

Nadogradnja za rasute terete s kranskom dizalicom za vozilo kategorije N1

Cetl, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:398065>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Jakov Ceti

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Rudolf Tomić, dipl. ing.

Student:

Jakov Cetyl

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Rudolfu Tomiću na svim savjetima i prenesenom znanju tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se obitelji i djevojci na velikoj podršci tijekom studiranja.

Jakov Cetl



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jakov Cetl**

JMBAG: **0035228356**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Nadogradnja za rasute terete s kranskom dizalicom za vozilo kategorije N1**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Tipping body for an N1 category commercial vehicle**

Opis zadatka:

Potrebno je osmisлити nadogradnju za rasute terete s kranskom dizalicom za teretno vozilo N1 kategorije. U N1 kategoriju vozila ubrajaju se vozila najveće dopuštene mase do 3,5 tona koja često čine značajan dio voznog parka komunalnih tvrtki i malih građevinskih tvrtki. Kranska dizalica značajno olakšava utovar i istovar raznih vrsta tereta te na taj način povećava komercijalnu iskoristivost vozila.

U sklopu rada potrebno je:

- proučiti obavezujuće pravilnike i utvrditi ograničenja koja se odnose na konstrukciju nadogradnje za rasute terete,
- definirati listu zahtjeva za predmetnu nadogradnju,
- odabrati teretno vozilo na koje bi se ugradila nadogradnja,
- odabrati prikladnu kransku dizalicu,
- konstrukcijski razraditi odabrani okvir nadogradnje, tovarni sanduk, način vezanje kranske dizalice za nadogradnju i način vezanja nadogradnje na vozilo, a konstrukcijsku razradu popratiti skicama, proračunima i odgovarajućim analizama,
- izraditi detaljan 3D model nadogradnje i pripadajuću tehničku dokumentaciju.

Pri izradi rada treba se pridržavati uobičajenih pravila za izradu završnog rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:


Predviđeni datumi obrane:

30. 11. 2023.

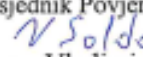
1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:


Izv. prof. dr. sc. Rudolf Tomić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
2. TERETNA VOZILA KATEGORIJE N1	3
3. NADOGRADNJE TERETNIH VOZILA KATEGORIJE N1	4
3.1. Vrste i primjeri nadogradnji	4
3.2. Propisi vezani za nadogradnju teretnog vozila	5
4. KONCIPIRANJE NADOGRADNJE I ODABIR KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA	6
4.1. Veza tovarnog sanduka i šasije teretnog vozila	7
4.1.1. Veza šasije teretnog vozila i podkonstrukcije sanduka.....	7
4.1.2. Veza podkonstrukcije i tovarnog sanduka	8
4.2. Način naginjanja tovarnog sanduka	9
4.2.1. Mehanizam za podizanje.....	9
4.2.2. Smještaj mehanizma za podizanje	10
4.3. Oblik tovarnog sanduka	10
4.4. Način otvaranja stranica tovarnog sanduka	11
4.5. Kranska dizalica	11
4.5.1. Prihvat kranske dizalice na teretno vozilo	12
5. ODABIR TERETNOG VOZILA	13
6. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA NADOGRADNJE.....	16
6.1. Podkonstrukcija.....	16
6.1.1. Veza šasije i podkonstrukcije.....	17
6.2. Tovarni sanduk.....	18
6.2.1. Okvir sanduka	19
6.2.2. Stranice sanduka	20
6.2.3. Veza tovarnog sanduka i podkonstrukcije	22
6.3. Odabir hidrauličkog cilindra	23
6.4. Odabir kranske dizalice.....	28
6.4.1. Oblikovanje prihvata kranske dizalice	32
6.5. Osovinsko opterećenje vozila	33
6.5.1. Statička provjera naprezanja	35
6.6. Statička provjera naprezanja na mjestu kranske dizalice	38
6.7. Stabilnost vozila prilikom podizanja tereta.....	41
6.8. Konačan proračun nosivosti nadogradnje	42

ZAKLJUČAK	43
LITERATURA.....	44
PRILOZI.....	45

POPIS SLIKA

Slika 1.	Shematski prikaz koncipiranja nadogradnje teretnog vozila [1]	2
Slika 2.	Primjer vozila kategorije N1 - kabina sa šasijom (lijevo) i furgon (desno) [3].....	3
Slika 3.	Primjeri nadogradnji vozila kategorije N1 [3]	4
Slika 4.	Otvoreni sanduk od aluminijskih legura	4
Slika 5.	Zatvoreni sanduk s ceradom	5
Slika 6.	Primjer trostranog kipera s kranskom dizalicom [4]	6
Slika 7.	Primjer veze između šasije teretnog vozila i tovarnog sanduka [4]	7
Slika 8.	Prikaz elastične (lijevo) i krute veze (desno) [5].....	8
Slika 9.	Prikaz kuglastog spoja podkonstrukcije i sanduka.....	8
Slika 10.	Prikaz naginjanja tovarnog sanduka.....	9
Slika 11.	Primjeri mehanizama za podizanje tovarnog sanduka	9
Slika 12.	Smještaj mehanizma za dizanje.....	10
Slika 13.	Izvedbe oblika tovarnog sanduka	10
Slika 14.	Načini otvaranja stražnje stranice tovarnog sanduka	11
Slika 15.	Načini smještaja kranske dizalice.....	12
Slika 16.	Oblikovanje prihvata kranske dizalice na teretno vozilo [7].....	12
Slika 17.	Iveco Daily 35C12 [3].....	13
Slika 18.	Nacrt vozila Iveco Daily 35C12 [8]	14
Slika 19.	Tlocrt vozila Iveco Daily 35C12 [8]	14
Slika 20.	3D model vozila sa šasijom.....	15
Slika 21.	Raspored provrta na šasiji vozila [5]	15
Slika 22.	Podkonstrukcija	16
Slika 23.	Prikaz veze između podkonstrukcije i šasije - elastična (lijevo) i kruta (desno) ..	17
Slika 24.	Prikaz krute veze na mjestu prihvata kranske dizalice.....	17
Slika 25.	Raspored elastičnih i krutih veza na podkonstrukciji.....	18
Slika 26.	Sklop tovarnog sanduka	18
Slika 27.	Zavareni okvir sanduka	19
Slika 28.	Profil stranice - prednja (lijevo) i stražnja/bočna (desno)	20
Slika 29.	Prikaz montaže prednje stranice.....	21
Slika 30.	Način prihvata stražnje/bočne stranice.....	21
Slika 31.	Način otvaranja stranica	21
Slika 32.	Oslanjanje sanduka na podkonstrukciju	22
Slika 33.	Primjer prihvata hidrauličnog cilindra na tovarni sanduk [10]	22
Slika 34.	Prihvat hidrauličkog cilindra na tovarni sanduk.....	23
Slika 35.	Potreban hod cilindra za naginjanje sanduka - unatrag (lijevo) i bočno (desno) ..	24
Slika 36.	Crtež odabranog cilindra [6].....	24
Slika 37.	Model hidrauličkog cilindra	25
Slika 38.	Prikaz naginjanja tovarnog sanduka unatrag	26
Slika 39.	Prikaz bočnog naginjanja tovarnog sanduka	27
Slika 40.	Primjer dijagrama opterećenja kranske dizalice [1]	28
Slika 41.	HIAB T-CLX 018-3 [11]	29
Slika 42.	Glavne dimenzije kranske dizalice [11]	29
Slika 43.	Dijagram opterećenja kranske dizalice [11].....	30
Slika 44.	Model odabrane kranske dizalice	31
Slika 45.	Mjesto prihvata kranske dizalice na podkonstrukciji vozila	32
Slika 46.	Prikaz veze kranske dizalice s teretnim vozilom.....	32
Slika 47.	Određivanje položaja težišta vozila.....	34
Slika 48.	Određivanje maksimalnog osovinskog opterećenja	34

Slika 49.	Dijagram raspodjele poprečnih sila	36
Slika 50.	Dijagram raspodjele momenata savijanja.....	36
Slika 51.	Geometrijske karakteristike kritičnog presjeka	37
Slika 52.	Određivanje ukupnog statičkog momenta prilikom podizanja tereta [5]	39
Slika 53.	Statički model opterećenja podkonstrukcije prilikom podizanja tereta	40
Slika 54.	Poprečni presjek profila uzdužnog podkonstrukcije	40
Slika 55.	Statički model podizanja tereta	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela N kategorije vozila [2].....	3
Tablica 2. Lista zahtjeva nadogradnje	6
Tablica 3. Tehničke specifikacije vozila Iveco Daily 35C12.....	13
Tablica 4. Dimenzije stranica sanduka.....	20
Tablica 5. Specifikacije odabranog cilindra [6]	25
Tablica 6. Specifikacije kranske dizalice [11].....	30
Tablica 7. Opterećenja koja djeluju na vozilo	33
Tablica 8. Preporučene vrijednosti momenta otpora [5]	39

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

JC-24-00-00 Sklop nadogradnje

JC-24-02-00 Podkonstrukcija

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_1	mm^2	Površina poprečnog presjeka šasije
A_2	mm^2	Površina poprečnog presjeka podkonstrukcije
b_1	mm	Širina poprečnog presjeka šasije
b_2	mm	Širina poprečnog presjeka podkonstrukcije
F_1	N	Osovinsko opterećenje prednje osovine
$F_{1, \text{dop}}$	N	Dopušteno osovinsko opterećenje prednje osovine
$F_{1, \text{max}}$	N	Najveće osovinsko opterećenje prednje osovine
F_2	N	Osovinsko opterećenje stražnje osovine
$F_{2, \text{dop}}$	N	Dopušteno osovinsko opterećenje stražnje osovine
$F_{2, \text{max}}$	N	Najveće osovinsko opterećenje stražnje osovine
F_v	N	Sila koja djeluje u vertikalnom smjeru
g	m/s^2	Ubrzanje gravitacijske sile
G_k	N	Težina kranske dizalice
G_p	N	Težina podkonstrukcije
G_{s+t}	N	Težina sanduka s teretom
G_t	N	Težina tereta
G_{uk}	N	Ukupna težina vozila s nadogradnjom
G_{voz}	N	Težina vozila
h_1	mm	Visina poprečnog presjeka šasije
h_2	mm	Visina poprečnog presjeka podkonstrukcije
I	mm^4	Ukupni moment tromosti poprečnog presjeka
I	mm	Udaljenost težišta kranske dizalice od uzdužne osi vozila
I_i	mm^4	Moment tromosti poprečnog presjeka
L	mm	Udaljenost težišta tereta od uzdužne osi vozila
l	mm	Međuosovinski razmak vozila
l_k	mm	Udaljenost težišta kranske dizalice od prednje osovine vozila
l_p	mm	Udaljenost težišta podkonstrukcije od prednje osovine vozila
l_{s+t}	mm	Udaljenost težišta sanduka s teretom od prednje osovine vozila
l_t	mm	Udaljenost težišta tereta od osi prevrtanja vozila
l_{uk}	mm	Udaljenost težišta vozila s nadogradnjom od osi prevrtanja vozila
l_{voz}	mm	Udaljenost težišta vozila od prednje osovine
M_1	Nm	Moment sile koji djeluje na prednju osovinu
M_G	Nm	Moment sile koji djeluje na podkonstrukciju prilikom podizanja tereta
M_{kr}	Nm	Kritičan moment savijanja koji djeluje na jednom nosaču

M_{\max}	Nm	Najveći moment savijanja koji djeluje na konstrukciju
m_n	kg	Masa nadogradnje
m_{n+t}	kg	Masa nadogradnje s teretom
m_t	kg	Masa tereta
m_{uk}	kg	Ukupna masa vozila s nadogradnjom
R_e	N/mm ²	Granica tečenja materijala
S	-	Faktor sigurnosti
t_1	mm	Debljina poprečnog presjeka šasije
t_2	mm	Debljina poprečnog presjeka podkonstrukcije
W_i	mm ³	Moment otpora poprečnog presjeka
W_C	kg	Masa kranske dizalice
W_L	kg	Masa tereta na maksimalnom dohvatu dizalice
x	mm	Udaljenost težišta vozila od prednje osovine
y_T	mm	Najveća udaljenost od težišta poprečnog presjeka
σ	N/mm ²	Normalno naprezanje

SAŽETAK

Prijevoz robe i tereta ima velik ekonomski značaj u današnjem društvu. Potreba za prijevozom raznih dobara javlja se od daleke prošlosti, a sukladno tome napreduje i razvoj transportnih vozila. Bilo da se radi o mineralima, poljoprivrednim proizvodima ili građevinskim materijalima, učinkovitost prijevoza rasutih materijala ključna je za održavanje globalnih opskrbnih lanaca i potporu gospodarskim aktivnostima.

Tema ovog rada je koncipiranje i konstruiranje nadogradnje za prijevoz rasutih tereta s kranskom dizalicom za N1 kategoriju vozila. Prije koncipiranja potrebno je razmotriti tipove teretnih vozila i postojećih nadogradnji te važeće zakonske propise. Nakon odabira teretnog vozila i šasije, vodeći se zahtjevima koje nadogradnja mora ispuniti, kreću faze koncipiranja i odabira konstrukcijskih rješenja. Te faze uključuju oblikovanje okvira i tovarnog sanduka, vezu okvira i šasije teretnog vozila te oblikovanje spoja s kranskom dizalicom. Proveden je proračun čvrstoće konstrukcije, osovinskog opterećenja vozila te stabilnosti vozila prilikom korištenja kranske dizalice. Na kraju je dan konačan iznos nosivosti teretnog vozila. Rad je popraćen izradom 3D modela nadogradnje te tehničkom dokumentacijom.

Ključne riječi: nadogradnja, N1 kategorija, kiper, rasuti teret

SUMMARY

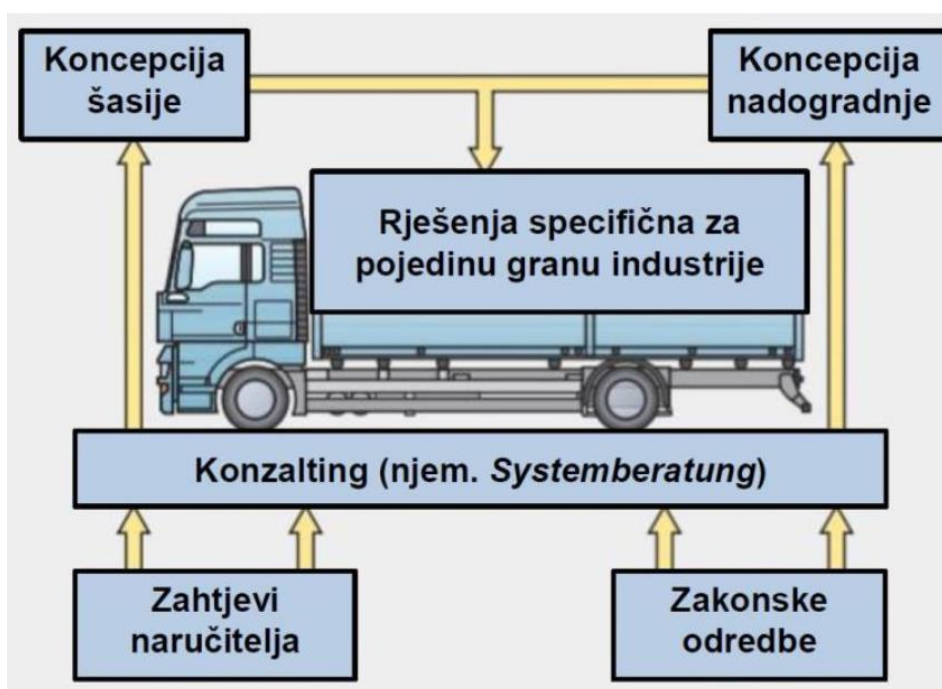
Transport of goods and cargo has great economic importance in today's society. The need for the transportation of various goods has arisen since the distant past, and the development of transport vehicles is progressing accordingly. Whether it's minerals, agricultural products or construction materials, the efficiency of transporting bulk materials is critical to sustaining global supply chains and to support economic activities.

The topic of this paper is the design and construction of tipping body with a crane for the N1 category vehicles. Before designing, it is necessary to consider the types of trucks and existing superstructures, as well as the applicable legal regulations. After the selection of the truck and chassis, guided by the requirements that the upgrade must meet, the stages of conception and selection of structural solutions begin. These stages include the shaping of the frame and cargo box, the connection of the frame and chassis of the truck, and the shaping of the connection with the crane. The calculation of the strength of the structure, the axle load of the vehicle and the stability of the vehicle when using the crane was carried out. At the end, the final amount of the truck's carrying capacity is given. The work was accompanied by the creation of a 3D model of the upgrade and technical documentation.

Key words: superstructure, N1 category, tipper body, bulk material

1. UVOD

Transport čini temeljni dio ljudske civilizacije te ima ključnu ulogu u oblikovanju društava, gospodarstava i kultura. Općenito se može definirati kao kretanje ljudi, životinja ili dobara s jednog mjesta na drugo, bez kojeg se današnji svijet ne može zamisliti. Da bi se bilo kakav transport mogao ostvariti potrebno je imati prometnu infrastrukturu, pa se tako transport trenutno vrši cestovnim, željezničkim, pomorskim i zrakoplovnim prometom. Unutar cestovnog transporta robe danas dominiraju teretna vozila. Postoje mnoge tvrtke koje proizvode teretna vozila, međutim samo teretno vozilo nema svrhu bez potrebne nadogradnje koja mora biti prilagođena određenoj vrsti tereta. Tako uz proizvođače teretnih vozila postoje tvrtke koje se bave razvojem i proizvodnjom nadogradnji specifične namjene, koje se ugrađuju na već gotovo teretno vozilo. Planiranje i koncipiranje nadogradnje specifične namjene predstavlja vrlo složen proces na koji utječu mnogi čimbenici. Potrebno je ispuniti sve zahtjeve naručitelja i zakonska ograničenja vezana za dimenzije i konstrukciju šasije vozila koje je odabrano za nadogradnju. S druge strane, potrebno je odabrati konstrukcijska rješenja tako da budu izvediva s obzirom na dostupne materijale i tehnologiju izrade, a istovremeno smanjujući troškove proizvodnje na minimum kako bi se ostvario što veći profit tvrtke. Kada se sve navedeno uzme u obzir, postaje jasno da razvoj i proizvodnja nadogradnje nije nimalo jednostavan zadatak. Slika 1. prikazuje shematski prikaz koncipiranja nadogradnje.



Slika 1. Shematski prikaz koncipiranja nadogradnje teretnog vozila [1]

Bilo kakve promjene na vozilu, u ovom slučaju konstrukcija nadogradnje, mijenjaju njegove karakteristike. Shodno tome, prilikom koncipiranja nadogradnje potrebno se pridržavati svih uputa i preporuka proizvođača teretnog vozila. U slučaju odstupanja od danih uputa ili potrebnih preinaka na vozilu, proizvođač nadogradnje dužan je zatražiti savjete i odobrenja od proizvođača teretnog vozila.

Ovaj rad obuhvaća planiranje i koncipiranje nadogradnje za rasute terete s kranskom dizalicom za vozilo N1 kategorije. Rasuti teret uključuje materijale kao što su pijesak, šljunak, zemlja, kamen, žitarice i slično. Međutim, radi veće komercijalne iskoristivosti vozila ugrađuje se i kranska dizalica koja znatno olakšava utovar i istovar raznih vrsta tereta, budući da su vozila N1 kategorije specifična za prijevoz robe unutar gradskih sredina. Kako razvoj teži prema učinkovitosti, cilj je napraviti nadogradnju sa što manjom masom tako da masa tereta koji se prevozi bude veća, budući da je nosivost teretnog vozila zakonski propisana. Smanjenje mase se može ostvariti adekvatnim odabirom materijala te odgovarajućim oblikovanjem konstrukcije uz poštivanje svih zahtjeva vezanih za čvrstoću i stabilnost vozila i nadogradnje.

2. TERETNA VOZILA KATEGORIJE N1

U ovom je poglavlju dan pregled teretnih vozila N1 kategorije. Prema članku 5. trenutno važećeg Pravilnika o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (izdanje NN 85/2016) osnovna podjela vozila za prijevoz tereta vrši se prema najvećoj dopuštenoj masi. U kategoriju vozila N1 spadaju motorna vozila za prijevoz tereta s najmanje 4 kotača, a najveće dopuštene mase ≤ 3500 kg (tablica 1.).

Tablica 1. Podjela N kategorije vozila [2]

N	TERETNI AUTOMOBILI Motorna vozila za prijevoz tereta s najmanje 4 kotača
N1	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase ≤ 3500 kg
N2	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase > 3500 kg ali ≤ 12000 kg
N3	Motorna vozila za prijevoz tereta najveće dopuštene mase > 12000 kg

Vozila N1 kategorije svrstavaju se u vučna motorna vozila koja su namijenjena prijevozu tereta u gradskim sredinama budući da su dimenzijama i tehničkim značajkama vrlo slična većim osobnim automobilima. Važan su dio cestovnog prometa i od velike su pomoći dostavnim službama, građevinskim tvrtkama ili privatnim osobama za terete koje nije moguće prevoziti osobnim automobilom. Ova kategorija vozila podliježe strogoj regulaciji u smislu sigurnosti, zaštite okoliša i tehničkih karakteristika. Ovisno o namjeni, teretno vozilo navedene kategorije može biti izvedeno kao kabina sa šasijom na koju je potrebno dodati nadogradnju ili kao furgon koji je odmah spreman za korištenje (slika 2.).



