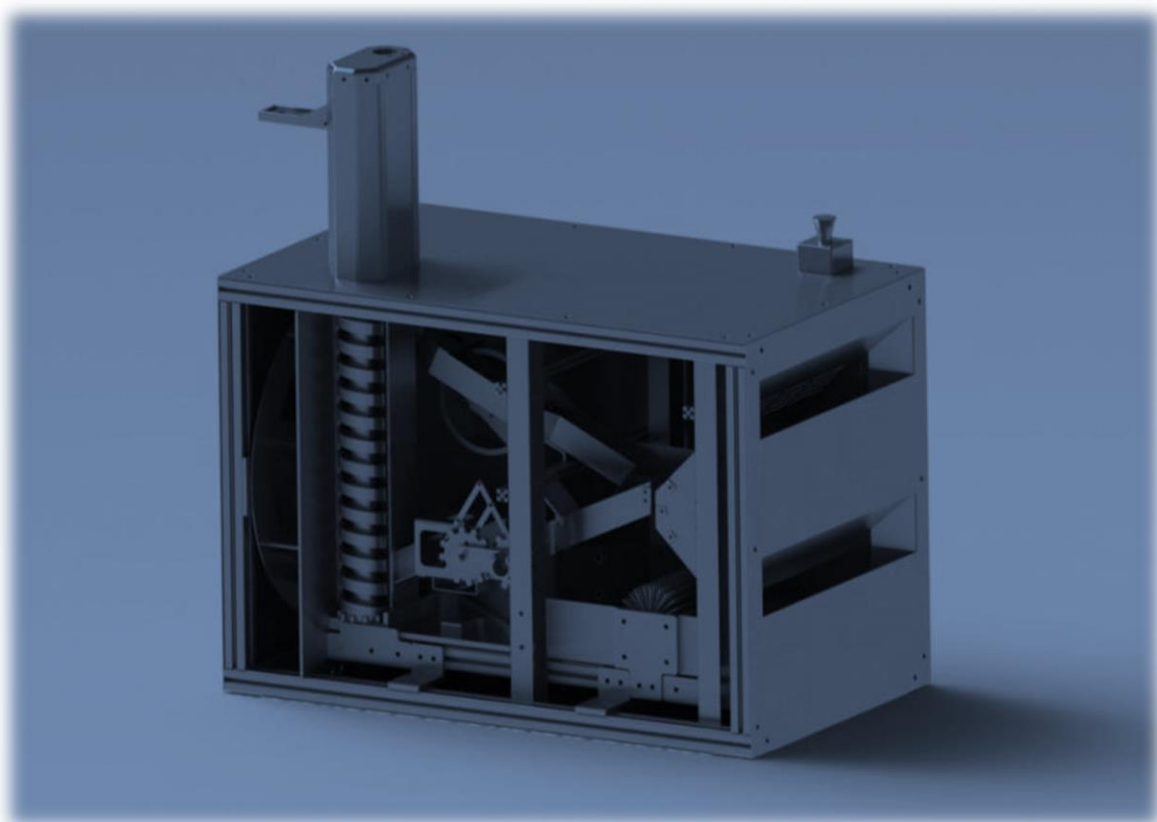


Ontwikkeling van een Feederstation

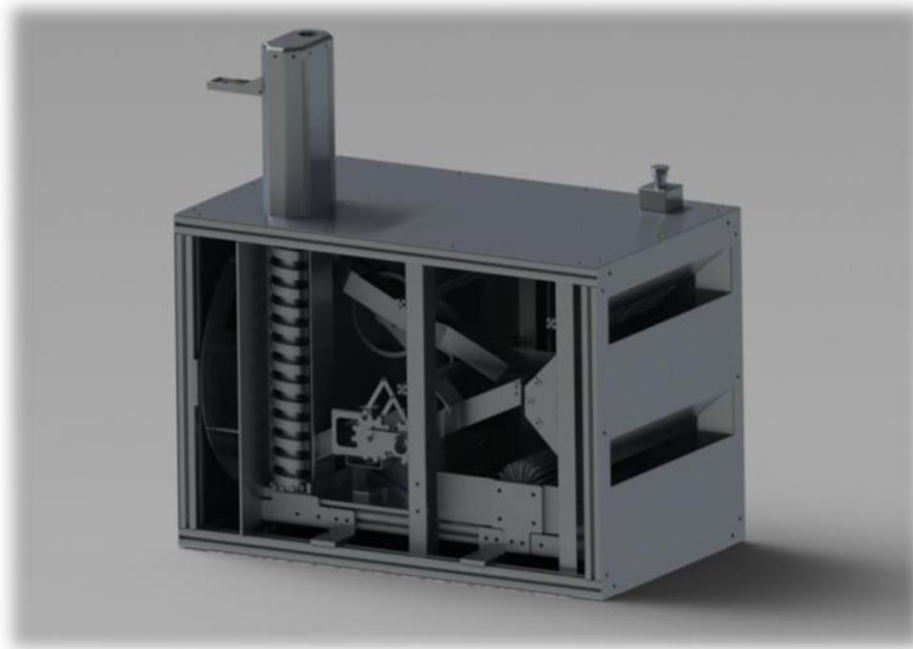
**Eindrapportage van het onderzoeken, ontwerpen, bouwen
en programmeren van een feederstation met EtherCAT.**



Italo Baltus

Ontwikkeling van een Feederstation

Eindrapportage van het onderzoeken, ontwerpen, bouwen en programmeren van een feederstation met EtherCAT.



- **Auteur: I. Baltus**
- **Studentnummer: 2831406**
- **Mentor/begeleider: Pavel Samalík**
- **Bedrijfsbegeleider: Mark Stappers**
- **Bedrijf: Fontys Mechatronica & Robotica Lectoraat**
- **Datum: Januari 2018**
- **Versie: V1.0**
- **Cohort: 2015-2019, M5 Mechatronica**
- **Soort werk: officieel eindverslag stage**

Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt het eindrapport 'stage feederstation', geschreven in het kader van mijn stage voor de opleiding hbo *Mechatronica¹ aan Fontys Hogeschool Engineering te Eindhoven. Voor deze stage heb ik in de periode van 30 augustus 2017 tot 1 februari 2018 onderzoek gedaan naar de *PLC structuur *EtherCAT, om zo een zogeheten *feederstation in een masternetwerk toe te voegen. Dit feederstation heb ik, in opdracht van het Mechatronica & Robotica lectoraat te Fontys Eindhoven, allereerst functionerend moeten krijgen op gebied van mechanica en elektronica. Vervolgens heb ik de resultaten van mijn onderzoek naar EtherCAT toegepast in de software van het feederstation.

