

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matevž KLOPČIČ

**OBLIKOVANJE IN KOSTRUIRANJE LESENEGA
STOLA ORGANSKIH OBLIK**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matevž KLOPČIČ

**OBLIKOVANJE IN KONSTRUIRANJE LESENEGA
STOLA ORGANSKIH OBLIK**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WOODEN CHAIR
WITH AN ORGANIC SHAPE**

M. Sc. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2013

Magistrsko delo je zaključek Magistrskega študijskega programa Lesarstvo - 2. stopnja. Izvedeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico magistrskega dela imenoval doc. dr. Manjo Kitek Kuzman, za somentorja dr. Mirka Kariža in za recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: doc. dr. Manja Kitek Kuzman

Somentor: dr. Mirko Kariž

Recenzent: prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Magistrsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Matevž Klopčič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 684.435
KG	organska oblika/stol/3D tiskanje
AV	KLOPČIČ, Matevž
SA	KITEK KUZMAN, Manja (mentorica)/KARIŽ, Mirko (somentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2013
IN	OBLIKOVANJE IN KONSTRUIRANJE LESENEGA STOLA ORGANSKIH OBLIK
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	IX, 46 str., 5 pregl., 41 sl., 32 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Izdelava pohištva zaobljenih, organskih oblik običajno pomeni slabši izkoristek materiala, veliko ročnih/strojnih obdelovalnih ur ter posledično tudi višji strošek izdelave stola. Z uporabo specializiranih programov za modeliranje je mogoče izdelati model in njegove variante ter že v fazi razvoja predvideti njegovo izdelavo s CNC stroji, tako da je izkoristek materialov čim boljši ter obdelovalni čas čim krajši. S programom SolidWorks smo konstruirali in oblikovali stol na osnovi naravne oblike rečnega kamna prodnika. Izdelali smo več variant 3D modelov različnih oblik in dimenzij ter nato izbrano varianto s tehnologijo 3D tiska izdelali kot model v merilu 1:5. V fazi razvoja smo predvideli načine izdelave ter detajle konstrukcije z optimalno izrabo materiala ter obdelovalnih časov. Sledila je izdelava stola iz bloka zlepljenih bukovih vezanih plošč s tehnologijo rezkanja na 5-osnem CNC stroju ter površinska obdelava izdelka.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND	Du2
DC	UDC 684.435
CX	organic shape/chair/3D print
AU	KLOPČIČ, Matevž
AA	KITEK KUZMAN, Manja (supervisor)/KARIŽ, Mirko (co-supervisor)/ ŠERNEK, Milan (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Tehnology
PY	2013
TI	DESIGN AND CONSTRUCTION OF ORGANICALLY SHAPED WOODEN CHAIR
DT	M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO	IX, 46 p., 5 tab., 41 fig., 32 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Manufacture of furniture of round, organic shapes usually means poor utilization of material, a large number of manual/machine working hours and consequentially also a higher cost of the product. Using specialized programmes for modelling it is possible to make a model with its variants, and already in the stage of development anticipate its production with CNC machines to use less material and to reduce working hours. Using the SolidWorks programme, a stool on the basis of the natural shape of pebble stone was designed and constructed. Several variants of 3D models with different shapes and dimensions were made, and afterwards the chosen variant was manufactured as a model on a 1:5 scale with the technology of 3D printing. In the stage of development different methods of manufacture and details of construction with the optimal utilization of the material and working hours were anticipated. This was followed by the manufacturing of the product made from a block of glued beech plywood panels with the technology of milling on 5 axis CNC machine and surface treatment.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ NALOGE.....	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ORGANSKI DIZAJN IN OBLIKOVANJE	3
2.1.1 Skandinavski dizajn	3
2.1.2 Biotektonika in tektonika	5
2.2 PREDSTAVNIKI ORGANSKE ARHITEKTURE	6
2.3 SODOBEN ORGANSKI DIZAJN POHIŠTVA.....	12
2.4 STANDARDI ZA POHIŠTVO	14
2.5 PROGRAMSKA OPREMA PRI KONSTRUIRANJU IN OBLIKOVANJU IZDELKOV	18
2.6 DODAJALNA IZDELAVA (3D TISK)	19
2.6.1 Materiali pri 3D tiskanju	20
2.6.2 3D tiskalniki	20
2.7 DIGITALIZIRANJE FIZIČNIH OBLIK S 3D-ZAJEMOM (3D-SKENIRANJE)	21
2.8 CNC STROJI.....	23
2.9 POVRŠINSKA OBDELAVA	24
3 MATERIALI IN METODE	26
3.1 VEZANA PLOŠČA	26
3.2 KONSTRUIRANJE IN OBLIKOVANJE STOLA.....	26
3.3 3D TISKANJE STOLA.....	28
3.4 IZDELAVA STOLA	31
3.5 PORABA MATERIALA IN IZRAČUN STROŠKOV	34
3.6 POVRŠINSKA OBDELAVA	37
4 REZULTATI.....	39

4.1 KONČNI IZDELEK PO 3D TISKANJU	39
4.2 KONČNI IZDELEK PO OBDELAVI S CNC STROJEM	40
5 SKLEPI	42
6 POVZETEK	45
7 VIRI	47
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Izračun porabe materiala pri izdelavi stola z vezane plošče	34
Preglednica 2: Izračun porabe materiala pri izdelavi stola z okvirji iz masivnega lesa.....	35
Preglednica 3: Izračun stroškov za posamezen material	36
Preglednica 4: Lastna cena izdelka	37
Preglednica 5: Primerjava gostote med lesnimi vrstami	41

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Primer skandinavskega dizajna (Hecko, 2013).....	4
Slika 2: Hiša na slapovih, ki je bila zgrajena leta 1937 v Pennsylvaniji (Wright, 2005).....	6
Slika 3: Stol Alvara Aalta (Schildt, 1988).....	7
Slika 4: Filharmonija v Berlinu (Scharoun, 2013)	8
Slika 5: Hiša Bavinger v Oklahomi (Kudrna, 1994).....	8
Slika 6: Saarinin prehodni lok v mestu Sant Louis (Saarin, 2009)	9
Slika 7: Indijska kavarna v mestu Trivandrum (Wilfred, 2007)	9
Slika 8: Gruzmanova hiša v Sydneyju (Gruzman, 2005).....	10
Slika 9: Hiša Saldarini (Francia M., 2013).....	10
Slika 10: Pisarne banke v amsterdamskem Zuidoostu (Zoidoost, 2007)	11
Slika 11: Cerkev sv. Barbare v Bärnbachu (St. Barbara Church, 2009)	11
Slika 12: Stavba Narija Gandhi (Tulika, 2007).....	12
Slika 13: Stoli organskih oblik: Ocean Rocker (levo), LadyGirl (sredina), Savannah Rocker (desno) (Odechair, 2013)	13
Slika 14: Stol proizvajalca Nexusnord (levo) in Bean chair (desno) (Nexusnord, 2013).....	13
Slika 15: Stoli slovenskega oblikovalca Oskarja Kogoj (Kogoj, 2013).....	14
Slika 16: Znak skladnosti	15
Slika 17: Model hiše in stol natisnjena z 3D tehnologijo (3ders, 2012)	19
Slika 18: 3D tiskalnik Objet24 (HK Rapid, 2013)	20
Slika 19: Dotična tehnologija Renscan5 (Renscan, 2013)	22
Slika 20: Komplet za skeniranje (1-izmenljive leče, 2-sistem za kalibriranje, 3-trinožno stojalo)	22
Slika 21: 5 osni CNC stroj Morbidelli (Morbidelli, 2013).....	23
Slika 22: Primeri stolov iz vezane plošče (Danish furniture, 2013).....	26
Slika 23: Oblika kamnja, iz katere smo izhajali pri načrtovanju.....	27
Slika 24: Načrtovanje stola	27
Slika 25: Idejni modeli	28
Slika 26: Načrtovanje tiska	29
Slika 27: Priprava na 3D tisk v programu ZPrint.....	29

Slika 28: Tiskalnik ZPrinter 450	30
Slika 29: Začetek tiskanja (levo) in odstranjevanje odvečnega prahu (desno)	30
Slika 30: Prerez stola.....	31
Slika 31: Modela, pripravljena na rezkanje.....	32
Slika 32: Šablone, po katerih smo obrezali okvirje.....	32
Slika 33: 5 osni CNC stroj GREDA (Sodimex d.o.o., 2013).....	33
Slika 34: Izdelava modela iz masivnega lesa	35
Slika 35: Načrt razrezovanja vezane plošče pri uporabi tipske plošče dimenzij 2500 × 1250 mm	36
Slika 36: Stol takoj po CNC obdelavi, pripravljen na površinsko obdelavo.....	37
Slika 37: Končni izdelek 3D tiskanja	39
Slika 38: Stol po brušenju, pripravljen na površinsko obdelavo.....	40
Slika 39: Reža pri spoju med kalupoma	40
Slika 40: Notranjost stola	41
Slika 41: Stol po površinski obdelavi.....	Napaka! Zaznamek ni definiran.

1 UVOD

Živimo v času, kjer so domiselnost in kreativnost, predvsem pa znanje in pogum, nujne lastnosti, ki jih potrebuje podjetje za uspeh. Da bi dosegli uspeh na trgu, je potrebno vlagati vse več energije v razvoj. Razvoj novega izdelka zahteva ogromno spretnosti. Najprej se lotimo prelivanja idej na papir, nato sledi optimizacija ideje ter izris izdelka z računalniškimi programi in izdelava načrtov. Sledi izdelava prototipa in iskanje tehnoloških rešitev za izdelavo izdelka, kar nam navadno povzroča največ preglavic.

Pri načrtovanju novega izdelka je dobro že vnaprej vedeti, kako ga bomo naredili, saj se s tem izognemo težavam, ki bi jih lahko imeli ob nepremišljenem konstruiranju.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V nalogi bomo oblikovali in konstruirali lesen stol organske oblike, pri čemer bomo morali poiskati najboljše tehnološke rešitve za izdelavo stola. Pri nalogi bodo bistveni dejavniki izbira materiala, ustrezne konstrukcijske rešitve, način izvedbe in površinska obdelava. Poskrbeti moramo, da bo stol ustrezal tako vizualnim kot tehnološkim zahtevam. Paziti moramo tudi na njegovo težo, zato bo potrebno uporabiti čim manj materiala, hkrati pa ne smemo zanemariti trajnosti, stabilnosti in posledično varnosti, mehanske in trdnostne lastnosti, dimenzijske skladnosti in ergonomske lastnosti.

1.2 CILJ NALOGE

Cilj naloge je konstruirati stol organske oblike (na podlagi oblike rečnega kamna), zasnovati optimalen način izdelave iz masivnega/vezanega lesa, izdelati model s tehnologijo 3D tiskanja ter prototip končnega izdelka s tehnologijo CNC rezkanja.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

S sodobnimi programi za modeliranje je mogoče zasnovati pohištvo »zaobljenih« oblik od ideje do končne obdelave na računalniško vodenih strojih. S pomočjo sodobnih programskih orodij je mogoče izboljšati izkoristek materialov, skrajšati čas obdelave ter odpraviti napake že v fazi modeliranja pred fizično izdelavo prototipa. Predvidevamo, da bomo stol, zaradi posebne oblike, izdelali z večjim številom okvirjev, ki jih bomo zlepili

skupaj, nato pa jih bomo rezkali s pet osnim CNC strojem. Tako bomo prihranili čas, ki bi ga porabili za brušenje neravnih oblik pri obdelavi posameznega okvirja. Največ težav pričakujemo pri rezkanju lesa, kjer lahko pride do pokanja in razslojitve zlepljenih okvirjev.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ORGANSKI DIZAJN IN OBLIKOVANJE

Organska arhitektura je skupen izraz za arhitekturne smeri po letu 1900, ki združujejo harmonijo stavbe in njene okolice in imajo za cilj formo, ki temelji na organskih materialih. Predvsem v zadnjih nekaj desetletjih se jim je pridružil koncept EKO gradnje z uporabo barv naravnih odtenkov, kar se delno prekriva s koncepti organske arhitekture (Cook J., 1996).

