

# Lijepljenje strojnih dijelova

---

Jurenec, Edita

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:340773>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

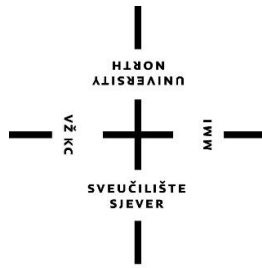
Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

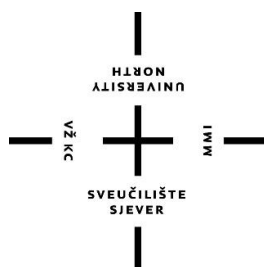
**Završni rad br. 400/PS/2022**

## **Lijepljenje strojnih dijelova**

Edita Jurenc, 0035217964

Varaždin, listopad 2022. godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 400/PS/2022**

## **Lijepljenje strojnih dijelova**

### **Student**

Edita Jurenec, 0035217964

### **Mentor**

Zlatko Botak, doc. dr. sc.

Varaždin, listopad 2022. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	prediplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Edita Jurenec	MATIČNI BROJ	0035217964
DATUM	15.09.2022.	KOLEGI	Elementi strojeva I
NASLOV RADA	Lijepljenje strojnih dijelova		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Gluing machine parts		
MENTOR	dr. sc. Zlatko Botak	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Zoran Busija, dipl.ing., predsjednik povjerenstva		
	2. doc. dr. sc. Zlatko Botak - mentor, član povjerenstva		
	3. Marko Horvat, dipl. ing., član povjerenstva		
	4. Siniša Švogler, dipl.ing., rezervni član povjerenstva		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ 400/PS/2022

OPIS

U završnom radu pristupnica treba prikazati rezultate ispitivanja čvrstoće lijepljenih spojeva, koristeći nekoliko vrsta ljepila.  
U uvodnom dijelu završnog rada potrebno je općenito opisati razvoj tehnologije lijepljenja kroz povijest, te usporediti prednosti i nedostatke lijepljenja u odnosu na druge metode spajanja materijala.  
Trebalo opisati način nastanka lijepljenog spoja, vrste ljepila i područja njihove upotrebe.  
Potrebno je opisati način pripreme lijepljenog spoja prije nanošenja ljepila te navesti parametre koji utječu na čvrstoću lijepljenog spoja.  
Na nekoliko praktičnih primjera potrebno je pojasniti način oblikovanja lijepljenih spojeva i napraviti proračun čvrstoće lijepljenog spoja kod lijepljenja strojnih dijelova.  
U zaključku završnog rada potrebno je navesti moguća nova područja primjene ljepila za spajanje materijala.

ZADATAK URUČEN

15.09.2022

POTPIS MENTORA

Botak Zlatko

SVEUČILIŠTE  
SIEVER

## **Sažetak**

U završnom radu opisuje se razvoj tehnologije lijepljenja kroz povijest, pa sve do današnje primjene kod lijepljenja metalnih površina. Također su navedena područja upotrebe te vrste nerastavljivog i rastavljivog spoja. Pojašnjene su moguće vrste lijepljenog spoja te su navedene prednosti i nedostaci tehnike lijepljenja kao i način nastanka lijepljenog spoja. Opisane su dvije glavne podjele ljepila te kako njihova svojstva utječu na odabir ljepila kod spajanja različitih materijala. U praktičnom dijelu rada ispitivala su se vlačna i posmična čvrstoća kod lijepljenih spojeva.

Ključne riječi: lijepljenje, čvrstoća, primjena, spoj

## Korištene oznake

$\sigma_{sr}$  – srednja vlačna čvrstoća, MPa

$F_{maks}$  – maksimalna sila, N

$A$  – površina zalijepljenog spoja, mm<sup>2</sup>

$\tau_{sr}$  – srednja posmična čvrstoća, MPa

$a$  – širina lijepljenog spoja, mm

$b$  – duljina lijepljenog spoja, mm

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Vrste spojeva.....	3
2.1.	Rastavljivi spojevi .....	3
2.2.	Nerastavljivi spojevi.....	4
3.	Lijepljenje .....	6
3.1.	Prednosti i nedostaci lijepljenja.....	6
3.1.1.	Prednosti lijepljenja .....	6
3.1.2.	Nedostaci lijepljenja.....	7
3.2.	Svojstva ljepila .....	8
3.2.1.	Adhezija .....	9
3.2.2.	Kohezija .....	10
3.3.	Podjela ljepila.....	10
3.3.1.	Podjela ljepila prema kemijskom svojstvu .....	11
3.3.2.	Podjela ljepila prema mehanizmu očvrnuća tj. povezivanja .....	12
3.4.	Priprema površine za lijepljenje .....	16
3.5.	Oblikovanje lijepljenih spojeva.....	18
3.5.1.	Smanjenje naprezanja .....	18
3.5.2.	Duljina preklapanja.....	19
3.5.3.	Površina lijepljenja.....	19
3.5.4.	Debljina sloja ljepila .....	19
3.5.5.	Cijevni spojevi .....	20
3.6.	Primjena lijepljenja .....	21
3.6.1.	Primjena lijepljenja u automobilske industriji .....	21
3.6.2.	Osiguranje vijčanih spojeva .....	22
4.	Ispitivanje vlačne i posmične čvrstoće.....	23
4.1.	Sučelni spoj .....	24
4.2.	Kosi spoj.....	25
4.3.	Preklopni spoj.....	26
5.	Zaključak.....	28
6.	Literatura.....	29
	Popis slika i grafikona.....	30



## 1. Uvod

Lijepljenje je spajanje osnovnih materijala (metali, polimeri i dr.) pomoću ljepila (nemetalni organski i anorganski materijali). Ljepila spajaju osnovne materijale stvaranjem veznog filma između površina predmeta. Još se nazivaju adhezivi, budući da se djelovanje ljepila temelji na kemijskom i fizikalnom povezivanju između ljepila i površine, tj. adhezijskim silama, dok kohezijske sile koje vladaju unutar samog ljepila određuju čvrstoću ljepila. Postupak lijepljenja vrlo je složen jer čvrstoća završnog spoja ovisi o nizu čimbenika, od kojih je većina vezana za svojstva površina predmeta koji se lijepi. Kako bi nastale što veće adhezijske sile, što je u većini slučajeva poželjno, bitna je dobro odrađena priprema površine predmeta. [1]

Najraniji dokazi korištenja tehnike lijepljenja datiraju oko 4000 godina prije Krista. Arheolozi su otkrili posude od gline koje su bile popravljane ljepilom od stabla, npr. borovom smolom. Tek oko 1750. godine izdan je prvi patent za ljepilo koje se izrađivalo od riba. Do početka 20. stoljeća ljepila su bila proizvedena kombiniranjem i/ili prerađivanjem tvari biljnog i životinjskog podrijetla. Godine 1909. došlo je do pojave prvih sintetičkih ljepila. Prvi primjeri uspješnog spajanja metala lijepljenjem datiraju od 40-ih godina 20. stoljeća. Možemo reći da je lijepljenje metala jedno od mnogih otkrića u znanosti i inženjerstvu, koja su se dogodila zbog potreba Drugog svjetskog rata. Primjeri primijenjene tehnike spajanja metala lijepljenjem su ojačanja na limenim stijenkama, spone zrakoplova, krila ventilatora itd. [2,3,4]



*Slika 1 Borova smola*

Ljepila se koriste za ostvarivanje spojeva različitih materijala: metal, drvo, papir, karton, polimeri. Izbor vrste ljepila vrši se prema materijalu kojeg je potrebno zalijepiti,

eksploatacijskim uvjetima, mogućoj pripremi površine te potrebnim mehaničkim svojstvima spoja i cijeni. Podjela ljepila može se napraviti prema kemijskom sastavu, agregatnom stanju, temperaturi lijepljenja, mehanizmu lijepljenja itd. Dvije najvažnije podjele su prema kemijskom sastavu te mehanizmu očvršćivanja ljepila. Osnovne prednosti spajanja lijepljenjem su mogućnost spajanja različitih materijala i što nema unosa topline na mjesto spoja u odnosu na npr. zavarivanje. Također, postupak lijepljenja je dostupniji, jednostavno se kombinira s drugim postupcima, te se jednostavno automatizira i nije potrebna završna obrada spoja. Osnovni nedostaci lijepljenja: obavezna priprema površine, niska udarna žilavost, opasnost od popuštanja u uvjetima nejednolikog toplinskog rastezanja spojenih materijala, te manja čvrstoća u odnosu na druge metode spajanja (zavarivanje).[2]

## 2. Vrste spojeva

Dijelovi od kojih se sastoji sklop poslije pojedinačne izrade, kojom se dobivaju dijelovi predviđenih mjera, spajaju se tako da formiraju jedinstvenu i funkcionalnu cjelinu. Cilj tehnika spajanja je osiguranje kompaktnosti spojenih komada i mogućnost podnošenja naprezanja koja nastaju između njih. Napredak civilizacije usko je povezan s otkrivanjem, preradbom, oblikovanjem i spajanjem materijala u uporabne sklopove. Taj napredak očituje se u automobilskoj, zrakoplovnoj, brodskoj i sličnim industrijama u izradi složenijih struktura, koje se sastoje od više različitih materijala. Kako bi se te strukture od različitih materijala povezale moraju se koristiti različite tehnike spajanja. Spojevi se razlikuju prvobitno prema svojoj namjeni, odnosno funkciji. Postoje rastavljivi i nerastavljivi spojevi. [2,5]

### 2.1. Rastavljivi spojevi

U rastavljive spojeve spadaju: spojevi vijcima, zaticima, svornjacima i klinovima te stezno spajanje. Dijelovi ovih sklopova su pokretni, te kako samo ime kaže, lako rastavljivi na svoje sastavne dijelove. [5]

#### □ Stezno spajanje

Steznim spojem dobivaju se čvrste veze koje su otporne prema trošenju, te su sposobna podnijeti promjenjiva te velika udarna opterećenja. Takvim načinom spajanja najčešće se spajaju dijelovi koji rotiraju s vratilima i osovinama. Stezni spoj može se ostvariti prešanjem, vrućim navlačenjem ili pothlađivanjem. [2]

#### □ Spajanje vijcima

Vijci u inženjerstvu imaju dvije međusobno različite funkcije po kojima se dijele u dvije grupe: vijci za montažu i vijci za učvršćivanje. Montažni vijci koriste se za privremeno spajanje dijelova koji se naknadno povezuju u sklop. Njihova je namjena da dijelove budućeg spoja održavaju u predviđenim položajima prilikom spajanja, kako ne bi došlo do odstupanja. U tu svrhu koriste se grubo obrađeni vijci, najčešće s četvrtastom glavom, te je zazor između vijka i navoja veći od normalnog, kako bi se postigla veća brzina sklapanja. Vijci za učvršćivanje služe za ostvarivanje čvrstih, a istovremeno po volji rastavljivih spojeva. Često se vijčanom spoju povećava čvrstoća nanošenjem sloja ljepila prilikom ugradnje. [5]

### □ **Spajanje zaticima i svornjacima**

Namjena zatika je spajanje, centriranje, prijenos sila i okretnih momenata te sprječavanje gibanja spojenih dijelova. Mogu zamijeniti neke vijčane spojeve, klinove itd. Mogu se podijeliti prema obliku na cilindrične i konične.