Na een lange zoektocht naar een stage, heeft mijn *SLB-er mij gewezen op het feit dat het kenniscentrum "Mechatronica & Robotica lectoraat" te Fontys wel een aantal interessante opdrachten had. Daar heb ik met Mark Stappers (onderzoeker bij het lectoraat) de mogelijkheden en mijn interesses besproken. Voor mij waren mechanica en technisch tekenen van belang en vanwege mijn interesse in PLC techniek, heb ik zo deze opdracht weten te krijgen.

Naar aanleiding van dit schrijven wil ik graag de volgende personen bedanken: Mark Stappers, voor zijn werk als bedrijfsbegeleider, tips en voor de leerzame en interessante opdracht die tot dit schrijven heeft geleid. Mijn SLB-er Sjriek Alers voor zijn hulp bij het vinden van deze interessante en geschikte stage voor mijn opleiding. Daarnaast bedank ik Pavel Samalík, begeleider vanuit de opleiding, voor zijn hulp en goede tips en opmerkingen bij het schrijven van de documentatie en dit rapport. Ook Bram Buwalda, Niek van Zoelen en Tjörven Stienen wil ik graag hier noemen, voor hun scherpe kritiek en tips bij het voltooien van het mechanische en elektrische gedeelte van deze opdracht. Zij hebben ervoor gezorgd dat ik tijdig verbeteringen kon aanbrengen op het feederstation, waar ik in mijn eentje nooit aan zou hebben gedacht. Deze zijn opgenomen in dit verslag. Bas Janssen ben ik dank verschuldigd voor zijn hulp en expertise op het gebied van PLC aansturing met EtherCAT. Tenslotte wil ik graag mijn familie bedanken voor hun raad en hun enthousiasme gedurende mijn zoektocht naar een stage en de stage zelf.

