

# Konvejer s recipročnom rešetkom za spalionicu

---

**Klišanin, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:728947>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

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

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Marko Klišanin**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Matija Hoić, mag. ing.

Student:

Marko Klišanin

Zagreb, 2023.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na svojoj potpori koju su mi pružili tijekom studija. Također, zahvaljujem tvrtki Irsag d.o.o. na ukazanom povjerenju pri zadavanju ovoga zadatka kao i mentoru na korisnim savjetima. Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Marko Klišanin



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za 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 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Klišanin**

JMBAG: 0035199811

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konvejer s recipročnom rešetkom za spalionicu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Reciprocating grate conveyor for incinerator**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati konvejer s recipročnom rešetkom za dobavu materijala spalionice. Spalionica s predmetnim konvejerom dio je toplane koja u radu kombinira gorivo dobiveno iz otpada (eng. *Refuse-derived fuel* - RDF) sa prirodnim plinom.

Ciljano konstrukcijsko rješenje mora imati sljedeće karakteristike:

- |  |                |
|--|----------------|
| 1) Duljina konstrukcije:                         | 10 000 mm,     |
| 2) Širina konstrukcije:                          | 3200 mm,       |
| 3) Početna visina s koje dolazi RDF gorivo:      | 3800 mm,       |
| 4) Krajnja visina zida preko kojeg pada pepeo:   | 900 mm,        |
| 5) Unutarnji promjer cijevi za dovod RDF goriva: | 500 mm,        |
| 6) Broj cijevi za dovod RDF goriva:              | 2,             |
| 7) Nominalni maseni protok RDF goriva:           | 1,795 t/h,     |
| 8) Pogon stepenastih rešetki:                    | hidraulički,   |
| 9) Vrsta gibanja:                                | translacijsko, |
| 10) Materijal podloge:                           | beton,         |
| 11) Temperatura kojoj je izložena konstrukcija:  | 200°C,         |
| 12) Hlađenje:                                    | zračno.        |

Rad treba sadržavati:

- 1) Uvodni pregled konvejera s recipročnom rešetkom,
- 2) Opis razmatranih koncepcija rješenja te obrazloženje odabira rješenja,
- 3) Proračun pogonskog mehanizma,
- 4) Proračun nosive konstrukcije,
- 5) Sklopni crtež konvejera s potrebnim presjecima i detaljima,
- 6) Radioničku dokumentaciju prema dogovoru s mentorom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

17. studenoga 2022.


19. siječnja 2023.

23.- 27. siječnja 2023.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Matija Hoić

Prof. dr. sc.  Tanja Jurčević Lulić



## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY .....	XI
1. UVOD .....	1
2. OPĆI PREGLED KONVEJERA .....	2
2.1. Trakasti konvejeri .....	2
2.2. Valjčani konvejeri.....	3
2.3. Lančani konvejeri .....	4
2.4. Člankasti konvejeri .....	5
2.5. Elevatori.....	6
2.6. Pužni konvejeri .....	7
2.7. Ovjesni konvejeri.....	8
2.8. Vibracijski konvejeri .....	9
2.9. Pneumatski konvejeri.....	10
2.10. Klizne staze.....	11
3. KONVEJERI S RECIPROČNOM REŠETKOM .....	12
4. PREGLED POSTOJEĆIH RJEŠENJA.....	14
4.1. Proizvodi tvrtke <i>Detroit Stoker Company</i> .....	14
4.1.1. <i>Reciprograte Stoker</i> .....	14
4.1.2. <i>RotoGrate Stoker</i> .....	15
4.1.3. <i>Hydrograte Stoker</i> .....	16
4.2. <i>Cell Furnace</i> tvrtke <i>Wellons</i> .....	16
4.3. Rotirajuće peći tvrtke <i>Igniss Energy</i> .....	17
5. LOŽIŠTE.....	19
6. GORIVO OD PREDOBRAĐENOG OTPADA - RDF.....	21
7. KONCEPTUALNA RJEŠENJA KONVEJERA .....	23
7.1. Koncept I - izravni pogon hidrauličkim cilindrom .....	23
7.2. Koncept II – pogon hidrauličkim cilindrom preko polužnog mehanizma.....	24

7.3.	Koncept III - pogon reverzibilnim hidrauličkim motorom preko zupčanika i zupčaste letve.....	24
7.4.	Koncept IV - pogon jednosmjernim hidrauličkim motorom preko utornog mehanizma.....	25
7.5.	Koncept V - pogon hidrauličkim cilindrom za oscilatorno rotacijsko gibanje rešetki .....	25
7.6.	Vrednovanje koncepata .....	26
8.	PRORAČUN POGONSKOG MEHANIZMA .....	28
8.1.	Određivanje sila u sustavu .....	28
8.2.	Odabir pogonskih hidrauličkih cilindara .....	35
8.3.	Proračun svornjaka pogonskog elementa .....	38
8.4.	Proračun uški gurača.....	40
8.5.	Proračun ploče gurača 3.....	40
8.6.	Proračun osovine kolica 3.....	41
9.	PRORAČUN NOSIVE KONSTRUKCIJE.....	45
9.1.	Proračun čvrstoće osovine kotača.....	45
9.2.	Proračun čvrstoće U-profila.....	47
9.3.	Proračun zavara pravokutnog profila na ploču .....	50
10.	ZAKLJUČAK .....	56
	LITERATURA.....	57
	PRILOZI.....	59

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Trakasti konvejer [3].....	3
Slika 2.	Valjkasti konvejer [4] .....	4
Slika 3.	Lančani konvejer [6].....	5
Slika 4.	Člankasti konvejer [7].....	5
Slika 5.	Elevator [8] .....	6
Slika 6.	Pužni konvejer [9].....	7
Slika 7.	Ovjesni konvejer [10] .....	8
Slika 8.	Vibracijski konvejer [11] .....	9
Slika 9.	Pneumatski konvejer [12] .....	10
Slika 10.	Klizna staza [13] .....	11
Slika 11.	<i>Detroit Reciprograte Stoker</i> [15] .....	14
Slika 12.	<i>Detroit RotoGrate Stoker</i> [16] .....	15
Slika 13.	<i>Detroit Hydrograte Stoker</i> [17] .....	16
Slika 14.	<i>Cell Furnace</i> tvrtke <i>Wellons</i> [18] .....	17
Slika 15.	Rotirajuća peć tvrtke <i>Igniss Energy</i> [19] .....	17
Slika 16.	Dijelovi postrojenja [20] .....	19
Slika 17.	Proces proizvodnje RDF peleta [21].....	21
Slika 18.	Koncept I.....	23
Slika 19.	Koncept II .....	24
Slika 20.	Koncept III.....	25
Slika 21.	Koncept IV.....	25
Slika 22.	Koncept V .....	26
Slika 23.	Model kolica na kosini.....	29
Slika 24.	Model kotača.....	30
Slika 25.	Kolica oslobođena veza .....	31
Slika 26.	Model prvog reda rešetki .....	31
Slika 27.	Model rešetke s reakcijskim opterećenjem .....	32
Slika 28.	Profil gibanja.....	34
Slika 29.	Izabrani pogonski element [25] .....	36
Slika 30.	Proračun pogonskog elementa na stranici proizvođača [25] .....	37
Slika 31.	Svornjak pogonskog elementa .....	38
Slika 32.	Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja pogonske osovine .....	39
Slika 33.	Opterećenje ploče gurača 3.....	41
Slika 34.	Osovina kolica 3 .....	42
Slika 35.	Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja osovine kolica 3.....	43
Slika 36.	Proračun osovine kotača: uski - lijevo; široki - desno .....	45
Slika 37.	Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja osovine kotača .....	46
Slika 38.	Proračunski model U-profila.....	48
Slika 39.	Dijagram unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja U-profila.....	49
Slika 40.	Opterećenje zavara.....	50
Slika 41.	Proračunski model opterećenja cijevi .....	51
Slika 42.	Polovinski model opterećenja cijevi .....	51
Slika 43.	Polovinski model pravokutnog profila.....	52
Slika 44.	3D CAD model nosive konstrukcije .....	54



---

Slika 45.	3D CAD model konvejera bez rešetki .....	55
Slika 46.	3D CAD model konvejera .....	55

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Vrednovanje koncepata .....	27
Tablica 2.	Mase kolica i gurača.....	28
Tablica 3.	Iznosi reakcija u osloncima .....	33

---

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
FSB-01/23-01-00	Konvejer s recipročnom rešetkom za spalionicu
FSB-01/23-01-01	Nosiva konstrukcija
FSB-01/23-01-02	Kolica 1
FSB-01/23-01-03	Kolica 2
FSB-01/23-01-04	Kolica 3
FSB-01/23-01-05	Gurač 1
FSB-01/23-01-06	Gurač 2
FSB-01/23-01-07	Gurač 3
FSB-01/23-01-08	Rešetnica

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A$	$m^2$	Površina
$A_m, A_v$	$m^2$	Površine presjeka osovine
$A_p$	$m^2$	Površina presjeka ploče
$A_u$	$m^2$	Površina presjeka uške
$a$	$m/s^2$	Ubrzanje
$a, b$	$m$	Krak sile
$b, h, t$	$m$	Dimenzije poprečnog presjeka
$b_1$	-	Faktor veličine strojnog dijela
$b_2$	-	Faktor kvalitete obrade površine
$d, d_m, d_v$	$m$	Promjer
$F_{Cil}$	$N$	Sila hidrauličkog cilindra
$F_{kot}$	$N$	Sila koja djeluje na kotač
$F_N$	$N$	Normalna sila
$F_{NR,i}$	$N$	Sila $i$ -tog reda nepomičnih rešetaka koja djeluje na U-profil
$F_{PR}$	$N$	Sila pomičnih rešetaka koja djeluje na U-profil
$F_R$	$N$	Sila koja djeluje na rešetku
$F_{Rez}$	$N$	Rezultantna sila
$F_{tr,1}$	$N$	Sila trenja između kotača i kolica
$F_{tr,2}$	$N$	Sila trenja između kotača i nosive konstrukcije
$F_{tr,3}$	$N$	Ekvivalentna sila trenja između čeličnih rešetnica
$g$	$m/s^2$	Ubrzanje Zemljine sile teže
$H, H_1, H_2$	$m$	Krak sile
$H_d$	$J/kg$	Donja ogrjevna vrijednost
$I_{kt}$	$kgm^2$	Moment inercije kotača
$I_{t,zv}$	$kgm^2$	Polarni moment inercije proračunskog presjeka zavora
$I_x$	$kgm^2$	Moment inercije proračunskog presjeka zavora oko osi $x$
$I_y$	$kgm^2$	Moment inercije proračunskog presjeka zavora oko osi $y$
$i$	-	Prijenosni omjer
$K_A$	-	Faktor primjene odnosno pogonski faktor
$l, l_1, l_2, l_3$	$m$	Duljina
$M_A, M_B, M_C,$ $M_O$	$Nm$	Moment sile oko oslonca
$M_{E-Ex}$	$Nm$	Unutarnji moment savijanja na presjeku $E-E$ oko osi $x$
$M_{E-Ey}$	$Nm$	Unutarnji moment savijanja na presjeku $E-E$ oko osi $y$
$M_{f,2}$	$Nm$	Unutarnji moment savijanja na presjeku 2
$M_{f,max}$	$Nm$	Najveći unutarnji moment savijanja
$M_p$	$Nm$	Unutarnji moment savijanja na kritičnom presjeku ploče
$m_{g,i}$	$kg$	Masa gurača $i$
$m_{k,i}$	$kg$	Masa kolica $i$
$m_{kon}$	$kg$	Masa konvejera
$m_{k,p}$	$kg$	Proračunska masa kolica

$m_{kt}$	kg	Masa kotača
$m_{RDF,uk}$	kg	Ukupna masa RDF goriva na rešetkama
$m_{RDF,r}$	kg	Masa RDF goriva po pojedinom redu rešetki
$m_{rk}$	kg	Masa rešetnica na kolicima
$m_{rr}$	kg	Masa pojedinog reda rešetnica
$p_{dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalni dopušteni površinski tlak
$p_u$	N/mm <sup>2</sup>	Površinski tlak unutarnjih elemenata
$p_v, p_{v1}, p_{v2}$	N/mm <sup>2</sup>	Površinski tlak vanjskih elemenata
$Q_m$	kg/s	Maseni protok
$q_{NR,i}$	N/m	Kontinuirano opterećenje $i$ -tog reda nepomičnih rešetaka koje djeluje na U-profil
$q_{PR}$	N/m	Kontinuirano opterećenje pomičnih rešetaka koje djeluje na U-profil
$q_u, q_v, q_{v1}, q_{v2}$	N/m	Kontinuirano opterećenje dijelova u spoju
$R_A$	N	Reakcijska sila u osloncu $A$
$R_{A,i}$	N	Reakcijska sila u nepomičnom osloncu $i$ -tog reda rešetki
$R_{B,i}$	N	Reakcijska sila u pomičnom osloncu $i$ -tog reda rešetki
$R_{Bx}, R_{By}, R_{Dx}, R_{Dy}$	N	Komponente reakcijskih sila u osloncima
$R_e$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja pri vlačnom opterećenju
$R_{ef}$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja pri savojnom opterećenju
$r$	m	Radius kotača
$r_1$	m	Najveća udaljenost ruba zavara od njegova središta
$S$	-	Faktor sigurnosti
$t$	s	Vrijeme
$t_u, t_v, t_{v1}, t_{v2}, t_z$	m	Širina dijelova u spoju
$W$	m <sup>3</sup>	Moment otpora poprečnog presjeka
$W_m$	m <sup>3</sup>	Moment otpora poprečnog presjeka manjeg promjera
$W_p$	m <sup>3</sup>	Moment otpora kritičnog presjeka ploče
$W_v$	m <sup>3</sup>	Moment otpora poprečnog presjeka većeg promjera
$\alpha$	rad/s <sup>2</sup>	Kutno ubrzanje
$\alpha_k$	rad	Kut nagiba kosine
$\beta_{kf}$	-	Efektivni (dinamički) faktor zareznog djelovanja kod savijanja
$\gamma_1$	rad	Kut djelovanja resultantne sile u odnosu na os $y$ pri izvlačenju kolica
$\gamma_2$	rad	Kut djelovanja resultantne sile u odnosu na os $y$ pri uvlačenju kolica
$\lambda$	-	Faktor pretička zraka
$\lambda_i$	W/mK	Toplinska provodnost izolacijskog materijala
$\mu$	-	Faktor trenja
$\pi$	-	Ludolfov broj
$\rho$	rad	Kut trenja
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje
$\sigma_{f1}, \sigma_{f2}$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje u presjeku
$\sigma_{fx}$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje oko osi $x$
$\sigma_{fy}$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje oko osi $y$
$\sigma_{f,dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalno dopušteno savojno naprezanje

$\sigma_{fDI}$	N/mm <sup>2</sup>	Trajna dinamička čvrstoća kod savijanja čistim istosmjernim ciklusom
$\sigma_{fDN}$	N/mm <sup>2</sup>	Trajna dinamička čvrstoća kod savijanja čistim naizmjeničnim ciklusom
$\sigma_p$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje kritičnog presjeka ploče
$\sigma_{p,dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalno dopušteno savojno naprezanje ploče
$\sigma_{red}$	N/mm <sup>2</sup>	Reducirano (ekvivalentno) naprezanje
$\sigma_{red,dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalno dopušteno reducirano (ekvivalentno) naprezanje
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	Vlačno naprezanje kritičnog presjeka uške
$\sigma_{u,dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalno dopušteno vlačno naprezanje uške
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	Rezultirajuće smično naprezanje
$\tau_p$	N/mm <sup>2</sup>	Smično naprezanje kritičnog presjeka ploče
$\tau_{s,1}, \tau_{s,2}$	N/mm <sup>2</sup>	Smično naprezanje u presjeku
$\tau_{s,max}$	N/mm <sup>2</sup>	Najveće smično naprezanje
$\tau_{dop}, \tau_{s,dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Maksimalno dopušteno smično naprezanje
$\tau_{qx}, \tau_{qy}$	N/mm <sup>2</sup>	Komponente smičnog naprezanja
$\tau_t$	N/mm <sup>2</sup>	Torzijsko naprezanje
$\tau_{tx}, \tau_{ty}$	N/mm <sup>2</sup>	Komponente torzijskog naprezanja
$\tau_{tDI}$	N/mm <sup>2</sup>	Trajna dinamička čvrstoća prema Smith-ovom dijagramu pri čistom istosmjernom ciklusu smičnog opterećenja
$\tau_{tDN}$	N/mm <sup>2</sup>	Trajna dinamička čvrstoća prema Smith-ovom dijagramu pri čistom naizmjeničnom ciklusu smičnog opterećenja
$\varphi$	rad	Kut djelovanja torzijskog naprezanja
$\omega$	rad/s	Kutna brzina

---

**SAŽETAK**

Cilj ovog diplomskog rada je konstruirati napravu koja će služiti za transport goriva dobivenog iz otpada (engl. *Refuse-derived fuel* – RDF) u obliku peleta unutar ložišta kogeneracijskog postrojenja tijekom njegova izgaranja. Dan je uvodni pregled konvejera s oscilirajućom rešetkom, navedeni njegovi glavni dijelovi te opisan princip rada. Odabrano konstrukcijsko rješenje uspoređeno je s ostalim konceptima. Nakon određivanja sila koje djeluju na konvejer izvršen je proračun čvrstoće svih kritičnih dijelova, kao i proračun te izbor pogonskih elemenata. Konstrukcijski je razrađena odabrana varijanta te je priložena tehnička dokumentacija svih glavnih sklopova i podsklopova te je izrađen 3D CAD model konvejera.

Ključne riječi: konvejer, oscilirajuća rešetka, spalionica, ložište, gorivo iz otpada, RDF, toplana, termoelektrana, kogeneracija

---

**SUMMARY**

The aim of this thesis is to design a device for the transportation of refuse-derived fuel (RDF) pellets during their combustion within the combustion chamber of a cogeneration plant. An introductory overview of the reciprocating step grate conveyor is given, its main parts are listed, and the principle of operation is described. The selected design solution was compared with other concepts. After determining the forces acting on the conveyor, control of the strength of all critical parts was performed, as well as the selection of drive elements. The selected variant has been designed in detail, and the technical documentation of all main assemblies and sub-assemblies has been made, as well as a 3D CAD model of the conveyor.

Key words: conveyor, reciprocating grate, incinerator, combustion chamber, fuel from waste, refuse-derived fuel, RDF, heating plant, thermal power station, cogeneration



## 1. UVOD

Proizvodnja električne energije za napajanje kućanstava, u industrijske ili javne svrhe i paralelno iskorištavanje toplinske energije za grijanje vode odvija se u kogeneracijskim postrojenjima. Odnosno, postrojenjima koja kombiniraju elemente toplane i termoelektrane. Time se postiže veća iskoristivost procesa, odnosno iz iste jedinice goriva se dobiva više energije. U Europi ovaj tip postrojenja sve se češće pogoni izgaranjem goriva dobivenog iz otpada (engl. *refuse-derived fuel* - RDF) čime se višestrukom uporabom materijala, čak i nakon što su obavili glavni zadatak u životnom ciklusu proizvoda, smanjuje štetan utjecaj na okoliš. Proces izgaranja goriva odvija se unutar prostora koji se naziva ložište. To je posebno izolirana prostorija unutar koje je potrebno dobiti RDF gorivo i zrak, a izvlačiti pepeo nastao kao nusprodukt izgaranja. Temperatura dovoljno visoka da zapali RDF gorivo dobiva se najčešće izgaranjem prirodnog plina, gdje se plamenici usmjeravaju prema RDF gorivu i ono počinje proces isplinjavanja nakon čega dolazi do zapaljenja oslobođenih gorivih plinova. Dimni plinovi visoke temperature koji se razvijaju u ložištu dijelom uslijed prirodnih sila i dijelom uslijed upuhivanja novog zraka odozdo uzdižu se unutar ložišta i nastavljaju svoj tok unutar kotlovske dijela postrojenja. Kotlovski dio postrojenja načinjen je od parnog kotla (generatora pare) koji je mjesto gdje se nalazi tekuća voda i vodena para te tlačnog cjevovoda u obliku zidova načinjenih od cijevi kroz koje protječe voda koja preuzima toplinsku energiju vrućih dimnih plinova. Prirodna cirkulacija vode kao radnog medija kroz sustav ostvarena je pomoću naizmjenične promjene stanja u kojima se ona nalazi. Prijenos toplinske energije koja nastaje izgaranjem na radni medij, odnosno vodu unutar ogrjevnih površina odvija se zračenjem i konvekcijom. U generatoru pare odvaja se para od vode i ona se dalje vodi kroz sustav, naposljetku predajući svoju energiju lopatičju turbina koje proizvode električnu energiju. Postoji još nekoliko bitnih elemenata u tom procesu koji su spomenuti u naknadnim poglavljima. No, može se naslutiti da je mjesto gdje se odvija inicijalno izgaranje vrlo bitno projektirati ispravno kako bi sav „nizvodni“ proces tekao najbolje moguće.

Unutar samog prostora ložišta gorivo se može transportirati na različite načine ovisno o vrsti goriva, obliku ložišta, pogonskim elementima, prijenosnom mehanizmu, vrsti gibanja itd. U ovom radu razmotreni su različiti koncepti transporta goriva unutar ložišta, vrednovani su i izabran je najpogodniji za daljnju konstrukcijsku razradu i proračun.

## 2. OPĆI PREGLED KONVEJERA

Transportna sredstva su skupni naziv za sve uređaje kojima se ponavljano manipulira velikim količinama materijala. Glavna podjela transportnih sredstava odnosi se na kontinuiranost dobave i tu se nalaze dvije grupe:

- sredstva prekidne dobave,
- sredstva neprekidne dobave.

Kod sredstava prekidne dobave samo je jedan komad/paket/količina rasutog tereta istovremeno na sredstvu. Ona uključuju granike (kranove), dizalice, dizala (liftove), manipulatore, industrijske robote, industrijska vozila i ostale.

Kod sredstava neprekidne dobave kontinuirana je dobava rasutih materijala ili više komada/paketa istovremeno na sredstvu. Ona se mogu podijeliti na mehanička prenosila s ili bez vlačnog elementa te na pneumatska i hidraulička prenosila [1]. Koriste se u rudarstvu, poljoprivredi, prehrambenoj, kemijskoj, tekstilnoj, drvnoj, metalskoj, automobilskoj i ostalim granama industrije, a osim materijala, koriste se i za transport ljudi, npr. pokretne staze u zračnim lukama ili pokretne stepenice.

U nastavku su navedeni različiti primjeri sredstava neprekidne dobave i njihove glavne karakteristike prema [2]. Navedeni primjeri uključuju: trakaste, valjčane, lančane, člankaste, pužne, ovjesne, vibracijske i pneumatske konvejere, elevatore i klizne staze.

### 2.1. Trakasti konvejeri

Trakasti konvejeri tipičan su predstavnik sredstava neprekidnog transporta. Najprije su korišteni u rudarstvu za transport velikih količina ugljena i rudače, no s vremenom primjena im se proširila na mnoge industrije gdje se mogu kombinirati s ostalim transportnim sredstvima ili unutar procesa. Karakterizira ih traka koja se koristi kao element u neposrednom kontaktu s transportiranim materijalom. Ona je najčešće izrađena od ojačane gume, a može biti i polimerna ili ispletana od čelične žice. Ostali elementi trakastog konvejera su pogonski i povratni bubanj, nosivi, povratni, natezni i otklonski valjci te uređaju za punjenje, pražnjenje i čišćenje trake.



**Slika 1. Trakasti konvejer [3]**

Najpogodniji su za transport komadnog te rasutog materijala gdje posebice mogu ostvariti velike protoke. Primjenjuju se za najčešće za vodoravni i transport pod manjim kutovima (do  $30^\circ$ ), no uz upotrebu posebnih traka mogu se ostvariti i veći nagibi, a posebnim konfiguracijama poput konvejera s duplom trakom koja obuhvaća materijal s obje strane nalik na sendvič, materijali se mogu transportirati i vertikalno. Elastičnost materijala trake omogućuje da se ona može oblikovati u oblik korita ili čak potpuno zamotati u cijev. Skretanje trake u ravnini također je moguće izvesti. Karakterizira ih tihi rad, širok raspon primjene, mogućnost ostvarivanja velikih duljina transporta i velikih protoka.

## **2.2. Valjčani konvejeri**

Kod valjčanih konvejera nosivi elementi koji služe za transport komadnih materijala po stazi su valjci, kotačići ili kuglice. Mogu se primjenjivati za širok raspon različitih tereta, gdje im je glavno ograničenje minimalna veličina pojedinačnog komada kako isti ne bi zapeo ili propao kroz razmake između nosivih elemenata. Najčešće povezuju mjesta unutar proizvodnog pogona, montaže ili skladišta.

Postoje izvedbe s pogonom i bez pogona. Kod izvedbi s pogonom prijenos vučne sile vrši se lancem ili remenom koji pogoni sve ili samo nekoliko nosivih elemenata u nizu, dok se ostali elementi slobodno vrte i uslijed malog trenja omogućuju teretu da nastavi gibanje. Kada pogon nije potreban ili poželjan, transport materijala može se odvijati gravitacijski, uslijed djelovanja sile teže. Nagib staze se postavlja od  $2-9^\circ$ , a teret na konvejer dolazi s određenom početnom brzinom, ručno je pokrenut ili sam uslijed nagiba započinje svoje gibanje što je uvjetovano

fizikalnim izrazom. Moguća je promjena smjera gibanja, najčešće uz bočne stranice koje sprječavaju spadanje materijala s konvejera, a također postoje i fleksibilne izvedbe gdje se nosivi elementi nalaze na kolicima koja mogu vijugati prostorom i kada je potrebno mijenjati konfiguraciju. Kuglice se kao nosivi elementi često koriste na mjestima razdvajanja ili združivanja dviju ili više staza budući da osiguravaju rotaciju u svim smjerovima. Promjenu smjera toka materijala je moguće ostvariti valjčanim skretnicama tj. okretnim stolovima ili bočnim deflektorima.



Slika 2. Valjkasti konvejer [4]

### 2.3. Lančani konvejeri

Ova vrsta sredstava neprekidnog transporta koristi se za transport rasutog i komadnog materijala u vodoravnom, kosom ili okomitom smjeru. Lanac vrši zadaću vučnog, a često i nosivog elementa. Po principu rada lančani konvejeri mogu povlačiti, nositi, povoditi, strugati ili na neki drugi način ostvarivati gibanje materijala. Kanal u kojem se materijal nalazi može biti otvorene ili zatvorene izvedbe. Kod lančanog konvejera s povodnjem lanac je uronjen unutar rasutog materijala i uz pomoć krilasto oblikovanih limova ostvaruje gibanje materijala u smjeru gibanja lanca. Iskoristivost površine poprečnog presjeka kanala za transport kod takve izvedbe veća je u odnosu na ostale tipove konvejera te može iznositi i do 90% [5]. Kod lančanog konvejera s povlačenjem izvedbe se dijele na podpodni i ovjesni lanac.



**Slika 3. Lančani konvejer [6]**

#### **2.4. Člankasti konvejeri**

Člankasti konvejeri služe za transport rasutog i komadnog materijala u vodoravnom i kosom smjeru. Poput lančanih konvejera funkciju vučnog elementa ima lanac, dok funkciju nosivih elemenata imaju članci različitih oblika koji se međusobno povezuju u jedan sklop.



**Slika 4. Člankasti konvejer [7]**

Koriste se za zadaće koje su slične trakastim konvejerima kada su uvjeti u kojima rade zahtjevniji, npr. kada su rasuti materijali abrazivniji za podlogu ili kada su komadni materijali

većih masa, viših temperatura ili su stroži higijenski zahtjevi. Na određeni način mora biti osigurano natezanje lanca. Značajni predstavnici ove skupine sredstava neprekidne dobave su pokretne stepenice te konvejeri za preuzimanje prtljage u zračnim lukama.

## 2.5. Elevatori

Elevatori kombiniraju elemente ostalih predstavnika sredstava neprekidne dobave poput vučnih elemenata (trake ili lanci). Primjenjuju se za transport rasutog materijala najčešće okomito ili pod velikim kutom. Uglavnom se povezuju s nosivim elementima u obliku posuda ili polica koje mogu biti fiksirane za vučni element ili slobodno ovješene. Posebne izvedbe omogućuju transport komadnog materijala gdje nosivi elementi mogu biti konzolni ili ovješeni nosači. Prednost elevatora je mala tlocrtna površina koju zauzimaju.



Slika 5. Elevator [8]

Punjenje elevatora odvija se izravno s dodavačem materijala, npr. kanal koji materijal vodi izravno u posude elevatora ili pak grabljenjem materijala. Različiti su načini pražnjenja posuda elevatora, a neki od njih su: pražnjenje silom težom (kontinuirano), centrifugalnom silom, kombinirano (silom težom i centrifugalnom silom) ili s otklonom. Kod pražnjenja silom težom brzine transporta su manje nego kod pražnjenja centrifugalnom silom. Pražnjenje s otklonom koristi se za ljepljive materijale, a posebno je moguća i izvedba s tresenjem posuda.

## 2.6. Pužni konvejeri

Pužni konvejeri namijenjeni su transportu rasutog (sipkog) materijala u poljoprivredi, prehrambenoj, kemijskoj, procesnoj, drvoprerađivačkoj, industriji građevinskih materijala i sličnim industrijama. Koriste se za kada su potrebni srednje veliki protoci, a transportne udaljenosti nisu prevelike. Nisu pogodni za jako abrazivne i ljepljive materijale. Smjer transporta materijala je najčešće horizontalan ili pod manjim nagibima (do 25°), no moguće je ostvariti i vertikalnu dobavu pri čemu su brzine vrtnje puža veće, a korak puža manji. Postoje izvedbe s otvorenim ili zatvorenim kućištem. Najveće prednosti otvorenog kućišta su jednostavnije održavanje i čišćenje, dok zatvoreno kućište štiti radni prostor od prašenja česticama transportiranog materijala, a ta zaštita vrijedi i u suprotnome smjeru kako nešto neželjeno ne bi završilo unutar stroja, a time i među transportiranim materijalom.



Slika 6. Pužni konvejer [9]

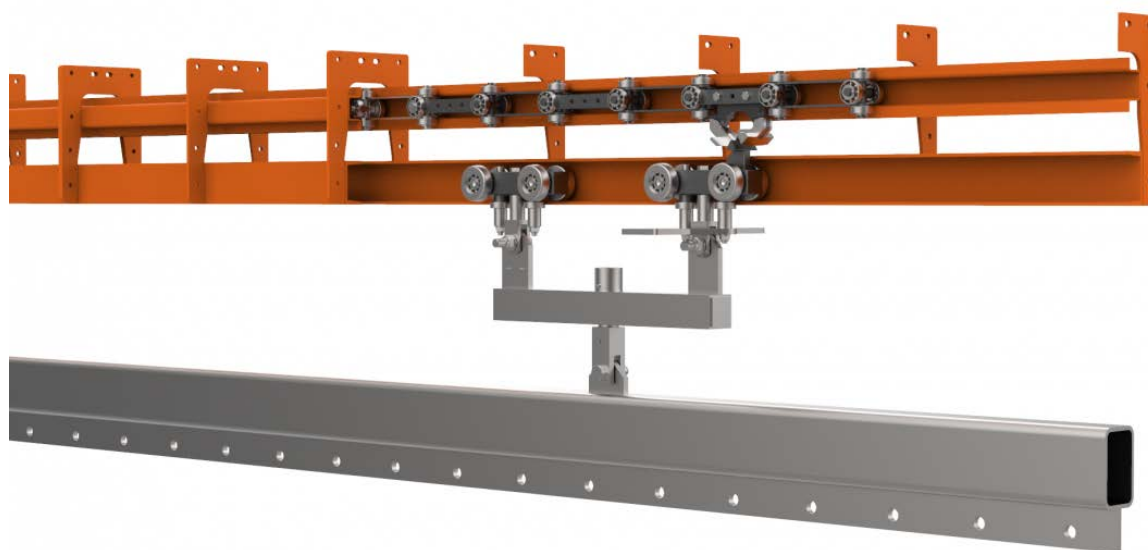
Pužne konvejere također je moguće puniti ili prazniti na bilo kojem dijelu duljine puža. Ostale izvedbe uključuju fleksibilne pužne konvejere gdje rotira spiralna žica unutar cijevi te pužni konvejeri bez vratila koji se najčešće koriste za transport mulja, drvene sječke i sl. Nedostatci pužnih konvejera su nagli rast potrošnje energije s rastom transportne duljine kada se usporede se drugim vrstama konvejera s istim protokom, mogućnost drobljenja transportiranog materijala, a time i zaglavljivanje komada istog između puža i korita te cijena.

## 2.7. Ovjesni konvejeri

Ovjesni konvejeri koriste se kao sredstva neprekidnog transporta za komadne materijale, transportirajući teret iznad površine poda. Najčešće se koriste u serijskoj proizvodnji te pri tome mogu imati dodatnu ulogu u tehnološkim procesima kojima je transportirani materijal podvrgnut. Moguće je ostvariti razne smjerove i veće duljine transporta unutar industrijskog postrojenja. Staze se mogu posebno konfigurirati i relativno su jeftini. Glavni dijelovi ovjesnog konvejera uključuju pogonski element, vučni element (obično lanac), natezni uređaj, vodilice i skretnice skupa s njihovim nosačima te uređaj za zahvat tereta. Dvije su glavne izvedbe ovjesnih konvejera: jednostazni i dvostazni.

Kod ovjesnih konvejera s jednom stazom nema mogućnosti akumuliranja transportiranih materijala budući da su kotači koji se kreću po vodilicama čvrsto spojeni za vučni element na jednakim razmacima, a lanac se nalazi u zatvorenoj petlji.

Ovjesni konvejeri s dvije staze nazivaju se i manevarski. Oni koriste dvije staze od kojih se jedna naziva pogonska, a druga slobodna. Pogonska staza je vodilica nosačima vučnog elementa, a slobodna je vodilica nosačima uređaja za zahvat tereta. Akumuliranje transportiranih materijala omogućeno je mehanizmom za ukapčanje/iskapčanje uređaja za zahvat tereta s vučnog elementa. Zbog toga je također moguće razdvajanje staza te ukapčanje/iskapčanje kod utovara i istovara tereta. Dvostazni ovjesni konvejeri se koriste u proizvodnim sustavima s različitim brzinama transporta ili nejednakim protokom te za transport između radnih stanica.



Slika 7. Ovjesni konvejer [10]



Jednotračna električna ovjesna (engl. *monorail*) vozila slična su ovjesnim konvejerima te ih je stoga važno spomenuti. Ne koriste lanac kao vučni element već imaju električni pogon te se sva kolica kreću zasebno. Takvi sustavi su obično automatizirani i koriste se u proizvodnji, montaži ili u transportu prema ili unutar skladišta.

## 2.8. Vibracijski konvejeri

Vibracijski konvejeri koriste se za transport rasutog i komadnog materijala vodoravno, pod nagibom ili čak okomito u spiralnoj izvedbi. Rade na principu vibracija nosive staze koja dijelom puta nosi materijal u željenom smjeru, a u trenutku kada staza naglo mijenja smjer gibanja vraćajući se u početni položaj, materijal uslijed inercije nastavlja gibanje željenim smjerom. Moguće je upravljanje protokom materijala podešavanjem amplitude i frekvencije vibracija nosive staze. Zbog toga se često koriste kao dodavači materijala raznim strojevima. Pogodni su za abrazivne i vruće materijale te postoji mogućnost sušenja i hlađenja materijala tijekom transporta, dok nisu pogodni za ljepljive i praškaste materijale. Nosiva staza je elastično oslonjena na nosivu konstrukciju te može biti izvedena u obliku otvorenog korita ili zatvorene cijevi.



Slika 8. Vibracijski konvejer [11]

## 2.9. Pneumatski konvejeri

Pneumatski konvejeri koriste se za transport sipkog i komadnog materijala kroz cjevovode pomoću struje plinova unutar njih. Posebni su zbog svoje fleksibilnosti i mogućnosti raznih konfiguracija izvedbe te transporta materijala u svim smjerovima. Glavne vrste pneumatskih konvejera su usisni, tlačni i kombinirani sustavi. Usisni pneumatski konvejeri se koriste kada je materijal potrebno unositi na više mjesta, a dobavljati na jedno, dok se tlačni koriste kada je potrebno obrnuto. Kombinirani pneumatski konvejeri imaju prednosti i usisnih i tlačnih konvejera. Rasuti materijali na ovaj način transportiraju se u poljoprivredi, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Komadni transport pneumatskim konvejerima ima primjenu u bankama za dobavu dokumenata i novca.



Slika 9. Pneumatski konvejer [12]

**2.10. Klizne staze**

Klizne staze su jednostavne konstrukcije koje pripadaju sredstvima neprekidnog transporta, a koriste silu težu za kretanje rasutog ili komadnog materijala po kosim ili spiralnim stazama. Uglavnom se koriste kao dodavači i istovarivači te za povezivanje dijelova unutar proizvodnog pogona, skladišta ili sortirnih centara. Jeftini su za izradu i odražavanje je minimalno, no kontroliranje orijentacije tereta je otežano.



**Slika 10. Klizna staza [13]**

### 3. KONVEJERI S RECIPROČNOM REŠETKOM

Osim transporta goriva unutar ložišta od mjesta gdje je ono dobavljeno pomoćnim sredstvima do mjesta sakupljanja pepela poželjno je ostvariti i prevrtanje komada krutog goriva kako bi se neizgorena strana izložila zraku i visokoj temperaturi te time osiguralo što potpunije izgaranje. Gibanje goriva koje je posljedica oscilatorne translacije rešetki - naprijed i natrag, upravo je takvo da podržava izgaranje goriva sa svih strana. Hidraulički pogon je najzastupljeniji zbog velikih sila koje može proizvesti u kompaktnom volumenu pogonske jedinice. Također, nije potrebna pretvorba rotacijskog gibanja u translacijsko ukoliko se upotrebljavaju hidraulički cilindri, čime je uklonjena potreba za korištenjem ležajeva.

Postoje dva glavna načina kako se rešetke mogu postaviti i gibati. Jedan je standardni koji će biti objašnjen, gdje rešetke svojim okomitim rubom guraju gorivo niz konvejer, a drugi je obrnuti gdje su rešetke postavljene u obrnutom smjeru od kosine te svojim uvlačenjem omogućavaju gorivu da se giba niz konvejer. Pojedine rešetnice mogu biti različitih širina, ali uglavnom se koriste međusobno jednake po redovima. Iznimka su uske rešetnice koje se postavljaju na određenim mjestima kako bi se u slučaju zaglavlivanja zbog toplinskog širenja u radu mogle ukloniti tijekom održavanja. Rešetnice su izrađene od materijala koji mogu izdržati visoke temperature kroz duži period vremena, budući da postrojenja mogu raditi i do 8200 h godišnje [14]. Na svojim rubovima imaju utore za protok zraka koji se naziva primarni i služi za raspirivanje plamena. Manji dio pepela propada kroz te utore stoga konvejeri imaju ljevkasta korita koja sakupljaju taj pepeo i na dnu se obično odvođe pužnim konvejerima izvan ložišta. Korita uz to imaju funkciju podjele dijelova konvejera po zonama izgaranja kako bi se protok primarnog zraka mogao pojedinačno kontrolirati po tim zonama ovisno o potrebi. Rešetke su preklapno posložene tako da tvore površinu koja podsjeća na crijepni krov. Naizmjenično se pojavljuju pokretni i nepokretni redovi. Rešetnice su obično slobodno oslonjene na cijevima koje se protežu širinom konvejera te je tako omogućena rotacija rešetaka. Pomične rešetke rotiraju se oko nosećih cijevi zbog podizanja i spuštanja prednjeg kraja tijekom klizanja po gornjoj površini nepomičnih rešetaka. Budući da su nepomične rešetke svojim prednjim dijelom oslonjene na gornju površinu pomičnih rešetki koje rotiraju tijekom translacijskog gibanja onda se i one rotiraju te tako redovi rešetki kaskadno utječu jedan na drugoga od dna prema vrhu konvejera.

Cijevi koje nose redove nepomičnih rešetki vezane su za nosivu konstrukciju, a cijevi koje nose pomične redove rešetki postavljene su na kolica koja se gibaju kosinom nosive konstrukcije obično na kotačima. Najčešće su podijeljene na tri grupe rešetaka na kolicima koja imaju

zasebne pogone i mogu se gibati neovisno jedna o drugima. Takva podjela omogućava kontrolu gibanja goriva tijekom tri faze: sušenja, izgaranja i formiranja pepela. Tijekom faze sušenja gorivo se nalazi u dijelu prostora ložišta gdje je temperatura dovoljna da molekule vode koje su prisutne u gorivu (do oko 20%) počnu isparavati. Nakon toga se RDF počinje rasplinjavati te se zapaljivi plinovi koji se ispuštaju iz goriva zapaljuju i izgaraju. U tom procesu gorivo značajno gubi na masi. Posljednja faza odvija se na rešetkama trećih kolica kada se i posljednji komadi krutog goriva pretvaraju u pepeo. Posljednji red rešetki obično je nepomičan kako bi ostao u kontaktu sa zidom preko kojega pepeo pada u otvor konvejera koji ga transportira dalje. Bitan je također način na koji se konstrukcija unosi u prostor ložišta tako da je nosiva konstrukcija obično oslonjena na kotače, a oni će ujedno omogućiti i toplinsko širenje konstrukcije bez pojave većih naprezanja u njoj. Da gorivo i pepeo ne bi propadali kroz prostor između konvejera i zidova ložišta, na zidove se ugrađuju uske zone nepomičnih rešetki koje su u ravnini s rešetkama konvejera. Osim toga mogu se postaviti i bočne stranice koje bi imale istu funkciju.

Konvejeri s translacijskom (recipročnom) oscilirajućom rešetkom zbog kontakta pri klizanju rešetki su podvrgnuti periodičnom održavanju kada se zamjenjuju dotrajale rešetnice. Vrh rešetnice se može rastaliti zbog visokih temperatura koje se mogu s vremena na vrijeme koncentrirati na pojedinim mjestima. Zbog toga je poželjno da utori za protok zraka na rešetnicama budu i na tom dijelu.

## 4. PREGLED POSTOJEĆIH RJEŠENJA

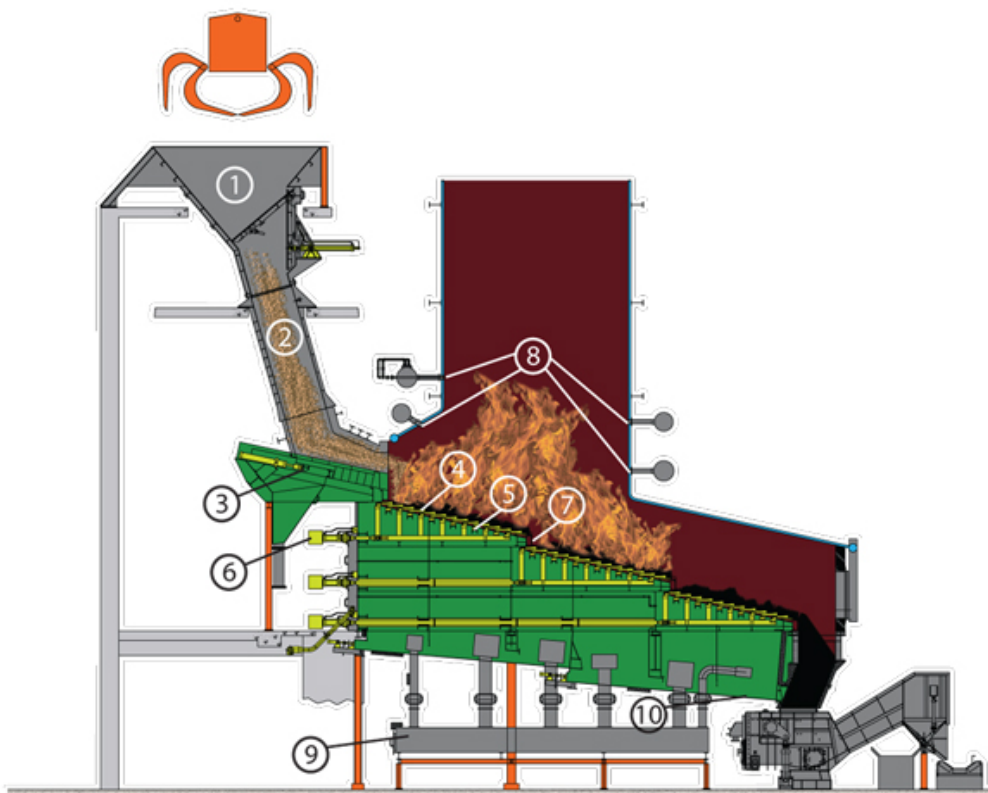
U ovom poglavlju predstavljena su postojeća rješenja različitih tvrtki. Navedena rješenja su u mogućnosti ispuniti zahtjeve koje se na njih stavljaju te se koriste u sličnim primjenama poput one u ovome radu. Rješenja se uglavnom projektiraju posebno za svako postrojenje u koje se ugrađuju budući da nisu proizvodi visokih serija stoga im karakteristike variraju ovisno o uvjetima koje pojedino postrojenje zahtjeva.

