

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MODELŮ PRO VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ V PROCESU VOLBY OPTIMÁLNÍHO POSTUPU ZPRACOVÁNÍ DŘÍVÍ PO VĚTRNÉ KALAMITĚ

USE OF THE MODELS FOR MULTICRITERIAL DECISION-MAKING IN THE DEVELOPMENT OF OPTIMAL WOOD PROCESSING AFTER WIND DISASTER

TOMÁŠ HILLERMANN¹⁾✉ - JAROMÍR ŠTŮSEK²⁾

¹⁾ Lesy České republiky, s. p., Lesní správa Dvůr Králové n. L., 28. října 787, 544 01 Dvůr Králové nad Labem, Czech Republic

²⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátka, Czech Republic

✉ e-mail: tomas.hillermann@lesy.cz

ABSTRACT

The main objective of the research was to propose and validate new methods and procedures for solving crisis situations in forestry and to create aids for decision making of forest owners and managers. Motivation to the research was the increasing number of emerging crisis situations and growing damage to the forest environment. In the framework of the pre-research, the theoretical basis of the problems was defined, the significance of solved problems for forestry was determined, analysis and subsequent synthesis of the existing literary sources was carried out, and the aim of the work was defined. In order to solve the problem, the sequence within processing of the windfall wood was determined, using the MCDA method. On the basis of research results, the real possibility of the use of mathematical methods to support decision-making of management in forestry when dealing with crisis situations was demonstrated. The possibility of using the MCDA method to determine the sequence of solutions within windfall wood processing in a particular case was verified. Currently there has been an increasing number of emerging crisis situations in the context of climate change and society impact on the environment in the forestry sector. Therefore it is necessary to develop new methods and procedures to deal with crisis situations and avoid the occurrence of major economic and environmental damage to the forest environment.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: lesní hospodářství; krizová situace; simulační model; matematické metody; životní prostředí

Key words: forest management; crisis situation; simulation model; mathematical methods; environment

ÚVOD

V současném období razantně narůstá počet i objem tzv. krizových situací v rámci lesního hospodářství v České republice. Veškeré lesy na území státu jsou dle zákona o lesích č. 289/1995 Sb. rozděleny do kategorií lesů hospodářských, zvláštního určení a ochranných. Odlišují se vahou důležitosti produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa. Hospodářský les je typický dlouholetým vývojem, cca 80–160 let. Jednotlivé zásahy lesního hospodáře mohou příznivě nebo nepříznivě ovlivňovat nejen jeho strukturu a stav, ale i ekonomické efekty produkce. Plánovaný vývoj lesních porostů je nepříznivě ovlivňován celou řadou krizových situací nejrůznějšího typu, které vyvolávají nezbytnost operativních zásahů řídicího managementu. Struktura krizových situací je rozsáhlá, od živelních pohrom coby následku přírodně-klimatických faktorů, přes invaze škůdců, až po krize vzniklé vlivem člověka (např.

lesní požáry). Současné negativní klimatické projevy ukazují, že dochází k destabilizaci přírodně-klimatického systému v podmínkách mírného pásu severní polokoule, kam patří též území České republiky. Tato destabilizace se projevuje nejenom vysokým stupněm teplotních výkyvů, ale též výskytem dříve méně častých lokálních vichřic, dlouhotrvajícími suchy a krátkými a rychlými přechody ze zimního do letního období a naopak.

Řadu let jsme svědky skutečnosti, že klasické střídání čtyř ročních období funguje pouze v omezeném rozsahu, což má negativní dopad na vývoj lesních porostů. V kombinaci se zvýšenou mírou působení dalších abiotických činitelů a biotických faktorů, které ve svém průniku a souběžném působení zapříčiňují vznik výrazných předpokladů pro vznik krizových situací v lesním hospodářství. Řešení těchto krizových událostí téměř vždy znamená zvýšené náklady na likvidaci

následků krizových situací a současně snížení celkového ekonomického efektu mnohaletého vývoje založení a výchovy lesního porostu. V tab. 1. jsou uvedeny výše těžeb za období let 2007–2017, včetně objemu těžeb nahodilých. Tabulka je členěna na celkový objem těžeb u Lesů České republiky, s. p. (LČR), a Lesní správy Dvůr Králové (LS).

Lesy patří mezi nejpřirozenější ekosystémy, které se v České republice vyskytují, a jejich funkce pro společnost jsou mnohostranné a nezastupitelné. Obecným zájmem společnosti je, aby plnění funkcí lesa bylo trvalé a rovnoměrné. Je hlavním úkolem lesního hospodářství, které za více než 200 let své racionální fáze fungování vypracovalo soustavu zásad a postupů obhospodařování lesů, aby trvalost obhospodařování lesů byla uskutečňována. Na základě pozorování životního prostředí, ve kterém se pohybujeme, je zřejmé, že v rámci destabilizace přírodně-klimatického systému dochází k významným poruchám, jejichž výsledkem jsou různé druhy krizových situací, které se v lesnické terminologii nazývají kalamity. Základní úlohou hospodaření v lesích je trvalé zachování funkcí lesa a vytvoření stabilních a zdravých lesních ekosystémů, které v naší krajině budou optimálně plnit veškeré ekonomické, ekologické a sociální funkce, společností požadované.

Příčinou vzniku krizových situací v lesním prostředí je zejména zásadní působení člověka na původní přírodní les, především změna původní dřevinné skladby. Plánované hospodaření v lesích České republiky je výrazně modifikováno vnějšími faktory, které zásadně ovlivňují fungování celého lesnicko-dřevařského sektoru. Řešení krizových situací ve stávajícím systému managementu lesního hospodářství je obvykle řízeno na tzv. pragmatické bázi, kdy se průběžně zpřesňují údaje o vzniklých typech krizových situací a následně jsou na základě teoretických znalostí a praktických zkušeností každého správce lesního majetku řešeny zpracovatelské postupy likvidace následků. Volba řešení vzniklé krizové situace je vždy závislá na konkrétním řídicím pracovníkovi, který se rozhoduje na základě místních znalostí a získaných zkušeností z obdobných situací v minulosti. Míra zvolené opti-

málnosti řešení se zjistí po dokončení likvidace následků krizové situace a celkovém rozboru výsledku řešení. Jelikož se jedná o rozhodnutí intuitivní, je výsledek řešení předem nejistý.

