

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ŠTOLFA

**ANALIZA KONSTRUKCIJE STOLA Z UKRIVLJENO SEDEŽNO
LUPINO**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij – 1. stopnje

**CONSTRUCTION ANALYSIS OF CHAIR WITH CURVED SEAT
SHELL**

B. Sc. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva – 1. stopnja. Diplomski projekt je bil opravljen na Biotehniški fakulteti, Oddelek za lesarstvo v laboratoriju za preizkušanje pohištva, Katedra za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin. Lupine so bile izdelane v tovarni JAVOR Pivka d.d.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico univerzitetnega diplomskega projekta imenoval doc. dr. Manjo Kitek Kuzman, za somentorja dr. Srečka Vratušo in za recenzenta doc. dr. Sergeja Medveda.

Mentor: doc. dr. Manja Kitek **KUZMAN**

Somentor: dr. Srečko **VRATUŠA**

Recenzent: doc. dr. Sergej **MEDVED**

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga 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.

Primož ŠTOLFA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 684.43
KG	lupina/stoli/konstrukcija/preizkušanje/hrbteni naslon
AV	ŠTOLFA, Primož
SA	KITEK KUZMAN, Manja (mentorica)/VRATUŠA, Srečko (somentor)/MEDVED, Sergej (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2011
IN	ANALIZA KONSTRUKCIJE STOLA Z UKRIVLJENO SEDEŽNO LUPINO
TD	Diplomski projekt (univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VIII, 50 str., 9 pregl., 35. sl., 19 vir.
IJ	Sl
JI	sl/en
AI	Raziskovali smo napetostno-deformacijsko stanje različnih oblik ukrivljenih lupin, pri različnih obremenitvah ter locirali njihova kritična območja. Uporabili smo ukrivljene lupine iz vezanega lesa različnih oblik, izdelanih v istem kalupu. Z upoštevanjem zahtev evropskih standardov (SIST EN 15373:2007, SIST EN 1728:2002, SIST EN 314-1:2005 in EN 310:1993) smo izvedli preizkus statične obremenitve naslona, preizkus trajnosti, porušitveni preizkus, preizkus z odvzemom, materiala ter preizkus strižne in upogibne trdnosti vezane plošče. Dobljeni rezultati so pokazali, da vse lupine z vidika trajnosti, z visokim varnostnim faktorjem ustrezajo standardom. Z dodatno obdelavo rezultatov smo opravili primerjavo lupin, iz katere je bilo razvidno nihanje kvalitete. Ugotovili smo, da bi se z vidika proizvodnje lahko zmanjšala poraba materiala, z vidika oblikovanja in konstruiranja pa bi se lahko izdelala lupina z drznejšo obliko, ki bi še ustrezala standardom.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1
DC UDC 684.43
CX shell/construction/testing/back support/results
AU ŠTOLFA, Primož
AA KITEK KUZMAN, Manja (supervisor)/VRATUŠA, Srečko (co-advisor)/
MEDVED, Sergej (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2011
TI CONSTRUCTION ANALYSIS OF CHAIRS WITH CURVED SEAT SHELL
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
NO VIII, 50 p., 9 tab., 35 fig., 19 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The stress and deformation state of various shapes of bended shells caused by
different forces was researched, and their critical areas located. Curved plywood seat
shells of different shapes were made in the same model. According to the
requirements of European standard methods the following tests were made: the test
of static load, durability test, test with material failure, test with material withdrawal,
and the test of shear and bending strength of plywood. The results show that the
shells have a high safety factor, and are in the range of European standard
requirements. By additional result adjustments it was possible to compare shells, and
see differences in quality among them. Taking the results into account we could
make the production of the shells more efficient, using less material; from the aspect
of constructor and designer the shells could have shape that stands out and still is in
the range of standard requirements.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	Str.
Key Words Documentation (KWD)	III
Kazalo vsebine	IV
Kazalo preglednic	V
Kazalo slik	VII
	VIII

1	UVOD	1
1.1	CILJI NALOGE	1
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	VEZANA PLOŠČA	3
2.1.1	Uporaba vezane plošče	3
2.1.2	Zgodovina uporabe ukrivljenega lesa	3
2.1.3	Uporaba ukrivljenega lesa v pohištveni industriji	4
2.2	DIMENZIONIRANJE POHIŠTVA	6
2.3	PREIZKUŠANJE POHIŠTVA	7
2.3.1	Preverjanje konstrukcije z računskimi metodami	7
2.3.2	Preverjanje konstrukcije z eksperimentalnimi metodami	8
2.4	KAKOVOST IZDELKA IN STANDARDI	9
2.4.1	Standardi	10
2.4.2	Ugotavljanje skladnosti	10
3	MATERIAL IN METODE	12
3.1	LUPINE	12
3.2	MERITVE DIMENZIJ IN OZNAČEVANJE LUPIN	18
3.3	PREIZKUŠANJE LUPIN	21
3.3.1	Statična obremenitev naslona I.	21
3.3.2	Preizkus trajnosti	23
3.3.3	Statična obremenitev naslona II.	26
3.3.4	Porušitveni preizkus	26
3.3.5	Preizkus z odvzemom materiala	26
3.4	PREIZKUS STRIŽNE IN UPOGIBNE TRDNOSTI VEZANE PLOŠČE	28
3.4.1	Izvedba preizkusa strižne trdnosti lepilnih spojev vezane plošče (kvalitete zlepljenosti)	28
3.4.2	Izvedba preizkusa upogibne trdnosti vezane plošče	30
4	REZULTATI	31
4.1	MERJENJE DIMENZIJ LUPIN	31
4.2	STATIČNA OBREMENITEV NASLONA I.	31
4.3	PREIZKUS TRAJNOSTI	32
4.4	STATIČNA OBREMENITEV NASLONA II.	34
4.5	PORUŠITVENI PREIZKUS	35
4.6	PREIZKUS Z ODVZEMOM MATERILA	38
4.7	PREIZKUS STRIŽNE IN UPOGIBNE TRDNOSTI VEZANE PLOŠČE	40
4.7.1	Rezultati preizkusa strižne trdnosti vezane plošče	40
4.7.2	Rezultati preizkusa upogibne trdnosti vezane plošče	41
5	RAČUNALNIŠKI MODEL	42
6	RAZPRAVA	44

7	SKLEPI	47
8	POVZETEK	49
9	VIRI	50

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Oznake, slike in opis lupin	15
Preglednica 2: Prikaz uporabljenih sil in standardov pri določenem preizkusu	21
Preglednica 3: Dimenzije preizkušanih stolov (A, B, C, D) oz. lupin (E, F, G, H, I).....	31
Preglednica 4: Rezultati preizkusa trajnosti	33
Preglednica 5: Rezultati preizkusa s porušitvijo	37
Preglednica 6: Rezultati preizkusa strižne trdnosti	40
Preglednica 7: Lom po lesu.....	40
Preglednica 8: Rezultati preizkusa upogibne trdnosti	41
Preglednica 9: Združeni rezultati preizkusov (porušitveni preizkus, preizkus strižne trdnosti in preizkus upogibne trdnosti).....	44

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Stol številka 41.....	4
Slika 2: Stol LCM	5
Slika 3: Stol ANT.....	5
Slika 4: Stol REX.....	6
Slika 5: Danski dizajn stola.....	7
Slika 6: Znak skladnosti.....	11
Slika 7: Prikaz orientiranosti slojev vezane plošče	12
Slika 8: Stiskanje plošče v stiskalnici	13
Slika 9: Neobdelane ukrivljene VP	13
Slika 10: Rezkar	14
Slika 11: Definiranje dimenzij stola.....	19
Slika 12: Definiranje kotov stola.....	19
Slika 13: Načrt za izdelavo šablone za označevanje točk obremenitev	20
Slika 14: Označevanje stola	20
Slika 15: Vpenjanje lupine v testirni stroj Zwick.....	22
Slika 16: Postavitev opreme in stola	24
Slika 17: Pritisna plošča (SIST EN 1728:2002).....	25
Slika 18: Merjenje distance med fiksno točko in naslonom	25
Slika 19: Koraki odvzemanja materiala pri lupini D	27
Slika 20: Načrt za izdelavo vzorcev za preizkus strižne trdnosti.....	29
Slika 21: Vzorec za preizkus strižne trdnosti.....	29
Slika 22: Nastavitve podpor in pritisnega objekta	30
Slika 23: Graf preizkusa statične obremenitve naslona I.....	32
Slika 24: Združena grafa rezultatov iz statične obremenitve naslona I. in II.....	34
Slika 25: Graf preizkusa s porušitvijo	35
Slika 26: Porušitev lupine A	36
Slika 27: Porušitev lupine B.....	36
Slika 28: Porušitev lupin I in H.....	37
Slika 29: Graf deformacije v odvisnosti od sile pri preizkusu z odvzemanjem materiala.....	38
Slika 30: Porušitev lupine D	39
Slika 31: Računalniški model lupine s podnožjem	42
Slika 32: 3D skener (www. zcorp.com)	43
Slika 33: Lupina z ozko širino vratu hrbtnega naslona	43
Slika 34: Graf upogibne trdnosti iz porušitvenega preizkusa v odvisnosti od upogibne trdnosti materiala.....	45
Slika 35: Graf upogibne trdnosti iz porušitvenega preizkusa v odvisnosti od strižne trdnosti materiala.....	46

1 UVOD

Konstrukcija izdelka, ki ga proizvajalec pošlje na trg, je ena najbolj pomembnih lastnosti izdelka. Z dobro konstruiranim izdelkom lahko proizvajalec izstopa od ostalih, ki ponujajo podoben produkt. Da izdelek izstopa zaradi izvedbe oz. oblike, pa je potrebna konstrukcijska drznost.

V človeški naravi je, da vedno iščemo nekaj novega in inovativnega. Hiter, moderen in dinamičen čas nas konstantno vodi k novejšim, boljšim, modernejšim proizvodom. Ker je pohištvo in z njim stol vedno bil in vedno bo statusni simbol in ogledalo časa, se tudi tu srečujemo s čedalje bolj drznimi, modernimi, inovativnimi stoli. Da inovativna zamisel ali ideja ne bi ostala samo na papirju ali v obliki prototipa, je potrebno zamisli predstaviti v realni prostor. Izdelek, ki ga snujemo in želimo, da je na trgu uspešen, potrebuje konstrukcijo, ki bo tako estetska kot tudi funkcionalna.

Da dobimo sliko trajnosti in funkcionalnosti konstrukcije, so v fazi snovanja potrebna preizkušanja, testiranja in simulacije. Uveljavljeni proizvajalci stolov se neradi lotijo snovanja novih, nepreizkušenih izdelkov. Namesto tega preoblikujejo star, že preizkušen izdelek tako, da dobijo nov izdelek, ki ustreza trenutnim zahtevam trga.

Preoblikovanje obstoječega izdelka ima prednost, in sicer je sama izdelava cenejša, saj se je mogoče prilagoditi lastni tehnologiji, medtem ko različni novi modeli naročnikov zahtevajo drugačno tehnologijo, kar povzroča težave v proizvodnji. Pri lastnem oblikovanju je omogočeno racionalno planiranje proizvodnje; pri stalnih artiklih in enaki tehnologiji se proizvodni čas lahko samo zmanjšuje (Uršič, 1968).

Za preoblikovanje stola so potrebni podatki kot so mehanske lastnosti, lastnosti materiala, trajnost, odzivanje konstrukcije na različne obremenitve, itd. V podjetjih se največkrat lotijo preoblikovanja brez teh podatkov in si konstrukcijsko trdnost stolov zagotovijo s predimenzioniranjem, s tem pa pride do podražitve proizvodnje in neracionalne porabe materialov.

V izogib temu potrebujemo zgoraj omenjene podatke analize konstrukcije. Namen diplomskega projekta je podrobna analiza konstrukcije že obstoječih stolov z ukrivljeno sedežno lupino.

1.1 CILJI NALOGE

Glavni cilj diplomskega projekta je primerjava rezultatov laboratorijskih preizkusov različnih ukrivljenih sedežnih lupin, pod pogoji, ki jih predpisuje standard SIST EN 1537:2007 Pohištvo – Trdnost, trajnost in varnost – Zahteve za sedežno pohištvo, ki ni za domačo uporabo.

Rezultati preizkušanja pri različnih obremenitvah bodo prikazani v obliki parametrične študije obnašanja sedežnih lupin različnih oblik, ki bo omogočala ugotavljanje kritičnih mest lupin in s tem nadaljnji razvoj. Mehanske lastnosti materiala lupine bodo ugotovljene s preiskavami po standardu SIST EN 310-1993 in SIS EN 314-1:2005. Dobljeni rezultati bodo omogočali preverjanje ustreznosti računskih modelov pri računalniški analizi

DELOVNE HIPOTEZE

Rezultati preiskav bodo omogočili vpogled v napetostno deformacijsko stanje kompozitnega lesa različnih ukrivljenih oblik. Ugotovitev kritičnih območij sedežnih lupin daje možnost optimizacije njihovih oblik in debelin.

2 PREGLED OBJAV

2.1 VEZANA PLOŠČA

Vezano ploščo (VP) po standardu SIST EN 313-1 uvrščamo v skupino Vezan les in podskupino Vezane plošče. VP prepoznamo po večjem (lihem) številu zlepljenih slojev lesa, ki se med seboj razlikujejo po različni usmerjenosti lesnih vlaken v slojih. Število, usmerjenost lesnih vlaken, lesna vrsta in debelina zlepljencev si vedno simetrično sledijo od sredine (osi) proti površini v obe smeri (Šernek, 2007).

Zaradi enostavne izdelave in dobrih mehanskih lastnosti je VP ena izmed najbolj razširjenih oblik predelanega lesa.

2.1.1 Uporaba vezane plošče

Najdbe starih zapiskov iz kraljestva Faraonov v starem Egiptu govorijo o uporabi plošč podobnih VP že pred več kot 3500 leti. Uporabljali so jih v dekorativne in pohištvene namene. Ploščo, kakršno poznamo danes pod imenom VP, je prvič predstavilo podjetje Portland Manufacturing Company of St. Johns v Oregonu v ZDA, in sicer leta 1905. Takrat se je VP močno razširila tudi na konstrukcijsko zahtevnejša področja. S »house boom« v petdesetih letih prejšnjega stoletja pa se je VP začela uporabljati v gradbeništvu (Smulski, 1997).

Kadar govorimo o VP, imamo v mislih eno najbolj univerzalnih lesnih plošč, ki se uporablja na skoraj vseh področjih. Tako jo predvsem zaradi njene majhne teže, visoke trdnosti in stabilnosti uporabljamo v gradbeništvu za predelne stene, obloge zidov, talne plošče in ostale elemente. V pohištveni industriji jih uporabljajo za elemente miznih plošč, sedežnega pohištva, kuhinjskih pultov, vratnih in okenskih kril ter povsod, kjer je potrebna tako po ravni kot po ukrivljenih elementih. Zaradi majhne teže glede na nosilnost je posebej zanimiva na področju letalstva, ladjedelništva in avtomobilizma. (Šernek, 2007).

