

GDK: 829.1:84(045)

Prispelo / Received: 23. 03. 2005

Sprejeto / Accepted: 25. 05. 2005

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

VREDNOTENJE POVRŠINSKIH SISTEMOV IN IZBIRA PREMAZNEGA SISTEMA Z VEČKRITERIJSKIM ODLOČITVENIM MODELOM

Leon OBLAK¹, Borut KRIČEJ²

Izvleček:

Zahtevana ali pričakovana kakovost površinskega sistema je odvisna od ustrezne izbire podlage in premaznega sistema ali obloge. Opredeljena je z namenom uporabe in pričakovano trajnostjo izdelka kot celote. Če pri vrednotenju kakovosti površinskih sistemov (njihovih fizikalnih, mehanskih in kemijskih lastnosti) praktično ni nobenih ovir, te nastanejo pri končni izbiri premaznih sistemov. Izmed več ponujenih in kvalitativno ovrednotenih premaznih sistemov se je namreč treba odločiti za optimalnega. Prikazan je model večkriterijskega odločanja, s pomočjo katerega je problem izbire najustreznejšega premaznega sistema med več alternativami možno uspešno rešiti.

Ključne besede: površinski sistem, premazni sistem, odločanje, večkriterijski odločitveni model

EVALUATING SURFACE SYSTEMS AND CHOOSING COATING SYSTEM WITH THE MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL

Abstract:

The required or expected quality of a coating system depends on the suitable choice of a substrate and a coating system or lining. It is determined with the purpose of use and the expected durability of the product as a whole. If there are no obstacles in evaluating the quality of surface systems (their physical, mechanical and chemical properties), these arise in the final choice of coating systems. From among many available and qualitatively assessed coating systems, one has to decide for the best one. The multi-criteria decision-making model is presented herein, that can help solve the problem of choosing the most appropriate coating system from among many alternatives successfully.

Key words: *surface system, coating system, decision-making, multi-criteria decision-making model*

¹ doc. dr. L. O., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, C. VIII/34, 1000 Ljubljana

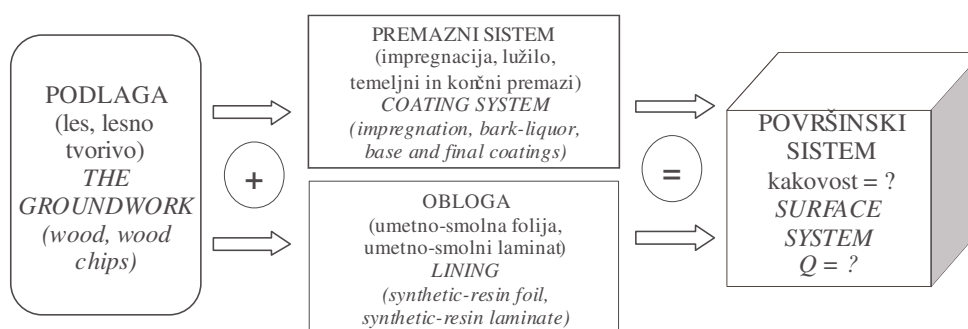
² B. K., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, C. VIII/34, 1000 Ljubljana

VSEBINA
CONTENTS

1	UVOD	149
	INTRODUCTION	
2	LASTNOSTI PREMAZNEGA IN POVRŠINSKEGA SISTEMA.....	150
	PROPERTIES OF THE COATING AND SURFACE SYSTEM	
3	MATERIALI IN METODE	151
	MATERIALS AND METHODS	
4	MODEL VEČKRITERIJSKEGA ODLOČANJA.....	153
	MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL	
5	REZULTATI	162
	RESULTS	
6	RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI	163
	DISCUSSION AND CONCLUSIONS	
7	SUMMARY.....	164
8	VIRI.....	165
	REFERENCES	

1 UVOD INTRODUCTION

Površina izdelkov lesne industrije je navadno sestavljena iz podlage (lesa ali lesnega tvoriva) in premaznega sistema (enega ali več slojev istega ali različnih premazov) ali podlage in obloge (umetno-smolne folije ali umetno-smolnega laminata), kar skupaj tvori površinski sistem (slika 1).



Slika 1: Shematski prikaz sestava »površinski sistem«

Figure 1: Schematic presentation of the "surface system"

Od površinskega sistema pričakujemo, da bo imel ustrezne estetske lastnosti in glede na namen uporabe izdelka določene odpornostne lastnosti. Pomembno je tudi časovno ohranjanje le teh, kar zagotavlja pričakovano trajnost površinskega sistema. Odločilnega pomena pri vsem tem je visoka skladnost podlage s premaznim sistemom ali oblogo in obratno. Kakovost in uporabna vrednost izdelka sta v veliki meri odvisni prav od kakovosti in trajnosti površinskega sistema.

Fizikalne, mehanske in kemijske lastnosti podlage, premaznega sistema ali obloge so določljive s klasičnimi metodami, ne poznamo pa lastnosti posameznih površinskih sistemov, ki jih lahko tvorimo.