Slika 2. Primjer vozila kategorije N1 - kabina sa šasijom (lijevo) i furgon (desno) [3]

3. NADOGRADNJE TERETNIH VOZILA KATEGORIJE N1

3.1. Vrste i primjeri nadogradnji

Kao što je spomenuto, teretno vozilo izvedeno kao kabina sa šasijom nema funkciju sve dok se na njega ne postavi adekvatna nadogradnja. Općenito postoji mnogo vrsta nadogradnji teretnih vozila, međutim za vozila kategorije N1 najčešće su to otvoreni ili zatvoreni sanduci (slika 3.).



Slika 3. Primjeri nadogradnji vozila kategorije N1 [3]

Otvoreni sanduci specifični su za prijevoz sipkog materijala, imaju mogućnost otvaranja pojedine stanice sanduka, te mogu biti opremljeni hidrauličkim cilindrom koji omogućuje nagnjanje sanduka za efikasniji istovar materijala (kiper). Također postoje izvedbe s kranskom dizalicom za lakši utovar i istovar raznih vrsta tereta. Danas se otvoreni sanduci sve više izrađuju od aluminijskih legura (slika 4.) koje imaju znatno manju masu od čelika, a dobra mehanička svojstva. Na taj se način povećava iskoristivost samog vozila zbog veće nosivosti.



Slika 4. Otvoreni sanduk od aluminijskih legura

S druge strane zatvoreni teretni sanduci namijenjeni su za prijevoz komadnog materijala, mogu imati bočna i stražnja vrata za lakši utovar i istovar robe. Hlađeni i izolirani zatvoreni sanduci nazivaju se hladnjačama, a koriste se za prijevoz hrane ili materijala koji mora biti skladišten na određenoj temperaturi. Oni se također izrađuju od aluminijskih legura (slika 3.), a stranice im osim aluminijskih profila mogu biti izvedene i kao cerada (slika 5.).



Slika 5. Zatvoreni sanduk s ceradom

3.2. Propisi vezani za nadogradnju teretnog vozila

Nadogradnja teretnog vozila bilo kakve vrste mora biti napravljena u skladu sa zakonskim odredbama koje vrijede u Republici Hrvatskoj kao i u Europskoj uniji, a istovremeno i ograničenjima propisanim od strane proizvođača teretnog vozila. Pravilnikom o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama [2] propisane su dimenzije nadogradnje (širina i visina) zajedno s teretom koji se prevozi:

- širina vozila na kojem se izvodi nadogradnja ne smije biti veća od one koju je predvidio proizvođač vozila (članak 8. stavak (5)),
- visina vozila na kojem se izvodi nadogradnja ne smije biti veća od one koju je predvidio proizvođač vozila (članak 9. stavak (2)).

4. KONCIPIRANJE NADOGRAĐNJE I ODABIR KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA

U ovom poglavlju bit će definirana lista zahtjeva koje nadogradnja mora ispuniti, a prema njoj će se potom odabrati prikladna konstrukcijska rješenja. Nadogradnja će biti izvedena kao trostrani kiper s kranskom dizalicom tako da se olakša utovar i istovar materijala u raznim uvjetima, slično kako je prikazano na slici 6.



Slika 6. Primjer trostranog kiper s kranskom dizalicom [4]

Kako bi se dobio bolji pregled zahtjeva koje nadogradnja mora ispuniti definirana je lista zahtjeva (tablica 2.).

Tablica 2. Lista zahtjeva nadogradnje

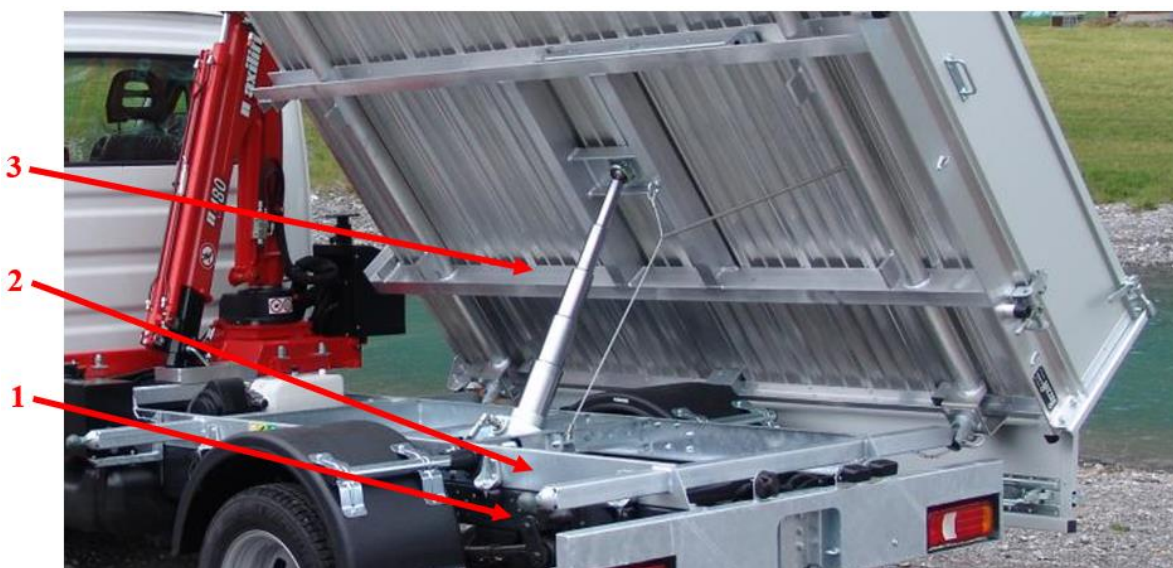
1.	Ukupna masa vozila s nadogradnjom mora biti ≤ 3500 kg
2.	Osigurati minimalnu opterećenost prednje osovine u iznosu od 25%
3.	Omogućiti prihvat tovarnog sanduka na šasiju teretnog vozila
4.	Omogućiti naginjanje tovarnog sanduka na tri strane
5.	Omogućiti jednostavno i sigurno rukovanje tovarnim sandukom
6.	Omogućiti prihvat kranske dizalice
7.	Osigurati stabilnost vozila prilikom korištenja kranske dizalice
8.	Osigurati čvrstoću konstrukcije

U nastavku slijedi odabir konstrukcijskih rješenja s objašnjenjima za pojedini odabir.

4.1. Veza tovarnog sanduka i šasije teretnog vozila

Kada se radi o kiperu, tovarni sanduk nije moguće vezati direktno na šasiju teretnog vozila jer se na taj način ne može ostvariti naginjanje. Iz tog se razloga na šasiju teretnog vozila dodaje pomoćna šasija ili podkonstrukcija tovarnog sanduka koje su međusobno fiksno vezane, a sanduk je zatim zgloбно vezan na podkonstrukciju kako bi mu se omogućilo naginjanje. Slika 7. prikazuje primjer veze šasije, podkonstrukcije i tovarnog sanduka:

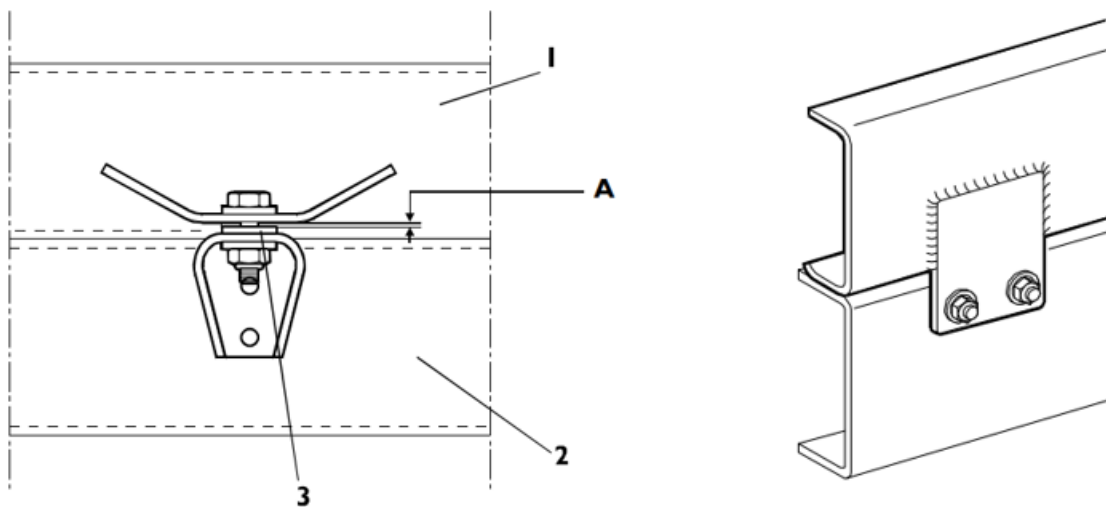
- 1 - šasija teretnog vozila,
- 2 - podkonstrukcija (pomoćna šasija),
- 3 - tovarni sanduk.



Slika 7. Primjer veze između šasije teretnog vozila i tovarnog sanduka [4]

4.1.1. Veza šasije teretnog vozila i podkonstrukcije sanduka

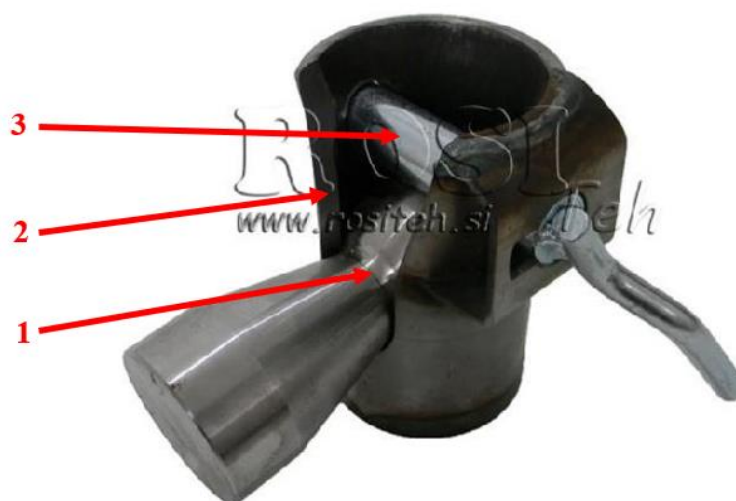
Veza nadogradnje i šasije teretnog vozila mora biti elastična, ali istovremeno osigurati krutost cijele konstrukcije. Kada bi sve veze bile izvedeni kao krute, dolazilo bi do neželjenih povećanja napreznja uslijed vibracija i udaraca prilikom vožnje koja mogu dovesti i do puknuća određenih dijelova. Iz tog se razloga određene krute veze mijenjaju elastičnima. U praksi se obično elastične veze postavljaju na prednjem dijelu nadogradnje tako da prigušuju vibracije tijekom vožnje, dok krute veze na stražnjem dijelu osiguravaju krutost konstrukcije i stabilnost samog vozila. Slika 8. prikazuje način ostvarivanja elastične i krute veze šasije i podkonstrukcije.



Slika 8. Prikaz elastične (lijevo) i krute veze (desno) [5]

4.1.2. Veza podkonstrukcije i tovarnog sanduka

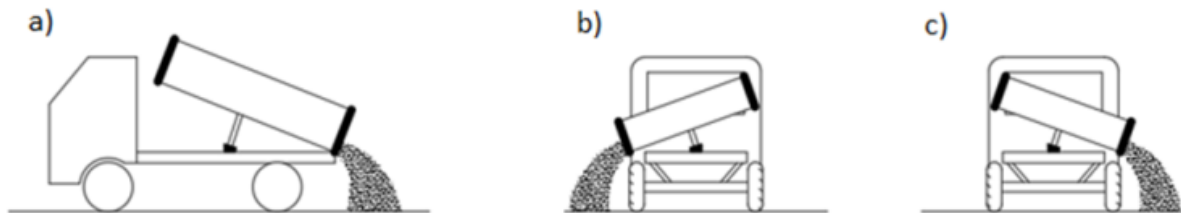
Veza između podkonstrukcije i sanduka mora biti izvedena tako da omogućava naginjanje sanduka na sve tri strane, a ujedno i jednostavno rukovanje. Odabire se kuglasti spoj koji je najčešće korišten u slučaju višestranog naginjanja sanduka (slika 9.). Kugla (1) se spaja na podkonstrukciju, čaša (2) na sanduk, dok klin (3) služi za odabir strane na koju se materijal želi istresati. Kada se cilindar krene izvlačiti, podiže se strana sanduka na kojoj nema klinova. Na taj je način ostvareno vrlo jednostavno rukovanje te naginjanje na sve tri strane.



Slika 9. Prikaz kuglastog spoja podkonstrukcije i sanduka [6]

4.2. Način nagnjanja tovarnog sanduka

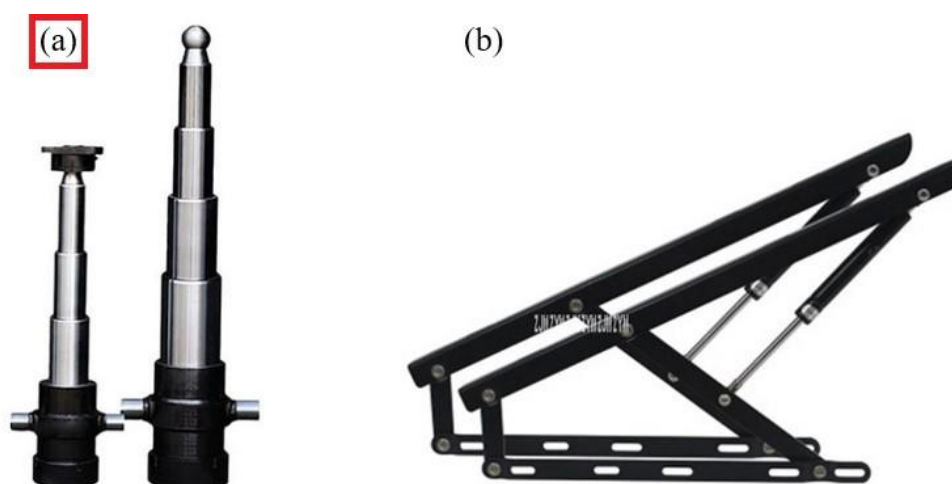
Ovisno o konstrukciji i mehanizmu podizanja, sanduk se može nagnjati jednostrano, dvostrano ili trostrano. Kako je u ovom slučaju riječ o trostranom kiperu, mora se omogućiti nagnjanje na sve tri strane (slika 10.).



Slika 10. Prikaz nagnjanja tovarnog sanduka

4.2.1. Mehanizam za podizanje

Nagnjanje tovarnog sanduka moguće je ostvariti pomoću hidrauličkog cilindra (a) ili hidrauličkog polužnog mehanizma (b) koje prikazuje slika 11. Polužnim mehanizmom omogućeno je jednostrano nagnjanje, dok će hidraulički cilindar pomoću prikladnog uležištenja nagnjati sanduk u bilo kojem smjeru, odnosno u smjeru najmanjeg otpora. Budući da se mora omogućiti trostrano nagnjanje, odabire se opcija nagnjanja pomoću hidrauličkog cilindra.



Slika 11. Primjeri mehanizama za podizanje tovarnog sanduka

4.2.2. Smještaj mehanizma za dizanje

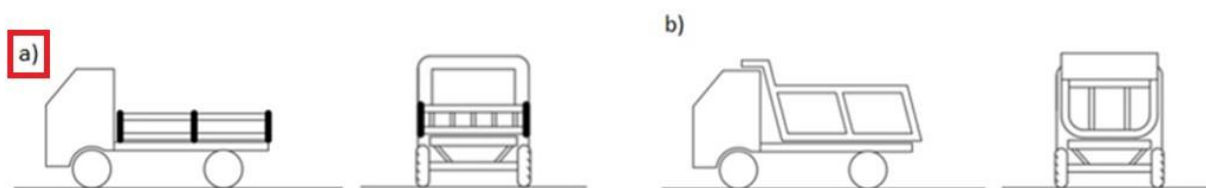
Smještaj mehanizma za dizanje na podkonstrukciji ovisit će o tome želi li se omogućiti nagnjanje na jednu ili više strana. Kod trostranog nagnjanja kinematika će biti zadovoljena kada je cilindar na sredini sanduka (a), dok se kod jednostranog nagnjanja cilindar često postavlja na stranu suprotnu od smjera istovara materijala (b) kako je prikazano na slici 12. Budući da kiper mora biti trostrani, hidraulički će cilindar biti smješten na sredini tovarnog sanduka.



Slika 12. Smještaj mehanizma za dizanje

4.3. Oblik tovarnog sanduka

Tovarni sanduk može biti izrađen u različitim oblicima tako da bude prilagođen vrsti tereta. Najčešće izvedbe su pravokutnog ili ovalnog oblika (slika 13.). Isto tako, ako postoji potreba za time, veličine stranica mogu biti različitih veličina. Obično je radi sigurnosti prednja stranica veća od preostalih, tako da prilikom kočenja kabina teretnog vozila bude osigurana od nalijetanja tereta.



Slika 13. Izvedbe oblika tovarnog sanduka

Odabran je pravokutni oblik sanduka jer omogućuje istresanje tereta na sve tri strane. Prednja stranica sanduka bit će konstruirana tako da bude viša od preostalih, ali pritom pazeći da ne ometa rad kranske dizalice.

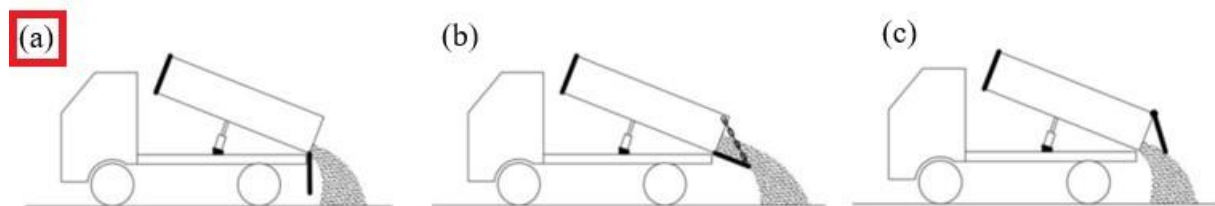
4.4. Način otvaranja stranica tovarnog sanduka

Danas postoji mnogo načina otvaranja stranica sanduka. Budući da će se nadogradnja moći koristiti u brojne svrhe te nema nikakvog posebnog zahtjeva vezanog za način otvaranja stranica, odabrat će se jednostavan i uobičajen način otvaranja. Najčešći načini otvaranja stražnje stranice sanduka na N1 kategoriji vozila su (slika 14.):

- (a) - ručno otvaranje stranice prema dolje,
- (b) - ručno otvaranje stranice prema dolje pridržane lancem,
- (c) - ručno otvaranje stranice prema gore.

U sva tri slučaja teret se istresa pod djelovanjem gravitacijske sile, međutim kod svakog postoje prednosti i nedostaci. Način (b) omogućuje nešto dalje istresanje materijala od teretnog vozila u odnosu na (a), ali će se stranica više trošiti zbog konstantnog dodira s materijalom. U slučaju (c) se prilikom istresanja materijal može podvući pod vozilo, što nije prikladno za male gradske sredine zbog ograničenog kretanja teretnog vozila, a stranica će se također više trošiti nego u slučaju (a).

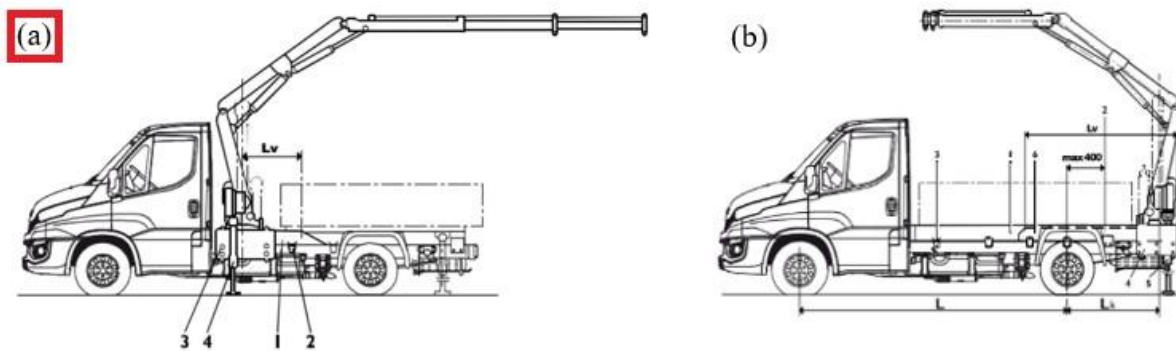
Uz sve navedeno, odabire se opcija otvaranja (a) jer će omogućiti istresanje materijala unutar malog prostora, a istovremeno će otvorena stranica služiti kao zaštita od podvlačenja materijala ispod teretnog vozila. Bočne stranice otvarat će se na isti način kao i stražnja radi jednostavnosti konstrukcije i samog rukovanja.