Veel leesplezier gewenst en moge dit rapport veel inspiratie en hulp bieden bij het gebruik van het feederstation en het programmeren van andere robots middels EtherCAT.

Italo Baltus

Eindhoven, januari 2018

¹ In dit verslag zijn een aantal woorden voorzien van een *-teken. Dit betekent dat het desbetreffende begrip is terug te vinden in de alfabetische begrippenlijst van dit verslag. Zo kunt u snel en efficiënt de betekenis van het begrip achterhalen.

Samenvatting

De stagiaire krijgt aan het begin van opdrachtgever Mechatronica & Robotica Lectoraat een geroest, incompleet en niet functionerend feederstation toegereikt. Dit feederstation moet worden ingezet bij demonstraties in een mini-fabriek om het lectoraat op de kaart te zetten. Er zijn twee doelen voor de stage: maak het feederstation weer functionerend en doe onderzoek naar het toepassen van het protocol EtherCAT op het feederstation. Dit protocol bestaat uit een industriële veldbus die in een masternetwerk wordt gekoppeld. Op de master staat de soft-PLC, die op zijn beurt weer informatie verstuurt naar- en ontvangt van het kopstation. Op dit kopstation zijn terminals aangesloten, waarop weer sensoren en motoren zijn aangesloten.

Vooraf zijn door de opdrachtgever en stagiaire eisen geformuleerd waar het feederstation aan moet voldoen. Zo moet het feederstation een onbepaald hoeveelheid inkomende goederobjecten naar een hoogte van 1,015 meter kunnen brengen, waar een vervolgrobot weer het goederobject pakt. Er is wel een voorwaarde: ieder object dat het station uiteindelijk aan de vervolgrobot biedt, dient op dezelfde oriëntatie te liggen als voorgaand goederobject, met een maximale afwijking van 2 mm aan alle zijden. Hierbij dient de capaciteit van het station 35000 producten per jaar te kunnen verwerken. Daarnaast mogen de minimale afmetingen maar 1 bij 1 bij 0,5 meter zijn en dient het feederstation te kunnen verbinden aan een master in een masternetwerk.

Voor de methodologie wordt gekozen om het V-model XT te volgen en er worden diverse mogelijkheden voor het station bedacht. Het uiteindelijke systeem zal gebaseerd zijn op een glijbaanstructuur, waarbij vooral wordt gewerkt met hoogte-energie. De goederobjecten zullen een sleuf binnenvallen en via ene glijbaan op een transportband vallen. Daar worden de goederen verzameld en met de transportband door een borstelwals en een vernauwing gebracht, zodat uit een hoop goederen, één rij van goederobjecten ontstaat. Een reuzenrad zorgt dat de goederen stuk voor stuk naar boven worden gebracht, waar ze door infrarood-sensoren worden bekeken op oriëntatie. Een wissel zit hierop aangesloten en brengt de goederen óf naar een glijbaan, óf naar een kokerwiel dat de goederen op hun kop plaatst (afhankelijk van de juiste oriëntatie).

De goederen vervolgen hun weg omlaag naar een draaiplateau. Hier registeren infraroodsensoren of een goederobject gedraaid is of niet. Middels terugkoppeling wordt het goederobject weer correct gepositioneerd en wordt door een automatische schuif in de vorm van een pantograaf naar twee gespiegelde spiralen gebracht. Hierin worden de goederen met correcte oriëntatie naar boven gebracht en eindigen in een opvangbakje op 1,015 meter hoogte. Een infraroodsensor registreert de aanwezigheid van het goederobject en geeft dit weer door aan het systeem. Dit systeem bestaat uit 6 stappenmotoren, 2 DC motoren, infrarood sensoren, home-switches voor een paar bewegende onderdelen en het kopstation met bijbehorende terminals.