Organska arhitektura je slogovno heterogena in ni zavezana določeni estetiki. Osnovna ideja je, da zaradi oblike ali sloga ni podrejena funkciji, materialom ali namenu stavbe, ampak da je obliki puščena prosta pot. Slednja prinaša popolnoma različne rezultate, saj je omogočena tako uporaba strogih form klasične moderne kot tudi pogostejše zastopanih plastičnih in biomorfnih oblik (Pearson, 2001).

Organsko oblikovanje je filozofija arhitekture, ki vzpostavlja harmonijo med človeštvom in naravo skozi obliko, ki se pojavlja v naravi in katerega želimo uporabiti pri oblikovanju stavb ter pohištva. (Pearson, 2001).

V grščini beseda organ (gr. Organon) pomeni instrument ali orodje. Označuje dele človeškega telesa. »Narava je ustvarila organe z namenom, da bi delovali in ne, da bi bili sami sebi namen.« (Akvinski, 1274). V srednjem veku je bil pojem zelo nejasno določen, nato pa se je z v antičnem času z opredeljenim pojmom natančneje ukvarjal Tomaž Akvinski (1274). Latinsko besedo Instrumentum je opredelil izključno za dele, pripomočke oz. orodja, ki so uporabljeni zunaj človeškega telesa, pojem organski (lat. Organum) pa se je nanašal na dele, ki so povezani s človeškim telesom in s tem posledično njegovo dušo (npr. roka) (Cook J., 1996).

2.1.1 Skandinavski dizajn

Skandinavsko oblikovanje se je razvilo v 50. letih 20. stoletja na Norveškem, Švedskem, Danskem in Finskem. Njegove najpomembnejše značilnosti so preprostost, minimalizem in funkcionalnost. Ideja, da bi lepi in funkcionalni predmeti za vsakodnevno uporabo morali biti dostopni vsem, ne le premožnim, je bila v razvoju modernizma in funkcionalizma bistvenega pomena. Ta se je skorajda v celoti uresničila v obdobju po drugi svetovni vojni pri skandinavskem oblikovanju. Ideološko ozadje predstavljata vzpon posebne skandinavske oblike socialne demokracije v 50. letih in povečana dostopnost novih nizkocenovnih materialov in metod za masovno proizvodnjo. Pri skandinavskem

oblikovanju se uporabljajo predvsem ukrivljen lepljen les (furnir), plastika, anodiziran ali emajliran aluminij in jeklo. Koncept skandinavskega oblikovanja je v zadnjih 50 letih predmet mnogih študij, razstav in marketinških razprav. Veliko demokratičnih idealov oblikovanja, ki so bili v času gibanja ključnega pomena, je preživel. Ti se odražajo v sodobnem skandinavskem in mednarodnem oblikovanju (slika 1).



Slika 1: Primer skandinavskega dizajna (Hecko, 2013)

Minimalistično oblikovanje označuje le najnujnejše. Preproste linije in visoka funkcionalnost so lastnosti, ki so povezane z daljno zgodovino Skandinavije. Te lastnosti, predvsem funkcionalnost, so bile bistvenega pomena za preživetje na severu, in tako so postale osnova za nadaljnje oblikovanje. Pomemben je postal koncept lepih stvari, ki izboljšajo življenje (Gura, 2007).

Termin skandinavsko oblikovanje izvira iz istoimenske potujoče oblikovalske razstave Design in Scandinavia, (1954) po ZDA in Kanadi od leta 1954 do 1957. Promovirala je skandinavski način življenja, razstavljala številna dela nordijskih oblikovalcev in vzpostavila pomen termina, ki velja vse do danes: lep, preprost, popoln dizajn, kateremu sta navdih narava in nordijska klima, dizajn ki je dostopen vsem s poudarkom na domačem okolju.

Razstave kot je bila ta so igrale pomembno vlogo pri širjenju skandinavskega oblikovanja in njegovega vpliva na razvoj modernizma v Severni Ameriki in Evropi.

Na skandinavske oblikovalce je vplivalo vse kar se je dogajalo okoli njih. Iz tradicije ročnega dela in učinkovite uporabe omejenih materialnih virov (zaradi geografske izoliranosti), so združili le najboljše. V skladu s prevladujočimi demokratično-socialnimi vrednotami je vse bilo narejeno s ciljem, da bi bilo dostopno vsakemu. Cenili so idejo, da

se uživa v tem kar se počne, in ohranjali idejo, da lepe stvari obogatijo človeška življenja (Gura, 2007).

Dolge zime in le nekaj ur dnevne svetlobe so skandinavske oblikovalce navdahnili pri oblikovanju svetlih, lahkih in praktičnih prostorov. Domače okolje so skušali narediti karseda udobno iz materialov, ki so na dosegu roke. S temi trendi so se seznanili pri sosednjih državah in so se postopoma razširili po vsem svetu. Visoka kakovost dizajnov je še danes živa, uporabljena pa je na najrazličnejših področjih, s tem pa dokazuje svojo večnost (Gura, 2007).

2.1.2 Biotektonika in tektonika

Arhitekturo, ki razvija, utrjuje in pospešuje simbiozo med človekom in njegovim naravnim, bioenergetskim okoljem imenujemo *biotektonika* (bios = življenje, tektonika = stavbna umetnost). Če si je biologična gradnja postavila za cilj energetske avtonomne in emisijsko čiste objekte in skuša človekov življenjski oziroma bivanjski prostor oblikovati skladno z naravo, želi biotektonika tem vidikom dodati še nadgradnjo z arhitekturnim oblikovanjem, ki bi se odzvalo na posamezni (zunajmestni) prostor (Moškon, 1989).

Medtem ko bi biologični vidik v luči novejših energetskih in ekoloških spoznanj omogočal kvaliteto bivanja v fiziološki sferi, biotektonski vidik prispeva h kvaliteti bivanja v psihološki sferi. Sintetiziranje in strukturiranje arhitekture v okviru biologičnih in morfoloških dognanj pa pomeni proces, pri katerem naj bi postala dopolnitev z biotektoniko, logično nadaljevanje prostorskih in morfoloških sestavin arhitekture ne le današnjega trenutka, ampak tudi kvalitetnih izročil preteklosti (Moškon, 1989).

Kenneth Frampton (1995) je definiral tektoniko kot umetnost postavitve konstrukcije v takšni obliki, da tvori vsoto vseh oblikovnih komponent in hkrati obliko tudi aktivno sooblikuje. Tektoniko si lahko zamišljamo kot potencial, ki ga ima tehnologija gradnje oziroma konstrukcija sama, da postane poetično ekspresivna. Tehnologija ne pomaga zgolj pri iskanju najbolj optimalne konstrukcije temveč vpliva tudi na čutno doživljanje prostora. Beseda tektonika izvira iz lesene gradnje, saj grška beseda »tecton« pomeni »tesar« ali »gradbenik« (Frampton, 1995).

2.2 PREDSTAVNIKI ORGANSKE ARHITEKTURE

Med najpomembnejše arhitekta, in oblikovalce organske arhitekture, ki vzpostavlja harmonijo med človeštvom in naravo skozi obliko prištevamo: Alvar Aalto, Anton Alberts, Laurence Wilfred Baker, Nari Gandhi, Vittorio Giorgini, Bruce Alonzo Goff, Neville Gruzman, Friedenreich Hundertwasser, Eero Saarinen, Bernhard Hans Henry Scharoun, Frank Lloyd Wright, itd.

Frank Lloyd Wright (1867–1959) je bil ameriški arhitekt, notranji oblikovalec, pedagog in pisec. Bil je glavni predstavnik organske arhitekture, po katerem so se zgledovali številni ugledni arhitekti in oblikovalci iz vsega sveta. Objavil je številne knjige in članke o arhitekturi, načrtoval je več kot 1000 projektov, od katerih jih je bilo dokončanih 532. Leta 1991 ga je Ameriško Združenje arhitektov proglasilo za največjega arhitekta vseh časov, kar le še potrjuje njegov talent. Zgradil je tudi šolo za arhitekturo imenovano Taliesin v Arizoni, v kateri je do smrti predaval tudi sam. *"Tako stojim pred vami in vam pridigam o organski arhitekturi: organsko arhitekturo imenujem za sodobni ideal in za nauk, ki nam je nujno potreben, če naj življenje vidimo celostno. Niti ne smemo dopustiti, da bi podlegli predsodkom glede oblike arhitekture, ki nam jih lahko vsiljuje preteklost, sedanjost ali prihodnost, namesto tega upoštevajmo zdrav razum, če bi tako želeli opredeliti logiko, da naj obliko določi uporabljeni material,"* (Wright, 1930) je bil le eden izmed njegovih slavnih citatov, ki so jih poslušali njegovi učenci. Njegovo delo lahko občudujemo praktično po vsem svetu, ustvarjal je na Japonskem, v Angliji, Kanadi, Arizoni, Kaliforniji, na Floridi, v Teksasu in v veliko drugih državah po svetu. Mogoče še najbolj izstopajo dela Fallingwater v Pennsylvaniji (slika 2), Taliesin v Wisconsinu, mavzolej Blue Sky v Buffalou in t.i. Water Dome na Floridi (Wright, 2005).



Slika 2: Hiša na slapovih, ki je bila zgrajena leta 1937 v Pennsylvaniji (Wright, 2005)

Eden najbolj znanih predstavnikov organske arhitekture je bil Alvar Aalto (1898–1976) finski arhitekt in oblikovalec. Velja za enega najpomembnejših arhitektov 20. stoletja. Med njegova najpomembnejša dela sodijo finski paviljon na svetovni razstavi v New Yorku leta 1939, univerzitetni središči Otaniemi in Jyväskylä, stanovanjski kompleks v Bremnu, cerkev v Bologni in operno gledališče v Essnu. Oblikoval je tudi pohištvo (slika 3). Njegova značilnost je, da je vedno ustvarjal celostno, hkrati pa je brezkompromisno vztrajal pri izbiri najkvalitetnejših materialov in natančni izdelavi svojih zasnov (Schildt, 1988). Tudi slovenski oblikovalci so navdih iskali predvsem pri sodobnem skandinavskem pohištvu na katerega je imel izjemen vpliv Alvar Aalto.



Slika 3: Stol Alvara Aalta (Schildt, 1988)

Bernhard Hans Henry Scharoun (1893–1972) je bil nemški arhitekt, znan kot oblikovalec slavne filharmonije v Berlinu (slika 4). Bil je pomemben predstavnik organske in ekspresionistične arhitekture. Deloval je na področju arhitekture in oblikovanja. Veliko njegovih del so realizirali šele po njegovi smrti, med drugim nemški muzej Maritime, gledališče v Wolfsburgu in državno knjižnico v Berlinu. Med omenjenimi projekti velja izpostaviti tudi Baenschovo hišo, Hoffmeyerjevo hišo, apartmaje v Kaiserdammu in Hohenzollerndammu, apartmaje Romeo & Julia in osnovno ter srednjo šolo v Marlu (Scharoun, 2013).



Slika 4: Filharmonija v Berlinu (Scharoun, 2013)

Bruce Alonzo Goff (1904–1982) je bil ameriški arhitekt, ki si je spoštovanje pridobil z organskim, eklektičnim in vedno razkošnim dizajnom zgradb, ki jih je projektiral predvsem v Oklahomi. Goffovi projekti, ki jih je bilo več kot 500 (približno eno četrtno se jih je realiziralo), poosebljajo nemirno, hitro evolucijo skozi običajne sloge in oblike. Njegova najpomembnejša dela so Metodistična cerkev v Bostonu, hiša Ledbetter v Oklahomi, hiša Bavinger v Oklahomi (slika 5), hiša Johna Franka v Oklahomi in paviljon za japonsko umetnost (Kudrna, 1994).



Slika 5: Hiša Bavinger v Oklahomi (Kudrna, 1994)

Eero Saarinen (1910–1961) je bil finsko-ameriški arhitekt in industrijski oblikovalec, ki je bil v 20. stoletju znan predvsem zaradi svojevrstnega stila. Prisegal je na preprostost, zaokroževanja, ukrivljene strukture in racionalizem. Ukvarjal se je z notranjo opremo in arhitekturo. Njegova najpomembnejša dela so Saarinin prehodni lok v mestu Sant Louis (slika 6), glavno mednarodno letališče v Dullesu, pravna univerza v Chicagu, stavba CBS, teater Vivian Beaumont in Lincoln center v New Yorku.



