

# Proizvodnja kućišta rasvjetnog tijela tipa Hyper

---

**Brečević, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:020191>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

**POLITEHNIKA PULA**  
**VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA**

**IVAN BREČEVIĆ**

**PROIZVODNJA KUĆIŠTA RASVJETNOG TIJELA TIPA HYPER**

**ZAVRŠNI RAD**

**PULA, 2014. GODINA**

**Politehnika Pula**  
**Visoka tehničko – poslovna škola**

**PROIZVODNJA KUĆIŠTA RASVJETNOG TIJELA TIPA HYPER**

**Završni rad**

**Kolegij: Tehnika materijala 2**

**Student: Ivan Brečević**

**Mentor: Prof. dr. sc. Božo Smoljan**

**Pula, 2014. Godine**

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	5
1.1. Opis i definicija problema .....	5
1.2. Cilj i svrha rada .....	5
1.3. Teza .....	5
1.4. Metode rada.....	5
1.5. Struktura rada .....	6
2. Djelatnost poduzeća Eltor d.o.o .....	7
3. Rasvjetno tijelo tip Hyper .....	9
3.1. Povjesni razvoj rasvjetne tehnike.....	9
3.2. Način montaže.....	12
3.3. IP zaštita.....	12
3.4. Snage i dimenzije .....	13
3.5. Popis elemenata kućišta Hyper i njihove obrade. ....	13
4. Materijali za izradu elemenata kućišta svjetiljke Hyper .....	17
4.1. Čelici .....	17
4.1.2. Vrste čelika .....	18
4.1.3. Označavanje čelika .....	19
4.1.4. Konstrukcijski čelici .....	23
4.1.5. Hladnovaljani niskouglični čelični lim .....	24
4.2. Aluminijski .....	25
4.2.1. Aluminijski 99,50% čistoće.....	26
4.2.2. Aluminijske legure .....	28
4.2.3. Gnječene legure.....	28
4.3. Polimeri.....	31
4.3.1. Poli(metil-metakrilat) – PMMA.....	34

5. Obrade materijala za izradu kućišta svjetiljke Hyper .....	36
5.2. Štancanje .....	36
5.3. Savijanje.....	39
5.4. Točkasto zavarivanje.....	41
6. ZAKLJUČAK .....	43
7. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA .....	44
8. LITERATURA.....	45
9. POPIS SLIKA .....	46
10. POPIS TABELA .....	47

## **1. Uvod**

### **1.1. Opis i definicija problema**

- Osnovni problem kojim se ovaj rad bavi je opis materijala potrebnih za izradu rasvjetnog tijela tip Hyper i njihova obrada, odnosno pretvaranje repromaterijala u gotov proizvod.

### **1.2. Cilj i svrha rada**

- Cilj rada je izdefinirati i analizirati materijale koji se koriste za izradu rasvjetnog tijela tipa Hyper i njihovu obradu.
- Svrha rada je odrediti opravdanost upotrebe materijala i obrade istih za izradu rasvjetnog tijela.

### **1.3. Teza**

- Analizom materijala i njihove obrade pronaći moguća poboljšanja u izradi rasvjetnog tijela.

### **1.4. Metode rada**

Pri razradi teme korištena je kombinacija sljedećih metoda:

- opisna ili deskriptivna,
- analize i sinteze
- matematička i
- grafička.

## 1.5. Struktura rada

Rad je koncipiran u šest poglavlja uz pripadajući popis korištene literature, popis slika, popis tabela koji se nalaze u radu.

U prvom poglavlju su opisani definicija problema rada, cilj i svrha rada, hipoteza rada i metode koje su korištene pri izradi rada.

U drugom poglavlju opisuje se djelatnost poduzeća Eltor d.o.o koje proizvodi rasvjetno tijelo odnosno svjetiljku iz naslova.

Poglavlje tri općenito opisuje rasvjetno tijelo typ Hyper što uključuje način montaže, zaštitu i popis elemenata.

Nadalje poglavlje četiri opisuje materijale od kojih je kućište izrađeno a to su aluminij, čelik i poli(metil-metakrilat). Poglavlje pet nadovezuje se opisom obrade štancanjem, savijanjem i točkastim zavarivanjem koji se upotrebljavaju u izradi kućišta.

U šestom poglavlju su izneseni zaključci do kojih se stiglo razradom odabrane teme, te je potvrđena zadana teza rada.

U sedmom poglavlju dati su prijedlozi poboljšanja, a na kraju rada je navedena literatura koja je korištena pri izradi rada.

## 2. Djelatnost poduzeća Eltor d.o.o

Poduzeće Eltor osnovano je 1976. godine, a osnovnu djelatnost tvrtke činila je proizvodnja toroidnih transformatora. Kroz godine poduzeće Eltor se razvijalo i uvelo nove djelatnosti te je danas priznati proizvođač rasvjete. Poduzeće se nalazi u poslovnoj zoni Ciburi kod grada Pazina (slika 1), na površini od cca. 3850 m<sup>2</sup>.



**Slika 1. Lokacija poduzeća Eltor**

Eltor danas proizvodi rasvjetu za interijere i eksterijere, osmišljenu tako da omogući sigurnu instalaciju te pritom jamči energetske uštede i visoku efikasnost. Visoki standardi izrade omogućavaju projektantima, arhitektima, dizajnerima i krajnjem kupcu širok uvid u svijet rasvjetnih sistema, te kao takav zadovoljava potrebe sve zahtjevnijeg tržišta i svrstava se u sam vrh vodećih proizvođača rasvjetne opreme.

Uvođenjem novog informatičkog sustava, svi proizvodi razvijeni su u dizajnerskom i razvojnom studiju na najsuvremenijoj informatičkoj opremi s najzahtjevnijim računalnim programima.

Proizvodni proces tvrtke Eltor odvija se u novo izgrađenoj hali (slika 2), automatiziran je strojevima najnovije generacije što ispunjava zahtjeve koji iziskuju visoku kvalitetu. Kako bi sama potrošnja električne energije bila dovedena na viši stupanj optimizacije, uvedena je suvremena ekološka linija plastifikacije, koja osigurava visoku kvalitetu i trajnost samog proizvoda.

Svi elementi projektirani u sustavu Eltora posjeduju ateste nadzornih instituta, uz fotometričke izračune te simulaciju krajnjeg svjetlosnog efekta u projektiranom prostoru.





**Slika 2. Proizvodna hala poduzeća Eltor**

Izvor: <http://www.eltor.hr/hr/povijest/253/31> (20.10.2014)

Eltorova misija je razvoj i proizvodnja suvremenih rasvjetnih tijela i srodnih proizvoda namijenjenih kućanstvima, industriji i komercijalnoj djelatnosti, prepoznatljivih po kvaliteti, trajnosti, racionalnoj potrošnji i modernom dizajnu. U razvojno-proizvodnom procesu, velika pažnja je posvećena praćenju inovativnih tehnoloških trendova na tržištu i davanju prilike svim djelatnicima da doprinesu, napreduju, zabave se i budu ponosni na svoj rad.

Eltorova vizija je nadograđivati svoje znanje u području rasvjete te samim time razvijati svoju proizvodnju i zaposlenike.

Eltorov cilj je kao prepoznatljivom brendu na tržištu koji osim estetsko - dekorativnih, kvalitativnih i tehnoloških karakteristika kao i dugotrajnosti proizvoda krajnjem korisniku jamči visok stupanj zadovoljstva.

### 3. Rasvjetno tijelo tip Hyper

Hyper je naziv za tip rasvjetnog tijela (svjetiljke) poduzeća Eltor (slika 3). Svjetiljka Hyper je industrijska fluorescentna svjetiljka namijenjena za osvjetljavanje prostora koji se koriste za proizvodnju, preradu i skladištenje.



**Slika 3. Rasvjetno tijelo Hyper**

#### 3.1. Povjesni razvoj rasvjetne tehnike

Glavni izvor svjetlosti je Sunce, ali kako zbog gibanja Zemlje nije uvijek prisutna na svim dijelovima planete ljudi su morali naći načina da sebi osvijetle put. Prva na tom putu je bila vatra. Vatra je, kao i ostali prirodni elementi uvijek bila od egzistencijalne važnosti čovjeku. Kao takva se uvijek štovala i čuvala, a zbog nje su se i ratovi vodili. Osim što je zagrijavala vatra je ujedno bila i ostala svjetlo u doslovnom smislu riječi. Prvo rasvjetno tijelo bila je goruća baklja, prijenosna ili fiksna te se pomoću nje osvjetljavalo noćno kretanje i prostorije tisućama godina pa sve do današnjih dana. Kako je baklja duži drveni prut na koji na jednome kraju ima navijenu učvršćenu tkaninu koja je umočena u ulje i zapaljena postoji velika šansa da dođe do potpunog zapaljenja baklje, ozljede ili požara. Stoga je bilo potrebno razviti nešto sigurnija i učinkovitija sredstva osvjetljavanja.

Feničani su bili prvi koji su izumili i napravili prvi keramički prototip svjetiljki, slično uljanici koja je postojala još u prapovijesnih civilizacija. Feničke svjetiljke bile su vrlo raširene, pogotovo po zapadnome dijelu Mediterana gdje u upotrebi opstaju do helenizma. Sam prototip uljanica bio je manji keramički tanjurić ili zdjelica savinutog obruba, prema gore, gdje se nalazio stremen/tanjurić/fitilj/žizak umočen u uljem natočenu posudicu. Fitilj se oslanjao na mjestimično

nabrane stijenke koje tako čine jedan, dva ili više nosova.<sup>1</sup> Ovako zapaljen fitilj mogao se prenositi i osvjetljivati put.

Starim Grcima je glavno rasvjetno tijelo bila baklja. Svjetiljke su do VII. st. pr. Kr. bile potpuno zaboravljene kad ih Grci preuzimaju na koloniziranom Istoku. Uljanice iz VII. i VI. st. pr. Kr. su rađene na lončarskom kolu i potpuno otvorene s gornje strane, ali se postupno zatvaraju. Kasnije im se dodaje vodoravna drška. Kasnije svjetiljke V. stoljeća još uvijek nemaju dekorativnih ukrasa ili pečat majstora, ali zato već u IV. st. pr. Kr. uljanice se počinju raditi s pomoću kalupa i često na sebi imaju dekorativne ukrase te povremeno i pečat proizvođača. Tada zapravo započinje serijska proizvodnja prvih rasvjetnih tijela te se njima daje i estetska funkcija.

Rimske svjetiljke, uljanice nazivaju se *lucernae*. Nastavljaju se na grčke svjetiljke i po obliku i dekoraciji. Kampanjske radionice začetak su proizvodnje uljanica, a upravo je grad Rim inicijator i središte proizvodnje uljanica čija se proizvodnja širi po čitavom Carstvu. Keramičke uljanice su bile vrlo česte i raznolike no uz njih za osvjetljavanje prostorija u rimsko vrijeme koristile su se i posudice od debljeg stakla, konusnog („V“) oblika, visine cca 10 cm. Umetale su se na okrugle metalne nosače koji se nalazili na metalnim okruglim lampionima. Uz njih postojale su i voštane svijeće različitih oblika i veličina.