Do procesu finálního rozhodnutí nad řešením krizové situace vstupuje mnoho dalších ovlivňujících faktorů, kde výsledek uvedené improvizace vyvolává obvykle výrazné navýšení nákladů a snížení výnosů, čímž dochází ke snížení míry rentability výrobního procesu produkce dříví a snížení kvality fungování mimoprodukčních funkcí lesa. Cílem této studie je (1) ověřit možnost použití modelu pro vícekritériální rozhodování (MCDA) na konkrétním případě stanovení postupu dle jednotlivých lesních porostů zpracování dříví poškozeného větrnou vichřicí „Derecho“ dne 11. 8. 2017 na revíru Červený Kostelec v rámci lesního hospodářského celku (LHC) Broumov a (2) postup zpracování stanovit s ohledem na minimalizaci celkových ztrát minimalizací nákladů na likvidaci a ztrát z výnosů prodeje dříví z kalamity, a to při zásadě dodržení zákonných lesnických omezení a nařízení.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika zájmového území

Revír Červený Kostelec leží v jihozápadní části lesního hospodářského celku LHC Broumov. Na severu jej tvoří ucelený lesní komplex v hornatém terénu Jestřebích hor, na jihu pak rozsáhlá lesní enkláva údolí řeky Úpy. Celý revír se nachází v Královéhradeckém kraji a spadá do působnosti obcí s rozšířenou působností Trutnov a Náchod.

Výměra pozemků určených k plnění funkcí lesa je 1222 ha (2017). V revíru jsou zastoupeny dvě přírodní lesní oblasti. Přírodní lesní oblast 23 – Podkrkonoší zahrnuje 49 % území revíru a přírodní lesní oblast 24 – Sudetské mezihoří 51 %. Revír zahrnuje 3. až 5. lesní vegetační stupeň (LVS) s převahou 4. LVS (48 %) a 5. LVS (34 %). Nejvíce

Tab. 1.
Srovnání těžeb, včetně nahodilých, za období let 2007–2017
Comparison of harvests including casualties (2007–2017)

Lesy České republiky, s. p.

rok/year	měrná jednotka/ unit of measure	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	celkem/ total
celkový objem těžby/ total production volume	tis. m ³ / thousands of m ³	882	8552	7723	8052	8023	7836	8035	7975	7700	8102	8030	80910
z toho nahodilá těžba/ of which incidental mining	tis. m ³ / thousands of m ³	7326	5282	3093	2934	1769	1521	2014	2222	3706	4364	5243	39474
% nahodilé těžby z celkové/ % of total incidental production	tis. m ³ / thousands of m ³	82	64	40	36	1521	19	25	28	48	54	65	45

Lesní správa Dvůr Králové

rok/year	měrná jednotka/ unit of measure	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	celkem/ total
celkový objem těžby/ total production volume	tis. m ³ / thousands of m ³	201	158	177	129	130	180	152	143	134	150	117	1671
z toho nahodilá těžba/ of which incidental mining	tis. m ³ / thousands of m ³	199	115	109	34	18	15	18	17	30	34	55	644
% nahodilé těžby z celkové/ % of total incidental production	tis. m ³ / thousands of m ³	99	73	62	26	14	8	12	12	22	23	47	39

zastoupenými cílovými hospodářskými soubory jsou 43 – hospodářství kyselých stanovišť středních poloh, 45 – hospodářství živných stanovišť středních poloh, 53 – hospodářství kyselých stanovišť vyšších poloh, 55 – hospodářství živných stanovišť vyšších poloh. Cílové hospodářské soubory 43, 45, 53, 55 dohromady zaujímají 72 % území revíru. Z hlediska rozdělení lesů do kategorií se zde lesy ochranné nevyskytují, 2 ha jsou zařazeny do lesů zvláštního určení. Převažují lesy hospodářské na ploše 1220 ha.

Věková struktura porostů je poměrně vyrovnaná. Nadnormálně je výrazně zastoupen 9. věkový stupeň, který je vůči normálnímu zastoupení 2,5× vyšší. Důvodem je zničení předchozích lesních porostů mniškovou kalamitou v první třetině 20. století. Mírně nadnormální je 1. věkový stupeň, což je částečně způsobeno zpracováním kalamit v letech 2007–2012.

Druhová struktura porostů je tvořena převážně jehličnany – 81 % (smrk ztepilý 65 %, borovice lesní 6 %, modřín evropský 9 %, jedle bělokorá 1 %). Listnáče jsou zastoupeny 19 % (buk lesní 12 %, bříza bradavičnatá 2 %, dub zimní 2 %, ostatní 3 %).

Model vícekriteriální analýzy variant

Vícekriteriální analýza (MCDA) se zabývá hodnocením možných alternativ podle několika kritérií, přičemž alternativa hodnocená podle jednoho kritéria zpravidla nebývá nejlépe hodnocená podle kritéria jiného. Metody vícekriteriálního rozhodování poté řeší konflikty mezi vzájemně protikladnými kritérii. Jde o metodu, která má za cíl shrnout a utřídit informace o variantách řešení.

