

# Temeljenje brodskih strojeva na podlozi od umjetne smole

---

**Buotić, Karlo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:511054>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**KARLO BUOTIĆ**

**TEMELJENJE BRODSKIH STROJEVA NA  
PODLOZI OD UMJETNE SMOLE**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO**

**TEMELJENJE BRODSKIH STROJEVA NA  
PODLOZI OD UMJETNE SMOLE**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**Prof. dr. sc. Nenad Vulić**

**STUDENT:**

**Karlo Buotić (MB: 0171279308)**

**KOMENTOR:**

**Prof. dr. sc. Liane Roldo**

**SPLIT, 2024.**

## SAŽETAK

Strojevi svojim radom stvaraju unutarnje i vanjske sile zbog čega ih je potrebno pričvrstiti za brodsku konstrukciju. U tu svrhu najčešće se koriste umjetne epoksidne smole, a to su sipki spojevi koji postaju tvrdi i postojani nakon što očvrstnu. Epoksidna smola se lijeva između montažne površine na koju se stroj planira postaviti i temelja stroja. Na taj način, nakon što se epoksidna smola osuši, formiraju se trajni podlošci za potporu strojeva. U odnosu na druge načine krutog temeljenja strojeva, epoksidne smole nude brži, precizniji, dugotrajniji, a samim time i ekonomski isplativiji način ugradnje strojeva. Cilj rada je opisati epoksidne smole, objasniti ugradnju temelja od epoksidne smole, navesti razloge zašto su baš one jedna od najboljih opcija za kruto utemeljiti stroj te izvesti i objasniti proračun temeljenja broskoga porivnog motora na odabranom stvarnom primjeru iz prakse.

**Ključne riječi:** *unutarnje i vanjske sile, ugradnja strojeva, podlošci*

## ABSTRACT

Machines generate internal and external forces during operation, which is why they need to be secured to the structure of the ship. For this purpose, epoxy resins are most often used. These are pourable compounds that become hard and durable once they dry up. The epoxy resin is poured between the mounting surface where the machinery is to be installed and the machinery's base frame. In this way, after the epoxy resin dries, permanent chocks are formed to support the machinery. Compared to other methods of rigid foundations, epoxy resins offer a faster, more precise, longer-lasting, and therefore more cost-effective way of installing machinery. The aim of this paper is to describe epoxy resins, explain the installation of epoxy resin foundations, state the reasons why they are one of the best options for rigidly securing down machinery and to perform and explain the calculations for the foundation of the selected practical actual example of marine propulsion engine.

**Keywords:** *internal and external forces, installation of machines, chocks*

## SADRŽAJ

<b>2. TEMELJENJE BRODSKIH STROJEVA.....</b>	<b>6</b>
2.1. TEMELJENJE NA PODLOZI OD UMJETNE SMOLE (EPOKSIDNOM SMOLOM).....	6
2.2. TEMELJENJE PODESIVIM KOMPOZITNIM PODLOŠCIMA OD EPOKSIDNE SMOLE .....	8
2.3. TEMELJENJE STROJEVA POMOĆU METALNIH PODLOŽAKA .....	10
2.3.1. Podložak <i>SKF - Vibracon SM Elements</i> .....	12
2.4. USPOREDBA TEMELJENJA PODLOŠCIMA OD LIJEVANOG ŽELJEZA, KOMPOZITNIM PODLOŠCIMA I LIJEVANOM EPOKSIDNOM SMOLOM.....	13
<b>3. EPOKSIDNE SMOLE .....</b>	<b>14</b>
3.1. PRIMJENA EPOKSIDNIH SMOLA .....	15
3.2. NEDOSTATCI EPOKSIDNIH SMOLA.....	17
3.3. PROIZVOĐAČI EPOKSIDNIH SMOLA .....	17
3.3.1. Chockfast .....	18
3.3.2. Epocast.....	19
<b>4. UGRADNJA TEMELJA OD LIJEVANE EPOKSIDNE SMOLE ..</b>	<b>21</b>
4.1. ODOBRENJE.....	22
4.2. DOPUŠTENA TEMPERATURA I TLAK.....	22
4.3. PREPORUČENA VISINA I DULJINA .....	23
4.4. TEMPERATURNO ŠIRENJE .....	23
4.5. UGRADNJA TEMELJA.....	23
4.5.1. Priprema temelja .....	24
4.5.2. Izrada kalupa .....	25
4.5.3. Kontrola defleksija koljenastog vratila.....	28
4.5.4. Priprema epoksidne smole .....	28
4.5.5. Lijevanje epoksidne smole .....	28
4.5.6. Lijevanje epoksidne smole u strojarnici .....	29
4.5.7. Lijevanje epoksidne smole na strojevima na palubi.....	29
4.5.8. Lijevanje epoksidne smole u zimskim uvjetima.....	30
4.5.9. Učvršćivanje podloga od epoksidne smole.....	30

4.5.10. Završni radovi i provjera temelja .....	30
4.5.11. Pokusni uzorak.....	32
4.6. POPRAVAK PODLOGA OD EPOKSIDNE SMOLE.....	33
4.7. ZAMJENA PODLOGA OD LIJEVANOG ŽELJEZA PODLOGAMA OD EPOKSIDNE SMOLE .....	34
<b>5. PRIMJER PRORAČUNA STVARNOG SUSTAVA.....</b>	<b>35</b>
5.1. SILA PREDNAPREZANJA U VIJKU I PRODULJENJE VIJKA.....	35
5.2. PRORAČUN TEMELJENJA BRODSKOG SPOROKRETNOG DVOTAKTNOG MOTORA .....	36
5.2.1. Proračun dimenzija temelja.....	36
5.2.2. Opterećenje temelja .....	37
5.2.3. Provjera kriterija pritiska.....	37
5.2.4. Provjera naprezanja u vijcima .....	38
5.2.5. Provjera sigurnosti .....	38
5.3. PRORAČUN SILA U VIJCIMA KOD KRUTOG TEMELJENJA ZBOG DJELOVANJA TEŽINE MOTORA I PORIVNE SILE.....	39
5.3.1. 1. slučaj – Djeluje težina motora i moment uslijed porivne sile .....	39
5.3.2. 2. slučaj – Djeluje samo težina motora bez porivnog momenta .....	47
5.4. REZULTATI I RASPRAVA .....	49
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>52</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>54</b>
<b>PRILOZI .....</b>	<b>56</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>59</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>61</b>
<b>POPIS GRAFOVA.....</b>	<b>61</b>
<b>POPIS OZNAKA I KRATICA .....</b>	<b>62</b>

# 1. UVOD

Svaki stroj zahtijeva temeljenje odnosno pričvršćivanje za podlogu. Temeljenjem se popunjava praznina između temeljnog dijela stroja i potporne površine na kojoj se stroj nalazi. Kroz povijest, temeljenje lijevanim željezom bila je najprihvaćenija metoda za temeljenje velikih strojeva. Međutim, to se promijenilo otkrićem novih i boljih opcija za temeljenje. U današnje vrijeme strojevi se najčešće temelje na podlozi od umjetne mase (epoksidnom smolom) što je tema ovoga rada.

Epoksidne smole (engl. *epoxy resins*) su polimerni materijali. To su umjetne smole koje se široko koriste u raznim industrijama: u brodogradnji, pomorstvu, automobilskoj industriji, građevinarstvu, zdravstvu i raznim drugim industrijama. Epoksidne smole pokazale su se široko prihvaćene za raznovrsne primjene, kako u pomorstvu, tako i u drugim industrijama zbog niza korisnih svojstava. Koriste se kao ljepila, za temeljenje raznih strojeva, kao sredstva za zaštitu površina te za brojne druge potrebe. Mogu se koristiti u otvorenom ili zatvorenom okruženju.

Pogrešno shvaćanje o funkciji i radnim naprezanjima epoksidnih smola bila je glavna prepreka općem usvajanju ovakvog načina temeljenja. Bez obzira na činjenicu da se epoksidne smole koriste u pomorskim i mnogim drugim industrijama, često se ne razumije u potpunosti princip temeljenja strojeva na podlozi od umjetne mase. Stoga često prevladava mišljenje da je temeljenje lijevanim željezom bolja opcija.

Cilj rada je objasniti zašto je temeljenje epoksidnom smolom jedna od najboljih opcija pričvršćivanja strojeva za temelje te navesti i opisati neke vrste krutog temeljenja strojeva. Objasniti će se i postupak ugradnje ovakvih temelja. Poblize će se objasniti što su to epoksidne smole po sastavu, koje su im karakteristike, kako dodatno poboljšati njihova svojstva, koje su njihove prednosti i mane i što ih to čini idealnim izborom za primjenu kod krutog temeljenja strojeva u pomorstvu. Na kraju rada, na primjeru temelja sporokretnog dvotaktnog motora objasniti će se proračun kod ovakvog temeljenja te će se opisati ponašanje epoksidne smole pod opterećenjem porivne sile nekog motora.

Rad se sastoji od šest poglavlja. U uvodnom poglavlju su navedeni predmet istraživanja, ciljevi istraživanja te struktura samoga rada.

Drugo poglavlje opisuje neke od načina krutog temeljenja brodskih strojeva. Na kraju poglavlja usporedit će se tri načina krutog temeljenja te će se navesti razlozi zbog kojih se najčešće koristi temeljenje epoksidnom smolom.

Treće poglavlje opisuje epoksidne smole, njihov kemijski sastav, primjenu, svojstva, prednosti i mane, modifikatore i najpoznatije proizvođače epoksidnih smola koji se koriste u brodogradnji.

Četvrto poglavlje opisuje postupak ugradnje, popravka te zamjenu temelja od epoksidne smole. Uz to, spomenut će se i zahtjevi klasifikacijskih društva, preporučena visina podloge, dopuštena temperatura, dopušten tlak i efekt temperaturnog širenja.

U petom poglavlju objasnit će se proračun temeljenja broskog dvotaktnog motora napravljen u *Microsoft Excelu*. Objasnit će se analitički izrazi za sile prednaprezanja u vijku i za produljenje vijka. Također, analizirat će se produljenje podloge odnosno vijaka izazvano momentom uslijed porivne sile koja djeluje na brodski porivni motor posredstvom odzivnog ležaja.

Šesto poglavlje daje glavne zaključke te osvrt. Na kraju rada je navedena literatura te popisi slika, tablica i mjernih jedinica.



## 2. TEMELJENJE BRODSKIH STROJEVA

Strojevi pretvaraju energiju iz jednog oblika u drugi, prenose snagu i gibanje, pri čemu djeluju vanjske aktivne, vanjske pasivne, inercijske i unutarnje sile, te ih je stoga potrebno pričvrstiti za podlogu. Strojevi koji se temelje mogu biti motori bilo kojih veličina, generatori, kompresori, ležajevi, reduktori, palubni strojevi i slično. Svaki od temelja nosi neki dio stroja ili stroj u cjelini. Za temeljenje strojeva može se primjenjivati kruto temeljenje ili elastično temeljenje. Neki od načina krutog temeljenja na brodu su:

- Zavarivanjem,
- Fugiranjem (popunjavanjem praznina ili pukotina),
- Pomoću vijaka,
- Podesivim metalnim nivelirima (engl. *levellers*),
- Prilagodljivim krutim podlogama od lijevanog željeza,
- Epoksidnom smolom.

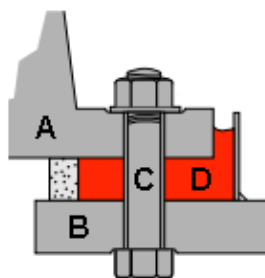
### 2.1. TEMELJENJE NA PODLOZI OD UMJETNE SMOLE (EPOKSIDNOM SMOLOM)

Epoksidna smola može se koristiti za postavljanje i učvršćivanje brodskih strojeva. Lijeva se između montažne površine i donjeg okvira stroja. Nakon što se epoksidna smola osuši, formiraju se trajni podlošci. Temelji od epoksidne smole osiguravaju prikladno poravnanje strojeva te pružaju stabilnu i trajnu podlogu. Na slici 1. prikazan je temelj broskog stroja izrađen od epoksidne smole [1].



Slika 1. Podlošci od epoksidne smole [1]

Podlošci od epoksidne smole izlijevaju se oko temeljnog vijka i izvrsno prijanjaju s oko 98%-tnim dodirnom. Sile temeljnih vijaka pritišću stroj prema dolje dok reaktivne sile epoksidnih podložaka djeluju na stroj u suprotnom smjeru, tj. prema gore. Zbog toga epoksidni podlošci najbolje funkcioniraju u kombinaciji s odgovarajućom silom zatezanja temeljnih vijaka da bi se zadržalo okomito poravnanje i spriječilo vodoravno pomicanje motora. Pravilno ugrađen epoksidni podložak, s visokim koeficijentom trenja i ispravnim prijanjanjem, zajedno s dovoljnom silom zatezanja temeljnog vijka rezultira dinamički stabilnim sustavom. Ako su kombinirani učinci neuravnoteženih sila, spregova, okretnog momenta, temperaturnog širenja i svih drugih sila na ili unutar motora manji od sila zadržavanja podmetača, tada neće biti pomaka stroja. Na slici 2. prikazana je shema ugradnje temelja izrađenih od epoksidne smole [1].



**Slika 2. Shema ugradnje temelja od epoksidne smole: (A) temeljna ploča stroja, (B) postolja, (C) temeljni vijak i (D) epoksidna smola [1]**

Dobra karakteristika epoksidne smole je viskoelastičnost. Viskoelastičnost je svojstvo polimera da pokazuje viskozne i elastične karakteristike tijekom deformacije. To temeljima od epoksidne smole omogućava da izdrže jako velika udarna naprezanja bez oštećenja. Za razliku od lijevanog željeza, tlačni modul kod epoksidne smole je idealan za temeljenje strojeva. Unutarnje sile izazvane deformacijom temelja ili temeljne ploče preraspodijelit će se tijekom rada stroja bez značajnog otklona u okomitom smjeru. Time će ispravno poravnanje biti trajno održano. Osim viskoelastičnosti, epoksidne smole imaju i dimenzijsku stabilnost, a to je sposobnost epoksidne smole da zadrži oblik i mehanička svojstva kroz određeno vrijeme. Osim dimenzijske stabilnosti, još jedna važna karakteristika je i raspoloživa sila trenja. Koeficijent trenja epoksidnog podmetača je oko tri puta veći nego koeficijent trenja podloška od lijevanog željeza. Temelji od epoksidne smole neće klizati dok oni od metala hoće, međutim oba će se u određenoj mjeri savijati pri smicanju. Epoksidne smole imaju niži modul smicanja nego lijevano željezo [1],[2].

Epoksidne smole nude niz prednosti u odnosu na tradicionalne temelje strojeva izrađene od lijevanog željeza, a neke od njih su [1],[3]:

- Ugradnja je brža, jeftinija i jednostavnija,
- Nije potrebna strojna obrada temelja,
- Dodirna površina bit će gotovo 100%-tna, čak i na hrapavim i neravnim površinama jer smola ispunjava sve praznine,
- Vrlo su izdržljive u teškim uvjetima (u fizičkim i toplinskim šokovima), ne korodiraju i otporne su na kemikalije,
- Otpornost na puzanje i zamor,
- Ako se pravilno ugrade dulje traju.

Koriste se za temeljenje potpuno novih instalacija i za popravke ili nadogradnju postojećih. Vrijeme potrebno za ugradnju temelja od epoksidne smole može se precizno predvidjeti i relativno je kratko. Ugradnja se provodi u svega par dana, a ne kroz nekoliko tjedana kao što je to slučaj kod temeljenja lijevanim željezom. Epoksidna masa može se nanijeti na temelj prije postavljanja strojeva što omogućuje još bržu ugradnju. Nakon postavljanja, epoksidna smola se obično stvrdne za samo jedan dan, a temeljni vijci zatežu se čim se podložak vrati na temperaturu okoline. Pogodne su za ugradnju strojeva koje valja uskladiti unutar strogih tolerancija, budući da osiguravaju iznimno visoku kompresiju, otpornost na udarce i zanemarivo stezanje nakon što smola očvrsne. U slučaju klipnih ili stapnih strojeva, prednost epoksidnog temeljenja je u tome što podiže stroj nekoliko milimetara od temelja i omogućuje slobodan protok zraka ispod vruće opreme što smanjuje temperaturu. U 40-godišnjoj povijesti temeljenja epoksidnom smolom, bilo je tisuće slučajeva preopterećenja, pregrijavanja te drugih slučajeva loše ugradnje. Međutim, ove instalacije se i dalje vrlo često primjenjuju u praksi što govori o dobrim sigurnosnim granicama epoksidnih smola [1],[3].

## **2.2. TEMELJENJE PODESIVIM KOMPOZITNIM PODLOŠCIMA OD EPOKSIDNE SMOLE**

Dvodijelni precizno brušeni kompozitni podložak, prikazan na slici 3. omogućava ugradnju strojeva s pomoću već gotovih stvrdnutih epoksidnih podmetača, pa lijevanje epoksidne smole nije potrebno. Izrađen je od epoksidne smole i čeličnog potplata (engl. *soleplate*) koji se pričvršćuje se sa dva vijka. Ovi jedinstveni dvonamjenski vijci pomažu u rasterećenju težine stroja za jednostavno umetanje ili uklanjanje podmetača izrađenog od

epoksidne smole. Vijci omogućuju i naknadnu promjenu poravnanja ako je to kasnije potrebno. Upotreba kompozitnog klina naširoko se koristi za ugradnju kod dinamičkih i teških strojeva i zajedno s temeljenjem lijevanom epoksidnom smolom gotovo su zamijenili temeljenje podlošcima od lijevanog željeza. Zbog visokog koeficijenta trenja između kompozitnog klina i metala postoji otpor vodoravnog kretanja. Kompozitni podlošci neće nagrizati dno postolja ili okvira stroja [1].



**Slika 3. Kompozitni podložak [1]**

Na slici 4. prikazan je kompozitni podložak izrađen od epoksidne smole i čeličnog potplata. Ima jednake prednosti kao i sipki epoksidni podmetač, a dodatna prednost mu je što je podesiv za situacije kod poravnanja u vrućim uvjetima. Također, pomaže odvođenju topline. Materijal koji se koristi u kompozitnom dijelu djeluje kao izolator koji uvelike smanjuje prijelaz topline oko okvira i temelja samoga stroja. Time se smanjuje mogućnost temperaturne deformacije čime se smanjuje izobličenje okvira koje se obično događa kod velikih motora. Podložni kompozitni klinovi debljine su oko 50 mm i omogućuju slobodan protok zraka kako bi se smanjili učinci toplinskog izbočenja (engl. *thermal humping*) na koljenastom vratilu i smanjila temperatura za 1,6 °C do 10 °C na čeličnom potplatu temelja. Kako bi se dodatno kompenzirali problemi uslijed zagrijavanja podesivi dvodijelni klinovi omogućuju pomicanje prema gore ili dolje [1].