Svornjaci su naspram zatika valjkastog oblika. Spajanjem svornjacima ostvaruju se zglobni spojevi. Zbog mogućnosti djelomičnog ili potpunog zakretanja nekih dijelova oko svornjaka mora postojati osiguranje, kako ne bi došlo do pomaka ili ispada svornjaka. [2]

## **2.2. Nerastavljivi spojevi**

Nerastavljivi ili trajni spojevi koriste se kada je cilj da sastavni dijelovi sklopa ostanu u trajnoj međusobnoj vezi i da se ne mogu više naknadno rastaviti. Nerastavljivi spojevi mogu se postići: zakivanjem, zavarivanjem, lemljenjem, lijepljenjem, spajanjem kitom te utaljivanje i ulaganje. [5]

### □ **Zakivanje**

Zakivanje se obavlja na limovima, profilima te šipkastom materijalu na kojima su prethodno izbušene odgovarajući provrti. Spajanje zakovicama obavlja se tako da se zakovica, obično izrađena od nekog mekog materijala, na prikladan način provuče kroz provrte pripremljene za spajanje oba dijela spoja. Jedna glava zakovice je već unaprijed izrađena, dok se druga oblikuje prilikom zakivanja. Danas se zakivanje zadržalo kod spajanja lakih metala, dok je ostale primjene zamijenilo zavarivanje. [2]

### □ **Zavarivanje**

Ovaj postupak spajanja ostvaruje se topljenjem površinskih slojeva materijala koji se spaja, s ili bez primjene drugog topljivog materijala, koji se još naziva dodatni materijal. Tehnikom zavarivanja mogu se spajati metalni i nemetalni materijali. Kod zavarenog spoja dolazi do pojave zone utjecaja topline u kojoj dolazi do promjene kristalne strukture metala, što je nepovoljno. No, zavarivanje je čak uz taj nedostatak najšire primjenjivana tehnika spajanja kod metalnih konstrukcija. [2,5]

### □ **Lemljenje**

Spajanje tehnikom lemljenja primjenjuje se već više od 5000 godina. Trajan spoj nastaje taljenjem dodatnog materijala, lema, koji ima nižu temperaturu taljenja od materijala koji se

spajaju. Dakle, za razliku od zavarivanja ne dolazi to taljenja osnovnog materijala. Isto kao i kod lijepljenja, da bi lemljeni spoj bio što kvalitetniji, bitna je čistoća površine koja se lemi. [2]

#### □ **Spajanje kitom, utaljivanje i ulaganje**

Kit se primjenjuje za trajno spajanje i ispunjavanje prostora između dijelova. Nanosi se u plastičnom stanju, te se nakon nekog vremena stvrdne i adhezijskim silama drži dijelove spojene. Pogodan je za spajanje dijelova koji nisu izrađeni u uskim tolerancijama, zbog mogućnosti ispunjavanja prostora.

Utaljivanje je tehnika spajanja kojom se spajaju stakleni dijelovi s keramičkim, metalnim i sličnim dijelovima. Staklo se zagrije skoro do tekućeg stanja, dok je metalni ili keramički dio još uvijek krute faze. Utaljivanjem se izrađuju staklene žarulje.

Ulaganjem se spajaju metalni s termoplastičnim dijelovima. Metalni dijelovi ulazu se u kalup u kojem se izrađuje termoplastični dio, te tako ostaju ulegnuti u termoplastiku kad se ona stvrdne. [2]

### **3. Lijepljenje**

Za početak, potrebno je ponoviti što je zapravo lijepljenje i čemu ono pripada. U uvodu je spomenuto da je lijepljenje povezivanje materijala pomoću ljepila. Sam taj postupak pripada skupini nekih postupaka spajanja, koja se odnose na one postupke koji su nerastavljeni, s time da je sam prihvat opterećenja moguć preko neke površine materijala koji se lijepi i to pomoću djelovanja među površinskim silama koje zapravo mogu biti mehaničke, elektrostatičke ili molekularne naravi. Prema tome, jasno je da ljepilo tvar zapravo koja omogućuje takav način povezivanja. [7]

#### **3.1. Prednosti i nedostaci lijepljenja**

Svaka tehnika povezivanja, odnosno spajanja površina materijala, ima svoje prednosti i nedostatke. Samim time podrazumijeva se da i lijepljenje ima iste. U nastavku ovog podpoglavlja biti će opisane prednosti i nedostaci lijepljenja.

##### **3.1.1. Prednosti lijepljenja**

Postoje brojne prednosti spajanja površina materijala pomoću lijepljenja. Neke od prednosti su da ljepila mogu spojiti različite materijale. Na primjer, mogu se spojiti metal i drvo. Nadalje, strukture koje nastanu lijepljenjem, u principu su krute i čvrste, što znači da su i otporne. Naprezanje je također, u odnosno na neke druge postupke, ujednačeno. Isto tako, ako se koriste neki metali, ljepila mogu spriječiti katodnu koroziju. [2]

Također, dobro je staviti napomenu da se mogu pronaći neki materijali koji nisu prigodni za povezivanje nekim od klasičnih postupka povezivanja. Upravo se iz tog razloga koriste ljepila koja omogućavaju takav način spajanja. Može se reći da je to jedna od većih prednosti postupka lijepljenja. Naravno, postoje i druge brojne prednosti, kao što su na primjer da dolazi do istovremenog brtvljenja spoja te nije potrebna fina završna obrada. Isto tako, nema nekih posebnih vibracija koje bi mogle smetati, a povoljno je i ekonomski jer je sam postupak relativno jeftin radi korištenja materijala za povezivanje kod kojih nije potrebna velika količina. Optimalno je koristiti ovaj postupka spajanja kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje te kod reparature, upravo zbog gore navedene ekonomičnosti. [2]

Može se reći da je na neki način i sigurnije koristiti ovaj postupak jer nema unošenja topline na mjesto spoja, što bi značilo da nema potencijalne opasnosti od opekline. S obzirom na veličinu materijala koji se povezuju, odnosno spajaju, dolazi do te prednosti da se mogu spojiti dijelovi i

materijali velikih površina, dok kod malih površina postoji preciznost spajanja. Isto tako, debljina dijelova i materijala nije bitna, zato što se tim postupkom mogu spojiti debeli i tanki dijelovi. [2]

U odnosu na druge postupke, postupak lijepljenja je dosta prilagodljiv, odnosno javlja se neka jednostavnost kod kombinacije s drugom postupcima spajanja materijala i dijelova. Isto tako, javlja se i jednostavnost kod mehanizacije, odnosno automatizacije. Posljednja prednost, koja će u ovom radu biti spomenuta, je dostupnost umrežavanja koja može biti i brža i sporija. [2]

### **3.1.2. Nedostaci lijepljenja**

Neki od nedostataka lijepljenja već su spomenuti unutar ovog rada, ali u ovom će dijelu biti malo detaljnije objašnjeni. Naime, iako je sam postupak lijepljenja relativno jednostavan i zaslužan za povezivanje raznih materijala i dijelova, isto tako dolazi do problema, odnosno manjkavosti koje se odnose na to da se za svaki materijal mora pripremiti površina koja će se lijepiti. Idući se nedostatak odnosi na to da je relativno niska udarna čvrstoća, jednako kao i žilavost ljuštenja. Nakon lijepljenja, to jest, spajanja dvaju materijala, dolazi do mogućeg puzanja ljepila, što je isto tako jedan od nedostataka ovog postupka. [2]

Svaki materijal, odnosno dio, reagira različito na toplinu, odnosno ima različite toplinske spojeve koji su zaduženi za toplinska rastezanja tih materijala. Kod takvog se slučaja, odnosno kod materijala s različitim toplinskim rastezanjima, dolazi do problema vezanim uz popuštanje spojeva. Isto tako, potrebno je osigurati močenje. Za ljepilo je potrebno određeno vrijeme i temperatura da bi ono djelovalo. Ako je temperatura previsoka za ljepilo koje se koristilo kod povezivanja, tada dolazi do nedostatka koji se odnosi na smanjenje čvrstoće lijepljenja, što bi moglo rezultirati razdvajanjem spojeva. [2]

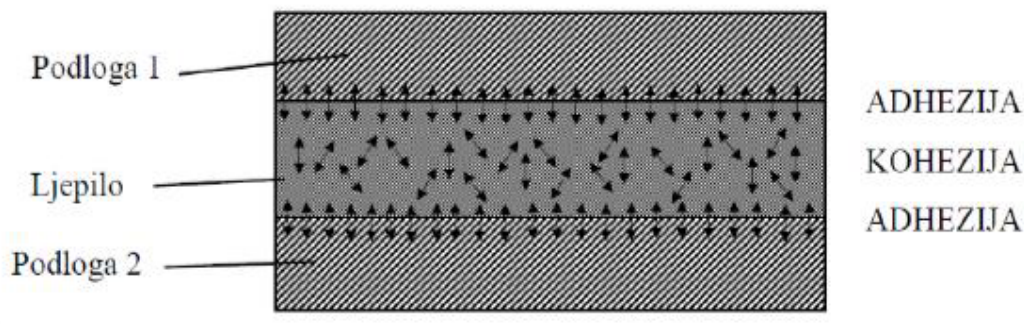
Postoji još nekoliko nedostataka, od kojih je kratkotrajna mogućnost rukovanja spojem jedan od njih. Nadalje, upotrebom neke sile, materijali i dijelovi koji su povezani u neku strukturu mogu se lako demolirati. Zatim slijedi i nepoznata kontrola postupka, koji je također jedan od nedostataka. Iako je prednost lijepljenja ta da toplina nije bitan faktor kod spajanja materijala, te s time nema opekline, kod tog postupka ipak može doći do zdravstvenih problema ako se ne barata odgovorno. [2]

### 3.2. Svojstva ljepila

Ljepila, isto kao i bilo koji drugu način povezivanja dvaju materijala imaju svoja svojstva. Već je spomenuto da se pojam ljepila odnosi na proizvode koji se temelje na nekom kemijskom sastavu i koji se u određenom fizičkom stanju mogu nanositi na različite površine, te tim nanošenjem omogućuju spajanje, odnosno povezivanje. [7]