Slika 14. Načini otvaranja stražnje stranice tovarnog sanduka

4.5. Kranska dizalica

Smještaj kranske dizalice na teretnom vozilu može biti ispred ili iza tovarnog sanduka (slika 15.), dok se slučaju manjih kranova može nalaziti i na samom sanduku. Kako je riječ o trostranom kiperu, kranska dizalica mora biti smještena tako da se sanduk može nesmetano nagnjati. Da bi se to ostvarilo kranska dizalica se mora nalaziti ispred tovarnog sanduka (a).

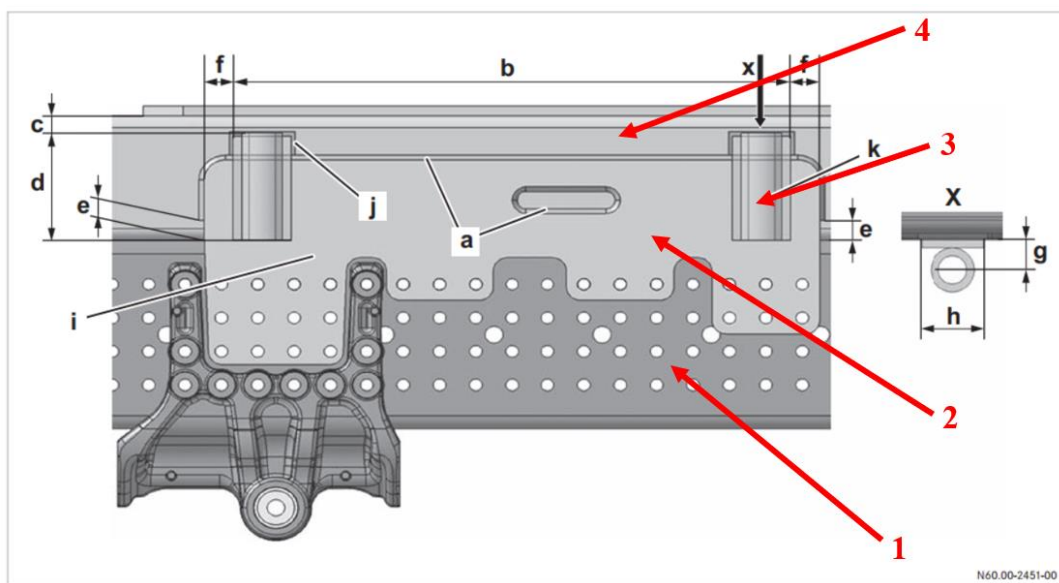


Slika 15. Načini smještaja kranske dizalice

4.5.1. Prihvat kranske dizalice na teretno vozilo

Kranska dizalica mora biti kruto vezana na šasiju teretnog vozila također preko podkonstrukcije radi povećanja krutosti cijele konstrukcije. Iz konstrukcijskih razloga bit će vezana na istu podkonstrukciju kao i tovarni sanduk, dok će veze između nosača dizalice, podkonstrukcije i šasije biti drugačije nego u slučaju tovarnog sanduka. Slika 16. prikazuje način oblikovanja prihвата kranske dizalice:

- 1 - šasija teretnog vozila,
- 2 - kruta veza šasije i podkonstrukcije,
- 3 - mjesto vijčane veze nosača kranske dizalice i podkonstrukciju,
- 4 - podkonstrukcija.



Loading crane attachment

Slika 16. Oblikovanje prihвата kranske dizalice na teretno vozilo [7]

5. ODABIR TERETNOG VOZILA

Nakon definiranja zahtjeva i odabira konstrukcijskih rješenja, izabire se teretno vozilo na kojem će se izvoditi nadogradnja. Odabrano je vozilo Iveco Daily 35C12 prikazano na slici 17., a njegove tehničke specifikacije dane su u tablici 3.

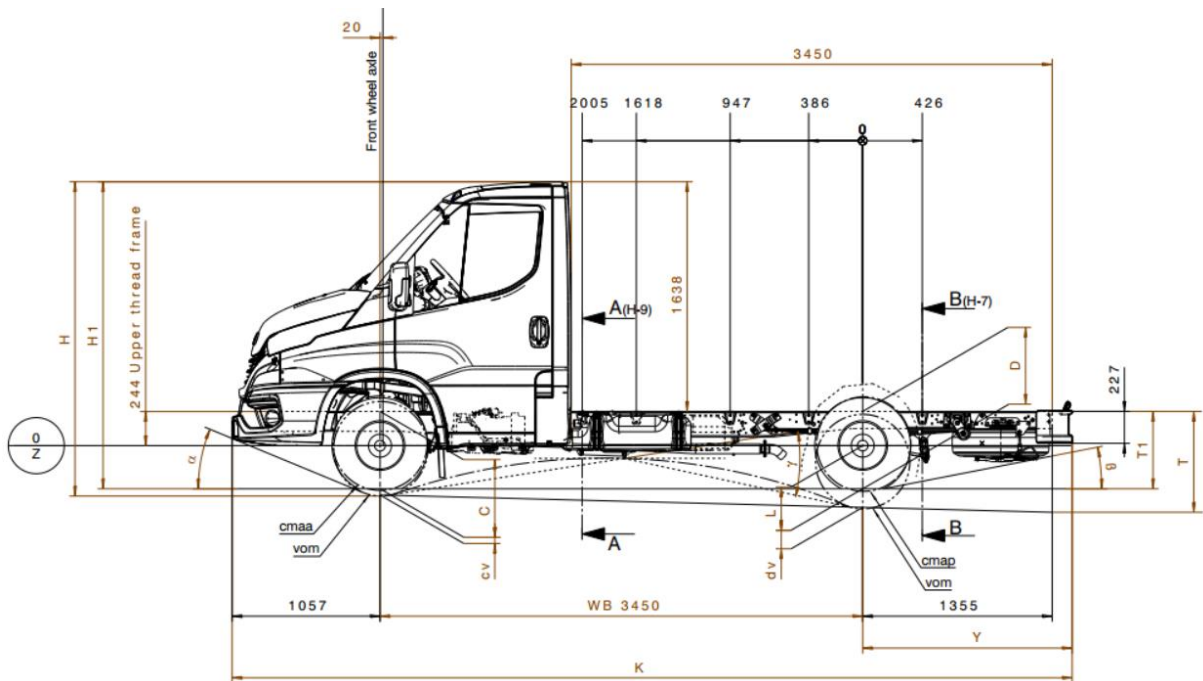


Slika 17. Iveco Daily 35C12 [3]

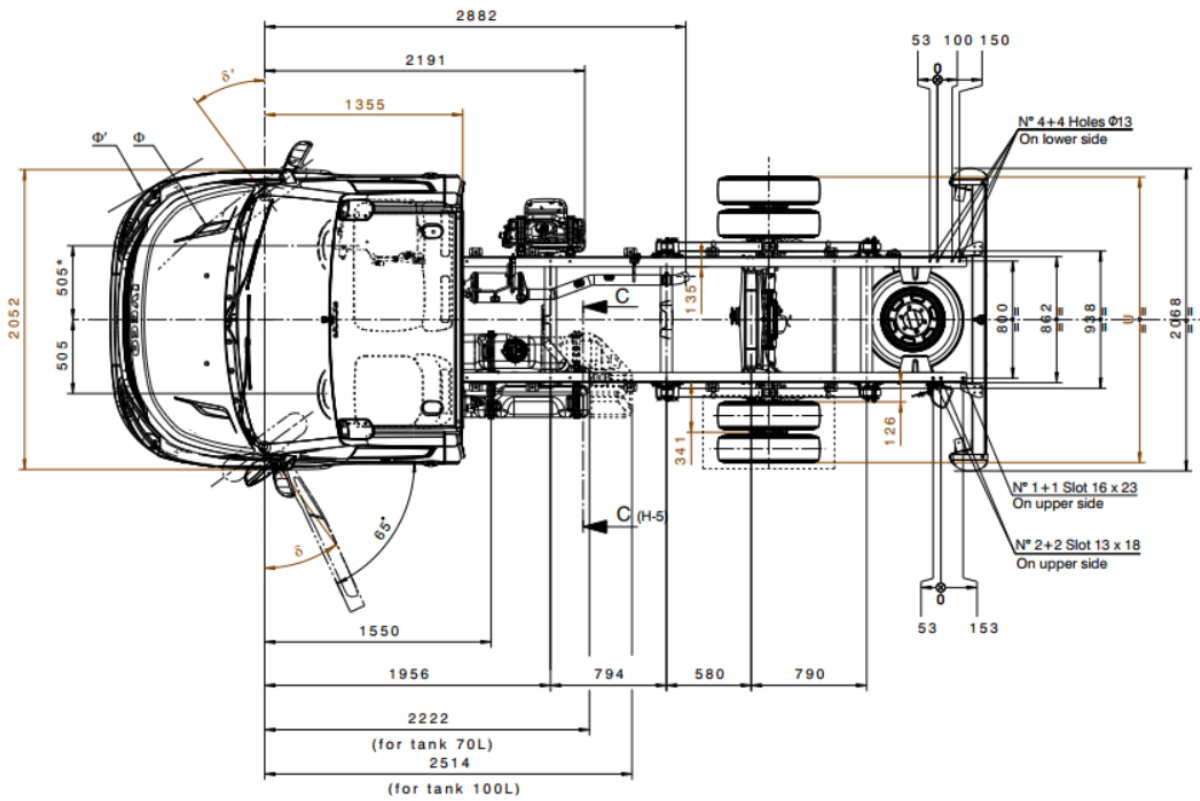
Tablica 3. Tehničke specifikacije vozila Iveco Daily 35C12

Kategorija vozila	N1
Model	Daily 35C12
Inačica	Podvozje s kabinom
Tip motora	F1A LD Diesel; Euro 6
Snaga motora	85 kW/116 KS
Međuosovinski razmak	3450 mm
Ukupna dozvoljena masa vozila	3500 kg
Masa vozila	1963 kg
Opterećenje prednje osovine	1444 kg
Opterećenje stražnje osovine	519 kg
Max. masa nadogradnje s teretom	1537 kg
Max. opterećenje prednje osovine	2100 kg
Max. opterećenje stražnje osovine	2600 kg

Tehničku dokumentaciju s glavnim dimenzijama odabranog vozila prikazuju slika 18. i slika 19.

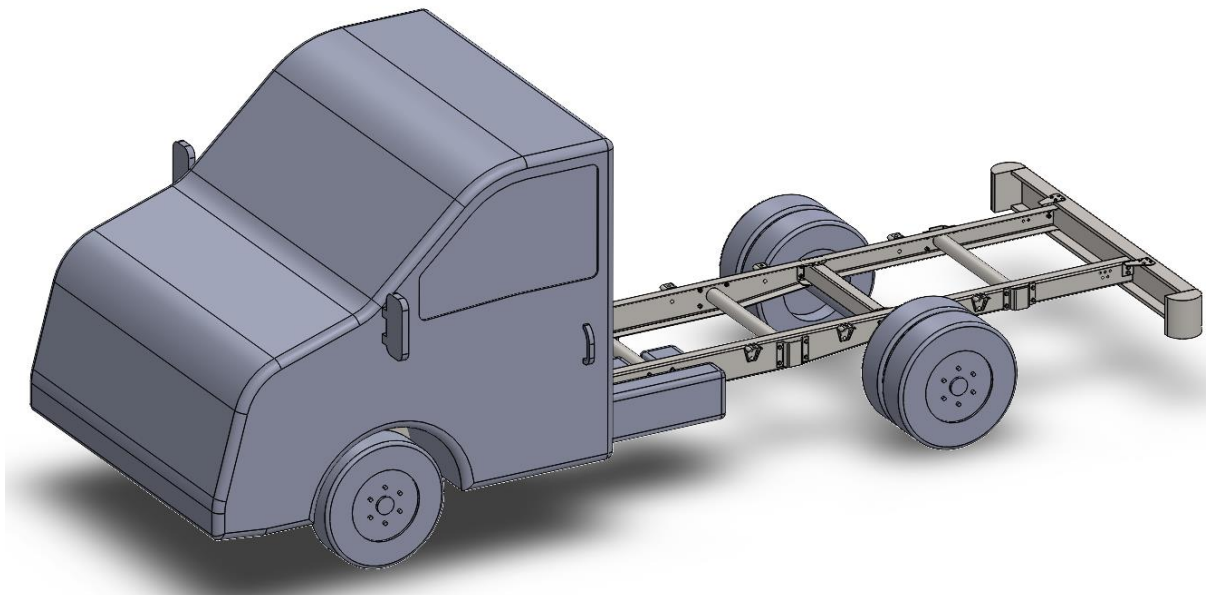


Slika 18. Nacrt vozila Iveco Daily 35C12 [8]



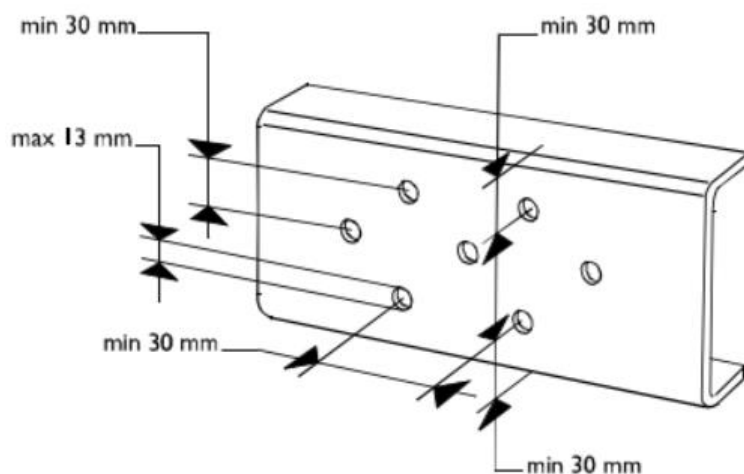
Slika 19. Tlocrt vozila Iveco Daily 35C12 [8]

Prema crtežima dobivenim od proizvođača vozila napravljen je 3D model (u programskom paketu *Solidworks*) vozila i šasijske na koju će se dodati nadogradnja (slika 20.). Kako ne bi došlo do kolizije pojedinih dijelova nadogradnje s vozilom, u model su dodani spremnik goriva i ostala oprema koja dolazi sa šasijom.



Slika 20. 3D model vozila sa šasijom

Na originalnoj šasiji nisu napravljene nikakve modifikacije, tako da su sve dimenzije jednake onima iz tehničke dokumentacije. Budući da će nadogradnja biti spojena na šasiju vozila vijčanim vezama, bitno se pridržavati upute proizvođača (slika 21.) vezane za bušenje provrta na šasiji.



Slika 21. Raspored provrta na šasiji vozila [5]

6. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA NADOGRADNJE

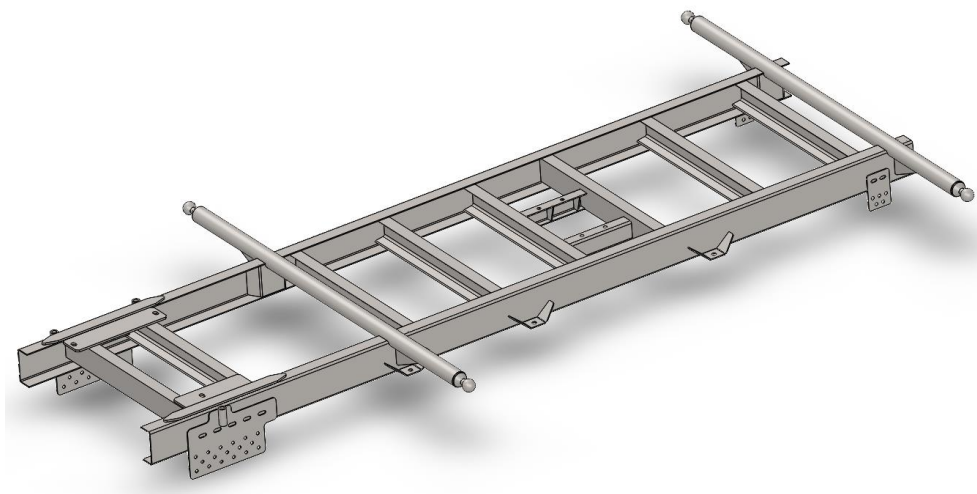
Konstruktivska razrada uključuje izradu 3D modela i tehničke dokumentacije nadogradnje uz poštivanje propisa i uputa proizvođača teretnog vozila. Konstrukcija nadogradnje bit će popraćena proračunom osovinskog opterećenja, stabilnosti vozila i čvrstoće konstrukcije na karakterističnim mjestima. 3D model i tehnička dokumentacija izrađeni su u programskom paketu *Solidworks*.

6.1. Podkonstrukcija

Kako je već spomenuto u poglavlju 4.1., podkonstrukcija je dio nadogradnje koji se nalazi između šasije vozila i teretnog sanduka. Osim što omogućuje oslanjanje sanduka i naganjanje na sve tri strane, koristi se u sljedeće svrhe:

- osigurava dovoljni razmak iznad kotača i ostalih dijelova šasije koji strše iznad okvira,
- pruža odgovarajuću krutost i smanjuje naprezanje (pogotovo kod stražnjeg prevjesa),
- štiti okvir šasije vozila na način da ravnomjerno raspoređuje opterećenje nadogradnje na veće područje okvira šasije,
- pridonosi prigušivanju oscilacija (vibracija) šasije.

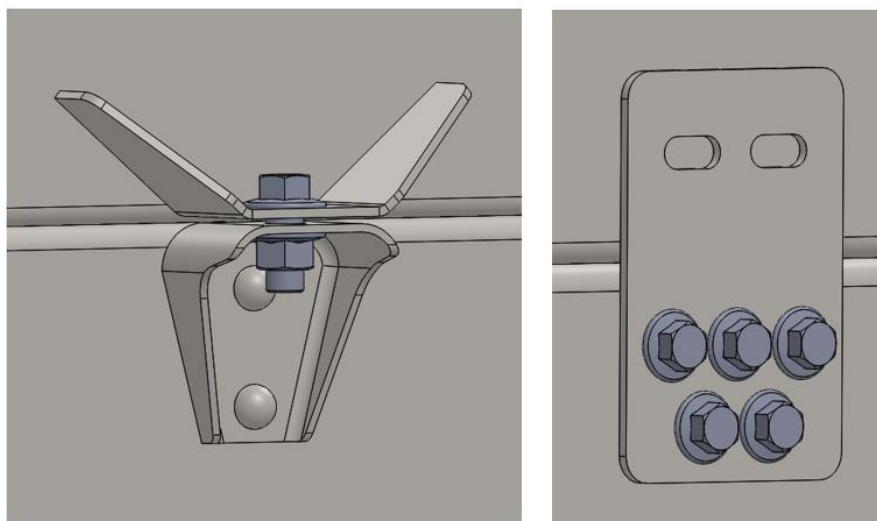
Podkonstrukcija nadogradnje napravljena je od uzdužnih U profila povezanih poprečnim ukrutama. Na njih se zatim dodaju cijevi s kuglastim osloncima (kiper kuglama) za prihvatanje sanduka, mjesto prihvata hidrauličkog cilindra te mjesto prihvata kranske dizalice (slika 22.). Prema preporuci proizvođača vozila odabrani materijal podkonstrukcije je S355J2G3 [5].



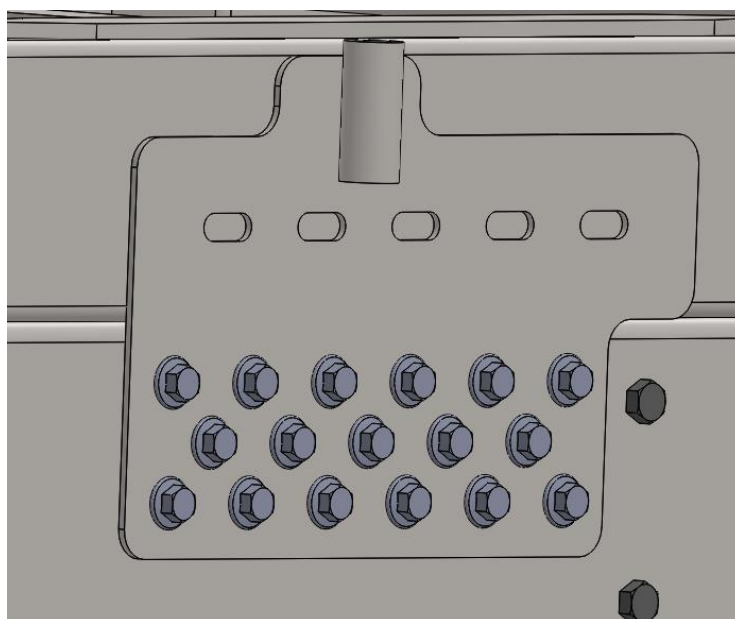
Slika 22. Podkonstrukcija

6.1.1. Veza šasije i podkonstrukcije

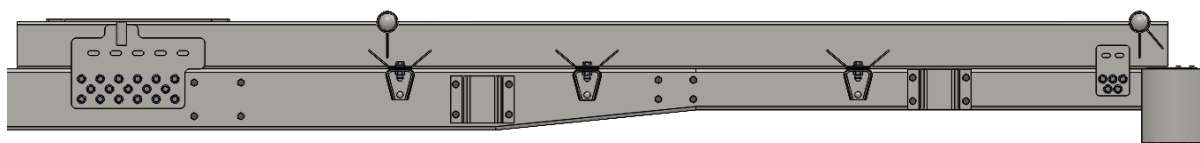
Podkonstrukcija je vezana na šasiju kombinacijom elastičnih i krutih veza (slika 23. i slika 24.). Elastične veze služe kako bi apsorbirale vibracije i udarce tijekom vožnje, dok krute povećavaju krutost cijele konstrukcije. Mjesta elastičnih veza predviđena su od strane proizvođača vozila i već su smještene na šasiji vozila. Krute veze nalaze se na samom kraju šasije te na mjestu prihvata kranske dizalice.