### 4.1. Proizvodi tvrtke *Detroit Stoker Company*

Za izgaranje različitih vrsta goriva unutar ložišta ova tvrtka pruža nekoliko različitih tipskih rješenja koja su opisana na njihovim internetskim stranicama i brošurama. Osim konvejera za spaljivanje goriva pridruženi su im i različiti konvejeri za dobavu goriva, kao i oni za sakupljanje i transport pepela.

#### 4.1.1. *Reciprograte Stoker*

Ovaj proizvod se koristi za spaljivanje nerazvrstanog komunalnog krutog otpada kao i za gorivo od predobrađenog otpada.



Slika 11. *Detroit Reciprograte Stoker* [15]

Gorivo se pomoću grabalice ubacuje u lijevak kanala pod strmim nagibom koji gorivo navodi na hidraulički upravljani gurač koji puni konvejer gdje gorivo izgara. Konvejer je podijeljen

na tri dijela na kojima se odvijaju faze sušenja, izgaranja i formiranja pepela. Koristi vodoravno postavljene hidrauličke cilindre koji pokreću tri grupe pomičnih rešetki koje su naizmjenično postavljene između nepomičnih. Zračno hlađene rešetnice su izrađene od visokolegiranog krom-nikal čelika, a kolica na kojima se nalaze su oslonjena na kotačima s konusnim valjnim ležajevima. Primarni zrak za izgaranje se upuhuje kroz rešetke i kroz mlaznice na mjestima prijelaza između grupa pomičnih rešetaka. Lančani konvejer odvodi pepeo na trakasti konvejer koji ga dalje vodi do mjesta gdje se sakuplja.

#### 4.1.2. *RotoGrate Stoker*

Za dobavu različitih vrsta goriva kojih ovaj proizvod može spaljivati koriste se razbacivači koji pomoću rotirajućih lopatica raspršuju komade goriva po konvejeru. Konvejer je člankastog tipa, elektromotorno pogonjen te koristi lanac kao vučni element. Ovisno o vrsti goriva biraju se i različiti materijali članaka, a njihov oblik dopušta strujanje zraka kroz njih kako bi raspirivao plamen.



**Slika 12.** *Detroit RotoGrate Stoker* [16]

Također, na opuštenoj strani lanca koji pod djelovanjem gravitacije zbog vlastite težine tvori krivulju u obliku katemptote (engl. *catenary*) zbog međusobnog otklona pojedinih članaka širi se prostor za propadanje pepela. Većina ipak završava na kraju konvejera s kojeg ispada te se odvodi dalje.

### 4.1.3. *Hydrograte Stoker*

Pod brojem američkog patenta US 6,220,190 B1 opisan je rad sljedećeg uređaja koji koristi vodeno hlađene vibrirajuće rešetke. U rešetke su integrirane cijevi kroz koje protječe rashladna tekućina koja odvodi toplinu s metalne površine rešetnice. Vodeno hlađene rešetke imaju dulji vijek trajanja od zračno hlađenih te je zbog toga rjeđe potrebno zaustavljati rad tog dijela postrojenja radi održavanja. Vibracija rešetki ostvarena je pomoću elektromotora s ekscentrično postavljenim utegom, a same rešetke postavljene su na opružne oslonce. Drugi set opruga izolira vibracije samo na rešetku kako bi se minimalno prenosile na konstrukciju na kojoj se konvejer nalazi. Rešetka može biti postavljena pod nagibom ili horizontalno što je poželjno kod postrojenja koja su gabaritno ograničena po visini. Gorivo se pomoću raspršivača razbacuje po rešetci. One na sebi imaju sitne otvore za strujanje primarnog zraka, a pepeo se na kraju konvejera sakuplja i odvodi dalje.

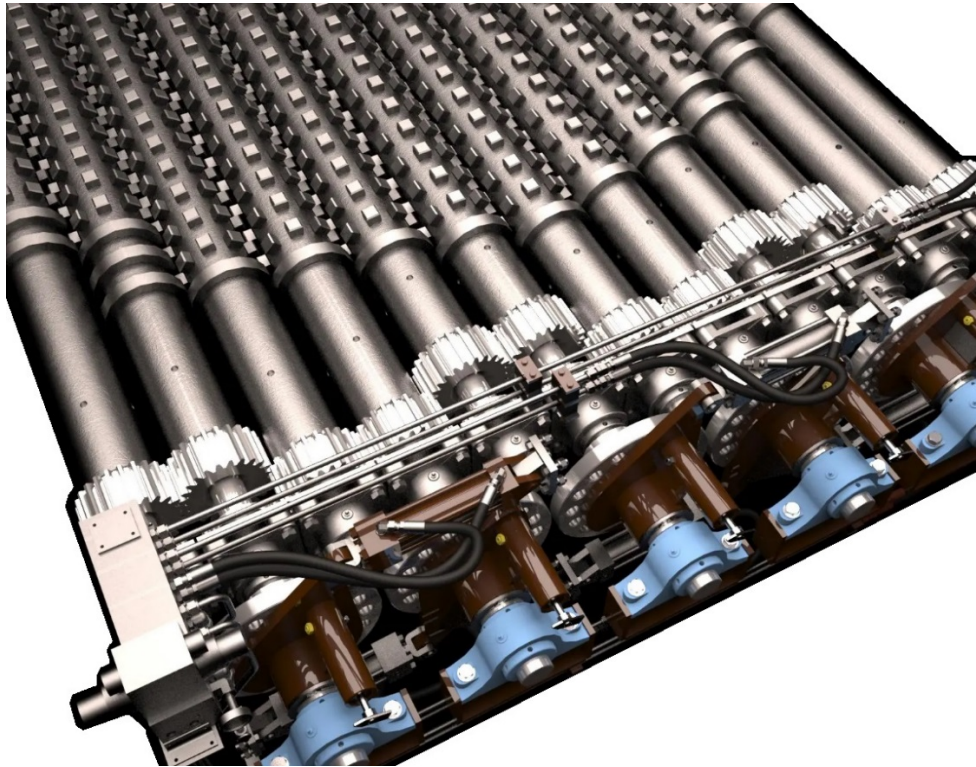


Slika 13. *Detroit Hydrograte Stoker* [17]

### 4.2. *Cell Furnace* tvrtke *Wellons*

Cilindrična peć tvrtke *Wellons* koristi hidraulički pokretane, vodom hlađene rotirajuće roštove koji nose i prevrtu gorivo tijekom njegova izgaranja, a mogu se vidjeti na Slici 14. Specifično je projektirana i konstruirana za goriva poput biomase s visokim udjelom drvenog materijala, ali svejedno je uključena u razmatranje zbog različitog načina rješavanja sličnog problema.

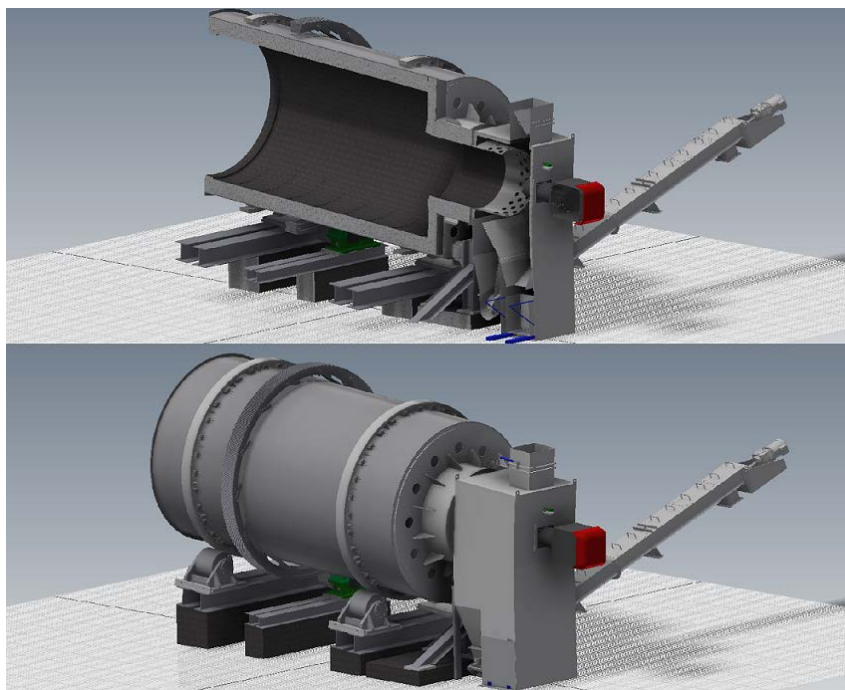




Slika 14. *Cell Furnace* tvrtke *Wellons* [18]

#### 4.3. Rotirajuće peći tvrtke *Igniss Energy*

Ova vrsta peći koristi se često za tvornice cementa ili vapna, no može se koristiti i u kogeneracijskim postrojenjima. Osim goriva od predobrađenog otpada često se koristi za spaljivanje medicinskog ili industrijskog otpada.

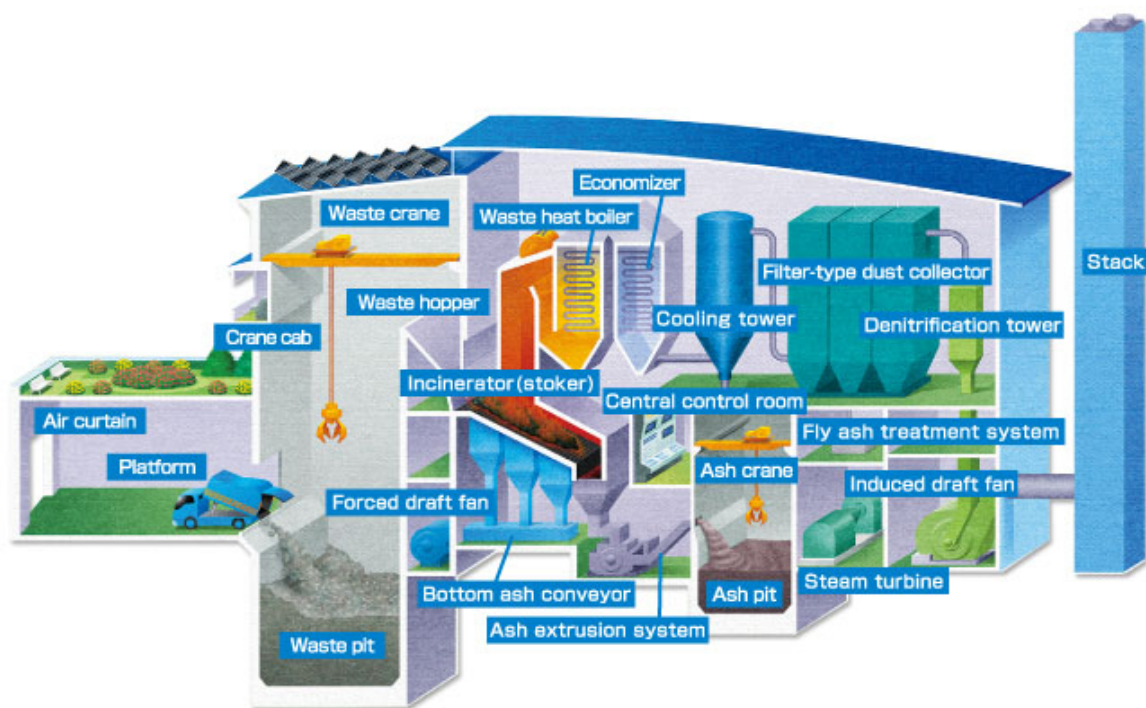


Slika 15. Rotirajuća peć tvrtke *Igniss Energy* [19]

Rotirajuća peć oslonjena je pomoću vanjskih prstenova na rotirajuće oslonce koji su postavljeni tako da bi peć bila pod blagim nagibom od nekoliko stupnjeva. Najčešće je pogonjena elektromotorom preko lančanog, zupčastog ili tarnog prijenosnika. Gorivo s jedne strane rotirajućeg bubnja ulazi, polako se prevrće tijekom izgaranja i giba prema dnu gdje dospijeva nakon što izgori i pretvori se u pepeo koji se odvodi drugim konvejerima dalje. Stijenke rotirajuće peći izrađene su od redova cijevi kroz koje struji voda koja toplinu sa stijenki preuzima na sebe te tako nastaje para koja se vodi na turbine gdje se generira električna energija. Lim koji povezuje redove cijevi izrađen je tako da se kroz otvore u njemu može upuhivati zrak koji podržava gorenje unutar peći.

## 5. LOŽIŠTE

Kogeneracijsko postrojenje koje je predmet rada snage je 10 MW te spada u termoelektrane manje snage. Kemijska energija sadržana u gorivu od predobrađenog otpada izvor je energije koja se izgaranjem u ložištu oslobađa i pretvara u toplinsku. Prijenos topline unutar ložišta uglavnom se svodi na zračenje i konvekciju. Količinom goriva i zraka koji se dobavljaju unutar ložišta određuje se i temperatura izgaranja koja se po direktivama mora držati na najmanje 850°C te intervalno nadzirati. Faktor prelička zraka,  $\lambda$  za RDF iznosi oko 1,8, no može varirati ovisno o postotku vlage u gorivu kao i zbog samog heterogenog sastava tog goriva. Osim temperature potrebno je nadzirati iznose tlaka i postotke kisika. Cilj kotlovskog dijela postrojenja je preuzeti toplinsku energiju nastalu izgaranjem pretvarajući tako vodu iz tekućeg i plinovito stanje. Vodena para se odvodi na turbine koje generiraju električnu energiju. Dio tople vode se odvodi za korištenje u industriji i za grijanje kućanstava.



Slika 16. Dijelovi postrojenja [20]

Bočni zidovi ložišta su iznutra slojevito obloženi izolacijskim materijalima ukupne debljine 375 mm. Izolacijski materijali i njihove debljine od zida prema unutrašnjosti ložišta su:

1. Tervol BS-10 tvrtke *Knauf Insulation* (50 mm),
2. izolacijska opeka ML-500 (125 mm),
3. izolacijske ploče *Skamolex* (50 mm),
4. vatrootporna opeka A40 i A60 (150 mm).

Pri temperaturi od 50°C toplinska provodnost prvog sloja izolacije po DIN EN 12667 iznosi  $\lambda_i = 0,039 \text{ W/mK}$ . Vatrootporna opeka je na dnu oslonjena na sloj betona iste širine te visine 400 mm.

Strop ložišta izoliran je materijalima ukupne debljine 310 mm. Izolacijski materijali ovješeni su na I-profile stropa pomoću keramičkih ankeri te se nalaze na 70 mm udaljenosti od dna profila. Izolacijski materijali i njihove debljine od stropa prema unutrašnjosti ložišta su kako slijedi:

1. Tervol BS-10 tvrtke *Knauf Insulation* (50 mm),
2. izolacijski beton (80 mm),
3. vatrootporni beton (180 mm).

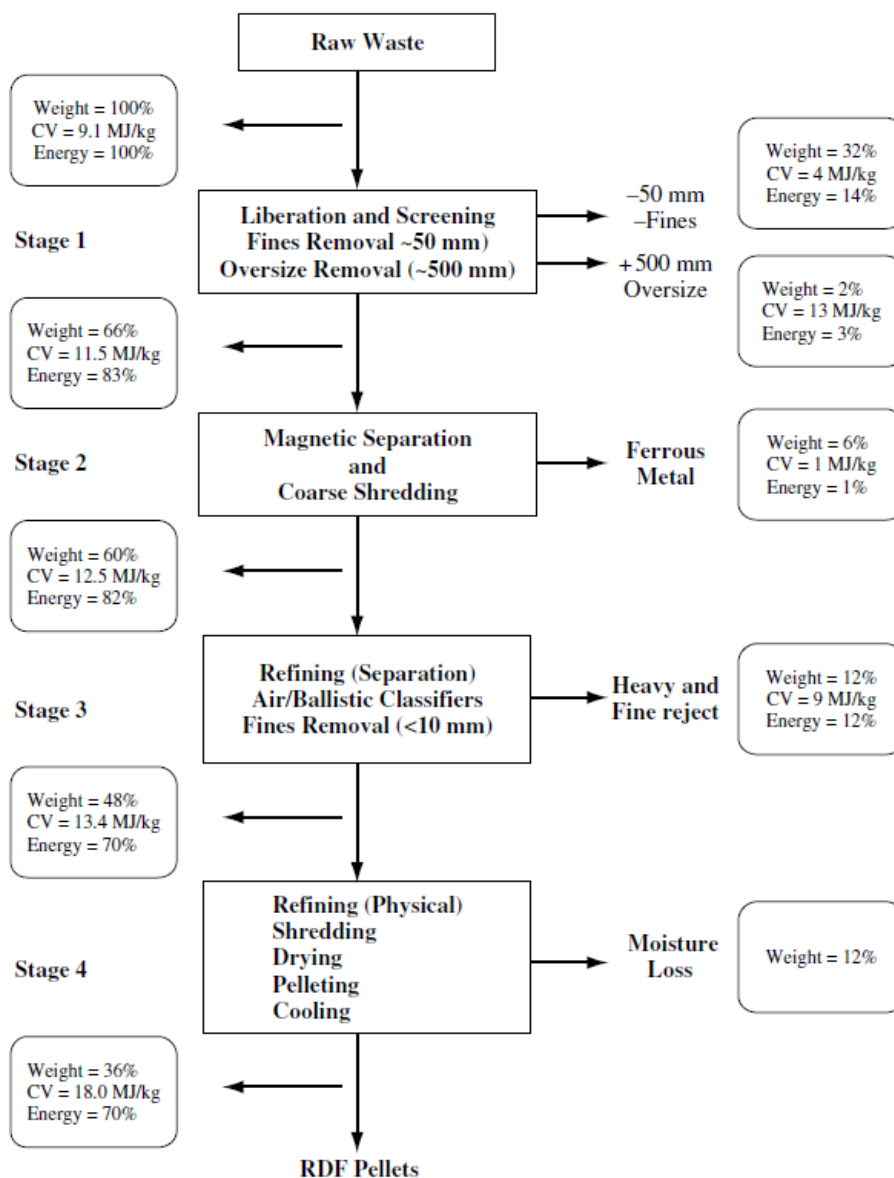
Dilatacijske fuge širine 10 mm su postavljene na ravnomjernim razmacima u vatrootpornom betonu.

Podloga ložišta na koju dolazi konvejer je betonska, a prostor dostupan za konvejer iznosi:

- a) duljina: 10 000 mm,
- b) širina: 3200 mm,
- c) početna visina s koje dolazi RDF gorivo: 3800 mm,
- d) krajnja visina zida preko kojeg pada pepeo: 900 mm.

## 6. GORIVO OD PREDOBRAĐENOG OTPADA - RDF

RDF je gorivo dobiveno iz predobrađenog komunalnog i/ili industrijskog otpada. Sastoji se uglavnom od zapaljivih komponenti takvog otpada, odnosno onih koje imaju iskoristivu ogrjevnu vrijednost prilikom izgaranja. Najčešće je to papirnati i plastični otpad koji nije moguće jednostavno reciklirati. Tekstil, drvo, pepeo i organski materijal također se mogu naći u manjim dijelovima unutar takvog goriva. Metalni feromagnetski materijali poput željeza, kobalta, nikla i njihovih slitina se pomoću magneta odvajaju iz otpada, a staklo pomoću mehaničke separacije npr. procesom prosijavanja. Ostatak se nakon razdvajanja usitnjava, a moguće ga je i komprimirati u pelete kako bi se mogli koristiti kao zamjena ili nadopuna fosilnim gorivima u pećima tvornica cementa i vapna ili u termoelektranama.



Slika 17. Proces proizvodnje RDF peleta [21]

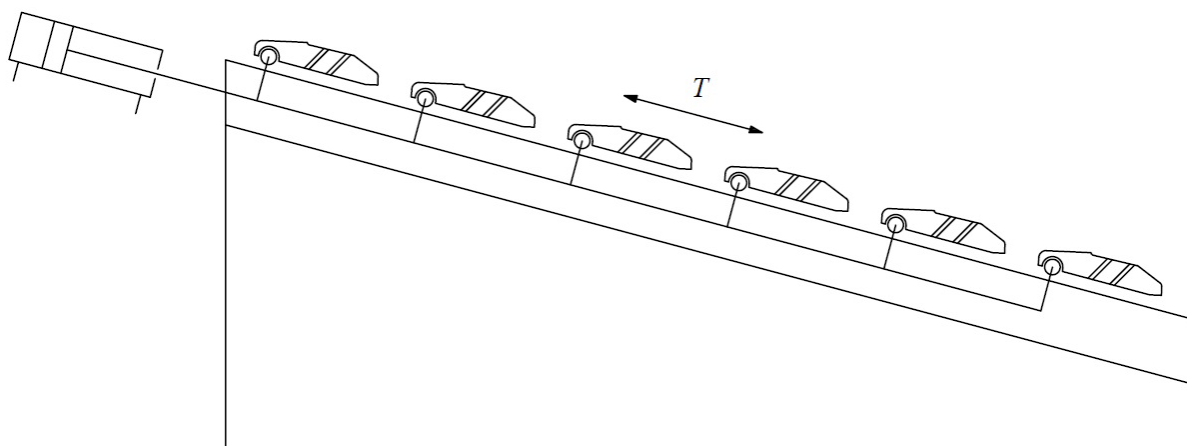
Važan je podatak o udjelu vode u gorivu za kojega je poželjno da bude što niži, odnosno kako bi donja ogrjevna vrijednost goriva,  $H_d$  bila veća. Time bi se vrijeme sušenja goriva unutar ložišta skratilo i omogućilo bi se kretanje goriva većom brzinom kroz ložište. Također, bitno je provjeravati udio sumpora i klora u gorivu zbog visoko temperaturne korozije materijala kotlova koja je potpomognuta prisustvom tih elemenata u kemijskim spojevima dimnih plinova [22]. Biomasa se smatra obnovljivim izvorom energije te ukoliko se poštuje ravnoteža između broja posađenih i posječenih stabala ugljik pohranjen u biljci tijekom njezina života otprilike je jednak količini otpuštenej prilikom izgaranja tvoreći ugljični monoksid, CO i ugljični dioksid, CO<sub>2</sub>. Stoga je poželjno da RDF dijelom sadrži i biomasu, no potrebno je mjeriti kakav učinak to ima na ogrjevnu vrijednost budući da plastični otpad po različitim izvorima doseže vrijednosti od 30-45 MJ/kg, dok se vrijednosti za biomasu kreću od 10-20 MJ/kg ovisno o sastavu. Zbog svoje heterogenosti RDF je potrebno na posebne načine uzorkovati prilikom mjerenja kemijskog sastava te mjerenja ogrjevnih vrijednosti kako bi se mogla izračunati njegova svojstva s manjom statističkom pogreškom. Sve vrijednosti i značajke koje je potrebno iskazati kod proizvodnje goriva iz predobrađenog otpada propisane su normom HRN EN 15359:2012. Nominalni maseni protok goriva u zadatku iznosi:  $Q_m = 1,795 \text{ t/h}$ .

## 7. KONCEPTUALNA RJEŠENJA KONVEJERA

U nastavku je predstavljeno nekoliko različitih koncepata kojima bi razmatrani zadatak mogao biti riješen. Oni se razlikuju u vrsti pogonskih strojeva kao i načinu ostvarivanja oscilatornog gibanja rešetki koje transportiraju gorivo unutar ložišta kogeneracijskog postrojenja. Svaki od koncepata trebao bi omogućiti ispunjavanje uvjeta zadanih zadatkom nakon njegova izbora i konstrukcijske razrade istog. Ukupne gabaritne dimenzije uvjetovane prostorom ložišta iznose: duljina 10 000 mm, širina 3200 mm, početna visina s koje dolazi RDF gorivo 3800 mm te krajnja visina od 900 mm. Prosječni nagib rešetke kada bi se zanemarila njezina stepenasta površina je  $15^\circ$ .

### 7.1. Koncept I - izravni pogon hidrauličkim cilindrom

Koncept I karakterizira pogon pomoću hidrauličkog cilindra koji silom izravno djeluje na kolica koja nose rešetnice. Kolica se translacijski gibaju niz (te uz) kosinu nosive konstrukcije za udaljenost jednaku hodu klipa hidrauličkog cilindra. Umjesto prikazanog jednog pogonskog cilindra, moguće je podijeliti pokretne rešetke na više kolica koja ih mogu nositi. Ona bi se gibala uz pomoć gurača smještenih jedan ispod drugoga koji bi predstavljali produžetak klipnjača hidrauličkih cilindara, prenoseći tako silu na kolica. Kako bi se smanjila sila potrebna za gibanje kolica, podjela na više dijelova je poželjna, također upotreba čeličnih kotača za kolica smanjilo bi silu trenja koja se opire gibanju.



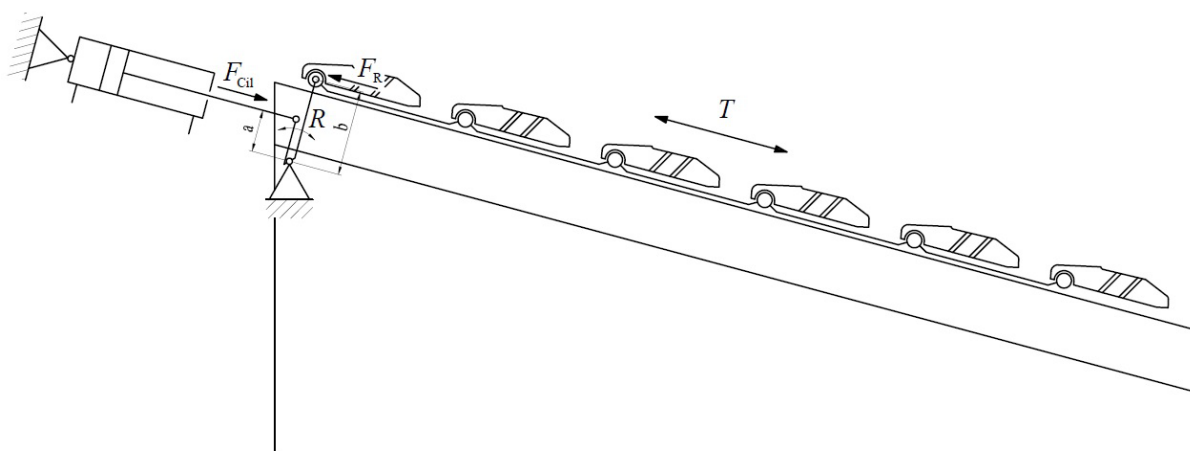
Slika 18. Koncept I

Kotači se gibaju po unutrašnjosti standardnih U-profila, budući da su nosiva konstrukcija, kolica te gurači izvedeni zavarivanjem standardnih (u poprečnom presjeku) zatvorenih i otvorenih profila, cijevi te ploča. Izvedba je robusna te lako omogućava izdvajanje hidrauličkih cilindara izvan zone utjecaja topline, što je ne samo poželjno iz pogleda trajnosti uređaja već i

iz pogleda održavanja budući da je pristup konvejeru s bočnih strana unutar postrojenja otežan. Također vizualno se lakše može vidjeti dolazi li do curenja ulja pri spoju crijeva s hidrauličkim cilindrom.

### 7.2. Koncept II – pogon hidrauličkim cilindrom preko polužnog mehanizma

Koncept II koristi polužni mehanizam kako bi prenio gibanje i silu od klipnjače hidrauličkog cilindra do rešetke. Iznos sile koja djeluje na rešetke ponaša se prema jednadžbi  $F_R = \frac{a}{b} F_{Cil}$ , gdje su  $a$  i  $b$  krakovi poluge, a  $F_{Cil}$  sila hidrauličkog cilindra. Ukoliko je omjer  $a/b$  manji od jedan sila će biti umanjena, što je zbog stajališta smještaja komponenti izgledniji slučaj. Zbog kružne putanje kojom se krak  $a$  giba oko zglobnog oslonca potrebno je omogućiti hidrauličkom cilindru da mijenja svoj nagib pa se na jednom kraju treba postaviti na zglobni oslonac. Problem je moguće riješiti i klizačem na poluzi, no zbog malog kuta odklona poluge od okomitog položaja, promjena sinusa kuta također je mala pa bi i putanja klizača bila izrazito kratka. Također je potreban i zglobni oslonac za pretvorbu rotacijskog gibanja poluge u translaciju rešetki koje se nalaze na kliznom osloncu. Zbog praktičnosti izvedbe povoljnije je izmjestiti hidrauličke cilindre na bočne strane konvejera, a time se i pogonska sila dijeli na dva pa su potrebni cilindri manjih promjera, dok hod ostaje isti.



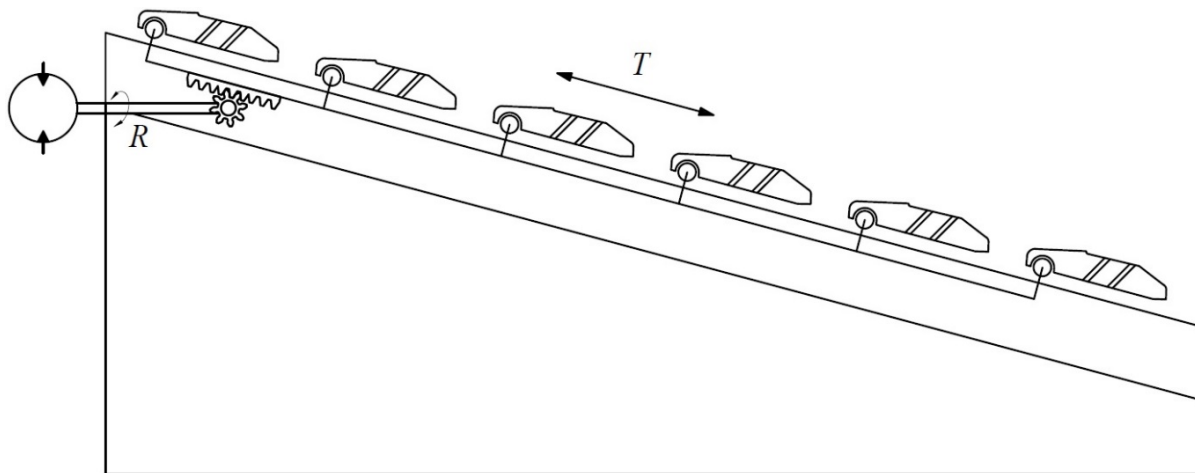
Slika 19. Koncept II

### 7.3. Koncept III - pogon reverzibilnim hidrauličkim motorom preko zupčanika i zupčaste letve

Koncept III sastoji se od reverzibilnog hidrauličkog motora, zupčanika i zupčastih letvi kako bi omogućio prijenos snage i gibanja na rešetke konvejera. Hidraulički motor preko pogonskog vratila izravno djeluje na zupčanik koji je u zahvatu sa zupčastom letvom rešetki. Reverzibilnim motorom upravlja se pomoću hidrauličkih razvodnika te se mijenjanjem smjera rotacije motora mijenja smjer gibanja rešetki. Položaj razvodnika može biti upravljan pomoću



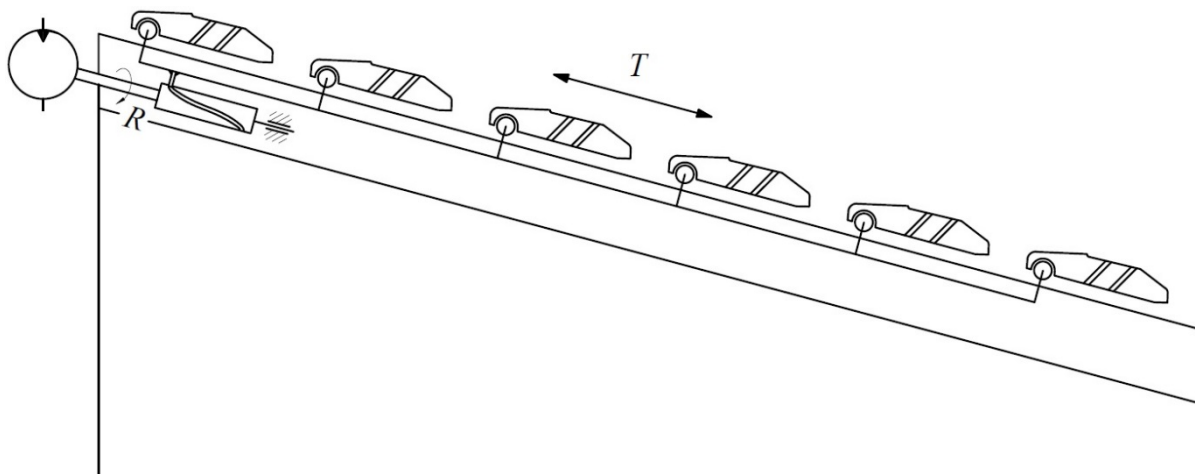
elektromehaničkih graničnika ugrađenih ispod rešetki. Moguće je ostvariti prijenosni omjer uz pomoć dodavanja dodatnog zupčanika između zahvata postojećih.



Slika 20. Koncept III

#### 7.4. Koncept IV - pogon jednosmjernim hidrauličkim motorom preko utornog mehanizma

Koncept IV za razliku od reverzibilnog koristi jeftiniji, jednosmjerni hidraulički motor koji preko utornog mehanizma pokreće rešetke. Oblik utora u valjku određuje položaj rešetke tijekom jednog okretaja vratila motora. Svornjak koji prati položaj utora čvrsto je vezan za nosač rešetke koje samo imaju mogućnost gibanja po pravcu.

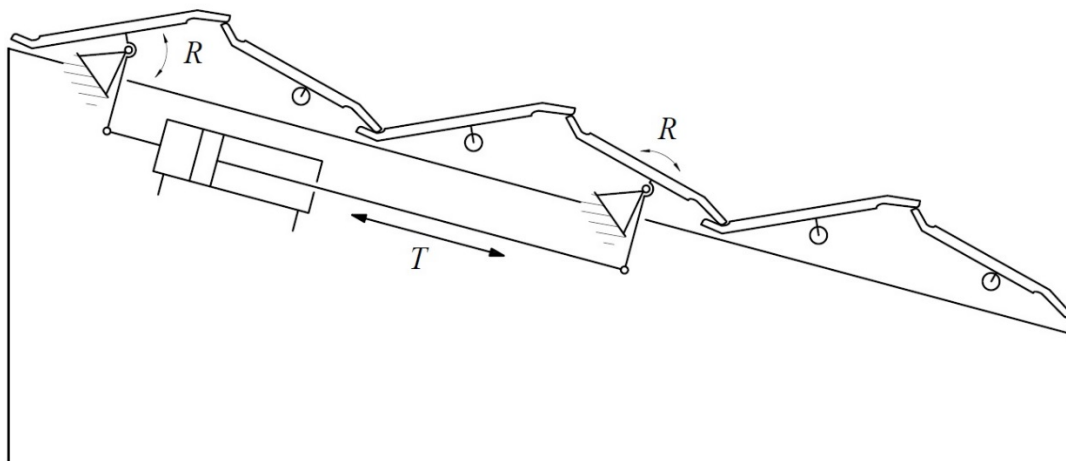


Slika 21. Koncept IV

#### 7.5. Koncept V - pogon hidrauličkim cilindrom za oscilatorno rotacijsko gibanje rešetke

Koncept V razlikuje se od ostalih konceptijskih rješenja po vrsti gibanja rešetke. Ono je oscilatorno rotacijsko gibanje koje kada se promatra u cjelovitom sklopu podsjeća na valove. Svaki drugi red rešetke nalazi se istovremeno pod istim nagibom, a redovi rešetke između njih

također se nalaze pod međusobno istim nagibom koji se razlikuje od prvoga. Dok se jedne rešetke rotiraju u jednom smjeru, druge se rotiraju u suprotnome. Pogonjene su hidrauličkim cilindrima koji su polugama spojeni na redove rešetki. Hidraulički cilindri se nalaze na bočnim stranama konvejera.



Slika 22. Koncept V

## 7.6. Vrednovanje koncepata

Bitna karakteristika konvejera je mogućnost neovisnog upravljanja gibanjem u tri različite faze izgaranja goriva na rešetci koje uključuju: sušenje, samo izgaranje i formiranje pepela. Stoga konceptualna rješenja koja omogućuju navedeno imaju prednost pri odabiru. Također, svako prekidanje rada i gašenje postrojenja radi održavanja nosi sa sobom određene materijalne troškove te ih je važno svesti na minimum izborom pouzdanog rješenja. U konačnici je odabrano šest kriterija koji utječu na ukupnu ocjenu koncepta, a pojedinačne ocjene se nalaze u rasponu od 1 do 5, gdje je najlošije rješenje ocijenjeno s 1, a najbolje s 5. Posljednja dva kriterija su ocijenjena s DA ili NE, koji vrijede 1, odnosno 0. Samim tim ta dva kriterija imaju manji utjecaj u ukupnoj ocjeni.

Tablica 1. Vrednovanje koncepata

Koncept Kriterij	Koncept I	Koncept II	Koncept III	Koncept IV	Koncept V
Pogonski element	5	5	3	4	5
Održavanje	5	4	3	3	4
Kompleksnost	5	4	3	4	2
Upravlјivost fazama	4	4	2	3	2
Promjena duljine hoda	NE	NE	DA	NE	NE
Ostvarivanje prijenosnog omjera	NE	DA	DA	NE	DA
$\Sigma$ ocjena	19	18	13	14	14

Najbolju ocjenu u Tablici 1. ima koncept I uglavnom zbog svoje jednostavnosti, robusnosti i jeftinije cijene. Koncept II također je povoljno ocijenjen te ga karakterizira mogućnost ostvarivanja povećanja sile ili hoda preko polužnog mehanizma, no inherentnu kompleksnost takvog sustava je teže opravdati kada se u obzir uzmu uvjeti rada konvejera. Podmazivanje dijelova pri njihajućem gibanju također nije najpovoljnije kod takvog rješenja. Ostala konceptijska rješenja imaju svoje prednosti i mane, no nisu uspjela ući u uži izbor. Konstrukcijska razrada provest će se na konceptu I kojeg karakterizira izravan pogon rešetki pomoću hidrauličkih cilindara.

## 8. PRORAČUN POGONSKOG MEHANIZMA

Konstruktivski je razrađen koncept I kojega, kako je spomenuto u prošleme poglavlju, karakterizira izravan pogon rešetki pomoću hidrauličkih cilindara. Sile koje je potrebno svladati su težine, sile trenja te inercijske sile. Na Slici 18. radi jednostavnosti su prikazane samo pokretne rešetke. Između njih nalaze se nepokretne rešetke koje su na jednom kraju oslonjene na cijevi promjera  $\phi 82,5$  mm, debljine stijenke 10 mm, koje su preko profila vezane za nosivu konstrukciju. Pokretne rešetke su podijeljene u tri grupe od kojih se svaka nalazi na svojim kolicima. Same rešetnice su također na jednom kraju oslonjene na cijevi koje su vezane za kolica. Svako od troje kolica pokretano je jednim hidrauličkim cilindrom preko gurača izrađenih od standardnih profila i ploča. Sva tri kolica imaju otprilike sličnu masu od oko 550 kg, a mase gurača se zbog njihove duljine i veličine profila razlikuju. Gurači su smješteni tako da je najkraći gurač 1 - povezan s kolicima 1, postavljen najviše. Ispod njega se nalazi dulji gurač, gurač 2 - povezan s kolicima 2. Najdulji gurač je gurač 3 - povezan s kolicima 3, i smješten je najniže. Gurači imaju oblik vilice koja je na svome jedinstvenome kraju vezana za hidrauličke cilindre, a na drugome kraju s dvije strane vezana za kolica pomoću osovine.

### 8.1. Određivanje sila u sustavu

Duljina gurača 3 najvećim dijelom je ostvarena upotrebom zatvorenog kvadratnog profila dimenzija 150 x 150 mm s debljinom stijenke 8 mm. Takav profil ima masu od 35,1 kg/m pa upotreba dva takva profila duljine 6320 mm predstavlja masu od 443,7 kg. Ukupna masa gurača 3 iznosi 912 kg, a za usporedbu gurač 2 je mase 626,5 kg, a gurač 1 ima masu od 182,3 kg. Mase pojedinih dijelova i njihovih kombinacija mogu se vidjeti u Tablici 2.

**Tablica 2. Mase kolica i gurača**

Dio	1	2	3
Masa			
Masa kolica [kg]	550	552,2	550,8
Masa gurača [kg]	182,3	626,5	912
$\Sigma$ masa [kg]	732,3	1178,7	1462,8

Daljnji proračun proveden je za kombinaciju kolica 3 i gurača 3 jer će predstavljati najteži zadatak za pogonski element. Na svakoj od tri cijevi duljine 2210 mm na kolicima nalaze se 44 rešetnice širine 50 mm. Njihova pojedinačna masa iznosi 8 kg, što znači da im je ukupna

masa na kolicima 1056 kg. Osim mase konstrukcije pogon mora gubiti i masu goriva na rešetkama. Budući da je maseni protok goriva jednak:  $Q_m = 1,795$  t/h, a gorivo na rešetkama u prosjeku izgara oko 45 min, može se izračunati masa RDF-a koja je u svakom trenutku na rešetkama, a ona iznosi:

$$m_{\text{RDF,uk}} = Q_m \cdot t = 1795 \cdot \frac{45}{60} = 1346,25 \text{ kg} \quad (1)$$

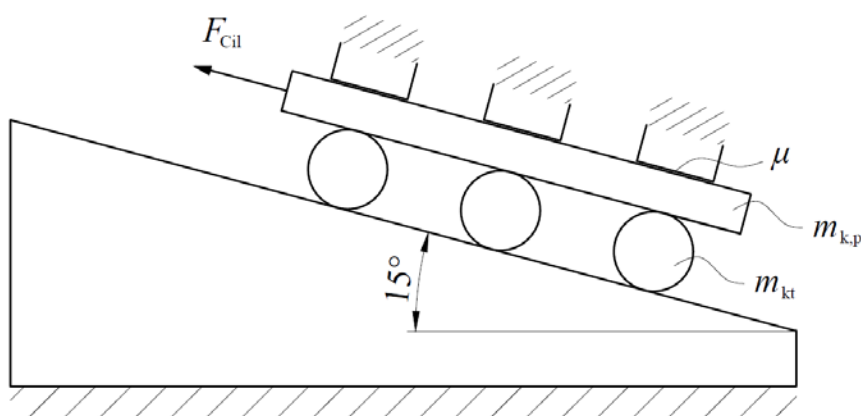
Pojedina kolica nose trećinu te mase, odnosno: 448,75 kg. Budući da gorivo gubi na masi tijekom izgaranja, taj iznos je manji dok gorivo dospije do trećih kolica. Ukupna masa pepela nastala izgaranjem iznosi od 15-25% mase goriva. Većina, od 80-90%, nastalog pepela ostaje na rešetkama ili propada kroz njih, dok ostatak od 10-20% biva odnesen zajedno s dimnim plinovima iz kojih se mora ukloniti u što većoj mjeri prije izlaska kroz dimnjak postrojenja [23]. Radi sigurnosti računat će se s polovicom te mase, odnosno: 224,38 kg, budući da na početnom dijelu trećih kolica gorivo još možda u potpunosti nije izgorjelo, što i dalje predstavlja veću ukupnu masu nego da je odabrana masa kolica 2, gurača 2, masa rešetnica na kolicima i trećina ukupne mase goriva. To je prikazano sljedećim izrazom:

$$m_{k,3} + m_{g,3} + m_{rk} + 0,5 \cdot \frac{m_{\text{RDF,uk}}}{3} > m_{k,2} + m_{g,2} + m_{rk} + \frac{m_{\text{RDF,uk}}}{3} \quad (2)$$

$$550,8 + 912 + 1056 + 0,5 \cdot \frac{1346,25}{3} > 552,2 + 626,5 + 1056 + \frac{1346,25}{3} \quad (3)$$

$$2743,18 \text{ kg} > 2683,45 \text{ kg} \quad (4)$$

Dakle, ukupna masa koju cilindar 3 mora pokrenuti iznosi 2743,18 kg. Nagib konvejera iznosi  $15^\circ$ , a kolica se niz kosinu gibaju na šest kotača - po tri sa svake strane. Na Slici 23. je prikazan model kolica na kosini upotrebljen za izračun.