Tako pogosto najdemo izdelke iz kakovostne podlage, na kateri je premazni sistem iz kakovostnih premazov ali je na njej kakovostna obloga, ki pa pri uporabi ne izpolnjujejo pričakovanih lastnosti. Lastnosti površinskega sistema niso vsota ali povprečje lastnosti

njegovih gradnikov, ampak lastnosti novega kompozita, nastalega iz že naštetih gradnikov po nekem tehnološkem postopku. Tako iz podatkov o lastnostih gradnikov lahko samo sklepamo in pričakujemo, da bo imel nastali površinski sistem podobne lastnosti kot osnovni gradniki, kar pa ni nujno. Število razpoložljivih gradnikov, možnih kombinacij med gradniki površinskega sistema, tehnoloških postopkov in možnih odmikov v enem tehnološkem postopku lahko povsem realno povečuje stopnjo negotovosti glede pričakovane kakovosti proizvedenega površinskega sistema (PAVLIČ et al. 2003).

2 LASTNOSTI PREMAZNEGA IN POVRŠINSKEGA SISTEMA PROPERTIES OF THE COATING AND SURFACE SYSTEM

Vsi izdelki so oblikovani in proizvedeni za znan namen rabe in za predvidljive obremenitve, od koder izhajajo tudi neka splošno uveljavljena pričakovanja in zahteve o kakovosti površinskega sistema nekega izdelka. Na splošno lahko govorimo o mehansko-fizikalnih in odpornostnih lastnostih nekega površinskega sistema izdelka, ki naj jih ta ima, da bo služil svojemu namenu predvideni čas in tako zadovoljil pričakovanja uporabnikov.

Pri izdelkih, namenjenih za uporabo v interieru, ki so vsi bolj ali manj izpostavljeni predvidljivim obremenitvam, so pomembne predvsem naslednje mehansko-fizikalne in odpornostne lastnosti:

- prožnost premaznega sistema ali obloge,
- oprijemnost premaznega sistema ali obloge na podlago,
- odpornost površinskega sistema proti razenju,
- odpornost površinskega sistema proti udarcem,
- odpornost površinskega sistema proti toploti,
- odpornost površinskega sistema proti tekočinam (vodi, alkoholu, acetonu, olju ipd.) in
- vpliv časa na spreminjanje teh lastnosti (staranje).

Poznavanje naštetih lastnosti za neki površinski sistem nam omogoča vrednotenje kakovosti tega površinskega sistema in daje osnovo za primerjavo z drugimi (PAVLIČ et al. 2004).

3 MATERIALI IN METODE MATERIALS AND METHODS

3.1 MATERIALI MATERIALS

Za podlago smo vzeli iverno ploščo, oplateno z bukovim furnirjem, naše variante (alternative) pa so bili poliuretanski (PU) premazni sistemi, ki smo jih označili s številkami od 1 do 6.

3.2 METODE ZA DOLOČANJE LASTNOSTI POVRŠINSKIH PREMAZNIH SISTEMOV METHODS FOR DETERMINING PROPERTIES OF SURFACE COATING SYSTEMS

Za vrednotenje in izbiro z večkriterijskim odločitvenim modelom smo šestim premaznim sistemom izmerili ali ocenili:

- oprijemnost premaznega sistema na podlago,
- odpornost površinskega sistema proti razenju - trdoto sistema,
- odpornost površinskega sistema proti udarcem,
- odpornost površinskega sistema proti toploti in
- odpornost površinskega sistema proti tekočinam (vodi, alkoholu, acetonu in olju).

3.2.1 Merjenje oprijemnosti z metodo odtrgovanja (SIST EN ISO 4624)

Measuring adhesion with the pull off method (SIST EN ISO 4624)

Na površino površinskega sistema nalepljene pečate (površina pečata je 1 cm²) odtrgujemo na trgalnem stroju in merimo silo, potrebno za ločitev premaznega sistema ali obloge od podlage (adhezija – oprijemnost v MPa). V primeru razslojevanja podlage ali premaznega sistema oziroma obloge je oprijemnost premaznega sistema ali obloge na podlago večja od vrednosti kohezijske trdnosti podlage, premaznega sistema ali obloge in je neznana.

3.2.2 Merjenje trdote s preskusom razenja (SIST EN ISO 1518)

Hardness measuring with the scratch test (SIST EN ISO 1518)

Površino površinskega sistema potezno obremenjujemo s konico polokrogle oblike premera 1 mm, s konstantno silo na konico (od 1 N do 20 N) v dolžini vsaj 60 mm, s hitrostjo od 30 mm/s do 40 mm/s. Posledica takega obremenjevanja je plastična deformacija v obliki vidne sledi (odtisa konice) ali raze (porušitve premaznega sistema oziroma obloge). Merilo trdote oziroma odpornosti premaznega sistema proti razenju je širina odtisa v desetinkah milimetra pri izbrani sili na konico ali velikost sile na konico, pri kateri le-ta razi premazni sistem oziroma oblogo.