2.1.2 Zgodovina uporabe ukrivljenega lesa

Da les ohrani ukrivljeno obliko, dokler je vpet s sosednjimi deli izdelka, so vedeli že Grki in Rimljani. Takrat so to lastnost lesa izkoriščali bolj zaradi praktičnih kot estetskih razlogov. V Ameriki in v Evropi so se v začetku 19. stoletja na področju ladjedelništva pojavili prvi zametki industrijske tehnike krivljenja lesa. Prvi stroji za krivljenje lesa so se pojavili konec tridesetih let 19. stoletja, in sicer za izdelovanje lesenih koles za kočije (kolarstvu). V Ameriki so v štiridesetih letih prijavi prve patente s področja krivljenja lesa. V Sloveniji pa moramo biti ponosni na znamenite bloške smuči, ki jih je opisoval že Valvasor v Slavi Vojvodine Kranjske, leta 1689 (Lapanja D, 2005).

2.1.3 Uporaba ukrivljenega lesa v pohištveni industriji

Ukrivljen les se je pojavil tudi v pohištveni industriji. Eden prvih, ki je teoretično znanje prenesel v praktično, je bil M. Thonet. V letu 1825 je M. Thonet izdelal stol, ki je imel brezov okvir in sedež iz vezanega lesa. Leta 1830 pa je že izdeloval stole iz trakov nažaganega furnirja, ki jih je pod pritiskom zlepil v lesenih kalupih.

Kasneje je bil pri podjetju Gardner & Co. izdan patent za krivljen vezan les.

Velik vpliv na razvoj ukrivljenega vezanega lesa je imela tudi prva svetovna vojna. Takrat so se razvijala različna lepila iz umetnih smol, ki bi ustrezala uporabi vezanega lesa v letalstvu. Alvar Aalto je po prvi svetovni vojni, med letom 1929 in 1933, izdelal stol iz krivljenega bukovega lesa z imenom Stol številka 41. Stol izraža drznost oblikovanja in konstrukcijsko dovršenost.



Slika 1: Stol številka 41

Lupina, ki je predstavljala sedežni del, je bila zakrivljena v dveh dimenzijah, leta 1946 pa je Charlesu Eamesu uspelo ukriviti ploščo v treh dimenzijah. Posledica je bil stol LCM, ki ima obliko sedišča in hrbtni naslon, prilagojen obliki človeškega telesa.



Slika 2: Stol LCM

V zgodovini upognjenega vezanega lesa ima mesto tudi lupina stola ANT, ki jo je oblikoval Arnej Jacobson. Oblikoval ga je leta 1952 in ga še danes izdelujejo.



Slika 3: Stol ANT

Velik vpliv na razvoj industrijskega oblikovanja stolov iz ukrivljenega vezanega lesa je imel slovenski oblikovalec Niko Kralj. Njegov najbolj poznan izdelek je stol REX, ki se proizvaja že od leta 1956 in je zgled kakovostno oblikovanega industrijskega izdelka (Hrovatin in Kušar, 1996).



Slika 4: Stol REX

2.2 DIMENZIONIRANJE POHIŠTVA

Pri konstruiranju izdelka področje dimenzioniranja določa tiste mere izdelka, ki bodo zagotavljale varno in trajno konstrukcijo. Značilnost pohištvenih izdelkov je v tem, da pri določanju novih dimenzij večinoma ne uporabljamo statičnega izračunavanja. Praktične izkušnje, poznavanje materiala in občutek za material večinoma zadostujeta za ustvarjanje logične in pravilno dimenzionirane konstrukcije. Slaba pohištvena konstrukcija je velikokrat odraz nepravilnega dimenzioniranja, lahko pa je tudi razlog v nekvalitetnih materialih oziroma napačnih konstrukcijskih izvedbah.

Elementi pri pohištvu so s statičnega vidika mnogokrat predimenzionirani, ponavadi zaradi estetskih in ergonomskih zahtev ter delovanja lesa, ki na tanjših elementih povzroča vidnejše deformacije.

Če se pri dimenzioniranju ne zanašamo na izkušnje in občutek, lahko določimo dimenzije na dva načina:

- z eksperimentalno metodo, pri kateri predvidimo izvedbo izdelka, nato preizkusimo konstrukcijo, na osnovi rezultatov preizkušanja pa konstrukcijo korigiramo;
- z dimenzioniranjem, pri katerem določamo dimenzije v izdelkih z izračunavanjem in računskimi analizami (Smardzewski, 2009).

2.3 PREIZKUŠANJE POHIŠTVA

Skozi stoletje se je na pohištvu spreminjala konstrukcija, oblika in dizajn. Pohištvo je bilo v zgodovini vedno prisotno in mnogokrat so in ga še vedno dojemamo kot samoumevnega. Pohištvo je struktura, katera je bila nemalokrat nevede preizkušena s strani človeka, ki ga je preoblikoval tako, da je ta služil določenemu namenu. Da pohištvo služi svojemu namenu, mora vsebovati konstrukcijo, ki bo to omogočila.

V zgodovini je bila konstrukcija preizkušena tako, da so jo najprej izdelali na osnovi izkušenj in nato preverili z uporabo. Na podlagi izkušenj so izdelovali konstrukcije mostov, zgradb, hiš, spomenikov, objektov in pohištva. Pri izdelovanju konstrukcije so se upirali na znanje predhodnikov, ki so se učili tako na uspešnih kot na spodletelih primerih. Za primer vzemimo prve mostove, ki so bili izdelani izključno po navodilih konstruktorja, ki se je zanašal na izkustveno znanje. Ko je bil most zgrajen, ni noben vedel, kolikšno breme bo prenesel. Čas je pokazal, da so nekateri ustrezno težo prenašali, drugi ne (Eckleman, 1966).

2.3.1 Preverjanje konstrukcije z računskimi metodami

Trdnost mostov, hiš in objektov ni bila dolgo prepuščena sreči, saj je bilo zaradi nepravilno načrtovane konstrukcije velikokrat v nevarnosti človekovo življenje. Zaradi tega so razvili metode, s katerimi lahko preračunamo in ugotovimo kakšne obremenitve bo konstrukcija prenesla, še preden je dejansko zgrajena. Računske metode so se zelo hitro razvijale v gradbeništvu, v pohištveni industriji pa žal temu ni bilo tako, saj so v zgodovini verjeli, da je pohištvo umetnost, katera ne bi smela biti preizkušena in obravnavana kot konstrukcija. To je bilo včasih sprejemljivo in resnično, vendar danes tega ne moremo reči. Za primer vzemimo drzen danski dizajn, pri katerem morajo biti spoji, ki prenašajo velike napetosti, natančno preverjeni z računskimi in eksperimentalnimi metodami (Eckleman, 1966).



Slika 5: Danski dizajn stola

Eden pomembnejših ljudi, ki so se ukvarjali z metodami, s katerimi si pomagamo določati dimenzije konstrukcije in samo konstrukcijo s preračunavanjem, je bil Carl A. Eckleman. Njegova teorija preizkušanja temelji na dejstvu, da je stol tako kot stavbe, mostovi in ostale zgradbe struktura, ki ne sme ostati nepreizkušena in nepreverjena.

Definicija strukture:

Struktura – e ž (û) 1. *Kar je določeno z razporeditvijo elementov, razmerij med elementi, ki sestavljajo kako snov, predmet; zgradba, sestava:* struktura kamnine, lesa, vlakna/... (SSKJ 1998).

V zgornji definiciji razberemo, da je pohištvo lahko obravnavano kot struktura, tako kot npr. zgradbe. Eckleman (1966) opisuje, kako preračunati obremenitve na določeno vez pri stolu oz. konstrukciji za različne pozicije sedenja človeka. Metoda preračunavanja zahteva tri točke:

1. Določitev bremena, ki ga bo konstrukcija prenašala.
2. Analiziranje kolikšne napetosti bi se generirale v spojih elementov medtem, ko jih obremenjujemo s silo.
3. Količina materiala in razporeditev materiala po konstrukciji tako, da nobeden izmed spojev ni preobremenjen.

S takim pristopom do konstruiranja se lahko podjetje zavaruje pred nepotrebnimi nadaljnjimi zapleti pri uporabi izdelka.

To so tudi osnove današnjega računalniško podprtega konstruiranja izdelka.

Eckleman je tudi raziskoval odnos med delovanjem sile na konstrukcijo in njenim odzivom. Preizkušanje konstrukcije je hotel prenesti v obliko računalniškega algoritma (Eckleman 1969). Danes se za računalniško analizo obnašanja konstrukcij praviloma uporablja metoda končnih elementov. Posebnost pri lesu je njegova nehomogenost in anizotropnost (Hüseyin in sod., 2011; Prekrat in Smardzewski, 2010)

2.3.2 Preverjanje konstrukcije z eksperimentalnimi metodami

Računske metode se danes veliko uporabljajo, saj se napake lahko odpravlja že v fazi snovanja izdelka. Te preizkuse se izvaja z različnimi računalniškimi programi, kateri simulirajo uporabo konstrukcije, kjer se pokažejo kritična območja, ki bi se lahko pojavila ob dejanski uporabi izdelka. S tem lahko zagotovimo, da bo izdelek pravilno skonstruiran, še predno se ga izdela. Na žalost pa se v mnogih podjetjih tega načina še ne poslužujejo in takoj preidejo na izdelavo izdelka, katerega nato preizkušajo z eksperimentalnimi metodami.

Računalniška simulacija v povezavi z eksperimentalnimi metodami predstavlja sodobno snovanje izdelka, vendar se danes to uporablja le v podjetjih, ki so bolj razvita. Manj razvita podjetja si tega ne morejo privoščiti niti s finančnih niti z organizacijskih razlogov. Oddelki, ki bi se ukvarjali s snovanjem izdelka, so po navadi ločeni od proizvodnje, hkrati pa delujejo usklajeno s proizvodnjo, to pa zahteva višjo stopnjo organizacije. Zaradi tega

danes še vedno prevladujejo eksperimentalne metode, ki podajo proizvajalcu vse potrebne podatke, poleg tega je to cenejši način preizkušanja. Če pa pogledamo širše, je možno poiskati mnoge prednosti sodobnega konstruiranja. Ena izmed teh je npr. optimalna porazdelitev materiala v izdelku in s tem pocenitev proizvodnje oz. cene izdelka.

Ker se za različne izdelke izvajajo različni načini preizkušanja, je izdelek potrebno opredeliti glede na vrsto pohištva (mize, stoli, postelje), okolje uporabe (interier, eksterier) in vrsto uporabe (domača, nedomača). Za primer lahko vzamemo stol, ki ga uporabljamo v domači kuhinji štiričlanske družine, ki obeduje povprečno trikrat na dan. Takšnemu stolu zagotovo ni potrebno dosegati takšnih rezultatov kot stolu, ki se ga uporablja v gostinskem lokalu s povprečno 50% zasedenostjo skozi dan. Že zaradi same frekvence uporabe je potrebno ta dva stola različno obravnavati. Predvsem se tu razlikujejo uporabljene sile, cikli in trajanja preizkusa.

2.4 KAKOVOST IZDELKA IN STANDARDI

V Sloveniji velika večina veljavnih standardov temelji na evropskih (EN) in mednarodnih (ISO) standardih. Prevzeti evropski ali mednarodni standard Slovenija dopolni s kratico SIST, tako dobi končno oznako SIST EN ali SIST ISO. Slovenski inštitut za standardizacijo je tudi na področju lesarstva oz. pohištva prevzel praktično že vse evropske standarde s tega področja (www.sist.si).

Kakovost izdelka in standarde se preverja v laboratorijih. Pri diplomski projektu smo preizkuse izvajali v laboratoriju za preizkušanje pohištva na Oddelku za lesarstvo.

Laboratorij za preizkušanje pohištva na Oddelku za lesarstvo je bil eden prvih, ki je začel sodelovati in se povezovati z lesno industrijo. Dejavnost laboratorija, vezana na potrebe lesnopredelovalne industrije in drugih naročnikov, obsega preizkušanje in ugotavljanje skladnosti. Vsa preizkušanja se izvajajo v skladu z zahtevami evropskih (EN) standardov, ki so hkrati tudi nacionalni-slovenski (SIST) standardi. Po potrebi oz. na osnovi dogovora preizkušanja potekajo tudi po metodah mednarodnih (ISO) standardov ali nacionalnih standardov neevropskih držav.

Uporaba standardov ni obvezna. Zakon o standardizaciji pravi, da je uporaba prostovoljna, razen če je obvezna uporaba določena s predpisom.

Z uporabo standardov si proizvajalec omogoči doseganje nekaterih ciljev:

- zagotavljanje kakovosti proizvodov, procesov in storitev,
- zvišanje ravni varnosti, varovanja zdravja in okolja,
- zagotavljanje smotrne izrabe dela, materiala in energije,
- izboljšanje proizvodne učinkovitosti z obvladovanjem raznolikosti, združljivosti in zamenljivosti,
- pospeševanja mednarodne trgovine in preprečevanje ovir pri trgovanju.

2.4.1 Standardi

Standardi razvrščajo pohištvo v več skupin, ki se ločujejo po namenu uporabe in prostoru, kjer ga uporabljamo. Standardi obravnavajo pohištvene izdelke po skupinah, ki se oblikujejo po kriterijih, kot npr.:

- ali je izdelek namenjen uporabi doma ali uporabi v prostorih posebnega namena,
- funkcija, ki jo mora izdelek opravljati,
- kraj, kjer se pohištvo uporablja,
- prilagojenost ciljnim skupinam uporabnikov,
- posebne varnostne zahteve itd.

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

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

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

Ločeno obravnavamo naslednje skupine pohištva:

- Pohištvo za domačo uporabo,
- kuhinjsko pohištvo,
- pisarniško pohištvo,
- pohištvo za vzgojno izobraževalne ustanove,
- otroško pohištvo,
- zunanje pohištvo.

2.4.2 Ugotavljanje skladnosti

S tem, ko je proizvajalec izdal izdelek v skladu s standardi, je opravil šele polovico dela. Da so bila določila standardov upoštevana, je potrebno preveriti in dokazati. Postopek takega preverjanja imenujemo ugotavljanje skladnosti. Tako kot lastnosti izdelka, tako tudi načine in metode ugotavljanja skladnosti (preizkušanje) določajo standardi. Skladnost

lahko ugotavlja oz. preverja za to usposobljena institucija, ki je nepristranska in neodvisna. Največkrat so to laboratoriji v sestavi raziskovalnih institucij, zavodov ali univerz.

Rezultati preizkušanja so dokumenti prikazani v »Poročilu o preizkušanju«. Vsi izdelki, ki so uspešno prestali celoten postopek preizkušanja, lahko pridobijo posebno spričevalo oz. listino, tj. CERTIFIKAT O SKLADNOSTI.

Certifikat o skladnosti je listina – dokument, predvsem reprezentančnega in promocijskega značaja, ki po vsebini povzema glavne ugotovitve preizkušanja. Vsebina certifikata vključuje vse osnovne ugotovitve poročila o preizkušanju, s poudarkom na delih, ki imajo večji promocijski pomen (ime izdelka ali programa, proizvajalec, nazivi standardov, izvajalec preizkušanja itd.). Istovetnost in sledljivost navedb sta zagotovljeni z navajanjem zaporedne številke certifikata in številke poročila o preizkušanju. Vse navedbe so v slovenskem in angleškem jeziku. Oblikovno je certifikat prilagojen osnovnemu namenu, tj. promociji izdelka in proizvajalca. Sestavni del certifikata je tudi barvno opazen znak (slika 6), ki se imenuje znak skladnosti (Sitar, 2010).