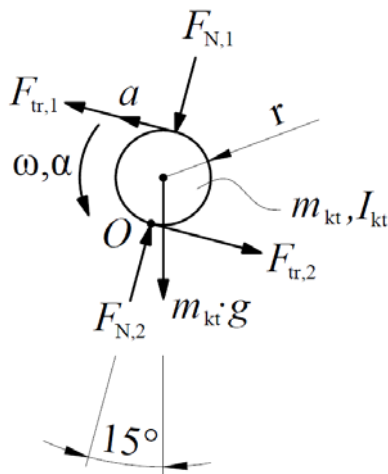


Slika 23. Model kolica na kosini

Cjelokupni mehanizam je samokočan budući da vrijedi uvjet samokočnosti prema [24]:

$$\alpha_k = 15^\circ \leq \rho = \arctg \mu = \arctg 0,8 \cong 38,7^\circ. \quad (5)$$

Pretpostavljeno je čisto kotrljanje bez proklizavanja. Da bi se izračunala sila hidrauličkog cilindra prvo je potrebno osloboditi tijela veza. Prvo je prikazan jedan od kotača u slučaju kada se kolica gibaju prema gore i ubrzavaju.



Slika 24. Model kotača

Iz Slike 24. može se izvesti jednadžba sume momenata oko točke  $O$ , koja glasi:

$$\sum M_O = 0, \quad (6)$$

$$F_{tr,1} \cdot 2r - m_{kt} \cdot g \cdot r \cdot \sin 15^\circ - \alpha \cdot I_{kt} - \frac{a}{2} m_{kt} = 0. \quad (7)$$

Pri čemu je  $I_{kt}$  moment tromosti kotača oko točke  $O$ , koji je zbroj momenta tromosti kotača oko osi simetrije te tzv. Steinerovog dodatka te iznosi:

$$I_{kt} = \frac{1}{2} m_{kt} \cdot r^2 + m_{kt} \cdot r^2, \quad (8)$$

$$I_{kt} = \frac{3}{2} m_{kt} \cdot r^2. \quad (9)$$

Kutno ubrzanje  $\alpha$  iznosi:

$$\alpha = \frac{a}{2r}, \quad (10)$$

pri čemu je  $a$ , tangencijalna komponenta ubrzanja jednaka ubrzanju kolica. Iz jednadžbe (6) izražena je sila trenja između kotača i kolica. Uvrštavanjem jednadžbi (8) i (9) dobiva se:

$$F_{tr,1} \cdot 2r - m_{kt} \cdot g \cdot r \cdot \sin 15^\circ - \frac{a}{2r} \cdot \frac{3}{2} m_{kt} \cdot r^2 - \frac{a}{2} m_{kt} = 0, \quad (11)$$

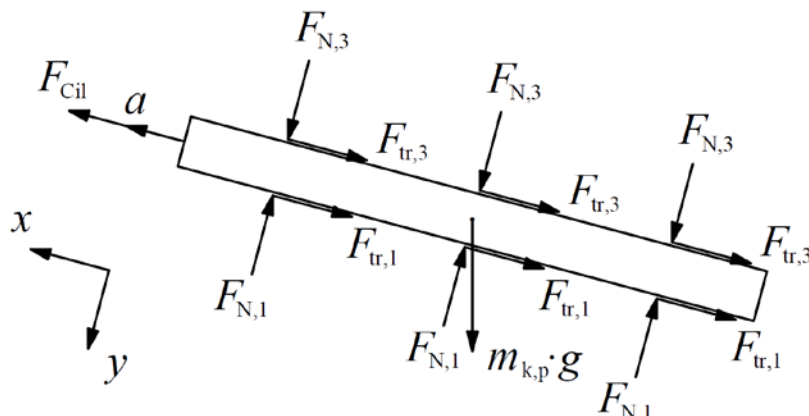
te nakon dijeljenja s  $2r$ :

$$F_{tr,1} = \frac{1}{2} m_{kt} \cdot g \cdot \sin 15^\circ + \frac{3}{8} m_{kt} \cdot a + \frac{a}{4r} m_{kt}, \quad (12)$$

$$F_{tr,1} = \frac{1}{2} m_{kt} \left( g \cdot \sin 15^\circ + \frac{3a}{4} + \frac{a}{2r} \right). \quad (13)$$

Sila trenja između kotača i kolica izražena je pomoću poznatih veličina, budući da je ubrzanje prikazano na Slici 28.

Na Slici 25. prikazan je model kolica sa svim silama koje djeluju na njih, imajući na umu da u dubini (smjeru osi  $z$ ) djeluje još jedan set normalnih sila i sila trenja između kotača i kolica.



Slika 25. Kolica oslobođena veza

Jednadžba sume sila u smjeru osi  $x$  glasi:

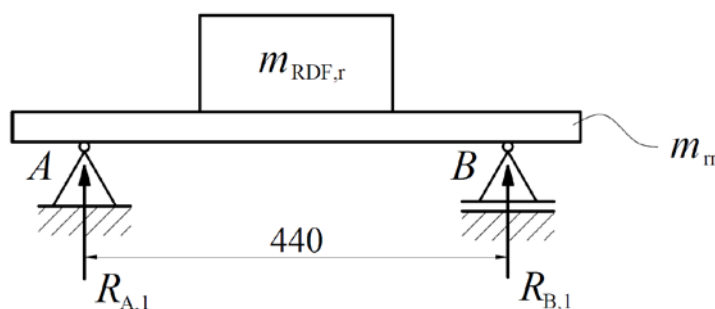
$$\sum F_x = 0, \quad (14)$$

$$F_{\text{Cil}} - 6F_{\text{tr},1} - 3F_{\text{tr},3} - m_{\text{k,p}} \cdot g \cdot \sin 15^\circ - m_{\text{k,p}} \cdot a = 0. \quad (15)$$

Još preostaje izračun sile  $F_{\text{tr},3}$ , koja predstavlja ekvivalentnu silu trenja između rešetnica, a ona se računa pomoću izraza:

$$F_{\text{tr},3} = \sin 15^\circ \cdot R_{A,i} + \mu \cdot \cos 15^\circ (R_{B,i} + R_{B,i-1}). \quad (16)$$

gdje indeks „ $i$ “ ima vrijednosti 13, 15 i 17 ovisno o rednom broju rešetke. Slijedi izračun reakcija u osloncima prvog reda rešetki pomoću modela prikazanog na Slici 26.



Slika 26. Model prvog reda rešetki

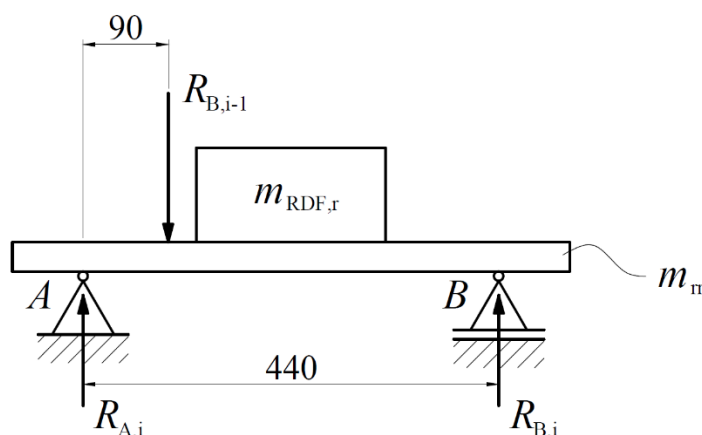
$$\sum M_A = 0, \quad (17)$$

$$R_{B,1} \cdot 440 - (m_{\text{RDF},r} + m_{\text{tr}}) \cdot g \cdot 220 = 0, \quad (18)$$

$$R_{B,1} = \frac{(m_{\text{RDF},r} + m_{\text{tr}}) \cdot g}{2}, \quad (19)$$

$$R_{A,1} = R_{B,1}. \quad (20)$$

U drugom redu (i svim idućim redovima) rešetke imaju dodatno opterećenje reakcije oslonca iz prethodnog reda. To je prikazano na Slici 27. u kojoj indeks „i“ označava redni broj rešetke brojeći odozgor.



**Slika 27. Model rešetke s reakcijskim opterećenjem**

Prikazan je izračun reakcija u osloncima drugog reda rešetki, dok je ostatak rezultata prikazan u Tablici 3. radi preglednosti budući da se cijelo vrijeme ponavlja isti račun.

$$\sum M_A = 0, \quad (21)$$

$$R_{B,2} \cdot 440 - (m_{RDF,r} + m_{rr}) \cdot g \cdot 220 - R_{B,1} \cdot 90 = 0, \quad (22)$$

$$R_{B,2} = \frac{(m_{RDF,r} + m_{rr}) \cdot g \cdot 220 + R_{B,1} \cdot 90}{440}, \quad (23)$$

$$R_{A,2} = R_{B,1} + (m_{RDF,r} + m_{rr}) \cdot g - R_{B,2}. \quad (24)$$

Masa goriva po rešetki,  $m_{RDF,r}$ , iznosi:

$$m_{RDF,r} = \frac{m_{RDF,uk}}{18} = \frac{1346,25}{18} = 74,8 \text{ kg}. \quad (25)$$

Masa reda rešetnica,  $m_{rr}$ , iznosi:

$$m_{rr} = 44 \cdot 8 = 352 \text{ kg}. \quad (26)$$

Za ubrzanje Zemljine sile teže uzima se vrijednost:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Slijede iznosi reakcija u Tablici 3. izračunati u programu *Matlab*. Može se primijetiti kako rješenja konvergiraju konačnoj vrijednosti te ostaju ista nakon 8. reda rešetki.



Tablica 3. Iznosi reakcija u osloncima

Red \ Reakcija oslonca	$R_{A,i}$ [N]	$R_{B,i}$ [N]
1	2093,5	2093,5
2	3758,7	2521,7
3	4099,3	2609,2
4	4169	2627,2
5	4183,2	2630,8
6	4186,2	2631,6
7	4186,7	2631,7
8	4186,9	2631,8
9	4186,9	2631,8
10	4186,9	2631,8
11	4186,9	2631,8
12	4186,9	2631,8
13	4186,9	2631,8
14	4186,9	2631,8
15	4186,9	2631,8
16	4186,9	2631,8
17	4186,9	2631,8
18	4186,9	2631,8

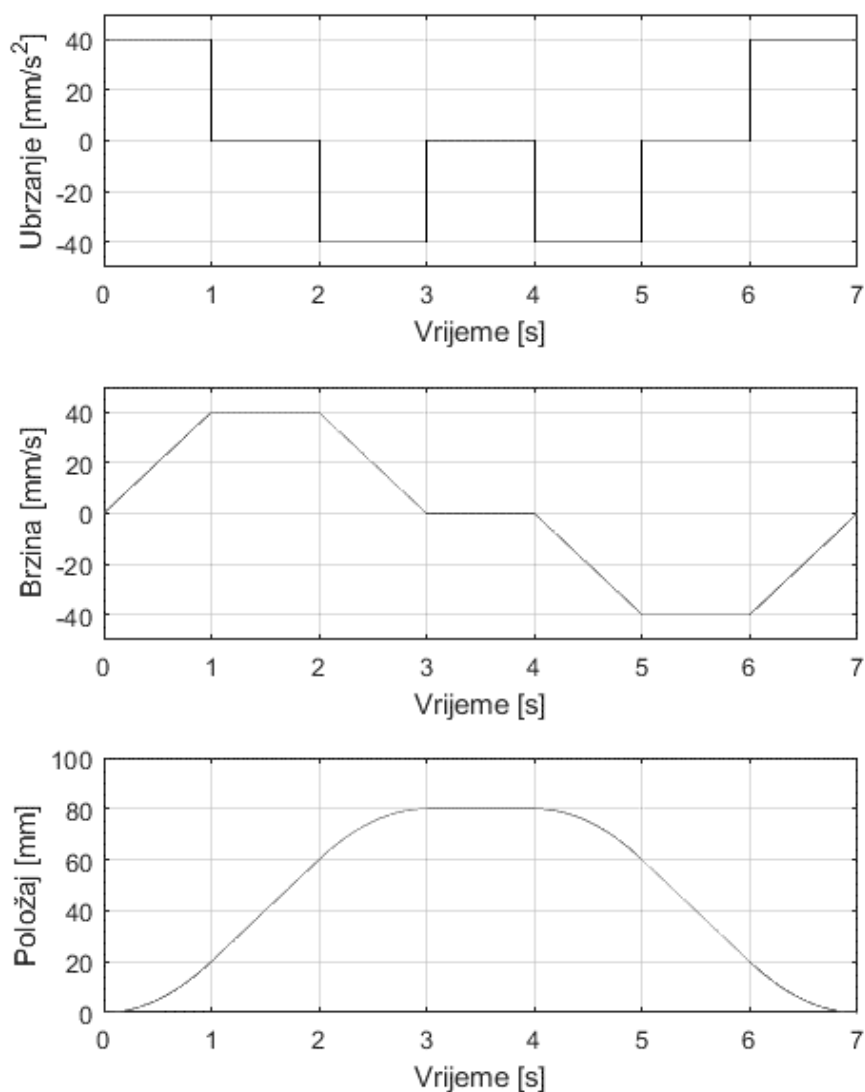
Skupa s trećim kolicima pomiču se redovi 13, 15 i 17. Jednadžba broj (16) kojom se računa ekvivalentna sila trenja sada glasi:

$$F_{tr,3} = \sin 15^\circ \cdot 4186,9 + \mu \cdot \cos 15^\circ (2631,8 + 2631,8), \quad (27)$$

odnosno, uzimajući da je vrijednost faktora trenja između čeličnih rešetnica 0,8, sila  $F_{tr,3}$  iznosi:

$$F_{tr,3} = 5151 \text{ N.} \quad (28)$$

Na Slici 28. se nalazi profil gibanja izrađen u programu *Matlab*. Profil je iskorišten za određivanje ubrzanja koje je potrebno za izračun sile hidrauličkog cilindra.



**Slika 28. Profil gibanja**

Hod klipnjače iznosi 80 mm te ona vrši jednoliko ubrzano gibanje dok ne dosegne brzinu od 40 mm/s unutar vremena od 1 s. Maksimalna apsolutna vrijednost ubrzanja iznosi 40 mm/s<sup>2</sup>.

## 8.2. Odabir pogonskih hidrauličkih cilindara

Iz jednadžbe (15) potrebna pogonska sila hidrauličkog cilindra iznosi:

$$F_{\text{Cil}} = 6F_{\text{tr},1} + 3F_{\text{tr},3} + m_{\text{k,p}} \cdot g \cdot \sin 15^\circ + m_{\text{k,p}} \cdot a, \quad (29)$$

$$F_{\text{Cil}} = 6 \left[ \frac{1}{2} m_{\text{kt}} \left( g \cdot \sin 15^\circ + \frac{3a}{4} + \frac{a}{2r} \right) \right] + 3 \left[ \sin 15^\circ \cdot R_{\text{A},i} + \mu \cdot \cos 15^\circ (R_{\text{B},i} + R_{\text{B},i-1}) \right] + m_{\text{k,p}} \cdot g \cdot \sin 15^\circ + m_{\text{k,p}} \cdot a, \quad (30)$$

te nakon uvrštavanja vrijednosti:

$$m_{\text{kt}} = 4,89 \text{ kg}, \quad (31)$$

$$a = 40 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}, \quad (32)$$

$$r = 57,5 \text{ mm}, \quad (33)$$

$$m_{\text{k,p}} = 2743,18 \text{ kg}, \quad (34)$$

slijedi da je potrebna pogonska sila hidrauličkog cilindra za slučaj kada se uvlači i poteže teret ubrzanjem  $a$ :

$$F_{\text{Cil}} = 6 \left[ \frac{1}{2} \cdot 4,89 \left( 9810 \cdot \sin 15^\circ + \frac{3 \cdot 40}{4} + \frac{40}{2 \cdot 57,5} \right) \right] + 3 \left[ \sin 15^\circ \cdot 4186,9 + 0,8 \cdot \cos 15^\circ (2631,8 + 2631,8) \right] + 2743,18 \cdot 9810 \cdot \sin 15^\circ + 2743,18 \cdot 40, \quad (35)$$

$$F_{\text{Cil}} = 22565394,5 \frac{\text{kg} \cdot \text{mm}}{\text{s}^2} = 22565,4 \text{ N} \cong 22,6 \text{ kN}. \quad (36)$$

Za slučaj kada se teret spušta (klipnjača izvlači) i usporava, sile trenja između kotača i kolica te između čeličnih rešetnica će djelovati na silu koju cilindar mora razviti tako da će je smanjivati. Dakle, uz potrebnu pogonsku silu hidrauličkog cilindra i podatak o hodu klipa moguće je izvršiti odabir pogonskog elementa na internetskim stranicama proizvođača *Bosch Rexroth*, gdje je konfiguriran proizvod CDH3MF3/100/70/80A3X/D44NMURZEWAWUFB prikazan na Slici 29. skupa sa svim tehničkim specifikacijama. Na Slici 30. je prikazan kratki proračun cilindra dostupan na stranici proizvođača. Tri ista hidraulička cilindra uzimaju se za pogon svih kolica konvejera. Element za prijenos sile s klipnjače hidrauličkog cilindra na gurač kolica izvedbe je sa samopodesivim ležajem, oznake CGAK 58. Na klipnjaču cilindra spaja se pomoću navoja M58x1,5 te se na gurač spaja osovinom kroz unutarnji prsten promjera 60 mm.

Configuration documentation  
Mill type cylinder



Model code CDH3MF3/100/70/80A3X/D44NMURZEWWAWUFB

[Link to configuration](#)

Hint: Link to configuration valid until 2023-07-06

Description

Mode of operation	CD	Single rod cylinder
Range	H3	Range H3
Mounting types	MF3	Round flange at head end
Bore diameter	100	D = 100 mm
Piston rod diameter	70	d = 70 mm
Stroke length	80	mm
Design principle	A	Flanged head and cap
Component series	3X	30 to 39 unchanged installation and connection dimensions
Port connection / types	D	Flange hole configuration according to ISO 6162 table 2 (SAE 6000 PSI) d3 = 19 c = 50.8 w = 23.8 d1 = M10
Port location at head	4	Left - viewed on the piston rod
Port location at cap	4	Left - viewed on the piston rod
Piston rod version	N	Nickel and hard chromium-plated
Piston rod end	M	With self-aligning clevis fitted CGAK KK = M58x1.5 CH = 130 CN = 60
End position cushioning	U	Without
Seal version	R	Reduced friction for heavy industry (for mineral oil HL, HLP and HFA)
Option	Z	Additional options
Proximity switch	E	Inductive proximity switch
Guide rings	W	Without
Screwed coupling	W	Without
Ball and socket joint option	A	Self-aligning bearing maintenance-free
Piston rod extension	W	Without
Corrosion category	U	Class CP6 Properties: 1000 h salt spray test SST (DIN EN ISO 9227) 480 h condensation test KKT (DIN EN ISO 6270-2) nominal layer thickness: 220 µm  Application indoors: Buildings or areas with almost permanent condensation and heavy contamination.  Application outdoors: Industrial areas with high damp levels and aggressive atmosphere.
Color		RAL7026 - Granite grey
Oil filling	F	with corrosion protection oil VG 68
Test certificate	B	with declaration of compliance with the order 2.1 according to EN 10204

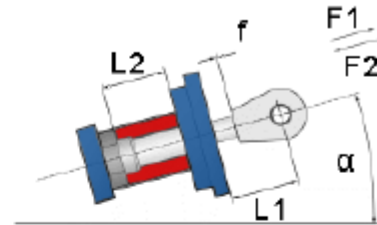


Slika 29. Izabrani pogonski element [25]

## CDH3MF3/100/70/80A3X/D44NMURZEWWAWUFB

## Technical data

System press.	100 bar (min/max = 1/350)
Pushing Force F1	78.5 kN (min/max = 0/78.5)
Pulling Force F2	40.0 kN (min/max = 0/40.0)
Stroke length L2	80 mm (min/max = 1/3000)
Inst. angle	345 ° (min/max = 0/360)
Installation length L1	



## Other design criteria

<input checked="" type="checkbox"/> With fitted self-aligning clevis	
Self-aligning clevis service case	quasistatic
<input checked="" type="checkbox"/> Load guided	
<input checked="" type="checkbox"/> Mating part in contact f	

## damping capacity

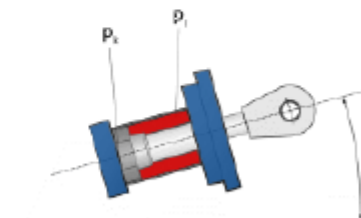
 check damping capacity

Extend	Retract
Weight	Weight
Speed	Speed

## Result

## Safety factors

- Buckling calculation at load pressure (sf1)	15.5
- Bending calculation at load pressure (sf2)	26.6
- Buckling calculation at system pressure (sf3)	15.5
- Bending calculation at system pressure (sf4)	26.6
- On self-aligning clevis under load pressure (sf5)	15.5
- On self-aligning clevis under system pressure (sf6)	26.6
Load pressure p r (at p k = 0)	100 Bar
Load pressure p k (at p r = 0)	100 Bar
Damping calculation has been taken into account	No
Number of load cycles	No limits
Standards	Bosch Rexroth AG



Guarantee claims arising from the calc. will not accepted by Bosch Rexroth AG.

Calculation under static conditions without taking friction and efficiency into account!

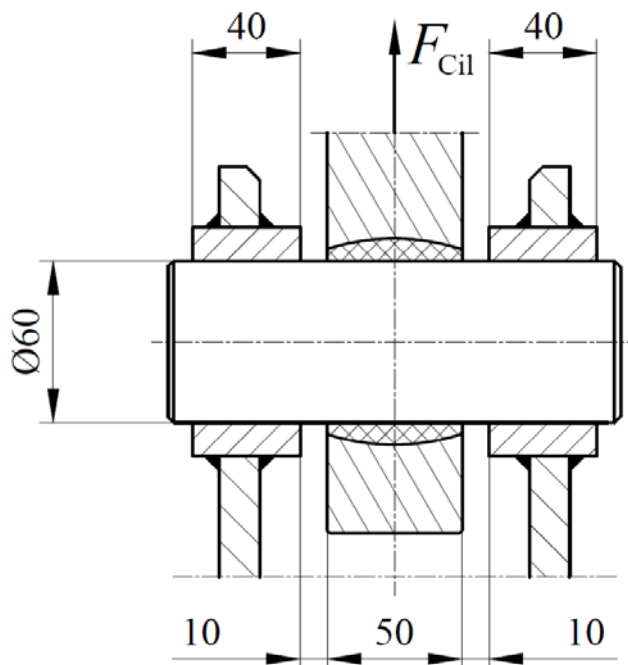
The load cycle calculation does not take buckling into account

The maximum forces are based on the system pressure that has been input

Does conform to the Bosch Rexroth AG recommended safety factors (sf1 = 3.5, sf2 = 2.5)

### 8.3. Proračun svornjaka pogonskog elementa

Ovaj svornjak povezuje pogonski hidraulički cilindar s guračem te je opterećen savojno, smično te na dodirni pritisak. Promjer mu iznosi 60 mm, dok su širine elemenata u spoju prikazane na Slici 31.



Slika 31. Svornjak pogonskog elementa

Najveći unutarnji moment savijanja prema dijagramu na Slici 32. iznosi:

$$\begin{aligned}
 |M_{f,\max}| &= \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{\text{Cil}}}{2} t_v + \frac{F_{\text{Cil}}}{2} t_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{\text{Cil}}}{2} \cdot \frac{t_u}{2} = \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{22565,4}{2} \cdot 40 + \frac{22565,4}{2} \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot \frac{22565,4}{2} \cdot \frac{50}{2} = 479514,75 \text{ Nmm},
 \end{aligned} \tag{37}$$

Savojno naprezanje prema [27] iznosi:

$$\sigma_f = \frac{K_A \cdot |M_{f,\max}|}{W} = \frac{1,2 \cdot 479514,75}{0,1 \cdot 60^3} = 26,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \tag{38}$$

smično naprezanje iznosi:

$$\tau_{s,\max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot F_{\text{Cil}}}{2A} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1,2 \cdot 22565,4 \cdot 4}{2 \cdot 60^2 \pi} = 6,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \tag{39}$$

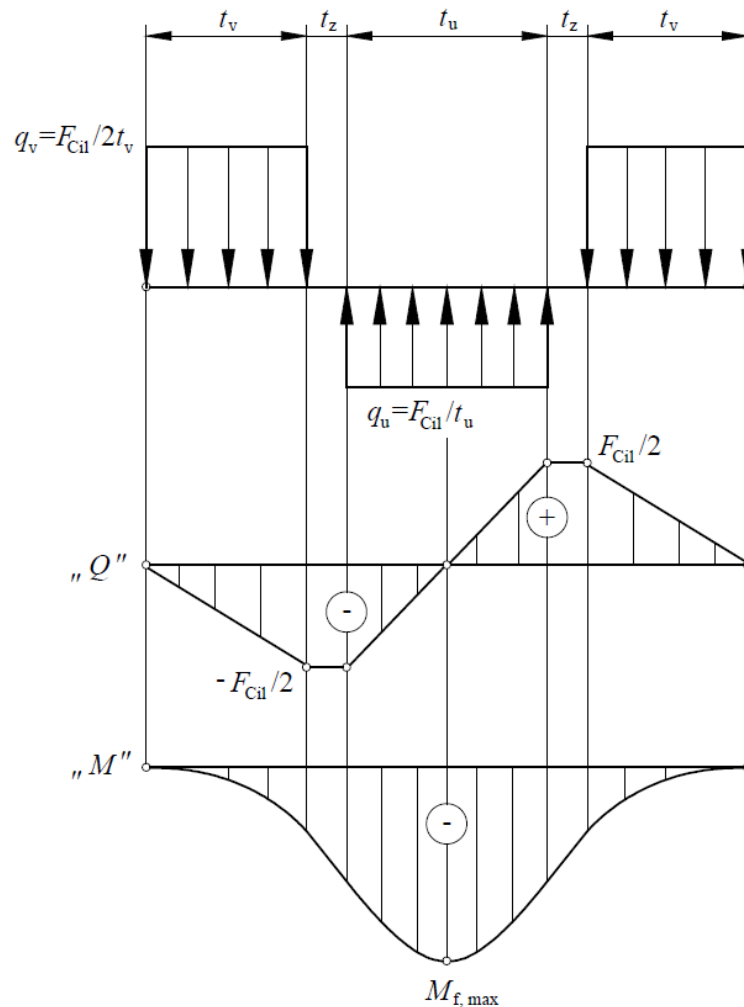
te površinski tlakovi:

$$p_u = \frac{K_A \cdot F_{\text{Cil}}}{t_u \cdot d} = \frac{1,2 \cdot 22565,4}{50 \cdot 60} = 9,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \tag{40}$$

$$p_v = \frac{K_A \cdot F_{\text{Cil}}}{2t_v \cdot d} = \frac{1,2 \cdot 22565,4}{2 \cdot 40 \cdot 60} = 5,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \tag{41}$$

gdje su:

- $d$  [mm] - promjer osovine,
- $t_u, t_v$  [mm] - širine dijelova u spoju,
- $A$  [mm<sup>2</sup>] - površina presjeka osovine,
- $K_A$  [-] - faktor primjene odnosno pogonski faktor.



**Slika 32. Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja pogonske osovine**

Dopuštene vrijednosti naprezanja su:

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{S \cdot \beta_{kf}} = \frac{190 \cdot 0,8 \cdot 0,9}{3 \cdot 1} = 45,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \sigma_f = 26,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (42)$$

$$\tau_{s,dop} = \frac{\tau_{tDN}}{S} = \frac{110}{3} = 36,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \tau_s = 6,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (43)$$

$$p_{dop} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_u = 9,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (44)$$

$$p_{dop} = 12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_v = 5,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (45)$$

gdje su:

- $\sigma_{FDN}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća kod savijanja čistim naizmjeničnim ciklusom za materijal S235JR [27],
- $\tau_{tDN}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća prema Smith-ovom dijagramu pri čistom naizmjeničnom ciklusu smičnog opterećenja za materijal S235JR [27],
- $p_{dop}$  [N/mm<sup>2</sup>] - dopušteni površinski tlak [26],
- $S$  [-] - faktor sigurnosti prema Haberhaueru i Bodensteinu za mirujuće osovine [27],
- $b_1$  [-] - faktor veličine strojnog dijela [27],
- $b_2$  [-] - faktor kvalitete obrade površine [27],
- $\beta_{kf}$  [-] - efektivni (dinamički) faktor zarezno djelovanja kod savijanja [27].

Vrijednosti faktora su očitane iz literature pomoću ulaznih podataka konstrukcije. Sve vrijednosti naprezanja i površinskih tlakova manje su od maksimalno dopuštenih. Dakle, pogonska osovina zadovoljava proračun čvrstoće.

#### 8.4. Proračun uški gurača

Uške gurača opterećene su vlačnom silom hidrauličkog cilindra te je proveden njihov proračun. Sila kojom je opterećena jedna od uški gurača iznosi  $F_{Cil} / 2$ , a površina opterećena tom silom iznosi:

$$A_u = 2 \cdot \left( 40 \cdot 12,5 + 15 \cdot 22,5 - 5 \cdot \frac{5}{2} \right) = 755 \text{ mm}^2. \quad (46)$$

Vlačno naprezanje uški iznosi:

$$\sigma_u = \frac{F_{Cil}}{2 \cdot A_u} = \frac{22565,4}{2 \cdot 755} = 14,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (47)$$

dok je dopušteno naprezanje:

$$\sigma_{u,dop} = \frac{R_e}{S} = \frac{220}{3} = 73,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (48)$$

Budući da vrijedi:

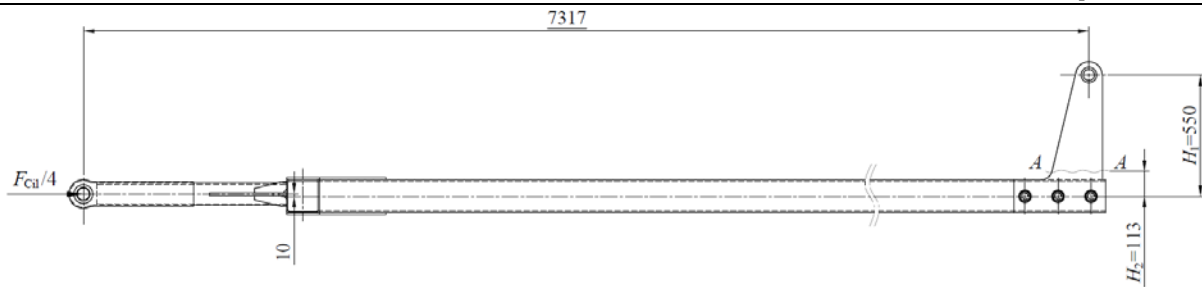
$$\sigma_{u,dop} = 73,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \sigma_u = 14,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (49)$$

uške zadovoljavaju proračun.

#### 8.5. Proračun ploče gurača 3

Ploča gurača opterećena je smično te savojno, stoga je proveden njihov proračun. Sila hidrauličkog cilindra dijeli se na dva kraka gurača, a svaki od tih krakova izrađen od pravokutnog profila dimenzija poprečnog presjeka 150x150x8 mm na svome kraju ima dvije ovakve ploče debljine 25 mm. Na Slici 33. prikazano je opterećenje ploče gurača.





Slika 33. Opterećenje ploče gurača 3

Smično naprezanje kritičnog presjeka A-A iznosi:

$$\tau_p = \frac{F_{Cil}/4}{A_p} = \frac{22565,4/4}{5700} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (50)$$

pri čemu je površina kritičnog presjeka jednaka:

$$A_p = b \cdot t = 228 \cdot 25 = 5700 \text{ mm}. \quad (51)$$

Savojno naprezanje kritičnog poprečnog presjeka A-A iznosi:

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{M_p}{W_p} = \frac{F_{Cil}/4 \cdot (H_1 - H_2 + 10)}{\frac{tb^2}{6}} = \frac{22565,4/4 \cdot (550 - 113 + 10)}{\frac{25 \cdot 228^2}{6}} = \\ &= 11,64 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \end{aligned} \quad (52)$$

Reducirano naprezanje iznosi:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau_p^2} = \sqrt{11,64^2 + 3 \cdot 1^2} = 11,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (53)$$

dok je dopušteno naprezanje:

$$\sigma_{p,dop} = \frac{R_e}{S} = \frac{220}{3} = 73,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (54)$$

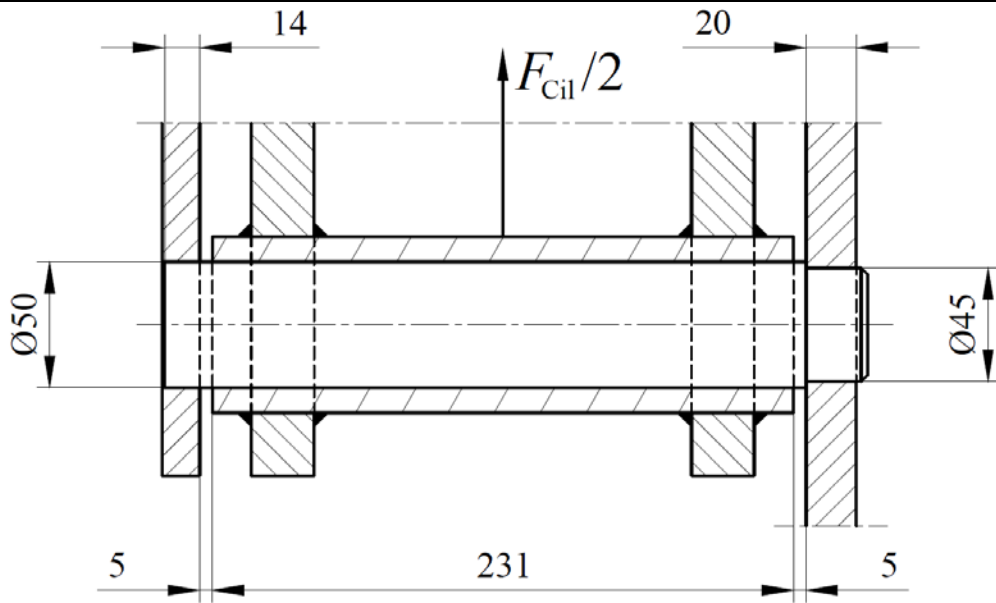
Budući da vrijedi:

$$\sigma_{p,dop} = 73,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \sigma_{red} = 11,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (55)$$

ploča zadovoljava proračun.

### 8.6. Proračun osovine kolica 3

Ova osovina povezuje gurač s kolicima te je opterećena savojno, smično te na dodirni pritisak. Izvedena je stupnjevano te joj veći promjer iznosi 50 mm, a manji 45 mm, dok su širine elemenata u spoju prikazane na Slici 34. Zbog različitih širina vanjskih dijelova u spoju te promjene u promjeru osovine potrebno je proračunati više kritičnih presjeka. Postavljene su jednadžbe sume momenata oko krajeva dodirnih točaka osovine te su kroz sustav dvije jednadžbe i dvije nepoznanice određene sile odnosno kontinuirana opterećenja koja djeluju u zahvatu.



Slika 34. Osovina kolica 3

Najveći unutarnji moment savijanja na presjeku 1 prema dijagramu na Slici 35. iznosi:

$$\begin{aligned}
 |M_{f,\max}| &= \frac{0,2471F_{\text{Cil}}}{2} t_{v2} + 0,2471F_{\text{Cil}} \cdot t_z + 114,16 \cdot \frac{0,2471F_{\text{Cil}}}{2} = \\
 &= \frac{0,2471 \cdot 22565,4}{2} 20 + 0,2471 \cdot 22565,4 \cdot 5 + 114,16 \cdot \frac{0,2471 \cdot 22565,4}{2} = \quad (56) \\
 &= 401911,62 \text{ Nmm.}
 \end{aligned}$$

Unutarnji moment savijanja na presjeku 2 na kojem dolazi do skokovitog suženja promjera prema dijagramu na Slici 35. iznosi:

$$\begin{aligned}
 |M_{f,2}| &= \frac{0,2471F_{\text{Cil}}}{2} t_{v2} + 0,2471F_{\text{Cil}} \cdot t_z = \\
 &= \frac{0,2471 \cdot 22565,4}{2} 20 + 0,2471 \cdot 22565,4 \cdot 5 = 83638,66 \text{ Nmm.} \quad (57)
 \end{aligned}$$

Savojno naprezanje na presjeku 1 na kojem djeluje najveći moment prema [27] iznosi:

$$\sigma_{f1} = \frac{K_A \cdot |M_{f,\max}|}{W_v} = \frac{1,2 \cdot 401911,62}{0,1 \cdot 50^3} = 38,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (58)$$

Savojno naprezanje na presjeku 2 na kojem dolazi do skokovitog suženja promjera prema [27] iznosi:

$$\sigma_{f2} = \frac{K_A \cdot |M_{f,2}|}{W_m} = \frac{1,2 \cdot 83638,66}{0,1 \cdot 45^3} = 11,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (59)$$

Smično naprezanje na presjeku na kojem djeluje najveća poprečna sila iznosi:

$$\tau_{s,1} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot 0,2529F_{\text{Cil}}}{A_v} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1,2 \cdot 0,2529 \cdot 22565,4 \cdot 4}{50^2 \pi} = 4,65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (60)$$

Smično naprezanje na presjeku 2 iznosi:

$$\tau_{s,2} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot 0,2471 F_{Cil}}{A_m} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1,2 \cdot 0,2471 \cdot 22565,4 \cdot 4}{45^2 \pi} = 5,61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (61)$$

Površinski tlakovi iznose:

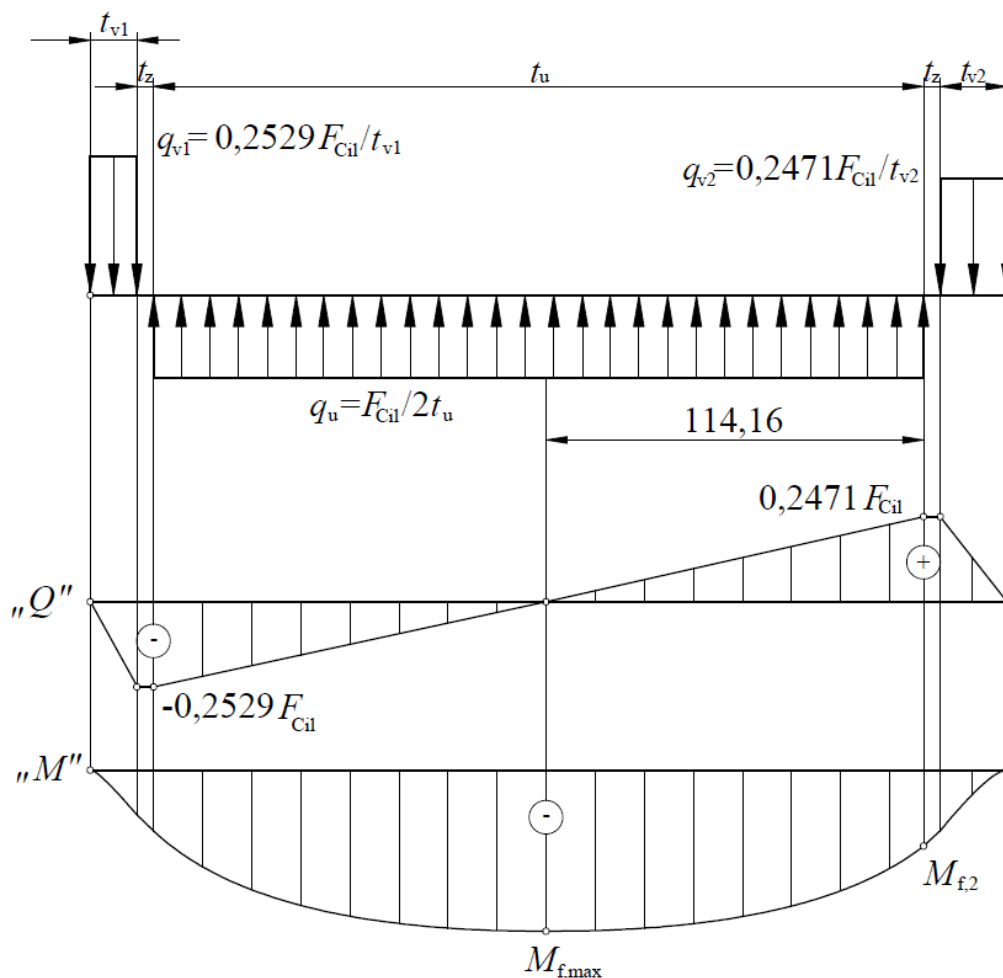
$$p_u = \frac{K_A \cdot F_{Cil}/2}{t_u \cdot d_v} = \frac{1,2 \cdot 22565,4/2}{231 \cdot 50} = 1,17 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (62)$$

$$p_{v1} = \frac{K_A \cdot 0,2529 F_{Cil}}{t_{v1} \cdot d_v} = \frac{1,2 \cdot 0,2529 \cdot 22565,4}{14 \cdot 50} = 9,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (63)$$

$$p_{v2} = \frac{K_A \cdot 0,2471 F_{Cil}}{t_{v2} \cdot d_m} = \frac{1,2 \cdot 0,2471 \cdot 22565,4}{20 \cdot 45} = 7,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (64)$$

gdje su:

- $d_m, d_v$  [mm] - manji i veći promjer osovine,
- $t_u, t_{v1}, t_{v2}$  [mm] - širine dijelova u spoju,
- $A_m, A_v$  [mm<sup>2</sup>] - manja i veća površina presjeka osovine,
- $K_A$  [-] - faktor primjene odnosno pogonski faktor.