3.2.3 Ocenjevanje odpornosti proti udarcu (SIST ISO 4211-4)

Evaluating resistance to impact (SIST EN ISO 4211-4)

Na jekleno kroglico premera 14 mm, ki leži na površini površinskega sistema, prosto spuščamo utež mase 500 g s standardiziranih višin (10 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm, 200 mm ali 400 mm). Mesto takega udarca na površinskem sistemu opazujemo in glede na obliko nastale deformacije ocenimo njegovo odpornost proti udarcem z oceno od 1 do 5. Ocena odpornosti 5 pomeni, da na mestu udarca niso nastale nobene spremembe ter da je površinski sistem odporen proti udarcem, ocena odpornosti 1 pa pomeni, da je na mestu udarca nastala udrtnina in se je znotraj in zunaj le-te pojavilo večje število razpok in/ali luščenje premaznega sistema oziroma obloge, kar je znamenje, da je površinski sistem popolnoma neodporen proti udarcem.

3.2.4 Ocenjevanje odpornosti proti suhi toploti (SIST EN 12722)

Evaluating resistance to dry heat (SIST EN 12722)

Standardizirano telo, segreto na izbrano temperaturo, položimo za 20 minut na površino površinskega sistema. Po razbremenitvi opazujemo nastale posledice zaradi učinkovanja toplote ter ocenimo odpornost površinskega sistema proti suhi toploti z oceno od 1 do 5. Ocena odpornosti 5 pomeni, da na izpostavljenem mestu ni bilo nobenih sprememb ter da je površinski sistem odporen proti toploti, ocena odpornosti 1 pa pomeni, da je na mestu učinkovanja toplote nastala večja poškodba z jasno vidno spremembo v barvi ali strukturi

premaznega sistema, obloge ali površinskega sistema, kar pomeni, da površinski sistem ni odporen proti izbrani temperaturi.

3.2.5 Ocenjevanje odpornosti proti hladnim tekočinam (SIST EN 12720)

Evaluating resistance to cold liquids (SIST EN 12720)

Površino površinskega sistema s standardiziranimi ali dogovorjenimi hladnimi tekočinami ($T = 23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$) in standardiziranimi sredstvi (tamponi, pokrivne čaše) določen čas (voda – 24 h, alkohol – 1 h, aceton – 2 min in olje – 24 h) obremenjujemo in nato razbremenjeno površino na mestu obremenjevanja ocenjujemo po standardiziranem protokolu. Odpornost površinskega sistema proti hladnim tekočinam številčno ovrednotimo z oceno odpornosti od 1 do 5. Ocena odpornosti 5 pomeni, da na mestu obremenjevanja niso nastale nobene spremembe na površini in je površinski sistem odporen proti izvedeni obremenitvi, ocena odpornosti 1 pa pomeni, da so na mestu obremenjevanja nastale večje poškodbe (spremenjena je struktura premaznega sistema ali obloge, ali sta oba degradirana do podlage, filtrirni papir je kontaminiran ali zalepljen na površino preskušanca), kar je znamenje, da površinski sistem ali obloga nista odporna proti hladnim tekočinam.

4 MODEL VEČKRITERIJSKEGA ODLOČANJA MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING MODEL

Odločanje je proces, v katerem je treba izmed več variant (alternativ, različic, možnosti) izbrati tisto, ki najbolj ustreza postavljenim ciljem oziroma zahtevam. Če želimo, da bo naša odločitev res optimalna, moramo upoštevati vrsto dejavnikov, ki vplivajo na kakovost odločitve. V takih primerih si odločevalec pomaga z različnimi metodami in računalniškimi programi za podporo odločanju (RAJKOVIČ / BOHANEK 1995).

Ena izmed metod, ki se uspešno uporablja v praksi pri reševanju zahtevnih odločitvenih problemov, je metoda večkriterijskega odločanja. Bistvo te metode je, da razbijemo odločitveni problem na manjše podprobleme, ki jih potem obravnavamo ločeno. Tako variante razgradimo na posamezne parametre in jih ločeno ocenimo. Z združevanjem teh ocen dobimo končno oceno, ki je osnova za izbor najustreznejše variante (KROPIVŠEK / OBLAK 1997).

Definiranju problema sledi določitev in izdelava spiska kriterijev, ki se nam zdijo pomembni. Za potrebe modela moramo te kriterije strukturirati, t.j. hierarhično urediti, pri čemer upoštevamo medsebojne odvisnosti in vsebinske povezave. Tako dobimo drevo kriterijev. Vsakemu kriteriju v tem drevesu določimo mersko lestvico oz. zalogo vrednosti, ki jo lahko zavzame pri vrednotenju.

S pomočjo programskega paketa za podporo odločanju definiramo funkcije koristnosti. V našem primeru smo uporabili program DEXi (JEREB / BOHANEK / RAJKOVIČ 2003). Na podlagi teh funkcij določimo najboljšo med vsemi variantami, ki jih prej opišemo z vrednostmi osnovnih kriterijev.

4.1 VARIANTE OPTIONS

Za vrednotenje in ocenjevanje smo izbrali šest variant oz. šest površinskih sistemov z enako podlago in šestimi različnimi poliuretanskimi premaznimi sistemi. Tako so naše alternative premazni sistemi PU1, PU2, PU3, PU4, PU5 in PU6.