Slika 23. Prikaz veze između podkonstrukcije i šasije - elastična (lijevo) i kruta (desno)



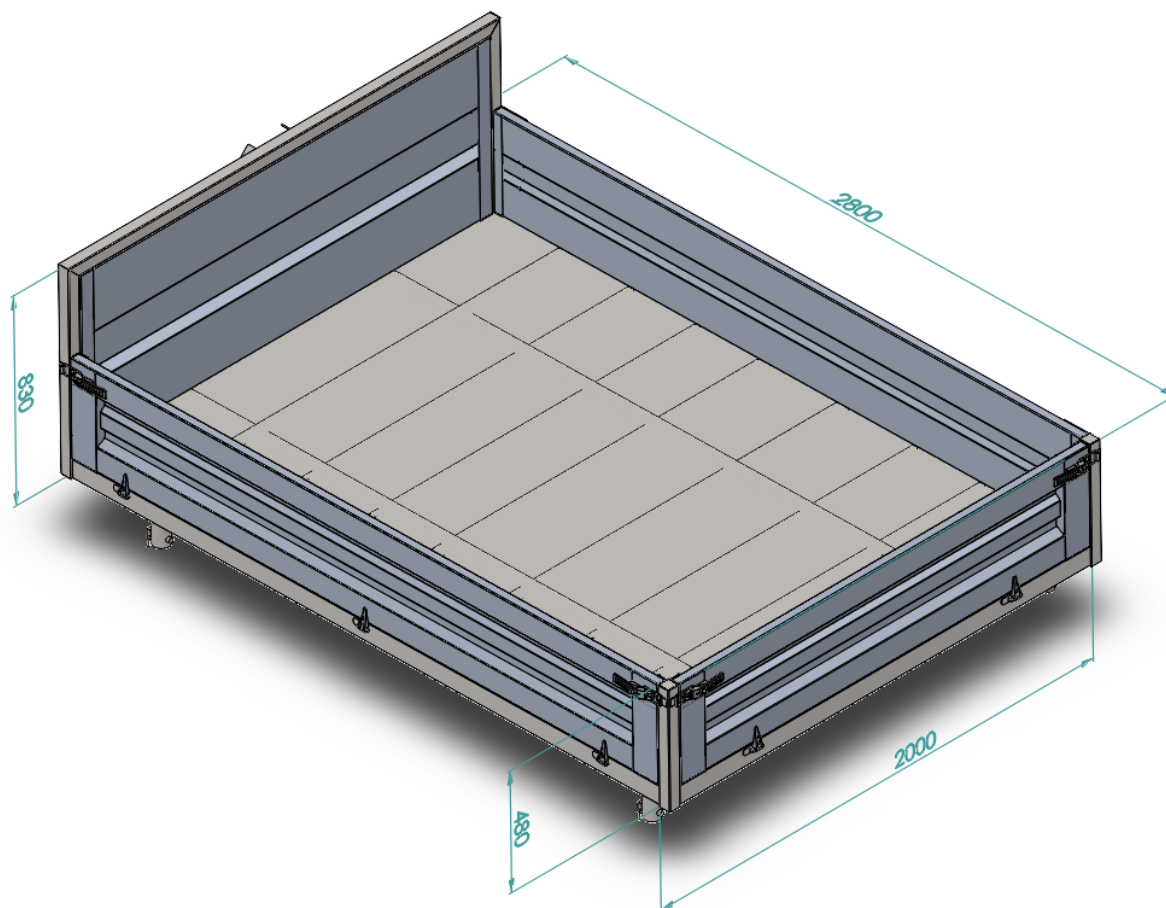
Slika 24. Prikaz krute veze na mjestu prihvata kranske dizalice



Slika 25. Raspored elastičnih i krutih veza na podkonstrukciji

6.2. Tovarni sanduk

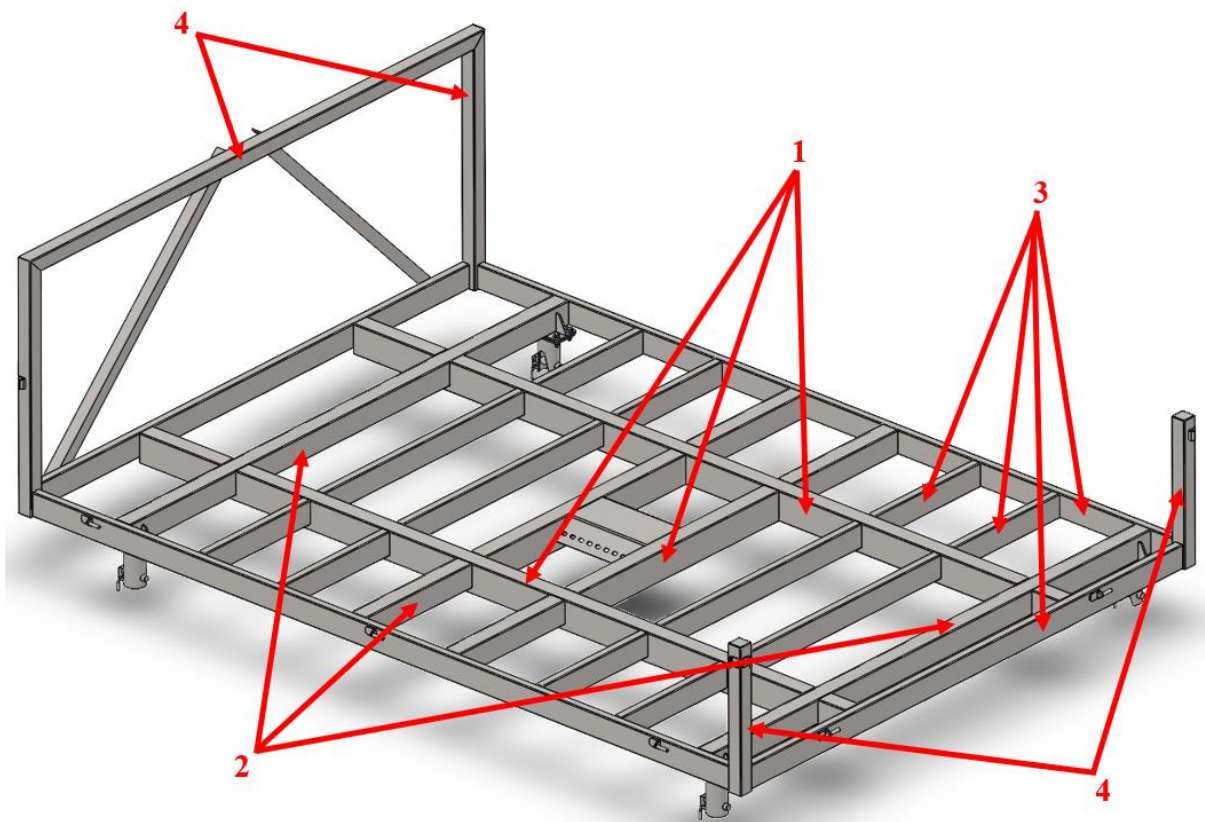
Sklop sanduka čine čelični nosivi okvir s podnom pločom te stranice izrađene od aluminijskih profila. Slika 26. prikazuje model tovarnog sanduka duljine 2800 mm, širine 2000 mm te najveće visine 830 mm.



Slika 26. Sklop tovarnog sanduka

6.2.1. Okvir sanduka

Nosivi okvir sanduka izrađen je od međusobno zavarenih pravokutnih i kvadratnih cijevi kvalitete S235JR (slika 27.). Između nosivih uzdužnih (1) i poprečnih (2) cijevi nalaze se poprečne ukrute i rubne cijevi za prihvat stranica označene brojevima (3) i (4). Na okvir se potom zavaruju prihvat stranica i čašastih oslonaca te ploča prijvata hidrauličnog cilindra. Na kraju se na okvir zavaruje podna ploča izrađena od materijala industrijskog naziva HARDOX 450 debljine 1,5 mm kojeg karakteriziraju visoka tvrdoća i otpornost na trošenje.



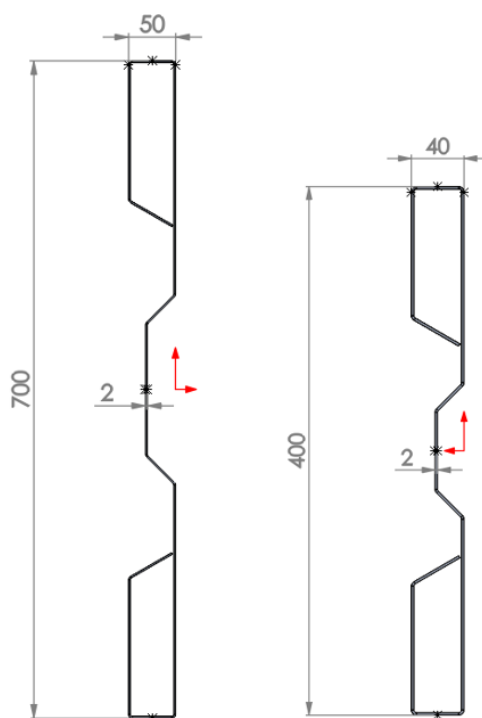
Slika 27. Zavareni okvir sanduka

Dimenzije poprečnih presjeka [mm] označenih cijevi su [9]:

- 100x60x4,
- 80x60x4,
- 80x30x3,
- 50x50x3.

6.2.2. Stranice sanduka

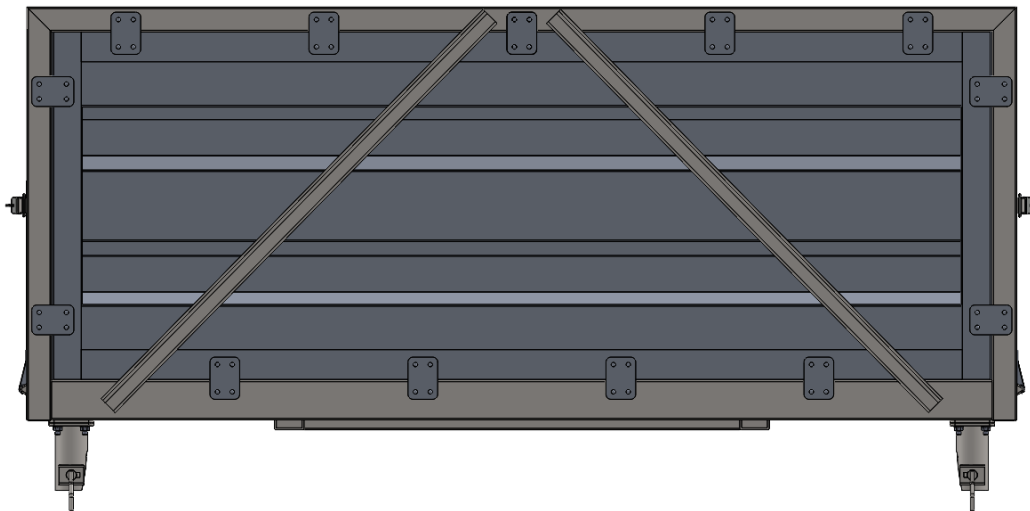
Stranice tovarnog sanduka proizvedene su od aluminijskih profila debljine 2 mm kako bi se smanjila masa sanduka (slika 28.). Na krajevima su zatvoreni također aluminijskim savijenim limovima debljine 2 mm. Prednja stranica je viša od ostalih zbog sigurnosti kabine i fiksirana je na okvir zakovicama jer nema potrebe za njenim otvaranjem (slika 29.). Preostale se stranice montiraju i otvaraju na isti način zbog jednostavnosti rukovanja. Prihvati stranica izvedeni su tako da se jednostavno mogu demontirati ako za time postoji potreba (slika 30.). Otvaranje i zatvaranje stranica omogućavaju zatvarači jednostavnim zakretanjem poluge, a spajaju se na stranice također zakovicama (slika 31.). Dimenzije svih stranica sanduka dane su u tablici 4.



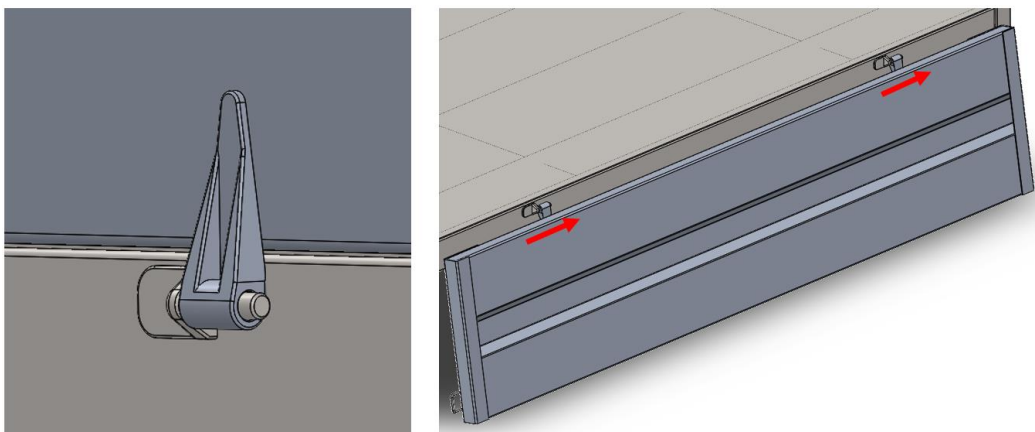
Slika 28. Profil stranice - prednja (lijevo) i stražnja/bočna (desno)

Tablica 4. Dimenzije stranica sanduka

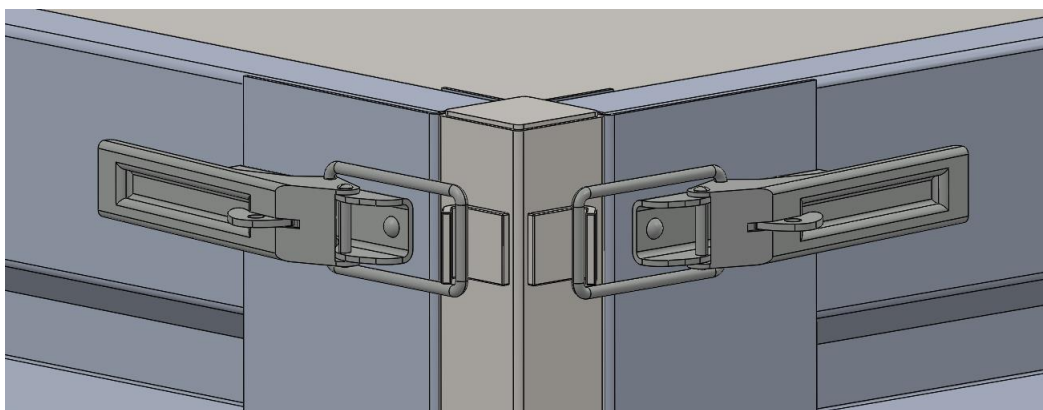
Prednja stranica	1900x700x54
Stražnja stranica	1900x400x44
Bočne stranice	2700x400x44



Slika 29. Prikaz montaže prednje stranice



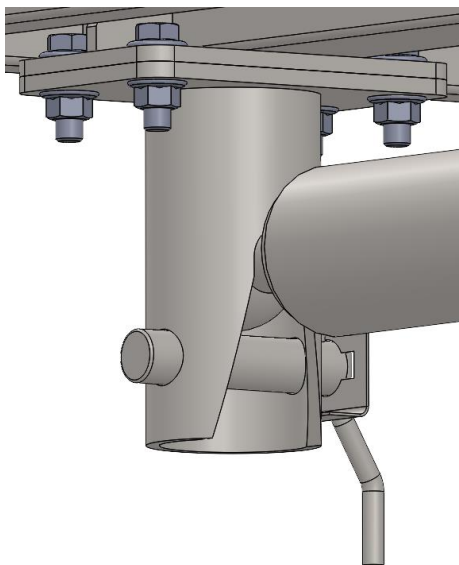
Slika 30. Način prihvata stražnje/bočne stranice



Slika 31. Način otvaranja stranica

6.2.3. Veza tovarnog sanduka i podkonstrukcije

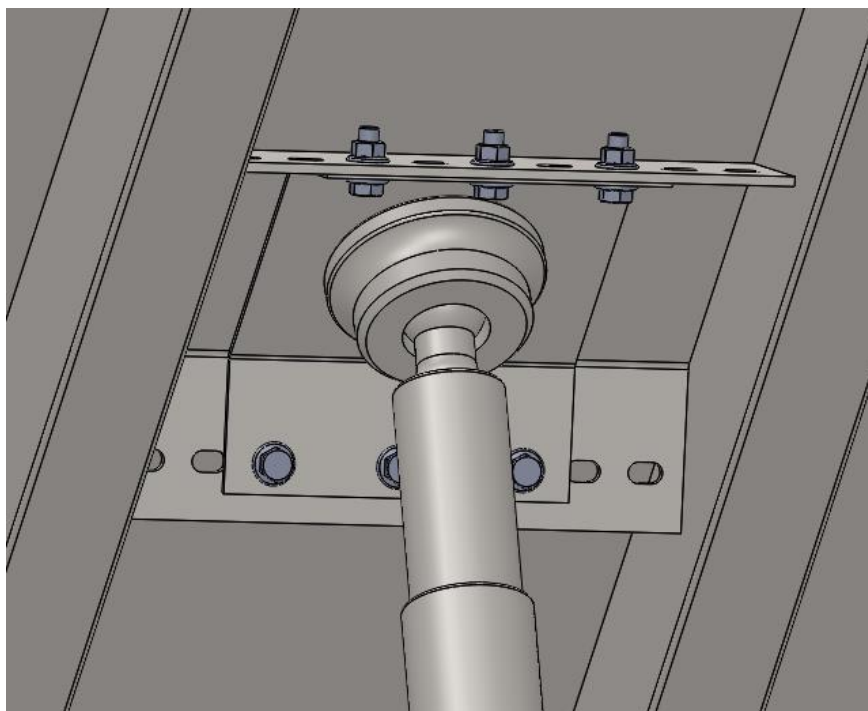
Sanduk se oslanja na podkonstrukciju pomoću kuglastog spoja s klinom (slika 32.), a naginganje je omogućeno hidrauličkim cilindrom koji se prihvaća na ploču debljine 5 mm trapeznog oblika zavarenu na okvir sanduka. Čaša kuglastog završetka hidrauličnog cilindra zavaruje se na zasebnu ploču debljine 3 mm te se potom vijčanom vezom spaja na sadnuk (slika 33. i slika 34.).