Slika 6: Saarinin prehodni lok v mestu Sant Louis (Saarin, 2009)

Laurence Wilfred "Laurie" Baker (1917–2007) je bil indijski arhitekt rojen v Angliji. Svoje življenje je posvetil načrtovanju nizkoenergijskih visoko kvalitetnih stavb a hkrati cenovno dostopnih srednjemu in nižjemu sloju ljudi. Vedno je dal poudarek na tradicionalni indijski dizajn (Wilfred, 2007).



Slika 7: Indijska kavarna v mestu Trivandrum (Wilfred, 2007)

Neville Gruzman (1925–2005) je bil avstralski arhitekt, župan mesta Woollahra, pisec in arhitekturni aktivist. Projektiral je predvsem stanovanjsko gradnjo v okolici Sydneyja. Njegova dela predstavljajo raznolike oblike modernizma, natančneje organskega modernizma ali regionalizma. V njegovih projektih se kaže velik vpliv del Franka Lloyd Wrighta. Njegova najpomembnejša dela so Hillsova hiša, Gruzmanova hiša (slika 8) in Goodmanova hiša. Vsi trije objekti so postavljeni v New South Walesu (Gruzman, 2005).



Slika 8: Gruzmanova hiša v Sydneyju (Gruzman, 2005)

Vittorio Giorgini (1926–2010) je bil italijanski arhitekt, ki je vse življenje proučeval odnos med arhitekturo in biološkimi sistemi. Prištevamo ga med enega najpomembnejših arhitektov po drugi svetovni vojni. Lahko ga definiramo kot morfološkega arhitekta, saj je podatke in opazovanja črpal iz naravnih struktur. Rešitve za svoja oblikovanja je našel v naravi, ki mu je pomagala pri ustvarjanju del in bila navdih. Primerjamo ga lahko z arhitekti kot so Otto Frei, Peter Pearce in Haresh Lalvani. Njegova najpomembnejša dela so hiša v Baratti oziroma Heksagon, hiša Saldarini (slika 9) in srednja šola v Bibboni (Giorgini, 2010).



Slika 9: Hiša Saldarini (Francia M., 2013)

Anton Alberts (1927–1999) je bil nizozemski arhitekt. S partnerjem Maxom Van Huutom sta naredila velik korak v arhitekturi z ustanovitvijo podjetja »Alberts and Van Huut«, ki naj bi temeljilo na principu organske arhitekture. Svojo prepoznavnost sta razširila predvsem z oblikovanjem stavbe banke v amsterdamskem Zuidoostu (slika 10) (Alberts, 1999).



Slika 10: Pisarne banke v amsterdamskem Zuidoostu (Zoidoost, 2007)

Friedenreich Hundertwasser (1928–2000) je bil avstrijski umetnik, slikar in arhitekt. Zanimal se je za dunajsko secesijo iz katere je razvil edinstven slog. Ravnim linijam ni bil naklonjen, kar je velikokrat tudi javno priznal. Njegova pomembna dela so tovarna Rosenthal v Selbu, podeželski muzej v Roitenu, motel Bad Fischau, bolnišnica v Gradcu, okoliška železniška postaja Uelzen, Center Maishima Sludge v Osaki in cerkev sv. Barbare v Bärnbachu (slika 11) (Hundertwasser, 1988).



Slika 11: Cerkev sv. Barbare v Bärnbachu (St. Barbara Church, 2009)

Nari Gandhi (1934–1993) je bil indijski arhitekt, znan kot velik inovator na področju organske arhitekture. Na začetku svoje kariere je delal za ameriškega arhitekta Warrena Weberja, nato pa se je kmalu po letu 1960 vrnil v Indijo. Njegova dela prikazujejo značilno privrženost k organskem oblikovanju, visoko usposobljenost in strukturno iznajdljivost (slika 12). Delal je za vplivne in bogate posameznike, med drugim je oblikoval gorsko hišo za Jal Gobhaia v Lonavali, rezidenco za Ashaa Parekhaja v Juhu, rezidenco za S.H. Daya v Versovi in na otoku Madh v Mumbaju in mnoge druge.



Slika 12: Stavba Narija Gandhi (Tulika, 2007)

2.3 SODOBEN ORGANSKI DIZAJN POHIŠTVA

Vrhunska kvaliteta in sodoben dizajn, ki zajema uporabnost in elegantnost so težnje sodobnega oblikovanja pohištva. Da dosežemo vse to, nam je v pomoč sodobna računalniško vodena tehnologija (CNC stroji in programska oprema za projektiranje) s katero lahko sorazmerno enostavno izdelujemo izdelke kompleksnejših oblik.

Stoli organskih oblik so na trgu vse bolj pogosti. Obstaja nekaj podjetji, ki se ukvarjajo z izdelavo tovrstnih stolov. Med njimi je tudi podjetje Odechair iz Velike Britanije, ki izdelujejo razne produkte organskih oblik. Spodnje slike kažejo nekaj primerov stolov organskih oblik (sliki 13 in 14).



Slika 13: Stoli organskih oblik: Ocean Rocker (levo), LadyGirl (sredina), Savannah Rocker (desno)
(Odechair, 2013)



Slika 14: Stol proizvajalca Nexusnord (levo) in Bean chair (desno) (Nexusnord, 2013)

Med stole organskih oblik spadajo tudi stoli svetovno priznanega slovenskega industrijskega oblikovalca Oskarja Andreja Kogoja. Slika 15 prikazuje stol Pogačnik (levo), Venetia (v sredini) in stolček Trinožnik (desno).



Slika 15: Stoli slovenskega oblikovalca Oskarja Kogoja (Kogoj, 2013)

2.4 STANDARDI ZA POHIŠTVO

Standardi za pohištvo so dokumenti, ki določajo pravila, smernice ali značilnosti za dejavnosti na področju proizvodnje, trženja, preskušanja in rabe izdelkov pohištvene industrije. Namenjeni so obči in večkratni uporabi ter usmerjen v doseganje optimalne stopnje urejenosti na danem področju (Kitek Kuzman, 2013).

Ko proizvajalec naredi določen izdelek v skladu s standardi, mora, če želi dokazovati da je bil izdelek narejen po določenem standardu, zanj pridobiti t. i. certifikat o skladnosti. Pridobi ga lahko po testiranju izdelka, ki ga opravlja za to usposobljena nepristranska in neodvisna inštitucija. Navadno so to laboratoriji v sestavi raziskovalnih inštitucij, univerz ali zavodov. Izdelek, ki je uspešno prestal postopek preizkušanja, lahko pridobi posebno listino oz. certifikat o skladnosti (Kitek Kuzman, 2013).

Certifikat o skladnosti je listina predvsem reprezentančnega in promocijskega značaja, ki po vsebini povzema glavne ugotovitve poročila o preskušanju. Identifikacija in istovetnost podatkov sta zagotovljeni z navedbo številke certifikata in številke poročila o preskušanju na katerega se certifikat nanaša. Sestavni del certifikata je tudi znak (slika 16), ki se imenuje znak skladnosti (Sitar, 2010).



Slika 16: Znak skladnosti

Večina veljavnih standardov v Sloveniji temelji na mednarodnih (ISO) standardih in evropskih (EN) standardih. Standardizacija je dejavnost vzpostavljanja usklajenih pravil in določil za ponavljajočo se uporabo, da se doseže optimalna stopnja urejenosti na danem področju. Dejavnost obsega predvsem procese priprave, izdajanja in uporabe standardov. Pomembne koristi standardizacije so izboljševanje primernosti proizvodov, procesov in storitev za njihove predvidene namene, preprečevanje ovir v trgovanju in podpora tehničnemu sodelovanju. SIST je prevzel tudi večino evropskih standardov s področja lesarstva oz. pohištva (Rudolf, 2013).

Uporaba slovenskih standardov ni obvezna, razen v primeru, da je določena na podlagi splošnega zakona ali izključnega sklicevanja v predpisu. Vsekakor pa je uporaba standardov priporočljiva iz več razlogov:

- urejenost na vseh področjih našega življenja in dela,
- poenostavljeno delovanje in povečanje varnosti,
- odprava nepotrebnih ovir v trgovini,
- racionalizacija proizvodnje in storitve,
- omogočanje večje združljivosti izdelkov in storitev.

Standardi razvrščajo pohištvo, ki se ločuje po prostoru kjer ga uporabljamo in namenu uporabe. Standardi obravnavajo pohištvene izdelke po skupinah, ki se oblikujejo po kriterijih:

- namembnost izdelka (uporaba doma ali v prostorih posebnega namena),
- funkcija, ki jo mora izdelek opravljati,
- prostor, kjer se pohištvo uporablja,
- prilagojenost ciljnim skupinam uporabnikov (otroške sobe, pisarne, delavnice, itd.),
- posebne varnostne zahteve itd.

Za vsako od skupin pohištva so oblikovani standardi, ki so specifični in obravnavajo posebne lastnosti izdelkov. Za splošne lastnosti pohištvenih izdelkov so oblikovani skupni standardi, ki se lahko pojavljajo v več skupinah in veljajo za izdelke, ki imajo skupno samo

eno lastnost. Standardi, ki obravnavajo pohištvo, določajo lastnosti izdelkov predvsem na naslednjih področjih:

- dimenzijska skladnost, ergonomske lastnosti,
- stabilnost izdelka in posledično varnost,
- mehanske in trdnostne lastnosti,
- trajnost izdelka,
- varnost izdelka,
- vpliv na zdravje uporabnika,
- vpliv na okolje.

Standardi za pohištvo se glede na mesto uporabe in namen delijo v skupine:

a) POHIŠTVO ZA DOMAČO RABO

V to skupino načeloma sodi pohištvo, ki je namenjeno uporabi v domovih in stanovanjih ter je po namenu uporabe bolj ali manj univerzalno. Sem sodijo:

- sedežno pohištvo,
- mize,
- shranjevalno pohištvo in
- pohištvo za ležanje.

b) KUHINJSKO POHIŠTVO

Kuhinjsko pohištvo je opredeljeno z mestom in namenom uporabe. Sem sodijo:

- stoječe in viseče kuhinjske omare,
- kuhinjski pulti,
- prostostoječe omare in
- omare za kuhinjske aparate.

c) PISARNIŠKO POHIŠTVO

Pisarniško pohištvo je opredeljeno z namenom uporabe in zajema široko paleto pohištvenih izdelkov za opremljanje pisarniških delovnih prostorov, knjižnic, arhivov, itd. Sem sodijo:

- sedežno pohištvo,
- mize,
- shranjevalno pohištvo in
- ostalo pisarniško pohištvo.

d) POHIŠTVO ZA VZGOJNOIZOBRAŽEVALNE USTANOVE

To pohištvo je namenjeno opremljanju šol in vrtcev in je zaradi pestre strukture uporabnikov podvrženo številnim zahtevam po ergonomski skladnosti, kot tudi zahtevam po mehanski trdnosti in trajnosti. Sem sodijo:

- sedežno pohištvo,
- mize in
- shranjevalno pohištvo.

e) OTROŠKO POHIŠTVO

To pohištvo je posvoji funkciji, konstrukciji in dimenzijah namenjeno izključno otrokom. Pri tem pohištvu so zahteve standardov usmerjene predvsem v zagotavljanje varnosti in neškodljivosti. Sem sodijo:

- sedežno pohištvo in
- pohištvo za ležanje.

f) ZUNANJE POHIŠTVO

To pohištvo je podvrženo predvsem zahtevam po trajnosti, odpornosti proti vremenskim vplivom, ... Sem sodijo:

- sedežno pohištvo in
- mize.

Kakovost vezanih plošč testiramo po standardu SIST EN 326. Opredeljuje vzorčenje in način izreza preizkušancev iz vzorčnih plošč. Vzorec predstavlja določeno število plošč, vzeti iz skladišča, namenjenih za preizkus. Prevzem plošč opravi uradna oseba, ki jih tudi izbere, pri tem pa se napiše zapisnik, ki vsebuje podatke o prevzemniku, lokaciji, številu prevzetih plošč, zalogi, gostoti, vlažnosti ter kopijo plana razreza. Za prevzem vzorcev je predpisano točno določeno časovno obdobje in iz kakšnih zalog se jih jemlje (Kariž, 2008).