4.2 KRITERIJI ZA ODLOČANJE DECISION-MAKING CRITERIA

Prvi korak v procesu odločanja je določitev kriterijev, ki nam bodo rabili kot osnova za ocenjevanje variant – premaznih sistemov. Te kriterije smo razdelili v dve strukturirani skupini in dobili naslednje drevo kriterijev:

I. Mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti

- oprijemnost
- trdota - odpornost proti razenju
- odpornost proti udarcem
- odpornost proti toploti

II. Odpornost proti tekočinam

- voda
- alkohol

- aceton
- olje

4.3 ZALOGE VREDNOSTI ESTIMATED VALUES

Površinski sistemi lahko znotraj posameznih kriterijev zavzamejo različne vrednosti, ki definirajo njihove lastnosti oziroma so odsev lastnosti gradnikov sistema (podlage, premaznega sistema, obloge) in njihove medsebojne skladnosti. Da bo izdelek - površinski sistem služil svojemu namenu, mora imeti take lastnosti, da bo v uporabi prenesel vse predvidene obremenitve, ne da bi se mu pri tem nedopustno zmanjšale estetske (sijaj, barva) in funkcionalne lastnosti (odpornost proti tekočinam, razenju, udarcem, toploti ipd.). Skratka, vrednosti, s katerimi merimo lastnosti površinskih sistemov, morajo dosegati in presegati neke kriterije sprejemljivosti oziroma minimalne zahteve, ki so izhodišče za celovito oceno nekega površinskega sistema.

Kriteriji sprejemljivosti nastajajo že desetletja na osnovi domačih in tujih laboratorijskih raziskav in empiričnih potrditev in se bodo z novimi dognanji še dopolnjevali in spreminjali. Pri našem vrednotenju in aplikaciji odločitvenega modela smo uporabili kriterije sprejemljivosti, ki so pri nas in večinoma tudi v tujini splošno uveljavljeni.

4.3.1 Zaloge vrednosti za oprijemnost Estimated adhesion values

Oprijemnost - adhezija premaznega sistema na podlago mora biti večja od 2,5 MPa. Dolgoletna merjenja in raziskave v laboratoriju za površinsko obdelavo na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti so pokazale, da se pri izmerjeni vrednosti oprijemnosti okoli 2 MPa in manj premazni sistemi ob minimalni zunanji ali notranji obremenitvi luščijo - odstopajo od podlage, prav tako pa se luščijo od podlage po relativno kratkem času tudi brez delovanja zunanjih ali notranjih obremenitev zaradi negativnega vpliva časa na velikost notranjih napetosti v premaznem sistemu. Na podlagi teh ugotovitev smo izkustveno oblikovali naslednje zaloge vrednosti:

- nesprejemljiva oprijemnost na podlago (manj kot 2,5 MPa)
- sprejemljiva oprijemnost na podlago (od 2,5 MPa do 3 MPa)

- dobra oprijemnost na podlago (več kot 3 MPa do 5 MPa)
- odlična oprijemnost na podlago (več kot 5 MPa)

4.3.2 Zaloge vrednosti za trdoto - odpornost proti razenju

Estimated hardness values – resistance to scratching

Sprejemljiva je trdota oziroma odpornost proti razenju površinskega sistema, pri kateri standardizirana konica, obremenjena s silo 5 N, ne razi površine in njena sled ni širša od 0,5 mm. Realne so naslednje zaloge vrednosti:

- nesprejemljiva odpornost proti razenju (razi pri sili do 5 N)
- sprejemljiva odpornost proti razenju (ne razi pri sili do 5 N)
- dobra odpornost proti razenju (ne razi pri sili od 5 N do 7 N)
- odlična odpornost proti razenju (ne razi pri sili večji od 7 N)

4.3.3 Zaloge vrednosti za odpornost proti udarcem

Estimated values for resistance to blows

Pri ocenjevanju odpornosti površinskih sistemov proti udarcem smo pri kombinaciji »podlaga + premazni sistem« izbrali višino prostega pada uteži 10 mm, pri kombinaciji »podlaga + obloga« pa 25 mm. Poleg ocene 5 za odpornost površinskega sistema proti udarcem je sprejemljiva še ocena 4 (na mestu udarca je vidna deformacija v obliki udrtine, premazni sistem ali obloga nista razpokana). Zaloge vrednosti v tem primeru so:

- nesprejemljiva odpornost proti udarcem (ocena 1, 2 ali 3)
- sprejemljiva odpornost proti udarcem (ocena 4)
- odlična odpornost proti udarcem (ocena 5)

4.3.4 Zaloge vrednosti za odpornost proti suhi toploti

Estimated values for resistance to dry heat

Pri ocenjevanju odpornosti proti suhi toploti se standardizirano telo najpogosteje segreva na temperaturo 70 °C, 85 °C ali 110 °C. V našem primeru smo ocenjevali odpornost proti toploti pri temperaturi 85° C. Poleg ocene 5 za odpornosti površinskega sistema proti toploti je sprejemljiva še ocena 4 (majhna sprememba sijaja ali barve, vidna le v soju

odbite svetlobe ali težko vidne, majhne poškodbe na nekaj izoliranih mestih). V tem primeru lahko postavimo naslednje zaloge vrednosti:

- nesprejemljiva odpornost proti suhi toploti (ocena 1, 2 ali 3)
- sprejemljiva odpornost proti suhi toploti (ocena 4)
- odlična odpornost proti suhi toploti (ocena 5)

