

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky

**Návrh využití GIS pro multikriteriální hodnocení  
šetrných přibližovacích technologií v lesnictví**

Disertační práce

2014

Ing. Michal Synek

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci: Návrh využití GIS pro multikriteriální hodnocení šetrných přibližovacích technologií v lesnictví vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....  
Ing. Michal Synek

## **Poděkování**

Za pomoc při řešení problematiky, za cenné rady a připomínky bych chtěl poděkovat školiteli mojí disertační práce panu doc. Ing. Martinu Klimánkovi, Ph.D.

Velký dík za podporu a pochopení patří i mé rodině.

## **Abstrakt**

### **Návrh využití GIS pro multikriteriální hodnocení šetrných přibližovacích technologií v lesnictví**

Michal Synek

Cílem předkládané práce bylo navrhnout a ověřit model, který na základě multikriteriálního hodnocení vybraných vstupních parametrů stanoví pro každou porostní skupinu kategorii vhodnosti použití jednotlivých přibližovacích technologií. Pro hodnocení byla vybrána následující přibližovací a soustředovací technika: univerzální kolový traktor, speciální lesní kolový traktor, lanová dopravní zařízení, forwardery a forwardery v kombinaci s harvestory. Do modelu bylo vybráno šest vstupních parametrů: sklon svahu, únosnost půdy, riziko vzniku těžebně-dopravní eroze, výskyt a velikost překážek, přibližovací vzdálenost, tvar terénu a věk porostu. Jejich váhy byly stanoveny pomocí Saatyho matice a geometrického průměru řádků.

#### **Klíčová slova**

multikriteriální hodnocení, soustředovací technologie, digitální model terénu, technologická typizace, optimalizace technologií

## **Abstract**

### **Proposal of Using GIS for Multicriteria Evaluation of Environmentally Friendly Use of Skidding Technologies in Forestry**

Michal Synek

The aim of the study was to propose and verify a model which, based on multicriteria evaluation of selected input data, determines the category in terms of environmentally friendly use of individual skidding technologies for every stand. A farm tractor, skidder, cable system, forwarders, and forwarders in combination with harvesters were selected as model skidding technologies. The selected input parameters included: slope inclination, ground bearing capacity, risk of logging-transportation erosion development, presence and size of obstacles, skidding distance, terrain shape and age of stands. Weights of input parameters for multicriteria evaluation were defined by means of Saaty matrix and geometric mean of rows.

#### **Key words**

multicriteria evaluation, skidding technologies, digital terrain model, technological typification, technological optimization

## Seznam použitých zkratek

CHS	Cílový hospodářský soubor
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM	Digital elevation model =Digitální výškový model
DMR4G	Digitální modelu reliéfu České republiky 4. generace
DMR5G	Digitální modelu reliéfu České republiky 5. generace
DMT	Digitální model terénu
DPZ	Dálkový průzkum Země
EMDS	Ecosystem Management Decision Support
FW	Forwarder
FWHV	Forwarder v kombinaci s harvestorem
GIS	Geografické informační systémy
HF	Harvestory a forwardery
HV	Harvestor
JD	Jedle
JPRL	Jednotky prostorového rozdělení lesa
KPT	Kumulovaný porostní typ
LČR	Lesy České republiky s.p.
LDS	Lesní dopravní síť
LDZ	Lanová dopravní zařízení
LHPO	Lesní hospodářské plány a osnovy
LKT	Lesní kolový traktor
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OPRL	Oblastní plány rozvoje lesů
SLKT	Speciální lesní kolový traktor
SLKT-F	Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami
SLT	Soubor lesních typů
SM	Smrk
ŠLP	Školní lesní podnik
TDE	Těžebně dopravní eroze
TIN	Triangular irregular networks = Nepravidelná trojúhelníková síť
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem
UKT	Univerzální kolový traktor
UKT-F	Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami
ZABAGED	Základní báze geografických dat

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	10
<b>2. Cíl práce</b>	12
<b>3. Úvod do problematiky</b>	13
3.1 Zpřístupnění lesů a modelování přibližovacích vzdáleností	13
3.2 Hodnocení, modelování a plánování těžebně dopravních technologií	22
3.3 Terénní a technologická typizace	24
3.4 Kombinace přístupů	33
<b>4. Experimentální území</b>	36
4.1 Popis experimentálního území	36
4.2 Geologie	36
4.3 Geomorfologie	36
4.4 Klima	37
4.5 Hydrologie	37
4.6 Pedologie	38
4.7 Vegetační stupňovitost	38
4.8 Zpřístupnění lesních porostů	38
<b>5. Metodika</b>	39
5.1. Terénní podmínky	41
5.1.1 Digitální model terénu	41
5.1.2 Sklon terénu	42
5.1.3 Tvar terénu	44
5.1.4 Výskyt překážek a singularit	45
5.2 Půdní vlastnosti	46
5.2.1 Únosnost půdy	46
5.2.2 Riziko vzniku těžebně-dopravní eroze	47
5.3 Porost	54
5.3.1 Porostní charakteristiky	54
5.4 Technické parametry	55
5.4.1 Svahová dostupnost	56
5.4.2 Měrný tlak ve stopě	57
5.4.3 Světlost	59
5.4.4 Přibližovací vzdálenost a směr přibližování	59
<b>6. Model</b>	61
6.1 Univerzální kolový traktor (UKT) – suchá půda	62
6.1.1 Sklon terénu	63
6.1.2 Přibližovací vzdálenost	63
6.1.3 Stupeň únosnosti půdy	65
6.1.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi	66
6.1.5 Výskyt a velikost překážek	69

6.1.6 Tvar terénu	70
6.1.7 Věk porostu	71
6.1.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů	73
6.2 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – suchá půda	74
6.2.1 Stupeň únosnosti půdy	74
6.2.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů	75
6.3 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – vlhká půda	75
6.3.1 Stupeň únosnosti půdy	76
6.3.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů	76
6.4 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)	77
6.4.1 Sklon terénu	78
6.4.2 Přibližovací vzdálenost	78
6.4.3 Stupeň únosnosti půdy	79
6.4.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi	79
6.4.5 Výskyt a velikost překážek	80
6.4.6 Tvar terénu	80
6.4.7 Věk porostu	81
6.4.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů	81
6.5 Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (SLKT-F) – vlhká půda	83
6.5.1 Stupeň únosnosti půdy	83
6.5.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů	84
6.6 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV) – suchá půda	85
6.6.1 Sklon terénu	86
6.6.2 Přibližovací vzdálenost	86
6.6.3 Stupeň únosnosti půdy	87
6.6.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi	88
6.6.5 Výskyt a velikost překážek	89
6.6.6 Tvar terénu	89
6.6.7 Věk porostu	90
6.6.8 Zakmenění	90
6.6.9 Zastoupení smrku a jedle	91
6.6.10 Stanovení vah jednotlivých faktorů	92
6.7 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV) – vlhká půda	93
6.7.1 Stupeň únosnosti půdy	94
6.7.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů	95
6.8 Forwarder (FW) – suchá půda	96
6.8.1 Stanovení vah jednotlivých faktorů	97
6.9 Forwarder (FW) – vlhká půda	98
6.9.1 Stanovení vah jednotlivých faktorů	98
6.10 Lanová dopravní zařízení (LDZ)	99

6.10.1 Sklon terénu	100
6.10.2 Přibližovací vzdálenost	101
6.10.3 Stupeň únosnosti půdy	101
6.10.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi	102
6.10.5 Výskyt a velikost překážek	102
6.10.6 Tvar terénu	102
6.10.7 Věk porostu	103
6.10.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů	104
6.11 Porovnání odvozených vah parametrů	105
6.12 Model zpracování vstupních vrstev	106
<b>7. Výsledky</b>	107
7.1 Univerzální kolový traktor (UKT)	108
7.2 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)	111
7.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV)	113
7.3.1 Forwarder v kombinaci s harvestorem - čtyřkolový podvozek	115
7.3.2 Forwarder v kombinaci s harvestorem - osmikolový podvozek s kolopásky	116
7.3.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem - šestikolový podvozek s kolopásky	117
7.4 Forwarder (FW)	118
7.4.1 Forwarder - čtyřkolový podvozek	119
7.4.2 Forwarder - osmikolový podvozek s kolopásky	120
7.4.3 Forwarder - šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	121
7.5 Lanové dopravní zařízení (LDZ)	123
<b>8. Ověření modelu na ŠLP Křtiny</b>	125
8.1 Popis experimentálního území	125
8.1.1 Geologie	125
8.1.2 Geomorfologie	125
8.1.3 Klima	125
8.1.4 Hydrologie	126
8.1.5 Pedologie	126
8.1.6 Vegetační stupňovitost	127
8.1.7 Zpřístupnění lesních porostů	127
8.2 Výsledky modelu	128
8.2.1 Univerzální kolový traktor (UKT)	128
8.2.2 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)	131
8.2.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV)	134
8.2.3.1 Forwarder v kombinaci s harvestorem – čtyřkolový podvozek	134
8.2.3.2 Forwarder v kombinaci s harvestorem – osmikolový podvozek s kolopásky	135
8.2.3.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem – šestikolový podvozek s kolopásky	136
8.2.4 Forwarder (FW)	137
8.2.4.1 Forwarder – čtyřkolový podvozek	137
8.2.4.2 Forwarder – osmikolový podvozek s kolopásky	138
8.2.4.3 Forwarder – šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	139



8.2.5 Lanové dopravní zařízení (LDZ)	141
8.2.6 Ověření výsledků v terénu	142
<b>9. Verifikace výsledků z experimentálního území Rabštejn</b>	<b>143</b>
9.1 Změna modelu	143
9.2 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – vlhká půda	143
9.3 Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – vlhká půda	144
9.4 Forwarder – osmikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	146
9.5 Forwarder – šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	146
9.6 Forwarder – čtyřkolový podvozek – vlhká půda	148
9.7 Forwarder v kombinaci s harvestorem – osmikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	148
9.8 Forwarder v kombinaci s harvestorem – šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda	148
9.9 Forwarder v kombinaci s harvestorem – čtyřkolový podvozek – vlhká půda	150
<b>10. Diskuse</b>	<b>152</b>
<b>11. Závěr</b>	<b>157</b>
<b>12. Seznam použité literatury</b>	<b>159</b>
<b>13. Přílohy</b>	<b>163</b>

# 1. Úvod

Geografické informační systémy (GIS) poskytují uživatelům jiný pohled na data a jejich vlastnosti, a to pohled prostorový.

V reálném světě má více než 80 % všech objektů svou prostorovou lokalizaci a proto lze využít GIS technologií téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Využití geografických informačních systémů tak nachází čím dál větší uplatnění v různých oborech a odvětvích. Jejich prudký rozvoj je způsoben také rychlým vývojem v oblasti hardwaru a softwaru, který umožňuje zpracovávat větší objemy dat ve stále kratším čase a také způsobuje zlevňování těchto technologií, a tím větší dostupnost pro větší počet uživatelů.

Dalším důvodem je poznání uživatelů geografických informačních systémů, že tyto systémy jim pomáhají při správě, aktualizaci, prezentaci dat a jsou důležitým nástrojem pro racionalizaci práce. GIS se stávají nezastupitelnými při rozhodovacích, řídicích a kontrolních procesech v různých oborech, především v územním plánování, při predikci možných rizik a střetů, v lesním hospodářství, managementu přírodních zdrojů, u orgánů státní správy nebo v podpoře cestovního ruchu.

Většina tvůrců a správců geoprostorových dat poskytuje svá data pomocí webových služeb (geoportálů), pomocí nichž jsou data snadno přístupná pro miliony uživatelů, a to jak odborníky, tak laiky, kteří běžně s geoprostorovými daty nepracují. Tyto služby jsou dle obsahu, formátu a způsobu pořízení přístupné bezplatně nebo za úplatu.

Využití aplikací GIS a metod dálkového průzkumu Země (DPZ) v lesnictví má v České republice dlouhou tradici. Lesnictví bylo jedním z prvních průkopníků zavádění aplikací GIS a metod DPZ do praxe a postupem času se tyto technologie staly standardním prostředkem pro pořizování, aktualizaci, analýzu a prezentaci dat. Všechna hlavní díla používaná v lesním hospodářství obsahují geoprostorová data, ať již jsou to lesní hospodářské plány a osnovy (LHPO), Oblastní plány rozvoje lesů (OPRL) nebo Národní inventarizace lesů (NIL).

Geografické informační systémy byly v České republice využity i v oblasti zpřístupňování lesů a lesní dopravy. Hlavním účelem, pro který byly použity, bylo zdokumentování lesní dopravní sítě pro provozní účely (LHPO, OPRL). Nové možnosti uplatnění technologií GIS v problematice zpřístupňování lesů přineslo využití

digitálního modelu terénu (DMT). Na základě DMT a dalších digitálních vrstev (lesnická typologie) bylo možné digitálně zpracovat již dříve definované terénní a technologické typizace (Simanov, Macků, Popelka, 1993). Nevýhodou těchto typizací je však jejich obecná formulace přibližovacích technologií, která již neodpovídá technickému vývoji přibližovacích prostředků během posledních let.

Ve světě bylo zpracováno několik odborných prací a studií na využití technologií GIS pro hodnocení lesní dopravní sítě, výběr vhodné přibližovací technologie nebo pro terénní a technologickou typizaci. V tomto členění jsou vybrané práce zahraničních autorů uvedeny i v následujícím literárním přehledu.

## 2. Cíl práce

Cílem předkládané práce je navrhnout a ověřit model, který na základě multikriteriálního hodnocení vybraných vstupních parametrů stanoví pro každou porostní skupinu kategorii vhodnosti použití jednotlivých vybraných přibližovacích technologií s ohledem na šetrnost jejich použití. Pro hodnocení byla vybrána následující nejpoužívanější přibližovací a soustředovací technika: univerzální kolový traktor, speciální lesní kolový traktor, lanová dopravní zařízení, forwardery a forwardery v kombinaci s harvestory.

Využitím analytických nástrojů komerčních SW GIS řešení (ESRI ArcGIS) bude výsledný model zpracován ve formě skriptů. Pro každý vstupní parametr bude zpracován samostatný skript jeho odvození od vybraných vstupních vrstev. Tyto skripty budou vytvořeny v jazyce Visual Basic nebo Python a budou přenositelné i do jiných GIS, které mohou pracovat s těmito jazyky. Výsledný model ve formě skriptu bude obecně použitelný i pro jiné podmínky a mohl by být následně využit pro vytvoření celostátní digitální vrstvy šetrných přibližovacích technologií. Ta by se stala součástí Oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL) a prostřednictvím webových služeb by byla zpřístupněna pracovníkům státní správy lesů a veřejnosti. Podle potřeby by se tato vrstva v pravidelných nebo nepravidelných intervalech aktualizovala, hlavně s ohledem na vývoj přibližovacích technologií.

Tato vrstva bude mít zásadní význam pro vlastníky lesů, kteří na jejím základě mohou optimalizovat skladbu a nasazení přibližovacích technologií na svém majetku a současně by jim mohla sloužit jako podklad pro žádost o příspěvek na ekologické a k přírodě šetrné technologie, které vyplácejí jednotlivé Krajské úřady. Odpovědní pracovníci Krajských úřadů dostanou naopak nástroj pro racionalizaci vyplácení těchto příspěvků.

## 3. Úvod do problematiky

### 3.1 Zpřístupňování lesů a modelování přibližovacích vzdáleností

V modelování zpřístupnění lesů se historicky uplatňovaly dva přístupy. První přístup je založen na řešeních pro modelové podmínky, které jsou všeobecně platné pro všechny situace. Tyto postupy jsou založené na teoretických modelech a jejich snahou je vytvořit všeobecně platný model nezávislý na reálných podmínkách území, které jsou v těchto modelech často zjednodušovány. V České republice to byl především BENEŠ (1991).

Druhý přístup jsou řešení, která zohledňují reálné podmínky území, a to především vlastnosti terénu. Díky rychlému rozvoji hardwarových a softwarových prostředků, databází a komerčních geografických informačních systémů tato řešení postupně převládla. Vlastní modelování reálných podmínek umožnilo hlavně využití digitálního modelu terénu.

První pokusy využití rastrového digitálního modelu terénu jako zdroje informací pro technické analýzy a plánování byly popsány v práci SAKAI (1981, 1987), KOBAYASHI (1984), MINAMIKATA (1984) (in TUČEK, 2003). V dalších pracích se využívají komplexní prostředí, které zastřešují velké množství modulů řešících dílčí problémy. Je to např. systém PLANS (Preliminary Logging Analysis System) (MCGAUGHEY, 1992). Model hodnotí možnost nasazení lanových systémů analýzou podélných profilů z jakéhokoliv místa. Poskytuje informace nákladových analýz pro uvažované technologie, informace o lesní dopravní síti a terénu, neumožňuje však optimalizovat těžební operační plány.

Model TERDAS (Terra-data base system) (SHIBA, 1996) má integrovány analýzy DMT a vychází z generování environmentálních charakteristik představujících omezení limitujících možnost lokalizace cest. Dále jsou vyloučeny buňky přesahující přípustné sklony, procházející nestabilními plochami (močály, půdy), vyloučeny jsou i linie s nevhodnými obloukovými přechody

Model PLANEX (EPSTEIN et al., 2001) integruje DMT v procesu přípravy plánu lesní cestní sítě. Model identifikuje přijatelné segmenty cest a rozmístění skladů, následně pro tyto segmenty a sklady počítá náklady na jejich výstavbu, konstrukci a

náklady na přibližování. Při hledání optimálního řešení lokalizace cest a skladů se využívá heuristická metoda, která minimalizuje sumu celkových nákladů.

HEINIMANN (1998) vytvořil model pro porovnání přibližování traktorem a lanovkou na svazích. Jako hlavní faktor použil celkové náklady při optimálním rozestupu cest. Mezi faktory, které ovlivňují celkové náklady, zahrnul geometrii dopravní sítě (hustota, rozestup), objem zemních prací při výstavbě cesty, dále fixní, variabilní a nepřímé náklady na těžbu a přibližování, náklady na stavbu cest a strategii těžby. Všechny náklady normalizoval převedením na jednotku plochy (ha) za rok. Pro sklon svahu 42 % vyšel bod zlomu, kdy celkové náklady při použití traktoru a lanovky byly stejné. Největší vliv na výsledky modelu, ale měl objem středního kmene. U nižšího objemu středního kmene je preferováno lanovkové přibližování, zatímco u vyššího objemu středního kmene je to traktorové přibližování.

Využití nástrojů GIS bylo dalším pokračováním vývoje v této oblasti. Standardní moduly GIS často nedokážou řešit specifické problémy spojené se zpřístupňováním porostu a plánováním těžebně dopravního procesu, ale umožňují začlenění nových modulů vytvořených v běžných programovacích jazycích nebo ve vlastních vnitřních programovacích jazycích (Arc Macro Language, AML) a jejich použití pro řešení specifických problémů (např. PACOLA et al. 1997, TUČEK et al. 2002).

OHKAWABATA (1988) a TUČEK (1994) např. pomocí modulových programů striktně přehodnocují existující schémata cest z hlediska přibližovacích vzdáleností. Na základě topografických podmínek určují problematické oblasti přibližování v rámci maximální přibližovací vzdálenosti a oblasti, které se nachází za hranicí maximální přibližovací vzdálenosti (lanovkové technologie). Pro traktorové technologie stanovují oblasti, které negravitují k žádné odvozní nebo přibližovací cestě a oblasti, které se nacházejí za hranicí průměrné přibližovací vzdálenosti. Na základě této analýzy je možné vylišit plochy, které jsou problematické pro danou technologii přibližování a měly by být středem zájmu při plánování lesní dopravní sítě. Tuček dále upozorňuje na to, že při plánování lesní dopravní sítě a technologie soustředování, by měly být brány v úvahu environmentální rizika (in TUČEK, 2003).

DEAN (1997) ve své práci testuje tři na geografických informačních systémech založené strategie, pomocí kterých hledá optimální lokalizace doplnění existující cestní sítě. Všechny strategie jsou založené na rastrovém GIS a funkcích mapové algebry šíření a proudění. V první variantě jsou obě funkce použity bez omezení. Ve druhé

variantě jsou vyloučeny shodné úseky cest, které mohou vzniknout při analýze a jejichž náklady by se započítávaly dvakrát. Ve třetí variantě jsou analyzovány všechny možné způsoby větvení nových cest. Jako nejlepší variantu Dean vyhodnotil variantu třetí a to na základě kompromisu mezi celkovými náklady a časem zpracování.

DMT se stal nedílnou součástí řešení s touto problematikou v posledních letech. S rozvojem a dostupností dat laserového skenování jsou modelovány DMT s vysokým rozlišením, které zpřesňují výsledky. SØVDE et al. (2011) vytvořili z dat leteckého laserového skenování přesný DMT s rozlišením 1m, který použili pro kalkulaci těžebních a přibližovacích nákladů. SAČKOV et al. (2014) využili data laserového skenování k identifikaci lesních cest a následně k automatickému výpočtu přibližovacích vzdáleností pro jednotlivé porostní skupiny.

Další skupinou metod a postupů jsou modely pro automatizovanou lokalizaci lesních cest pro porosty dosud nezpřístupněné. Ty jsou většinou založené na ekonomickém vyhodnocení jejich návrhu. Nejčastěji používané parametry posouzení vhodnosti jednotlivých alternativních návrhů jsou: náklady, zisk, průměrná přibližovací vzdálenost a exploatační index. Hledání optimální sítě cest pro oblasti doposud nezpřístupněné patří k důležitým lesnickým otázkám a existuje mnoho přístupů a metod. Nejčastěji se řídilo dosažením nejvyššího možného zisku, případně nejnižších nákladů na výstavbu cest.

První teoretické základy modelu, který automatizuje proces lokalizace cest, použil KOBAYASHI (1984). Nové cesty jsou lokalizované způsobem, při kterém se dosáhne maximum sumy indexů vyjadřující poměr zisku a nákladů na jejich výstavbu (princip maximálního efektu z investice). Model řeší pomocí heuristických pravidel, které kontrolují iterativní rozšiřování sítě do sousedních uzlů. (in TUČEK, 2003).

LIU a SESSION (1993) generují systematickou síť tvořenou uzly, ve kterých jsou kódované hodnoty souřadnic (x,y,z) pro každý průsečík pravidelného rastru. Identifikace skupiny segmentů cest, která by minimalizovala sumu celkových nákladů v pravidelně generované síti, se vytvoří heuristickým algoritmem. Do celkových nákladů započítávají náklady na výstavbu cesty, dopravní náklady a náklady na údržbu. Náklady na výstavbu jsou odvozeny na základě sklonu svahu z DMT. Dopravní náklady jsou odvozeny pomocí sklonu segmentu cesty, třídy cesty a nákladů odvozních prostředků za minutu. Náklady na údržbu cestní sítě jsou rozděleny na variabilní, které

závisí na objemu přepravovaného dříví a fixní náklady, které nejsou závislé na objemu přepravovaného dříví. Všechny metody a postupy s výjimkou modelu, který prezentuje LIU (1993), neuvažují s variabilitou terénních podmínek.

Model ROADPLAN (NEWNHAM 1995) využívá rastrový geografický informační systém. Původní velikost buněk byla 50 m, ale pro zpracování byly převzorkovány na velikost 250 m. Každé buňce tohoto rastru s velikostí 250 m byla přiřazena hodnota těžební priority na základě průměrného objemu zpeněžitelného dříví a faktoru způsobilosti k jízdě. Tento faktor je stanoven podle výskytu vody nebo organické zeminy a v modelu se využívá pro zvýšení nákladů na výstavbu cesty pro danou buňku. Pokud je tento faktor vyšší než 80 %, buňka se bere jako nevhodná pro vybudování cesty. Sklon a jiné topografické prvky nejsou v modelu uvažovány, proto je tento model nevhodný pro horské podmínky.

DAHLIN a FREDRIKSSON (1995) navrhli model pro hodnocení přínosů výstavby nové cestní sítě. V modelu berou v úvahu terénní podmínky (půda, vlhkost, sklon), náklady na výstavbu cesty a náklady na dopravu.

KYSEL et al. (2000) využili propojení GIS a DMT k analýze skutečné přibližovací vzdálenosti. Výsledky modelu jsou podkladem pro optimalizaci lesní cestní sítě.

SESSION et al. (2001) navazuje na svoje předcházející teoretické práce. V novém modelu kombinuje metody síťového programování (nejkratší trasa cesty) a kombinační heuristiky, která je v modelu použita k minimalizaci sumy fixních a variabilních nákladů. Model se může alternativně přizpůsobovat účelu optimalizace.

CHUNG et al. (2001) využívá síťový algoritmus, který vytvořil LIU a SESSION (1993) a navrhuje počítačový model, který optimalizuje lesní dopravní síť a trasy lanových systémů v horských terénech. Model vychází z informací získaných z DMT a rastrové vrstvy plánovaných těžeb.

SAKURAI et al. (2002) předkládají automatizovaný systém, který optimalizuje návrh lesní dopravní sítě pro lanovkové technologie. Jejich návrh maximalizuje plochu, která bude zpřístupněna lanovým systémem ve dvou fázích. Nejdříve se vyhledají všechny body rastru, ze kterých se dosáhne maximální zpřístupnění plochy lanovým systémem. Tyto body představují kostru budoucích cest. V druhé fázi se automaticky hledá možné propojení těchto bodů pomocí algoritmu teorie grafů (algoritmus



minimálního větvení stromů). Zohledňuje se při tom konfigurace terénu a možnosti vedení lanových tras. Jejich přístup je použitelný i v našich podmínkách (bere do úvahy již existující LDS) a může být použitelný ve spojení s algoritmy lanových přibližovacích vzdáleností (TUČEK a PACOLA 2001) (in TUČEK, 2003).

ARUGA et al. (2005) využili program pro optimalizaci cestní sítě v kombinaci s DMT s vysokým rozlišením k predikci plošné eroze a s ní související zanášení vodních toků.

PENTEK et al. (2005) provedli analýzu existující cestní sítě a nezpřístupněných ploch na základě parametrů: průměrná střední reálná přibližovací vzdálenost, náklady na přibližování, průměrná střední geometrická přibližovací vzdálenost.

KRČ (2006) ve své práci hodnotí zatížení lesních cest, jako výsledek pracovních postupů. Pro zpracování využívá geografický informační systém IDRISI v kombinaci s programem na bázi MS FoxPro. Pomocí tohoto programu identifikuje výpočtem nad DMT vrcholy a hřebeny, které jsou následně využity pro zvýšení nákladů na přechod dané buňky rastru. Jako další podklady využívá digitální vrstvy lesních cest, oddělení a potenciální objemy těžby pro jednotlivá oddělení v horizontu 10 let. Výsledkem je ohodnocení jednotlivých úseků cest na základě počtu buněk gravitujících k danému úseku cesty a jejich kumulovaných nákladů. Získané informace jsou využitelné ve zpřístupňování lesů a diferenciaci a plánování údržbových prací.

Mezi další novější práce, ve kterých byl využit DMT a multikriteriální analýza v GIS pro nalezení optimální lokalizace odvozního místa a přibližovací linie k odvozní cestě patří práce CONTRERAS a CHUNG (2007). Autoři vybrali hlavní faktory, které by měly mít vliv na přibližování dříví a testovali jejich významnost ve svém modelu ve vztahu k nalezení optimální lokalizace odvozního místa (těžiště těžební jednotky). Tyto faktory byly náklady na přibližování, náklady na vybudování nové cesty, tvar hranice jednotky, terénní podmínky, zásoby porostů a výskyt překážek. Testování probíhalo na hypotetických těžebních jednotkách a jedné reálné těžební jednotce. Testováno bylo celkem 16 jednotlivých hypotetických případů, kdy faktory byly modelovány samostatně nebo v kombinaci s dalšími. V modelu se pracuje s DMT s velikostí buňky 10x10 m a je určený pro přibližování traktorem. V první fázi model počítá celkové těžební náklady pro každou potenciální lokalizaci odvozního místa a následně vybere pomocí funkce nejnižších nákladů nejlepší lokalizaci. Celkové těžební náklady jsou počítány jako součet přibližovacích nákladů a nákladů na vybudování cesty a na

dopravu. V další fázi jsou testovány vlivy jednotlivých faktorů. Tvar těžební jednotky byl testován ve třech variantách se stejnou plochou, kdy jeden tvar byl pravidelný (obdélníkový) a dva nepravidelné a dále za podmínek, zda hranice těžební jednotky tvoří nebo netvoří překážku přibližování (např. vlastnická hranice nebo přírodní hranice). Sklon byl testován pouze na obdélníkové ploše a to ve třech variantách do 20 %, do 30 % a do 40 %. Varianta s maximálním sklonem do 30 % byla dále testována v souvislosti s výskytem překážek (sklon vyšší než 40 %) a dále bez výskytu překážek, ale v závislosti na nákladech na vybudování nové cesty. Zásoba porostů byla testována na jednotce s nepravidelným tvarem pro varianty, že zásoba porostů je stejná po celé ploše těžební jednotky nebo, že se na ploše těžební jednotky vyskytují dvě nebo tři odlišné zóny. Z výsledků je patrná závislost na sklonu terénu, rozložení zásob v těžební jednotce a nákladech na stavbu cesty. Naopak pouze okrajový vliv měl tvar těžební jednotky.

KRČ et al. (2013) vytvořili model pro identifikaci nezpřístupněných lesů. Hlavní parametry modelu jsou: vzdálenost lesa od existující veřejné nebo lesní cesty, plocha nezpřístupněného lesa a jeho stanovištní potenciál.

Také v těchto modelech se v poslední době začala uplatňovat data leteckého laserové skenování. Příkladem je práce autorů SAITO et al. (2013), kteří navrhli model pro automatický návrh lesní cestní sítě založený na DMT s vysokým rozlišením z dat laserového skenování a na vrstvě mělkých půd ohrožených rizikem sesuvů.

Principiálně odlišným typem modelů jsou modely lokalizující cestu mezi dvěma body. U těchto modelů se nejčastěji využívají algoritmy teorie grafů pro vyhledání nejkratší cesty nebo trasy nejmenších nákladů. Nejvíce používaným algoritmem je algoritmus Dijkstrův, který byl využitý v mnoha aplikacích lokalizování lesních cest.

PACOLA (2001) navázal na práce (PACOLA a TUČEK 1998; PACOLA a TUČEK 1999; PACOLA a TUČEK 2000), ve kterých se popisují kartografické modely teoretických parametrů stavu lesní dopravní sítě, jako jsou traktorová a lanovková přibližovací vzdálenost odvozená z DMT. V návrhu nové metodiky lokalizace svahových odvozních cest vychází z principu vyhledání tzv. přechodových bodů. Tato metoda je založena na teorii fuzzy množin. Metoda byla implementována do prostředí ArcInfa a rozhodující část algoritmu využívá nástroje modulu GRID. V první fázi se vyberou buňky rastru, které nepřekračují námi stanovené rozpětí technologické vzdálenosti od existujících cest a kterých sklon dovoluje výstavbu lesních skládek. Jsou to potenciální

přechodové body. V další fázi stanoví uživatel počáteční a koncový bod trasy a následně jsou vyhledány vhodné přechodové body na základě mechanismu testování věrohodnosti předpokládaných částí inferenčních produkčních pravidel (aproximativní inferenční proces). V poslední fázi dojde k automatickému propojení přechodových bodů aplikováním metody vzdálenostního mapování v anizotropním prostoru, který umožňuje kontrolovat požadavek vyrovnaného sklonu trasy svahové cesty.

Jednou z novějších prací s touto tematikou je práce autorů ANDERSON a NELSON (2004). Zmínění autoři vytvořili počítačový model pro vygenerování lesní dopravní sítě. Na rozdíl od většiny autorů nepoužili rastrový GIS, ale vektorový GIS. V první fázi je v zájmovém území vygenerována síť pravidelných bodů, ty jsou následně náhodně posunuty. Každému bodu je dále dopočítána z-souřadnice. Ve druhé fázi jsou jednotlivé body propojeny liniemi. Na základě předběžných analýz byla stanovena následující kritéria: vzdálenost mezi odvozními místy 500m, hustota bodů na 30 bodů/ha, maximální délka linie na 75m, maximální počet linií z jednoho bodu na 20. Linie, které procházely přes jezera, citlivé půdní typy, skály nebo jiné nevhodné lokality, byly v první fázi vyloučeny z analýzy. Ostatním byly přiřazeny „trestné body“, a to buď fixní velikosti (např. pro křížení vodních toků, serpentiny) nebo variabilní velikosti (např. pro sklon terénu, vertikální a horizontální uspořádání). Pro jednotlivé třídy cest a jejich parametry, bylo testováno pět modelů. Z výsledků vyplývá, že pokud při modelování cestní sítě postupujeme od nejbližších odvozních míst k nejvzdálenějším, pak platí, že dostaneme delší cestní síť s ostřejšími zatáčkami, větším sklonem a vyšší procento napojení odvozních míst v porovnání s opačným postupem. Ve vygenerované síti cest je také menší podíl hlavních cest a větší podíl vedlejších cest a spojovacích cest, pokud postupujeme od nejbližších odvozních míst.

Ecosystem Management Decision Support (EMDS) využili ve své práci GIRVETZ a SHILLING (2003) k integraci uživatelsky vytvořené znalostní báze s gridovým geografickým informačním systémem za účelem vyhodnocení pravdivosti tvrzení o vlivu cest na životní prostředí. Na vybraném území Tahoe National Forest byla analyzována stávající cestní síť vzhledem k zachování přístupu k vybraným zájmovým bodům, vlivu na životní prostředí a byla navržena upravená cestní síť v minimální variantě. Výsledky analýzy byly porovnány s názory expertů na vliv cestních sítí (obvyklé analytické metody), dřívějšími hospodářskými rozhodnutími a zjištěným nedostatkem cest se snahou nalézt minimální síť cest potřebnou pro

zpřístupnění vybraných zájmových míst. Ve vytvořené znalostní bázi bylo předdefinováno, jak jsou prostorová data analyzována EMDS pro každou 30-metrovou buňku rastru v lese. EMDS využívá strukturu znalostní báze ke kombinaci nezbytných prostorových dat použitím fuzzy logiky k určení stupně pravdivosti pro tvrzení. Ve finální verzi byla kalkulována pravdivost tvrzení, že každá 30-m rastrová buňka cesty má negativní vliv na vodní a suchozemské prostředí. Vliv na vodní prostředí byl hodnocen na základě integrity koryta toku, rizika eroze a biologických podmínek. Pro vysokou hodnotu pravděpodobnosti vlivu na vodní prostředí stačí, pokud jedno z těchto dílčích tvrzení bude mít vysokou hodnotu pravděpodobnosti. Suchozemský vliv je hodnocen na základě interakce mezi způsobem využití cesty a vlivem na biologické podmínky. Do celkových nákladů se kromě rizika na životní prostředí započítává i cestovní čas. Výsledky analýzy byly zprůměrnovány pro každý segment cesty a porovnány s názory expertů. Potenciální vliv jednotlivých segmentů cesty na životní prostředí byl pak použit ve spojení s rozšířením ArcView Network Analyst za účelem přiřazení váhy každé cestě a nalezení sítě cest s nejnižšími náklady, které jsou nutné pro zpřístupnění vybraných zájmových míst. Jako podkladová data byly využity DMT s velikostí buňky 30m, vrstva vodních toků, 30-m grid vzdáleností k nejbližšímu toku, vrstva křížení vodního toku a cesty, vrstva povodí. Pro jednotlivá povodí byly dále odvozeny hodnoty hustoty křížení vodního toku a cesty a délky cest v povodí. Z DMT byla odvozena vrstva sklonů a na ní byla analyzována cestní síť. Dále byla použita vrstva půdních typů s faktorem náchylnosti k erozi a vrstva průměrných ročních srážek. Ta byla převzorkována z kilometrového gridu na 30-m grid pomocí funkce kubické transformace v ARC/Info GRID. Z biologických dat byla využita vrstva trvalých toků s atributem vylišujícím chovné úseky, vrstva označující rozlohu mokřin a luk, bodová vrstva s lokalizací výskytu invazních plevelů a vrstva obsahující plochy s výskytem divokých populací se zvláštním významem (hnízdni oblasti). Jako vytipované zájmové body byly vybrány prvky infrastruktury, přírodní zdroje a místa potenciálního rekreačního využití.

CHUNG et al. (2008) publikovali zajímavou práci týkající se zpřístupňování porostů a modelování přibližovacích vzdáleností. Jimi sestavený model pro vybrané území s existující cestní sítí porovnává na základě zvolených faktorů, zda je ekonomicky výhodnější přibližovat dříví na delší vzdálenost porostem nebo vybudovat novou cestu. Použitý model je založený na heuristickém síťovém algoritmu. Vstupními

údaji jsou DMT s velikostí buňky 23 x 23m, existující lesní dopravní síť a síť vodních toků. Dále byla generována vrstva pravidelně rozmístěných buněk, představující zdroje dřeva a to ve sponu 69 m (každá třetí buňka DMT). V modelu jsou pak zkombinovány dvě sítě, jedna modelující přibližovací vzdálenosti (do maximálně přípustné vzdálenosti) a druhá modelující cestní síť. Model porovnává dvě dopravní aktivity a vybírá aktivitu s nejnižšími náklady a to na základě jednotkových nákladů na přibližování a konstrukci cest, dále na základě aktivity vybrané pro sousední uzly a objemu dříví v každém uzlu. Algoritmus vypočítává minimální náklady sítě aplikací algoritmu nejkratší cesty pro řešení variabilních nákladů. K zohlednění terénních podmínek jsou využívány koeficienty, které v místech velkým sklonem cesty nebo dvou sousedních buněk, zvyšují náklady na stavbu nově navrhované cesty. Pokud nově navrhovaná cesta kříží vodní tok, přičítá se jí do nákladů fixní částka 3.000.- \$, za účelem omezení možných křížení ve výsledku. Pokud by nebyla penalizace zavedena, bylo by místo výsledných 10 křížení celkem 117 křížení vodních toků. Nové cesty jsou pak digitalizovány manuálně nad vybranými buňkami v SW ArcGIS. Výsledky modelu byly pak porovnány s dříve navrhovaným doplněním lesní dopravní sítě, a to prostřednictvím údajů: délky cest, hustoty cest, průměrné přibližovací vzdálenosti a efektivity navrhovaných cest. Ve všech parametrech byl modelový návrh lepší. Na závěr byla ještě provedena analýza citlivosti modelu. Ta ukázala, že všechny tři hlavní parametry (zásoba, náklady a stavbu cest, přibližovací náklady) mají významný vliv na délku nově navrhovaných cest a průměrnou přibližovací vzdálenost. Pokud zásoba porostu stoupá, je navrhováno více cest s následným snižováním průměrné přibližovací vzdálenosti. Výsledky potvrdily, že v závislosti na zásobě celkové přibližovací náklady (variabilní náklady) mohou převýšit náklady na výstavbu cesty (konstantní náklady), a tím se výstavba nové cesty stává ekonomičtější než přibližování na dlouhou vzdálenost. Na druhou stranu, pokud stoupnou náklady na výstavbu cest nebo se sníží přibližovací náklady, bude navrhováno méně nových cest, protože relativní náklady na výstavbu cest převýší náklady na přibližování.

## 3.2 Hodnocení, modelování a plánování těžebně dopravních technologií

TUČEK (2003) uvádí následující okruhy metod používané v zahraničí pro hodnocení, modelování a plánování těžebně dopravních technologií:

- práce analyzující vztahy podmínek, činnosti a výkonnosti různých technologií, stejně jako i jednotlivých zařízení
- práce zaměřené na problematiku nákladů na operace a jejich hodnocení
- práce zaměřené na simulaci činností zařízení v různých podmínkách
- práce zaměřené na sbírání vstupních informací o prostředí, činnosti strojů
- práce zabývající se vztahem mezi umístěním cest a odvozních míst a efektivitou a výkonností zařízení a technologií
- práce zaměřené na hodnocení a optimalizaci technologií v různých podmínkách

První práce byly zaměřeny na optimalizaci rozestupů cest a odvozních míst. V obecné poloze řešily problematiku rozmístění odvozních cest, zkrácení přibližovacích vzdáleností a tím snížení nákladů.

KOGER a WEBSTER (1984) vytvořili program L-O-S-T pro kvantifikaci, analýzu a zlepšení výběru vhodné těžební metody. Těžební časy a náklady jsou vypočítány pro výstavbu cest, systémové přesuny mezi skládkami, přibližování a odvoz dříví. Program také umožňuje analyzovat nelineární těžební vztahy, nepravidelné tvary hranice, různé zásoby dřeva, výkonnost prostředků, rozdíly v podmínkách výstavby cest a v neposlední řadě i těžební omezení (environmentální, fyzická nebo časová).

Nové možnosti pro hodnocení zpřístupnění lesa přineslo použití digitálního modelu terénu (DMT), nejčastěji rastrového. Na jeho základě je možné řešit konkrétní úkoly pro podmínky blízké skutečnosti, bez výraznějšího nárůstu objemu zpracovávaných dat. Z novějších prací je to např. KLUENDER et al. (2000). V této práci jsou porovnávány metody rozmístění odvozních míst geometrickým výpočtem a proti tomu využitím nástrojů GIS (IDRISI). Jako podklad pro analýzu pomocí nástrojů GIS byl vytvořen 10-m kompozitní rastr, ve kterém jsou obsaženy zásoby dřeva, cesty, vodní toky a sklony. Pro porovnání obou alternativ byly vybrány čtyři plochy lišící se

výskytem překážek (toky, sklon nad 35 %) a jejich orientací v terénu. Dále byly posuzovány varianty umístění jednoho až tří odvozních míst pro každou plochu. Z výsledků vyplývá, že pro relativně ploché a pravouhlé plochy, bez výskytu překážek, jsou rozdíly mezi geometricky určenými lokalizacemi odvozních míst a lokalizacemi určenými pomocí nástrojů GIS zanedbatelné. Naopak u ploch, kde existují omezení, jako jsou sklon terénu, únosnost půdy nebo výskyt vodních toků získáme použitím nástrojů GIS vhodnější lokalizaci odvozních míst. Procentický rozdíl v celkové přibližovací vzdálenosti se pohyboval od 8 do 16 % ve prospěch řešení pomocí GIS.

Digitální model terénu byl dále využit v dalších pracích pro získání podkladových informací potřebných pro hodnocení činnosti zařízení, resp. technologií. Nejdůležitější charakteristiky odvozené z DMT pro volbu vhodné technologie jsou sklony a vzdálenosti. K nim se do modelu nejčastěji přidávají údaje o porostu, jako je zásoba nebo objem středního kmene a technické parametry zařízení zohledňující výkonnost za různých podmínek. Výpočet je většinou zakončen vyčíslením přímých nákladů na jednotku zpracovávaného dříví.

TUČEK (2003) uvádí, že programy pro výpočet efektivity strojů jsou uzpůsobeny pro výpočet fixních a variabilních nákladů, cash flow, zisku, odpisů na základě různých vstupních hodnot. Příkladem jsou programy FOCAS (Fixed and Operating Cost Analysis Program), DIRTE-1 nebo PACE (Production and Cost Evaluation). Dále uvádí programy na analýzu efektivity těžebních a dopravních technologií, které berou v úvahu kromě údajů o mechanizmech i parametry porostu a popis prostředí. Příkladem jsou programy AHA (Auburn Harvesting Analyser) a HSA (Harvesting System Analyser). Potřeba mít k dispozici dostatečně přesný popis pracovního prostředí vedla některé autory ke spojení těchto programů s geografickými informačními systémy. Jak např. v projektu PLANS, kde MCGAUGHEY (1992) hledal optimální umístění lanové dráhy. Dalším příkladem je program FRP (Forest Resource Planning – Harvesting Model), který spolupracuje s GIS na bázi výměny dat v prostředí umožňujícím běžet současně oběma systémům. GIS nejprve shromáždí údaje potřebné pro výpočet časů pracovních operací, zjistí tloušťky stromů, vzdálenosti a jiné, FRP tyto údaje skombinuje s daty zadanými uživatelem a vypracuje výsledky. V pozdějších pracích jsou ještě zohledňovány aspekty trvale udržitelného obhospodařování lesů a environmentální aspekty těžebních technologií, aplikace certifikačních systémů, zjednodušení evidence

vytěženého dřeva, resp. operativní řízení výroby sortimentů na základě požadavků odběratelů.

MOHTASHAMI et al. (2012) navrhli model pro identifikaci nejvhodnějších přibližovacích linek s cílem vyhnout se citlivým stanovištím. Jako vstupní digitální vrstvy použili: nadmořskou výšku, sklon, expozici a půdní typy. Analýzou vzniklého frikčního povrchu byl terén klasifikován do pěti různých stupňů vhodnosti pro lokalizaci přibližovací linky.

JOURGHOLAMI et al. (2013) upravili existující model NETWORK 2000 pro návrh nové cestní sítě začleněním očekávaných přibližovacích nákladů. Upraveným modelem pak hodnotili navrhované nové linky za účelem minimalizace přibližovacích a stavebních nákladů.

### **3.3 Terénní a technologická typizace**

Terén je neměnný činitel prostředí a má stálý vliv na výrobní podmínky a výrobní proces se mu musí přizpůsobit. Technologická typizace je pak přiřazení vhodné výrobní technologie daným terénním podmínkám porostu nebo pracoviště.

TUČEK (2003) uvádí následující autory, kteří se terénní a technologické typizaci věnovali. V Rakousku to byl LEITNER (1976) a SANKTJOHANSER (1978), ve Francii PONCET (1964) a ve Švýcarsku STÖHR (1975). Tito autoři rozpracovali metodiku hodnocení práce strojů a technologických metod z hlediska působení na porost, půdu, půdní erozi, působení z hlediska výkonnosti, funkčnosti, ergonomie, ekonomiky na cestní síť a požadavků na přípravu pracovišť. PACKER (1967) rozpracoval kritéria projektování a umístění odvozních cest z ekologického hlediska, přitom zohledňoval především erozi půdy v porostech a erozi cest vlivem techniky, ztrátou produkční plochy potřebné pro výstavbu cest a znečišťování vod splaveninami, rozpracoval kritéria projektování a situování odvozních cest.

DAVIS a REISINGER (1990) klasifikují terén na základě sklonu, únosnosti půdy a výskytu překážek. Sklon, velikost a rozmístění překážek ovlivňují transportní rychlost a stabilitu prostředku. Únosnost půdy ovlivňuje produktivitu těžebních technologií a indikuje možné škody na životním prostředí. Ke klasifikaci využívají nástrojů GIS a celé prostředí je včleněno do podpůrného rozhodovacího prostředku pro plánování



těžeb. Každému porostu je ve výsledku přiřazena optimální technologie, včetně uvedení počtu dní potřebných na těžbu a kalkulací celkových nákladů.

OWENDE et al. (2001) založili svojí terénní klasifikaci na podobných faktorech jako předchozí autoři, a to půdních vlastnostech (hlavně únosnost půdy), členitosti terénu (výskyt překážek - balvany a zářezy) a sklonu terénu (Tab. 1).

Tab.1 Terénní klasifikace (Owende et al. 2001)

Půdní vlastnosti		Členitost terénu		Sklon	
Dobré	1	Rovný terén	1	Mírný < 8°	1
Průměrné	2	Nerovný terén	2	Střední, 8° - 14°	2
Špatné	3	Členitý terén	3	Štrmý > 14°	3
Velmi špatné	4				

Vzájemnou kombinací těchto faktorů dostaneme 36 možných variant. Každé této variantě je pak přiřazena jedna nebo více nevhodnějších přibližovacích technologií (Tab. 2).

Tab.2 Technologická typizace (Owende et al., 2001)

1.1.1	2.1.1	3.1.1	4.1.1
forwarder, SLKT, kůň			pásový forwarder, LDZ
1.1.2	2.1.2	3.1.2	4.1.2
forwarder, SLKT, kůň		forwarder, pásový forwarder, LDZ	
1.1.3	2.1.3	3.1.3	4.1.3
forwarder, SLKT, kůň		LDZ	
1.2.1	2.2.1	3.2.1	4.2.1
forwarder, SLKT, kůň			pásový forwarder, LDZ
1.2.2	2.2.2	3.2.2	4.2.2
forwarder, kůň	forwarder, pásový forwarder	pásový forwarder, LDZ	
1.2.3	2.2.3	3.2.3	4.2.3
forwarder s řetězy, LDZ		LDZ	
1.3.1	2.3.1	3.3.1	4.3.1
forwarder, LDZ		pásový forwarder, LDZ	
1.3.2	2.3.2	3.3.2	4.3.2
pásový forwarder, LDZ	forwarder, pásový forwarder, LDZ	LDZ	
1.3.3	2.3.3	3.3.3	4.3.3
LDZ			

V České republice se nejčastěji používá terénní klasifikace „Lesprojekt 1980“, která je založená také na třech základních faktorech terénní klasifikace: sklon terénu, únosnost terénu a výskyt překážek (Tab. 3). Její nesporná výhoda je v její dostupnosti, protože je součástí popisu porostů v LHP a LHO, otázkou je ale přesnost jejího zjištění pro jednotlivé porostní skupiny.

Terénní typy jsou pak následně sloučeny do 5 terénních skupin označených písmeny A až E a k nim jsou přiřazeny vhodné přibližovací technologie.

**Tab.3 Terénní klasifikace „Lesprojekt 1980“**

Terénní typ	Sklon [%]	Charakter	Terénní skupina	Terénní typ	Technologie			
11	< 8	únosný	A	11, 12, 13	UKT, SLKT, kůň			
12	9 - 15	únosný		B	14	SLKT, kůň		
13	16 - 25	únosný			C	15	(kůň), LDZ	
14	26 - 40	únosný			D	21, 22, 23	LDZ, (UKT, SLKT, kůň)	
15	> 40	únosný				24	LDZ, (SLKT, kůň)	
21	< 8	neúnosný	25	LDZ, (kůň)				
22	9 - 15	neúnosný	E	31, 32, 33	LDZ, (UKT, SLKT, kůň)			
23	16 - 25	neúnosný		34	LDZ, (SLKT, kůň)			
24	26 - 40	neúnosný			35	LDZ, (kůň)		
25	> 40	neúnosný				s překážkami	31	s překážkami
32	9 - 15	s překážkami					32	s překážkami
33	16 - 25	s překážkami	33	s překážkami	33	s překážkami		
34	26 - 40	s překážkami	34	s překážkami	34	s překážkami		
35	> 40	s překážkami	35	s překážkami	35	s překážkami		

SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) navrhli nový systém terénní a technologické typizace pro podmínky České republiky. Základní parametry terénní typizace jsou sklon terénu a edafická kategorie odvozené z lesního typu. Na základě edafické kategorie je odvozen výskyt překážek, míra únosnosti půdy a svážná území. Kombinací těchto charakteristik odvozených z edafické kategorie a sklonu terénu je vylišeno 23 terénních typů, poslední dva terénní typy jsou vylišeny pouze na základě sklonu (sklon nad 50 %). Každému terénnímu typu je následně přiřazena jedna z následujících technologií přibližování:

**U** – univerzální kolový traktor s lesnickou nástavbou

**S** – speciální lesnický kolový traktor

**F1** – kolové podvozky s flotačními (nízkotlakými) pneumatikami a svahovou

dostupností rovnou nebo lepší, než má UKT (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ F = UKT Horal či SLKT s flotačními pneumatikami)

**F2** – kolové podvozky s flotačními pneumatikami a svahovou dostupností rovnou nebo lepší, než má SLKT (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ F = UKT Horal či SLKT s flotačními pneumatikami)

**F3** – pásové podvozky se svahovou dostupností rovnou či lepší, než má SLKT (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ F = UKT Horal či SLKT s flotačními pneumatikami)

**K** – kůň, svahy se sklonem 34 - 50 %, které umožňují (díky gravitaci) koňům při soustředování dříví po svahu táhnout poměrně bezpečně (bez samovolného pohybu kmenů po spádnici tak velký objem dříví, že v těchto podmínkách mohou ekonomicky konkurovat lanovkám (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ K)

**L1** – nasazení lanové dopravní zařízení na neúnosném terénu (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ L)

**L2** – nasazení lanové dopravní zařízení nasazené z důvodu překážek v terénu (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ L)

**L3** – nasazení lanového dopravního zařízení z důvodu sklonu svahu nad 33 %, nesjízdný terén pro SLKT a pod., (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ L)

**E1** – erozní ohrožení ve sklonu svahu 21 – 33 %, sjízdném pro SLKT a pod., (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ E = erozní ohrožení, přípustné prostředky F, K, L a jejich kombinace)

**E2** – erozní ohrožení ve sklonu svahu nad 33 %, nesjízdném pro SLKT a pod., (podle technologické typizace Simanov - Macků - Popelka z r. 1992 technologický typ E = erozní ohrožení, přípustné prostředky F, K, L a jejich kombinace)

Tato terénní a technologická typizace byla v rámci pilotního projektu odzkoušena Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem na LHC Jeseník v roce 2007 a v současně době probíhá v rámci údržby dat Oblastních plánů rozvoje lesů zpracování dalších lesních hospodářských celků.