Za vrijeme procesa stezanja, odnosno očvršćivanja ljepila, nastane novi sloj materijala. Kada dođe do povezivanja sloja ljepila i neke površine materijala koji se koristi za lijepljenje, dolazi do nastanka prijanjajućih sila i svojstva spoja koja su od izrazite važnosti kod lijepljenog spoja za njegovu čvrstoću. Postoji više stvari koje utječu na svojstva slojeva ljepila, a neka od njih su puzanje, kristalna struktura, modul rastezljivosti, modul simetričnosti i homogenost sloja. Isto tako, postoje i optimalna svojstva ljepila, odnosno slojeva ljepila, koje se mogu definirati na više načina. Načini na koje se mogu definirati svojstva jesu povišena postojanost na puzanje, visoka kohezijska čvrstoća uz istovremenu redukciju plastičnih deformacija koje dolaze kao pretpostavka za smanjenost napetosti spoja, određena povišena postojanost na reduciranje vlage i agresivne medije te stvaranje stalnih i stabilnih prijanjajućih sila na površinama materijala za lijepljenje. [7]

Isto tako postoje i određeni mehanizmi lijepljenja koji se mogu podijeliti na dva principa, a to su dobro primanje, odnosno prijanjanje ljepila na površine materijala koji su pripremljeni za proces lijepljenja. On je moguć djelovanjem adhezijskih privlačnih sila za postizanje čvrstoće ljepila, koja mora biti dovoljna u očvrstnutom stanju. [7]



Slika 2 Djelovanje adhezije i kohezije [7]

Na slici 2 prikazan je raspored i način djelovanja adhezijskih i kohezijskih sila u ljepilu. Vidljivo je da postoje neke dva osnovna materijala između koji se nalazi tanki sloj ljepila. Da bi slika bila razumljivija, potrebno je pojasniti pojmove adhezija i kohezija. [7]



### 3.2.1. Adhezija

Pojam adhezija odnosi se na neko stanje gdje se dvije površine materijala drže zajedno, zbog međusobnog djelovanja privlačnih sila kod kojih dolazi do interakcije molekula, atoma i iona, koji se nalaze i na jednoj i na drugoj površini. Pomoću tog fenomena omogućava se ljepilu prijenos opterećenja s jedne podloge na drugu. Povezivanje, koje se odnosi na adheziju, može biti kemijsko ili fizikalno. [6]

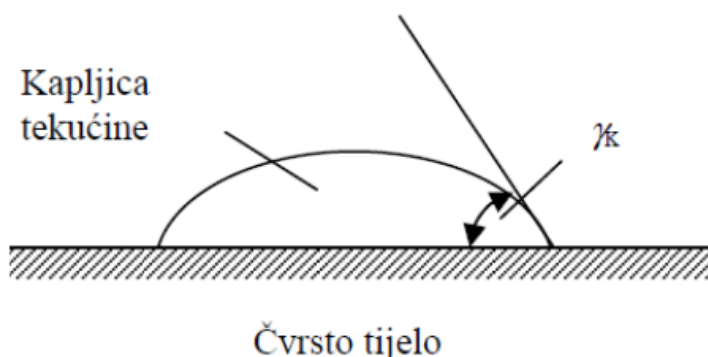
Kemijsko povezivanje odnosi se na povezivanje koje je izravno između molekula materijala, vezama koje mogu biti kovalentne ili ionske, dok s druge strane, fizičko povezivanje može kao rezultat imati neko mehaničko sidrenje, fizikalnu apsorpciju među molekulama ljepila i površine materijala ili prodorom molekula ljepila, zbog mehanizma difuzije, u površinu materijala koji se lijepi. [7]

Nadalje, unutar pojma adhezija, ubraja se i napetost na površini te slobodna energija koja se isto tako nalazi na površini. To se dešava iz razloga što se atomi, molekule ili tekućine, koje se nalaze na površini tijela, nalaze unutar drugačije okoline, nego one koje se nalaze u unutrašnjosti. Razlika je u tome što molekule koje se nalaze u unutrašnjosti, oko sebe imaju druge molekule, to jest, okružene su njima, a prosječne udaljenosti ovdje ovise o odbojnim i privlačnim silama. One čestice (atomi, molekule, i tako dalje) koje se nalaze na površini, nisu na jednak način privlačne sa svih strana. Unutrašnje molekule, odnosno njihove privlačne slike, pokušavaju povući čestice koje se nalaze na površini dublje u materijal, te time smanjuju broj čestica na površini. [7]

Zbog većeg razmaka između molekula koje se nalaze na površini, one posjeduju i veću energiju. Da bi neko lijepljenje bilo uspješno, slobodna energija površina materijala koji se međusobno povezuju, mora biti veća ili jednaka slobodnoj energiji tipa ljepila koje se koristi. Iz tog razloga, većina polimernih ljepila, onih konstrukcijskih, ima slobodnu energiju od 25 do 30 mJ/m<sup>2</sup>. Dobro je napomenuti da se zbog toga najbolje lijepe metali. Metali imaju visoku vrijednost slobodne površinske energije. S druge strane, materijali koji su niskoenergetski, kao što je na primjer plastika, teže se lijepe, pa se zato koriste razni postupci za obradu površine kojima se time podiže energetska razina. Postupci koji se ovdje upotrebljavaju većinom su kemijskog tipa, a zatim električnog i toplinskog. [7]

Močenje je jedan od mehanizama lijepljenja koji je povezan s adhezijom. Sposobnost močenja površina odnosi se na sposobnost ljepila da ostvari, u potpunosti, dodir s podlogama materijala koje lijepi. Iz tog se razloga ljepilo nanosi u stanju u kojem je tekuće, odnosno u kojem može kapati s različitom viskoznosti, te se postavlja na određeni tlak kako bi se pospješilo prodiranje ljepila u neravne površine. Ispostavljanje određenom tlaku ponajviše ovisi o vrsti ljepila koje se koristi, površini materijala koji se lijepi, stanju površine tog materijala i tako dalje. Isto tako,

toplinska rastezljivost ljepila, odnosno koliko se neko ljepilo može razvući i materijala koji se povezuju, moraju biti što sličniji. Da bi se snizila zaostala naprezanja, ljepilo ne smije jako mijenjati svoj volumen, pogotovo za vrijeme očvršćivanja. [7]



Slika 3 Kut močenja [7]

Močenje se također može i izmjeriti. Ta mjera naziva se stupanj močenja koji se mjeri kutom močenja, koji je prikazan na slici 3 oznakom  $\gamma_K$ . Ako je kut močenja jednak 0, odnosno ako je  $\gamma_K = 0$ , onda se kaže da tekućina u potpunosti moći površinu, zato što se ona u tom slučaju slobodno raspršuje istom. Javlja se i pojam potpunog močenja koji se odnosi na slučaj, kada su privlačne sile među molekulama čestica tekućine i površine materijala veće nego one između istovrsnih molekula tekućine. [7]

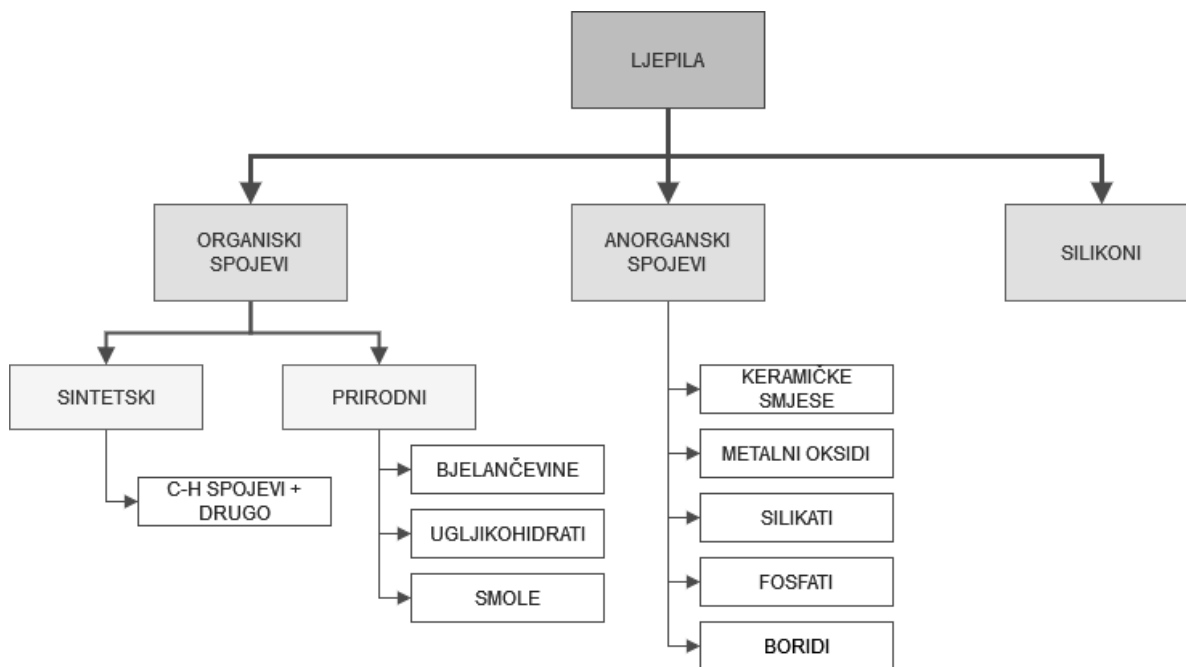
### 3.2.2. Kohezija

Drugi naziv za unutrašnju čvrstoću je kohezija. Kohezija je pojam koji se odnosi na djelovanje privlačnih sila istovrsnih molekula ili atoma istog materijala. Glavna razlika između kohezije i adhezije je upravo u tome, što kod kohezije djeluju molekule istih materijala, a kod adhezije različitih materijala. Čvrstoća koja se odnosi na koheziju uvelike ovisi o temperaturi materijala. Najveću koheziju posjeduju metali, a najmanju kapljevine i plinovi. Molekularna masa polimera isto tako ima dosta veliki utjecaj na kohezijsku čvrstoću ljepila. [6]

### 3.3. Podjela ljepila

Ljepila se mogu podijeliti prema različitim, prethodno spomenutim kriterijima podjele. Dva najvažnija kriterija podjele su: kemijski sastav i mehanizam očvršćivanja ljepila. U nastavku završnog rada biti će prikazani dijagrami obje podjele ljepila.

### 3.3.1. Podjela ljepila prema kemijskom svojstvu



Slika 4 Podjela ljepila prema kemijskom sastavu [autor Jurenec E. prema 7]

Na slici 4 prikazan je dijagram koji služi za podjelu ljepila prema kemijskom sastavu. Vidljivo je da se na prvoj razini nalazi podjela na tri dijela, odnosno na organske spojeve, anorganske spojeve te silikone. Također, neki od njih imaju i dalju podjelu, odnosno organski spojevi dijele se na drugu razinu, tako da oni mogu biti sintetski i prirodni. Pod sintetskim spojevima misli se na ugljik- vodik spojeve koji dolaze u kombinaciji s kisikom, dušikom, klorom, silicijem te sumporom. Isto tako, prirodni spojevi imaju svoju podjelu. Ona se odnosi na bjelančevine, ugljikohidrate i smole. Kao što je već spomenuto, na prvoj razini nalaze se i anorganski spojevi, koji se zatim dijele na drugu razinu, odnosno na keramičke smjese, metalne okside, silikate, fosfate te boride.

