish railway embankments. Pest Management Science. 61 (9). 881-886.

Tóth, Š. 2014. Rezistencia burín versus genetické manipulácie. Úroda. LXII (4). 77-80.

Základy fytoceologie. [cit. 2014-12-25]. Dostupné z:  
<<http://kbfr.agrobiologie.cz/fytoceologie/analza.html>>.

## **11 Samostatné přílohy**