Slika 6: Znak skladnosti

3 MATERIAL IN METODE

Uporabljeni materiali pri testiranju so bile lupine stolov podjetja Javor Pivka d.d.

3.1 LUPINE

Pri diplomski nalogi smo preizkusili 9 lupin različnih dimenzij, materialov in oblik, izdelanih v enakem kalupu za stiskanje.

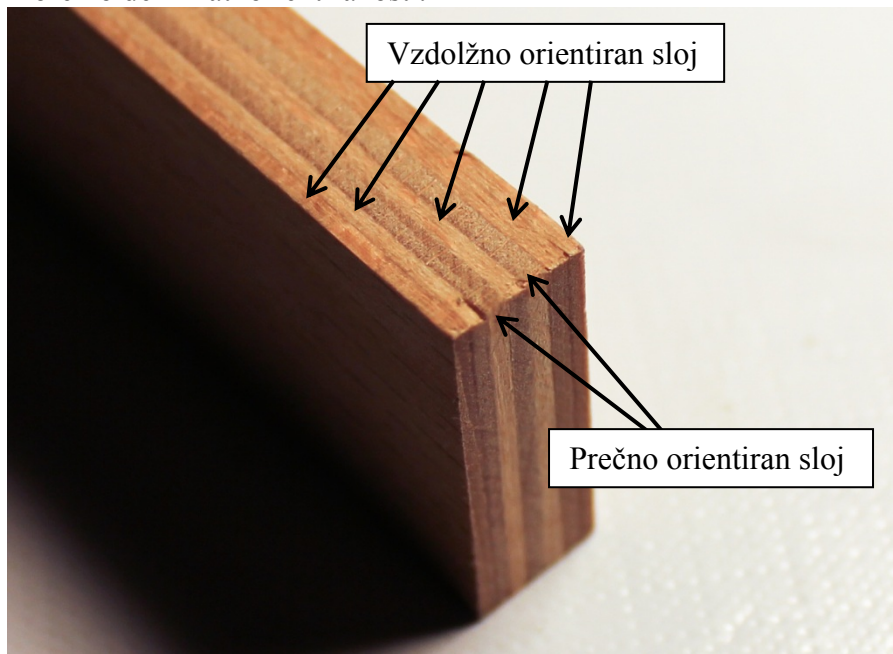
Lupina: A, B, C, D, E, F, G so bile izdelane iz 7-slojne bukove vezane plošče debeline $9,5 \pm 0,4$ mm. Za notranje sloje (5 slojev) so uporabili bukov furnir debeline 1-1,5 mm, za zunanja dva sloja pa plast kvalitetnejšega bukovega furnirja debeline 1 mm.

Lupini H in I sta imeli namesto zunanjega sloja bukovega furnirja, MDF sloj. Poleg tega so se lupine razlikovale še v površinski obdelavi.

Plošče so zlagali po zaporedju:

1. Zunanji sloj (kvalitetnejši bukov furnir oz. MDF plošča),
2. pet notranjih slojev,
3. zunanji sloj (kvalitetnejši bukov furnir oz. MDF plošča).

Zložena plošča je imela 5 plasti orientiranih vzdolžno (prvi in drugi na obeh straneh in notranji) in dve prečno (slika 7). Pri lupini H in I je bil zunanji sloj iz MDF-a, zato ne moremo definirati orientiranosti.



Slika 7: Prikaz orientiranosti slojev vezane plošče

Za vezivo plošče so uporabili urea-formaldehidno lepilo, katerega so nanесли z dvostranskim, valjčnim nanašalnim strojem na vsak drugi sloj. Tako zloženo ploščo so nato vstavili v visoko-frekvenčno hidravlično stiskalnico (slika 8), ki je imela stiskalni plošči (kalup) v obliki naših lupin. Tam se je lupina oblikovala, lepilo je utrdilo in zadržalo obliko. Po končanem stiskanju se je lupine kondicioniralo, zložilo na palete (slika 9) in odpeljalo do rezkalnega stroja, kjer so stol obrezali na končno obliko lupine (slika 10). Sledila je ročna obdelava robov in brušenje, pri nekaterih še površinska obdelava.



Slika 8: Stiskanje plošče v stiskalnici



Slika 9: Neobdelane ukrivljene VP



Slika 10: Rezkar

Preglednica 1: Oznake, slike in opis lupin

Lupina	Slika	Opis
A		Prva oblika lupine, ki se pri našem diplomskem projektu omenja kot lupina A, se komercialno prodaja pod imenom VAL/TAC SIDE. Uporablja se tudi za stol z imenom VAL/TAC ARM. Lupina vsebuje nastavke za pritrnitev dodatne oblazinjene plošče na sedišču.
B		Lupina B ima v hrbtnem naslonu izrezano 5x5 mrežo iz kvadratnih vzorcev. Vsebuje nastavke za pritrnitev dodatne oblazinjene plošče na sedišču. Lupina B ima izmed vseh lupin najširši vrat hrbtnega naslona.

C		Lupina C je ima obliko z najožjo širino vratu hrbtne naslona. Vse linije na lupini so speljane z večjimi radiji, stol je podjetje prodajalo pod komercialnim imenom VAL/T2A SIDE.
---	---	--

Lupina	Slika	Opis
D		Lupina D ima na hrbtnem naslonu izreze v obliki loka, ki se proti sedišču lupine manjšajo, dokler ne preidejo v majhen krog. Vse linije lupine so speljane z večjimi radiji kot pri lupini C. Na sedežni ploskvi so nastavki za pritrditev dodatne tapecirane plošče.
E, F, G		Lupine E, F in G bomo opisovali skupaj, saj so si identične po izdelavi in obliki. Lupina se prodaja pod komercialnim imenom VAL A SIDE, VAL B SIDE in VAL C ARM. Lupina je robustne oblike in daje občutek trdnosti, hrbtni naslon je jajčaste oblike, linije so speljane večjimi radiji.
H, I		Tudi lupini H in I bomo opisovali skupaj, saj sta si identični po izdelavi in obliki. Oblika je identična obliki lupin E, F in G. Od naštetih lupin se razlikujeta samo po zunanjih dveh plasteh vezane plošče, ki sta iz MDF-a.

3.2 MERITVE DIMENZIJ IN OZNAČEVANJE LUPIN

Pri opravljanju testiranj so dimenzije zelo pomemben faktor. Da lahko dobljene rezultate »preizkušanca A« primerjamo z rezultati »preizkušanca B«, moramo pri vsakem dobljenem rezultatu vedeti, kakšne so bile dimenzije preizkušanca. Pomembne so predvsem dimenzije delov preizkušanca, kjer se generirajo največje napetosti. V našem primeru so to debelina vezane plošče lupine, kot med sedežno ploskvijo in hrbtnim naslonom, širina hrbtnega vratu in točka, kjer lupino obremenjujemo. To točko natančno narekuje standard SIST EN 1022:2006 in jo je potrebno označiti po standardni šabloni (slika 13) preden se lotimo preizkušanja.

Dimenzije je potrebno izmeriti še preden se lotimo preizkusov, saj so med izvajanjem obremenitve možne deformacije lupin.

Pri merjenju smo uporabili tračni meter, kljunasto merilo in kotomer. Ko smo merili s tračnim metrom, smo pazili, da smo merili pravokotno oziroma vzporedno s tlemi.

Ker so lupine izdelane industrijsko po nekem modelu, večjih razlik v osnovnih dimenzijah nismo pričakovali. Razumljive so bile razlike pri dimenzijah, kot so širina vratu in višina zgornjega roba hrbtnega naslona zaradi različnih končnih oblik lupin. Ker debelina plošč lupin neposredno vpliva na mehanske lastnosti stola, moramo ta faktor izrecno upoštevati.

Izjemoma smo merili tudi širino vratu hrbtnega naslona oziroma del, kjer sedežna ploskev prehaja v hrbtni naslon, kar po standardu ni potrebno meriti. Širina tega vratu je poleg debeline pomemben faktor. Oba parametra imata velik vpliv na končne rezultate.



Slika 11: Definiranje dimenzij stola



Slika 12: Definiranje kotov stola

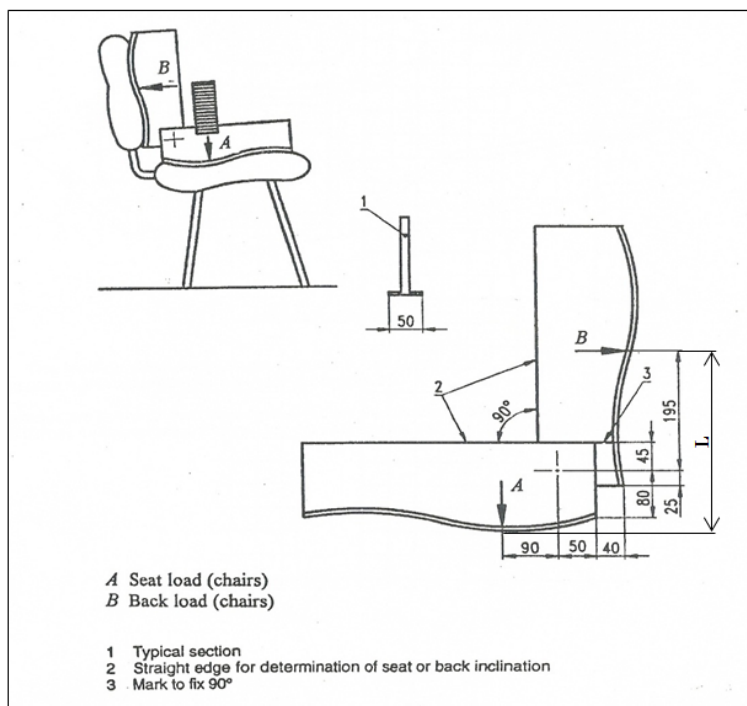
Tako kot je potrebno izmeriti vse dimenzije je potrebno tudi pravilno označiti točke, ki jih narekuje standard SIST EN 1022:2006. Točke je potrebno določiti, zato, da pri vseh lupinah med preizkušanjem izvajamo obremenitev na istem mestu.

Standard predpisuje različne lokacije točk za različno obremenjevanje:

- obremenjevanje naslona rok,
- obremenjevanje nog,
- obremenjevanje hrbtne naslona...

V našem primeru je bilo potrebno označiti dve točki, in sicer točko A, ki je bila na sedežni ploskvi in točko B, ki se je nahajala na ploskvi hrbtne naslona.

Poleg teh dveh točk smo morali označiti vsako lupino s svojo oznako, tako da se pri nadaljnjih testiranjih med seboj ne bi pomešale (slika 14).



Slika 13: Načrt za izdelavo šablone za označevanje točk obremenitev



Slika 14: Označevanje stola

3.3 PREIZKUŠANJE LUPIN

Opravili smo preizkušanja glede na standard SIST EN 15373:2007. Poleg standardnih metod so bile pri testiranju uporabljene tudi prilagojene standardne metode, ki omogočajo boljšo oz. lažjo analizo konstrukcije. Pri teh metodah smo se poizkusili približati standardnim metodam, medtem pa dobiti želene rezultate.

Vse preizkuse smo opravili v Laboratoriju za preizkušanje pohištva na Oddelku za lesarstvo.

Preglednica 2: Prikaz uporabljenih sil in standardov pri določenem preizkusu

Preizkus	Uporabljen standard	Uporabljene sile	Število ponovitev
Statična obremenitev naslona I.	prilagojen SIST EN 15373:2007	560 N	1 (standard: 10)
Preizkus trajnosti	SIST EN 15373:2007	300 N	100.000
Statična obremenitev naslona II.	prilagojen SIST EN 15373:2007	560 N	1 (standard: 10)
Porušitveni preizkus	/	max	1
Preizkušanje z odvzemom materiala	prilagojen SIST EN 15373:2007	840 N	8

3.3.1 Statična obremenitev naslona I.

Pri preizkušanju s statično obremenitvijo smo izvajali obremenitev na hrbtni naslon lupin. To fazo smo izvajali zato, da bi pridobili podatke o odzivu lupin na obremenitev. S tem smo tudi ugotavljali skladnost lupine s standardom SIST EN 15373:2007.

Statična obremenitev posnema neko normalno sedenje na stolu, pri katerem se s hrbtom naslonimo na hrbtni naslon. Medtem ko izvajamo statično obremenitev se v materialu formirajo napetosti zaradi katerih lahko v preizkušancu pride do deformacije ali porušitve. Če bo prišlo do deformacije (plastične ali elastične) je zelo odvisno od materiala.

Ko obremenjujemo les, ne moremo natančno definirati, kje bo prišlo do deformacije in pri kolikšni sili se bo porušil. To je zaradi tega, ker je les anizotropen in nehomogen material in se mehanske lastnosti med različnimi vrstami lesa močno razlikujejo. Variiranje mehanskih lastnosti se kaže tudi pri lesu iste vrste.

Tako je potrebno pri konstruiranju izdelka to tudi upoštevati.

Ker so lupine že bile uspešno umeščene na trg smo predvidevali, da bodo stoli preizkuse prestali.

3.3.1.1 Izvedba statične obremenitve I.

Kot narekuje standard, je sila, s katero smo izvajali obremenitev, znašala 560 N. Obremenitev naj bi po standardu izvedli 10x in jo zadržali za 10 ± 2 s. Ker je bil naš

namen ugotoviti odziv lupine na obremenitev, je bilo dovolj če smo obremenitev izvedli samo enkrat.

Preizkus smo izvajali na univerzalni testirni napravi Zwick. To je naprava, s katero lahko medtem, ko apliciramo silo na objekt, opravljamo meritve deformacije preizkušanca. Merili smo silo, deformacijo in čas. Testirni stroj je povezan z osebnim računalnikom, na katerem se preko programa TestXpert shranjuje in obdeluje meritve deformacije v odvisnosti od sile.

Na testirnem stroju se testira upogibno, strižno, tlačno in natezno trdnost različnih materialov. Mehanske lastnosti materialov se preizkuša tako, da se izdelata preizkusne vzorce, ki so takih dimenzij in oblik kot jih standard za preizkušanje določene mehanske lastnosti narekuje.

V našem primeru smo na testirnem stroju preizkušali cele lupine: A, B, C in D. Zaradi tega je bilo potrebno izdelati nosilec, na katerega je bila lupina med testiranjem vpeta.

Ker testirni stroj vsebuje mehanizme vpenjanja za standardne oblike preizkušancev, je bilo vpetje v napravo ena izmed težjih nalog, saj testirni stroj ni imel nobenega ustreznega nosilnega elementa, na katerega bi lahko celo lupino vpeli. Zato smo improvizirali z obstoječim nosilnim elementom, na katerega smo vpeli dve kovinski plošči. Ti dve plošči sta služili kot ploskev, na katero smo s svorami pritrdili lupino (Slika 15).