Kao što vidimo već je u antici započela i bila razvijena proizvodnja rasvjetnih tijela, a s razvitkom novih tehnologija i materijala taj proces nastavio i nastavlja se i danas. Glavna prekretnica u razvoju rasvjetnih tijela naravno ima električna energija i njezina globalna primjena. Danas je gotovo nemoguće zamisliti rasvjetu bez električne energije. Početkom 19. stoljeća kada je Volt otkrio prvi galvanski element, otkrivena je električna struja te tada započinje era njezine vladavine u bilo kakvom tehničkom razvoju pa tako i rasvjete.

Plin se koristio po prvi put 1792 kako bi se proizvelo svjetlo. William Murdock se smatra ocem svjetiljki na plin. Navedene godine on je grijao ugljena da dobije plin te na taj način osvjetlio svoj dom i ured u Cornwall.

Prvo korištenje plina za uličnu rasvjetu Londona bilo je 1814. Do 1823 skoro 40 000 svjetiljki je instalirano na 215 kilometara londonskih ulica. Nakon toga kreće uvođenje plinske rasvjete u kazalištima. Plin je bio moguće kontrolirati centralnim upravljačkim sistemom te na taj način stvarati efekte na pozornici.

---

<sup>1</sup> Vladimir Kovačić: *Rasvjeta u antici, L'illuminazione nell'antichità*, Pučko otvoreno učilište Poreč, Knjiga 15, Poreč, 2006. (3. str)

Prvi električni izvor svjetlosti bila je *lučnica* koju je izumio Davy početkom 19. stoljeća. Ta svjetiljka bila je teško upotrebljiva zbog njezinih tehničkih nedostataka, ali zbog toga jer još nije bilo električnih generatora, tj. izvori struje bili su jedino galvanski elementi, a oni su davali vrlo malo električne energije. O stvarnoj, praktičnoj upotrebi električne energije u rasvjeti možemo govoriti nakon 1876. godine kada je Jabločkov izumio prvu električnu lučnicu koja predstavlja i prvi upotrebljivi električni izvor svjetlosti uopće. Pravi zamah u razvoju električne žarulje započinje s 1879. godinom i Edisonovom električnom žaruljom s ugljenom niti. Iste godine Edison prezentira svoj proizvod u New Jersey-u.

Edison je eksperimentirao s drugim materijalima za žarnu nit, uključujući drvo, travu, kosu i bambus. Nakon 6000 testiranih uzoraka najpovoljnija se pokazala nit od bambusa. 1880 Edison patentira svoj izum. 1881. Parobrod „Columbia“ oprema se njegovim žaruljama. U sljedeće dvije godine preko 70 000 Edisonovih žarulja instalirano je diljem Amerike. Radni vijek žarulje tada je bio 100 sati.

1927. LED (Lighting emitting diod) dioda je otkrivena u Rusiji od strane radio tehničara, Oleg Loseva, koji je primijetio da diode koje se koriste u radio prijemniku emitiraju svjetlost kada struja prolazi kroz njih. Međutim razvoj LED-a nastavlja se 1960-ih. LED je p-n spoj poluvodiča koji emitira zračenje. Emitirane zrake mogu biti u nevidljivom, infracrvenom spektru i vidljivom spektru. Zbog vrlo dugog radnog vijeka i male potrošnje struje idealna su zamjena za žarulje sa žarnom niti. Prve LED diode bile su u crvenoj boji, do sredine 1990-ih razvijaju se zelene, plave i bijele LED diode.

Fluorescentna žarulja koja se kao izvor svjetlosti koristi u svjetiljci Hyper je prvi put predstavljena javnosti u New Yorku na Svjetskom sajmu 1937. Svjetiljke se počinju komercijalono koristiti 1938. Žarulja je obično u obliku duge staklene tube sa elektrodom na svakom kraju. Moderna fluorescentna žarulja ima učinkovitost od oko 80 do 100 lumena po vatu. Fluorescentne svjetiljke su također dostupne u kružnim i "zamotoanim" oblicima. Za rad fluorescentne cijevi neophodna je prigušnica. Razvijena u kasnim 1980-ima kompaktna fluorescentna žarulja donosi revoluciju u industriji rasvjete. Ova žarulja je preklopljena fluorescentna cijev, ponekad i ne veća od standardne žarulje sa žarnom niti. Prigušnica obično biva montiran na bazi žarulje. Ovakva vrsta fluorescentne žarulja omogućuje zamjenu žarulje sa žarnom niti.

### 3.2. Način montaže

Prema načinu montaže Hyper je nadgradna i viseća svjetiljka. Nadgradna svjetiljka znači montažu rasvjetnog tijela bez razmaka direktno na montažnu površinu, dok se pod viseća svjetiljka podrazumijeva vješanje rasvjetnog tijela na montažnu površinu pomoću lanca ili druge vrste užeta.

Nadgradna montaža Hypera vrši se pomoću vijaka kojima se svjetiljku pričvršćuje za strop u za to prethodno pripremljene rupe prema zadanim dimenzijama ovisno o veličini odnosno snazi svjetiljke.

Za viseću montažu svjetiljke koristi se lanac koji se pomoću vijaka učvrsti za strop. Prema potrebi definira se dužina lance te se potom lanac pričvršćuje za svjetiljku u za to predviđene montažne rupe.

### 3.3. IP zaštita

IP je internacionalna oznaka zaštite. Oznaka IP za kojom slijede dvije cifre označava otpornost svjetiljke na krute i tekuće tvari. Prva znamenka nakon IP u oznaci označava razinu zaštite na krute tvari dok druga označava zaštitu na tekuće tvari. IP zaštita se kreće od IP 00 do IP 68 (tabela 1).

**Tabela 1. Stupnjevi i opisi IP zaštite**

<b>1. znamenka</b>	<b>Zaštita od krutih tijela</b>	<b>2. znamenka</b>	<b>Zaštita od tekućine</b>
<b>0</b>	Nema zaštite	<b>0</b>	Nema zaštite
<b>1</b>	Zaštita šake ili upada tijela	<b>1</b>	Zaštita od kapajuće vode
<b>2</b>	Zaštita prsta ili upada tijela promjera >12,5mm	<b>2</b>	Zaštita od kapajuće vode pod kutem 15°
<b>3</b>	Zaštita od upada tijela promjera >2,5mm	<b>3</b>	Zaštita od prskanja pod kutem +/- 60°
<b>4</b>	Zaštita od upada tijela promjera >1mm	<b>4</b>	Zaštita od prskanja iz svih smjerova
<b>5</b>	Zaštita od prašine	<b>5</b>	Zaštita od mlaza
<b>6</b>	Potpuna zaštita od prašine	<b>6</b>	Zaštita od jakog mlaza
		<b>7</b>	Zaštita od privremenog uranjanja
		<b>8</b>	Zaštita od trajnog uranjanja

Svjetiljka Hyper, je sukladno atestu definirana kao svjetiljka stupnja zaštite IP65 što znači da je u potpunosti zaštićena od prašine i mlaza vode. Visoka IP zaštita omogućava svjetiljci da se koristi u prostorima gdje su uvjeti za rad elektroničkih uređaja zahtjevni.

### 3.4. Snage i dimenzije

Svjetiljka Hyper se izrađuje u dvije dimenzije i četiri snage. S obzirom na to da se u svjetiljci Hyper kao izvor svjetla koriste T5 fluorescentne cijevi koje imaju definiranu standardnu dužinu, dimenzija svjetiljke je kako je prikazano u tabeli 2 prilagođena cijevima.

**Tabela 2. Dimenzije i snage svjetiljke Hyper**

Snaga svjetiljke [W]	Vrsta fluorescentne cijevi * broj cijevi u svjetiljci	Dimenzije fluorescentne cijevi (Dužina x promjer [mm])	Dimenzije svjetiljke (Dužina x širina x visina [mm])
112 W	28W T5 x 4	1149 x 16 mm	1300 x 323 x 84 mm
216 W	54W T5 x 4	1149 x 16 mm	1300 x 323 x 84 mm
196 W	49W T5 x 4	1449 x 16 mm	1500 x 323 x 84 mm
320 W	80W T5 x 4	1449 x 16 mm	1500 x 323 x 84 mm

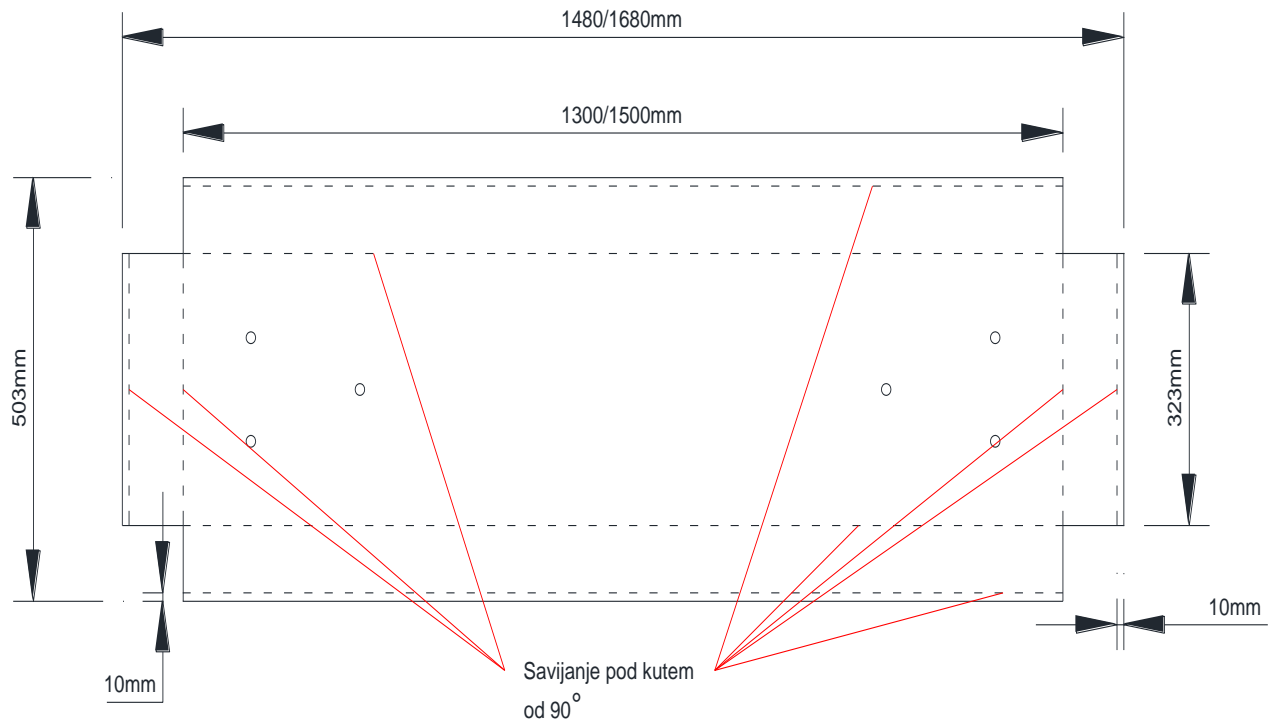
Kod različitih dimenzija svjetiljke ne postavljaju se dodatni elementi u kućište već se samo produžuje kućište istim elementima.