**Slika 4. Podložak izrađen od epoksidne smole [1]**

Na slici 5. je prikazana donja strana čeličnog potplata na koju se vijcima pričvršćuje podložak od epoksidne smole. Zaobljeni uglovi služe za smanjenje koncentracije naprezanja. Ovaj dizajn pruža veću otpornost na horizontalne sile od uobičajenih čeličnih potplata [1].



**Slika 5. Pogled na pravilno pripremljeni potplat odozdo [1]**

Prikazana izvedba izvrsno prigušuje vibracije i omogućava vrhunsku kemijsku otpornost. Međutim, u ovom načinu temeljenja potrebne su čelične tračnice ili čelični potplati što se upotrebom lijevane epoksidne smole može izostaviti. Zbog toga je lijevana epoksidna smola isplativiji način temeljenja strojeva. Radna temperatura kompozitnih klinova je od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $176\text{ }^{\circ}\text{C}$ . U tablici 1. prikazana su neka od fizikalnih svojstava kompozitnog podloška pri temperaturi od  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  te temperaturi od  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1].

**Tablica 1. Fizikalne karakteristike kompozitnog podloška [1]**

	Pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	Pri $130\text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>Tlačna čvrstoća</b>	206,84 MPa	137,90 MPa
<b>Čvrstoća na smicanje</b>	96,53 MPa	
<b>Vlačna čvrstoća</b>	82,74 MPa	

### 2.3. TEMELJENJE STROJEVA POMOĆU METALNIH PODLOŽAKA

Podlošci ili klinovi od lijevanog željeza (engl. *shimming*) su tanki elementi koji se koriste za temeljenje strojeva, a postavljaju između okvira stroja te potporne površine kao što je prikazano na slici 6. Obično se izrađuju od duktilnog lijevanog željeza ili od nehrđajućeg čelika zbog velike čvrstoće i otpornosti na koroziju. Postupak podmetanja razlikuje se ovisno o odabranoj vrsti podloška. Mogu se koristiti za temeljenje novih postrojenja, za poravnanje strojeva na točno određenu visinu ili za popravke postojećih

postrojenja kada stroj ne leži pravilno na podlozi (engl. *soft foot*). Stroj može ne ležati pravilno zbog nekoliko razloga: napuknutih temelja, neispravnih podmetača ili iskrivljenih odnosno oštećenih okvira stroja [1].

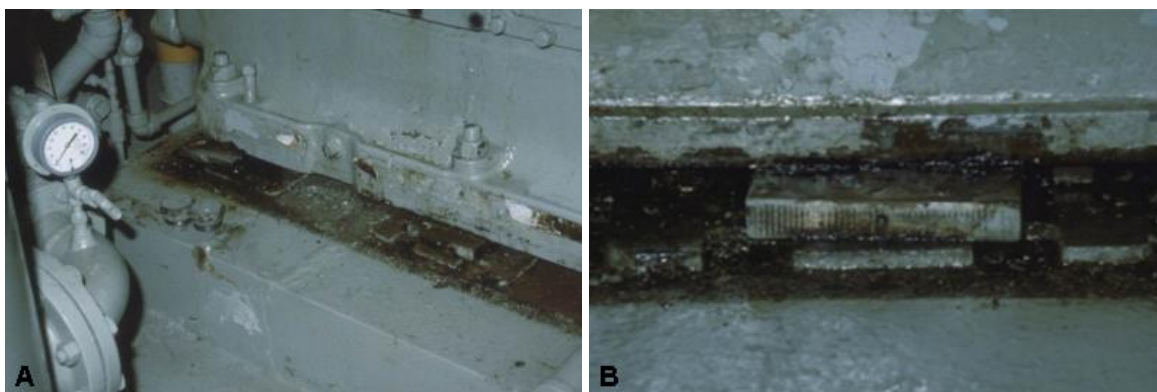


**Slika 6. Temeljenje lijevanim željeznim podloščima [1]**

U prošlosti, temeljenje podloščima izrađenim od lijevanog željeza bila je često korištena metoda za temeljenje strojeva zbog visoke otpornosti na lom i dobrih termičkih svojstava. Lijevano željezo je čvrst materijal i ima visoku tlačnu čvrstoću. Međutim, to je zapravo mana kada se radi o temeljenju strojeva. Tlačni modul elastičnosti od 206 842 MPa dopušta zanemarivu raspodjelu naprezanja [1]. Osim toga, dodirne točke kod ovakvog načina temeljenja su često preopterećene i troše se habanjem to jest trenjem (engl. *fretting*). U načelu, tipično temeljenje lijevanim željezom dodiruje samo tri točke na jednoj površini i samo jednu točku na drugoj površini. U nekim slučajevima kao što je klipni stroj spojen podloškama od lijevanog željeza, ponovno poravnanje može biti potrebno u više navrata tijekom životnog vijeka stroja. To se događa zbog trenja između temeljne ploče, lijevanih željeznih podložaka te bloka motora. U ovom slučaju ponovna strojna obrada je velik trošak i problem neće biti trajno riješen. Zbog niske dinamičke stabilnosti željeza tijekom vremena, vrtnja motora i vibracije strojeva stvaraju pogrešku u pozicioniranju. Kod temeljenja željezom potrebna je precizna strojna obrada te razni alati, a u odnosu na druge načine temeljenja, zahtijeva dulje vrijeme ugradnje. Zbog navedenih mana, temeljenje lijevanim željezom zamijenile su bolje metode poput temeljenja epoksidnom smolom.

Podlošci od lijevanog željeza konstruiraju se za ugradnju na postojeće čelične ploče odnosno vodilice ili tračnice. Željezni temelji u osnovi su u obliku slova 'U' tako da se mogu ukloniti kada se stroj mora ponovo poravnavati. Zbog 'U' izvedbe željezni klinovi se mogu pomicati, pogotovo kada temeljni vijci olabave, a to pomicanje željeznih klinova je vidljivo

nakon uklanjanja stroja. Ako je temelj stroja istrošen zbog trenja ili nekog drugog razloga, potrebno ga je zamijeniti kako bi se postigao pravi dodir. Kod zamjene istrošenih podložaka potrebno je ukloniti postojeće podloške te provjeriti stupanj istrošenosti. Treba provjeriti temelje da se utvrde sva puknuća, tragovi starenja ili oštećeni provrti za vijke. Ako su postojeći temeljni vijci korodirali ili ako su im oštećeni navoji potrebno ih je zamijeniti. Sva oštećenja je potrebno popraviti, a koroziju, boju ili ulje na podlozi temelja je potrebno očistiti. Zatim je potrebno provjeriti ravnoću temelja laserom. Na slici 7.A prikazani su istrošeni temelji od lijevanog željeza, a na slici 7.B povećan prikaz [1],[2].

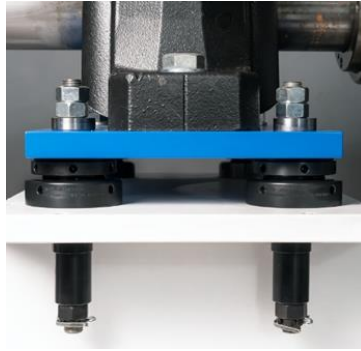


**Slika 7. Istrošeni temelji od lijevanog željeza (A) i povećan prikaz (B) [1]**

### **2.3.1. Podložak SKF - Vibracon SM Elements**

*Vibracon SM* tvrtke *SKF* (slika 8.) su već gotovi podlošci spremni za montažu. Izrađeni su od visokokvalitetnog nehrđajućeg čeličnog lima i podesive su visine, a nude dobar temelj posebno u situacijama kada stroj ne leži pravilno na podlozi. *SKF Vibracon SM Elements* se proizvode u dvije verzije za vijke od 12 do 65 mm promjera. *SKF* isporučuje podloške za strojeve u pet serija različitih veličina, svaka s deset različitih debljina za pričvršćenje vijaka promjera do 52 mm. Preporučuje se korištenje samo jednog podloška na pojedinom mjestu. Međutim, moguće je slagati više podložaka, s tim da nije preporučljivo više od tri podloška po pojedinom mjestu jer se time povećava broj spojnih površina što utječe na preporučeno izduženje vijka. Izvedba i veličina prilagođenih klinova ovise o uvjetima primjene, primjerice o težini stroja i vrsti temelja koji se zahtijeva [4].





Slika 8. Temeljenje pomoću *Vibracon SM Elements* [5]

#### 2.4. USPOREDBA TEMELJENJA PODLOŠCIMA OD LIJEVANOG ŽELJEZA, KOMPOZITNIM PODLOŠCIMA I LIJEVANOM EPOKSIDNOM SMOLOM

U tablici 2. prikazana je usporedba između jednodijelnog ili dvodijelnog podloška izrađenog od lijevanog željeza, dvodijelnog kompozitnog podloška i lijevane epoksidne smole [1].

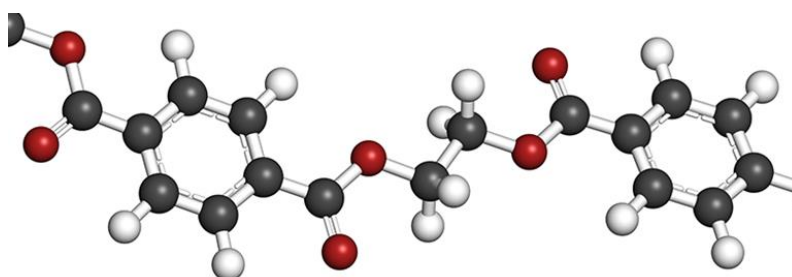
Tablica 2. Usporedba temeljenja podlošcima od lijevanog željeza, kompozitnim podlošcima i lijevanom epoksidnom smolom [1]

	Podlošci od lijevanog željeza	Kompozitni podložak	Podlošci od lijevane epoksidne smole
<b>Zahtijeva potplate</b>	Da	Da	Ne
<b>Otpornost na trenje</b>	Loša	Odlična	Odlična
<b>Otpornost na prijenos topline</b>	Loša	Odlična	Odlična
<b>Visoka radna temperatura</b>	Da	Da	Ne
<b>Spajanje s paralelnim površinama</b>	Dobro	Dobro	Odlično
<b>Kompatibilnost s rupičastom ili rebrastom bazom stroja</b>	Loša	Srednja	Odlična
<b>Prianjanje na različitim površinama</b>	Loše	Srednje	Odlično
<b>Prilagodljivost neravninama dosjeda</b>	Loše	Loše	Odlično
<b>Sposobnost brzih promjena poravnanja</b>	Odlična	Odlična	Loša
<b>Koeficijent trenja</b>	Loš	Odličan	Odličan



### 3. EPOKSIDNE SMOLE

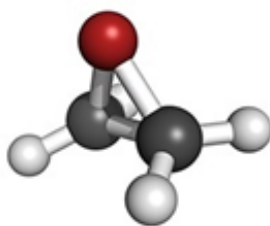
Epoksidne smole su polimerni materijali koji imaju specifična svojstva termostatskih polimera. Polimeri su tvari koje su građene od makromolekula, velikih molekula sastavljenih od mnogo (i do nekoliko desetaka tisuća) manjih i jednostavnijih strukturnih jedinica (monomera) koje se međusobno ponavljaju [6]. Na slici 9. prikazana je shema polimerne strukture. Prema podrijetlu polimeri mogu biti prirodni ili sintetski. Sintetski polimeri dobivaju se polimerizacijom monomera i osnova su za proizvodnju polimernih materijala. Po primjeni, svojstvima i ponašanju pri povišenoj temperaturi, polimeri se dijele na plastomere, duromere, elastomere i elastoplastomere [7],[8].



**Slika 9. Polimeri se sastoje od ponavljajućih lanaca manjih kemijskih jedinica**

**(atom ugljika je prikazan crno, kisik crveno i vodik bijelo) [10]**

Epoksidne smole (engl. *epoxy resins*) su sipki spojevi koji postaju tvrdi i postojani nakon što očvrstnu. Epoksidne smole još se nazivaju i epoksidi. Imaju prisutan oksiran, a to je tročlani prsten koji sadrži atom kisika koji je vezan s dva atoma ugljika. Na slici 10. prikazana je shema epoksidnog prstena. Epoksidi spadaju pod duromere koji spadaju u oksiransku skupinu koja je reaktivna prema širokom broju aditiva koji potiču reakciju skrućivanja (učvršćivačima) [7],[9].



**Slika 10. Epoksidni prsten [9]**

Epoksidne smole se skrućuju u čvrsti oblik djelovanjem topline ili zračenja, a nakon zagrijavanja ostaju u čvrstom obliku sve dok temperatura ne dosegne točku u kojoj se počinju razgrađivati. Reakcije stvrdnjavanja pretvaraju smole niske molekularne težine u trodimenzionalne strukture duromera koje imaju vrlo korisna svojstva. Proces stvrdnjavanja je nepovratan jer uvodi polimernu strukturu umreženu kovalentnim kemijskim vezama [9].

### 3.1. PRIMJENA EPOKSIDNIH SMOLA

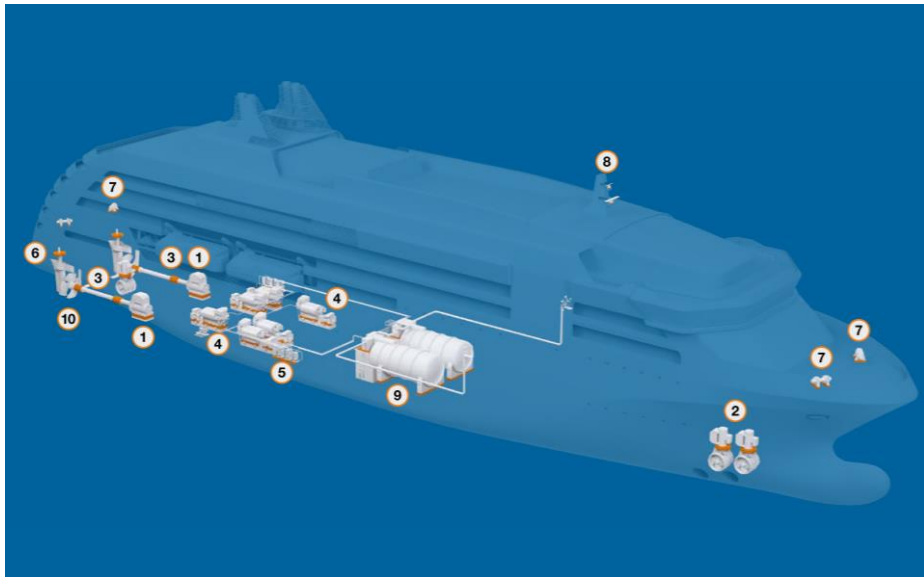
Epoksidne smole koriste se za temeljenje strojeva u raznim industrijama, kao materijal za popunjavanje u primjerice brodskoj statvenoj cijevi ili kao zaštitni premaz protiv korozije i habanja. Također, mogu se koristiti kao ljepila, odljevci, za opremu koju treba zaštititi od kemikalija, konstrukcije u strojarstvu, za građevinske konstrukcije, u elektrotehnici, za izradu nakita i za mnoge druge primjene.

Epoksidne smole imaju široku i raznovrsnu primjenu u pomorstvu. Često se koriste za temeljenje brodskih motora bilo koje veličine, generatora, ležajeva, reduktora, kompresora, pumpi, vitla, drobilica, kormilarskih uređaja, palubnih strojeva, tračnica dizalica i sl. Na slici 11. prikazano je temeljenje epoksidnom smolom broskoga porivnog elektromotora na kruzeru [11].



**Slika 11. Temeljenje porivnog elektromotora na temeljima od epoksidne smole**

Na slici 12. je prikazana primjena temeljenja strojeva na podlozi od epoksidne smole na različitim strojevima kruzera.



**Slika 12. Temeljenje strojeva na podlozi od epoksidne smole na kruzeru: (1) porivni elektromotori, (2) pramčani porivni elektromotori, (3) ležajevi pogonskih vratila, (4) alternatori, (5) pumpe, (6) kormilarski stroj, (7) vitla, (8) radar, (9) LNG tankovi i (10) ležajevi osovine kormila [11]**

Osim za temeljenje, epoksidne smole namijenjene za fugiranje mogu se koristiti za popunjavanje praznina ili pukotina velikih površina strojeva. Epoksidno fugiranje spojeva, u usporedbi s uobičajenim cementom za fugiranje, ima bolju otpornost na zamor, vibracije i kemikalije poput ulja, a pri samo jednom izlijevanju mogu se pokriti velika područja. Epoksidne smole mogu se koristiti kao premazi u svrhu zaštite strojeva i opreme na brodu. U tu svrhu premazuju se vratila poput onih u brodskom porivnom sustavu i njihove pribornice. Budući da je osovina broskog kormila izložena utjecaju morske vode podložna je elektrokemijskoj koroziji. Iz tog razloga, i osovine kormila premazuju se epoksidnim smolama zbog zaštite od utjecaja morske vode, korozije i trošenja. Pravilno postavljen epoksidni laminat ojačan staklom je najučinkovitije i najdugotrajnije rješenje za podmazivanje osovina. Premaz se obično sastoji od pet slojeva epoksidne smole i četiri sloja trake od stakloplastike koju je potrebno nanijeti na površinu osovine i ostaviti da se stvrdne, stvarajući tako epoksidni premaz od stakloplastike (engl. *fiberglas*) visoke čvrstoće. Epoksidne smole koriste se i za ispunjavanje statvene cijevi. Smola se obično pumpa odozdo u slobodan prostor, dok zrak izlazi kroz provrt za ventilaciju na vrhu da se izbjegnu uključine zraka u epoksidnoj smoli. Nakon što se epoksid stvrdne, statvena cijev s ležajevima je sigurno i precizno učvršćena, a na izložene rubove nanosi se morska voda i brtvilo otporno na ulje [11].

### 3.2. NEDOSTATCI EPOKSIDNIH SMOLA

Iako temeljenije epoksidnim smolama ima mnogobrojne prednosti, postoje i određene mane kod korištenja epoksidnih smola [7]:

- Stvrđavanje je sporo,
- Visok koeficijent temperaturnog širenja,
- Visok stupanj oslobađanja dima u požaru,
- Smole su donekle toksične u nestvrđnutom obliku,
- Teško je uskladiti žilavost i otpornost na visoke temperature,
- Apsorbiraju vlagu (zbog čega su prisutne blage promjene dimenzija i fizikalnih svojstava i smanjuje se otpornost na djelovanje topline),
- Mogu biti osjetljive na razgradnju ultraljubičastim zračenjem (kada se epoksidni završni premazi koriste na otvorenom imaju tendenciju promjene boje zbog slabe otpornosti na ultraljubičasto zračenje),
- Ograničene na otprilike 200 °C temperature uporabe.