4.3.5 Zaloge vrednosti za odpornost proti hladnim tekočinam

Estimated values for resistance to cold liquids

Pri odpornosti proti hladnim tekočinam je poleg ocene 5 sprejemljiva še ocena 4, ki pomeni majhno spremembo sijaja ali barve, ki je vidna le v soju odbite svetlobe. Za ta kriterij smo oblikovali lingvistične zaloge vrednosti:

- nesprejemljiva odpornost proti hladnim tekočinam (ocena 1, 2 ali 3)
- sprejemljiva odpornost proti hladnim tekočinam (ocena 4)
- odlična odpornost proti hladnim tekočinam (ocena 5)

Za računalniško podporo odločitvenega modela smo izbrali programski paket DEXi (JEREB / BOHANEK / RAJKOVIČ 2003). Merske lestvice oz. zaloge vrednosti kriterijev so pri uporabi metode izražene z lingvističnimi spremenljivkami in so urejene od slabih (nesprejemljivih) proti boljšim vrednostim. Zaloge vrednosti za naše kriterije prikazuje tabela 1.

Preglednica 1: Zaloga vrednosti za kriterije v odločitvenem modelu

Table 1: Estimated value for criteria in the decision-making model

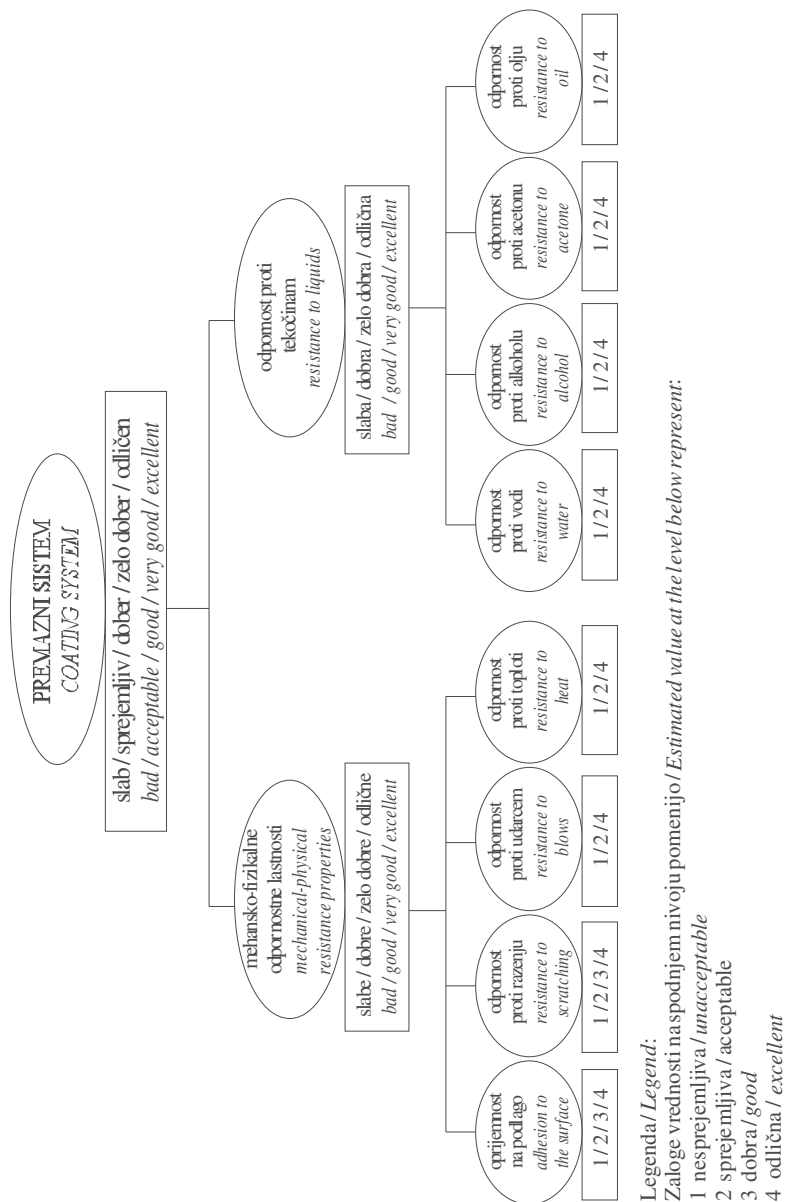
Kriterij / Criterion	Zaloga vrednosti / Estimated value
PREMAZNI SISTEM COATING SYSTEM	<i>slab</i> / sprejemljiv / dober / zelo dober / odličen <i>bad</i> / <i>acceptable</i> / <i>good</i> / <i>very good</i> / excellent
I. Mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti I. Mechanical-physical resistance properties	<i>slabe</i> / dobre / zelo dobre / odlične <i>bad</i> / <i>good</i> / <i>very good</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • oprijemnost na podlago <i>adhesion to the surface</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / dobra / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / <i>good</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti razenju <i>resistance to scratching</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / dobra / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / <i>good</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti udarcem <i>resistance to blows</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti toploti <i>resistance to heat</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent
II. Odpornost proti tekočinam II. Resistance to liquids	<i>slaba</i> / dobra / zelo dobra / odlična <i>bad</i> / <i>good</i> / <i>very good</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti vodi <i>resistance to water</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti alkoholu <i>resistance to alcohol</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti acetonu <i>resistance to acetone</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent
<ul style="list-style-type: none"> • odpornost proti olju <i>resistance to oil</i> 	<i>nesprejemljiva</i> / sprejemljiva / odlična <i>unacceptable</i> / <i>acceptable</i> / excellent