### 3.5. Popis elemenata kućišta Hyper i njihove obrade.

Svjetiljka se sastoji od pet glavnih dijelova (ne uključujući spojni i pomoćni materijal kao što su vijci, opruge, kopče, gumice, itd.):

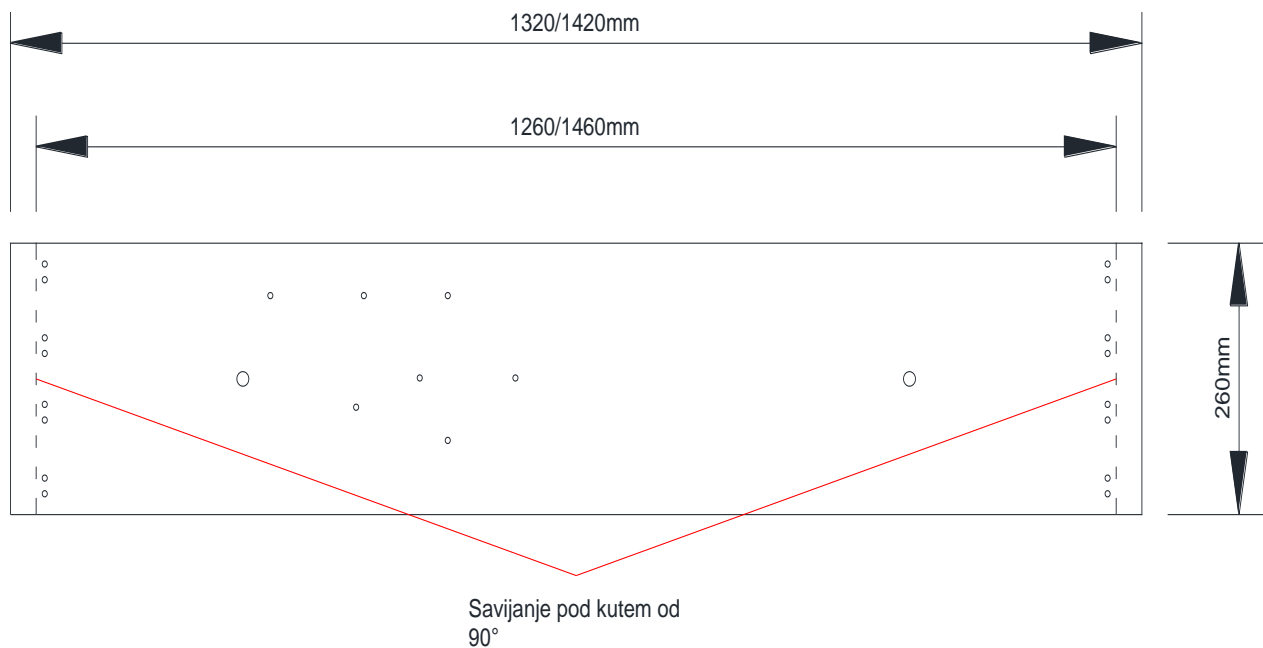
- plašt,
- nosač električnih elemenata,
- odasijač,
- okvir i
- difuzor.

**Plášť svjetiljke** je površinom najveći element svjetiljke, dimenzija zavisno o modelu 1300/1500 x 323 x 80 mm. Plášť je osnovni dio kućišta na kojeg se poslije spajaju ostali dijelovi. Izrađen je od hladnovaljanog čeličnog lima debljine 0,8 mm. Obrade koje se provode kako bi došli do navedenog poluproizvoda su sljedeće: štancanje, savijanje i točkasto zavarivanje. Nacrt plašta nakon obrade štancanjem, a prije savijanja i točkastog zavarivanja prikazan je na slici 4.



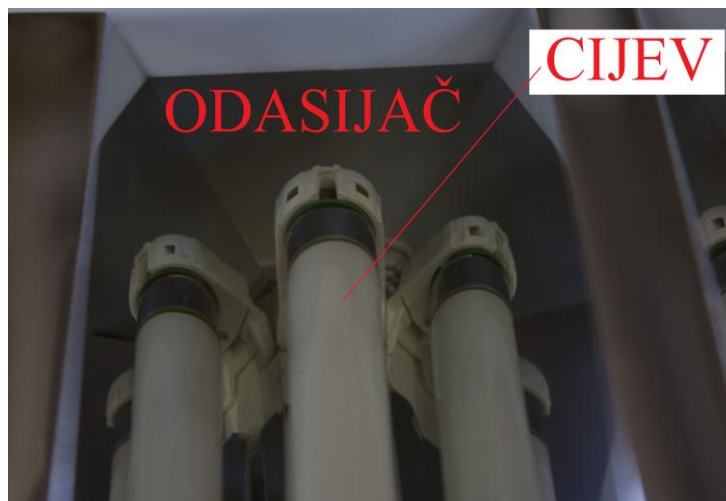
**Slika 4. Nacrt plašta svjetiljke Hyper**

**Nosač električnih elemenata** je dio svjetiljke na koji se instaliraju električni elementi kao što su prigušnica, grla, stezaljka, cijev, itd. Zbog visoke zaštite svjetiljke IP 65 nosač električnih elemenata je neophodan kako bi plašť ostao cjelovit (bez rupa koje služe za uvršćivanje električnih i ostalih elemenata). Izrađen je od hladnovaljanog čeličnog lima debljine 1,5 mm. Obrade koje se provode kako bi došli do navedenog poluproizvoda su sljedeće: štancanje i savijanje. Nacrt plašta nakon obrade štancanjem, a prije savijanja prikazan je na slici 5.



**Slika 5. Nacrt nosača elemenata svjetiljke Hyper**

**Odasijač** ili reflektor (slika 6) služi za pojačavanje efikasnosti svjetiljke. Zbog karakteristike fluorescentne cijevi da svijetli u krug svih 360° istim intenzitetom, dio koji svijetli prema unutrašnjosti svjetiljke je bez reflektora da odsijava tu svjetlost natrag u prostor neefektivan. Odasijač je izrađen od aluminija 99,50% čistoće poliran do visokog sjaja. Aluminij dolazi u rolama te ga se reže i savija.



**Slika 6. Odasijač svjetiljke Hyper**



**Okvir** je dio svjetiljke u koji je postavljen difuzor. Kopčama je pričvršćen za plašt i omogućava zaštitu i jednostavno otvaranje svjetiljke. Okvir je izrađen od prešanog aluminijskog profila legure AlMgSi 0,5. Okvir dolazi u šipkama od 6 m koje se potom režu na potrebnu dimenziju i spajaju oprugama.

**Difuzor** omogućava da svjetlost iz svjetiljke izlazi, a ujedno štiti unutrašnjost svjetiljke od potencijalnih tvari koje bi mogle oštetiti električne elemente svjetiljke. Difuzor se izrađuje iz ploče poli(metil-metakrilata) ili skraćeno PMMA (slika 7) koja dolazi u dimenzijama 6000 x 2000 mm te se izrezuje na potrebne dimenzije zavisno o modelu svjetiljke.



**Slika 7. Ploča poli(metil-metakrilata)**

## 4. Materijali za izradu elemenata kućišta svjetiljke Hyper

Iz prethodnog poglavlja vidljivo je kako se za izradu elemenata kućišta svjetiljke Hyper koriste sljedeći materijali:

- **hladnovaljani niskouglični čelični lim,**
- **aluminij 99,50% čistoće poliran do visokog sjaja,**
- **prešani aluminijski profil legure AlMgSi 0,5 i**
- **poli(metil-metakrilata).**

Navedeni materijali nalaze svoju široku primjenu u mnogim granama proizvodnje pa tako i u rasvjeti. Osim prešanog (ekstrudiranog) aluminijskog profila koji se izrađuje prema posebnoj matrici koja je u vlasništvu poduzeća Eltor, oblici materijala koji se koriste dolaze u standardiziranim veličinama, pretežno pločama.

### 4.1. Čelici

Željezo u čistom obliku nije primjenjivo za tehničku upotrebu, pa služi za određene specijalne namjene. Praktički sva količina proizvedenog sirovog željeza iz visokih peći se prerađuje u čelik, jer su njegova mehanička svojstva mnogo bolja od svojstava željeza. Primjena željeza je prvenstveno u obliku čelika, a manje u obliku sirovog ili lijevanog željeza. Čelik se odlikuje velikom čvrstoćom, tvrdoćom, žilavošću, mogućnošću lijevanja i mehaničke obrade, te velikom elastičnošću. Čelik je sklon deformaciji i koristi se za izradu niza valjanih i kovanih poluproizvoda i proizvoda. Čelik je legura željeza i ugljika. Željezo je u čeliku prevladavajući element, ugljik je zastupljen s dva ili manje posto od ostalih elemenata kao pratioce nalazimo silicij i mangan te nečistoće fosfor i sumpor. Čelici se nakon lijevanja taljevine definiranog sastava u kalupe oblikuju postupcima deformiranja (valjanjem, prešanjem, kovanjem itd.) u željeni poluproizvod (lim, traka, cijev, profil, itd.)

Više od 50% svjetske proizvodnje tehničkih materijala otpada na čelik. Potrošnjom čelika po glavi stanovnika mjeri se stupanj industriskog razvoja pojedine zemlje. Primat u primjeni čelicima daje njihova dobra kombinacija svojstva – čvrstoća, žilavost, rezivost, spojivost, oblikovljivosti deformiranjem, mogućnost promjene svojstva legiranjem, toplinskom obradom i deformiranjem i dr. Uz sva navedena svojstva relativno niska cijena jedan je od najbitnijih razloga za primat čelika u proizvodnji tehničkih materijala.

#### 4.1.2. Vrste čelika

Čelik se dijeli na više načina ovisno o stajalištu s kojeg ga promatramo:

- **Prema postupku proizvodnje**

❖ Čelik se proizvodi konverterski – Bessmer, Tomas postupcima. U manje razvijenim zemljama još se rabe Siemens-Martinove peći. Sirovo željezo je osnovna sirovina za proizvodnju čelika u konvertorima s kisikom. Ovim postupcima dobivamo običan čelik.

❖ Plemeniti čelici dobivaju se čistom rafinacijom ili rafinacijom u kombinaciji s legiranjem u električnim pećima. Plemeniti se čelici redovno toplinski obrađuju.

- **Prema kemijskom sastavu**

❖ Ugljični (nelegirani) čelici – odlučujući utjecaj na svojstva ima postotak ugljika.

❖ Legirani čelici - odlučujući utjecaj na svojstva imaju namjerno dodani elementi kojima se postižu određena svojstva. Do 5% dodanih elemenata su niskolegirani čelici, iznad 5% su visokolegirani čelici.

- **Prema tipu mikrostrukture**

❖ Feritni – Taljevini se dodaju Al, Si, P, Ti, Cr, W, Mo radi proširenja feritnog područja. Nisu pogodni za termičku obradu (žarenje, kaljenje). Zagrijavanjem su krupnozrnati, usitnjavaju se prekrivanjem

❖ Perlitni – Postotak ugljika im je 0,8%, sitnozrnate su strukture te imaju vrlo dobra mehanička svojstva.