Het systeem, het EtherCAT-protocol en de PLC software TwinCAT zijn onderzocht op de mogelijkheden en de uiteindelijke keuzes zijn toegepast in het feederstation. Door vertraagde bestellingen is het feederstation ten tijde van schrijven nog niet af, maar zijn de onderzoeken en ontwerpen afgerond. Uit de onderzoeken blijkt dat het mechanische/elektrische ontwerp efficiënt en zorgvuldig zou werken en dat het station middels EtherCAT wordt verbonden aan een masternetwerk. Het is hierbij van belang dat TwinCAT de software is en dat de master en de terminals aan enkele eisen voldoen, zoals een op Intel gebaseerde netwerkkkaart. De stagiaire is ten tijde van schrijven veel informatie op beroepsvaardigheden rijker.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding in de achtergrond en opdracht.....	5
1.1	Situatie aan het begin van de stage	5
1.2	Probleem- en doelstelling	5
1.3	Opgestelde leerdoelen voorafgaand aan de stage	6
1.4	Strategie: waar staat wat in het verslag?	6
2.	Bedrijfsbeschrijving	7
2.1	Over het kenniscentrum.....	7
2.2	Kennismaking met het kenniscentrum: een typische werkdag	7
3.	Opgestelde eisen voor product	8
4.	Methodologie	10
4.1	Wat is het V-model?	10
4.2	Over de watervalmethode	11
4.3	Modelkeuze	11
5.	Ontwerpkeuzes	12
5.1	Mechanische en elektrische ideeën met keuzeverantwoording	12
5.2	Elektrische ideeën en uiteindelijke keuzes.....	13
5.3	Risico's: mogelijke knelpunten en oplossingen.....	14
6.	Einddoel 1: Werking van het definitieve systeem	15
6.1	Uitleg modules en componenten	15
6.1.1	Subsysteem 1: Invoer producten en verzamelbuffer	15
6.1.2	Subsysteem 2: Anti-stapelmechanisme en "single row" systeem	16
6.1.3	Subsysteem 3: Object per objectmodule en lift 1	16
6.1.4	Subsysteem 4: Wissel en omkeer-mechanisme	17
6.1.5	Subsysteem 5: Draaiplatform en pantograaf	17
6.1.6	Subsysteem 6: lift 2 en uitvoer producten	19
6.2	Bijbehorende mechanische (en elektrische) berekeningen	19
6.3	Veiligheidswaarborging fysieke systeem.....	19
7.	Einddoel 2: Onderzoek en implementatie EtherCAT	21
7.1	Inleiding EtherCAT: wat is het en hoe werkt het?	21
7.2	Alternatieven en redenen voor kiezen van EtherCAT	21
7.3	Onderzoek van de EtherCAT technologie.....	22
7.4	Uiteindelijke uitvoering en toepassing (software)	23

7.5	Veiligheidswaarborging softwarematig.....	25
8.	Testresultaten	26
8.1	Spiraaltest.....	26
8.2	Transportbandtest.....	28
8.3	Reuzenradtest	29
8.4	Oriëntatiesensorentest	30
8.5	Evaluatietests uitgevoerd op het eindproduct.....	32
9.	Evaluatie en aanbevelingen.....	35
9.1	Evaluatie van de resultaten en aanbevelingen	35
9.2	Leerdoelen: meer inzicht in beroepsvaardigheden gekregen?	37
10.	Conclusie	38
	Bibliografie	39
	Symbolen en begrippenlijst.....	40
	Bijlagen	42

1. Inleiding in de achtergrond en opdracht

Dit inleidende hoofdstuk gaat in op de algemene punten: situatie van het feederstation ten tijde van de start van de stage, de bijbehorende probleem- en doelstelling en de opgestelde leerdoelen voorafgaand aan de stage. Na afloop van de stage worden deze leerdoelen geëvalueerd of er voortgang is geboekt of niet. Paragraaf 1.4 toont de lezer een klein overzicht waar alles (zoals de evaluatie van de leerdoelen) te vinden is.