Vícekriteriální analýza variant patří do skupiny metod pro vícekriteriální rozhodování. Na rozdíl od vícekriteriální optimalizace či vícekriteriálního programování je v modelech vícekriteriálního hodnocení variant množina variant zadána ve formě konečného seznamu variant, které jsou ohodnoceny podle jednotlivých kritérií. Toto ohodnocení může mít dvě základní formy – ohodnocení ordinální nebo kardinální. Cílem je najít kompromisní variantu, která nejlépe vyhovuje požadavkům jednotlivých kritérií. Účelem modelových výpočtů i v těchto situacích je buď nalezení „nejlepší“ varianty podle všech uvažovaných hledisek, vyloučení neefektivních variant, nebo stanovení preferenčního pořadí variant z hlediska celého souboru kritérií, přičemž první varianta v tomto pořadí je varianta kompromisní (ZMEŠKAL et al. 2013).

Celkové hodnocení variant závisí jednak na důležitosti (preferenci) jednotlivých kritérií (interkriteriální preference), jednak na hodnocení variant alternativ podle jednotlivých kritérií (intra-kriteriální preference).

Podstatné z hlediska řešení těchto úloh jsou právě typy informací o důležitosti jednotlivých kritérií a o hodnocení variant podle každého z nich. Jsou možné následující případy (Brožová et al. 2014):

- žádná informace – preferenční informace neexistuje, tato situace je přípustná pouze pro preference kritérií mezi sebou;
- nominální informace – i toto je informace přípustná pouze pro preference kritérií mezi sebou, je vyjádřena pomocí aspiračních úrovní, tj. nejhorších možných hodnot, při nichž může být varianta akceptována, a rozděluje varianty podle příslušného kritéria na akceptovatelné a neakceptovatelné;
- ordinální informace – tato informace vyjadřuje uspořádání kritérií podle důležitosti, nebo uspořádání variant podle toho, jak jsou hodnoceny kritériem;
- kardinální informace – tento typ informace má kvantitativní charakter, tedy v případě preference kritérií se jedná o váhy, v případě ohodnocení variant podle kritéria o konkrétní nejčastěji číselné vyjádření tohoto hodnocení, které vlastně nezáleží na množině porovnávaných variant. Protože řada metod vícekrite-

riálního hodnocení variant vyžaduje kardinální informaci, mají velký význam metody, které umožňují kvantifikovat ordinální informaci;

- jako nejlepší může být vyhodnocena pouze některá nedominovaná varianta, tj. taková, ke které se nenajde jiná, jež by byla podle všech kritérií lepší, nebo s ní rovnocenná.

Postupné kroky metody:

Identifikují se alternativy. Rozhodne se o kritériích (faktorech), která budou určující při rozhodování. Podrobně se zhodnotí dopad každé alternativy na každé kritérium. Tam, kde je to možné, vyjádří se čísly. Každému z kritérií (faktorů) se určí jeho relativní váha (významnost). Vzniknou tak vlastně indikátory významnosti hlavních dopadů. Počátečním krokem každé analýzy MCDA je sestavení vyhodnocovací matice, jejíž prvky odrážejí pro každou alternativu hodnocení jednotlivých kritérií. Prvky této matice nemusí být čísla. Obecný ekvivalent kritériální matice by se dal označit termínem matice hodnot atributů variant (Brožová et al. 2014).

Kritéria, podle nichž je vybírána nejvýhodnější varianta, dělíme podle různých hledisek. Podle povahy kritéria rozlišujeme na:

- kritéria maximalizační: při rozhodování vycházíme z toho, že žádoucí je vyšší hodnota kritéria;
- kritéria minimalizační: žádoucí je nižší hodnota kritéria.

Modely vícekriteriálního rozhodování tedy zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií. Zohlednění více kritérií při hodnocení vnáší do řešení problémů obtíže, které vyplývají z obecné protichůdnosti kritérií. Kdyby totiž všechna kritéria ukazovala na stejné řešení, stačilo by pro volbu nejhodnějšího rozhodnutí jediné z nich. Účelem modelů v těchto situacích je buď nalezení „nejlepší“ varianty podle všech uvažovaných hledisek, vyloučení neefektivních variant, nebo uspořádání množiny variant. Přístupy k vícekriteriálnímu rozhodování se liší podle charakteru množiny variant či přípustných řešení. Podle způsobu jejího zadání lze rozlišit dvě skupiny těchto modelů (Brožová et al. 2014):

- modely vícekriteriálního hodnocení variant jsou zadány pomocí konečného seznamu variant a jejich ohodnocení podle jednotlivých kritérií;
- modely vícekriteriálního programování mají množinu variant s nekonečně mnoha prvky vyjádřenu pomocí omezujících podmínek, přičemž ohodnocení jednotlivých variant je dáno jednotlivými kriteriálními funkcemi. Rozhodnutím v teorii vícekriteriální analýzy variant rozumíme vybrat jednu nebo více z množiny přípustných variant a doporučit je k realizaci.

Rozhodovatel by měl při výběru variant postupovat maximálně objektivně, k čemuž mu slouží aparát různých postupů a metod analýzy variant. Někdy je možno oddělit osobu zadavatele úlohy od osoby jejího řešitele (analytika). Tento postup má svoje výhody i nevýhody. Výhodou je skutečnost, že analytik málokdy bývá zainteresován na výsledku rozhodnutí, a proto postupuje maximálně objektivně. Nevýhodou může být fakt, že analytik nebývá obeznámen se všemi detaily úlohy, které se při zadávání nedaly modelově zachytit. Výsledkem proto může být doporučení sice objektivně „nejlepší“ varianty, ale prakticky by byla lepší jiná varianta, která se například umístila na druhém místě, zvláště při malých rozdílech hodnot agregovaného rozhodovacího kritéria. Postup řešení zadaného rozhodovacího problému (Brožová et al. 2014):

Krok č. 1: volba metody stanovení vah kritérií – Saatyho metoda

Jde o metodu kvantitativního párového porovnávání kritérií. Pro hodnocení párových porovnání kritérií se používá 9bodová stupnice a je možné použít i mezistupně (hodnoty 2, 4, 6, 8). Dle síly preferovaného kritéria se přiřazují základní hodnoty:

- rovnocenná kritéria i a j hodnota (1);
- slabě preferovaná kritéria i před j hodnota (3);
- silně preferované kritéria i před j hodnota (5);
- velmi silně preferované kritéria i hodnota (7);
- absolutně preferované kritéria i hodnota (9).