MODRÝ a SIMANOV (2002) provedli ověření terénní a technologická typizace Simanov - Macků - Popelka na experimentálním území v Jizerských horách s cílem posoudit homogennost jednotek lesnické typologie z pohledu technologických vlastností stanoviště. Výsledky pak porovnali s dřívějšími měřeními na území Školního lesního podniku Křtiny. Měření bylo provedeno na zkusných plochách 2x2m v síti 100x100m. Na každé ploše byl měřen sklon, určena únosnost (únosná, podmíněně únosná a neúnosná) a byl hodnocen výskyt překážek (0,3-0,5m; >0,5m). Na základě těchto charakteristik byl na každé ploše určen terénní typ a příslušný technologický typ. Technologický typ "E" (erozní ohrožení), který nebyl jednoznačně definován v technologické typizaci Simanov - Macků - Popelka, byl odvozen na základě hodnocení potenciální vodní eroze podle rovnice Wischmeiera v úpravě Míchala (1973) a přiřazen plochám, kde byla vypočtená potenciální vodní eroze vyšší než 6 mm/rok. Technologický typ "E" byl dále rozdělen dva subtypy "E<sub>f</sub>", kde přibližování traktorem je možné na suchém nebo zmrzlém terénu a "E<sub>l</sub>", kde je možné pouze přibližování lanovkou z důvodu sklonu svahu nebo výskytu překážek větších než 0,5 m. Potenciální vodní eroze se pohybovala od 1 mm do 46 mm/rok, střední hodnota pro měřené plochy byla 8 mm/rok. Statistickým vyhodnocením byla zjištěna závislost potenciální vodní eroze na sklonu svahu a nebyla zjištěna statisticky významná závislost na půdním typu. Ze zastoupených edafických kategorií patřilo 6 edafických kategorií (G, L, O, R, S a T) do třídy erozního ohrožení I (žádná hrozba), 2 edafické kategorie (K a U) do třídy erozního ohrožení II, 3 edafické kategorie (A, M a N) do třídy erozního ohrožení III a 2 edafické kategorie (Y a Z) do třídy erozního ohrožení IV (vysoké riziko eroze). Technologické vlastnosti lesních typů a souborů lesních typů autoři shledali dostatečně homogenními pro plánování těžebních technologií na rozdíl od edafických kategorií a hospodářských souborů, které zahrnují širší rozpětí technologických vlastností a mohou sloužit pouze k hrubší orientaci.

O úpravu terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) se v roce 2008 pokusil HRŮZA a ŠPIČÁKOVÁ. Stejně jako uvedení autoři vycházejí ze sklonu terénu a edafických kategorií lesních typů. Místo 6 sklonových kategorií však rozlišují pouze 4 kategorie sklonitosti a edafické kategorie přeskupili z 5 skupin do 4.

Tyto skupiny jsou nazvány jako technologické celky a dělí se na:

- a) únosné podloží bez překážek
- b) únosné podloží s překážkami

- c) neúnosné podloží
- d) bez hospodářských zásahů

Průnikem těchto dvou vrstev vzniká 16 možných kombinací edafických kategorií a sklonových kategorií. U osmi z nich autoři doporučují nutnou rekognoskaci terénu, kvůli možnému výskytu překážek nebo možnému výskytu podmáčení. Těmto kombinacím jsou pak přiřazeny terénní typy a možné technologické typizace:

M – moto-manuální technologie

K – kůň

U – univerzální kolový traktor s vybavením pro přibližování dříví

S – lesní kolový traktor

H – harvester

V – vyvážec, vyvážecí souprava

H\_hor – horský harvester

L – lanovkové dopravní zařízení

Autoři nepublikovali, zda byla jimi uváděná terénní a technologická typizace odzkoušena v konkrétních podmínkách nějakého experimentálního území.

Technologické podmínky umožňující nasazení harvesterových technologií publikoval v roce 2006 ULRICH. Jako hlavní faktory vybral členitost terénu, únosnost půdy, sklon terénu, věk těžného porostu a druh těžené dřeviny. Z pohledu členitosti terénu uvádí na základě švédské klasifikace jako hlavní kritéria pro nasazení harvesterových technologií velikost překážek (vyvýšeniny a prohlubně) a vzdálenost mezi nimi. Tuto klasifikaci pro harvesterové technologie převzatou ze Švédska dále porovnává s terénní klasifikací Lesprojektu (1980) (Tab.4).

**Tab.4 Systém švédské klasifikace terénů vhodných pro nasazení harvesterových technologií (Ulrich, 2006)**

Třída	Vyvýšeniny [cm]		Prohlubně [cm]	Vzdálenost mezi překážkami	Průjezdnost harvestorem a vyvážecem
	Švédsko	ÚHÚL	Švédsko	Švédsko	
1	0-15	terény bez překážek (UKT do 30 cm, SLKT do 50 cm)	0-20	20 +	bez snížené rychlosti
2	16-25		21-40	11-20	se sníženou rychlostí
3	26-40		41-60	6-10	
4	41-60		61-90	2,6-5	
5	60 +	terény s překážkami		0-2,5	

Kritérium únosnosti půdy stanovil také jako předchozí autoři na základě edafických kategorií ze souboru lesních typů. Roztřídění edafických kategorií do skupin provedl na základě zrnitosti a ovlivnění vodou (Tab.5)

Tab.5 Členění edafických kategorií dle únosnosti (Ulrich, 2006)

Edafická řada			extrémní			obohacená vodou			podmáčená	rašelinná		
			kyselá									
			živná					oglejená				
			obohacená humusem									
Únosnost	Sklon	Terénní typ	Únosnost									
			< 26	11, 12, 13								
			26 - 40	14	A,C,J,F,N,X,Y,Z	B,K,M,S	D,H,I	U	L,O,V	P,Q		
			> 40	15	A,C,F,N,X,Z							
			< 26	21, 22, 23				U	L,O,V	P,Q	T,G	R
			26 - 40	24	J,Y							
			> 40	25								
S překážkami	< 26	31, 32, 33	A,C,F,N,X,Z									
	26 - 40	34										
	> 40	35										

U sklonu terénu je limitující především příčný sklon linky, který by neměl přesahovat 10 %, podélný sklon pak autor rozdělil do kategorií uvedených v následující tabulce (Tab.6).

Tab.6 Vliv sklonu na nasazení harvesterů (Ulrich, 2006)

Terénní typ	11, 21, 31	12, 22, 32	13, 23, 33	14, 24, 34	15, 25, 35
Sklon [%]	0 - 8	9 - 15	16 - 25	26 - 40	> 40
Trasování linek	trasování linek bez ohledu na svah	trasování linek po svahu			
Typ podvozku harvesteru	Rozsah použití kolových podvozků (v závislosti na stavu podloží)			za sucha na skeletových půdách	na krátkých svazích 60 - 80 %
	Rozsah použití kolopásových a pásových podvozků				50 - 60 %

SÁČKOV (2007) navrhl generátor terénní a technologické typizace pro podmínky Slovenska. Terén člení do čtyř kategorií : do 20 %, 21 - 40 %, 41 – 50 % a nad 50 %. Přibližování pomocí UKT a koně navrhuje pro průchodné terény se sklonem do 40 %, při výchovných těžbách nebo při obnovních těžbách podrostním hospodářským způsobem. Přibližování pomocí LKT navrhuje pro průchodné terény se sklonem do 50 % a to především u holosečného hospodářského způsobu. U podrostního

hospodářského způsobu je použití LKT vhodné v kombinaci s jiným prostředkem, který provede vyklizení k lince. Lanovky pak doporučuje pro neprůchodné terény se sklonem nad 51 %, stejně jako ruční vyklizování, kde však jako limitující uvádí maximální vzdálenost 200 metrů.

PENTEK et al. (2008) navrhli model pro výběr ekologicky vhodného technologického postupu těžby a přibližování. Jako vstupní data byl použit digitální výškový model (DEM), digitální vrstva lesních cest, data inventarizace lesů a ekologické limity těžebních a přibližovacích systémů. Jako hlavní faktory pak autoři vybrali sklon terénu (30 %, 50 %, 70 %), přibližovací vzdálenost (400 m, 800 m, 1200 m) a výčetní tloušťku (<40 cm, >40 cm). Výsledky ukázaly, že výčetní tloušťka dřevin nejvíce limituje použití plně mechanizovaných technologií na vybraném území.

MIHELIC a KRČ (2009) ve své práci zpracovali model terénní a technologické typizace pro vybrané území ve Slovinsku, s cílem začlenit mezi vybrané technologie forwardery, jejichž použití ve Slovinsku nabývá stále většího významu. Jako hlavní faktory pro multikriteriální hodnocení byly použity: sklon terénu (DEM 25 x 25), kamenitost, výskyt skal, únosnost podloží, hloubka půdy, vzdálenost od cesty a směr přibližování. Nejvyšší váhu dostaly faktory sklon terénu a přibližovací vzdálenost. Naopak nebyly brány v úvahu faktory jako např. zásoba porostu nebo mikroreliéf. Výsledná technologická typizace pak měla následující třídy: manuální, traktor po svahu, traktor proti svahu, forwarder po svahu, forwarder proti svahu, lanovka po svahu, lanovka proti svahu. Výsledná vrstva byla porovnána modulem CROSSTAB (Idrisi) s referenční mapou, kterou poskytuje Slovenian Forest Service. U forwarderů zaznamenali nejvyšší překryv s terény a porosty určenými pro traktorové přibližování (64,7 % po svahu a 21,4 % proti svahu). Na základě modelu pak autoři určili pro přibližování traktorem optimální sklon terénu po svahu do 30 % a přibližovací vzdálenost do 300 m (500 m je také akceptovatelná). Pro přibližování traktorem proti svahu pak mezní hodnota pro sklon vyšla 25 % a pro přibližovací vzdálenost pod 200 m.

Jednou z posledních prací na téma terénní a technologické typizace je také práce autorů SLANČÍK et al. (2008). Autoři navazují na předchozí práce Tučka a Suchomela a představují metodiku využití GIS v kombinaci s podpůrným rozhodovacím systémem EMDS, založeném na znalostní bázi systému NetWeaver. Touto metodikou byla zpracována technologická typizace pro konkrétní modelové území OZ Kriváň.

Terénní typizace byla provedena na základě čtyř kritérií:

- sklon
- výskyt překážek
- únosnost
- riziko vzniku těžebně-dopravní eroze

U sklonu autoři použili mediánovou hodnotu sklonu odvozenou z DMT pro jednotky prostorového rozdělení lesa (JPRL). Výsledkem jsou mapy kategorií sklonů a tabulka průměrných sklonů pro JPRL. Výskyt překážek byl převzat z databáze LHP. Hodnotil se výskyt skal, balvanů, sutí a výmolů a to buď na celé ploše nebo na části plochy. Výsledkem jsou mapy a tabulka výskytu překážek pro JPRL. Únosnost půdy byla stanovena v souladu s klasifikací ADÁMKA (1982). Neupravená klasifikace byla použita pro pohyb prostředků po nezpevněných lesních cestách, pro pohyb prostředků v terénu byla upravena na základě stavu půdy. Tato klasifikace je založená na zrnitosti půdy a obsahu skeletu. Tyto informace autoři odvodili z digitální mapy půdních typů. Opět použili mediánovou hodnotu pro JPRL a výsledkem jsou mapy a tabulka únosnosti půdy pro JPRL. Ohroženost lesních pozemků těžebně-dopravní erozí byla odvozena podle metodiky ŠACHA (1988), která využívá kvantitativní i kvalitativní charakteristiky. Výpočet byl proveden v prostředí EMDS a výsledkem je mapa a tabulka rizika těžebně-dopravní eroze pro JPRL. Technologická typizace vycházela z hodnocení terénu dle předchozích kritérií. Byly zpracovány dvě varianty, ve druhé variantě byla uvažována jako omezující faktor také přibližovací vzdálenost. Při hodnocení sklonu byla využita fuzzy logika v intervale (-1, +1). Např. UKT má úplnou vhodnost při sklonu 0 až 10 %. Při sklonu 10 až 20 % je použití prostředku vhodné, ale stoupajícím sklonem se snižuje. Při sklonu 20 až 25 % je použití UKT nevhodné, ale nevylučuje se a při sklonu nad 25 % je použití této technologie nevhodné a označí se -1.

Hodnocení technologické typizace bylo provedeno v prostředí EMDS a bylo vybráno 6 možných technologií:

- a) UKT na klasických pneumatikách
- b) UKT na flotačních pneumatikách
- c) LKT na klasických pneumatikách
- d) LKT na flotačních pneumatikách
- e) lanovkové soustředování gravitační
- f) lanovkové soustředování antigravitační



DVOŘÁK et al. (2011) uvádí ucelený přehled terénních a technologických typizací v souvislosti se studií využitelnosti harvestorů v podmínkách ČR.

### 3.4 Kombinace přístupů

Přirozeným vyústěním vývoje v v hodnocené oblasti jsou pokusy o skloubení dosud uváděných přístupů do uceleného řešení. Jedno z nejkompexnější řešení spojení problematiky zpřístupňování lesů a optimalizací těžebně-dopravních technologií zpracovali TUČEK a SUCHOMEL (2003). Své dosavadní poznatky k daným tématům shrnují v práci Geoinformatika v sprístupňování lesov a optimalizácii ťažbovo-dopravných technológií – možnosti, stav a perspektívy. Hlavní východisko v přístupu autorů k navrhování či hodnocení rozmístění lesních cest je provázanost na těžebně dopravní technologie anebo prioritní vliv technologických požadavků na lokalizaci lesních cest. Hlavní tematické okruhy k dané problematice jsou dle autorů:

- a) Stanovení „optimální“ nebo „potřebné“ hustoty, resp. délky lesní dopravní sítě pro dané terénní podmínky, používané technické prostředky nebo technologie a plánovaná hospodářská opatření
- b) Návrh automatizovaného systému pro lokalizaci lesních cest, který umožní dosáhnout celkové parametry cestní sítě uvedené v bodě 1, případně splnit i další stanovená kriteria, např. dosáhnout určitou průměrnou a nepřekročit stanovenou maximální přibližovací vzdálenost
- c) Předběžné technologické ale i hlavně environmentální hodnocení nových úseků cest v konkrétních terénních a hospodářských podmínkách. Používá se při tom porovnávání více alternativ lokalizace doplňujících cest k existujícím. Pro každou variantu se vyhodnotí jednak souhrnné parametry sítě cest (teoretický rozestup, hustota apod.) a zároveň se posoudí hodnoty dosažených průměrných a maximálních přibližovacích vzdáleností celkově, stejně jako jednotlivé jednotky obhospodařování lesa, výkonnost a efektivnost předpokládaných technologií a prostředků, vlivy na přírodní prostředí, rizika sesuvů půdy, atd.
- d) Analýza kritérií ovlivňujících náklady, efektivitu a vlivy jednotlivých variant těžebně-dopravních technologií stejně jako prostředků a metod pro jejich modelování a hodnocení.

Kritéria hodnocení variant a jejich priority je možné měnit, resp. uspořádat podle povahy řešeného území (hospodářský les, chráněné území), předpokládaných technologií, použitých prostředků apod. Je možné pracovat s digitálním modelem konkrétního území a popisnými, hospodářskými údaji uloženými v GIS. Takový přístup rozšíření GIS o specifické nástroje je nejvhodnějším řešením.

Přibližovací vzdálenost je pak dle autorů jeden z nejdůležitějších parametrů pro předběžné hodnocení variant lokalizace lesních cest. Její modelování při standardním použití nástrojů GIS naráží na problémy. Proto autoři zpracovali vlastní algoritmy pro modelování traktorové a lanovkové přibližovací vzdálenosti. Navržené algoritmy umožňují pro všechny buňky rastru zájmového území modelovat hodnoty přibližovacích vzdáleností, které se způsobem svého odvození velmi blíží skutečným. Je možné volit způsob přibližování po svahu i proti svahu a hlavně zohlednit členitost terénu. V případě potřeby je možné vypočtené hodnoty ještě kalibrovat, tj. pomocí opravných koeficientů zjištěných porovnáváním modelových hodnot se skutečnými, přiblížit skutečnosti.

U problematiky kritérií pro potřeby hodnocení variant těžebně-dopravních technologií autoři uvádějí tato základní kritéria:

- a) Rizikovost technologie
- b) Energetická náročnost technologie
- c) Přímé náklady
- d) Pracnost

V případě použití metody multikriteriálního hodnocení, se k uvedeným kritériím přidávají ještě riziko vzniku úrazu, poškození a zhutnění půdy a poškození porostu a podrostu.

Pro hodnocení a plánování těžebně dopravních technologií autoři využili softwarové prostředky TVDT 2.0 (SUCHOMEL, LUKÁČ). Program umožňuje optimalizovat technologie ohraničené lokalitami pařez – odvozní místo. Algoritmus výpočtu je složený jako sled těžebních a dopravních operací na určité dráze, přičemž každá operace je určená lokalitou, prostředkem, který jí vykonává, sortimentem, resp. sortimenty z něj vzniklými. Mezi jednotlivými variantami je možné uskutečnit výběr na základě multikriteriální analýzy nebo rozhodnutí nechat na uživateli.

Druhý software, který autoři využili pro hodnocení a plánování těžebně dopravních technologií byl SW Náklady a výnosy LHP (Fabrika), který slouží pro výpočet nákladů jednotlivých těžebních technologií. Algoritmus řeší výpočet přímých nákladů na těžbu, soustředování, manipulaci, zalesňování, prořezávky, probírky a ostatní činnosti v závislosti na použitých metodách a postupech. Výpočet vychází z platných norem, spotřebních norem a stanovených mzdových tarifů. Software je zároveň propojený na údaje lesního hospodářského plánu (LHP) a umožňuje výpočet nákladů pro předpis stanovený v hospodářské knize LHP.

V oblasti terénní a technologické typizace autoři doporučují využít systém Ecosystem Management Decision Support (EMDS). Ten se dodává na nekomerční bázi jako rozšíření ArcView, kde lze dále ještě využít nadstavby 3D a Spatial Analyst. EMDS je založený na znalostní bázi, která využívá fuzzy logiku, síťovou architekturu a objektový přístup.

DUCHEYNE et al. (2006) navrhli systém pro podporu prostorového rozhodování pro optimalizaci lesního hospodaření na bázi propojení nástrojů GIS a genetického algoritmu.

## 4. Experimentální území

### 4.1. Popis experimentálního území

Jako experimentální území bylo zvoleno území ve správě Lesů ČR s. p. LS Janovice v horní části povodí řeky Oskavy. Data pro účely zpracování disertační práce přímo poskytl státní podnik Lesy České republiky.

Plocha lesa ve vybraném území se dělí mezi dvě Přírodní lesní oblasti. Větší část (76 %) náleží do Přírodní lesní oblasti 28 Předhoří Hrubého Jeseníku, zbylá část (24 %) náleží do Přírodní lesní oblasti 29 Nízký Jeseník. Území je na severovýchodě ohraničeno státní silnicí č.11 Šumperk – Rýmařov, na severozápadě a západě hranicí majetkové držby, na jihu a východě je hranice tvořena hranicí lesa. Víceméně souvislá plocha lesa v experimentálním území má celkovou výměru 3660 ha. Nadmořská výška území se pohybuje v rozmezí od 340 do 960 m n. m.

Vhodnost daného území pro multikriteriální hodnocení šetrných přibližovacích technologií je dána jeho velkou geomorfologickou variabilitou, vysokou lesnatostí a pestrým zastoupením lesních typů. Celkem je zastoupeno 65 lesních typů v 16 edafických kategoriích, a to včetně svahových lesních typů.

### 4.2. Geologie

Celá oblast zájmového území patří do soustavy Českého masivu, moravskoslezské oblasti, regionu silezikum a jednotky desenská skupina. Významný geologický předěl tvoří říčka Oskava. Ve východní části zájmového území až po říčku Oskavu převládají metamorfované horniny mylonity a v menší míře porfyroidy. V západní části se nejčastěji střídají metamorfované horniny fylity s kvarcity a metakonglomeráty. Od Václavova směrem přes Třemešek vybíhá pás zelených břidlic. Poslední nejvíce zastoupenou horninou jsou fylonity, které se vyskytují hlavně v oblasti od vrchu Jestřábu přes Rabštejn až po vrch Mazance a dále SZ od obce Mladoňov.

### 4.3. Geomorfologie

Podle geomorfologického členění se 89 % plochy lesa v zájmovém území nachází v geomorfologickém celku Hanušovická vrchovina, podcelku Hraběšická hornatina, 10,5 % v geomorfologickém celku Nízký Jeseník, podcelku Bruntálská

vrchovina a necelé půl procenta leží v geomorfologickém celku Hrubý Jeseník, podcelku Pradědská hornatina. Všechny geomorfologické celky patří k systému Hercynskému, subsystému Hercynská pohoří, provincii Česká vysočina, subprovincii Krkonoško-jesenická a oblasti Jesenické.

#### **4.4. Klima**

Na základě Makroklimatické a mezoklimatické regionalizace ČR, kterou zpracoval QUITT (1992) z podkladů II. klimatického normálu 1961-1990, patří 70 % plochy lesa v zájmovém území do makroklimatického regionu B, 26 % do makroklimatického regionu F a 4 % do makroklimatického regionu N.

V makroklimatickém regionu B se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -3 až -4 °C a v červenci mezi 15 až 16 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 50 až 60. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 500 až 600 mm a v zimním období mezi 350 až 400 mm.

V makroklimatickém regionu F se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -2 až -3 °C a v červenci mezi 16 až 17 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 30 až 40. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 350 až 450 mm a v zimním období mezi 250 až 300 mm.

V makroklimatickém regionu N se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -4 až -5 °C a v červenci mezi 14 až 15 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 60 až 80. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 600 až 700 mm a v zimním období mezi 400 až 500 mm.

#### **4.5. Hydrologie**

Celá oblast zájmového území patří do povodí Černého moře. Hlavním tokem je říčka Oskava pramenící pod sedlem Skřítek. Jejími hlavními přítoky jsou Oslava, pramenící mezi Rýmařovem a Horním Městem, Huntava, pramenící nad Horním Městem a Mladoňovský potok. Dále do říčky Oskavy ústí celá řada menších potoků. Mezi významnější z nich patří levostranné přítoky Zlatý potok, Dobřečovský potok a Březový potok a pravostranné přítoky Dlouhý potok a Václavovský potok.

## 4.6. Pedologie

Vlastnosti půd se liší podle petrografického složení hornin, polohy v terénu, ovlivnění vodou a klimatem. Převažují mezotrofní hnědé lesní půdy, hlinitopísčité až písčitohlinité s různou příměsí skeletu. Na obtížněji zvětrávajících horninách a v exponovaných polohách jsou časté méně vyvinuté kamenité mezotrofní hnědé půdy s přechody k rankeru. Oglejené hnědé lesní půdy se vyskytují v různých nadmořských výškách jako důsledek zadržování srážkové vody neprostupným podložím.

## 4.7. Vegetační stupňovitost

Plošné zastoupení lesních vegetačních stupňů v experimentálním území dle platných Oblastních plánů rozvoje lesů je uvedeno v následující tabulce (Tab.7).

Tab.7 Lesní vegetační stupně

LVS	Plocha [ha]	%
3	476	13
4	808	22
5	1827	50
6	549	15

## 4.8. Zpřístupnění lesních porostů

Experimentální území je s ohledem na členitost terénu dobře zpřístupněné pomocí odvozních cest. Hustota lesních odvozních cest je pro dané experimentální území je 19,7 m.ha<sup>-1</sup>. BENEŠ (1986) doporučuje pro pahorkatiny hustotu lesních odvozních cest 22 m.ha<sup>-1</sup> a pro horské terény s příznivými terénními podmínkami 19 m.ha<sup>-1</sup>. Experimentální území zahrnuje oba zmíněné útvary a lze tedy konstatovat, že hustota lesních odvozních cest se blíží optimu.

## 5. Metodika

Pro vytvoření modelu multikriteriálního hodnocení šetrných přibližovacích technologií byla vybrána aktuální verze softwaru ESRI ArcGIS Desktop, verze 10.1. Tento software pokrývá veškeré požadavky na jednotné zpracování multikriteriálního hodnocení včetně statistického vyhodnocení a prezentace dat.

Na základě provedené rešerše odborné literatury a to s ohledem na cíl práce vytvořit dynamický univerzální systém, který by byl po ověření použitelný pro celé území České republiky, byly vybrány vstupní parametry, pro které existuje celorepubliková digitální vrstva nebo lze tyto parametry odvodit z existujících digitálních vrstev. Na základě těchto podmínek byly vybrány následující parametry:

- 1) Terénní podmínky
  1. Sklon terénu
  2. Tvar terénu (rovný, konvexní, konkávní, kombinovaný)
  3. Výskyt překážek (včetně singularit)
- 2) Půdní vlastnosti
  1. Únosnost půdy
  2. Riziko vzniku těžebně-dopravní eroze (TDE)
- 3) Porost
  1. Dřevina
  2. Věk
  3. Zakmenění
- 4) Technologie
  1. Svahová dostupnost
  2. Měrný tlak ve stopě
  3. Světlost
  4. Přibližovací a vyvážecí vzdálenost a směr přibližování na odvozní místo

U zvolených přibližovacích technologií budou pro jednotlivé vybrané parametry stanoveny intervaly vhodnosti, s ohledem na šetrnost jejich použití. Jednotlivé intervaly budou mít následující členění:

- 1) úplně vhodný
- 2) vhodný
- 3) nevhodný - nevylučuje se
- 4) nevhodný

Pro danou přibližovací technologii nebudou mít všechny vstupní parametry stejnou váhu. Například pro univerzální kolový traktor (UKT) bude mít větší vliv sklon svahu než přibližovací vzdálenost.

Pro porovnání významnosti jednotlivých parametrů a následné odvození váhy každého parametru pro určitý druh přibližovací technologie bude použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků (SAATY, 1977). Saatyho matice (resp. matice relativních důležitostí) je sestavena na základě párového porovnání vždy dvou parametrů proti sobě. Výsledkem porovnání je ohodnocení poměru jejich důležitosti zlomkem, kde číselník a jmenovatel jsou celá čísla v rozsahu 1 až 9. Tato čísla vyjadřují stupeň preference.

- 1      Rovnocenné
- 3      Slabá preference
- 5      Silná preference
- 7      Velmi silná preference
- 9      Absolutní preference

Při porovnávání dvou kritérií hodnotitel porovnává významnost kritéria v řádku proti významnosti kritéria ve sloupečku. V případě potřeby jemnějšího členění preferencí je možné použít i sudé mezihodnoty (2, 4, 6, 8). Pokud je kritérium v řádku významnější než kritérium ve sloupečku, je v řádku zapsáno celé číslo podle síly preference. V opačném případě je do řádku zapsána převrácená hodnota vybrané síly preference. Příklad je uveden v následující tabulce.

**Tab.8 Saatyho matice - příklad**

Kritérium	K1	K2	K3	Geometrický průměr	Váha
K1	1	3	5	2,46	<b>0,55</b>
K2	1/3	1	2	0,87	<b>0,19</b>
K3	1/5	1/2	1	1,19	<b>0,26</b>
Součet				4,52	1

STAMPFER a LEXER (2001) využili Saatyho matici pro multikriteriální vyhodnocení těžebně dopravních systémů v probírkových porostech na strmých svazích. Pro porovnání vybrali dvě alternativy. První alternativa byla těžba horským harvestorem a přibližování lanovkou, druhá alternativa těžba motorovou pilou a přibližování, odvětvení a krácení horským procesorem. Autoři vybrali tato vstupní



kritéria pro hodnocení: směr přibližování, zdravotní rizika obsluhy a škody na porostech a půdě. V své práci uvádí i další autory, kteří použili tuto metodu hodnocení v souvislosti s těžebními technologiemi, např. KANGAS (1993), KANGAS a KUUSIPALO (1993) nebo VACIK a LEXER (2001).

Výsledná váha pak bude sloužit k objektivizaci hodnot jednotlivých faktorů (hodnota x váha). Pro každou definovanou přibližovací technologii vznikne samostatná vrstva, kde budou na základě součtu vážených hodnot, zařazeny jednotlivé porostní skupiny do jedné z kategorií vhodnosti použití.

**Tab.9 Kategorie vhodnosti použití**

Kategorie	Popis
do 1,50	úplně vhodná
1,51 - 2,50	vhodná
2,51 – 3,50	nevhodná (nevylučuje se)
nad 3,50	nevhodná

## 5.1. Terénní podmínky

Jsou významným limitujícím faktorem pro volbu vhodné přibližovací technologie, a to s ohledem na technické parametry jednotlivých strojů. Využitím digitálního modelu terénu, lze jednotlivé rozhodující parametry terénu více či méně přesně modelovat a využít je pro multikriteriální analýzu.

### 5.1.1 Digitální model terénu

Digitální model terénu je nedílnou součástí všech posledních prací zabývajících se tématikou výběru vhodné přibližovací technologie. Liší se ale kvalita použitých DMT, která závisí na metodě, kterou byl vytvořen a velikost pixelu u rastrových DMT.

Optimalizací tvorby DMT pro jeho použití v lesnictví se v České republice zabýval KLIMÁNEK (2006), který na vybraném experimentálním území testoval 3 zdroje vrstevnicových dat a existující algoritmy tvorby DMT v dostupných softwarových nástrojích umožňujících tvorbu DMT. Jako nejlepší zdroj dat pro tvorbu DMT vyhodnotil pro území České republiky vrstevnicová data ze Základní báze geografických dat (ZABAGED). Při hodnocení algoritmů, pak uvádí výhody a nevýhody jednotlivých druhů algoritmů. Algoritmy využívající nepravidelnou trojúhelníkovou síť (TIN) jsou velmi vhodné z důvodu možnosti zohlednit singularity terénu v podobě povinných hran, ale není zde možné interpolovat lokální maxima a

minima. V případě, že chybí výškové kóty, pak nelze vytvořit spolehlivý DMT. Při použití algoritmů využívajících definovaných funkcí, lze minimalizovat chyby v interpolaci chybějících lokálních minim a maxim, ale není zde možné modelovat singularity. Ty jsou však z pohledu volby vhodné přibližovací technologie významné.

Z výše uvedených důvodů byla pro účely práce vybrána jako zdrojová data vrstevnicová data ZABAGED s intervalem vrstevnic 2 m a na menší části území s intervalem 5 m a tvorba DMT ve struktuře TIN v ESRI ArcGIS. Kromě vrstevnic byly použity i další vrstvy: výškové body, hrany, stupně, cesty a vodní plochy. Během terénního průzkumu byly zaměřeny singularity a lokální maxima a minima pomocí přístroje GPS Trimble Geo XT 2008. Tato data byla po postprocesingovém zpracování použita jako další vstupní vrstvy pro zpřesnění DMT. Pro následné použití v modelu byl DMT převeden ze struktury TIN do rastru s rozlišením 5 m.

### **5.1.2 Sklon terénu**

Sklon terénu je limitujícím faktorem z pohledu svahové dostupnosti jednotlivých přibližovacích technologií. Většina autorů vybere vzorové, v daných podmínkách nejvíce používané přibližovací technologie, a u nich pak stanoví konkrétní hodnotu mezního sklonu terénu, která je brána jako nepřekročitelná.

KÜHMAYER a STAMPFER (2010) se ve své práci zabývají vytvořením vícefaktorového podpůrného prostorového rozhodovacího systému pro výběr vhodného technologického těžebního postupu. U sklonu, jako limitujícího faktoru, rozlišují pouze dvě mezní hodnoty. Pro kolové prostředky je jako mezní hodnota použití stanoven sklon 30 % a pro pásové prostředky sklon 60 %.

MARCHI, SPINELLI a MONTORSELLI (2009) člení terén ve své práci do následujících kategorií. Do 40 % vylišují terény vhodné pro UKT. Při sklonech terénu 41 až 60 % doporučují využití lesních kolových traktorů (LKT), lanovky nebo skluzu a v terénech nad 60 % pak použití lanovky nebo skluzu.

ULRICH (2006) ve své práci o možnostech uplatnění sortimentních technologií ve správě LČR uvádí pro kolové harvestory mezní sklon v podélném směru 45 %, pro pásové pak 70 %. Příčný sklon by neměl přesáhnout 15 %, jiní autoři uvádějí pouze 10 %. U vyvážecích traktorů pak uvádí, že přípustný sklon je nižší, vzhledem k větší výšce jejich těžiště.

NERUDA et al. (2008) pak uvádí mezní hodnoty pro kolové harvestory v podélném směru 25 až 50 % v závislosti na stavu povrchu půdy. Při sklonech nad 50 % je nutné použít kolopásky nebo pásovou či kombinovanou variantu podvozku. Při pojíždění napříč svahem (příčný sklon) je mezní stabilita kolového harvestoru do sklonu svahu 10 % u čtyřkolových typů a maximálně 15 % u šestikolového typu podvozku. Dále uvádí, že některé moderní harvestory jsou vybaveny stabilizačním navijákem, s jehož pomocí mohou na suché půdě zvládnout i obousměrný pojezd na svazích kolmo na vrstevnice, i ve sklonech blízcích se 70 %. Pro forwardery pak uvádí mezní podélný sklon 40 až 45 %.

JANEČEK a kol. (2002) v rámci technického projektu zabývajícího se optimalizací technických a technologických parametrů těžebně dopravních systémů z hlediska těžebně dopravní eroze člení sklon terénu na čtyři kategorie. První kategorie do 10 % je vymezena pohybem kolové techniky všemi směry. Ve druhé kategorii 11 – 22 % může UKT přibližovat po spádnici. Ve třetí kategorii 21 – 33 % může LKT přibližovat po spádnici a poslední kategorie nad 34 % je určena pro lanovkové přibližování dříví. Toto členění je podobné členění sklonu terénu podle metodiky terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993), kde je však vylišeno 6 kategorií sklonu terénu: do 10 %, 11 - 20 %, 21 - 33 %, 34 - 50 %, 51 - 70 % a nad 70 %.

SÁČKOV (2007) navrhl generátor terénní a technologické typizace pro podmínky Slovenska. Terén člení do čtyř kategorií : do 20 %, 21 - 40 %, 41 – 50 % a nad 50 %. Přibližování pomocí UKT a koně navrhuje pro průchodné terény se sklonem do 40 % při výchovných těžbách nebo při obnovních těžbách podrostním hospodářským způsobem. Přibližování pomocí LKT navrhuje pro průchodné terény se sklonem do 50 % a to především u holosečného hospodářského způsobu. U podrostního hospodářského způsobu je použití LKT vhodné v kombinaci s jiným prostředkem, který provede vyklizení k lince. Lanovky pak doporučuje pro neprůchodné terény se sklonem nad 51 %, stejně jako ruční vyklizování, kde však jako limitující uvádí maximální vzdálenost 200 metrů.

Lesy Slovenskej republiky (ANONYM, 2010a) ve své normě upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií vylišily pro UKT, LKT, harvestory a forwardery (HF) a lanovky níže uvedené kategorie sklonu svahu:

Tab.10 Kategorie sklonu terénu – Lesy SR, š. p.

	Sklon terénu v %			
	úplně vhodný	vhodný	nevhodný (nevyklučuje se)	nevhodný
<b>UKT</b>	0-10	10-20	20-25	nad 25
<b>LKT, HF</b>	0-25	25-40	40-50	nad 50
<b>lanovky</b>	bez omezení			

Stejně členění sklonu svahu využívají ve své práci i SLANČÍK et al. (2008), ale použili při hodnocení sklonu fuzzy intervaly (-1,+1). Porovnávají 6 variant přibližovacích technologií založených na UKT, SLKT a lanovce. Například UKT má úplnou vhodnost při sklonu 0 až 10 %. Při sklonu 10 až 20 % je použití prostředku vhodné, ale stoupajícím sklonem se snižuje. Při sklonu 20 až 25 % je použití UKT nevhodné, ale nevyklučuje se a při sklonu nad 25 % je použití této technologie nevhodné a označí se -1. Sklon je vypočítán jako mediánová hodnota pro každou jednotku prostorového rozdělení lesa.

V práci bude použit postup výše zmíněných autorů. Na základě DMT ve formě rastru s rozlišením 5 m budou pro jednotlivé porostní skupiny vypočítány hodnoty sklonu terénu. Pro vybrané přibližovací technologie budou vytvořeny intervaly vhodnosti použití, a to ve členění: úplně vhodné, vhodné, nevhodné (nevyklučuje se), nevhodné. Tyto intervaly budou vytvořeny i pro vyvážecí soupravy (na úrovni UKT) a forwardery, které jsou v podmínkách České republiky stále více využívány v souvislosti s rozvojem sortimentních technologií a ve výše uvedené práci nebyly uvažovány.

### 5.1.3 Tvar terénu

Základní tvary terénu jsou rovný, konvexní, konkávní a kombinovaný. Ve vertikálním směru je tvar terénu významným faktorem, který ovlivňuje stavbu a použití lanových dopravních zařízení (LDZ). V případě rovného terénu je potřeba použít více polí než u konkávního nebo kombinovaného (konkávně-konvexního). Nejnáročnější je stavba LDZ u konvexního terénu, kdy je potřeba postavit více krátkých polí.

Při použití vyvážecí soupravy nebo forwarderu může být výrazně konkávní nebo konvexní terén limitujícím faktorem s ohledem na celkovou délku stroje. Pro UKT a LKT je při přibližování proti svahu výhodnější konvexní tvar svahu než konkávní.

Tvar terénu bude v práci vyhodnocen pomocí algoritmu „Curvature“, který je dostupný v SW ArcGIS, ve funkcích Spatial analyst. V něm je možné na základě

vstupního DMT ve formě rastru vyhodnotit tvar terénu ve směru sklonu svahu (out\_profile\_curve\_raster), kdy záporná hodnota udává, že terén je v dané buňce vzestupně konvexní a kladná hodnota, že terén je v dané buňce vzestupně konkávní. Hodnota nula indikuje lineární povrch. Vrstva zakřivení terénu bude dále pomocí statistických charakteristik ve funkci "Zonal Statistics" reklasifikována tak, aby každá porostní skupina měla pouze jeden převládající tvar terénu: rovný, konvexní, konkávní, kombinovaný.

#### **5.1.4 Výskyt překážek a singularit**

V zahraničních publikacích se nejčastěji uvádí „drsnost“ povrchu. OWENDE et al. (2002) klasifikují překážky v terénu podle NSR klasifikace. Mezní hodnoty velikosti překážek jsou: 20 cm, 40 cm, 60 cm a 80 cm. Průměrná vzdálenost překážek pak počítá s mezními hodnotami 1,6 m, 5 m a 16 m. Na základě kombinací těchto dvou údajů (výška překážek a průměrná vzdálenost překážek) je definováno 5 kategorií drsnosti.

Základním zdrojem informací v České republice o výskytu možných překážek v lesích jsou lesní typy a v nich obsažené edafické kategorie. Lesní typy byly vymezeny na základě podrobného terénního průzkumu a charakterizují konkrétní stanovištní podmínky i polohu v terénu. Využití leteckého laserového skenování pro identifikaci překážek a singularit pod lesním porostem je zatím ve fázi testování a ověřování v rámci tvorby Digitální modelu reliéfu České republiky 4. generace (DMR4G), který byl uveden na trh na začátku roku 2014 a od tohoto roku bude také průběžně aktualizován. Nadmořská výška ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání je u DMR4G odvozena s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.

Klasifikace výskytu překážek v závislosti na edafických kategoriích bude pro účely práce převzata z metodiky terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993). Autoři ve své práci rozdělují edafické kategorie podle velikosti možných překážek na dvě skupiny. První skupina zahrnuje edafické kategorie M, K, S, B, C, I, H, O, D, L, P, Q, V, U, T, G, R na kterých se vyskytují překážky do velikosti 30 cm. Druhá skupina zahrnuje edafické kategorie X, Z, N, W, A, na kterých se vyskytují překážky o velikosti 30 až 50 cm. U edafické kategorie A a N je možný výskyt i překážek nad 50 cm nebo překážek 30 až 50 cm ve vzdálenosti kratší než 5 metrů. Proto byly tyto edafické kategorie v zájmovém území ověřeny během terénního průzkumu a případně rozděleny na více částí podle skutečné velikosti překážek nebo jejich

vzdálenosti. Jako terény s výskytem překážek nad 50 cm nebo s překážkami 30 až 50 cm ve vzdálenosti kratší než 5 m budou do analýzy zahrnuty edafické kategorie Y (skeletová) a J (suťová – obohacená humusem). Dále budou do vrstvy překážek na základě terénního průzkumu zahrnuty vybrané části edafických kategorií A (kamenitá – obohacená humusem) a N (kamenitá - kyselá).

Singularity, lokální maxima a lokální minima, byly zaměřeny během terénního průzkumu pomocí přístroje GPS Trimble Geo XT 2008 a následně zpracovány postprocesingem. Během terénního průzkumu bylo také ověřeno využití svahových lesních typů K9, S9, M9, B9, C9 a H9 k vymapování singularit. Na hranicích těchto lesních typů totiž dochází k náhlým změnám terénu.

## **5.2. Půdní vlastnosti**

Z pohledu půdních vlastností je pro výběr vhodné přibližovací technologie, která nezpůsobí významné škody na půdním povrchu, rozhodující únosnost půdy a riziko vzniku těžebně-dopravní eroze.

### **5.2.1 Únosnost půdy**

Únosnost půdy je schopnost půdy odolávat účinkům vnějších sil, které v ní způsobují trvalé nebo přechodné deformace. Opakovanými přejezdy těžebně dopravních strojů dochází ke zhutnění půdy, které ovlivňuje vodní režim půdy i produkční potenciál.

OWENDE et al. (2002) v rámci projektu ECOWOOD klasifikuje půdy podle únosnosti na půdy s nízkou únosností (< 40 kPa), půdy se střední únosností (40 – 80 kPa) a půdy s vysokou únosností (nad 80 kPa). Půdy klasifikuje na základě 3 parametrů: cone index (CI), smykové síly a deformačního modulu (E). Všechny tři veličiny se dají měřit přímo v terénu pomocí přenosného zařízení.

VAVŘÍČEK (in NERUDA et al. 2011) hodnotí únosnost půdy podle vytlačené stopy jednorázového pojezdu speciálního lesnického traktoru LKT 80 s měrným tlakem ve stopě 200 kPa. Únosnost je vyhodnocována při běžné vlhkosti třídy mírně vlhkých půd (p-hp = 4 - 8 %, ph-h = 8 - 15 %, jh-j = 15 - 25 %) i půdy stejného stanoviště

ovlivněného atmosférickými srážkami s třídou mokrých půd (p-hp = 18 - 30 %, ph-h = 35 - 45 %, jh-j = 45 - 55 %).

Pro únosnost půdy pak vylíčil 5 stupňů rezistence půdně taxonomických jednotek zohledňující konzistenci a dočasné hydrické ovlivnění (Tab. 11).

Tab.11 Stupně únosnosti půd (Vavříček, 2011)

STUPEŇ REZISTENCE	ÚNOSNOST PŮDY	DEFINICE - hloubka stopy LKT, konzistence	PŮDNĚ TAXONOMICKÉ JEDNOTKY
1	<b>extrémně nízká</b>	> 35 cm, nesoudržná, silně drobná, kašovitá	Organosoly, Glejosoly
	sucho - 30-50 kPa vlhko - 5-12 kPa		
2	<b>velmi nízká</b>	26-35 cm, drobná, jíly, hlíny, velmi měkká až mazlavá za vlhka	Stagnosoly, glejové subtypy
	sucho - 51-140 kPa vlhko - 13-22 kPa		
3	<b>snížená</b>	16-25 cm, mírně ulehlá těžko rýpatelná, hlíny, písčité jíly, měkká za vlhka	oglejené subtypy Kambisolů, Luvisolů, Fluvisoly
	sucho - 141-300 kPa vlhko - 18-50 kPa		
4	<b>mírně snížená</b>	7-15 cm, ulehlá, středně tvrdá, těžko rýpatelná, tuhá ponechává tvar, písčité hlíny, za vlhka mírný otěr	suchá až mírně vlhká stanoviště Kambisolů, koluvizemě, Luvisolů, Regosolů, Černosoly
	sucho - 301-600 kPa vlhko - 51-80 kPa		
5	<b>únosná</b>	do 7 cm, pevná, tvrdá, tuhá, skeletnatá, (štěrk, kámen)	Podzosoly, Leptosoly, rankerové subtypy
	sucho - > 600 kPa vlhko - 81-120 kPa		

Vrstva stupňů únosnosti půd bude vytvořena odvozením od vrstvy lesních typů, kdy každému lesnímu typu nebo souborů lesních typů bude přiřazen převládající půdní typ, na základě kterého bude odvozen příslušný stupeň rezistence.

### 5.2.2 Riziko vzniku těžebně-dopravní eroze

VAVŘÍČEK (in NERUDA et al. 2011) hodnotí riziko vzniku těžebně dopravní eroze pomocí indexu rezistence lesních půd. Ten je založen na 6 kritériích, které mohou nabývat stupeň rezistence 1 až 5, kdy číslo 1 reprezentuje minimální rezistenci k erozi a číslo 5 naopak maximální rezistenci k erozi v souvislosti s těžbou v lesních ekosystémech. Mezi vybraná kritéria patří únosnost půdy, erodovatelnost, obsah skeletu v profilu, sklon svahu, délka svahu a pokryvnost.

Index půdní rezistence k těžebně dopravním procesům  $I_{op}$  se stanoví z poměru sumy skutečných hodnot jednotlivých parametrů určených z tabulkového bodového systému na stanovišti  $I_{skut.}$  k maximálně možnému počtu bodů  $I_{max.}$  (při 6-ti tabulkách je to  $6 \times 5=30$  bodů).

$$I_{op} = I_{skut.} / I_{max.}$$

Výsledný index pak může nabývat následujících hodnot:

- |                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Velmi silně rezistentní        | $I_{op} = (1,00 , 0,90>$ |
| 2. Silně rezistentní              | $I_{op} = (0,90 , 0,75>$ |
| 3. Rezistentní                    | $I_{op} = (0,75 , 0,50>$ |
| 4. Odolností silně riziková       | $I_{op} = (0,50 , 0,35>$ |
| 5. Odolností velmi silně riziková | $I_{op} = (0,35 , 0,20>$ |

Z pohledu hodnocení rizika vzniku těžebně-dopravní eroze na větších územních celcích je problematické především stanovení obsahu skeletu v profilu a pokryvnosti. Bez detailního průzkumu celé lokality není možné hodnocení těchto dvou veličin objektivně provést. Metoda je naopak vhodná pro menší území, kde je možné pomocí zákopků a půdních sond ověřit proměnlivost půdních typů a obsah skeletu.

Obdobný způsob hodnocení pro odhad rizika těžebně-dopravní eroze, postavený ale na vyhodnocení 9 charakteristik, prezentoval ŠACH a ČERNOHOUS (2009). Vybrané charakteristiky byly vybrány na základě testování a jsou bodově hodnoceny od 0 (maximální odolnost k erozi) až po nejvyšší hodnotu (maximální náchylnost k erozi), která nabývá pro jednotlivé charakteristiky rozdílných hodnot. Výpočet indexu erozní ohroženosti se následně provede pomocí níže uvedeného vzorce:

$$I_{oe} = S_u / S_m$$

$I_{oe}$  ... index erozní ohroženosti

$S_u$  ... suma bodů získaných hodnocením konkrétní lokality

$S_m$  ... suma nejvyššího bodového hodnocení použitých charakteristik

Jako vstupní charakteristiky byly vybrány následující faktory:

- sklon svahu - max. hodnota 5 bodů
- délka svahu - max. hodnota 3 body
- pokrytí povrchu půdy přizemní vegetací - max. hodnota 3 body



- hloubka půdy - max. hodnota 2 body
- textura jemnozeme - max. hodnota 3 body
- obsah skeletu v půdě - max. hodnota 3 body
- průměrný roční režim půdní vlhkosti - max. hodnota 5 bodů
- rozpojitelnost zeminy - max. hodnota 4 body
- únosnost terénu - max. hodnota 5 bodů

Suma nejvyššího bodového hodnocení použitých charakteristik  $S_m$  je rovná 33.

Na základě výsledného indexu erozního ohrožení  $I_{oe}$  je pak klasifikována ohroženost erozí při hospodářské činnosti v lese pěti stupni:

1. velmi slabá	$I_{oe} \leq 0,20$
2. slabá	$I_{oe} = 0,21 - 0,35$
3. střední	$I_{oe} = 0,36 - 0,50$
4. silná	$I_{oe} = 0,51 - 0,70$
5. velmi silná	$I_{oe} > 0,70$

Pro každý stupeň je navržen obnovní postup, technologie těžby a technologie soustředování dřeva.

Z pohledu hodnocení rizika vzniku těžebně-dopravní eroze na větších územních celcích je stejně jako u předchozí metodiky problematické především stanovení obsahu skeletu v profilu, stavu zabuřnění, hloubky půdy, rozpojitelnosti zeminy a pokryvnosti. Bez detailního průzkumu celé lokality není možné hodnocení těchto veličin objektivně provést. Metoda je naopak vhodná pro menší území, kde je možné pomocí zákopků a půdních sond ověřit proměnlivost půdních typů a jejich charakteristik.

V práci bude použita metoda MACKŮ (2000) vytvořená v rámci projektu VaV/640/3/00 Systému komplexního hodnocení lesních půd. Tato metoda byla ověřena a využita v projektu ILUP Pomoraví zpracovaného v rámci programu INTERREG IIIB – CADSES (2002 – 2006). Dále byla tato metoda začleněna do oficiální metodiky Ministerstva životního prostředí s názvem „Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření“ a byla publikována ve Věstníku MŽP v roce 2008.