Legenda: *italic* - najslabša vrednost
bold - najboljša vrednost

Key: *italic* – worst value
bold – best value

4.4 ODLOČITVENO DREVO DECISION-MAKING TREE

Ko imamo definirane kriterije za odločanje in zaloge vrednosti za posamezne kriterije, lahko oblikujemo odločitveno drevo. Pri tem moramo paziti, da so kriteriji strukturirani oz. hierarhično urejeni, pri čemer moramo upoštevati medsebojne odvisnosti in vsebinske povezave. Drevo za odločanje o izbiri premaznega sistema je prikazano na sliki 2.



Slika 2: Drevo za odločanje o izbiri premaznega sistema

Figure 2: Decision-making tree for coating system selection

4.5 ODLOČITVENA PRAVILA DECISION-MAKING RULES

Naslednji korak pri oblikovanju večkriterijskega odločitvenega modela je definiranje funkcij koristnosti oz. odločitvenih (“*če-potem*”) pravil. Pravila je treba oblikovati za vse kriterije, ki imajo v odločitvenem drevesu pod seboj razvejeno strukturo, to pomeni za vse razen za kriterije na spodnjih vejah odločitvenega drevesa. Prikažemo jih lahko v obliki tabele za vsako skupino kriterijev. Pri postavljanju odločitvenih pravil je treba paziti na konsistentnost med definiranimi pravili za določene kombinacije vrednosti kriterijev. Ker je oblikovanje odločitvenih pravil ena ključnih nalog odločevalca, si pri tem pomagamo z računalniškimi programi. Odločitvena pravila, oblikovana s pomočjo računalniškega programa DEXi za najvišji nivo odločitvenega drevesa, so prikazana na sliki 3.

	Mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti	Odpornost proti tekočinam	Premazni sistem
1	slabe	slaba	slab
2	slabe	dobra	slab
3	slabe	zelo dobra	slab
4	slabe	odlična	slab
5	dobre	slaba	sprejemljiv
6	dobre	dobra	dober
7	dobre	zelo dobra	dober
8	dobre	odlična	zelo dober
9	zelo dobre	slaba	sprejemljiv
10	zelo dobre	dobra	zelo dober
11	zelo dobre	zelo dobra	zelo dober
12	zelo dobre	odlična	zelo dober
13	odlične	slaba	dober
14	odlične	dobra	zelo dober
15	odlične	zelo dobra	odličen
16	odlične	odlična	odličen

Slika 3: Odločitvena pravila za najvišji nivo odločitvenega drevesa - premazni sistem

Figure 3: Decision-making rules for the highest level of the decision-making tree - coating system

Pri postavitvi odločitvenih pravil smo upoštevali dejstvo, da so mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti v praksi pomembnejše od odpornosti proti tekočinam, nekatere mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti (npr. oprijemnost premaznega sistema na podlago) pa so sploh pogoj za obstoj površinskega sistema. Zato smo premazne sisteme s slabimi mehansko-fizikalnimi odpornostnimi lastnostmi ocenili kot slabe, ne glede na njihovo odpornost proti tekočinam.

Samo za ta nivo odločitvenega drevesa je treba definirati 16 odločitvenih pravil. Za celotni odločitveni model moramo zapisati kar 241 pravil. Seveda je to delo brez podpore računalniških programov, ki omogočajo reševanje takih problemov, praktično nemogoče.

4.6 PODATKI

DATA

Za odločitev o izbiri najboljšega premaznega sistema potrebujemo podatke o vseh šestih variantah (premaznih sistemih) za kriterije na spodnjih vejah odločitvenega drevesa. Tabela 2 prikazuje podatke o lastnostih šestih poliuretanskih premaznih sistemov oz. šestih variant našega večkriterijskega modela, ki smo jih dobili z opravljenimi meritvami.

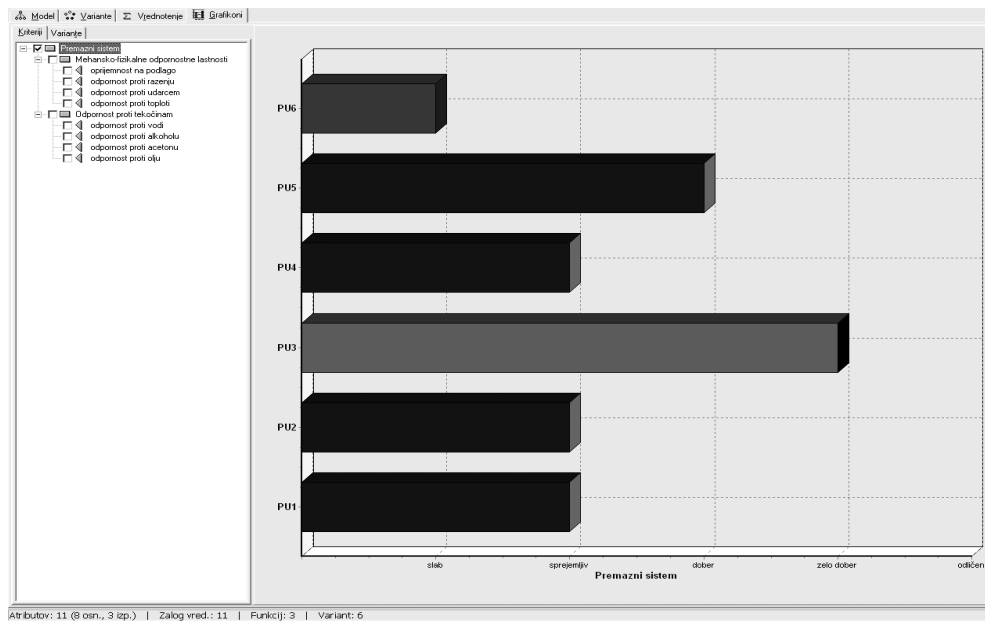
Preglednica 2: Podatki o lastnostih šestih poliuretanskih premaznih sistemov