Hodnotitel porovná každou dvojici kritérií a velikosti preferencí i-tého kritéria vzhledem k j-tému kritériu zapíše do Saatyho rovnice $S = (S_{ij})$. Matice je čtvercová řádu $n \times n$ reciproční, tj. platí, že $S_{ij} = 1/S_{ji}$, a vyjadřuje vlastně odhad podílů vah i-tého a j-tého kritéria. Na diagonále Saatyho matice jsou vždy hodnoty jedna. Každé kritérium je samo o sobě rovnocenné. Vypočtení hodnoty b_i (1), jako geometrický průměr řádků Saatyho matice (BROŽOVÁ et al. 2014):

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n S_{ij}} \quad (1)$$

Vypočtení váhy kritéria v_i (2) normalizací hodnot b_i

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (2)$$

Krok č. 2: volba optimální varianty pomocí metody váženého součtu

Metoda váženého součtu vyžaduje kardinální informace, kritériální matici Y a vektor vah v . Konstruuje celkové hodnocení pro každou variantu, a tak ji lze použít jak pro hledání jedné nejvýhodnější varianty, tak pro uspořádání variant od nejlepší po nejhorší. Metoda váženého součtu je speciálním případem metody funkce užítku. Celkový užitek varianty je vyjádřen součtem hodnot dílčích funkcí užítku (3) (BROŽOVÁ et al. 2014):

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^m v_j u_j(y_{ij}), \quad (3)$$

kde u_j jsou dílčí funkce užítku jednotlivých kritérií a v_j jsou váhy kritérií.

Následuje postup (BROŽOVÁ et al. 2014):

- převedeme minimalizační kritéria na maximalizační (4);

$$y_{ij} = \max_{i=1, \dots, m} (y_{ij}) - y_{ij} \quad (4)$$

- určíme ideální variantu h s hodnocením (h_p, h_n) a bazální variantu d s ohodnocením (d_p, d_n) ;

- vytvoříme standardizovanou kritériální matici R , jejíž prvky získáme pomocí vzorce (5);

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j} \quad (5)$$

- pro jednotlivé varianty vypočteme agregovanou funkci užítku (6);

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^n v_j r_{ij} \quad (6)$$

- varianty seřadíme sestupně podle hodnot $u(a_i)$ a potřebný počet variant s nejvyššími hodnotami užítku považujeme za řešení problému.

VÝSLEDKY

Pro hodnocení variant řešení příkladu bylo zvoleno pět kritérií, která byla s jednotlivými hodnotami dosazena do kritériální matice:

KS – podíl sortimentů dříví III.A-C a vyšší kvality – kritérium zařazeno z důvodu podstatného vlivu na zpeněžení dřevní hmoty. Vlivem času a počasí dochází k postupnému znehodnocování dřevní hmoty;

ZL – podíl zlomů na kalamitě – zlomy jsou z kalamitního dříví nejvíce ohroženou skupinou dříví, kde dochází ke znehodnocení dřevní hmoty. Vývraty jsou stále částečně spojeny kořeny se zemí a částečně zde probíhají fyziologické procesy stromu;

OB – objem odhadu m^3 dříví dle JPRL;

PH – průměrná hmotnatost dříví má vliv na zpeněžení dříví a je zde souvislost s výslednou strukturou sortimentů dle jakostí vstupujících následně do obchodu se dřívím;

PV – přibližovací vzdálenost z lesního porostu na skládku dříví má vliv na rychlost zpracování kalamity.

Zjištěné údaje o vzniklé kalamitě dle jednotlivých lesních porostů vložíme do kritériální matice:

	JPRL	KS	OB	ZL	PH	PV
812D04	20	166	20	0,49	700	
812D08	50	623	40	0,99	800	
812A07	60	511	50	0,69	1200	
812B10	65	348	35	1,00	300	
812B12	30	441	25	1,00	200	

Výpočet určení vah hodnocení Saatyho metodou:

x	K1	K2	K3	K4	K5	bi	vi
K1	1,00	5,00	7,00	3,00	5,00	3,50	0,52
K2	0,20	1,00	3,00	3,00	5,00	1,55	0,23
K3	0,13	0,33	1,00	3,00	1,00	0,66	0,10
K4	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,51	0,08
K5	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	0,53	0,08
Sa						6,75	1,00

K1–K5 jsou jednotlivá kritéria, b_i je hodnota normalizovaného geometrického průměru řádků matice, v_i – vypočtená váha kritéria.