Odolnost proti těžebně dopravní erozi je hodnocena ve dvou stupních. Jako první se odvodí vrstva potenciální těžebně dopravní eroze (Tab. 12). Základní hodnotící jednotkou je půdní typ na úrovni subtypu. Každému souboru lesních typů (SLT) odpovídá převládající půdní subtyp. Příbuzné soubory lesních typů jsou dále agregovány do cílových hospodářských souborů (CHS), ve kterých jsou odlišeny hlavní

porostní typy. Cílové hospodářství, dle přílohy č.4 Vyhlášky č. 83/1996 Sb., bylo podrobněji uspořádáno do strukturovaných hospodářských souborů s cílem přesnější determinace přírodních podmínek. Např. cílové hospodářství 13 Přirozená borová stanoviště, lze vymežit podrobněji na dílčí cílového hospodářství 13a (SLT 0M, 0K), 13b (SLT 0N) a 13c (SLT 1M). Každému takto vymezenému dílčímu cílovému hospodářství je na základě převládajících půdních subtypů přiřazen jeden z pěti stupňů odolnosti proti těžebně dopravní erozi.

Číselné označení stupňů odolnosti a jejich popis je následující:

- 1 - velmi nízká odolnost
- 2 - nízká odolnost
- 3 - průměrná odolnost
- 4 - vysoká odolnost
- 5 - mimořádná odolnost

**Tab.12 Potenciální odolnost proti těžebně dopravní erozi (Macků, 2000)**

CHS	SLT	STUPEŇ	CHS	SLT	STUPEŇ
13a	0M 0K 0Q 0C 0O 0P	5	53	5-6K 5-6I 6M	5
13b	0N	4	55	5-6S 5-6B 5-6H 5-6D	4
13c	1M	3	57a	5-6V 5-6O	3
19a	1L 2L 1U	3	57b	5-6P 6Q	3
19b	3U	4	59a	2-6G 3-6V9 1T9	3
21a	1-2N 2M9 2K9	3	59b	4R 6R	2
21b	1-2A 1-2C 2S9 2B9	2	71a	7N 7K9 7M9	2
23a	1-2K 1-2I 2-4M	5	71b	7A 7F 7S9	1
23b	1-2S	5	73	7K 7I 7M	2
25a	1-2B 1-2H 1-2D 1-2W	4	75	7S 7B	4
25b	1-2V 1-2O	4	77	7V 7O 7P 7Q	3
27a	1P 1Q	2	79a	6-8T 7-8G 7V9 8V 8Q	3
27b	2-3P 2-5Q	2	79b	7R	2
29a	1G 1T	2	01a	0X 0Z	1
29b	3L 5L	3	01b	1-2X 1-2Z	1
31a	3-5A9	3	01c	3-4X 3-4Z 3-4Y	1
31b	3-5C	3	01d	5-6Z 0Y 5-6Y	1
35	3-5W	4	01e	7Z 7-8Y	1
39a	0T 0G 2-5T	2	01f	1J	1
39b	3R 5R	2	01g	3-5J	1
41a	3-4N 3-4K9 5M9	2	01h	6L	4
41b	3-4A 3-4F 3-4S9 3-4B9	1	01i	0R	2
43a	3-4K 3-4I	5	01j	8R	2
43b	5M	5	01k	9R	2
45	3-4S 3-4B 3-4H 3-4D	4	02a	8N 8M 8K 8S 8F 8A	2
47a	3-4V 3-4O	3	02b	8Z	2
47b	4P	3	03	9Z 9K	2
51a	5-6N 5-6K9 6M9	1			
51b	5-6A 5-6F 5-6S9 5-6B9	1			
51c	5U	3			

Ve druhém kroku se potenciální těžební eroze přepočítá pomocí váhy redukčního faktoru na reálnou těžební erozi. Pro stanovení váhy redukčního faktoru se nejprve musí podle procentického zastoupení jehličnanů a listnáčů v každé porostní skupině určit odpovídající kumulovaný porostní typ KPT (Tab. 13).

**Tab.13 Vymezení kumulovaných porostních typů KPT (Macků, 2000)**

KPT	Popis	% smíšení
<b>P</b>	PURE (čistý)	≥ 91
<b>D</b>	DOMINANT (dominantní)	61 - 90
<b>F</b>	FIFTY-FIFTY (50:50)	41 - 60
<b>M</b>	MINOR (minoritní)	≤40

Pokud jehličnaté dřeviny označíme písmenem J a listnaté písmenem L, mohou nastat následující kombinace (Tab. 14).

**Tab.14 Kombinace KPT (Macků, 2000)**

<b>JEHLIČNATÉ (J)</b>		<b>LISTNATÉ (L)</b>	
<b>PJ</b>	čistě jehličnatý	<b>PL</b>	čistě listnatý
<b>DJ</b>	dominantně jehličnatý	<b>DL</b>	dominantně listnatý
<b>FF</b>	napůl jehličnatý	<b>FF</b>	napůl listnatý

Redukční faktory jsou pak vymezeny na základě strukturovaného hospodářského souboru, SLT a kombinace KPT dle následující tabulky (Tab. 15).

Tab.15 Vymezení redukčních faktorů (Macků, 2000)

HS	SLT	PJ	PL	DJ	DL	FF
13	0M 1M 0C 0K	2	4	1	3	2
	0Q 0P 0O	4	2	3	1	2
19	1-2L 1U ( 3L 5L )	5	1	4	2	3
	3U	5	1	4	2	3
21	1-2N 1-2C (3C) 3-4N 1-2A	4	2	3	1	2
	EXP.2-4M 2K 2S 2B 2D	4	2	3	1	2
23	1-3K 1-3I 2-4M (1-2S 1-3C 5M)	4	2	3	1	2
25	1-2H 1-2B 1-2D 1-2S 1-2W (1-2V 1-2O)	5	1	4	2	3
27	1-3P 1-5Q (0P 0Q 0O)	4	1	3	1	2
29	1T 1G	5	1	4	2	3
	3L 5L	4	1	3	1	2
31	3-5C (3-5A 3-5W)	4	1	3	1	2
35	3-5W	4	1	3	1	2
39	0T 2T 5T (6T) 0G 3R 5R	3	3	2	2	1
41	3-4N 3-4A	4	1	3	1	2
	EXP.3-4K 3-4S 3-4B 3-4D 3-4F	4	1	3	1	2
43	3-5K 5M 3-4I (3-4S)	4	2	3	1	1
45	3-4S 3-4B 3-4D 3-4H	4	1	3	1	2
47	3-4V	4	2	3	1	1
	4P 4O	4	2	3	1	1
51	5-6N 5-6A	4	2	3	1	2
	EXP.5-6M 5-6K 5-6S 5-6B 5-6D 5-6F	4	2	3	1	2
	5U	4	2	3	1	2
53	5-6K 5-6I	4	2	3	1	2
55	5-6S 5-6B 5--6D 5-6H	4	2	3	1	2
57	5-6V	2	3	1	3	2
	5-6O 5-6P 5-6Q	2	3	1	3	2
59	0G 2-5G 4R (3R 5-6R)	1	4	1	3	2
	3-6V 6G	1	4	1	3	2
71	7N 7A (8N 8A)	2	4	1	3	2
	EXP.7M 7K 7S(8M 8K 8S) 7-(8)F	2	4	1	3	2
73	7M 7K (8M 8K)	2	4	1	3	2
75	7-(8)S 7B	2	4	1	3	2
77	7-8V 7-(8)O 7-(8)P 7Q	2	4	1	3	2
79	(6)-8T 7-8G 8Q 8R	2	4	1	3	2
	(6G) 7-8V	2	4	1	3	2
01	0X 0Z	4	2	3	1	2
	1J	5	1	4	2	3
	3-5J, 1-4X, 1-4Z	4	2	3	1	2
	5-7Z, 5-8Y, 0Y	2	4	1	3	2
	6L	5	2	3	1	2
	0R 8-9R	1	5	2	4	3
02	8M 8K 8S	1	4	2	3	2
	8N 8F 8A	2	4	1	3	2
03	9K 9Z	1	4	2	3	2

Vymezením redukčních faktorů podle zastoupení jehličnatých a listnatých dřevin jsme zohlednili změnu přirozených vlastností půdy vyvolanou způsobem hospodaření. Každému redukčnímu faktoru je následně přiřazena váha redukčního faktoru dle níže uvedené tabulky (Tab. 16). Z důvodu, že vliv imisí již není dominantním faktorem ovlivňujícím vlastnosti půdy v lesích, budou jednotně použity váhy redukčních faktorů pro pásmo ohrožení imisemi D.

**Tab.16 Váha redukčních faktorů (Macků, 2000)**

Pásmo ohrožení imisemi	Stupeň redukce				
	1	2	3	4	5
A+B	0.6	0.4	0.2	0.2	-
C	0.8	0.6	0.4	0.4	0.4
D	1	0.8	0.6	0.6	0.4

Vynásobením potenciálního stupně odolnosti proti těžebně dopravní erozi odvozenou vahou redukčního faktoru a následným zaokrouhlením, získáme reálný stupeň odolnosti proti těžebně dopravní erozi.

Číselné označení stupňů a jejich popis je stejný jako u potenciálního stupně odolnosti proti těžebně dopravní erozi (Tab. 17).

**Tab.17 Stupně odolnosti proti těžebně dopravní erozi (Macků, 2000)**

Stupeň odolnosti	
1	velmi nízký
2	nízký
3	průměrný
4	vysoký
5	mimořádný

## 5.3 Porost

### 5.3.1 Porostní charakteristiky

Věk, druh dřeviny, výčetní tloušťka (tloušťka na pařezu), hmotnatost a zásoba ovlivňují výběr vhodné těžební a přibližovací technologie. Tato závislost je významná především pro sortimentní technologie, kdy na základě uvedených parametrů se vybírá nejvhodnější kombinace harvester – forwarder nebo vyvážecí souprava, která svými konstrukčními prvky odpovídá konkrétním hodnotám.

Z údajů platných lesních hospodářských plánů a osnov budou vytvořeny tři digitální vrstvy. Vrstva věku bude odvozena pro jednotlivé porostní skupiny podle údaje

v etážích. Pokud se v jedné porostní skupině vyskytnou dvě a více etáží, bude hodnota věku odvozena jako vážený průměr, kdy jako váha bude použita parciální plocha etáže. Věk bude vstupovat do modelu jako vstupní parametr u všech uvažovaných přibližovacích technologiích.

Jako vstupní parametr pro kombinaci forwarderu s harvestorem bude vytvořena vrstva zastoupení smrku (SM) a jedle (JD). Zastoupení těchto dvou dřevin výrazně ovlivňuje nasazení harvestoru. Zpracování SM a JD pomocí harvestoru je na rozdíl od borovice a listnáčů bezproblémové, především z důvodu průběžného kmene a omezeného výskytu silných větví. V případě, že porostní skupina bude mít více jak jednu etáž, bude zastoupení smrku a jedle odvozeno jako vážený průměr, kdy jako váha bude použita parciální plocha etáže.

Pro kombinaci forwarderu s harvestorem bude jako další vstupní parametr použita vrstva zakmenění. ULRICH (2006) uvádí jako minimální zakmenění pro použití harvestorové technologie hodnotu 9. Je to z důvodu ekonomického, protože v těchto etážích je pravděpodobná vyšší intenzita zásahu, ale i z důvodu šetrnosti k půdě, protože bude k dispozici větší množství klestu pro krytí kořenových náběhů. Zakmenění je v LHPO uváděno pro jednotlivé etáže. V případě, že porostní skupina bude mít více jak jednu etáž, bude zakmenění odvozeno jako vážený průměr, kdy jako váha bude použita parciální plocha etáže.

## 5.4 Technické parametry

Technické parametry jednotlivých přibližovacích technologií budou základním vstupním parametrem výsledného modelu. Uživatel, pokud nebude chtít využít přednastavené intervaly vhodnosti pro definované přibližovací technologie, může provést úpravu těchto intervalů s ohledem na technické parametry přibližovacích technologií, které má možnost použít a model, na základě definovaných parametrů, oklasifikuje vybrané území. Výsledkem bude přehledová mapa s doporučením použitelnosti dané technologie v kategoriích:

1. úplně vhodný
2. vhodný
3. nevhodný - nevylučuje se
4. nevhodný

Mezi základní vstupní parametry, které bude možné modifikovat, patří svahová dostupnost ve vazbě na sklon terénu, měrný tlak ve stopě ve vazbě na únosnost půdy a světlost stroje ve vazbě na výskyt a velikost překážek.

#### **5.4.1 Svahová dostupnost**

Podle údajů v literatuře je použití forwarderů racionální a technicky bezpečné u sklonů do 30 %, u příčného sklonu je to pak pouze 10 %. Při dobrých adhezních podmínkách a na homogenním terénu bez překážek, je možné forwardery ve vazbě na vlhkost využít ještě do sklonu 40 % až 50 %.

Harvestory mají vyšší svahovou dostupnost než forwardery a jsou schopné pracovat i na svazích se sklonem 40 % až 60 % bez zvláštních opatření. NERUDA et al. (2008) uvádí podrobnější klasifikaci. Kolové harvestory mohou zvládnout podle stavu povrchu půdy terény po spádnici (podélný sklon) do sklonu 25 – 50 %, nad 50 % je nutné použít kolopásky nebo pásovou či kombinovanou variantu podvozku. Při pojíždění napříč svahem (příčný sklon) je stabilita kolového harvestoru 10 % u čtyřkolových typů a maximálně 15 % sklon u šestikolového typu podvozku. Některé moderní harvestory jsou vybaveny stabilizačním navijákem, s jehož pomocí mohou zvládnout i obousměrný pojezd na svazích kolmo na vrstevnice i ve sklonech blízcích se 70 %.

Forwardery se pak stávají limitujícím faktorem použití plně mechanizovaných technologií v horském terénu.

Svahovou dostupnost dvou nejběžnějších přibližovacích technologií v České republice ohodnotili nejlépe SLANČÍK et al. (2008), kteří použili při hodnocení svahové dostupnosti fuzzy intervaly (-1,+1). Podle jejich klasifikace má UKT úplnou vhodnost při sklonu 0 až 10 %. Při sklonu 10 % až 20 % je použití prostředku vhodné, ale stoupajícím sklonem se snižuje. Při sklonu 20 až 25 % je použití UKT nevhodné, ale nevylučuje se a při sklonu nad 25 % je použití této technologie nevhodné a označí se -1. LKT má úplnou vhodnost při sklonu 0 až 25 %. Při sklonu 25 % až 40 % je použití prostředku vhodné. Při sklonu 40 % až 50 % je použití LKT nevhodné, ale nevylučuje se a při sklonu nad 50 % je použití této technologie nevhodné a označí se -1.

V práci bude svahová dostupnost vybraných technologií definována pomocí čtyř intervalů na základě údajů z literatury. Výrobci jednotlivých technologií tyto parametry běžně neuvádějí.



## 5.4.2 Měrný tlak ve stopě

SIMANOV (1999) uvádí následující kritéria, která ovlivňují míru zhutnění půdy pod koly strojů. Jsou to tlak na půdu, okamžitá vlhkost půdy, zrnitost (skeletovitost) půdy, stupeň plasticity půdy, podíl výchozí pórovitosti půdy, velikost kontaktní plochy pneumatiky s podložím, tloušťka humusové vrstvy, případně jiná vrstva organického materiálu (např. klestu).

Celkový měrný tlak ve stopě se dnes přibližně pohybuje podle typu stroje od 35 kPa až do 250 kPa, přičemž jako hraniční tlak mezi únosnými a neúnosnými terény je nejčastěji uváděn tlak 50 kPa. Mezi možnosti, jak účinně snižovat měrný tlak ve stopě, patří podhuštění pneumatik na 1,2 – 1,4 kPa, použití flotačních pneumatik, 6 nebo 8 kolových podvozků včetně kolopásů, případně použití klestu nebo speciálních rohoží jako podkladového materiálu do stopy pojezdu.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem použil v Oblastních plánech rozvoje lesů, které byly zpracovány v průběhu let 1997 až 2001, modelovou technologickou typizaci odvozenou od terénní typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993). V ní je definováno 7 použitelných technologií, u kterých je uveden měrný tlak ve stopě.

- LKT-81 (měrný tlak ve stopě 200 kPa), LKT-81T (měrný tlak ve stopě 220 kPa), těžební stroje na speciálních kolových podvozcích
- LKT-81 pneu 23.1-26 (měrný tlak ve stopě 100 kPa), LKT 90
- LKT-81 s flotačními pneumatikami (měrný tlak ve stopě 70 kPa), těžební stroje na speciálních podvozcích s polopásem
- UKT (měrný tlak ve stopě 160 kPa)
- UKT - Horal (měrný tlak ve stopě 100 kPa)
- Kůň (měrný tlak ve stopě 140 kPa)
- Speciální pásové podvozky typu Ratraac (měrný tlak ve stopě 35 - 50 kPa)

Lesy Slovenskej republiky (ANONYM, 2010a) ve své normě upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií. Navrhují použití LKT, UKT, harvesterů a forwarderů vybavených flotačními pneumatikami v terénech s únosností do 100 kPa. Pokud jsou tyto prostředky vybaveny standardními pneumatikami, pak mohou být použity pouze v terénech s únosností vyšší jak 100 kPa, stejně jako kůň. Použití lesní techniky na neúnosných a méně únosných podložích je možné buď při zmrzlém terénu anebo za sucha (minimálně 2 dny po dešti).

OWENDE et al. (2002) v rámci projektu ECOWOOD odvodili pro nejpoužívanější typy harvestorů a forwarderů nominální měrné tlaky na půdu, které pak zobecnili pro jednotlivé typy podvozků a počty náprav. Pro harvestory zjistili níže uvedené hodnoty:

- Harvestor se dvěma nápravami (čtyřkolový), který může být vybavený pneumatikami o šířce 500 až 800 mm působí nominálním měrným tlakem větším než 80 kPa.
- Harvestor se třemi nápravami (šestikolový), který může být vybavený pneumatikami o šířce 500 až 800 mm působí nominálním měrným tlakem větším než 50 - 70 kPa.
- Harvestor se čtyřmi nápravami (osmikolový) je většinou vybavený pneumatikami o šířce 600 mm a dosahuje ještě nižších hodnot nominálního měrného tlaku na půdu, a to v rozmezí 45 až 60 kPa.
- Harvestor na pásovém podvozku pak vyvíjí nejnižší nominální měrný tlak na půdu, a to méně než 30 kPa.

U forwarderů odvodili hodnoty nominálního měrného tlaku pro tři typy kolových podvozků s různým počtem náprav a zohlednili i použití kolopásů. Uvedené hodnoty byly vypočítány pro plně naložené forwardery.

- Forwarder se dvěma nápravami (čtyřkolový), působí v závislosti na šířce pneumatik a obecné konfiguraci stroje nominálním měrným tlakem v rozmezí 80 až 100 kPa.
- Forwarder se třemi nápravami (šestikolový), působí v závislosti na šířce pneumatik a obecné konfiguraci stroje nominálním měrným tlakem v rozmezí 70 až 80 kPa. Při použití kolopásů na zadních nápravách se hodnoty nominálního měrného tlaku sníží na 50 až 60 kPa.
- Forwarder se čtyřmi nápravami (osmikolový), působí v závislosti na šířce pneumatik a obecné konfiguraci stroje nominálním měrným tlakem v rozmezí 50 až 60 kPa. Při použití kolopásů na předních i zadních nápravách se hodnoty nominálního měrného tlaku sníží na 40 až 50 kPa.

Vhodným výběrem stroje a šířky pneumatik mohou forwardery pracovat na půdách s minimální únosností 40 kPa. U probírek je limitujícím faktorem šířka pneumatik, autoři uvádí jako maximálně přípustnou šířku 800 mm. Použití kolopásů a pásových podvozků

nedoporučují na holé půdě bez porostu. V podmínkách ČR se používá maximální šíře pneumatik 700 mm.

Měrný tlak ve stopě vybraných přibližovacích technologií bude v rámci analýzy posuzován ve vztahu k únosnosti půdy za sucha a za vlhka dle VAVŘÍČKA (2011).

### **5.4.3 Světlost**

Světlost jednotlivých strojů je důležitá z pohledu jejich průchodnosti terénem v případě výskytu překážek ve formě vyvýšenin nebo prohlubní. Kromě výskytu překážek je také důležitá vzdálenost mezi nimi. V podmínkách České republiky byly v terénních a technologických typizacích použity výškové limity pro překážky 30 cm pro UKT a 50 cm pro SLKT a mezní vzdálenost byla stanovena na 5 m.

ANONYM (2010b) zpracoval přehled osmikolových forwarderů dostupných na trhu ve Velké Británii, protože šestikolové typy se v místních podmínkách používají pouze výjimečně. Světlost u těchto typů forwarderů se pohybuje od nejnižší hodnoty 580 mm u typu Gremo 1050F až po světlost 800 mm u typu Ponsse Elephant. Forwardery tedy vykazují vyšší světlost než UKT i LKT a jsou tedy méně závislé na výskytu a výšce překážek.

Do multikriteriální analýzy bude světlost konkrétního stroje vstupovat ve vztahu k výskytu překážek jako jeden ze vstupních parametrů.

### **5.4.4 Přibližovací vzdálenost a směr přibližování**

Přibližovací vzdálenost a směr přibližování ovlivňují výběr šetrné přibližovací technologie.

SIMANOV (1999) doporučuje přibližování koněm pouze na krátké vzdálenosti do 100 metrů, protože při větších vzdálenosti prudce klesá výkonnost.

NERUDA et al. (2008) uvádí, že přibližování proti svahu nebylo dříve možné buď vůbec, nebo bylo namáhavé, pracné a nákladné. Vyklizování proti svahu sice prodlužuje odvozní vzdálenost, ale odvoz je minimálně 20x levnější než vyklizování, přibližování a vyvážení. Traktorovému soustředování vyhovuje vyklizování proti svahu, které má mnoho výhod, od snadnějšího zatahování lana do porostu, až po sledování a směrování vyklizovaného stromu, kmene či výřezu. U traktorového soustředování dříví autor doporučuje vyklizovat přednostně proti svahu a přibližovat po svahu.

NERUDA et al. (2008) a další autoři dále uvádějí, že pro pohyb vyvážecích souprav a forwarderů je limitující příčný sklon, který ovlivňuje směr přibližování. U sklonů nad 10 % je možné přibližování pomocí těchto strojů pouze po spádnicí a to až do sklonu 40 – 45 %. Při vyšších sklonech je ohrožena stabilita stroje a podstatně se snižují jeho manévrovací schopnosti.

V práci bude pro každou jednotku prostorového rozdělení lesa vypočítána vážená průměrná přibližovací vzdálenost a maximální geometrická přibližovací vzdálenost. Pro přepočtení geometrické přibližovací vzdálenosti na skutečnou bude použit vzorec, který odvodil BENEŠ (1986, in ULRICH 2006) pro vyjádření přibližovací vzdálenosti v rámci povodí.

$$ds = dg \cdot \sqrt{2}$$

*ds ... skutečná přibližovací vzdálenost [m]*

*dg ... geometrická přibližovací vzdálenost [m]*

## 6. Model

Navržený model vychází z parametrů definovaných v metodické části. Mezi typové přibližovací technologie, které byly vybrány pro multikriteriální hodnocení v prostředí ArcGIS, jsem na základě dostupné literatury a praktického využití v podmínkách České republiky vybral univerzální kolový traktor (UKT) a vyvážecí soupravu, speciální lesní kolový traktor (SLKT), forwarder (FW), forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV) a lanové dopravní zařízení (LDZ).

U kolové techniky bude zohledněno jak použití klasických pneumatik, tak použití flotačních pneumatik, které díky větší šířce a nižšímu huštění vytváří nižší nominální měrný tlak na půdu. Vzhledem k významným změnám v únosnosti půd v závislosti na jejich vlhkosti bude u zvolených typových přibližovacích technologií zohledněn i tento parametr. Za podmínek vlhké půdy nebude uvažována varianta UKT a SLKT ve standardní výbavě, protože jejich nominální měrný tlak na půdu 160 kPa, resp. 220 kPa neodpovídá ani nejvyššímu stupni únosnosti (81 – 120 kPa) dle VAVŘÍČKA (2011).

Kombinací vybraných typových přibližovacích technologií a doplňkových podmínek vlhkosti půdy a typu použité pneumatiky bude celkově hodnoceno 10 možných variant:

- 1) UKT - suchá půda
- 2) UKT– flotační pneumatiky - suchá půda
- 3) UKT– flotační pneumatiky - vlhká půda
- 4) SLKT
- 5) SLKT– flotační pneumatiky - vlhká půda
- 6) Forwarder – suchá půda
- 7) Forwarder – vlhká půda
- 8) Forwarder v kombinaci s harvestorem – suchá půda
- 9) Forwarder v kombinaci s harvestorem – vlhká půda
- 10) Lanová dopravní zařízení

U zvolených variant přibližovacích technologií budou pro jednotlivé vybrané parametry stanoveny intervaly vhodnosti, s ohledem na šetrnost jejich použití. Jednotlivé intervaly budou mít následující členění:

1. úplně vhodný
2. vhodný
3. nevhodný - nevylučuje se
4. nevhodný

Pro danou přibližovací technologii nebudou mít všechny vstupní parametry stejnou váhu. Pro porovnání významnosti jednotlivých parametrů a následné odvození váhy každého parametru pro určitý druh přibližovací technologie bude použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků.

Výsledná váha pak bude sloužit k objektivizaci hodnot jednotlivých faktorů (hodnota x váha). Pro každou definovanou přibližovací technologii vznikne samostatná vrstva, kde budou na základě součtu vážených hodnot, zařazeny jednotlivé porostní skupiny do jedné z kategorií vhodnosti použití a barevně zobrazeny podle tabulky (Tab. 9).

## **6.1 Univerzální kolový traktor (UKT) – suchá půda**

Pro nasazení univerzálního kolového traktoru jako samostatného přibližovacího prostředku, případně v kombinaci s přívěsem jako vyvážecí soupravy, byly vybrány následující parametry:

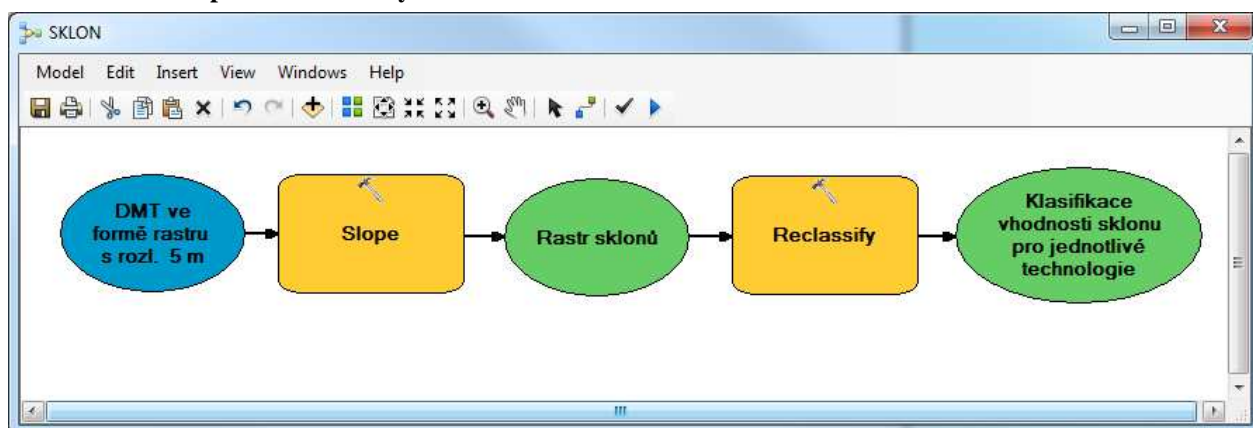
- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

Na základě rešerše literatury a při zohlednění šetrnosti použití UKT za sucha v podmínkách České republiky, byly pro jednotlivé vybrané parametry stanoveny níže uvedené intervaly vhodnosti použití.

### 6.1.1 Sklon terénu

Intervaly sklonu terénu byly převzaty z práce SLANČÍK et al. (2008). Stejně byly sklonové poměry pro UKT vymezeny v normě upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií, kterou zpracovaly Lesy SR š. p. (ANONYM, 2010a). Pro jednoznačnost vymezení jednotlivých intervalů byly hraniční hodnoty upraveny (Tab. 18). Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy sklonu v rastrové prezentaci je rastrový DMT s rozlišením 5 m. Skript pro vytvoření vrstvy sklonu terénu byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS. Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru sklonu terénu (Obr. 1).

Obr. 1 Submodel pro tvorbu vrstvy sklonu



Tab.18 Sklon - UKT suchá půda

SKLON [ %]		
POPIS	SKLON	HODNOTA
úplně vhodný	0-10	1
vhodný	11-20	2
nevhodný (nevylučuje se)	21-25	3
nevhodný	nad 25	4

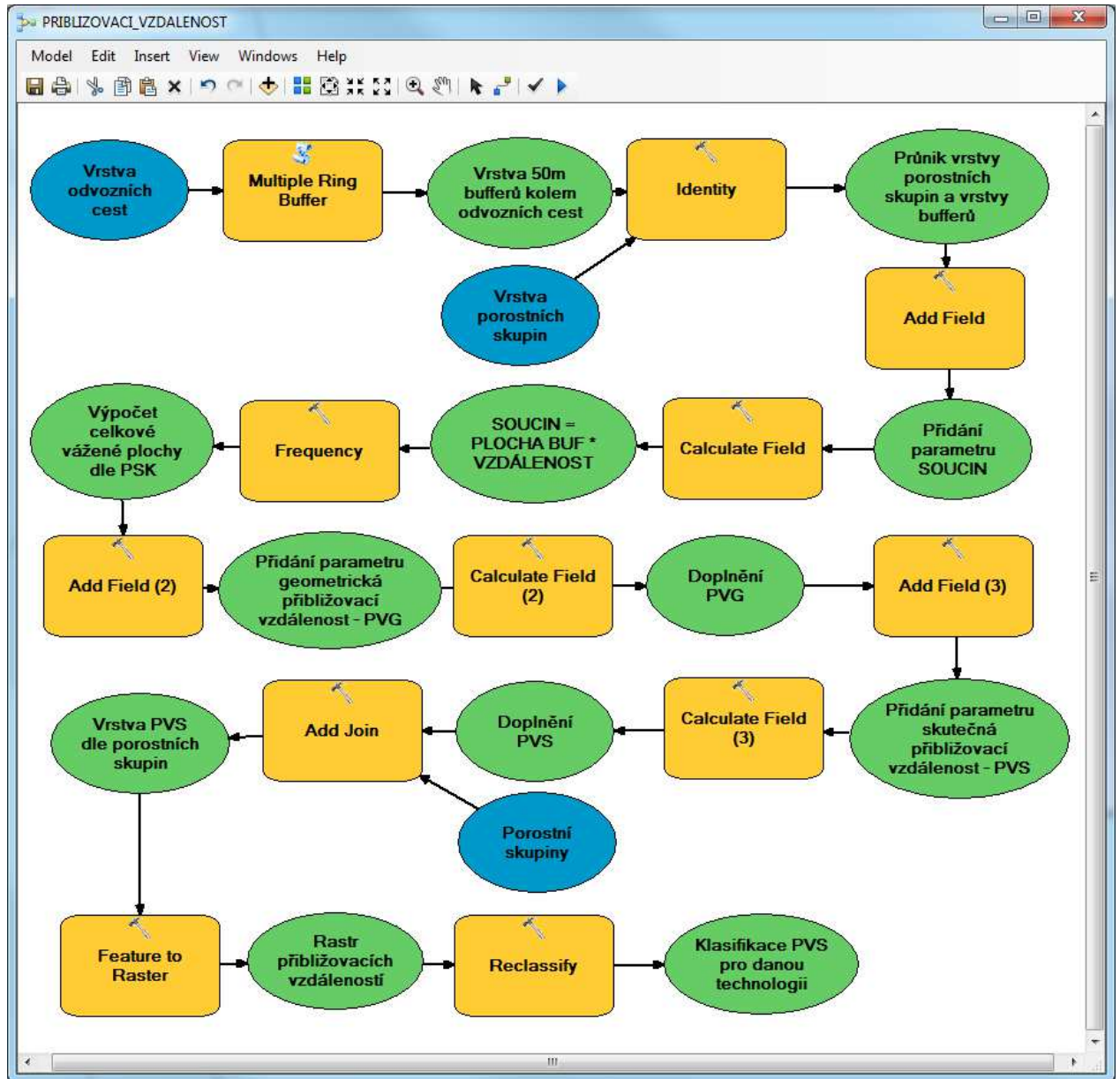
### 6.1.2 Přibližovací vzdálenost

Stejně jako u předchozího parametru budou využity intervaly přibližovacích vzdáleností ze slovenské normy upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií, kterou zpracovaly Lesy SR š. p. (ANONYM, 2010a). Pro jednoznačnost vymezení jednotlivých intervalů byly hraniční hodnoty upraveny.

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy přibližovacích vzdáleností pro jednotlivé porostní skupiny v rastrové prezentaci je vektorová vrstva odvozních cest z OPRL a vektorová vrstva porostních skupin z LHP. Skript pro vytvoření vrstvy přibližovacích

vzdáleností pro jednotlivé porostní skupiny byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS. Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru přibližovacích vzdáleností (Obr. 2).

Obr. 2 Submodel pro tvorbu vrstvy přibližovacích vzdáleností



Tab.19 Přibližovací vzdálenost - UKT suchá půda

PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST [m]		
POPIS	VZDÁLENOST	HODNOTA
úplně vhodný	do 500	1
vhodný	501 - 1000	2
nevhodný (nevyklučuje se)	1001 - 2000	3
nevhodný	nad 2000	4



### 6.1.3 Stupeň únosnosti půdy

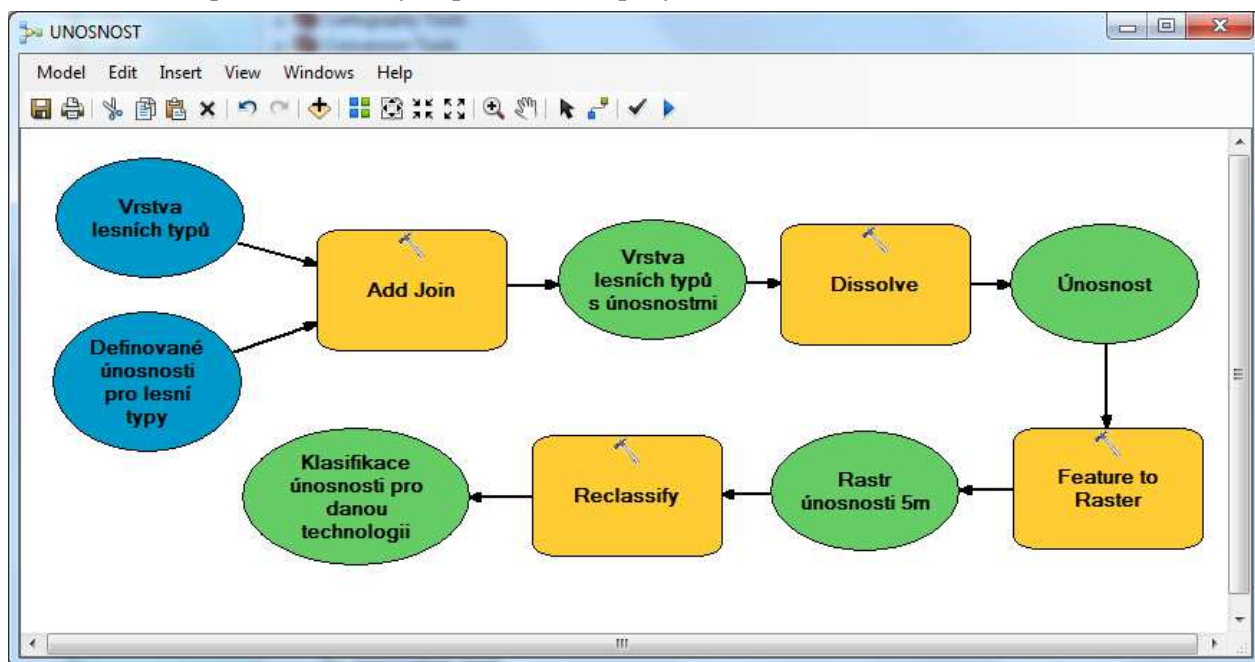
Hodnocení únosnosti půdy bude provedeno ve vazbě na soubory lesních typů podle metodiky VAVŘÍČKA (2011), který hodnotí únosnost půdy podle vytlačené stopy jednorázového pojezdu speciálního lesnického traktoru LKT 80 s měrným tlakem ve stopě 200 kPa. Únosnost je vyhodnocována při běžné vlhkosti třídy mírně vlhkých půd ( $p-h_p = 4 - 8 \%$ ,  $p-h_h = 8 - 15 \%$ ,  $j_h-j = 15 - 25 \%$ ) i půdy stejného stanoviště ovlivněného atmosférickými srážkami s třídou mokrých půd ( $p-h_p = 18 - 30 \%$ ,  $p-h_h = 35 - 45 \%$ ,  $j_h-j = 45 - 55 \%$ ).

Pro únosnost půdy pak vylišil 5 stupňů rezistence půdně taxonomických jednotek zohledňující konzistenci a dočasné hydrické ovlivnění (Tab.11)

V podmínkách ČR a SR je uváděna hodnota nominálního měrného tlaku na půdu u standardně vybaveného UKT 160 kPa. Tuto hodnotu uvádí SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) i norma Lesov SR š. p. (ANONYM, 2010a). Tento měrný tlak byl vybrán do modelu jako hraniční a jeho porovnáním s únosností půdy dle Vavříčkovy metodiky (2011) bylo provedeno hodnocení vhodnosti použití UKT (Tab. 20).

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy stupně únosnosti půdy v rastrové prezentaci je vektorová vrstva lesních typů z OPRL a tabulka, kde jsou jednotlivým souborům lesních typů přiřazeny stupně únosnosti půdy na základě převažujícího půdního typu. Skript pro vytvoření vrstvy stupňů únosnosti půdy byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS. Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru stupňů únosnosti půdy (Obr. 3).

Obr. 3 Submodel pro tvorbu vrstvy stupňů únosnosti půdy



Tab.20 Stupeň únosnosti půdy - UKT suchá půda

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	>600	5	1
vhodný	301-600	4	2
nevhodný (nevylučuje se)	141-300	3	3
nevhodný	51-140	2	4
nevhodný	30-50	1	4

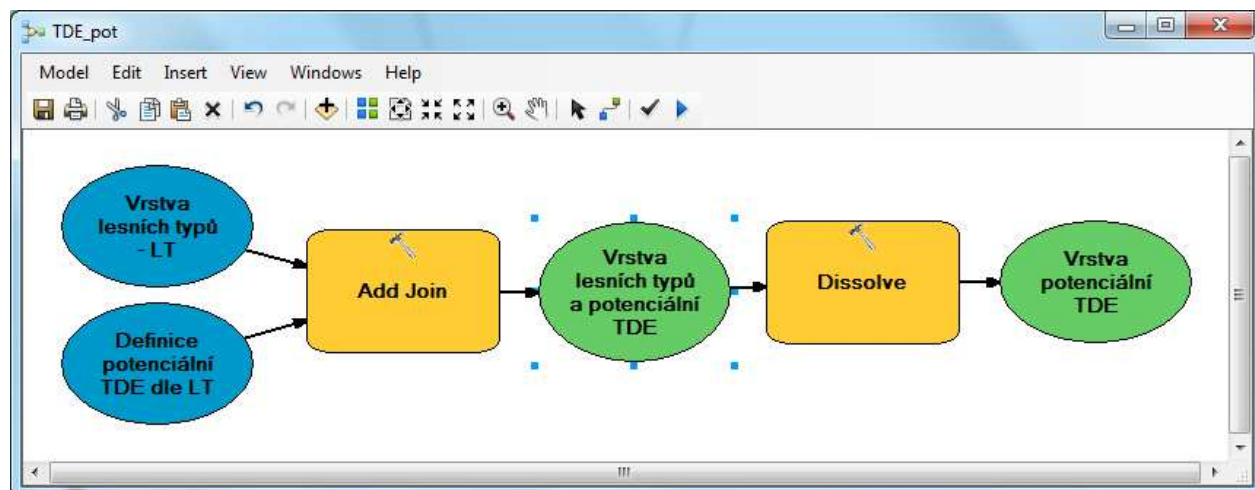
### 6.1.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi

Odolnost proti těžebně dopravní erozi je hodnocena podle metodiky MACKŮ (2000) vytvořené v rámci projektu VaV/640/3/00 Systému komplexního hodnocení lesních půd. Potenciální těžebně dopravní eroze odvozená na základě převládajících půdních subtypů je dále zpřesněna pomocí váhy redukčního faktoru, odvozeného podle kumulovaného porostního typu a zařazení do strukturovaného hospodářského souboru. Výsledná klasifikace rozlišuje pět stupňů odolnosti proti těžebně dopravní erozi, které byly pro účely multikriteriálního hodnocení překlasifikovány hodnotami 1 až 4 podle vhodnosti použití přibližovacích technologií (Tab. 21).

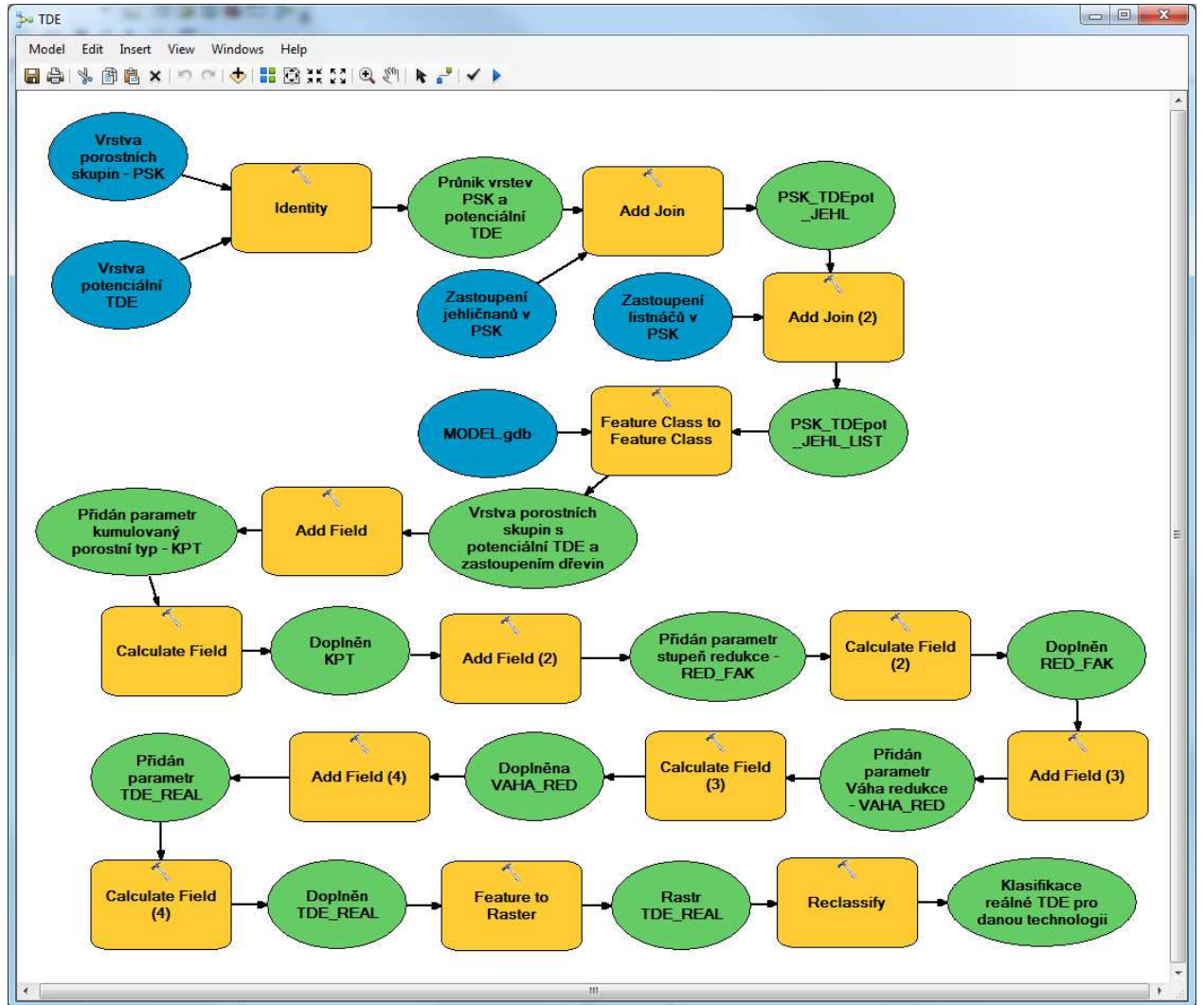
Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy potenciálního ohrožení těžebně dopravní erozí v rastrové prezentaci je vektorová vrstva lesních typů z OPRL a tabulka, kde jsou jednotlivým souborům lesních typů přiřazeny stupně potenciálního ohrožení těžebně

dopravní erozí na základě převažujícího půdního typu. Skript pro vytvoření vrstvy potenciálního ohrožení těžebně dopravní erozí byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 4). Zohledněním zastoupení jehličnatých a listnatých dřevin z dat LHP vyjádřených pomocí kumulovaných porostních typů vymezení redukční faktor, kterému odpovídá příslušná váha redukce. Vynásobením potenciálního stupně odolnosti proti těžebně dopravní erozi odvozenou vahou redukčního faktoru a následným zaokrouhlením, získáme reálný stupeň odolnosti proti těžebně dopravní erozi. Skript pro vytvoření vrstvy reálného ohrožení těžebně dopravní erozí byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 5). Oba skripty budou použity u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru reálné těžebně dopravní eroze.

**Obr. 4** Submodel pro tvorbu vrstvy potenciálního ohrožení těžebně dopravní erozí



Obr. 5 Submodel pro tvorbu vrstvy reálného ohrožení těžebně dopravní erozí



Tab.21 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - UKT suchá půda

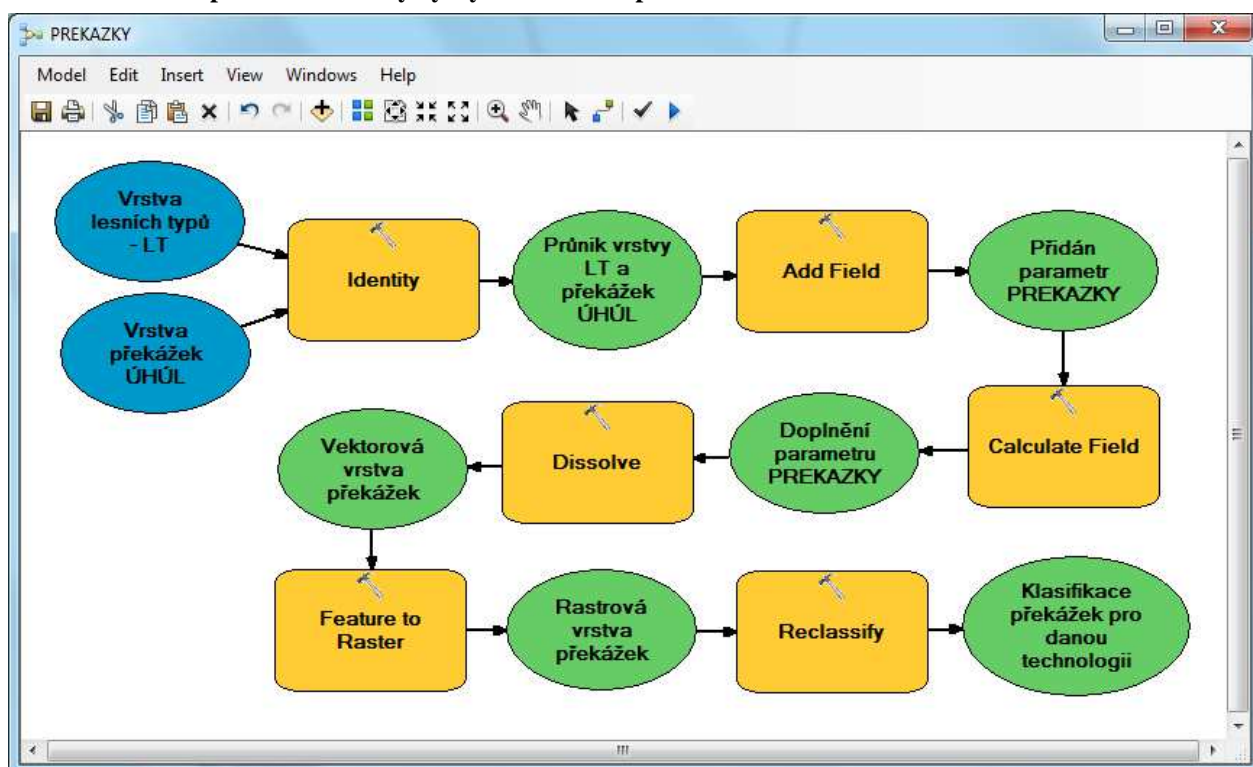
ODOLNOST PROTI TDE			
POPIS	POPIS TDE	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	mimořádná	5	1
vhodný	vysoká	4	2
nevhodný (nevylučuje se)	průměrná	3	3
nevhodný	nízká	2	4
nevhodný	velmi nízká	1	4

## 6.1.5 Výskyt a velikost překážek

Pro multikriteriální hodnocení bude výskyt překážek odvozen na základě edafických kategorií podle metodiky terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) (Tab. 22).

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy výskyt a velikost překážek v rastrové prezentaci je vektorová vrstva lesních typů z OPRL a tabulka, kde je jednotlivým souborům lesních typů na základě zastoupené edafické kategorie přiřazen stupeň velikosti a možného výskytu překážek. Skript pro vytvoření vrstvy výskytu a velikosti překážek byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 6). Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru výskytu a velikosti překážek.