Slika 15: Vpenjanje lupine v testirni stroj Zwick

Telo, s katerim smo izvajali obremenitve, je odstopalo od standarda. Vendar je bil ta del odstopanja irelevanten, saj je bila naša naloga primerjati lupine med seboj in smo z uporabo vedno iste naprave in pritisknega telesa dobili potrebne podatke.

Ko je bila lupina vpeta, smo morali nosilec skupaj z lupino premakniti do točke B, kjer je testirni stroj s pritisknim telesom deloval na hrbtni naslon.

Nato je bilo potrebno nastaviti parametre izvajanja obremenitve. Hitrost pomika pritisnega telesa smo nastavili na 15 mm/min, maksimalno silo na 560 N in v primeru porušitve še dovoljen odstotek padca sile 20 %.

Ko je bilo vse pripravljeno, smo vklopili napravo, ki je začela izvajati silo in si zapisovati podatke. Ko je dosegla pritisno silo 560 N, se je naprava vrnila v prvotno točko. Tako smo ponovili pri vseh štirih lupinah in dobili podatke, katere smo prenesli v program Excel. V Excelu smo podatke pretvorili v grafe, iz katerih je najboljše primerjati in analizirati dobljene meritve deformacij lupin med obremenjevanjem.

3.3.2 Preizkus trajnosti

Preizkus trajnosti je dinamično obremenjevanje hrbtnega naslona. To je delovanje določene sile na preizkušane, pri katerem sile ne zadržimo kot pri statični obremenitvi, ampak jo večkrat ponovimo.

S tem mehanskim preizkusom simuliramo dejansko obremenitev v praksi. V preizkusu skrajšamo obremenitve z izmenično delujočo silo, ki jo stol utrpi v več letih na nekaj dni. Tak preizkus nam hitro pokaže napake konstrukcije stola oz. lupine.

3.3.2.1 Izvedba preizkusa trajnosti

Pri izvedbi preizkusa trajnosti smo se odločili, da preizkus opravimo po SIST EN 15373:2007.

Oprema za preizkus:

- cilinder s komprimiranim zrakom in pritisno ploščo oz. pritisnim telesom, ki v horizontalni smeri ustvarja pritisno silo 300 N,
- penasta podloga,
- tri gumijaste podloge za uteži,
- tri 35 kg uteži,
- naprava za štetje ciklov.

Trdnostne in trajnostne zahteve standarda SIST EN 15373:2007:

Stol opravi preizkus, če po končanem preizkušanju:

- na preizkušancu ni nobenih lomov,
- ni vezi, ki bi bila razrahljana,
- na preizkušancu še vedno lahko sedimo,
- preizkušane ne izgubi stabilnosti.

Pri preizkusu trajnosti smo uporabili lupino A, B, C in D. Ostalih lupin nismo preizkušali, ker se po preizkusu trajnosti na lupinah ni pojavila nobena sprememba.

Lupine so imele na spodnji strani sedežnega dela privijačeno podnožje. Vsa podnožja so bila istih dimenzij.

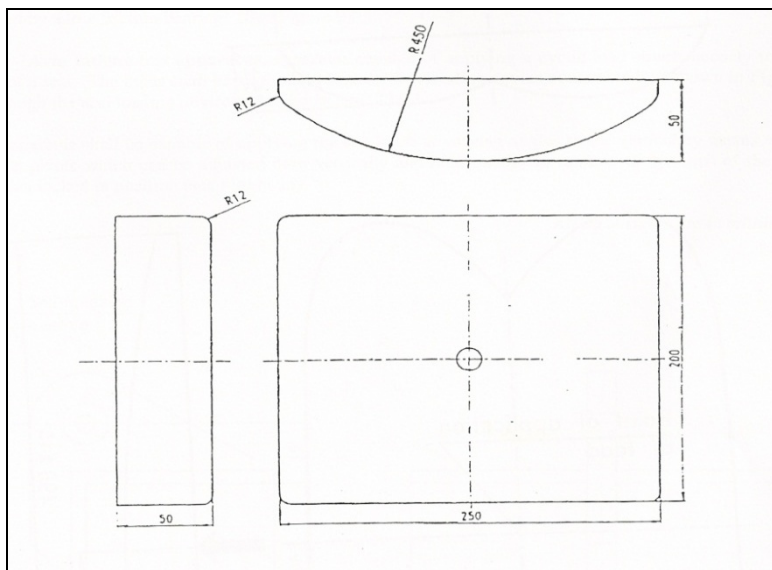
Pred izvajanjem preizkusa je bilo potrebno našteto opremo montirati tako, da se je obremenitev izvajala po zahtevah standarda SIST EN 15373:2007. Podnožje z lupino (stol) je bilo potrebno fiksirati tako, da se med izvajanjem obremenitve ni premikal. To smo dosegli tako, da smo privijačili v tla letvice, ki so se prilegale pozicijam nog stola in tako omejili njegovo gibanje. Omejitev gibanja pa ni zadostovala, saj smo silo izvajali pravokotno na ploskev hrbtnega naslona, zato smo morali stol obtežiti še v vertikalni smeri, in sicer smo sedežno ploskev obtežili s 95 kg. Da se uteži med seboj ne bi premikale, smo med njih dali gumijaste podloge.



Slika 16: Postavitev opreme in stola

Pritisk na hrbtni naslon se izvaja preko pritisne plošče s horizontalno silo 300 N. Pritisna plošča je izdelana iz masivnega lesa po standardu SIST EN 1728:2002 (slika 17).

Da površine lupine ne bi bile poškodovane, smo med pritisnim telesom in hrbtnim naslonom vstavili še penasto podlogo.



Slika 17: Pritisna plošča (SIST EN 1728:2002)

Cikel zaporednega izvajanja smo nastavili na 50.000 ponovitev. Po prvem ciklu smo pregledali, ali so na lupini nastale kakšne spremembe oziroma deformacije in nato izvedli dodaten cikel in ponovno pregledali stol. Na koncu preizkušanja je bilo na vsakem stolu opravljenih 100.000 ponovitev.

Pri pregledovanju med cikli smo bili pozorni na najbolj obremenjen del naslona. To je bil spodnji del, kjer naslonski del lupine prehaja v sedežnega. Pozorni smo bili tudi na spremembo kota med sedežno ploskvijo in hrbtnim naslonom. To smo preverjali tako, da smo predhodno določili fiksno točko, od koder bomo merili razdaljo do naslona. Fiksno točko je predstavljala kovinska cev, ki se je nahajala za hrbtnim naslonom lupine. Pri vsakem ciklu smo preverili to dimenzijo in bili pozorni na kakršnokoli spremembo (slika 18).



Slika 18: Merjenje distance med fiksno točko in naslonom

3.3.3 Statična obremenitev naslona II.

Statično obremenitev naslona II. smo izvedli na lupinah A, C, D po končani statični obremenitvi naslona I. ter dinamični obremenitvi naslona. Ta del smo ponovili, da smo lahko preverili, če je prišlo med izvajanjem preizkusa trajnosti do kakršnekoli spremembe v materialu.

3.3.3.1 Izvedba statične obremenitve naslona

Postopek je bil enak kot smo ga opisali v poglavju 3.4.1.1.

3.3.4 Porušitveni preizkus

Pri porušitvenem preizkusu smo preizkušali trdnost lupin. Preverjali smo kolikšno silo, aplicirano na hrbtni naslon lupine zdržijo. Uporabili smo vse lupine razen lupine D, katero smo potrebovali za kasnejše preizkuse. Ta preizkus smo izvajali, da bi ugotovili, koliko so lupine predimenzionirane, kakšna je povezava med obliko lupine in njeno trdnostjo ter kako vpliva debelina plošče, iz katere je lupina narejena na samo trdnost.

3.3.4.1 Izvajanje preizkusa

Postopek vpetja in izvajanje obremenitve je bil enak kot smo ga opisali v delu 3.4.1.1. Univerzalni testirni stroj smo nastavili na pomik 15 mm/min, medtem stroj ni bil omejen z maksimalno silo, tako kot je bilo to pri statičnem preizkusu naslona I. in II. Testirni stroj je prenehal z izvajanjem obremenitve, ko je obremenitev na preizkušanca padla za 40 %.

3.3.5 Preizkus z odvzemom materiala

V delu preizkusa z odvzemom materiala smo preizkušali lupino D. Testirali smo, da bi ugotovili, koliko materiala lahko lupini odvezamo na vratu hrbtnega naslona, da bi ta še vedno ustrezala standardni statični obremenitvi.

3.3.5.1 Izvajanje preizkusa z odvzemom materiala

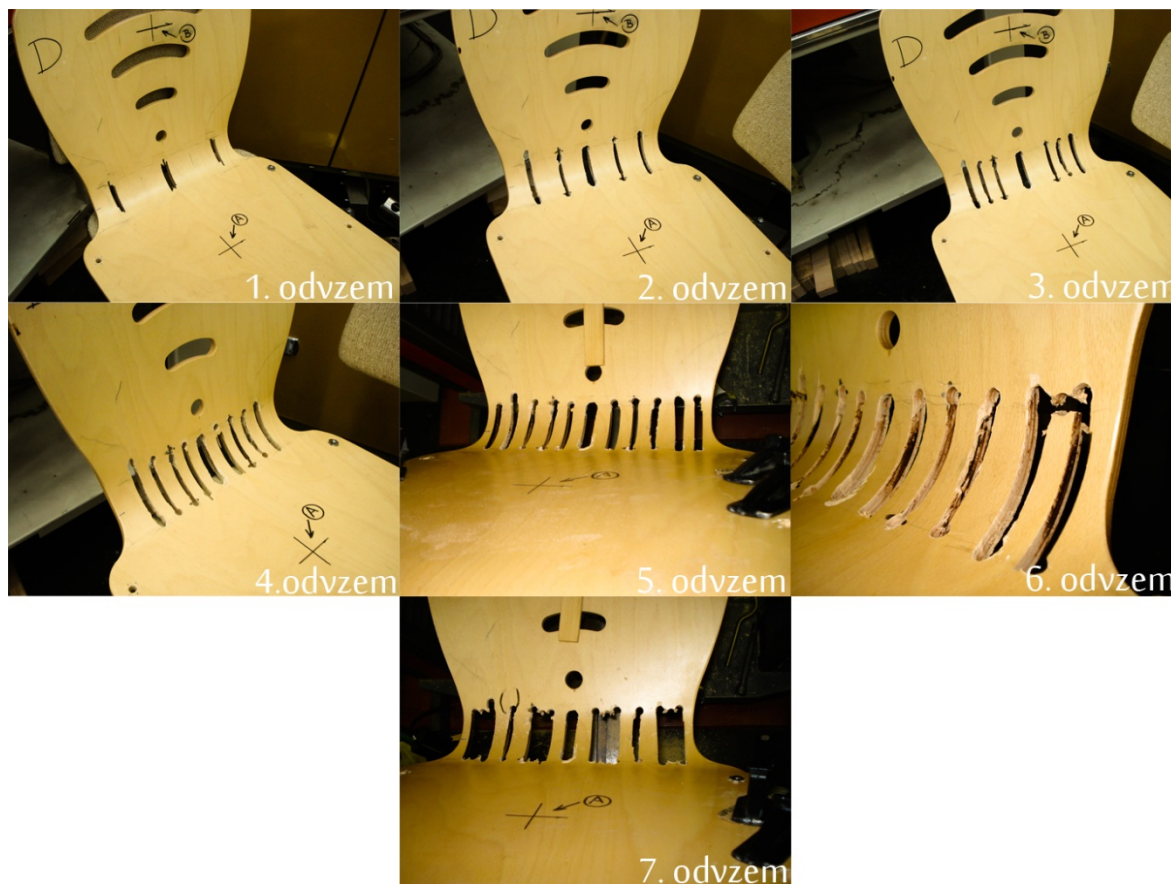
Preizkus smo izvajali na univerzalni testirni napravi z enakim vpetjem kot smo ga opisali v točki 3.4.1.1. Preizkušali smo samo lupino D, saj smo ostale preobremenili in so se v porušitvenem preizkusu hrbtni nasloni porušili.

Namen preizkusa z odvzemom materiala je bilo pridobiti rezultate, ki bodo pokazali koliko je lupina v delu prehoda sedežne ploskve v hrbtni naslon predimenzionirana. S tem podatkom lahko raziščemo dodatne možnosti konstrukcijskih oz. oblikovalskih rešitev lupine.

Da bi lupina po tem, ko smo prišli do porušitve, zagotovo ustrezala standardom, smo silo nastavili na 840 N, kar je več (faktor 1,5) kot standard SIST EN 15373:2007 zahteva (560 N).

Lupino smo vpeli na nosilec, izvedli obremenitev in jo oslabili tako, da smo vzeli del materiala na najbolj kritičnem delu ter ponovno izvedli obremenitev (slika 19). To smo ponavljali, dokler nismo odvzeli toliko materiala, da se je lupina porušila. Material smo odvezemali s pomočjo krožnega žagalnega stroja in ročnega električnega vrtalnika.

Za analizo je bilo potrebno slediti širini odvzetega materiala.



Slika 19: Koraki odvzemanja materiala pri lupini D

3.4 PREIZKUS STRIŽNE IN UPOGIBNE TRDNOSTI VEZANE PLOŠČE

Na rezultate je poleg drugih faktorjev močno vplival material. Material naj bi bil pri vseh lupinah enak (glej opis na strani 12). To je predstavljalo 7 slojev lepljenega bukovega furnirja debeline od 1 do 1,5 mm, kar ustreza skupni debelini plošče približno 9,5 mm. Izjemi sta primera H in I, kjer so zunanje sloje predstavljale plasti MDF plošče. Plošče naj bi bile pri vseh stolih podobne kakovosti, vendar smo v porušitvenem preizkusu ugotovili, da temu ni tako.

Rezultati, ki smo jih dobili pri porušitvenem preizkusu so neposredno povezani s kakovostjo vezane plošče. Na kakovost vezane plošče vplivajo mehanske lastnosti kot so: tlačna, natezna, strižna in upogibna trdnost materiala.

Ker nas je zanimala povezava mehanskih lastnosti materiala z dobljenimi rezultati iz porušitvenega preizkusa, smo izvedli preizkus:

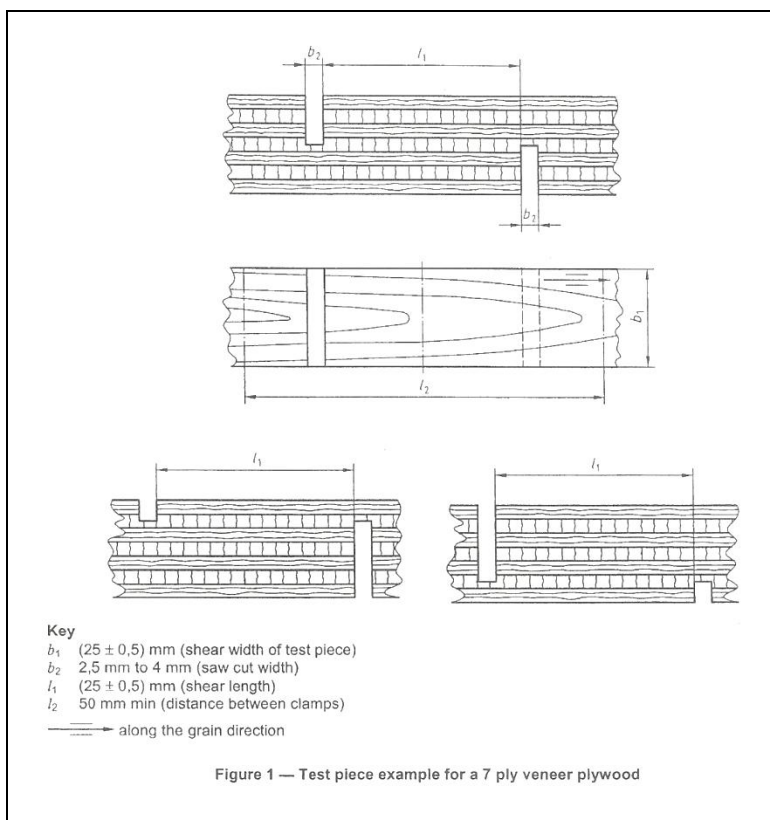
- strižne trdnosti,
- upogibne trdnosti.