Ljepila na prirodnoj osnovi su, kako je prethodno spomenuto, poznata tisućljećima. No danas imaju vrlo mali opseg praktične primjene zbog slabe postojanosti na starenje te niske čvrstoće. Isto tako, smanjenost upotrebe, očitava se i u problemu koji se javlja kod metalnih površina. Naime, na takvim površinama otežana je primjena ljepila. Ona se pretežito koriste za lijepljenje drveta, kartona te papira. [7]

Naziv koji se često javlja za prirodna ljepila jest tutkalo. Tutkalo se zatim dijeli na ljepilo koje se temelji se na osnovi životinjskih prirodnih tvari. Takva se ljepila koriste u proizvodnji ljepljivih traka, tako da se sloj ljepila aktivira kada stupi u dodir s vodom. Prema tome, osnovna, prirodna, supstanca, odnosno sadržaj takvog ljepila je glutin koji se, kao što je već navedeno, dobiva iz dijelova životinjskih organizama, a to mogu biti, kosti, kože, žile, hrskavice i tako dalje. [7]

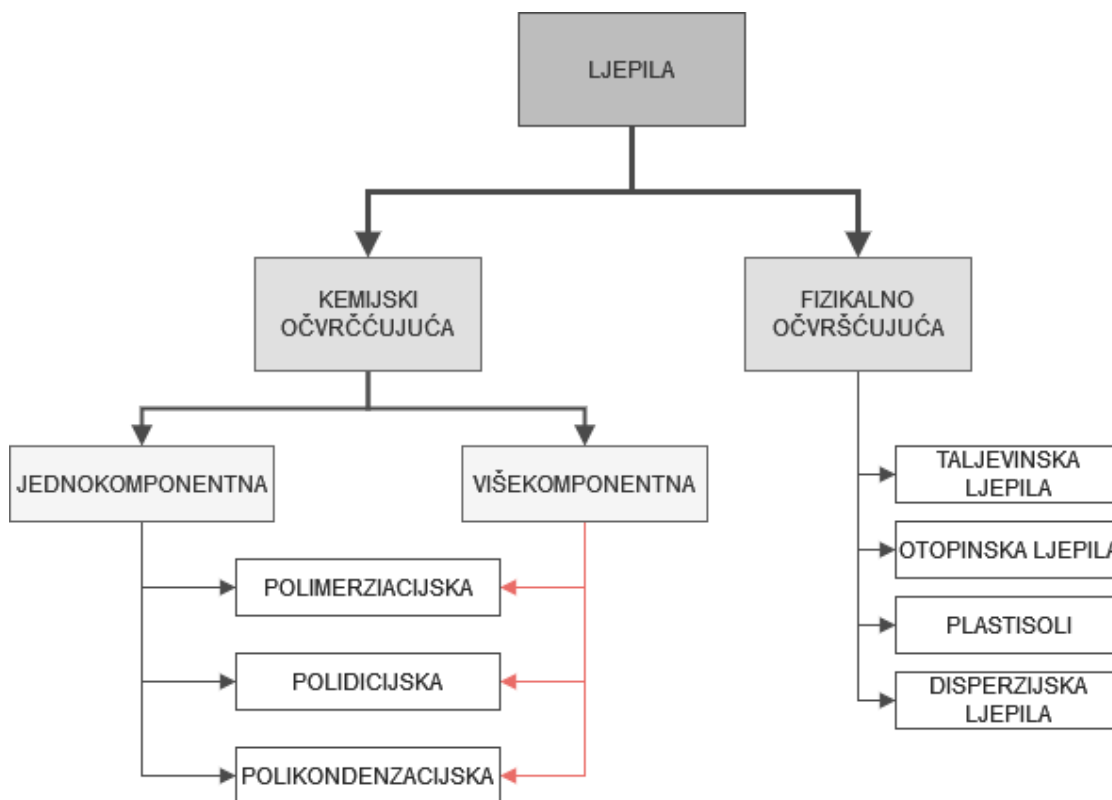
Osim što postoje ljepila temeljena na životinjskoj osnovi, isto tako postoje i ona koja su temeljena na biljnoj osnovi. Postoji tutkalo od škroba, odnosno škrobno tutkalo, celulozno, karboksilina celuloza i tako dalje. Dobro je napomenuti da je osnovni sadržaj tog ljepila ugljikohidrat, koji se može manifestirati u obliku škroba, celuloze ili dekstrina. [7]

Ljepila koja su temeljena na organskoj osnovi imaju jako dobru postojanost na povišenoj temperaturi, što je zapravo jako dobro, jer ako se vratimo na nedostatke postupka lijepljenja, vidi se da je otpornost na toplinu svrstana u nedostatke. Kod ljepila na organskoj osnovi to nije slučaj. Drugi nazivi za ljepila na organskoj osnovi su glasote ili anorganska stakla. [7]

Silikoni, u odnosu na ostale, razlikuju se po sastavu od ugljikovih prstena ili lanaca. Postoje dvije značajke koje se odnose na tipične silikone, a to su da se sastoje od spojeva silicija i kisika, kao elemenata koji su zaduženi za povezivanje molekula, te da sadrže ugljikovodike kao supstitute. [7]

### **3.3.2. Podjela ljepila prema mehanizmu očvrnuća tj. povezivanja**

Kao što je već spomenuto, postoji podjela ljepila prema mehanizmu očvrnuća. Na slici 5 prikazan je dijagram ljepila prema mehanizmu očvrnuća. Na njemu se vidi da se ljepila mogu podijeliti tako da se na prvoj razini nalaze mehanizmi kemijskih i fizikalnih očvrnuća.



Slika 5 Podjela ljepila prema mehanizmu očvršnuća [autor Jurenec E. prema [7]]

### Kemijska očvršćujuća

Kemijska očvršćujuća dijele se na drugu razinu, odnosno na jednokomponentna i višekomponentna. Prema prikazu na slici 5, vidljivo je da se podjela druge razine spaja u istu treću razinu, odnosno u polimerizacijska, polidacijaksa i polikondenzacijska ljepila.

#### □ Jednokomponentna polimerizacijska ljepila

Prema nazivu, polimerizacijska ljepila spadaju ljepila koja su cijanoakrilatna, anaerobna te zračenjem očvršćujuća tijela. Cijanoakrilatna ljepila su takva da se umrežuju sa strukturom koja se drži na površini i to tijekom reakcije sa tom strukturom. Prednost im je ta što djeluju trenutno, odnosno u svega nekoliko sekundi. Takva se ljepila zapravo sastoje od specifičnih vrsta akrilnih smola, te su krhka i kruta ljepila koja se mogu koristiti na temperaturama do 100 stupnjeva. Glavna upotreba takvih ljepila je zapravo kod lijepljenja nekih manjih površina i guma. Ona se naime ne koriste samo u industriji, nego i u medicini. [7]

Zatim slijede, prethodno spomenuta, anaerobna ljepila koja se zapravo aktiviraju kada dođu u kontakt s metalom bez prisutnosti zraka. Kod njih je specifično što su u kapljevitom obliku tako dugo dok imaju kontakt sa zrakom, odnosno kisikom. Isto tako je prednost što dijelovi, koji su

zaliječpljeni takvim lječpilom imaju odliku da budu visoko otporni, odnosno postojani na vibracije i udarce. Još jedna prednost takvog lječpila je da se, ako iscuri iz spoja, može lako otkloniti iz tog razloga što je tekuće u dodiru s kisikom. Primjerna je vidljiva kod nekih sigurnosnih dijelova, brtvi, navoja i tako dalje. Isto tako, kao što je već spomenuto, postoje i lječpila koja su zračenjem očvršćujuća. Takva lječpila spajaju materijale tako da na njih mora djelovati neki foto inicijator. Ona su najčešće neki dušični spojevi. [7]

#### □ **Poliadicijska lječpila**

Idući dio na koji su se podijelila kemijski očvršćujuća lječpila je poliadicijski dio, koji se zatim dijeli na epoksidna lječpila i na poliuretanska lječpila.

Epoksidna lječpila takva su da se sastoje od umreživala i epoksidne smole. Prednost takvog lječpila je da ono dopušta povezivanje velikog broja materijala upravo iz tog razloga što postoji jako puno vrsta smola i umreživala. Neke od osobina takvog lječpila su da ona ne hlape tijekom umrežavanja, odlikuju se povišenom čvrstoćom i stezanje im nije značajno. Isto tako, očvršćivanje je moguće ubrzati povišenom temperaturom. Nedostatak je taj što takva lječpila imaju jako malo čvrstoću na ljuštenje i jako nisku fleksibilnost. U odnosu na lječpila koja su prethodno spomenuta, epoksida lječpila, to jest, većina njih, imaju uporabnu temperaturu od 120 stupnjeva, dok neka mogu doseći temperaturu i do 200 stupnjeva. [7]

Poliuretanska lječpila su takva da se brzo umrežuju i kemijski su reaktivna. Njihova odlika je ta da jako dobro prijanjaju na različite površine. Obično se radi o žilavim i elastičnim lječpilima koja se većinom koriste za površine većeg obujma i zračnosti spojeva. Njihova čvrstoća uvelike ovisi o unutrašnjoj povezanosti. Prednost je također postojanost na temperature koje su više od epoksidnih lječpila, a isto tako i veća fleksibilnost spojeva pri nižim temperaturama. [7]

#### □ **Polikondenzacijska lječpila**

Polikondenzacijska lječpila su lječpila kod kojih, do povezivanja dviju molekula koje su monomerne u polimer, dolazi zbog cijepanja jedne jednostavne molekule. Ta molekula može biti voda, alkohol ili slično. Polimerni sloj lječpila nastaje kao produkt kemijskih reakcija i to tako da se nađe pokraj nusprodukata te reakcije. Taj nusprodukt se tijekom obrade mora ukloniti na odgovarajući način. Neka od poznatijih lječpila ove skupine su formaldehidi, poliamidi, poliesteri, silikoni, polibenzimidazoli i polisulfoni. [7]

Formaldehidi su takva lječpila da se zapravo dosta razlikuju. Kod njih postoje sveukupno četiri skupine lječpila, a to su lječpila od fenol-formaldehidne smole (PF), lječpila od melamin-

formaldehidnih smola (MF), ljepila od krezol-rezorcin-formaldehidne smole i ljepila od urea formaldehidnih smola (UF). [7]

### **Fizikalno očvršćujući**

Nakon malo detaljnije objašnjenih kemijski očvršćujućih ljepila, slijedi pojašnjavaње fizikalno očvršćujućih ljepila koja imaju svoju podjelu na taljevinska, otopinska, plastisole i disperzijska ljepila.