### 3.3. PROIZVOĐAČI EPOKSIDNIH SMOLA

Pri odabiru epoksidnih smola treba obraditi pozornost na njihove mnogobrojne osobine. Trebaju se upoznati sve prednosti i svi nedostaci pojedine epoksidne smole. Tako će biti jednostavnije odrediti koju vrstu epoksidne smole nabaviti, koliku cijenu platiti te hoće li odabrani proizvod biti zadovoljavajući. Primjerice, kada je riječ o temeljenju motora treba odabrati odgovarajuće smole koje imaju relativno kratko razdoblje stvrđavanja, dobru otpornost na kompresiju, ekstruziju i toplinske udare. Općenito, epoksidne smole s visokim koeficijentom trenja najbolje će poslužiti velikim klipnim ili stapnim strojevima koji su dinamično opterećeni i imaju velike neuravnotežene sile. Najbolja epoksidna smola je ona koja može djelovati na mnogobrojnim različitim površinama i u kojoj se ne stvaraju mjehurići. Također, vrijeme uporabe smole bi trebalo biti što duže, a vrijeme sušenja što kraće kako ugradnja ne bi oduzela previše vremena. Bez obzira koji proizvod od epoksidnih smola se koristi, nakon lijevanja epoksidne smole treba pričekati da smola potpuno očvrstne kako bi se postigao traženi stupanj tvrdoće. Vrijeme skrućivanja ovisi o temperaturi, a moguće je dodati aditive koji potiču reakciju skrućivanja (učvršćivače). Epoksidnim smolama se mogu mijenjati svojstava u širokom rasponu dodavanjem modifikatora. Modifikatorima se može poboljšati: fleksibilnost, žilavost, čvrstoća, suzbijanje plamena,

toplinska svojstva i sl. Moguće je dodati i pigmente za promjenu boje. Nakon lijevanja smole, površinu je potrebno održavati čistom i zatvorenom dok se potpuno ne osuši jer smole privlače prljavštinu i prašinu. Uvijek je bolje ostaviti površinu da se suši dulje nego što proizvođač nalaže. To će osigurati da se smola potpuno stvrdne što će ju zaštititi od prašine ili prljavštine. Na tržištu, postoji mnogo opcija epoksidnih smola u različitim cjenovnim razredima. Skuplje epoksidne smole su obično vrhunske kvalitete, nude dodatne značajke, te obično dolaze u obliku kompleta koji nudi sve potrebne alate i opremu. Neke smole dolaze s učvršćivačem, a neke smole imat će razmazivač, aplikator, četku, mjerne posude te štapiće za miješanje. Primjene na visokim temperaturama mogu se poboljšati upotrebom smola veće funkcionalnosti, što povećava gustoću umrežavanja i poboljšava toplinsku i kemijsku otpornost. Strojevi koji se mogu temeljiti epoksidnom smolom su: motori, elektromotori, generatori, kompresori, pumpe, turbine, separatori, puhala, zupčanici itd. [7],[12].

### 3.3.1. Chockfast

*Chockfast*, američkog proizvođača *Illinois Tool Works*, je proizvođač epoksidnih smola. Nudi rješenja za temeljenje strojeva epoksidnom smolom počevši od projektiranja, opskrbe, podrške, primjene, ispitivanja tvrdoće i certificiranja. *Chockfast* epoksidne smole su posebno projektirane za pružanje optimalnih performansa i pouzdanosti za korištenje ispod strojeva koji moraju biti kritično usklađeni. Specijalizirani inženjeri pružaju podršku tijekom složenih ugradnji epoksidnih temelja s ciljem da se osigura optimalna ugradnja svaki put. *Chockfast* nudi visokoučinkovite epoksidne smjese za fugiranje i brtvljenje te osigurava precizno i trajno temeljenje svih strojeva. Neka svojstva *Chockfast* epoksidnih smola su [15]:

- Brzo stvrdnjavanje uz neznatno skupljanje,
- Visoka tlačna čvrstoća,
- Izvrsno prigušivanje vibracija,
- Vrhunska otpornost na opterećenja, trzaje i smicanje,
- Niske koeficijente temperaturnog širenja (otpornost na širenje pri radu strojeva) itd.

U tablici 3. prikazane su specifikacije nekih od *Chockfast* proizvoda. Prikazana je tlačna čvrstoća, tlačni modul elastičnosti, čvrstoća na savijanje te koeficijent linearnog temperaturnog širenja [8],[12].

**Tablica 3. Specifikacije različitih *Chockfast* epoksidnih smola [16]**

Naziv proizvoda	Tlačna čvrstoća	Tlačni modul elastičnosti	Čvrstoća na savijanje	Koeficijent linearnog temperaturnog širenja
Chockfast Red	105,1 MPa	13 790 MPa	27,8 MPa	0,00002016 mm/mm/ °C
Chockfast Red SG	124,9 MPa	13 583 MPa	102 MPa	0,00001944 mm/mm/ °C
Chockfast Red Versaflow	97,2 MPa	11 032 MPa	35,9 MPa	0,00003438 mm/mm/ °C
Escoweld® 7505/7530	96,5 MPa	12 410 MPa	32,4 MPa	0,00002628 mm/mm/ °C
CWC 604 Machine Bond®	111 MPa	26 200 MPa	54,3 MPa	0,0000288 mm/mm/ °C
Chockfast Blue	131 MPa	11.307 MPa	33,9 MPa	0,00002772 mm/mm/ °C
Chockfast Orange	131 MPa	3 674,9 MPa	52,5 Mpa	0,00003078 mm/mm/ °C
Chockfast Black	119,3 MPa	5 515,8 MPa	42,8 Mpa	0,000027 mm/mm/ °C

Na slici 14. prikazan je *Chockfast Orange* i učvršćivač za brže stvrdnjavanje smole.



**Slika 13. *Chockfast Orange* i učvršćivač [11]**

### 3.3.2. Epocast

*Epocast* (slika 13.), američkog proizvođača *Illinois Tool Works* (bivšeg njemačkog proizvođača *H.A. Springer GmbH*), proizvodi smole za uporabu u raznim industrijama. Omogućava trajno temeljenje raznih strojeva na bilo kojoj vrsti brodova. *Epocast-om* se mogu temeljiti strojevi izloženi dinamičkim opterećenjima i oprema koja treba biti prikladno poravnata. *Epocast* pričvršćuje strojeve trajno bez ikakvog trošenja kontaktne površine temelja stroja. Neka od svojstava *Epocast* epoksidnih smola [13]:

- Visoka tlačna čvrstoća i otpornost na udarce,
- Dobra kompresivna i udarna svojstva,
- Visok koeficijent trenja,

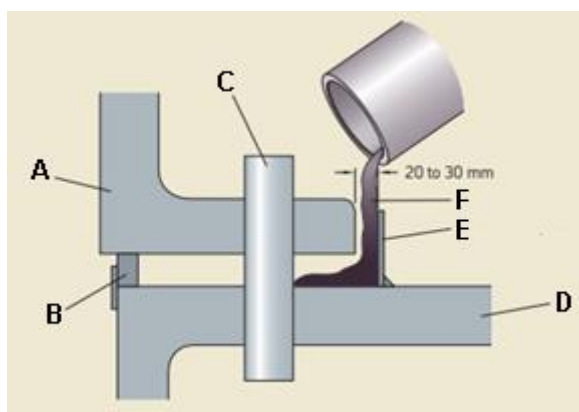
- Niska egzotermnost (ne pregrijava se prilikom sušenja),
- Nizak modul elastičnosti itd.



**Slika 14. Temeljenje stroja smolom *Epocast 36* [14]**

#### 4. UGRADNJA TEMELJA OD LIJEVANE EPOKSIDNE SMOLE

Ako se epoksidne smole pravilno ugrade trebale bi trajati tijekom cijelog životnog vijeka stroja. Da bi se ostvarila pravilna ugradnja prije početka temeljenja potrebno je izračunati veličinu temelja epoksidnih smola, izraditi plan ugradnje, kvalitetno pripremiti podlogu, odrediti silu zatezanja temeljnih vijaka, te provjeriti trim broda (preporučava se da brod bude zatežan). Pri procesu lijevanja potrebno je imati nacrt koji prikazuje poziciju i relativnu veličinu temelja. Ključni element kod ugradnje stroja jest omogućiti da temelj održava precizna poravnanja između dijelova pod dinamičkim opterećenjem. Optimalna ugradnja je ona koja dokumentira precizne rezultate ugradnje pogona i pogonskih strojeva. Postupci ugradnje temelja od epoksidne smole su zapravo smjernice koje je postavio proizvođač epoksidnih smola. Stoga su dozvoljene i iznimke kad je to potrebno. Na slici 15. prikazan je proces izrade temelja od epoksidne smole [17].



**Slika 15. Skica procesa izrade temelja od epoksidne smole: (A) temeljna ploča stroja, (B) kalup/brana, (C) provrt za temeljni vijak, (D) postolje, (E) prednja metalna traka i (F) epoksidna smola [4]**

Strojevi poput dizelsko električnog agregata, tj. dizelskog motora i generatora koji su montirani na zajedničko postolje (engl. *skid*) moraju biti međusobno ispravno pozicionirani i poravnani. Postavljanje preciznih podloga u odnosu na palubu strojarnice i postolje strojeva nije nužno zato što se kompletan dizelsko električni agregat može uskladiti s kabelima, cjevovodom goriva, cjevovodom zraka, ispušnim cjevovodom i slično pa postoji određen stupanj prilagodljivosti [1].



#### 4.1. ODOBRENJE

Prema *Hrvatskom registru brodova (HRB)* prije početka lijevanja epoksidne smole inspektor mora pregledati temelj stroja i mora se osvjedočiti da je priprema za lijevanje epoksidne smole u skladu sa zahtjevima. Za svako temeljenje strojeva na podlozi od epoksidne smole, HRB-u treba dostaviti na odobrenje sljedeću dokumentaciju [17]:

- Nacrt postolja stroja s rasporedom i dimenzijama podloga izrađenim od epoksidne smole,
- Podatke o debljini podloga od epoksidne smole,
- Podatke o tipu i masi stroja s masom rashladnog sredstva i ulja za podmazivanje u cijevima na stroju,
- Podatke o broju i promjeru vijaka za pričvršćivanje, nacrt vijka za pričvršćivanje, proračun naprezanja pritezanja vijka i proračun sile prednaprezanja vijka,
- Podatke o momentu pritezanja vijka, tlaku u cilindru za pritezanje vijka i promjeru stapa hidrauličkog cilindra kod hidrauličkog pritezanja vijaka,
- Podatke o očekivanoj temperaturi postolja stroja,
- Podatke o porivnoj sili stroja kod porivnih strojeva, odzivnih ležaja i reduktora ili odgovarajućoj drugoj sili kod ostalih strojeva,
- Opis, tip i ime proizvođača mase za temeljenje strojeva.

U slučaju požara u strojarnici koji može utjecati na podloge, inspektor *HRB-a* nakon požara mora pregledati podloge, provjeriti pritegnutost temeljnih vijaka i provjeriti defleksije koljenastog vratila.

#### 4.2. DOPUŠTENA TEMPERATURA I TLAK

Za svaki tip epoksidne smole potrebno je provjeriti najvišu dopuštenu temperaturu prema Potvrdi o tipnom odobrenju. Prema do danas izdanim Potvrdama o tipnom odobrenju epoksidne smole od *HRB* najviša dopuštena temperatura temelja stroja u dodiru s epoksidnom smolom je 80 °C [17]. Za svaki tip epoksidne smole potrebno je provjeriti podatke o najvećem i najmanjem tlaku u Potvrdi o tipnom odobrenju. Prema do sada izdanim Potvrdama o tipnom odobrenju epoksidne smole *HRB*, najviši dopušteni specifični tlak od mase stroja i sile prednaprezanja vijka na površinu podloge od epoksidne smole je 5,0 N/mm<sup>2</sup>, a najniži dopušteni specifični tlak od mase stroja i sile prednaprezanja vijka na istu površinu podloge je 2,50 N/mm<sup>2</sup>. U masu stroja uključuje se i masa sredstva za

podmazivanje i sredstva za hlađenje u stroju. Najviši dopušteni tlak na epoksidnoj smoli od sile izazvane masom stroja (njegove težine) je  $0,7 \text{ N/mm}^2$  [17].

#### **4.3. PREPORUČENA VISINA I DULJINA**

Visina temelja nije ograničena. Međutim, da se ostvare najpovoljniji uvjeti lijevanja i korištenja, prema *HRB*, preporučena visina podloge za porivne motore je 45 mm, a preporučeno područje je od 35 mm do 70 mm. Za pomoćne motore i palubne strojeve preporučena visina podloge je 25 mm, a najmanja preporučena visina je 20 mm. Epoksidna smola obično je prikladna za podešavanje visina u rasponu od 15 do 100 mm. Za podloge visine veće od 70 mm i manje od 20 mm potrebno se obratiti dobavljaču epoksidne smole za detaljne upute. U Potvrdi o tipnom odobrenju za svaku epoksidnu smolu mora biti navedena najveća debljina podloge koja se smije lijevati u jednom sloju [1],[17]. Podlošci ne smiju biti suviše dugi. Ako je moguće ne bi smjeli biti duži od 750 mm [17].

#### **4.4. TEMPERATURNO ŠIRENJE**

Klipni i stapni strojevi temperaturno se šire preko svojih temelja tijekom vremena. Povećanjem temperature u radu motora, naprezanja inducirana u temelju mogu biti značajna i istodobno izraženija kod duljih temelja. Zbog toga neki proizvođači epoksidnih podmetača zagovaraju upotrebu sredstava za odvajanje pri postavljanje epoksidnih klinova čija je svrha da olakšava naknadno uklanjanje epoksidnog klina ako bude potrebno ponovo poravnanje stroja. Koristeći koeficijent temperaturnog širenja od  $0,00006 \text{ mm/mm } ^\circ\text{C}$  za 6 metara (6 000 mm) dug okvir motora, može se primijetiti da se pri razlici u temperaturi ( $\Delta t$ ) od  $4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , javlja temperaturno produljenje u uzdužnom smjeru za oko 1,6 milimetara [1]. Rezultat toga je da će sile uslijed porasta temperature na bazi okvira motora biti preraspodijeljene među svim temeljima. One će se prenijeti trenjem u podmetačima [17].

#### **4.5. UGRADNJA TEMELJA**

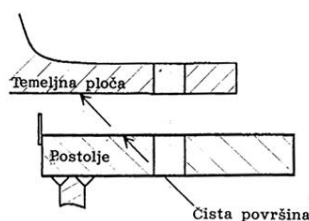
Prije lijevanja epoksidne smole potrebno je provesti pripreme radove. To uključuje pripremu temelja, izradu kalupa, provjeru defleksija koljenastog vratila, kao i pripremu epoksidne smole. Na slici 16. prikazani su alati potrebni za ugradnju temelja od epoksidne smole.



**Slika 16. Smola *Epocast 36* i potreban alat za ugradnju (spužvasta traka za kalup, spužvasta oblaga za popunjavanje provrta, grijači, miješalica, mjerač tvrdoće) [3]**

#### **4.5.1. Priprema temelja**

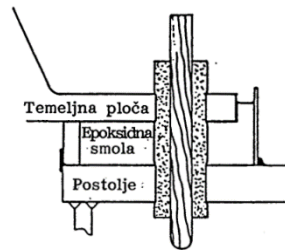
Prije temeljenja potrebno je dovršiti sve zavarivačke radove. Da bi se dodatno učvrstila podloga mogu se prethodno izbušiti plitka udubljenja pod različitim kutovima na potpornoj površini. Potpornu površinu potrebno je očistiti od svih boja, hrđe, masnoće i ostalih prljavština (slika 17.). Tanki sloj temeljne boje kod strojeva te antikorozijski cinkov premaz kod palubnih strojeva može se ostaviti [1],[17].



**Slika 17. Prostor između postolja i temeljne ploče kojeg je potrebno očistiti [17]**

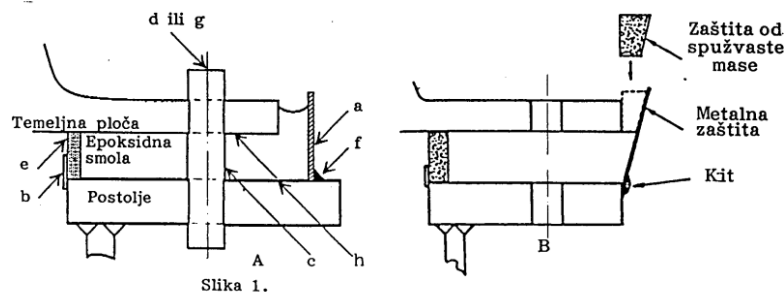
Svi provrti trebaju biti dovršeni, a temeljni vijci pripremljeni, no ne i umetnuti. Spužvaste obloge za vijke i za popunjavanje provrta također trebaju biti pripremljene. Ako je potrebno ostvariti zračnost između smole i temeljnih vijka, na vijke treba nanijeti netopivu mast ili ih treba umetnuti u spužvaste obloge. Za podloške debljine ispod 50 mm (kod temeljenja generatora, palubnih strojeva ili manjih strojeva) na vijke je potrebno nanijeti sloj netopive masti koja se ne smije nanijeti na temeljnu ploču, a kod viših podložaka (kod reduktora i većih strojeva) vijci trebaju biti zaštićeni s pomoću spužvastih oblaga koje mogu, a i ne moraju biti premazane mašću. Ako je potrebno ostvariti puni dodir između vijka i

smole, na vijke je potrebno nanijeti sredstvo za odvajanje kalupa te zatim umetnuti vijke. Vanjski promjer treba odgovarati provrtu, a potpuna nepropusnost nakon umetanja cijevi postiže se umetanjem drvenog čepa u spužvaste obloge (slika 18.) [1],[17].



**Slika 18. Drveni čep unutar spužvastih oblaga u provrtu za vijke [17]**

Priprema temelja prikazana je na slici 19. Na slici 19.A prikazan je slučaj gdje je temeljna ploča kraća od stope temelja. Na slici 19.B je prikazan slučaj temeljenja kada je temeljna ploča jednake širine kao i stopa temelja [17].