Slika 35. Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja osovine kolica 3

Maksimalne dopuštene vrijednosti naprezanja i površinskih tlakova su:

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{S \cdot \beta_{kf}} = \frac{190 \cdot 0,825 \cdot 0,9}{3 \cdot 1} = 47,03 \frac{N}{mm^2} > \sigma_{f1} = 38,58 \frac{N}{mm^2}, \quad (65)$$

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{S \cdot \beta_{kf}} = \frac{190 \cdot 0,8375 \cdot 0,9}{3[1 + 0,3(2 - 1)]} = 36,72 \frac{N}{mm^2} > \sigma_{f2} = 11,01 \frac{N}{mm^2} \quad (66)$$

$$\tau_{s,dop} = \frac{\tau_{tDN}}{S} = \frac{110}{3} = 36,67 \frac{N}{mm^2} > \max(\tau_{s,1}, \tau_{s,2}) = 5,61 \frac{N}{mm^2}, \quad (67)$$

$$p_{dop} = 12 \frac{N}{mm^2} > \max(p_u, p_{v1}, p_{v2}) = 9,78 \frac{N}{mm^2}, \quad (68)$$

gdje su:

- $\sigma_{fDN}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća kod savijanja čistim naizmjeničnim ciklusom za materijal S235JR [27],
- $\tau_{tDN}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća prema Smith-ovom dijagramu pri čistom naizmjeničnom ciklusu smičnog opterećenja za materijal S235JR [27],
- $p_{dop}$  [N/mm<sup>2</sup>] - dopušteni površinski tlak [26],
- $S$  [-] - faktor sigurnosti prema Haberhaueru i Bodensteinu za mirujuće osovine [27],
- $b_1$  [-] - faktor veličine strojnog dijela [27],
- $b_2$  [-] - faktor kvalitete obrade površine [27],
- $\beta_{kf}$  [-] - efektivni (dinamički) faktor zarezno djelovanja kod savijanja [27].

Vrijednosti faktora su očitane iz literature pomoću ulaznih podataka konstrukcije. Sve vrijednosti naprezanja i površinskih tlakova manje su od maksimalno dopuštenih. Dakle, osovina kolica 3 zadovoljava proračun čvrstoće.

## 9. PRORAČUN NOSIVE KONSTRUKCIJE

Nosiva konstrukcija treba biti izvedena tako da omogućava gibanje kolica koja nose redove pokretnih rešetnica naizmjenično između redova nepomičnih rešetnica. Prilikom konstruiranja na umu je potrebno imati redoslijed zavarivanja i sastavljanja podsklopova kako bi se omogućila uspješna montaža cijelog sklopa.

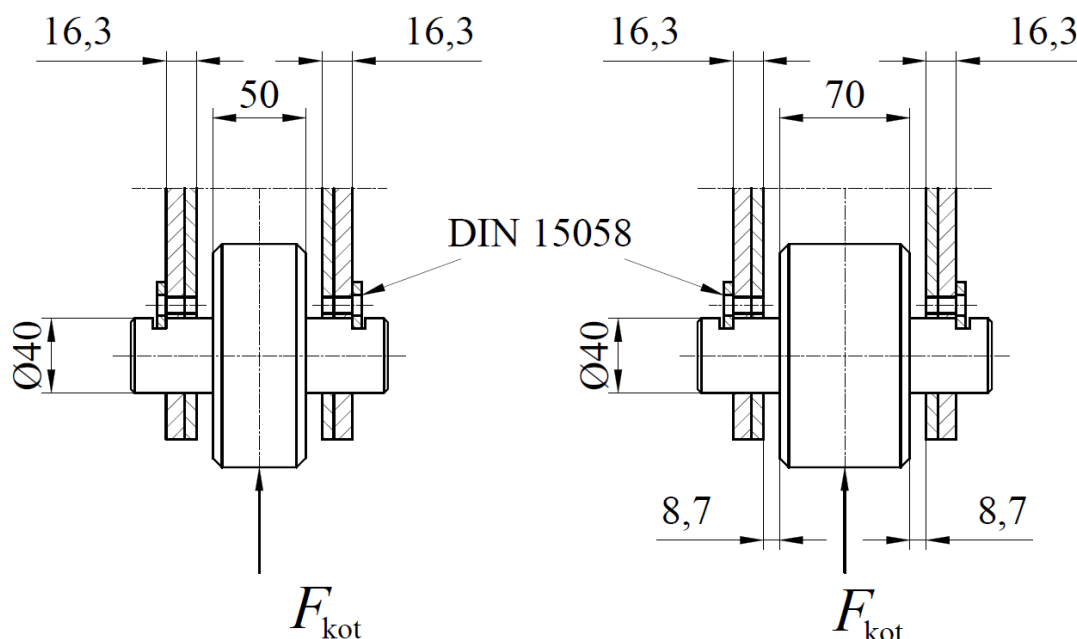
### 9.1. Proračun čvrstoće osovine kotača

Osovina kotača opterećena je savojno, smično te na površinske tlakove. Promjer osovine iznosi 40 mm te slijedi proračun sile koja ih opterećuje. Ukupna masa sklopa konvejera iznosi 12961,9 kg. Sila po kotaču iznosi:

$$F_{\text{kot}} = \frac{(m_{\text{kon}} + m_{\text{RDF,uk}}) \cdot g}{12} \quad (69)$$

$$F_{\text{kot}} = \frac{(12961,9 + 1346,25) \cdot 9,81}{12} = 11696,9 \text{ N} \quad (70)$$

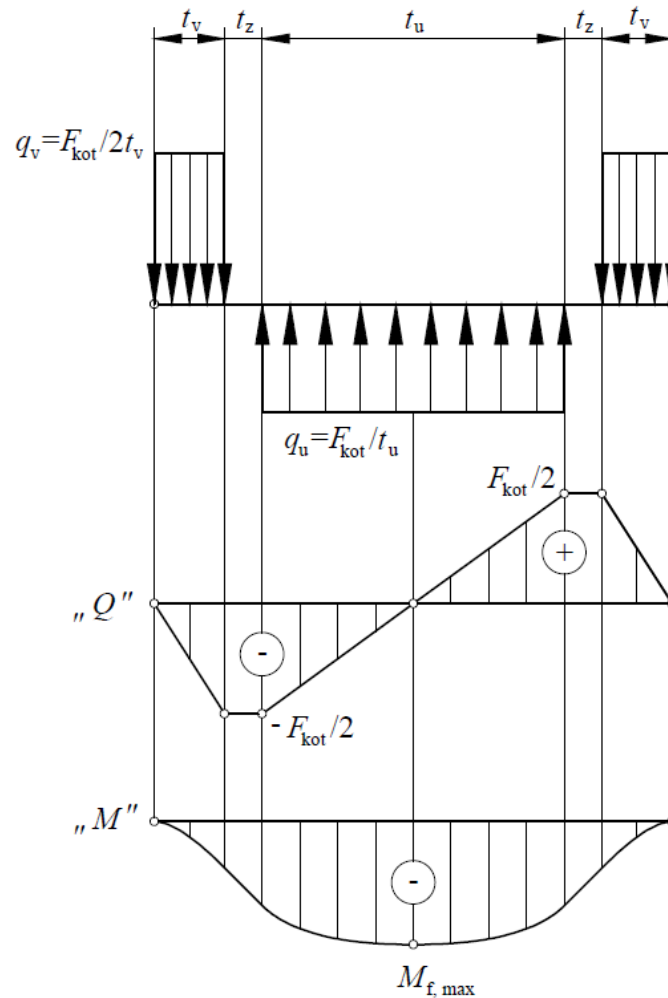
Na Slici 34. prikazan je proračunski model osovine s potrebnim dimenzijama za izračun.



Slika 36. Proračun osovine kotača: uski - lijevo; široki - desno

Najveći unutarnji moment savijanja osovine širokog kotača prema dijagramu na Slici 35. iznosi:

$$\begin{aligned} M_{f,\max} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{\text{kot}}}{2} t_v + \frac{F_{\text{kot}}}{2} t_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{\text{kot}}}{2} \cdot \frac{t_u}{2} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{11696,9}{2} 16,3 + \frac{11696,9}{2} 8,7 + \frac{1}{2} \cdot \frac{11696,9}{2} \cdot \frac{70}{2} = 200896 \text{ Nmm}, \end{aligned} \quad (71)$$



**Slika 37. Dijagram opterećenja, unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja osovine kotača**

Savojno naprezanje prema [27] iznosi:

$$\sigma_f = \frac{K_A \cdot |M_{f,max}|}{W} = \frac{1 \cdot 200896}{0,1 \cdot 40^3} = 31,39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (72)$$

smično naprezanje iznosi:

$$\tau_{s,max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot F_{kot}}{2A} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1 \cdot 11696,9 \cdot 4}{2 \cdot 40^2 \pi} = 6,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (73)$$

te površinski tlakovi:

$$p_u = \frac{K_A \cdot F_{kot}}{t_u \cdot d} = \frac{1 \cdot 11696,9}{50 \cdot 40} = 5,85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (74)$$

$$p_v = \frac{K_A \cdot F_{kot}}{2t_v \cdot d} = \frac{1 \cdot 11696,9}{2 \cdot 16,3 \cdot 40} = 8,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (75)$$

gdje su:

- $d$  [mm] - promjer osovine,
- $t_u, t_v$  [mm] - širine dijelova u spoju,

- $A$  [mm<sup>2</sup>] - površina presjeka osovine,
- $K_A$  [-] - faktor primjene odnosno pogonski faktor.

Unutarnji površinski tlak izračunan je za uži kotač jer je na njemu tlak veći te ako zadovolji proračun, zadovoljit će ga i široki kotač. Dopusnene vrijednosti napreznja su:

$$\sigma_{f,dop} = \frac{\sigma_{fDI} \cdot b_1 \cdot b_2}{S \cdot \beta_{kf}} = \frac{260 \cdot 0,85 \cdot 0,9}{3 \cdot 1} = 66,3 \frac{N}{mm^2} > \sigma_f = 31,39 \frac{N}{mm^2}, \quad (76)$$

$$\tau_{s,dop} = \frac{\tau_{tDI}}{S} = \frac{140}{3} = 46,67 \frac{N}{mm^2} > \tau_s = 6,21 \frac{N}{mm^2}, \quad (77)$$

$$p_{dop} = 30 \frac{N}{mm^2} > p_u = 5,85 \frac{N}{mm^2}, \quad (78)$$

$$p_{dop} = 30 \frac{N}{mm^2} > p_v = 8,97 \frac{N}{mm^2}, \quad (79)$$

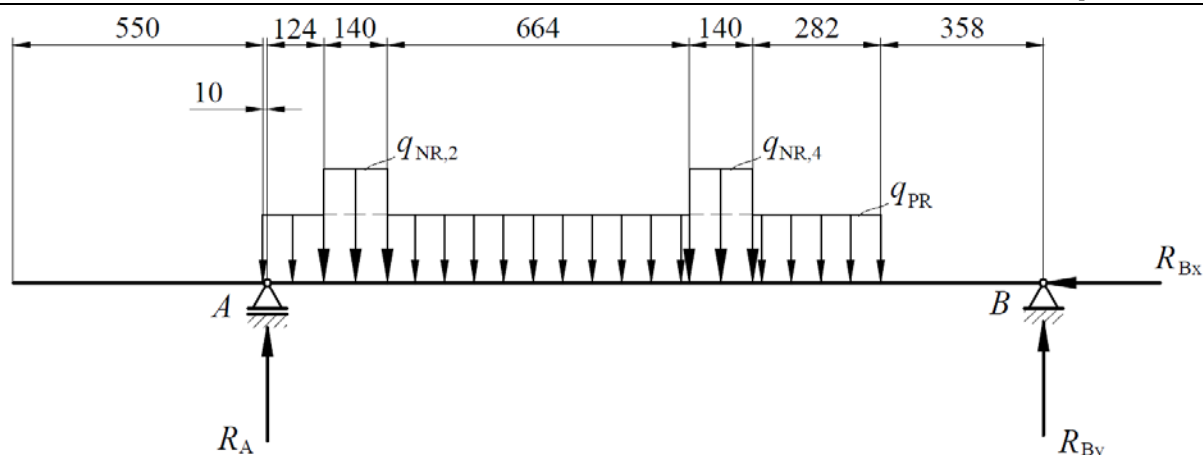
gdje su:

- $\sigma_{fDI}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća kod savijanja čistim istosmjernim ciklusom za materijal S235JR [27],
- $\tau_{tDI}$  [N/mm<sup>2</sup>] - trajna dinamička čvrstoća prema Smith-ovom dijagramu pri čistom istosmjernom ciklusu smičnog opterećenja za materijal S235JR [27],
- $p_{dop}$  [N/mm<sup>2</sup>] - dopušteni površinski tlak [26],
- $S$  [-] - faktor sigurnosti prema Haberhaueru i Bodensteinu za mirujuće osovine [27],
- $b_1$  [-] - faktor veličine strojnog dijela [27],
- $b_2$  [-] - faktor kvalitete obrade površine [27],
- $\beta_{kf}$  [-] - efektivni (dinamički) faktor zareznog djelovanja kod savijanja [27].

Vrijednosti faktora su očitane iz literature pomoću ulaznih podataka konstrukcije. Sve vrijednosti napreznja i površinskih tlakova manje su od maksimalno dopuštenih. Dakle, osovina kotača zadovoljava proračun čvrstoće.

## 9.2. Proračun čvrstoće U-profila

Proračun U-profila duž čitave dužine analitičkim metodama predstavljao bi statički neodređen problem. Stoga se razmatra segment U-profila s najvećim rasponom između nogu na koje je oslonjen. Horizontalna komponenta sile koja se javlja u osloncu  $B$  u stvarnosti se ne manifestira kao napreznje u razmatranom segmentu zbog toga što se noge nalaze na kotačima koji omogućavaju horizontalno gibanje. Horizontalna komponenta sile prenosi se na zid na kraju konvejera za koji je on čvrsto vezan, a nosiva konstrukcija ima slobodu gibanja uslijed deformacija uzrokovanih opterećenjem i toplinom. Na Slici 36. nalazi se proračunski model razmatranog segmenta U-profila.



Slika 38. Proračunski model U-profila

Sila uslijed mase gurača 1, kolica 1 te reakcija u osloncima pokretnih rešetnica u redovima 1, 3 te 5 opterećuje gredu silom:

$$F_{PR} = \cos 15^\circ [(m_{k,1} + m_{g,1})g + R_{A,1} + R_{A,3} + R_{A,5}], \quad (80)$$

$$F_{PR} = \cos 15^\circ [(550 + 182,3) \cdot 9,81 + 2093,5 + 4099,3 + 4183,2], \quad (81)$$

$$F_{PR} = 16961,5 \text{ N}. \quad (82)$$

Mase kolica 1 i gurača 1 dane su u Tablici 2., a reakcije u osloncima pokretnih rešetnica očitavaju se iz Tablice 3. Sile trenja između pomičnih i nepomičnih rešetnica međusobno se poništavaju te nemaju utjecaj na opterećenje. Djelovanje sile  $F_{PR}$  na gredu aproksimirano je kontinuiranim opterećenjem  $q_{PR}$  te ono iznosi:

$$q_{PR} = \frac{F_{PR}}{l_{PR}} = \frac{16961,5}{1360} = 12,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}}. \quad (83)$$

Duljina  $l_{PR}$  dobivena je zbrojem razmaka kotača i hodom klipnjače pogonskog hidrauličkog cilindra. Kontinuirana opterećenja uslijed djelovanja nepomičnih rešetnica prenose se s bočne ploče na U-profil, a pretpostavljeno je da ploča preuzima moment uvijanja pravokutnih profila koji nose nepomične rešetke. Kontinuirana opterećenja iznose:

$$q_{NR,2} = \frac{\cos 15^\circ \cdot R_{A,2}}{l_{NR}} = \frac{\cos 15^\circ \cdot 3758,7}{140} = 25,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}}, \quad (84)$$

$$q_{NR,4} = \frac{\cos 15^\circ \cdot R_{A,4}}{l_{NR}} = \frac{\cos 15^\circ \cdot 4169}{140} = 28,76 \frac{\text{N}}{\text{mm}}. \quad (85)$$

Reakcije u osloncima U-profila iznose:

$$\sum M_A = 0, \quad (86)$$

$$-F_{NR,2} \cdot 194 - F_{PR} \cdot 670 - F_{NR,4} \cdot 998 + R_{By} \cdot 1708 = 0, \quad (87)$$



$$R_{By} \cdot 1708 = 3630,6 \cdot 194 + 16961,5 \cdot 670 + 4026,9 \cdot 998, \quad (88)$$

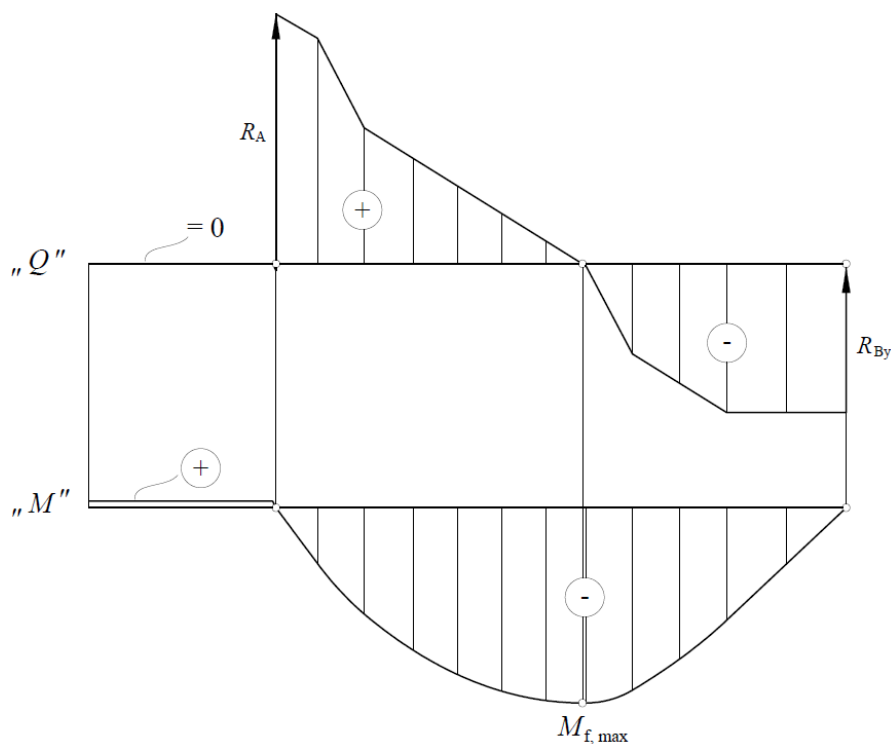
$$R_{By} = 9418,85 \text{ N}, \quad (89)$$

$$\sum F_y = 0, \quad (90)$$

$$R_A - F_{NR,2} - F_{PR} - F_{NR,4} + R_{By} = 0, \quad (91)$$

$$R_A = 3630,6 + 16961,5 + 4026,9 - 9418,85 = 15200,15 \text{ N}. \quad (92)$$

Dijagram unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja za gredu sa Slike 36. poprima sljedeći oblik.



**Slika 39.** Dijagram unutarnjih poprečnih sila i momenata savijanja U-profila

Dobiva se da najveći unutarnji moment savijanja iznosi:

$$|M_{f,max}| = 5849217 \text{ Nmm}. \quad (93)$$

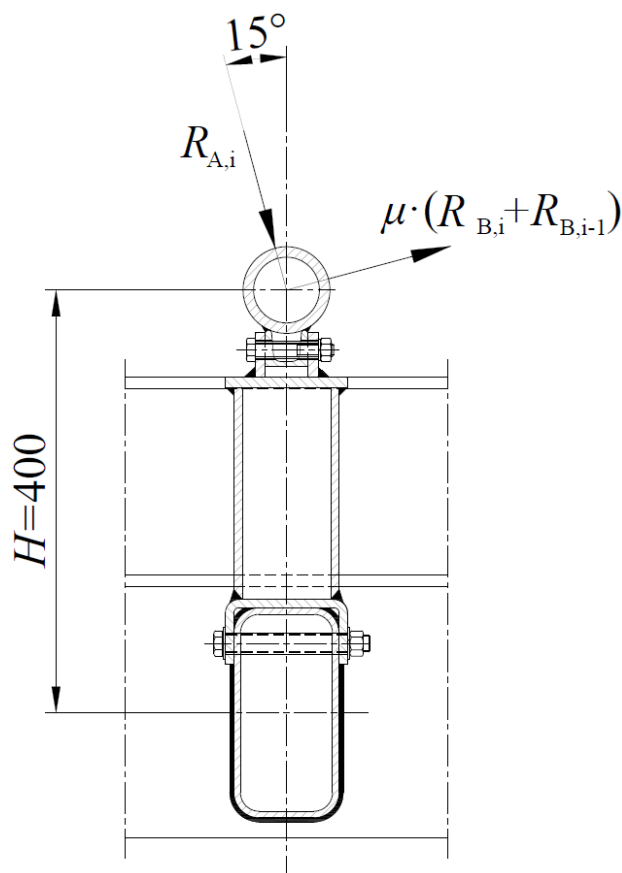
Izabrana veličina U-profila je UPE200 te moment otpora poprečnog presjeka prema [28] iznosi  $W = 191000 \text{ mm}^3$ . Savojno naprezanje U-profila iznosi:

$$\sigma_f = \frac{|M_{f,max}|}{W} = \frac{5849217}{191000} = 30,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (94)$$

Granica razvlačenja pri savijanju za konstrukcijski čelik S235JR prema [27] iznosi  $R_{ef} = 330 \text{ N/mm}^2$ , što znači da su deformacije u elastičnom području te da dimenzije U-profila zadovoljavaju.

### 9.3. Proračun zavora pravokutnog profila na ploču

Zavari pravokutnih profila dimenzija 200x100x6,3 mm s bočnim pločama debljine 20 mm drže konstrukciju na željenoj širini. Devet je takvih pravokutnih profila koji povezuju dvije ploče na koje su zavareni UPE200 profili po čijim unutrašnjim površinama se kreću kotači kolica. Kutni zavar izveden je kružno, proračunske debljine  $a = 4$  mm. Zavar je opterećen složenim opterećenjem koje se sastoji od savojnog opterećenja oko dvije osi, smičnog opterećenja u smjeru dvaju osi te je također opterećen torzijski. Iz Slike 38. određuje se rezultantna sila pri izvlačenju kolica koja djeluje duž cijevi koja nosi nepomični red rešetki.



Slika 40. Opterećenje zavora

Slijedi izračun rezultantne sile te njezina smjera za najveće iznose iz Tablice 3.:

$$F_{\text{Rez}} = \sqrt{R_{A,16}^2 + [\mu \cdot (R_{B,16} + R_{B,15})]^2} = \quad (95)$$

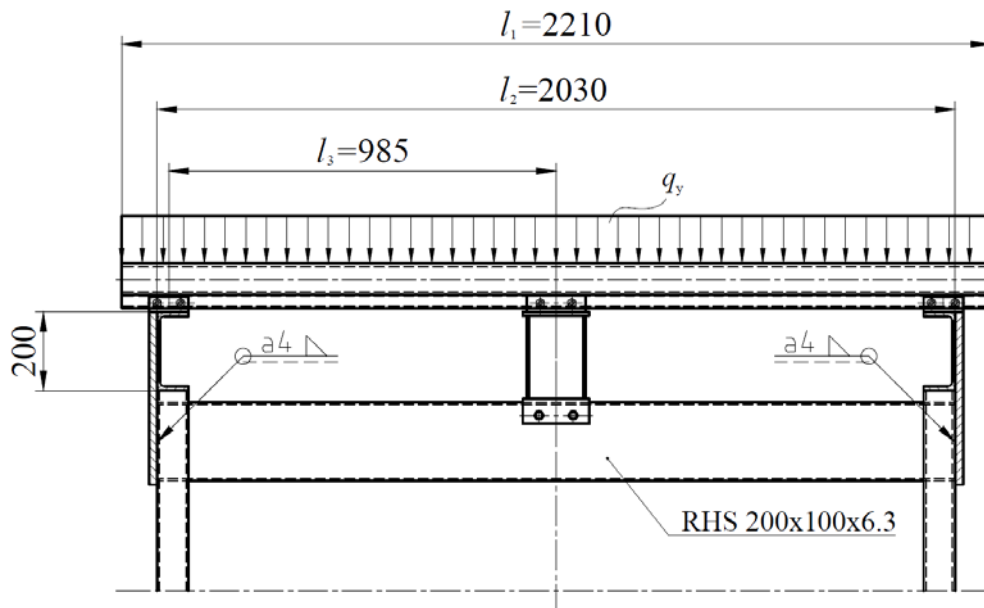
$$= \sqrt{4186,9^2 + [0,8 \cdot (2631,8 + 2631,8)]^2} = 5938,2 \text{ N},$$

$$\gamma_1 = \alpha_k + \arccos\left(\frac{R_{A,16}}{F_{\text{Rez}}}\right) = 15^\circ + \arccos\left(\frac{4186,9}{5938,2}\right) = 60,16^\circ. \quad (96)$$

Za uvlačenje kolica kut iznosi:

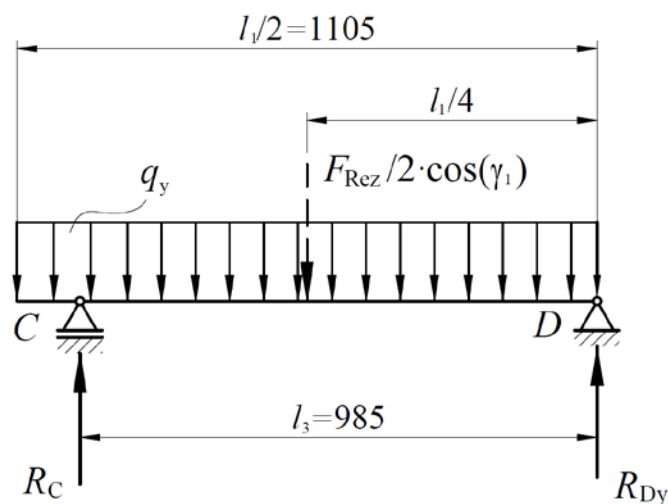
$$\gamma_2 = \alpha_k - \arccos\left(\frac{R_{A,16}}{F_{\text{Rez}}}\right) = 15^\circ - \arccos\left(\frac{4186,9}{5938,2}\right) = -30,16^\circ. \quad (97)$$

Izračunata rezultantna sila prenosi se preko cijevi dijelom na bočnu ploču i U-profil te dijelom na kutijasti nosač u središtu. Sila se s kutijastog nosača prenosi na pravokutni profil te time djeluje na zavar. Prikaz na Slici 39. predstavlja presjek okomit na smjer gibanja kolica.



Slika 41. Proračunski model opterećenja cijevi

Zbog simetričnosti problema opterećenje cijevi može se razmatrati samo preko jedne polovice konstrukcije, odabrana je lijeva.



Slika 42. Polovinski model opterećenja cijevi

Slijedi izračun reakcijske sile kutijastog nosača pomoću polovinskog modela na Slici 40.:

$$\sum M_C = 0, \quad (98)$$

$$-\frac{F_{Rez}}{2} \cdot \cos(\gamma_1) \cdot \left(l_3 - \frac{l_1}{4}\right) + R_{Dy} \cdot l_3 = 0, \quad (99)$$

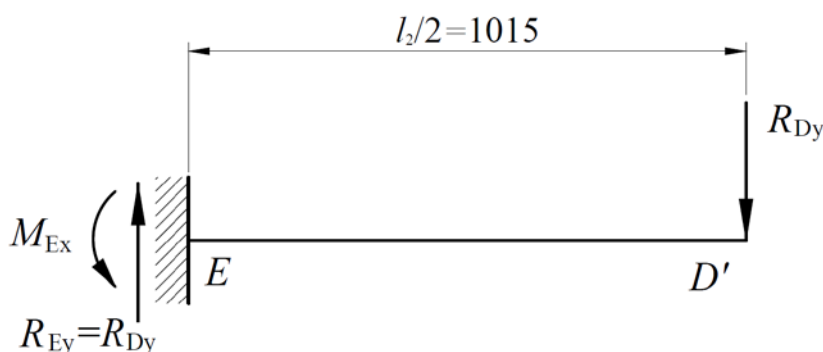
$$-\frac{5938,2}{2} \cdot \cos(60,16^\circ) \cdot \left(985 - \frac{2210}{4}\right) + R_{Dy} \cdot 985 = 0, \quad (100)$$

$$R_{Dy} = 648,7 \text{ N}. \quad (101)$$

Postupak je proveden i za smjer osi x gdje se u izrazu ekvivalentnom jednadžbi (99) pojavljuje sinus kuta  $\gamma_1$ . Slijedi da je:

$$R_{Dx} = 1130,8 \text{ N}. \quad (102)$$

Kako bi se odredili momenti savijanja na mjestu zavora, odnosno presjeka pravokutne grede na spoju s pločom, prikazan je polovinski model pravokutnog profila u kojem je greda ukliještena na jednom kraju, dok je slobodna na drugome.



Slika 43. Polovinski model pravokutnog profila

Unutarnji moment savijanja u presjeku grede neposredno prije točke  $E$  oko osi x iznosi:

$$M_{E-Ex} = R_{Dy} \cdot \frac{l_2}{2} = 648,7 \cdot 1015 = 658430,5 \text{ Nmm}. \quad (103)$$

Unutarnji moment savijanja u presjeku grede neposredno prije točke  $E$  oko osi y iznosi:

$$M_{E-Ey} = R_{Dx} \cdot \frac{l_2}{2} = 1130,8 \cdot 1015 = 1147762 \text{ Nmm}. \quad (104)$$

Smična opterećenja jednaka su već izračunatim silama  $R_{Dx}$  i  $R_{Dy}$ . Savojno naprezanje uslijed momenta oko osi x iznosi:

$$\sigma_{fx} = \frac{M_{E-Ex}}{I_x} \cdot y_1 = \frac{658430,5}{13973333} \cdot 104 = 4,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (105)$$

pri čemu je moment inercije proračunskog presjeka zavora oko osi x:

$$I_x = 2 \cdot \frac{a \cdot h^3}{12} + 2 \cdot (b + 2a) \cdot a \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 = 2 \cdot \frac{4 \cdot 200^3}{12} + 2 \cdot 108 \cdot 4 \cdot 100^2 = 13973333 \text{ mm}^4. \quad (106)$$

Savojno naprezanje uslijed momenta oko osi y iznosi:

$$\sigma_{fy} = \frac{M_{E-Ey}}{I_y} \cdot x_1 = \frac{1147762}{4826667} \cdot 54 = 12,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (107)$$

pri čemu je moment inercije proračunskog presjeka zavora oko osi y:

$$I_y = 2 \cdot \frac{a \cdot b^3}{12} + 2 \cdot (h + 2a) \cdot a \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2 = 2 \cdot \frac{4 \cdot 100^3}{12} + 2 \cdot 208 \cdot 4 \cdot 50^2 = 4826667 \text{ mm}^4. \quad (108)$$

Smično naprezanje u smjeru osi x iznosi:

$$\tau_{qx} = \frac{R_{Dx}}{2a(b + 2a)} = \frac{1130,8}{2 \cdot 4 \cdot (100 + 2 \cdot 4)} = 1,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (109)$$

Smično naprezanje u smjeru osi y iznosi:

$$\tau_{qy} = \frac{R_{Dy}}{2a(h + 2a)} = \frac{648,7}{2 \cdot 4 \cdot (200 + 2 \cdot 4)} = 0,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (110)$$

Preostalo je izračunati torzijsko naprezanje nastalo uslijed djelovanja sile  $R_{Dx}$  na kraku duljine  $H$  od središta zavora. Ono iznosi:

$$\tau_t = \frac{R_{Dx} \cdot H}{I_{t,zv}} \cdot r_1 = \frac{1130,8 \cdot 400}{11691393,7} \cdot 117,2 = 4,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (111)$$

pri čemu je polarni moment inercije proračunskog presjeka zavora oko osi z:

$$I_{t,zv} = \frac{2(b + a)^2 \cdot (h + a)^2}{\frac{b + a}{a} + \frac{h + a}{a}} = \frac{2(100 + 4)^2 \cdot (200 + 4)^2}{\frac{100 + 4}{4} + \frac{200 + 4}{4}} = 11691393,7 \text{ mm}^4. \quad (112)$$

te  $r_1$  predstavlja najveću udaljenost ruba zavora od njegova središta, a računa se prema:

$$r_1 = \sqrt{\left(\frac{b}{2} + a\right)^2 + \left(\frac{h}{2} + a\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{100}{2} + 4\right)^2 + \left(\frac{200}{2} + 4\right)^2} = 117,2 \text{ mm}, \quad (113)$$

pri čemu su dimenzije  $b = 100$  mm te  $h = 200$  mm. Kut pod kojim dužina  $r_1$  leži u odnosu na negativan smjer osi x iznosi:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{\frac{b}{2} + a}{r}\right) = \arccos\left(\frac{\frac{100}{2} + 4}{117,2}\right) = 62,56^\circ. \quad (114)$$

Komponente torzijskog naprezanja iznose:

$$\tau_{tx} = \tau_t \cdot \sin \varphi = 4,5 \cdot \sin 62,56^\circ = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (115)$$

$$\tau_{ty} = \tau_t \cdot \cos \varphi = 4,5 \cdot \cos 62,56^\circ = 2,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (116)$$

Rezultirajuće smično naprezanje prema [26] iznosi:

$$\tau = \sqrt{(\tau_{qx} + \tau_{tx})^2 + (\tau_{qy} + \tau_{ty})^2} = \sqrt{(1,31 + 4)^2 + (0,4 + 2,1)^2} = 5,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (117)$$

Ekvivalentno (reducirano) naprezanje prema [26] iznosi:

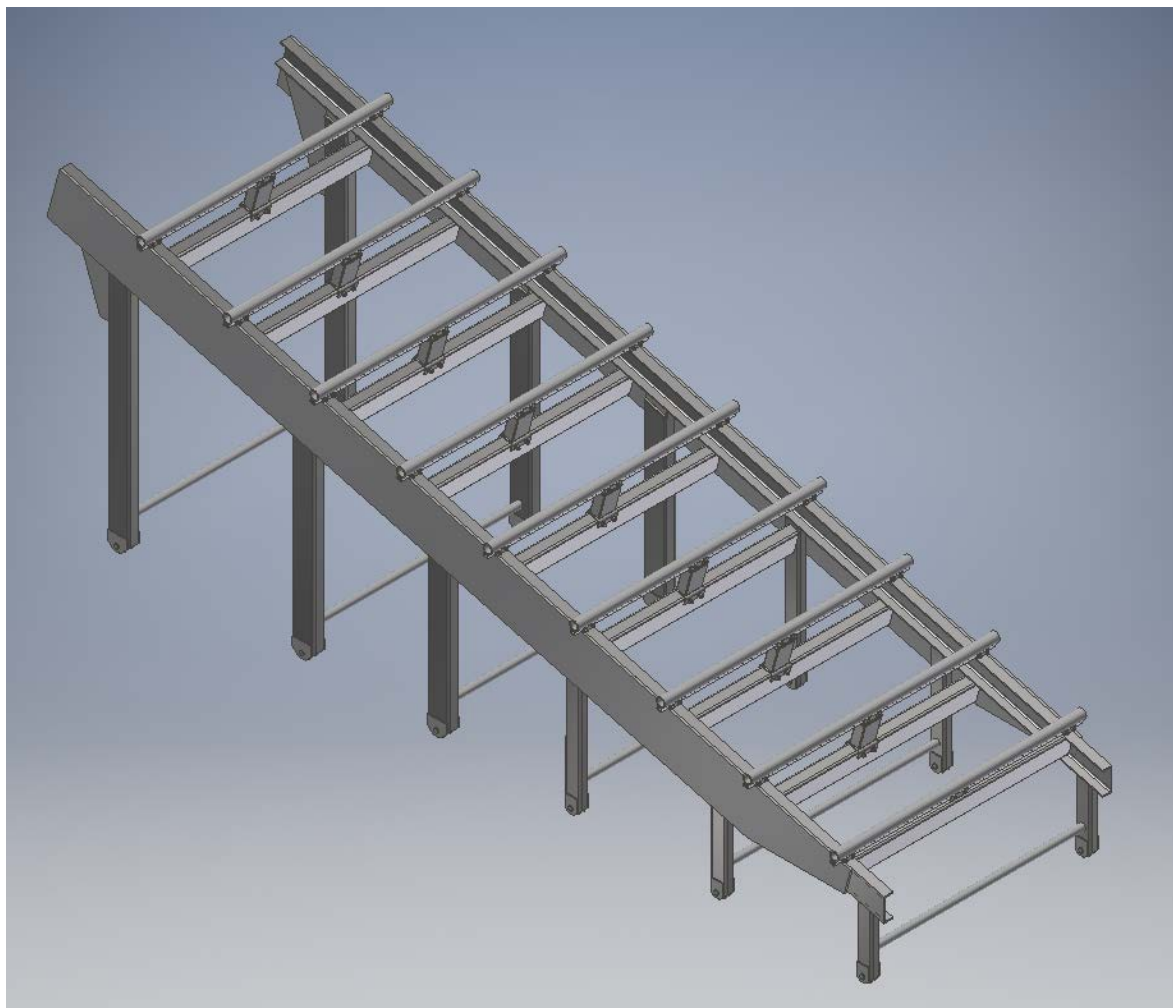
$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{(\sigma_{\text{fx}} + \sigma_{\text{fy}})^2 + 2\tau^2} = \sqrt{(4,9 + 12,84)^2 + 2 \cdot 5,58^2} = 19,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}. \quad (118)$$

Izračun naprezanja za slučaj uvlačenja kolica prema jednadžbi (97) gdje je kut resultantne sile  $\gamma_2 = -30,16^\circ$  i dalje daje rezultat reduciranog naprezanja u istome smjeru što znači da je naprezanje promjenjivo istosmjerno. Prema [26] dopuštena naprezanja za materijal S235JR za jednosmjerno promjenjivo opterećenje za kutni zavar II kvalitete iznose  $\sigma_{\text{red,dop}} = 125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  te  $\tau_{\text{dop}} = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ . Budući da vrijedi:

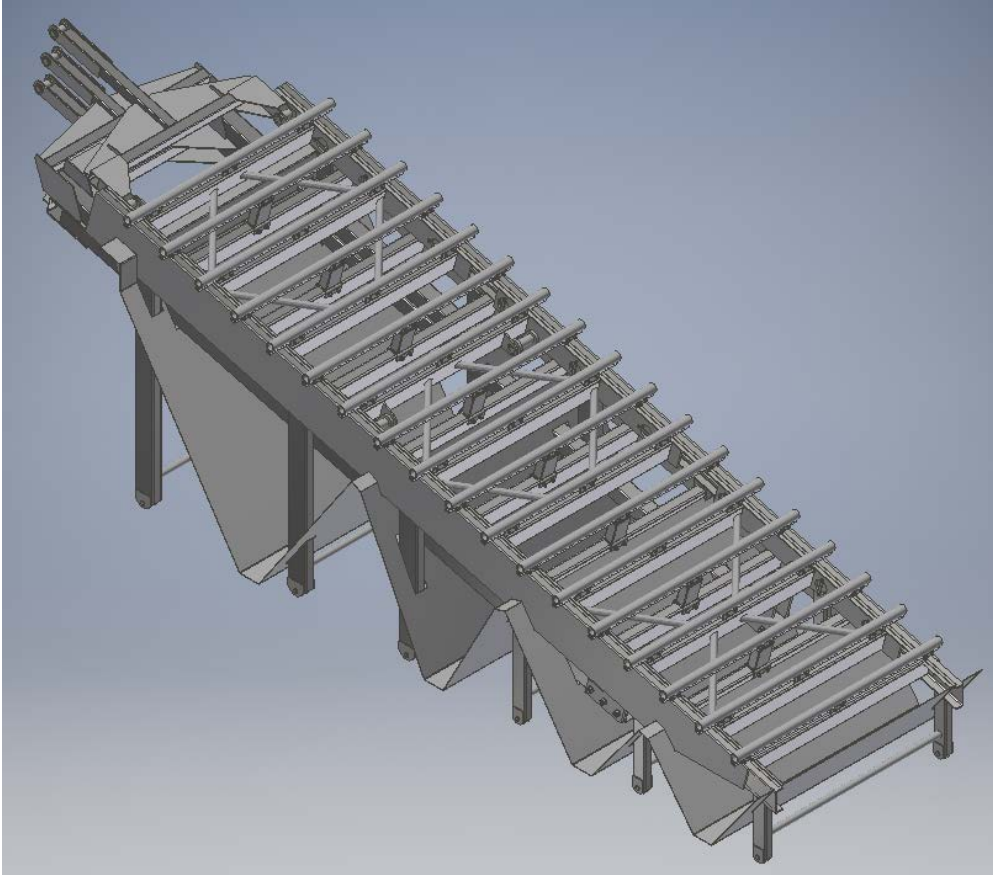
$$\sigma_{\text{red,dop}} = 125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \sigma_{\text{red}} = 19,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (119)$$

$$\tau_{\text{dop}} = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \tau = 5,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (120)$$

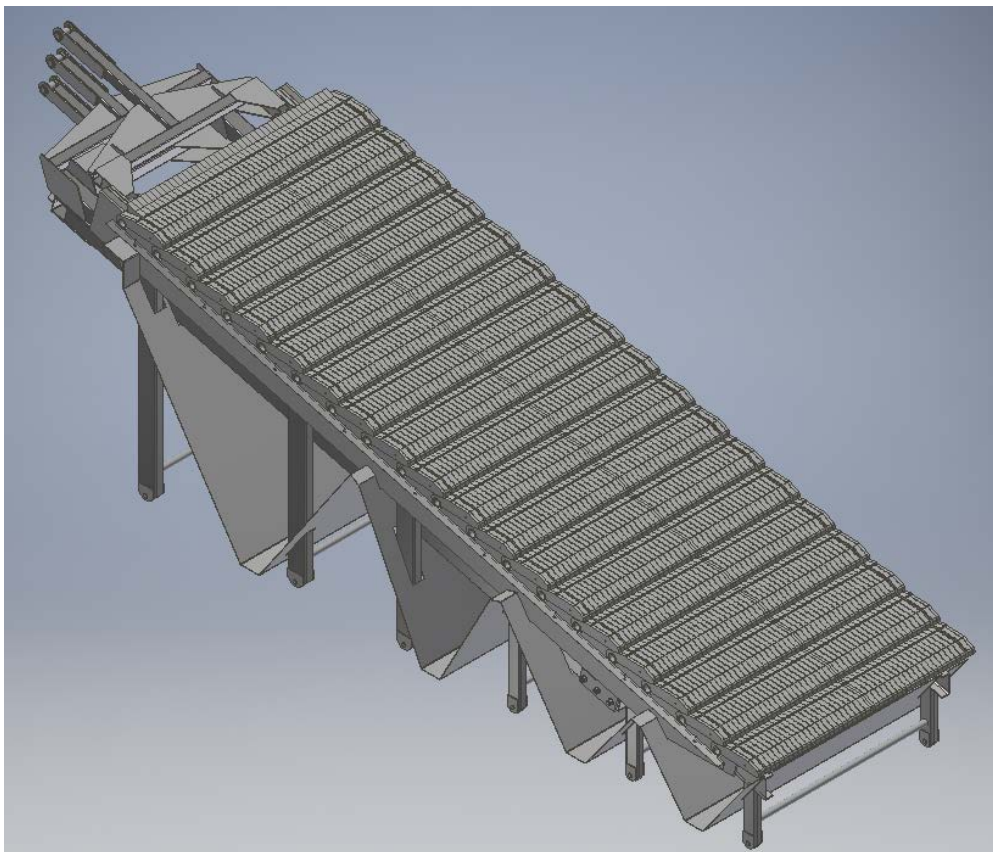
zavar zadovoljava proračun. Na Slikama 44., 45. i 46. prikazani su 3D CAD modeli nosive konstrukcije, konvejera bez rešetki te cijelog konvejera izrađeni u programu *Autodesk Inventor*.