Obr. 6 Submodel pro tvorbu vrstvy výskytu a velikosti překážek



Tab.22 Výskyt a velikost překážek - UKT suchá půda

PŘEKÁŽKY			
POPIS	HODNOTA	EDAFICKÁ KATEGORIE	HODNOTA
úplně vhodný	s překážkami do 30 cm	M, K, S, B, C, I, H, O, D, L, P, Q, V, U, T, G, R	1
nevhodný	s překážkami 30 - 50 cm	X, Z, W, A*, N*	4
nevhodný	s překážkami nad 50 cm	Y, J, A*, N*	4

\* ... podle ověření v terénu

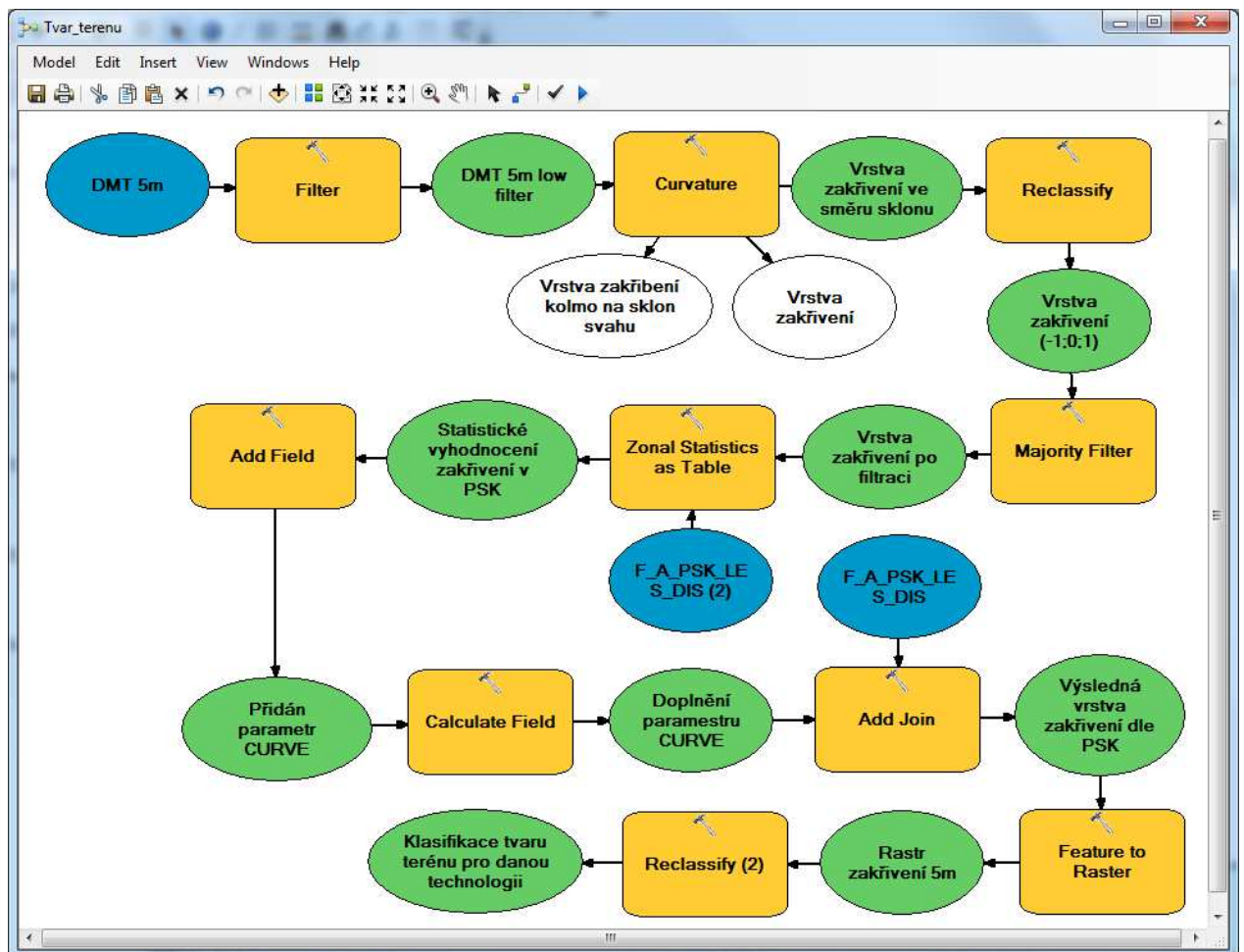


## 6.1.6 Tvar terénu

Jak uvádí více autorů, při použití vyvážecí soupravy může být výrazně konkávní nebo konvexní terén limitujícím faktorem s ohledem na celkovou délku stroje. Pro UKT je při přibližování proti svahu výhodnější konvexní tvar svahu než konkávní, kde s ohledem na rozložení hmotnosti je na konci konkávního svahu větší riziko převrácení. Jako nejméně vhodná varianta s ohledem na tvar terénu byl vyhodnocen tvar kombinovaný (Tab. 23).

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy tvar terénu v rastrové prezentaci je rastrový DMT s rozlišením 5 m, na který je aplikována funkce "Curvature". Skript pro vytvoření vrstvy tvaru terénu byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 7). Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru tvaru terénu.

Obr. 7 Submodel pro tvorbu vrstvy tvar terénu



**Tab.23 Tvar terénu - UKT suchá půda**

TVAR TERÉNU		
POPIS	TVAR	HODNOTA
úplně vhodný	lineární	1
vhodný	konvexní	2
nevhodný (nevylučuje se)	konkávní	3
nevhodný	kombinovaný	4

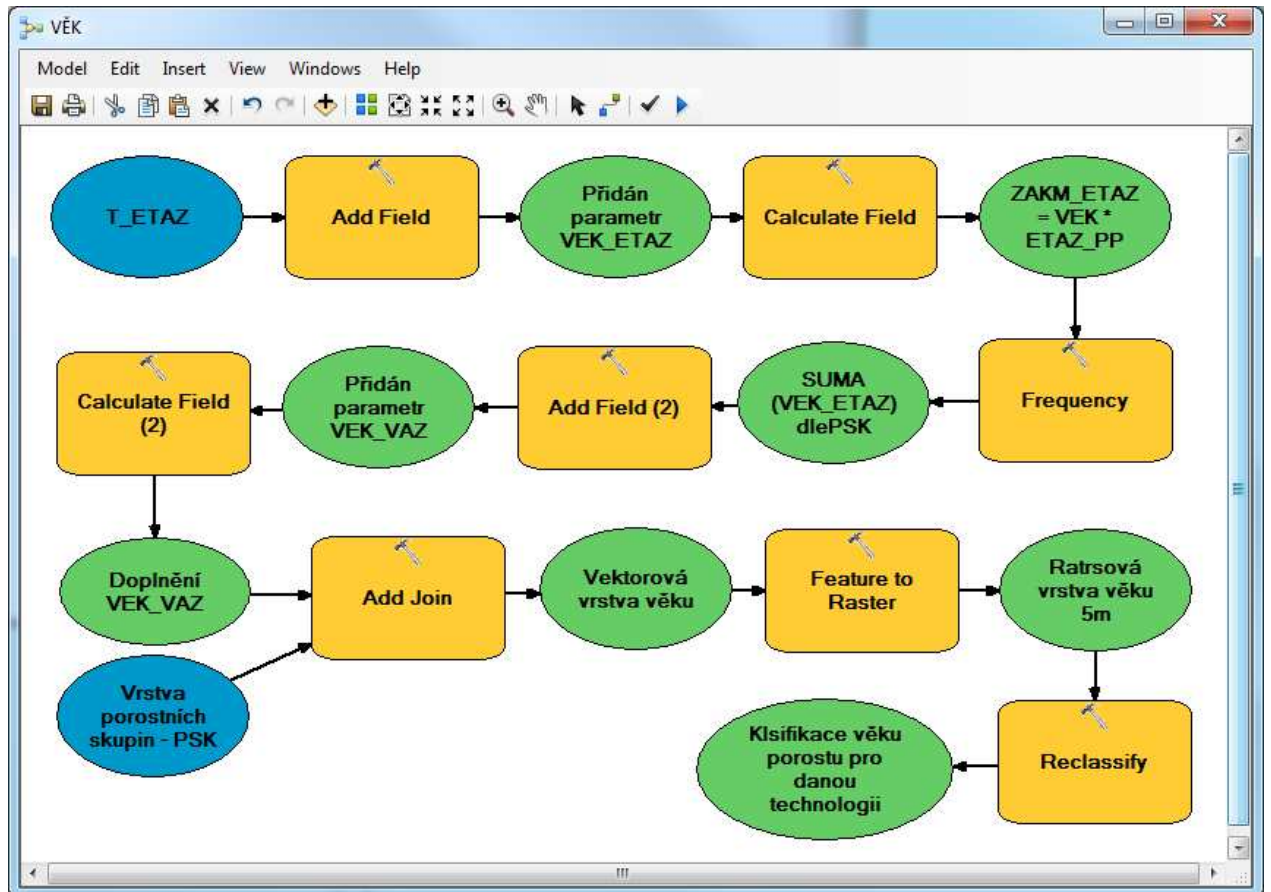
### 6.1.7 Věk porostu

UKT je vhodný jak pro přibližování v probírkách, tak v mýtních těžbách. Při vyklizování mohou být vyklizovány jednotlivé kmeny, což je výhodnější ve výchovných těžbách a v selektivních obnovních těžbách. Druhou možností je vyklizování pomocí sběrného lana. Tento způsob je vhodnější pro obnovní těžby, protože při výchovných těžbách dochází k poškození stojících stromů. Náklad je pak přibližován v polozávěsu na odvozní místo.

Z pohledu šetrnosti použití UKT jsou v rámci multikriteriální analýzy preferovány starší porosty, kde jsou větší rozestupy mezi stromy a je menší riziko poškození stojících stromů při vyklizování. Druhým důvodem je menší hmotnost těžených stromů ve výchovných těžbách a s tím spojené menší množství vytěžených sortimentů dříví, které může během jedné jízdy UKT v polozávěsu přiblížit. V porovnání s forwarderem, který má větší úložnou kapacitu, potřebuje UKT pro přiblížení stejného množství dřeva více pojezdů, a tím může docházet k většímu poškození půdy hutněním nebo tvorbou kolejí. Tuto nevýhodu lze v příhodných terénech eliminovat připojením vyvážecího přívěsu a vytvořením vyvážecí soupravy. Hodnocení vhodnosti použití UKT je uvedeno v tabulce (Tab. 24).

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy věku porostu v rastrové prezentaci je vektorová vrstva porostních skupin a tabulka etází z LHP. Jednu porostní skupinu může tvořit několik etází s různým věkem. Věk porostní skupiny bude proto vypočítán jako vážený průměr, kdy jako váha bude použita parciální plocha etáže. Skript pro vytvoření vrstvy věku porostu byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 8). Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru věku porostu.

Obr. 8 Submodel pro tvorbu vrstvy věk porostu



Tab.24 Věk porostu - UKT suchá půda

VĚK		
POPIS	VĚK	HODNOTA
úplně vhodný	>= 80	1
vhodný	60-79	2
nevhodný (nevylučuje se)	40-59	3
nevhodný	< 40	4



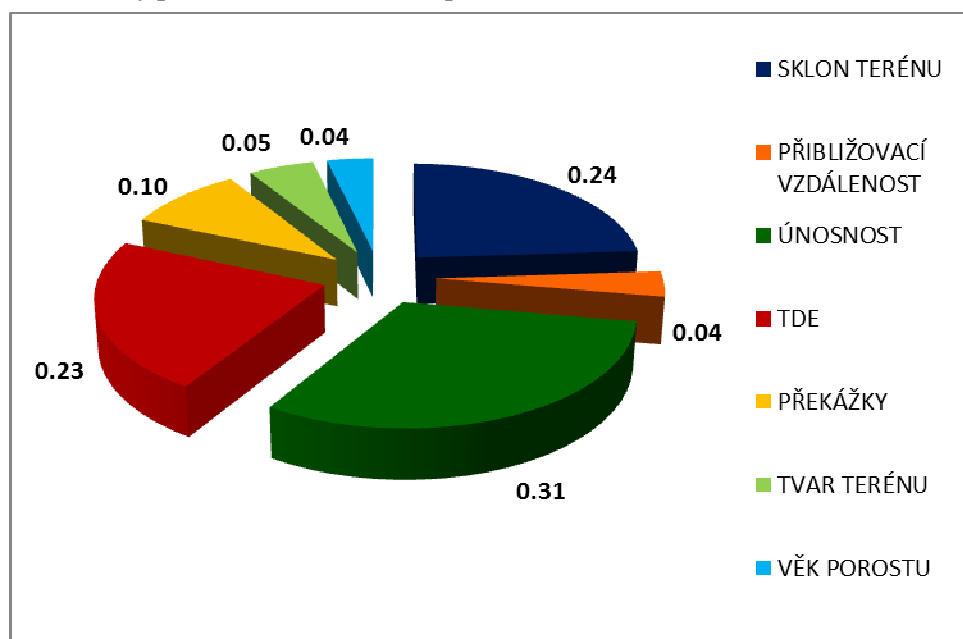
## 6.1.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Pro porovnání významnosti jednotlivých parametrů a následné odvození váhy každého parametru pro použití UKT jako šetrné přibližovací technologie bude použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků (Tab. 25).

Tab.25 Saatyho matice - UKT suchá půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7. ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	5.000	0.500	2.000	3.000	6.000	4.000	360.0000	2.32	<b>0.24</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.200	1.000	0.200	0.166	0.200	0.333	2.000	0.0009	0.37	<b>0.04</b>
ÚNOSNOST	2.000	5.000	1.000	2.000	5.000	5.000	5.000	2500.0000	3.06	<b>0.31</b>
TDE	0.500	6.000	0.500	1.000	5.000	7.000	5.000	262.5000	2.22	<b>0.23</b>
PŘEKÁŽKY	0.333	5.000	0.200	0.200	1.000	3.000	3.000	0.5994	0.93	<b>0.10</b>
TVAR TERÉNU	0.166	3.000	0.200	0.143	0.333	1.000	2.000	0.0095	0.51	<b>0.05</b>
VĚK POROSTU	0.250	0.500	0.200	0.200	0.333	0.500	1.000	0.0008	0.36	<b>0.04</b>
									9.77	1.00

Obr. 9 Váhy parametrů - UKT suchá půda



## 6.2 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – suchá půda

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení univerzálního kolového traktoru vybaveného flotačními (nízkotlakými) pneumatikami jako samostatného přibližovacího prostředku, případně v kombinaci s přívěsem jako vyvážecí soupravy, zůstávají stejné jako v případě UKT se standardním vybavením.

- sklon terénu [ %]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

### 6.2.1 Stupeň únosnosti půdy

Rozdíl oproti předchozí variantě je ale v posouzení únosnosti půdy ve vztahu k nominálnímu měrnému tlaku. SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) i norma Lesov SR (ANONYM, 2010a) uvádí při použití flotačních pneumatik nominální měrný tlak do 70 kPa. S ohledem na tuto hodnotu bylo upraveno hodnocení vhodnosti použití u parametru stupeň únosnosti půdy (Tab. 26). Ostatní parametry a jejich hodnocení vhodnosti použití zůstaly nezměněny a jejich definice nebudou v této kapitole opakovány.

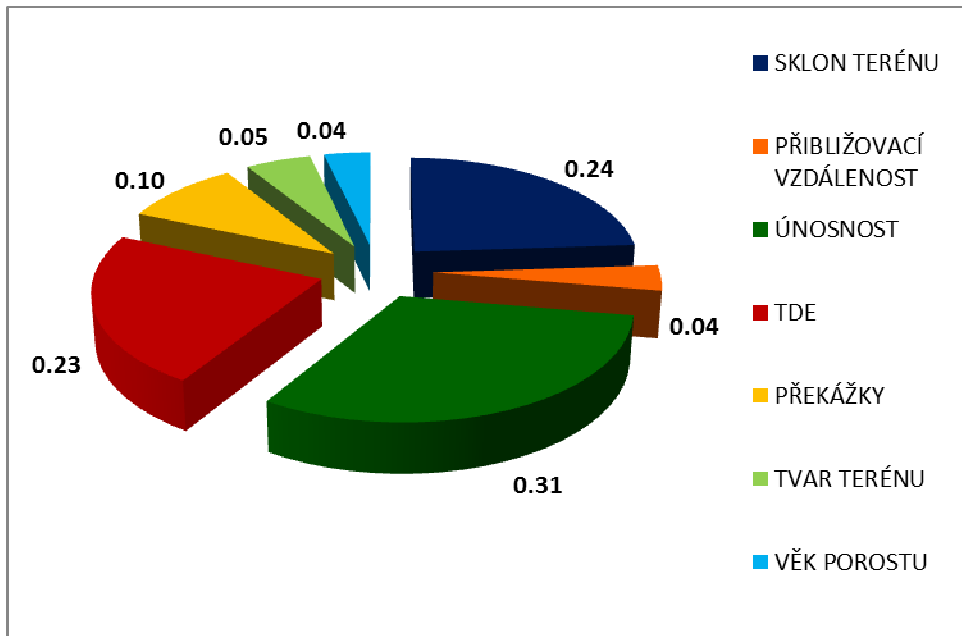
Tab.26 Stupeň únosnosti půdy – UKT flotační pneumatiky - suchá půda

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY sucho			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	>600	5	1
vhodný	301-600	4	1
nevhodný	141-300	3	1
nevhodný	51-140	2	3
nevhodný	30-50	1	4

### 6.2.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Váhy jednotlivých parametrů modelu zůstanou stejné jako při použití UKT ve standardní výbavě za sucha. Saatyho matice bude mít tedy stejné hodnoty (Tab. 25). Změní se pouze výše zmíněné hodnocení stupně únosnosti půdy (Tab. 26).

Obr. 10 Váhy parametrů - UKT flotační pneumatiky - suchá půda



### 6.3 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – vlhká půda

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení univerzálního kolového traktoru vybaveného flotačními (nízkotlakými) pneumatikami jako samostatného přibližovacího prostředku, případně v kombinaci s přívěsem jako vyvážecí soupravy za podmínek vlhké půdy, zůstávají stejné jako v případě UKT se standardním vybavením za sucha a UKT s flotačními pneumatikami za sucha.

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

### 6.3.1 Stupeň únosnosti půdy

Rozdílné hodnocení bude opět pouze u parametru stupeň únosnosti půdy, kdy nominální měrný tlak na půdu 70 kPa, kterým působí UKT vybavené flotačními pneumatikami na podloží, bude porovnáván s hodnotami únosností vlhké půdy, které pro jednotlivé stupně únosnosti půdy odvodil VAVŘÍČEK (in NERUDA et al. 2011) (Tab. 27).

Tab.27 Stupeň únosnosti půdy – UKT flotační pneumatiky vlhká půda

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY vlhko			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	81-120	5	1
vhodný	51-80	4	3
nevhodný	18-50	3	4
nevhodný	13-22	2	4
nevhodný	5-12	1	4

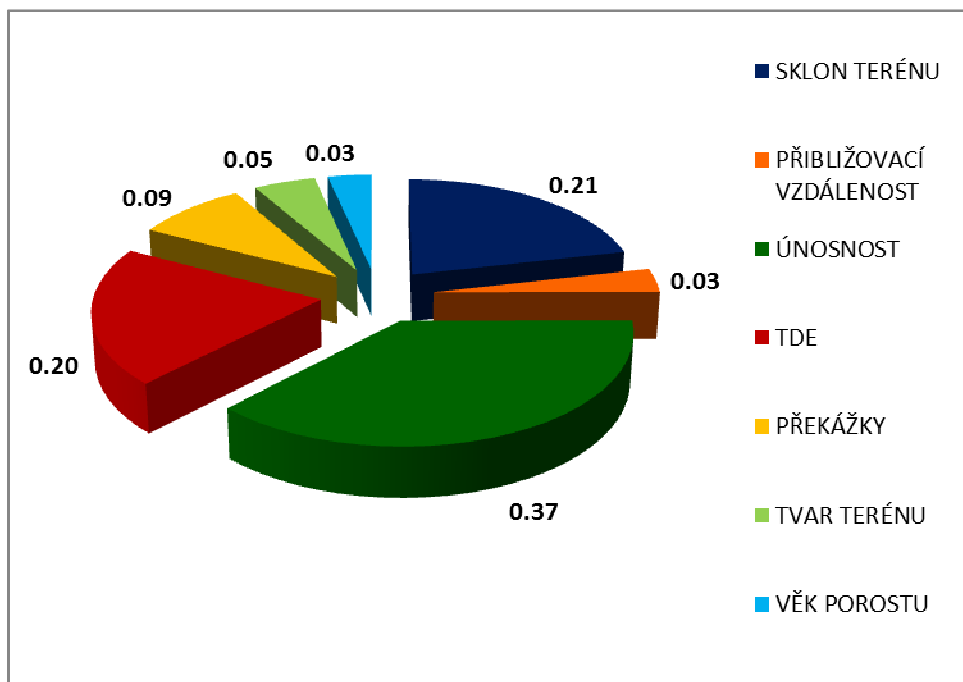
### 6.3.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Za podmínek vlhké půdy použitím flotačních pneumatik sice dojde ke snížení nominálního měrného tlaku stroje na půdu, ale ve vztahu k poměrně výraznému snížené únosnosti půdy, bude mít stupeň únosnosti půdy v Saatyho matici vyšší váhu v porovnání s předchozími dvěma variantami (Tab. 28).

Tab.28 Saatyho matice - UKT flotační pneumatiky vlhká půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	5.000	0.333	2.000	3.000	6.000	4.000	239.7600	2.19	0.21
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.200	1.000	0.166	0.166	0.200	0.333	2.000	0.0007	0.36	0.03
ÚNOSNOST	3.000	6.000	1.000	3.000	6.000	6.000	6.000	11664.0000	3.81	0.37
TDE	0.500	6.000	0.333	1.000	5.000	7.000	5.000	174.8250	2.09	0.20
PŘEKÁŽKY	0.333	5.000	0.166	0.200	1.000	3.000	3.000	0.4975	0.91	0.09
TVAR TERÉNU	0.166	3.000	0.166	0.143	0.333	1.000	2.000	0.0079	0.50	0.05
VĚK POROSTU	0.250	0.500	0.166	0.200	0.333	0.500	1.000	0.0007	0.35	0.03
									10.21	1.00

Obr. 11 Váhy parametrů - UKT flotační pneumatiky - vlhká půda



## 6.4 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)

V porovnání s UKT má speciální lesní kolový traktor (SLKT) lepší rozložení hmotnosti na jednotlivé nápravy, které v kombinaci s výkonnějším motorem a standardním pohonem přední i zadní nápravy umožňuje vyšší svahovou dostupnost stroje. Výhodou SLKT je také jeho větší světlost, kdy v porovnání s UKT může v terénu překonat překážky až do velikosti 50 cm. SLKT má také vhodnější zlamovací podvozek, kdy přední a zadní rám je spojen axiálním kloubem nebo svislými čepy. To umožňuje SLKT lepší manévrovatelnost v terénu.

Nevýhodou oproti UKT je ale větší hmotnost SLKT, která se projeví vyšším nominálním měrným tlakem na půdu a následně vyššími škodami na půdě při opakovaných pojezdech. Zatímco hmotnost UKT se pohybuje mezi 3 až 6 tunami u SLKT je to 6,5 až 7 tun.

Pro nasazení SLKT jako samostatného přibližovacího prostředku byly vybrány stejné parametry jako pro UKT:

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi

- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

Na základě rešerše literatury a při zohlednění šetrnosti použití SLKT za sucha v podmínkách České republiky byly pro jednotlivé vybrané parametry stanoveny níže uvedené intervaly vhodnosti použití.

#### 6.4.1 Sklon terénu

Intervaly sklonu terénu byly převzaty z práce SLANČÍK et al. (2008). Stejně byly sklonové poměry pro SLKT vymezeny v normě upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií, kterou zpracovaly Lesy SR š. p. (ANONYM, 2010a). Pro jednoznačnost vymezení jednotlivých intervalů byly hraniční hodnoty upraveny (Tab. 29).

Tab.29 Sklon - SLKT suchá půda

SKLON [ % ]		
POPIS	SKLON	HODNOTA
úplně vhodný	0-25	1
vhodný	26-40	2
nevhodný (nevylučuje se)	41-50	3
nevhodný	nad 50	4

#### 6.4.2 Přibližovací vzdálenost

Stejně jako u předchozího parametru budou využity intervaly přibližovacích vzdáleností ze slovenské normy upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií, kterou zpracovaly Lesy SR š. p. (ANONYM, 2010a). Pro jednoznačnost vymezení jednotlivých intervalů byly hraniční hodnoty upraveny (Tab. 30).

Tab.30 Přibližovací vzdálenost - SLKT suchá půda

PŘÍBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST [m]		
POPIS	VZDÁLENOST	HODNOTA
úplně vhodný	do 600	1
vhodný	601 - 1400	2
nevhodný (nevylučuje se)	1401 - 2500	3
nevhodný	nad 2500	4

### 6.4.3 Stupeň únosnosti půdy

Hodnocení únosnosti půdy bude stejně jako u UKT provedeno ve vazbě na soubory lesních typů podle metodiky VAVŘÍČKA (2011), který hodnotí únosnost půdy podle vytlačené stopy jednorázového pojezdu speciálního lesnického traktoru LKT 80 s měrným tlakem ve stopě 200 kPa. Únosnost je vyhodnocována při běžné vlhkosti třídy mírně vlhkých půd (p-hp = 4 - 8 %, ph-h = 8 - 15 %, jh-j = 15 - 25 %) i půdy stejného stanoviště ovlivněného atmosférickými srážkami s třídou mokrých půd (p-hp = 18 - 30 %, ph-h = 35 - 45 %, jh-j = 45 - 55 %).

Pro únosnost půdy pak vylišil 5 stupňů rezistence půdně taxonomických jednotek zohledňující konzistenci a dočasné hydrické ovlivnění (Tab.11).

V podmínkách ČR a SR je uváděna hodnota nominálního měrného tlaku na půdu u standardně vybaveného SLKT 220 kPa. Tuto hodnotu uvádí SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) i norma Lesov SR š. p. (ANONYM, 2010a). Tento měrný tlak byl vybrán do modelu jako hraniční a jeho porovnáním s únosností půdy dle Vavříčkovy metodiky (2011) bylo provedeno hodnocení vhodnosti použití SLKT (Tab. 31).

Tab.31 Stupeň únosnosti půdy - SLKT suchá půda

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	>600	5	1
vhodný	301-600	4	2
nevhodný (nevylučuje se)	141-300	3	3
nevhodný	51-140	2	4
nevhodný	30-50	1	4

### 6.4.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi

Odolnost proti těžebně dopravní erozi je hodnocena podle metodiky MACKŮ (2000) vytvořené v rámci projektu VaV/640/3/00 Systému komplexního hodnocení lesních půd. Potenciální těžebně dopravní eroze odvozená na základě převládajících půdních subtypů je dále zpřesněna pomocí váhy redukčního faktoru, odvozeného podle kumulovaného porostního typu a zařazení do strukturovaného hospodářského souboru. Výsledná klasifikace rozlišuje pět stupňů odolnosti proti těžebně dopravní erozi, které byly pro účely multikriteriálního hodnocení překlasifikovány hodnotami 1 až 4 podle vhodnosti použití přibližovacích technologií (Tab. 32).

**Tab.32 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - SLKT suchá půda**

ODOLNOST PROTI TDE			
POPIS	POPIS TDE	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	mimořádná	5	1
vhodný	vysoká	4	2
nevhodný (nevylučuje se)	průměrná	3	3
nevhodný	nízká	2	4
nevhodný	velmi nízká	1	4

### 6.4.5 Výskyt a velikost překážek

Pro multikriteriální hodnocení bude výskyt překážek odvozen na základě edafických kategorií podle metodiky terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) (Tab. 33).

**Tab.33 Výskyt a velikost překážek - SLKT suchá půda**

PŘEKÁŽKY			
POPIS	HODNOTA	EDAFICKÁ KATEGORIE	HODNOTA
úplně vhodný	s překážkami do 30 cm	M, K, S, B, C, I, H, O, D, L, P, Q, V, U, T, G, R	1
vhodný	s překážkami 30 - 50 cm	X, Z, W, A*, N*	2
nevhodný	s překážkami nad 50 cm	Y, J, A*, N*	4

\* ... podle ověření v terénu

### 6.4.6 Tvar terénu

Vliv tvaru terénu při přibližování SLKT není tak významný jako u UKT, hlavně z důvodu vhodnějšího rozložení hmotnosti při zatížení. Přesto byl tento parametr použit při multikriteriálním hodnocení a to se stejnými hodnotami jako u UKT.

**Tab.34 Tvar terénu - SLKT suchá půda**

TVAR TERÉNU		
POPIS	TVAR	HODNOTA
úplně vhodný	rovný	1
vhodný	konvexní	2
nevhodný (nevylučuje se)	konkávní	3
nevhodný	kombinovaný	4



### 6.4.7 Věk porostu

Přibližování pomocí SLKT je vhodné především u obnovních těžeb, tedy u starších porostů. SAČKOV (2007) navrhuje přibližování pomocí SLKT pro průchodné terény se sklonem do 50 % a to především u holosečného hospodářského způsobu. U podrostitního hospodářského způsobu je použití SLKT vhodné v kombinaci s jiným prostředkem, který provede vyklizení k lince.

Z pohledu šetrnosti použití SLKT jsou stejně jako u UKT v rámci multikriteriální analýzy preferovány starší porosty (Tab. 35). Druhým důvodem je podobně jako u UKT menší hmotnost těžných stromů ve výchovných těžbách, a s tím spojené menší množství vytěžených sortimentů dříví, kterou může během jedné jízdy SLKT v polozávěsu přiblížit. V porovnání s forwarderem, který má větší úložnou kapacitu, potřebuje SLKT pro přiblížení stejného množství dřeva více pojezdů, a tím může, s ohledem na vysoký nominální měrný tlak ve stopě, docházet k většímu poškození půdy hutněním nebo tvorbou kolejí.

Tab.35 Věk porostu - SLKT suchá půda

VĚK		
POPIS	VĚK	HODNOTA
úplně vhodný	$\geq 80$	1
vhodný	60-79	2
nevhodný (nevylučuje se)	40-59	3
nevhodný	$< 40$	4

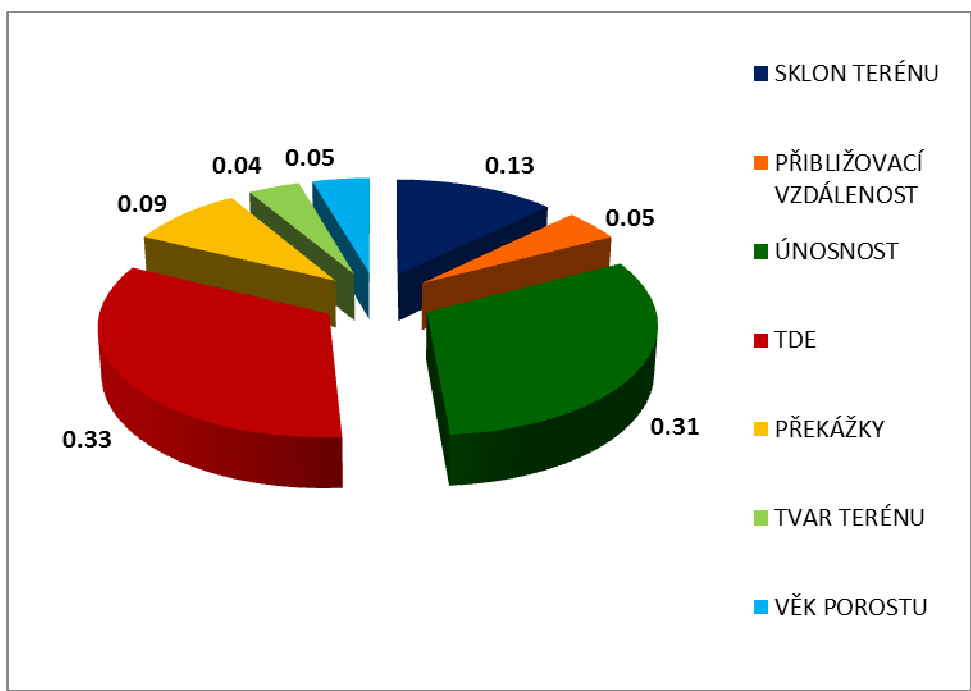
### 6.4.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Pro porovnání významnosti jednotlivých parametrů a následné odvození váhy každého parametru pro použití SLKT jako šetrné přibližovací technologie bude použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků (Tab. 36).

Tab.36 Saatyho matice - SLKT suchá půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	3.000	0.200	0.200	2.000	5.000	4.000	4.8000	1.25	<b>0.13</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.333	1.000	0.200	0.166	0.500	2.000	0.333	0.0037	0.45	<b>0.05</b>
ÚNOSNOST	5.000	5.000	1.000	1.000	4.000	5.000	5.000	2500.0000	3.06	<b>0.31</b>
TDE	5.000	6.000	1.000	1.000	5.000	5.000	5.000	3750.0000	3.24	<b>0.33</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	2.000	0.250	0.200	1.000	3.000	3.000	0.4500	0.89	<b>0.09</b>
TVAR TERÉNU	0.200	0.500	0.200	0.143	0.200	1.000	3.000	0.0017	0.40	<b>0.04</b>
VĚK POROSTU	0.250	3.000	0.200	0.200	0.333	0.333	1.000	0.0033	0.44	<b>0.05</b>
									9.74	1.00

Obr. 12 Váhy parametrů - SLKT suchá půda



## 6.5 Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (SLKT-F) – vlhká půda

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení SLKT vybaveného flotačními (nízko tlakými) pneumatikami jako samostatného přibližovacího prostředku za podmínek vlhké půdy, zůstávají stejné jako v případě SLKT se standardním vybavením.

- sklon terénu [ %]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

### 6.5.1 Stupeň únosnosti půdy

Rozdíl oproti předchozí variantě je v posouzení únosnosti půdy ve vztahu k nominálnímu měrnému tlaku. SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) i norma Lesov SR (ANONYM, 2010a) uvádí při použití flotačních pneumatik nominální měrný tlak 70 kPa. S ohledem na tuto hodnotu bylo upraveno hodnocení vhodnosti použití u parametru stupeň únosnosti půdy pro vlhké půdy, které odvodil VAVŘÍČEK (in NERUDA et al. 2011) (Tab. 37). Ostatní parametry a jejich hodnocení vhodnosti použití zůstaly nezměněny a jejich definice nebudou v této kapitole opakovány.

Tab.37 Stupeň únosnosti půdy – SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY vlhko			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	81-120	5	1
nevhodný (nevylučuje se)	51-80	4	3
nevhodný	18-50	3	4
nevhodný	13-22	2	4
nevhodný	5-12	1	4

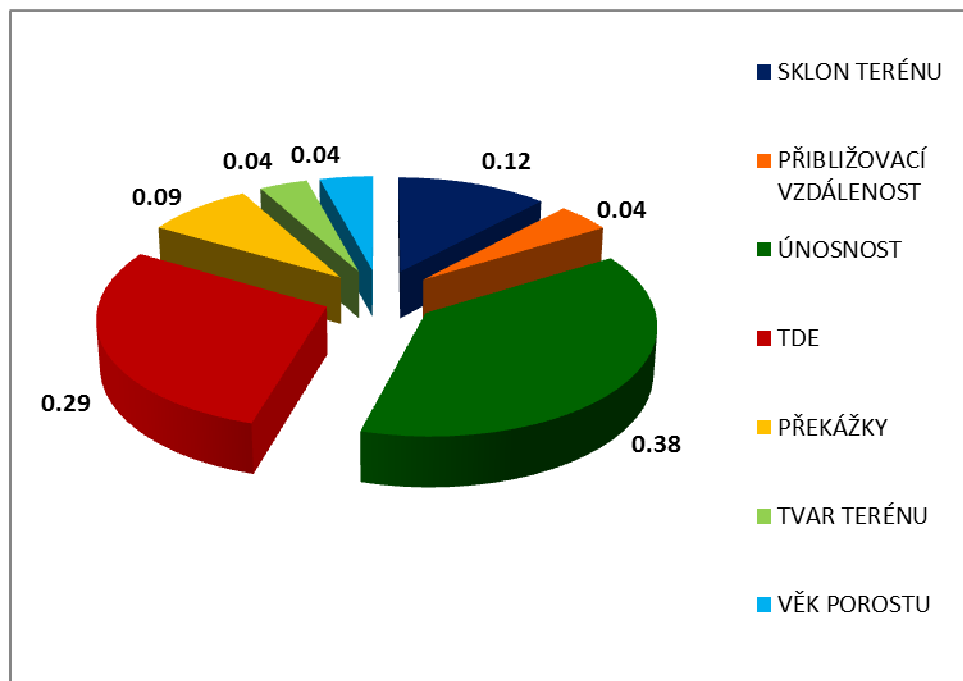
## 6.5.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Za podmínek vlhké půdy použitím flotačních pneumatik sice dojde ke snížení nominálního měrného tlaku stroje na půdu, ale ve vztahu k poměrně výraznému snížení únosnosti půdy, bude mít stupeň únosnosti půdy v Saatyho matici vyšší váhu v porovnání s předchozí variantou.

Tab.38 Saatyho matice - SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	3.000	0.166	0.200	2.000	5.000	4.000	3.9840	1.22	<b>0.12</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.333	1.000	0.166	0.166	0.500	2.000	0.333	0.0031	0.44	<b>0.04</b>
ÚNOSNOST	6.000	6.000	1.000	2.000	5.000	6.000	6.000	12960.0000	3.87	<b>0.38</b>
TDE	5.000	6.000	0.500	1.000	5.000	5.000	5.000	1875.0000	2.93	<b>0.29</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	2.000	0.200	0.200	1.000	3.000	3.000	0.3600	0.86	<b>0.09</b>
TVAR TERÉNU	0.200	0.500	0.166	0.143	0.200	1.000	3.000	0.0014	0.39	<b>0.04</b>
VĚK POROSTU	0.250	3.000	0.166	0.200	0.333	0.333	1.000	0.0028	0.43	<b>0.04</b>
									10.15	1.00

Obr. 13 Váhy parametrů - SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda



## 6.6 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV) – suchá půda

Forwarder (vyvážecí traktor) v kombinaci s harvestorem je za vhodných podmínek nejčastější kombinací těžební a přibližovací technologie při sortimentní metodě. V naší i zahraniční literatuře je tento technologický postup označován jako plně mechanizovaná těžba. Výhody i nevýhody použití plně mechanizované těžby jsou všeobecně známy.

Při dostatečné koncentraci těžby mezi hlavní výhody patří rychlost zpracování, přesná evidence vytěženého dřeva, nižší škody na stojících stromech i na půdě a v neposlední řadě hygiena a bezpečnost práce.

Mezi nevýhody lze zařadit například nutnost přípravy porostu jeho rozčleněním přibližovacími linkami. Jako další omezení využití tohoto technologického postupu lze uvést dřevinnou skladbu těženého porostu, kde by měly převládat jehličnaté dřeviny (především smrk), nutnost koncentrace těžebního zásahu a v neposlední řadě potřeba zkušeného personálu. Při použití vhodné kácecí hlavice a podávacích válců, lze využít harvestory i pro těžbu listnatých dřevin, limitující je ale jejich křivost a tloušťka větví.

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení forwarderu v kombinaci s harvestorem jsou stejné jako v případě UKT a SLKT, ale jsou doplněny ještě dvěma dalšími parametry, které mají vliv na nasazení harvestoru, jako těžební technologie. Výčet všech parametrů je uveden níže.

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu
- zakmenění
- zastoupení smrku a jedle

Na základě rešerše literatury a při zohlednění šetrnosti použití forwarderu a harvestoru za sucha v podmínkách České republiky byly pro jednotlivé vybrané parametry stanoveny níže uvedené intervaly vhodnosti použití.

### 6.6.1 Sklon terénu

NERUDA et al. (2008) uvádí jako mezní sklon pro kolové harvestory hodnotu 50 %. Pro kolové forwardery pak uvádí mezní hodnoty sklonu 40 – 45 % při soustředování dříví po spádnicí, ve vyšších sklonech je ohrožena stabilita stroje a podstatně se snižuje jeho manévrovatelnost. Při použití trakčního navijáku u kolových harvestorů a forwarderů může svahová dostupnost dosáhnout až 70 %.

Podobné hodnoty uvádí i ULRICH (2006). Pro kolové harvestory uvádí mezní sklon cca 45 %, pro pásové harvestory až 70 %. Svahová dostupnost vyvážecích traktorů na suchém podloží je dle tohoto autora do 46 až 50 %, v závislosti na využití kolopásů a řetězů.

Na základě těchto údajů byly stanoveny následující intervaly vhodnosti použití v závislosti na sklonu terénu (Tab. 39).

Tab.39 Sklon – FWHV suchá půda

SKLON [ % ]		
POPIS	SKLON	HODNOTA
úplně vhodný	0-10	1
vhodný	11-35	2
nevhodný (nevylučuje se)	36-45	3
nevhodný	nad 45	4

### 6.6.2 Přibližovací vzdálenost

Stejně jako u UKT budou využity intervaly přibližovacích vzdáleností ze slovenské normy upravující kritéria pro výběr optimálních těžebně dopravních technologií, kterou zpracovaly Lesy SR š. p. (ANONYM, 2010a). V normě jsou uvedeny stejné intervaly vhodnosti použití pro UKT i forwardery. Pro jednoznačnost vymezení jednotlivých intervalů byly hraniční hodnoty upraveny (Tab. 40).

Tab.40 Přibližovací vzdálenost - FWHV suchá půda

PŘÍBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST [m]		
POPIS	VZDÁLENOST	HODNOTA
úplně vhodný	do 500	1
vhodný	501 - 1000	2
nevhodný (nevylučuje se)	1001 - 2000	3
nevhodný	nad 2000	4

### 6.6.3 Stupeň únosnosti půdy

Hodnocení únosnosti půdy bude provedeno ve vazbě na soubory lesních typů podle metodiky VAVŘÍČKA (2011). Pro únosnost půdy vylišil 5 stupňů rezistence půdně taxonomických jednotek zohledňující konzistenci a dočasné hydrické ovlivnění (Tab.11)

V podmínkách ČR uvedl ULRICH (2006) hodnoty měrného tlaku s nákladem i bez nákladu u tří typů forwarderů John Deer, rozdělených podle nosnosti. Maximální měrný tlak u zadní nápravy s nákladem byl 120 kPa. Při použití kolopásů na zadní nápravě, pak maximální měrný tlak klesl na 68 kPa.

Pro účely práce byly vybrány hodnoty nominálních měrných tlaků harvestorů a forwarderů odvozené pro jednotlivé typy podvozků a počty náprav v rámci projektu ECOWOOD (OWENDE et al. 2002). U harvestorů autoři odvodili hodnoty nominálního měrného tlaku na půdu pro čtyřkolový, šestikolový, osmikolový a pásový podvozek. U forwarderů byly hodnoty nominálního měrného tlaku odvozeny pro plně naložený stroj se čtyřkolovým, šestikolovým a osmikolovým podvozkem, přičemž u posledních dvou variant podvozku bylo alternativně zohledněno použití kolopásů. Hodnoty pro jednotlivé typy podvozků a počty náprav jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 41, Tab. 42). Jejich rozpětí zohledňuje použití různých šířek pneumatik a obecnou konfiguraci stroje.

**Tab.41 Nominální měrný tlak na půdu - harvestor**

HARVESTOR	MĚRNÝ TLAK
HV 4-kolový	>80 kPa
HV 6-kolový	50 - 70 kPa
HV 8-kolový	45 - 60 kPa
HV pásový	< 30 kPa

**Tab.42 Nominální měrný tlak na půdu – forwarder**

FORWARDER	MĚRNÝ TLAK
FW 4-kolový (FW 4k)	80 - 100 kPa
FW 6-kolový (FW 6k)	70 - 80 kPa
FW 6-kolový+kolopásy (FW 6kk)	50 - 60 kPa
FW 8-kolový (FW 8k)	50 - 60 kPa
FW 8-kolový+kolopásy (FW 8kk)	40 - 50 kPa

Porovnáním uvedených nominálních měrných tlaků s únosností půdy dle Vavříčkovy metodiky (2011) bylo provedeno hodnocení vhodnosti použití jednotlivých kombinací forwarderu a harvestoru (Tab. 43, Tab. 44).

**Tab.43 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 4-kolový suchá půda**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY FWHV 4k sucho			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	>600	5	1
úplně vhodný	301-600	4	1
úplně vhodný	141-300	3	1
úplně vhodný	51-140	2	1
nevhodný	30-50	1	4

**Tab.44 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 8-kolový s kolopásky suchá půda**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY FWHV 8kk sucho			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	>600	5	1
úplně vhodný	301-600	4	1
úplně vhodný	141-300	3	1
úplně vhodný	51-140	2	1
úplně vhodný	30-50	1	1

#### 6.6.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi

Odolnost proti těžebně dopravní erozi je hodnocena podle metodiky MACKŮ (2000) vytvořené v rámci projektu VaV/640/3/00 Systému komplexního hodnocení lesních půd. Potenciální těžebně dopravní eroze odvozená na základě převládajících půdních subtypů je dále zpřesněna pomocí váhy redukčního faktoru, odvozeného podle kumulovaného porostního typu a zařazení do strukturovaného hospodářského souboru. Výsledná klasifikace rozlišuje pět stupňů odolnosti proti těžebně dopravní erozi, které byly pro účely multikriteriálního hodnocení překlasifikovány hodnotami 1 až 4 podle vhodnosti použití přibližovacích technologií (Tab. 45).

**Tab.45 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - FWHV suchá půda**

ODOLNOST PROTI TDE			
POPIS	POPIS TDE	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	mimořádná	5	1
vhodný	vysoká	4	2
nevhodný (nevylučuje se)	průměrná	3	3
nevhodný	nízká	2	4
nevhodný	velmi nízká	1	4



### 6.6.5 Výskyt a velikost překážek

Pro multikriteriální hodnocení bude výskyt překážek odvozen na základě edafických kategorií podle metodiky terénní a technologické typizace SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993).

Jak bylo uvedeno v metodice ANONYM (2010b) zpracoval přehled osmikolových forwarderů dostupných na trhu ve Velké Británii. Světlost u těchto typů forwarderů se pohybuje od nejnižší hodnoty 580 mm u typu Gremo 1050F až po světlost 800 mm u typu Ponsse Elephant. Forwardery tedy vykazují vyšší světlost než UKT i LKT a jsou tedy méně závislé na výskytu a výšce překážek. V modelu proto budou hodnoceny edafické kategorie s výskytem překážek nad 50 cm pouze hodnotou 3 – nevhodný (nevyklučuje se) (Tab. 46).

Tab.46 Výskyt a velikost překážek - FWHV suchá půda

PŘEKÁŽKY			
POPIS	HODNOTA	EDAFICKÁ KATEGORIE	HODNOTA
úplně vhodný	s překážkami do 30 cm	M, K, S, B, C, I, H, O, D, L, P, Q, V, U, T, G, R	1
vhodný	s překážkami 30 - 50 cm	X, Z, W, A*, N*	2
nevhodný (nevyklučuje se)	s překážkami nad 50 cm	Y, J, A*, N*	3

\* ... podle ověření v terénu

### 6.6.6 Tvar terénu

Vliv tvaru terénu při přibližování pomocí forwarderu není tak významný jako u UKT, hlavně z důvodu vhodnějšího rozložení hmotnosti při zatížení. Přesto byl tento parametr použit při multikriteriálním hodnocení a to se stejnými hodnotami jako u UKT (Tab. 47).

Tab.47 Tvar terénu - FWHV suchá půda

TVAR TERÉNU		
POPIS	TVAR	HODNOTA
úplně vhodný	rovný	1
vhodný	konvexní	2
nevhodný (nevyklučuje se)	konkávní	3
nevhodný	kombinovaný	4

### 6.6.7 Věk porostu

Věk porostu při použití plně mechanizované těžby je významnějším parametrem pro nasazení harvestoru než forwarderu. ULRICH (2006) uvádí jako minimální vhodný věk pro použití harvestoru 40 let. Při zohlednění místních růstových podmínek, může být věk i nižší, pokud budou z realizovaných probírek již získány sortimenty dřeva.

Pro hodnocení vhodného věku porostu budou ponechány stejné intervaly jako u UKT a SLKT (Tab. 48).

Tab.48 Věk porostu - FWHV suchá půda

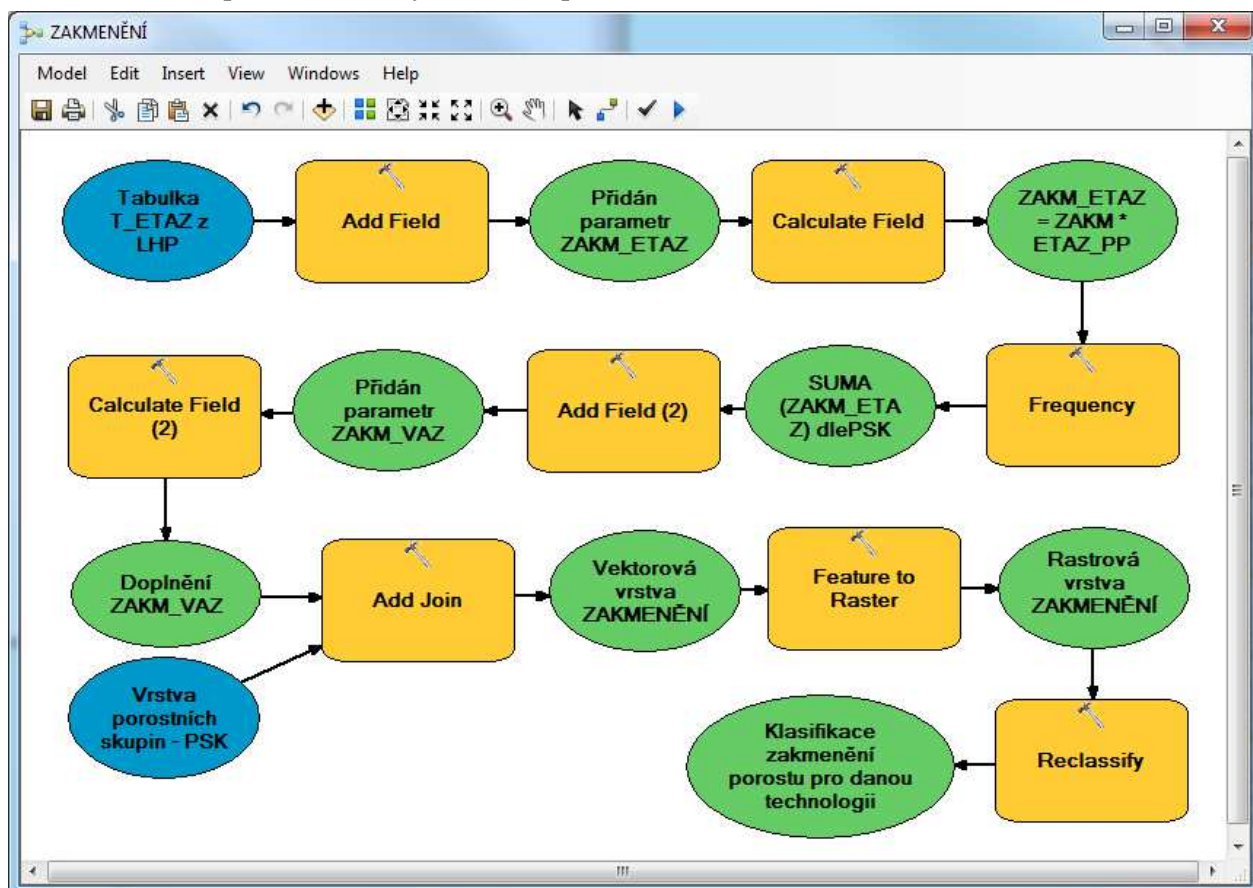
VĚK		
POPIS	VĚK	HODNOTA
úplně vhodný	$\geq 80$	1
vhodný	60-79	2
nevhodný (nevyklučuje se)	40-59	3
nevhodný	$< 40$	4

### 6.6.8 Zakmenění

Stejně jako věk, je hodnota zakmenění významným parametrem pro nasazení harvestoru jako těžební technologie. Jak uvádí ULRICH (2006), minimální zakmenění pro použití harvestorové technologie by mělo být 9. Je to z důvodu ekonomického, protože v těchto etážích je pravděpodobná vyšší intenzita zásahu, ale i z důvodu šetrnosti k půdě, protože bude k dispozici větší množství kletu pro krytí kořenových náběhů. Vhodnost použití kombinace forwarderu a harvestoru ve vztahu k zakmenění je v tabulce (Tab. 49).

Vstupní vrstvou pro tvorbu vrstvy zakmenění porostu v rastrové prezentaci je vektorová vrstva porostních skupin a tabulka etáží z LHP. Jednu porostní skupinu může tvořit několik etáží s různým zakmeněním. Zakmenění porostní skupiny bude proto vypočítáno jako vážený průměr, kdy jako váha bude použita parciální plocha etáže. Skript pro vytvoření vrstvy zakmenění byl vytvořen v Model Builderu v SW ArcGIS (Obr. 14). Tento skript bude použit u všech vybraných přibližovacích technologií pro tvorbu vstupního rastru zakmenění porostu.