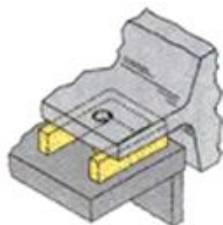


**Slika 19. Priprema temelja gdje je temeljna ploča kraća od stope temelja (A) i priprema temelja kada je temeljna ploča iste širine kao i stopa temelja (B): (a) prednja metalna traka, (b) metalna stražnja traka, (c) netopiva mast, (d) spužvaste obloge za zatvaranje provrta vijaka, (e) spužvasta traka, (f) brtvena masa, (h) sredstvo za odvajanje [17]**

#### 4.5.2. Izrada kalupa

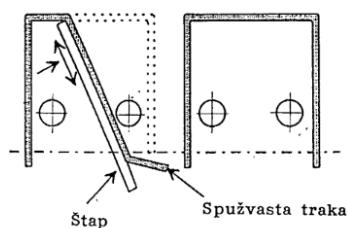
Potrebno je izraditi kalupe odnosno brane koje formiraju prostor u kojem će se izljevati epoksidna smola. Potrebno je izraditi sve kalupe osim prednjeg. Kalupi se izrađuju od šperploče ili meke pjenaste odnosno spužvaste trake, a pri tome je potrebno koristiti brtvilo za brtvljenje između brane i potporne površine. Svi se oštri stepenasti prijelazi moraju

zaobliti brušenjem, kitom ili samim postavljanjem spužvaste trake da se izbjegne koncentracija naprezanja koja može izazvati pucanje podložaka tijekom rada motora. Na slici 20. su prikazani izrađeni zadnji i bočni kalupi [1],[17].



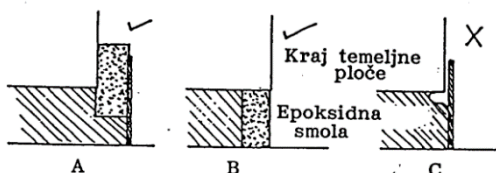
**Slika 20. Izrada kalupa [1]**

Ukoliko se koristi spužvasta traka treba obratiti pažnju da traka bude učvršćena da se ne bi izvila (slika 21.) [17].



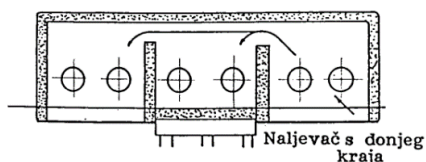
**Slika 21. Pravilno postavljanje spužvaste trake [17]**

Da se spriječi prelijevanje epoksidne smole spužvasta traka treba biti postavljena uz rub temeljne ploče (slika 22.A) ili umetnuta između temeljne ploče i postolja (slika 22.B). Metalna traka se ne smije koristiti, jer može izazvati napuknuće, odnosno nepotpuno ispunjavanje (slika 22.C) [17].



**Slika 22. Pravilno postavljanje spužvaste trake: (A) spužvasta traka uz rub temeljne ploče, (B) spužvasta traka umetnuta između temeljne ploče i postolja i (C) nepotpuno ispunjavanje smole [17]**

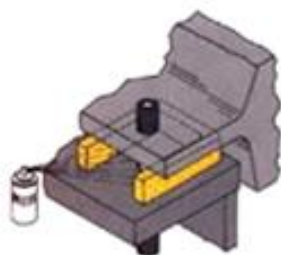
Ako je udaljenost između vijaka veća od 300 mm, preporučuje se ubacivanje razdjelnih spužvi između vijaka. Najpovoljnije je da obuhvate područje dva uzdužna vijka. Ako je naljevno mjesto nedostupno zbog bočnog kalupa, potrebno je nalijevanje izvesti preko susjednog podloška (slika 23.) [17].



**Slika 23. Lijevanje epoksidne smole preko susjednog podloška [17]**

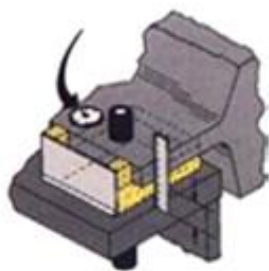
Kod temeljenja kompresora, obično se izrađuje kalup debljine od oko 25 mm i visine oko 19 mm. Kako bi se olakšalo rukovanje i umetanje epoksidne smole ispod okvira, duljina kalupa bi u prosjeku trebala iznositi 75 mm. Za sva lijevanja debljine manje od 13 mm i veće od 70 mm, isporučitelj smole i učvršćivača treba dati posebne upute. Ako je debljina podloge veća od 50 mm, potrebno je slijediti upute koje se odnose na porivni stroj [1],[17].

Sve površine koje će biti u dodiru s epoksidnom masom preporučuje se premazati s tankim slojem sredstva za odvajanje (slika 24.), a rupe za vijak je potrebno začepiti. Sredstvo za razbijanje veza je otapalo koje ne ostavlja nikakav talog [1],[17].



**Slika 24. Raspršivanje sredstva za odvajanje [1]**

Zatim je potrebno postaviti i prednji kalup (slika 25.). Prednji kalup se izrađuje od kutnog metalnog komada dovoljne visine da dozvoli minimalno prelijevanje smola. Površinu kutne željezne brane koja će ući u kontakt s epoksidnom smolom trebalo bi premazati tankim slojem masti za visoke temperature [1],[17].



**Slika 25. Izrada prednjeg kalupa [1]**

#### **4.5.3. Kontrola defleksija koljenastog vratila**

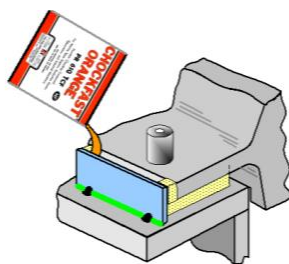
Prije početka lijevanja epoksidne smole treba izvršiti kontrolu poravnanja i defleksija koljenastog vratila stroja. Ako je su rezultati zadovoljavajući, može se krenuti sa pripremom i lijevanjem epoksidne smole [17].

#### **4.5.4. Priprema epoksidne smole**

Epoksidnu smolu je potrebno zagrijati. Kod velikih masa, te kada cijela masa ne može biti zagrijana (toplim zrakom), preporučuje se korištenje električnog grijača. Kantu treba ostaviti sa smolom dvije do tri minute neposredno na grijačima nakon čega se provjerava je li smola ravnomjerno predgrijana na potrebnu temperaturu cijelim svojim obujmom. Sljedeći korak je dodavanje učvršćivača. Smola i učvršćivač moraju se miješati u skladu s uputama proizvođača. Prilikom kontrole miješanja treba koristiti zaštitne naočale i rukavice. Odgovarajućom miješalicom pri brzini vrtnje od 250 do 300 min<sup>-1</sup> treba homogeno miješati sadržaj kante jednu do dvije minute. Miješanjem obuhvatiti cijelu masu. Miješalica treba uvijek biti pri dnu kante. Obratiti pažnju da se ne umiješa zrak u masu. Ako smjesa postane svjetlije boje, znači da je brzina vrtnje miješalice prevelika ili da miješalica nije bila pri dnu kante pa je umiješan zrak. Kada je sav učvršćivač homogeno izmiješan, smola postaje spremna za izlijevanje u kalup [1],[17].

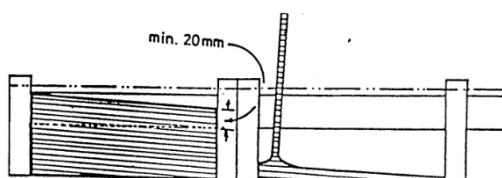
#### **4.5.5. Lijevanje epoksidne smole**

Nakon što je kalup završen treba pomiješati i izliti epoksidnu smolu u kalup. Napuniti kalup smolom dok ne bude malo iznad kalupa (slika 26.). Neposredno nakon miješanja, lagano, u tankom mlazu izliti smolu a nižem dijelu pojedine podloške. Smola mora slobodno teći iz kante i ostatci sa dna se ne smiju strugati [1],[17].



**Slika 26. Lijevanje epoksidne smole [1]**

U ljetnom razdoblju, kod većih debljina podloški, popunjavati svaku drugu podlošku. Nakon inicijalnog učvršćenja i hlađenja prve podloške (nakon dva do tri sata) dovršiti posao popunjavanjem preostalih podloški (slika 27.) [17].



**Slika 27. Lijevanje epoksidne smole u međusobno odvojene podloške [17]**

#### **4.5.6. Lijevanje epoksidne smole u strojarnici**

Epoksidnu smolu treba predgrijati u skladu s uputom proizvođača. Predgrijavanje smole potrebno je jer smola treba biti na temperaturi ne nižoj od 250 °C. Učvršćivač treba biti na temperaturi okoline. Smola se može predgrijavati u zatvorenom prostoru grijanjem toplim zrakom. Tijekom miješanja kante treba odlagati na toplinski izoliranu podlogu (karton ili slično), te je potrebno odmah započeti lijevanje. Čim dođe do početnog učvršćenja epoksidne smole treba uključiti grijače. Temperaturu podloški održavati na najmanje 250 °C tijekom 24 sata [17].

#### **4.5.7. Lijevanje epoksidne smole na strojevima na palubi**

Epoksidnu smolu treba predgrijati u skladu s uputom proizvođača. Glavnu poteškoću predstavlja hladan jak vjetar, koji otežava lijevanje. Smola se mora miješati na zaklonjenom mjestu i odlagati na toplinski izoliranu podlogu. Zagrađivanjem uređaja drvenim ili plastičnim zaklonom uklanja se djelovanje vjetra. Neka brodogradilišta izrađuju trajne zaklone od plastičnih masa. Smolu treba što brže lijevati i treba voditi računa da vrlo brzo nakon miješanja dolazi do hlađenja smjese. Nakon lijevanja, održavati temperaturu područja



podložki na najmanje 250 °C tijekom 24 sata. Za zagrijavanje čeličnih površina potrebno je koristiti grijače zraka sa savitljivim zračnim crijevima dovoljnog presjeka. U ljetnom razdoblju ne preporučuje se grijanje smole na otvorenom suncu zbog mogućeg pregrijavanja [17].

#### 4.5.8. Lijevanje epoksidne smole u zimskim uvjetima

Primjena epoksidne smole u zimskim uvjetima (temperaturi ispod 0 °C) kod ugradnje temeljenja zahtjeva se nešto drugačija tehnologija. Kod zimskih uvjeta razlikuju se dvije mogućnosti: lijevanje epoksidne smole na palubi i lijevanje epoksidne smole u strojarnici. Ako postoji opravdana sumnja da je tijekom skladištenja smole došlo do smrzavanja, preporučuje se grijanje smole na 500 °C, te njeno miješanje. Učvršćivač je dovoljno prije miješanja ugrijati na temperaturu od 200 °C. Za održavanje temperature iznad 200 °C u području temelja moraju biti na raspolaganju grijači [17].

#### 4.5.9. Učvršćivanje podloga od epoksidne smole

Nakon završenog lijevanja i početnog učvršćenja smole, ako je potrebno, uključiti grijače. Smola se ostavlja da se stvrdne 24 do 48 sati. Ponekad je potrebno zagrijavanje kako bi se osiguralo potpuno očvrnuće. Sušenje podloga odvija se u skladu sa uvjetima prikazanim u tablici 4 [17].

**Tablica 4. Vrijeme sušenja epoksidne smole ovisno o njenoj temperaturi [17]**

Temperatura podložki	
70 °C	1 do 2 sata
20 °C	24 sata
17 °C do 20 °C	36 sati
14 °C do 17 °C	48 sati
13 °C	Nedovoljna temperatura

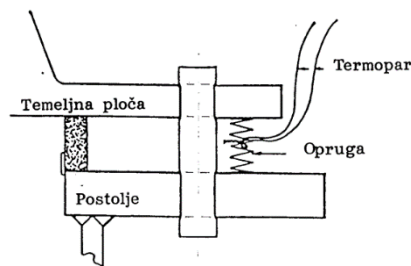
#### 4.5.10. Završni radovi i provjera temelja

Kada je proces stvrdnjavanja gotov i kada se podložke ohlade na temperaturu okoline, potrebno je ukloniti kalupe i odvrnuti temeljne vijke za nivelaciju te pustiti da masa stroja opteretiti podloge od epoksidne smole. Epoksidnu masu koja se prelila preko kalupa trebalo bi pobrusiti (slika 27.) [17].



**Slika 28. Naknadna obrada temelja od epoksidne smole [1]**

Da bi se provjerilo je li stvrdnjavanje bilo uspješno može se pratiti temperatura reakcije vezivanja (egzotermna reakcija). Za registriranje egzotermne reakcije koristi se termopar, uređaj za mjerenje temperature. Termopar se postavlja u srednjem dijelu najdeblje i najtanje podloške. Manja metalna opruga može poslužiti kao nosač termopara. Kod sloja debljine manje od 30 mm, otežano je registriranje egzotermne reakcije zbog intenzivnog odvođenja topline (slika 29.) [17].



**Slika 29. Postavljanje termopara [17]**

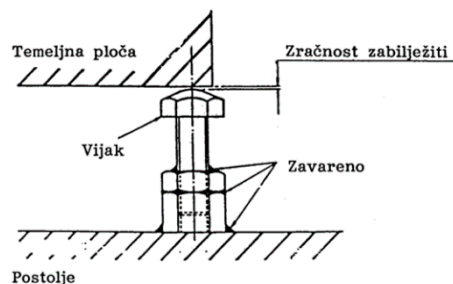
Drugi način provjere je li sušenje epoksidne smole bilo potpuno je provjerom *Barcol* tvrdoće osušene epoksidne smole. *Barcol* uređaj (slika 30.) je prijenosni mjerač tvrdoće. Idealan je za mjerenje tvrdoće mekih metala, polimera i staklenih vlakana. Ljestvica tvrdoće kreće se od 0 do 100 *Barcola*. Da bi stvrdnjavanje bilo uspješno, tvrdoća osušene epoksidne smole mora biti iznad 40 *Barcola* na bočnoj strani svake podloške. Smatra se prihvatljivim, ako provjera pokaže najmanje 40 *Barcola* na donjem dijelu probnog uzorka [17],[18].



**Slika 30. Barcol uređaj za ispitivanje tvrdoće [18]**

Nakon provjere tvrdoće, potrebno je izvršiti završno pritezanje temeljnih vijaka odgovarajućom silom u skladu s propisanim zahtjevima prema odobrenoj tehničkoj dokumentaciji. Nakon pritezanja vijaka, moguća je pojava slijeganja smole u relativnom iznosu do 0,001 x debljine sloja (apsolutno, najviše do 0,05 mm). Ovo je potrebno uzeti u obzir prilikom centriranja stroja. Zatim, potrebno je još jednom provjeriti i zabilježiti defleksije koljenastog vratila te otvaranje i spuštanje (izlom - SAG i zijev - GAP) na prirubnicama vratilnog voda [17].

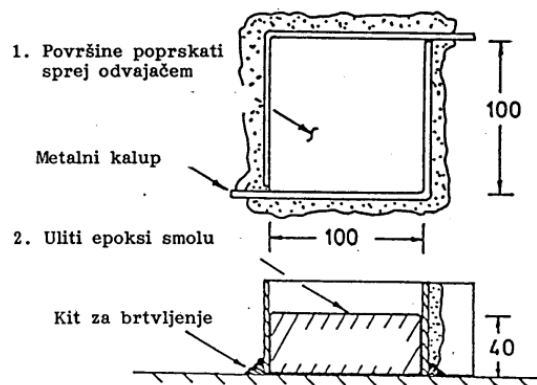
Kod većih motora postaviti četiri vijka (slika 31.) i zabilježiti zračnost. Na stroju pričvrstiti pločicu s naznakom momenta pritezanja temeljnih vijaka odnosno s naznakom tlaka u hidrauličkom cilindru, i promjerom klipa hidrauličkog cilindra [17].



**Slika 31. Provjera zračnosti vijka [17]**

#### **4.5.11. Pokusni uzorak**

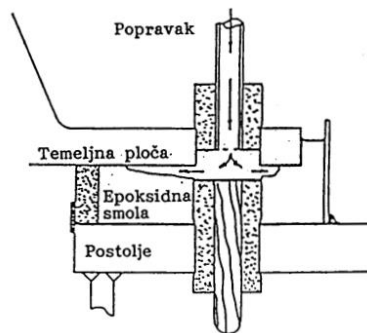
Ako je potrebno, pokusni uzorak dimenzija 100 x 100 mm, pripremiti prema slici 32., na čistom dijelu temeljne ploče, u blizini podloški. Izliti smolu do razine od 40 mm. Pokusni komad namijenjen je potvrdi kvalitete materijala. S obzirom da su uvjeti procesa izradbe pokusnog komada različiti od stvarnih, dozvoljava se provjera tvrdoće pokusnog komada nakon sušenja od jednog sata pri 400 °C [17].



**Slika 32. Pokusni uzorak od epoksidne smole [17]**

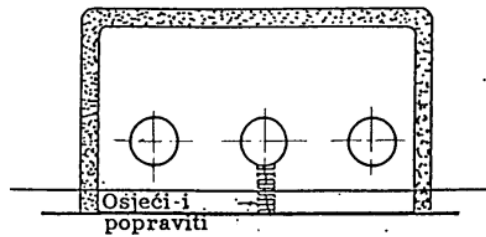
#### **4.6. POPRAVAK PODLOGA OD EPOKSIDNE SMOLE**

Kod lijevanja epoksidnih podloga, uslijed curenja, prostor se djelomično ispuni epoksidnom smolom pa gornji dio može ostati neispunjen. Prazan prostor naknadno se može ispuniti epoksidnom smolom, injektiranjem, tako da se donji dio provrta začepi kao što je prikazano na slici 33. Ako je potrebno popraviti više od dvije podloge, preporučuje se sve podloge ukloniti i ponovno obaviti lijevanje [17].



**Slika 33. Lijevanje epoksidne smole injektiranjem u neispunjeni dio [17]**

U slučaju vertikalne pukotine na podlozi koja se proteže do rupe, pukotina može ostati. Ako se iz estetskih razloga zahtijeva da se pukotina ukloni, potrebno je ukloniti iscrtkani dio (slika 34.), širine približno 30 mm, te izvršiti lijevanje injektiranjem. Ako su rubovi podloge oštećeni nije nužno izvršiti popravak [17].

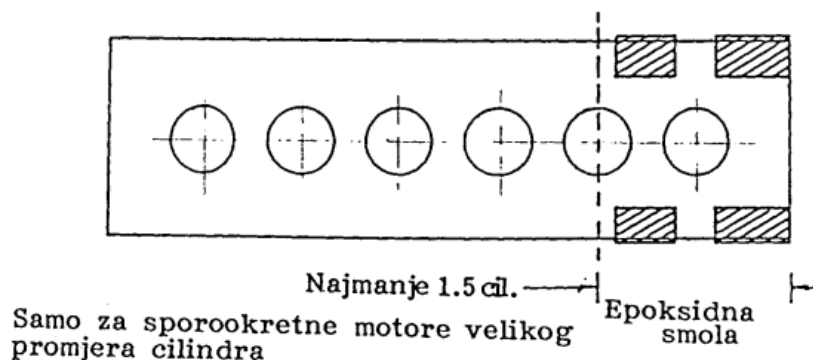


**Slika 34. Vertikalna pukotina [17]**

Kod provjere tvrdoće podloge može se ustanoviti da je Barcol tvrdoća manja od 40. U tom slučaju potrebno je takav komad podloge držati na temperaturi 40 °C u vremenu od jednoga sata. Zatim utiskivati smolu najmanje 15 sekunda. Nakon sušenja, ako tvrdoća tada zadovoljava, odnos smole i učvršćivača je pravilno određen [17].