3.4.1 Izvedba preizkusa strižne trdnosti lepilnih spojev vezane plošče (kvalitete zlepljenosti)

Pri preizkušanju strižne trdnosti lepilnih spojev smo uporabili standard SIST EN 314-1:2005. To je slovenski standard za Vezan les – Kakovost zlepljenih spojev – 1.del: Preizkusne metode.

Standard narekuje, kako morajo biti vzorci izdelani (slika 20) in kako natančno morajo biti izvedene meritve. Vzorci smo izdelali iz lupine A, C, F, G in H. Ostalih nismo uporabili zaradi premajhne količine materiala za izdelavo vzorcev (lupina B in D) oz. zaradi podobnih rezultatov iz porušitvenega preizkusa (lupina E in I).

Lupine smo razrezali na manjše dele, da smo iz njih lahko izdelali natančno take vzorce kot jih narekuje standard. Širina preizkušancev mora biti 25 mm, velikost strižne površine pa 25x25 mm. Naredili smo vzorce velikosti 120x25 mm², zarezali smo tako, da smo strižni obremenitvi izpostavili površino drugega sloja. Za to smo se odločili, ker se je razplastitev pri preizkusu s porušitvijo največkrat pojavila v drugem sloju.



Slika 20: Načrt za izdelavo vzorcev za preizkus strižne trdnosti

Tako izdelane vzorce (slika 21) smo vsakega posebej vstavili v univerzalni testirni stroj Zwick. Nato smo nastavili parametre izvajanja strižnega preizkusa in preizkusili vse vzorce.

Med izvajanjem sile je naprava zapisovala vse meritve. Na koncu smo dobili graf, ki je prikazoval strižno napetost v odvisnosti od časa izvajanja sile. Iz grafa smo lahko razbrali, katere lupine so imele bolj homogeno sestavo materiala in kolikšno strižno napetost so vzorci prenesli.



Slika 21: Vzorec za preizkus strižne trdnosti

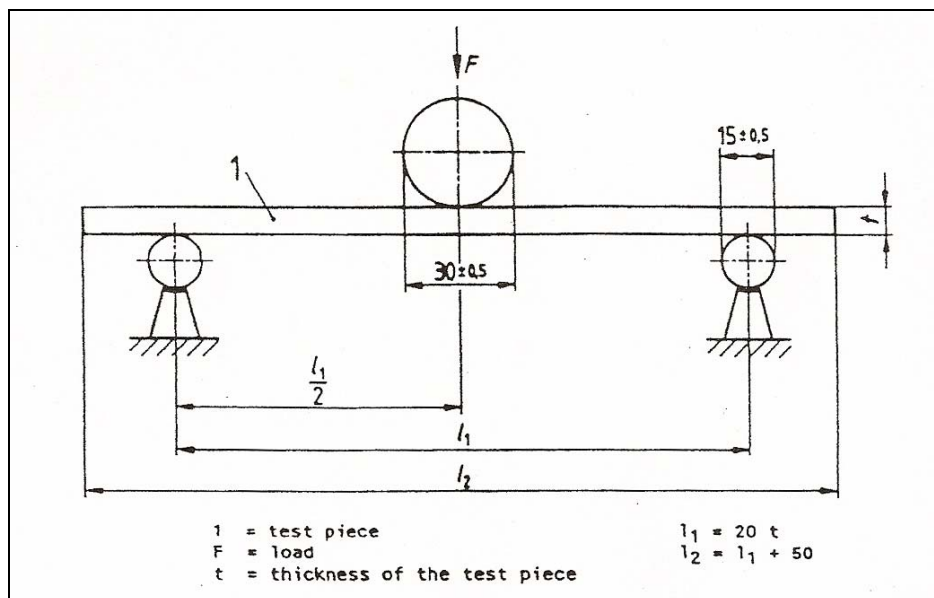
3.4.2 Izvedba preizkusa upogibne trdnosti vezane plošče

Za izvedbo preizkusa upogibne trdnosti smo uporabili standard EN 310:1993.

Vzorci morajo biti izdelani tako, da ima polovica vzorcev zgornjo plast furnirja orientirano vzdolžno, polovica vzorcev pa prečno. Mi tega nismo upoštevali, saj smo vedeli kako so bile naše lupine obremenjene, zato smo naredili vse vzorce tako, da imajo zgornje plasti orientirane vzporedno z dolžino vzorca.

Dolžina vzorca mora biti dvajsetkratna vrednost debeline vzorca + 50 mm z maksimalno dolžino 1050 mm in minimalno 150 mm. Širina vzorcev naj bi bila 50 mm, mi smo uporabili 25 mm, saj smo bili zaradi neravnih površin lupine s količino materiala omejeni. Razdalja med podpornima valjema mora biti dvajsetkratna vrednost debeline preizkušancev. Premer podpornih valjev mora biti $15 \pm 0,5$ mm, premer pritisknega valja, s katerim izvajamo silo pa $30 \pm 0,5$ mm (slika 22). Napravo smo nastavili tako, da pride do porušitve v 60 ± 30 s.

Ko smo vse vzorce pripravili, smo izvedli preizkus.



Slika 22: Nastavitve podpor in pritisknega objekta

4 REZULTATI

4.1 MERJENJE DIMENZIJ LUPIN

Preglednica 3 Prikazuje dobljene rezultate iz merjenja dimenzij lupin.

Preglednica 3: Dimenzije preizkušenih stolov (A, B, C, D) oz. lupin (E, F, G, H, I)

DIMENZIJE [mm]	PRESKUŠENE RAZLIČICE LUPIN								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Višina sedeža	435	435	430	430	/	/	/	/	/
Globina sedeža	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Širina sedeža	430	430	426	427	430	428	426	427	428
Višina zgornjega roba hrbtnega naslona	440	440	400	400	435	435	430	430	430
Kot sedeža	1°	1°	1°	1°	/	/	/	/	/
Kot hrbtnega naslona	102°	103°	102°	102°	102°	101°	102°	102°	102
Debelina vezane plošče	9	9,2	9,3	9,3	9,3	9,8	9,4	9,9	9,5
Širina vratu hrbtnega naslona	360	410	210	303	345	344	345	345	345

V preglednici 3 so vpisani izmerki osnovnih dimenzij. Višina sedeža, globina sedeža, širina sedeža, višina zgornjega roba hrbtnega naslona, kot sedeža in kot hrbtnega naslona so bili irelevantni pri interpretiranju dobljenih rezultatov iz preizkusov. Debelina vezane plošče in širina vratu hrbtnega naslona sta bili neposredno povezani z dobljenimi rezultati, tako da je podrobnejša analiza in upoštevanje teh dveh dimenzij pri analizi zelo pomembna.

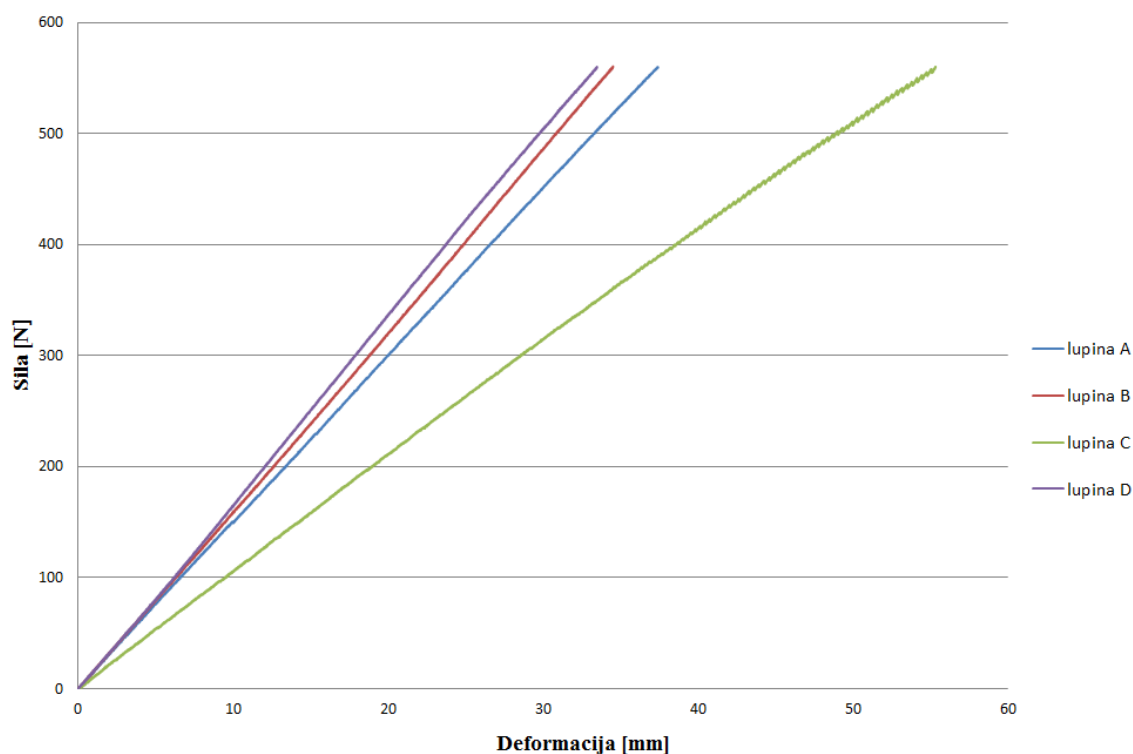
Kot vidimo je debelina vezane plošče od lupine do lupine zelo nihala. Debelina najtanjše vezane plošče (lupina A) se je od najdebelejše (lupina H) razlikovala za 0,9 mm, kar predstavlja približno 9,6 % povprečne debeline vezane plošče.

Širina vratu hrbtnega naslona je bila odvisna od modela lupine. Med lupinami se je ta dimenzija najbolj razlikovala, saj je bila to ena izmed edinih dimenzij, s katero v podjetju spreminjajo obliko lupine. Njeno upoštevanje pri rezultatih preizkusov je bilo zelo pomembno, saj so bile razlike tudi do 150 mm.

Vse dimenzije so imele relativno majhna odstopanja. Vzrok za to je bila enaka oblika kalupa, v katerem so bile izdelane lupine. Višina sedeža, globina sedeža, širina sedeža, višina zgornjega roba hrbtnega naslona, kot sedeža in kot hrbtnega naslona pa so ergonomsko pogojene, tako bi bilo spreminjanje teh dimenzij nesmiselno in po možnosti škodljivo izdelku, saj bi zaradi neustreznih mer lahko bil neudoben za uporabnika.

4.2 STATIČNA OBREMENITEV NASLONA I.

Slika 23 je graf, ki prikazuje, kako se je naslonski del lupin odzival na delovanje sile. Na osi x skala prikazuje deformacijo v mm, na y osi pa je skala sile v N.



Slika 23: Graf preizkusa statične obremenitve naslona I.

Iz vidika togosti se je najbolj obnesla lupina D. Njena deformacija pri obremenitvi je znašala 33,5 mm. Lupina B je v primerjavi z lupinama A in C veliko bolj toga, deformacija je znašala 34,5 mm. Lupina A se je pri 560 N deformirala za 37,4 mm, lupina C pa za 55,3 mm.

Razumljivo je bila deformacija lupine C največja, saj je imela izmed vseh preizkušenih lupin najožji vrat hrbtnega naslona. Če pogledamo širino vratu hrbtnega naslona, bi se morala najmanj deformirati lupina B, nato A in D.

Togost lupine je dobra lastnost, če smo prepričani, da je tudi trdna. Poleg togosti pa zahtevamo, da je lupina tudi dovolj elastična, da je sedenje na njej udobno. Obenem želimo, da lupina ustreza standardom in da se ob vplivu sile ne bi porušila. Sredino med togostjo, elastičnostjo in trdnostjo moramo z materialom iz katerega je stol narejen tudi doseči, če hočemo narediti kakovostno lupino, na kateri bo sedenje udobno.

Pri preizkušanju so vse lupine kazale na ustrezanje standardu SIST EN 15373:2007.

4.3 PREIZKUS TRAJNOSTI

Preglednica 4 prikazuje rezultate meritev, ki smo jih izvedli pri preizkusu trajnosti (dinamičnem obremenjevanju). Preglednica je razdeljena na relativno spremembo naklona, ki smo jo merili brez izvajanja obremenitve in na relativno spremembo naklona, ki smo jo merili pri obremenitvi. Relativna sprememba distance je izračunana glede na prvo meritev pri 0 ponovitvah.

Meritev pri obremenitvi je bila merjena, ko smo na kontrolni postaji vklopili pnevmatski cilinder, in sicer tako, da je na naslonski del lupine deloval s silo 300 N. Poleg te razdelitve je preglednica razdeljena še na število ponovitev. Meritev spremembe naklona smo opravili po 50.000 ponovitvah in pri 100.000 ponovitvah.