Výpočet optimální varianty metodou váženého součtu:

Základní kritériální matice

kritérium	K1	K2	K3	K4	K5
váha	0,52	0,23	0,1	0,08	0,08
povaha	max.	max	max	max	max
812D04	20	166	20	0,49	700
812D08	50	623	40	0,99	800
812A07	60	511	50	0,69	1200
812B10	65	348	35	1,00	300
812B12	30	441	25	1,00	200

[sestavení ideální varianty $h = (65; 623; 20; 1,00; 200)$; sestavení bazální varianty $d = (20; 166; 50; 0,49; 1200)$]

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MODELŮ PRO VÍCEKTERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ V PROCESU VOLBY OPTIMÁLNÍHO POSTUPU ZPRACOVÁNÍ DŘÍVÍ PO VĚTRNÉ KALAMITĚ

Standardizovaná kritériální matice

kritérium	K1	K2	K3	K4	K5
812D04	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50
812D08	0,67	1,00	0,33	0,98	0,40
812A07	0,88	0,92	0,00	0,39	0,00
812B10	1,00	0,49	0,50	1,00	0,90
812B12	0,22	0,73	0,83	1,00	1,00

Porovnání stanovení pořadí řešení dle výpočtu MCDA a intuitivního rozhodování:

JPRL	pořadí variant dle intuice	pořadí variant dle MCDA
812D04	5	5
812D08	1	2
812A07	2	3
812B10	4	1
812B12	3	4

Výpočet užítka jednotlivých variant:

JPRL	výpočet užítku	pořadí variant
812D04	0,14	5
812D08	0,71	2
812A07	0,70	3
812B10	0,83	1
812B12	0,52	4

Použití vícekritériální analýzy variant na příkladu volby optimálního postupu zpracování kalamity ukazuje, že tento systém je použitelný i v tak specifickém prostředí, jako je lesní hospodářství. Důležitým krokem při výpočtu je volba kritérií, které ovlivňují řešený proces. Do výpočtu řešeného případu by bylo možné doplnit i další kritéria, případně některá nahradit. Volba kritérií závisí na konkrétním případě. Do kritérií by bylo možné zařadit míru nebezpečí kalamitní dřevní hmoty pro šíření kůrovce, v územích se zvýšenou ochranou přírody specifikovat kritérium dle platného plánu péče atd. V lesnictví, zejména v souvislosti s těžbou dříví, je velký potenciál pro použití metody pro podporu rozhodování. Použití je např. pro volbu optimální tech-

Tab. 2.

Vstupní údaje o vzniklé kalamitě polomového dříví
Input data on the occurrence of the forest timber calamity

lesní porost/ forest stand	dřevina/ tree species	průměrná hmotnost/ average weight	objem dříví/ wood volume	přibližovací vzdálenost/ approach distance	technologie/ technology	podíl zlomů/ fraction of breaks	podíl sortimentů III.A-C a vyšší/ share of assortments III.A-C and higher
x	x	PH	OB	PV	TCH	ZL	KS
812D04	smrk ztepilý ¹	0,49	130	700	harvestor ⁶	20	20
812D04	modřín evropský ²	0,49	24	700	harvestor	20	20
812D04	buk lesní ³	0,49	12	700	harvestor	20	20
Sa			166				
812D08	smrk ztepilý	0,99	425	800	harvestor	40	50
812D08	borovice lesní ⁴	0,99	112	800	harvestor	40	50
812D08	buk lesní	0,99	52	800	harvestor	40	50
812D08	bříza bradavičnatá ⁵	0,99	34	800	harvestor	40	50
Sa			623				
812A07	smrk ztepilý	0,69	428	1200	harvestor	50	60
812A07	modřín evropský	0,69	64	1200	harvestor	50	60
812A07	bříza bradavičnatá	0,69	19	1200	harvestor	50	60
Sa			511				
812B10	smrk ztepilý	1,00	215	300	harvestor	35	65
812B10	borovice lesní	1,00	54	300	harvestor	35	65
812B10	modřín evropský	1,00	38	300	harvestor	35	65
812B10	buk lesní	1,00	12	300	harvestor	35	65
812B10	bříza bradavičnatá	1,00	29	300	harvestor	35	65
Sa			348				
812B12	smrk ztepilý	1,00	164	200	harvestor	25	30
812B12	buk lesní	1,00	240	200	harvestor	25	30
812B12	bříza bradavičnatá	1,00	37	200	harvestor	25	30
Sa			441				

Captions: ¹Norway spruce; ²European larch; ³European beech; ⁴Scotch pine; ⁵European birch; ⁶harvester

nologie zpracování dříví, volbu optimální skládky pro přibližování dříví, modelování trasy odvozních souprav dříví dle umístění jednotlivých sortimentů na skládkách. Metoda by měla rozhodovateli pomoci podpořit nebo vyvrátit zamýšlený postup, zvolený dle vlastních teoretických a praktických znalostí. Důležité je počítat s možností vlivu stochastických jevů, které nám celý systém lesního hospodářství ovlivňují.

Modelový případ byl sestaven a počítán na základě skutečně existujícího vzniklého polomového dříví. Jako podklad pro výpočet byly brány skutečné údaje, zjištěné na polomových plochách. V běžném lesnickém provozu by se rozhodovalo o postupu řešení intuitivně. Pro ověření správnosti intuitivního rozhodování byl použit model pro výpočet pomocí MCDA. V prvním kroku byla data seříděna a doplněna. Pro určení vah jednotlivých kritérií byla použita Sattyho metoda. Následně bylo pomocí metody váženého součtu provedeno zhodnocení variant řešení a určeno pořadí řešení.

V případě použití intuitivního rozhodování by byla zvolena varianta dle předpokládaného objemu dřevní hmoty. Ztráta by byla zejména ve znehodnocení dřevní hmoty z důvodu dlouhé výrobní doby, menšího objemu kulatinových sortimentů, nižších průměrných hmotností těžného dřeva a delších přibližovacích vzdáleností.

Menší objem kulatinových sortimentů – nižší zpeněžení dříví.

Nižší průměrná hmotnost těžného stromu – delší období zpracování dříví.

Delší přibližovací vzdálenost – delší období zpracování dříví.

Intuitivním rozhodováním by se se zpracováním postupovalo od největšího zjištěného objemu polomového dříví, ovšem s menším zastoupením kulatinových sortimentů a delší výrobní dobou. Vyráběly by se méně kvalitní sortimenty a nejhodnotnější v ostatních porostech by byly v ohrožení snížení kvality o 700,- Kč/m³.