Standard SIST EN 326 je razdeljen na več delov, to so:

- SIST EN 326-1
- SIST EN 326-2 (kontrola v tovarni in zunanja kontrola kvalitete)
- SIST EN 326-3 (vzorčenje pošiljk)

Prvi del standarda je splošni, zajema število in razrez preizkušancev ter podajanje rezultatov. Preizkušance se izžaga iz vsake plošče glede na preizkus karakterističnih lastnosti (Kariž, 2008).

2.5 PROGRAMSKA OPREMA PRI KONSTRUIRANJU IN OBLIKOVANJU IZDELKOV

Pri načrtovanju izdelka največkrat svoje ideje najprej ročno izrišemo na papir, nato pa se lotimo projektiranja izdelka s temu prilagojeno programsko opremo. Obstaja veliko programov, s katerimi lahko izrišemo željen produkt. V našem primeru smo uporabili SolidWorks, ki je poleg tega, da nam nudi realistično vizualizacijo končnega produkta, tudi kompatibilen s programsko opremo, ki jo potrebujemo za pravilno delovanje CNC stroja. Z omenjeno kompatibilnostjo bomo prihranili veliko časa pri programiranju programa, ki ga razume CNC stroj.

Poleg SolidWorksa poznamo še vrsto drugih programov, ki nam omogočajo konstruiranje in vizualizacijo izdelkov. Med najbolj znanimi so Catia, AutoCAD, Proengineer, MegaCAD, MegaTischler, Inventor in mnogi drugi. Vsak izmed programov je prilagojen določenim potrebam uporabnika.

SolidWorks je vsestranski program za modeliranje, namenjen predvsem za inženirske analize in konstruiranje. V osnovi zajema modelirnik za 3D konstruiranje (part), modul za sestavljanje (assembly) in modul za izdelavo tehniške dokumentacije (drawings) z katerim lahko enostavno naredimo načrte narisane modela. Dokupimo lahko veliko dodatkov, ki so specializirani za določeno področje. Tako lahko z ustreznimi dodatki program uporabljamo v lesarstvu, elektrotehniki, strojništvu, itd. Je eden prvih CAD programov, zasnovanih za operacijski sistem Microsoft Windows.

AutoCAD je program, ki ga razvija podjetje Autodesk in je najbolj razširjen CAD program na svetu. Namenjen je tako 2D kot tudi 3D modeliranju. Programu so ponujeni tudi različni moduli, ki so prilagojeni uporabnikom. Tako so moduli prilagojeni strojnikom, električarjem, geodetom, gradbenikom, ... Program je možno popolnoma prilagoditi potrebam uporabnika. Je pregleden in kar je najbolj pomembno – kompatibilen z večino drugih CAD in CAM programov. Autodesk razvija program AutoCAD že od leta 1982, ko so predstavili prvo različico programa.

MegaCAD je plod nemškega podjetja MegaTech iz Berlina. Prednost MegaCADa za slovenske uporabnike je predvsem v tem, da je v celoti preveden v slovenski jezik. MegaCAD ima v celoti integrirano vso 2D funkcionalnost. Ves čas risanja imamo možnost tako 3D kot 2D pogleda v istem okolju. Program ima funkcijo Commando-Cursor, ki omogoča neposredno urejanje objektov na risbi.

Pro/ENGINEER (pogosto Pro/E ali Pro) je parametrični modelirnik podjetja Parametric Technology Corporation (PTC). Na voljo je v okoljih Windows, Linux in Unix. Družina Pro/ENGINEER vsebuje poleg CAD modula tudi ostale module za razvoj izdelkov (CAM, CAE). Podatke o izdelku se lahko spremlja preko celotnega razvojnega cikla. Leta 2002 je

izšla nova verzija programa, ki je imela zelo spremenjen uporabniški vmesnik. Spremenilo se je tudi označevanje verzij – namesto letnice izdaje programa se je začelo uporabljati kodno ime »Wildfire«. Trenutna različica programa se imenuje Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 (Maver, 2010).

2.6 DODAJALNA IZDELAVA (3D TISK)

Dodajalna izdelava predstavlja postopek, s katerim neposredno iz 3D računalniškega modela s pomočjo dodajanja materiala »zgradimo« fizični izdelek (slika 17) (nasprotno kot na primer CNC rezkanje, kjer nastane izdelek z odvzemanjem/odrezovanjem materiala). Obstaja več vrst postopkov, za vse pa je značilna izdelava po slojih. Na ta način lahko izdelamo tudi kompleksne oblike, kakršne s preoblikovanjem ali vlivanjem v kalup niso mogoče. Dodajalna izdelava zaradi širokega nabora postopkov izdelave in materialov (umetne mase, kovina in različni kompoziti) postaja uporabna na vse več področjih človekovega ustvarjanja. Danes tako lahko izdelujemo že končne izdelke in ne le prototipov.



Slika 17: Model hiše in stol natisnjena z 3D tehnologijo (3ders, 2012)

2.6.1 Materiali pri 3D tiskanju

Materiali, ki jih uporabljamo pri 3D tisku so zelo različni – odvisno je od želje naročnika in namena uporabe izdelka. Največkrat se uporablja prah s podobno strukturo kot mavec, saj je poleg enostavne uporabe in kompaktnosti končnega izdelka primeren tudi zaradi cene. Poleg prahu uporabljamo tudi več vrst polimerov (ABS, PLA, plastika z dodatkom aluminijevega prahu, itd.), različne vrste jekla, srebro, peščenjak, keramika, itd. Izbira materiala je odvisna od namena natisnjene izdelka. Če želimo natisniti izdelek zgolj zato, ker si ga želimo ogledati v fizični obliki, izberemo prah, če pa izdelek natisnemo in ga vgradimo kot mehanski del stroja, pa izberemo močnejši material kot je jeklo. Cene 3D tiska se gibljejo od 3 EUR na 1 cm³ natisnjene materiala, pa vse do 50 EUR in več na 1 cm³ natisnjene srebra.

2.6.2 3D tiskalniki

V zadnjih letih se je število 3D tiskalnikov na trgu močno povečalo, cene pa so drastično padle. Tako si lahko za sorazmerno majhno ceno že vsak privošči svoj domači 3D tiskalnik. Seveda ko zraven prištejemo še ceno programske opreme, ki jo potrebujemo za modeliranje, stroški precej narastejo, vendar gre razvoj zelo hitro naprej, tako da lahko mogoče že čez nekaj let pričakujemo, da si bomo lahko doma natisnili kakšno manjše orodje ali pa stojalo za telefon. Tako npr. osnovni model 3D tiskalnika za domačo uporabo Solidoodle 2 stane 499 dolarjev, z njim pa lahko s kančkom kreativnosti natisnemo marsikatero uporabno stvar.

Profesionalni 3D tiskalniki (slika 18) omogočajo tiskanje votlih in celo mehansko delujočih modelov. Seveda se cena takšnih tiskalnikov precej razlikuje od prej omenjenih za domačo uporabo in se gibljejo od 7500 EUR dalje.



Slika 18: 3D tiskalnik Objet24 (HK Rapid, 2013)

2.7 DIGITALIZIRANJE FIZIČNIH OBLIK S 3D-ZAJEMOM (3D-SKENIRANJE)

Za učinkovito oblikovanje novega izdelka na podlagi obstoječe oblike (npr. oblike iz narave), je potrebno obstoječo obliko najprej prenesti v digitalni model. S postopkom 3D-zajemanja podatke o površju fizičnega objekta pretvorimo v digitalno obliko.

Na ta način pridobljeni podatki služijo različnim analizam in kot osnova nadaljnjemu 3D modeliranju, kar znatno pospeši proces razvoja novega izdelka. 3D digitalizirane modele (skenograme) lahko obdelujemo s programi za vzvratni inženiring in modeliranje.

Poznamo tri različne sisteme za 3D skeniranje modelov:

- dotični,
- brezdotični (laserski, optični in rentgenski) in
- hibridni.

3D skenerji digitalizirajo z belo svetlobo in združujejo preprosto uporabo in zanesljive rezultate. Natančnost 3D skenerjev znaša do 0,1 mm. S 3D skenerjem enostavno »presvetlimo« željen objekt, le ta pa nam ga s pomočjo programske opreme izriše z izjemno natančnostjo s pomočjo računalnika. Prednosti 3D skenerja so predvsem v hitrem in natančnem izrisu želenega objekta, ki pa ga s posebno programsko opremo lahko tudi po želji spreminjamo in modeliramo. Primera programske opreme sta Flexscan3D in Kscan3D.

Dotični in laserski 3D skenerji (slika 19) so bolj znani javnosti kot optični skenerji, ki pa so sicer novejši, ampak v zadnjih letih vse bolj povečujejo tržni delež. Za omenjene sisteme je značilna velika natančnost pri merjenju. Njihova velika pomanjkljivost pa je vsekakor čas, ki ga potrebujemo za skeniranje, saj je postopek obdelave dolgotrajen.



Slika 19: Dotična tehnologija RenScan5 (RenScan, 2013)

Optični skenerji (slika 20) delujejo po principu zajema slike preko kamere, ki nato s pomočjo programske opreme pripravi računalniški model. Natančnost modela je odvisna od kvalitete kamer, ki snemajo objekt.

Največje prednosti tovrstnih sistemov pa so hiter postopek skeniranja, sistem dimenzijsko praktično ni omejen, sistemi so prenosljivi (možnost skeniranja na terenu) in doseganje izredne natančnosti (deklarirana natančnost na SO je do 2 μm).



Slika 20: Komplet za skeniranje (1-izmenljive leče, 2-sistem za kalibriranje, 3-trinožno stojalo)

Rentgenski skenerji z rentgenskimi žarki obsevajo model ter na osnovi prehoda RTG žarkov preko modela ustvarjajo sliko. Sistemi za RTG skeniranje so uporabni predvsem pri skeniranju votlih modelov, ker ga RTG žarki presvetlijo v celoti, kar se šteje kot največja prednost tovrstnega sistema. Ta se uporablja predvsem tam, kjer želimo poleg »plašča« modela imeti tudi njegovo notranjo strukturo.

2.8 CNC STROJI

Da bi obliko, ki jo izdelamo kot digitalni model, prenesli (izdelali) v fizično obliko, se običajno uporabljajo računalniško vodeni stroji.

CNC (computer numerical control) stroji so sestavljeni iz dveh glavnih delov: stroja, na katerem se izvaja obdelava izdelka in krmilnika, ki daje stroju informacije glede poti orodja. CNC program vsebuje natančne informacije glede poteka obdelave in predstavlja vhodne informacije, ki jih CNC krmilnik potrebuje za krmiljenje. Računalniško vodeni obdelovalni stroji so torej sestavljeni iz t. i. mehanskega in krmilnega dela, v katerem je vgrajen računalnik, ki vodi proces obdelave izdelka.

Začetki CNC strojev, segajo v leto 1981, ko je bil razvit prvi tovrsten stroj za namene struženja. Z vedno večjimi apetiti po zahtevnejših oblikah izdelkov, kjer človeška roka ni bila dovolj natančna, je razvoj CNC strojev sunkovito naraščal. Iz prvega 2.5 osnega računalniško krmiljenega stroja, so se začeli razvijati 3, 3.5, 4, 4.5, 5 in vse do 7 osnega stroja. V lesarstvu se zaradi narave dela največkrat uporabljajo med 3 in 5 osni stroji.

5 osni CNC stroji (slika 21) se uporabljajo v lesni industriji predvsem zaradi fleksibilnosti in sorazmerno enostavnega prilagajanja proizvodnji. Ta nudi obdelavo izdelka v petih oseh. Poznamo osnovne X, Y in Z osi in Q in B osi, ki nudijo dodatne rotacije glave, na katero so pritrjena orodja.



Slika 21: 5 osni CNC stroj Morbidelli (Morbidelli, 2013)

2.9 POVRŠINSKA OBDELAVA

Premazi so praviloma filmotvorne snovi, ki jih nanašamo na površina lesa ali lesnih tvoriv. Nanašamo jih lahko v tekoči ali pa praškasti (pastozni) obliki. Sam izraz premaz običajno opredeljuje skupino premaznih sredstev, ki jih običajno imenujemo:

- barve,
- laki, emajli,
- lazurni premazi,
- voski, olja, smole.

Premaze lahko delimo glede na:

- Dekorativni učinek:
 - prosojne (brezbarvne),
 - prosojne obarvane (lazurne),
 - prekrivne (barvne).
- Po mestu izpostavitve:
 - za interier,
 - za eksterier,
 - za posebne pogoje.