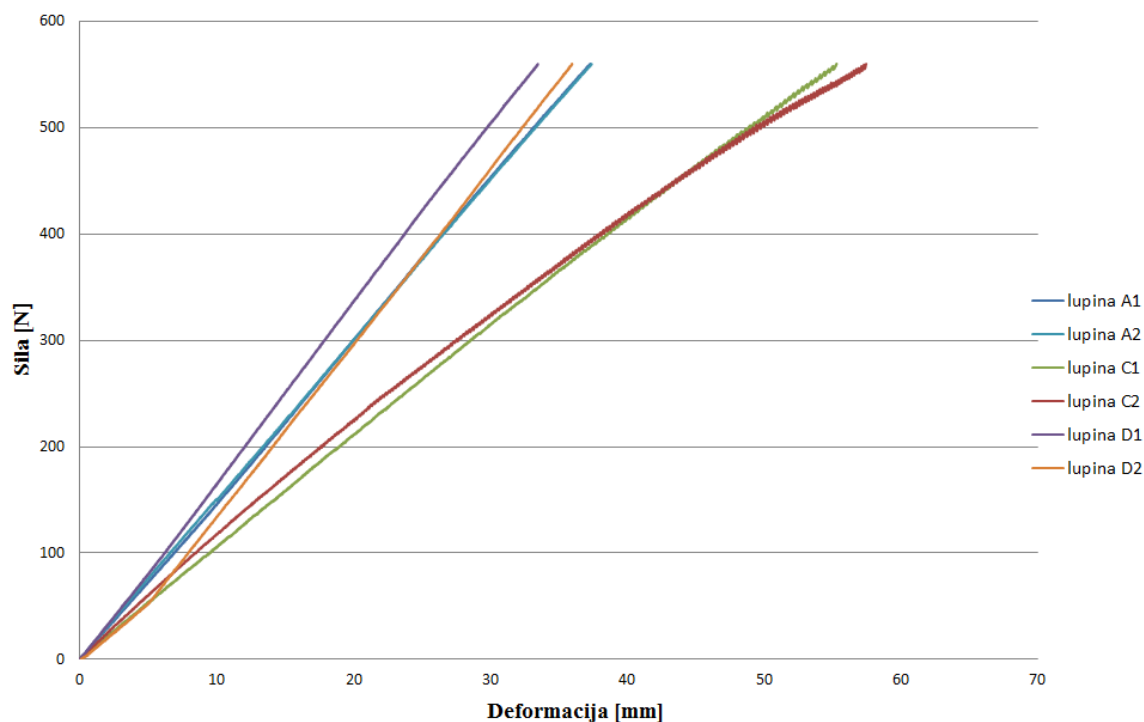
Preglednica 4: Rezultati preizkusa trajnosti

Št. Ponovitev	Preizkus trajnosti sedeža in hrbtnega naslona			
	Povečanje naklona hrbtišča brez obremenitve [%]		Povečanje naklona hrbtišča z obremenitvijo[%]	
	po 50.000 ponovitvah	po 100.000 ponovitvah	po 50.000 ponovitvah	po 100.000 ponovitvah
LUPINA A	3,2	3,2	7,0	7,0
LUPINA B	1,4	1,4	1,8	1,8
LUPINA C	0,0	1,8	0,0	7,9
LUPINA D	1,2	1,2	1,5	1,5

Iz preglednice je razvidno, da se je pri lupini A, po končanih 50.000 ponovitvah, pojavila največja relativna sprememba naklona hrbtnega naslona, tako pri izvajanju obremenitve, kot tudi pri neizvajanju obremenitve. Pri lupini C se je sprememba naklona pojavila šele pri zadnjem merjenju. Lupina D in lupina B sta pri tem preizkusu delovali zelo stabilno. Po opravljenem preizkusu so vse lupine ustrezale standardu SIST EN 1728:2002.

4.4 STATIČNA OBREMENITEV NASLONA II.

Slika 24 predstavlja, kako se naslonski del lupine odzove na delovanje sile po preizkusu trajnosti. Za lažjo analizo je v ta graf vključen še graf iz točke 4.1.



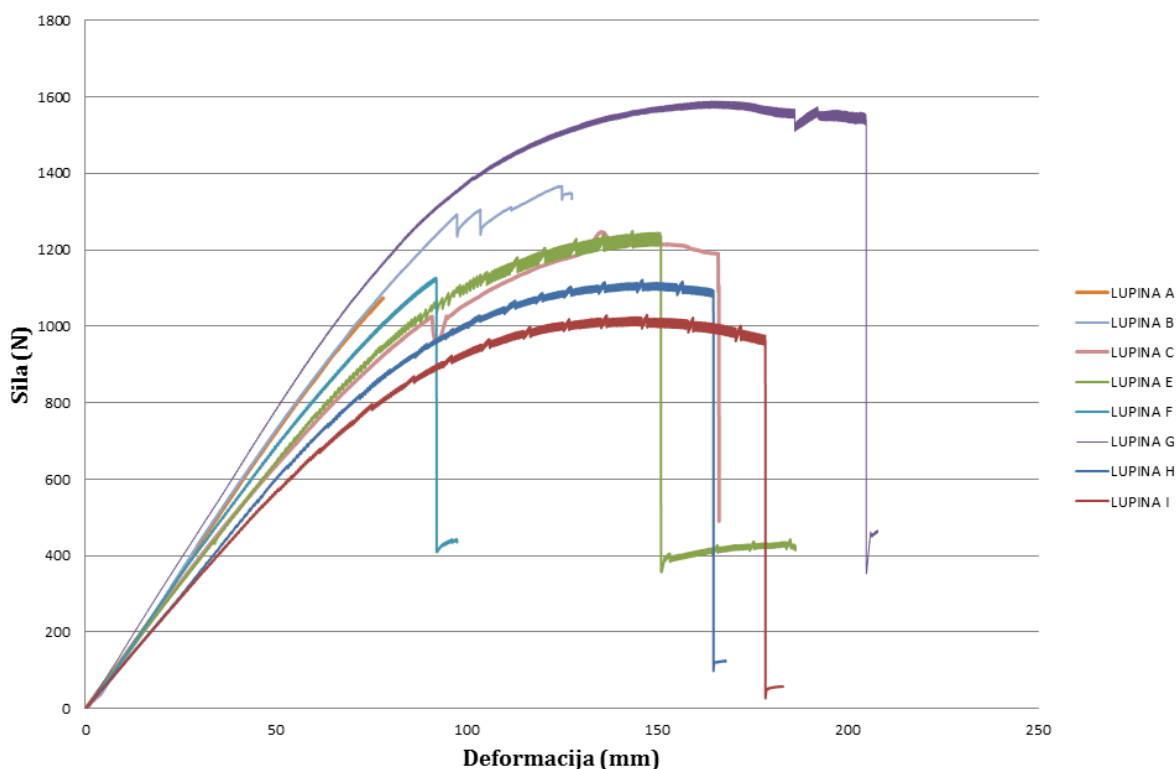
Slika 24: Združena grafa rezultatov iz statične obremenitve naslona I. in II.

Iz grafa (slika 24) je sicer razvidno, da so vse lupine rahlo izgubile na togosti. Vse lupine so imele krivulje bolj položne vendar ne toliko, da bi lahko sklepali, da smo med preizkusom trajnosti material signifikantno oslabili.

Če pogledamo koliko faktorjev je vplivalo na rezultate teh testiranj, moramo reči, da so razlike zanemarljive, zato lahko zaključimo, da materiala med trajnostnim preizkusom nismo oslabili oz. utrudili.

4.5 PORUŠITVENI PREIZKUS

Slika 25 prikazuje graf deformacije v odvisnosti od sil. Graf prikazuje, kako se je naslonski del lupin odzval na delovanje sile. Silo smo izvajali dokler se lupina ni porušila.



Slika 25: Graf preizkusa s poružitvijo

S tem preizkusom smo dobili podatek o trdnosti oz. smo ugotovili, pri kolikšni obremenitvi se lupina poruši. Vse lupine so popustile na vratu hrbtnega naslona. V tem delu pride zaradi delovanja sile do upogibne napetosti, te so odvisne od dimenzij tega dela stola (širina vratu hrbtnega naslona, debelina vezane plošče), oddaljenosti delovanja sile (konstanta L – slika 13) in same velikosti sile.

Upogibna napetost je premosorazmerna z izbranim faktorjem:

Enačba 1: upogibna trdnost

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot L}{\frac{b \cdot d^2}{6}}$$

σ – upogibna napetost

M – upogibni moment

W – odpornostni moment

F – sila ob poružitvi

L – pravokotna razdalja točke B na točko A (slika 12)

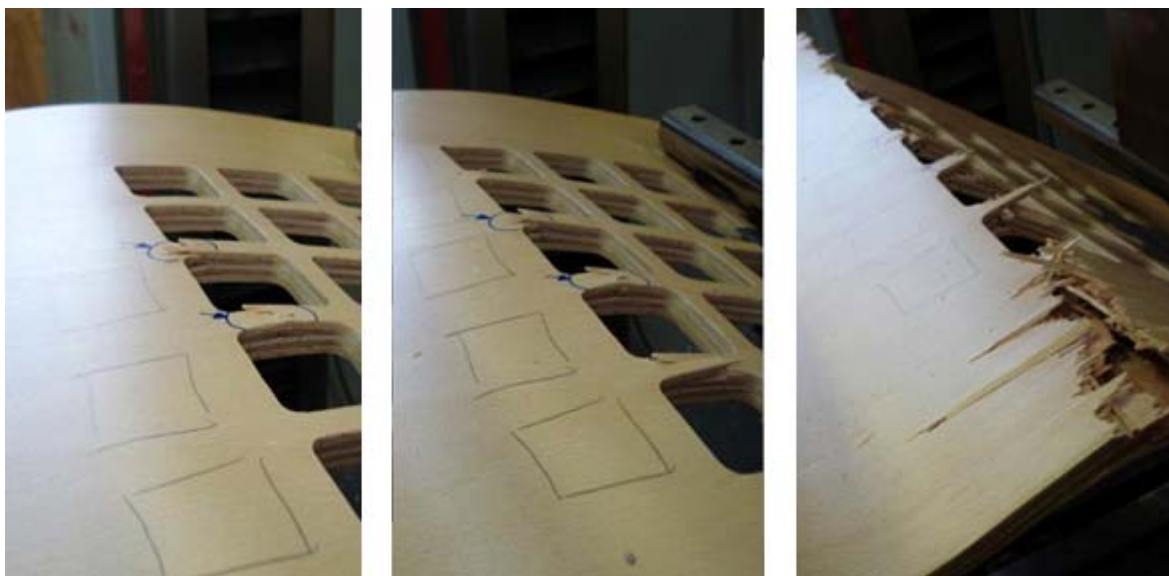
b – širina vratu hrbtnega naslona

d – debelina vezane plošče

Slednje slike prikazujejo kako so se določene lupine porušile.



Slika 26: Porušitev lupine A



Slika 27: Porušitev lupine B



Slika 28: Porušitev lupin I in H

Preglednica 5 prikazuje rezultate iz preizkusa s porušitvijo. V prvem stolpcu so navedene oznake lupin glede na nosilnost. Rezultati kažejo, da je lupina C bila pri temu preizkusu najboljša, poleg lupine C po trdnosti izstopa tudi lupina G.

Razlika med najnižjo in najvišjo upogibno napetostjo, ki so jo lupine zadržale, preden so popustile, je znašala $64,1 \text{ N/mm}^2$.

Vse lupine so prenesle sile, ki so skoraj dvakratne sili, ki je potrebna, da stol ustreza standardu, s čimer smo tudi pokazali koliko so lupine predimenzionirane.

V preglednici 5, $\Delta x_{\max}$ predstavlja pomik hrbtne delu na mestu delovanja sile ob porušitvi.

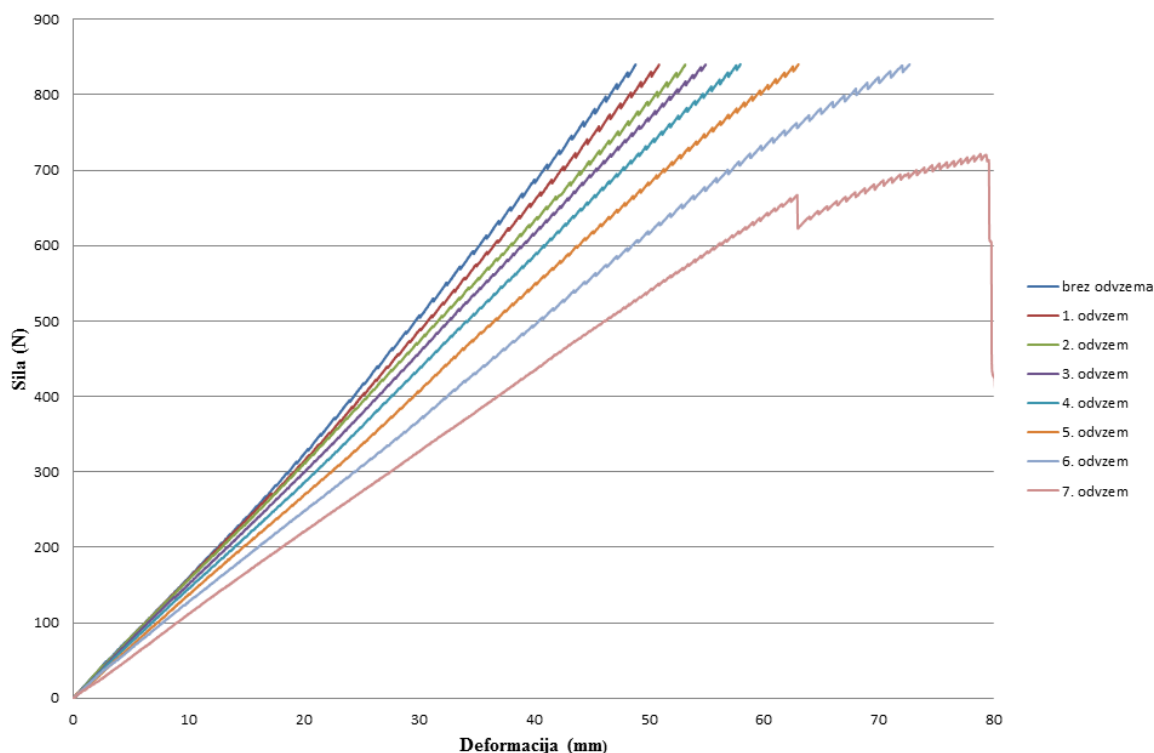
Preglednica 5: Rezultati preizkusa s porušitvijo

Lupina	b [mm]	d [mm]	L [mm]	F [N]	$\Delta x_{\max}$ [mm]	$\sigma [\text{N/mm}^2]^*$
C	210	9,3	300	1247	166	123,58
G	345	9,4	300	1590	208	93,88
E	345	9,3	300	1249	186	75,34
B	410	9,2	300	1367	128	70,91
A	360	9	300	1074	78	66,30
F	344	9,8	300	1127	98	61,40
H	345	9,9	300	1121	168	59,67
I	345	9,5	300	1029	183	59,49

*Opomba: upogibna napetost je približna, ker je med obremenjevanjem hrbtne naslona prišlo do velikih deformacij, s tem pa do spremembe razdalje L.

4.6 PREIZKUS Z ODVZEMOM MATERILA

Slika 29 je graf, ki prikazuje odzivanje lupine D na postopno odvzemanje materiala (oslabitev) v najbolj kritičnem delu (vrat hrbtnega naslona).