Přehled rozdílů ve zpeněžení dřevní hmoty, porovnání postupů volby řešení pomocí MCDA a volby řešení intuitivním konzervativním rozhodováním:

- doba zpracování veškerého polomového dříví 14 dnů – pokud zvolím postup zpracování polomového dříví dle výsledku výpočtu pomocí metody MCDA, bude rozdíl ve zpeněžení výhodnější MCDA nad intuitivním rozhodováním; ve výsledku bude vyrobeno o 88 m³ kulatinových sortimentů více – v celkové hodnotě 61 600,-Kč bez DPH,
- doba zpracování veškerého polomového dříví 21 dnů – pokud zvolím postup zpracování polomového dříví dle výsledku výpočtu pomocí metody MCDA, bude rozdíl ve zpeněžení výhodnější MCDA nad intuitivním rozhodováním; ve výsledku bude vyrobeno o 99 m³ kulatinových sortimentů více – v celkové hodnotě 69 300,-Kč bez DPH,
- doba zpracování veškerého polomového dříví 28 dnů – pokud zvolím postup zpracování polomového dříví dle výsledku výpočtu pomocí metody MCDA, bude rozdíl ve zpeněžení výhodnější použití MCDA nad intuitivním rozhodováním; ve výsledku bude vyrobeno o 106 m³ kulatinových sortimentů více – v celkové hodnotě 74 736,-Kč bez DPH.

DISKUSE

Klimatické vlivy, hlavně jejich odchylky od normálních hodnot, způsobují v našich lesích značné škody. Dle FORSTA (1985) a JELÍNKA (1988) rozsahem zůstanou patrně nepřekonaný větrné kalamity z r. 1740 nebo 1868. Intervaly mezi kalamitami se však zkracují, a tak roste objem škod způsobených abiotickými činiteli.

Otázka negativního působení klimatických vlivů na lesy na území České republiky v minulosti je vzhledem k minimu dochovaných

písemných dokladů problematická. Ojedinele se vyskytují informace o ničivém působení přírody na lesy. V dokladech se dá sledovat závislost velikosti škody na výši ovlivnění původních pralesovitých porostů člověkem. První kvantifikované a měřitelné informace o živelních katastrofách v lesích pocházejí z 19. století. Z těchto pramenů jednoznačně vychází konstatování, že k rozsáhlým poškozením pralesovitých porostů také docházelo, ale vlivem fungujícího obnovujícího mechanismu přírody byl návrat do normálu samovolný, ovšem s přihlédnutím k delším časovým úsekům (HEGER 1957).

MACEK (1962) se ve své publikaci zabývá důležitostí potřeby zachování lesa jako trvale udržitelného zdroje produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa. Zejména s přihlédnutím k negativnímu působení klimatických faktorů si tento fakt v minulosti uvědomovali všichni odborní pracovníci, a to bez ohledu na společenské zřízení a politické uspořádání. Ochrana lesa je již přes 200 let základním pilířem lesního hospodaření.

Rozhodovací procesy se zabývá VEGER (2014), který je popisuje jako procesy řešení rozhodovacích problémů s více než jedním řešením. Vzhledem k významným dopadům rozhodování (a to především při řešení strategických rozhodovacích problémů) na hospodářské výsledky podniku a jeho prosperitu by mělo být snahou manažerů dosáhnout jeho nejvyšší kvality. Tuto kvalitu ovlivňuje větší počet faktorů, z nichž mezi nejvýznamnější patří uplatnění racionálních postupů řešení rozhodovacích problémů, informační vybavení a užití metody a modely rozhodování. Významným nástrojem podporujícím dosažení vyšší kvality rozhodování mohou být metody a modely, kterých lze využít při řešení určitých fází rozhodovacích procesů. Největší počet metod a modelů, vyvinutých teorií rozhodování, se vztahuje k fázi stanovení důsledků variant rozhodování vzhledem ke kritériím hodnocení kvantitativní povahy, resp. k hodnocení variant a volbě optimální varianty při jednom nebo větším počtu kritérií hodnocení.

Největší pozornost věnovala teorie rozhodování problematice hodnocení variant v případě většího počtu kritérií hodnocení. Součástí těchto metod vícekritériálního hodnocení jsou jednak metody stanovení vah kritérií, vyjadřující kvantitativně odlišnou významnost jednotlivých kritérií z pohledu rozhodovatele, jednak metody vlastního vícekritériálního hodnocení, jejichž výsledkem je uspořádání variant rozhodování podle jejich celkové výhodnosti od nejlepší k nejhorší (tzv. preferenční uspořádání variant). Předností metod vícekritériálního hodnocení je jejich využitelnost pro hodnocení variant řešení rozhodovacích problémů odlišné věcné náplně. K efektivnímu uplatnění většiny výše uvedených metod a nástrojů při řešení rozhodovacích problémů v hospodářské praxi pomáhají počítačové programy v podobě systémů na podporu rozhodování. Tyto systémy odstraňují často náročné ruční propočty a umožňují snadno zjišťovat citlivost zvolených řešení na změny vstupních faktorů (blíže k metodám a nástrojům rozhodování).

Práci, které se věnují problematice vícekritériální rozhodovací analýzy (dále MCDA) v lesním hospodářství, je rozsáhlé množství. Můžeme je zhruba rozdělit na ty, které se soustředí na hodnocení potenciálu lesa v souladu s jeho využitím a takové, jež se zabývají přímým hodnocením jednotlivých probíhajících provozních procesů.