1.1 Situatie aan het begin van de stage

Voorjaar 2017, een *EXPO projectgroep van Fontys Hogeschool Engineering, bestaande uit Mechatronica studenten en studenten van de opleiding werktuigbouwkunde, heeft zich beziggehouden met *industrie 4.0: bouw en programmeer naar aanleiding van deze standaard een feederstation dat voldoet aan de opgestelde eisen [1]. Einddoel is een werkend eindproduct dat kan worden ingezet om langskomende bedrijven bij het lectoraat van nieuwe methodes en informatie te voorzien voor eigen doeleinden. Het zou het lectoraat tevens voor andere bedrijven op de kaart zetten. Door vertraging van een aantal leveringen, is het feederstation echter onafgebouwd en daarmee onveilig (scherpe open randen). Een incompleet en geroest feederstation blijft over, met een paar documenten over de werking van het station, wat het had moeten worden en wat wordt aanbevolen aan de volgende studenten.

1.2 Probleem- en doelstelling

In de periode van 30 augustus 2017 tot 1 februari 2018 is de opdracht aan de stagiaire om het onafgebouwde station functionerend te krijgen en veilig te maken voor gebruikers. Daarnaast dient er onderzoek te worden gedaan naar het toepassen van EtherCAT. Aangezien het lectoraat namelijk bezig is om alle industrie 4.0 robots in eenzelfde masternetwerk te koppelen, is het gebruik van een snelle industriële veldbus noodzakelijk. Het lectoraat heeft hiervoor gekozen voor één standaard protocol: EtherCAT, ontwikkeld door *Beckhoff. Probleem is wel dat men geen werkend feederstation heeft en er nog niet is onderzocht of het EtherCAT protocol dermate geschikt is voor het station. Het einddoel is daarmee: een werkend product (opgenomen in een masternetwerk) dat ter demonstratie aan andere bedrijven kan worden ingezet.

Een werkend feederstation betekent voor dit project het volgende: inkomende goederen van *Omron komen in onbepaald grote hoeveelheden het station binnen en dienen stuk voor stuk aan een hoger gelegen robot te worden overgedragen. Hierbij dienen de goederen ook nog allemaal op dezelfde manier van oriëntatie te worden afgegeven. Een complete beschrijving van de werking van het station, met achterliggende functies en keuzes is te vinden in hoofdstuk 5, 6 en 7.

1.3 Opgestelde leerdoelen voorafgaand aan de stage

Voordat er aan de stage is begonnen, zijn een aantal leerdoelen/competenties opgesteld waar de student sterker in wil worden en waar de student het liefst mee werkt. Deze zijn hieronder kort vermeldt. Aan het einde van de stage wordt er hierop teruggekeken en nagedacht wat is bereikt.

- Stage lopen in een kleine werkomgeving, zodat er overzicht is op werkgever en opdracht. Hierdoor is er meer aandacht voor de opdracht en de structuur van werkgever/werknemer.
- Voornamelijk een mechanisch probleem oplossen, waarbij 3D tekenen aan bod komt. Hierdoor kan de stagiaire zich beter op dit interessegebied door ontwikkelen.
- Meer kennis opdoen van PLC technologie, vandaar de keuze voor de stage.

1.4 Strategie: waar staat wat in het verslag?

Dit rapport is op te delen in drie delen. Het eerste deel is in feite een technisch rapport, waar specifiek wordt ingegaan op de eisen, eigenschappen, keuzes en werking van het feederstation. Deel twee bestaat uit een onderzoek naar EtherCAT en de toepassing hiervan op het feederstation. Deel drie is te lezen als een stage eindverslag, meer geschikt voor lezers die niet kijken naar het eindproduct en de weg ernaar toe, maar naar de stage zelf. Voor de specifiek gerichte lezer beschrijft deze paragraaf globaal welke hoofdstukken voor hem/haar interessant zijn.