#### **4.7. ZAMJENA PODLOGA OD LIJEVANOG ŽELJEZA PODLOGAMA OD EPOKSIDNE SMOLE**

Prilikom zamjene podloga od lijevanog željeza podlogama od epoksidne smole kod malih motora i motora srednje veličine, te reduktora i ostalih palubnih strojeva, potrebno je zamijeniti sve podloge. Djelomična zamjena dopuštena je samo kod sporokretnih motora velikog promjera cilindra gdje se zamjena mora izvršiti najmanje za 1,5 cilindra (slika 35.) [17].



**Slika 35. Zamjena podloga od lijevanog željeza podlogama od epoksidne smole na sporokretnim motorima [17]**

## 5. PRIMJER PRORAČUNA STVARNOG SUSTAVA

### 5.1. SILA PREDNAPREZANJA U VIJKU I PRODULJENJE VIJKA

Ukupna sila prednaprezanja u vijku mora biti  $\geq 2,5$  puta od sile izazvane masom stroja [17].

$$\Delta l = \frac{4F \cdot L}{\pi E \cdot D^2} [\text{mm}] \quad (1)$$

gdje je:

$F$  – sila u vijku [N]

$L$  – duljina vijka koja se produljuje [mm]

$E$  – modul elastičnosti materijala od kojeg je vijak izrađen [N/mm<sup>2</sup>]

$D$  – promjer vijka [mm]

Promjer tijela vijka može biti smanjen, ali ne smije biti manji od 80% od najmanjeg unutarnjeg promjera navoja na vijku. Za vijke sa smanjenjem promjerom, produljenje treba računati zasebno za svaku duljinu različitog promjera [17].

Moment pritezanja ključem (kad se ne primjenjuje hidraulička naprava) uz poznatu silu prednaprezanja u vijku određuje se po izrazu [17]:

$$T_p = F_v \left( 0,16P + \mu \frac{d_2 + D_{sr}}{2} \right) [\text{Nm}] \quad (2)$$

gdje je:

$F_v$  – sila prednaprezanja u vijku [N]

$P$  – korak navoja [m]

$\mu$  - koeficijent trenja na bokovima navoja i na glavi vijka  $\sim 0,2$  za čelične vijke ako je navoj vijka premazan *Molycote* pastom uzima se 0,1

$d_2$  – srednji promjer navoja [m]

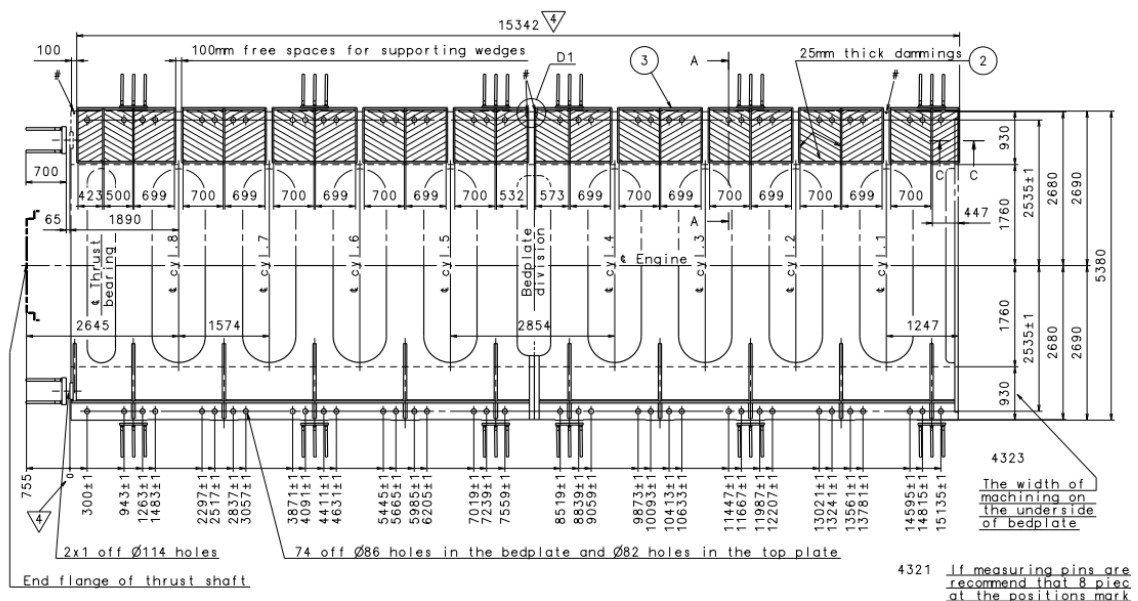
$D_{sr}$  – srednji promjer glave vijka  $D_{sr} = 0,5(D_v + D_u)$  [m]

$D_v$  – vanjski promjer matice [m]

$D_u$  – promjer provrta za vijak [m]

## 5.2. PRORAČUN TEMELJENJA BRODSKOG SPOROKRETNOG DVOTAKTNOG MOTORA

Izračunat će se dimenzije, opterećenje, kriterij za tlak u podloškama, naprezanje u vijcima te faktor sigurnosti na primjeru temeljenja brodskog sporokretnog dvotaktnog dizelskog motora (slika 36.). Motor koji se temelji je MAN Diesel 8G95ME-C9 koji ima 8 cilindara. U ovom primjeru temeljit će se pomoću vijaka za poravnanje na epoksidnoj smoli. Epoksidna smola koja će se koristiti je *Epocast 36*. Proračun je napravljen u *Microsoft Excelu* prema sljedećim izrazima [21].



Slika 36. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora [19]

### 5.2.1. Proračun dimenzija temelja

U program se uvrste sljedeće poznate informacije:

$N = 74$  - ukupni broj pričvrstnih vijaka

$L = 27\,334$  - duljina temelja [mm]

$B = 432,50$  - širina temelja [mm]

$A_{\text{provrti}} = 438,60$  - ukupna površina provrta za vijke i ostala udubljenja [mm<sup>2</sup>]

Na temelju uvrštenih informacija može se izračunati  $A_{\text{bruto}}$  - bruto površinu temelja [mm<sup>2</sup>] po formuli:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{bruto}} &= 2B & (3) \\
 A_{\text{bruto}} &= 2 \cdot 432,50 \text{ mm}^2 \\
 A_{\text{bruto}} &= 23\ 643\ 910 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Ukoliko se od bruto površine temelja oduzme ukupna površinu provrta za vijke, dobit će se  $A_{\text{neto}}$  - neto površinu temelja [ $\text{mm}^2$ ]:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{neto}} &= A_{\text{bruto}} - A_{\text{provrti}} & (4) \\
 A_{\text{neto}} &= 23\ 643\ 910 \text{ mm}^2 - 438\ 603 \text{ mm}^2 \\
 A_{\text{neto}} &= 23\ 205\ 307 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

### 5.2.2. Opterećenje temelja

U program se uvrste sljedeće poznate informacije:

$m = 1\ 614\ 502$  - masa stroja koji se temelji [kg]

$g = 9,81$  [ $\text{m/s}^2$ ] - ubrzanje sile teže

$F_{\text{vs}} = 1\ 043\ 273$  - vlačna sila u jednom vijku, odabrana u projektu [N]

Može se izračunati  $G_{\text{vt}}$  - vlastitu težinu stroja [N] koji se temelji prema sljedećem izrazu:

$$\begin{aligned}
 G_{\text{vt}} &= mg & (5) \\
 G_{\text{vt}} &= 1\ 614\ 502 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 G_{\text{vt}} &= 15\ 838\ 264,62 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$p_g$  - pritisak na podlogu uslijed vlastite težine [ $\text{N/mm}^2$ ]:

$$\begin{aligned}
 p_g &= G_{\text{vt}}/A_{\text{neto}} & (6) \\
 p_g &= 15\ 838\ 264,62 \text{ N}/23\ 205\ 307 \text{ mm}^2 \\
 p_g &= 0,68 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$p_v$  - pritisak na podlogu koji izazivaju vijci [ $\text{N/mm}^2$ ]:

$$\begin{aligned}
 p_v &= (n \cdot F_{\text{vs}})/A_{\text{neto}} & (7) \\
 p_v &= (74 \cdot 1\ 043\ 273 \text{ N})/23\ 205\ 307 \text{ mm}^2 \\
 p_v &= 77\ 202\ 202 \text{ N}/23\ 205\ 307 \text{ mm}^2 \\
 p_v &= 3,33 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$p_{\text{uk}}$  - ukupni pritisak na podlogu [ $\text{N/mm}^2$ ]:

$$\begin{aligned}
 p_{\text{uk}} &= p_g + p_v & (8) \\
 p_{\text{uk}} &= 0,68 \text{ N/mm}^2 + 3,33 \text{ N/mm}^2 \\
 p_{\text{uk}} &= 4,01 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

### 5.2.3. Provjera kriterija pritiska

Da bi odredili zadovoljava li temelj kriterij pritiska uslijed vlastite težine i cjelokupni pritisak potrebno je izračunati veličine usporediti s graničnim veličinama.

U program se uvrste sljedeće poznate informacije:



$p_{g,max} = 0,70$  - najveći dozvoljeni pritisak uslijed vlastite težine [N/mm<sup>2</sup>]

$p_{uk,min} = 2,50$  - najmanje potrebni ukupni pritisak [N/mm<sup>2</sup>]

$p_{uk,max} = 5,00$  - najveći dozvoljeni ukupni pritisak [N/mm<sup>2</sup>]

Kriterij pritiska uslijed vlastite težine je zadovoljen ako vrijedi da je:  $p_g \leq p_{g,max}$ , a kriterij ukupnog pritiska ako vrijedi da je:  $p_{uk,min} \leq p_{uk} \leq p_{uk,max}$ . U ovom slučaju oba uvjeta su zadovoljena.

#### 5.2.4. Provjera naprezanja u vijcima

U program se uvrste sljedeće poznate informacije:

$R_m = 780,00$  - vlačnu čvrstoću materijala vijka [N/mm<sup>2</sup>]

$R_{tmv} = 560,00$  - granicu tečenja materijala vijka [N/mm<sup>2</sup>]

$d_{pv} = 58,00$  - promjer najmanjeg presjeka vijka [mm]

Određuje se  $A_{ppv}$  - površinu najmanjeg presjeka vijka [mm<sup>2</sup>]:

$$A_{ppv} = \pi(d/2)^2 \quad (9)$$

$$A_{ppv} = \pi(58,00/2)^2$$

$$A_{ppv} = \pi \cdot 841 \text{ mm}^2$$

$$A_{ppv} = 2\,642,08 \text{ mm}^2$$

$\sigma_{sv}$  - naprezanje u svakom vijku [N/mm<sup>2</sup>]:

$$\sigma_{sv} = F_{vs}/A_{ppv} \quad (10)$$

$$\sigma_{sv} = 1\,043\,273,00 \text{ N} / 2\,642,08 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sv} = 394,87 \text{ N/mm}^2$$

#### 5.2.5. Provjera sigurnosti

U program se uvrste sljedeće nama poznate informacije:

$\sigma_{sv} = 394,87$  - naprezanje u svakom vijku [N/mm<sup>2</sup>]

$R_{tmv} = 560$  - granica tečenja materijala vijka, min [N/mm<sup>2</sup>]

$S_{min} = 1,25$  - najmanja dozvoljena sigurnost prema granici tečenja

$S$  - sigurnost se izračuna po formuli:

$$S = R_{tmv}/\sigma_{sv} \quad (11)$$

$$S = \frac{560,00 \text{ N/mm}^2}{394,87 \text{ N/mm}^2}$$

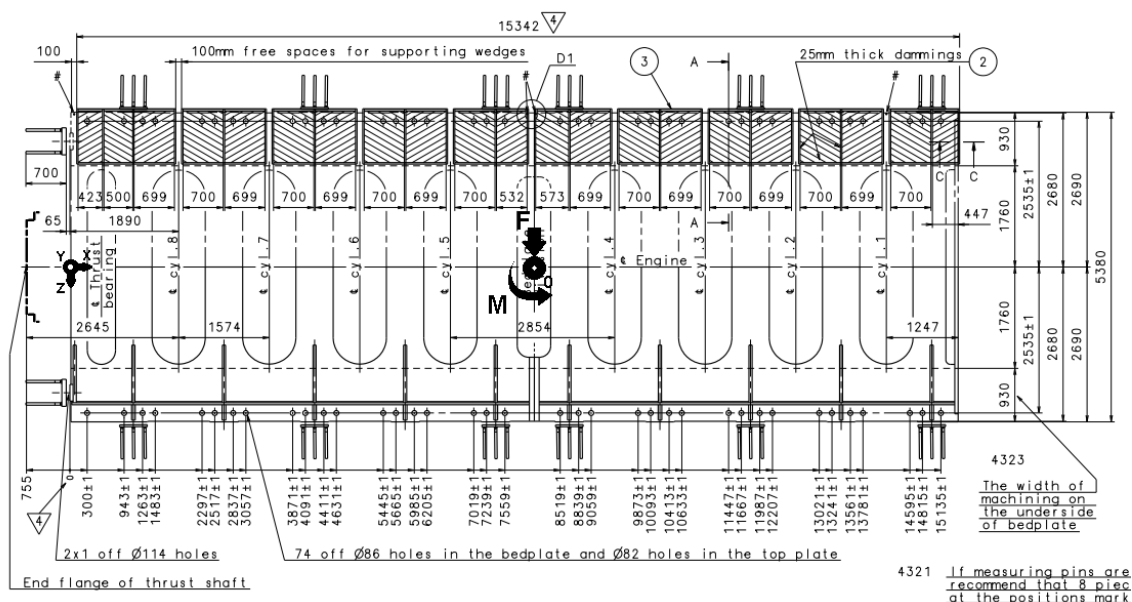
$$S = 1,42$$

Budući da je ispunjen uvjet  $S_{min} \leq S$ , kriterij sigurnosti je zadovoljen.

### 5.3. PRORAČUN SILA U VIJCIMA KOD KRUTOG TEMELJENJA ZBOG DJELOVANJA TEŽINE MOTORA I PORIVNE SILE

Uz pomoć *Microsoft Excela* i *VBA* programa, izračunat će se i sile koje djeluju u vijcima kod krutog temeljenja epoksidnom smolom *Epocast 36* na istom sporokretnom motoru MAN Diesel 8G95ME-C9 s 8 cilindara uslijed djelovanja težine motora i momenta izazvanog djelovanjem porivne sile (1. slučaj). Uz to, izračunat će se sile koje djeluju u vijcima kada djeluje samo težina motora bez navedenog momenta (2. slučaj). Proračun je napravljen po nacrtu temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 motora (slika 37.) te svim dostupnim podacima ovog motora [20].

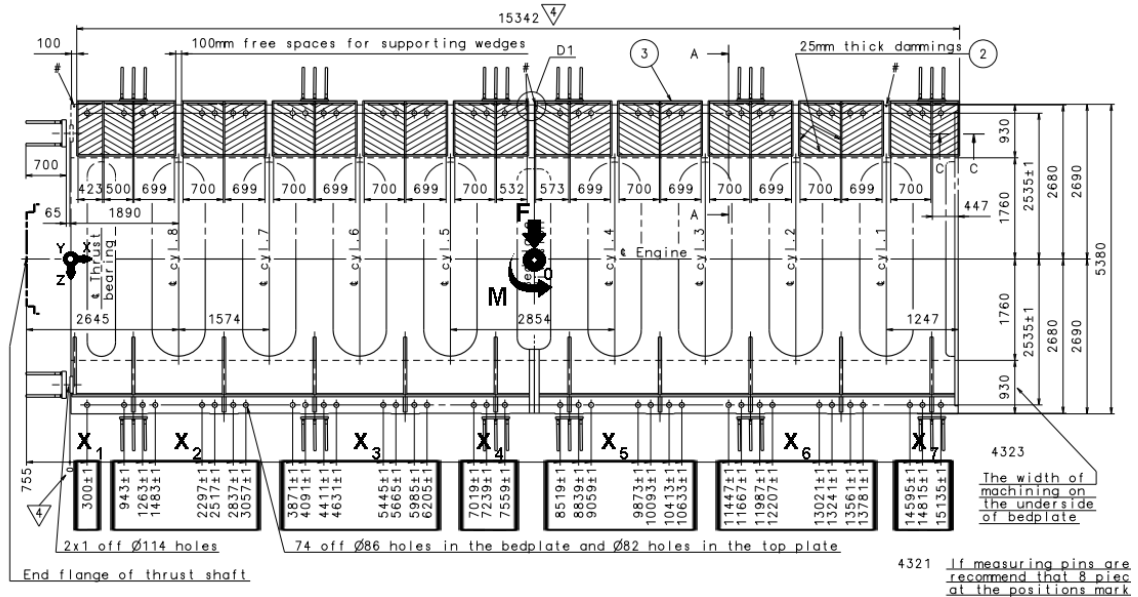
#### 5.3.1. 1. slučaj – Djeluje težina motora i moment uslijed porivne sile



**Slika 37. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa oznakom težine, porivnog momenta te proizvoljnim prostornim koordinatama [20]**

Iz nacrta se može izraziti da u ovom temelju postoje 74 temeljna vijka, sa svake strane po 37. Da se olakša rješavanje, rasporedit će se vijke u sedam skupina. Drugim riječima, 37 vijka jedne strane promatrat će se kao 7 vijaka. Na slici 38. prikazano je kako su vijci podijeljeni u 7 skupina, gdje je prva skupina  $x_1$ , druga skupina  $x_2$ , treća skupina  $x_3$ , četvrta skupina  $x_4$ , peta skupina  $x_5$ , šesta skupina  $x_6$  te sedma skupina  $x_7$ . Sukladno tome, može se promatrati kao da cijeli motor stoji na  $2 \times 7$  nejednoliko raspoređenih skupina vijaka (opruga) međusobno različitih krutosti. Svaki vijak u pojedinoj skupini imat će iste specifikacije, tako da se mogu promatrati kao da su spojeni paralelno. Jedina razlika među

skupinama je broj vijaka u svakoj. Zaključuje se da će skupina  $x_2$  i  $x_5$  imat iste krutosti zbog istog broja vijaka u skupini. Također, isto će biti i sa skupinom  $x_3$  i  $x_6$ , te skupinom  $x_4$  i  $x_7$ .