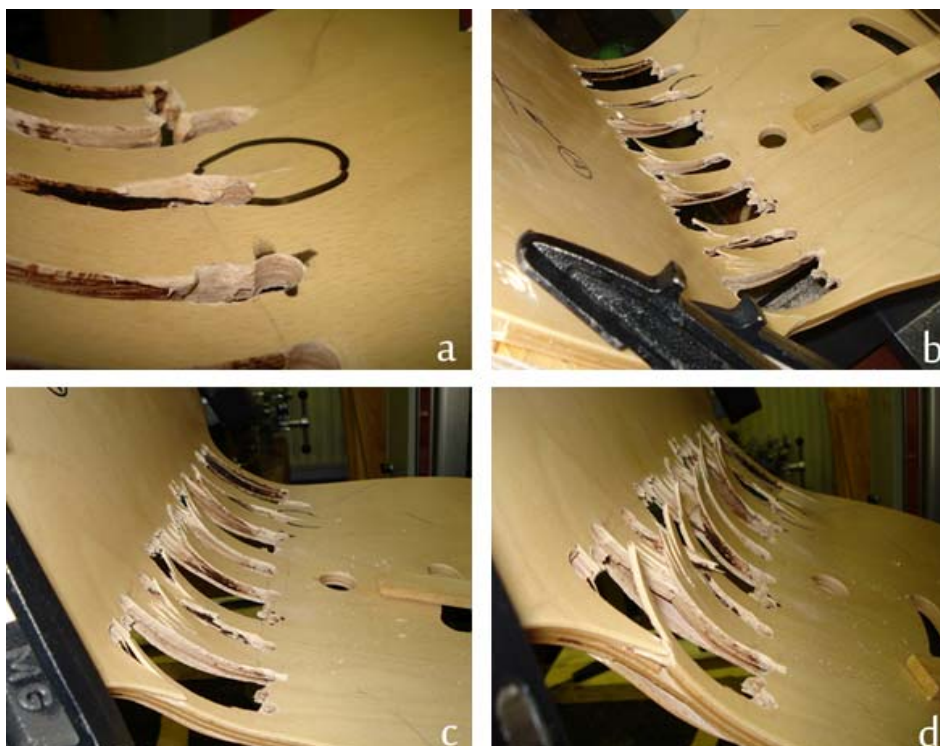
Slika 29: Graf deformacije v odvisnosti od sile pri preizkusu z odvzemanjem materiala

Slika 29 prikazuje graf, deformacije v odvisnosti od sile. Iz njega je razvidno, kako lupina sorazmerno z odvzemom materiala izgublja na togosti in postaja vse bolj elastična.

Lupino D smo z odvzemanjem materiala oslabili na delu, kjer so napetosti med izvajanjem sile na hrbtni naslon največje. Z odvzemom materiala zmanjšamo širino tega dela. Večja kot je širina, večje sile prenese lupina in obratno. Mi smo preizkušali, koliko tega dela lahko odstranimo, da bo lupina še ustrezala zahtevam standarda.

Pri 6. odvzemu materiala smo opazili prvo deformacijo. Na sliki 30a je označen del, kjer je prišlo do razpoke, ki je nastala na zunanji plasti in je bila dolga 15 mm. Nastala je v smeri vlaken, ker pa se na zunanjem sloju ustvarjajo predvsem natezne napetosti, razpoka materiala ni signifikantno oslabila. Pri 7. odvzemu materiala smo lupino v tem delu preveč oslabili, zato je prišlo do porušitve.

Lupini je z vsakim odvzemom padla trdnost, krivulje so postajale vse bolj položne, saj se je njena upogibna trdnost zmanjševala. Proti koncu (5. in 6. odvzem) že vidimo, kako krivulja postaja konkavna, postopoma prihaja do nepovratne deformacije. Kljub temu lahko rečemo, da bi lupina prenesla preizkus statične obremenitve 560 N tudi pri 167 mm odvzetega materiala, kar predstavlja 55 % širine vratu hrbtnega naslona, saj vidimo, da je krivulja »7. odvzem« do približno 650 N linearna. Ko se je pri isti krivulji proti vrhu pojavil večji padec sile, je lupina tam prvič počila, vendar je po delni porušitvi še lahko zadrževala silo, dokler ni pri sili 722 N prišlo do popolne porušitve.



Slika 30: Porušitev lupine D

4.7 PREIZKUS STRIŽNE IN UPOGIBNE TRDNOSTI VEZANE PLOŠČE

4.7.1 Rezultati preizkusa strižne trdnosti vezane plošče

Pri tem preizkusu smo preizkušali strižno trdnost lepilnih spojev vezane plošče. To smo preizkušali, ker se je vezana plošča lupin med porušitvenem preizkusom v delu, kjer se generirajo največje napetosti, razplastila. Pri vezanih ploščah je običajno, da med izvajanjem upogiba prihaja do razplastitve.

Z dobljenimi podatki lahko razložimo, zakaj so določene lupine dosegale boljše oz. slabše rezultate.

V preglednici 6 so predstavljeni pomembnejši rezultati iz preizkusa strižne trdnosti VP. Pri preizkusu smo preizkusili 10 vzorcev vsake lupine.

Preglednica 6: Rezultati preizkusa strižne trdnosti

Lupina	Povprečna sila [N]	Max. Sila [N]	Min. sila [N]	Razlika (Max - min) [N]	Povprečna strižna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon [N/mm ²]
A	2412	2850	2000	850	3,89	0,426
C	2929	3650	2250	1400	4,71	0,586
F	2603	2950	2270	680	4,16	0,432
G	3114	4180	2490	1690	5,04	0,744
H	2408	2940	1840	1100	3,89	0,583

V preglednici 7 so vpisani deleži loma po lesu za vsak preizkušen vzorec.

Preglednica 7: Lom po lesu

Vzorec	Lom po lesu [%]				
	Lupina A	Lupina C	Lupina F	Lupina G	Lupina H
1	5	70	90	30	100
2	0	35	70	10	22
3	5	18	75	80	25
4	0	75	60	100	4
5	5	30	40	100	100
6	0	100	53	15	14
7	0	38	10	20	33
8	0	15	70	10	50
9	3	85	85	37	37
10	0	86	60	42	30
Povprečje	1,8	55,2	61,3	44,4	41,5

4.7.2 Rezultati preizkusa upogibne trdnosti vezane plošče

Pri preizkusih so vse obremenitve lupine upogibale, zato smo preizkus upogibne trdnosti opravili, da smo videli, kako se material odziva na upogib.

V preglednici 8 so predstavljeni pomembnejši rezultati iz preizkusa upogibne trdnosti VP. Pri preizkusu smo preizkusili 10 vzorcev vsake lupine.

Preglednica 8: Rezultati preizkusa upogibne trdnosti

Lupina	Povprečna sila [N]	Povprečen modul elastičnosti [N/mm ²]	Povprečna upogibna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon [N/mm ²]
A	933	13520	133,3	5,5
C	965	12790	135,2	6,2
F	986	11100	125,9	4,9
G	1016	12911	134,2	7,4
H	938	13103	133,6	5,8

5 RAČUNALNIŠKI MODEL

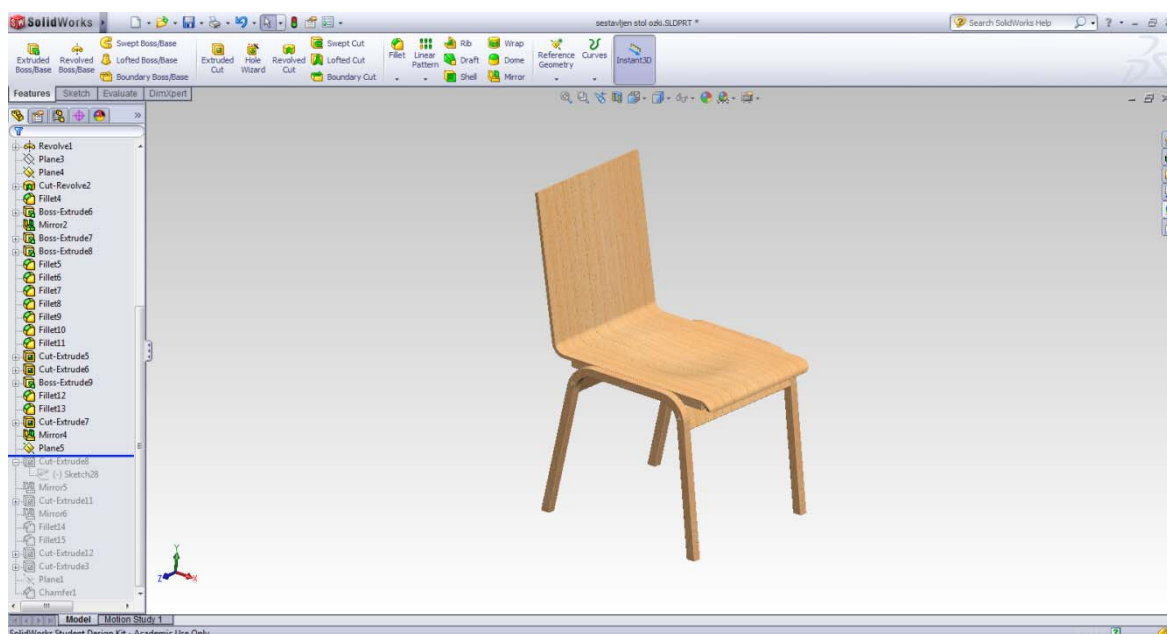
Naše delo v diplomski nalogi je bilo osnovano na preizkušanju lupin z eksperimentalnimi metodami. Na osnovi tega smo lahko videli, da so skladne s standardom, poleg tega pa smo tudi ugotovili kolikšne maksimalne sile bi določena lupina zdržala. Preizkusili smo tudi strižno in upogibno trdnost. Eksperimentalni del ne bi bil mogoč brez izdelave lupin.

Pri računalniških simulacijah uporabe izdelava izdelka ni potrebna, zato je posluževanje takega načina snovanja izdelka za podjetje koristno.

Za uporabo računalniške simulacije, obnašanja lupine pri uporabi stola, v praktičnih primerih, potrebujemo:

1. Lastnosti materiala (upogib, strig, strižni modul, modul elastičnosti)
2. Izdelati računalniški model izdelka v programu (SolidWorks, Inventor)
3. Vnesti model v program za računsko analizo, kjer razdeliš izdelek na končne elemente
4. V programu za računsko analizo vneseš lastnosti materiala
5. Primerjavo rezultatov računske analize z eksperimentalnimi rezultati

Drugo točko potrebno za izvedbo simulacije smo naredili v programu SolidWorks (slika 31). Za izdelavo računalniškega modela je bilo potrebno zajeti geometrijo lupine. To smo storili s skiciranjem in merjenjem dimenzij lupine. Sledilo je vnašanje podatkov in računalniško podprto konstruiranje lupine (stola).



Slika 31: Računalniški model lupine s podnožjem

Hitreje in bolj natančno bi bilo zajetje geometrije z uporabo 3D skenerjev (slika 32). Na tak način se v krajšem času prenese podatke v računalnik.

Nadaljevanje z računalniškim modelom ni bilo mogoče, saj smo imeli za program premalo podatkov odzivanja lupine na obremenitve in premalo podatkov mehanskih lastnosti materiala. Teoretično bi jih lahko uporabili, vendar bi bila natančnost analize premajhna. Za boljšo analizo bi morali preizkusiti veliko več vzorcev.



Slika 32: 3D skener (www. zcorp.com)

S programom za simulacijo lahko že v snovanju izločimo oz. lociramo kritična območja. Posluževanje računalniške metode preizkušanja je osnova za sodoben način oblikovanja in konstruiranja. Prednosti take metode so:

- Efektivnejše odkrivanje kritičnih območji,
- hitrejše razreševanje kritičnih točk
- enostavno spreminjanje oblike
- hitro preverjanje oblike
- pocenitev izdelka,
- pocenitev proizvodnje izdelka,
- racionalna poraba materiala...

Na podlagi dobljenih rezultatov iz preizkusa z odvzemom smo naredili računalniški model lupine. Z njim smo ponazorili, kolikšna širina vratu hrbtnega naslona je potrebna, da lupina ustreza standardom statične obremenitve (slika 33).



Slika 33: Lupina z ozko širino vratu hrbtnega naslona

6 RAZPRAVA

Pri preizkusih smo testirali lupine stolov različnih oblik, narejenih iz vezane plošče. Poleg standardnih preizkusov smo izvedli obremenilne preiskave hrbtišča vse do porušitve ter ugotavljali upogibno in strižno trdnost vezane plošče na desetih vzorcih. Skupni rezultati za posamezne lupine so prikazani v preglednici 9. Vrednosti napetosti pri porušitvi hrbtišča so samo orientacijske, saj je prišlo pred porušitvijo do velikih deformacij naslona. Za strižno in upogibno trdnost so prikazane povprečne vrednosti iz preiskav vzorcev.

Preglednica 9: Združeni rezultati preizkusov (porušitveni preizkus, preizkus strižne trdnosti in preizkus upogibne trdnosti)

Lupina	σ_{por} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	delež loma po lesu [%]	σ [N/mm ²]	E [N/mm ²]
A	66,3	3,89	1,8	133,3	13520
B	70,91				
C	123,58	4,71	55,2	135,2	12790
D*	110,18				
E	75,34				
F	61,4	4,16	61,3	125,9	11100
G	93,88	5,04	44,4	134,2	12911
H	59,67	3,89	41,5	133,6	13103
I	59,49				

*Lupina D: vrednost pri preizkus s porušitvijo smo dobili s preračunom rezultatov preizkusa z odvzemom materiala. Pri izračunu smo uporabili širino vratu hrbtnega naslona (136 mm) ob porušitvi pri preizkusu z odvzemom materiala in debeline vezane plošče.

Rezultati porušitvenega preizkusa so pokazali (glej stran 34), da so skoraj vse lupine prestale dvakratno silo ki jo zahteva standard SIST EN 15373:2007 (560 N). Ta podatek nam pove, da so lupine izdelane z velikim varnostnim faktorjem.

Iz grafa na sliki 25 je razvidno, da je pri lupini A prišlo do hipne porušitve, medtem ko je pri ostalih prišlo do delne plastifikacije na območju, kjer sedežna ploskev prehaja v hrbtni naslon.

Na sliki 26 je prikazano, kako se je vezana plošča lupine v delu, kjer so napetosti največje, razplastila. To se je sicer zgodilo pri večini lupin, vendar se je pri lupini A razplastitev pojavila že pri majhnih silah in je bila daljša kot pri ostalih lupinah. Sklepamo da je do tega je prišlo zaradi slabe strižne trdnosti lepilnih spojev. Iz preglednice 9 je tudi razvidno, da je bil pri vzorcih lupine A delež loma po lesu zelo majhen. Za zmanjšano strižno trdnost lepilnih spojev obstaja veliko vzrokov: neustrezna lepilna mešanica (nepravilno razmerje smola:trdilec, prevelike količine polnila, neustrezne viskoznosti), priprava površine lepljenja (vlažnost furnirja, prah, nečistoče na površini furnirja), postopek lepljenja (premajhen nanos lepila, prenizek tlak stiskanja, neustrezna temperatura in čas stiskanja, predolgi odprti časi) (Marra, 1992).