#### **□ Taljevinska ljepila**

Taljevinska ljepila su takva koja nisu konstrukcijska, odnosno iz skupine plastomera. Isto tako, takva ljepila ne sadrže otapala i hlapljive monomere te nemaju specijalnog doziranja te gubitka ljepila. Još jedna od prednosti je da brzo skrućuju.

#### **□ Otopinska ljepila**

Otopinska ljepila su, s druge strane, vlažna i kontaktna ljepila, koja dobro prijanjaju te su početno vruća. Nakon njih slijede plastisoli.

#### **□ Plastisoli**

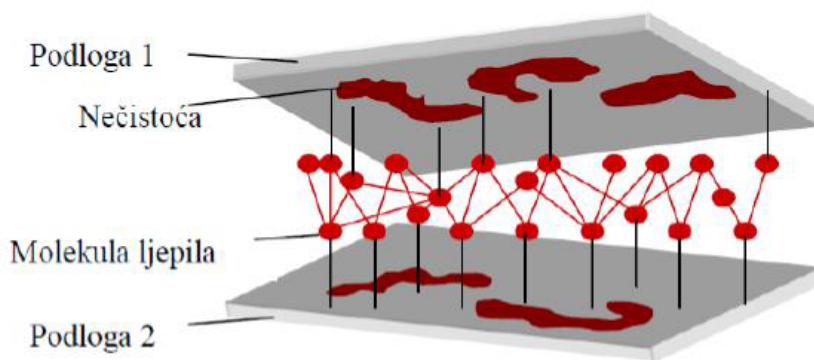
Plastisoli se zapravo odnose na sustave bez otapala, koja se najčešće sastoje od fino raspršenog poli(vinil-klorida) tj. PVC-a i omekšivača. Takva ljepila uglavnom se primjenjuju na temperaturama od 120 do 180 stupnjeva. Isto tako, neke od prednosti su to da su ona otporna na ljuštenje, imaju visoku čvrstoću te su fleksibilna.

#### **□ Disperzijska ljepila**

Posljednja ljepila koja pripadaju toj skupini su disperzijska ljepila, odnosno polimeri koji se nalaze u vodenim disperzijskim sredstvima. Kod disperzijskih ljepila sloj ljepila nastaje nakon isparavanja kapljevite faze. [7]

### 3.4. Priprema površine za lijepljenje

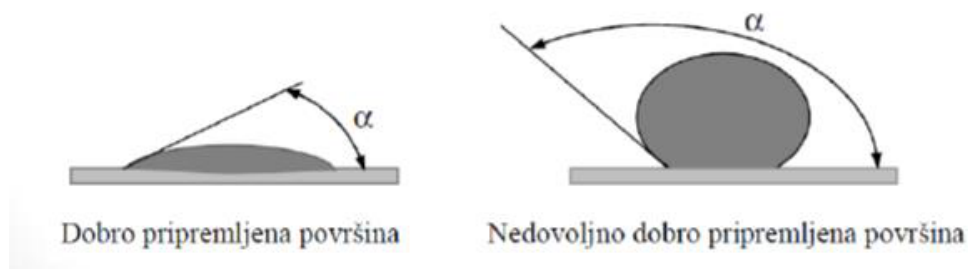
Kod postupka lijepljenja koriste se brojni materijali i dijelovi. Svaki dio mora imati određenu obradu kako bi se postigli najbolji rezultati. Kod pojma adhezije je već u radu prethodno spomenuta relevantnost pripreme površine. Isto tako, ovdje je bitna adhezija između površina koje se lijepe i ljepila. Površina koja se lijepi mora biti što bolje očišćena, tako da lijepljeni spoj bude što čvršći. Također, adhezijske se sile mogu značajno povećati ako se skine neodgovarajući površinski sloj materijala odmašćivanjem i mehaničkom obradom, te ako je potrebno, stvaranjem novog površinskog sloja kemijskim postupkom. [6]



Slika 6 Nečistoća na površini materijala [7]

Na slici 6 prikazan je problem koji se dešava kada se nečistoća pojavi između dviju podloga koje se lijepe. U tom slučaju molekule ljepila ne mogu kvalitetno odraditi svoj posao, odnosno spojiti dva materijala, a time se smanjuje ukupna čvrstoća spoja.

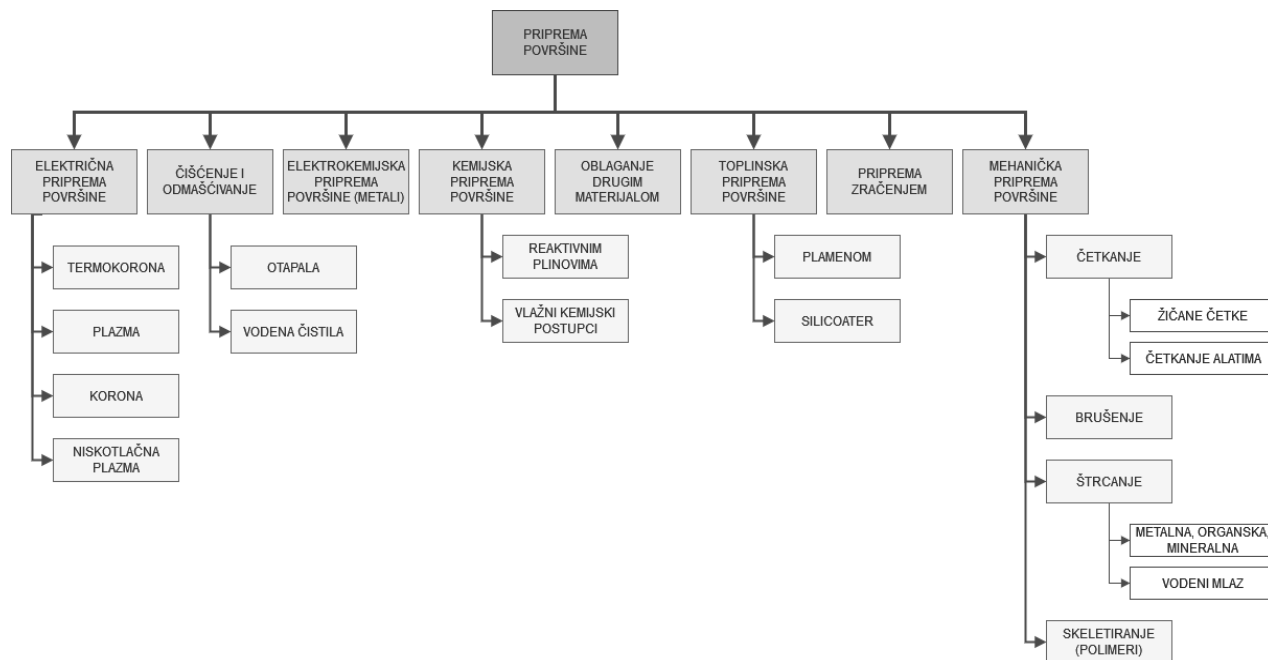
Postoji i način ispitivanja podloge koja se priprema za lijepljenje, odnosno testira se koliko je podloga čista. To se izvodi pomoću metode *vodene kapljice* tako da se svega nekolicina kapljica vode nanese na površinu koja je prethodno očišćena. Ako površina nije dovoljno dobro očišćena tada kapljice zadržavaju oblik kugle. U tom slučaju površina se mora podvrgnuti temeljitijem čišćenju. Druga mogućnost je da se kapljice vode razlijevaju po površini materijala. To je znak da je močenje površine dobro, te da je površina dobro pripremljena. [7]



Slika 7 Metoda „vodene kapljice“ [7]



Na slici 7 vidljivo je, u slučaju da je površina namijenjena za lijepljenje dobro pripremljena, kut između kapljice vode i površine je mali, što bi značilo da se kapljica razlijeva po površini. Ako je kut između kapljice i površine veliki, to bi značilo da je kapljica okruglog oblika, te da je površina nedovoljno dobro očišćenja i nije sprema za proces spajanja ljepilom.



Slika 8 Dijagram podjele postupaka pripreme površine [autor Jurenec E. prema [7]]

Na slici 8 prikazan je dijagram podjele postupaka pripreme površine za lijepljenje. Na prvoj razini postoji sveukupno osam postupaka od kojih se pet dijeli na drugu razinu. Osam glavnih postupaka su električna priprema površine, čišćenje i odmašćivanje, elektrokemijska priprema površine koja se odnosi na metale, kemijska priprema površine, oblaganje drugim materijalom, toplinska priprema površine, priprema zračenjem i mehanička priprema površine. Prvi postupak pripreme površine, koji se dijeli na drugu razinu, jest električna priprema površine. Takva priprema površine može se odnositi na termokoronu, plazmu, koronu ili na niskotlačnu plazmu. Iduća podjela javlja se kod čišćenja i odmašćivanja. Dakle, druga razina odnosi se na otapala i vodena čistila. Nadalje, do podjele dolazi i kod kemijske pripreme površine. Tu se postupci dijele na reaktivne plinove i na vlažne kemijske postupke. Zatim slijedi toplinska priprema površine koja ima podjelu na postupak pripreme putem plamena ili silicoater-a. Posljednji postupak pripreme površine za lijepljenje, koji je mehanička priprema, ne dijeli se samo na drugu razinu, nego dolazi do treće razine. Naime, na drugoj razini tog postupka nalazi se četkanje, brušenje, štrcanje i skeletiranje, koje se odnosi na polimere. Od navedene podjele druge razine, četkanje i štrcanje

dolaze do treće razine, odnosno, četkanje se dijeli na četkanje žičanim četkama i četkanje alatima koji su punjeni sredstvom za brušenje, dok se štrcanje dijeli na metalna, organska i mineralna štrcanja i na vodeni mlaz.