De leerdoelen uit paragraaf 1.3 zijn ten einde van de stage geëvalueerd en opgenomen in hoofdstuk 9: 'evaluatie en aanbevelingen'. Hoofdstuk 2: 'bedrijfsbeschrijving' geeft informatie over het bedrijf, het personeel, organisatie en de doelgroep voor het eindproduct. Ter voorbeeld wordt een typische werkdag beschreven. Hoofdstuk 3 omvat de opgestelde eisen en hoofdstuk 4: *'methodologie' gaat in op de werkwijze van deze stage middels het zogeheten V-model, specifiek gericht op de wijze: bedenken, ontwerpen, uitvoeren, testen en terugkoppeling. Voor de personen die enkel en alleen geïnteresseerd zijn in de technische keuzes, ontwerpen, uitvoeringen en de resultaten zijn hoofdstuk 5: 'ontwerpkeuzes', hoofdstuk 6 en 7 (keuzes en uitleg over de realisatie en totstandkoming van einddoel 1: 'werking definitieve systeem' en einddoel 2: 'onderzoek en implementatie EtherCAT') en hoofdstuk 8: 'testresultaten' uitermate geschikt. Hoofdstuk 9 bevat naast evaluatie van de leerdoelen ook aanbevelingen voor volgende gebruikers en hoofdstuk 10 omvat de algemene conclusies voor deze stageopdracht.

2. Bedrijfsbeschrijving

Voor de lezer die geïnteresseerd is in de achtergrond van het bedrijf en een algemene indruk hiervan, specifiek gericht op de stage, is dit hoofdstuk aan te bevelen.

2.1 Over het kenniscentrum

Het lectoraat Mechatronica & Robotica is een kenniscentrum en staat erom bekend om samen te werken met andere kennisinstellingen en bedrijven uit de industrie sector. Het doel van het lectoraat is om (eigen) kennis te delen met geïnteresseerde bedrijven middels onderzoek en door de betrokkenheid van studenten en docenten, de resultaten ook te gebruiken in het eigen onderwijs. Enkele voorbeelden van waar het lectoraat zich mee bezighoudt zijn: Robotica, Mechatronica, Werktuigbouwkunde, Elektrotechniek, Informatica, Regeltechniek en *Embedded technologie [2].

Fontys zelf is een scholengemeenschap voor onderwijs op HBO niveau. Met vestigingen in o.a. Eindhoven, Den Bosch, Tilburg en Venlo biedt Fontys Hogescholen diverse HBO-bacheloropleidingen en masters in verschillende vakgebieden, zoals bedrijfsmanagement, engineering, ICT en kunsten [3].

2.2 Kennismaking met het kenniscentrum: een typische werkdag

Een typische werkdag begint om ongeveer 9 uur in de ochtend na een reis met de trein vanuit Tilburg naar Eindhoven. De werkplek voor de stagiaire bevindt zich in het Mechatronica & Robotica lectoraat. Vaak wordt er dan wat documenteerwerk gedaan en wordt er even gesproken met mede stagiaires over de vorderingen. Er worden tips uitgewisseld. Op maandagochtend wordt er met de opdrachtgever gesproken over de vorderingen en wordt er feedback gegeven aan de stagiaire. Tot de middag wordt er doorgewerkt aan de documentatie, hierna is er drie kwartier pauze.

Na deze pauze wordt er gekeken naar zaken als bestellingen, ontwerp en de punten die tijdens het gesprek met de opdrachtgever aan bod zijn gekomen. Er wordt zowel Mechanisch en elektrisch (station zelf), als softwarematig (EtherCAT middels *TwinCAT) gekeken naar het uiteindelijke resultaat. Tussendoor wordt er verder gewerkt aan het eindverslag. Indien noodzakelijk wordt er nog documentatie gestuurd naar de opdrachtgever en de stagebegeleider. Hiermee eindigt de stage vaak net na 5 uur in de middag.