Obr. 14 Submodel pro tvorbu vrstvy zakmenění porostu



Tab.49 Zakmenění - FWHV suchá půda

ZAKMENĚNÍ		
POPIS	ZAKMENĚNÍ	HODNOTA
úplně vhodný	10	1
vhodný	9	2
nevhodný (nevylučuje se)	8	3
nevhodný	<= 7	4

### 6.6.9 Zastoupení smrku a jedle

ULRICH (2006) uvádí, že těžba listnatých dřevin harvestory je možná, ale pouze za předpokladu nižších dimenzí, průběžného kmene, eventuálně i s použitím speciální harvestorové hlavice. U smíšených porostů pak většinou převládá dvoufázová technologie, kdy listnáče jsou káceny motorovou pilou a jehličnany harvestory.

Autor dále stanovil jako mezní hodnotu pro nasazení harvestoru zastoupení smrku a jedle minimálně 60 %. Jako optimální zastoupení, s ohledem na ekonomiku, uvádí rozmezí 60 až 90 %. Na základě těchto hodnot byly odvozeny intervaly vhodnosti použití pro tento parametr (Tab. 50).

**Tab.50 Zastoupení SM a JD - FWHV suchá půda**

ZASTOUPENÍ SM a JD		
POPIS	ZASTOUPENÍ	HODNOTA
úplně vhodný	>90	1
vhodný	76-90	2
nevhodný (nevylučuje se)	60-75	3
nevhodný	< 60	4

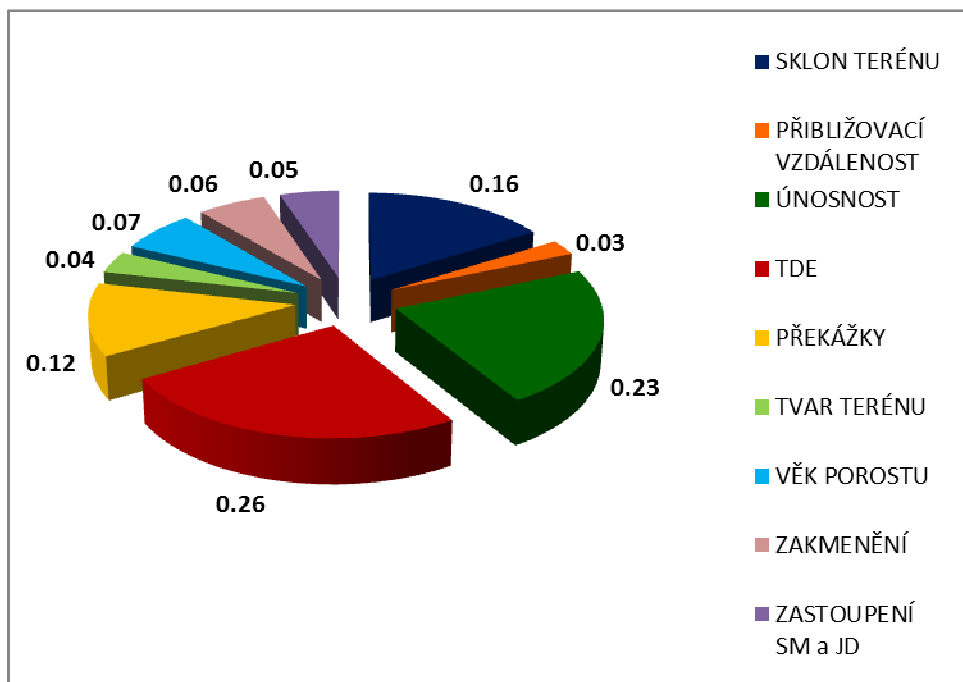
### 6.6.10 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Pro porovnání významnosti jednotlivých parametrů a následné odvození váhy každého parametru pro použití kombinace forwarder a harvester jako šetrné přibližovací technologie bude použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků (Tab. 51).

**Tab.51 Saatyho matice - FWHV suchá půda**

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	ZAKMENĚNÍ	ZASTOUPENÍ SM a JD	SOUČIN	9.ODM	VÁHA
<b>SKLON TERÉNU</b>	1.000	4.000	0.333	1.000	2.000	5.000	3.000	3.000	3.000	359.6400	1.92	0.16
<b>PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST</b>	0.250	1.000	0.200	0.166	0.200	0.333	0.333	0.333	0.333	0.0000	0.30	0.03
<b>ÚNOSNOST</b>	3.000	5.000	1.000	0.500	3.000	5.000	4.000	4.000	4.000	7200.0000	2.68	0.23
<b>TDE</b>	1.000	6.000	2.000	1.000	3.000	5.000	5.000	5.000	5.000	22500.0000	3.04	0.26
<b>PŘEKÁŽKY</b>	0.500	5.000	0.333	0.333	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000	22.4550	1.41	0.12
<b>TVAR TERÉNU</b>	0.200	3.000	0.200	0.200	0.333	1.000	0.500	0.333	0.333	0.0004	0.42	0.04
<b>VĚK POROSTU</b>	0.333	3.000	0.250	0.200	0.333	2.000	1.000	2.000	2.000	0.1331	0.80	0.07
<b>ZAKMENĚNÍ</b>	0.333	3.000	0.250	0.200	0.333	3.000	0.500	1.000	2.000	0.0499	0.72	0.06
<b>ZASTOUPENÍ SM a JD</b>	0.333	3.000	0.250	0.200	0.333	3.000	0.500	0.500	1.000	0.0125	0.61	0.05
											11.92	1.00

Obr. 15 Váhy parametrů - FWHV suchá půda



## 6.7 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV) – vlhká půda

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení forwarderu v kombinaci s harvestorem za podmínek vlhké půdy, zůstávají stejné jako za podmínek suché půdy.

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu
- zakmenění
- zastoupení smrku a jedle

Rozdílné bude pouze hodnocení stupně únosnosti půdy. Ostatní parametry a jejich hodnocení vhodnosti použití zůstaly nezměněny a jejich definice nebudou v této kapitole opakovány.

### 6.7.1 Stupeň únosnosti půdy

Hodnocení únosnosti půdy bude provedeno ve vazbě na soubory lesních typů podle metodiky VAVŘÍČKA (2011), stejně jako u předchozí varianty. U stupňů únosnosti budou ale použity hodnoty pro podmínky vlhké půdy.

Jako mezní nominální měrné tlaky na půdu byly vybrány hodnoty z tabulky Tab. 43, které odvodili OWENDE et al. (2002) pro čtyřkolový forwarder, šestikolový forwarder a osmikolový forwarder s použitím kolopásů nebo bez nich. Vybrané varianty a jejich hodnocení ve vztahu k únosnosti půdy jsou v níže uvedených tabulkách (Tab. 52 – Tab. 54).

**Tab.52 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 4-kolový vlhká půda**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY FWHV 4k vlhko			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	81-120	5	1
nevhodný	51-80	4	4
nevhodný	18-50	3	4
nevhodný	13-22	2	4
nevhodný	5-12	1	4

**Tab.53 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 6-kolový, 6-kolový s kolopásky, 8-kolový vlhká půda**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY FWHV 4k vlhko			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	81-120	5	1
úplně vhodný	51-80	4	1
nevhodný	18-50	3	4
nevhodný	13-22	2	4
nevhodný	5-12	1	4

**Tab.54 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 8-kolový s kolopásky vlhká půda**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY FWHV 4k vlhko			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
úplně vhodný	81-120	5	1
úplně vhodný	51-80	4	1
úplně vhodný	18-50	3	1
nevhodný	13-22	2	4
nevhodný	5-12	1	4

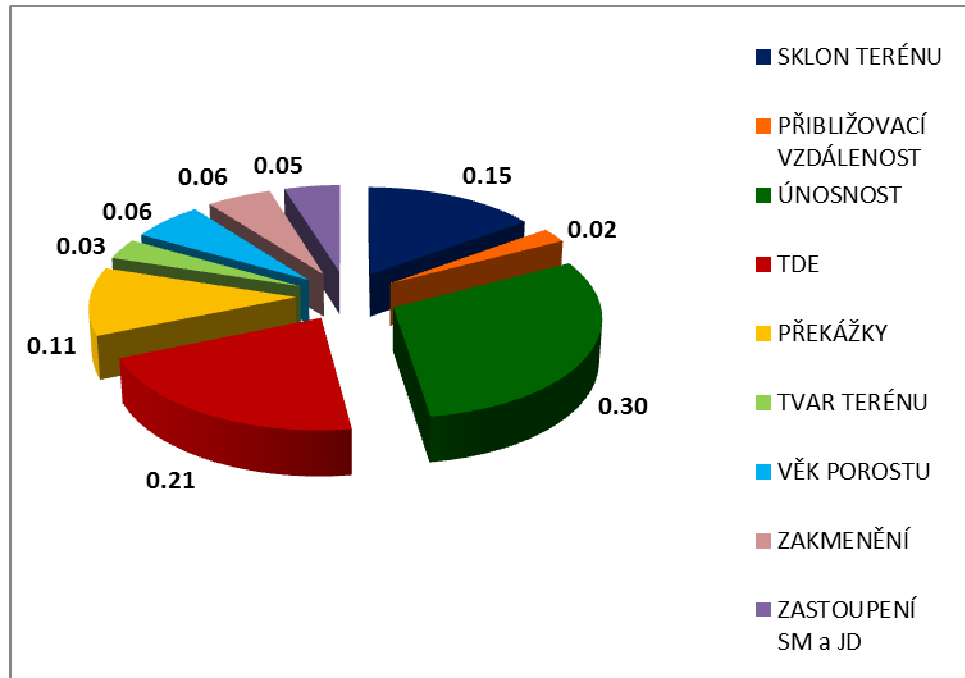
## 6.7.2 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Za podmínek vlhké půdy dojde k výraznému snížení únosnosti půdy, z tohoto důvodu bude mít stupeň únosnosti půdy v Saatyho matici vyšší váhu v porovnání s předchozí variantou (za sucha) (Tab. 55).

Tab.55 Saatyho matice - FWHV vlhká půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	ZAKMENĚNÍ	ZASTOUPENÍ SM a JD	SOUČIN	g. ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	4.000	0.250	1.000	2.000	5.000	3.000	3.000	3.000	270.0000	1.86	<b>0.15</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.250	1.000	0.166	0.166	0.200	0.333	0.333	0.333	0.333	0.0000	0.30	<b>0.02</b>
ÚNOSNOST	4.000	6.000	1.000	2.000	4.000	6.000	5.000	5.000	5.000	144000.0000	3.74	<b>0.30</b>
TDE	1.000	6.000	0.500	1.000	3.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5625.0000	2.61	<b>0.21</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	5.000	0.250	0.333	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000	16.8581	1.37	<b>0.11</b>
TVAR TERÉNU	0.200	3.000	0.166	0.200	0.333	1.000	0.500	0.333	0.333	0.0004	0.42	<b>0.03</b>
VĚK POROSTU	0.333	3.000	0.200	0.200	0.333	2.000	1.000	2.000	2.000	0.1065	0.78	<b>0.06</b>
ZAKMENĚNÍ	0.333	3.000	0.200	0.200	0.333	3.000	0.500	1.000	2.000	0.0399	0.70	<b>0.06</b>
ZASTOUPENÍ SM a JD	0.333	3.000	0.200	0.200	0.333	3.000	0.500	0.500	1.000	0.0100	0.60	<b>0.05</b>
											12.37	1.00

Obr. 16 Váhy parametrů - FWHV vlhká půda



## 6.8 Forwarder (FW) – suchá půda

Forwarder (vyvážecí traktor) může být použit při sortimentní metodě jako samostatná přibližovací technologie, bez vazby na těžbu harvestorem. ULRICH (2006) uvádí údaje o objemech těžby u LČR připadající na mechanizační prostředky dle skupin dřevin za roky 2005 a 2006. Za uvedené roky lze konstatovat nárůst nasazení samostatného forwarderu, především u listnatých těžeb. Meziroční nárůst byl v objemu cca 50 000 m<sup>3</sup>.

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení forwarderu jako samostatná přibližovací technologie jsou stejné jako v případě UKT a SLKT. Výčet všech parametrů je uveden níže.

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

Intervaly vhodnosti při zohlednění šetrnosti použití forwarderu za sucha jsou u vybraných parametrů stejné jako při kombinaci forwarderu s harvestorem, proto nebudou v této kapitole opakovány. Rozdíl oproti kombinaci s harvestorem je, že nejsou hodnoceny parametry zakmenění a zastoupení smrku a jedle. Také stupeň únosnosti půdy bude hodnocen stejně, a to s mezní hodnotou 80 až 100 kPa odvozenou pro čtyřkolový forwarder a 40 až 50 kPa odvozenou pro osmikolový forwarder vybavený kolopásky (OWENDE et al. 2002).



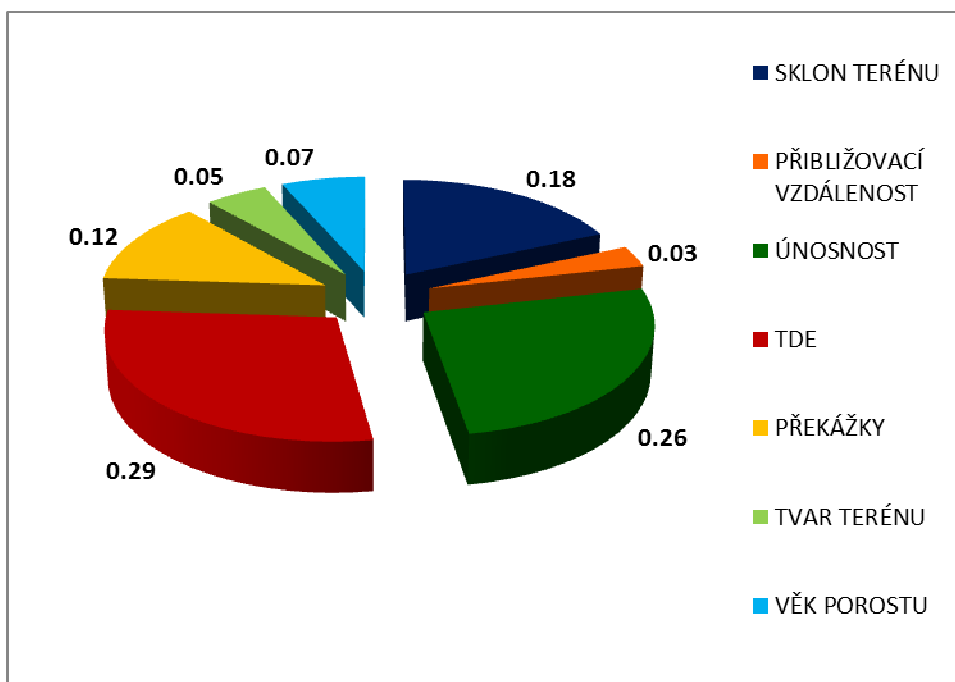
### 6.8.1 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Snížení počtu parametrů se projeví v Saatyho matici při stanovení vah jednotlivých parametrů (Tab. 56).

Tab.56 Saatyho matice - FW suchá půda

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	4.000	0.333	1.000	2.000	5.000	3.000	39.9600	1.69	<b>0.18</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.250	1.000	0.200	0.166	0.200	0.333	0.333	0.0002	0.29	<b>0.03</b>
ÚNOSNOST	3.000	5.000	1.000	0.500	3.000	5.000	4.000	450.0000	2.39	<b>0.26</b>
TDE	1.000	6.000	2.000	1.000	3.000	5.000	5.000	900.0000	2.64	<b>0.29</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	5.000	0.333	0.333	1.000	3.000	3.000	2.4950	1.14	<b>0.12</b>
TVAR TERÉNU	0.200	3.000	0.200	0.200	0.333	1.000	0.500	0.0040	0.45	<b>0.05</b>
VĚK POROSTU	0.333	3.000	0.250	0.200	0.333	2.000	1.000	0.0333	0.61	<b>0.07</b>
									9.23	1.00

Obr. 17 Váhy parametrů - FW suchá půda



## 6.9 Forwarder (FW) – vlhká půda

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení forwarderu jako samostatná přibližovací technologie za podmínek vlhké půdy jsou stejné jako v případě UKT a SLKT. Výčet všech parametrů je uveden níže.

- sklon terénu [ % ]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

Intervaly vhodnosti při zohlednění šetrnosti použití forwarderu za podmínek vlhké půdy jsou u vybraných parametrů stejné jako při kombinaci forwarderu s harvestorem, proto nebudou v této kapitole opakovány. Rozdíl oproti kombinaci s harvestorem je, že nejsou hodnoceny parametry zakmenění a zastoupení smrku a jedle. Také stupeň únosnosti půdy bude hodnocen stejně, a to pro vybrané tři varianty (Tab.53, Tab.54, Tab.55).

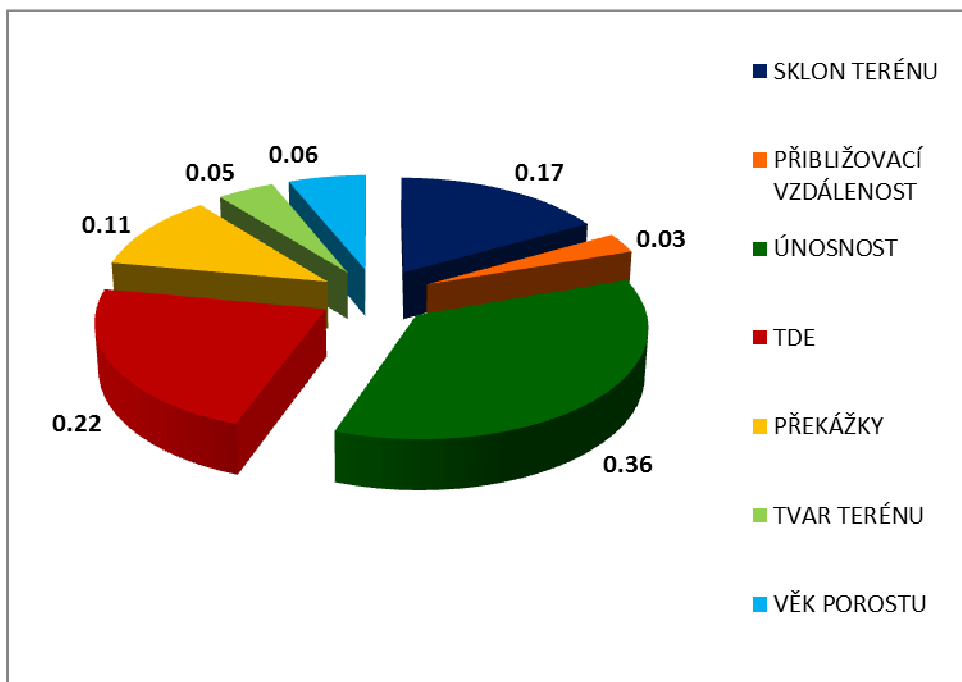
### 6.9.1 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Snížení počtu parametrů se projeví v Saatyho matici při stanovení vah jednotlivých parametrů.

Tab.57 Saatyho matice - FW vlhká půda

	SKLON TERÉNU	PŘÍBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	4.000	0.250	1.000	2.000	5.000	3.000	30.0000	1.63	<b>0.17</b>
PŘÍBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.250	1.000	0.166	0.166	0.200	0.333	0.333	0.0002	0.29	<b>0.03</b>
ÚNOSNOST	4.000	6.000	1.000	2.000	4.000	6.000	5.000	5760.0000	3.45	<b>0.36</b>
TDE	1.000	6.000	0.500	1.000	3.000	5.000	5.000	225.0000	2.17	<b>0.22</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	5.000	0.250	0.333	1.000	3.000	3.000	1.8731	1.09	<b>0.11</b>
TVAR TERÉNU	0.200	3.000	0.166	0.200	0.333	1.000	0.500	0.0033	0.44	<b>0.05</b>
VĚK POROSTU	0.333	3.000	0.200	0.200	0.333	2.000	1.000	0.0266	0.60	<b>0.06</b>
									9.66	1.00

Obr. 18 Váhy parametrů - FW vlhká půda



## 6.10 Lanová dopravní zařízení (LDZ)

Podle většiny dostupných zdrojů podíl dříví přiblíženého lanovými dopravními zařízeními (LDZ) stagnuje nebo mírně klesá. Hlavní příčinou je zvyšující se svahová dostupnost harvesterů a forwarderů, které jsou nově využívány i v terénech, které byly dříve považovány pouze za lanovkové. Výrobci LDZ se snaží reagovat vývojem nových zařízení, u kterých se snaží především minimalizovat čas nutný na montáž a demontáž.

ULRICH (2006) uvádí údaje o objemech těžby u LČR připadající na mechanizační prostředky dle skupin dřevin za roky 2005 a 2006. Za uvedené roky uvádí mírný nárůst nasazení LDZ, ale pouze v objemu cca 23 000 m<sup>3</sup>. Pro vyhodnocení trendu by bylo nutné vyhodnotit delší období.

HOREK a MAUER (2001) podle údajů z roku 2000 upozorňují na nízké využití LDZ v České republice. Z celkového objemu těžby 15 mil. m<sup>3</sup> bylo pouze 300 tis. m<sup>3</sup> přiblíženo pomocí LDZ, to představuje pouhých 2 %. Jak autoři dále uvádí podíl terénů vhodných pro nasazení LDZ činí cca 10 % celkové plochy lesa, ať už z důvodu sklonu nad 40 % nebo z důvodu nízké únosnosti půdy.

Někteří další autoři, např. VISSER, BAKER a SLOAN (2001), upozorňují na fakt, že s rostoucí svahovou dostupností pásových harvesterů je výhodné na strmých svazích

kombinovat těžbu harvestorem s přibližováním pomocí LDZ. Harvestor v těchto podmínkách může plně nahradit těžbu pomocí motorové pily a jeho nasazením se zvýší produktivita a hlavně také bezpečnost a ochrana zdraví při práci.

Parametry pro multikriteriální hodnocení vhodnosti nasazení LDZ jsou stejné jako v případě UKT, SLKT a forwarderu. Výčet všech parametrů je uveden níže.

- sklon terénu [ %]
- přibližovací vzdálenost [m]
- stupeň únosnosti půdy [kPa]
- odolnost proti těžebně dopravní erozi
- výskyt a velikost překážek
- tvar terénu
- věk porostu

### 6.10.1 Sklon terénu

SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (1993) ve své terénní a technologické typizaci navrhuje nasazení LDZ v terénech se sklonem nad 33 %. Celkem rozlišují tři varianty nasazení LDZ, a to z důvodu neúnosného terénu, z důvodu výskytu překážek (velikost, rozmístění) a z důvodu sklonu terénu.

Pro LDZ není sklon limitujícím faktorem pro jejich nasazení. LDZ lze uplatnit na všech sklonech terénu. Pokud však vezmeme do úvahy ekonomické hledisko, je nasazení LDZ v méně sklonitých únosných terénech v porovnání s kolovou technikou finančně méně efektivní. Z tohoto důvodu budou ponechány intervaly členění sklonu stejné jako pro forwarder a hodnocení těchto intervalů je nastaveno tak, aby byly pro použití LDZ preferovány vyšší sklony.

Na základě těchto podmínek byly stanoveny následující intervaly vhodnosti použití v závislosti na sklonu terénu (Tab. 58).

**Tab.58 Sklon – LDZ**

SKLON [ %]		
POPIS	SKLON	HODNOTA
nevhodný	0-10	<b>4</b>
nevhodný (nevylučuje se)	11-35	<b>3</b>
vhodný	36-45	<b>2</b>
úplně vhodný	nad 45	<b>1</b>

### 6.10.2 Přibližovací vzdálenost

Maximální přibližovací vzdálenost LDZ je dána výrobcem a u LDZ s nosným lanem, závisí právě na délce tohoto lana. Tuzemský výrobce LDZ Výzkumná stanice ŠLP Křtiny v současnosti nabízí LDZ s délkami nosného lana 350 m, 550 m a 650 m. V současné době pracuje na lesní lanovce s dosahem 800 m. Výzkumná stanice ŠLP Křtiny také na českém trhu zastupuje rakouského výrobce procesorové lanovky Syncrofalke, která se vyrábí ve dvou variantách, a to s tažnou silou 3 tuny a délkou nosného lana 800 m nebo s tažnou silou 4 tuny a délkou nosného lana 900 m. Druhý typ procesorové lanovky od stejné rakouské firmy je lanovka Wanderfalke, která se vyrábí také ve dvou variantách a to s tažnou silou 1,5 tuny a délkou nosného lana 430 m nebo s tažnou silou 3 tuny a délkou nosného lana 500 m. Firma Valentini pak nabízí lanovku s dosahem až 1000 m.

Při hodnocení budou preferovány kratší přibližovací vzdálenosti a to z důvodu většího výběru vhodných LDZ od různých výrobců (Tab. 59).

Tab.59 Přibližovací vzdálenost - LDZ

PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST [m]		
POPIS	VZDÁLENOST	HODNOTA
úplně vhodný	do 350	1
vhodný	351-650	2
nevhodný (nevylučuje se)	651-900	3
nevhodný	nad 900	4

### 6.10.3 Stupeň únosnosti půdy

Stejně jako sklon terénu, tak ani stupeň únosnosti půdy není pro použití lanovky limitujícím faktorem. Únosnost půdy může ovlivňovat pouze montáž LDZ, ne jeho použití. LDZ je tedy použitelné na všech stupních únosnosti půdy, ale z pohledu šetrného použití přibližovacích technologií by mělo být přednostně nasazeno na málo únosných terénech, kde nelze použít kolovou techniku.

Při hodnocení vhodnosti nasazení LDZ má tedy nejlepší hodnotu (úplně vhodný) nejnižší stupeň únosnosti půdy (Tab. 60).

**Tab.60 Stupeň únosnosti půdy - LDZ**

STUPEŇ ÚNOSNOSTI PŮDY sucho			
POPIS	kPa	STUPEŇ	HODNOTA
nevhodný	>600	5	<b>4</b>
nevhodný (nevylučuje se)	301-600	4	<b>3</b>
vhodný	141-300	3	<b>2</b>
úplně vhodný	51-140	2	<b>1</b>
úplně vhodný	30-50	1	<b>1</b>

### 6.10.4 Odolnost proti těžebně dopravní erozi

Hodnocení odolnosti proti těžebně dopravní erozi je založené na stejném přístupu jako hodnocení sklonu terénu a únosnosti půdy. Hodnocení vhodnosti nasazení LDZ je postaveno tak, aby byly preferovány stanoviště s nízkou a velmi nízkou odolností proti TDE, protože na těchto stanovištích je použití LDZ nejšetnější variantou pro přibližování (Tab. 61).

**Tab.61 Odolnost proti těžebně dopravní erozi - LDZ**

ODOLNOST PROTI TDE		
POPIS TDE	STUPEŇ	HODNOTA
mimořádná	5	<b>4</b>
vysoká	4	<b>4</b>
průměrná	3	<b>3</b>
nízká	2	<b>2</b>
velmi nízká	1	<b>1</b>

### 6.10.5 Výskyt a velikost překážek

Výskyt a velikost překážek je třetím parametrem, který stejně jako sklon terénu a únosnost terénu není limitující pro nasazení LDZ. Proto i v tomto případě budou preferovány terény, kde výskyt a velikost překážek omezuje nebo úplně vylučuje použití kolových, popřípadě pásových prostředků (Tab. 62).

**Tab.62 Výskyt a velikost překážek - LDZ**

PŘEKÁŽKY			
POPIS	HODNOTA	EDAFICKÁ KATEGORIE	HODNOTA
úplně vhodný	s překážkami do 30 cm	M, K, S, B, C, I, H, O, D, L, P, Q, V, U, T, G, R	<b>4</b>
vhodný	s překážkami 30 - 50 cm	X, Z, W, A*, N*	<b>2</b>
nevhodný	s překážkami nad 50 cm	Y, J, A*, N*	<b>1</b>

\* ... podle ověření v terénu

### 6.10.6 Tvar terénu

Ve vertikálním směru je tvar terénu významným faktorem, který ovlivňuje stavbu a použití lanových dopravních zařízení (LDZ). V případě rovného terénu je potřeba použít více polí než u konkávního nebo kombinovaného (konkávně-konvexního) tvaru terénu. Nejnáročnější je stavba LDZ u konvexního terénu, kdy je potřeba postavit více krátkých polí. Hodnocení vhodnosti použití ve vztahu ke tvaru terénu je v tabulce (Tab. 63).

Tab.63 Tvar terénu - LDZ

TVAR TERÉNU		
POPIS	TVAR	HODNOTA
úplně vhodný	konkávní	1
vhodný	kombinovaný	2
nevhodný (nevylučuje se)	rovný	3
nevhodný	konvexní	4

### 6.10.7 Věk porostu

Stejně jako u předchozích variant jsou preferovány starší porosty a to z důvodu zohlednění ekonomického hlediska (Tab. 64). Přibližování pomocí LDZ je ekonomicky nákladnější než použití jiných přibližovacích technologií a s klesající hmotností stromů se tento rozdíl ještě zvyšuje.

Tab.64 Věk porostu - LDZ

VĚK		
POPIS	VĚK	HODNOTA
úplně vhodný	$\geq 80$	1
vhodný	60-79	2
nevhodný (nevylučuje se)	40-59	3
nevhodný	$< 40$	4

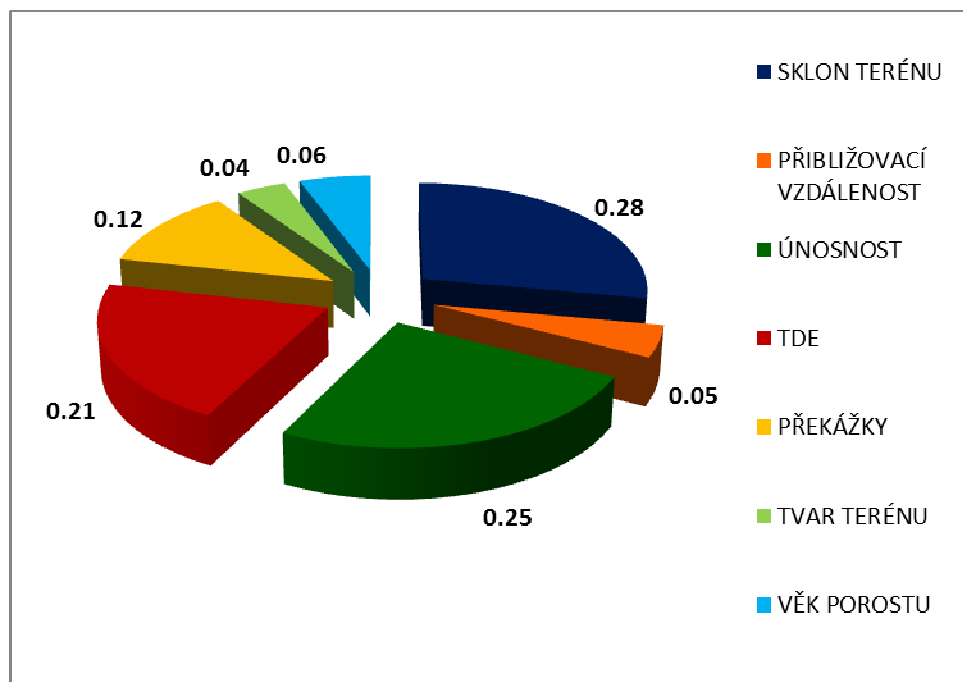
## 6.10.8 Stanovení vah jednotlivých faktorů

Vzájemným porovnáním jednotlivých parametrů a vyjádřením preferencí byla vytvořena níže uvedená Saatyho matice pro stanovení vah jednotlivých parametrů (Tab. 65).

Tab.65 Saatyho matice - LDZ

	SKLON TERÉNU	PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	ÚNOSNOST	TDE	PŘEKÁŽKY	TVAR TERÉNU	VĚK POROSTU	SOUČIN	7.ODM	VÁHA
SKLON TERÉNU	1.000	3.000	3.000	2.000	2.000	4.000	5.000	720.0000	2.56	<b>0.28</b>
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.333	1.000	0.200	0.200	0.200	2.000	0.500	0.0027	0.43	<b>0.05</b>
ÚNOSNOST	0.333	5.000	1.000	2.000	4.000	5.000	5.000	333.0000	2.29	<b>0.25</b>
TDE	0.500	5.000	0.500	1.000	3.000	5.000	5.000	93.7500	1.91	<b>0.21</b>
PŘEKÁŽKY	0.500	5.000	0.250	0.333	1.000	3.000	3.000	1.8731	1.09	<b>0.12</b>
TVAR TERÉNU	0.250	0.500	0.200	0.200	0.333	1.000	0.500	0.0008	0.36	<b>0.04</b>
VĚK POROSTU	0.200	2.000	0.200	0.200	0.333	2.000	1.000	0.0107	0.52	<b>0.06</b>
									9.17	1.00

Obr. 19 Váhy parametrů - LDZ





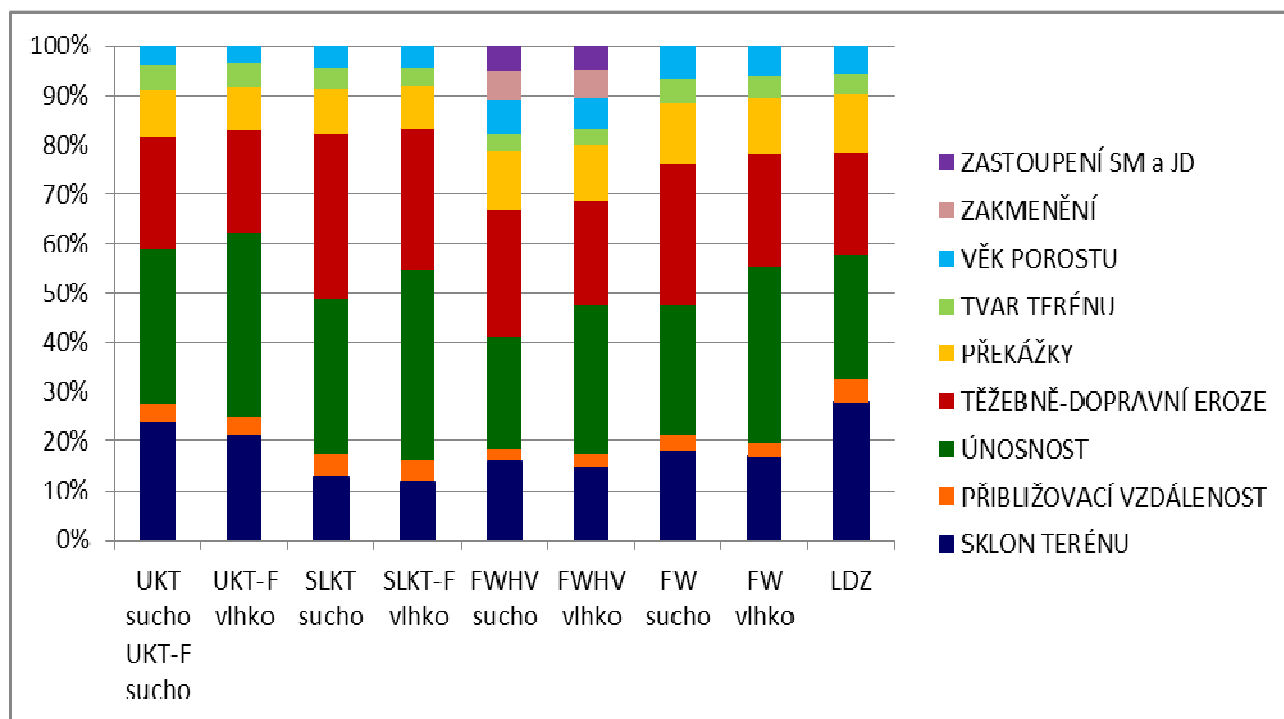
## 6.11 Porovnání odvozených vah parametrů

Pro snadné porovnání odvozených vah parametrů pro jednotlivé varianty byla vytvořena následující tabulka (Tab. 66) a graf (Obr.20).

Tab.66 Porovnání odvozených vah parametrů

	UKT sucho UKT-F sucho	UKT-F vlhko	SLKT sucho	SLKT-F vlhko	FWHV sucho	FWHV vlhko	FW sucho	FW vlhko	LDZ
SKLON TERÉNU	0.24	0.21	0.13	0.12	0.16	0.15	0.18	0.17	0.28
PŘIBLIŽOVACÍ VZDÁLENOST	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05
ÚNOSNOST	0.31	0.37	0.31	0.38	0.23	0.30	0.26	0.36	0.25
TDE	0.23	0.20	0.33	0.29	0.26	0.21	0.29	0.22	0.21
PŘEKÁŽKY	0.10	0.09	0.09	0.09	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12
TVAR TERÉNU	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04
VĚK POROSTU	0.04	0.03	0.05	0.04	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06
ZAKMENĚNÍ					0.06	0.06			
ZASTOUPENÍ SM a JD					0.05	0.05			

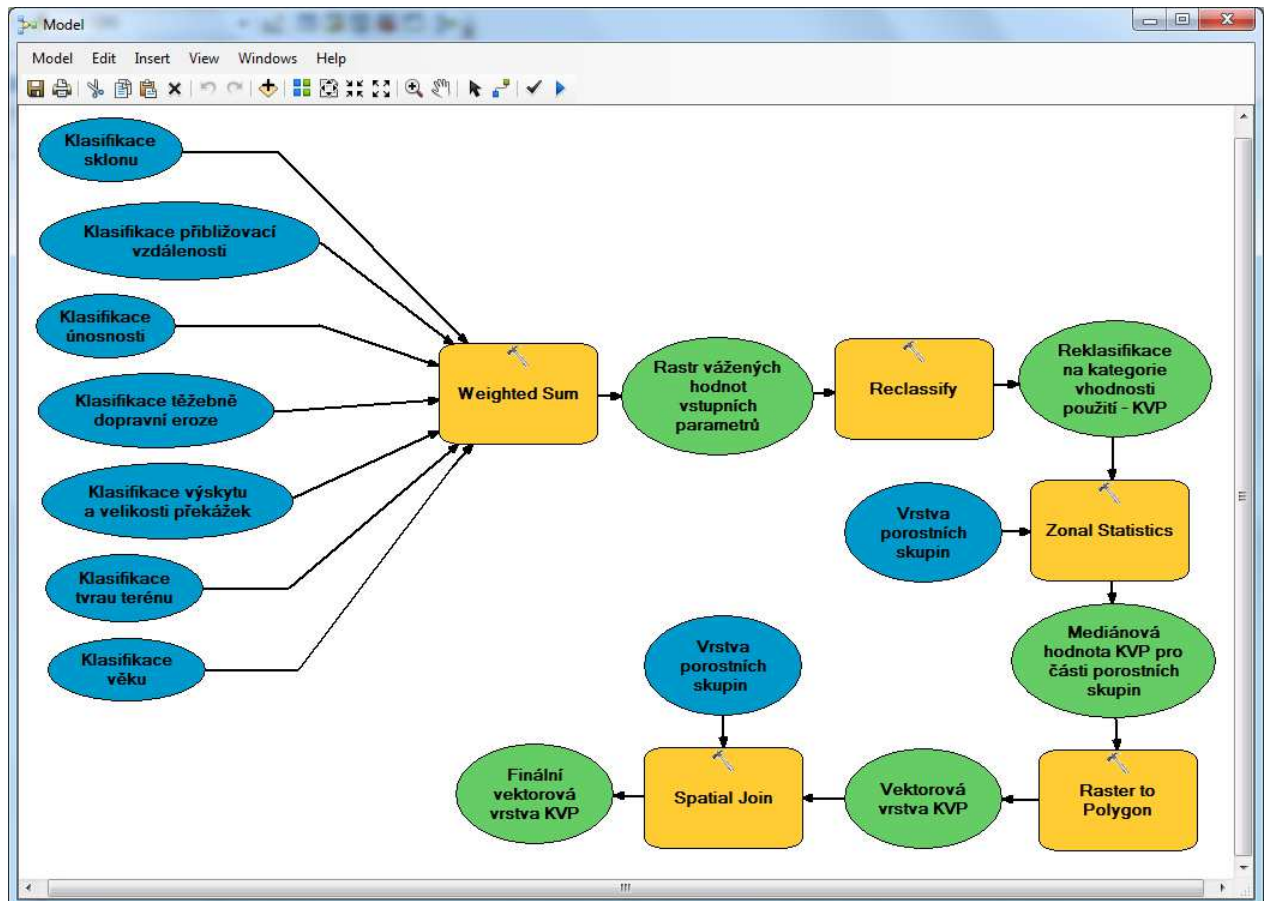
Obr. 20 Porovnání odvozených vah parametrů



## 6.12 Model zpracování vstupních vrstev

Použitím výše uvedených skriptů byly vytvořeny vstupní vrstvy jednotlivých parametrů klasifikované dle kategorií vhodnosti použití pro jednotlivé přibližovací technologie. Tyto vrstvy byly vytvořeny ve formě rastru s rozlišením 5 m a v prvním kroku jsou zpracovány funkcí "Weighted Sum", kdy jednotlivým klasifikovaným vstupním parametrům jsou přiřazeny odvozené váhy. Výsledná vrstva je reklasifikována a pro každou buňku rastru získáme váženou hodnotu kategorie vhodnosti použití dané technologie. Protože cílem je vyhodnotit kategorie vhodnosti použití za jednotlivé porostní skupiny nebo jejich části, je tato výsledná vrstva dále zpracována funkcí "Zonal Statistics". Pomocí této funkce bude vyhodnocena mediánová hodnota kategorie vhodnosti použití pro jednotlivé porostní skupiny nebo jejich části. Pro vytvoření vektorové vrstvy bude nejprve výsledný rastr transformován do polygonové vrstvy pomocí funkce "Raster to Polygon" a následně zpracován pomocí funkce "Spatial Join", kdy bude takto vzniklá vrstva propojena s vektorovou vrstvou porostních skupin. Skript celého modelu zpracování vstupních vrstev vytvořený v Model Builderu v SW ArcGIS je na následujícím obrázku (Obr. 21).

Obr. 21 Model zpracování vstupních vrstev



## 7. Výsledky

Model byl aplikován na experimentální území o ploše 3660 ha. Pro ověření výsledků modelu byla náhodně vytvořena pravidelná síť bodů ve sponu 1 x 1 km. Kolem bodů byla vytvořena obalová zóna (buffer) s poloměrem 30 m a průnikem tohoto bufferu s vrstvou porostních skupin byly vybrány porostní skupiny pro ověření výsledků modelu. Z celkového počtu 1551 porostních skupin v experimentálním území bylo vybráno 70 porostních skupin s celkovou plochou 371 ha. Počet vybraných porostních skupin představuje z celkového počtu podíl 4,5 %, jejich plocha ale reprezentuje 10,1 % celkové plochy experimentálního území.

Při terénním šetření byly ve vybraných porostních skupinách ověřeny následující vstupní parametry modelu: sklon, edafická kategorie, výskyt překážek a tvar terénu. Dále byly terénním šetřením u vybraných porostních skupin ověřeny modelové kategorie vhodnosti použití pro definované přibližovací technologie.

Ze vstupních parametrů vykazoval při ověření největší variabilitu tvar terénu. U 8 porostních skupin bylo hodnocení tvaru terénu odvozené z DMT změněno a u dalších 10 porostních skupin bylo konstatováno, že tvar terénu odpovídá, ale není natolik výrazný, aby významně ovlivnil výsledky modelu. Při ověření výskytu, velikosti a rozmístění překážek bylo u 5 porostních skupin změněno hodnocení tohoto parametru. Tento parametr je závislý na přesnosti vymezení lesních typů v terénu a následném plošném zastoupení edafických kategorií v jednotlivých porostních skupinách. Sklon terénu odvozený z DMT jako mediánová hodnota pro jednotlivé porostní skupiny byl porovnán s terénním měřením, při kterém byl měřen převažující sklon pomocí sklonoměru. U 10 porostních skupin byl při porovnání hodnot sklonu zjištěn rozdíl větší než 5 %, z toho u 7 porostních skupin byl sklon odvozený z DMT nižší než převažující sklon zjištěný v terénu.

Při ověření modelových kategorií vhodnosti použití pro definované přibližovací technologie byly zjištěny rozdíly pouze v závislosti na přesnosti stanovení vstupních parametrů. Při použití vstupních parametrů odpovídajících skutečným hodnotám ověřeným v terénu nebyly u vybraných porostních skupin zjištěny žádné významné chyby v klasifikaci vhodnosti použití vybraných přibližovacích technologií.

Výsledky pro jednotlivé přibližovací technologie byly zpracovány pro dvě varianty. První varianta byla pro celé porostní skupiny a druhá za jednotlivé části

porostních skupin. Z celkového počtu 1551 porostních skupin, jich více jak třetina (549) má dvě nebo více částí.

## 7.1 Univerzální kolový traktor (UKT)

Pro univerzální kolový traktor byly za podmínek suché půdy ze Saatyho matice vyhodnoceny jako tři nejvýznamnější parametry dle odvozených vah následující parametry:

1. únosnost (31 %)
2. sklon terénu (24 %)
3. těžebně-dopravní eroze (23 %)

Z výsledků modelu vyplývá, že použití UKT ve standardní výbavě za sucha, je na více než 52 % (1 911 ha) plochy experimentálního území hodnoceno kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná) a na zbylých 48 % území (1 749 ha) je vhodnost jeho použití hodnocena stupněm 3 (nevhodná - nevylučuje se). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) a 4 (nevhodná) nebyla v experimentálním území pro vybranou technologii a klimatické podmínky klasifikována. Pokud bereme v úvahu části porostních skupina jako samostatné klasifikační jednotky, pak dojde k přesunu 14 ha z kategorie vhodnosti použití 3 do kategorie vhodnosti použití 2. Výsledky pro obě varianty jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.67).

**Tab.67 UKT - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	1 911.30	52.21	1 925.47	52.60	<b>14.16</b>
3	1 749.25	47.78	1 735.07	47.40	<b>-14.18</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Při použití flotačních (nízkotlakých) pneumatik u UKT dojde ke snížení nominálního měrného tlaku na půdu o více než polovinu. Zatímco UKT ve standardní výbavě má nominální měrný tlak na půdu 160 kPa, při použití flotačních pneumatik se nominální měrný tlak na půdu pohybuje kolem 70 kPa. Tento významný pokles nominálního měrného tlaku na půdu v kombinaci s tím, že únosnost půdy má v Saatyho matici pro UKT za sucha nejvyšší váhu (31 %), má za následek výraznou změnu

v klasifikaci území na kategorie vhodnosti použití pro vybranou přibližovací technologii a klimatické podmínky.

Do kategorie vhodnosti 1 (úplně vhodná) se přesunulo 12,4 ha, pokud bereme v úvahu celé porostní skupiny. Při zohlednění částí porostních skupin se tato plocha mírně sníží na 10,8 ha. Nejvýraznější změna ale nastane mezi kategoriemi vhodnosti použití 2 (vhodná) a 3 (nevhodná – nevylučuje se). Při použití flotačních pneumatik za podmínek suché půdy je 80 % (2 928 ha) území hodnoceno kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná) a pouze 20 % (720 ha) kategorií vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Pokud zohledníme jednotlivé části porostních skupin, pak dojde k malému zhoršení a přesunu 24 ha do kategorií vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Výsledky pro porovnání jsou v tabulce Tab.68.

**Tab.68 UKT-flotační pneumatiky - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	12.40	0.34	10.75	0.29	<b>-1.65</b>
2	2 928.29	79.99	2 905.79	79.38	<b>-22.50</b>
3	719.86	19.66	743.99	20.32	<b>24.13</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Za podmínek vlhké půdy došlo ke změně vah odvozených ze Saatyho matice. Tři nejvýznamnější parametry včetně odvozených vah jsou:

1. únosnost (37 %)
2. sklon terénu (21 %)
3. těžebně-dopravní eroze (20 %)

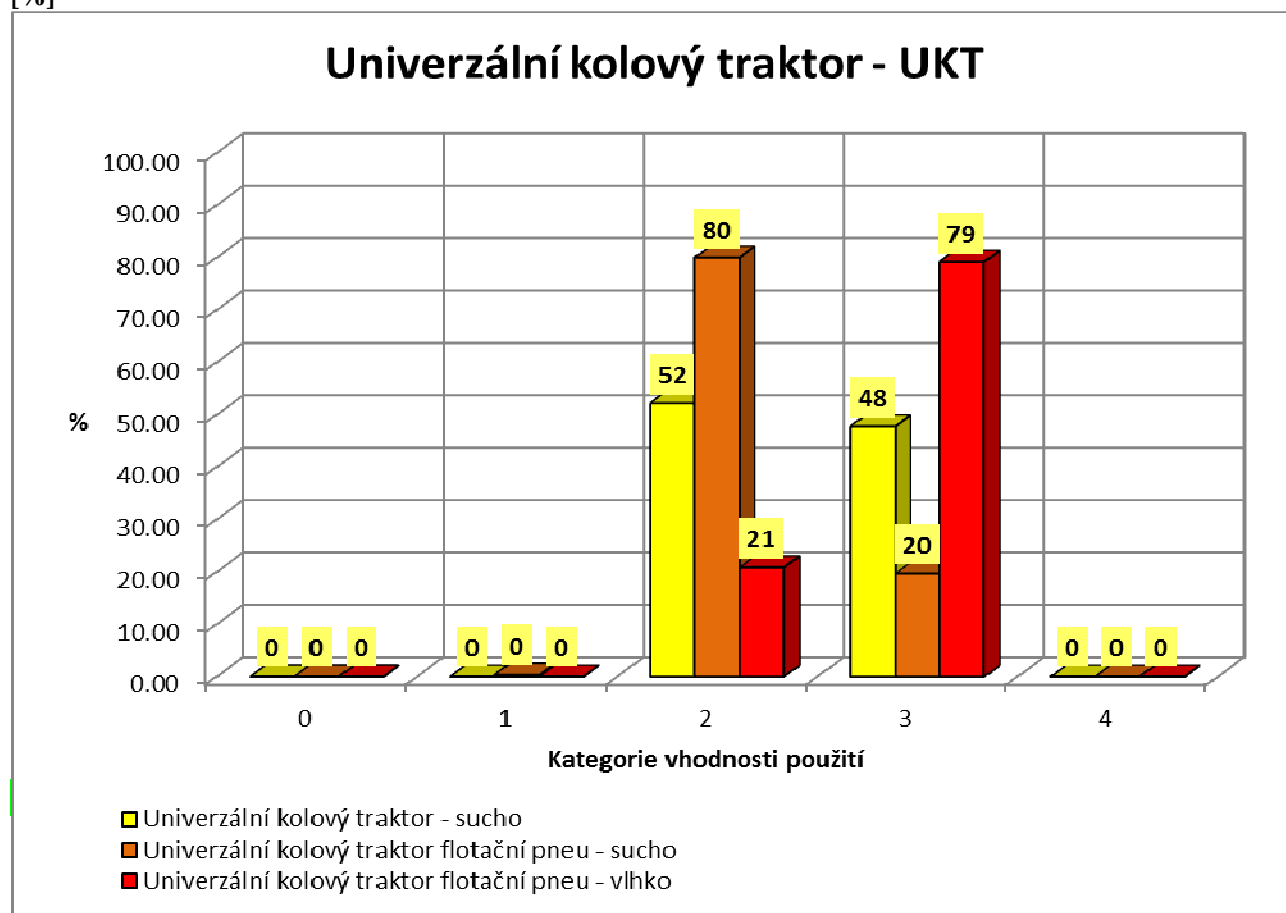
Přes použití flotačních pneumatik, dojde k výraznému zhoršení použitelnosti UKT. Poměr mezi kategoriemi vhodnosti použití 2 (vhodná) a 3 (nevhodná – nevylučuje se) se téměř přesně obrátí. V kategorii vhodnosti použití 2 (vhodná) zůstane pouze 21 % (762 ha) plochy experimentálního území a na zbylých 79 % (2898 ha) plochy je použití UKT s flotačními pneumatikami nevhodné, ale nevylučuje se, tedy kategorie vhodnosti použití 3. Pokud zohledníme jednotlivé části porostních skupin, pak dojde k malému zlepšení ve prospěch kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), kam se přesune 25 ha z kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Výsledky použitelnosti technologie UKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka jsou

v tabulce Tab.69. Celkové grafické porovnání jednotlivých variant nasazení UKT jako šetrné přibližovací technologie je v níže uvedeném grafu (Obr.22).