❖ Martenzitni – glavna osobina je da se pri kaljenju postigne dovoljna brzina zraka te se tako dobije martenzitna struktura koja se odlikuje velikom čvrstoćom.

❖ Austenitni – nastaju tako da se taljevini čelika dodaju Mn, Co, Ni. Zbog nemogućnosti daljnje termičke obrade difuzijom ugljika posjeduju sljedeća svojstva: nisu magnetični, imaju nisko istezanje, veliku rastezljivost, visoku žilavost i otpornost na trošenje.

- **Prema načinu lijevanja**

❖ Nesmireni, polusmireni, smireni ili posebno smireni.

- **Prema upotrebi**

❖ Konstrukcijski čelici - ugljični čelici (obični ili plemeniti) sa sadržajem ugljika C <0,6% ili legirani (uglavnom s Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V). Primjenjuju se za izradu dijelova strojeva i uređaja koji obavljaju neku zadaću kao što je prijenos gibanja, spremanje i transportiranje tekućina i plinova, spajaju elemente konstrukcija itd.

❖ Alatni čelici su plemeniti ugljični čelici sa udjelom ugljika većim od 0,6% , a manjim od 2,06% ili legirani. Upotrebljavaju se za izradu alata.

#### 4.1.3. Označavanje čelika

Sustav koristi slovnu oznaku za svaku skupinu čelika koja se pojavljuje pri označavanju svih čelika iz te skupine. Općenito, sve oznake čelika sastoje se od tri dijela:

Glavne oznake	Dodatne oznake za čelik	Dodatne oznake za proizvode od čelika
---------------	-------------------------	---------------------------------------

Postoje tri podjele označavanja čelika:<sup>2</sup>

#### **A. Označavanje čelika prema njihovoj namjeni i mehaničkim i fizikalnim svojstvima sukladno normi EN 10027.**

Prema ovom kriteriju u normi je definirano 11 skupina čelika:

##### 1. Opći konstrukcijski čelici

G	S	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---	---------	-------------

<sup>2</sup> Filetin T., Kovačiček F., Indof J., (2002) **Svojstva i primjena materijala**, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, str. 34.

2. Čelici za tlačne namjene

G	P	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---	---------	-------------

3. Čelici za cjevovode

L	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---------	-------------

4. Čelici za strojogradnju

E	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---------	-------------

5. Čelici za armiranje betona

B	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---------	-------------

6. Čelici za prednapinjanje betona

Y	n	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---	---------	-------------

7. Čelici za tračnice ili u obliku tračnica

R	n	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---	---------	-------------

8. Hladnovaljani plosnati proizvodi od čelika visoke čvrstoće za hladno oblikovanje, načelno označavanje prikazano u tabeli 3.

H	n	n	n	an.....	+an+an.....	
H	T	n	n	n	an.....	+an+an.....

9. Plosnati proizvodi za hladno oblikovanje (osim onih pod 8), načelno označavanje prikazano u tabeli 3.

D	a	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---------	-------------

10. Pokositreni valjani proizvodi

T	H	n	n		+an+an.....
T	n	n	n		

11. Elektrolim i elektrotraka

R	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---------	-------------

G- oznaka za čelični lijev, n – brojčana oznaka, an – slovno-brojčana, a – slovna oznaka

### Tabela 3. Načelna označavanja čelika za plosnate proizvode za hladno oblikovanje

Izvor: Filetin T., Kovačićek F., Indof J., (2002) *Svojstva i primjena materijala*, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, str. 37.

Plosnati proizvodi za hladno oblikovanje (osim vrsta prema tablici 8)			
Glavna oznaka		Dodatne oznake za čelik	Dodatne oznake za čelični proizvod
D n n n		an .....	+an +an .....
Glavne oznake		Dodatne oznake	
slovo	mehaničko svojstvo	za čelik - grupa 1 <sup>1)</sup>	
D = plosnati proizvodi za hladno oblikovanje	Cnn = hladno valjano, slijedi dvoznamenkasti broj Dnn = toplo valjano za neposredno hladno oblikovanje, slijedi dvoznamenkasti broj Xnn = vrsta valjanja (toplo ili hladno) nije propisana, slijedi dvoznamenkasti broj	D = za prevlačenje vrućim uranjanjem EK = za konvencionalno emajliranje ED = za izravno emajliranje H = za šuplje profile T = za cijevi an = znakovi propisanih dodatnih kemijskih elemenata, npr. Cu, ako je potrebno, zajedno s jednoznam. brojem koji je 10 x sr. vrijednost (zaokružena na 0,1 %) propisanog područja mas. udjela tog elementa. G = druge značajke, ako je potrebno, s 1 ili 2 brojke	
1) Oznake gr. 2, osim kemijskih znakova, mogu biti upotpunjene s jednom ili dvije brojke u svrhu razlikovanja kvalitete prema pripadajućoj normi za proizvod.			
Primjeri naziva čelika			
Norma	Raniji naziv	Naziv prema EN 10027-1 i CR 10260	
EN 10152	Fe P03 ZE	DC03+ZE	
EN 10130	Fe P04	DC04	
EN 10209	Fe K4	DC04EK	
EN 10142	Fe P02 G	DX51D+Z	

### B. Označavanje čelika prema kemijskom sastavu

Prema kemijskom sastavu čelici se dijele u četiri skupine:<sup>3</sup>

1. Nelegirani čelici s prosječnim masenim udjelom mangana <1%

G	C	n	n	n	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	---	---------	-------------

<sup>3</sup> Filetin T., Kovačićek F., Indof J., (2002) *Svojstva i primjena materijala*, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, str. 39.

2. Nelegirani čelici s prosječnim masenim udjelom mangana >1%, nelegirani čelici poboljšane rezivosti i legirani čelici kod kojih je maseni udio svakog od legiranih elemenata <5%:

G	n	n	n	a..	n-n..	an.....	+an+an.....
---	---	---	---	-----	-------	---------	-------------

3. Legirani čelici kod kojih je maseni udio najmanje jednog legirnog elementa >5%:

G	X	n	N	n	a..	n-n..	+an+an.....
---	---	---	---	---	-----	-------	-------------

4. Brzorezni čelici:

H	S	n-n..		+an+an.....
---	---	-------	--	-------------

#### 4.1.4. Konstrukcijski čelici

Primjenjuju se za izradu dijelova konstrukcija, strojeva, uređaja kao što su osovine, vratila, nosači, poklopci, kućišta, itd. S obzirom na to da zahtjeve koji se postavljaju pred navedene dijelove, od konstrukcijskih čelika traže se sljedeća svojstva:

- **Mehanička svojstva** – visoka granica razvlačenja povezana s dovoljnom plastičnom deformabilnošću. Dovoljno visoka granica puzanja i čvrstoća pri povišenim temperaturama. Dovoljna žilavost i čvrstoća pri normalnim i sniženim temperaturama. Otpornost na zamor kod promjenjivog opterećenja.
- **Otpornost na habanje** - minimalni gubitak mase uslijed međusobnog djelovanja dijelova u dodiru.
- **Otpornost na koroziju** – korozijska postojanost u atmosferi, agresivnim tekućinama te pri visokim temperaturama uz prisutnost različitih plinova.
- **Tehnološka svojstva** – pogodan za razne obrade kao što su – rezanje, zavarivanje, hladno oblikovanje (savijanje, štancanje, duboko vučenje itd.)



#### 4.1.5. Hladnovaljani niskouglični čelični lim

Za izradu hladnovaljanog čeličnog lima koji se koristi za izradu plašta i nosača elemenata kućišta Hyper koriste se niskouglični čelici oznake DC01 prema normi EN 10027.

Niskouglični čelici za tanke limove imaju udjel ugljika oko 0,1%. Površina limova je glatka, sivkaste boje bez ljuskastih naslaga željeznih oksida. Najvažnije svojstvo im je deformabilnost, pa su zato prikladni za vučenje, savijanje i utiskivanje. Površina ovih limova omogućuje nanošenje metalnih i nemetalnih prevlaka (emajliranje, lakiranje, prevlačenje polimerima, pocinčavanje, kromiranje). Hladnovaljani limovi se dobivaju postupkom hladnog valjanja iz platina koje se dobivaju prethodnom toplovaljanom redukcijom na debljine 1,00 – 6,00 mm, koje su zatim pogodne da bi se iz njih moglo dalje hladnim postupkom valjanja dobiti hladnovaljane limove sljedećih dimenzija: 0,25 do 5 mm debljine, 500 do 1500 mm širine i do 4000 m dužine. Redukcija debljine se odvija u više postupaka hladnog valjanja na složenom valjačkom stanu dok se ne dobije željena dimenzija. Za izradu plašta i nosača elemenata kućišta Hyper koriste se limovi debljine 0,8 i 1,5 mm. U tabeli 4 prikazane su vrste niskougličnih čelika. Uz svaku vrstu navode se dopunske oznake za stanje površine od P1 do P5.

Značenje tih oznaka je sljedeće:

- P1 – površina dobivena žarenjem lima u atmosferi bez zaštite od oksidacije tako da su dopuštene boje popuštanja kao i labavo prionjena ogorina;
- P2 – površina lima dobivena žarenjem u metalnim sanducima sa zaštitnim poklopcem tako da su dopuštene boje popuštanja i čvrsto prionjena ogorina;
- P3 - površina lima bez ogorine;
- P4 – površina lima bez ogorine ili s neznatnom hrapavošću zbog otpale ogorine.
- P5 – površina lima bez ogorine i s malom hrapavošću.

**Tabela 4. Vrste čelika za hladnovaljane tanke limove i njihova svojstva**

Oznaka čelika (DIN) EN (stara HRN)	Kemijski sastav, %			Rm, N/mm <sup>2</sup> , N/mm <sup>2</sup>	Re, N/mm <sup>2</sup> , N/mm <sup>2</sup>	Stanje površine
	C	P	S			
Č0145	0,15	0,05	0,05	280...500	/	P1,P3
DC01 (Č0146)	0,1	0,05	0,05	280...420	/	P2,P3,P4
DC04 (Č0147)	0,1	0,045	0,045	280...400	270	P4
DC04 (Č0148)	0,1	0,03	0,045	280...380	240	P5

Zavarljivost ovih limova rastaljivanjem je vrlo dobra zbog niskog masenog udjela ugljika. Limovi stanja površine P3, P4 i P5 mogu se i točkasto zavarivati. Za izradu plašta i nosača elemenata svjetiljke nužno je koristiti čelik DC01 površinske zaštite P4 jer se dijelovi točkasto vare.