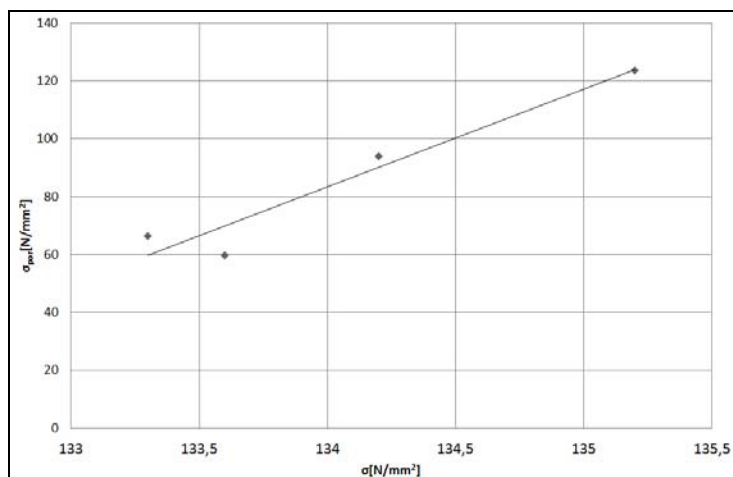
Najboljše rezultate je dosegala lupina C. Pri porušitvenem preizkusu je sicer lupina prenesla manjšo silo kot lupina G in lupina B, vendar z upoštevanjem njenega ozkega vratu hrbtnega naslona, lahko vidimo, da je upogibna trdnost lupine C veliko večja od ostalih. Lupina C je bila izdelana iz zelo kvalitetne vezane plošče, ki ima relativno visoko strižno in upogibno trdnost, to lahko vidimo iz preglednice 9.

Ko smo izračunali približno upogibno trdnost (iz rezultatov preizkusa z odvzemom materiala) lupine D, se je izkazalo, da bi lupina pri porušitvenem preizkusu dosegla zelo dobre rezultate. Lupino smo oslabili z odvzemom materiala, s tem smo povečali možnost nastanka razpok. Lupino smo oslabili tudi z večkratnim izvajanjem obremenitve, kar pomeni, da je lupina bila pri zadnjem izvajanju obremenitve (preden se je porušila), zelo oslABLJENA. Iz tega lahko sklepamo, da bi lupina verjetno zdržala še večje obremenitve.

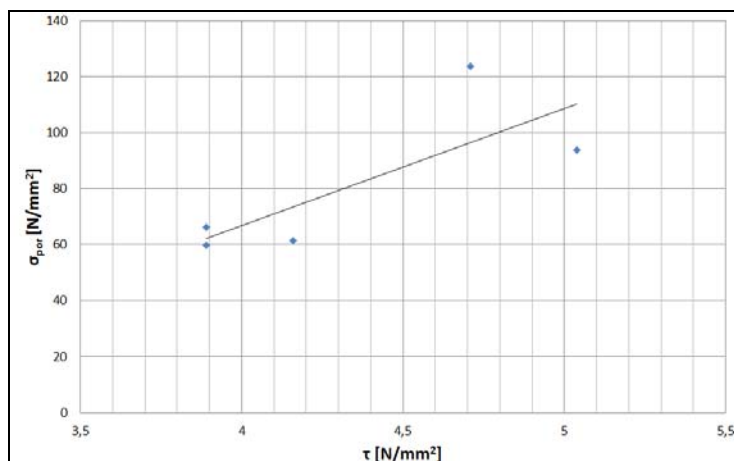
Pri lupinah E, F in G, ki so bile enakih oblik in izdelane iz enakega materiala, smo dobili različne rezultate pri obremenitvenem preizkusu. Lupina F se je izmed teh treh izkazala za najslabšo, kljub temu da je imela lupina F največjo debelino vezane plošče. Pri vzorcih lupine F smo dobili povprečne rezultate za strižno trdnost in najslabše rezultate za upogibno trdnost. Razlog za to bi bila lahko slabša kvaliteta furnirja.

Lupini H in I sta pri porušitvenem preizkusu dosegli najslabše rezultate. Slabše rezultate sta dosegli zaradi tega, ker imata ti dve lupini na zunanjem sloju namesto bukovega furnirja sloj MDF-a (zaradi končne površinske obdelave). Upogibne napetosti so največje na zunanjih slojih. Ker ima MDF material slabše mehanske lastnosti kot masiven les, so zunanje plasti popustile prej kot pri ostalih lupinah. Kljub temu, da sta ti dve lupini dosegli najslabše rezultate, sta še vedno ustrezali standardom SIST EN 15373:2007.

Na grafu (slika 34 in 35) smo prikazali soodvisnost kvalitete materiala (upogibna oz. strižna trdnost) in rezultate porušitvenega preizkusa (upogibna napetost).



Slika 34: Graf upogibne trdnosti iz porušitvenega preizkusa v odvisnosti od upogibne trdnosti materiala



Slika 35: Graf upogibne trdnosti iz porušitvenega preizkusa v odvisnosti od strižne trdnosti materiala

Iz grafa (slika 34) je razvidna velika korelacija med upogibno trdnostjo vzorca in doseženo upogibno napetostjo pri porušitvenem preizkusu celotna lupine.

7 SKLEPI

Pri preizkusih smo ugotovili, da so lupine trdne. Med lupinami pa trdost zelo niha. Da bi lahko zagotovili manjša odstopanja trdnosti lupin moramo zagotoviti, da so prve faze izdelave izvedene pod konstantno kontrolo kvalitete, saj je trdnost lupine odraz kvalitete materiala. Ugotovili smo, da je bila kvaliteta materiala najbolj pomemben dejavnik pri dobljenih rezultatih.

Cone, ki nastajajo med upogibom, so razlog za nastanek strižnih napetosti med plastmi v materialu. Strižne napetosti zadržujejo trdne vezi med vlakni lesa in sloji lepila. Ta je v primeru nekvalitetnega spoja glavni krivec za slabe rezultate pri preizkusih. Da se nekvalitetnemu spoju izognemo moramo zagotoviti, da se sestavljanje in stiskanje vezane plošče izvaja korektno in pod konstantno kontrolo. Pri preizkusu strižne trdnosti smo preverjali kakovost lepilnega spoja. Močno variiranje rezultatov je bilo pri tem preizkusu ravno tako prisotno.

Kljub odstopanju rezultatov nekaterih lupin od ostalih so vse kazale na to, da bi lahko ustrezale standardnim zahtevam. Pri vseh preizkusih vidimo, da so lupine močno predimenzionirane, to je najbolj razvidno iz preizkusa s porušitvijo in preizkusa z odvzemom materiala. Pri slednjem smo videli, koliko materiala je »nepotrebnega« v predelu vratu hrbtnega naslona in kolikšno svobodo si pri preoblikovanju lupine lahko privoščijo konstruktorji in oblikovalci. Pri porušitvenem preizkusu smo lahko videli, kako so se vse lupine, preden so se porušile brez težav prestale tudi dvakratno silo, ki je potrebna, da lupine ustrezajo standardom.

Rezultati iz porušitvenega preizkusa in podatki iz preizkusa strižne in upogibne trdnosti so si bili tako med lupinami kot tudi pri sami lupini zelo različni. Pri analizi konstrukcije nam te razlike med rezultati ne koristijo, saj tako analiza potrebuje veliko več preizkušancev, da dobimo neko povprečje, na katerega bi se lahko zanašali.

Zaradi variiranja rezultatov je izdelek lahko močno predimenzioniran.

Danes se celoten trg obrača v smeri ekologije in s podatki o predimenzioniranosti izdelka nam pri tem še kako prav pridejo. S poznavanjem naših izdelkov iz vidika mehanskih lastnosti lahko izdelamo lupino, za katero bomo porabili optimalno količino materiala.

Izdelava analize konstrukcije izdelka, je lahko v veliko pomoč tudi pri oblikovanju in konstruiranju. Oblikovalec velikokrat ne ve, kakšne so lastnosti materiala in kakšno mehansko trdnost ima. Z nepoznavanjem tega sta oblikovalčevi in konstruktorjevi domišljiji omejeni z njunimi lastnimi predstavami o materialu. Tem predstavam dodajata svoj varnostni faktor in tako pridemo do pretiravanja pri dimenzioniranju izdelka. Brez teh omejitev bi bile kreacije oblikovalca in konstruktorja veliko bolj drzne in izvirne, saj ne bi bila omejena s tem, da stol ne bi prestal standardnih zahtev oz. bi se med uporabo porušil.

Da dosežemo to svobodo oblikovanja in konstruiranja se morajo določeni ukrepi odvijati že v proizvodnji. Kontrola kakovosti med proizvodnjo in pri končnih izdelkih igra pri tem ključno vlogo. Ko podjetje vpelje celostno kontrolo proizvodnje, lahko prične z zbiranjem podatkov za analizo. Analiza konstrukcije izdelkov bi bila v tem primeru uporabna za nadaljnjo uporabo pri snovanju novega oz. preoblikovanju starega izdelka s pomočjo

računalniških programov in simulacij. To naj bi predstavljalo sodobno snovanje izdelka, kjer je delovanje proizvodnje, oblikovanja in konstruiranja izdelka med seboj usklajeno.

8 POVZETEK

Konstrukcija izdelka, ki ga proizvajalec pošlje na trg, je ena izmed najbolj pomembnih lastnosti, ki jih ima izdelek. Z dobro konstruiranim izdelkom lahko proizvajalec izstopa od ostalih, ki ponujajo podoben izdelek. Da izdelek izstopa zaradi izvedbe oz. oblike, pa je potrebna konstrukcijska drznost.

Brez preizkusov konstrukcije si te drznosti podjetje ne more privoščiti. Podjetja se velikokrat poslužujejo preoblikovanja svojega že obstoječega izdelka z namenom, da dobi novega. Pri tem pa analiz konstrukcije ne opravijo.

Da bi vedeli do kakšne skrajnosti si lahko podjetje privošči preoblikovati ukrivljeno lupino stola, smo kot diplomski projekt izvedli analizo konstrukcije ukrivljene lupine. Poleg tega smo videli, kakšne so mehanske lastnosti in kakovosti obstoječih lupin. Pri analizi smo uporabili osem lupin. Lupine, ki smo jih preizkušali, so bile različnih oblik in dimenzij. Kalup, v katerem so bile izdelane, je bil pri vseh isti. Pri preizkušanju smo se osredotočili predvsem na del lupine, kjer sedežna ploskev prehaja v hrbtni naslon, saj je tam lupina med sedenjem najbolj obremenjena. V diplomskem projektu smo podrobno opisali postopek preizkušanja in predstavili dobljene rezultate.

Preizkusi so si sledili v zaporedju:

1. Statična obremenitev naslona I. (pritisna sila 560 N)
2. Trajnost sedeža in hrbtnega naslona (100.000 x 300 N)
3. Statična obremenitev naslona II. (pritisna sila 560 N)
4. Porušitveni preizkus (obremenitev do porušitve naslona)
5. Preizkušanje z odvzemom materiala (pritisna sila 840 N)
6. Preizkus strižne in upogibne trdnosti

Po preizkusih smo opravili analizo grafov in dobljenih rezultatov. Prišli smo do sklepa, da so bile lupine kljub temu, da so bile izdelane pri istem proizvajalcu zelo različnih kvalit. Kakovost izdelave stolov se je pokazala predvsem pri preizkusu s porušitvijo in preizkusu strižne in upogibne trdnosti. Da bi se nekdo, ki izdelek konstruira ali oblikuje, uprl na podatke, ki smo jih dobili, bi bil izdelek zagotovo predimenzioniran. Za iskanje razloga teh razlik med lupinami pa bi bilo potrebno imeti vpogled v proizvodnjo. To nam je podjetje tudi dovolilo. V podjetju sestavljanje vezanih plošč za lupine poteka ročno in tu so verjetnosti za napake velike. Da bi se izognili temu, bi morale biti to delo bolj avtomatizirano oziroma bi morali izvajati kontrolo kakovosti na višji ravni.

Vse lupine so ustrezale standardom. Trdnost hrbtnega naslona je bila zagotovljena s predimenzioniranjem izdelka, to smo dokazali s preizkusom z odvzemom materiala.

Na koncu smo izdelali tudi računalniški model oz. prototip oblike lupine, ki bi po naši analizi ustrezala standardom, hkrati pa bi bila deležna drznega oblikovanja. Računalniški model predstavlja tudi osnovo za sodobno oblikovanje.

9 VIRI

- Eckleman C. A.- 1966. A Look at... The Strength Design of Furniture. Forest product journal, 16, 3: 21-24
- Eckleman C. A. 1969. Analysis and design of furniture frames. Wood Science and Technology, 3: 239-255
- Hrovatin J., Kušar J. 1996. Stol REX – Najuspešnejši slovenski pohištveni oblikovalski dosežek. Les, 48, 1/2: 11-18
- Hrovatin J. 1997. Dejavniki, ki so vplivali na oblikovanje značilnosti sedežnega pohištva v različnih stilnih obdobjih. Les, 49, 9: 252-256
- Hüseyin K. in sod. 2010. The use of finite element method in the furniture industry. African Journal of Business Managment, 5, 3: 855-865
- Lapanja D. 2005. Vpliv vlažnosti na postopek krivljenja in kakovost krivljenih elementov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 2 str.
- Marra A. A. 1992. Technology of wood bonding: principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold: 454 str.
- Medved S,.. 2009. Lesni ploščni kompoziti v gradbeništvu. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. ur. Kuzman Kitek M. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 90-94
- Prekrat S., Smardzewski J. 2010. Effect of glue-line shape on strength of Mortise and Tenon Joint. Drvna industrija, 61, 4: 223-228
- Sitar D. 2010. Razvoj in konstrukcija lahkega oblazinjenega sedežnega pohištva. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 56 str.
- Smardzewski J. 2009. Antropotechnical aspect of furniture design. Drvna industrija, 60, 1: 15-21
- Smulski S. 1997. Engineered Wood Products. Wisconsin, PFS Research Foundatio, 294 str.
- Šernek M. 2007. Furnir in lepljen les. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- Uršič B. 1968. Problematika industrijskega oblikovanja v pohištveni industriji. Les, 141-146

SIST EN 314-1:2005 Vezan les – Kakovost zlepljenih spojev – 1. del : Preskusne metode

SIST EN 15373:2007: Pohištvo – Trdnost, trajnost in varnost – Zahteve za sedežno pohištvo, ki ni za domačo uporabo

SIST EN 1022: Domestic furniture – Seating – Determination of stability

SIST EN 1728:2002: Pohištvo za domačo uporabo – Sedežno pohištvo – Preizkusne metode za ugotavljanje trdnosti in trajnosti

EN 310:1993 -Wood-based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength

ZAHVALA

Najlepše se zahvaljujem mentorici doc. dr. Manji Kitek Kuzman in somentorju dr. Srečku Vratuša za vse strokovne nasvete, za pomoč in usmerjanje pri mojem delu. Zahvaljujem se jima za stalno spodbudo, pozornost in za čas, ki sta ga porabila zame.

Zahvaljujem se asist. Mirku Karižu, ki mi je bil v veliko pomoč pri izvajanju preizkusov lupin. Posebno se mu zahvaljujem za usmerjanje pri pisanju diplomskega projekta. Njegova pomoč mi je bila vedno na voljo.

Zahvaljujem se g. Slavku Rudolfu, vodji Laboratorija za preizkušanje pohištva za pomoč in svetovanje pri izvajanju preizkusov.

Zahvaljujem se recenzentu doc. dr. Sergeju Medvedu za hitro in temeljito recenzijo diplomskega projekta.

Zahvaljujem se g. Tadeju Slavcu iz podjetja Javor Pivka d.d. za pripravo vzorcev.

Zahvaljujem se tudi sošolcem, prijateljem in najbližjim, ki so mi bili vedno v oporo.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ŠTOLFA

**ANALIZA KONSTRUKCIJE STOLA Z UKRIVLJENO
SEDEŽNO LUPINO**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2011