Premaze pa lahko delimo tudi po vrsti veziva, ki prevladuje in vpliva na proces utrjevanja ali po vrsti reakcije na:

- nitrocelulozne (NC),
- polikondenzacijske s kislinskim utrjevanjem – KU (kislinski),
- poliuretanske (PU),
- poliestrske (PE),
- akrilne (A),
- druge.

Po vrsti topila:

- na osnovi organskih topil – NC, KU, PU, PE,
- na osnovi vode – akrilni (A), vodni laki (V).

Po stanju veziva v topilu:

- raztopinske (raztopine),
- disperzijske oz. emulzijske (disperzije in emulzije).

Po načinu nanašanja:

- za ročno nanašanje (s čopičem, gobo, valjem),
- za razprševanje – brizganje,
- za valjčno nanašanje – valjanje,
- polivanje,
- umakanje,
- oblivanje.

Po načinu utrjevanja:

- fizikalni,
- fizikalno – kemijsko ali kemijsko.

Med alternativne načine površinske obdelave lesa namesto uporabe lakov, ki v ozračje spuščajo lahkohlapne ogljikovodike, poleg voskov, vodnih in UV lakov sodijo tudi olja. Olja so naraven premaz, ki pa lesu ne nudi takšne odpornosti proti mehanski obrabi in kemičnim vplivom kot ga na primer nenaravni poliuretanski premaz, ki se najpogosteje uporabljajo za zaščito lesa.

Olja delimo na sušeča, polsušeča in nesusšeča olja. V te skupine jih razvrščamo glede na sušenje olja v štirih fazah. V prvi se olje zgosti, v drugi fazi postane lepljivo, v tretji ni več lepljivo a tudi še ne utrjeno, v četrti pa se olje spremeni v trd in suh film. Sušeča olja dosežejo zadnjo fazo, polsušeča dosežejo drugo ali tretjo, nesusšeča pa ne dosežejo niti prve faze, torej se sploh ne zgostijo (Polanc, 2001).

Najpomembnejša olja za površinsko obdelavo lesa so laneno olje, tikovo olje in tungovo olje. Ta spadajo med sušeča olja, ki so za površinsko obdelavo lesa najprimernejša. Utrjujejo se s sprejemanjem kisika iz zraka, kar pomeni, da ne govorimo o normalnem sušenju, saj tu ne gre za izhlapevanje tekočih sestavin, temveč za oksidativno utrjevanje. Laneno in tikovo olje pridobivamo iz semen, tungovo pa iz pešk sadežev vrste *Aleurites* iz Vzhodne Azije (Polanc, 2001).

Ker smo želeli ohraniti naraven videz lesa, smo za površinsko obdelavo izbrali premaz na osnovi sončničnega, sojinega in osatovega olja. Tudi sodobni trendi se vse bolj nagibajo k naravnim premazom, zato smo se tudi odločili za tovrstno površinsko obdelavo.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VEZANA PLOŠČA

Vezane plošče se izdelujejo iz luščenega furnirja različnih drevesnih vrst, ki je med seboj lepljen s fenolnim, melaminskim ali sečninsko formaldehidnim lepilom. Furnirji so v plošči križno in simetrično sestavljeni, saj s tem zmanjšamo delovanje lesa. Glede na kvaliteto furnirja razvrščamo vezane plošče v različne kakovostne razrede. Bukove vezane plošče prve in druge kvalitete se večinoma uporabljajo v pohištveni industriji, za izdelavo igral, sedežev in naslonov stolov (slika 22) ter razne druge opreme, medtem ko se plošče nižjih kvalitet uporabljajo za izdelavo konstrukcijskih elementov pri oblazinjenem in tapeciranem pohištvu ter za embalažo. V našem primeru smo uporabili bukovo vezano ploščo, sestavljeno iz furnirjev debeline 1,5 mm, zlepljenih z melaminskim lepilom, končna debelina plošče pa je znašala 30 mm.



Slika 22: Primeri stolov iz vezane plošče (Danish furniture, 2013)

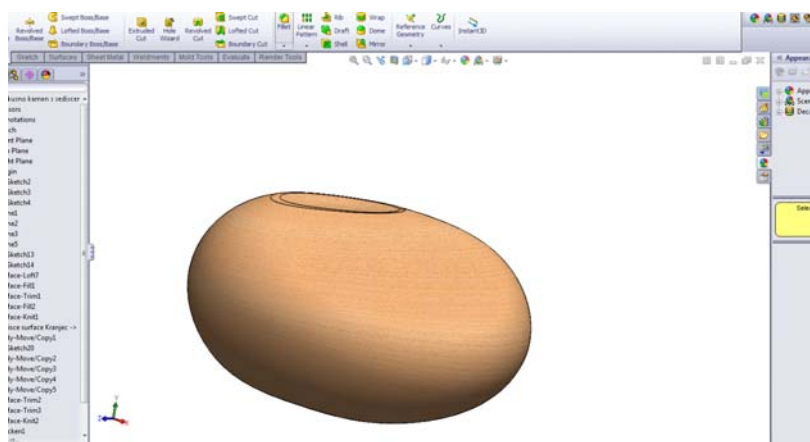
3.2 KONSTRUIRANJE IN OBLIKOVANJE STOLA

Cilj magistrske naloge je bil narediti stol organske oblike, ki bo zadovoljeval vse trdnostne in dimenzijske zahteve standardnih stolov, poleg tega pa bo njegov izgled atraktiven.. Izhajali smo iz oblike rečnega kamna (slika 23). Po nekaj prostoročnih skicah in določitvi osnovnih dimenzij smo se lotili risanja stola z računalniškim programom za modeliranje SolidWorks. Pri načrtovanju smo morali upoštevati čim racionalnejšo porabo materiala in doseči čim manjšo težo stola, zato mora biti stol votel. Načrtovati je bilo potrebno tudi sedežni del in spodnji del stola, ki pa mora biti raven zaradi stabilnosti.



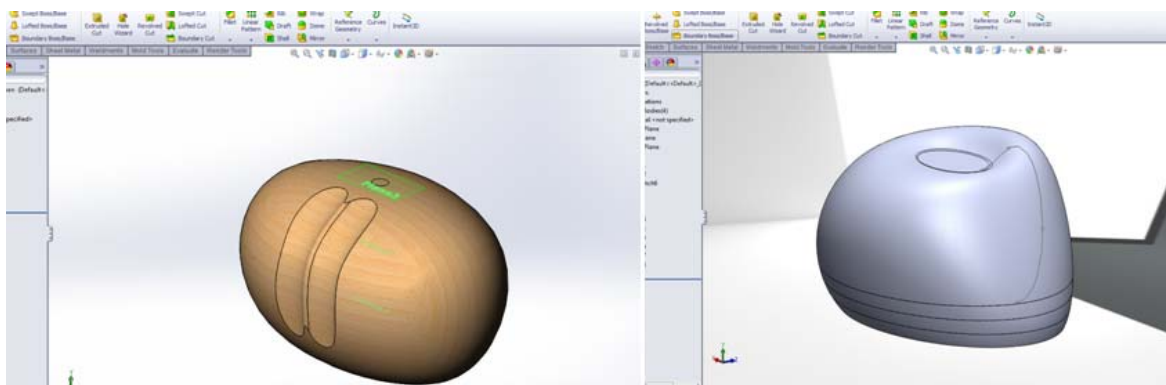
Slika 23: Oblika kamnja, iz katere smo izhajali pri načrtovanju

V programu SolidWorks smo izrisali nekaj različnih oblik stola. Največ težav nam je povzročala nesimetričnost oblike, ki smo jo želeli doseči pri načrtovanju. Sliki 24 in 25 prikazujeta nekaj izrisanih oblik. Na koncu smo se odločili za izdelavo prve oblike (slika 24).



Slika 24: Načrtovanje stola

Pri načrtovanju smo poleg estetskega videza poskušali čim bolj upoštevati tudi udobje stola, zato smo izrisali različne variante stolov. Idej za obliko je bilo zelo veliko, med drugim osnovna oblika z izrezom za noge in izoblikovanim sedežnim delom.



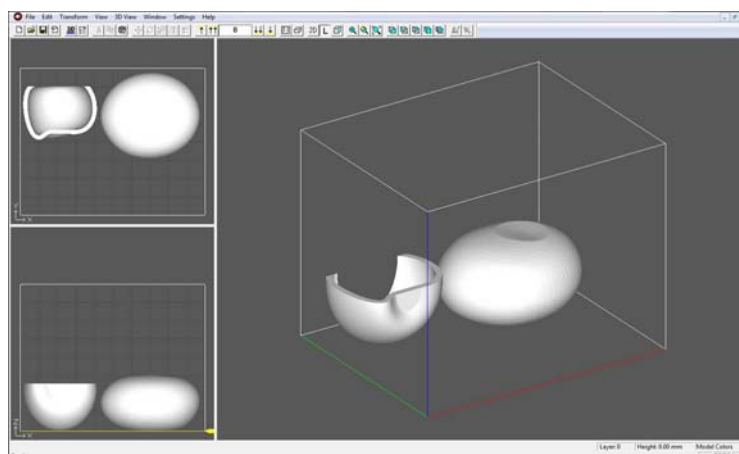
Slika 25: Idejni modeli

3.3 3D TISKANJE STOLA

3 D model v merilu 1:5 smo tiskali v podjetju IB-PROCADD d. o. o. s profesionalnim 3D tiskalnikom ZPrinter 450.

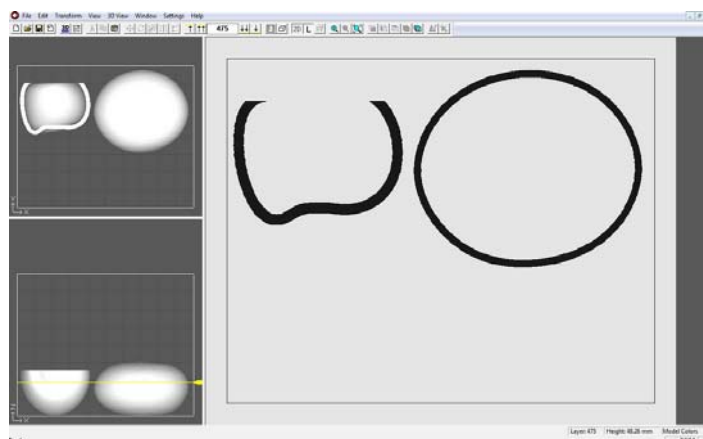
Model, ki smo ga modelirali v SolidWorks programu smo uvozili v posebno programsko opremo ZPrint. ZPrint je programska aplikacija, ki podpira STL, VRML, 3DS in/ali ZPR formate. Uporabnikom omogoča na enostaven in hiter način spremeniti 3D obstoječo datoteko. Model digitalno razdeli in posamezne plasti datotek pošilja na tiskalnik. Zprint omogoča preverjanje podatkov datotek, predogled tiskanja, pozicioniranje tiskanega modela ter nadzor nad tiskalnikom.

Programska oprema je model razdelila na določeno število slojev (en sloj je debeline od 0,089 mm do 0,102 mm – odvisno od natančnosti, ki jo želimo). Program je nato »načrt« posameznega sloja poslal tiskalniku. Ta pred vsakim novim slojem na površino nanese natančno debelino prahu (prah ima podobno sestavo kot mavec), nato pa na mestu, kjer želimo imeti trdno strukturo »nabrizga« trdilec, da prah utrdi. Sloji se povezujejo v celoto, tako da na koncu dobimo sicer krhek, ampak trd model. Krhkost modela odpravimo z impregnacijo. Modele lahko impregniramo na več načinov. V našem primeru smo ga potopili v cianoakrilat, ki ga poznamo tudi kot »sekundno lepilo«. Na koncu počakamo, da cianoakrilat utrdi (reagira z vlago v zraku) in model je primeren za uporabo.



Slika 26: Načrtovanje tiska

Računalniški program nam kaže sprotno delo tiskalnika (slika 26). Tako lahko vsak trenutek vidimo kateri sloj tiskamo in koliko je še preostalega časa do zaključka tiskanja. V našem primeru smo imeli model sestavljen iz 775 slojev. Vse kar še moramo storiti je, da umerimo model na delovno površino tiskalnika (slika 27), kar pomeni, da model računalniško »postavimo« na prave koordinate, da je celota v delovnem polju tiskalnika.