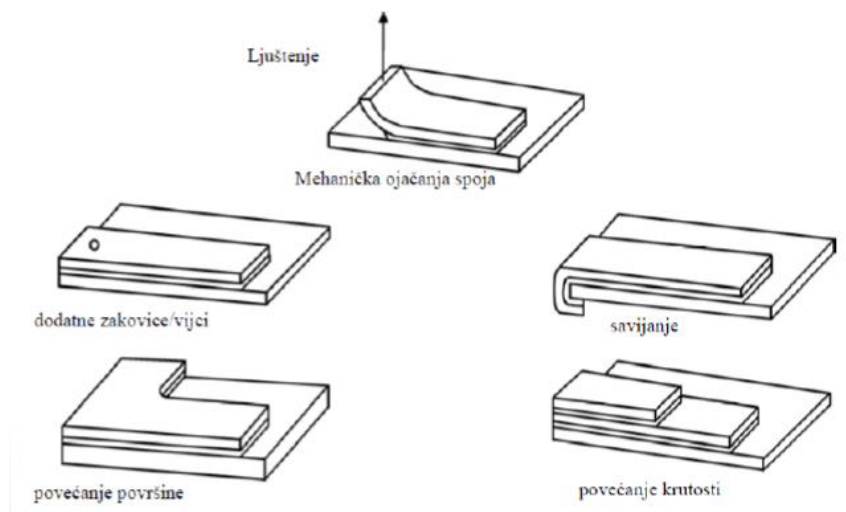
### 3.5. Oblikovanje lijepljenih spojeva

Konstruktivsko oblikovanje lijepljenih spojeva ima jako veliki utjecaj na nosivost, na što najviše utječe vrsta samoga spoja, odnosno radi li se o jednostrukom ili dvostrukom preklopu, sučeonom ili cijevnom spoju, te debljina i površina mjesta lijepljenja. [7]

Postoji pojam koji se naziva osiguranje dovoljnih površina za lijepljenje, a on se odnosi na činjenicu da metali i metalni dijelovi imaju značajno veću čvrstoću u odnosu na ljepila. Prema tome, može se zaključiti da ljepila imaju puno manju čvrstoću od metala i metalnih materijala. Ako se poveća površina lijepljenja, postiže se čvrstoća koja je dovoljna za uspješno lijepljenje spoja. Zahtjev za povećanjem površine lijepljenja uvjetuje da se primijeni preklopni spoj kod kojeg je zapravo moguća jednostavna promjena površine lijepljenja. [7]

#### 3.5.1. Smanjenje naprezanja

Isto tako, bitno je i smanjenje naprezanja koje se javlja kod jednostrukih preklopivih lijepljenih spojeva, kod kojih je nosivost spoja ograničena. Kod takvih spojeva naprezanje se stvara na rubovima preklapanja. Ta naprezanja potrebno je smanjiti što je više moguće ili ih u potpunosti eliminirati. Da bi se ta opterećenja smanjila, dobro je uzeti u obzir neke principe.



Slika 9 Načini smanjenja naprezanja [7]

Ti principi odnose se recimo na sprječavanje nastanka momenta savijanja. Na slici 9 prikazane su neke od metoda, a u daljnjem tekstu su i pojašnjene. U takvim slučajevima preporučuje se primjena geometrije koja bi mogla u dobroj mjeri napraviti eliminaciju tog efekta i to dvostrukim preklapnim slojem, s ili bez podmetača te spojem s umetkom. Idući princip odnosi se na izbjegavanje opterećenja na ljuštenje tako da se koriste odgovarajuće konstrukcije mjere, odnosno nekim dodatnim povezivanjem, na primjer, pomoću pojačavanja dijelova za lijepljenje na rubovima preklapanja. Zatim slijedi princip izbjegavanja opterećenja koja su uzrok plastičnoj deformaciji dijelova za lijepljenje. Posljednji princip je izbjegavanje razdvajanja, odnosno cijepanja, tako da se postavе dodatne zakovice ili vijci na početak preklapanja. [7]

Kod oblikovanja spojeva, potrebno je naglasiti da treba izbjegavati koncentracije naprezanja i činjenicu da neko opterećenje treba prenijeti na veću površinu. Najmanje poželjno je opterećenje na ljuštenje, pogotovo kod konstruktora lijepljenih spojeva. [7]

### **3.5.2. Duljina preklapanja**

Duljina preklapanja također je jedan od bitnih parametara čijim se povećanjem može povisiti čvrstoća lijepljenog spoja, odnosno omogućiti prihvat većeg opterećenja. Bez obzira na to, postoje određeni problemi, odnosno ograničenja uz povećanje duljine preklopa, koja su uvjetovana pojavom koncentracije naprezanje na rubovima jednostrukih preklapnih spojeva. [7]

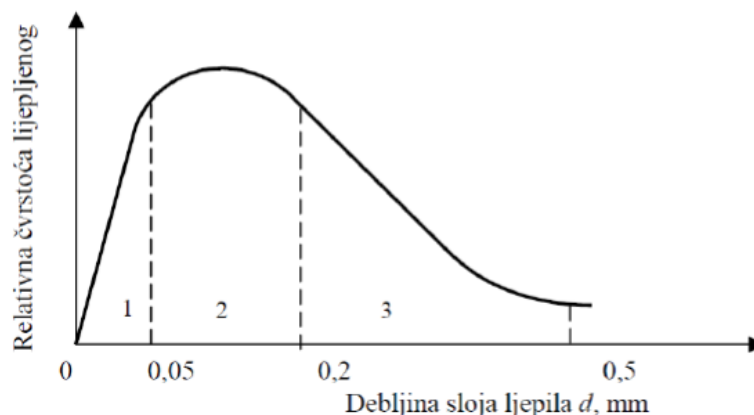
### **3.5.3. Površina lijepljenja**

Iako je poželjno da površina lijepljenja bude što veća, nije dobro da bude prevelika. To bi trebalo značiti da treba pripaziti, da površina ne bi počela negativno utjecati na čvrstoću spoja i to zato što je tada smanjena ravnomjernost sloja samog ljepila pri nanošenju. Može doći do nejednakog očvršćivanja ljepila na površini između materijala, zbog nejednakoga pritiska dijelova kod lijepljenja i temperature, te zbog prilagođavanja dijelova kod nekih mogućih geometrijskih odstupanja. Može se zaključiti da je iz tog razloga potrebno pripaziti na činjenicu da je čvrstoća lijepljenog spoja kod većih površina lijepljenja manja nego kod manjih. [7]

### **3.5.4. Debljina sloja ljepila**

Debljina sloja također je jedan od faktora koji utječe na čvrstoću lijepljenog spoja. Postoji nekoliko čimbenika koji su ovisnosni o debljini sloja, a isto tako mogu utjecati na čvrstoću

lijepljenog spoja. Neki od tih čimbenika su pojavljivanje nehomogenosti i to kod onih slojeva ljepila koji su deblji, mogućnost pojave različitih debljina nanosa ljepila između onih površina koje se povezuju, povećanja momenta savijanja što je sloj ljepila deblji, te odnos između područja u kojima djeluju kohezijske i adhezijske sile. [7]

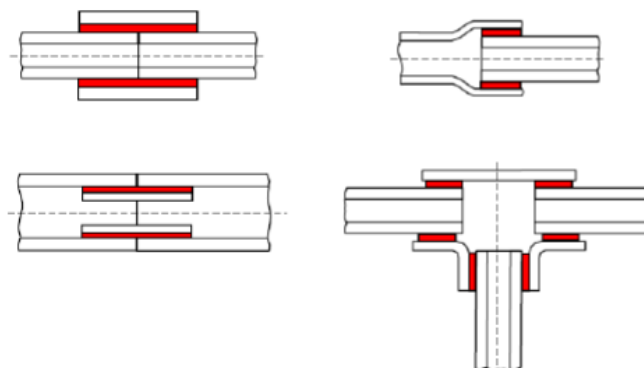


Slika 10 Utjecaj debljine sloja ljepila [7]

Na slici 10 vidljivo je da se na x-osi nalaze podaci vezani za debljinu sloja u odnosu na y-os na kojoj je prikazana relativna čvrstoća lijepljenog spoja. Ishodište kreće od 0. Prema slici, vidi se da je optimalna debljina sloja od 0,05 mm do 0,2 mm jer je u tom području i najveća čvrstoća. Vidi se opadanje čvrstoće ako je debljina sloja veća od 0,2 mm i to iz gore navedenih razloga. Prema slici može se zaključiti da je poželjno držati se optimalnog razmaka debljine sloja ljepila.

### 3.5.5. Cijevni spojevi

Preklopni spojevi, uz ostala temeljna načela, imaju mogućnost oblikovanja cijevnih spojeva. Takvi su spojevi, bez obzira na prisutnost opterećenja na ljuštenje, pogodni za prijenos opterećenja. Tu se isto tako primjenjuje pravilo da se povećanje lijepljene površine pokazuje kao dobro rješenje.



Slika 11. Cijevni spojevi [7]

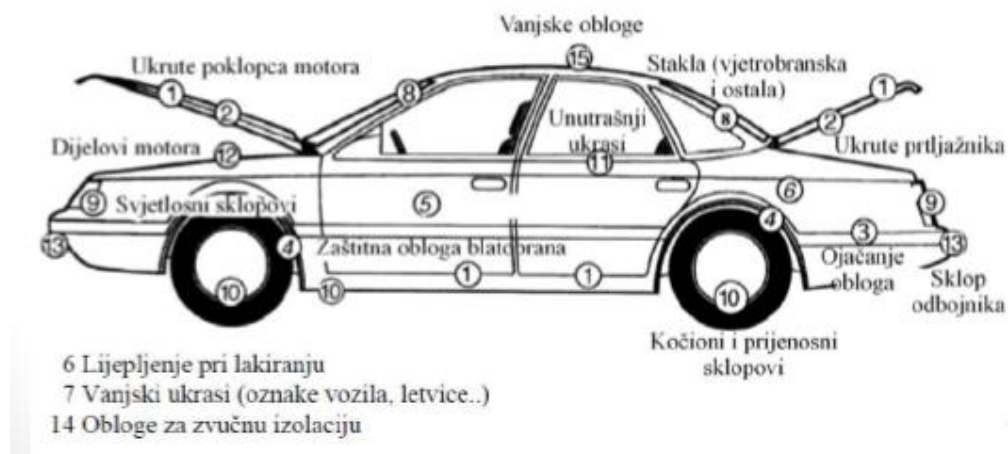
Na slici 11 nalazi se ilustrirani prikaz načina na koji se cijevni spojevi mogu povezati pomoću lijepljenja. Crvenom bojom označeno je ljepilo, te način kako treba biti nanoseno kada se radi o ovakvom spoju.

### 3.6. Primjena lijepljenja

Ljepila i proces lijepljenja imaju izrazito veliku primjenu u industriji, kućanstvu ili područjima gdje je potrebno povezati dvije površine. Neki od poznatijih primjera, koji će u nastavku biti opisani su korištenje lijepljenja i procesa lijepila u automobilskoj industriji te kod osiguravanja vijčanih spojeva. Naravno, postoje i brojne druge primjene, kao što je recimo u zrakoplovnoj industriji.