## 4.2. Aluminij

Aluminij je mekani materijal, male gustoće 2,7 g/cm<sup>3</sup> i srebrno-bijele boje. U prirodi ga nalazimo u obliku oksida i hidroksida, raznih miješanih hidratiziranih sulfata (alauni), alumosilikata (boksit i zeoliti) iz kojih se metal izdvaja elektrolitskim postupkom. Metal se ekstrahira iz oksidne rude zagrijavanjem s redukcijskim sredstvom (ugljik u obliku koksa), a dobiveni sirovi materijal se rafinira, čime se omogućuje oksidacija većine prisutnih nečistoća. Veliki afinitet aluminija prema kisiku onemogućava takav postupak redukcije redovnim kemijskim postupkom jer svi prateći elementi lakše reduciraju od aluminija. Svako drugo redukcijsko sredstvo je termodinamički preskupo. Osnovni problem visokog tališta glinice (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) je riješen dodatkom kriolita (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). Smjesa glinice i kriolita tali se na 950°C iz koje se aluminij dobiva elektroničkom redukcijom na katodnom dnu ili katodi. Daljnje pročišćavanje vrši se pretaljivanjem aluminija u otpornim ili induktivnim električnim pećima, tako da se talina aluminija drži nekoliko sati na temperaturi od 700°C kako bi primjese isparile ili isplivale na površinu, a pročišćeni aluminij ispušta se na dnu. Ovako dobiven aluminij ima čistoću iznad 99%; rafinacijom se može dobiti i čistoća 99,99% (rafinal). Što je aluminij čišći, otporniji je prema kemijskim utjecajima i bolje vodi električnu struju, ali je i manje čvrst. Osnovna svojstva aluminija navedena su u tabeli 5.

**Tabela 5. Fizikalna i mehanička svojstva aluminija**

Svojstva		
Gustoća	kg/m <sup>3</sup>	2700
Talište	°C	660
Vrelište	°C	2270
Modul elastičnosti	MPa	69000
Električna vodljivost	m/Ωmm <sup>2</sup>	36...37,8
Granica razvlačenja	N/mm <sup>2</sup>	20...120
Istezljivost	%	50...4
Vlačna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	40...180

Tri su glavna svojstva koja određuju primjenu aluminija kao inženjerskog materijala:

1. Povoljan omjer čvrstoće i gustoće, posebno kad se koristi u obliku neke od svojih legura. Gustoća aluminija je oko jedne trećine gustoće čelika, pa se aluminij i njegove legure najčešće koriste u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji.
2. Omjer električne vodljivosti i čistoće najpovoljniji je među svim metalima. Zbog toga aluminij istiskuje bakar iz uporabe za prijenos električne energije.
3. Aluminij ima veliki afinitet prema kisiku, a korozijska postojanost mu je relativno velika i na njoj se osniva široka primjena aluminija u graditeljstvu.

#### **4.2.1. Aluminij 99,50% čistoće**

Nelegirani se aluminij koristi uglavnom zbog male gustoće i ponajprije njegove korozijske postojanosti kao i lijepog izgleda. Prema njegovu položaju u nizu elektrokemijskih potencijala metala ne spada u plemenite metale. Njegova se otpornost na koroziju temelji na postojanju gustog nepropusnog oksidnog sloja koji se stvara na površini metala na zraku i vodenim otopinama. Ako se oksidni sloj ošteti, odmah se oksidacijom nadomješta novim. Aluminij je neotporan na tvrde tvari koje razaraju zaštitni oksidni sloj. To su u prvom redu lužine koje ga otapaju u koncentriranom stanju. Prirodni zaštitni sloj Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je debljine oko 0,01 μm i pun je sitnih pora.

Uz dobru korozijsku postojanost aluminij ima i visoku električnu i toplinsku vodljivost. Uzimajući u obzir masu za masu aluminij je bolji vodič od bakra i istiskuje ga iz upotrebe u elektrotehnici tamo gdje ne smeta veći volumen materijala i gdje se ne zahtijeva dobra lemljivost.

Aluminij je s kubično plošno centriranom strukturom materijal izvanredno toplo i hladno oblikovljiv deformiranjem. Aluminij koji koristimo za izradu odasijača mora biti ulašten do visokog sjaja stoga moramo koristiti kvalitetniji aluminij bez nemetalnih uključaka i intermetalnih spojeva željeza i silicija kao što je aluminij oznake EN AW 1050 (prema EN normama). U tabeli 6 nalazi se sastav navedenog aluminija.

**Tabela 6. Sastav aluminija EN AW 1050 u postocima**

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ostalo
Min.	99,5								
Max.		0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,03

Aluminij EN AW 1050 dolazi u rolama širine 1,25 m i promjera 1 m. S jedne strane je poliran do visokog sjaja dok je s druge strane neobrađen, mat boje. Izrađuje se u debljinama od 0,5 mm do 6 mm. Za izradu odasijača koristi se lim debljine 0,5 mm. Polirana strana je zaštićena zaštitnom folijom kako ne bi došlo do oštećenja u transportu i daljnjoj obradi materijala. Koristi se u slučajevima gdje se ne zahtijeva velika čvrstoća. U tabeli 7 možemo vidjeti mehanička svojstva aluminija EN AW 1050. Idealan je materijal za hladno valjanje. Ima vrlo visoku otpornost na koroziju.

**Tabela 7. Mehanička svojstva aluminija EN AW 1050**

Svojstva		
Vlačna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	100-135
Koeficijent termičkog produljenja	1/K	23,5x10 <sup>6</sup>
Talište	°C	645-657
Modul elastičnosti	MPa	69000
Granica razvlačenja	N/mm <sup>2</sup>	75
Istezljivost	%	4-8

#### 4.2.2. Aluminijske legure

Aluminijske slitine imaju određene prednosti pred čistim aluminijem i to u čvrstoći i sposobnosti za lijevanje i gnječenje. Neke aluminijske legure dosežu svojom znatnom čvrstoćom svojstva čelika.<sup>4</sup> Legiranje, osim poboljšanja mehaničkih svojstava, ima za cilj poboljšanje krutosti, rezljivosti, katkad i žilavosti ili livljivosti.

Aluminijske legure upotrebljavaju se i u lijevanom i gnječenom stanju. Mnogima od njih moguće je poboljšati mehanička svojstva percipitacijskim očvrnućem, međutim brojne se koriste bez bilo kakve obrade.

Najvažniji legirani elementi su bakar, magnezij, silicij, cink, mangan. Kao dodaci ili primjese legura prisutni su u manjoj količini željezo, krom i titan. Kompleksnije legure nastaju međusobnom kombinacijom i uz dodatak drugih legiranih elemenata koji poboljšavaju svojstva osnovne legure (čvrstoća, tvrdoća, poboljšanje rezivosti, itd.). Dodaci za posebne svrhe su nikal, kobalt, litij, srebro, vanadij, cirkonij, itd. Svi legirni elementi su topljivi u rastaljenom aluminiju uz uvjet dovoljno visoke temperature. Topljivost legiranih elemenata u aluminiju, ako i udio, veličina, oblik i raspodjela intermetalnih spojeva, određuje fizikalna, kemijska i proizvodna svojstva legura.

#### 4.2.3. Gnječene legure

Osnovna podjela gnječenih aluminijskih legura temelji se na kemijskom sastavu i mogućnosti percipitacijskog očvrnuća vidljivo u tabeli 8.

---

<sup>4</sup> Kraut B. (2009) **Strojarski priručnik**, Zagreb: Tehnička knjiga

## Tabela 8. Podjele i osnovne značajke gnječenih aluminijskih legura

Izvor: Izvor: Filetin T., Kovačićek F., Indof J., (2002) *Svojstva i primjena materijala*, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, str. 154.

Vrsta legure	Način očvršnuća	Rm, N/mm <sup>2</sup>
1. Al-Mn	deformiranje u hladnom stanju	200-350
2. Al-Mg		
3. Al-Mg-Mn		
4. Al-Mg-Si	percipitacijom	330
5. Al-Cu-Mg		450
6. Al-Zn-Mg		400
7. Al-Zn-Mg-Cu		550
8. Al-Li-Cu-Mg		500

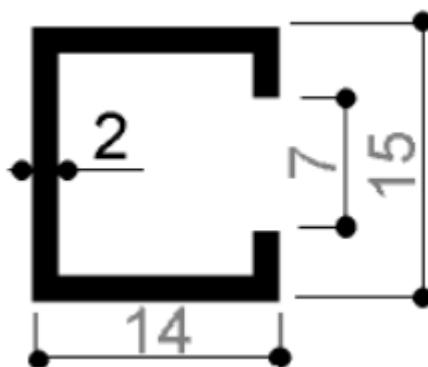
Od legura koje se očvršćuju hladnim deformiranjem zahtijeva se dovoljna čvrstoća i krutost u hladnom stanju, kao i dobra korozivna postojanost. Većina ovih legura ima mikrostrukturu koja se potpuno sastoji od čvrste otopine. To je dodatni faktor u prilog njihovoj visokoj duktilnosti i korozivnoj postojanosti. Legure s većim udjelom magnezija imaju odličnu postojanost u morskoj vodi. Željena mehanička svojstva postižu se stupnjem ugnječenja primijenjenim u zadnjoj fazi hladnog oblikovanja deformiranjem, pa se legure isporučuju u mekom stanju ili nakon određenog stupnja hladnog ugnječenja. Glavni im je nedostatak u tome da se mehanička svojstva materijala, proizvedenog na konačne dimenzije, ne mogu više mijenjati osim mekšanjem postupkom žarenja.

Percipitacijsko očvrstljive legure imaju prednost kad se traži dobar omjer čvrstoće i gustoće. Osnovu percipitacijskih očvrstljivih legura čine legirni elementi bakar, magnezij, cink i silicij koji stvaraju intermetalne spojeve s aluminijem ili međusobno (magnezij, silicij i cink). Očvršnuće postignuto percipitacijom je veće od onog hladnim oblikovanjem, pa je percipitacijsko očvršnuće osnovni postupak za povećanje čvrstoće i tvrdoće prethodno gnječenih legura.

Od percipitacijskih očvrstljivih legura za izbor su na raspolaganju osnovne skupine legura s mnogostrukim varijantama: Al-Mg-Si legure, Al-Cu-Mg legure, Al-Zn-Mg legure, Al-Zn-Mg-Cu legure.

Osnovne značajke skupine legura Al-Mg-Si od kojih se izrađuje ekstrudirani profil koji se koristi za izradu okvira svjetiljke Hyper poprečnog presjeka prikazanog na slici 8 su sljedeće:

- Al-Mg-Si skupina legura naziva se još i antikorodal, imaju  $R_m < 330 \text{ N/mm}^2$ , umjetnim dozrijevanjem  $R_{p0,2}$  oko  $240 \text{ N/mm}^2$ , a prirodnim dozrijevanjem oko  $110 \text{ N/mm}^2$ . Legure su otporne na koroziju, uvjetno pogodne za zavarivanje anodizaciju i poliranje. U hladno očvrnutom stanju deformiranjem i perticipacijskim očvrnutom stanju imaju posebno visok omjer čvrstoće i električne vodljivosti pa se koriste i za prijenos električne energije.