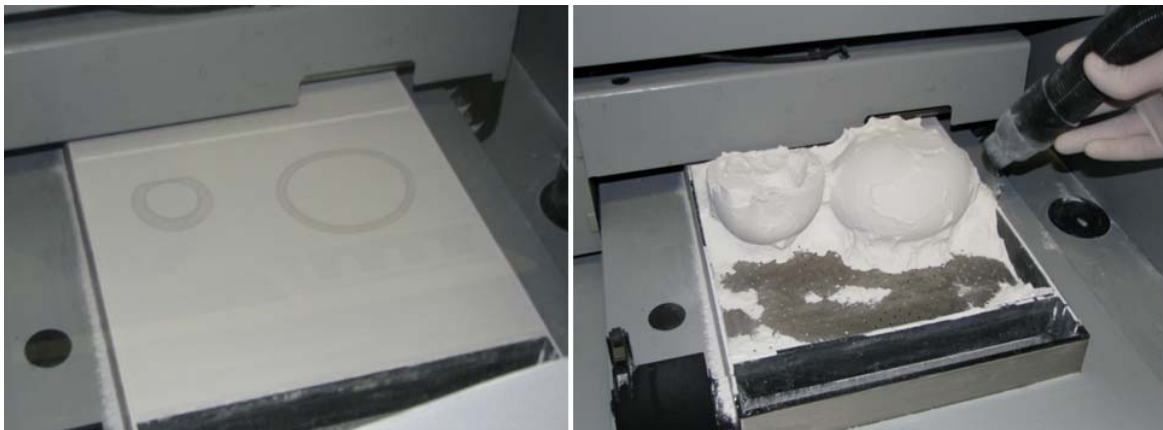
Slika 27: Priprava na 3D tisk v programu ZPrint

Tiskalnik ZPrinter 450 tiska v kakovosti izpisa 300×400 dpi. Tiskalnik lahko nadziramo preko osebnega računalnika, ali direktno na ekranu tiskalnika. Spremljamo lahko količino prahu, barve in veziva. Na levi strani je delovna miza, na kateri tiskamo model, na desni strani pa se nahaja komora s sesalnikom (slika 28), s katerim odstranimo odvečen prah. Prednost sistema je v tem, da odvečen prah posesamo direktno v komoro, kjer hranimo prah. Z tem se izognemo ročnemu prelaganju prahu in čiščenju tiskalnika.



Slika 28: Tiskalnik ZPrinter 450

Slika 29 prikazuje začetek tiskanja (levo) in odstranjevanje odvečnega prahu po zaključku tiskanja (desno). Na sliki se vidi kompakten natisnjen 3D model, ki ga moramo pred uporabo impregnirati s cianoakrilatom, da dobimo bolj trden model. Posesani prah gre direktno v posodo za shranjevanje prahu, pri čemer se izognemo umazaniji.

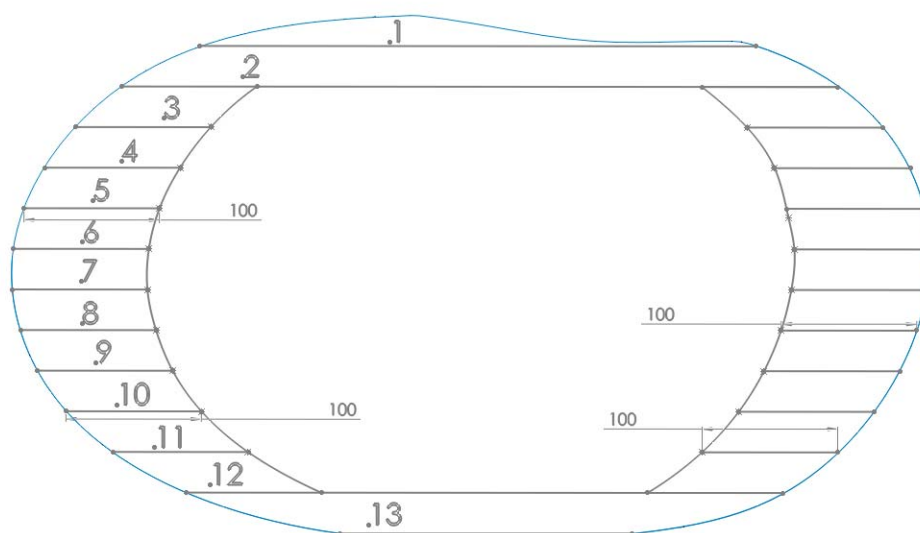


Slika 29: Začetek tiskanja (levo) in odstranjevanje odvečnega prahu (desno)

3.4 IZDELAVA STOLA

Pri izdelavi stola je pomemben dejavnik poraba materiala, zato je izdelava načrtovana tako, da je poraba materiala čim manjša. Stol je narejen iz dveh kalupov, ki sta sestavljena iz posameznih okvirjev. Okvirji so zlepljeni skupaj, pri čemer prihranimo veliko materiala, hkrati pa je stol zaradi votlega osrednjega dela nekoliko lažji. Stol smo naredili iz bukove vezane plošče debeline 30 mm.

Pri prerezu (slika 30) vidimo sestavo stola in prazen notranji del. Prvi, drugi in trinajsti sloj so polni, kar pomeni da jih nismo predhodno odrezovali na notranji strani. Obrezovali jih nismo zaradi lažjega vpenjanja v CNC stroj in kritičnih točk glede stabilnosti stola.



Slika 30: Prerez stola

V sodelovanju s podjetjem Sodimex d. o. o., ki se ukvarja z izdelavo sedežnih lupin, smo naredili vezane plošče različnih velikosti debeline 30 mm. Plošče smo stiskali 10 minut pri temperaturi 70° C v večetažni stiskalnici, za lepljenje pa smo uporabili melaminsko lepilo. Po končanem stiskanju je bilo potrebno vroče vezane plošče takoj obtežiti s primerno utežjo po celotni površini, s čimer zaustavimo intenzivno uhajanje toplote iz plošče, s tem pa preprečimo krivljenje.

V programu SolidWorks smo izrisali model »razrezali« na sloje debeline 30 mm, jih natisnili v M 1 : 1 (slika 32), obrezali in prerisali na vezane plošče. Vezane plošče smo na zunanji strani obžagali s tračno žago, na notranji pa z vbodno žago. Prvi in zadnji sloj na notranji strani nista obžagana zaradi lažjega vpenjanja modela v CNC stroj. Da se okvirji med lepljenjem ne bi premaknili iz točne pozicije, smo jih predhodno pozicionirali z

mozniki. Preden smo vezane plošče zlepili v model smo jih zbrusili s brusilnim strojem, da smo naredili popolnoma ravno površino, da med sloji pri lepljenju ne bi nastale neželene reže.

Ker stol ni izrisan simetrično, je bilo lepljenje kalupa še posebej zahtevno zaradi prilagajanja vsakega okvirja posebej glede na predhodnega (slika 31), da ni prihajalo do odstopanj. Za lepljenje okvirjev je bilo potrebno izdelati šablono, s katero smo zagotovili, da so bili sloji pozicionirani vedno iz iste točke. Vezane plošče so bile obžagane z nadmero 10 mm, s čimer smo se izognili prevelikem odrezovanju materiala v procesu rezkanja. Največ preglavic nam je predstavljalo pozicioniranje modela (zlepljenega bloka) na CNC stroj. V primeru, da modela ne bi nastavili popolnoma natančno na obdelovalno mizo CNC stroja, bi prihajalo do prevelike količine odstranjenega materiala na eni in premajhne na drugi strani modela. Celoten proces rezkanja obeh modelov je trajal 6 ur, vsake polovice 3 ure.



Slika 31: Modela, pripravljena na rezkanje



Slika 32: Šablone, po katerih smo obrezali okvirje

Stol je narejen iz trinajstih okvirjev debeline 3 cm. Okvirje smo zlepili skupaj po 6 (zgoraj) in 7 (spodaj) slojev v model, nato pa smo jih rezkali s 5 osnim CNC strojem GREDA (slika 33) v podjetju Sodimex d. o. o., kjer izdelujejo sedežne lupine. Model stola, ki smo ga zrisali v programu SolidWorks, smo prenesli v program Alphacam, kjer smo določili postopek obdelave. Program Alphacam prvotno narisani model v SolidWorksu spremeni v programski jezik, ki ga razume CNC stroj. Rezkanje modela je potekalo po treh korakih. V vsakem koraku smo rezkalno glavo CNC stroja pomaknili za 5 mm proti modelu. S tem smo dosegli postopno rezkanje materiala iz modela. Rezkali smo z ravnim HSS rezkarjem z radijem 20 mm in polkrožnim HSS rezkarjem z radijem 40 mm. Hitrost rezkalne glave je bila od 3 do 6 m/min (odvisno od količine materiala, ki smo ga rezkali), rezkar pa se je vrtel z 15.000 obrati na minuto. Po končanem rezkanju je bilo potrebno oba modela dobro zbrusiti z brusnim papirjem granulacije 80, 150 in 320, pred tem pa je bilo potrebno zapolniti nastale razpoke in luknjice s kitom. Sledilo je lepljenje modelov, brušenje spoja med modeloma in površinska obdelava.



Slika 33: 5 osni CNC stroj GREDA (Sodimex d.o.o., 2013)

3.5 PORABA MATERIALA IN IZRAČUN STROŠKOV

Zaradi optimalnega izkoristka materiala, smo na katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na oddelku za lesarstvo, naredili lesene okvirje, ki smo jih zlepili skupaj s poliuretanskim lepilom. V preglednici 1 vidimo porabo vezane plošče za vsak okvir posebej. Skupna poraba vezane plošče za en narejen stol znaša $0,159 \text{ m}^3$ v primeru, da bi stol izdelali iz masivnega lesa, pa bi ga porabili $0,161 \text{ m}^3$ (preglednica 2).

Preglednica 1: Izračun porabe materiala pri izdelavi stola z vezane plošče

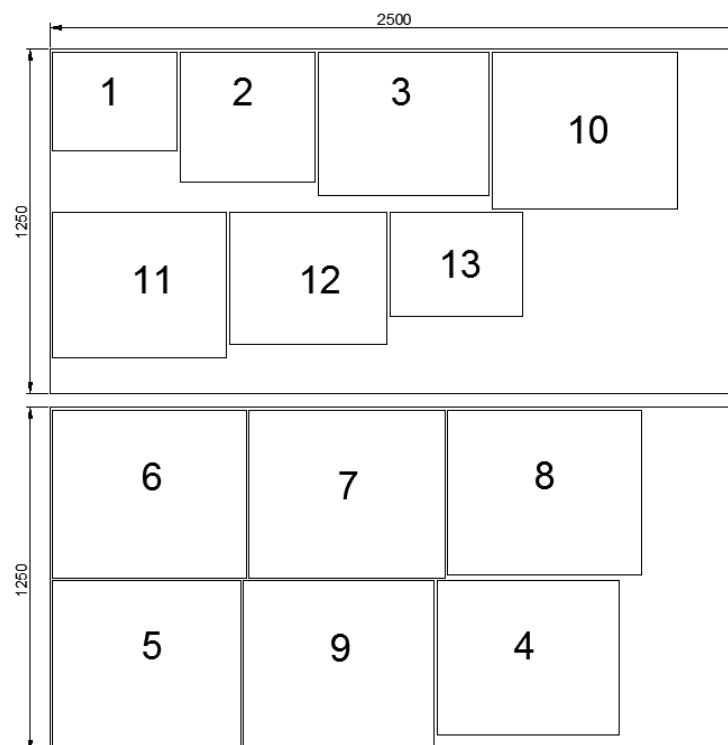
Okvir	Debelina (mm)	Širina plošče (mm)	Dolžina plošče (mm)	Volumen (m^3)
1	30	363	454	0,005
2	30	454	545	0,007
3	30	513	604	0,009
4	30	555	646	0,011
5	30	583	673	0,012
6	30	597	688	0,012
7	30	601	693	0,012
8	30	597	693	0,012
9	30	585	681	0,012
10	30	561	658	0,011
11	30	523	618	0,010
12	30	465	558	0,008
13	30	366	460	0,005
Volumen skupaj (m^3)				0,127
Poraba pri 80% izkoristku				<u>0,159</u>

Preglednica 2: Izračun porabe materiala pri izdelavi stola z okvirji iz masivnega lesa

Okvir	Debelina (mm)	Širina okvirja (mm)	Dolžina okvirja (mm)	Volumen okvirja (m ³)
1	30	130	1620	0,006
2	30	130	1910	0,007
3	30	130	2270	0,009
4	30	130	2440	0,010
5	30	130	2550	0,010
6	30	130	2620	0,010
7	30	130	2630	0,010
8	30	130	2600	0,010
9	30	130	2580	0,010
10	30	130	2480	0,010
11	30	130	2320	0,009
12	30	130	2100	0,008
13	30	380	480	0,005
Volumen skupaj (m ³)				0,115
Poraba pri 60% izkoristku				<u>0,161</u>



Slika 34: Izdelava modela iz masivnega lesa



Slika 35: Načrt razrezovanja vezane plošče pri uporabi tipske plošče dimenzij 2500 × 1250 mm

Preglednica 4 prikazuje izračun stroškov glede na izbran material (masivni les ali vezana plošča) in količino materiala, ki ga potrebujemo za izdelavo stola.