Slika 44. 3D CAD model nosive konstrukcije



**Slika 45. 3D CAD model konvejera bez rešetki**



**Slika 46. 3D CAD model konvejera**

## 10. ZAKLJUČAK

Direktive kojima se utvrđuju ciljevi i rokovi za njihova ispunjenja nalažu sve veći udio obnovljivih izvora i proizvodnje energije iz otpada u cjelokupnom energetsom sektoru. Tako nekoć alternativna goriva postaju standardna, povećava se njihova kontrola i postrožuju se zahtjevi na emisije štetnih plinova u atmosferu. Proces proizvodnje električne i toplinske energije širokog je opsega, a u ovom radu obrađeno je samo središte tog procesa gdje se kemijska energija pretvara u toplinsku. Gorivo dobiveno iz predobrađenog otpada potrebno je transportirati unutar ložišta, a za taj zadatak između nekoliko konceptualnih rješenja odabran je konvejer s recipročnom rešetkom izravno pogonjenom pomoću hidrauličkih cilindara. Konvejer je konstrukcijski razrađen i proveden je proračun nosive konstrukcije te hidrauličkog pogona. Prilikom konstruiranja smjernice kojima se trebalo voditi su bile praktičnost montaže, pouzdanost u radu te jednostavnost održavanja. Izrađen je 3D CAD model i potrebna tehnička dokumentacija. Dobra je praksa da se svi dijelovi postrojenja objedine u zajedničkom okruženju poput programa *Navisworks* kako bi postojao pregled napretka projekta i kako bi se brzo otklonila možebitna sudaranja dijelova izrađenih od strane različitih izvođača.

Kako bi se utvrdio smjer strujanja primarnog zraka bilo bi potrebno napraviti CFD simulaciju te bi se njome mogao dodatno optimizirati oblik pojedinačnih rešetnica za bolje raspirivanje plamena, ali i hlađenje metala koji je izložen visokim temperaturama. Automatizacija i strategija upravljanja hidrauličkim pogonom također može predstavljati nadogradnju ovog diplomskog rada.



**LITERATURA**

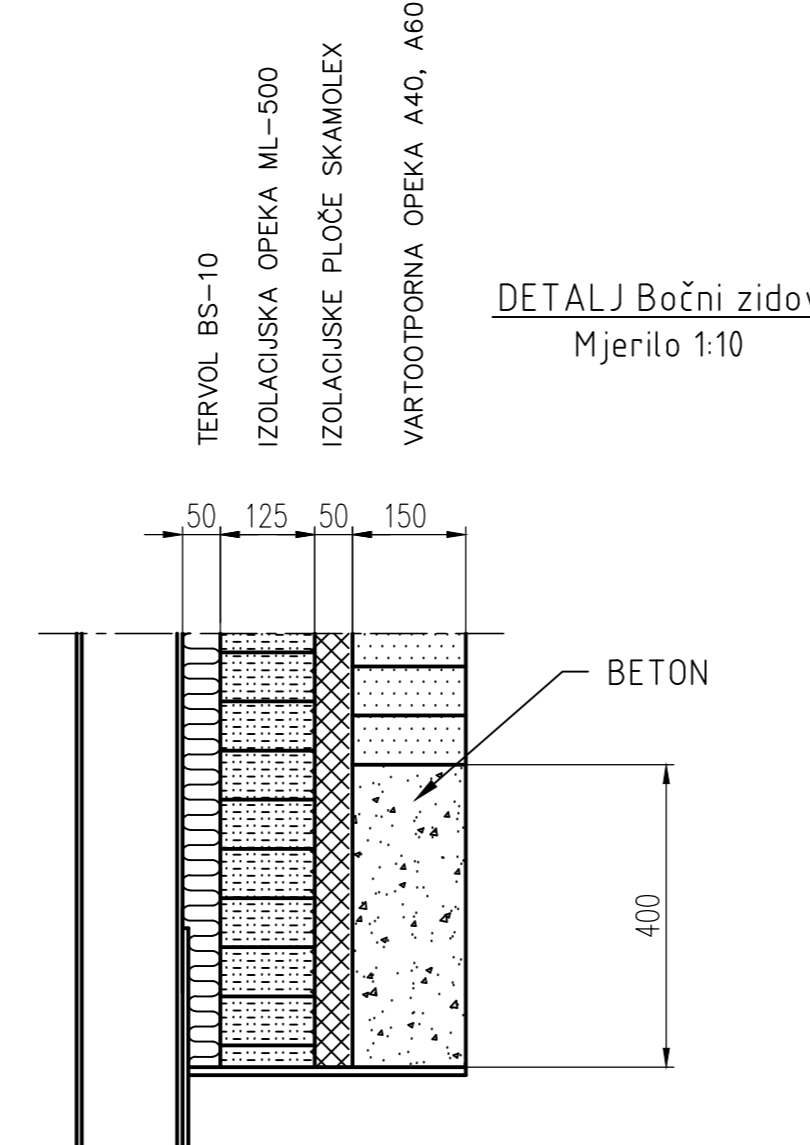
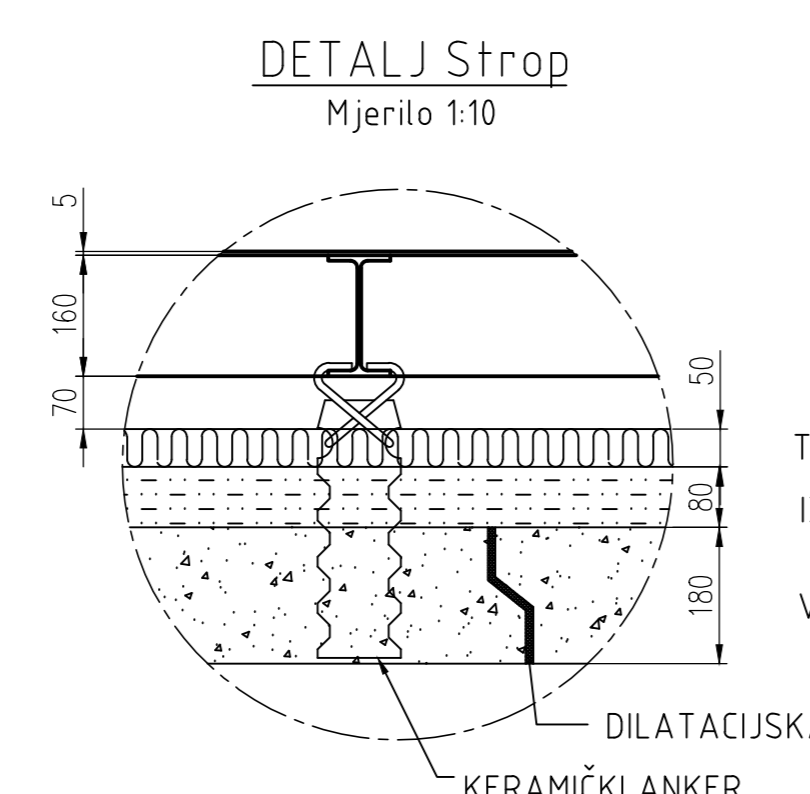
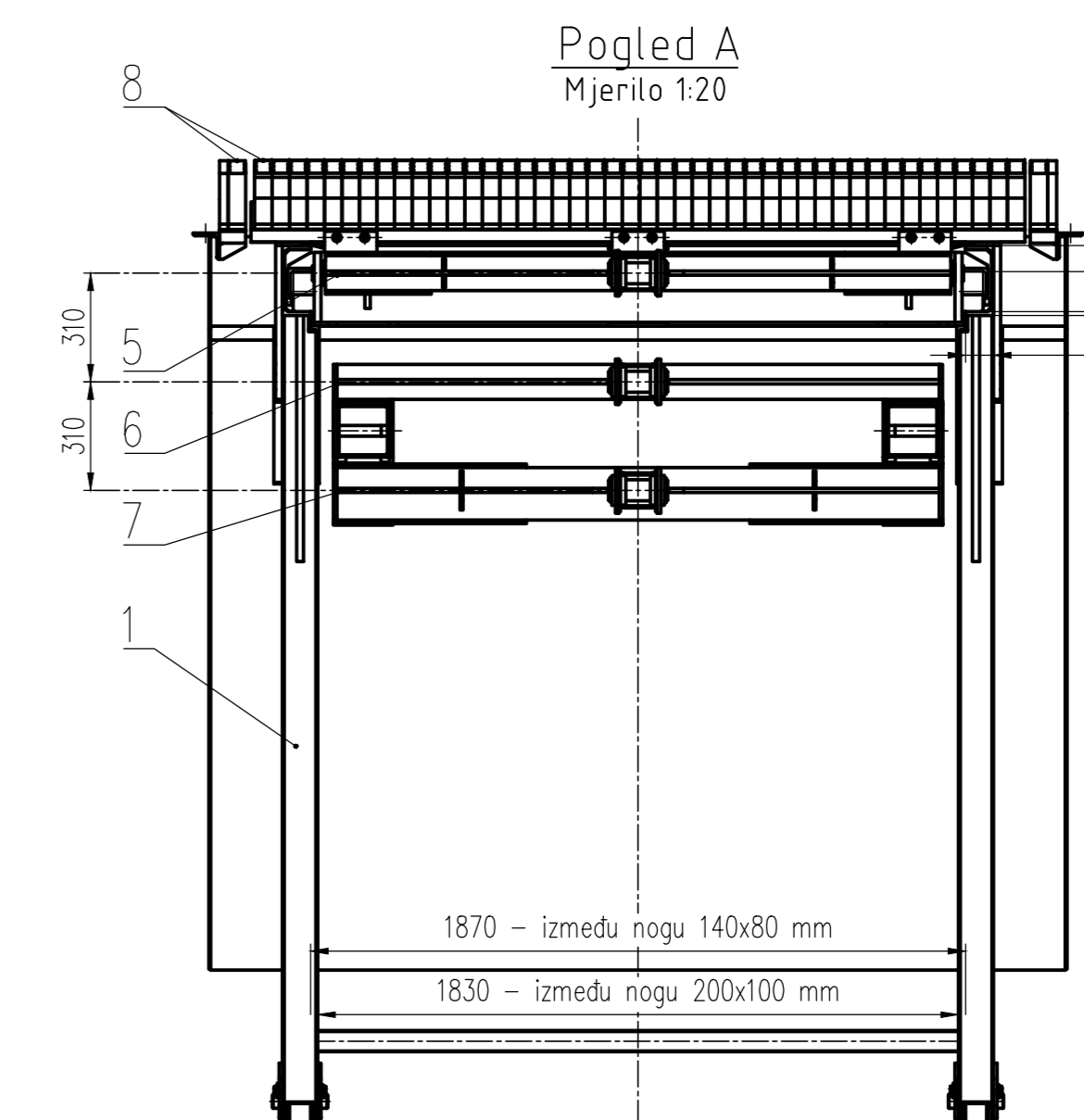
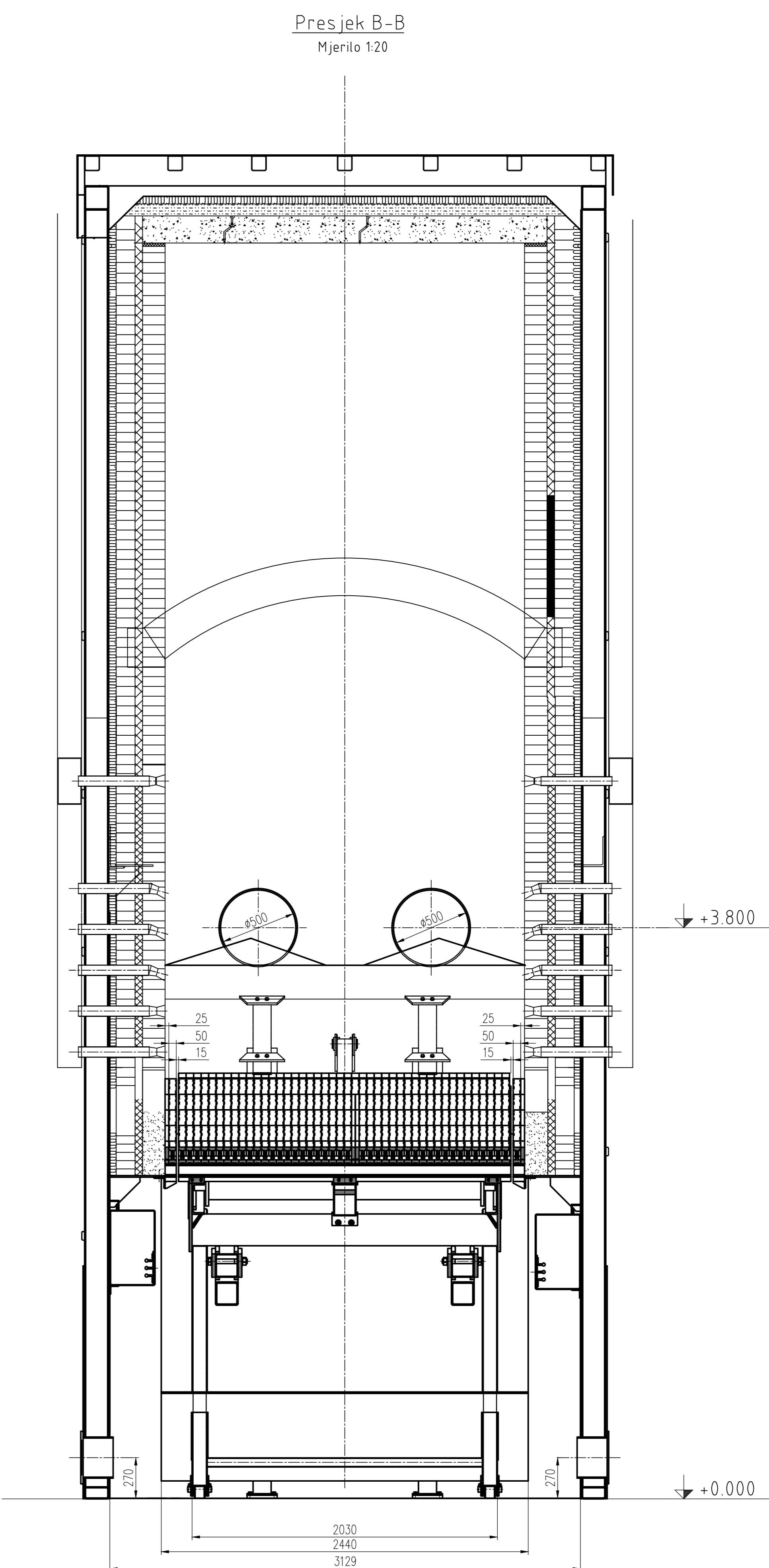
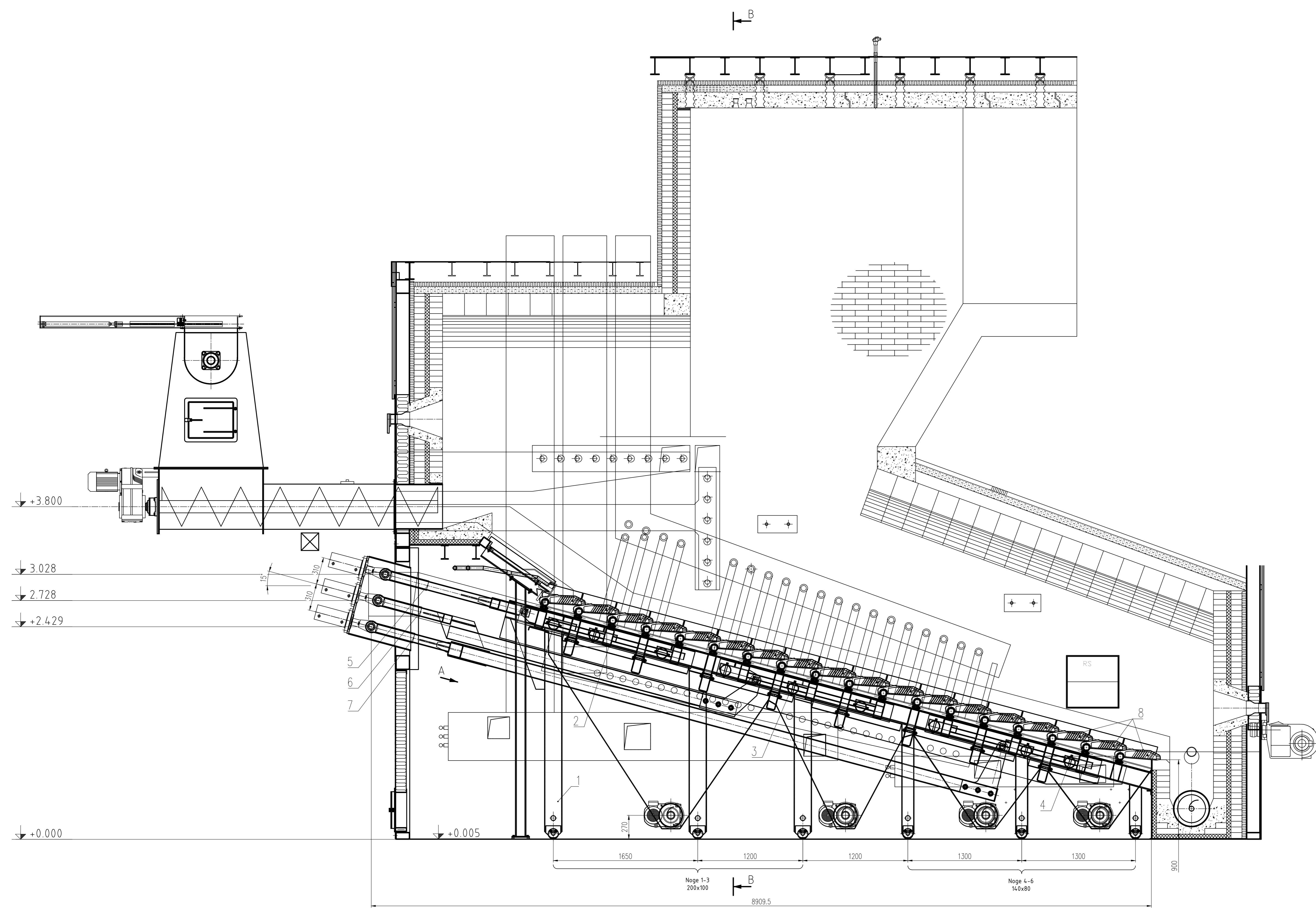
- [1] Hoić, M.: Transportni uređaji Vježbe, materijali s vježbi, FSB, Zagreb, 2018.
- [2] Đukić, G.: Tehnička logistika Poglavlje 3: Transportni sustavi – 2. dio, materijali s predavanja, FSB, Zagreb, 2013.
- [3] <https://www.ultimationinc.com/products-conveyor-systems/belt-conveyor-system/>
- [4] <https://gura.de/images/pdfs/serie81100.pdf>
- [5] <https://www.cdmsys.com/tech-brief-drag-chain-conveyor-operation/>
- [6] <https://www.rud.com/en/fa-trough-chain-conveyor.html>
- [7] <https://www.kuehne.com/en/products/chain-conveyors/apron-conveyors.html>
- [8] <https://riela.de/en/products/conveying-technology/bucket-elevators/>
- [9] <https://wamgroup.com/en-GB/corporate/Product/CX/Stainless-Steel-Trough-Screw-Conveyors>
- [10] <https://railtechnik.com/blog/how-does-power-and-free-overhead-conveyor-work>
- [11] <https://www.gea.com/en/products/product-handling-systems/dosing-feeding/spiral-elevator-type-cer.jsp>
- [12] <https://www.dinnissen.com/en/our-solutions/pneumatic-transport>
- [13] <https://www.safeglide.co.uk/straight-chutes/>
- [14] <https://www.sugimat.com/en/products/step-grate-combustion-chamber/>
- [15] <https://www.detroitstoker.com/products/detroit-stokers-reciprograte/>
- [16] <https://www.detroitstoker.com/products/detroit-stokers-rotograte/>
- [17] <https://www.detroitstoker.com/products/detroit-stokers-hydrograte/>
- [18] <https://wellons.ca/wellons-combustor-cell/>
- [19] <https://www.igniss.com/rotary-kiln>
- [20] [https://www.takuma.co.jp/english/product/msw/stoker\\_msw.html](https://www.takuma.co.jp/english/product/msw/stoker_msw.html)
- [21] Williams, P. T.: Waste Treatment and Disposal Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 2005.
- [22] Zahs, A., Spiegel, M., Grabke, H.: The Influence of Alloying Elements on the Chlorine-Induced High Temperature Corrosion of Fe-Cr Alloys in Oxidizing Atmospheres, Materials and Corrosion, 1999., br. 50, str. 561–578
- [23] <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>
- [24] Kranjčević, N.: Vijci i navojna vretena, poglavlje iz kolegija preddiplomskog studija strojarstva: Elementi konstrukcija I, FSB, Zagreb, 2014.
- [25] <https://www.boschrexroth.com/en/hu/products/product-groups/industrial-hydraulics/>

- 
- [26] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [27] Vučković, K.: Osovine i vratila, podloge uz predavanja, FSB, Zagreb, 2016.
- [28] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.

---

**PRILOZI**

I. Tehnička dokumentacija



TERVOL  
IZOLACIJSKI BETON  
VATROOPOJNI BETON

DILATACIJSKA FUGA  
KERAMIČKI ANKER

TERVOL BS-10  
IZOLACIJSKA OPEKA M<sub>5</sub>-500  
IZOLACIJSKE PLOČE SKAMOLEX  
VATROOPOJNA OPEKA A40, A60

BETON

Item	Description	Standard of Dim	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	QTY [pcs]	Total weight per item [kg]
8	Rešetnica	FSB-01/23-01-08								8	12961,9
7	Gurač 3	FSB-01/23-01-07							912	1	6912
6	Gurač 2	FSB-01/23-01-06							626,5	1	626,5
5	Gurač 1	FSB-01/23-01-05							182,3	1	182,3
4	Kolica 3	FSB-01/23-01-04							550,8	1	550,8
3	Kolica 2	FSB-01/23-01-03							552,2	1	552,2
2	Kolica 1	FSB-01/23-01-02							550	1	550
1	Nosiva konstrukcija	FSB-01/23-01-01							2676,1	1	2676,1

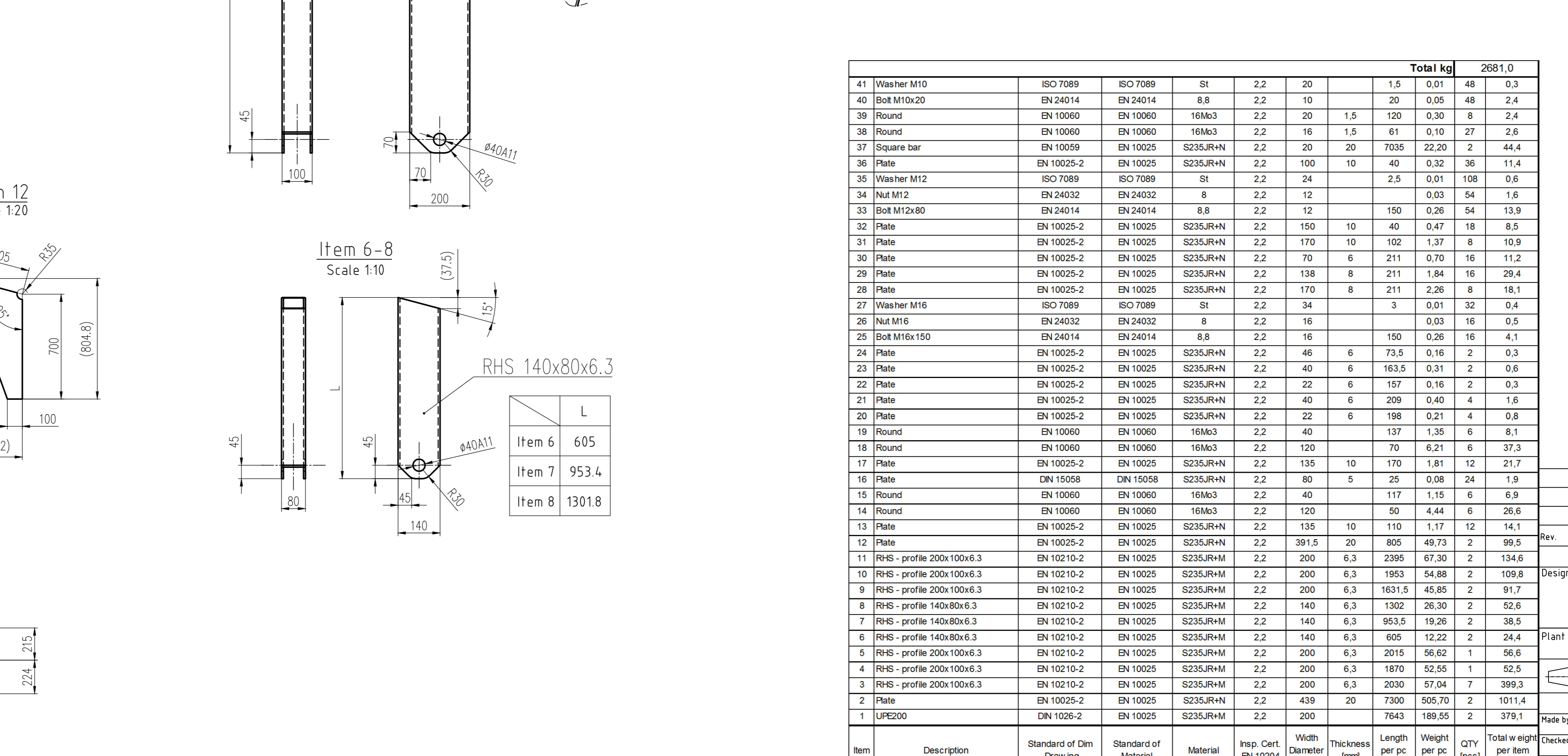
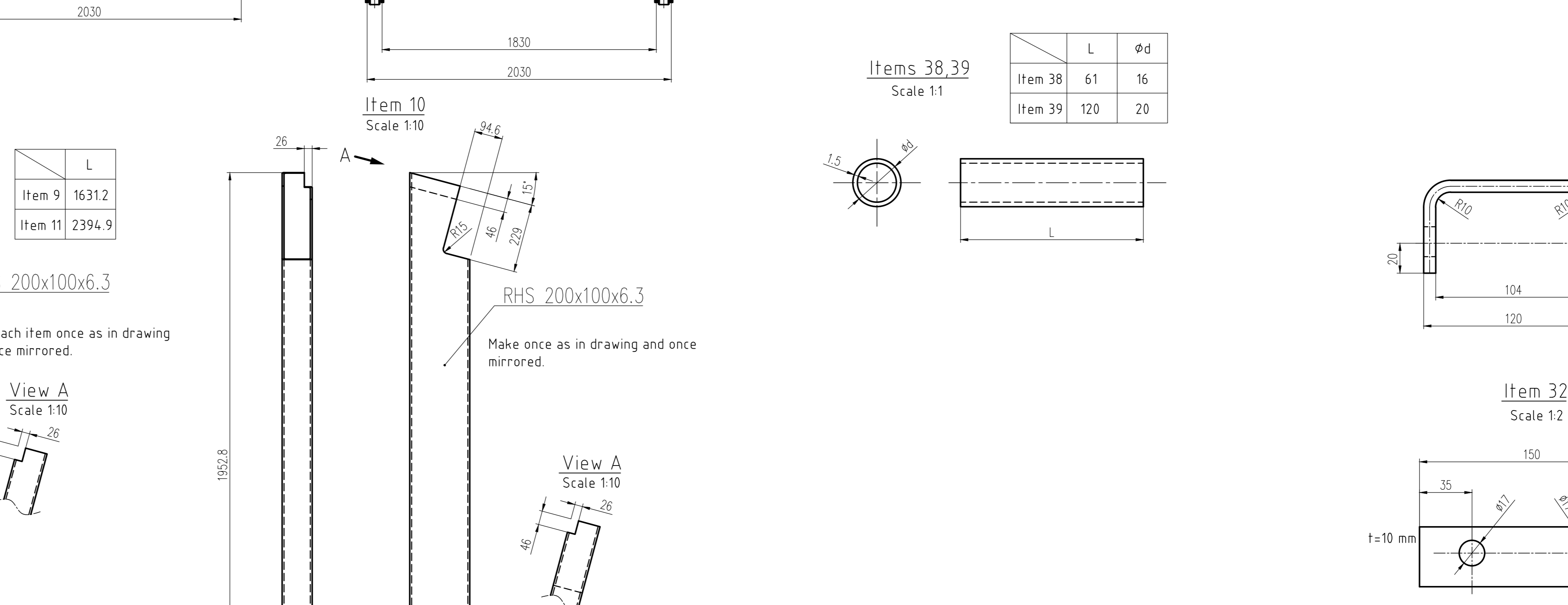
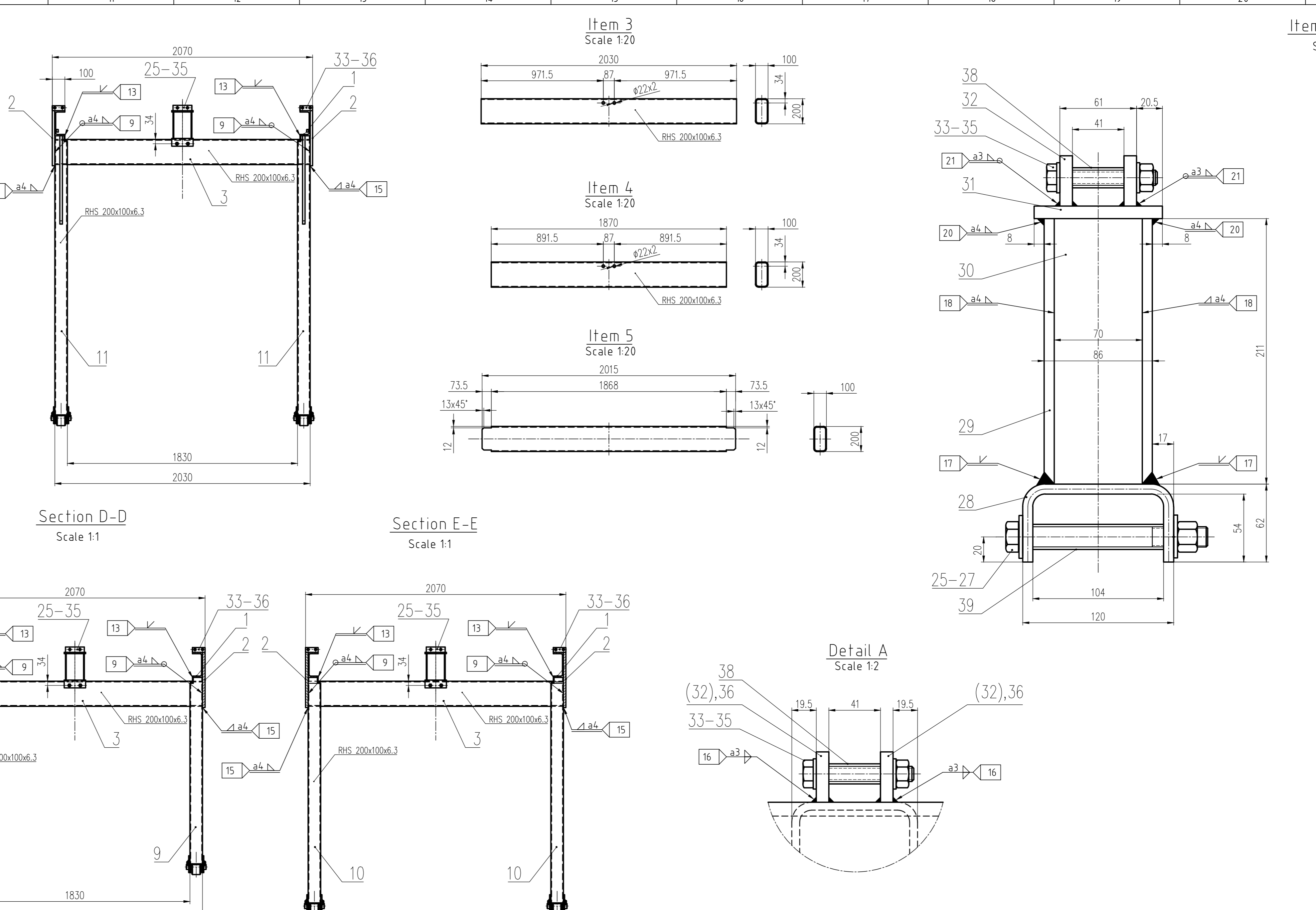
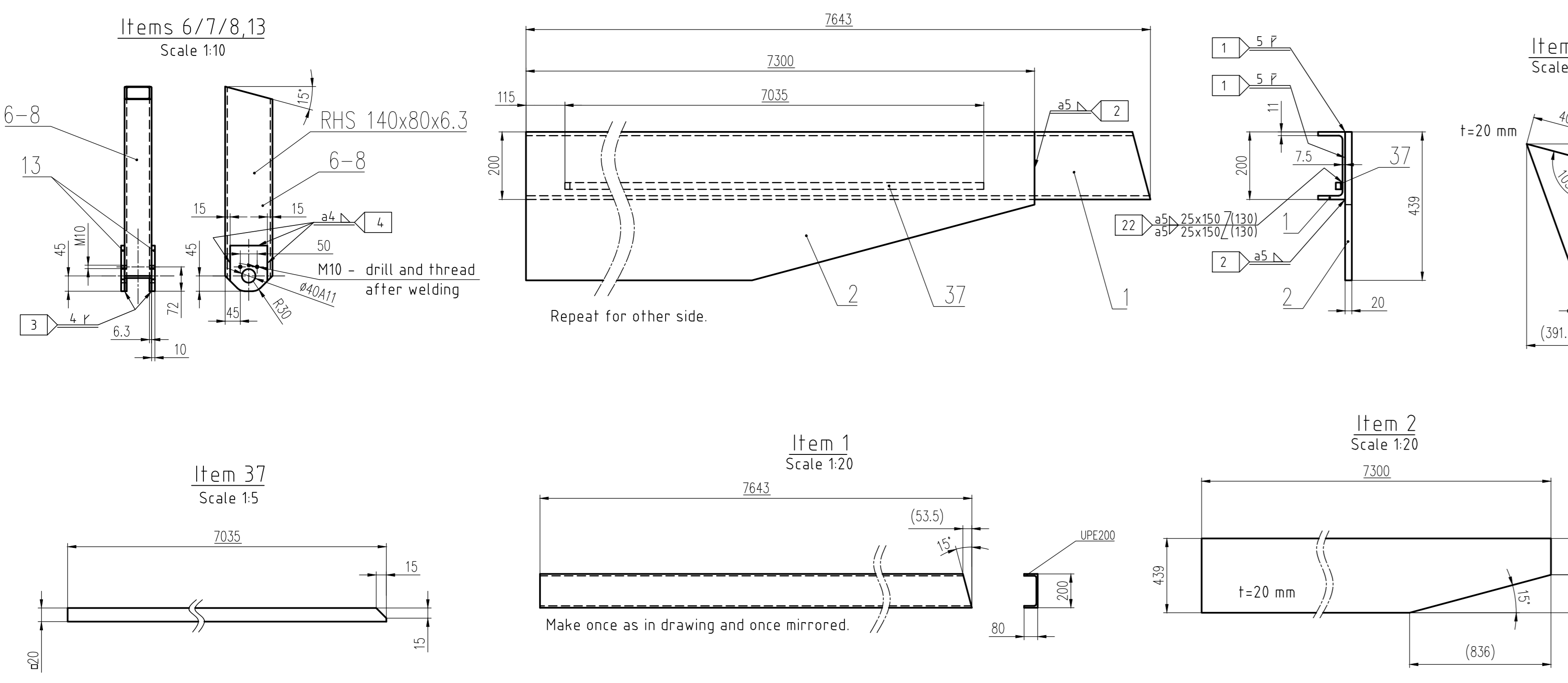
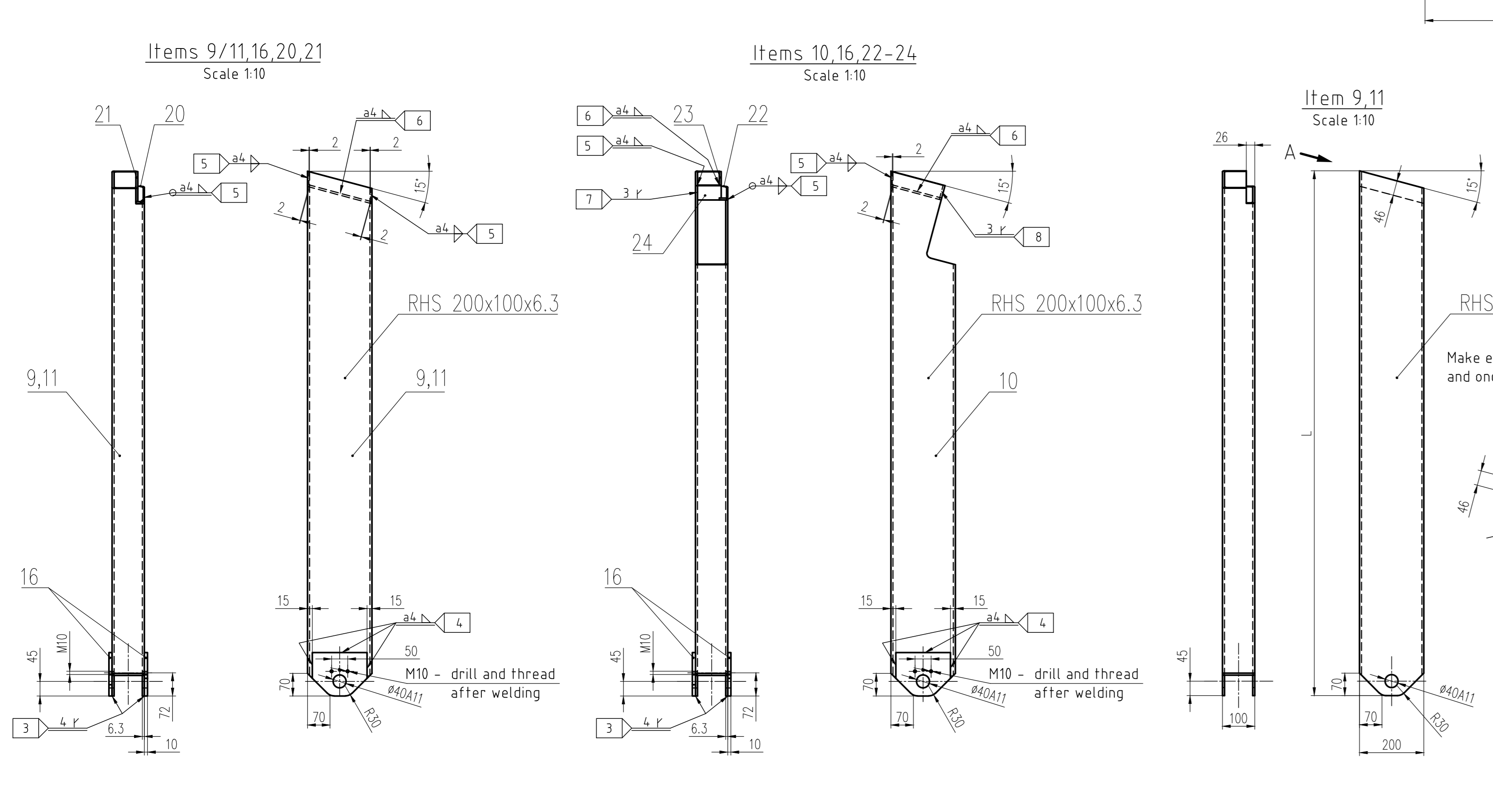
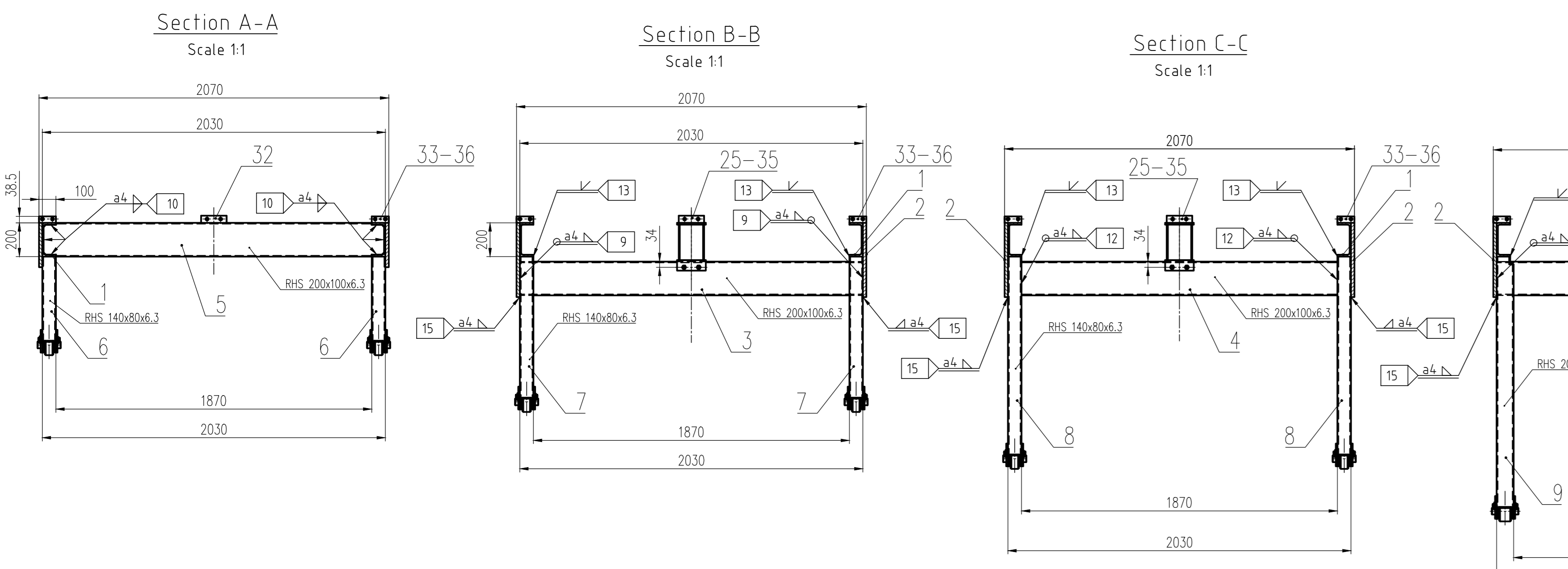
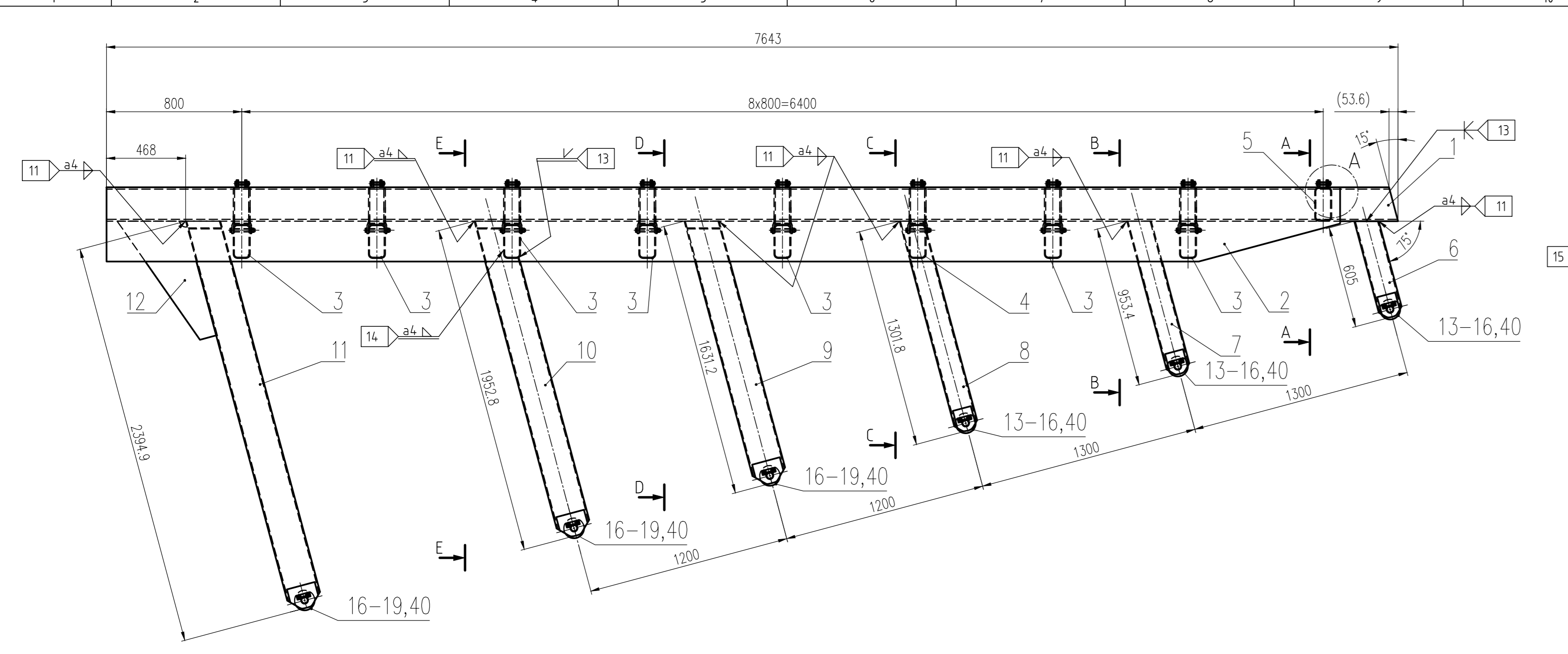
Rev.	Date	Description	Drawn	Approved