Table 2: Data on six polyurethane coating system properties

Premazni sistem <i>Coating system</i>	Mehansko-fizikalne in odpornostne lastnosti <i>Mechanical-physical resistance properties</i>				Odpornost proti tekočinam <i>Resistance to liquids</i>			
	Oprijem <i>Adhesion</i> MPa	Razenje <i>Scratching</i> N	Udarci <i>Blows</i> 10 mm	Toplota <i>Heat</i> 85 °C	Voda <i>Water</i> 24 h	Alkohol <i>Alcohol</i> 1 h	Aceton <i>Aceton</i> 2 min	Olje <i>Oil</i> 24 h
PU1	3,1	7	3	5	3	3	2	5
PU2	3,8	9	4	4	5	3	3	5
PU3	6,1	5	4	4	5	3	4	5
PU4	3,8	7	3	4	5	3	3	5
PU5	2,8	5	2	5	5	5	1	5
PU6	3,3	4	3	5	5	3	1	5

5 REZULTATI RESULTS

Primerjava premaznih sistemov, ki je bila napravljena glede na postavljene kriterije, je dala rezultate vrednotenja variant (premaznih sistemov), ki so prikazani na sliki 4.



Slika 4: Rezultati vrednotenja variant (premaznih sistemov)

Figure 4: Results of assessing the options (coating systems)

Premazni sistem PU3 je ocenjen z oceno »zelo dober«, PU5 z oceno »dober«, trije premazni sistemi (PU1, PU2 in PU4) z oceno »sprejemljiv«, premazni sistem PU6 pa z oceno »slab«.

Če želimo podrobnejšo analizo rezultatov, moramo analizirati vrednotenje vseh kriterijev, ki smo jih vključili v odločitveni model. Rezultati vrednotenja vseh variant in kriterijev so prikazani na sliki 5.

Model Variante Vrednotenje Grafikoni						
Varianta	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5	PU6
Premazni sistem	sprejemljiv	sprejemljiv	zelo dober	sprejemljiv	dober	slab
Mehansko-fizikalne odpornostne lastnosti	dobre	zelo dobre	zelo dobre	dobre	dobre	slabe
oprijemnost na podlago	dobra	dobra	odlična	dobra	sprejemljiva	dobra
odpornost proti razenju	dobra	odlična	dobra	dobra	dobra	nesprejemljiva
odpornost proti udarcem	nesprejemljiva	sprejemljiva	sprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva
odpornost proti toploti	odlična	sprejemljiva	sprejemljiva	sprejemljiva	odlična	odlična
Odpornost proti tekočinam	slaba	slaba	dobra	slaba	dobra	slaba
odpornost proti vodi	nesprejemljiva	odlična	odlična	odlična	odlična	odlična
odpornost proti alkoholu	nesprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva	odlična	nesprejemljiva
odpornost proti acetonu	nesprejemljiva	nesprejemljiva	sprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva	nesprejemljiva
odpornost proti olju	odlična	odlična	odlična	odlična	odlična	odlična

Slika 5: Rezultati vrednotenja variant in kriterijev

Figure 5: Results of assessing the options and criteria

6 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Z metodo večkriterijskega odločanja in s pomočjo računalniškega programa DEXi smo za posamezne premazne sisteme (podlaga je bila pri vseh enaka, zato lahko govorimo o premaznih sistemih in ne o površinskih sistemih) dobili generalno kvalitativno oceno njihovih mehansko-fizikalnih in odpornostnih lastnosti. Torej smo iz množice (ta postane pri večjem številu variant povsem nepregledna) izmerjenih vrednosti in ocen premaznih sistemov dobili samo en podatek, ki posamezni premazni sistem definira kot bolj ali manj uporabnega. V raziskavi šestih variant je bila zabeležena najvišja ocena "zelo dober", ki jo je dobil premazni sistem PU3. Premazni sistem PU5 je dobil oceno »dober«, oceno »zadovoljiv« pa so dobili trije premazni sistemi (PU1, PU2 in PU4). Negativno oceno »slab« je dobil premazni sistem PU6.

V primeru enake ocene dveh ali več variant je v fazi odločanja na osnovi kvalitativnih mehansko-fizikalnih in odpornostnih lastnosti treba izhajati iz namena uporabe izdelka oziroma površinskega sistema in s tem pričakovanih lastnosti oziroma zahtev takega sistema v uporabi. V takem primeru je za končno odločitev treba postaviti prioritete lastnosti iskanega optimalnega površinskega oziroma premaznega sistema in z dedukcijo dobljene ocene izbrati najboljšega.