Preglednica 3: Izračun stroškov za posamezen material

Material	Cena (EUR/m ³)	Volumen (m ³)	Strošek (EUR)	Površinska obdelava (EUR)
Smrekovina	350	0,161	56,35	30
Bukev	490	0,161	78,89	30
Hrast	900	0,161	144,90	30
Jesen	890	0,161	143,29	30
Javor	620	0,161	99,82	30
Češnja	750	0,161	120,75	30
Oreh	970	0,161	156,17	30
V. p. bukev 30 mm	710	0,127	90,17	30

Porabo vezanih plošč, bi lahko zmanjšali z izdelavo okvirjev iz vezanih plošč (tako kot pri masivnem lesu), lahko pa bi izrezane notranje dele večjih plošč uporabili kot manjše zunanje plošče.

Da pokrijemo stroške materiala in dela, bi morali zaračunati za stol vsaj 730,17 EUR (preglednica 4), da bi pokrili vse stroške materiala in izdelave. CNC obdelava stane 240 EUR, priprava programa za delo z CNC strojem 60 EUR, priprava kalupa 210 EUR, površinska obdelava 100 EUR, material pa stane 120,17 EUR. Pri izračunu ni upoštevano risanje stola v programu SolidWorks. Poleg izračunane cene, bi bilo potrebno zraven dodati še čisti dobiček. Seveda bi pri serijski proizvodnji stola cena bila precej manjša zaradi hitrejšega dela (nebi bilo potrebno nastavljati stroj za vsak kos posebej), hkrati pa bi bila cena materiala ob večjem nakupu manjša.

Preglednica 4: Lastna cena izdelka

	Št. ur CNC stroja	Priprava programa	Priprava kalupa	Površinska obdelava	Material	
Število ur	6	3	14	5	/	
Cena za 1 h (EUR)	40	20	15	20	/	Skupaj
Skupaj (EUR)	240	60	210	100	120,17	730,17

3.6 POVRŠINSKA OBDELAVA

Ker smo med obdelavo s CNC strojem imeli nekoliko težav, je bilo potrebno kitanje in brušenje površine stola. Kljub temu, da smo uporabili kit v barvi bukovine, iz katere je stol tudi narejen, so popravki vidni. Zaradi tega je bilo potrebno prilagoditi površinsko obdelavo, da z ustreznim zaščitnim premazom prekrijemo ali omilimo barvne razlike na površini.



Slika 36: Stol takoj po CNC obdelavi, pripravljen na površinsko obdelavo

Pomembna lastnost lanenega olja je ta, da se dolgo suši. Iz tega razloga je pogosto izboljšano z različnimi dodatki, s termično obdelavo in sikativi, tj. spojinami kovin z lanenim oljem ali smolnimi kislinami. Tako olje imenujemo firnež. Sikativi se dodajajo zato, ker pospešujejo sprejemanje kisika iz zraka in posledično tudi oksidativno utrjevanje olja. Pri premazovanju lesa se uporablja laneno olje, ki vsebuje 2–3 % sikativov. Firnež velja za najcenejšo, najbolj enostavno in najbolj zdravo zaščito lesa. Poleg tega pa poznamo tudi druge vrste lanenega olja, in sicer posebno odporno laneno olje, ki je termično obdelano brez zraka pri visoki temperaturi, razredčeno olje ali »pol olje«, ki se uporablja kot temeljni nanos za površinske obdelave z olji, in laneno olje za temeljni premaz, ki vsebuje smole in je dober temeljni premaz pred nanosom lazur (Polanc, 2001).

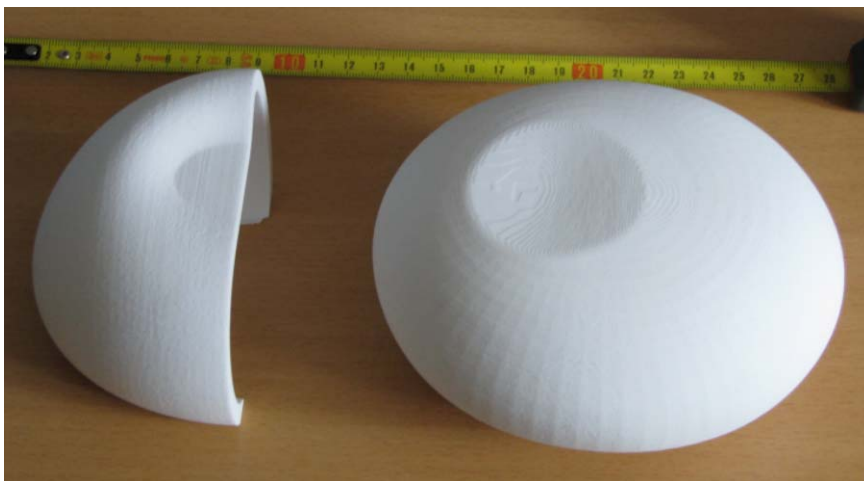
Uporaba olj ni omejena na določene vrste lesa, posebej dobro pa se lahko obdeluje tikov, hrastov in palisandrov les. Posebna značilnost olj je, da poudarijo teksturo oziroma vidno strukturo lesa in pa njegovo naravno barvo. Ta način površinske obdelave sodi med zelo stare in je vedno bolj priljubljen zaradi enostavnega vzdrževanja in pa zato, ker površine lesa ne »plastificiramo« kot bi jo z uporabo umetno-smolnih lakov. Oljenje lesa lahko primerjamo z impregnacijo, ker les po obdelavi še vedno diha, saj ohrani odprte pore. Ta lastnost je še posebej vidna pri lanenem olju, saj le-to prodira globoko v les in se dobro veže s podlago. Tikovo in tungovo olje pa sta enostavnejša za uporabo kot laneno olje, ker se hitreje »sušita«. Laneno olje se namreč posuši v približno treh dneh.. Laneni firnež se utrdi v 24 urah, tikovo in tungovo olje pa že v 12 urah. Na čas sušenja pa močno vplivata temperatura in vlaga zraka (Polanc, 2001).

Za nove lesne površine sta najprimernejša tikovo in tungovo olje, za stare pa laneno. Lesne površine, ki so obdelane z olji niso primerne za zunanjo uporabo, saj so manj odporne proti zunanjim vplivom kot lakirane površine.

4 REZULTATI

4.1 KONČNI IZDELEK PO 3D TISKANJU

V sodelovanju z podjetjem IB-Procadd d.o.o. smo z pomočjo 3D tiskanja natisnili model, ki smo ga izrisali v programu SolidWorks. Ker je bil model po tiskanju krhek, ga je bilo potrebno impregnirati z cianoakrilatom. Ko se je cianoakrilat posušil, smo dobili kompakten kos izrisanega izdelka v M 1:5. Ta nam je služil kot prototip, da smo si lahko ogledali končno obliko izdelka. Po želji lahko natisnjen kos tudi površinsko obdelamo z barvami, ali pa že v času tiskanja izberemo barvne materiale.



Slika 37: Končni izdelek 3D tiskanja

Na natisnjenem modelu so dobro vidni prehodi med sloji. Če si model ogledamo od blizu, lahko vidimo stopničasto strukturo, ki je nastala zaradi tiskanja po slojih. Natisnili smo dva izrisana modela (slika 37) in se na podlagi natisnjenega odločili, da izdelamo model brez naslona.

4.2 KONČNI IZDELEK PO OBDELAVI S CNC STROJEM

Po obdelavi s CNC strojem je bil stol na otip nekoliko grob, kar smo tudi pričakovali zaradi narave dela stroja. Ker smo rezkali najprej eno nato pa drugo polovico rezkanja, se na stolu vidi mesto vračanja rezkalne glave (zasmojena površina). Vse neravnine smo zapolnili s kitom v barvi lesa (bukev) in zbrusili celotno površino z brusnim papirjem granulacije 80, 150 in na koncu še s 320. S tem smo naredili gladko površino, pripravljeno na nadaljnjo površinsko obdelavo. V zadnji fazi izdelave smo opazili barvne razlike lesa, kar smo uspešno odpravili pri površinski obdelavi. Težave so se pojavile tudi na mestu spoja, ko smo polovici dali skupaj. Zaradi nekoliko grobe obdelave CNC stroja, so bili robovi zatrgani, kar je povzročilo razpoke na mestu spoja. Zaradi vpenjanja v šablone, ki smo jih uporabili pri CNC stroju, tudi površina na mestu vpetja ni bila popolnoma ravna, kar je povzročalo reže pri spoju obeh delov skupaj (slika 39).



Slika 38: Stol po brušenju, pripravljen na površinsko obdelavo



Slika 39: Reža pri spoju med kalupoma

Zaradi teže izdelka smo se odločili, da ne bomo lepili kalupov skupaj, ampak bomo stol pustili v dveh delih. Robove smo nekoliko zbrusili (s tem izničimo spoj), kalupe pa spojili z mozniki, ki zgornji kalup pozicionira natančno na spodnjega.



Slika 40: Notranjost stola

Največja pomanjkljivost pri stolu je njegova teža. Tehta namreč 45 kg, kar pa bi lahko krepko zmanjšali z drugačno izbiro lesne vrste z nižjo gostoto (preglednica 5) in manjšo debelino lupine. Glede na to, da smo za uporabljen material izbrali bukovo vezano ploščo, ki tehta 800 kg/m^3 , smo pričakovali takšno težo. Pri manjšanju debeline lupine bi tvegali trdnost stola, hkrati pa bi morali biti še bolj natančni pri lepljenju kalupov, ker bi lahko vsak zamik sloja od določene pozicije povzročil preveč odvzetega materiala na CNC stroju in posledično luknjo ali razslojitev.

Preglednica 5: Primerjava gostote med lesnimi vrstami

Lesna vrsta	Teža (kg/m ³)
Topol	370
Jelka	430
Smreka	435
Bor	490
Lipa	490
Kostanj	510
Javor	590
Breza	610
Tik	630
Oreh	640
Brest	640
Jesen	650
Hrast	660
Bukev	680
Gaber	790



Slika 41: Stol po površinski obdelavi

5 SKLEPI

S pravilnim postopkom konstruiranja in uporabo napredne tehnologije lahko izdelamo stol poljubne organske oblike. S sodobnimi programi za modeliranje lahko optimiziramo porabo materiala in potek dela še preden se lotimo izdelave izdelka. Prav tako lahko v želenem merilu natisnemo 3D model in si ga pred izdelavo prototipa v merilu M1:1 ogledamo v fizični obliki.

Z uporabo 5 osnega računalniško vodenega stroja lahko s pravilno predpripravo naredimo izdelke okroglih in nesimetričnih oblik. Model narišemo v programu za konstruiranje, ki mora biti kompatibilen z programsko opremo CNC stroja, nato pa z ustrezno pripravo materiala (v našem primeru kalupa) in pravilno izbiro orodja, naredimo izdelek.