REVISIONS		Investor	
Scale	Formal	Date	Name
1:20	AQ	08.12.2022	M.Kilibonin
		09.12.2022	M.Holic
		09.12.2022	M.Holic

Designer	FSB d.o.o. info@fsb.hr	Drawing no.	FSB-01/23-01-00
Plant		Drawing Name	KONVEJER S RECIPROČNOM REŠETKOM ZA SPALIONICU



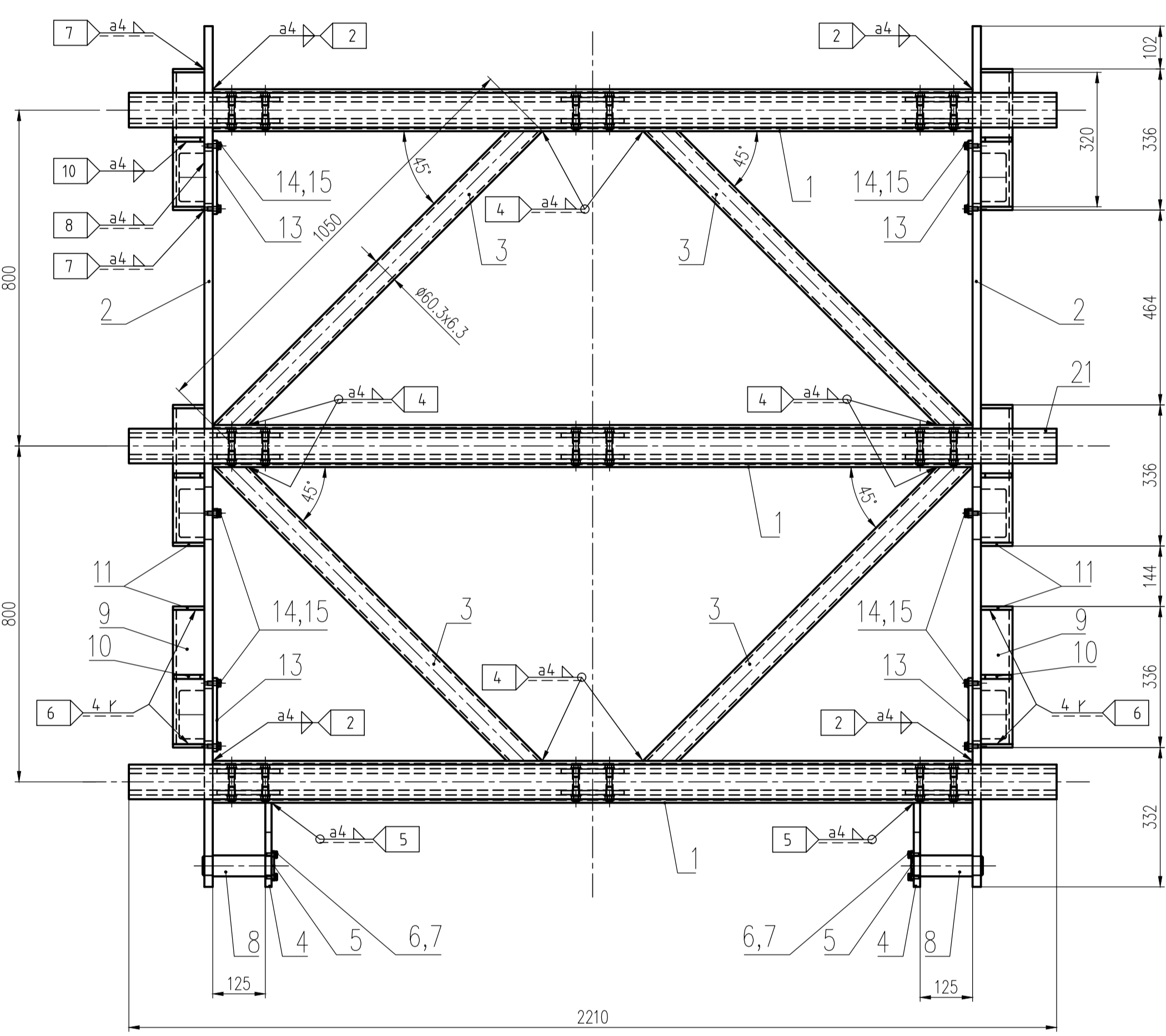
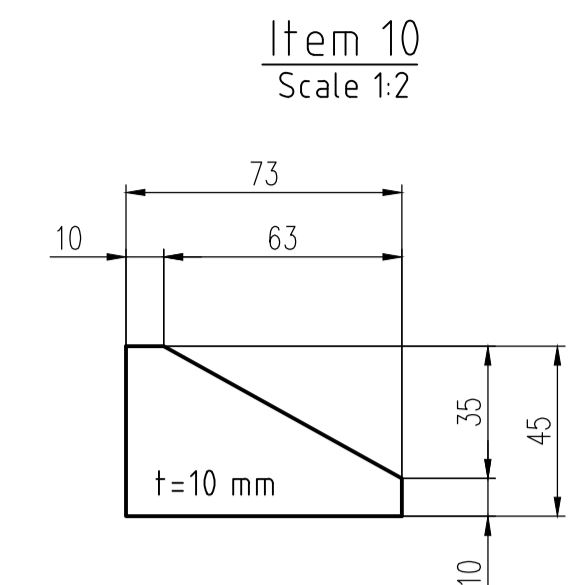
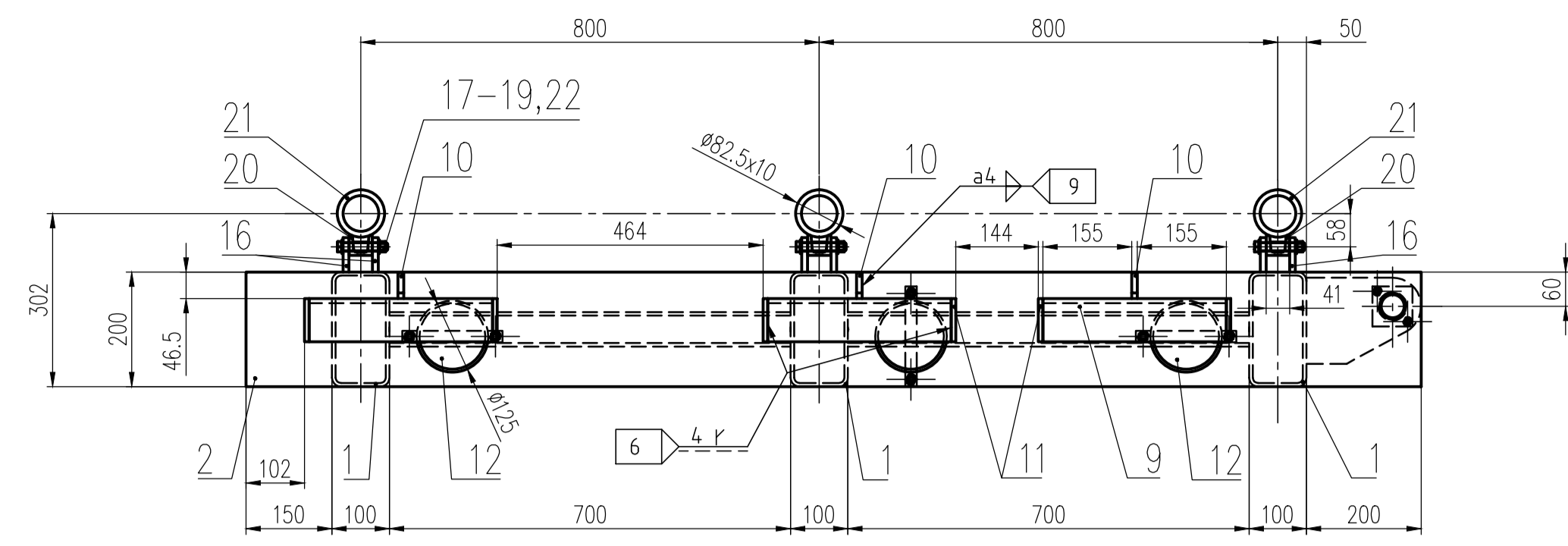
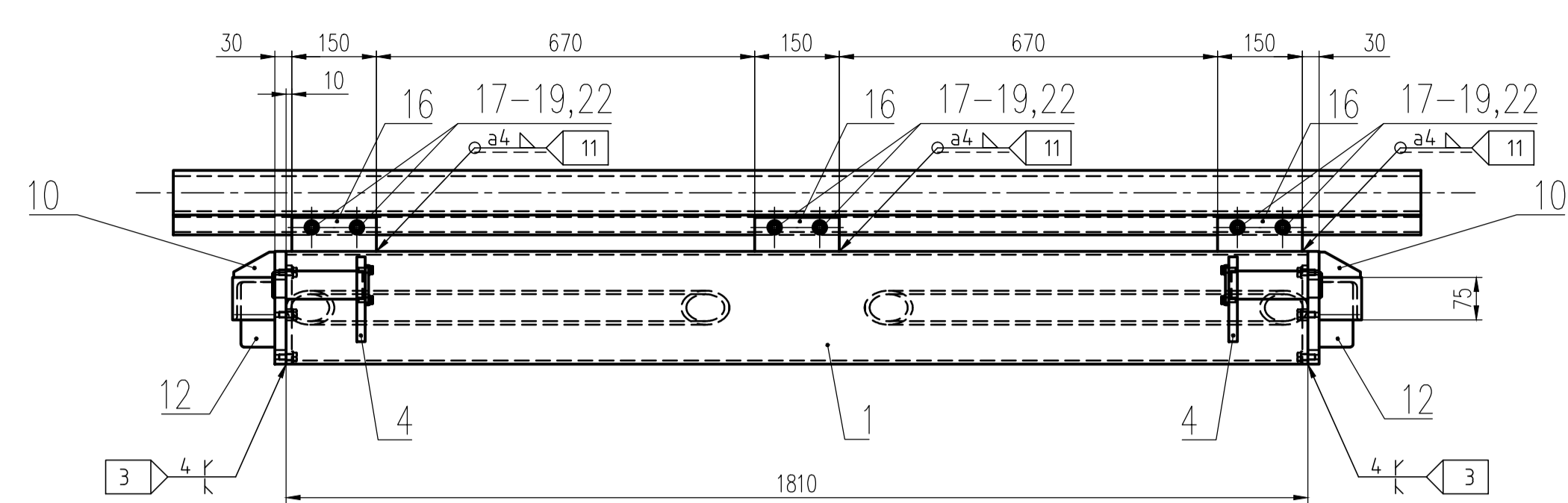
REVISIONS

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved

Plant: [Signature]

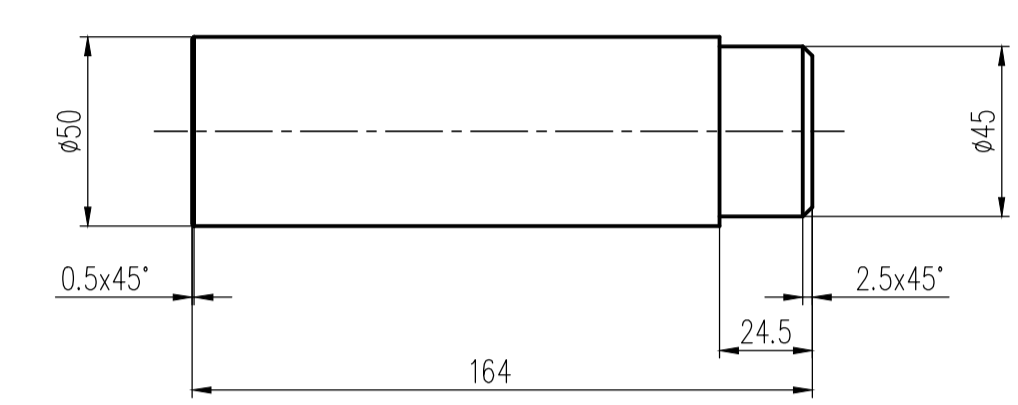
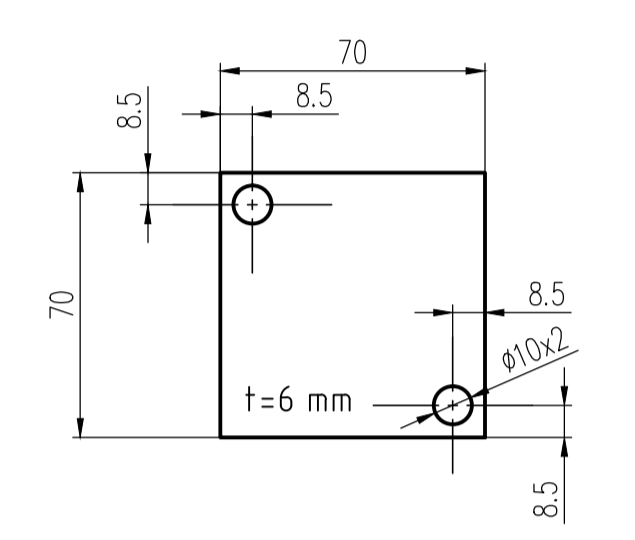
Scale: 1:20  
Formal: AQ

Project: FSB-01/23-01-01  
Drawing Name: NOSIJA KONSTRUKCIJA

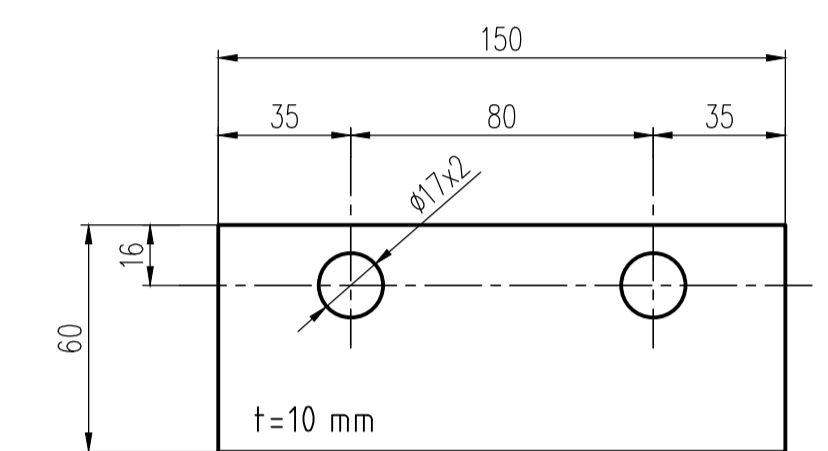


Item 5  
Scale 1:2

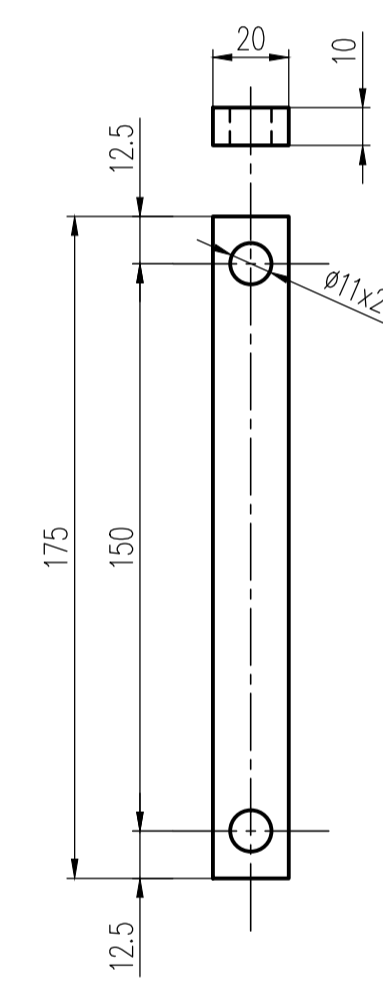
Item 8  
Scale 1:2



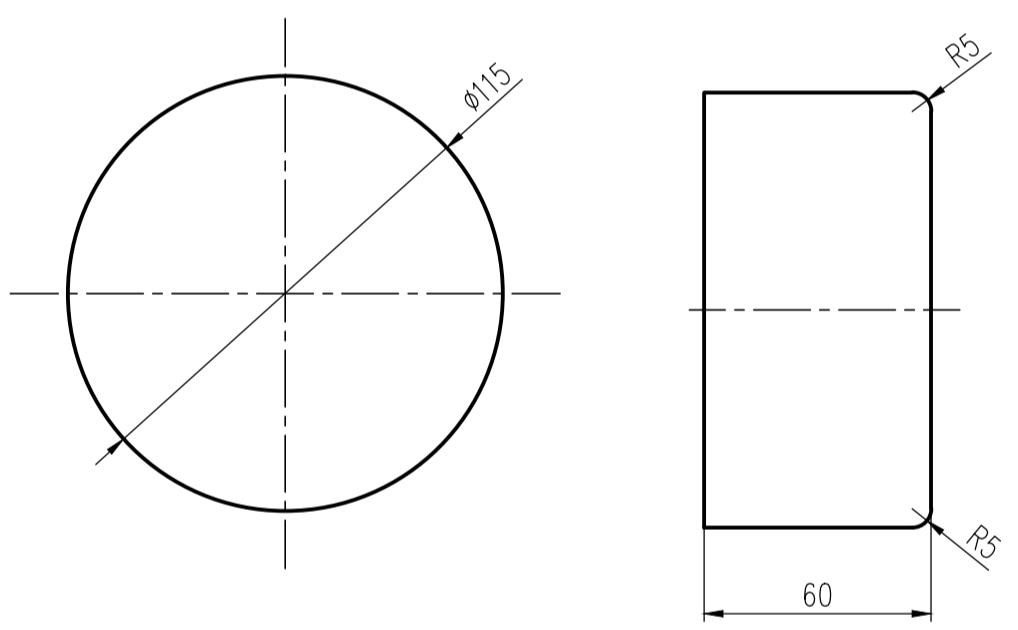
Item 16  
Scale 1:2



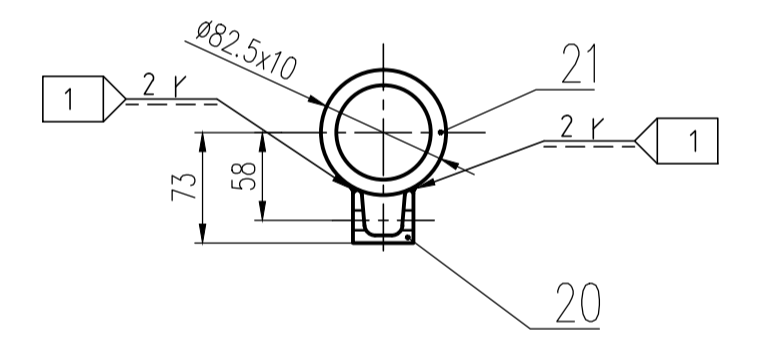
Item 13  
Scale 1:2



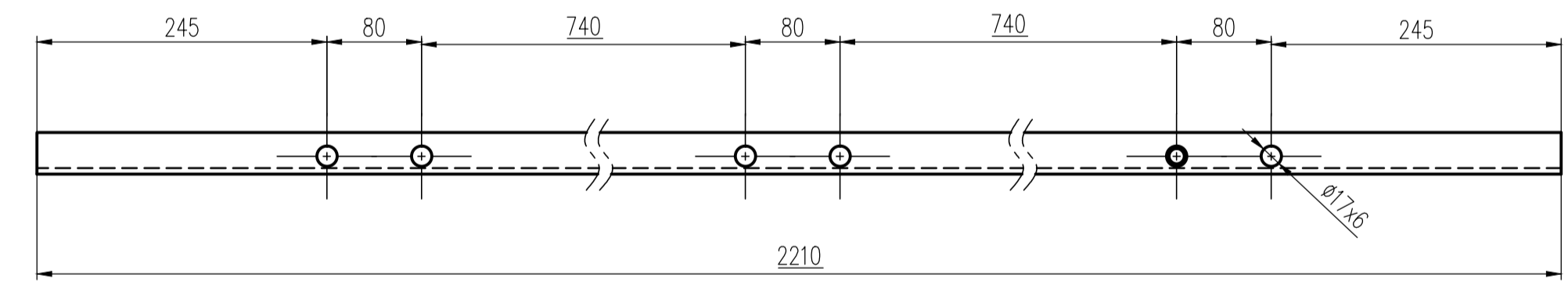
Item 12  
Scale 1:2



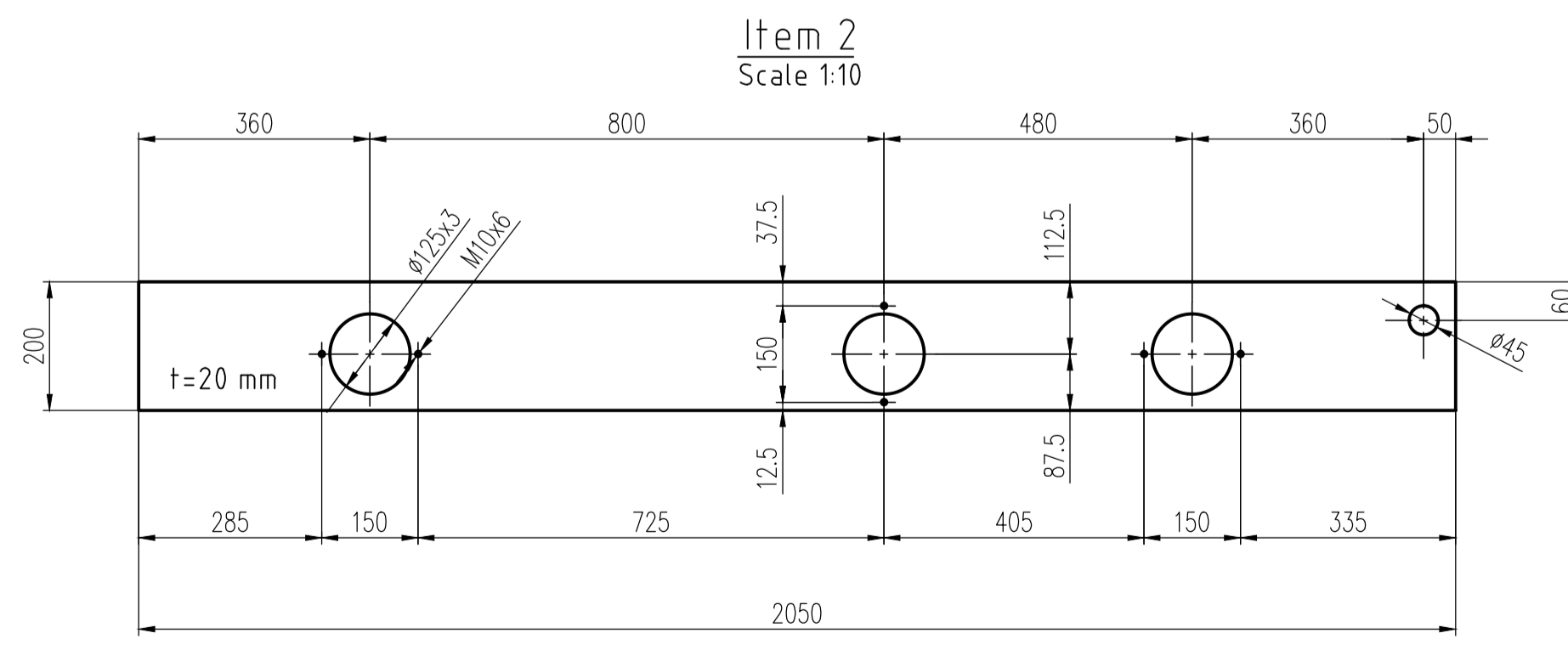
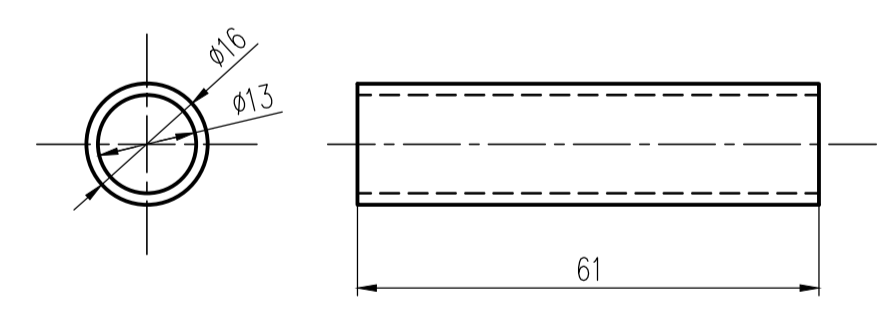
Items 20,21  
Scale 1:5



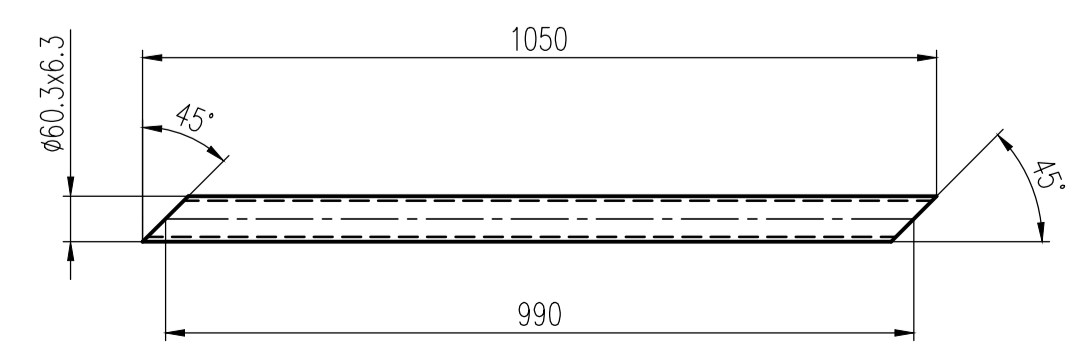
Item 20  
Scale 1:5



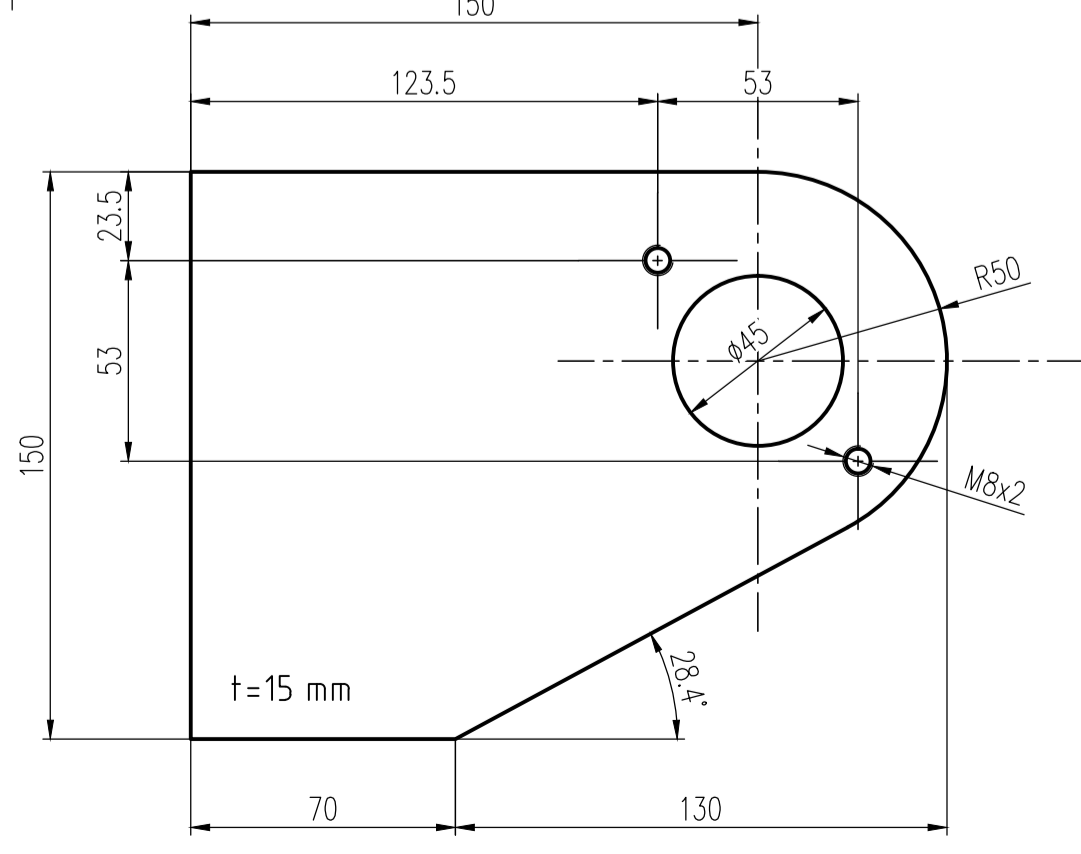
Item 22  
Scale 1:1



Item 3  
Scale 1:10

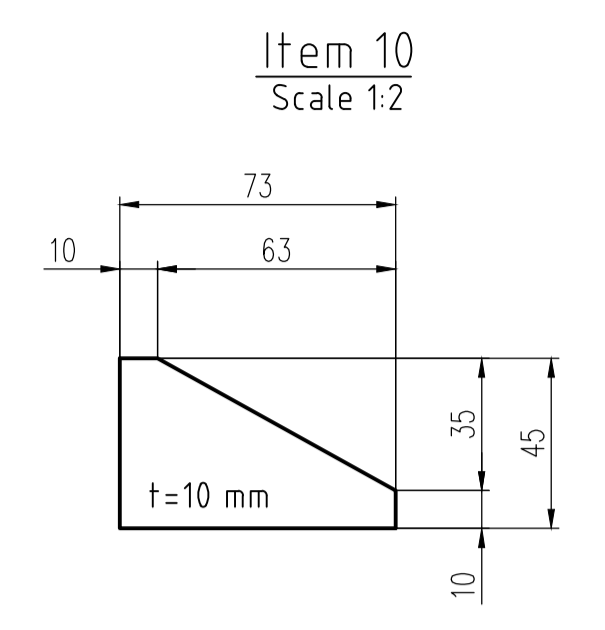
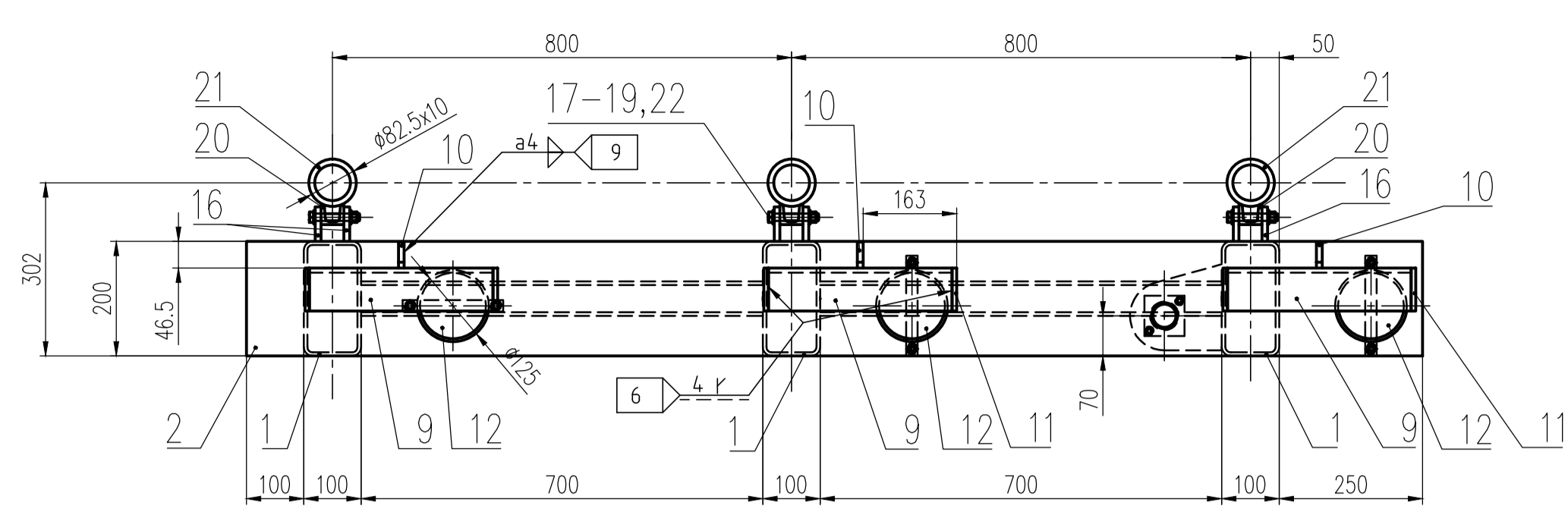
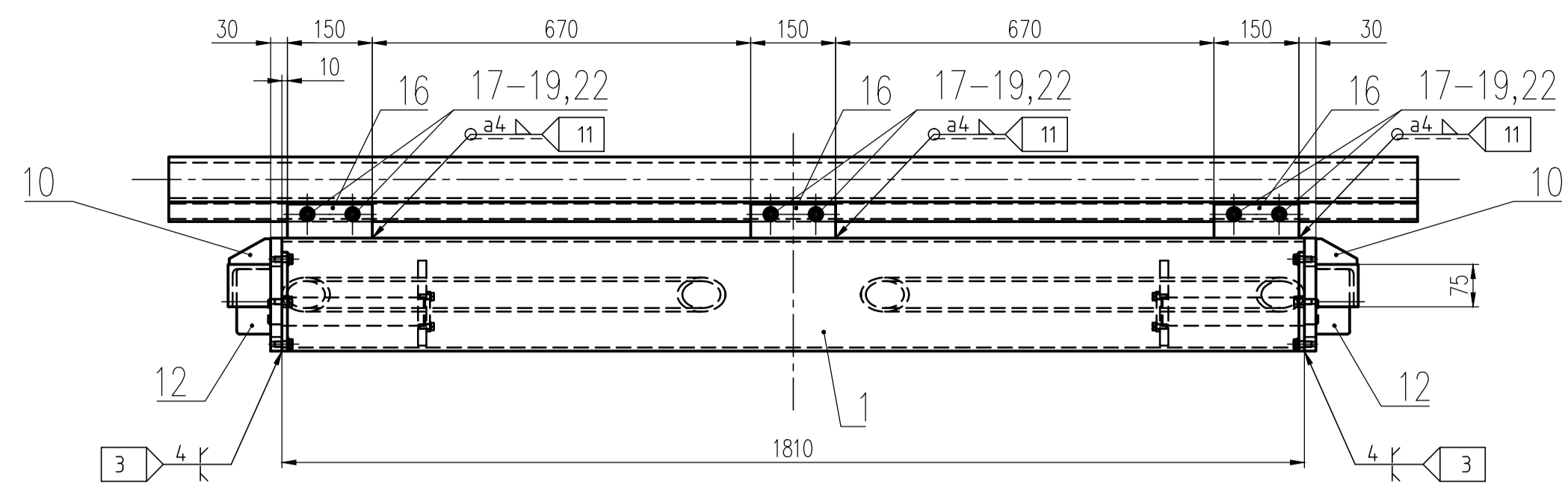


Item 4  
Scale 1:2



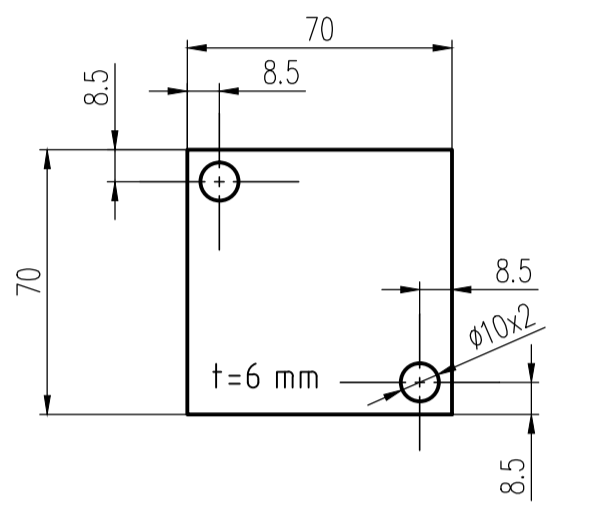
Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	QTY [pcs]	Total weight per item [kg]
22	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	16	1,5	61	0,10	18	1,7
21	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	82,5	10	2210	39,51	3	118,5
20	U40	DIN 1026-1	EN 10025	S235JR+M	2,2	40	7	2210	10,76	3	32,3
19	Washer M12	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	24	2,5		0,01	36	0,2
18	Nut M12	EN 24032	EN 24032	8	2,2	12			0,02	18	0,3
17	Bot M12x80	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	12		80	0,08	18	1,5
16	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	60	10	150	0,71	18	12,8
15	Washer M10	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	20	2		0,00	12	0,0
14	Bot M10x25	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	10		25	0,03	12	0,3
13	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	10	20	175	0,28	6	1,7
12	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	115	60		4,89	6	29,4
11	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	75	8	75	0,36	12	4,3
10	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	45	10	73	0,26	6	1,6
9	L - profile 75x75x8	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	75	8	320	2,89	6	17,3
8	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	50		164	2,53	2	5,1
7	Washer M8	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	16	1,6		0,00	4	0,0
6	Bot M8x20	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	8		20	0,01	4	0,1
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	70	6	70	0,23	2	0,5
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	150	15	200	3,55	2	7,1
3	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	60,3	6,3	1050	8,81	4	35,2
2	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	200	20	2050	64,70	2	129,4
1	RHS - profile 200x100x6,3	EN 10210-2	EN 10210-2	S235JR+M	2,2	200	6,3	1810	50,86	3	152,6
										<b>Total kg</b>	<b>550,1</b>

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
Plant		Drawing no. FSB-01/23-01-02		
Scale 1:10		Drawing Name KOLICA 1		
Date 08.12.2022		Name M.Kilbonin		
Date 09.12.2022		Name M.Hoic		
Date 09.12.2022		Name M.Hoic		

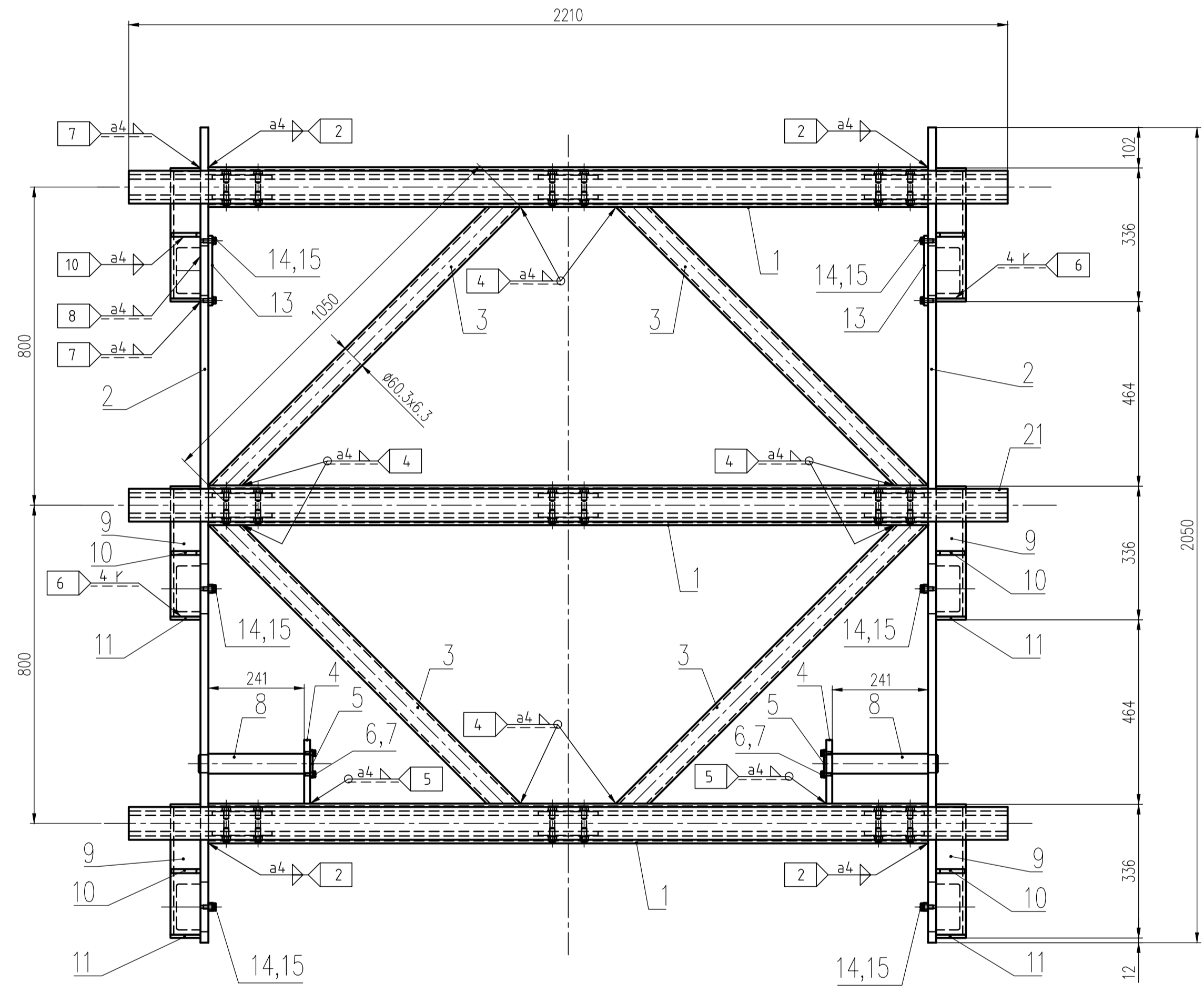
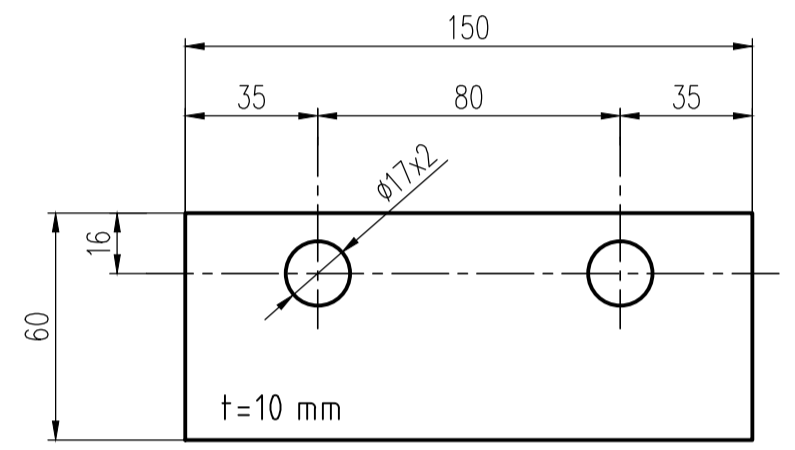