**Slika 8. Presjek aluminijskog profila za okvir svjetiljke Hyper**

*Izvor: Arhiva poduzeća Eltor d.o.o*

Za isprešavanje profila kojeg koristimo za izradu okvira svjetiljke Hyper koristi se aluminijska legura **AlMgSi 0,5 (EN AW 6063)** čiji je kemijski sastav prikazan u tabeli 9 a mehanička svojstva u tabeli 10. Karakteristika legure su sljedeće: toplinski je očvrstljiva, moguće ju je eloksirati, otporna je na morsku vodu, dobro je zavariva itd.

**Tabela 9. Kemijski sastav aluminijske legure AlMgSi 0,5 (EN AW 6063)**

*Izvor: <http://feal.ba/page/presanje> (6.11.2014)*

	Si	Mg	Fe	Mn	Ti	Cu	Ni	Cr	Zn	Ostali
Min	0,50	0,55	0,16							
Max	0,55	0,65	0,25	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

**Tabela 10. Mehanička svojstva aluminijske legure AlMgSi 0,5 (EN AW 6063)**

Svojstva		
Vlačna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	245
Granica razvlačenja	N/mm <sup>2</sup>	195
Istezljivost	%	8
Stanje		Umijetno dozrijevano

### 4.3. Polimeri

Polimeri je naziv za sve prirodne i sintetske tvari i materijale kod kojih je osnovni sastojak sustav makromolekula. Naziv polimeri dolazi od grčke riječi „poli“ – mnogo i „meros“ – čestica. Makromolekula se sastoji od velikog broja ponavljajućih strukturnih jedinica. Polimerne molekule se sintetiziraju iz odgovarajućih, najčešće nezasićenih tvari. Proces dobivanja polimera iz monomera naziva se polimerizacija. Monomer je model koji je nositelj osobine buduće makromolekule ili umjetne mase. Polimerizacija se prema mehanizmu i kinetici reakcije može podijeliti u dvije skupine:

- **Stupnjevite reakcije polimerizacije** – odvijaju se između funkcionalnih skupina monomera s postupnim povećanjem stupnja polimerizacije, a svaki je stupanj elementarna reakcija između funkcionalnih skupina. Reakcija stupnjevite polimerizacije je najčešće kondenzacijska.
- **Lančane reakcije polimerizacije** – reakcija započinje otvaranjem dvostruke veze nezasićenog etilena u uvjetima povišene temperature i tlaka ali i uz djelovanje inicijatora<sup>5</sup>. Početna reakcija naziva se inicijacija a faza zaustavljanja terminacija.

Struktura polimera sastavljena je od makromolekula. Osnovu makromolekula čine najčešće međusobno povezani atomi ugljika, ponekad u taj niz ulazi neki drugi atom kao npr. kisik ili dušik. Zbog veličine, makromolekule ostavljaju dojam lanca. Prosječno velika molekula npr. polietilena može se predočiti cilindričnim lancem duljine  $5 \times 10^4$  i promjera 5 nm. Skica jednog segmenta polietilenskog lanca prikazana je na slici 9.

<sup>5</sup> Tvar koja ubrzava započinjanje reakcije polimerizacije





**Slika 9. Skica jednog segmenta polietilenskog lanca**

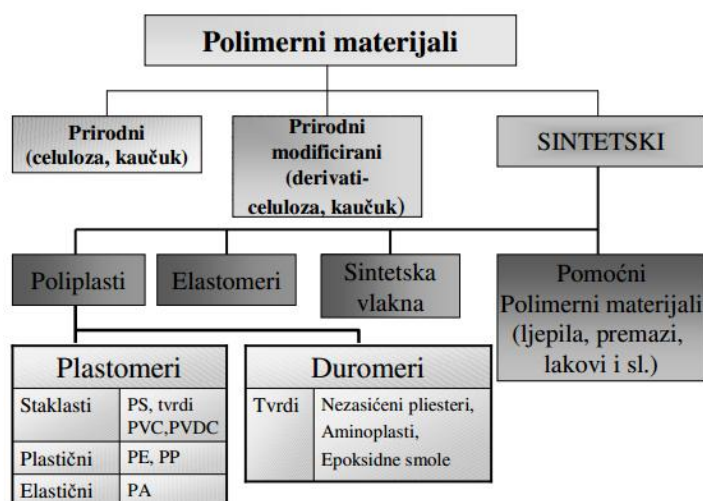
Izvor: [http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija\\_materijala\\_i\\_obrade.pdf](http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija_materijala_i_obrade.pdf) str. 82  
(11.11.2014)

Osnovne strukturne karakteristike po kojima se polimeri razlikuju od drugih materijala, a i međusobno, su veličina makromolekula i neograničena mogućnost strukturnih varijacija.

Najvažnije tehnike prerade plastičnih masa, tj. prevođenja u željeni oblik jesu:

- ekstruzija (istiskivanje, protiskivanje),
- ekstruzijsko ili injekcijsko ispuhivanje,
- ubrizgavanje u kalup,
- vakuum oblikovanje,
- rotacijsko lijevanje,
- plastificiranje fluidiziranim prahom i
- kalandriranje (valjanjem)

Polimere je moguće podijeliti temeljem različitih kriterija. Prema postanku polimeri mogu biti prirodni (biopolimeri) ili sintetski (umjetni) (slika 10) a po kemijskom sastavu organski i anorganski.



**Slika 10 Podijela i primjena polimernih materijala**

Izvor: [http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija\\_materijala\\_i\\_obrade.pdf](http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija_materijala_i_obrade.pdf) str. 83 (11.11.2014)

Difuzor svjetiljke Hyper izrađen je od poli(metil-metakrilata) (PMMA). PMMA pripadaju skupini sintetskih polimernih materijala odnosno podskupini plastomeri.

Plastomeri su prema potrošnji najproširenija skupina polimernih materijala. Dobivaju se lančanom polimerizacijom a prema stupnju uredenosti strukture mogu biti:

- **Amorfni** - njihovi polimerni lanci uvijek imaju slučajni raspored. Pri niskim temperaturama amorfni plastomeri su u čvrstom stanju i nema zapaženog gibanja molekula. Povišenjem temperature prelaze u kapljevito stanje uz stalna molekularna kretanja. Bez boje i ojačanja amorfni plastomeri su uglavnom prozirni, krhki i slabije kemijske postojanosti.
- **Kristalasti** – osim kristalne faze sadrže i amorfnu fazu, odatle i naziv koji označuje da su ti materijali nalik kristalnim, a udio kristalne faze izražava se stupnjem kristalnosti. Pri povišenim temperaturama, iznad tališta kristalita prelaze u kapljevito stanje. Tu je konformacija molekula slučajna, ne razlikuje se od one amorfnih plastomera. Hlađenjem iz amorfne faze, makromolekularni lanci kristaliziraju. Kristalasti su materijali uglavnom neprozirni. Viši stupanj kristalnosti povisuje gustoću, tvrdoću, čvrstoću, krutost i postojanost prema otapalima dok veći stupanj udjela amorfne faze poboljšava fleksibilnost, podatljivost i preradljivost.

### 4.3.1. Poli(metil-metakrilat) – PMMA

Jedan je od najvažnijih nemodificiranih akrilnih materijala. Spada u skupinu amorfnih palstomera. Pri sobnoj temperaturi PMMA je tvrd, krut i krhak. Polimerizira u otopini, masi, suspenziji i emulziji. Daje veliku propusnost svjetla i dobre postojanosti prema atmosferilijama. U tabeli 10 su vidljiva važnija svojstva poli(metil-metakrilat)-a

**Tabela 10. Svojstva poli(metil-metakrilata)-a**

*Izvor: Rogić A., Čatić I., Godec D., (2008) Polimeri i polimerne tvorevine, Zagreb; Društvo za plastiku i gumu, str. 282.*

Svojstvo		PMMA		
		Injekcijski prešano	Lijevano	Kopolimer
Modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>	2000 do 3000	3300	4800
Čvrstoća/granica tečenja	N/mm <sup>2</sup>	50 do 80	80	90
Pritisna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	120 do 135	140	140
Savojna čvrstoća/granično savojno naprezanje	N/mm <sup>2</sup>	100 do 140	165	165
Temp. Omekšavanje po VICAT-u	°C	80 do 110	95	95

PMMA je polarni materijal što znači da orijentiranje makromolekula ima utjecaj na njegova uporabna svojstva. Uobičajene radne temperature kreću se od 60 do 100 °C. U kipućoj vodi PMMA može degradirati. Pri nižim temperaturama (-40 °C) snižena mu je žilavost. Temperatura staklastog prijelaza (staklište) iznosi oko 110 °C. Dobar je toplinski izolator. Žilavost raste s porastom tvrdoće. Vlačna i pritisna čvrstoća te modul savitljivosti viši su nego kod polikarbonata i više nego dvostruko viši kod polietilena visoke gustoće. Nemodificirani PMMA je krhak. Istezanje pri lomu iznosi od 5 do 9%. Otporan je na abraziju. Općenito je goriv, međutim gori sporo, a temperatura samozapaljenja iznosi 454 °C. Zbog polarnosti upija vodu. Sadržaj vlage utječe na električna svojstva i dimenzijsku stabilnost, dok mehanička svojstva pod kratkotrajnim opterećenjima ostaju

uglavnom nepromijenjena. Propušta oko 92% svjetlosti te je uz polikarbonat, poli(butilen-tereftalat) i poli(etilen-tereftalat) najprozirniji polimerni materijal. Postojan je prema vodi, kiselinama, anorganskim otapalima te alifatskim ugljikovodicima. Razgrađuju ga klorirani i aromatski ugljikovodici, esteri i ketoni. Slabo je postojan prema UV zračenju.

Osnovna primjena poli(metil-metakrilat)-a sastoji se od izrade prozirnih ploča, nelomljivog stakla, svjetlećih reklama i znakova, uređenje interijera, u građevinarstvu, za sanitarije, uređaje i opremu u kemijskoj industriji. Značajna je primjena za stijene u cilju zaštite od buke, ostakljenja, staklenike, svjetlosne vodove za male udaljenosti, prozirne natpise na reklamama i obavijesti u prometu, u prehrambenoj industriji, radio industriji, industriji igračaka, za kućanske uređaje, u telekomunikacijama, u automobilskoj industriji, medicini, itd.

## 5. Obrade materijala za izradu kućišta svjetiljke Hyper

Za oblikovanje materijala koji se koristi u izradi kućišta Hyper a opisani su u prethodnom poglavlju obavljaju se sljedeće obrade :

- štancanje,
- savijanje i
- točkasto zavarivanje.

Navedene obrade nalaze svoju široku primjenu u mnogim granama proizvodnje pa tako i u rasvjeti. Sve navedene obrade obavljaju se u proizvodnom pogonu poduzeća Eltor d.o.o.

### 5.2. Štancanje

Štancanje je vrsta strojne obrade metala bez odvajanja čestica postupcima rezanja ili trajne deformacije. Stroj koji izvodi obradu štancanjem zove se štanca. Štanca je skup alata na preši koji razdvajaju, preoblikuju ili spajaju materijal.

Podjela štanci prema namjeni:

- za izrezivanje,
- probijanje,
- savijanje,
- vučenje i
- zakivanje.