**Slika 38. Načrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa vijcima podijeljenim u skupinama od 7 [20]**

Prvi uvjet statičke ravnoteže je zbroj svih sila koje djeluju u smjeru  $z$  koordinatne osi:

$$\sum F_z = 0 \quad (12)$$

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 = 0$$

Drugi uvjet statičke ravnoteže je zbroj svih momenata oko osi  $y$  koji djeluju u točki 0 - središtu motora:

$$\sum M_0 = 0 \quad (13)$$

$$F_1(x_0 - x_1) + F_2(x_0 - x_2) + F_3(x_0 - x_3) + F_4(x_0 - x_4) + F_5(x_0 - x_5) + F_6(x_0 - x_6) + F_7(x_0 - x_7) + M = 0$$

Zatim se određuje sila težine motora i moment uslijed porivne sile u točki 0. Prema podacima proizvođača motora, ukupna težina motora MAN Diesel 8G95ME-C9 iznosi  $F_G$ : 15 838 265 [N]. Moment porivne sile računa po formuli:

$$M = F_{\text{porivna}} \cdot l_k \quad (14)$$

$$M = 3\,469\,714 \text{ N} \cdot 2060 \text{ mm}$$

$$M = 7\,147\,610\,840 \text{ Nmm}$$

gdje je:

$$F_{\text{porivna}} = 3\,469\,714 \text{ – porivna sila [N]}$$

$l_k = 2060$  - krak porivne sile, tj. udaljenost središta koljenastog vratila od temelja motora [mm]

Porivna sila  $F_{\text{porivna}}$  računa se prema sljedećem izrazu [21]:

$$A = 1760 \cdot \frac{P}{v_b} \quad (15)$$

$$A = 1760 \cdot \frac{41\,400 \text{ kW}}{21 \text{ kn}}$$

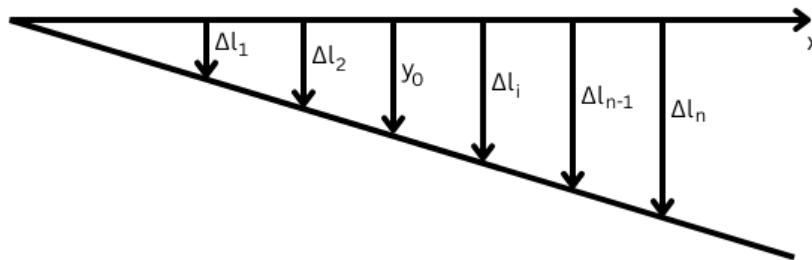
$$A = 3\,469\,714 \text{ N}$$

gdje je:

$P$ : 41 400 – snaga motora [kW]

$v_b$ : 21 – brzina broda [čvor]

Primijetimo da težina motora i moment djeluju na obje strane temelja motora, tj. lijevu i desnu stranu. Djeluju na 7 skupina s jedne strane i 7 skupina druge strane temeljnih vijaka. Zbog toga je potrebno težinu i moment podijeliti sa 2. Time se dobiva da je težina motora  $F_G = 7\,919\,132,5$  [N], a moment uslijed porivne sile  $M = 3\,573\,805\,714,3$  [Nmm]. Na slici 39. prikazana je općenita shema međusobne veze produljenja vijaka uslijed pomaka motora kao krutog tijela.



**Slika 39. Međusobna veza produljenja vijaka uslijed pomaka motora kao krutog tijela**

Svi pomaci vijaka označit će se  $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3, \Delta l_4, \Delta l_5, \Delta l_6$  i  $\Delta l_7$ . Općenita formula za pomak vijka izgleda ovako:

$$\Delta l_i = \frac{F_i l_i}{(EA)_i}, \text{ za } i = 1, 2, \dots, i, \dots, n-1, n \quad (16)$$

Budući da svi  $\Delta l$  leže na jednom pravcu vrijedi:

$$\frac{\Delta l_n - \Delta l_1}{x_n - x_1} = \frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{x_2 - x_1} = \dots = \frac{\Delta l_i - \Delta l_1}{x_i - x_1} = \dots = \frac{\Delta l_{n-1} - \Delta l_1}{x_{n-1} - x_1} \quad (17)$$

Skraćeni oblik:

$$\frac{\Delta l_n - \Delta l_1}{x_n - x_1} = \frac{\Delta l_i - \Delta l_1}{x_i - x_1} \text{ za } i = 2, 3, \dots, n-1 \quad (19)$$

$$\Delta l_n = \Delta l_1 + \frac{x_n - x_1}{x_i - x_1} (\Delta l_i - \Delta l_1), \text{ za } i = 2, 3, \dots, n-1$$

$$\Delta l_n = \Delta l_1 + \left(1 - \frac{x_n - x_1}{x_i - x_1}\right) + \frac{x_n - x_1}{x_i - x_1} \Delta l_i, \text{ za } i = 2, 3, \dots, n-2$$

$$\Delta l_1 \frac{x_i - x_n}{x_i - x_1} + \Delta l_i \frac{x_i - x_n}{x_i - x_1} - \Delta l_n = 0, \text{ za } i = 2, 3, \dots, n-2$$

Općeniti izraz:

$$\frac{x_i - x_n}{x_i - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_n - x_1}{x_i - x_1} \frac{l_i}{(EA)_i} F_i - \frac{l_n}{(EA)_n} F_n = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2 \quad (20)$$

Iz ovog općenitog izraza slijedi:

Za  $n=7, i=2$ :

$$\frac{x_2 - x_7}{x_2 - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_7 - x_1}{x_2 - x_1} \frac{l_2}{(EA)_2} F_2 - \frac{l_7}{(EA)_7} F_7 = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2$$

Za  $n=7, i=3$ :

$$\frac{x_3 - x_7}{x_3 - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_7 - x_1}{x_3 - x_1} \frac{l_3}{(EA)_3} F_3 - \frac{l_7}{(EA)_7} F_7 = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2$$

Za  $n=7, i=4$ :

$$\frac{x_4 - x_7}{x_4 - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_7 - x_1}{x_4 - x_1} \frac{l_4}{(EA)_4} F_4 - \frac{l_7}{(EA)_7} F_7 = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2$$

Za  $n=7, i=5$ :

$$\frac{x_5 - x_7}{x_5 - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_7 - x_1}{x_5 - x_1} \frac{l_5}{(EA)_5} F_5 - \frac{l_7}{(EA)_7} F_7 = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2$$

Za  $n=7, i=6$ :

$$\frac{x_6 - x_7}{x_6 - x_1} \frac{l_1}{(EA)_1} F_1 + \frac{x_7 - x_1}{x_6 - x_1} \frac{l_6}{(EA)_6} F_6 - \frac{l_7}{(EA)_7} F_7 = 0, \text{ za } i = 2, \dots, n-2$$

Dobiva se sustav linearnih jednadžbi tipa  $n \times n$ , gdje su nepoznanice sile  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$ , koje djeluju na 7 vijaka. Sve udaljenosti  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  je moguće odrediti iz nacрта (slika 38.). Također, primjećujemo da vrijedi:

$$\frac{l_1}{(EA)_1} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\frac{(EA)_1}{l_1}} \quad (21)$$

gdje je:

$k_1$  – modul elastičnosti vijka [ $N/mm^2$ ]

Svi vijci su isti po specifikacijama. Izračunat će se krutost za 1 vijak. Za izračun krutosti jednog vijaka (slika 40.) koristi se sljedeći izraz:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{0,25 \cdot l_1}{EA} + \frac{l_2}{EA_S} + \frac{l_3}{EA} + \frac{0,25 \cdot l_4}{EA}} \quad (22)$$

$$k_1 = \frac{E}{\frac{0,25 \cdot l_1}{A} + \frac{l_2}{A_S} + \frac{l_3}{A} + \frac{0,25 \cdot l_4}{A}}$$

$$k_1 = \frac{210000}{\frac{0,25 \cdot 66}{2290,22} + \frac{417}{3227,35} + \frac{44}{2290,22} + \frac{0,25 \cdot 68}{2290,22}}$$

$$k_n = 1\,018\,961,974 \text{ N/mm}$$

gdje je:

$E = 210\,000$  - modul elastičnosti vijka [ $N/mm^2$ ]

$$A = \frac{\pi}{4} 54^2 = 2290,22 \text{ [mm}^2\text{]}$$

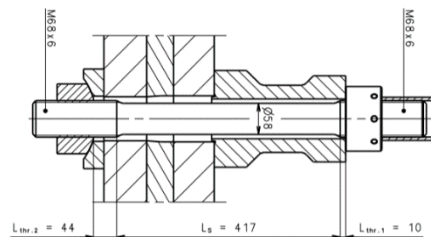
$$A_S = \frac{\pi}{4} 64,103^2 = 3227,35 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$l_1 = 66$  - iz nacрта (slika 40.) [mm]

$l_2 = 417$  - iz nacрта (slika 40.) [mm]

$l_3 = 44$  - iz nacрта (slika 40.) [mm]

$l_4 = 68$  - iz nacрта (slika 40.) [mm]



**Slika 40. Nacrt vijka (okrenut udesno)**

Budući da se vijke po pojedinoj skupini može promatrati kao da su spojeni paralelno, krutost vijaka u jednoj skupini dobit će se zbrajanjem krutosti svih vijaka u toj skupini. Stoga, izračunat će se krutosti vijaka svake skupine te će ih se zapisati kao recipročne vrijednosti krutosti (tablica 5.) koje se mogu ubaciti u izraz (20).

**Tablica 5. Krutosti vijaka i recipročne vrijednosti krutosti**

<b>n</b>	<b><math>k_i</math>, N/mm</b>	<b>n</b>	<b><math>1/k_i</math>, N/mm</b>
1	1 018 961,974	1	0,000000981
2	7 132 733,82	2	0,000000140
3	8 151 695,794	3	0,000000123
4	3 056 885,923	4	0,000000327
5	7 132 733,82	5	0,000000140
6	8 151 695,794	6	0,000000123
7	3 056 885,923	7	0,000000327

Da bi se dobila udaljenost vijka u pojedinoj skupini potrebno je zbrojiti udaljenost svih vijaka u pojedinoj skupini i podijeliti sa brojem vijaka u toj skupini (pronaći prosjek). Sukladno tome udaljenosti vijaka od ishodišta koordinatnog sustava prikazane su u tablici 6.

**Tablica 6. Udaljenosti vijaka od ishodišta koordinatnog sustava**

<b>n</b>	<b>Broj vijaka po skupini</b>	<b><math>x_i</math>, mm</b>
1	1	300
2	7	2056,7
3	8	5038
4	3	7272,3
5	7	9632,7
6	8	12 614
7	3	14 848,3

Potrebno je odrediti i udaljenost točke težišta motora koja se nalazi na sredini motora u točki 0 između 19. i 20. vijka. Zbrajanjem udaljenosti  $x_4$  i  $x_5$  i dijeljenjem s 2 slijedi da je  $x_0 = 8039$  [mm].

Budući da ima 7 jednadžbi sa 7 nepoznanica, najbrži i najjednostavniji način za rješavanje ovakvih jednadžbi je *Gauss-ovom* metodom vodećih elemenata. Ovaj sustav jednadžbi može se zapisati i u matričnom obliku:

$$A \cdot b = c$$

gdje je:

$A$  – matrica koeficijenata [matrica  $7 \times 7$ ]

$b$  – vektor nepoznanica

$c$  – vektor konstanti (slobodnih članova)

Poslože li se sve jednačbe u matricu, to će izgledati kao u tablici 7.

**Tablica 7. Matrični prikaz**

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	$\frac{x_2 - x_7}{x_2 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	$\frac{x_7 - x_1}{x_2 - x_1} \cdot \frac{l_2}{(EA)_2}$	0	0	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
2	$\frac{x_3 - x_7}{x_3 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_3 - x_1} \cdot \frac{l_3}{(EA)_3}$	0	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
3	$\frac{x_4 - x_7}{x_4 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_4 - x_1} \cdot \frac{l_4}{(EA)_4}$	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
4	$\frac{x_5 - x_7}{x_5 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_5 - x_1} \cdot \frac{l_5}{(EA)_5}$	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
5	$\frac{x_6 - x_7}{x_6 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_6 - x_1} \cdot \frac{l_6}{(EA)_6}$	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
6	1	1	1	1	1	1	1
7	$x_0 - x_1$	$x_0 - x_2$	$x_0 - x_3$	$x_0 - x_4$	$x_0 - x_5$	$x_0 - x_6$	$x_0 - x_7$

**Tablica 8. Vektori nepoznanica i konstanti**

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
<b>Vektor <math>b</math></b>	0	0	0	0	0	$-F/2$	$-M/2$

Uvrste li se brojevi u matricu dobiva se kao što je prikazano na tablici 9.

**Tablica 9. Matrični prikaz**

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	-7.1461E-06	1.1611E-06	0	0	0	0	-3.2713E-07



2	-2.90289E-07	0	3.7668E-07	0	0	0	-3.2713E-07
3	-1.33296E-07	0	0	6.8259E-07	0	0	-3.2713E-07
4	-1.82817E-07	0	0	0	2.185E-07	0	-3.2713E-07
5	-2.54382E-08	0	0	0	0	1.449E-07	-3.2713E-07
6	1	1	1	1	1	1	1
7	7739	5982,3	3001	766,7	-1593,7	-4575	-6809,3

**Tablica 10. Vektori nepoznanica i konstanti**

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
<b>Vektor <math>b</math></b>	0	0	0	0	0	-7 919 132,5	-3 573 805 714

Pomoću programa za računanja matrica *Guass-ovom* metodom u *Microsoft Excel-u* [22], izračunat će se ova matrica i dobit će se sljedeća rješenja:

**Tablica 11. Rješenja sustava zaokružena na dvije decimale**

	$F_1$ [N]	$F_2$ [N]	$F_3$ [N]	$F_4$ [N]	$F_5$ [N]	$F_6$ [N]	$F_7$ [N]
$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b}$	-332758.00	-2263441.57	-920386.61	-431371.16	-1422684.83	-1783986.26	-764504.06

U ovom slučaju suma momenata mora biti jednaka  $M/2$ . Na taj način može se provjeriti točnost proračuna:

$$\sum M_0 = F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4 + F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6 + F_7 \cdot x_7 + \frac{F_G}{2} \cdot x_0 \quad (23)$$

$$\sum M_0 = 3\,573\,805\,714 \text{ Nmm} = M/2$$

Ako se podijeli svaka sila sa brojem vijaka po skupini i sa 1000, dobit će se sile u pojedinim vijcima izraženu u kN:

$$F_1 = -332,76 \text{ kN},$$

$$F_2 = -323,35 \text{ kN},$$

$$F_3: -115,05 \text{ kN},$$

$$F_4: -143,79 \text{ kN},$$

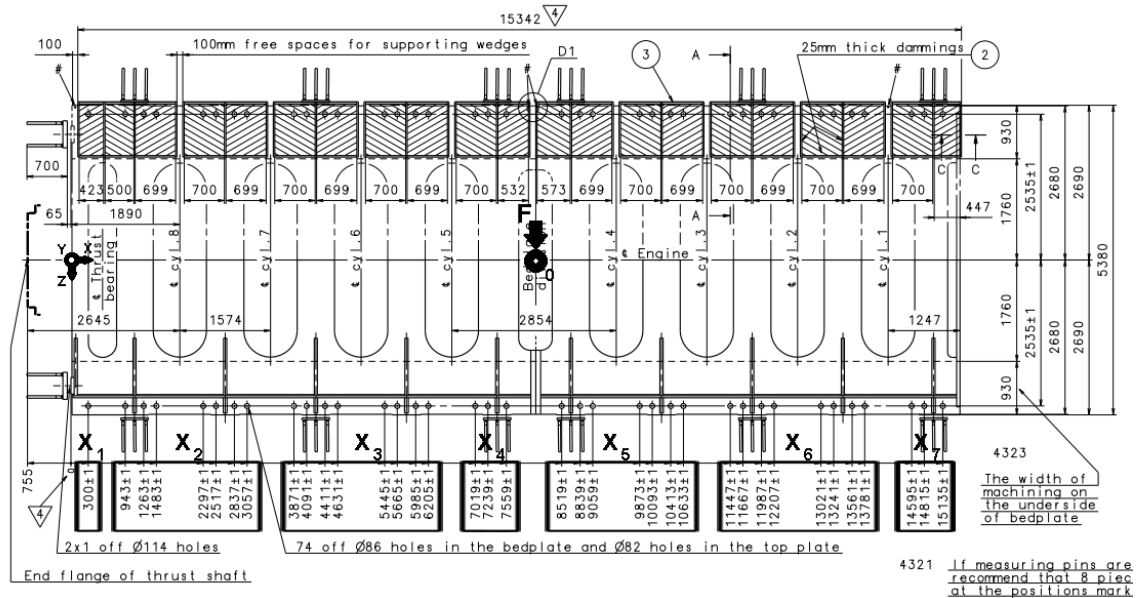
$$F_5: -203,24 \text{ kN},$$

$$F_6: -223,00 \text{ kN},$$

$$F_7: -254,83 \text{ kN}.$$

### 5.3.2. 2. slučaj – Djeluje samo težina motora bez porivnog momenta

Ukoliko je motor isključen, porivna sila neće djelovati već će djelovati samo težina motora (slika 41.). U identičan postupak unose se isti podatci, osim momenta koji će u ovom slučaju iznositi 0.



**Slika 41. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa oznakom težine te proizvoljnim prostornim koordinatama [20]**

U tablici 12. prikazan je matični prikaz za moment koji iznosi 0.

**Tablica 12. Matični prikaz**

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	$\frac{x_2 - x_7}{x_2 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	$\frac{x_7 - x_1}{x_2 - x_1} \cdot \frac{l_2}{(EA)_2}$	0	0	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
2	$\frac{x_3 - x_7}{x_3 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_3 - x_1} \cdot \frac{l_3}{(EA)_3}$	0	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
3	$\frac{x_4 - x_7}{x_4 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_4 - x_1} \cdot \frac{l_4}{(EA)_4}$	0	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$

<b>4</b>	$\frac{x_5 - x_7}{x_5 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_5 - x_1} \cdot \frac{l_5}{(EA)_5}$	0	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
<b>5</b>	$\frac{x_6 - x_7}{x_6 - x_1} \cdot \frac{l_1}{(EA)_1}$	0	0	0	0	$\frac{x_7 - x_1}{x_6 - x_1} \cdot \frac{l_6}{(EA)_6}$	$-\frac{l_7}{(EA)_7}$
<b>6</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>7</b>	$x_0 - x_1$	$x_0 - x_2$	$x_0 - x_3$	$x_0 - x_4$	$x_0 - x_5$	$x_0 - x_6$	$x_0 - x_7$

**Tablica 13. Vektori nepoznanica i konstanti**

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
<b>Vektor <math>b</math></b>	0	0	0	0	0	$-F/2$	0

Uvrste li se brojevi u matricu dobiva se kao što je prikazano u tablici 14.