Využití v oblasti rozvoje silniční infrastruktury v lesním hospodářství řeší ABDI et al. (2009). Zabývá se návrhem posouzení optimální varianty výstavby lesní dopravní sítě s přihlédnutím k vynaloženým nákladům. Podmínkou hodnocení je jeho následná praktická uskutečnitelnost. Výsledky přinesly přínosy do zlepšení procesu plánování staveb. UHDE et al. (2015) analyzuje možnosti použití MCDA v oblasti plánování využití produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa. Metoda je zde použita jako podpora pro rozhodování lesního plánování. MENDOZA et al. (2006) zkoumal využití MCDA v oblasti hodnocení vhodnosti biotopů v rozsáhlých lesních komplexech. Na základě hodnocení byla vypracována mapová vrstva GIS, která následně slouží

pro další lesnické plánování. KIKER et al. (2005) se zabývá možnostmi použití MCDA pro aplikaci vědeckých teoretických přístupů do praktického lesního hospodaření a vymezení oblastí, kde se dají jednotlivé přístupy aplikovat prakticky. Práce MENDOZA (2005) se soustředí na možnosti využití MCDA v oblasti využití přírodních zdrojů, přičemž jako jeden z nich je posuzován i lesní ekosystém. Model se zabývá jednotlivými variantami využití zdrojů s výsledným dopadem na finální stav ekosystému. Mnoho studií analyzuje střet požadavků společnosti na využití lesa pro své potřeby. Jsou v nich řešeny ekonomické, environmentální, sociokulturní a další aspekty střetu. Na základě vícekritériální analýzy jsou navrhována řešení a voleny optimální varianty využití. MARTINS, BORGES (2007) se zabývá problematikou využití lesního prostředí v Portugalsku. NÖRDSTREM et al. (2010) se věnuje modelování optimální varianty využití lesního prostředí několika sociálními skupinami. Na základě jejich požadavků byla volena vhodná strategie využití. Projekt se uskutečnil pro městský les v Lycksele ve Švédsku. Obdobný výzkum probíhal v Turecku, kde pomocí MCDA byla volena GÜLEM et al. (2006) nejlepší lokalita pro nové městské lesy. Důvodem studie byla rozšiřující se městská zástavba a potřeba vyčlenění části lesa pro volnočasové potřeby společnosti. Ve Finsku MUSTAJOKI et al. (2011) na základě nepříznivých dopadů hospodaření s lesy a výskytu přirozených stávaní sobů v Horním Laponsku použil MCDA pro výběr řešení problému. V souladu s ekonomickými, ekologickými a kulturními aspekty problematiky bylo snahou najít průnik působících aspektů a zvolit optimální řešení problému. V socio-ekologickém územním plánování řízení přírodních zdrojů se pokusil KANGAS et al. (2005) ve Finsku o vyřešení střetu zájmových skupin společnosti pomocí MCDA. Výsledkem bylo rozdělení zkoumaného území na oblasti s doporučením využití jednotlivých částí dle výsledků studie. Finské státní lesy dnes metodu používají k řešení konfliktních situací využití přírodních zdrojů. Podobnou studii vypracovali SHEPPARD, MEITNER (2005) pro oblast Britské Kolumbie v Kanadě. Základem byla aplikace MCDA pro integraci veřejných priorit ve využití přírodních zdrojů, včetně lesního prostředí. Podobnou problematikou se zabývají MUYS et al. (2010) a LINKOV et al. (2006). Hodnocení koncepcí lesního hospodaření ve vztahu k dosažení trvalé udržitelnosti hospodaření řeší WOLFSLEHNER et al. (2005). Srovnává zde hodnocení strategie řízení ve vztahu k dosažení trvalé udržitelnosti. Použil ve své práci více vstupních faktorů, kdy do výpočtu zahrnul požadavky jednotlivých zainteresovaných skupin, nároky společnosti, odborné studie vlivu na prostředí, a výsledkem je moderní řídicí systém přihlížející k veškerým požadavkům jednotlivých subjektů působících v oblasti lesního hospodaření a celkovému využívání lesního prostředí.

ZÁVĚR

Použití vícekritériální analýzy variant (MCDA) na příkladu volby optimálního postupu zpracování kalamity ukazuje, že tento systém je použitelný i v tak specifickém prostředí, jako je lesní hospodářství. Důležitým krokem při výpočtu je volba kritérií, která ovlivňují řešení proces. Do výpočtu řešeného případu by bylo možné doplnit i další kritéria, případně některá nahradit; jejich volba závisí na konkrétním případě. Do kritérií by bylo možné zařadit např. míru nebezpečí ohrožení kalamitní dřevní hmoty pro šíření kůrovce, v územích se zvýšenou ochranou přírody specifikovat kritérium dle platného plánu péče atd. V lesnictví, zejména v souvislosti s těžbou dříví, je velký potenciál pro použití metody pro podporu rozhodování. Použití je např. pro volbu optimální technologie zpracování dříví, optimální skládky pro přibližování dříví či modelování trasy odvozních souprav dříví dle umístění jednotlivých sortimentů na skládkách. Metoda by měla pomoci rozhodovateli podpořit nebo vyvrátit zamýšlený postup, zvolený dle vlastních teoretických a praktických znalostí. Důležité je počítat s možností vlivu stochastických jevů, které nám celý systém lesního hospodářství ovlivňují.