Slika 32. Oslanjanje sanduka na podkonstrukciju



Slika 33. Primjer prihвата hidrauličnog cilindra na tovarni sanduk [10]



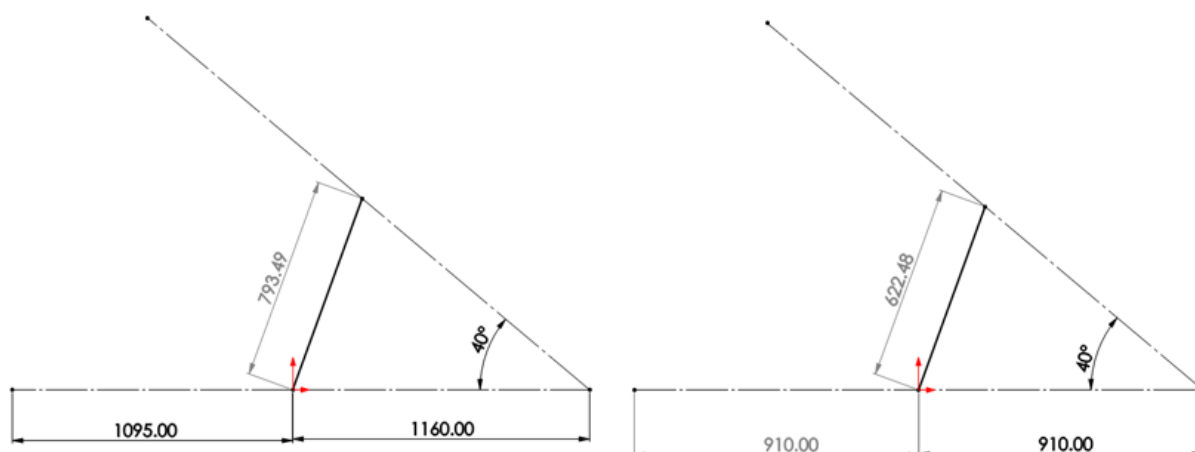
Slika 34. Prihvat hidrauličkog cilindra na tovarni sanduk

6.3. Odabir hidrauličkog cilindra

Nakon što su podkonstrukcija i tovarni sanduk konstruirani te su im definirana mjesta prihвата, potrebno je još dodati hidraulički cilindar koji će podizati sanduk. Kod odabira cilindra potrebno je ispuniti 2 uvjeta:

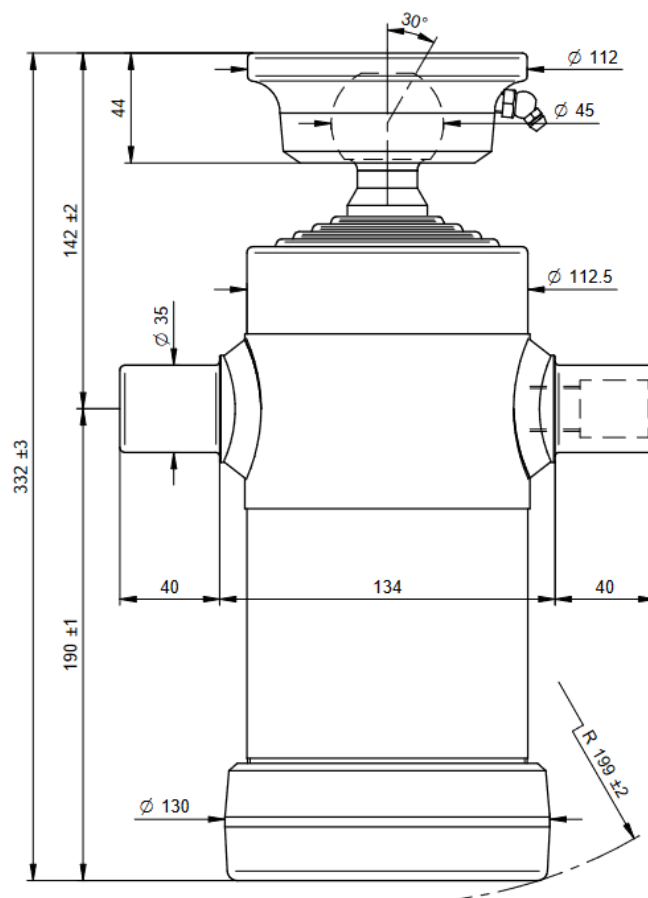
- hod cilindra mora biti takav da omogući naginjanje sanduka u stražnju i bočnu stranu pod kutom od 40° ,
- sila u cilindru mora biti dovoljna da podigne sanduk s maksimalnom masom tereta.

Kada je riječ o kiperima, najčešće se koriste teleskopski hidraulički cilindri zbog ograničenog prostora između podkonstrukcije i sanduka. Na taj je način moguće ostvariti veliki hod cilindra, a istovremeno će imati znatno manju duljinu kad se sanduk nalazi u horizontalnom položaju. Potreban hod (kinematiku) cilindra prilikom naginjanja sanduka shematski prikazuje slika 35. Dimenzije prikazane na slikama predstavljaju udaljenosti oslonaca od smještaja cilindra na podkonstrukciji. Nakon određivanja potrebnog hoda, nije dovoljno samo odabrati cilindar s dovoljnom silom za podizanje. Kako je spomenuto, cilindar se mora smjestiti u vrlo ograničen prostor i tijekom rada ne smije dolaziti do kolizije s drugim elementima nadogradnje.



Slika 35. Potreban hod cilindra za naginjanje sanduka - unatrag (lijevo) i bočno (desno)

Iz konstrukcijskih je razloga odabran teleskopski cilindar s pet stupnjeva izvlačenja koji osigurava naginjanje sanduka pod zadanim kutom te svojim dimenzijama odgovara prostoru između podkonstrukcije i sanduka (slika 36.).

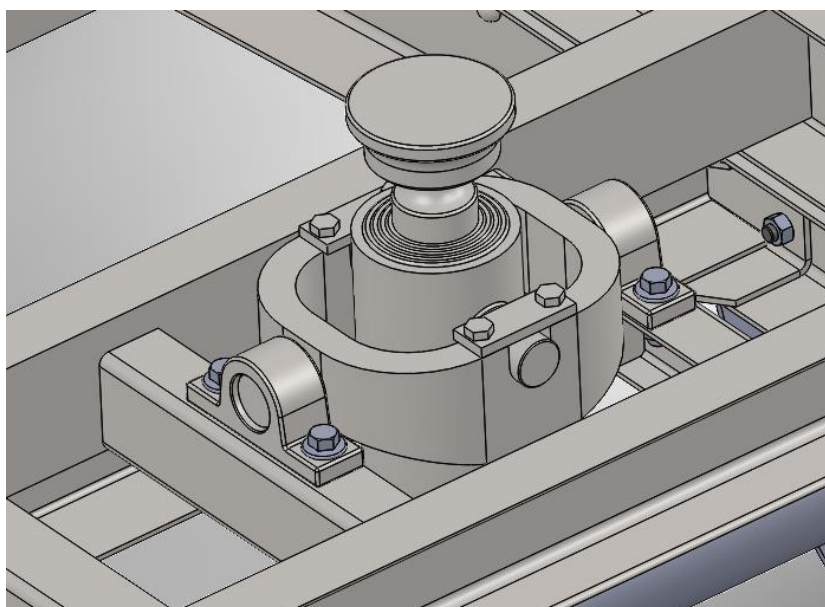


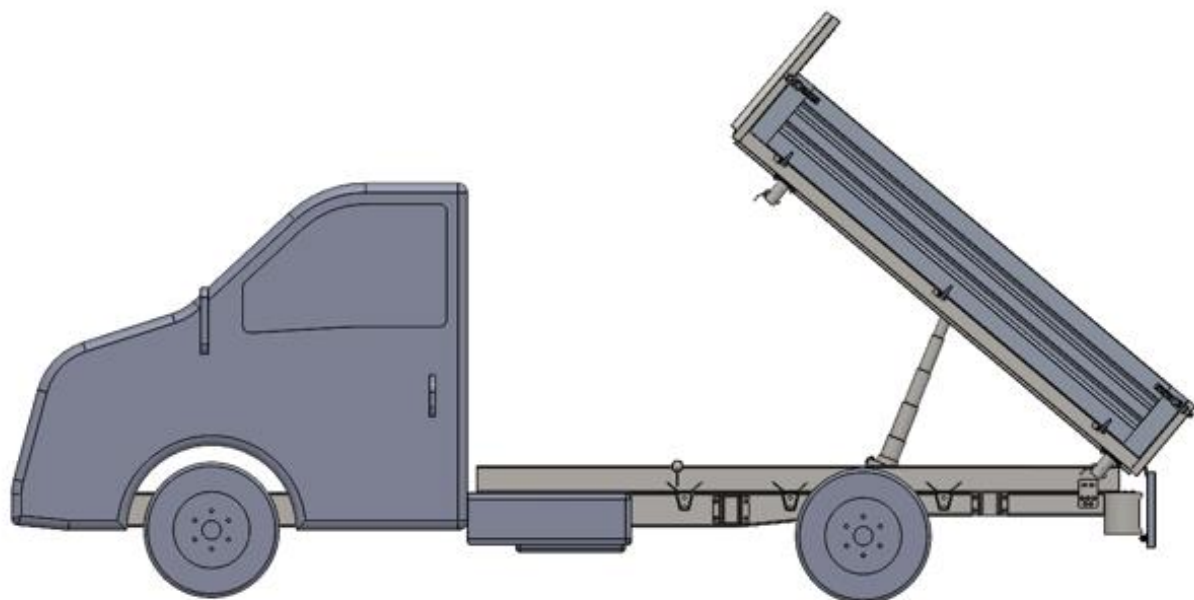
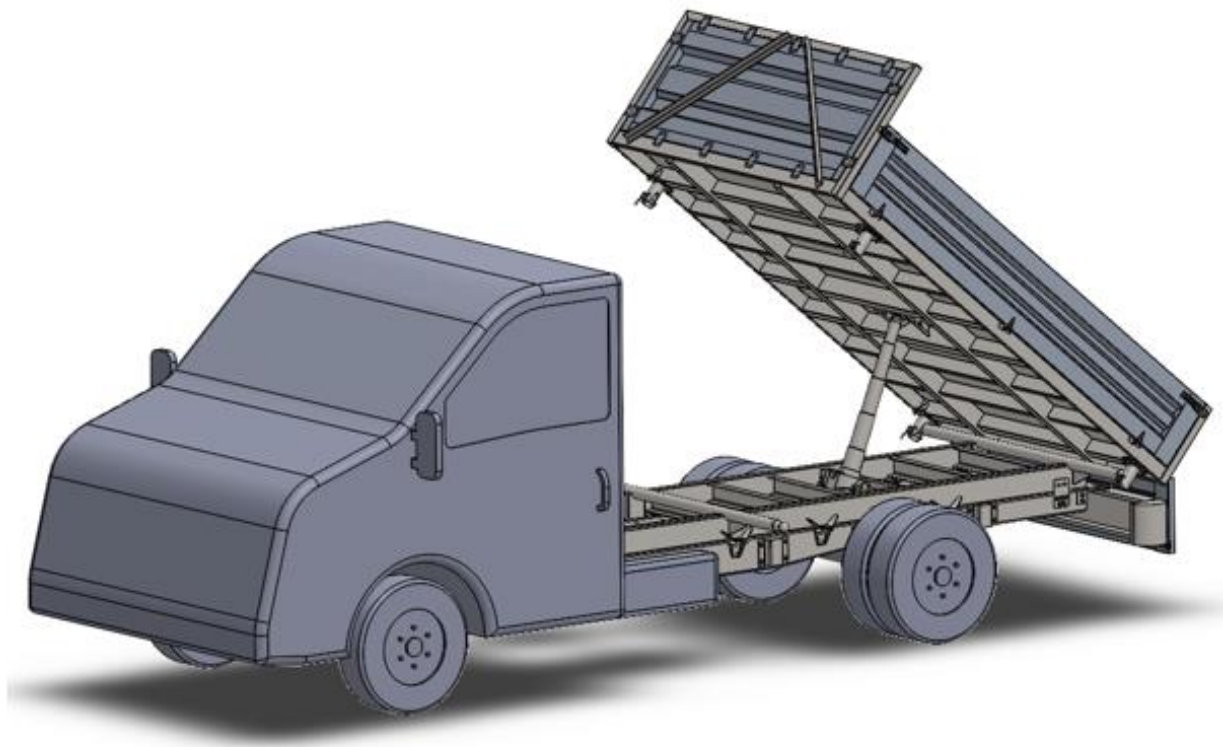
Slika 36. Crtež odabranog cilindra [6]

Tablica 5. Specifikacije odabranog cilindra [6]

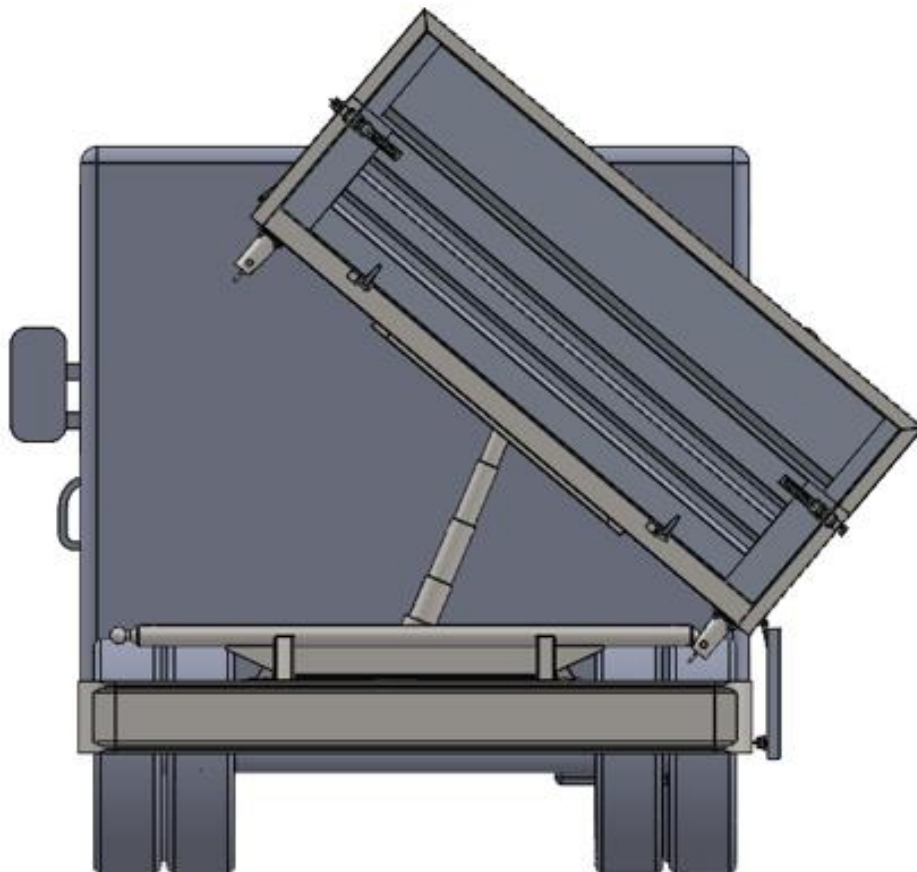
Nosivost cilindra	5 t
Hod cilindra	830 mm
Broj stupnjeva izvlačenja	5
Max. radni tlak	180 bar
Promjer kugle	45 mm
Promjer prihvata	112 mm
Masa cilindra	20,2 kg

Najnepovoljniji slučaj za cilindar predstavlja sami početak podizanja kada je sanduk u horizontalnom položaju, odnosno kada sila u cilindru djeluje vertikalno prema gore. Dakle, u tome trenutku sila u cilindru mora biti veća od težine sanduka zajedno s maksimalnom težinom tereta. Prema specifikaciji je vidljivo da nosivost cilindra iznosi 5 t, što je više od maksimalne dopuštene mase cijelog vozila (3,5 t), tako da se može zaključiti da cilindar zadovoljava s obzirom na nosivost te ga nije potrebno proračunavati. Uz sami cilindar, za montažu su još potrebni nosači te kolijevka cilindra [6]. Model odabranog hidrauličkog cilindra smještenog na podkonstrukciju prikazuje slika 37., a naganjanje tovarnog sanduka slika 38. i slika 39.

**Slika 37. Model hidrauličkog cilindra**



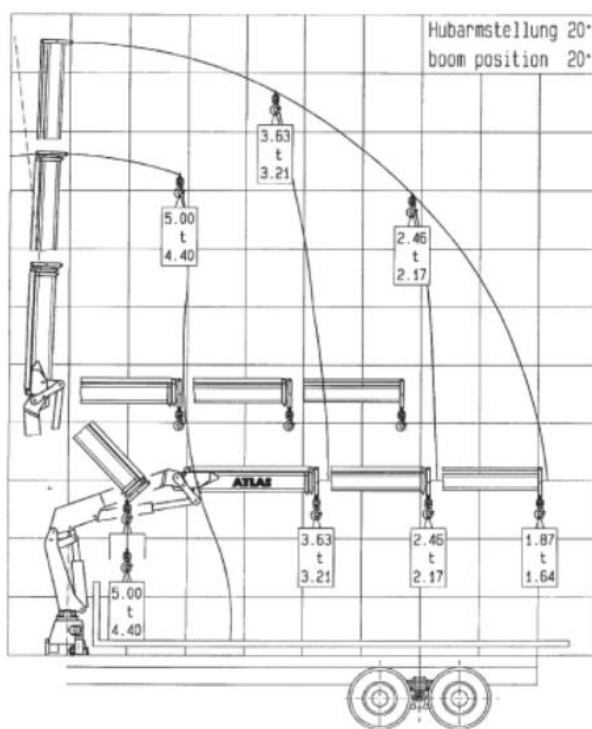
Slika 38. Prikaz naginjanja tovarnog sanduka unatrag



Slika 39. Prikaz bočnog naginjanja tovarnog sanduka

6.4. Odabir kranske dizalice

Iako je nadogradnja izvedena kao trostrani kiper koji se najčešće koristi za prijevoz rasutog tereta, kranska dizalica uvelike povećava područje korištenja nadogradnje. Kranska se dizalica može koristiti za mnogo različitih vrsta tereta, a s druge strane se značajno ubrzava vrijeme utovara i istovara (u usporedbi s ručnim). Postoje brojne tvrtke koje se bave proizvodnjom kranских dizalica sa širokim rasponom primjene i nosivosti. Performanse kranских dizalica karakterizira nosivost u funkciji radijusa (dohvata) i prikazuje se dijagramom opterećenja (primjer je dan na slici 40.). Dakle, pri odabiru dizalice potrebno je definirati nosivost dizalice na željenom radijusu.



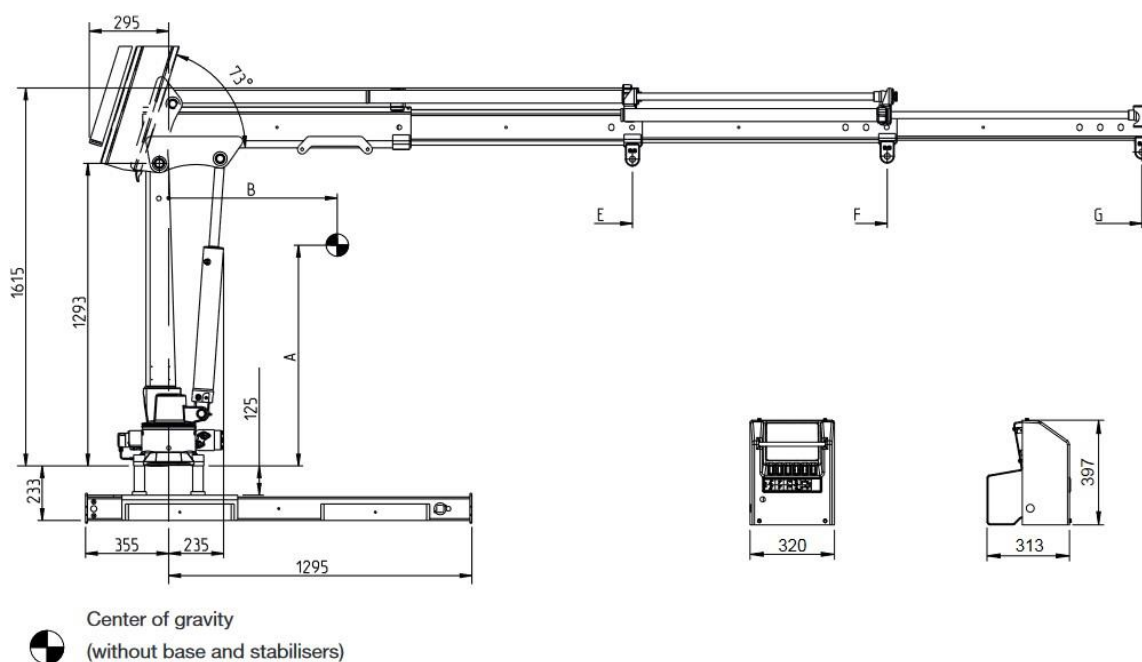
Slika 40. Primjer dijagrama opterećenja kranske dizalice [1]

Odabir dizalice predstavlja iterativni postupak. Prvo je od ukupne dopuštene mase vozila potrebno oduzeti masu vozila, podkonstrukcije i sanduka, nakon čega se dobiva preostala iskoristiva masa koja se smije postaviti na vozilo. Jedan dio preostale nosivosti će se potom iskoristiti na masu dizalice, a drugi na masu tereta. U ovom trenutku masa vozila s podkonstrukcijom i sandukom iznosi približno 2500 kg (očitano iz programskog paketa *Solidworks*).

Prema tome je odabrana kranska dizalica HIAB T-CLX 018-3 [11] s postoljem i stabilizacijskim nogama ukupne mase 328 kg (slika 41. i slika 42.). Specifikacije odabrane dizalice i dijagram opterećenja daju tablica 6. te slika 43.