**Tab.69 UKT-flotační pneumatiky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	762.17	20.82	787.28	21.51	<b>25.11</b>
3	2 898.38	79.17	2 873.01	78.48	<b>-25.37</b>
4	0.00	0.00	0.25	0.01	<b>0.25</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Obr. 22** Plošné zastoupení kategorií vhodnosti použití UKT jako šetrné přibližovací technologie [%]



## 7.2 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)

Pro speciální lesní kolový traktor za sucha byly jako nejvýznamnější parametry v Saatyho matici vyhodnoceny následující tři parametry:

1. těžebně-dopravní eroze (33 %)
2. únosnost (31 %)
3. sklon terénu (13 %)

Při použití SLKT za sucha a při současném zohlednění šetrnosti jeho použití má nejvyšší plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), a to 64 % (2 340 ha) plochy experimentálního území. Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) je zastoupena pouze na 0,25 % (9 ha) plochy a kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) na zbylých 36 % (1 312 ha) plochy.

Pokud bereme v úvahu jednotlivé části porostních skupin jako samostatné objekty, pak dojde ještě k drobnému zlepšení a přesunu 10 ha z kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) do kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Podrobné výsledky jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.70).

Tab.70 SLKT - suchá půda

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	9.20	0.25	9.20	0.25	<b>0.00</b>
2	2 339.65	63.91	2 329.76	63.64	<b>-9.89</b>
3	1 311.70	35.83	1 321.58	36.10	<b>9.88</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Použití SLKT ve standardní výbavě za vlhka není z pohledu šetrnosti jeho použití přípustné, protože jeho nominální měrný tlak na půdu 220 kPa (ANONYM,2010a) výrazně převyšuje nejvyšší únosnost půdy stanovenou VAVŘÍČKEM (2011) pro únosné půdy za vlhka, a to 81-120 kPa. Z tohoto důvodu byla za podmínek vlhké půdy brána v úvahu pouze varianta nasazení SLKT vybaveného flotačními pneumatikami. Jejich použitím klesne nominální měrný tlak na půdu na hodnotu kolem 70 kPa.

Pro variantu použití SLKT s flotačními pneumatikami za vlhka došlo ke změně vah jednotlivých parametrů odvozených ze Saatyho matice. Tři nejvýznamnější podle váhy jsou:

1. únosnost (38 %)
2. těžebně-dopravní eroze (29 %)
3. sklon terénu (12 %)

Pokud porovnáme použití SLKT ve standardní výbavě za sucha a SLKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka, pak také u této přibližovací technologie dojde k výrazné změně v plošném zastoupení kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná) a 3 (nevhodná – nevylučuje se). Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se sníží na 29 % (1 061 ha) a plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) se naopak zvýší, a to na 71 % (2 600 ha). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) a 4 (nevhodná) nebyly pro danou technologii a klimatické podmínky klasifikovány. Při zohlednění jednotlivých částí porostních skupin dojde jen k velmi malému zlepšení a přesunu 5 ha z kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) do kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná).

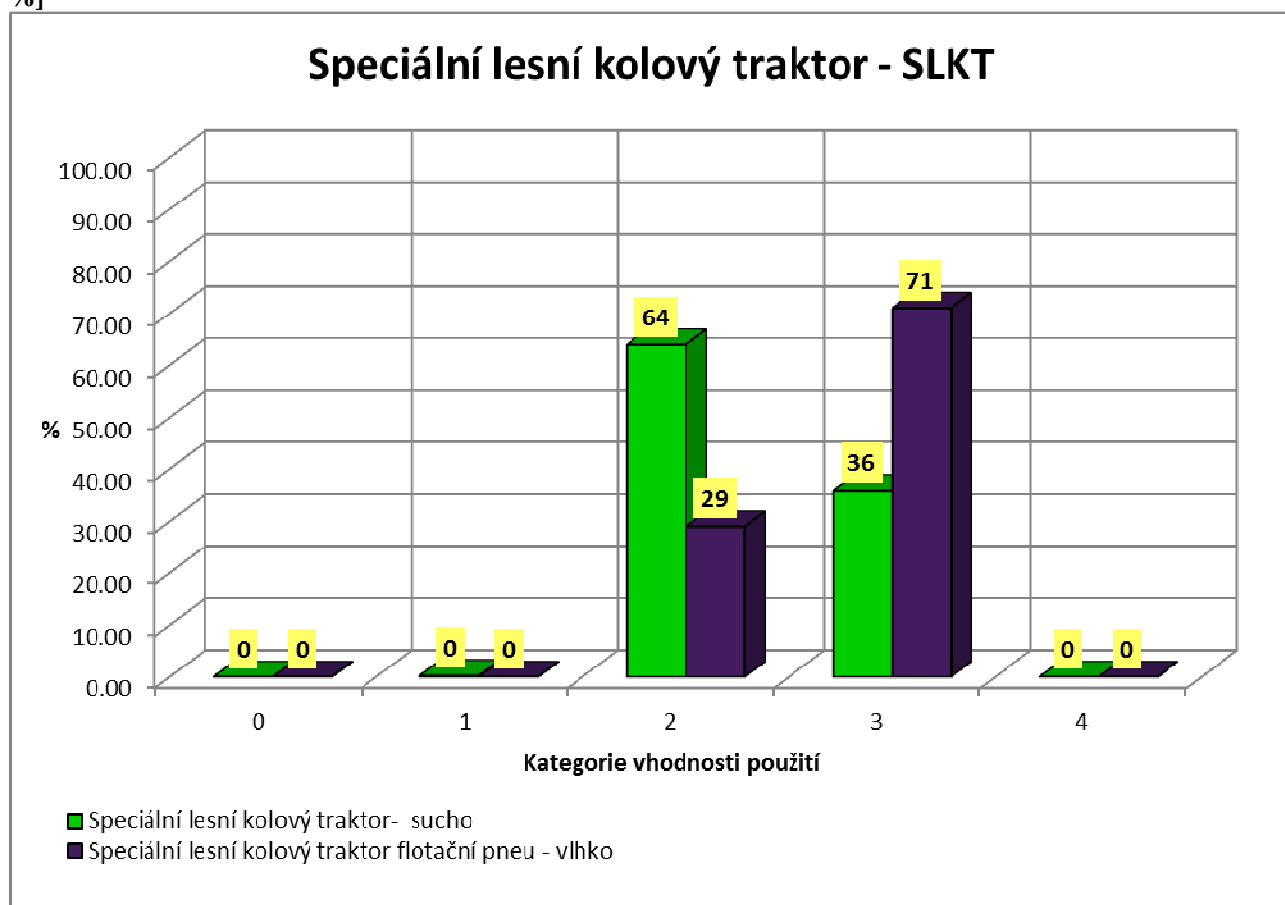
Výsledky použitelnosti technologie SLKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka jsou v tabulce Tab.71. Celkové grafické porovnání jednotlivých variant nasazení SLKT jako šetrné přibližovací technologie je v níže uvedeném grafu (Obr. 23).

**Tab.71 SLKT-flotační pneumatiky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	1 060.61	28.97	1 066.05	29.12	<b>5.44</b>
3	2 599.94	71.02	2 594.48	70.87	<b>-5.45</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		



Obr. 23 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT jako šetrné přibližovací technologie [%]



### 7.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV)

Při testování modelu pro kombinaci technologií forwarderu s harvestorem bylo přistoupeno ke změně hodnocení vstupního parametru zastoupení smrku a jedle. Během testování vah jednotlivých vstupních parametrů bylo nutné zvýšit váhu vstupního parametru zastoupení smrku a jedle až na 43 %, aby byly preferovány etáže se zastoupením smrku a jedle vyšším než 60 %. Protože z důvodu šetrnosti použití vybraných technologií není tento parametr rozhodující, byla při jeho hodnocení použita tzv. bariéra. Místo hodnoty 4 pro zastoupení smrku a jedle pod 60 % byla použita hodnota 99. Upravené hodnocení je v tabulce Tab.72.

Tab.72 FWHV - suchá půda

ZASTOUPENÍ SM a JD		
POPIS	ZASTOUPENÍ	HODNOTA
úplně vhodný	>90	1
vhodný	76-90	2
nevhodný (nevylučuje se)	60-75	3
nevhodný	< 60	99

Ze Saatyho matice vyšly pro volbu kombinace technologií forwarderu s harvestorem za podmínek suché půdy nejvýznamnější tři parametry:

1. těžebně-dopravní eroze (26 %)
2. únosnost (23 %)
3. sklon terénu (16 %)

Při použití kombinace harvestoru s forwarderem za podmínek vlhké půdy došlo v Saatyho matici ke změně vah vstupních parametrů oproti variantě za suché půdy. Tři nejvýznamnější parametry jsou:

1. únosnost půdy (30 %)
2. těžebně-dopravní eroze (21 %)
3. sklon terénu (15 %)

Na základě významnosti těchto parametrů byly do hodnocení modelu vybrány dvě varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek suché půdy a tři varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek vlhké půdy. Hodnoty nominálních měrných tlaků harvestorů a forwarderů odvozené pro jednotlivé typy podvozků a počty náprav byly převzaty z projektu ECOWOOD (OWENDE et al. 2002). Varianta s nejvyšším nominálním měrným tlakem na půdu je čtyřkolový harvestor v kombinaci se čtyřkolovým forwarderem, u které zmínění autoři uvádějí nominální měrný tlak na půdu 80 – 100 kPa. Variantou s nejnižším nominálním měrným tlakem na půdu je osmikolový harvestor s kolopásky v kombinaci osmikolovým forwarderem se stejnou výbavou, kteří působí nominálním měrným tlakem na půdu 40 – 50 kPa. Třetí hodnocenou variantou je kombinace šestikolového harvestoru s kolopásky v kombinaci se šestikolovým forwarderem s kolopásky. Tato kombinace má stejný nominální měrný tlak na půdu, jako kombinace osmikolových prostředků bez kolopásů a to 50 – 60 kPa. Na tuto třetí variantu byl také aplikován navržený model, ale pouze pro podmínky vlhké půdy, protože za sucha by bylo hodnocení díky nízkému měrnému tlaku na půdu stejné jako u varianty osmikolových prostředků vybavených kolopásky.

### 7.3.1 Forwarder v kombinaci s harvestorem - čtyřkolový podvozek

U čtyřkolového podvozku za podmínek suché půdy (Tab. 73) má nejvyšší plošné zastoupení v experimentálním území 64 % (2 334 ha) kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Druhé nejvyšší zastoupení 33 % (1 225 ha) má kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná). Důvodem vysokého podílu této kategorie je změna hodnocení vstupního parametru zastoupení smrku a jedle, kdy pro zastoupení těchto dřevin nižším než 60 % byla použita hodnota parametru 99 (bariéra) místo hodnoty 4. Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) plošně zaujímá 2,4 % (87 ha) a kategorie vhodnosti použití 1 pouze 0,25 % (9 ha).

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 24 ha, a to na úkor kategorie 2 (11 ha) a kategorie 4 (7 ha) a kategorie 0 (6 ha).

Tab.73 FWHV čtyřkolový - suchá půda

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	9.20	0.25	9.20	0.25	<b>0.00</b>
2	2 333.93	63.76	2 323.16	63.46	<b>-10.77</b>
3	86.55	2.36	110.64	3.02	<b>24.09</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Změnou vah vstupních parametrů a změnou hodnocení parametru únosnosti půdy, dojde k výrazným změnám v zastoupení jednotlivých kategorií vhodnosti použití (Tab. 74). Plošné zastoupení kategorie 3 (nevhodná – nevylučuje se) vzroste na 62 % (2 279 ha), a to na úkor kategorie 2 (vhodná) a 1 (úplně vhodná). Kategorie 1 (úplně vhodná) nebyla v experimentálním území za podmínek vlhké půdy klasifikována a plošné zastoupení kategorie 2 (vhodná) se snížilo na pouhých 4 % (151 ha). Tato plocha 151 ha tak představuje celkovou plochu, na které lze uvedenou kombinaci technologií použít, při dodržení podmínky šetrnosti jejího použití. Plošné zastoupení kategorie 4 (nevhodná) zůstalo ve stejném rozsahu 33 % (1 225 ha).

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 7 ha a kategorie 2 (vhodná) o 6 ha, a to na úkor kategorie 4 (7 ha) a kategorie 0 (6 ha).

**Tab.74 FWHV čtyřkolový - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	150.71	4.12	157.24	4.30	<b>6.53</b>
3	2 278.97	62.25	2 285.76	62.44	<b>6.79</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

### 7.3.2 Forwarder v kombinaci s harvestorem - osmikolový podvozek s kolopásky

Kombinace osmikolového harvestoru s kolopásky s osmikolovým forwarderem vybaveným také kolopásky vykazuje malé rozdíly při použití za sucha a za vlhka (Tab. 75, Tab. 76). Dochází zde ale ke zvýšení zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) za vlhka na 0,6 % (22 ha) oproti použití za sucha 0,25 % (9 ha). Tento rozdíl je způsoben především změnou váhy u parametru únosnost půdy z 23 % za podmínek suché půdy na 30 % za podmínek vlhké půdy a současně také nízkým měrným tlakem na půdu při této kombinaci.

Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se liší podle klimatických podmínek použití jen o 3 %. Za sucha je použití vybrané kombinace vhodné na 65 % (2 372 ha) plochy experimentálního území, za vlhka je to pak 62 % (2 262 ha). Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) je za sucha zastoupena pouze 1 % (49 ha) a za podmínek vlhké půdy jsou to 4 % (145 ha). Plošné zastoupení kategorie 4 (nevhodná) zůstalo z důvodu použití bariéry u parametru zastoupení smrku a jedle ve stejném rozsahu 33 % (1 225 ha) jako u předchozí kombinace čtyřkolového harvestoru s forwarderem. Změna zastoupení kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) se neprojeví ani při použití za vlhka.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde při použití za sucha ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 17 ha, a to na úkor kategorie 2 (4 ha) a kategorie 4 (7 ha) a kategorie 0 (6 ha). Při použití za vlhka jsou rozdíly menší. K nejvyššímu nárůstu dojde u kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), a to o 10 ha. Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) vzroste o 3 ha. Kategorie vhodnosti použití 4 naopak klesne o 7 ha a kategorie 0 o 6 ha.

**Tab.75 FWHV osmikolový s kolopásky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	22.29	0.61	22.29	0.61	<b>0.00</b>
2	2 262.31	61.80	2 272.20	62.07	<b>9.89</b>
3	145.14	3.96	148.50	4.06	<b>3.37</b>
4	1 224.70	33.45	1 217.54	33.26	<b>-7.16</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Tab.76 FWHV osmikolový s kolopásky - suchá**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	9.20	0.25	9.20	0.25	<b>0.00</b>
2	2 371.90	64.79	2 368.16	64.69	<b>-3.75</b>
3	48.57	1.33	65.64	1.79	<b>17.07</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

### 7.3.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem - šestikolový podvozek s kolopásky

Nejvyšší plošné zastoupení pro uvedenou kombinaci za podmínek vlhké půdy (Tab. 77) má kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) a to 61 % (2 237 ha). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) má zastoupení 0,6 % (22 ha), kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) má zastoupení 5 % (170 ha) a kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) má stejně jako předchozích kombinací harvestoru s forwarderem zastoupení 33 % (1 225 ha).

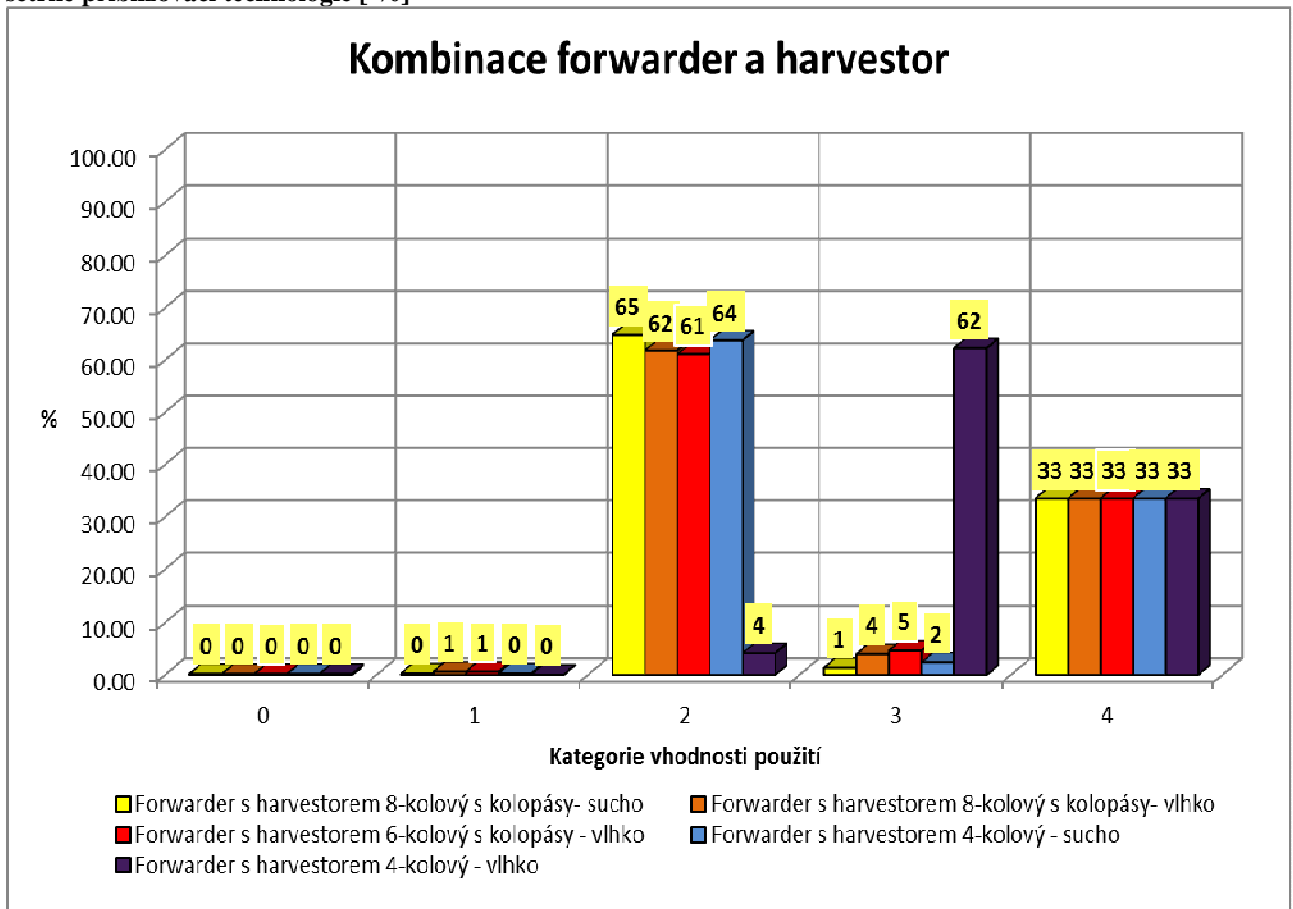
Zohledněním částí porostních skupin dojde k nejvyššímu zvýšení plošného zastoupení 14 ha u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) na úkor kategorií vhodnosti použití 4 (7 ha), 2 (0,3 ha) a 0 (6 ha).

Výsledky jsou platné i pro použití kombinace osmikolového podvozku bez použití kolopásů, protože hodnoty měrných tlaků na půdu jsou u obou těchto typů srovnatelné (50 – 60 kPa).

**Tab.77 FWHV šestikolový s kolopásky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	22.29	0.61	22.29	0.61	<b>0.00</b>
2	2 237.37	61.12	2 237.09	61.11	<b>-0.28</b>
3	170.02	4.64	183.62	5.02	<b>13.60</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 24 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ %]



## 7.4 Forwarder (FW)

Forwarder jako samostatná přibližovací a vyvážecí technologie byl hodnocen na základě sedmi parametrů, stejně jako technologie UKT, SLKT a LDZ. Oproti hodnocení kombinace forwarderu s harvestorem byly vypuštěny parametry zakmenění a zastoupení smrku a jedle, které mají význam pro nasazení harvestoru. To se projevilo i ve stanovení vah jednotlivých parametrů.

Ze Saatyho matice vyšly pro forwarder za podmínek suché půdy nejvýznamnější tři parametry:

1. těžebně-dopravní eroze (29 %)
2. únosnost (26 %)
3. sklon terénu (18 %)

Při použití forwarderu jako samostatné přibližovací a vyvážecí technologie za podmínek vlhké půdy došlo v Saatyho matici ke změně vah vstupních parametrů oproti variantě za suché půdy. Tři nejvýznamnější parametry jsou:

1. únosnost (36 %)
2. těžebně-dopravní eroze (22 %)
3. sklon terénu (17 %)

Na základě významnosti těchto parametrů byly obdobně jako u kombinace forwarderu s harvestorem do hodnocení modelu vybrány dvě varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek suché půdy a tři varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek vlhké půdy. Hodnoty nominálních měrných tlaků forwarderů odvozené pro jednotlivé typy podvozků a počty náprav byly převzaty z projektu ECOWOOD (OWENDE et al. 2002). Variantou s nejvyšším nominálním měrným tlakem na půdu je čtyřkolový forwarder, u které zmínění autoři uvádějí nominální měrný tlak na půdu 80 – 100 kPa. Variantou s nejnižším nominálním měrným tlakem na půdu je osmikolový forwarder vybavený kolopásky, který působí nominálním měrným tlakem na půdu 40 – 50 kPa. Třetí hodnocenou variantou je šestikolový forwarder s kolopásky, který má stejný nominální měrný tlak na půdu, jako osmikolový forwarder bez kolopásů a to 50 – 60 kPa. Na tuto třetí variantu byl také aplikován navržený model, ale pouze pro podmínky vlhké půdy, protože za sucha by bylo hodnocení díky nízkému měrnému tlaku na půdu stejné jako u varianty osmikolového forwarderu vybaveného kolopásky.

#### **7.4.1 Forwarder - čtyřkolový podvozek**

U čtyřkolového podvozku za podmínek suché půdy (Tab. 78, Tab. 79) má nejvyšší plošné zastoupení v experimentálním území 95 % (3 496 ha) kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Druhé nejvyšší zastoupení 4 % (149 ha) má kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) má zastoupení pouhá 0.44 % (16 ha). Kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná – nevylučuje se) nebyla pro vybranou technologii za podmínek suché půdy klasifikována.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 42 ha, a to na úkor kategorie 2 (42 ha). Dojde také k malému navýšení kategorie 1 (0.65 ha) na úkor kategorie 2.

**Tab.78 FW čtyřkolový – vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	279.80	7.64	304.18	8.31	<b>24.38</b>
3	3 377.19	92.25	3 347.73	91.45	<b>-29.46</b>
4	3.56	0.10	8.62	0.24	<b>5.06</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Tab.79 FW čtyřkolový - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	16.16	0.44	16.81	0.46	<b>0.65</b>
2	3 495.63	95.49	3 452.67	94.32	<b>-42.96</b>
3	148.76	4.06	191.06	5.22	<b>42.29</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Změnou vah vstupních parametrů a změnou hodnocení parametru únosnosti půdy, dojde k velmi výrazným změnám v zastoupení jednotlivých kategorií vhodnosti použití za podmínek vlhké půdy. Plošné zastoupení kategorie 3 (nehodná – nevylučuje se) vzroste na 92 % (3 377 ha), a to na úkor kategorie 2 (vhodná) a 1 (úplně vhodná). Kategorie 1 (úplně vhodná) nebyla v experimentálním území za podmínek vlhké půdy klasifikována a plošné zastoupení kategorie 2 (vhodná) se snížilo na pouhých 8 % (280 ha). Tato plocha 280 ha tak představuje celkovou plochu, na které lze čtyřkolový forwarder použít, při dodržení podmínky šetrnosti jeho použití. Plošné zastoupení kategorie 4 (nehodná) bylo klasifikováno na 0,1 % (3,6 ha).

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke snížení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nehodná – nevylučuje se) o 29 ha a to na úkor kategorie 2 (vhodná) o 24 ha a na úkor kategorie 4 (nehodná) o 5 ha.

#### **7.4.2 Forwarder - osmikolový podvozek s kolopásky**

Kombinace osmikolového forwarderu s kolopásky vykazuje podobně jako při jeho kombinaci s osmikolovým harvestorem vybaveným kolopásky malé rozdíly při použití za sucha a za vlhka (Tab. 80, Tab. 81). Dochází zde ale ke zvýšení zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) za vlhka na 2,6 % (93 ha) oproti použití za sucha 0,4 % (16 ha). Tento rozdíl je způsoben především změnou váhy u parametru únosnost půdy z 26 % za podmínek suché půdy na 36 % za podmínek vlhké půdy a současně také nízkým měrným tlakem na půdu při této kombinaci.

Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se liší podle klimatických podmínek použití jen o 5 %. Za sucha je použití osmikolového forwarderu s kolopásky vhodné na 97 % (3 563 ha) plochy experimentálního území, za vlhka je to pak 92 % (3 368 ha). Kategorie vhodnosti použití 3 (nehodná – nevylučuje se) je za sucha



zastoupena pouze 2 % (81 ha) a za podmínek vlhké půdy je to 5 % (200 ha). Kategorie 4 (nevhodná) nebyla za sucha ani za vlhka pro vybranou přibližovací technologii klasifikována.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde při použití za sucha ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 35 ha, a to na úkor kategorie 2 (35 ha). Na úkor kategorie 2 dojde také k drobnému zlepšení o 0,65 ha u kategorie 1 (úplně vhodná). Při použití za vlhka jsou rozdíly menší. K nejvyššímu nárůstu dojde u kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná), a to o 16 ha. Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) vzroste o 6 ha. Obě uvedené změny jsou na úkor kategorie 2 (vhodná).

**Tab.80 FW – osmikolový s kolopásky – vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	93.27	2.55	109.19	2.98	<b>15.92</b>
2	3 367.59	91.99	3 345.63	91.39	<b>-21.96</b>
3	199.69	5.45	205.71	5.62	<b>6.02</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Tab.81 FW – osmikolový s kolopásky – suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	16.16	0.44	16.81	0.46	<b>0.65</b>
2	3 563.03	97.33	3 527.69	96.36	<b>-35.33</b>
3	81.36	2.22	116.03	3.17	<b>34.67</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

### 7.4.3 Forwarder - šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda

Nejvyšší plošné zastoupení pro šestikolový forwarder za podmínek vlhké půdy (Tab. 82) má kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) a to 91 % (3 326 ha). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) má zastoupení 2,6 % (93 ha), kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) má zastoupení 6 % (241 ha) a kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) nebyla pro danou technologii klasifikována.

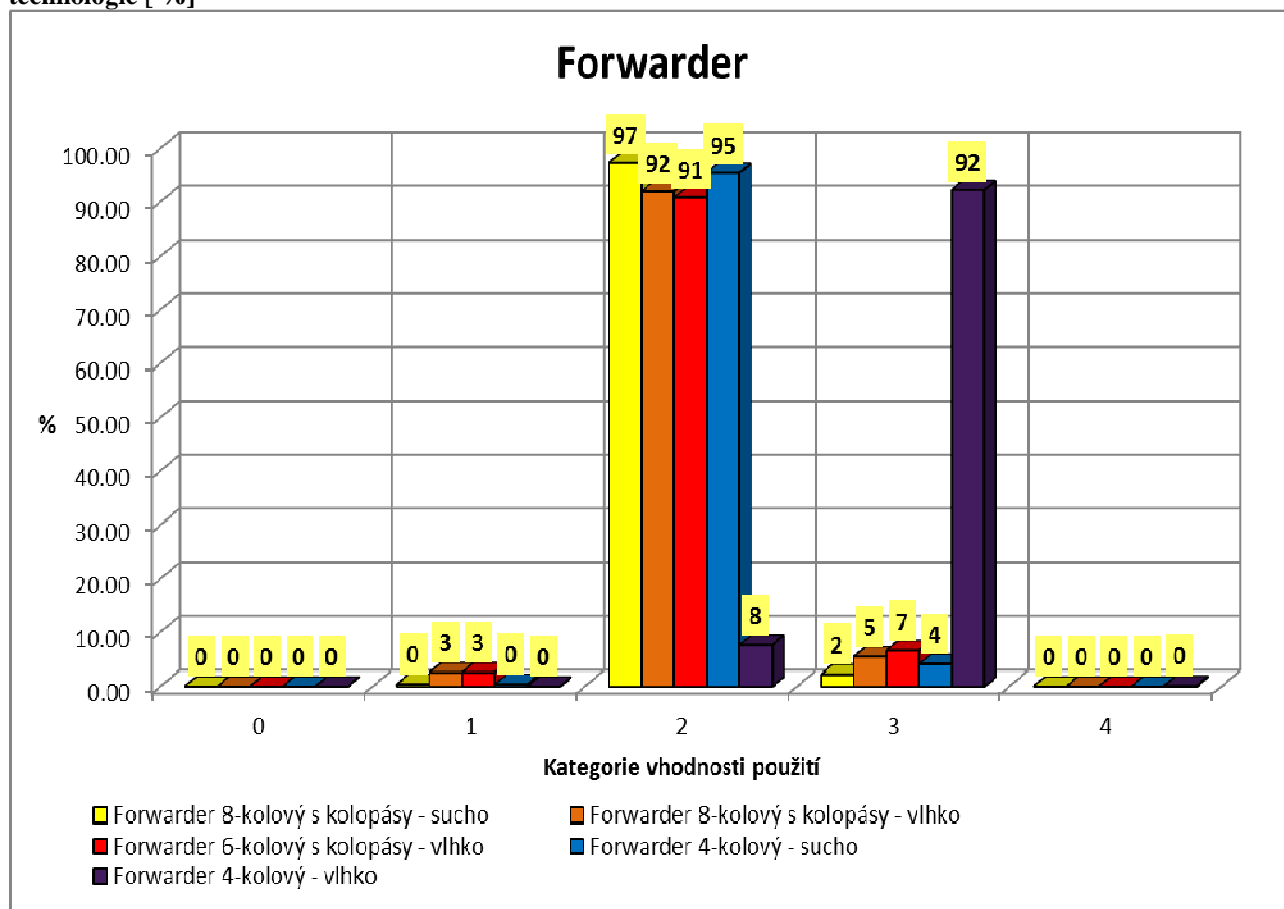
Zohledněním částí porostních skupin dojde ke zvýšení plošného zastoupení o 23 ha u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) a o 16 ha u kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná). Obě změny jsou na úkor kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná).

Výsledky jsou platné i pro použití osmikolového podvozku bez použití kolopásů, protože hodnoty měrných tlaků na půdu jsou u obou těchto typů srovnatelné (50 – 60 kPa).

**Tab.82 FW – šestikolový s kolopásky – vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	93.27	2.55	109.19	2.98	<b>15.92</b>
2	3 326.21	90.86	3 287.40	89.80	<b>-38.82</b>
3	241.06	6.59	263.95	7.21	<b>22.88</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Obr. 25 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu, jako šetrné přibližovací technologie [ %]**



## 7.5 Lanové dopravní zařízení (LDZ)

Model pro stanovení vhodnosti použití lanového dopravního zařízení je navržen tak, aby byly preferovány porostní skupiny, kde sklony svahů, únosnost půdy, výskyt překážek nebo kombinace těchto parametrů nedovoluje, z pohledu šetrnosti jejich použití, nasazení kolové techniky.

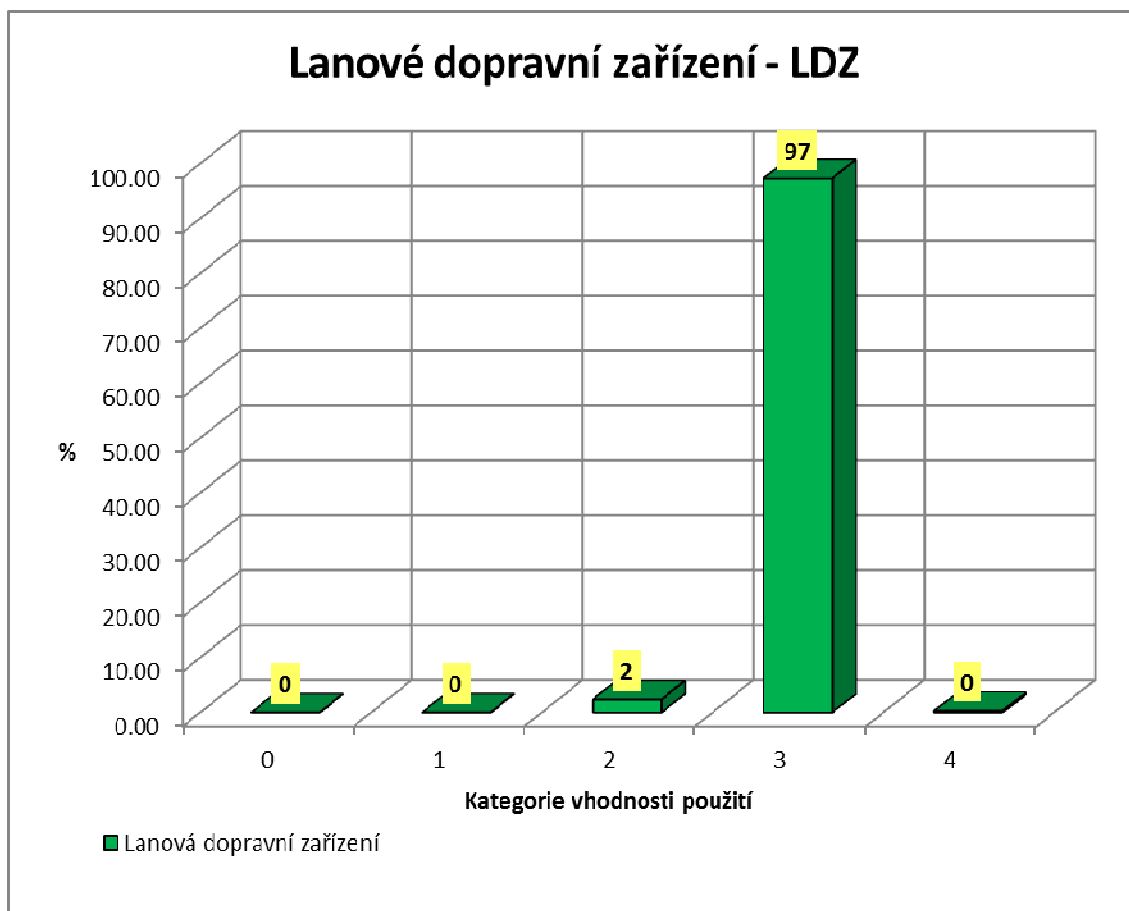
Na základě těchto podmínek nebyla žádná porostní skupina ve vybraném experimentálním území klasifikována kategorií 1 (úplně vhodná). Plošné zastoupení kategorie 2 (vhodná) pak v případě celých porostních skupin činí 2,4 % (87 ha) a při zohlednění částí porostních skupin pak 3 % (111 ha). Zbylé porostní skupiny v experimentálním území jsou klasifikovány kategorií vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) s plošným zastoupením 97,3 % (3 562 ha) a kategorií 4 (nevhodná) s plošným zastoupením 0,3 % (11 ha). Pokud zohledníme části porostních skupin, dojde, jak bylo zmíněno výše k navýšení kategorie vhodnosti použití 2 o téměř 24 ha na úkor kategorií 3 (21,2 ha) a 4 (2,4 ha).

Z důvodu, že pro ověření výsledků modelu v terénu byla náhodným výběrem vybrána pouze jedna porostní skupina s kategorií vhodnosti použití 2 pro LDZ, byly navíc zkontrolovány 3 další porostní skupiny s tímto hodnocením. Výsledky jsou uvedeny v tabulce Tab. 83.

**Tab.83 Lanové dopravní zařízení**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	87.08	2.38	110.65	3.02	<b>23.57</b>
3	3 562.17	97.31	3 540.96	96.73	<b>-21.21</b>
4	11.29	0.31	8.92	0.24	<b>-2.37</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 26 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití LDZ, jako šetrné přibližovací technologie [%]



## **8. Ověření modelu na ŠLP Křtiny**

### **8.1 Popis experimentálního území**

Pro ověření vytvořeného modelu byla vybrána severní část Školního lesního podniku Křtiny (ŠLP). Tato část leží na území přírodní lesní oblasti 30 Dražanská vrchovina. Území je na severu ohraničeno státní silnicí č.379 Jedovnice – Blansko – Svatá Kateřina a na jihu tvoří hranice obce Křtiny, Babice nad Svitavou a Adamov. Výčet zaujatých oddělení je následující: 101 - 169, 301 - 310 a 313 - 325. Víceméně souvislá plocha porostních skupin (porostní půda) má v experimentálním území celkovou výměru 3148 ha. Nadmořská výška území se pohybuje v rozmezí od 230 do 545 m.n.m. Tato část ŠLP byla vybrána především z důvodu konfigurace terénu, vysoké lesnatosti a pestrých stanovištních podmínek. Celkem je zde zastoupeno 115 lesních typů v 18 edafických kategoriích, a to včetně významného podílu svahových lesních typů. Z edafických kategorií zaujímají nejvyšší plošný podíl edafické kategorie S, A, B a W.

#### **8.1.1 Geologie**

Vybraná část ŠLP se nachází na rozhraní mezi vápenci, které sem zasahují z Moravského krasu a amfibolitickými granodiority, místy i diority a diabasy, které tvoří Adamovskou vrchovinu. V okolí obcí Olomučany a Rudice se nacházejí výplně hlubokých krasových depresí ze zvětralin jurského a křídového stáří (jíly, písky, valouny).

#### **8.1.2 Geomorfologie**

Podle geomorfologického členění se celé zájmové území nachází v geomorfologickém celku Dražanská vrchovina, který patří k systému Hercynskému, subsystému Hercynská pohoří, provincii Česká vysočina, subprovincii Česko-Moravské a oblasti Brněnská vrchovina.

#### **8.1.3 Klima**

Na základě Makroklimatické a mezoklimatické regionalizace ČR, kterou zpracoval QUITT (1992) z podkladů II. klimatického normálu 1961-1990, patří 47 % plochy lesa v zájmovém území do makroklimatického regionu I, 38 % do

makroklimatického regionu U, 9 % do makroklimatického regionu F a 7 % do makroklimatického regionu S.

V makroklimatickém regionu I se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -2 až -3 °C a v červenci mezi 17 až 18 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 30 až 40. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 350 až 450 mm a v zimním období mezi 200 až 250 mm.

V makroklimatickém regionu U se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -2 až -3 °C a v červenci mezi 17 až 18 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 30 až 40. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 350 až 400 mm a v zimním období mezi 200 až 250 mm.

V makroklimatickém regionu F se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -2 až -3 °C a v červenci mezi 16 až 17 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 30 až 40. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 350 až 450 mm a v zimním období mezi 250 až 300 mm.

V makroklimatickém regionu S se průměrné teploty v lednu pohybují mezi -2 až -3 °C a v červenci mezi 17 až 18 °C. Počet ledových dnů, kdy maximální teplota je  $\leq 0,1$  °C, je mezi 30 až 40. Srážkový úhrn se pak pohybuje ve vegetačním období mezi 350 až 450 mm a v zimním období mezi 250 až 300 mm.

#### **8.1.4 Hydrologie**

Celá oblast zájmového území patří do povodí Černého moře. Hlavním tokem je řeka Svitava, do které se vlévají Křtinský potok, Olomučanský potok nebo Barácký potok. Severní část území je odvodňována říčkou Punkvou, která se u Blanska vlévá také do řeky Svitavy.

#### **8.1.5 Pedologie**

Vlastnosti půd se liší podle petrografického složení hornin, polohy v terénu, ovlivnění vodou a klimatem. Na kyselých stanovištích převládají kambizemě. Půdy na exponovaných stanovištích jsou většinou na přechodu mezi rankerem a kambizemí. Na stanovištích ovlivněných vodou se pak vyvinuly pseudogleje a gleje a na vápencovém podloží jsou nejčastější rendziny.

### 8.1.6 Vegetační stupňovitost

Plošné zastoupení lesních vegetačních stupňů v experimentálním území dle platných Oblastních plánů rozvoje lesů je uvedeno v následující tabulce (Tab.84).

Tab.84 Lesní vegetační stupně

LVS	Plocha [ha]	%
1	24	0.7
2	374	11.5
3	2042	62.7
4	816	25.1

### 8.1.7 Zpřístupnění lesních porostů

Experimentální území je s ohledem na členitost terénu dobře zpřístupněné pomocí odvozních cest. Hustota lesních odvozních cest je pro dané experimentální území je 28,8 m.ha<sup>-1</sup>. BENEŠ (1986) doporučuje pro pahorkatiny hustotu lesních odvozních cest 22 m.ha<sup>-1</sup> lze tedy konstatovat, že hustota lesních odvozních toto doporučení převyšuje o 6,8 m.ha<sup>-1</sup>.

## 8.2 Výsledky modelu

Na základě výsledků testování modelu na vybraném území ŠLP Křtiny bylo rozhodnuto, že pro každou technologii za podmínek vlhké půdy budou použity stejné váhy jako za podmínek suché půdy. Změna klimatických podmínek bude zohledněna pouze v hodnocení parametru únosnosti půdy ve vztahu k nominálnímu měrnému tlaku vybrané technologie.

Důvodem ke změně byly výsledky modelu pro forwarder a kombinaci forwarderu s harvestorem na stanovištích, kde byl sklon pro tyto soustředovací a přibližovací technologie hodnocen stupněm 4 - nevhodný (sklon nad 45 %), ale na základě multikriteriálního hodnocení vyšel u zastoupených porostních skupin stupeň vhodnosti použití 2 - vhodný. Při použití vah stanovených pro podmínky suché půdy, byly tyto porostní skupiny správně hodnoceny stupněm vhodnosti použití 3 - nevhodný-nevylučuje se.

Na prvním experimentálním území v okolí Rabštejna neměly tyto sklonové kategorie významné plošné zastoupení, proto nebylo možné výsledky modelu za těchto podmínek ověřit. Pro jednotnost multikriteriálního hodnocení jednotlivých soustředovacích a přibližovacích technologií v modelu byly i ostatních dvou modelových technologií UKT a SLKT použity váhy jednotlivých parametrů za podmínek suché půdy.

Dále uvedené výsledky plně reflektují popsanou změnu v multikriteriálním hodnocení za podmínek vlhké půdy. V následující kapitole č.9 budou aktualizovány výsledky i pro první experimentální území Rabštejn.

Oproti experimentálnímu území došlo také ke zpřesnění vstupního parametru tvar terénu, který při odvození v rámci navrženého modelu vykazoval nejnižší míru spolehlivosti. Tvar terénu byl odvozen ne pro celé porostní skupiny, ale pro jednotlivé části porostních skupin.

### 8.2.1 Univerzální kolový traktor (UKT)

Z výsledků modelu v případě hodnocení celých porostních skupin vyplývá, že použití UKT ve standardní výbavě za sucha, je na více než 69 % (2 161 ha) plochy vybraného území hodnoceno kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná), na zbylých 31 % území (985 ha) je vhodnost jeho použití hodnocena stupněm 3 (nevhodná - nevylučuje



se). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) byla klasifikována na ploše pouze 2,4 ha, což představuje plošný podíl 0,08 % a kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) nebyla ve vybraném území pro vybranou technologii a klimatické podmínky klasifikována.

Pokud bereme v úvahu části porostních skupina jako samostatné klasifikační jednotky, pak dojde k přesunu 7 ha z kategorie vhodnosti použití 2 do kategorie vhodnosti použití 3. Výsledky pro obě varianty jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.85).

**Tab.85 UKT - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.07	0.00	0.11	0.00	<b>0.05</b>
1	2.41	0.08	2.23	0.07	<b>-0.18</b>
2	2 160.54	68.63	2 153.57	68.41	<b>-6.97</b>
3	984.91	31.29	992.02	31.51	<b>7.11</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Při použití flotačních (nízkotlakých) pneumatik u UKT dojde ke snížení nominálního měrného tlaku na půdu o více než polovinu. Zatímco UKT ve standardní výbavě má nominální měrný tlak na půdu 160 kPa, při použití flotačních pneumatik se nominální měrný tlak na půdu pohybuje kolem 70 kPa. Tento významný pokles nominálního měrného tlaku na půdu v kombinaci s tím, že únosnost půdy má v Saatyho matici pro UKT za sucha nejvyšší váhu (31 %), má za následek výraznou změnu v klasifikaci území na kategorie vhodnosti použití pro vybranou přibližovací technologii a klimatické podmínky.

Plocha kategorií vhodnosti 1 (úplně vhodná) se zvýšila z 0,08 % (2,4 ha) na 2,7 % (86 ha), pokud bereme v úvahu celé porostní skupiny. Při zohlednění částí porostních skupin se tato plocha ještě zvýší na celkových 118 ha, což představuje plošný podíl 3,7 %. Nejvýraznější změna ale nastane mezi kategoriemi vhodnosti použití 2 (vhodná) a 3 (nevhodná – nevyklučuje se). Při použití flotačních pneumatik za podmínek suché půdy je 76 % (2 381 ha) území hodnoceno kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná) a pouze 22 % (680 ha) kategorií vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se). Pokud zohledníme jednotlivé části porostních skupin, pak dojde k nárůstu kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 5 ha, ale také kategorie vhodnosti

použití 1 (úplně vhodná) o 31 ha. Obě změny jsou na úkor kategorie vhodnosti použití 2, kde dojde ke snížení plochy o 36 ha. Výsledky pro porovnání jsou v tabulce Tab.86.

**Tab.86 UKT-flotační pneumatiky - suchá půda**

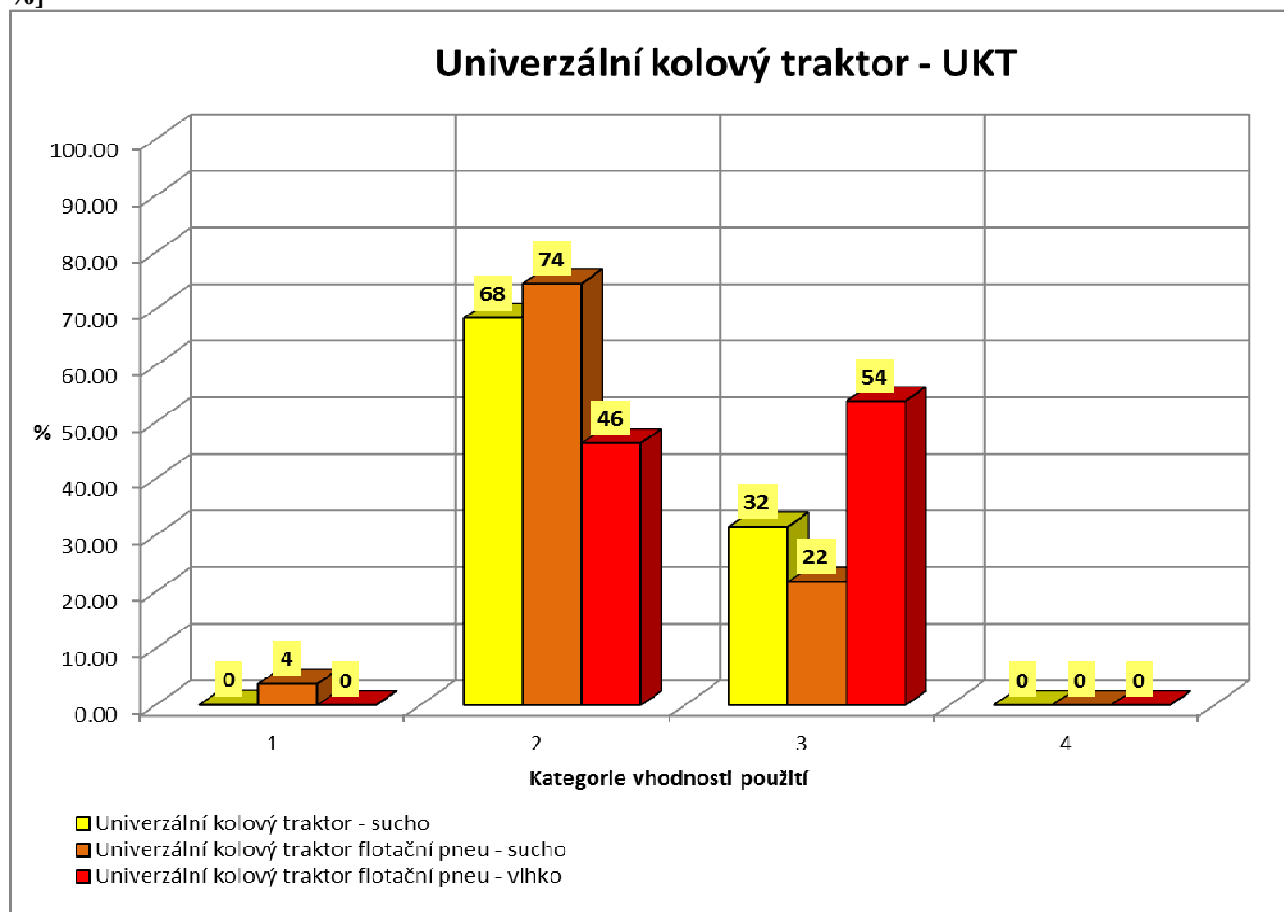
	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.07	0.00	0.11	0.00	<b>0.04</b>
1	86.29	2.74	117.70	3.74	<b>31.41</b>
2	2 381.48	75.65	2 345.05	74.50	<b>-36.43</b>
3	680.09	21.60	685.07	21.76	<b>4.97</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Za podmínek vlhké půdy dojde i přes použití flotačních pneumatik k výraznému zhoršení použitelnosti UKT. Plošný podíl kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) klesne na 46 % (1 437 ha) plochy vybraného území a na zbylých 54 % (1 711 ha) plochy je použití UKT s flotačními pneumatikami nevhodné, ale nevylučuje se, tedy kategorie vhodnosti použití 3. Pokud zohledníme jednotlivé části porostních skupin, pak dojde k navýšení ve prospěch kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), kam se přesune 20 ha z kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Výsledky použitelnosti technologie UKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka jsou v tabulce Tab.87. Celkové grafické porovnání jednotlivých variant nasazení UKT jako šetrné přibližovací technologie je v níže uvedeném grafu (Obr. 27).