Ob podmeni, da bo na primer površinski sistem v uporabi izpostavljen alkoholu (mizne plošče v nekaterih gostinskih prostorih), bomo izbrali sistem, ki ima najvišjo oceno odpornosti proti alkoholu, ki je v tem primeru prevladujoči kriterij. Če pa bo odločujoči kriterij odpornost proti udarcem, bomo izbrali sistem z najvišjo oceno tega kriterija.

V primeru, da je prioriteten pogoj več (odpornost proti razenju, udarcem in alkoholu ali odpornost proti vodi, toploti in razenju), kar je v praksi običajno, moramo upoštevati dejstvo, da so si nekatere lastnosti sistemov kvalitativno v nasprotni medsebojni odvisnosti. V takih primerih je dokončni izbor optimalnega premaznega ali površinskega sistema rezultat kompromisne strokovne odločitve.

7 SUMMARY

The quality of surface system depends on suitable choice of the substrate and the coating system or lining. What needs to be considered is that the properties of the surface system are not a sum or an average of the substrate and the coating system or lining. The surface system needs to be thoroughly analysed if its physical, mechanical and chemical properties are to be established.

Assessment and evaluation of surface systems is a demanding task in itself, but it can be performed successfully by means of suitable methods for determining the surface system properties.

Bigger problems arise when one has to decide from among many evaluated surface systems for the best one in the anticipated circumstances and in the anticipated purpose of use.

Therefore, the choice of surface and coating systems is a problem, which needs to be dealt with systematically, using up-to-date methods and decision-making systems. One of such methods, enabling us to choose from among many options the one that best fits the set aims or demands is the method of multi-criteria decision-making. In practice, it is frequently used in solving demanding decision-making problems. The essence of this

method is to break the decision-making problem into smaller sub-problems, dealt with individually. In this way, options are devised into individual parameters that are later evaluated individually. By combining these estimations we get the final evaluation, which is a basis for the selection of the most suitable option.

The multi-criteria decision-making model, which was established in this research, enables us to choose the best option from among the alternatives, based on the list of relevant criteria for evaluation of coating systems for which we determine estimated values, and on the basis of decision-making rules, determined in accordance with the demands according to mechanical-physical and resistance properties of coating systems. What needs to be considered is that a number of factors may be subject to evaluation errors. Therefore each option is advised to be described with the “what if” analysis, where we determine sensitivity of individual options to individual parameters.

8 VIRI REFERENCES

- JEREB, E. / BOHANEK, M. / RAJKOVIČ, V., 2003. DEXi: Računalniški program za večparametrsko odločanje. Moderna organizacija, Kranj, 91 s.
- KROPIVŠEK, J. / OBLAK, L., 1997. Izbira optimalne variante z večparametrskim odločitvenim modelom. Les, 49, 3, s. 45-50.
- RAJKOVIČ, V. / BOHANEK, M., 1995. Večparametrski odločitveni modeli. Organizacija, 28, 7, s. 427 - 438.
- PAVLIČ, M. / KRIČEJ, B. / TOMAŽIČ, M. / PETRIČ, M., 2004. Selection of proper methods for evaluation of finished interior surface quality. Copenhagen: COST E-18.
- PAVLIČ, M. / KRIČEJ, B. / TOMAŽIČ, M. / PETRIČ, M., 2003. Kakovost površinskih sistemov pohištva slovenskih proizvajalcev = Quality of surface furniture systems of Slovenian producers. Les, 55, 10, s. 322-327.
- SIST EN ISO 4624:2004 - Barve in laki – Merjenje oprijema z metodo odtrganja filma (Pull-off test) (ISO 4624:2002) - *Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion (ISO 4624:2002)*.

SIST EN ISO 1518:2001 - Barve in laki - Preskus z razenjem (ISO 1518:1992) - *Paints and varnishes - Scratch test (ISO 1518:1992)*.

SIST ISO 4211-4:1995 - Pohištvo - Preskusi površin - 4. del: Ugotavljanje odpornosti proti udarcu - *Furniture - Tests for surfaces - Part 4: Assessment of resistance to impact (ISO 4211-4:1988)*.

SIST EN 12722:1997 - Pohištvo - Ugotavljanje odpornosti površine proti suhi vročini - *Furniture - Assessment of surface resistance to dry heat (ISO 4211-3:1993 modified)*.

SIST EN 12720:1997 - Pohištvo - Ugotavljanje odpornosti površine proti hladnim tekočinam - *Furniture - Assessment of surface resistance to cold liquids (ISO 4211:1979 modified)*.

UDK 630 * 1/9 + 674 (06) (497.12) = 863
GDK 1/9 (06) (497.12) = 863

ISSN = 0351-3114

Slovenian Forestry Institute
University of Ljubljana, Biotechnical faculty:
Dep. of Forestry and Renewable Forest Resources & Dep. of Wood Science and Technology

RESEARCH REPORTS
Forestry and Wood Science and Technology
76

ZbGL

no. 76

p. 1- 206

Ljubljana

2005