Največja pomanjkljivost pri narejenem stolu je prav gotovo njegova teža, saj tehta 45 kg. V primeru, da bi delali še en stol, bi spremenili vrsto lesa in naredili ožje okvirje. Namesto bukovine bi uporabili lažjo lesno vrsto (z nižjo gostoto) kot npr. topol, smreka, bor, jelša, macesen, kostanj, itd. Zaradi stabilnosti in trdote smo uporabili bukovno vezano ploščo, zaradi česar imamo veliko težo stola. S pravilno izbiro lesne vrste bi lahko zmanjšali težo za približno 30 %. Pri bolj natančni izdelavi okvirjev pa bi lahko zmanjšali težo stola še za dodatnih 20 %. Okvirje bi bilo potrebno obdelati pod enakim kotom kot na zunanji tudi na notranji strani. Paziti bi bilo potrebno le na trdnost, saj pri manjši debelini lupine in lažjem materialu zmanjšamo trdnost stola. Pri prvem narejenem stolu nismo želeli tvegati, saj nismo vedeli natančno kako bo potekala obdelava s CNC strojem (trganje, razslojevanje, itd.), zato smo se odločili za takšen način dela.

Stolu bi lahko dodali tudi tapeciran sedežni del in manjši naslon za udobnejše sedenje. Če bi se odločili za serijsko proizvodnjo, bi bilo potrebno narediti natančne šablone za lepljenje in žaganje okvirjev, saj smo pri tem postopku izgubili največ časa. Če bi optimizirali vse to, bi bila tudi poraba materiala manjša (samo pri izdelavi iz masivnega lesa), časovno pa bi se postopek izdelave zmanjšal tudi za 60 %, kar bi izdelek zelo pocenilo, saj material ni tako drag kot je obdelava.

Vsekakor bi bilo potrebno optimizirati tudi obdelavo s CNC strojem. V našem primeru smo rezkali samo polovico stola naenkrat, kar pa ni nujno najbolj optimalno. Pri večji proizvodnji bi lahko rezkali stol naenkrat, pri čemer bi privarčevali veliko časa (nebi bilo potrebno menjavati kalupov na CNC stroju, prav tako pa jih nebi bilo potrebno spajati skupaj). Tudi proces rezkanja bi lahko optimizirali. Namesto da rezkamo samo polovico obsega kalupa naenkrat, bi lahko program prilagodili tako, da bi rezkali celoten obseg.

Boljše bi bilo tudi, če bi kupili tipske vezane plošče in sloje naredili iz njih (nebi bilo potrebno delati vezanih plošč različnih velikosti). Glede na cene vezanih plošč, ki jih

dosegajo največji proizvajalci, se nam ne izplača izdelovati lastnih vezanih plošč (izplača se v primeru, če bi bilo potrebno zlepiti ukrivljene plošče).

Preden smo zlepili okvirje v kalup, smo pozicionirali vsak okvir posebej glede na predhodnega. To je bilo potrebno zaradi nesimetričnosti stola. Pri uporabi šablon za lepljenje okvirjev, bi prihranili veliko časa, saj bi se lahko pri tem izognili mozničenju okvirjev.

Zaključimo lahko, da je izdelava stola organskih oblik zanimiva in perspektivna, vendar bi za komercialno izdelavo bila potrebna racionalizacija tehnološkega postopka ter znižanje stroškov materiala ter obdelave.

6 POVZETEK

Ljudje že od nekdaj želimo pri oblikovanju posnemati dovršene oblike iz narave. Skozi tisočletja ustvarjene oblike prenašamo v naš dom tako z oblikovanjem stavb kot pohištva. Takšno vrsto oblikovanja imenujemo organsko oblikovanje. Pri tovrstnem oblikovanju prevladujejo neravne linije. Organska arhitektura ni zavezana določeni estetiki in je slogovno heterogena. Glavni predstavniki organske arhitekture in oblikovanja so Hugo Häring, Antoni Gaudi in Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto, ter drugi, vendar so si pravila za oblikovanje razlagali vsak drugače.

Pri konstruiranju in načrtovanju stola, smo izhajali iz naravne oblike rečnega kamna. Želeli smo prenesti obliko (proporce) stola, ki bo spominjal na kamen, ki ga je stoletja izoblikovala voda. K osnovni obliki smo dodali ergonomsko poglobljen sedežni izrez.

Na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin smo najprej izrisali stol v programu SolidWorks. Preden smo se lotili izdelave stola prave velikosti, smo naredili prototip s pomočjo 3D tiska v podjetju IB-Procadd d.o.o. Stol smo natisnili z profesionalnim 3D tiskalnikom ZPrinter 450 v merilu 1 : 5 in ga impregnirali s cianoakrilatom, da smo dosegli želeno trdnost. Natisnili smo 2 obliki in se na podlagi modelov odločili, katerega bomo izdelali v pravi velikosti. Zadovoljni z rezultatom, smo se lotili izdelave stola iz vezane plošče.

Iz SolidWorksa je bilo potrebno program spremeniti v programski jezik, razumljiv za CNC obdelovalni stroj. To delo smo naredili v sodelovanju z podjetjem Sodimex d.o.o. v programu AlphaCAM. AlphaCAM je vodilna CAM rešitev za les, kamen, kompozite in kovinske komponente za prenos iz 2-osnih v 5-osne NC programske aplikacije.

V programu SolidWorks smo naredili natančne načrte pozicij vezanih plošč. Sledila je izdelava plošč in okvirjev, ter priprava kalupa. Odločili smo se, da bomo v podjetju Sodimex d.o.o. pripravili vezane plošče točnih dimenzij. Naredili smo plošče debeline 30 mm iz bukovih furnirjev debeline 1,5 mm. Sledilo je obžagovanje plošč na zunanji in notranji strani, z čimer smo odstranili nekaj odvečnega materiala.

Sledilo je lepljenje okvirjev v kalup. Za ta namen smo pripravili posebno šablono, ki nam je pomagala, da smo plošče vedno pozicionirali iz iste točke glede na predhodno. Plošče smo med sabo moznčili, da se nam nebi premaknile iz določene točke med procesom stiskanja. Zlepljen kalup je bil pripravljen za končno obdelavo na 5 osnem CNC stroju.

Za vpetje na CNC stroj, je bilo potrebno narediti šablono, zaradi katere so nastale neravnine na površini vpetja. Oba kalupa skupaj smo rezkali dobrih 6 ur. Rezkali smo najprej eno polovico kalupa, nato pa drugo, da smo se izognili nepotrebnem obračanju glave CNC stroja.

Po obdelavi s CNC strojem je sledila obdelava površine. Potrebno je bilo zakitati vse razpoke in luknjice, ki so nastale med procesom rezkanja. Luknjice smo zapolnili z kitom za les v barvi bukve, iz katere je bil stol tudi narejen. Sledilo je brušenje površine z granulacijo 80, 150 in 320. Po brušenju je bil stol pripravljen na obdelavo z zaščitnim premazom. Premazali smo ga z lanenim oljem, saj smo želeli ohraniti naraven videz, hkrati pa nismo želeli uporabiti poliuretanskih ali nitroceluloznih lakov.

7 VIRI

3dt. ZPrint. 2013. <http://www.3dt.si/3D/3D-programi/zprint.html> (2.7.2013)

3ders.. Tool-less production of moulds using 3D printing technology. Designer furniture from 3D printers. 2012.

<http://www.3ders.org/articles/20120620-tool-less-production-of-moulds-using-3d-printing-technology.html> (2.7.2013)

Archphoto. Francia M (2013). Vittorio Giorgini, la natura come modello.

<http://www.archphoto.it/archives/317> (22.3.2013)

Cook J. 1996. Seeking Structure from Nature: Organic Architecture in Hungary.

Birkhäuser Basel. 192 str.

Danish furniture. P. Jeppesen. Plywood. 1963. :

<http://www.danish-furniture.com/designers/arne-jacobsen/> (22.8.2013)

Fallingwater. Fallingwater. 2013

<http://www.fallingwater.org/> (8.4.2013)

Frampton K. 1995. Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture. MIT Press. Columbia University. 446 str.

Gura J. 2007. Sourcebook of Scandinavian Furniture. Design for the 21st century. New York: W.W. Norton, 2007. New York: 320 str.

Hecko. Integrating Scandinavian Design in your Home Decoration Style. 2013.

<http://www.hecko.com/integrating-scandinavian-design-home-decoration-style.html> (8.6.2013)

Kariž M. 2008. Gradivo in navodila za vaje pri predmetu Lepljen les.

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Kitek Kuzman M. 2013. Laboratorij za preizkušanje pohištva. Pedagoško in raziskovalno delo. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Oddelek za lesarstvo. Ljubljana, 16 str.

L. Kudrna J. 1994. Gunnar Birkerts. Process and expression in architectural form.

University of Oklahoma Press. Oklahoma, 176 str.

Met museum. Model No. 41 Lounge Chair, 1913-32, Alvar Aalto. (19.8.2013).

<http://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/2000.375> (21.8.2013)

- Maver D. 2010. Uporaba računalniških programov za konstruiranje in oblikovanje v slovenskih lesnih podjetjih. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. 44 str.
- Moškon D. 1989. Biotektonika. Simbioza arhitekture in njenega bioenergetskega okolja. Ljubljana: 202 str.
- Nexusnord. 2013. Rare organic shape mid century solid wood chair.
http://www.nexusnord.com/product_info.php?products_id=114 (20.8.2013)
- Odechair. 2013. Ocean rocker, Lady Girl, Savannah Rocker.
<http://www.jolyonyates.com/> (15.2.2013)
- Pearson D. 2001. New organic architecture. The breaking wave. University of California Press. London: 223 str.
- Polanc, J. 2001. Površinska obdelava lesa z olji in oljnimi barvami. Les: revija za lesno gospodarstvo. Ljubljana, 2001.
- Rozman V. 1997. Konstrukcije izdelkov. Ljubljana, Lesarska založba: 328 str.
- Rudolf S. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo. Laboratorij za preskušanje pohištva. 2013.
[http://les.bf.uni-lj.si/raziskave-svetovanje-testiranje/testirna-dejavnost-in-c](http://les.bf.uni-lj.si/raziskave-svetovanje-testiranje/testirna-dejavnost-in-certificiranje)
ertificiranje (16. 2. 2013.)
- Schildt G. 1988. Alvar Aalto: Masterworks. Universe Pub. 240 str.
- SIST EN 326-1:1996 - Lesne plošče - Vzorčenje, razžagovanje in kontrola - 1. del:
Vzorčenje, izžagovanje preskušancev in podajanje rezultatov preskušanja - Wood-based panels - Sampling, cutting and inspection - Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results
- SIST EN 326-2:2011 - Lesne plošče - Vzorčenje, razžagovanje in kontrola - 2. del:
Začetno preskušanje tipa in kontrola proizvodnje v obratu - Wood-based panels - Sampling, cutting and inspection - Part 2: Initial type testing and factory production control
- SIST EN 326-3:2004 - Lesne plošče – Vzorčenje, razžagovanje in kontrola – 3.del:
Kontrola posamezne partije plošč - Wood-based panels - Sampling, cutting and inspection - Part 3: Inspection of an isolated lot of panels
- Smash magazine. 2011. Katrin Eyporsdottir The story of scandinavian design: Combining function and aesthetics.
<http://www.smashingmagazine.com/2011/06/13/the-story-of-scandinavian-design-combining-function-and-aesthetics/> (2.9.2013)

Tavco. 3D printers. 2013. <http://www.tavco.net/> (22.8.2013)

Tucker R. Bean Chair. 2013. New York Design Center
http://tuckerrobbins.designcentersearch.com/account/item_details.php?%20itemID=215756 (22.8.2013)

Tulika. A-Muse-ings. Symbolism in Architecture (27.10.2012)
<http://tulika1.wordpress.com/> (22.4.2013)

Wikipedia. Gateway arch in St. Louis, MO. (18.5.2009).
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gateway_Arch_complete.jpg (8.4.2013)

Wikipedia. Gruzman house. 2013
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gruzman_house.jpg (2.4.2013)

Wikipedia. Hundertwasser church. 2009.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Hundertwasser_church.jpg (2.4.2013)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Manji Kitek Kuzman, somentorju dr. Mirku Karižu za mentorstvo, vodenje in pomoč pri izvedbi magistrskega dela.

Zahvaljujem se prof. dr. Milanu Šerneku za recenzijo.

Posebna zahvala gre celotnemu kolektivu podjetja Sodimex d.o.o. še posebej Mateju Lušin in Martini Lušin za pomoč pri izdelavi stola.

Zahvaljujem se tudi dr. Matjažu Pavliču za pomoč pri površinski obdelavi stola.

Vsem neimenovanim, ki so kakorkoli pripomogli in me podpirali, iskreno HVALA!