Slika 41. HIAB T-CLX 018-3 [11]

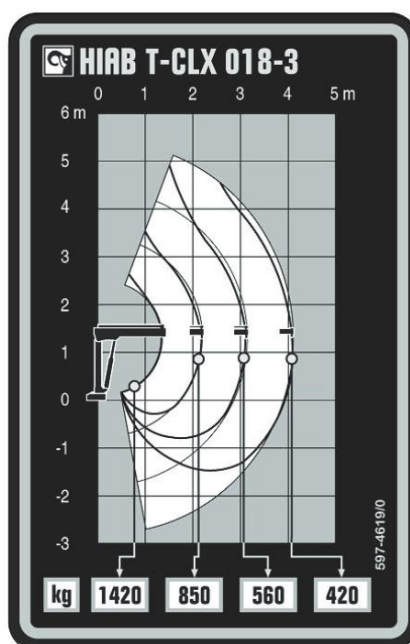


	A	B	C	D	E _{min.}	E _{max.}	F _{min.}	F _{max.}	G _{min.}	G _{max.}	H
HIAB T-CLX 018-1	770	290	530	70	1075	1981	N/A	N/A	N/A	N/A	10
HIAB T-CLX 018-2	930	570	560	60	1075	1981	1163	3069	N/A	N/A	10
HIAB T-CLX 018-3	1050	880	570	50	1075	1981	1163	3069	1250	4157	10

Slika 42. Glavne dimenzije kranske dizalice [11]

Tablica 6. Specifikacije kranske dizalice [11]

Technical data CE/CEN	T-CLX 018-1	T-CLX 018-2	T-CLX 018-3
Max. lifting capacity [kNm]	19	18	19
Lifting capacity [tm]	1,88	1,84	1,86
Outreach / lifting capacity, hydraulic extension (m / kg)	1,1/1700 1,9/990	1,2/1540 2,0/920 3,0/610	1,3/1500 2,1/910 3,1/600 4,1/450
Outreach / lifting capacity, manual extension (m / kg)	4,2/440	4,2/430	
Outreach, hydraulic extensions [m]	2	3,1	4,2
Hydraulic boom extensions [m]	0,9	1,9	2,9
Outreach, manual extensions [m]	4,2	4,2	
Lifting height above installation level [m]	3,2	4,3	5,3
Manuallifting height above installation level inc. Manual ext.[m]	5,3	5,3	
Recommended oil flow Lo [l/min]	5	5	5
Power needed at rec. oil flow [kW]	1,5	1,5	1,5
Max. working pressure [MPa]	18,5	18,5	18,5
Tank Capacity PTO [l]	18	18	18
Slewing angle [°]	330	330	330
Max. slope viable at full capacity [°]	7,5	7,4	7
Slewing torque, gross [kNm]	3	3	3
Slewing speed [°/s]	14	14	14
Height in folded position [mm]	1423	1423	1423
Width in folded position staticmounted [mm]	818	818	818
Width in folded position truck mounted beam/with stab beam and tilting [mm]	1650/1894	1650/1894	1650/1894
Installation space needed static mounted [mm]	317	317	317
Installation space needed truck mounted [mm]	426	426	426
Weight, static mounted [kg]	180	210	240
Weight, mounting frame plus 2 short hydr. stabiliser legs [kg]	88	88	88



Slika 43. Dijagram opterećenja kranske dizalice [11]

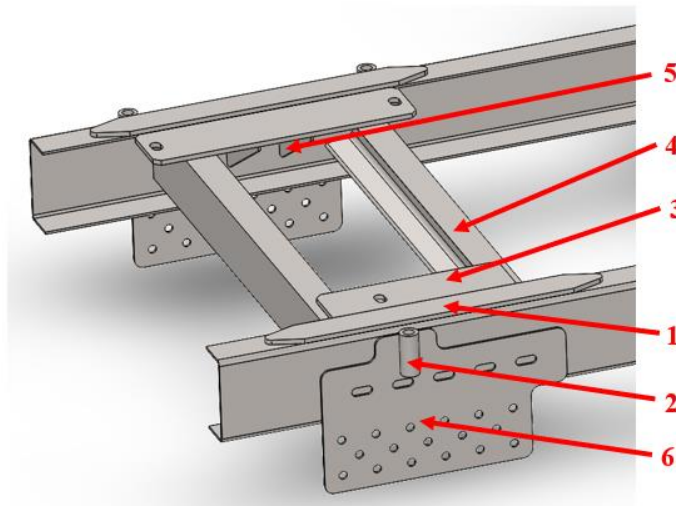
Nakon odabira prikladne kranske dizalice napravljen je 3D model prema crtežima proizvođača [11], kako prikazuje slika 44.



Slika 44. Model odabrane kranske dizalice

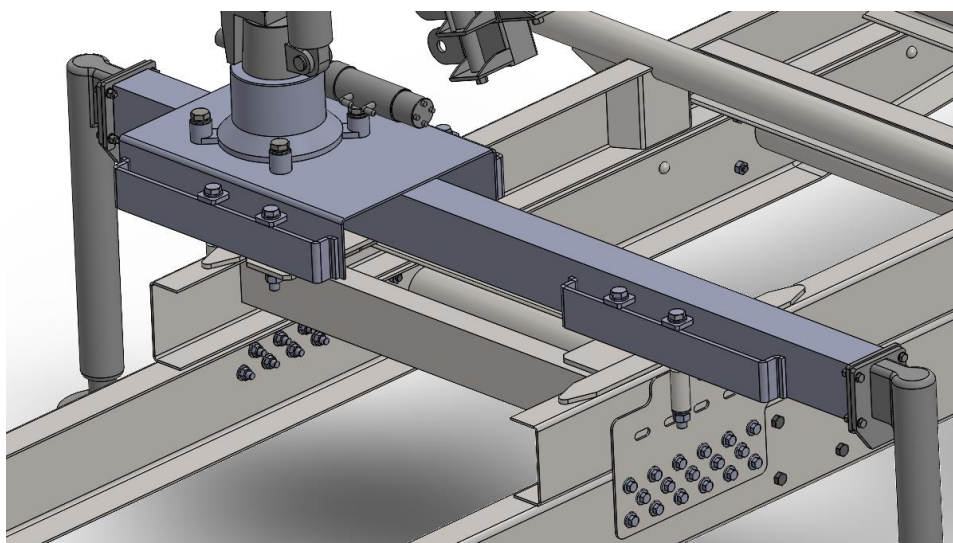
6.4.1. Oblikovanje prihvata kranske dizalice

Kranska dizalica smještena je između kabine vozila i tovarnog sanduka. Prihvat dizalice nalazi se na podkonstrukciji nadogradnje (slika 45.), a izveden je na sličan način kako je objašnjeno u točki 4.5.1.



Slika 45. Mjesto prihvata kranske dizalice na podkonstrukciji vozila

Nosač dizalice oslanja se na ploče debljine 8 mm (1), a spaja se vijčanim vezama (M16) s obje strane uzdužnih U profila. Na vanjskoj strani profila veza se ostvaruje preko cijevi (2), dok se na unutarnjoj strani nalaze ploče prihvata također debljine 8 mm (3) koje su zavarene na poprečne ukrute (4). S donje strane prihvatnih ploča dodana su rebra za dodatnu krutost konstrukcije (5). Podkonstrukcija se zatim spaja na šasiju krutim vezama (6). Slika 46. prikazuje spoj kranske dizalice s podkonstrukcijom i šasijom teretnog vozila.



Slika 46. Prikaz veze kranske dizalice s teretnim vozilom

6.5. Osovinsko opterećenje vozila

Na kraju kada je cijela nadogradnja definirana te su poznate mase i položaji svih elemenata na vozilu, potrebno je izvršiti proračun osovinskog opterećenja. Šasija vozila i podkonstrukcija savojno su opterećeni uslijed težine vozila, nadogradnje i tereta. Opterećenje se preko osovina i kotača dalje prenosi na podlogu. Potrebno je izvršiti provjeru opterećenja pojedine osovine koje je propisano od strane proizvođača vozila. U tablici 7. dane su vrijednosti opterećenja koje će se koristiti u daljnjem proračunu. Sva opterećenja određena su uz vrijednost $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Tablica 7. Opterećenja koja djeluju na vozilo

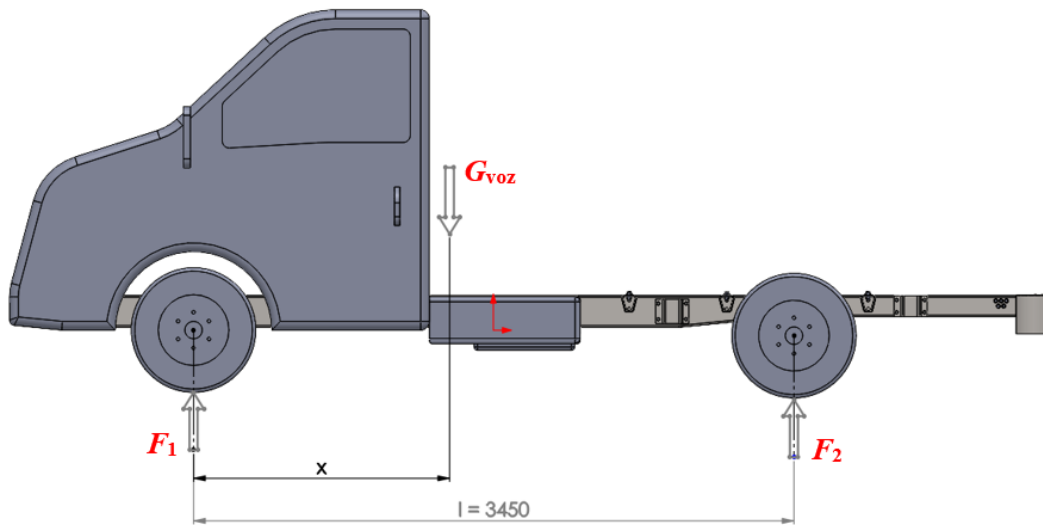
Težina vozila [N]	$G_{voz} = 19257$ [8]
Opterećenje prednje osovine bez nadogradnje [N]	$F_1 = 14165,6$ [8]
Opterećenje stražnje osovine bez nadogradnje [N]	$F_2 = 5091,4$ [8]
Dopušteno opterećenje prednje osovine [N]	$F_{1, dop} = 20601$ [8]
Dopušteno opterećenje stražnje osovine [N]	$F_{2, dop} = 25506$ [8]
Težina tovarnog sanduka s teretom [N]	$G_{s+t} = 9908,1$
Težina podkonstrukcije [N]	$G_p = 1644,2$
Težina kranske dizalice [N]	$G_k = 3217,7$

Prije samog proračuna osovinskog opterećenja potrebno je odrediti položaj težišta vozila. Budući da su poznata osovinska opterećenja i težina praznog vozila te osovinski razmak položaj težišta lako se određuje iz sume momenata oko jedne od osovina (slika 47.). Iz sume momenata oko prednje osovine slijedi:

$$\sum M_1 = 0,$$

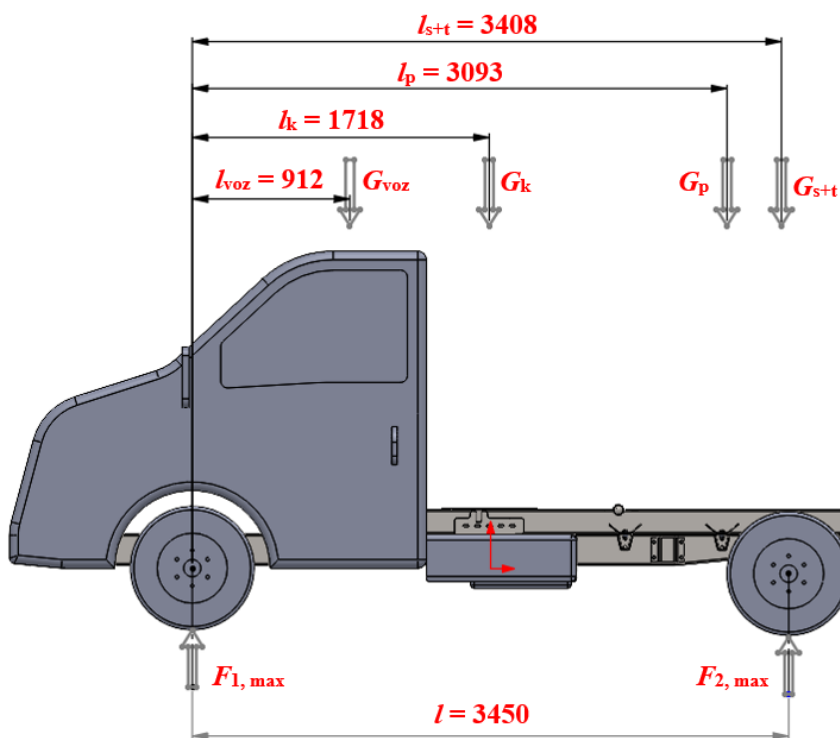
$$F_2 \cdot l - G_{voz} \cdot x = 0,$$

$$x = \frac{F_2 \cdot l}{G_{voz}} = \frac{5091,4 \cdot 3450}{19257} = 912 \text{ mm.}$$



Slika 47. Određivanje položaja težišta vozila

Nakon što je definirano težište vozila određuje se maksimalno osovinsko opterećenje vozila sa svim elementima nadogradnje i maksimalnom težinom tereta (slika 48.) koje ne smije prekoračiti dopuštene vrijednosti iz tablice 7. Udaljenosti težišta elemenata nadogradnje očitana su iz *Solidworks*-a.



Slika 48. Određivanje maksimalnog osovinskog opterećenja

Iz sume sila u vertikalnom smjeru slijedi:

$$\sum F_v = 0,$$

$$F_{1,\max} + F_{2,\max} = G_{\text{voz}} + G_k + G_p + G_{\text{s+t}}.$$

Suma momenata oko prednje osovine glasi:

$$\sum M_1 = 0,$$

$$F_{2,\max} = \frac{G_{\text{voz}} \cdot l_{\text{voz}} + G_k \cdot l_k + G_p \cdot l_p + G_{\text{s+t}} \cdot l_{\text{s+t}}}{l},$$

$$F_{2,\max} = \frac{19257 \cdot 912 + 3217,7 \cdot 1718 + 1644,2 \cdot 3093 + 9908,1 \cdot 3408}{3450} = 17954,4 \text{ N}.$$

Sada se može odrediti i maksimalno opterećenje prednje osovine:

$$F_{1,\max} = G_{\text{voz}} + G_k + G_p + G_{\text{s+t}} - F_{2,\max},$$

$$F_{1,\max} = 19257 + 3217,7 + 1644,2 + 9908,1 - 17954,4 = 16072,6 \text{ N}.$$

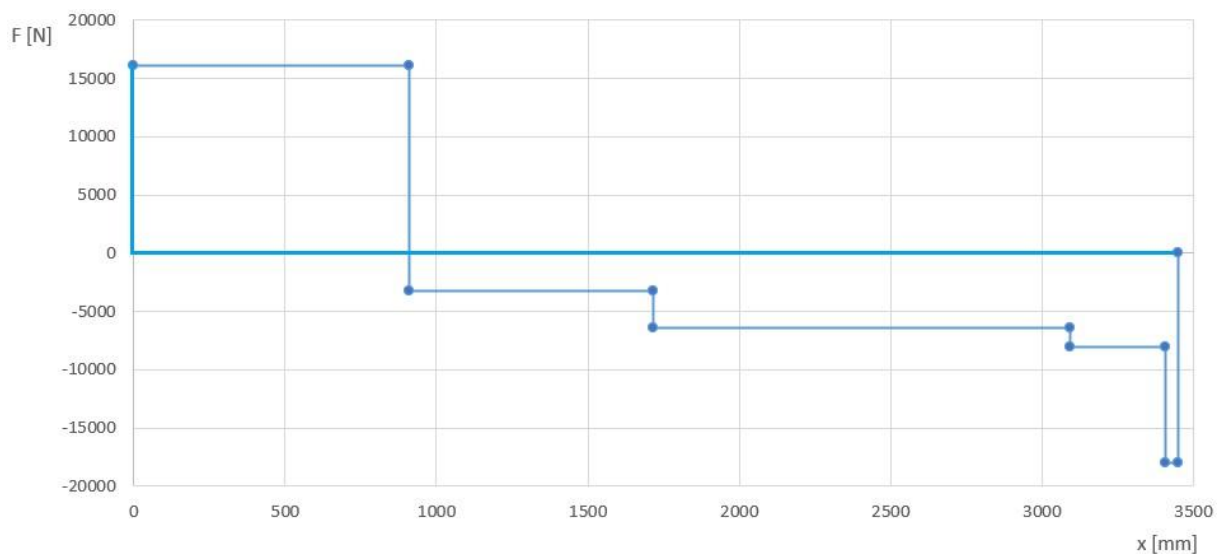
Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da su zadovoljeni uvjeti s obzirom na raspodjelu osovinskog opterećenja:

$$F_{1,\max} = 16072,6 \text{ N} < F_{1,\text{dop}} = 20601 \text{ N},$$

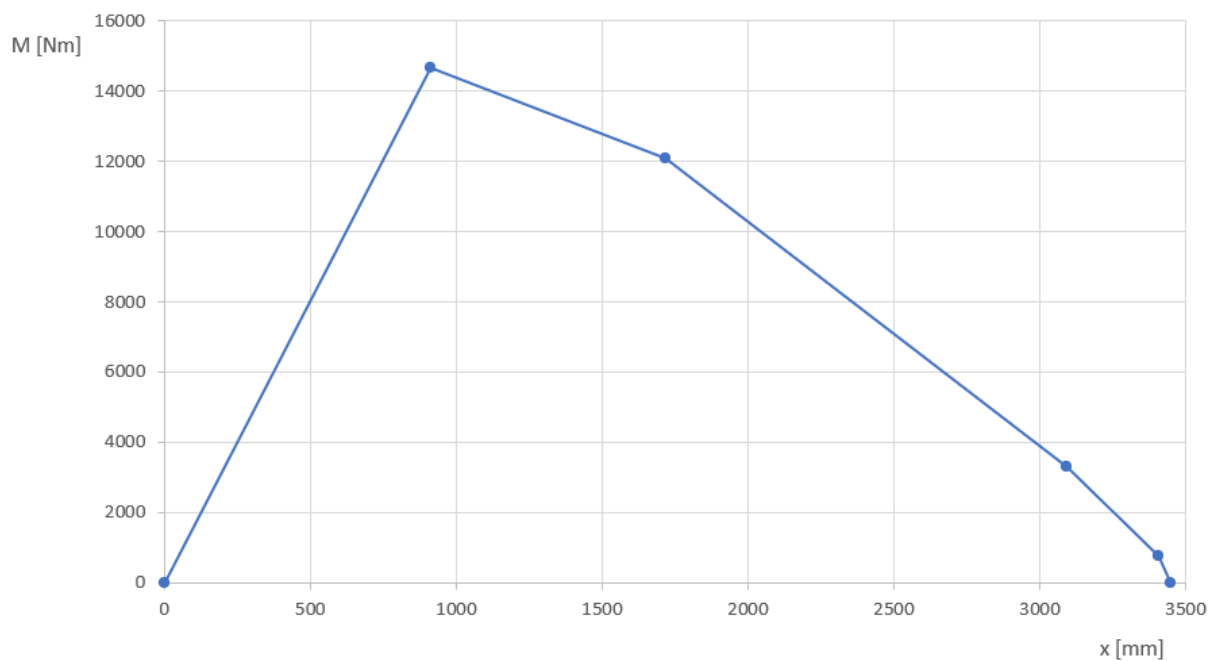
$$F_{2,\max} = 17954,4 \text{ N} < F_{1,\text{dop}} = 25506 \text{ N}.$$

6.5.1. Statička provjera naprezanja

Prema statičkom modelu sa slike 48. bit će izrađeni dijagrami poprečnih sila i momenata savijanja kako bi se odredio kritičan presjek. Na tom će se mjestu provesti proračun čvrstoće odabranog profila podkonstrukcije s obzirom na savojno opterećenje. Dijagrami poprečnih sila i momenata savijanja prikazuju slika 49. i slika 50.