Item 5  
Scale 1:2

Item 8  
Scale 1:2

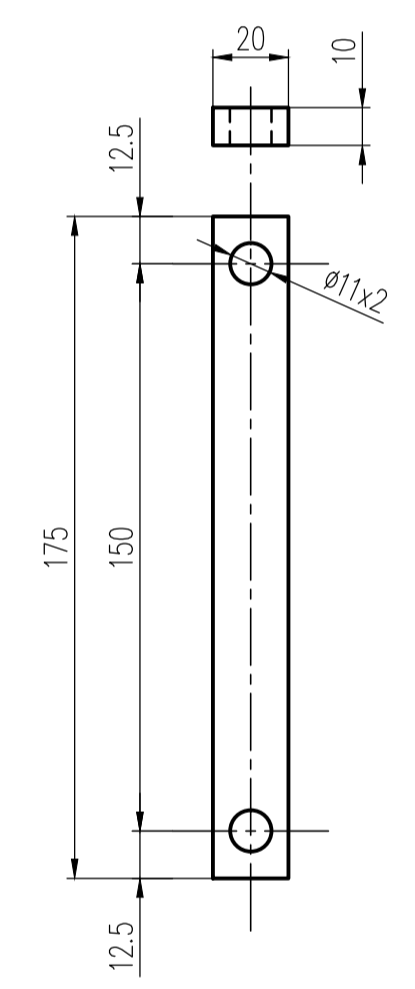
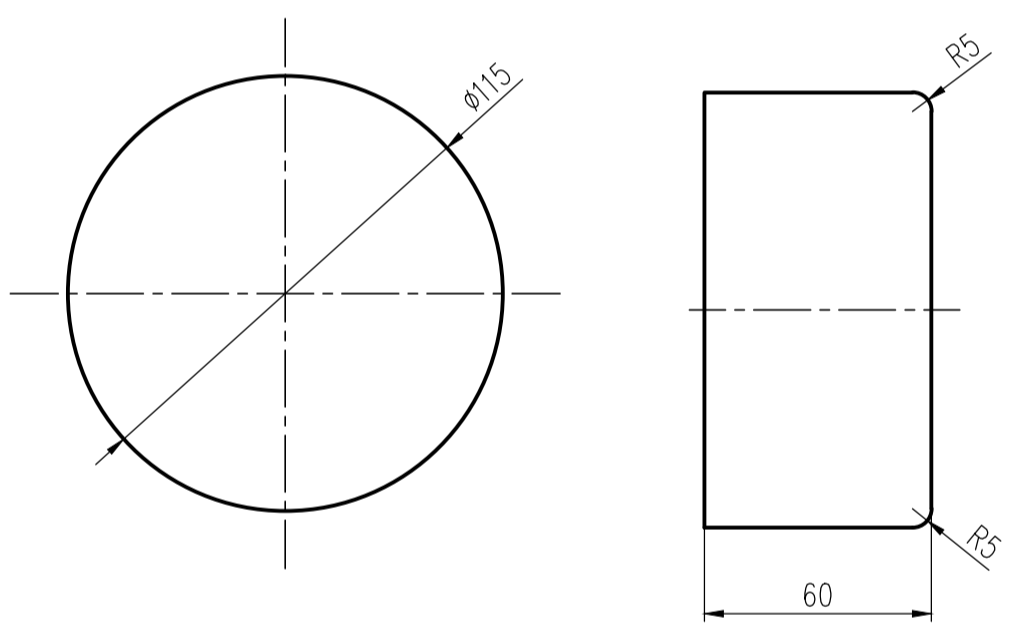


Item 16  
Scale 1:2

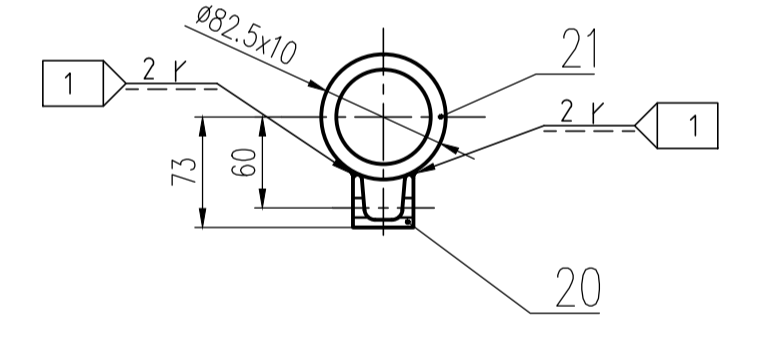


Item 12  
Scale 1:2

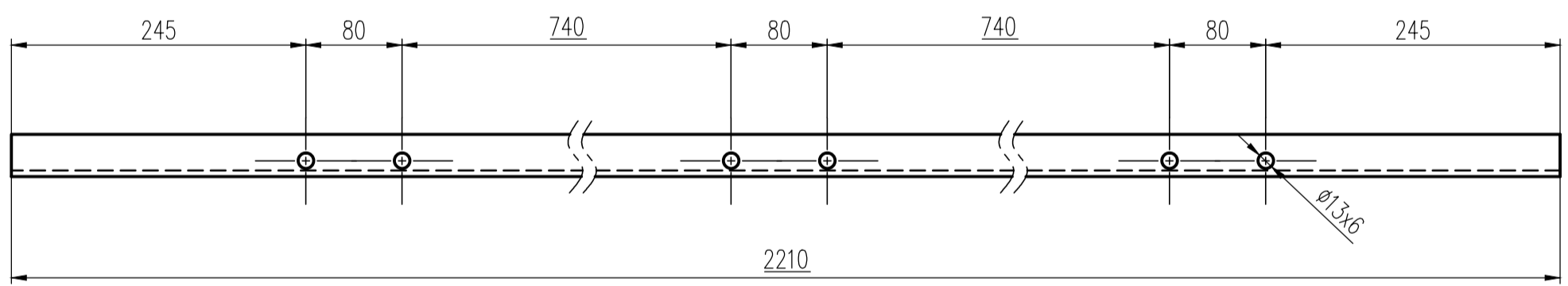
Item 13  
Scale 1:2



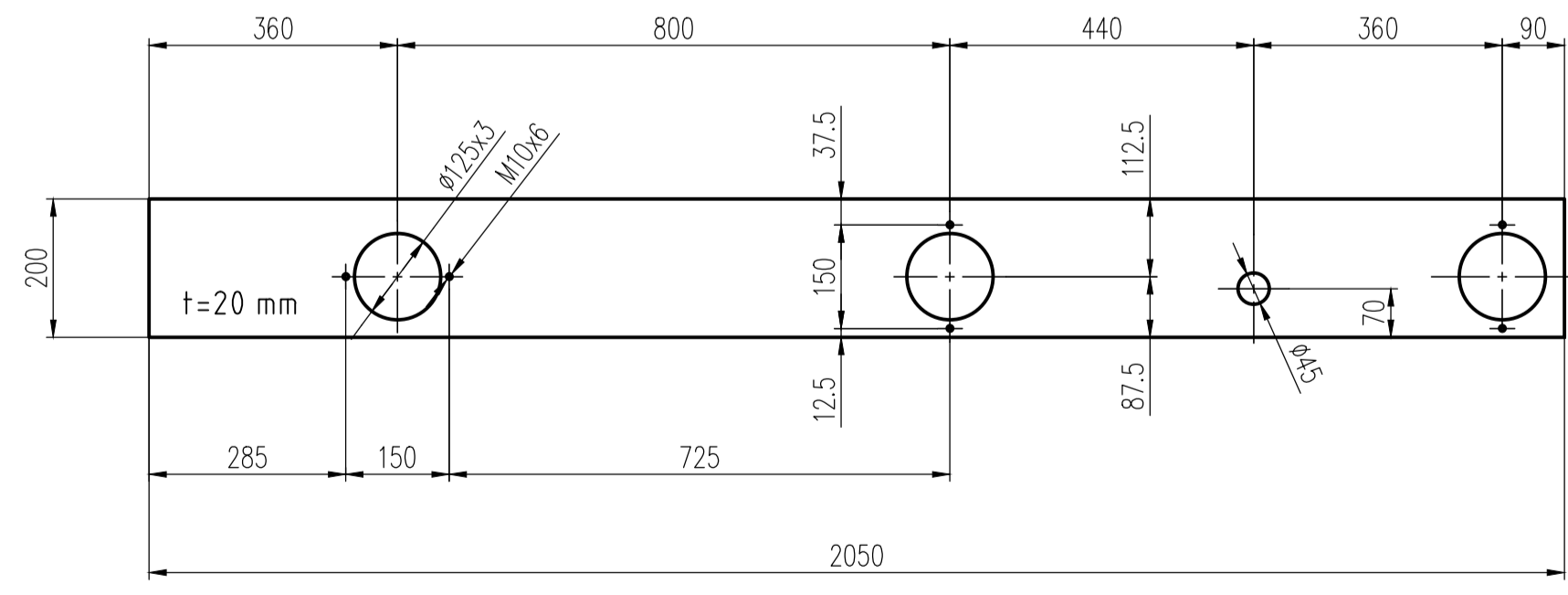
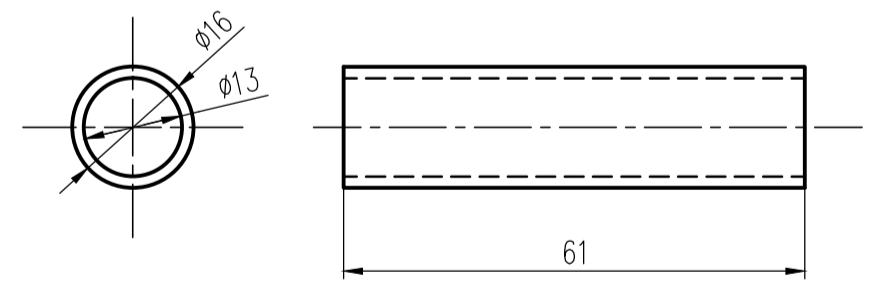
Items 20,21  
Scale 1:5



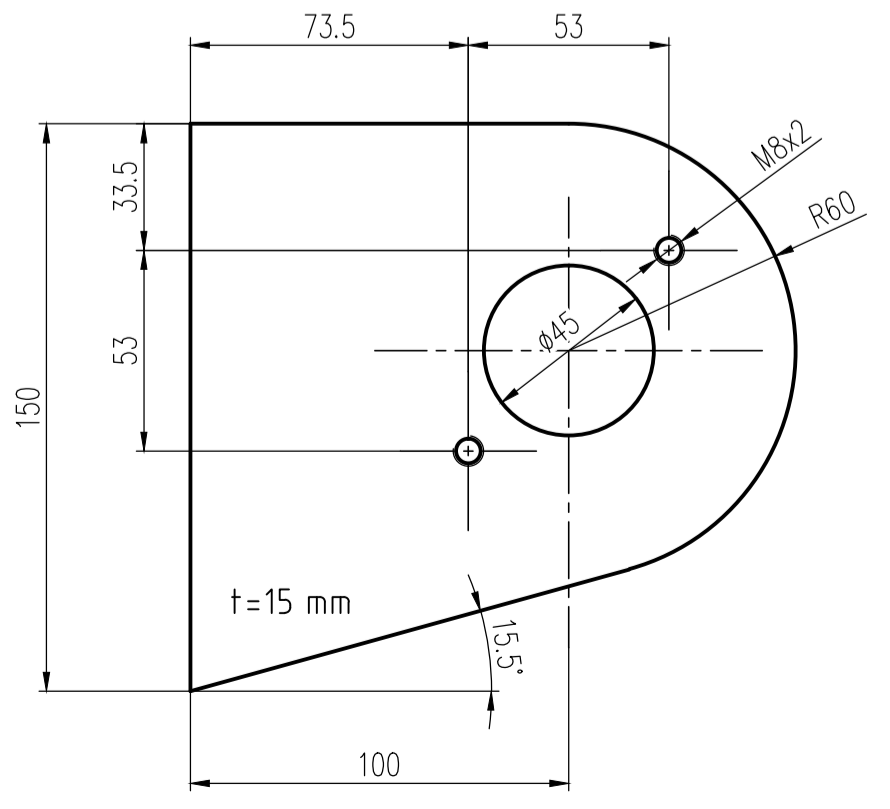
Item 20  
Scale 1:5



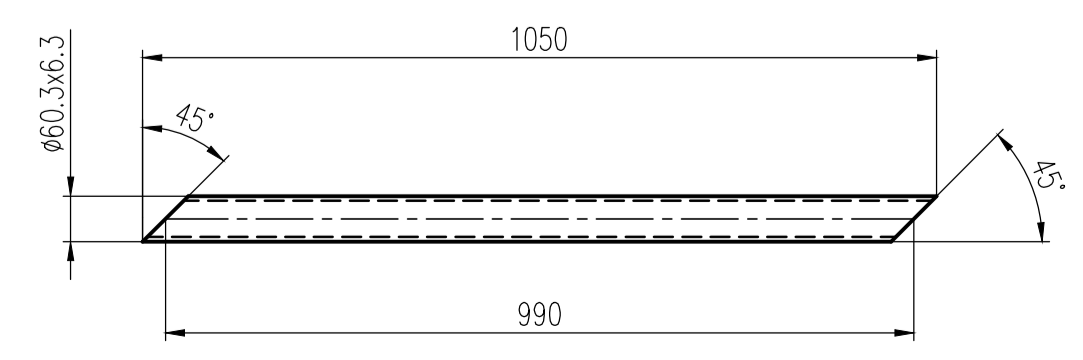
Item 22  
Scale 1:1



Item 4  
Scale 1:2

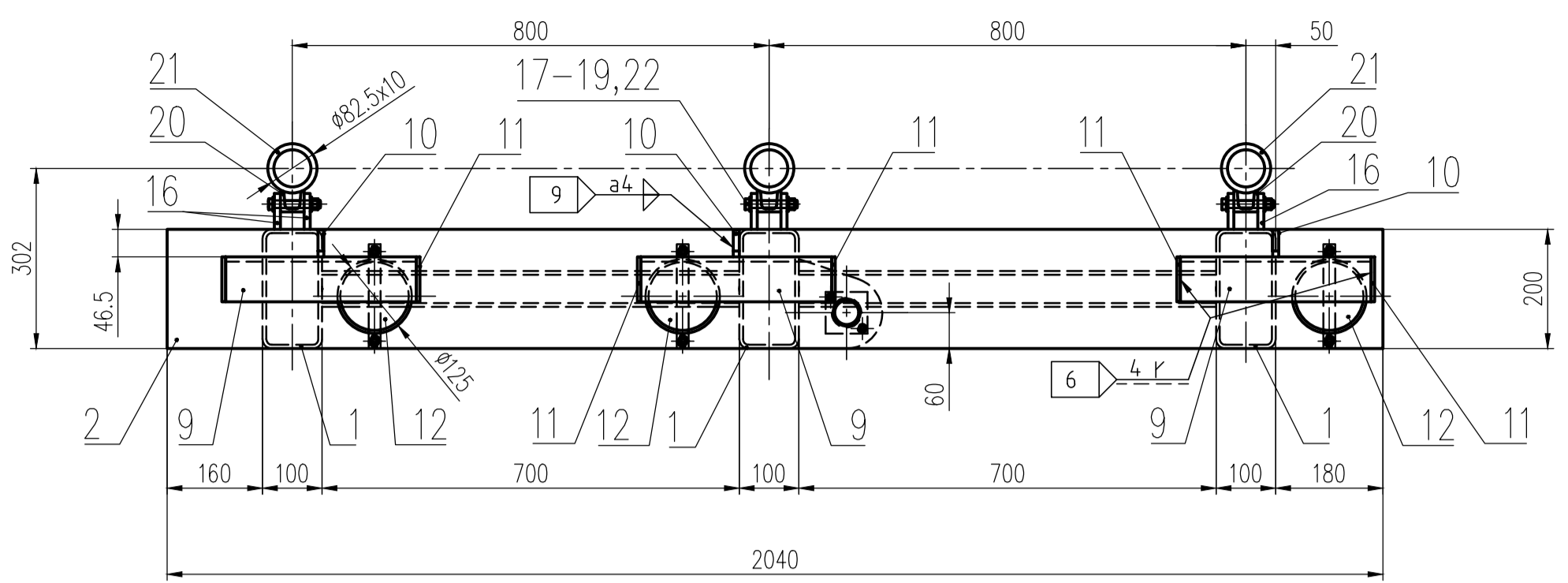
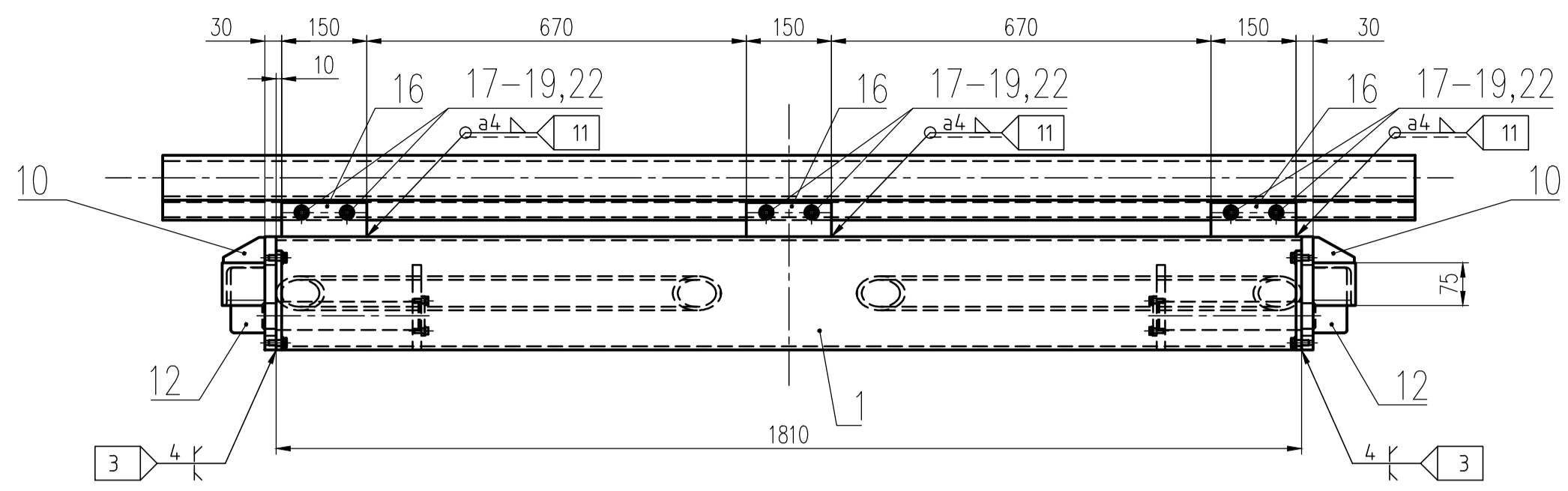


Item 3  
Scale 1:10

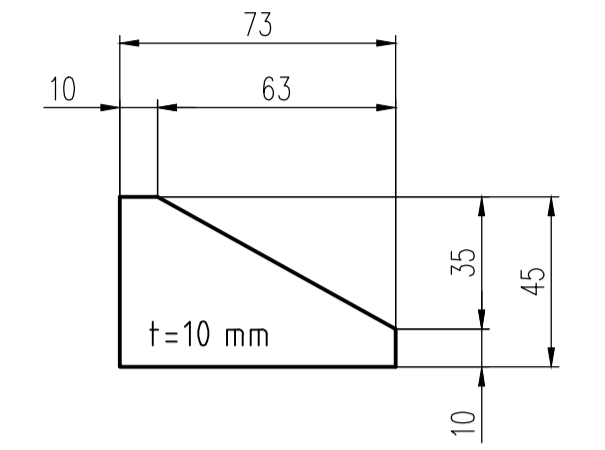


Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	QTY [pcs]	Total weight per Item [kg]
22	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	16	1,5	61	0,10	18	1,7
21	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	82,5	10	2210	39,51	3	118,5
20	U40	DIN 1026-1	EN 10025	S235JR+M	2,2	40	7	2210	10,76	3	32,3
19	Washer M12	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	24	2,5		0,01	36	0,2
18	Nut M12	EN 24032	EN 24032	8	2,2	12			0,02	18	0,3
17	Bolt M12x80	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	12		80	0,08	18	1,5
16	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	60	10	150	0,71	18	12,8
15	Washer M10	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	20	2		0,00	12	0,0
14	Bolt M10x25	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	10		25	0,03	12	0,3
13	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	10	20	175	0,28	6	1,7
12	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	115	60		4,89	6	29,4
11	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	75	8	75	0,36	12	4,3
10	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	45	10	73	0,26	6	1,6
9	L - profile 75x75x8	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	75	8	320	2,89	6	17,3
8	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	50		280	4,32	2	8,6
7	Washer M8	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	16	1,6		0,00	4	0,0
6	Bolt M8x20	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	8		20	0,01	4	0,1
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	70	6	70	0,23	2	0,5
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	150	15	160	2,84	2	5,7
3	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	60,3	6,3	1050	8,81	4	35,2
2	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	200	20	2050	64,70	2	129,4
1	RHS - profile 200x100x6.3	EN 10210-2	EN 10210-2	S235JR+M	2,2	200	6,3	1810	50,86	3	152,6
										<b>Total kg</b>	<b>562,2</b>

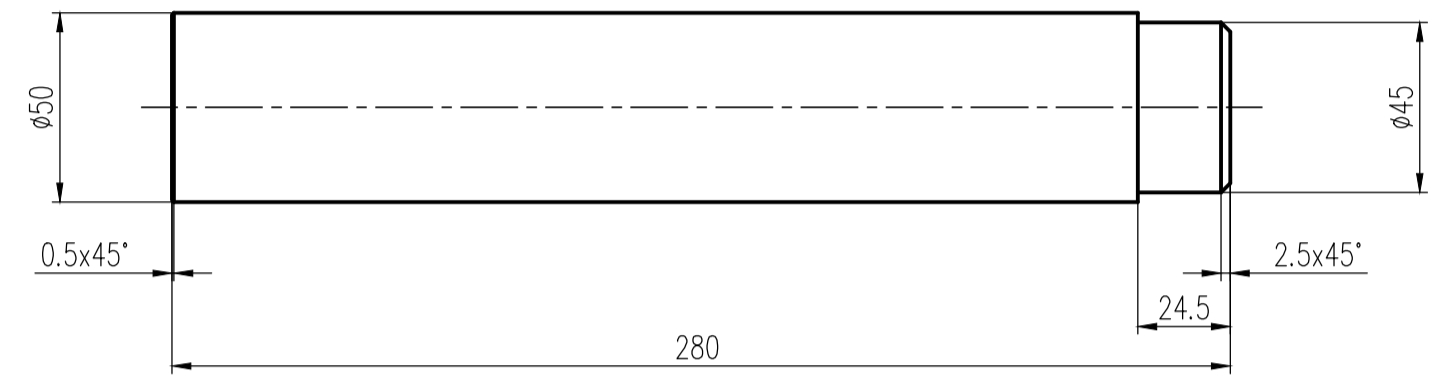
Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
Plant		Drawing no.		F5B-01/23-01-03
Scale		Drawing Name		KOLICA 2
Date		Name		
Date		Signature		
Made by		Checked by		
Date		Approved by		



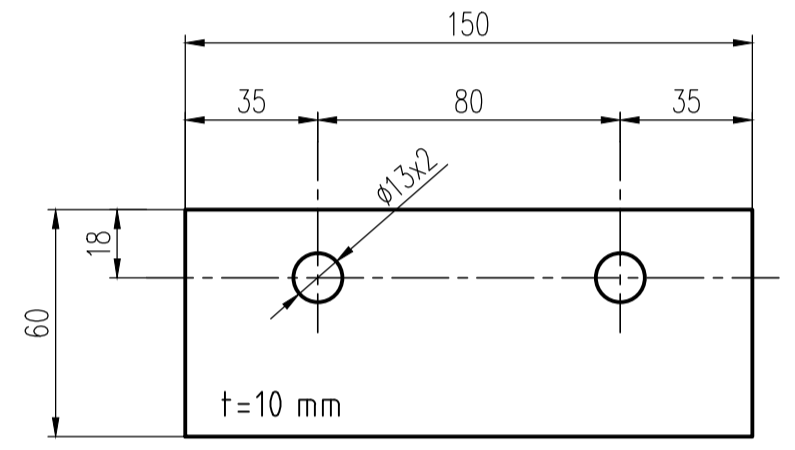
Item 10  
Scale 1:2



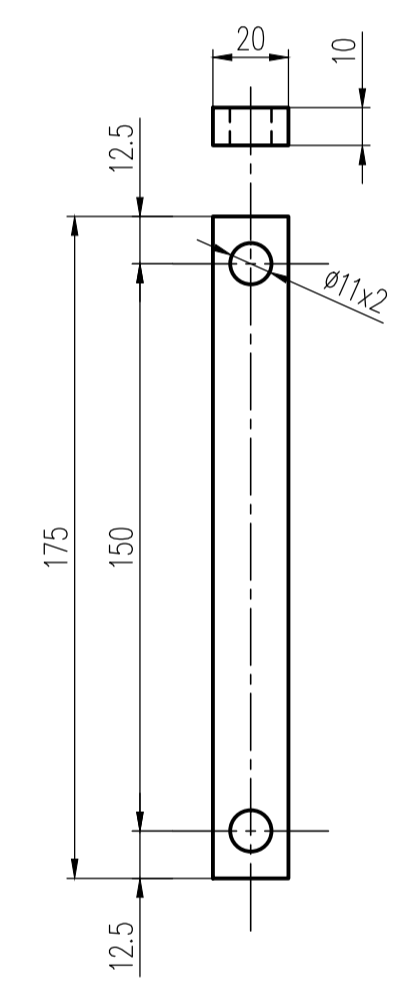
Item 8  
Scale 1:2



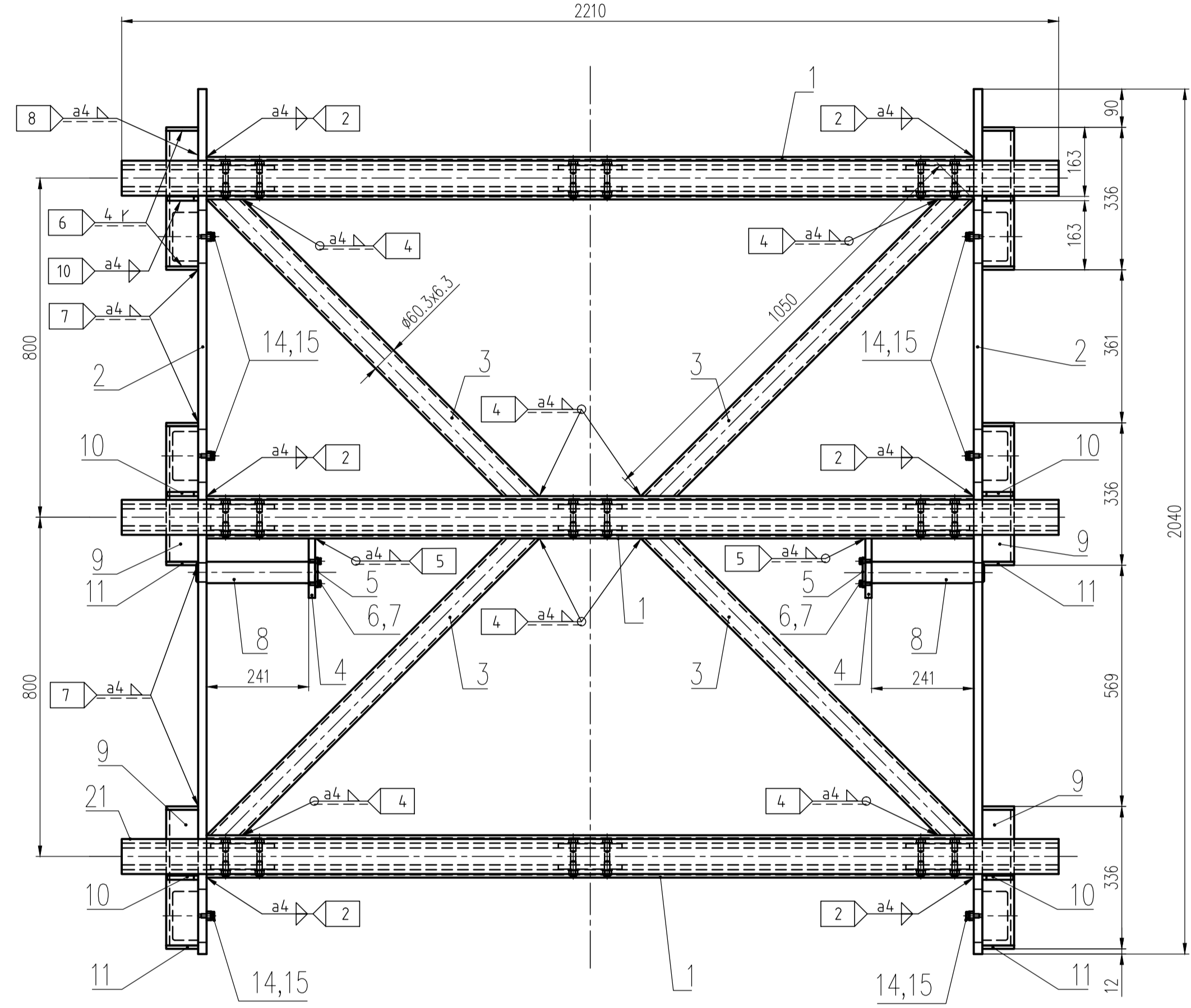
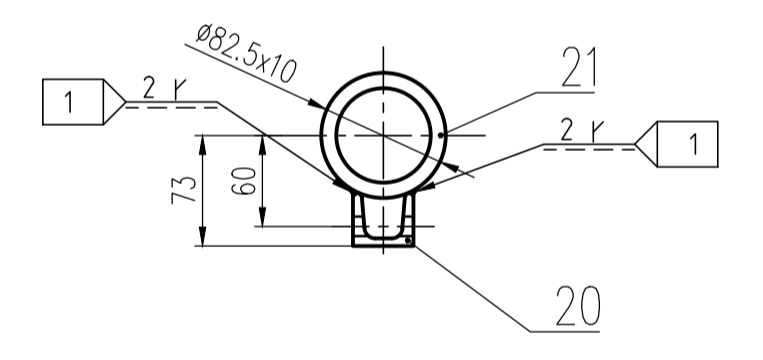
Item 16  
Scale 1:2



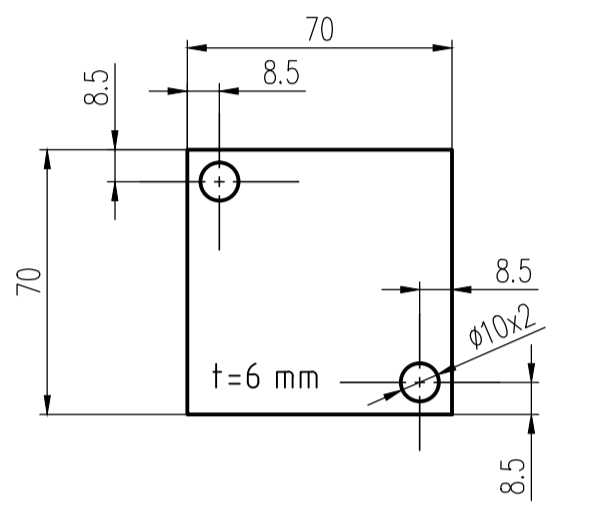
Item 13  
Scale 1:2



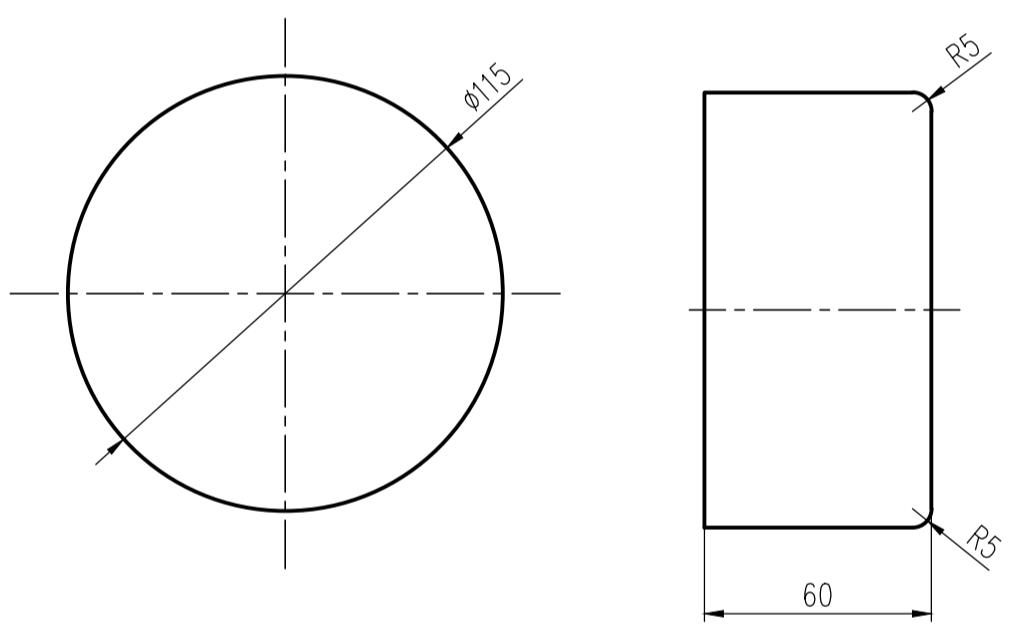
Items 20, 21  
Scale 1:5



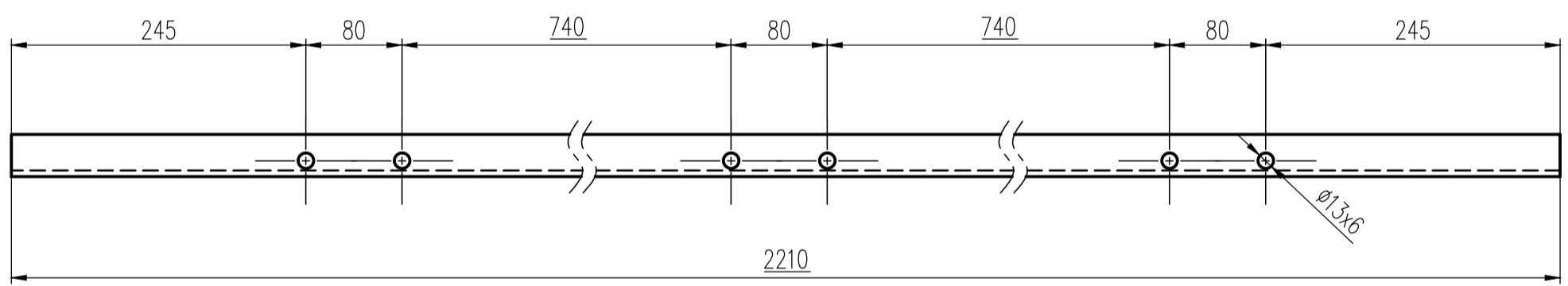
Item 5  
Scale 1:2



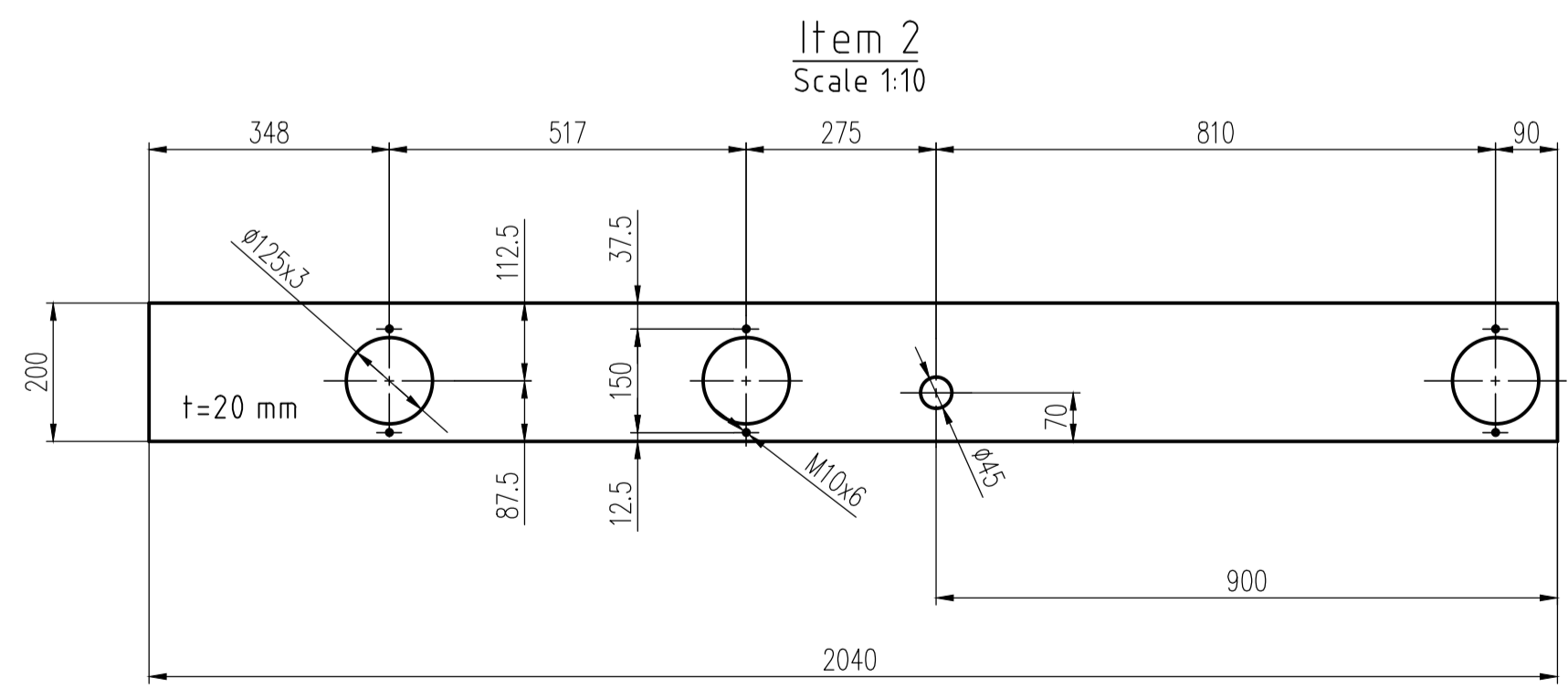
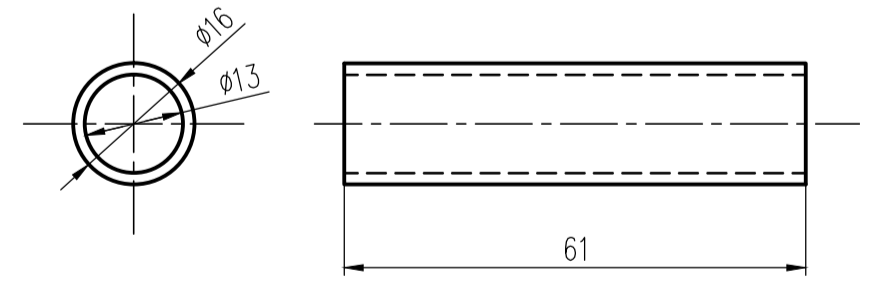
Item 12  
Scale 1:2