#### 3.6.1. Primjerna lijepljenja u automobilskoj industriji

Kada je automobilska industrija u pitanju, proces lijepljenja je neophodan. Ljepila se koriste u unutrašnjosti i izvan automobila. Kada se govori o vanjštini automobila tada se misli na povezivanje ploha materijala kod svjetlosnih sklopova, dijelova motora, poklopca motora, vanjske obloge, vjetrobranska i ostala stakla, prtljažnika, ojačanje obloga, sklop odbojnika, zaštitnu oblogu blatobrana, kočioni i prijenosni sklopove, lijepljenje pri lakiranju i tako dalje. Kod ovakvog lijepljenja koriste se razne tehnike i vrste ljepila, jer je sastav materijala različit. Sve to vidljivo je na slici 12. [7]



Slika 12 Lijepljeni dijelovi automobila [7]

Unutrašnjoj automobila također je prepuna lijepljenih spojeva. Na primjer, lijepe se krovne obloge, retrovizori na vjetrobran, ogledala na sunčana sjenila, pjenaste obloge pretinca, nosivi dijelovi sjedala, unutarnje obloge, tkanine, podloge za tkanine i tako dalje. Zapravo je stvar jednaka kao i za vanjštinu automobila. Ljepila se koriste za povezivanje velike većine dijelova unutar i izvan automobila.

### **3.6.2. Osiguranje vijčanih spojeva**

Osiguranje vijčanih spojeva koristi se kako navojni spojevi ne bi popustili uslijed vibracija i udaraca. Ljepila koja se koriste kod takvog povezivanja moraju biti tekućine koje će u potpunosti ispunjavati šuplje dijelove između prijanjajućih navoja. Svojstva ljepila koja se koriste su da ona moraju biti jednokomponentna, čista i laka za nanošenje, otporna na vibracije, da osiguravaju i brtve sve navoje te da smanjuju troškove inventara. [7]

Takvo bi ljepilo trebalo biti zaduženo za trajno učvršćivanje navoja spojeva, te eliminaciju nagrizaćih korozija i stvaranju homogenog spoja. Najpoznatija marka ljepila koje se koristi u tu svrhu naziva se *Loctite*. Taj proizvod je jednokomponentna tekućina koja se stvrdnjava na sobnoj temperaturi, te se zatim pretvara u krutu i čvrstu termostabilnu plastiku. Može se nanositi na čelične, aluminijske, mjedene ili druge veće metalne površine. Prednost je ta što do stvrdnjavanja dolazi bez prisutnosti zraka te se u potpunosti popunjavaju svi provrti i šupljine između navoja. [7]

## 4. Ispitivanje vlačne i posmične čvrstoće

Ispitivanjem tehničkih materijala i spojeva određuju se njihova svojstva, u ovom slučaju vlačne i posmične čvrstoće kod spajanja lijepljenjem. Kod ispitivanja čvrstoće lijepljenog spoja koristila su se tri različita ljepila kojima se lijepio sučelni, kosi te preklopni spoj.

Ljepilo koje je označeno brojem 1 naziva se Locttlf 648, te je namijenjeno spajanju cilindričnih mehaničkih dijelova. Ljepilo označeno brojem 2. proizvođača Rite-Lok oznake TL70 namijenjeno je trajnom učvršćivanju vijčanih spojeva. Ljepilo pod brojem 3 oznake TL43 također je istog proizvođača i namjene kao ljepilo broj 2, jedina razlika je to što je srednje snage učvršćivanja vijčanih spojeva.

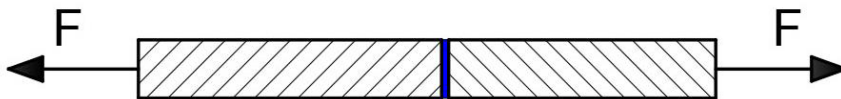
Prije nanošenja ljepila, površina materijala se obradila brusnim papirom te odmastila, kako bi se osigurala što bolje čvrstoća lijepljenog spoja. Na svaku površinu pažljivo je nanesen sloj ljepila te su uzorci bili osigurani stezaljkama, kako ne bi došlo do pomicanja dijelova. Tako osigurani spojevi ostavljeni su 72 sata kako bi lijepljeni spoj očvrstnuo. Nakon 72 sata spojevi su bili vlačno statički opterećivani silom do točke pucanja spoja. Ta sila pokušala se što točnije zabilježiti, da bi se dobili što točniji rezultati vlačne i posmične čvrstoće.



*Slika 13 Pripremljeni materijal prije lijepljenja [autor Jurenec E., 17.10.2020.]*

## 4.1. Sučelni spoj

Sučeoni spoj prikazan je na slici 14.



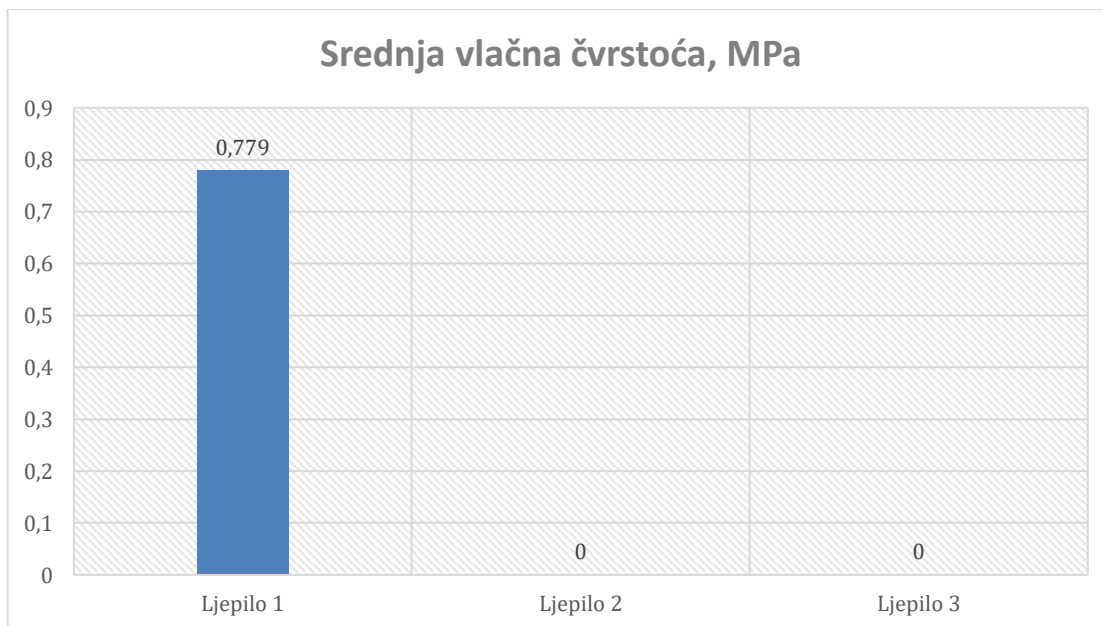
Slika 14 Sučeono lijepljeni spoj

Vlačna čvrstoća lijepljenog sučeonog spoja, pod pretpostavkom da je deformacija spojenih elemenata u području spoja zanemariva, izračuna se po jednadžbi (1).

$$\sigma_{sr} = \frac{F_{\max}}{A} [\text{MPa}] \quad (1)$$

Pomoću jednadžbi (2) izračunata je površina sučeonih spojeva prikazana u  $\text{mm}^2$ . Vrijednost  $a$ , koja u ovom primjeru iznosi 8 mm odnosi se na visinu, dok se vrijednost  $b$  s iznosom od 30 mm odnosi na širinu materijala.

$$A = a \cdot b = 8 \cdot 30 = 240 \text{ mm}^2 \quad (2)$$



Slika 15 Usporedba srednje vlačne čvrstoće tri ljepila kod sučelnog spoja [autor Jurenec E.]



Po izgledu grafičkih vrijednosti čvrstoće na slici 15 može se vidjeti da srednja vlačna čvrstoća lijepljenog spoja s ljepilom broj 1 iznosi 0,779 MPa. Kod ljepila broj 2 i 3 sučeono lijepljeni spoj bio je toliko slab, da je popustio prilikom ispitivanja bez opterećenja silom, te je srednja vlačna čvrstoća tih spojeva jednaka 0. To se može objasniti činjenicom da su ljepila broj 2 i 3 namijenjena osiguranju od odvrtnja vijčanih spojeva, što iziskuje različita svojstva ljepila, zbog čega nisu ostvarila dobre rezultate lijepljenja kod sučelnog spoja.

## 4.2. Kosi spoj

Kosi spoj prikazan je na slici 16.



Slika 16 Koso lijepljeni spoj

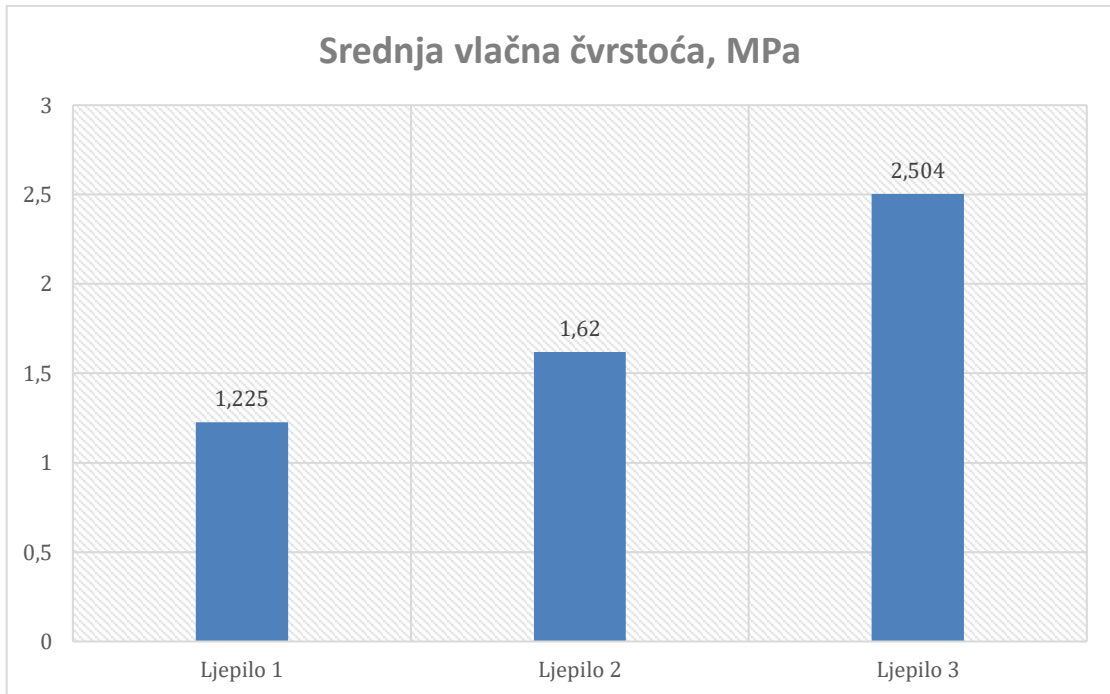
Srednja vlačna čvrstoća kosog lijepljenog spoja, za sve tri vrste ljepila, izračuna se pomoću jednadžbe (3).

$$\sigma_{sr} = \frac{F_{\max}}{A} [\text{MPa}] \quad (3)$$

Površina koja se lijepi kod kosog spoja izračuna se po jednadžbi (4).

$$A = a \cdot b = 8 \cdot \sqrt{2} \cdot 30 = 339,41 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

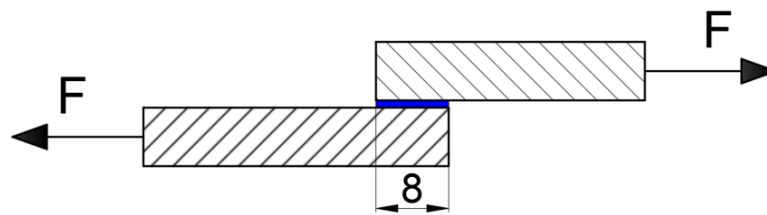
Iz slike 17 može se očitati da najveću srednju vlačnu čvrstoću ima spoj lijepljen ljepilom broj 3, te ona iznosi 2,504 MPa. Nakon njega slijedi spoj lijepljen ljepilom broj 2 sa srednjom vlačnom čvrstoćom od 1,62 MPa. Suprotno rezultatu lijepljenja sučeonog spoja, najslabiju srednju vlačnu čvrstoću kosog spoja imao je spoj lijepljen ljepilom broj 1.