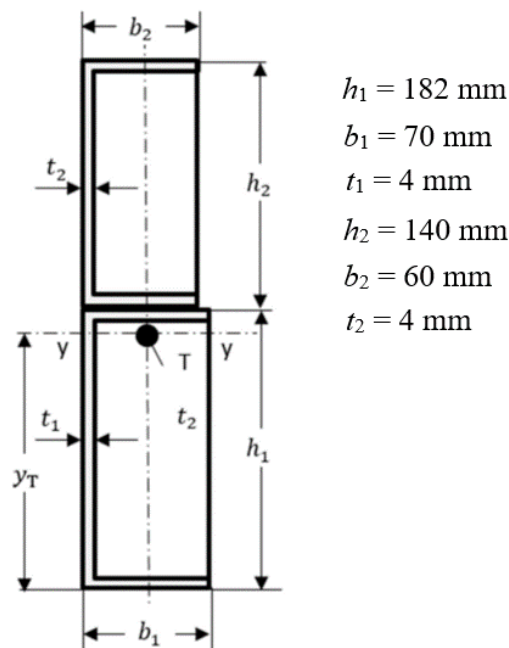


Slika 49. Dijagram raspodjele poprečnih sila



Slika 50. Dijagram raspodjele momenata savijanja

Maksimalni moment savijanja na kritičnom presjeku iznosi $M_{\max} = 14658,2$ Nm te će se za to mjesto provesti proračun nosivosti konstrukcije. Budući da su na tom mjestu podkonstrukcija i šasija kruto vezane, u proračunu se uzima ukupni moment otpora oba profila (slika 51.).



$$\begin{aligned} h_1 &= 182 \text{ mm} \\ b_1 &= 70 \text{ mm} \\ t_1 &= 4 \text{ mm} \\ h_2 &= 140 \text{ mm} \\ b_2 &= 60 \text{ mm} \\ t_2 &= 4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Slika 51. Geometrijske karakteristike kritičnog presjeka

Površine poprečnih presjeka i momenti tromosti oko osi y očitani su iz *Solidworks*-a te iznose:

$$A_1 = 1228,8 \text{ mm}^2,$$

$$A_2 = 987,4 \text{ mm}^2,$$

$$I_1 = 5969533,7 \text{ mm}^4,$$

$$I_2 = 2888053,4 \text{ mm}^4.$$

Položaj težišta presjeka iznosi:

$$y_T = \frac{A_1 \cdot \frac{h_1}{2} + A_2 \cdot (h_1 + \frac{h_2}{2})}{A_1 + A_2} = \frac{1228,8 \cdot \frac{182}{2} + 987,4 \cdot (182 + \frac{140}{2})}{1228,8 + 978,4} = 163,4 \text{ mm}.$$

Sada se može odrediti ukupni moment tromosti presjeka:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + \left(y_T - \frac{h_1}{2}\right)^2 \cdot A_1 + I_2 + \left(\frac{h_2}{2} + h_1 - y_T\right)^2 \cdot A_2 \\ &= 5969533,7 + \left(163,4 - \frac{182}{2}\right)^2 \cdot 1228,8 + 2888053,4 + \left(\frac{140}{2} + 182 - 163,4\right)^2 \cdot 987,4 \\ I &= 23049712,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momenti otpora na kritičnom presjeku tada iznose:

$$W_1 = \frac{I}{y_T} = \frac{23049712,3}{163,4} = 141063,1 \text{ mm}^3,$$

$$W_2 = \frac{I}{h_2 + (h_1 - y_T)} = \frac{23049712,3}{140 + (182 - 163,4)} = 145332,4 \text{ mm}^3.$$

Budući da se proračun momenata otpora provodio za polovicu konstrukcije, isto tako je potrebno uzeti polovicu iznosa maksimalnog momenta savijanja koji iznosi:

$$M_{kr} = 0,5 \cdot M_{max} = 0,5 \cdot 14658200 = 7329100 \text{ Nmm}.$$

Maksimalna naprezanja na kritičnom presjeku iznose:

$$\sigma_1 = \frac{M_{kr}}{W_1} = \frac{7329100}{141063,1} = 51,96 \text{ N/mm}^2,$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{kr}}{W_2} = \frac{7329100}{145332,4} = 50,43 \text{ N/mm}^2.$$

Postojeće sigurnosti tada iznose:

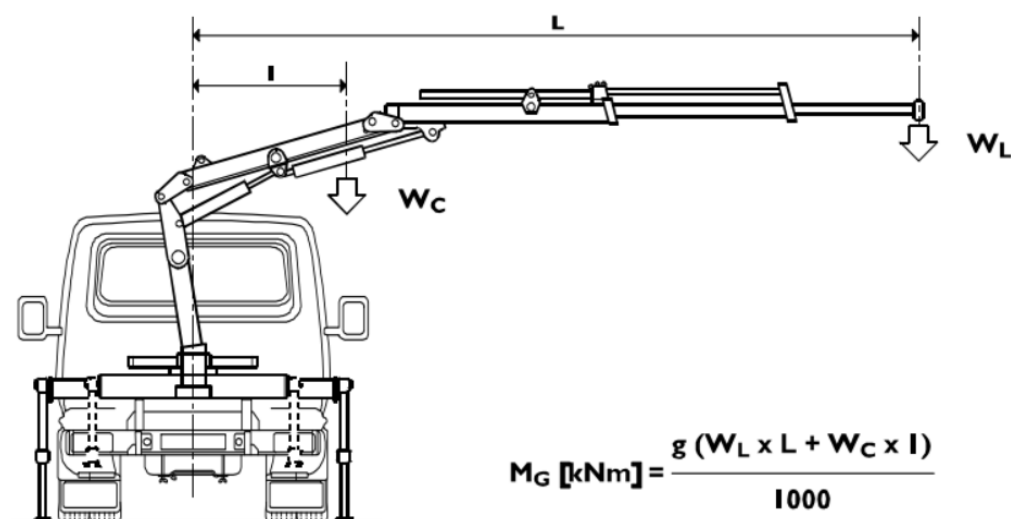
$$S_1 = \frac{R_{e,S355J2G3}}{\sigma_1} = \frac{360}{51,96} = 6,93,$$

$$S_2 = \frac{R_{e,S355J2G3}}{\sigma_2} = \frac{360}{50,43} = 7,14.$$

Prema postojećim faktorima sigurnosti zaključuje se da odabrani U profili podkonstrukcije zadovoljavaju proračun čvrstoće.

6.6. Statička provjera naprezanja na mjestu kranske dizalice

Prema uputi proizvođača provjera naprezanja na mjestu oslanjanja kranske dizalice vrši se na način kako prikazuje slika 52. Potrebno je odrediti maksimalni ukupni statički moment koji djeluje na podkonstrukciju prilikom podizanja tereta, a zatim prema tablici 8. usporediti moment otpora podkonstrukcije s preporučenim.



Slika 52. Određivanje ukupnog statičkog momenta prilikom podizanja tereta [5]

Tablica 8. Preporučene vrijednosti momenta otpora [5]

Model	Frame section [mm]	Total torque M_G max [kNm]								
		20	20 30	30 40	40 50	50 60	60 70	70 80	80 90	90 100
		Minimum value of the modulus of resistance of the counter chassis section W_x [cm ³] ⁽¹⁾ with yield point of the material equal to 360 N/mm ²								
35C, 40C	174x70x4	21	36	57	89	E				
45C, 50C	174x70x4	21	36	57	89	105	E			
60C, 65C, 70C	174x69x5	19	21	46	57	89	105	E		

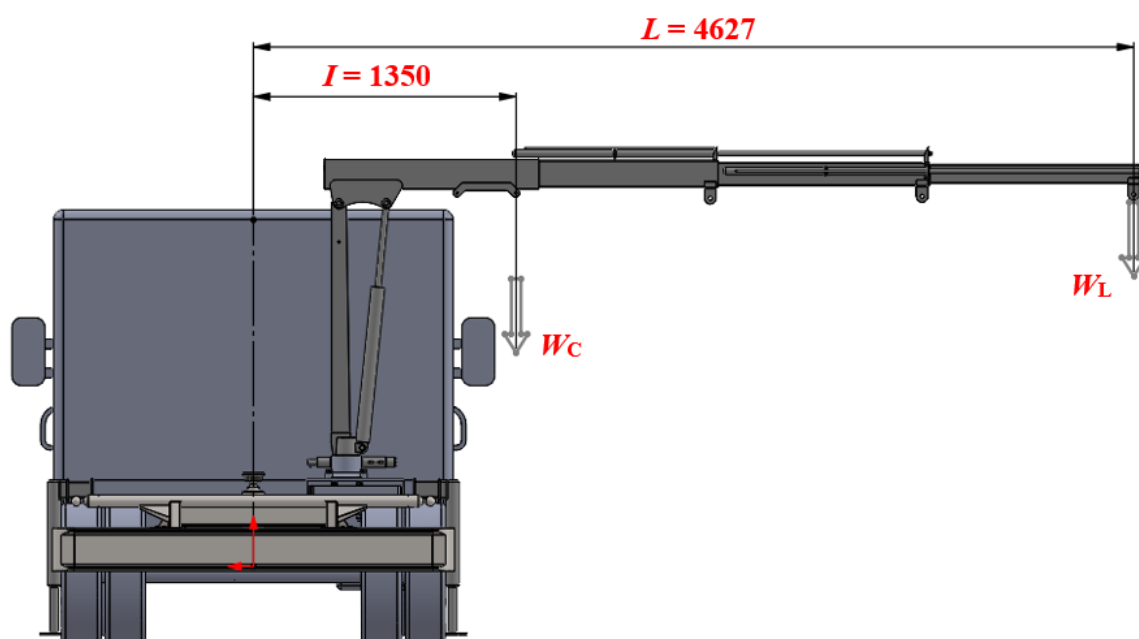
Udaljenosti težišta kranske dizalice i najveće težine tereta koja se može podizati kod maksimalnog dohvata iznose kako je prikazano na slici 53., a pripadajuće mase prema specifikaciji dizalice iznose:

$$W_C = 328 \text{ kg,}$$

$$W_L = 420 \text{ kg.}$$

Prema tome maksimalni moment koji djeluje na podkonstrukciju iznosi:

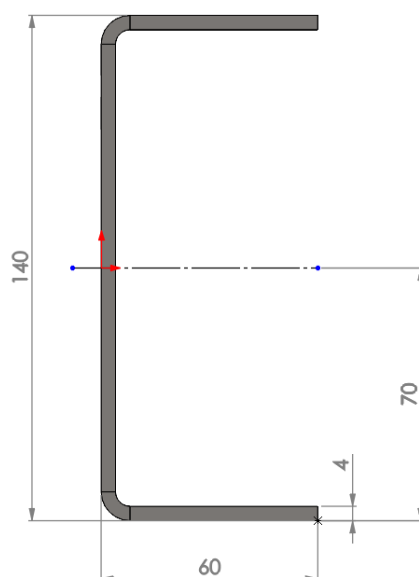
$$M_G = \frac{g \cdot (W_L \cdot L + W_C \cdot I)}{1000} = \frac{9,81 \cdot (420 \cdot 4,627 + 328 \cdot 1,350)}{1000} = 23,4 \text{ kNm.}$$



Slika 53. Statički model opterećenja podkonstrukcije prilikom podizanja tereta

Poprečni presjek profila podkonstrukcije prikazuje slika 54. Moment tromosti presjeka jednak je momentu tromosti I_2 određenom u točki 6.5.1. jer poprečni presjek U profila ostaje nepromijenjen duž podkonstrukcije:

$$I_2 = 2888053,4.$$



Slika 54. Poprečni presjek profila uzdužnog podkonstrukcije

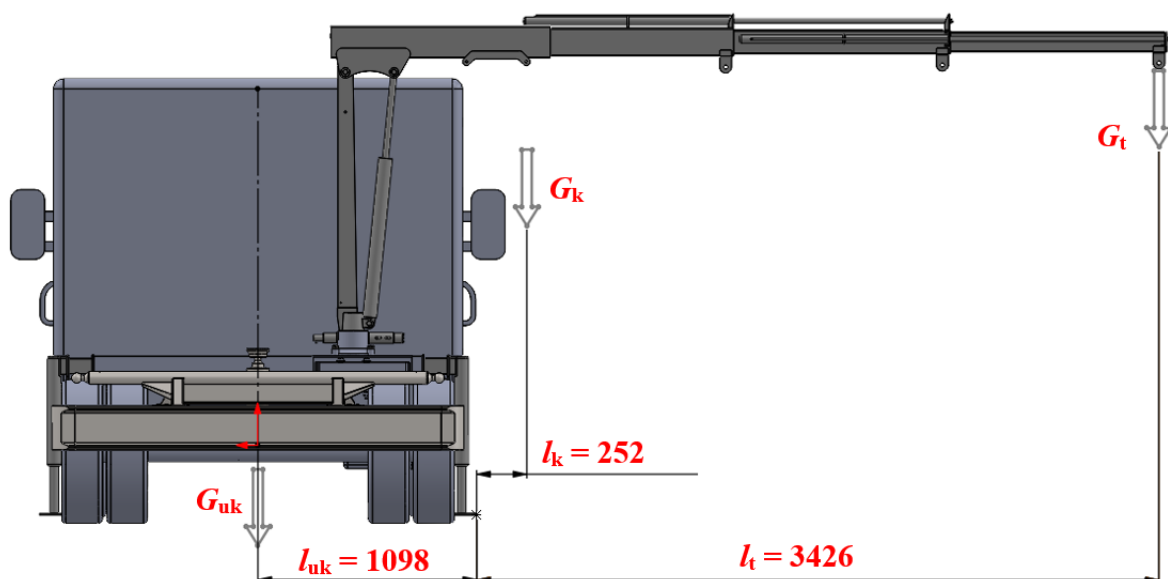
Sada se može odrediti moment otpora presjeka:

$$W_{pod} = \frac{I_2}{y_T} = \frac{2888053,4}{70} = 41257,9 \text{ mm}^3 = 41,26 \text{ cm}^3.$$

Usporede li se dobiveni rezultati s vrijednostima iz Tablice 8. vidljivo je da za vrijednosti momenta $20 \div 30 \text{ kNm}$ moment otpora presjeka mora biti minimalno 36 cm^3 . Budući da moment otpora presjeka profila podkonstrukcije iznosi $41,26 \text{ cm}^3$, zaključuje se da odabrani profil zadovoljava.

6.7. Stabilnost vozila prilikom podizanja tereta

Osim provedene kontrole čvrstoće podkonstrukcije, potrebno je još izvršiti provjeru stabilnosti vozila prilikom podizanja tereta na maksimalnom dohvatu kako je prikazano na slici 55. Moment što ga čini ukupna masa vozila s nadogradnjom mora biti veći od momenta prevrtanja uslijed težine kranske dizalice i tereta.



Slika 55. Statički model podizanja tereta

Udaljenosti težišta kranske dizalice, najveće težine tereta koja se može podizati kod maksimalnog dohvata te ukupne težine vozila s nadogradnjom iznose kako je prikazano na slici 55., a pripadajuća opterećenja iznose:

$$G_k = 3217,7 \text{ N},$$

$$G_t = W_L \cdot g = 420 \cdot 9,81 = 4120,2 \text{ N},$$

$$G_{uk} = m_{uk} \cdot g = 2500 \cdot 9,81 = 24525 \text{ N},$$

pri čemu m_{uk} predstavlja ukupnu masu vozila s nadogradnjom očitano iz *Solidworks*-a.

Provjera momenta stabilnosti glasi:

$$G_{uk} \cdot l_{uk} > G_k \cdot l_k + G_t \cdot l_t,$$

$$24525 \cdot 1,098 > 3217,7 \cdot 0,252 + 4120,2 \cdot 3,426,$$

$$26928,4 \text{ Nm} > 15805,1 \text{ Nm}.$$

Vozilo zadovoljava proračun stabilnosti.

6.8. Konačan proračun nosivosti nadogradnje

Na kraju je potrebno odrediti konačnu nosivost nadogradnje, odnosno maksimalnu masu tereta koja se smije prevoziti u tovarnom sanduku. Na početku konstrukcijske razrade zadana je ukupna masa nadogradnje s teretom ($m_{n+t} = 1537 \text{ kg}$) od koje će se oduzeti masa nadogradnje i tako dobiti najveća masa tereta. Ukupna masa nadogradnje zajedno s kranskom dizalicom i hidrauličkim cilindrom očitana je iz *Solidworks*-a i iznosi:

$$m_n = 867 \text{ kg},$$

Prema tome nosivost vozila iznosi:

$$m_t = m_{n+t} - m_n = 1537 - 867 = 670 \text{ kg}.$$

ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje proces konstruiranja nadogradnje za prijevoz rasutog tereta. U uvodnim točkama rada dan je pregled vozila i karakterističnih nadogradnji za N1 kategoriju. Također su navedeni trenutno važeći propisi vezani uz dimenzije i nosivost vozila.

Konstruktivska razrada započinje definiranjem liste zahtjeva prema kojoj se potom odabiru konstruktivska rješenja. Da bi se ispunili osnovni zahtjevi, nadogradnja treba sadržavati tovarni sanduk te nosivu podkonstrukciju na koju će se oslanjati. Također se mora omogućiti naganjanje sanduka na tri strane da se olakša istovar materijala. Iako je ovaj tip nadogradnje specifičan za prijevoz rasutog materijala, dodaje se kranska dizalica kako bi se povećalo područje primjene vozila.

Nakon odabira konstruktivskih rješenja kreće faza konstruiranja u kojoj se oblikuju tovarni sanduk, podkonstrukcija te mjesto oslanjanja kranske dizalice. Za naganjanje sanduka odabire se hidraulički cilindar koji se oslanja na podkonstrukciju. Prema preostaloj nosivosti odbrana je prikladna kranska dizalica. Prilikom konstruiranja proveden je proračun čvrstoće nosive konstrukcije, osovinskog opterećenja te stabilnosti vozila.

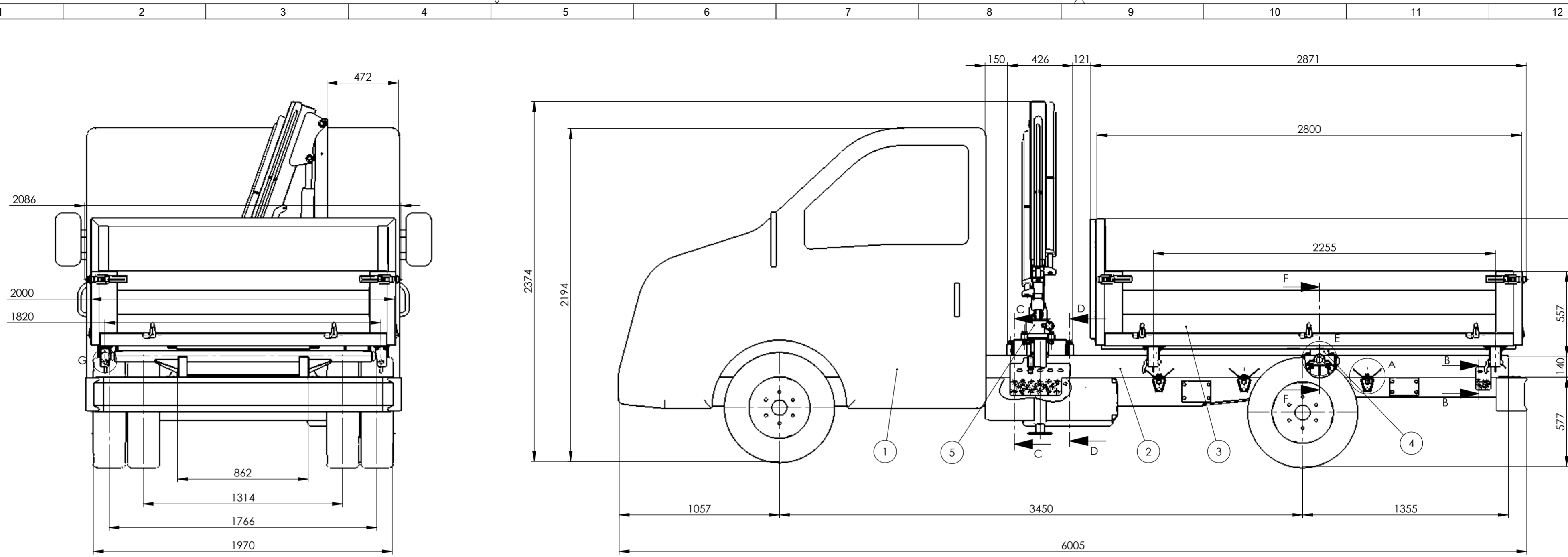
Za kraj su napravljeni 3D model nadogradnje i tehnička dokumentacija dana u prilogu. Prilikom izrade proračuna i tehničke dokumentacije korištena je važeća literatura te su također poštivani tehnički propisi i norme vezane za konstrukciju nadogradnje.

LITERATURA

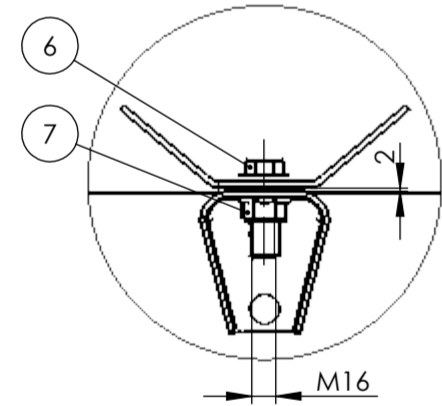
- [1] Hoepke, E., Breuer, S.: *Nutzfahrzeugtechnik – Grundlagen, Systeme, Komponenten*; Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [2] Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama, Narodne novine, izdanje NN 85/2016
- [3] <https://www.iveco.com/croatia/Pages/HomePage.aspx>
- [4] https://sutter-fahrzeugbau.ch/de/109/Info/fahrzeugaufbauten/3-seitenkipper/alle_produkte/sutter-3-seitenkipper-3-5t-mit-frontkran#ref
- [5] Iveco Group: *New Daily Bodybuilder instructions*, 2014.
- [6] <https://www.rositeh.hr>
- [7] Mercedes-Benz: *Body/Equipment Mounting, Directives for Trucks*, 2018.
- [8] Iveco Group: *Vehicle Cab Scheme 35C/40C/50C FIA-FIC*, službena tehnička dokumentacija
- [9] <http://www.bidd-samobor.hr/proizvodi/cijevi-pravokutne/toplo-oblikovane/>
- [10] <https://www.meiller.com/de/>
- [11] <https://www.hiab.com/en/product-finder/loader-cranes/hiab/hiab-t-clx-018>
- [12] <https://webshop.schachermayer.com/cat/hr-BA>
- [13] Šagi G., Ilinčić P., Tomić R. : *Konstrukcija nadogradnji vozila i priključnih vozila*, predavanja, Zagreb, 2020./2021.