Štanca je alatni stroj za obradu štancanjem i sastoji se od gornjeg pomičnog sklopa pričvršćenog na pritiskivalo preše (žigovi) i donjeg nepomičnog sklopa pričvršćenog na radni stol preše (matrice) (slika 11).



**Slika 11. Žig i matrice za štancu**

Izvor: <http://www.amada.com/america/TEXT%20FILES/06132012TEXT%20FILESp16vkrfno4su5p7ulvc1i3h1kq71.pdf> (4.11.2014)

Polazni materijal za štancanje mogu biti:

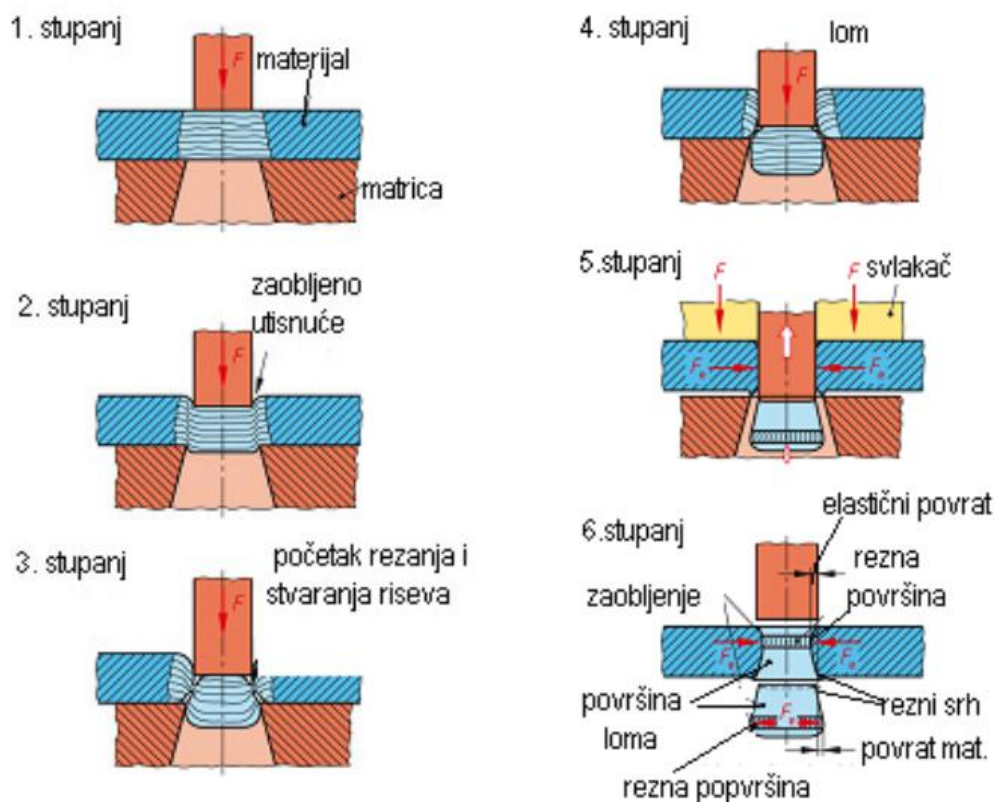
- metalni limovi u obliku ploča dimenzija zavisnih o modelu štance;
- osim metala štancaju se polimeri, papir, koža, guma, tekstil;
- režu se čelični limovi debljine do 6 mm, a za veće debljine nužne su posebne izvedbe ili zagrijavanje materijala;
- savijanje je moguće za debljine do 100 mm.

Štance se koriste uglavnom u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Vrijeme izrade je mnogostruko kraće u odnosu na strojnu obradu odvajanjem čestica. Posluživanje štance može biti ručno (ulaganje platine ili pomicanje trake lima) ili strojno (automatski - pomoću odmatalice, ravnalice i dodavalice trake koluta lima).

Proces rezanja materijala na štancama odvija se uzajamnim djelovanjem reznih bridova žiga i matrice u nekoliko stupnjeva (koraka) (slika 12):

- 1. stupanj: Elastična deformacija uslijed prodiranja žiga u materijal.
- 2. stupanj: Trajna deformacija uslijed daljnjeg prodiranja žiga i prekoračenja granice elastičnosti materijala. Nastaju zaobljena ulegnuća.

- 3. stupanj: Sječenje materijala na reznim rubovima žiga i matrice uslijed prekoračenja smične čvrstoće materijala. Nastaju risevi.
- 4. stupanj: Lom materijala uslijed smanjena otpora (čvrstoće) preostalog dijela. Nastaju risevi i lom.
- 5. stupanj: Zaglađivanje rezne plohe materijala zbog elastičnog pritiska na žig pri njegovu izvlačenju. Potreban svlakač materijala sa žiga.
- 6. Stupanj: Elastični povrat materijala nakon izvlačenja žiga zbog čega se smanjuje mjera provrta, a povećava mjera izrezanog dijela u odnosu na mjeru žiga.



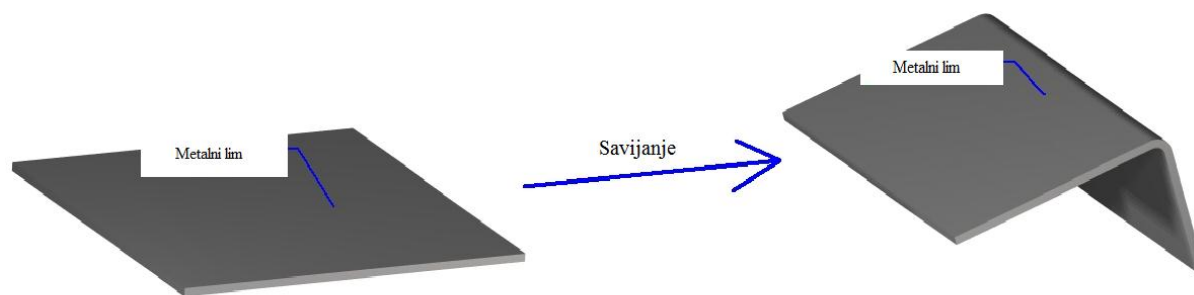
**Slika 12. Proces probijanja materijala na štancama**

Izvor: <http://www.ss-industrijska-strojarska-zg.skole.hr/upload/ss-industrijska-strojarska-zg/multistatic/42/5.Tehnika%20stancanja.pdf> (4.11.2014)

CNC štanca koja se koristi u poduzeću Eltor d.o.o za izradu dijelova kućišta svjetiljke Hyper spada u skupinu višereznih štanci za probijanje s vođenjem žiga.

### 5.3. Savijanje

Savijanje lima je čest i vitalni proces u prerađivačkoj industriji pa tako i u rasvjeti. Savijanje lima (slika 13) je plastična deformacija bez skidanja strugotina. Slično kao i u drugim procesima obrade metala, savijanje mijenja oblik radnog komada, dok volumen materijala ostaje. U nekim slučajevima savijanje može proizvesti male promjene u debljini lima. Međutim, savijanje uglavnom ne dovodi do nikakve promjene u debljini lima. Osim stvaranja željenog geometrijskog oblika, savijanje se također koristi za povećanje snage lima.

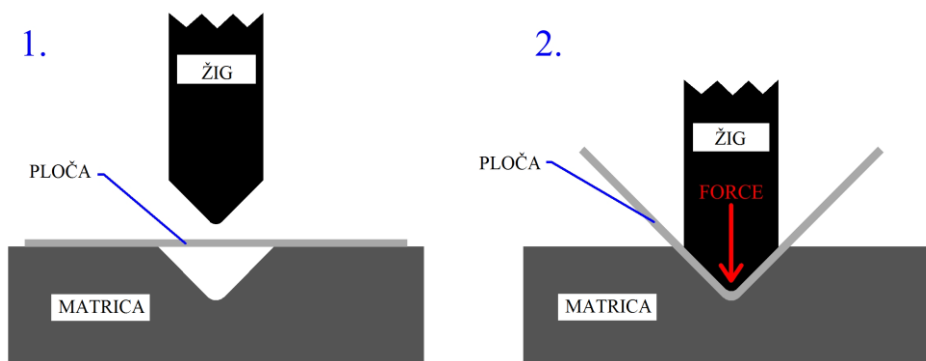


**Slika 13. Savijanje**

Kod savijanja dolazi do istezanja i sabijanja unutar materijala. Mehanička svojstva metala, posebno elastične i plastične deformacije, su važni za savijanja lima. U većini slučajeva savijanje lima vrši se hladno, ali ponekad se dio koji se obrađuje može zagrijavati. Alati koji se koriste za savijanje mogu biti specifični za postupak savijanja i željeni kut savijanja. Materijali za savijanje su obično hladnovaljani i toplovaljani ugljičnog čelik, ali ovisno o potrebi, raspon materijala varira od drveta do karbida. Silu za savijanje većinom isporučuje preša. Komad koji se obrađuje savijanjem može proći i do nekoliko procesa savijanja. Mehanički postupci savijanja razlikuju se u metodama koje koriste za plastično deformiranje ploče. Materijal, veličina i debljina ploče važni su čimbenici pri odlučivanju koju vrstu postupka savijanja metala odabrati. Također u obzir treba uzeti dužinu savijanja, kut i mjesto savijanja na radnom komadu.

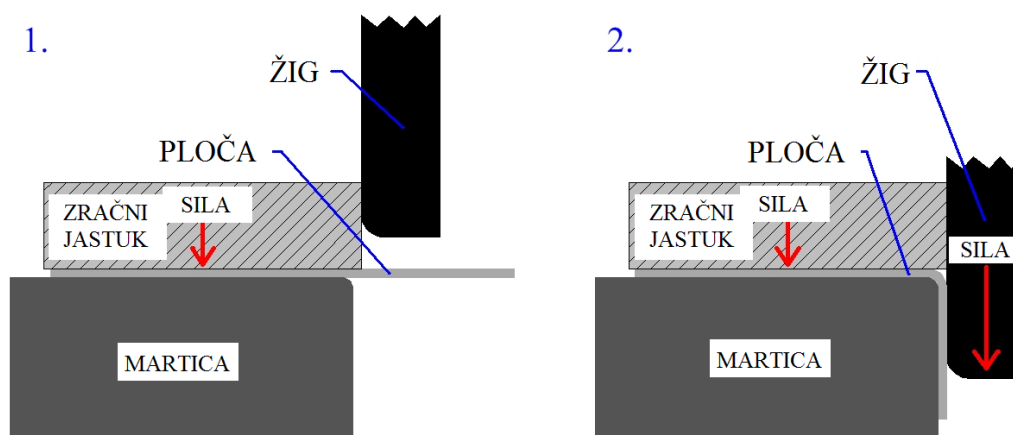
**V savijanje** (slika 14) jedan od najčešće korištenih savijanja proizvodnih procesa. Nakon kutnog savijanja dio koji se savija slični slovu „V“. Ova vrsta procesa može saviti vrlo oštre i vrlo tupe kutove i sve između.