**Tablica 14. Matrični prikaz**

i/j	1	2	3	4	5	6	7
<b>1</b>	-7.1461E-06	1.1611E-06	0	0	0	0	-3.2713E-07
<b>2</b>	-2.90289E-07	0	3.7668E-07	0	0	0	-3.2713E-07
<b>3</b>	-1.33296E-07	0	0	6.8259E-07	0	0	-3.2713E-07
<b>4</b>	-1.82817E-07	0	0	0	2.185E-07	0	-3.2713E-07
<b>5</b>	-2.54382E-08	0	0	0	0	1.449E-07	-3.2713E-07
<b>6</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>7</b>	7739	5982,3	3001	766,7	-1593,7	-4575	-6809,3

**Tablica 15. Vektori nepoznanica i konstanti**

	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
<b>Vektor <math>b</math></b>	0	0	0	0	0	-7 919 132.5	0

Pomoću programa za računanje matrica *Guass-ovom* metodom u *Microsoft Excel-u* [22], izračunat će se i ova matricu te će se dobiti sljedeća rješenja (tablica 16).

**Tablica 16. Rješenja sustava zaokružena na dvije decimale**

	$F_1$ [N]	$F_2$ [N]	$F_3$ [N]	$F_4$ [N]	$F_5$ [N]	$F_6$ [N]	$F_7$ [N]
$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b}$	-278730.41	-1952693.43	-945879.36	-457865.33	-1493190.67	-1948972.32	-841800.99

U ovom slučaju suma momenata mora biti jednaka 0 te se na taj način može provjeriti točnost proračuna:

$$\sum M_0 = F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4 + F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6 + F_7 \cdot x_7 + \frac{F_G}{2} \cdot x_0 \quad (24)$$

$$\sum M_0 = 0 \text{ Nmm}$$

Ako se opet svaka sila podijeli sa brojem vijaka po skupini i sa 1000, dobit će se sila u pojedinim vijcima izraženu u kN:

$$F_1 = -278,73 \text{ kN,}$$

$$F_2 = -278,96 \text{ kN,}$$

$$F_3 = -118,23 \text{ kN,}$$

$$F_4 = -152,62 \text{ kN,}$$

$$F_5 = -213,31 \text{ kN,}$$

$$F_6 = -243,62 \text{ kN,}$$

$$F_7 = -280,60 \text{ kN.}$$

#### 5.4. REZULTATI I RASPRAVA

Na primjeru brodskog sporokretnog motora prikazan je proračun temeljenja epoksidnom smolom. U ovom primjeru temelji se motor MAN Diesel 8G95ME-C9 s 8 cilindara na epoksidnoj smoli *Epocast 36*, a proračun je napravljen u programu *Microsoft Excel* [21]. Također, za motor MAN Diesel 8G95ME-C9 sa 8 cilindara temeljen na epoksidnoj smoli *Epocast 36*, pričvršćen sa 74 vijka (34 sa svake strane), može se odrediti djelovanje sila u temeljnim vijcima uslijed djelovanja težine motora i porivnog momenta. Uz to, moguće je odrediti i djelovanje sila u temeljnim vijcima uslijed djelovanja težine motora bez porivnog momenta. Za  $x$  koordinatu može se uzeti horizontalna pozicija (s lijeva na desno),  $z$  koordinata vertikalnu poziciju (od gore prema dolje), a  $y$  koordinata je usmjerena prema promatraču. Ukoliko imamo puno vijaka može ih se zamijeniti skupinama. Da se olakša rješavanje proračuna promotrit će se samo jedna strana motora što znači da će biti 34 vijka sa svake strane. Proračun se dodatno može pojednostavniti podjelom 34 vijka u približno simetrične skupine. U promatranom slučaju skupine nije moguće podijeliti u

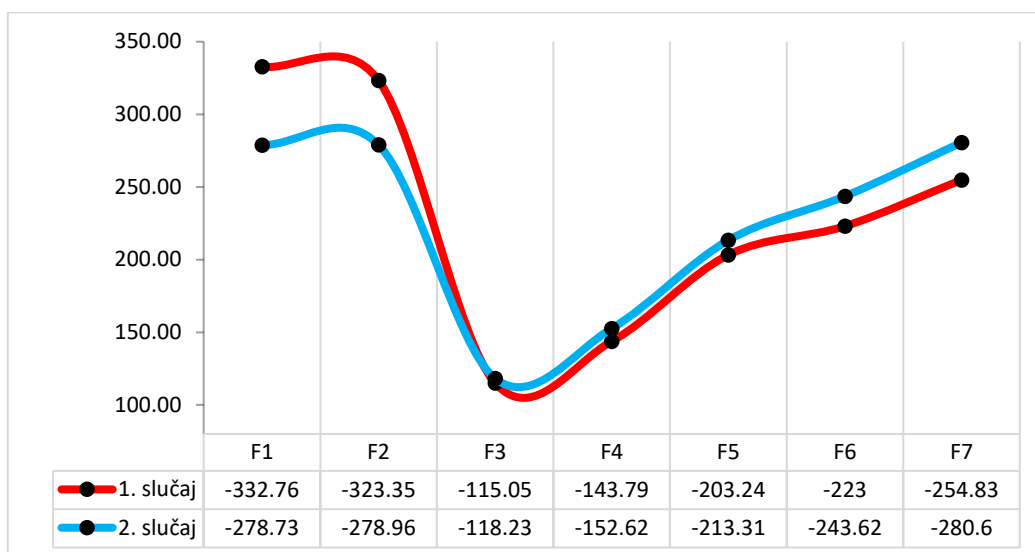
potpunosti simetrično jer se vijci nalaze na različitim međusobnim razmacima, te se na nekim dijelovima temelja nalazi više vijaka, a na nekima manje. Može se zaključiti da dobivene sile po pojedinoj skupini neće biti podjednake jer ni razmaci težišta skupina sila nisu jednaki (svaka skupina vijaka nosit će različito). Bez obzira na to, mogu se izračunati sile u pojedinim vijcima ako se dobivene rezultate sila podijeli s brojem vijaka u skupini. Budući da se radi o sustavu od 7 jednadžbi s 7 nepoznanica, najbrži i najjednostavniji način za rješavanje ovakvih jednadžbi je *Gauss-ovom* metodom vodećih elemenata što se može obaviti u *VBA* programu za rješavanje matrica u *Microsoft Excelu* [22]. U 1. slučaju djeluje težina motora i porivni moment, a u 2. slučaju djeluje samo težina motora. Usporede li se rješenja iz tablice 11. i tablice 16., može se dobiti usporedba oba slučaja izražena u postocima (tablica 17.).

**Tablica 17. Usporedba oba slučaja**

<b>n</b>	<b>1. slučaj <math>F_{G+M}</math> [N]</b>	<b>2. slučaj <math>F_G</math> [N]</b>	<b>Relativna razlika u %</b>
<b>1</b>	-332758.00 N	-278730.41 N	19.38 %
<b>2</b>	-2263441.57 N	-1952693.43 N	15.91 %
<b>3</b>	-920386.61 N	-945879.36 N	-2.70 %
<b>4</b>	-431371.16 N	-457865.33 N	-5.79 %
<b>5</b>	-1422684.83 N	-1493190.67 N	-4.72 %
<b>6</b>	-1783986.26 N	-1948972.32 N	-8.47 %
<b>7</b>	-764504.06 N	-841800.99 N	-9.18 %

U 1. slučaju ( $F_{G+M}$ ) dobivene sile su jednako usmjerene, prema gore, što govori da su vijci opterećeni vlačno. Za provjeru rezultata može se uzeti suma svih momenata koja mora biti jednaka  $M/2$ , što je dokazano u proračunu (23). U 2. slučaju dobivene sile su jednako usmjerene, prema gore, što također govori da su vijci opterećeni vlačno. Za provjeru rezultata može se uzeti suma svih momenata koja mora biti jednaka 0, što je dokazano u proračunu (24). Razlika sila u oba slučaja jesu sile u skupinama vijaka uslijed momenta od porivne sile. Za oba slučaja moguće je izraditi graf, u kojemu će se usporediti rezultati 1. i 2. slučaja. Na grafu 1. se vidi da su u 1. slučaju sile  $F_1$  i  $F_2$  veće dok su ostale sile relativno bliskih vrijednosti. To dokazuje da je moment najviše utjecao na vijke 1. i 2. skupine ( $F_1 = -332,76$  kN i  $F_2 = -323,35$  kN).

**Graf 1. Usporedba 1. i 2. slučaja**



## 6. ZAKLJUČAK

Epoksidne smole su sipki spojevi koji postaju tvrdi i postojani nakon što očvrstnu. Imaju širok raspon primjene u raznim industrijama, pa tako i u pomorstvu. Jedna od osnovnih primjena epoksidnih smola u pomorstvu je za temeljenje i podupiranje strojeva i opreme na raznim brodovima. Ako se epoksidne smole pravilno ugrade, nakon sušenja smole, formiraju se trajni podmetači za potporu strojeva. Pričvršćivanje epoksidnom smolom je optimalna metoda za većinu klipnih strojeva ili ugradnje koje zahtijevaju neku vrstu krutih podmetača. Ovisno o kojoj primjeni je riječ, epoksidnim smolama dodavaju se modifikatori za poboljšanje svojstava. Iz tog razloga, epoksidne smole mogu se kombinirati tako da se dobije široki raspon svojstava.

Osnova uspjeha podmetača izrađenih od smole je skoro pa savršeno pristajanje lijevanog dijela na površinu u kombinaciji s visokim koeficijentom trenja i visokim koeficijentom temperaturnog širenja. Oni zajedno drže strojeve sigurno, trajno i bez trošenja trenjem kontaktnih površina. Uz to, epoksidne smole ne mogu korodirati kao što je to slučaj kod lijevanog željeza, a za razliku od gumenih (elastičnih) nosača, epoksidne smole su otporne na širok raspon kemikalija. Temelji epoksidne smole su dobar izbor jer nude brži, precizniji i jeftiniji način ugradnje strojeva. Korištenje epoksidnih smola osigurava pouzdanost i dobre performanse uz povećanje dugotrajnosti i smanjenje operativnih troškova. Stoga se može reći da su epoksidne smole veoma praktične i ekonomične, a u odnosu na druge načine krutog temeljenja strojeva, epoksidne smole su jedna od najboljih opcija. Nažalost, temelji od epoksidnih smola i dalje nisu u velikoj mjeri privlačni inženjerima i konstrukcijskim uredima.

Neka od povoljnih svojstava epoksidnih smola su pouzdanost, visoka čvrstoća, kompatibilnost s raznim materijalima, izvrsna adhezija te prijanjanje na različitim površinama, dobra električna svojstva, otpornost na koroziju, vremenske uvjete i kemikalije, minimalno skupljanje pri stvrdnjavanju, kao i sposobnost stvrdnjavanja u nepovoljnim uvjetima itd.

Pomorska industrija prva je krenula koristiti epoksidne smole za temeljenje stapnih i klipnih strojeva oko 1960. Od 1970-tih temelji izrađeni od epoksidnih smola koriste se u preko 30 000 puta u brodogradilištima širom svijeta jer su se dokazali kao pouzdaniji i učinkovitiji način temeljenja od tradicionalnih metalnih temelja. Danas, temeljenje epoksidnim smolama premašuje brojku od 125 000 ugradnji motora, kompresora i drugih

strojeva na brodovima te na kopnu. Do današnjeg dana ni jedan slučaj istrošenih epoksidnih temelja još nije zabilježen [1].

Brodaska industrija u cjelini može imati izuzetnu korist korištenjem tehnologije epoksidnog temeljenja. Prije epoksidnih smola godinama su dominirale metalne podloge odnosno metalni klinovi, najčešće izrađeni od lijevanog željeza. U odnosu na temelje od lijevanog željeza, epoksidna smola zahtijeva manju vještinu i kraće vrijeme ugradnje i daje bolje rezultate. Također, njihova ugradnja ne zahtijeva skupe i duge strojne obrade. Iako strojevi i okruženja u kojima se nalaze temelji od epoksidne smole postaju sve kompleksniji, oni osiguravaju dugoročnu stabilnost strojeva.

Vrlo je bitno da se proces ugradnje temelja od epoksidne smole obavi pravilno. Proces ugradnje su zapravo smjernice koje je sastavio proizvođač epoksidnih smola, a iznimke se mogu napraviti kad je to potrebno. Za planiranje i pripremu projekta u kojima se koriste epoksidne smole potrebno je određeno vrijeme. Moraju se pogledati mnogi čimbenici kako bi se odabrala smola koja će najviše odgovarati.

Na primjeru broskog sporokretnog motora prikazan je proračun temeljenja epoksidnom smolom. Izračunate su dimenzije, opterećenje, kriterij pritiska, naprezanje u vijcima te faktor sigurnosti. Motor koji se temelji je MAN Diesel 8G95ME-C9 s 8 cilindara. Epoksidna smola koja se koristi je *Epocast 36*, a proračun je napravljen u programu *Microsoft Excel*. Ovim primjerom prikazuje se postupak pravilnog proračuna koji je potreban za pravilnu ugradnju epoksidnih temelja. Drugi proračun koji je napravljen na istom motoru je proračun sila u vijcima uslijed djelovanja težine tog motora i porivnog momenta, te proračun sila u vijcima uslijed djelovanja isključivo težine tog motora. Dobivene razlike sila u oba slučaja dokazuju da je porivna sila nezanemarivo utjecala na opterećenje vijaka, pogotovo na vijke 1. i 2. skupine. Stoga, može se zaključiti da uslijed proračuna temelja porivnog motora ne bi smjelo izostaviti djelovanje porivne sile jer se mogu dogoditi veća i drugačija opterećenja na temeljnim vijcima od predviđenih.

U budućnosti, epoksidne smole trebale bi se još i više koristiti za temeljenje brodskih strojeva, a proizvođači epoksidnih smola trebali bi nastaviti razvijati svoje proizvode imajući na umu ekološku prihvatljivost, poboljšanja u izdržljivosti, brzini stvrdnjavanja i ostalim karakteristikama.



## LITERATURA

- [1] Harrison, D.: *Epoxy Chocking - The Grouting Handbook: A Step-by-Step Guide to Heavy Equipment Grouting*, Elsevier Inc., 2013., p. 137-173.
- [2] Sorbothane Inc., *The Difference Between Elastic Materials and Viscoelastic Materials*, <https://www.sorbothane.com/technical-data/articles/difference-between-elastic-materials-and-viscoelastic-materials> (pristupljeno 05.05.2024.)
- [3] Epocast, *Epocast Marine Handbook*, Njemačka, 2016.
- [4] SKF, *Skf Bearing Maintenance Handbook*, Švedska, 2011.
- [5] SKF, *Skf Vibracon Adjustable Chocks*, <https://www.skf.com/us/products/maintenance-products/alignment-tools/adjustable-chocks> (pristupljeno 05.05.2024.)
- [6] Hrvatska Enciklopedija, *Polimeri*, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/polimeri> (pristupljeno 01.06.2024.)
- [7] Harper, A. C.: *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*, Massachusetts, 2004.
- [8] Andričić, B.: *Polimerni Materijali*, Split, 2010.
- [9] Omnexus, *Epoxy Resins*, <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/epoxy-resin> (pristupljeno 30.04.2024.)
- [10] Snexplores, *What Are Polymers*, <https://www.snexplores.org/article/explainer-what-are-polymers> (pristupljeno 30.05.2024.)
- [11] QuantiServ: *Epoxy Resins*, Finska, 2023.
- [12] Belzona, *Epoxy Resin Chocking Systems*, <https://blog.belzona.com/epoxy-resin-chocking-systems-technology-benefits-and-application> (pristupljeno 05.05.2024.)
- [13] Epocast, *Chocking Solutions for Your Business*, <https://itwperformancepolymers.com/resources> (pristupljeno 30.04.2024.)
- [14] Epocast, *Technical Bulletin*, Irska, 2018.
- [15] Chockfast, *Shipbuilding and Repair Solutions*, <https://itwperformancepolymers.com/resources> (pristupljeno 30.04.2024.)
- [16] Chockfast, *Precision Grouts for Foundation Systems*, 2021.
- [17] Hrvatski registar brodova, *Temeljenje strojeva i uređaja*, 1996.
- [18] Instrument Choice, *Barcol Hardness Tester*, <https://www.instrumentchoice.com.au/news/what-is-a-barcol-hardness-tester> (pristupljeno 30.08.2024.)

- [19] Buotić, K., Vulić, N.: *MS Excel - Proračun temeljenja sporokretnog motora*, 2024.
- [20] Buotić, K., Vulić, N.: *MS Excel - Proračun sila u vijcima kod krutog temeljenja*, 2024.
- [21] ... , *Pravila za klasifikaciju brodova: Dio 7. - Strojni uređaj*, Hrvatski registar brodova, Split, 2020.
- [22] Vulić, N.: *Program za računanje matrica SysLinEq.xls/vba*, 2007.