PRILOZI

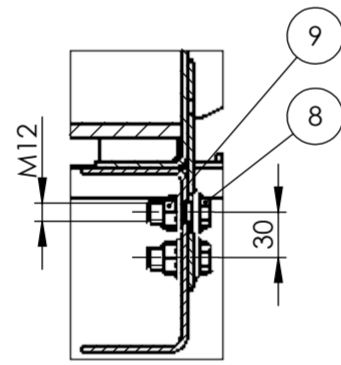
I. Tehnička dokumentacija



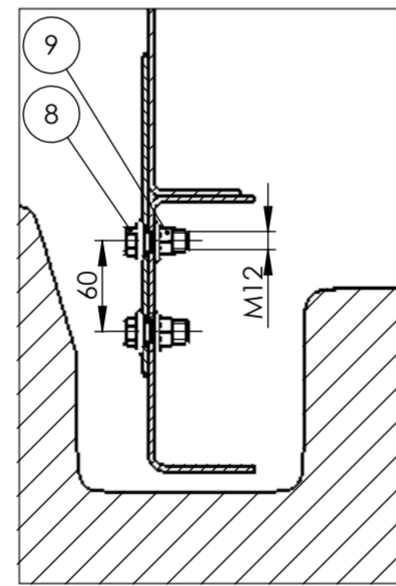
Detalj A
(M1:5)



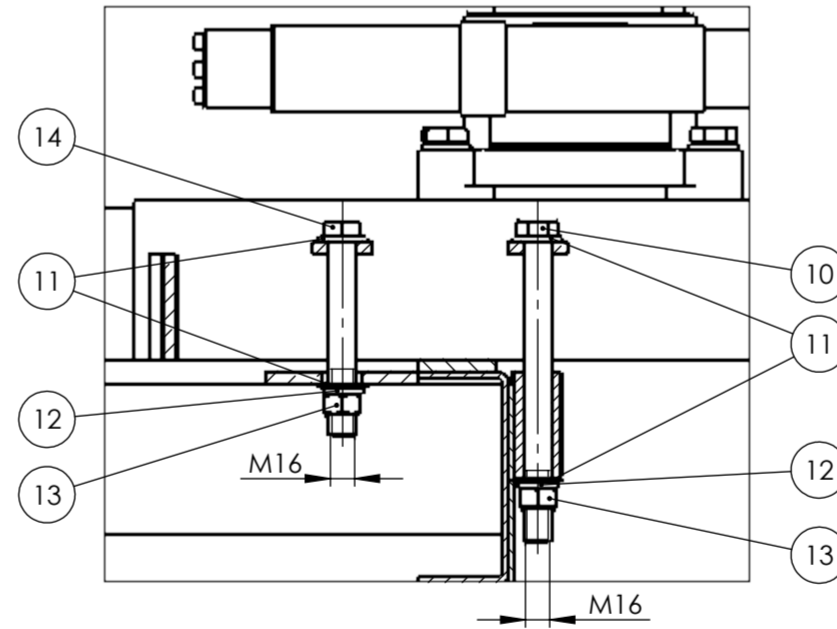
Presjek B-B
(M1:5)



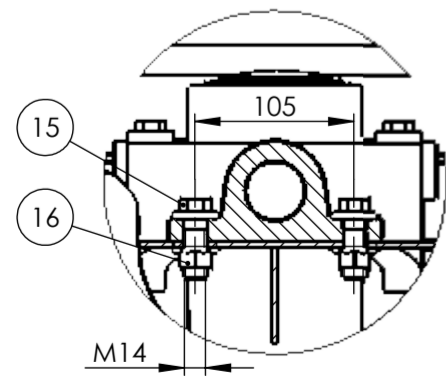
Presjek C-C
(M1:5)



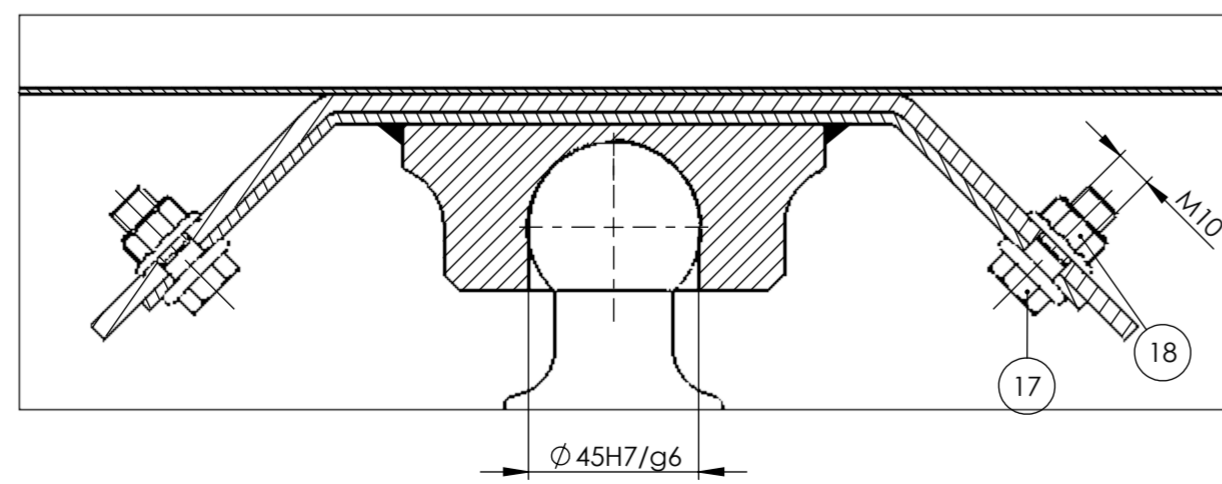
Presjek D-D
(M1:5)



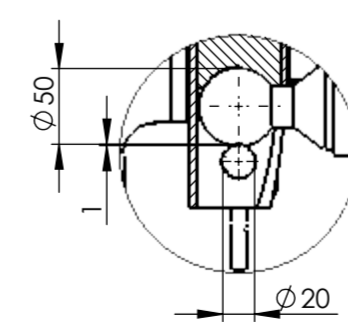
Detalj E
(M1:5)



Presjek F-F
(M1:2)



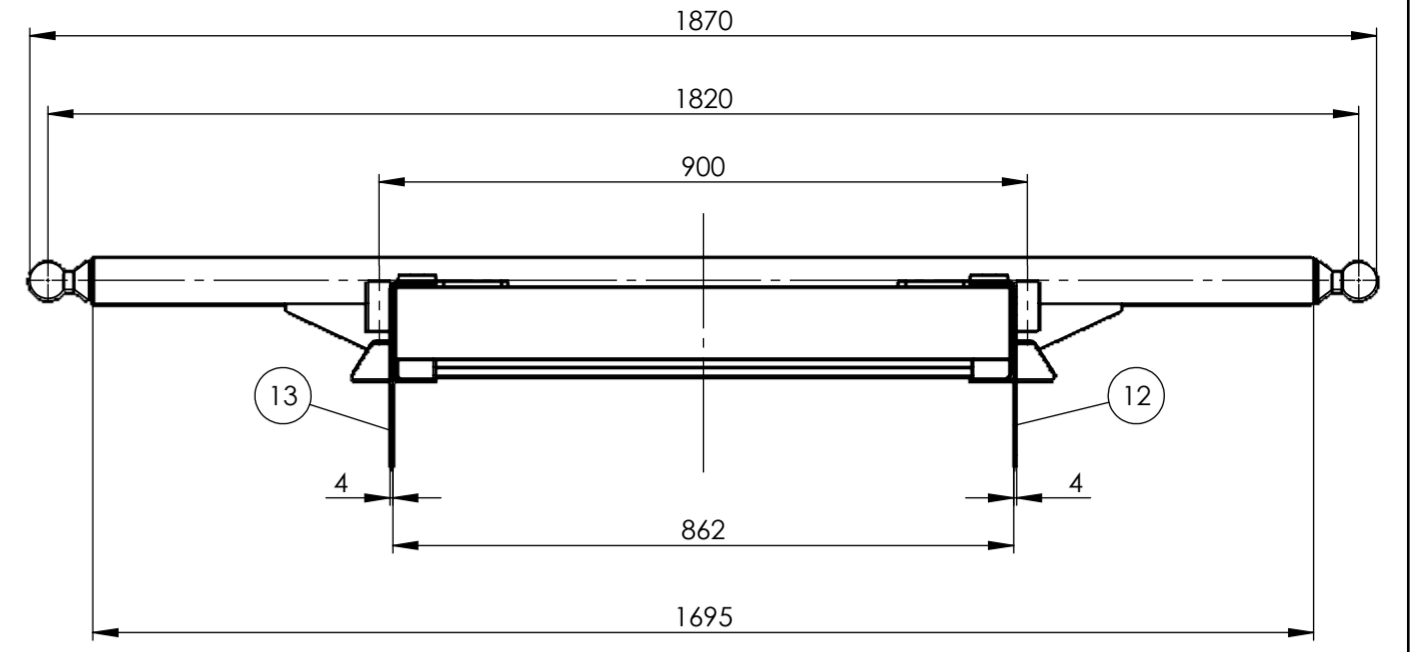
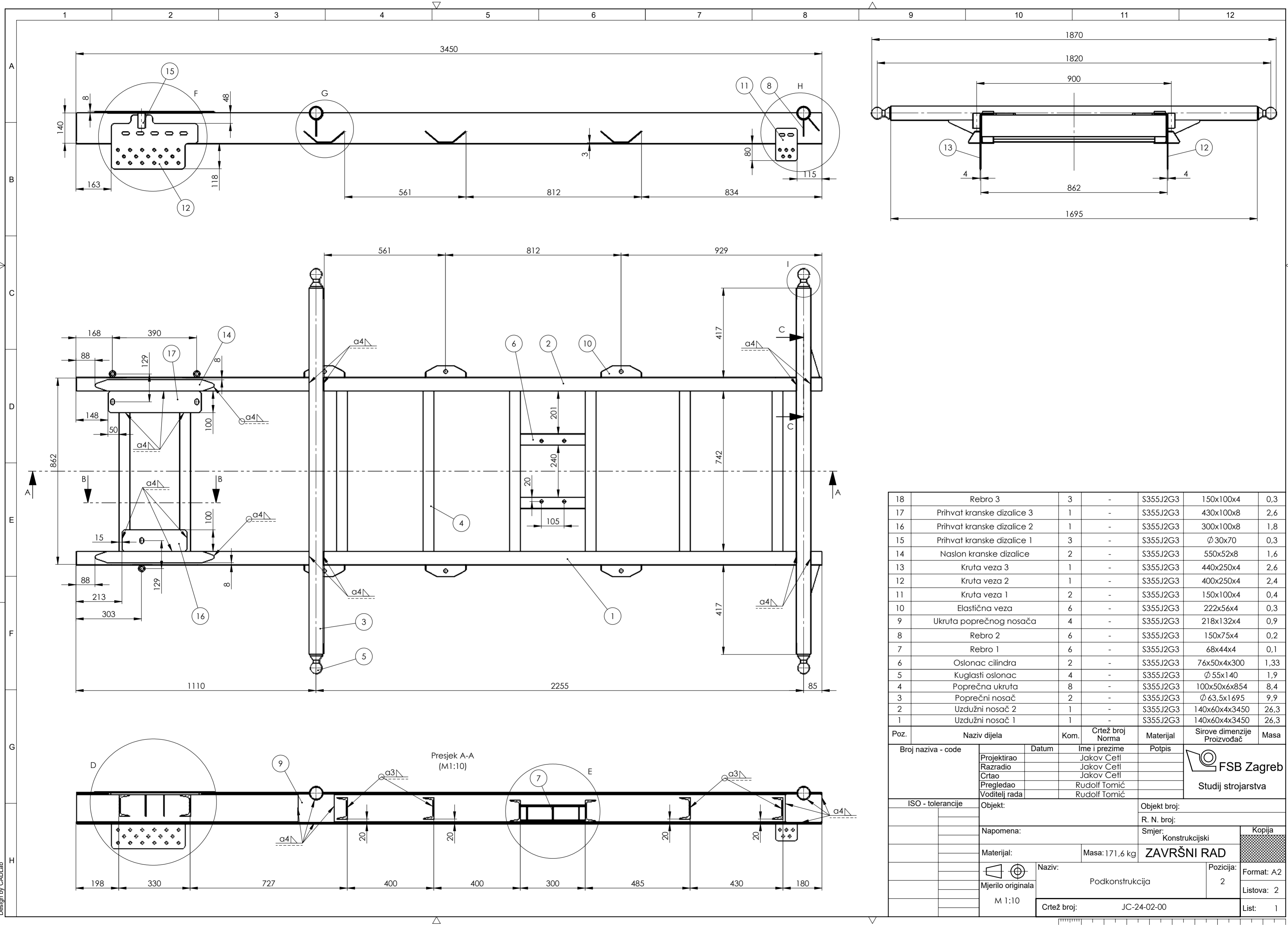
Detalj G
(M1:5)



18	Matica M10	6	DIN 6923	-	M10	-
17	Vijak M10x30	6	DIN 6921	-	M10x30	-
16	Matica M14	4	DIN 6923	-	M14	-
15	Vijak M14x40	4	DIN 6921	-	M14x40	-
14	Vijak M16x130	3	DIN 931	-	M16x130	-
13	Matica M16	6	DIN 934	-	M16	-
12	Podloška 16	6	DIN 127 B	-	-	-
11	Podloška 16	12	DIN 125 A	-	-	-
10	Vijak M16x200	3	DIN 931	-	M16x200	-
9	Matica M12	44	DIN 6923	-	M12	-
8	Vijak M12x30	44	DIN 6921	-	M12x30	-
7	Matica M16	6	DIN 6923	-	M16	-
6	Vijak M16x50	6	DIN 6921	-	M16x50	-
5	Kranska dizalica	1	-	-	HIAB T-CLX 018-3	328
4	Hidraulički cilindar	1	-	-	-	31,1
3	Sklop sanduka	1	-	-	-	339,1
2	Podkonstrukcija	1	JC-24-02-00	-	-	171,6
1	Iveco Daily 35C12	1	-	-	-	1963

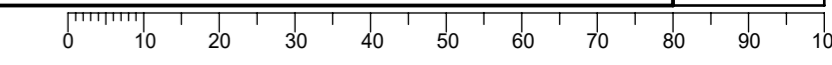
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis
Projektirao		Razradio		Crtao		Pregledao
Voditelj rada		Voditelj rada		Voditelj rada		Voditelj rada
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		R. N. broj:
Ø45H7/g6		Napomena:		Smjer: Konstrukcijski		Kopija
Materijal:		Masa: 2830 kg		ZAVRŠNI RAD		Kopija
Mjerilo originala		Naziv: Sklop nadogradnje		Pozicija:		Format: A2
Crtež broj: JC-24-00-00		Listova: 1		List: 1		



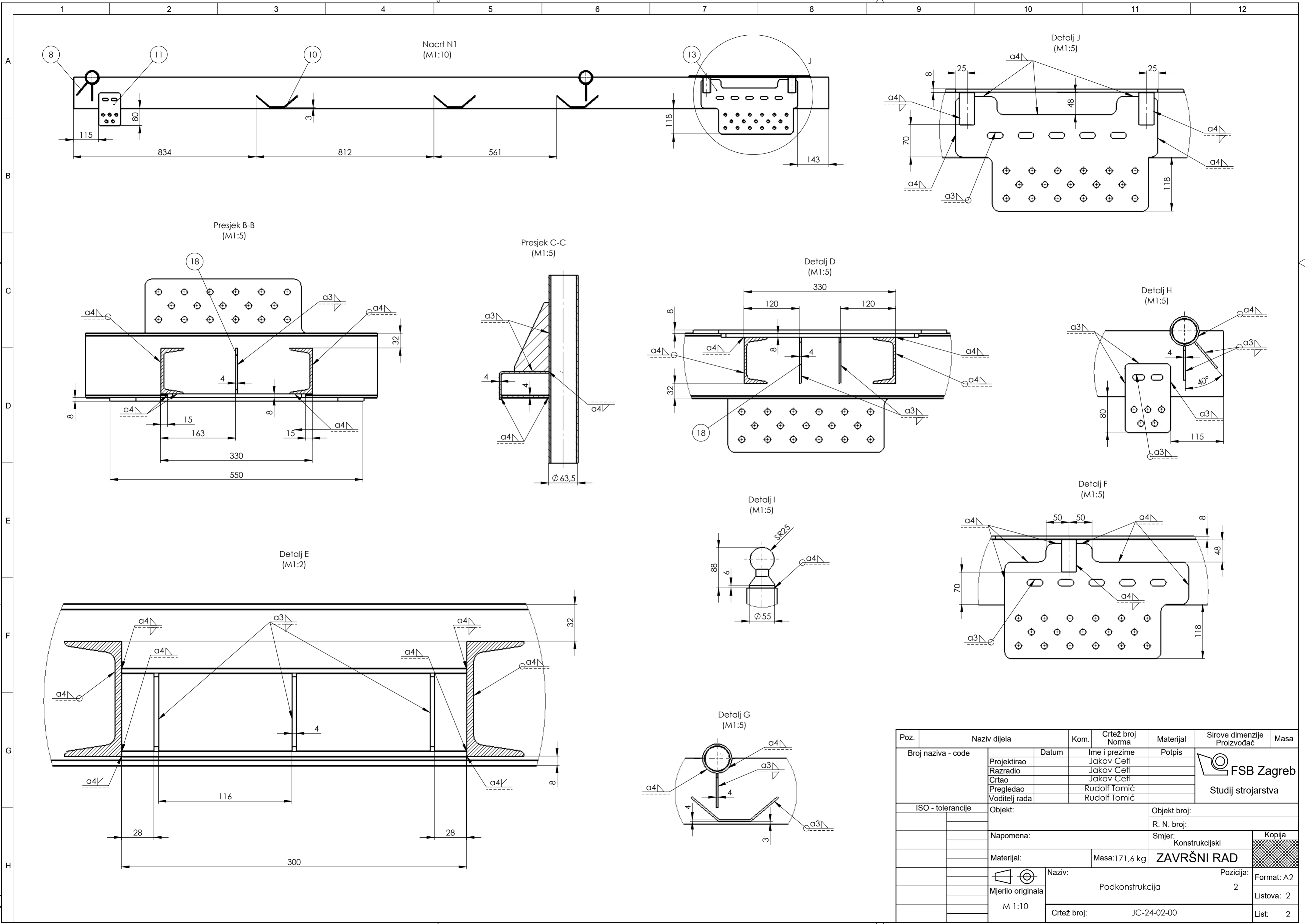


Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
18	Rebro 3	3	-	S355J2G3	150x100x4	0,3
17	Prihvat kranske dizalice 3	1	-	S355J2G3	430x100x8	2,6
16	Prihvat kranske dizalice 2	1	-	S355J2G3	300x100x8	1,8
15	Prihvat kranske dizalice 1	3	-	S355J2G3	∅ 30x70	0,3
14	Naslon kranske dizalice	2	-	S355J2G3	550x52x8	1,6
13	Kruta veza 3	1	-	S355J2G3	440x250x4	2,6
12	Kruta veza 2	1	-	S355J2G3	400x250x4	2,4
11	Kruta veza 1	2	-	S355J2G3	150x100x4	0,4
10	Elastična veza	6	-	S355J2G3	222x56x4	0,3
9	Ukruta poprečnog nosača	4	-	S355J2G3	218x132x4	0,9
8	Rebro 2	6	-	S355J2G3	150x75x4	0,2
7	Rebro 1	6	-	S355J2G3	68x44x4	0,1
6	Oslonac cilindra	2	-	S355J2G3	76x50x4x300	1,33
5	Kuglasti oslonac	4	-	S355J2G3	∅ 55x140	1,9
4	Poprečna ukruta	8	-	S355J2G3	100x50x6x854	8,4
3	Poprečni nosač	2	-	S355J2G3	∅ 63,5x1695	9,9
2	Uzdužni nosač 2	1	-	S355J2G3	140x60x4x3450	26,3
1	Uzdužni nosač 1	1	-	S355J2G3	140x60x4x3450	26,3

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Projektirao			Jakov Češl		
Razradio			Jakov Češl		
Crtao			Jakov Češl		
Pregledao			Rudolf Tomić		
Voditelj rada			Rudolf Tomić		
ISO - tolerancije		Objekt broj:		Objekt broj:	
		R. N. broj:		R. N. broj:	
Napomena:		Smjer:		Kopija	
		Konstrukcijski		Kopija	
Materijal:		Masa: 171,6 kg		ZAVRŠNI RAD	
Mjerilo originala		Naziv:		Format: A2	
M 1:10		Podkonstrukcija		Listova: 2	
		Crtež broj:		List: 1	
		JC-24-02-00			



Design by CADLab



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 Studij strojarstva	
	Razradio		Jakov Četi			
	Crtao		Jakov Četi			
	Pregledao		Rudolf Tomić			
	Voditelj rada		Rudolf Tomić			
ISO - tolerancije				Objekt broj:		
Objekt:				R. N. broj:		
Napomena:				Smjer:		Kopija
Materijal:				Masa: 171,6 kg		ZAVRŠNI RAD
Mjerilo originala			Naziv:		Pozicija:	Format: A2
M 1:10			Podkonstrukcija		2	Listova: 2
Crtež broj:			JC-24-02-00			List: 2