**Tab.87 UKT-flotační pneumatiky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.07	0.00	0.11	0.00	<b>0.05</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	1 437.22	45.66	1 457.09	46.29	<b>19.87</b>
3	1 710.64	54.34	1 690.73	53.71	<b>-19.91</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Obr. 27 Plošné zastoupení kategorií vhodnosti použití UKT jako šetrné přibližovací technologie [%]



### 8.2.2 Speciální lesní kolový traktor (SLKT)

Pokud bereme v úvahu celé porostní skupiny, pak při použití SLKT za sucha a při současném zohlednění šetrnosti jeho použití má nejvyšší plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), a to 84,5 % (2 666 ha) plochy vybraného území. Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) je zastoupena pouze na 2,5 % (79 ha) plochy a kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) na zbylých 13 % (403 ha) plochy.

Pokud bereme v úvahu jednotlivé části porostních skupin jako samostatné objekty, pak dojde ještě k plošnému nárůstu 2 ha u kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) a 16,5 ha u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se). Obě změny v plošném zastoupení jsou na úkor kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Podrobné výsledky jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.88).

**Tab.88 SLKT - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.07	0.00	0.11	0.00	<b>0.04</b>
1	78.88	2.51	80.96	2.57	<b>2.08</b>
2	2 666.34	84.70	2 647.68	84.11	<b>-18.66</b>
3	402.65	12.79	419.18	13.32	<b>16.54</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Použití SLKT ve standardní výbavě za vlhka není z pohledu šetrnosti jeho použití přípustné, protože jeho nominální měrný tlak na půdu 220 kPa (ANONYM,2010) výrazně převyšuje nejvyšší únosnost půdy stanovenou VAVŘÍČKEM (2011) pro únosné půdy za vlhka, a to 81-120 kPa. Z tohoto důvodu byla za podmínek vlhké půdy brána v úvahu pouze varianta nasazení SLKT vybaveného flotačními pneumatikami. Jejich použitím klesne nominální měrný tlak na půdu na hodnotu kolem 70 kPa.

Pokud porovnáme použití SLKT ve standardní výbavě za sucha a SLKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka, pak také u této přibližovací technologie dojde k výrazné změně v plošném zastoupení kategorií vhodnosti použití 2 (vhodná) a 3 (nevhodná – nevyklučuje se). Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se sníží na 64 % (2 030 ha) a plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) se naopak zvýší, a to na 33 % (1 041 ha). U kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) dojde v plošném zastoupení ke snížení pouze o 2,4 ha. Kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) nebyla pro danou technologii a klimatické podmínky klasifikována.

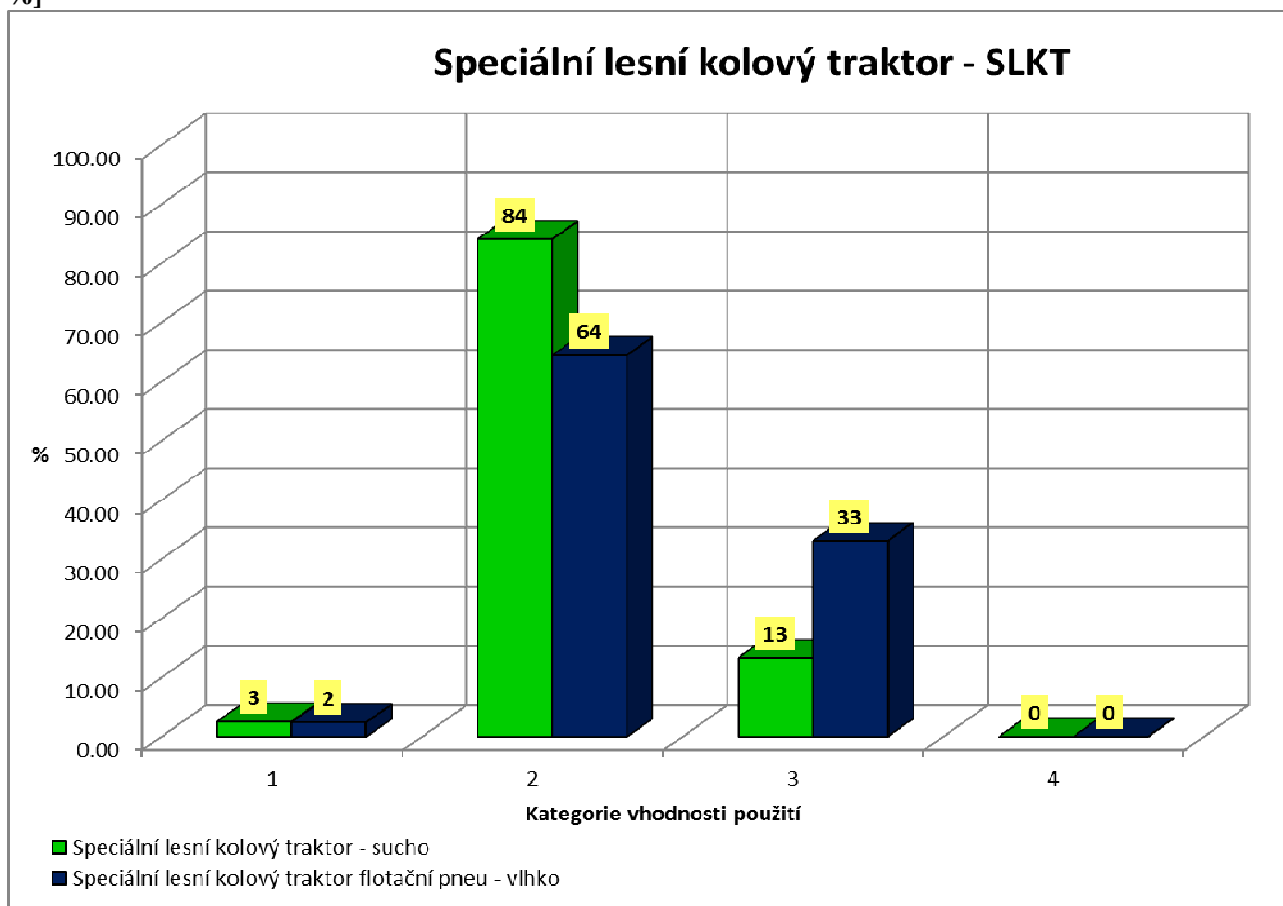
Při zohlednění jednotlivých částí porostních skupin dojde jen k přesunu 18 ha z kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) do kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se).

Výsledky použitelnosti technologie SLKT vybaveného flotačními pneumatikami za vlhka jsou v tabulce Tab.89. Celkové grafické porovnání jednotlivých variant nasazení SLKT jako šetrné přibližovací technologie je v níže uvedeném grafu (Obr.28).

Tab.89 SLKT-flotační pneumatiky - vlhká půda

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.07	0.00	0.11	0.00	0.04
1	76.50	2.43	76.86	2.44	0.37
2	2 048.09	65.06	2 029.83	64.48	-18.26
3	1 023.27	32.51	1 041.13	33.07	17.86
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Obr. 28 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT jako šetrné přibližovací technologie [ %]



### 8.2.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem (FWHV)

Výsledky modelu byly stejně jako v experimentálním území zpracovány pro dvě varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek suché půdy a tři varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek vlhké půdy.

#### 8.2.3.1 Forwarder v kombinaci s harvestorem – čtyřkolový podvozek

U čtyřkolového podvozku za podmínek suché půdy má vlivem dřevinné skladby nejvyšší plošné zastoupení ve vybraném území 83 % (2 602 ha) kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná). Druhé nejvyšší zastoupení 17 % (525 ha) má kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) plošně zaujímá pouze 0,7 % (21 ha) a kategorie vhodnosti použití 1 pouze 0,01 % (0,28 ha).

Zohledněním částí porostních skupin, dojde k nepatrnému zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 2,9 ha, a to na úkor kategorie 2 (Tab. 90).

Tab.90 FWHV čtyřkolový - suchá půda

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.28	0.01	0.33	0.01	<b>0.04</b>
2	524.56	16.66	521.67	16.57	<b>-2.89</b>
3	21.24	0.67	24.12	0.77	<b>2.88</b>
4	2 601.81	82.65	2 601.71	82.65	<b>-0.11</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Změnou hodnocení parametru únosnosti půdy, dojde k výrazným změnám v zastoupení jednotlivých kategorií vhodnosti použití (Tab. 91). Plošné zastoupení kategorie 3 (nevhodná – nevylučuje se) vzroste na 15 % (469 ha), a to na úkor kategorie 2 (vhodná) a 1 (úplně vhodná). Kategorie 1 (úplně vhodná) nebyla ve vybraném území za podmínek vlhké půdy klasifikována a plošné zastoupení kategorie 2 (vhodná) se snížilo na pouhých 2,5 % (77 ha). Tato plocha 77 ha tak představuje celkovou plochu, na které lze uvedenou kombinaci technologií použít, při dodržení podmínky šetrnosti jejího použití ve vazbě na dřevinnou skladbu. Plošné zastoupení kategorie 4 (nevhodná) zůstalo ve stejném rozsahu 83 % (2 602 ha).

Zohledněním částí porostních skupin, došlo k minimálním změnám v plošném zastoupení jednotlivých kategorií vhodnosti použití. Plocha kategorie vhodnosti použití

2 klesla o 0,8 ha, a to ve prospěch kategorie vhodnosti použití 3 (0,58 ha), kategorie vhodnosti použití kategorie 4 (0,14 ha). Zbylá plocha 0,08 ha nebyla modelem klasifikována.

**Tab.91 FWHV čtyřkolový - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	77.18	2.45	76.38	2.43	<b>-0.80</b>
3	469.10	14.90	469.68	14.92	<b>0.58</b>
4	2 601.62	82.65	2 601.76	82.65	<b>0.14</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

### 8.2.3.2 Forwarder v kombinaci s harvestorem – osmikolový podvozek s kolopásky

Kombinace osmikolového harvestoru s kolopásky s osmikolovým forwarderem vybaveným také kolopásky vykazuje, obdobně jako v experimentálním území, malé rozdíly při použití za sucha a za vlhka (Tab. 92, Tab. 93).

Vlivem změny hodnocení pomocí vah za sucha, nedochází k nárůstu zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) a za podmínek sucha i vlhka má tato kategorie pouze minimální zastoupení 0,28 ha pokud bereme v úvahu celé porostní skupiny a 0,33 ha v případě částí porostních skupin.

Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se liší podle klimatických podmínek použití jen o 0,2 ha a celkové plošné zastoupení činí 16,5 %. Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) je za sucha zastoupena pouze 0,7 % (21 ha) a za podmínek vlhké půdy jsou to 0,9 % (28 ha). Plošné zastoupení kategorie 4 (nevhodná) zůstalo z důvodu použití bariéry u parametru zastoupení smrku a jedle ve stejném rozsahu 83 % (2 602 ha) jako u předchozí kombinace čtyřkolového harvestoru s forwarderem. Změna zastoupení kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) se neprojeví ani při použití za vlhka.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde při použití za sucha k největší změně u plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 2,5 ha, a to na úkor kategorie 2 a kategorie 4. Při použití za vlhka jsou rozdíly nepatrně vyšší. K nejvyššímu nárůstu 3,6 ha dojde u kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), a to hlavně na úkor kategorie vhodnosti použití 3 (3,64 ha).

**Tab.92 FWHV osmikolový s kolopásky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.28	0.01	0.33	0.01	<b>0.04</b>
2	518.07	16.46	521.67	16.57	<b>3.60</b>
3	27.77	0.88	24.12	0.77	<b>-3.64</b>
4	2 601.79	82.65	2 601.71	82.65	<b>-0.08</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

**Tab.93 FWHV osmikolový s kolopásky- suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.28	0.01	0.33	0.01	<b>0.04</b>
2	524.56	16.66	522.10	16.59	<b>-2.46</b>
3	21.24	0.67	23.69	0.75	<b>2.44</b>
4	2 601.81	82.65	2 601.71	82.65	<b>-0.11</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

### 8.2.3.3 Forwarder v kombinaci s harvestorem – šestikolový podvozek s kolopásky

Nejvyšší plošné zastoupení pro uvedenou kombinaci za podmínek vlhké půdy má stejně jako u předchozích variant kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) a to 83 % (2 602 ha). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) má zastoupení 0,01 % (0,28 ha), kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) má plošné zastoupení 16 % (515 ha) a kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) má zastoupení 1 % (31 ha).

Zohledněním částí porostních skupin dojde k nejvyššímu zvýšení plošného zastoupení 2,7 ha u kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), a to na úkor kategorie vhodnosti použití 3.

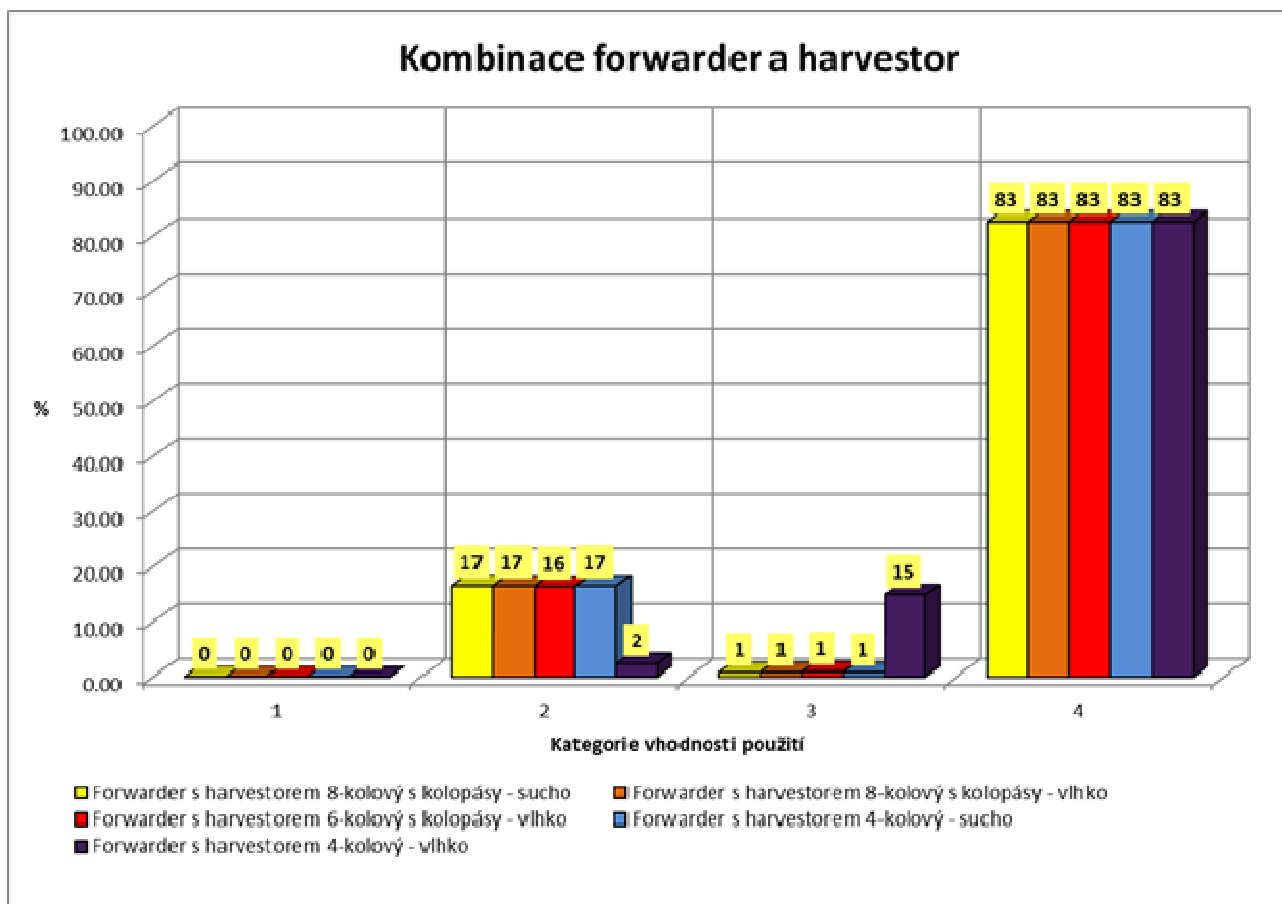
Výsledky (Tab. 94) jsou platné i pro použití kombinace osmikolového podvozku bez použití kolopásů, protože hodnoty měrných tlaků na půdu jsou u obou těchto typů srovnatelné (50 – 60 kPa).

**Tab.94 FWHV šestikolový s kolopásky - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.28	0.01	0.33	0.01	<b>0.04</b>
2	514.58	16.35	517.24	16.43	<b>2.66</b>
3	31.25	0.99	28.47	0.90	<b>-2.78</b>
4	2 601.79	82.65	2 601.78	82.65	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		



**Obr. 29** Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ %]



Vlivem vysokého podílu porostních skupin s nízkým zastoupením smrku a jedle a vlivem nízké variability ostatních vstupních parametrů na zbylých 18 % plochy vybraného území, jsou výsledky kromě kombinace čtyřkolové kombinace za vlhka téměř vyrovnané.

## 8.2.4 Forwarder (FW)

Výsledky modelu byly stejně jako v experimentálním území zpracovány pro dvě varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek suché půdy a tři varianty s rozdílnými nominálními měrnými tlaky na půdu za podmínek vlhké půdy.

### 8.2.4.1 Forwarder – čtyřkolový povozek

U čtyřkolového podvozku za podmínek suché půdy má ve vybraném území nejvyšší plošné zastoupení 86 % (2 719 ha) kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná).

Druhé nejvyšší zastoupení 11 % (348 ha) má kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se). Kategorie vhodnosti použití 1 (vhodná) je zastoupena jen na 2,6 % (81 ha) území. Kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná – nevyklučuje se) nebyla pro vybranou technologii za podmínek suché půdy klasifikována.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 36 ha a kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) o 31,5 ha, a to na úkor kategorie 2 (vhodná). Podrobné výsledky jsou v tabulkách (Tab. 95, Tab. 96).

**Tab.95 FW čtyřkolový - vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	8.29	0.26	19.84	0.63	<b>11.55</b>
2	1 469.11	46.67	1 463.19	46.48	<b>-5.92</b>
3	1 669.91	53.05	1 663.28	52.84	<b>-6.63</b>
4	0.60	0.02	1.51	0.05	<b>0.92</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

**Tab.96 FW čtyřkolový - suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.07</b>
1	81.05	2.57	112.54	3.58	<b>31.49</b>
2	2 719.14	86.38	2 651.33	84.22	<b>-67.81</b>
3	347.71	11.05	383.95	12.20	<b>36.24</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Změnou hodnocení parametru únosnosti půdy, dojde k výrazným změnám v zastoupení jednotlivých kategorií vhodnosti použití za podmínek vlhké půdy. Plošné zastoupení kategorie 3 (nevhodná – nevyklučuje se) vzroste na 53 % (1 670 ha), a to na úkor kategorie 2 (vhodná) a 1 (úplně vhodná). Plošný podíl kategorie 1 (úplně vhodná) klesne na 0,26 % (8,3 ha) a podíl kategorie 2 (vhodná) na 47 % (1 469 ha). Na ploše 0,6 ha byla klasifikována i kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná).

Zohledněním částí porostních skupin, dojde ke snížení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 6,6 ha a kategorie 2 (vhodná) o 5,9 ha a naopak naroste plocha kategorie 1 (vhodná) o 11,6 ha a kategorie 4 (nevhodná) o 0,9 ha.

#### **8.2.4.2 Forwarder – osmikolový pivozek s kolopásky**

Kombinace osmikolového forwarderu s kolopásky vykazuje podobně jako při jeho kombinaci s osmikolovým harvestorem vybaveným kolopásky malé rozdíly při použití za sucha a za vlhka. Rozdíly se pohybují pouze v desetínách procent (Tab. 97, Tab. 98).

Plocha kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) zaujímá za sucha pouze o 0,34 ha více než za vlhka její plošné zastoupení je shodně 2,6 % (81 ha).

Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se liší podle klimatických podmínek použití jen o 0,2 %. Za sucha je použití osmikolového forwarderu s kolopásky vhodné na 86,4 % (2 719 ha) plochy vybraného území, za vlhka je to pak 86,2 % (2 715 ha). Kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) je za sucha zastoupena na 11,1 % (348 ha) a za podmínek vlhké půdy je to 11,2 % (353 ha). Kategorie 4 (nevhodná) nebyla za sucha ani za vlhka pro vybranou přibližovací technologii klasifikována.

Zohledněním částí porostních skupin, dojde při použití za sucha ke zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) o 30 ha a kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) o 31,5 ha a to na úkor kategorie 2 (61,5 ha). Při použití za vlhka jsou rozdíly obdobné. K nejvyššímu nárůstu dojde u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se), a to o 36 ha. Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) vzroste o 31,5 ha. Obě uvedené změny jsou na úkor kategorie 2 (vhodná).

**Tab.97 FW – osmikolový s kolopásky – vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.07</b>
1	80.71	2.56	112.20	3.56	<b>31.49</b>
2	2 714.44	86.23	2 652.84	84.27	<b>-61.60</b>
3	352.75	11.21	382.78	12.16	<b>30.03</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

**Tab.98 FW – osmikolový s kolopásky – suchá půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.07</b>
1	81.05	2.57	112.54	3.58	<b>31.49</b>
2	2 719.14	86.38	2 651.76	84.24	<b>-67.37</b>
3	347.71	11.05	383.52	12.18	<b>35.81</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

### 8.2.4.3 Forwarder – šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda

Nejvyšší plošné zastoupení pro šestikolový forwarder za podmínek vlhké půdy má kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) a to 86 % (2 702 ha). Kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) má zastoupení 2,5 % (80 ha), kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) má zastoupení 12 % (366 ha) a kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) nebyla pro danou technologii klasifikována.

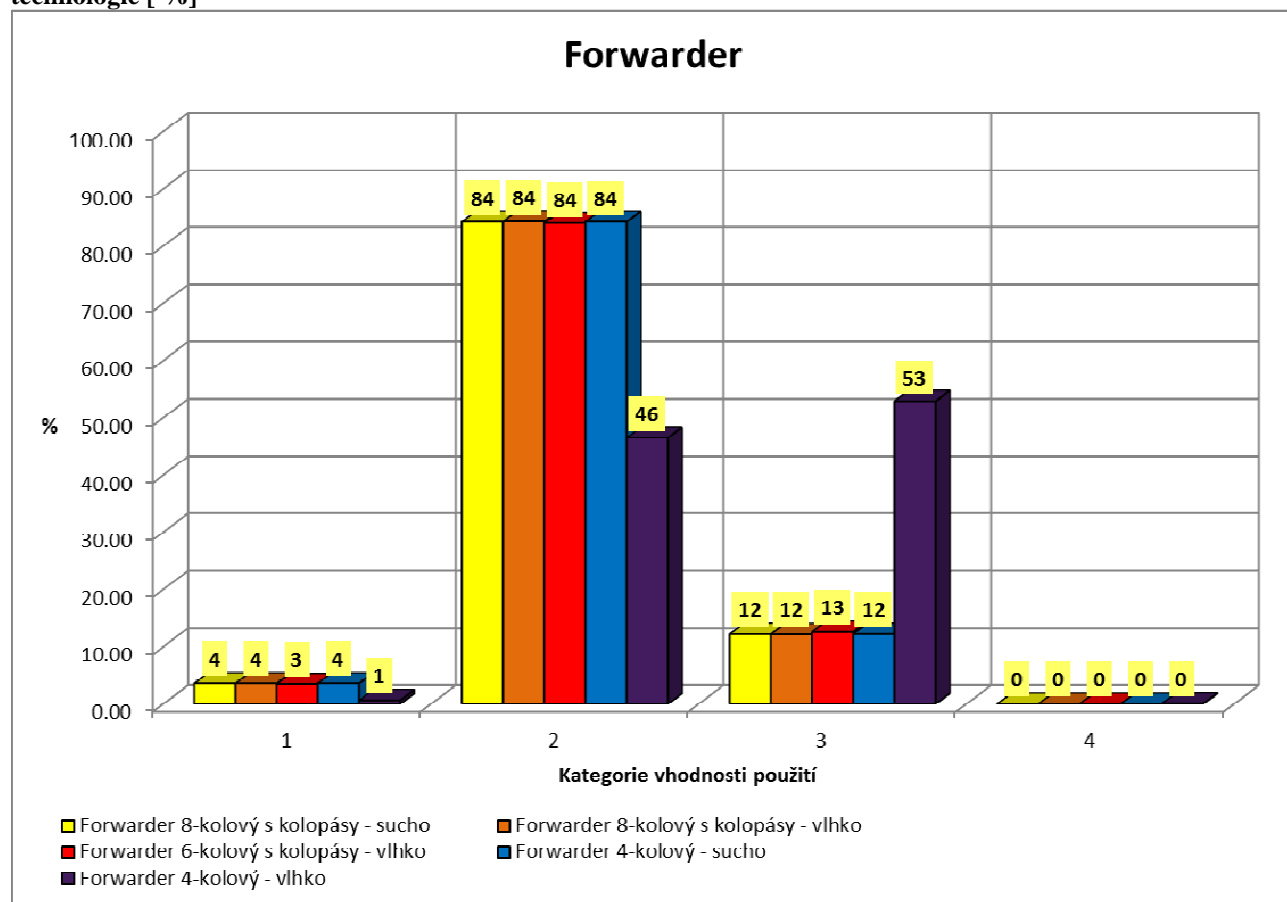
Zohledněním částí porostních skupin dojde ke zvýšení plošného zastoupení o 31 ha u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se) a o 28 ha u kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná). Obě změny jsou na úkor kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná).

Výsledky (Tab. 99) jsou platné i pro použití osmikolového podvozku bez použití kolopásů, protože hodnoty měrných tlaků na půdu jsou u obou těchto typů srovnatelné (50 – 60 kPa).

**Tab.99 FW – šestikolový s kolopásky – vlhká půda**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.07</b>
1	79.99	2.54	108.38	3.44	<b>28.39</b>
2	2 702.23	85.84	2 643.17	83.97	<b>-59.06</b>
3	365.68	11.62	396.27	12.59	<b>30.59</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>CELKEM</b>	<b>3 147.93</b>		<b>3 147.93</b>		

**Obr. 30 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu, jako šetrné přibližovací technologie [ %]**



## 8.2.5 Lanové dopravní zařízení (LDZ)

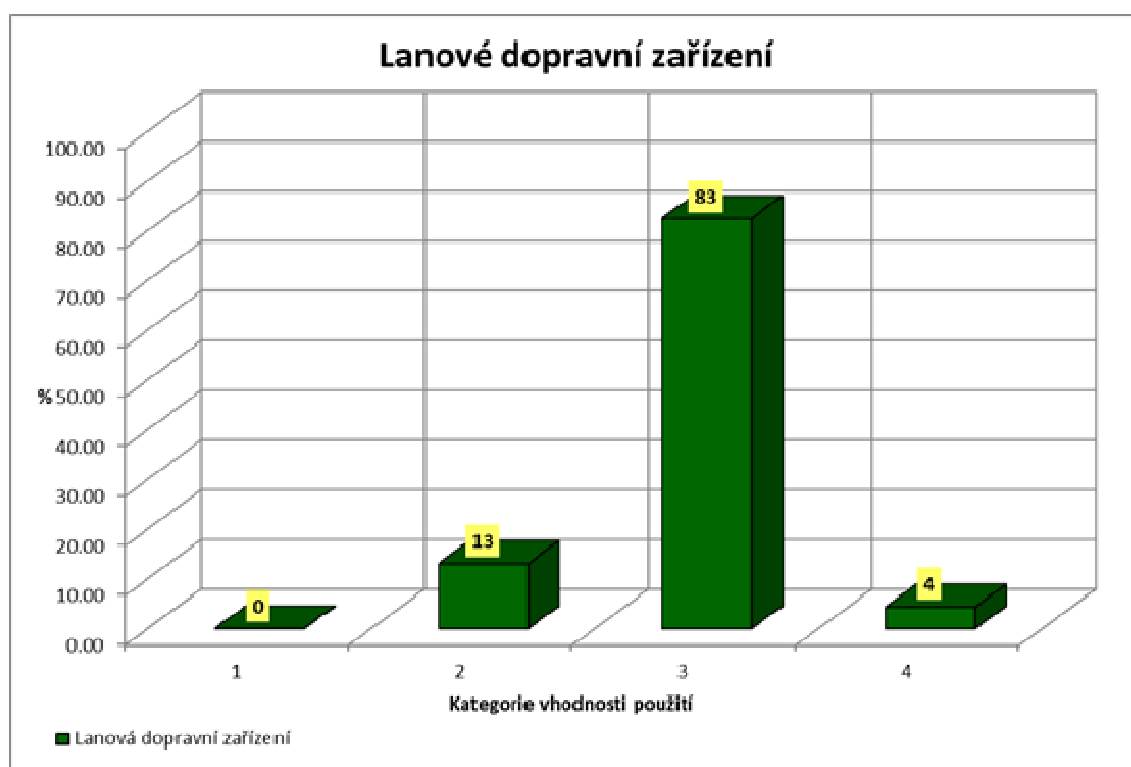
Na základě výsledků modelu nebyla v případě celých porostních skupin žádná porostní skupina ve vybraném území klasifikována kategorií 1 (úplně vhodná). Plošné zastoupení kategorie 2 (vhodná) činí 12 % (388 ha). Nejvyšší plošné zastoupení má pak kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se), a to 84 % (2 654 ha). Zbylé porostní skupiny ve vybraném území jsou klasifikovány kategorií vhodnosti použití 4 (nevhodná) s plošným zastoupením 3,4 % (106 ha).

Pokud zohledníme části porostních skupin, dojde k navýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 o téměř 25 ha a kategorie vhodnosti použití 4 o 31 ha. Obě změny jsou na úkor kategorie 3. Podrobné výsledky jsou v tabulce Tab. 100.

Tab.100 Lanové dopravní zařízení

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.03	0.00	0.11	0.00	<b>0.08</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	387.77	12.32	412.42	13.10	<b>24.65</b>
3	2 653.97	84.31	2 598.09	82.53	<b>-55.88</b>
4	106.17	3.37	137.31	4.36	<b>31.14</b>
CELKEM	3 147.93		3 147.93		

Obr. 31 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití LDZ, jako šetrné přibližovací technologie [%]



## 8.2.6 Ověření výsledků v terénu

Pro ověření výsledků modelu byla stejně jako v experimentálním území náhodně vytvořena pravidelná síť bodů ve sponu 1 x 1 km. Oproti experimentálnímu území nebyly k ověření vybírány celé porostní skupiny, ale jen jejich části. Kolem bodů byla vytvořena obalová zóna (buffer) s poloměrem 30 m a průnikem tohoto bufferu s vrstvou částí porostních skupin byly vybrány části porostních skupin pro ověření výsledků modelu. Plošný podíl takto vybraných částí porostních skupin reprezentuje 8,5 % celkové plochy lesa ve vybraném území.

Při terénním šetření byly ve vybraných porostních skupinách ověřeny následující vstupní parametry modelu: sklon, edafická kategorie, výskyt překážek a tvar terénu. Dále byly terénním šetřením u vybraných porostních skupin ověřeny modelové kategorie vhodnosti použití pro definované přibližovací technologie.

Metodická změna stanovení parametru tvaru terénu ne pro celé skupiny, ale pro jejich jednotlivé části, měla pozitivní vliv na přesnost stanovení tohoto parametru. Ve vybraných částech porostních skupin bylo během terénního průzkumu změněno hodnocení tvaru terénu pouze u 4 částí porostních skupin a u dalších 7 bylo konstatováno, že tvar terénu byl determinován správně, ale není natolik výrazný, aby významně ovlivnil výsledky modelu.

Při ověření výskytu, velikosti a rozmístění překážek bylo pouze u jedné porostní skupiny změněno hodnocení tohoto parametru. Tento parametr je závislý na přesnosti vymezení lesních typů v terénu a následném plošném zastoupení edafických kategorií v jednotlivých porostních skupinách. Sklon terénu odvozený z DMT jako mediánová hodnota pro jednotlivé porostní skupiny byl porovnán s terénním měřením, při kterém byl měřen převažující sklon pomocí sklonoměru. U 5 porostních skupin byl při porovnání hodnot sklonu zjištěn rozdíl větší než 5 %, z toho pouze u 1 porostní skupiny byl sklon odvozený z DMT nižší než převažující sklon zjištěný v terénu.

Při ověření modelových kategorií vhodnosti použití pro definované přibližovací technologie byly, obdobně jako v experimentálním území, zjištěny rozdíly pouze v závislosti na přesnosti stanovení vstupních parametrů. Při použití vstupních parametrů odpovídajících skutečným hodnotám ověřeným v terénu nebyly u vybraných porostních skupin zjištěny žádné významné chyby v klasifikaci vhodnosti použití vybraných přibližovacích technologií.

## 9. Verifikace výsledků z experimentálního území Rabštejn

### 9.1 Změna modelu

Na základě výsledků testování modelu na vybraném území ŠLP Křtiny bylo rozhodnuto, že pro každou technologii za podmínek vlhké půdy budou použity stejné váhy jako za podmínek suché půdy. Změna klimatických podmínek bude zohledněna pouze v hodnocení parametru únosnosti půdy ve vztahu k nominálnímu měrnému tlaku vybrané technologie.

Pomocí upraveného modelu byly znovu přepočítány výsledky hodnocení šetrnosti použití vybraných soustředovacích a přibližovacích technologií za podmínek vlhké půdy v experimentálním území Rabštejn a porovnány s původními výsledky. Porovnání výsledků modelu bylo provedeno pro celé porostní skupiny.

### 9.2 Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (UKT-F) – vlhká půda

V případě UKT vybaveného flotačními pneumatikami za podmínek vlhké půdy dojde oproti původním výsledkům ke zvýšení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 5,6 % (205 ha) na úkor kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná). Vybranou technologii je za podmínek vlhké půdy vhodné použít jen na 15 % (558 ha) experimentálního území.

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke snížení plošného zastoupení kategorie 2 (7 ha) na úkor kategorie 3 (6,4 ha) a 4 (0,6 ha). Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 101 a Tab. 102.

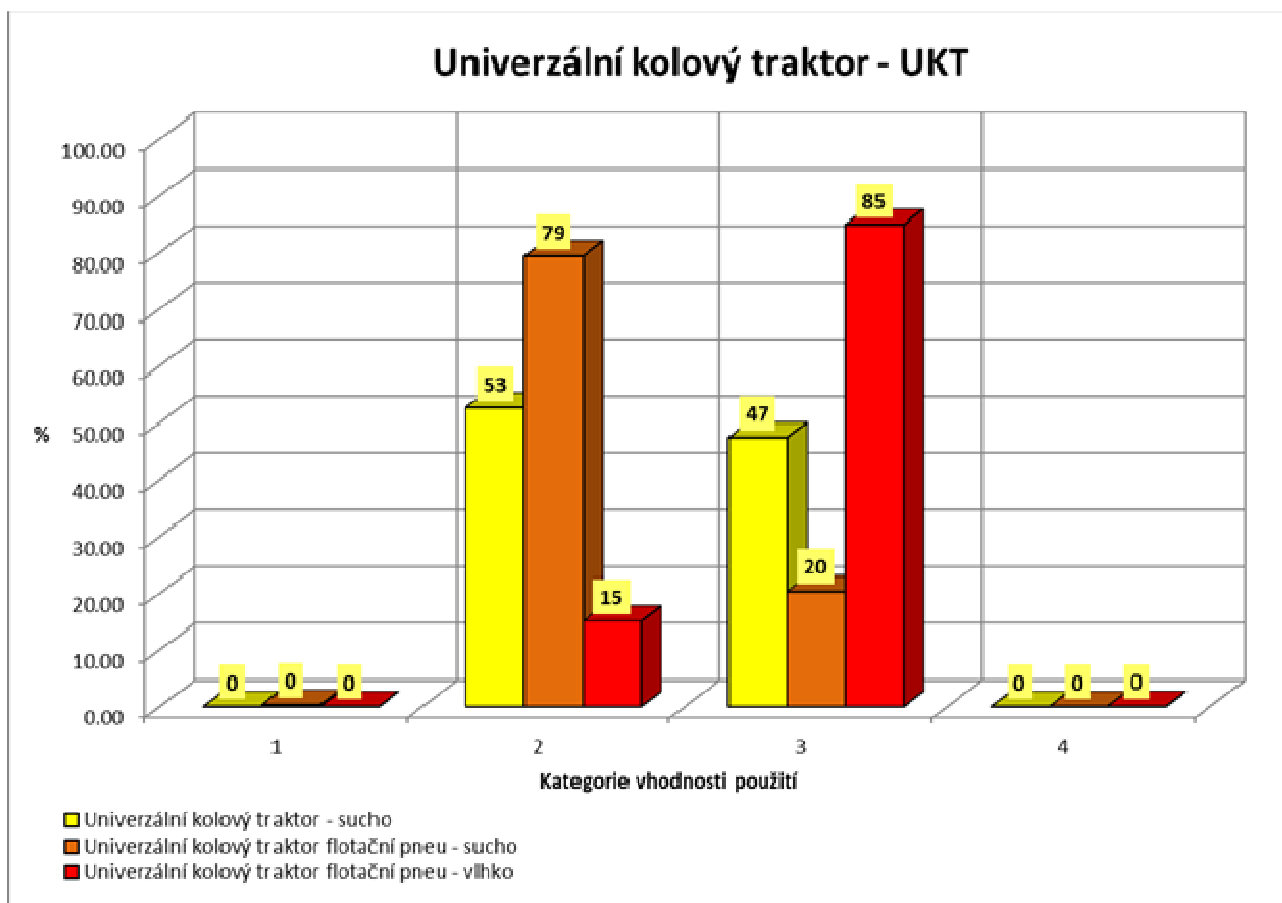
Tab.101 UKT-F – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	762.17	20.82	787.28	21.51	<b>25.11</b>
3	2 898.38	79.17	2 873.01	78.48	<b>-25.37</b>
4	0.00	0.00	0.25	0.01	<b>0.25</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.102 UKT-F – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL [ha]
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.22	0.01	0.24	0.01	<b>0.02</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	557.66	15.23	550.65	15.04	<b>-7.00</b>
3	3 102.89	84.76	3 109.23	84.93	<b>6.35</b>
4	0.00	0.00	0.64	0.02	<b>0.64</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 32 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití UKT, jako šetrné přibližovací technologie [%]



### 9.3 Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami (SLKT-F) – vlhká půda

V případě SLKT vybaveného flotačními pneumatikami za podmínek vlhké půdy dojde oproti původním výsledkům ke zvýšení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) o 3 % (110 ha) na úkor kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se). Vybranou technologii je za podmínek vlhké půdy vhodné použít jen na 32 % (1 176 ha) experimentálního území.

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 2 (12,9 ha) na úkor kategorie 3. Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 103 a Tab. 104.



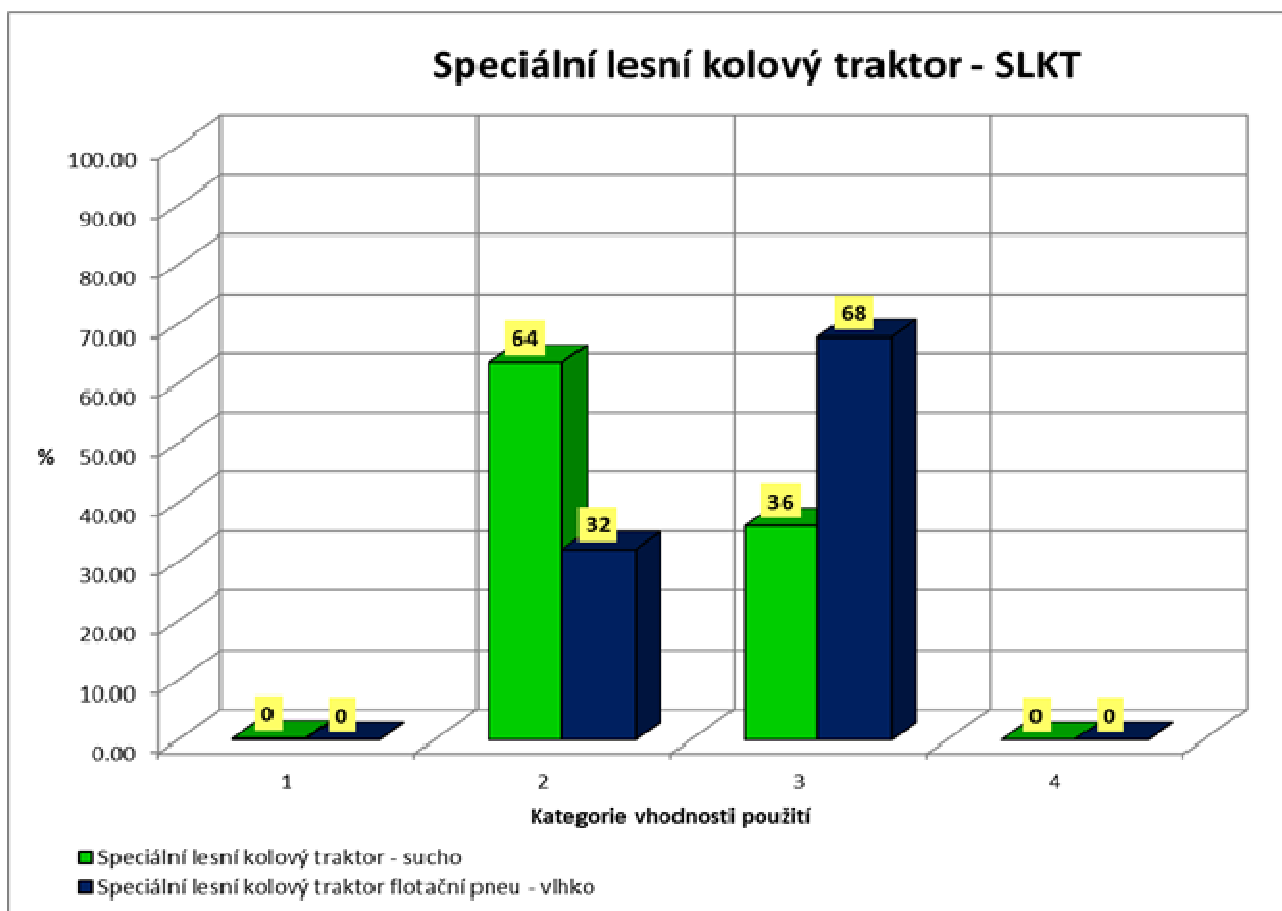
Tab.103 SLKT-F – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	1 060.61	28.97	1 066.05	29.12	<b>5.44</b>
3	2 599.94	71.02	2 594.48	70.87	<b>-5.45</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.104 SLKT-F – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.22	0.01	0.24	0.01	<b>0.02</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	1 162.85	31.77	1 175.71	32.12	<b>12.86</b>
3	2 497.69	68.23	2 484.81	67.88	<b>-12.88</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 33 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT, jako šetrné přibližovací technologie [ %]



## 9.4 Forwarder – osmikolový podvozek s kolopásy – vlhká půda

Změny modelu měly u osmikolového forwarderu vybaveného kolopásy za podmínek vlhké půdy největší negativní vliv na plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná), u které došlo k poklesu plošného zastoupení o 2 % (76 ha). Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se snížilo pouze o 2,6 ha. K nárůstu naopak došlo u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se), a to 2,2 % (79 ha).

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 3 o 20,8 ha na úkor kategorie 2 (20,6 ha) a kategorie 1 (0,2 ha). Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 105 a Tab. 106.

Tab.105 FW8KK – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	93.27	2.55	109.19	2.98	<b>15.92</b>
2	3 367.59	91.99	3 345.63	91.39	<b>-21.96</b>
3	199.69	5.45	205.71	5.62	<b>6.02</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.106 FW8KK – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.22	0.01	0.24	0.01	<b>0.02</b>
1	16.97	0.46	16.81	0.46	<b>-0.16</b>
2	3 365.03	91.92	3 344.39	91.36	<b>-20.64</b>
3	278.55	7.61	299.32	8.18	<b>20.78</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

## 9.5 Forwarder – šestikolový podvozek s kolopásy – vlhká půda

Změny modelu měly u šestikolového forwarderu vybaveného kolopásy za podmínek vlhké půdy největší negativní vliv na plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná), u které došlo k poklesu plošného zastoupení o 2 % (76,3 ha), stejně jako u osmikolové varianty. Zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) se snížilo o 12,7 ha. K nárůstu naopak došlo u kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevylučuje se), a to 2,4 % (89 ha).

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 3 o 41,7 ha na úkor kategorie 2 (41,5 ha) a kategorie 1 (0,2 ha). Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 107 a Tab. 108.

Tab.107 FW6KK – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	93.27	2.55	109.19	2.98	<b>15.92</b>
2	3 326.21	90.86	3 287.40	89.80	<b>-38.82</b>
3	241.06	6.59	263.95	7.21	<b>22.88</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.108 FW6KK – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.22	0.01	0.24	0.01	<b>0.02</b>
1	16.97	0.46	16.81	0.46	<b>-0.16</b>
2	3 313.55	90.52	3 272.03	89.38	<b>-41.52</b>
3	330.02	9.02	371.68	10.15	<b>41.66</b>
4	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

## 9.6 Forwarder – čtyřkolový podvozek – vlhká půda

Změny modelu měly u čtyřkolového forwarderu za podmínek vlhké půdy pozitivní vliv na plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná), u které došlo k nárůstu 11,3 % (413 ha), a to na úkor kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se). K malému nárůstu plošného zastoupení o 2,8 ha došlo u kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná), také na úkor kategorie 3.

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 2 o 4,5 ha a kategorie 4 o 2,2 ha, na úkor kategorie 3. Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 109 a Tab. 110.

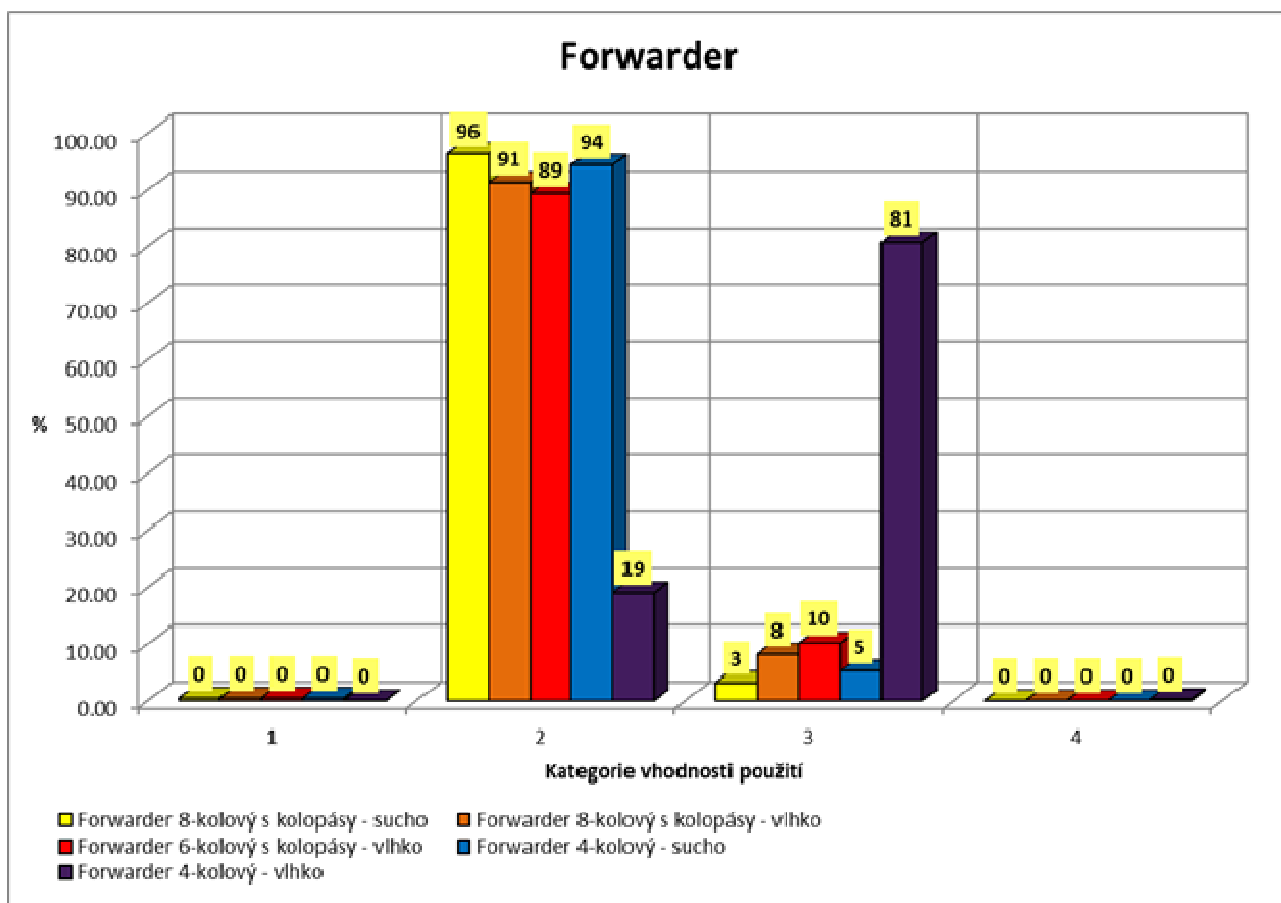
Tab.109 FW4K – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.21	0.01	0.23	0.01	<b>0.01</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	279.80	7.64	304.18	8.31	<b>24.38</b>
3	3 377.19	92.25	3 347.73	91.45	<b>-29.46</b>
4	3.56	0.10	8.62	0.24	<b>5.06</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.110 FW4K – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]
0	0.22	0.01	0.24	0.01	<b>0.02</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	692.78	18.92	697.23	19.05	<b>4.46</b>
3	2 961.37	80.89	2 954.67	80.71	<b>-6.70</b>
4	6.40	0.17	8.62	0.24	<b>2.23</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 34 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití FW, jako šetrné přibližovací technologie [%]



## 9.7 Forwarder v kombinaci s harvestorem – osmikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda

Změny modelu neměly u uvedené kombinace tak velký vliv, jako u osmikolového forwarderu vybaveného kolopásky. Pokles plošného zastoupení nastal u kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) o 13,1 ha, u kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) o 11,7 ha a také u kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) o 7,5 ha. Všechny uvedené poklesy měly za následek zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 38,1 ha (1 %)

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 3 o 17,1 ha na úkor kategorie 2. Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 111 a Tab. 112.

Tab.111 FH8KK – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	22.29	0.61	22.29	0.61	<b>0.00</b>
2	2 262.31	61.80	2 272.20	62.07	<b>9.89</b>
3	145.14	3.96	148.50	4.06	<b>3.37</b>
4	1 224.70	33.45	1 217.54	33.26	<b>-7.16</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.112 FH8KK – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.56	0.02	0.59	0.02	<b>0.03</b>
1	9.20	0.25	9.20	0.25	<b>0.00</b>
2	2 250.57	61.48	2 233.49	61.01	<b>-17.08</b>
3	183.22	5.01	200.30	5.47	<b>17.08</b>
4	1 217.21	33.25	1 217.18	33.25	<b>-0.03</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

## 9.8 Forwarder v kombinaci s harvestorem – šestikolový podvozek s kolopásky – vlhká půda

Změny modelu měly stejně jako u předchozí kombinace vliv na pokles plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 1 (úplně vhodná) o 13,1 ha, kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) o 27,6 ha a také u kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) o 7,6 ha. Všechny uvedené poklesy měly za následek zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 54 ha (1,5 %)

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 3 o 18,4 ha na úkor kategorie 2. Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 113 a Tab. 114.