# PRILOZI

## Prilog 1. Buotić, K., Vulić, N.: MS Excel - Proračun temeljenja sporokretnog motora, 2024. [19]

Diplomski rad: Temeljenje brodskih strojeva na podlozi od umjetne mase <i>Proračun temeljenja sporokretnog motora</i>			
Mentor: prof. dr. sc. Nenad Vulić		Datum: 16.08.2024.	
Komentor: prof. dr. sc. Liane Roldo		Student: Karlo Buotić	
<b>Stroj:</b>	<b>Brodski porivni motor</b>	<b>Proizvođač:</b>	<b>MAN Diesel</b>
<b>Način:</b>	<b>Vijcima za poravnanje na epoksidu</b>	<b>Tip:</b>	<b>8G95ME-C9</b>
<b>Dimenzije</b>			
ukupni broj pričvrstnih vijaka	$n=$	74	
duljina temelja	$L=$	27,334.00	mm
širina temelja (na jednoj strani)	$B=$	432.50	mm
bruto površina temelja	$A_{bruto}=2BL=$	23,643,910	mm <sup>2</sup>
ukupna površina provrta za vijke	$A_i=$	438,603.000	mm <sup>2</sup>
neto površina temelja	$A_{neto}=A_{bruto}-A_{provrt}=$	23,205,307	mm <sup>2</sup>
<b>Opterećenje</b>			
masa stroja koji se temelji	$m=$	1,614,502	kg
ubrzanje sile teže	$g=$	9.81	m/s <sup>2</sup>
vlastita težina stroja koji se temelji	$G_{vt}=mg=$	15,838,264.62	N
pritisak na podlogu uslijed vlastite težine	$p_g=G_{vt}/A_{neto}=$	0.68	N/mm <sup>2</sup>
vlačna sila u jednom vijku, odabrana u projektu	$F_{vs}=$	1,043,273.00	N
pritisak na podlogu koji izazivaju vijci	$p_v=(nF_{vs})/A_{neto}=$	3.33	N/mm <sup>2</sup>
ukupni pritisak na podlogu	$p_{uk}=p_g+p_v=$	4.01	N/mm <sup>2</sup>
<b>Provjera kriterija pritiska</b>			
oznaka umjetne mase:		<b>EPOCAST 36</b>	
najveći dozvoljeni pritisak uslijed vlastite težine	$p_{g,max}=$	0.70	N/mm <sup>2</sup>
najmanje potrebni ukupni pritisak	$p_{uk,min}=$	2.50	N/mm <sup>2</sup>
najveći dozvoljeni ukupni pritisak	$p_{uk,max}=$	5.00	N/mm <sup>2</sup>
kriterij pritiska uslijed vlastite težine	$p_g \leq p_{g,max}$	<b>zadovoljava</b>	
kriterij ukupnog pritiska	$p_{uk,min} \leq p_{uk} \leq p_{uk,max}$	<b>zadovoljava</b>	
<b>Provjera naprezanja u vijcima i kriterija sigurnosti</b>			
oznaka materijala vijka		<b>S34Cr1R(MAN B&amp;W)</b>	
vlačna čvrstoća materijala vijka, min	$R_m=$	780.00	N/mm <sup>2</sup>
granica tečenja materijala vijka, min	$R_{tmv}=$	560.00	N/mm <sup>2</sup>
oznaka navoja vijka		<b>M68 x 6</b>	
promjer najmanjeg presjeka vijka	$d_{pv}=$	58.00	mm
površina najmanjeg presjeka vijka	$A_{ppv}=(d/2)^2 * \pi=$	2,642.08	mm <sup>2</sup>
naprezanje u svakom vijku	$\sigma_{sv}=F_{vs}/A_{ppv}=$	394.87	N/mm <sup>2</sup>
sigurnost prema granici tečenja	$S=R_{tmv}/\sigma_{sv}=$	1.42	
najmanja dozvoljena sigurnost prema granici tečenja	$S_{min}=$	1.25	
kriterij sigurnosti	$S_{min} \leq S=$	<b>zadovoljava</b>	

**Prilog 2. Buotić, K., Vulić, N.: MS Excel – Proračun sila u vijcima kod krutog temeljenja / Kruto kućište motora na deformabilnoj podlozi (1. slučaj), 2024. [20]**

Diplomski rad: Temeljenje brodskih strojeva na podlozi od umjetne mase Proračun sila u vijcima kod krutog temeljenja							
Mentor: prof. dr. sc. Nenad Vulić Komentor: prof. dr. sc. Liane Roldo				Datum: 20.09.2024. Student: Karlo Buotić			
Stroj:	Brodski porivni motor			Proizvođač:	MAN Diesel		
Način:	Vijcima za poravnanje na epoksidu			Tip:	8G95ME-C9		
<b>INPUT DANA</b>							
$n =$	7						
<b>Matrix A</b>							
$i/j$	1	2	3	4	5	6	7
1	-7.1461E-06	1.16107E-06	0	0	0	0	-3.2713E-07
2	-2.90289E-07	0	3.76677E-07	0	0	0	-3.2713E-07
3	-1.33296E-07	0	0	6.82585E-07	0	0	-3.2713E-07
4	-1.82817E-07	0	0	0	2.18549E-07	0	-3.2713E-07
5	-2.54382E-08	0	0	0	0	1.44932E-07	-3.2713E-07
6	1	1	1	1	1	1	1
7	7739	5982.3	3001	766.7	-1593.7	-4575	-6809.3
8							
9							
10					<b>Run</b>		
Vector <b>b</b>	0	0	0	0	0	-7919132.5	-3573805714
<b>CALCULATED RESULTS</b>							
Solution							
$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b}$	-332757.9975	-2263441.574	-920386.6109	-431371.164	-1422684.835	-1783986.262	-764504.0568
Error							
$\delta = \mathbf{Ax} - \mathbf{b}$	2.37033E-14	2.22045E-16	0	-1.66533E-16	5.55112E-17	4.65661E-10	2.86102E-06
Determinant and maximal error							
det <b>A</b> =	3.99271E-27					max $\delta =$	2.86102E-06
<b>Broj vijaka po skupini</b>							
$i$	$x_i, \text{mm}$	$n$	$n$	$k_i, \text{N/mm}$	$l/k_i, \text{N/mm}$		
0	8039	1	1	1018961.974	0.000000981		
1	300	2	7	7132733.82	0.000000140		
2	2056.7	3	8	8151695.794	0.000000123		
3	5038	4	3	3056885.923	0.000000327		
4	7272.3	5	7	7132733.82	0.000000140		
5	9632.7	6	8	8151695.794	0.000000123		
6	12614	7	3	3056885.923	0.000000327		
7	14848.3						
$E =$				210000 N/mm <sup>2</sup>		$P =$	41400 kW
$l_1 =$	66 mm			$A =$ 3227.35 mm <sup>2</sup>		$v_b =$	21 kn
$l_2 =$	417 mm			$A_s =$ 2290.22 mm <sup>2</sup>		$F_{porivna} =$	3469714.286 N
$l_3 =$	44 mm					$l_k =$	2060 mm
$l_4 =$	68 mm			$F_G =$ 15838265 N		$M =$	7147611429 Nmm
				$F_G / 2 =$ 7919132.5 N		$M / 2 =$	3573805714 Nmm
<b>1. slučaj: Djeluju težina motora i porivni moment (-F, -M)</b>							
$i/j$	1	2	3	4	5	6	7
1	-0.0000071461	0.0000011611	0	0	0	0	-0.0000003271
2	-0.0000002903	0	0.0000003767	0	0	0	-0.0000003271
3	-0.0000001333	0	0	0.0000006826	0	0	-0.0000003271
4	-0.0000001828	0	0	0	0.0000002185	0	-0.0000003271
5	-0.0000000254	0	0	0	0	0.0000001449	-0.0000003271
6	1	1	1	1	1	1	1
7	7739	5982.3	3001	766.7	-1593.7	-4575	-6809.3
Vector <b>b</b>	0	0	0	0	0	-7919132.500	-3573805714.286
<b>Sila na 1 vijak:</b>							
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
	-332.76	-323.35	-115.05	-143.79	-203.24	-223.00	-254.83 kN
<b>Provjera: <math>\Sigma M_0 =</math> 3573.805714 kNm = <math>M / 2</math></b>							

**Prilog 3. Buotić, K., Vulić, N.: MS Excel – Proračun sila u vijcima kod krutog temeljenja / Kruto kućište motora na deformabilnoj podlozi (2. slučaj), 2024. [20]**

Diplomski rad: Temeljenje brodskih strojeva na podlozi od umjetne mase <b>Proračun sila u vijcima kod krutog temeljenja</b>							
Mentor: prof. dr. sc. Nenad Vulić Komentor: prof. dr. sc. Liane Roldo				Datum: 20.09.2024. Student: Karlo Buotić			
<b>Stroj:</b>	<b>Brodski porivni motor</b>			<b>Proizvođač:</b>	<b>MAN Diesel</b>		
<b>Način:</b>	<b>Vijcima za poravnanje na epoksidu</b>			<b>Tip:</b>	<b>8G95ME-C9</b>		
<b>INPUT DANA</b>							
$n =$	7						
<b>Matrix A</b>							
$i / j$	1	2	3	4	5	6	7
1	-7.1461E-06	1.16107E-06	0	0	0	0	-3.2713E-07
2	-2.90289E-07	0	3.76677E-07	0	0	0	-3.2713E-07
3	-1.33296E-07	0	0	6.82585E-07	0	0	-3.2713E-07
4	-1.82817E-07	0	0	0	2.18549E-07	0	-3.2713E-07
5	-2.54382E-08	0	0	0	0	1.44932E-07	-3.2713E-07
6	1	1	1	1	1	1	1
7	7739	5982.3	3001	766.7	-1593.7	-4575	-6809.3
8							
9							
10					<b>Run</b>		
Vector b	0	0	0	0	0	-7919132.5	0
<b>CALCULATED RESULTS</b>							
Solution							
$x = A^{-1} b$	-278730.4117	-1952693.425	-945879.3555	-457865.3294	-1493190.666	-1948972.318	-841800.9941
Error							
$\delta = Ax - b$	-4.27436E-15	-5.55112E-17	-5.55112E-17	1.66533E-16	0	1.74623E-09	4.76837E-06
Determinant and maximal error							
det A =	3.99271E-27					max $\delta =$	4.76837E-06
		<b>Broj vijaka</b>					
	$i$	$x_i, mm$	$n$	$n$	$k_i, N/mm$	$1/k_i, N/mm$	
	0	8039	1	1	1018961.974	0.000000981	
	1	300	2	7	7132733.82	0.00000140	
	2	2056.7	3	8	8151695.794	0.00000123	
	3	5038	4	3	3056885.923	0.00000327	
	4	7272.3	5	7	7132733.82	0.00000140	
	5	9632.7	6	8	8151695.794	0.00000123	
	6	12614	7	3	3056885.923	0.00000327	
	7	14848.3					
			$E =$	210000	N/mm <sup>2</sup>	$P =$	41400 kW
	$l_1 =$	66 mm	$A =$	3227.35	mm <sup>2</sup>	$v_b =$	0 kn
	$l_2 =$	417 mm	$A_s =$	2290.22	mm <sup>2</sup>	$F_{porivna} =$	0 N
	$l_3 =$	44 mm				$l_k =$	2060 mm
	$l_4 =$	68 mm	$F_G =$	15838265	N	$M =$	0 Nmm
			$F_G / 2 =$	7919132.5	N	$M / 2 =$	0 Nmm
<b>2. slučaj: Djeluje samo težina motora bez porivnog momenta (-F, 0)</b>							
$i / j$	1	2	3	4	5	6	7
1	-0.0000071461	0.0000011611	0	0	0	0	-0.000003271
2	-0.0000002903	0	0.0000003767	0	0	0	-0.000003271
3	-0.000001333	0	0	0.0000006826	0	0	-0.000003271
4	-0.000001828	0	0	0	0.0000002185	0	-0.000003271
5	-0.000000254	0	0	0	0	0.0000001449	-0.000003271
6	1	1	1	1	1	1	1
7	7739	5982.3	3001	766.7	-1593.7	-4575	-6809.3
Vector b	0	0	0	0	0	-7919132.500	0.000
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$
<b>Sile na 1 vijak:</b>	-278.73	-278.96	-118.23	-152.62	-213.31	-243.62	-280.60 kN
<b>Provjera: <math>\Sigma M_0 =</math></b>	7.62939E-12 kNm		$= M / 2$				

## POPIS SLIKA

Slika 1. Podlošci od epoksidne smole [1].....	6
Slika 2. Shema ugradnje temelja od epoksidne smole: (A) temeljna ploča stroja, (B) postolje, (C) temeljni vijak i (D) epoksidna smola [1].....	7
Slika 3. Kompozitni podložak [1].....	9
Slika 4. Podložak izrađen od epoksidne smole [1].....	9
Slika 5. Pogled na pravilno pripremljeni potplat odozdo [1] .....	10
Slika 6. Temeljenje lijevanim željeznim podloščima [1] .....	11
Slika 7. Istrošeni temelji od lijevanog željeza (A) i povećan prikaz (B) [1] .....	12
Slika 8. Temeljenje pomoću <i>Vibracon SM Elements</i> [5].....	13
Slika 9. Polimeri se sastoje od ponavljajućih lanaca manjih kemijskih jedinica .....	14
Slika 10. Epoksidni prsten [9] .....	14
Slika 11. Temeljenje porivnog elektromotora na temeljima od epoksidne smole.....	15
Slika 12. Temeljenje strojeva na podlozi od epoksidne smole na kruzeru: (1) porivni elektromotori, (2) pramčani porivni elektromotori, (3) ležajevi pogonskih vratila, (4) alternatori, (5) pumpe, (6) kormilarski stroj, (7) vitla, (8) radar, (9) LNG tankovi i (10) ležajevi osovine kormila [11] .....	16
Slika 14. <i>Chockfast Orange</i> i učvršćivač [11] .....	19
Slika 13. Temeljenje stroja smolom <i>Epocast 36</i> [14].....	20
Slika 15. Skica procesa izrade temelja od epoksidne smole: (A) temeljna ploča stroja, (B) kalup/brana, (C) provrt za temeljni vijak, (D) postolje, (E) prednja metalna traka i (F) epoksidna smola [4].....	21
Slika 16. Smola <i>Epocast 36</i> i potreban alat za ugradnju (spužvasta traka za kalup, spužvasta oblaga za popunjavanje provrta, grijači, miješalica, mjerac tvrdoće) [3].....	24
Slika 17. Prostor između postolja i temeljne ploče kojeg je potrebno očistiti [17].....	24
Slika 18. Drveni čep unutar spužvastih oblaga u provrtu za vijke [17].....	25
Slika 19. Priprema temelja gdje je temeljna ploča kraća od stope temelja (A) i priprema temelja kada je temeljna ploča iste širine kao i stopa temelja (B): (a) prednja metalna traka, (b) metalna stražnja traka, (c) netopiva mast, (d) spužvaste obloge za zatvaranje provrta vijaka, (e) spužvasta traka, (f) brtvena masa, (h) sredstvo za odvajanje [17] .....	25
Slika 20. Izrada kalupa [1].....	26
Slika 21. Pravilno postavljanje spužvaste trake [17].....	26

Slika 22. Pravilno postavljanje spužvaste trake: (A) spužvasta traka uz rub temeljne ploče, (B) spužvasta traka umetnuta između temeljne ploče i postolja i (C) nepotpuno ispunjavanje smole [17].....	26
Slika 23. Lijevanje epoksidne smole preko susjedno podloška [17].....	27
Slika 24. Raspršivanje sredstva za odvajanje [1] .....	27
Slika 25. Izrada prednjeg kalupa [1].....	28
Slika 26. Lijevanje epoksidne smole [1] .....	29
Slika 27. Lijevanje epoksidne smole u međusobno odvojene podloške [17].....	29
Slika 28. Naknadna obrada temelja od epoksidne smole [1].....	31
Slika 29. Postavljanje termopara [17].....	31
Slika 30. <i>Barcol</i> uređaj za ispitivanje tvrdoće [18] .....	32
Slika 31. Provjera zračnosti vijka [17] .....	32
Slika 32. Pokusni uzorak od epoksidne smole [17].....	33
Slika 33. Lijevanje epoksidne smole injektiranjem u neispunjeni dio [17].....	33
Slika 34. Vertikalna pukotina [17] .....	34
Slika 35. Zajena podloga od lijevanog željeza podlogama od epoksidne smole na sporokretnim motorima [17].....	34
Slika 36. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora [19].....	36
Slika 37. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa oznakom težine, porivnog momenta te proizvoljnim prostornim koordinatama [20] .....	39
Slika 38. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa vijcima podijeljenim u skupinama od 7 [20] .....	40
Slika 39. Međusobna veza produljenja vijaka uslijed pomaka motora kao krutog tijela ....	41
Slika 40. Nacrt vijka (okrenut udesno).....	43
Slika 41. Nacrt temelja MAN Diesel 8G95ME-C9 sporokretnog motora sa oznakom težine te proizvoljnim prostornim koordinatama [20] .....	47

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalne karakteristike kompozitnog podloška [1] .....	10
Tablica 2. Usporedba temeljenja podlošcima od lijevanog željeza, kompozitnim podlošcima i lijevanom epoksidnom smolom [1] .....	13
Tablica 3. Specifikacije različitih <i>Chokfast</i> epoksidnih smola [16] .....	19
Tablica 4. Vrijeme sušenja epoksidne smole ovisno o njenoj temperaturi [17].....	30
Tablica 5. Krutosti vijaka i recipročne vrijednosti krutosti .....	44
Tablica 6. Udaljenosti vijaka od ishodišta koordinatnog sustava.....	44
Tablica 7. Matrični prikaz .....	45
Tablica 8. Vektori nepoznanica i konstanti .....	45
Tablica 9. Matrični prikaz .....	45
Tablica 10. Vektori nepoznanica i konstanti .....	46
Tablica 11. Rješenja sustava zaokružena na dvije decimale .....	46
Tablica 12. Matrični prikaz .....	47
Tablica 13. Vektori nepoznanica i konstanti .....	48
Tablica 14. Matrični prikaz .....	48
Tablica 15. Vektori nepoznanica i konstanti .....	48
Tablica 16. Rješenja sustava zaokružena na dvije decimale .....	49
Tablica 17. Usporedba oba slučaja .....	50

## POPIS GRAFOVA

Graf 1. Usporedba 1. i 2. slučaja .....	51
---	----



## POPIS OZNAKA I KRATICA

<i>HRB</i>	Hrvatski registar brodova
<i>n</i>	ukupni broj pričvrstnih vijaka
<i>L</i>	duljina temelja, mm
<i>B</i>	širina temelja, mm
$A_{\text{provrti}}$	ukupna površina provrta za vijke i ostala udubljenja, mm <sup>2</sup>
$A_{\text{bruto}}$	bruto površina temelja, mm <sup>2</sup>
$A_{\text{neto}}$	neto površina temelja, mm <sup>2</sup>
<i>m</i>	masa stroja koji se temelji, kg
<i>g</i>	ubrzanje sile teže, m/s <sup>2</sup>
$F_{\text{vs}}$	vlačna sila u jednom vijku, N
$G_{\text{vt}}$	vlastitu težinu stroja, N
$p_{\text{g}}$	pritisak na podlogu uslijed vlastite težine, N/mm <sup>2</sup>
$p_{\text{v}}$	pritisak na podlogu koji izazivaju vijci, N/mm <sup>2</sup>
$p_{\text{uk}}$	ukupni pritisak na podlogu, N/mm <sup>2</sup>
$p_{\text{g,max}}$	najveći dozvoljeni pritisak uslijed vlastite težine, N/mm <sup>2</sup>
$p_{\text{uk,min}}$	najmanje potrebni ukupni pritisak, N/mm <sup>2</sup>
$p_{\text{uk,max}}$	najveći dozvoljeni ukupni pritisak, N/mm <sup>2</sup>
$R_{\text{m}}$	vlačnu čvrstoću materijala vijka, N/mm <sup>2</sup>
$R_{\text{tmv}}$	granicu tečenja materijala vijka, N/mm <sup>2</sup>
$d_{\text{pv}}$	promjer najmanjeg presjeka vijka, mm
$A_{\text{ppv}}$	površinu najmanjeg presjeka vijka, mm <sup>2</sup>
$\sigma_{\text{sv}}$	naprezanje u svakom vijku, N/mm <sup>2</sup>
$R_{\text{tmv}}$	granica tečenja materijala vijka, N/mm <sup>2</sup>
<i>S</i>	kriterij sigurnosti
$S_{\text{min}}$	najmanja dozvoljena sigurnost prema granici tečenja
$F_{\text{n}}$	sile koje djeluju u vijcima, N i kN
$M_0$	moment u točki 0, Nmm
$F_{\text{G}}$	sila težine motora, N
$F_{\text{porivna}}$	porivna sila, N
<i>P</i>	snaga motora, kW
<i>E</i>	modul elastičnosti, N/mm <sup>2</sup>