LITERATURA

- ABDI E., MAJNOUNIAN B., DARVISHSEFAT A., MASHAYEKHI Z., SESSIONS J. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science*, 55: 171–176.
- BROŽOVÁ H., ŠUBRT T., HOUŠKA M. 2014. Modely pro vícekritériální rozhodování. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta: 178 s.
- FORST P. 1985. Ochrana lesů a přírodního prostředí. Praha, SZN: 409 s.
- GÜL A., GEZER A., KANE B. 2006. Multi-criteria analysis for locating new urban forests: An example from Isparta, Turkey. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5 (2): 57–71. DOI: 10.1016/j.ufug.2006.05.003
- HEGER A. 1957. Ochrana smrčín proti škodám větrem. Praha, SZN: 96 s. Lesnická knihovna. Malá řada; sv. 70.
- JELÍNEK R. 1988. Větrná a kůrovcová kalamita na Šumavě z let 1968 – 1978. *Písek, Lesprojekt*: 37 s.
- KANGAS J., STORE R., KANGAS A. 2005. Socioecological landscape planning approach and multicriteria acceptability analysis in multiple-purpose forest management. *Forest Policy and Economics*, 2005, 7 (4): 603–614. DOI: 10.1016/j.forpol.2003.12.001
- KIKER G.A., BRIDGES T.S., VARGHESE A., SEAGER T.P., LINKOV I. 2005. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1 (2): 95–108. DOI: 10.1897/IEAM_2004a-015.1
- LINKOV I., SATTERSTROM E.K., KIKER G., BATCHELOR C., BRIDGES T., FERGUSON E. 2006. From comparative risk assessment to multicriteria decision analysis and adaptive management: recent developments and applications. *Environment International*, 32 (8): 1072–1093. DOI: 10.1016/j.envint.2006.06.013
- MACEK J. 1962. Ochrana lesa. Praha, SZN: 173 s. Lesnická knihovna; sv. P/8.
- MARTINS H., BORGES J.G. 2007. Addressing collaborative planning methods and tools in forest management. *Forest Ecology and Management*, 248 (1–2): 107–118. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.02.039
- MENDOZA G.A., PRABHU R. 2005. Combining participatory modeling and multi-criteria analysis for community-based forest management. *Forest Ecology and Management*, 207 (1–2): 145–156. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.024
- MENDOZA G.A., MARTINS H. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230 (1–3): 1–22. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.03.023
- MUSTAJOKI J., SAARIKOSKI H., MARTTUNEN M., AHTIKOSKI A., HALLIKAINEN V., HELLE T., HYPÖNEN M., JOKINEN M., NASKALI A., TUULENTIE S., VARMOLA M., VATANEN E., YLISIRNIÖ A.L. 2011. Use of decision analysis interviews to support the sustainable use of the forests in Finnish Upper Lapland. *Journal of Environmental Management*, 92 (6): 1550–1563. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.01.007
- MUYS B., HYNYNEN J., PALAHÍ M., LEXER M.J., FABRIKA M., PRETZSCH H., GILLET F., BRICEÑO E., NABUURS G.J., KINT V. 2010. Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe. *Forest Systems*, 19 (Special Issue): 86–99.
- NORDSTRÖM E.-M., ERIKSSON L.O., ÖHMAN K. 2010. Integrating multiple criteria decision analysis in participatory forest planning:

- experience from a case study in northern Sweden. *Forest Policy and Economics*, 12 (8): 562–574. DOI: 10.1016/j.forpol.2010.07.006
- SHEPPARD S.R.J., MEITNER M. 2005. Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *Forest Ecology and Management*, 207 (1-2): 171–187. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.032
- UHDE B., HAHN W.A., GRIESS W.C., KNOKE T. 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. *Environmental Management*, 56 (2): 373–388. DOI: 10.1007/s00267-015-0503-3
- VEBER J. 2014. *Management: základy, moderní manažerské přístupy, výkonnost a prosperita*. Praha, Management Press: 734 s.
- WOLFSLEHNER B., VACIK H., LEXER M.J. 2005. Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 207 (1–2): 157–170. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.025
- ZMEŠKAL Z., DLUHOŠOVÁ D., TICHÝ T. 2013. *Finanční modely. Koncepty, metody, aplikace*. Praha, Ekopress: 267 s.

USE OF THE MODELS FOR MULTICRITERIAL DECISION-MAKING IN THE DEVELOPMENT OF OPTIMAL WOOD PROCESSING AFTER WIND DISASTER

SUMMARY

The main objective of the research is to propose and validate new methods and procedures for dealing with crisis situations in forestry and to create aids for the decision-making of forest owners and managers. The reason for the research is an increasing number of emerging crisis situations and damage done to the forest environment. In the current period, both the number and the volume of so-called crisis situations in forestry in the Czech Republic are increasing. The cause of crisis situations in the forest environment is mainly the fundamental influence of mankind on the natural forest, especially the change of the original tree species structure. Planned management in the forests of the Czech Republic is strongly influenced by external factors that fundamentally affect the operation of the entire forestry and wood sector (Tab.1).

Crisis management solutions in the current forest management system are usually managed on a so-called pragmatic basis, where the data on individual types of crisis situations are continuously refined, and consequently the processing procedures for the elimination of consequences are solved on the basis of the theoretical knowledge and practical experience of every forestry manager. A number of other influencing factors enter the final decision-making process, where the result of the improvisation usually results in significant cost increases and revenue reductions, thereby reducing the rate of profitability of the wood production process and lowering the quality of non-production forest functions.

The aim of this study is to verify the use of the Multi-Criteria Decision Model on a specific case. The Multi-Criteria Analysis (MCDA) deals with the evaluation of possible alternatives according to several criteria, whereas the alternative evaluated according to one criterion is usually not best rated according to another criterion (Tab. 2). Using multi-criteria analysis of variants on the example of choosing optimal calamity processing shows that this system is applicable even in a specific environment such as forestry. An important step in the calculation is the choice of criteria that affect the process being solved. Further criteria could be added to the calculation of the case, possibly replacing some of them. The choice of criteria depends on the specific case. The criteria could include the degree of danger of calamity wood for spreading bark beetle, in areas with increased nature protection to specify the criterion according to a valid care plan etc.

In forestry, especially in connection with logging, there is a great potential for using the decision support method. For example, to choose the optimal woodworking technology, to select the optimal landfill for wood approaching, to model the route of wood removal sets according to the location of individual assortments in landfills. The method should help the decision maker to support or rebut the intended procedure, chosen according to his or her own theoretical and practical knowledge. It is important to consider the possibility of the influence of stochastic phenomena that influences the whole forestry system.

Zasláno/Received: 22. 05. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 04. 04. 2019