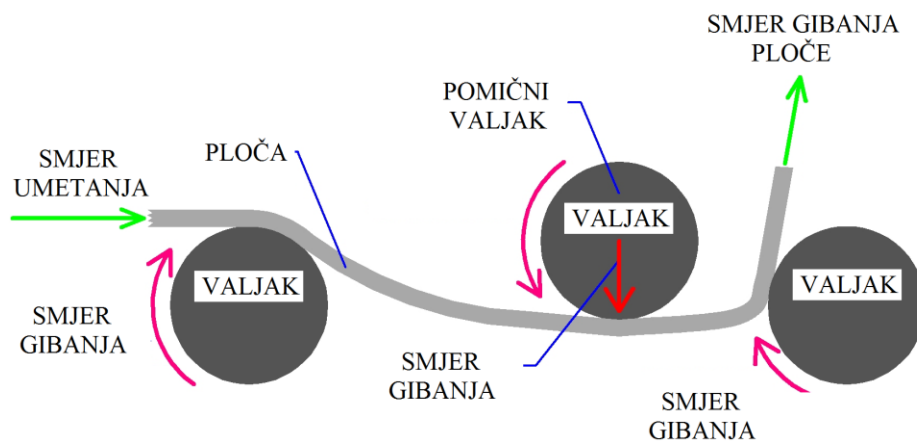
**Slika 14. V savijanje**

**Kutno savijanje** (slika 15) je još jedan vrlo čest proces savijanja metala. Kutno savijanje daje mehaničku prednost pri formiranju zavoja. Međutim, kut nagiba veći od 90 stupnjeva zahtijeva složeniju opremu koja omogućava horizontalne isporuke snage. Za kutno savijanje potreban je dodatni zračni jastuk koji drži ploču na matrici dok žig pritišće ploču koja se pod utjecajem sile savija. Uključivanje zračnog jastuka može se kontrolirati zasebno od žiga.



**Slika 15. Kutno savijanje**

**Kružno savijanje** (slika 16) je tehnika savijanja koja se najčešće koristi za savijanje debljih ploča. Kružno savijanje koristi tri role koje savijaju ploče na željenu zakrivljenosti. Raspored, različite krivulje, udaljenost i kut između valjaka određuju zavoj koji će nastati savijanjem. Pomični valjak pruža mogućnost kontrole krivulja.



**Slika 16. Kružno savijanje**

## 5.4. Točkasto zavarivanje

**Točkasto zavarivanje** je preklopno zavarivanje taljenjem dvaju dijelova metala pomoću topline iz električne struje. Struja mora biti primijenjen za pravilnu količinu vremena kako bi se dijelovi spojili. Točno vrijeme ovisit će o vrsti i debljini metala. Na dodirnom se mjestu obaju dijelova koji se zavaruju stvara Jouleova toplina za koju vrijedi:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (J)}$$

Nastali zavar ima oblik točke, a presjek mu je u obliku leće. Koristi se za gradnju strojeva i aparata, u elektrotehnici, zrakoplovnoj industriji (u putničkom je zrakoplovu do milijun elektrootporno zavarenih točaka), automobilske industriji.

**Prednosti** točkastog zavarivanja su sljedeće: aparat za zavarivanje je jednostavan, nema potrebe koristiti bilo strujanja ili punila, nema opasni otvoreni plamen, zavarivanje se može obavljati bez posebne vještine. Strojevi koji se koriste u tvornicama automobila mogu proizvoditi čak 200 točkastih zavara u šest sekundi. Za zavarivanje mogu se koristiti različite vrste metala.

**Nedostaci** točkastog zavarivanja su sljedeće: elektrode moraju moći doći s obje strane komada metala koji su međusobno povezani, aparat za varenje će moći zadržati samo određenu debljinu metala i premda se položaj elektroda može prilagoditi, tu će biti samoograničena količina kretanja u većini elektroda nositelja. Veličina i oblik elektroda će odrediti veličinu i snagu zavara ako struja

nije dovoljno jaka ili metali ne drže zajedno dovoljno snage, mjesto zavora može biti slabo. Savijanje i gubitak čvrstoće može se pojaviti oko mjesta gdje je metal zavaren. Metal može postati manje otporan na koroziju oko mjesta zavora.

**Ograničenja** točkastog zavarivanja su sljedeća: snaga zavora ovisi o snazi i temperaturi koja je primijenjena te na čistoću elektroda i metala. Spoj dva komada metala spojena točkastim zavarivanjem može biti brz i učinkovit, međutim ako se metoda nije pravilno koristila spoj može biti slab.

## 6. ZAKLJUČAK

- Poduzeće Eltor ima dugu tradiciju poslovanja i proizvodnje rasvjete te kao takvo može proizvoditi široki asortiman kvalitetne rasvjete.
- Zbog svojeg statusa malog poduzeća u mogućnosti je prilagoditi se raznim zahtjevima za funkcionalnost i estetiku rasvjetnog tijela.
- Rasvjetno tijelo Hyper je proizvod visoke kvalitete koje odgovara zahtjevima tržišta.
- Za izradu kućišta svjetiljke Hyper koristi se više vrsta materijala (čelik, aluminij i poli(metil-metakrilat)) i obrada istih (štancanje, savijanje i točkasto zavarivanje).
- Materijali koji se koriste za izradu svjetiljke zadovoljavaju mehaničke i estetske zahtjeve koje postavlja tržište.
- Za izradu plašta i nosača elemenata kućišta svjetiljke koristi se hladnovaljani niskougljični čelik DC01 stanja površine P4 koji osim svojim mehaničkim svojstvima zadovoljava i nabavnom cijenom.
- Aluminij EN AW 1050, 99,50% čistoće visokog sjaja, zbog svojih refleksijskih svojstava povećava efektivnost svjetiljke.
- Korištenjem aluminijske legure AlMgSi 0,5 omogućeno je oblikovanje ekstrudiranog profila prema zahtjevima za funkcionalnost i estetiku svjetiljke.
- Poli(metil-metakrilat) propušta oko 92% svjetlosti te je uz polikarbonat najprozirniji polimerni materijal, čime je sigurniji i jeftiniji za upotrebu kao difuzor od stakla.
- Štancanje, savijanje i točkasto zavarivanje su vitalni procesi u prerađivačkoj industriji koji u potpunosti odgovaraju zahtjevima za obradu dijelova kućišta.

## 7. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA

- Povećanje proizvodnih kapaciteta poduzeća Eltor. Omogućilo bi veću serijsku proizvodnju svjetiljki te time smanjilo troškove proizvodnje svjetiljki.
- Korištenje hladnovaljanog lima DC01 stanja površine P3 a ne P4. Smanjila bi se cijena koštanja proizvoda a zahtijevana kvaliteta bila bi održana.
- Korištenje hladnovaljanog lima DC01 debljine 1mm umjesto 1,5mm za izradu nosača elemenata. Smanjila bi se količina lima potrebna za izradu svjetiljke a zahtijevana čvrstoća bila bi zadovoljena.
- Proširenje kućišta svjetiljke Hyper. Omogućilo bi dodavanje fluorescentnih cijevi te povećalo snagu i količinu svjetlosti rasvijetnog tijela.
- Izrada plašta kućišta Hyper iz aluminijskog lima legure AlMg3. Smanjila bi se težina svjetiljke i povećala otpornost na koroziju.
- Izrada plašta i okvira kućišta Hyper iz inox lima 316 (EN oznaka G-X 6 CrNiMo 18-10). Omogućilo bi korištenje svjetiljke na brodovima i prostorima pod utjecajem soli zbog dobre otpornosti na koroziju navedenog lima.
- Korištenje polikarbonata umjesto poli(metil-metakrilata). Zbog boljih mehaničkih svojstava polikarbonata povećala bi se zaštita svjetiljke a nebi se izgubila propusnost svjetla.

## 8. LITERATURA

### Knjige i priručnici

1. Kraut B. (2009) **Strojarski priručnik**, Zagreb: Tehnička knjiga
2. Filetin T., Kovačiček F., Indof J., (2002) **Svojstva i primjena materijala**, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje
3. Požar H. et al (1987) **Tehnička enciklopedija**, Zagreb: Grafički zavod Hrvatske
4. Haračić N. (2005): **Inžinjerski metalni i nemetalni materijali**, Zenica: Mašinski fakultet
5. Rogić A., Čatić I., Godec D., (2008) **Polimeri i polimerne tvorevine**, Zagreb; Društvo za plastiku i gumu
6. Kovačić V. (2006): *Rasyjeta u antici, L'illuminazione nell'antichità*, Pučko otvoreno učilište Poreč
7. Kaiser D. (1966): *Elektrotehnika, osnovi*, Tehnička knjiga, Zagreb

### Web izvori

1. Jelaska D. (2005) <https://bib.irb.hr/datoteka/321780.ES-skripta-760-kon.pdf> (15.10.2014)
2. Čovo P. (2005) [http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija\\_materijala\\_i\\_obrade.pdf](http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/Tehnologija_materijala_i_obrade.pdf) (15.10.2014)
3. <http://www.ss-industrijska-strojarska-zg.skole.hr/upload/ss-industrijska-strojarska-zg/multistatic/42/5.Tehnika%20stancanja.pdf> (16.10.2014)
4. <http://feal.ba/> (20.10.2014)
5. <http://www.eltor.hr/> (21.10.2014)
6. <http://www.ram-rijeka.com/c/931/Osnovni-postupci-zavarivanja---Ram-Rijeka.wshtml> (21.10.2014)

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Lokacija poduzeća Eltor .....	7
Slika 2. Proizvodna hala poduzeća Eltor .....	8
Slika 3. Rasvjetno tijelo Hyper .....	9
Slika 4. Nacrt plašta svjetiljke Hyper.....	14
Slika 5. Nacrt nosača elemenata svjetiljke Hyper.....	15
Slika 6. Odasijač svjetiljke Hyper.....	15
Slika 7. Ploča poli(metil-metakrilata) .....	16
Slika 8. Presjek aluminijskog profila za okvir svjetiljke Hyper .....	30
Slika 9. Skica jednog segmenta polietilenskog lanca .....	32
Slika 10 Podijela i primjena polimernih materijala .....	33
Slika 11. Žig i matrice za štancu .....	37
Slika 12. Proces probijanja materijala na štancama .....	38
Slika 13. Savijanje.....	39
Slika 14. V savijanje .....	40
Slika 15. Kutno savijanje .....	40
Slika 16. Kružno savijanje .....	41

## 10. POPIS TABELA

Tabela 1. Stupnjevi i opisi IP zaštite.....	12
Tabela 2. Dimenzije i snage svjetiljke Hyper .....	13
Tabela 3. Načelna označavanja čelika za plosnate proizvode za hladno oblikovanje .....	22
Tabela 4. Vrste čelika za hladnovaljane tanke limove i njihova svojstva.....	25
Tabela 5. Fizikalna i mehanička svojstva aluminija .....	26
Tabela 6. Sastav aluminija EN AW 1050 u postocima.....	27
Tabela 7. Mehanička svojstva aluminija EN AW 1050.....	27
Tabela 8. Podjele i osnovne značajke gnječanih aluminijskih legura.....	29
Tabela 9. Kemijski sastav aluminijske legure AlMgSi 0,5 (EN AW 6063) .....	30
Tabela 10. Svojstva poli(metil-metakrilata)-a .....	34