Slika 17 Usporedba srednje vlačne čvrstoće tri ljepila kod kosog spoja [autor Jurenc E.]

### 4.3. Preklopni spoj

Preklopno lijepljeni spoj prikazan je na slici 18.



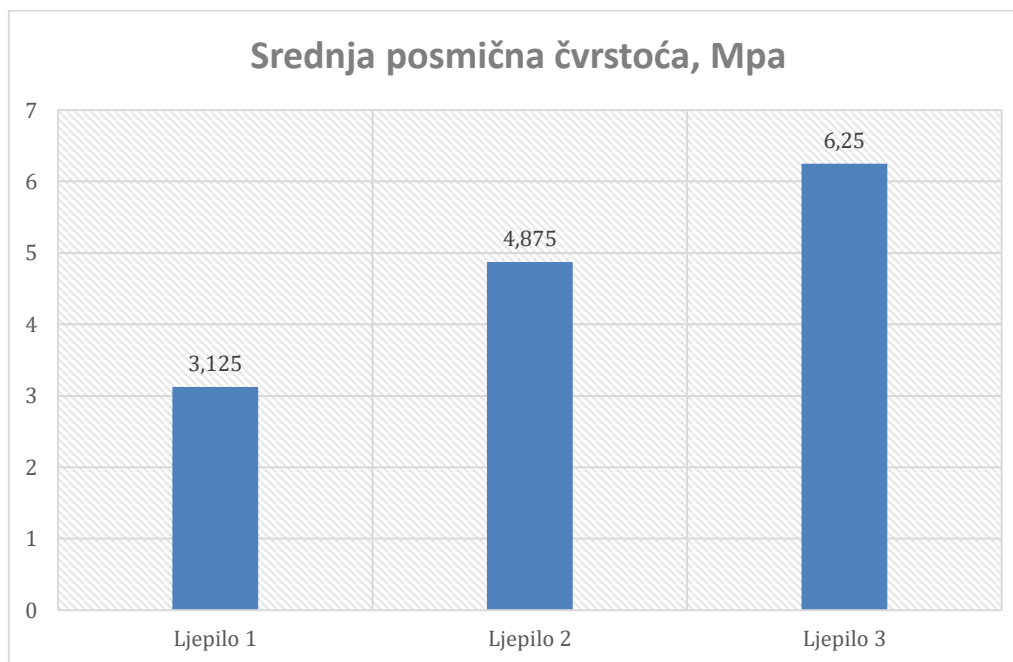
Slika 18 Preklopno lijepljeni spoj

Srednja posmična čvrstoća preklopno lijepljenog spoja izračuna se po jednadžbi (5).

$$\tau_{sr} = \frac{F_{\max}}{A} [\text{MPa}] \quad (5)$$

Površina preklopnog spoja na slici 18 izračuna se pomoću jednadžbe (6).

$$A = a \cdot b = 8 \cdot 30 = 240 \text{ mm}^2 \quad (6)$$



*Slika 19 Usporedba srednje posmične čvrstoće tri ljepila kod preklopnog spoja [autor Jurenec E.]*

Iz slike 19 može se vidjeti da je situacija, što se tiče poretka spojeva, jednaka kao i kod kosog spoja. Dakle, najveću srednju posmičnu čvrstoću, koja iznosi MPa, ima spoj ljepila broj 3. Nakon njega, sa srednjim rezultatom od 4,875 MPa slijedi spoj ljepila broj 2, te najslabiji, sa rezultatom od 3,125 MPa je preklopni spoj lijepljen ljepilom broj 1.

Nakon provedene analize rezultata može se zaključiti kako spajanje lijepljenjem kosog spoja u usporedbi s sučelnim spojem rezultira većom srednjom vlačnom čvrstoćom. Kako je već spomenuto u radu, da površina lijepljenja uvelike utječe na čvrstoću spoja, to je ovim ispitivanjem i dokazano. Budući da je epruveta za kosi spoj rezana pod  $45^\circ$  površina koja se lijepi iznosi  $339,41 \text{ mm}^2$  dok površina sučelnog spoja iznosi  $240 \text{ mm}^2$ . Također vidimo da je kod preklopnog spoja maksimalna sila potrebna da se spoj pokida puno veća od maksimalne sile kod sučelnog ili kosog spoja.

## 5. Zaključak

Na kraju završnog rada mogu se rezimirati osnovni pojmovi i činjenice povezane s ljepljivima i procesom lijepljenja. Dakle, pojam ljepljivosti odnosi se na sredstvo kojim se spajaju dvije površine istih ili različitih materijala, dok se lijepljenje odnosi na sam proces povezivanja tih dviju površina. Isto tako, postoje razne vrste ljepljivosti s različitim svojstvima koja ovise o samom sastavu ljepljivosti te o uvjetima okoline u kojoj se odvija proces lijepljenja.

Postoje brojne prednosti i nedostaci ljepljivosti i procesa lijepljenja. Može se reći da je jedna od većih prednosti to što postoji velik broj ljepljivosti, pa je prema tome sama primjena spajanja materijala ljepljivom široko primjenjena. Glavni nedostatak bi bio moguće sigurnosne prepreke koje mogu biti povezane s udisajem para ili toplinskih ozljeda kod nepravilnog rukovanja ljepljivima, te nemogućnost dobivanja dovoljno čvrstih spojeva u usporedbi s nekim klasičnim metodama spajanja metala.

Nadalje, postoje brojne podjele ljepljivosti kao što su, podjela prema kemijskom svojstvu te prema mehanizmu očvršnuća. Kemijska svojstva odnose se na sastav ljepljivosti i način na koji reagira u dodiru s materijalom. S druge strane mehanizam očvršnuća ima vlastitu podjelu na kemijska i fizikalna očvršnuća. Primjena ljepljivosti u svakodnevnom životu vidljiva je na bezbroj stvari, a neki od najpoznatijih primjera su u automobilske i zrakoplovne industrije te u kućnoj primjeni. S obzirom na trenutno ekološko stanje u svijetu, te napredak u tehnologiji, postoji velika mogućnost da će se u bližoj budućnosti težiti razvitku novih ljepljivosti koja će biti svojstvima zadovoljavajuća i ekološki prihvatljiva.

U završnom radu također je napravljen praktični primjer na kojem je prikazano kako vrsta spoja i vrste ljepljivosti utječu na čvrstoću lijepljenog spoja. Dobiveni rezultati u skladu su s očekivanjima, odnosno očekivano je da će maksimalna sila kod preklopnog spoja biti veća nego kod kosog i sučelnog, što rezultati na kraju ispitivanja dokazuju.

## 6. Literatura

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=37713> , dostupno 10.10.2022.
- [2] Gojić Mirko: TEHNIKE SPAJANJA I RAZDVAJANJA MATERIJALA, Sveučilište u Zagrebu, Sisak, 2008.
- [3] Zagorec Mijo: Ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva polimernih laminata, Građevinski institut Hrvatske, Zagreb, 2005.
- [4] <https://hr.eferrit.com/povijest-ljepila-i-ljepila/> , dostupno 11.10.2022.
- [5] P.F. Ambrogio, C. Bertucelli, A. Carrer, I. Marino, etc.: Tehnologija obrade materijala, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
- [6] Rogić A., Čatić I., Godec D.: Polimeri i polimerne tvorevine, BIBLIOTEKA POLIMERSTVO, Zagreb, 2008.
- [7] M. Gojić, Z. Lukačević, L. Samardžić i drugi, „Tehnike spajanja – Lijepljenje,“ nastavni materijali na predmetu Tehnike spajanja [Merlin], Sveučilište Sjever, Odjel za proizvodno strojarstvo Varaždin, 2021.

## Popis slika

Broj stranice:

Slika 1 Borova smola ( <a href="https://agrosavjet.com/wp-content/uploads/2020/10/smola-870x489.jpg">https://agrosavjet.com/wp-content/uploads/2020/10/smola-870x489.jpg</a> , dostupno 10.10.2022.)	1
Slika 2 Djelovanje adhezije i kohezije [7]	8
Slika 3 Kut močenja [7]	10
Slika 4 Podjela ljepila prema kemijskom sastavu – izradila Jurenc E. prema [7]	11
Slika 5 Podjela ljepila prema mehanizmu očvrstnuća – izradila Jurenc E. prema [7]	13
Slika 6 Nečistoća na površini materijala [7]	16
Slika 7 Metoda vodene kapljice [7]	16
Slika 8 Dijagram podjele postupaka pripreme površine – izradila Jurenc E. prema [7]	17
Slika 9 Načini smanjenja naprezanja [7]	18
Slika 10 Utjecaj debljine sloja ljepila [7]	20
Slika 11 Cijevni spojevi [7]	20
Slika 12 Lijepljeni dijelovi automobila [7]	21
Slika 13 Pripremljeni materijal prije lijepljenja – Jurenc E., 17.10.2022.	23
Slika 14 Sučeono lijepljeni spoj	24
Slika 15 Usporedba srednje vlačne čvrstoće tri ljepila kod sučelnog – izradila Jurenc E.	24
Slika 16 Koso lijepljeni spoj	25
Slika 17 Usporedba srednje vlačne čvrstoće tri ljepila kod kosog spoja – izradila Jurenc E.	26
Slika 18 Preklopno lijepljeni spoj	26
Slika 19 Usporedba srednje posmične čvrstoće tri ljepila kod preklopnog spoja – izradila Jurenc E.	27



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Edita Jurenec (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Lijepljenje strojnih dijelova (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Jurenec  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Edita Jurenec (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Lijepljenje strojnih dijelova (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Jurenec  
(vlastoručni potpis)