Item 20  
Scale 1:5

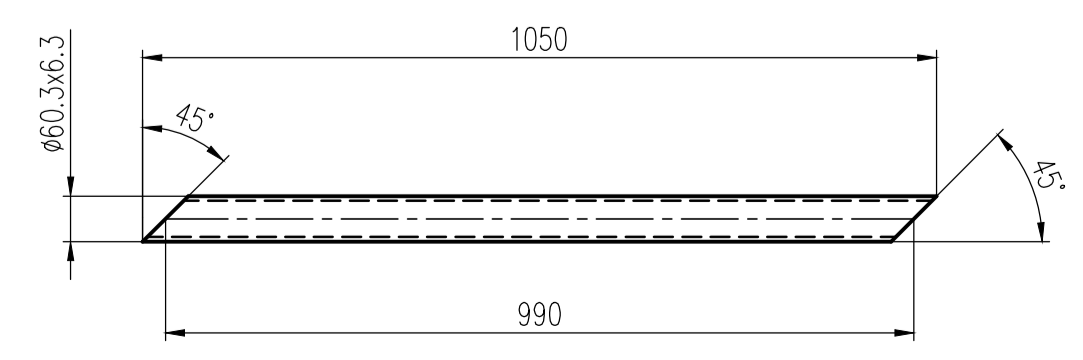


Item 22  
Scale 1:1

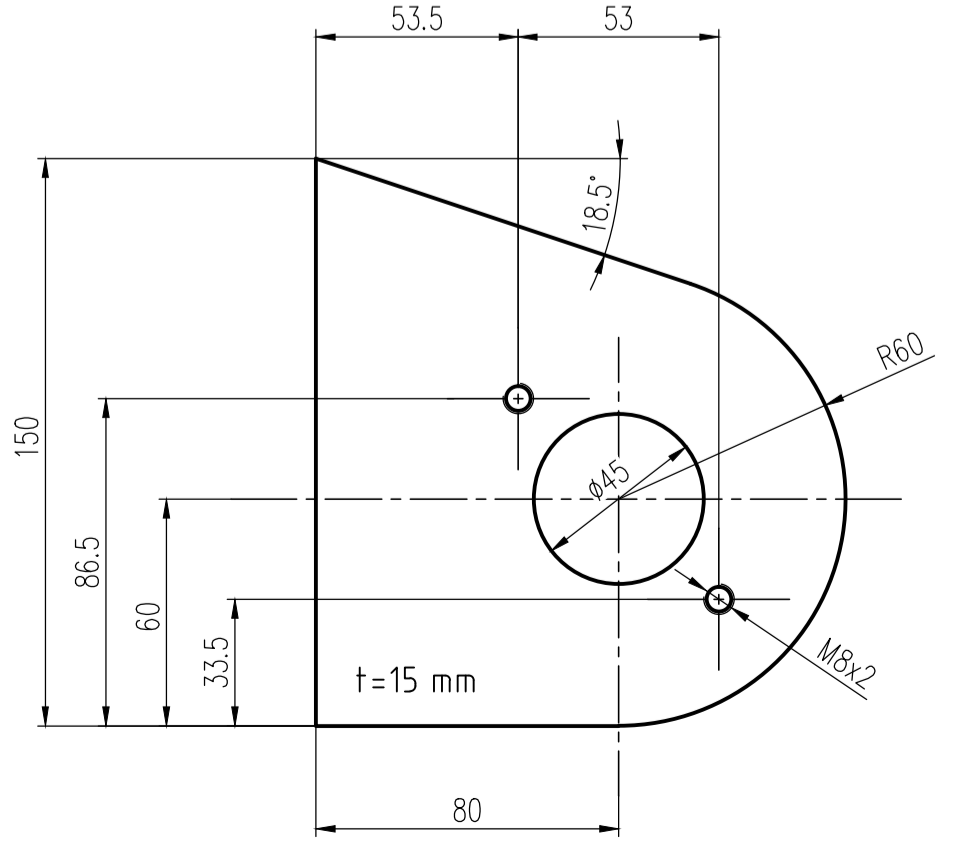


Item 2  
Scale 1:10

Item 3  
Scale 1:10



Item 4  
Scale 1:2

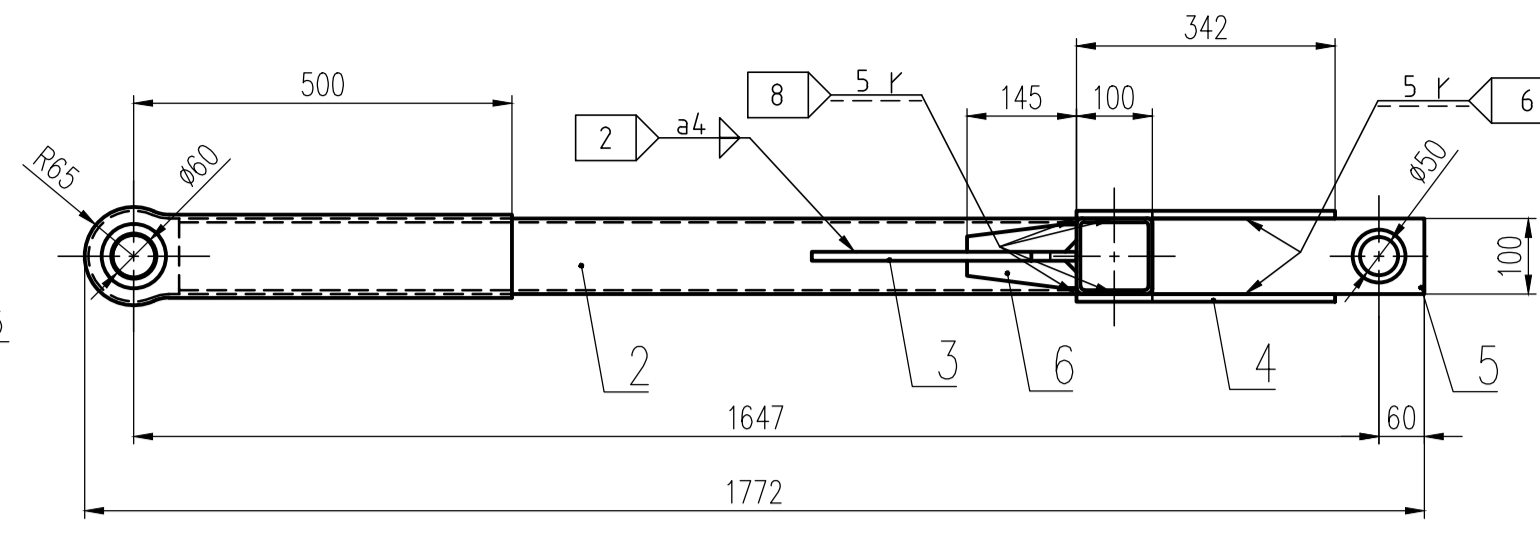
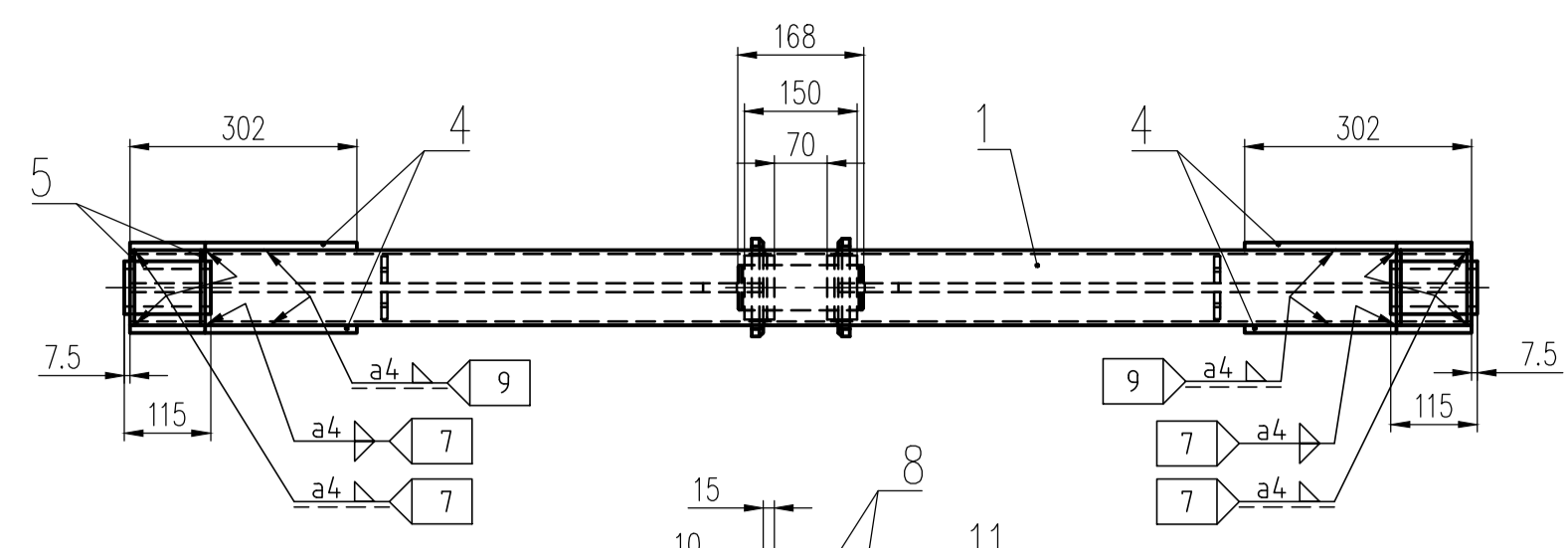


Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	QTY [pcs]	Total weight per item [kg]	Total kg
22	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	16	1,5	61	0,10	18	1,7	550,9
21	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	82,5	10	2210	39,51	3	118,5	
20	U40	DIN 1026-1	EN 10025	S235JR+M	2,2	40	7	2210	10,76	3	32,3	
19	Washer M12	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	24	2,5		0,01	36	0,2	
18	Nut M12	EN 24032	EN 24032	8	2,2	12			0,02	18	0,3	
17	Bolt M12x80	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	12		80	0,08	18	1,5	
16	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	60	10	150	0,71	18	12,8	
15	Washer M10	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	20	2		0,00	12	0,0	
14	Bolt M10x25	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	10		25	0,03	12	0,3	
13	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	10	20	175	0,28	6	1,7	
12	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	115	60		4,89	6	29,4	
11	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	75	8	75	0,36	12	4,3	
10	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	45	10	73	0,26	6	1,6	
9	L - profile 75x75x8	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	75	8	320	2,89	6	17,3	
8	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2,2	50		280	4,32	2	8,6	
7	Washer M8	ISO 7089	ISO 7089	St	2,2	16	1,6		0,00	4	0,0	
6	Bolt M8x20	EN 24014	EN 24014	8,8	2,2	8		20	0,01	4	0,1	
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	70	6	70	0,23	2	0,5	
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	150	15	140	2,49	2	5,0	
3	Pipe	EN 10216-2	EN 10216-2	16Mo3	2,2	60,3	6,3	1050	8,81	4	35,2	
2	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	200	20	2040	64,38	2	128,8	
1	RHS - profile 200x100x6,3	EN 10210-2	EN 10210-2	S235JR+M	2,2	200	6,3	1810	50,86	3	152,6	

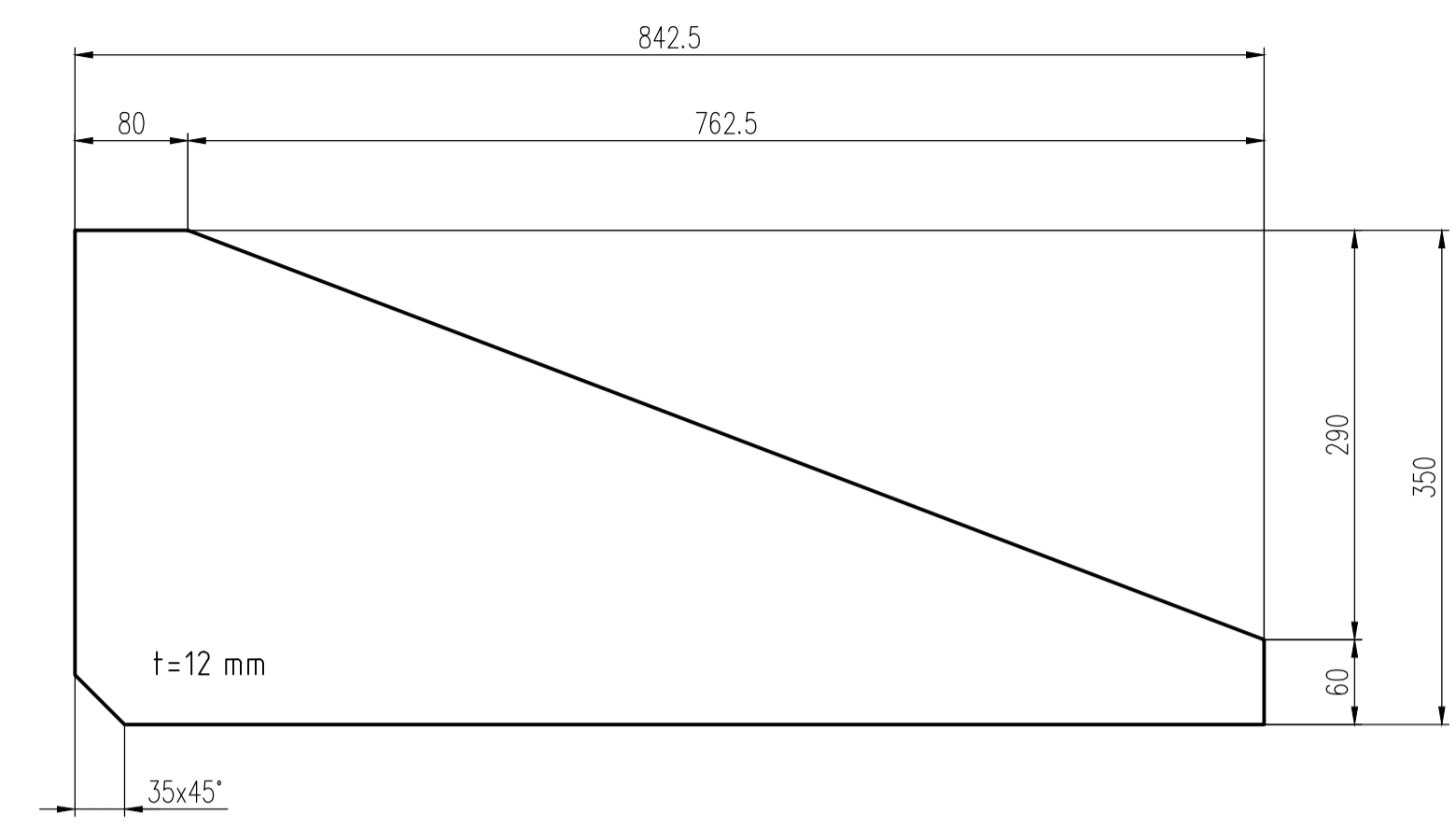
Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
Plant		Drawing no. FSB-01/23-01-04		
Scale 1:10		Format A1		Drawing Name
Date 08.12.2022		Name M.Kilšonin		
Signature		Date 09.12.2022		Drawing Name
Signature		Date 09.12.2022		
Made by		Date		Drawing Name
Signature		Date		
Checked by		Date		Drawing Name
Signature		Date		
Approved by		Date		Drawing Name
Signature		Date		

KOLICA 3

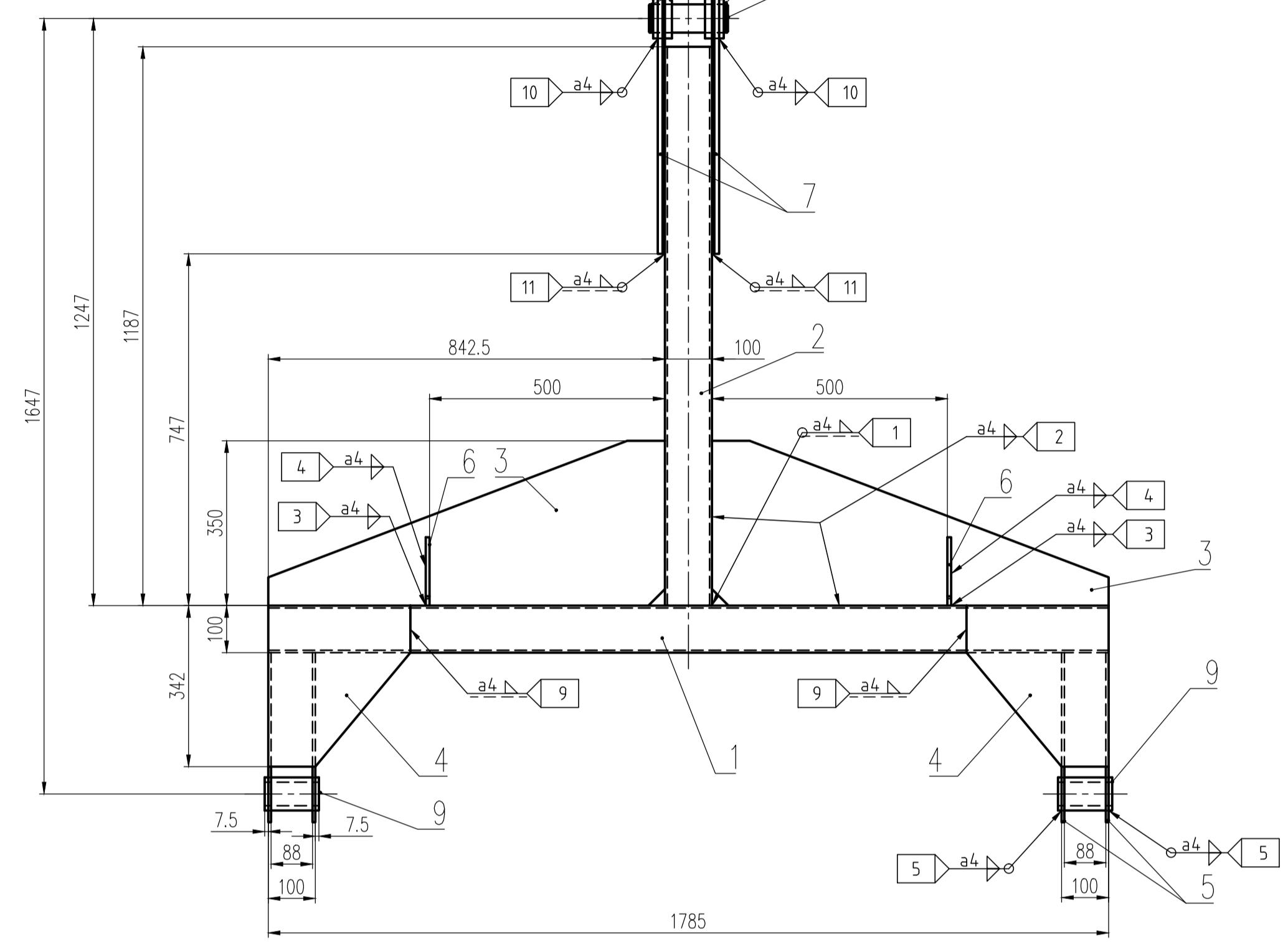
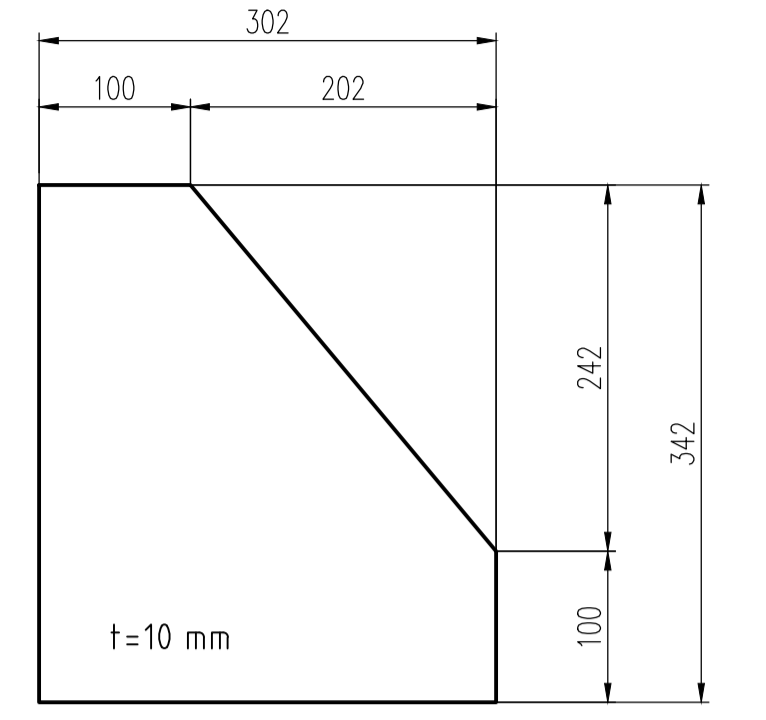




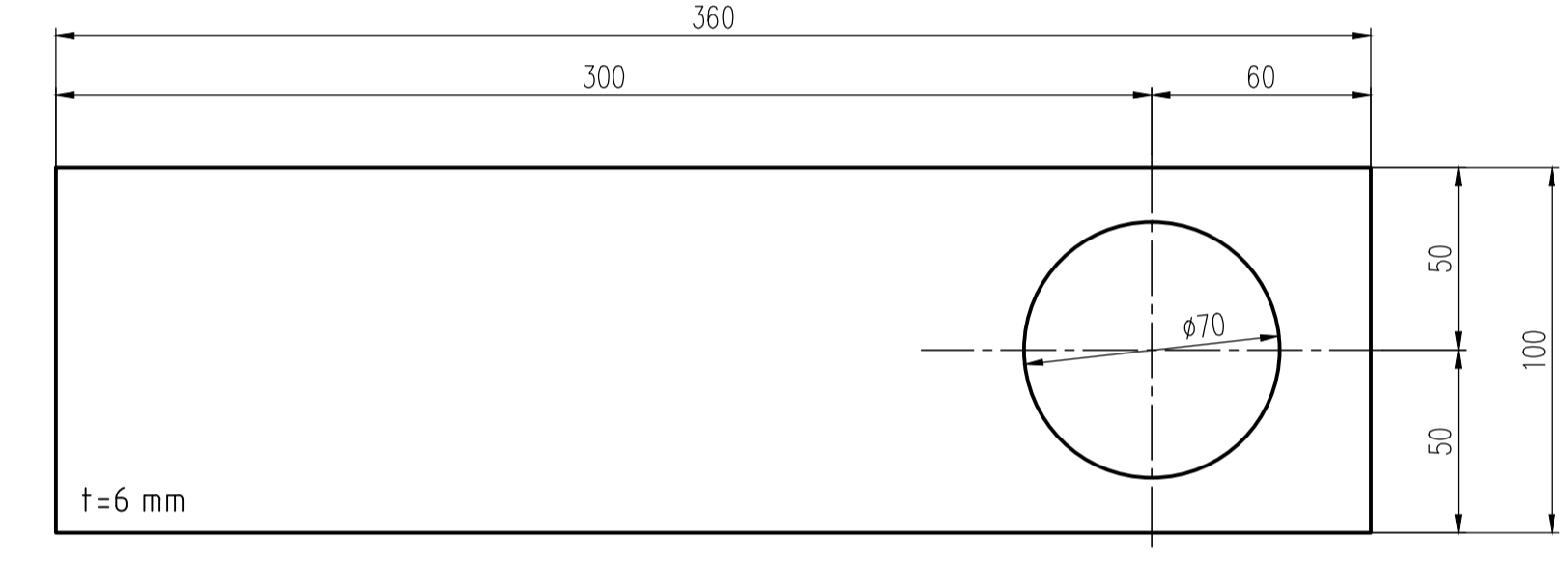
Item 3  
Scale 1:5



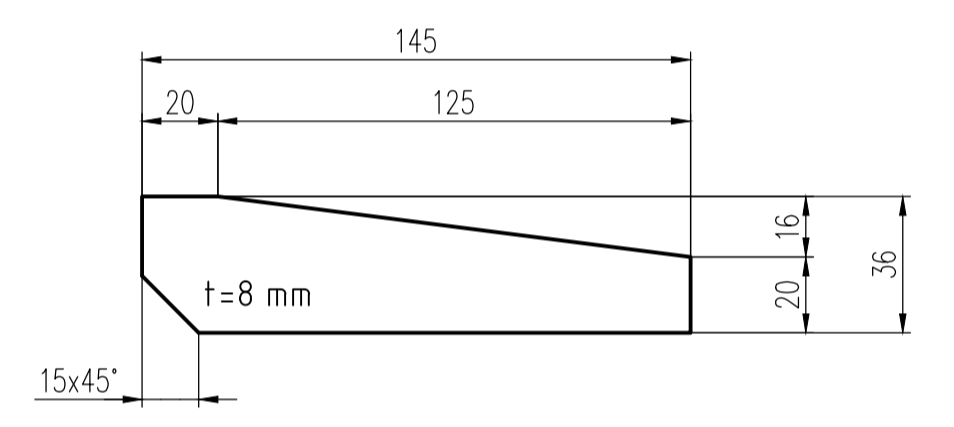
Item 4  
Scale 1:5



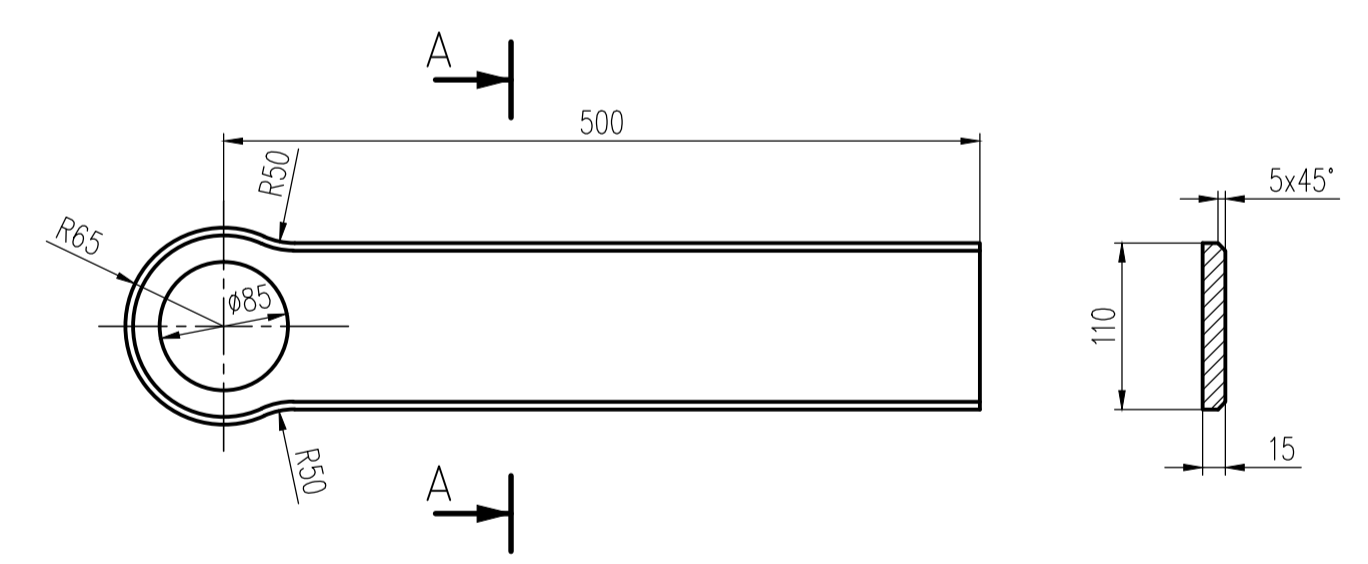
Item 5  
Scale 1:2



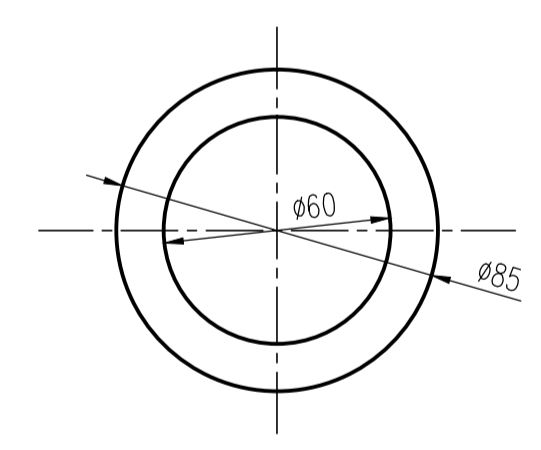
Item 6  
Scale 1:2



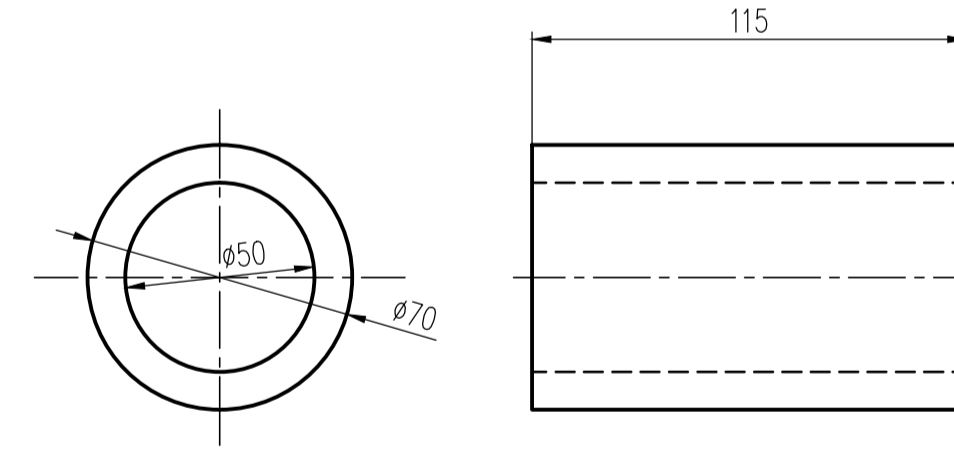
Item 7  
Scale 1:5



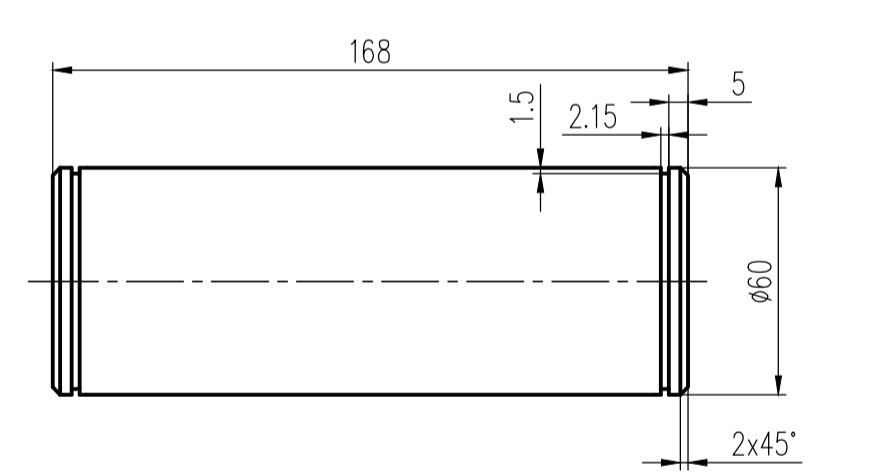
Item 8  
Scale 1:2



Item 9  
Scale 1:2

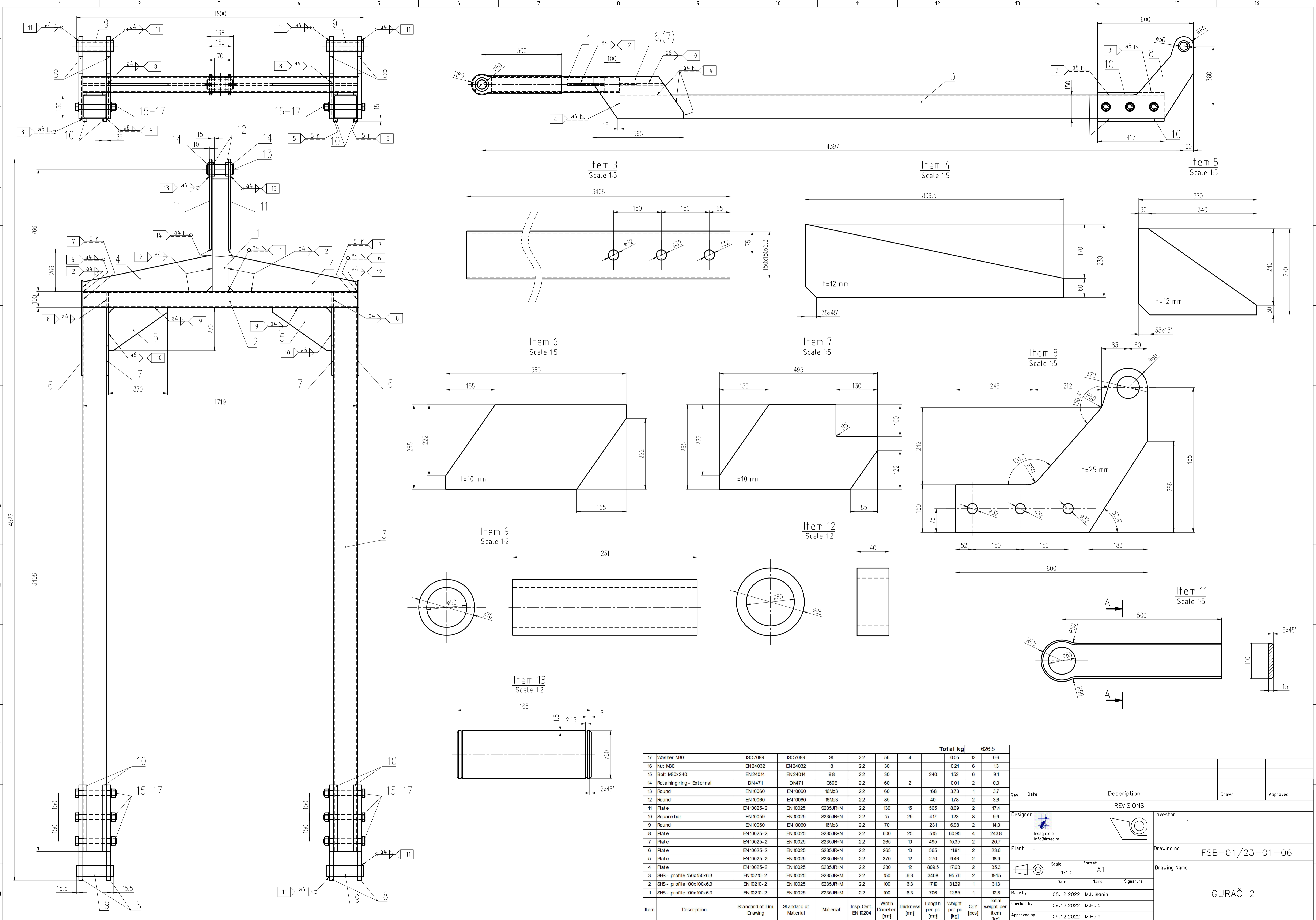


Item 10  
Scale 1:2



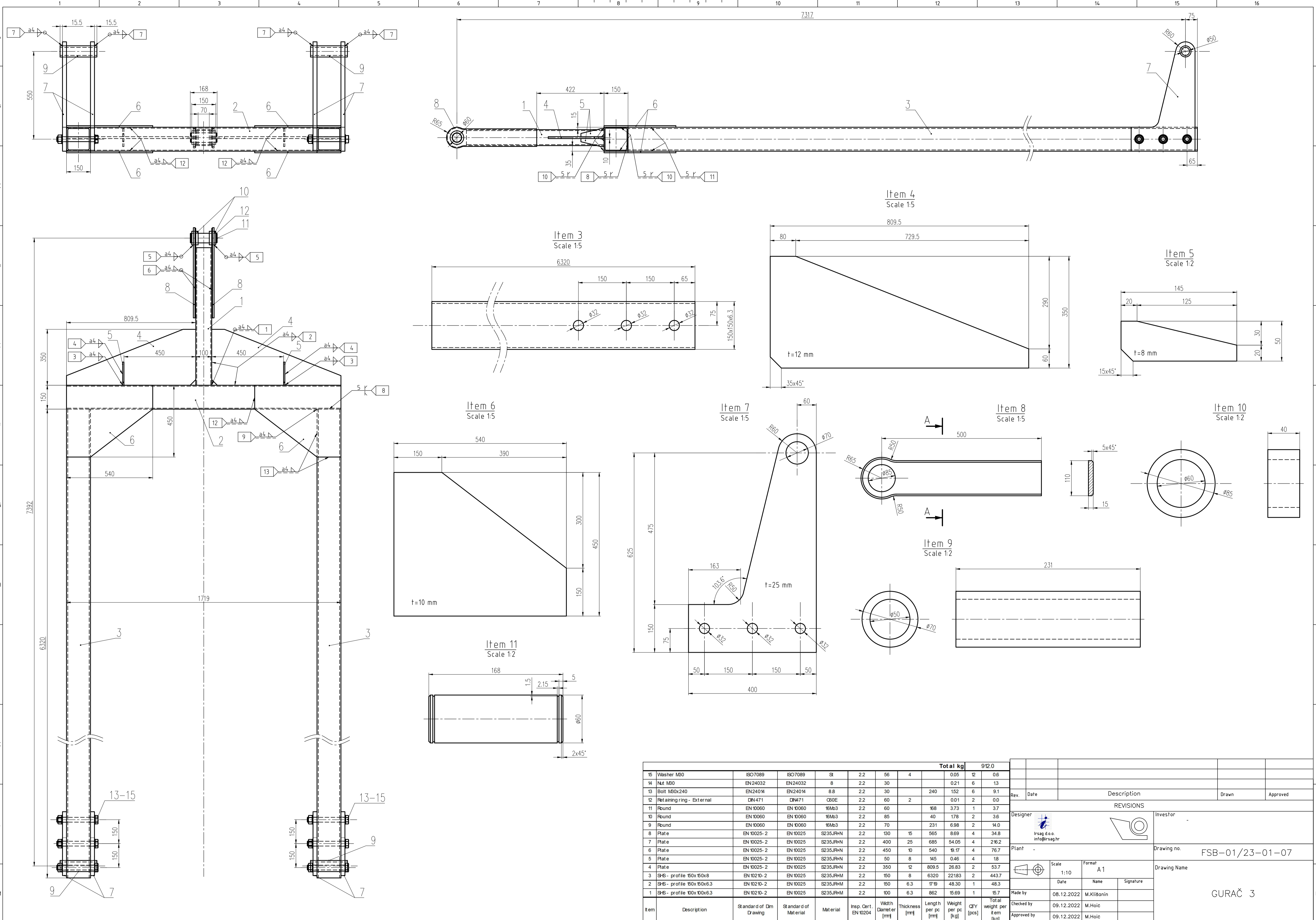
Total kg											182.3	
11	Retaining ring - External	DN471	DN471	G00E	2.2	60	2	0.01	2	0.0		
10	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2.2	60		168	3.73	1	3.7	
9	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2.2	70		115	3.47	2	6.9	
8	Round	EN 10060	EN 10060	16Mo3	2.2	85		40	1.78	2	3.6	
7	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2.2	130	15	565	8.69	2	17.4	
6	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2.2	145	8	36	0.33	4	1.3	
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2.2	100	6	360	1.70	4	6.8	
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2.2	302	10	342	8.15	4	32.6	
3	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2.2	350	12	842.5	27.92	2	55.8	
2	SHS - profile 100x100x6.3	EN 10210-2	EN 10025	S235JR+M	2.2	100	6.3	1187	2160	1	216	
1	SHS - profile 100x100x6.3	EN 10210-2	EN 10025	S235JR+M	2.2	100	6.3	1785	32.49	1	32.5	
Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Wall Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	Qty [pcs]	Total weight per item [kg]	

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
Plant		Drawing no.		FSB-01/23-01-05
Scale		Drawing Name		GURAČ 1
Date		Name		
Made by		Signature		
Checked by				
Approved by				



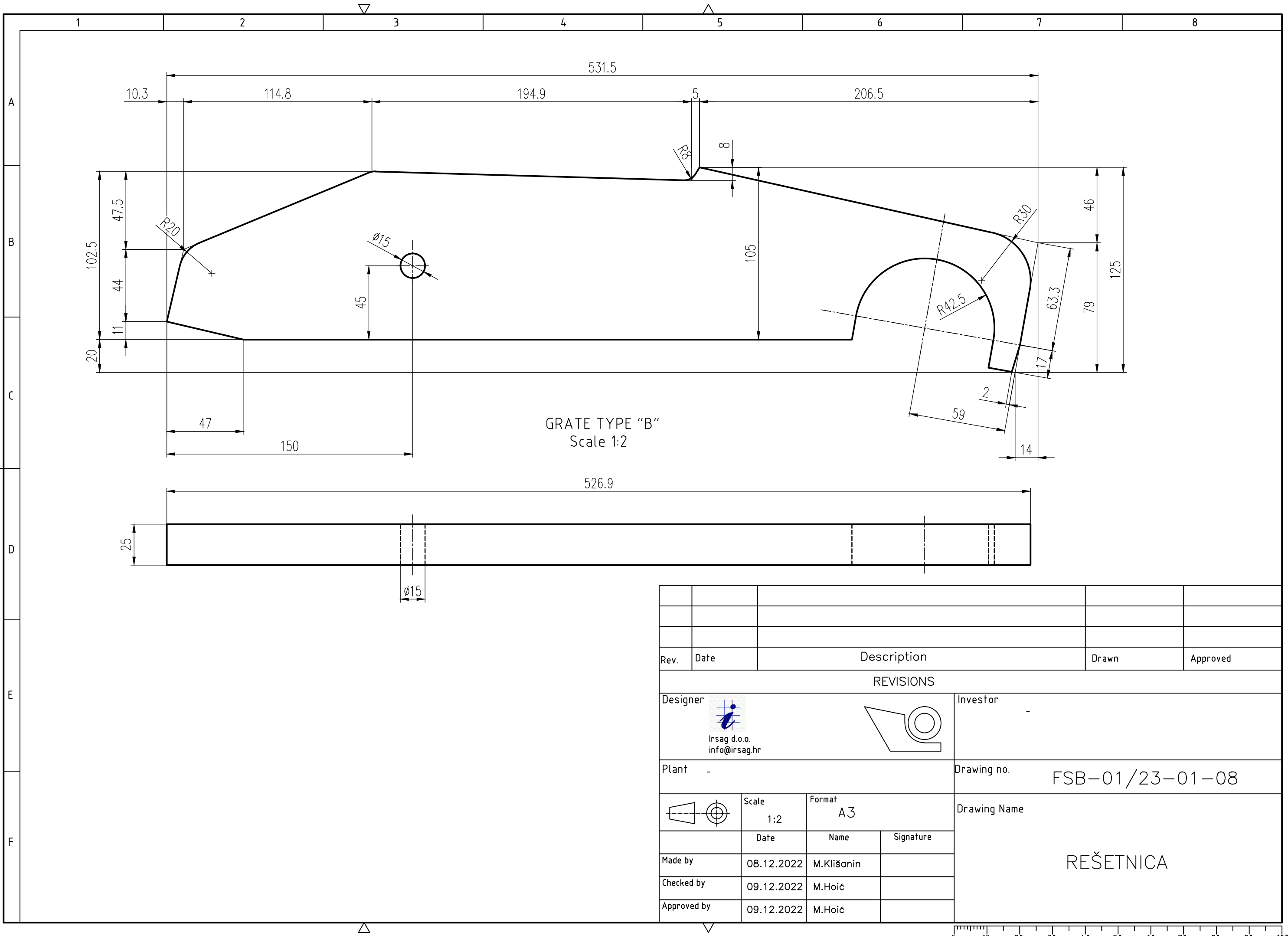
Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	Qty [pcs]	Total weight item [kg]
17	Washer M80	ISO7089	ISO7089	St	2,2	56	4	0,05	12	0,6	626.5
16	Nut M80	EN24032	EN24032	8	2,2	30		0,21	6	1,3	
15	Bolt M80x240	EN24014	EN24014	8,8	2,2	30		240	152	6	
14	Retaining ring - External	DN471	DN471	C60E	2,2	60	2	0,01	2	0,0	
13	Round	EN 10060	EN 10060	16Mn3	2,2	60		168	3,73	1	
12	Round	EN 10060	EN 10060	16Mn3	2,2	85		40	1,78	2	
11	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	130	15	565	8,69	2	
10	Square bar	EN 10059	EN 10025	S235JR+N	2,2	15	25	417	12,3	8	
9	Round	EN 10060	EN 10060	16Mn3	2,2	70		231	6,98	2	
8	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	600	25	515	60,95	4	
7	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	265	10	495	10,35	2	
6	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	265	10	565	11,81	2	
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	370	12	270	9,46	2	
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JR+N	2,2	230	12	809,5	17,63	2	
3	SHS - profile 150x150x6,3	EN 10210-2	EN 10025	S235JR+M	2,2	150	6,3	3408	95,76	2	
2	SHS - profile 100x100x6,3	EN 10210-2	EN 10025	S235JR+M	2,2	100	6,3	1719	31,29	1	
1	SHS - profile 100x100x6,3	EN 10210-2	EN 10025	S235JR+M	2,2	100	6,3	706	12,85	1	

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
			Designer	Investor
		Plant		Drawing no. FSB-01/23-01-06
		Scale 1:10		Format A1
		Date	Name	Signature
		Drawing Name		
		GURAČ 2		
Made by		08.12.2022	M.Kilšnin	
Checked by		09.12.2022	M.Hoic	
Approved by		09.12.2022	M.Hoic	


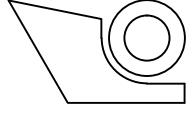
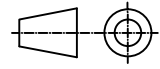


Item	Description	Standard of Dim Drawing	Standard of Material	Material	Insp. Cert. EN 10204	Width [mm]	Thickness [mm]	Length per pc [mm]	Weight per pc [kg]	Qty [pcs]	Total weight per item [kg]
15	Washer M80	ISO7089	ISO7089	St	2.2	56	4	0.05	12	0.6	912.0
14	Nut M80	EN24032	EN24032	8	2.2	30		0.21	6	1.3	
13	Bolt M80x240	EN24014	EN24014	8.8	2.2	30		152	6	9.1	
12	Retaining ring - External	DN471	DN471	C60E	2.2	60	2	0.01	2	0.0	
11	Round	EN 10060	EN 10060	8Mn3	2.2	60		168	373	1	
10	Round	EN 10060	EN 10060	8Mn3	2.2	85		40	178	2	
9	Round	EN 10060	EN 10060	8Mn3	2.2	70		231	698	2	
8	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	130	15	565	869	4	
7	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	400	25	685	54.05	4	
6	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	450	10	540	19.17	4	
5	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	50	8	145	0.46	4	
4	Plate	EN 10025-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	350	12	809.5	26.83	2	
3	SHS - profile 150x150x8	EN 10210-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	150	8	6320	22183	2	
2	SHS - profile 150x150x6.3	EN 10210-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	150	6.3	1719	48.30	1	
1	SHS - profile 100x100x6.3	EN 10210-2	EN 10025	S235JRHM	2.2	100	6.3	862	15.69	1	

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
Plant		Drawing no.		F5B-01/23-01-07
Scale		Format		A1
Date		Name		
Made by		Signature		
Checked by		Signature		
Approved by		Signature		
GURAČ 3				



GRATE TYPE "B"  
Scale 1:2

Rev.	Date	Description	Drawn	Approved
REVISIONS				
Designer		Investor		
 Irsag d.o.o. info@irsag.hr				
Plant -		Drawing no. FSB-01/23-01-08		
		Scale 1:2	Format A3	
		Date	Name	Signature
Made by	08.12.2022	M.Klišanin		
Checked by	09.12.2022	M.Hoič		
Approved by	09.12.2022	M.Hoič		
REŠETNICA				