Tab.113 FH6KK – vlhká půda – původní model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	22.29	0.61	22.29	0.61	<b>0.00</b>
2	2 237.37	61.12	2 237.09	61.11	<b>-0.28</b>
3	170.02	4.64	183.62	5.02	<b>13.60</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Tab.114 FH6KK – vlhká půda – nový model

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[ %]	[ha]	[ %]	[ha]
0	0.56	0.02	0.59	0.02	<b>0.03</b>
1	9.20	0.25	9.20	0.25	<b>0.00</b>
2	2 209.75	60.36	2 191.31	59.86	<b>-18.44</b>
3	224.04	6.12	242.48	6.62	<b>18.44</b>
4	1 217.21	33.25	1 217.18	33.25	<b>-0.03</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

## 9.9 Forwarder v kombinaci s harvestorem – čtyřkolový podvozek – vlhká půda

Změny modelu neměly u uvedené kombinace tak velký vliv, jako u čtyřkolového forwarderu vybaveného kolopásky. Pokles plošného zastoupení se projevil u kategorie vhodnosti použití 2 (vhodná) o 30,1 ha a u kategorie vhodnosti použití 4 (nevhodná) o 7,6 ha. Došlo také ke snížení nezařazených porostních skupin o 5,8 ha. Všechny uvedené poklesy měly za následek zvýšení plošného zastoupení kategorie vhodnosti použití 3 (nevhodná – nevyklučuje se) o 44,2 ha (1,2 %).

V případě částí porostních skupin dojde u výsledků nového modelu ještě ke zvýšení plošného zastoupení kategorie 2 o 10,1 ha na úkor kategorie 3. Podrobné výsledky jsou v tabulkách Tab. 115 a Tab. 116.

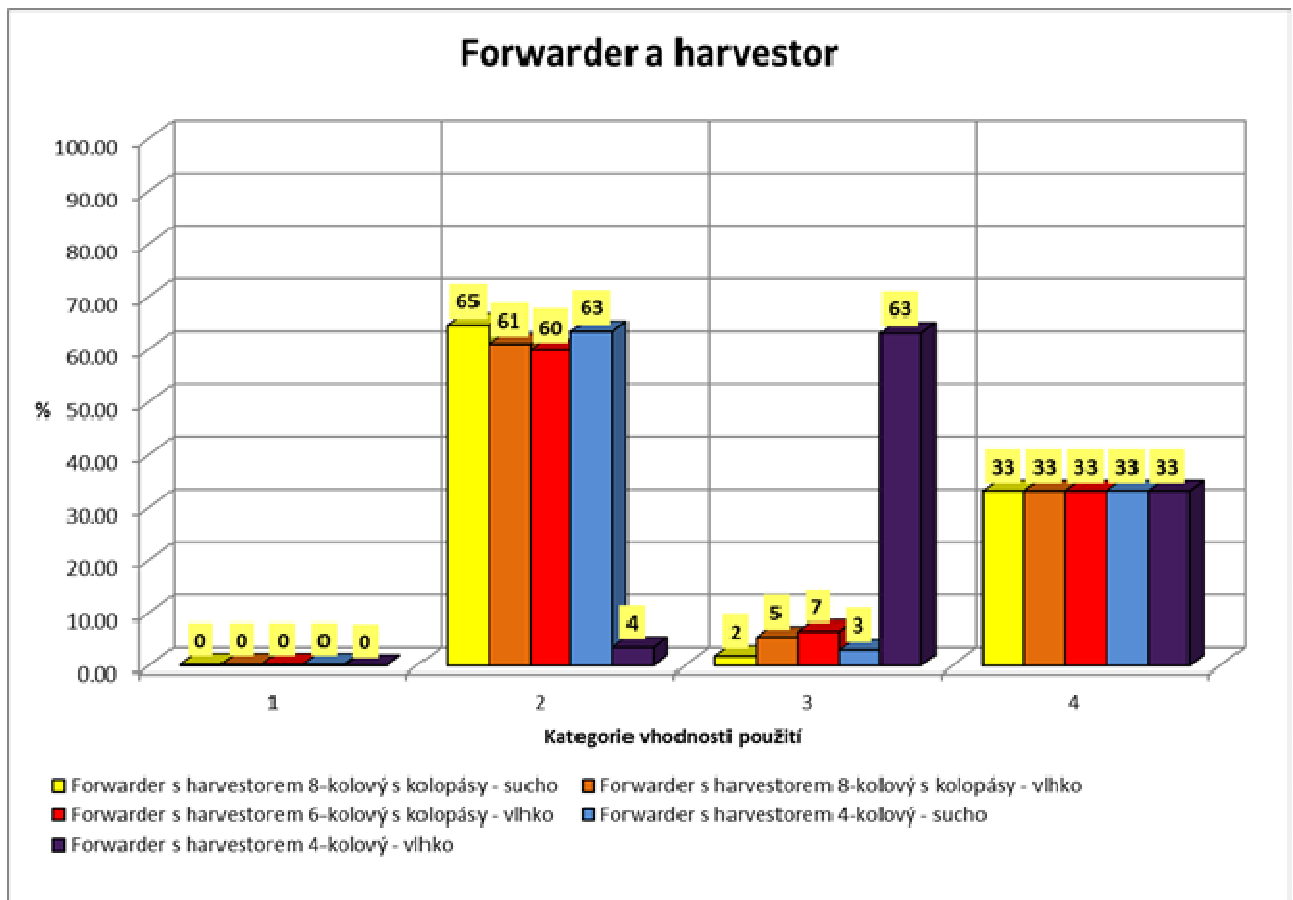
**Tab.115 FH4K – vlhká půda – původní model**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	6.33	0.17	0.23	0.01	<b>-6.10</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	150.71	4.12	157.24	4.30	<b>6.53</b>
3	2 278.97	62.25	2 285.76	62.44	<b>6.79</b>
4	1 224.76	33.46	1 217.54	33.26	<b>-7.22</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

**Tab.116 FH4K – vlhká půda – nový model**

	celé PSK		části PSK		ROZDIL
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	
0	0.56	0.02	0.59	0.02	<b>0.03</b>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
2	119.82	3.27	129.90	3.55	<b>10.08</b>
3	2 323.17	63.46	2 313.09	63.19	<b>-10.08</b>
4	1 217.21	33.25	1 217.18	33.25	<b>-0.03</b>
CELKEM	3 660.76		3 660.76		

Obr. 35 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ %]



## 10. Diskuse

Cílem práce bylo navrhnout model, který za použití nástrojů GIS vyhodnotí vhodnost nasazení vybraných soustředovacích a přibližovacích technologií v lesnictví z hlediska šetrnosti jejich použití, a který by na základě zvolených vstupních parametrů a jim odpovídajících digitálních prostorových vrstev mohl být aplikovatelný na celé území ČR. Tento model by měl být dynamický z pohledu vývoje nových soustředovacích a přibližovacích technologií a umožnit novým uživatelům vyhodnotit šetrnost použití nově zaváděných modelů jednotlivých technologií.

Na základě rešerše odborné literatury byly pro multikriteriální hodnocení vybrány následující vstupní parametry: sklon svahu, tvar terénu, únosnost půdy, odolnost proti těžebně dopravní erozi, přibližovací vzdálenost, věk porostu, výskyt a velikost překážek. Pro kombinaci forwarderu s harvestorem byly navíc přidány dva vstupní parametry: zakmenění a zastoupení smrku a jedle, které mají významný vliv na nasazení harvestoru, a to z důvodu technologického i ekonomického.

Sklon terénu byl odvozen z digitálního modelu terénu, který byl z důvodu zohlednění singularit vytvořen ve struktuře TIN a jako primární vstupní data byly použity vrstevnice s intervalem dva a pět metrů ze ZABAGED. Singularity a lokální minima a maxima zaměřené v experimentálním území pomocí GPS přístroje, byly použity při tvorbě DMT k jeho zpřesnění. Výškopisná data ze ZABAGED jsou s ohledem na nově dostupná data Digitálního modelu reliéfu České republiky 4. generace (DMR4G) zastaralá a s nižší přesností, ale v době zpracování disertační práce nebyl k dispozici přesnější celorepublikový zdroj výškopisných dat. DMR 4G bude v dalším vývoji vhodným zdrojem výškopisných dat pro tvorbu celorepublikové vrstvy sklonů, bez nutnosti doměřování singularit v terénu. V budoucnu bude možné využít ještě přesnější zdroj výškopisných dat, a to Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR5G). Zdrojovými daty pro oba tyto modely jsou data z leteckého laserového skenování a díky této technologii mají nejen výrazně lepší výškovou přesnost, ale zpřesní se také detekce výskytu singularit, které mají významný vliv i na vyhodnocení terénních tvarů. DMR4G, jehož celoplošné zpracování bylo ukončeno na začátku roku 2014, má úplnou střední chybu výšky v zalesněném terénu 1 m a v odkrytém terénu 0,3 m. DMR5G je zpracováván s úplnou střední chybou výšky



v zalesněném terénu 0,3 m a v odkrytém terénu 0,18 m a za celou republiku bude dostupný v roce 2015 (Brázdil, 2009).

Tvar terénu vykazoval při terénním ověření v experimentálním území Rabštejn nejnižší míru spolehlivosti stanovení. Jeho váha ve výsledném multikriteriálním hodnocení byla ale jen mezi 3 až 5 %, proto vliv chybného stanovení tohoto parametru na výsledky modelu je malý. Pro zpřesnění tohoto parametru byl v ověřovacím území na ŠLP Křtiny stanoven tvar terénu pro jednotlivé části porostních skupin a ne pro celé porostní skupiny jako v experimentálním území Rabštejn. Tato změna hodnocení se projevila ve výrazně vyšší přesnosti determinace tohoto parametru. Stejně jako parametr sklon terénu bude možné tvar terénu zpřesnit použitím přesnějšího DMT. Vhodnými zdrojovými daty budou opět DMR4G a DMR5G.

Únosnost půdy byla odvozena podle metodiky VAVŘÍČKA (2011), kdy každému lesnímu typu byl přiřazen převládající půdní typ, na základě kterého byl odvozen příslušný stupeň rezistence. Přesnost stanovení tohoto parametru závisí na přesnosti vymezení lesních typů v terénu a definování jejich převládajících půdních typů uvedených v charakteristikách jednotlivých lesních typů.

Pro stanovení parametru odolnost proti těžebně dopravní erozi byla použita metoda MACKŮ (2000), která je díky vazbě na lesní typy a zastoupení dřevin použitelná pro celé území ČR. Přesnější metodiky, např. VAVŘÍČEK (in NERUDA et al. 2011) nebo ŠACH a ČERNOHOUS (2009), obsahují parametry, které je nutné stanovit na základě detailního terénního průzkumu, nejsou tedy vhodné pro odvození celorepublikové vrstvy. Pro lokální podmínky, je však možné obě metodiky použít a jejich výsledky aplikovat do modelu.

Přibližovací vzdálenost byla vypočítána pro jednotlivé porostní skupiny jako průměrná geometrická přibližovací vzdálenost a pomocí vzorce přepočítána na skutečnou přibližovací vzdálenost. Stejně jako u parametru tvar terénu je možné stanovení tohoto parametru zpřesnit jeho stanovením pro jednotlivé části porostních skupin a ne pro celé skupiny. Parametr přibližovací vzdálenost je možné doplnit parametrem směr přibližování. Postup odvození směru přibližování publikoval LUBELLO (2009) a tento postup byl ověřen v aktuální verzi SW ArcGIS.

Parametr výskyt a velikost překážek byl hodnocen pomocí metodiky SIMANOV, MACKŮ a POPELKA (2003), a to ve vazbě na lesní typy a v nich obsažené edafické kategorie. Vrstvu lze zpracovat za celé území ČR. U edafických kategorií A (kamenitá –

obohacená humusem) a N (kamenitá – kyselá) je však nutné provést venkovní šetření pro rozlišení velikosti překážek a jejich rozmístění. Tuto problematiku podle uvedené metodiky řeší Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem v rámci údržby dat OPRL a po jejím dokončení nebude nutné provádět terénní šetření.

Parametry věk porostu, zakmenění a zastoupení smrku a jedle jsou standardní součástí lesních hospodářských plánů a osnov. Tyto údaje nejsou obsaženy pouze v lesních hospodářských plánech zpracovaných metodou provozní statistické inventarizace. Tato metoda je zatím využívána jen na území národních parků. Věk porostu není také stanoven u etáží obhospodařovaných výběrným hospodářským způsobem, které však mají v rámci ČR jen minimální zastoupení. V případě změny legislativy a rozhodnutí o ukončení vyhotovování lesních hospodářských osnov, by tyto údaje nebyly dostupné na 374 000 ha (14 %) lesní půdy ČR. V těchto případech by bylo nutné stanovit tyto parametry z jiných zdrojů, např. analýzou obrazu metodami DPZ.

Pro stanovení vah jednotlivých parametrů u vybraných soustředovacích a přibližovacích technologií byla použita Saatyho matice a metoda geometrického průměru řádků. Párové porovnání jednotlivých vstupních parametrů bylo provedeno na základě rešerše odborné literatury a s důrazem na šetrnost použití jednotlivých soustředovacích a přibližovacích technologií. Výsledné váhy byly konzultovány s odborníky z Ústavu lesnické a dřevařské techniky Mendelovy univerzity v Brně. Druhou možností pro párové porovnání vstupních parametrů by bylo oslovit, kromě odborníků z různých institucí, také výrobce a uživatele jednotlivých technologií, ale tato možnost s ohledem na vybraný počet soustředovacích a přibližovacích technologií, časovou náročnost tohoto řešení a administrativní zatížení těchto subjektů nebyla realizována.

Výsledky modelu, na základě terénního šetření v experimentálním území Rabštejn, potvrdily správnost stanovených vah při hodnocení šetrnosti použití vybraných soustředovacích a přibližovacích technologií, ale na základě výsledků testování modelu na vybraném území ŠLP Křtiny bylo rozhodnuto, že pro každou technologii za podmínek vlhké půdy budou použity stejné váhy jako za podmínek suché půdy. Důvodem ke změně byly výsledky modelu pro forwarder a kombinaci forwarderu s harvestorem na stanovištích, kde byl sklon pro tyto soustředovací a přibližovací technologie hodnocen stupněm 4 - nevhodný (sklon nad 45 %), ale na základě multikriteriálního hodnocení vyšel u zastoupených porostních skupin stupeň vhodnosti

použití 2 - vhodný. Při použití vah stanovených pro podmínky suché půdy, byly tyto porostní skupiny správně hodnoceny stupněm vhodnosti použití 3 - nevhodný-nevyklučuje se. Změna klimatických podmínek byla v modelu zohledněna pouze v hodnocení parametru únosnosti půdy ve vztahu k nominálnímu měrnému tlaku vybrané technologie.

V experimentálním území v okolí Rabštejna neměly výše uvedené sklonové kategorie významné plošné zastoupení, proto nebylo možné výsledky modelu za těchto podmínek ověřit. Pro jednotnost multikriteriálního hodnocení jednotlivých soustředovacích a přibližovacích technologií v modelu byly i ostatních dvou modelových technologií UKT a SLKT použity váhy jednotlivých parametrů za podmínek suché půdy.

Výsledky venkovního šetření na ověřovacím území v severní části ŠLP Křtiny potvrdily správnost změny modelu za podmínek vlhké půdy. Žádná z ověřovaných porostních skupin a jejich částí nebyla modelem chybně hodnocena. Následně byly pro podmínky vlhké půdy znovu přepočítány i výsledky v experimentálním území Rabštejn.

Malá část území (0,01 % – 0,02 %) byla pro všechny vybrané přibližovací a soustředovací technologie hodnocena stupněm vhodnosti použití 0 a to z důvodu prostorové rozdílnosti vstupních vrstev a převodu některých vstupních vrstev z vektorové prezentace do rastrové prezentace a zpět v průběhu zpracování modelu. Nejen tento model, ale i ostatní celorepublikové vrstvy bude možné zpřesnit po vytvoření digitální katastrální mapy ČR, která bude sloužit jako jednotný digitální podklad.

Z výsledků modelu dále vyplynulo, že u vhodnosti použití LDZ je v dalším vývoji modelu vhodné zohlednit velikost porostní skupiny, aby nebyly vybírány příliš malé porostní skupiny nebo jejich části. Lukáč a kol. (2001) uvádí, že by mělo být využito minimálně 2/3 technické délky lanovky. Pro nejkratší lanovku s délkou lana 350 m to představuje vzdálenost cca 230 m. Dalším zpřesněním modelu u LDZ by mohlo být také vylišení porostních skupin, kde převažujícím důvodem pro výběr LDZ je únosnost terénu. Tyto porostní skupiny nebo jejich části lze identifikovat podle převažujícího sklonu. Pokud převažujícím důvodem pro výběr LDZ je únosnost terénu, je možné na těchto stanovištích využít i kolové soustředovací technologie za podmínky zmrzlé půdy.

Model byl aplikován na experimentální území Rabštejn o ploše 3660 ha a ověřen na území o ploše 3 148 ha v severní části ŠLP Křtiny. Venkovním šetřením byly ověřeny porostní skupiny, které svou celkovou plochou představují plošný podíl 10,1 % v případě experimentálního území a 8,5 % v případě ověřovacího území. Na obou plochách byl model aplikován nejprve na celé porostní skupiny a pro porovnání na části porostních skupin. Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé části porostních skupin mohou být od sebe i dost vzdálené, byly dosaženy přesnější výsledky při aplikaci modelu na části porostních skupin. I tímto postupem může dojít ke zkreslení výsledků modelu v případě, že by jednotlivé části porostních skupin měly výrazně rozdílný věk, zakmenění nebo zastoupení smrku a jedle, ale tyto případy by neměly být časté. Výsledky modelu by pak musely být korigovány na základě znalosti místních podmínek buď hospodářem nebo vlastníkem lesa.

Při ověření modelových kategorií vhodnosti použití pro definované přibližovací a vyvážecí technologie byly zjištěny rozdíly mezi výsledky modelu a terénními vlastnostmi v závislosti na přesnosti stanovení vstupních parametrů modelu. Největší rozdíly byly u stanovení parametru tvar terénu pro jednotlivé porostní skupiny, kdy v rámci ověřování výsledků modelu v experimentálním území muselo být u 8 porostních skupin změněno hodnocení tvaru terénu a u 10 jiných porostních skupin byl tvar terénu hodnocen správně, ale nebyl natolik výrazný, aby ovlivnil nasazení přibližovacích technologií. Změnou metodiky výpočtu, kdy se tvar terénu stanovil pro jednotlivé části porostních skupin, bylo v rámci ověření výsledků v ověřovacím území nutné změnit hodnocení tvaru terénu pouze u 4 částí porostních skupin a správně hodnocený tvar terénu, ale nevýrazný byl u 7 částí porostních skupin. Při hodnocení převažujícího sklonu byl zjištěn u ověřovaných porostních skupin rozdíl mezi modelovým sklonem a skutečným sklonem větší než 5 % u 10 porostních skupin v experimentálním území a u 5 porostních skupin v ověřovacím území. U těchto uvedených porostních skupin byl, u 7 porostních skupin v experimentálním území a u 4 porostních skupin v ověřovacím území, převažující sklon měřený v terénu sklonoměrem vyšší než hodnota odvozená z DMT. Na zvýšení přesnosti stanovení obou parametrů bude mít určitě vliv použití přesnějšího DMT (DMR4G) a standardní hodnocení těchto parametrů pro jednotlivé části porostních skupin a ne pro celé porostní skupiny.

## 11. Závěr

Cílem předkládané práce bylo navrhnout a ověřit model, který na základě multikriteriálního hodnocení vybraných vstupních parametrů stanoví pro každou porostní skupinu kategorii vhodnosti použití modelových přibližovacích technologií, a pomocí kterého bude, na základě vybraných vstupních vrstev, možné vytvořit celorepublikovou vrstvu vhodnosti použití modelových přibližovacích technologií.

Model byl testován ve dvou rozdílných územích, které se navzájem lišily terénními, stanovištními i porostními charakteristikami. Na základě finálních výsledků modelu v ověřovacím území Křtiny lze konstatovat, že se cíl práce podařilo úspěšně naplnit, a že navržený model při použití vstupních parametrů odpovídajících reálným hodnotám ověřeným v terénu je plně funkční při determinaci vhodnosti použití modelových přibližovacích technologií.

Model byl primárně navržen pro celé porostní skupiny. U velkých porostních skupin nebo u porostních skupin, které mají více částí je vhodnější jednotlivé kategorie vhodnosti použití dále zpřesnit s ohledem na velikost předpokládaných obnovních prvků. U porostních skupin nebo jejich částí s plochou větší než 1,5 až 2 ha je např. možné pro jednu porostní skupinu nebo její část vylišit více kategorií vhodnosti použití vybrané přibližovací technologie. Důvodem k tomuto rozdělení na více kategorií byla souvislá plocha dané kategorie vhodnosti použití větší než 0,5 ha, případně nižší v závislosti na způsobu hospodaření nebo požadavcích orgánů ochrany přírody na maximální velikost holé seče. Takto ve výsledku vznikne mapa potenciálního nasazení vybraných přibližovacích technologií zohledňující šetrnost jejich použití, která bude informací o vhodnosti použití jednotlivých technologií vizualizovat v jednotkách prostorového rozdělení lesa (viz. Přílohy).

Model umožňuje vytvoření celorepublikové vrstvy vhodnosti použití modelových přibližovacích technologií a instituce, která je schopná tuto vrstvu realizovat je Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL). ÚHÚL zajišťuje funkci Infomačního a datové centra odvětví lesního hospodářství a myslivosti a má k dispozici všechny potřebné vstupní digitální vrstvy za celou republiku. Na základě spolupráce s Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) má ÚHÚL k dispozici Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR4G) a předpoklad je, že bude mít i Digitální model reliéfu České republiky 5. generace

(DMR5G), které výrazně zpřesní výsledky modelu a nebude nutné doměřovat lokální maxima, minima a singularity v terénu pomocí GPS. ÚHÚL také na základě terénního šetření dokončuje vrstvu překážek, která je jedním ze vstupních parametrů modelu.

Výsledná celorepubliková vrstva zpřístupněná pomocí webových služeb, může vlastníkům lesů sloužit jako podklad pro žádost o příspěvek na ekologické a k přírodě šetrné technologie, které vyplácejí jednotlivé Krajské úřady. Odpovědní pracovníci Krajských úřadů získají sofistikovaný nástroj pro racionalizaci vyplácení těchto příspěvků. Výsledná vrstva může být zařazena do konceptu Oblastních plánů rozvoje lesů II, který se nyní zpracovává před jejich aktualizací nebo může být samostatně prezentována v Katalogu mapových informací, který ÚHÚL provozuje na svých webových stránkách, a kde jsou prezentovány volně publikovatelné výstupy a analýzy z datového skladu ÚHÚL.

Model není statický, ale umožní hodnotit šetrnost použití i u nových typů vybraných přibližovacích technologií. Uživatel využije definované váhy jednotlivých parametrů a ve vztahu k technickým parametrům výrobce (svahová dostupnost, měrný tlak na půdu, světlost) upraví intervaly vhodnosti použití vybraných vstupních parametrů. Vlastník lesa si může tímto způsobem provést rozvahu před nákupem nové přibližovací technologie.

Model může najít uplatnění nejen v tuzemsku, ale i v zahraničí. Vybrané vstupní parametry modelu jsou dle rešerše odborné literatury lokálně dostupné i v jiných státech nebo je lze na základě dostupných digitálních vrstev odvodit nebo definovat.

## 12. Seznam použité literatury

- ANDERSON A.E., NELSON J., 2004. Projecting vector-based road networks with a shortest path algorithm, In: Canadian Journal of Forest Research, 34 (7). 1444-1457
- ANONYM, 2010a. Kritériá pre rozhodovanie pri výbere optimálnych ťažbovo dopravných technológií, Opatrenia pre obmedzenie poškodenia lesných pozemkov výkonom lesníckych činností, Lesy Slovenskej republiky, š.p. Banská Bystrica, Dostupné na World Wide Web: <http://www.lesy.sk>
- ANONYM, 2010b. Forwarder roundup, Forestry Journal, 12/10. 28-31. Dostupné na World Wide Web: <http://www.forestryjournal.co.uk/newsitefiles/2010/1210/Forwarders.pdf>
- ARUGA K., SESSION J., MIYATA E.S., 2005: Forest road design with soil sediment evaluation using a high-resolution DEM. Journal of Forest Research, 10(6). 471-479.
- BENEŠ J. 1986. Optimalizace lesní dopravní sítě. Lesnictví, 32. 1089-1114.
- BENEŠ J. 1991. Zpřístupnění lesů v pahorkatinách. Lesnictví, 37. 245-266.
- CONTRERAS M., CHUNG W., 2006. A computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. Canadian Journal of Forest Research 37(2). 276-292
- DAHLIN B., FREDRIKSSON J., 1995. Computer-Assisted Forest Road Planning A Proposed Interactive Model with Special Emphasis on Private Forest Land. International Journal of Forest Engineering 6(2). 35-39.
- DAVIS C.J., REISINGER T.W., 1990. Evaluating Terrain for Harvesting Equipment Selection. International Journal of Forest Engineering 2(1). 9-16.
- DEAN D.J., 1997. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. Canadian Journal of Forest Research 27(1). s.11-22.
- DUCHEYNE E.I., DE WULF R.R., DE BAETS B., 2006. A spatial approach to forest-management optimization: linking GIS and multiple objective genetic algorithm. International Journal of Geographical Information Science 20(8). 917-928.
- DVOŘÁK, J. et al., 2011. The use of harvester technology in production forests, Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, 156 s. ISBN 978-80-7458-018-5
- EPSTEIN R. et al., 2001. PLANEX: A System to Identify Landing Locations and Access. In Sborník konference „The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium“, Seattle, Dostupné na World Wide Web: <http://depts.washington.edu/sky2001/>.
- GIRVETZ E., SHILLING F., 2003. Decision Support for Road System Analysis and Modification on the Tahoe National Forest. Environmental Management 32(2). 218-233.
- HEINIMANN H.R., 1998. A Computer Model to Differentiate Skidder and Cable-Yarder Based Road Network Concepts on Steep Slopes. Journal of Forest Research 3(1). 1-9.
- HOREK P., MAUER P., 2001. Forest Cableways in Shelterwood System, In Sborník konference „New trends in wood harvesting with cable system for sustainable forest management in the mountains“, Ossiach, FAO. 63-67.

- HRŮZA P., ŠPIČÁKOVÁ H., 2008. Možnosti využití geografických informačních systémů pro vyhodnocení dostupnosti lesních porostů. In sborník z mezinárodní vědecké konference „Těžebně dopravní technologie a stavební úpravy v kalamitních těžbách“, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze. 44-50.
- CHUNG W., STÜCKELBERGER J., ARUGA K., CUNDY T.W., 2008. Forest road network design using a trade-off analysis between skidding and road construction costs. *Canadian Journal of Forest Research* 38(3). 439-448.
- JANEČEK A., MIKLEŠ M., NOVOTNÝ M., 2002. Technický projekt optimalizace technických a technologických parametrů těžebně dopravních systémů z hlediska těžebně dopravní eroze, Praha, ČZU Praha, 2002, 43 s. ISBN 80-213-0999-7
- JOURGHOLAMI M., ABDI E., CHUNG W., 2013. Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: a case study in the Hyrcanian Forest in Iran. *iForest* 6. 59-64 [online 2013-01-21] . Dostupné na World Wide Web: <http://www.sisef.it/iforest/contents?id=efor0640-006>
- KLIMÁNEK M., 2006. Optimization of digital terrain model for its application in forestry. *Journal of Forest Science* 52(5). 233-241.
- KLUENDER R., WEIH R., CORRIGAN M., PICKETT J., 2000. The use of geographic information system in harvest landing location for ground-based skidding operations. *Forest Products Journal* 50(3). 87-92.
- KOGER J.L., WEBSTER D.B., 1984. L-O-S-T Logging Optimization Selection Technique, Southern Forest Experiment Station. New Orleans, Louisiana, Research Paper SO-203, Dostupné na World Wide Web: [http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp\\_so203.pdf](http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp_so203.pdf)
- KRČ J., BEGUŠ J., 2013. Planning Forest Opening with Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34: 217-228.
- KÜHMAYER M., STAMPFER K., 2010. Development of Multi-Attribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(2). 75-88.
- KYSEL R., MESSINGEROVÁ V., PACOLA E., 2000. Aplikácia metód geografických informačných systémov v sprístupňovaní lesov. *Journal of Forest Science* 46(7). 340-348.
- LIU K., SESSION J., 1993. Preliminary Planning of Road Systems Using Digital Terrain Models. *International Journal of Forest Engineering* 4(2). 27-32.
- LUBELLO D., 2009. Planning Forest Operations. *ArcUser Winter 2009*. Dostupné na World Wide Web: <http://www.esri.com/esri-news/arcuser>
- LUKÁČ T., ŠTOLLMANN D., MESSINGEROVÁ V., 2001. Lanovky v lesníctve. Zvolen, Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, 167 s. ISBN 80-88677-82-3
- MACKŮ J., 2000. Systém komplexního hodnocení půd, dílčí část lesní půdy, projekt VaV/640/3/00. Brno, AOPK, s. 58-78
- MARCHI E., SPINELLI R., MONTORSELLI N.B., 2009. Use of GIS Analysis In Forest Operation Planning: An Example From Central Italy. In Sborník konference „FORMEC 2009“, Kostelec nad Černými lesy, ČZU Praha, Dostupné na World Wide Web: <http://www.formec2009.org>



- MCGAUGHEY R.J., 1992. PLANS – Preliminary Logging Analysis Systém. USDA Forest Service – PNW Research Station, Dostupné na World Wide Web: <http://forsys.cfr.washington.edu/plans.html>
- MIHELIČ M., KRČ J., 2009. Analysis of Inclusion of Wood Forwarding into a Skidding Model. Croatian Journal of Forest Engineering 30(2). 113-125.
- MODRÝ M., SIMANOV V., 2002. Terrain properties of selected forest sites in the Jizerské hory Mts. Czech Republic. Journal of Forest Science 48(7). 310-319.
- MOHTASHAMI S., BERGKVIST I., LÖFGREN B., BERG S., 2012. A GIS Approach to Analyzing Off-Road Transportation: a Case Study in Sweden. Croatian Journal of Forest Engineering 33. 275-284.
- NERUDA J. et al., 2008. Harvesterové technologie lesní těžby, Brno, MZLU v Brně, 150 s. ISBN 978-80-7375-146-3
- NERUDA, J., VAVŘÍČEK, D., ULRICH, R., JANEČEK, A. (2011): Interakce prostředí a těžebně dopravních strojů, Brno, Mendelova univerzita v Brně, 91 s. ISBN 978-80-7375-573-7
- NEWHAM R.M., 1995. ROADPLAN: A Tool for Designing Forest Road Networks. International Journal of Forest Engineering 6(2). 17-26.
- OWENDE P.M.O., TIERNAN D., WARD S.M., LYONS J., 2001. Is there a role for cable extraction on low gradient sensitive sites?. In Sborník konference „New trends in wood harvesting with cable system for sustainable forest management in the mountains“, Ossiach, FAO. 227-234.
- OWENDE P.M.O., WARD S.M., LYONS J., 2002. The ECOWOOD Project - Operations Protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Prosinec 2002, 74 s., Dostupné na World Wide Web: <http://www.ucd.ie/foresteng/html/ecowood/op.pdf>
- PACOLA E., TUČEK J., MRAČNA V., 1997. Aplikácia geografických informačných systémov na sprístupňovanie lesov v horských terénoch. Lesnictví – Forestry 43(7). 318-326.
- PACOLA E., TUČEK J., 1999. Algorithms for Skidding Distance modeling on Raster Digital Terrain Model. Journal of Forest Engineering 10(1). 67-79.
- PACOLA E., TUČEK J., 2001. SDSS for forest roads localization. Journal of Forest Science 47(7). 303-313.
- PACOLA E., 2001. Expertný systém pre automatizovanú lokalizáciu svahovej odvozej cesty. In Sborník konference „GIS Ostrava 21.-24.1.2001“, Dostupné na World Wide Web: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2001/Sbornik/Referaty/default.htm](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2001/Sbornik/Referaty/default.htm)
- PENTEK T., PORŠINSKI T., ŠUŠNJAR M., STANKIĆ I., NEVEČEREL H., ŠPORČIĆ M., 2008. Environmentally Sound Harvesting technologies in Commercial Forests in the Area of Northern Velebit – Functional Terreain Classification. Periodikum Biologorum 110(2). 127-135.
- PENTEK T., PIČMAN D., POTOČNIK I., DVORŠČAK P., NEVEČEREL H., 2005. Analysis of an existing forest road network. Croatian Journal of Forest Engineering 26(1). 39-50.
- SÁČKOV I., 2007. Generátor terénnej a technologickej typizácie (GTTT). Acta Facultatis Forestalis Zvolen XLIX (2). 101-110.

- SAČKOV I., SMREČEK R., TUČEK J., 2014. Forest transportation survey based on airborne laser scanning data and GIS analyses. *GIScience & Remote Sensing* [online 7 February 2014], Dostupné na World Wide Web: <http://www.tandfonline.com/loi/tgrs20>
- SAITO M., GOSHIMA M., ARUGA K., MATSUE K., SHUIN Y., TASAKA T., 2013. Study of Automatic Forest Road Design Model Considering Shallow Landslides with LiDAR Data of Funyu Experimental Forest. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34(2). 1-15.
- SESSION J., CHUNG W., HEINIMANN H.R., 2001. New algorithms for solving large transportation planning problém. In *Sborník konference „New trends in wood harvesting with cable system for sustainable forest management in the mountains“*, Ossiach, FAO. 253-258.
- SHIBA M., 1996. Imagery Data Processing System Using Aerial Photography for Sensitive Site Investigations in the Route Selection Process. *Journal of Forest Engineering* 7(3). 53-65.
- SIMANOV V., MACKŮ J., POPELKA J., 1993. Nový návrh terénní klasifikace a technologické typizace. *Lesnictví* 39(10). 422-428.
- SIMANOV V., 1999. Přednášky pro studenty LDF Mendelovy univerzity Brno
- STAMPFER K., LEXER M.J., 2001. Multicriteria evaluation of thinnig operations on steep terrain, In *In Sborník konference „New trends in wood harvesting with cable system for sustainable forest management in the mountains“*, Ossiach, FAO. 73-79.
- SLANČÍK M., TUČEK J., SUCHOMEL J., KOREŇ M., 2008. Terénna a technologická typizácia územia na základe ekologických kritérií. In *„Zborník príspevkov z konferencie Enviro-i-fórum 2008“*, Zvolen, TU Zvolen. 66-69.
- SØVDE N.E., LØKKETANGEN A., SAETERSDAL M., 2011. Optimizing terrain transportation with environmental constraints – Key habitats vs profit. In *Sborník „Formec Austria 2011, 44th International Symposium on Forestry Mechanisation. Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering“*, Graz, Dostupné na World Wide Web: <http://formec.boku.ac.at/archive/48-graz-2011/98-proceedings-and-presentations-2011.html>
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., 2009. Metodické postupy ochrany lesních pozemků proti erozi. *Strnady. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v.v.i.* 54 s. ISBN 978-80-7417-004-1
- Tuček J., Suchomel J., 2003. *Geoinformatika v sprístupňovaní lesov a optimalizácii ťažbovo-dopravných technológií – možnosti, stav a perspektívy*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 166 s. ISBN 80-228-1315-X
- Ulrich R. et al., 2006. *Možnosti uplatnění sortimentních technologií ve správě LČR*, s.p., Brno, MZLU v Brně, 340 s. ISBN 978-80-7375-051-0
- Visser R., Baker S., Sloan H., 2001. Cable Logging Opportunities in The Apalachian Mountains. In *Sborník konference „New trends in wood harvesting with cable system for sustainable forest management in the mountains“*, Ossiach, FAO. 129-134.

## 13. Přílohy

### Seznam příloh:

Příloha č.1	Přehledová mapa	
Příloha č.2	Univerzální kolový traktor - suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.3	Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.4	Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.5	Speciální lesní kolový traktor – suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.6	Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.7	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 4-kolový podvozek - suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.8	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 4-kolový podvozek - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.9	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 6-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.10	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 8-kolový podvozek s kolopásky - suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.11	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 8-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.12	Forwarder - 4-kolový podvozek - suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.13	Forwarder - 4-kolový podvozek - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.14	Forwarder - 6-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.15	Forwarder - 8-kolový podvozek s kolopásky - suchá půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.16	Forwarder - 8-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	experimentální území Rabštejn
Příloha č.17	Lanové dopravní zařízení	experimentální území Rabštejn
Příloha č.18	Univerzální kolový traktor - suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.19	Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny

Příloha č.20	Univerzální kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.21	Speciální lesní kolový traktor	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.22	Speciální lesní kolový traktor vybavený flotačními pneumatikami – vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.23	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 4-kolový podvozek - suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.24	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 4-kolový podvozek - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.25	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 6-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.26	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 8-kolový podvozek s kolopásky - suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.27	Forwarder v kombinaci s harvestorem - 8-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.28	Forwarder - 4-kolový podvozek - suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.29	Forwarder - 4-kolový podvozek - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.30	Forwarder - 6-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.31	Forwarder - 8-kolový podvozek s kolopásky - suchá půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.32	Forwarder - 8-kolový podvozek s kolopásky - vlhká půda	ověřovací území ŠLP Křtiny
Příloha č.33	Lanové dopravní zařízení	ověřovací území ŠLP Křtiny

## Seznam tabulek:

NÁZEV	STRANA
Tab.1 Terénní klasifikace (Owende et al. 2001)	24
Tab.2 Technologická typizace (Owende et al., 2001)	25
Tab.3 Terénní klasifikace „Lesprojekt 1980“	26
Tab.4 Systém švédské klasifikace terénů vhodných pro nasazení harvestorových technologií (Ulrich, 2006)	29
Tab.5 Členění edafických kategorií dle únosnosti (Ulrich, 2006)	30
Tab.6 Vliv sklonu na nasazení harvestorů (Ulrich, 2006)	30
Tab.7 Lesní vegetační stupně	38
Tab.8 Saatyho matice - příklad	40
Tab.9 Kategorie vhodnosti použití	41
Tab.10 Kategorie sklonu terénu – Lesy SR, š. p.	43
Tab.11 Stupně únosnosti půd (Vavříček, 2011)	47
Tab.12 Potenciální odolnost proti těžebně dopravní erozi (Macků, 2000)	50
Tab.13 Vymezení kumulovaných porostních typů KPT (Macků, 2000)	51
Tab.14 Kombinace KPT (Macků, 2000)	51
Tab.15 Vymezení redukčních faktorů (Macků, 2000)	52
Tab.16 Váha redukčních faktorů (Macků, 2000)	53
Tab.17 Stupně odolnosti proti těžebně dopravní erozi (Macků, 2000)	53
Tab.18 Sklon - UKT suchá půda	62
Tab.19 Přibližovací vzdálenost - UKT suchá půda	63
Tab.20 Stupeň únosnosti půdy - UKT suchá půda	65
Tab.21 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - UKT suchá půda	67
Tab.22 Výskyt a velikost překážek - UKT suchá půda	68
Tab.23 Tvar terénu - UKT suchá půda	69
Tab.24 Věk porostu - UKT suchá půda	71
Tab.25 Saatyho matice - UKT suchá půda	71
Tab.26 Stupeň únosnosti půdy – UKT flotační pneumatiky - suchá půda	72
Tab.27 Stupeň únosnosti půdy – UKT flotační pneumatiky vlhká půda	74
Tab.28 Saatyho matice - UKT flotační pneumatiky vlhká půda	74
Tab.29 Sklon - SLKT suchá půda	76
Tab.30 Přibližovací vzdálenost - SLKT suchá půda	76
Tab.31 Stupeň únosnosti půdy - SLKT suchá půda	77
Tab.32 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - SLKT suchá půda	78
Tab.33 Výskyt a velikost překážek - SLKT suchá půda	78
Tab.34 Tvar terénu - SLKT suchá půda	78
Tab.35 Věk porostu - SLKT suchá půda	79
Tab.36 Saatyho matice - SLKT suchá půda	80
Tab.37 Stupeň únosnosti půdy – SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda	81
Tab.38 Saatyho matice - SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda	82
Tab.39 Sklon – FWHV suchá půda	84
Tab.40 Přibližovací vzdálenost - FWHV suchá půda	84
Tab.41 Nominální měrný tlak na půdu - harvestor	85
Tab.42 Nominální měrný tlak na půdu – forwarder	85
Tab.43 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 4-kolový suchá půda	86
Tab.44 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 8-kolový s kolopásky suchá půda	86
Tab.45 Stupeň odolnosti půdy proti těžebně dopravní erozi - FWHV suchá půda	86

Tab.46 Výskyt a velikost překážek - FWHV suchá půda	87
Tab.47 Tvar terénu - FWHV suchá půda	87
Tab.48 Věk porostu - FWHV suchá půda	88
Tab.49 Zakmenění - FWHV suchá půda	89
Tab.50 Zastoupení SM a JD - FWHV suchá půda	90
Tab.51 Saatyho matice - FWHV suchá půda	90
Tab.52 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 4-kolový vlhká půda	92
Tab.53 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 6-kolový, 6-kolový s kolopásky, 8-kolový vlhká půda	92
Tab.54 Stupeň únosnosti půdy - FWHV 8-kolový s kolopásky vlhká půda	92
Tab.55 Saatyho matice - FWHV vlhká půda	93
Tab.56 Saatyho matice - FW suchá půda	95
Tab.57 Saatyho matice - FW vlhká půda	96
Tab.58 Sklon – LDZ	99
Tab.59 Přibližovací vzdálenost - LDZ	99
Tab.60 Stupeň únosnosti půdy - LDZ	100
Tab.61 Odolnost proti těžebně dopravní erozi - LDZ	100
Tab.62 Výskyt a velikost překážek - LDZ	101
Tab.63 Tvar terénu - LDZ	101
Tab.64 Věk porostu - LDZ	101
Tab.65 Saatyho matice - LDZ	102
Tab.66 Porovnání odvozených vah parametrů	103
Tab.67 UKT - suchá půda	106
Tab.68 UKT-flotační pneumatiky - suchá půda	107
Tab.69 UKT-flotační pneumatiky - vlhká půda	108
Tab.70 SLKT - suchá půda	109
Tab.71 SLKT-flotační pneumatiky - vlhká půda	110
Tab.72 FWHV - suchá půda	112
Tab.73 FWHV čtyřkolový - suchá půda	113
Tab.74 FWHV čtyřkolový - vlhká půda	114
Tab.75 FWHV osmikolový s kolopásky - vlhká půda	115
Tab.76 FWHV osmikolový s kolopásky - suchá půda	115
Tab.77 FWHV šestikolový s kolopásky - vlhká půda	115
Tab.78 FW čtyřkolový – vlhká půda	118
Tab.79 FW čtyřkolový - suchá půda	118
Tab.80 FW – osmikolový s kolopásky – vlhká půda	119
Tab.81 FW – osmikolový s kolopásky – suchá půda	119
Tab.82 FW – šestikolový s kolopásky – vlhká půda	120
Tab.83 Lanové dopravní zařízení	121
Tab.84 Lesní vegetační stupně	125
Tab.85 UKT - suchá půda	127
Tab.86 UKT-flotační pneumatiky - suchá půda	128
Tab.87 UKT-flotační pneumatiky - vlhká půda	128
Tab.88 SLKT - suchá půda	130
Tab.89 SLKT-flotační pneumatiky - vlhká půda	131
Tab.90 FWHV čtyřkolový - suchá půda	132
Tab.91 FWHV čtyřkolový - vlhká půda	133
Tab.92 FWHV osmikolový s kolopásky - vlhká půda	134
Tab.93 FWHV osmikolový s kolopásky- suchá půda	134

Tab.94 FWHV šestikolový s kolopásky - vlhká půda	134
Tab.95 FW čtyřkolový - vlhká půda	136
Tab.96 FW čtyřkolový - suchá půda	136
Tab.97 FW – osmikolový s kolopásky – vlhká půda	137
Tab.98 FW – osmikolový s kolopásky – suchá půda	137
Tab.99 FW – šestikolový s kolopásky – vlhká půda	138
Tab.100 Lanové dopravní zařízení	139
Tab.101 UKT-F – vlhká půda – původní model	141
Tab.102 UKT-F – vlhká půda – nový model	141
Tab.103 SLKT-F – vlhká půda – původní model	143
Tab.104 SLKT-F – vlhká půda – nový model	143
Tab.105 FW8KK – vlhká půda – původní model	144
Tab.106 FW8KK – vlhká půda – nový model	144
Tab.107 FW6KK – vlhká půda – původní model	144
Tab.108 FW6KK – vlhká půda – nový model	144
Tab.109 FW4K – vlhká půda – původní model	145
Tab.110 FW4K – vlhká půda – nový model	145
Tab.111 FH8KK – vlhká půda – původní model	147
Tab.111 FH8KK – vlhká půda – původní model	147
Tab.113 FH6KK – vlhká půda – původní model	147
Tab.114 FH6KK – vlhká půda – nový model	147
Tab.115 FH4K – vlhká půda – původní model	148
Tab.116 FH4K – vlhká půda – nový model	148

## Seznam obrázků:

NÁZEV	STRANA
Obr. 1 Submodel pro tvorbu vrstvy sklonu	62
Obr. 2 Submodel pro tvorbu vrstvy přibližovacích vzdáleností	63
Obr. 3 Submodel pro tvorbu vrstvy stupňů únosnosti půdy	64
Obr. 4 Submodel pro tvorbu vrstvy potenciálního ohrožení těžebně dopravní erozí	66
Obr. 5 Submodel pro tvorbu vrstvy reálného ohrožení těžebně dopravní erozí	66
Obr. 6 Submodel pro tvorbu vrstvy výskytu a velikosti překážek	67
Obr. 7 Submodel pro tvorbu vrstvy tvar terénu	69
Obr. 8 Submodel pro tvorbu vrstvy věk porostu	70
Obr. 9 Váhy parametrů - UKT suchá půda	71
Obr. 10 Váhy parametrů - UKT flotační pneumatiky - suchá půda	73
Obr. 11 Váhy parametrů - UKT flotační pneumatiky - vlhká půda	75
Obr. 12 Váhy parametrů - SLKT suchá půda	80
Obr. 13 Váhy parametrů - SLKT flotační pneumatiky - vlhká půda	82
Obr. 14 Skript pro tvorbu vrstvy zakmenění porostu	89
Obr. 15 Váhy parametrů - FWHV suchá půda	91
Obr. 16 Váhy parametrů - FWHV vlhká půda	93
Obr. 17 Váhy parametrů - FW suchá půda	95
Obr. 18 Váhy parametrů - FW vlhká půda	97
Obr. 19 Váhy parametrů - LDZ	102
Obr. 20 Porovnání odvozených vah parametrů	103
Obr. 21 Model zpracování vstupních vrstev	104
Obr. 22 Plošné zastoupení kategorií vhodnosti použití UKT jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	108
Obr. 23 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	111
Obr. 24 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	116
Obr. 25 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	120
Obr. 26 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití LDZ, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	122
Obr. 27 Plošné zastoupení kategorií vhodnosti použití UKT jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	129
Obr. 28 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	131
Obr. 29 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	135
Obr. 30 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	138
Obr. 31 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití LDZ, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	139
Obr. 32 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití UKT, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	142
Obr. 33 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití SLKT, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	143
Obr. 34 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití FW, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	146
Obr. 35 Plošné zastoupení kategorie vhodnosti použití forwarderu v kombinaci s harvestorem, jako šetrné přibližovací technologie [ % ]	149



## 14. Summary

The aim of the study was to create and verify a model for selection of environmentally friendly skidding technologies based on multicriteria evaluation by means of GIS tools in the selected experimental territory. Verification of model results was carried out in randomly selected stands with the overall area representing more than 10 per cent of the total forest area in the experimental territory and more than 8 per cent of the total forest area in the verification territory. The terrain shape showed the lowest level of reliability among all the input parameters of the model in the experimental territory but its determination has been changed in verification territory and this methodology change has had a positive impact on determination accuracy. Weight of terrain shape ranged from 3 to 5 per cent in the final multicriteria evaluation, and therefore the incorrect determination of this parameter has a very low influence on the final results of the model. Next accuracy improvement of the terrain shape as well as determination of the slope inclination is possible in the next development of the model by using a more accurate DTM. Digital Terrain Model of the Czech Republic – 4<sup>th</sup> generation (DMR 4G) and later Digital Terrain Model of the Czech Republic – 5<sup>th</sup> generation (DMR 5G) will be suitable sources for derivation of these two parameters. These two models will be created from laser scanned data. Thanks to this technology both models will have substantially higher altitude accuracy as well as more accurate detection of singularities which have significant influence on determination of the terrain shape. After adjustment, the total standard error of height in the bare terrain will amount to 0.3 m and in the forested terrain to 1 m in DMR 4G which will be available in the end of 2013. After adjustment, the total standard error of height in the bare terrain will amount to 0.18 m and in the forested terrain to 0.3 m in DMR 5G which will be available in 2015. When input parameters corresponding to real terrain conditions were used, there were no significant errors in classification of the categories of environmentally friendly use for the selected skidding and forwarding technologies recorded. A small portion of the experimental and the verification territory (0.01 – 0.02 per cent) was classified by grade 0 for all the selected skidding and forwarding technologies. Reason for this classification is the spatial differences of input data layers. Not only this model but also all nationwide data layers and models will be more accurate after creating the unified digital cadastral map of the Czech Republic. In the

next development of the model it seems to be suitable to take into account the size of the stands, mainly for cable system. It is not to select due to too small stands or parts of the stands for this type of technology. Stands, where the main reason for using the cable system is the ground bearing capacity, could be also differentiated, because it is possible to use wheeled vehicles when the ground is frozen here. The model was primarily focused on the stands. The results of the model were calculated not only for the whole stands but also for particular parts of the stands and we have got more accurate results for the categories of environmentally friendly use. In further development of the model, the categories of environmentally friendly use can be determined with higher accuracy. We propose to determine several categories of environmentally friendly use of a particular skidding technology for stands or for their parts with an area larger than 1.5 (2) ha. The reason for this division into several categories would be a continuous area of the suitability category of use larger than 0.5 ha or smaller depending on the requirements of forest management or authorities of nature protection on the size of clear-cuts. The final output of the model will be a map of potential use of selected skidding technologies where the information on environmentally friendly use of particular skidding and forwarding technologies will be directly visualized for particular stands.

The proposed model is going to be universally applicable to new types of selected skidding and forwarding technologies. Defined weights of input parameters will stay unchanged for selected skidding and forwarding technologies but a user will be able to correct intervals of environmentally friendly use (Fully suitable, Suitable, Unsuitable – not excluded, Unsuitable) of selected input parameters according to technical parameters of a particular type of skidding and forwarding technology. For example a new type of forwarder can have higher climbing ability or lower nominal ground pressure than it was set in the model so the user will be able to correct intervals of environmentally friendly use in relation to slope inclination or ground bearing capacity. The selected input parameters make it possible to use the proposed model not only in the conditions of the Czech Republic. According to published research results, these parameters and their digital geospatial layers are usually available or can be derived from existing data layers for particular chosen territories in many countries.