3. Opgestelde eisen voor product

De beschrijving van een werkend feederstation is kort in het inleidende hoofdstuk gegeven. Gedurende het aannemen van de opdracht zijn er eisen ter sprake gekomen, waaraan het eindproduct aan moet voldoen, om de handelingen (beschreven in hoofdstuk 1) correct uit te kunnen voeren. In tabellen worden deze besproken, ieder met bijbehorende prioriteit.

#	Prioriteit	Eis
R01	Must	Het feederstation moet op 1,015 meter hoogte de producten van Omron kunnen brengen, zodat de *UR5 robot ze van deze hoogte kan afpakken.
R02	Must	De producten moeten vanaf het feederstation telkens vanaf dezelfde plek kunnen worden opgepakt door de UR5 robot met een maximale afwijking van 2 mm aan alle zijden. (Van belang is dan ook dat het systeem statisch en stabiel is en dus niet heen en weer schudt.)
R03	Should	De capaciteit van het feederstation moet minimaal 35000 producten per jaar kunnen verwerken, oftewel zo'n 100 per dag, bij 24/7 gebruik.
R04	Should	Het feederstation moet zo compact als mogelijk gehouden worden, zodat de afmetingen van het totaalproduct gering zijn. Minimale afmetingen zijn gehouden op 1 bij 1 bij 0,5 meter.
R05	Could	Het feederstation moet met EtherCAT kunnen verbinden aan een master in een masternetwerk en worden toegepast.

Tabel 1 - Eisen voor het feederstation vooraf aan de stage

Ten tijde het ontwerpproces kwamen een aantal factoren naar boven die van belang zijn voor een werkend eindproduct of noodzakelijk zijn voor de bovenstaande eisen. Deze zijn gedurende de ontwerpfase met de opdrachtgever en stagebegeleider besproken. Een paar eisen zijn op te vatten als mogelijkheden (dus niet verplicht), vandaar de aanduiding 'Could'.

#	Prioriteit	Eis
R06	Must	Plaatmateriaal exterieur wordt nauwkeurig volgens de tekeningen gefabriceerd met afwijkingen van maximaal 0,5 mm. Krassen dienen voorkomen te worden en randen worden netjes afgerond met een minimale afronding van 2 mm.
R07	Could	De platen worden behandeld tegen corrosie.
R08	Could	Er wordt een Fontys lectoraatlogo op de zijkant van het station gedrukt.
R09	Could	Plaatwerk interieur wordt op de benodigde plekken voorzien van geluiddempend materiaal. Zowel de binnenzijde van de exterieurplaten, als een aantal glijbanen wordt onderzocht op deze mogelijkheid om een minimale demping van 20 dB te verkrijgen, wanneer de exterieurplaten zijn gemonteerd.
R10	Must	Het exterieur van het feederstation wordt voorzien van platte schroeven. In het interieur worden verzinkschroeven gebruikt, daar waar deze schroeven zich in het pad van de goederen bevinden (zoals glijbanen en vernauwing), zodat deze maximaal 1 mm per schroef uitsteken.
R11	Must	Er dient minimaal één noodstop op het station te worden gebouwd die voor de gebruiker goed bereikbaar is. Dit ter preventie van gevaarlijke situaties.
R12	Must	De buitenzijde wordt gecontroleerd op beschadigingen die letsel kunnen veroorzaken, zowel direct als indirect. D.w.z.: gebruiker kan zich niet verwonden aan het plaatwerk zelf, maar ook niet door vinger/hand door een gat in het plaatwerk te steken, waardoor het binnenwerk kan worden benaderd. Er wordt NIET rekening gehouden met geforceerde acties (plaatwerk

		fysiek afnemen terwijl de machine in gebruik is en/of arm steken door de inwerpsleuven).
R13	Must	Hoewel de gebruikte voedingseenheden zichzelf *passief koelen, dient de behuizing van het station zelf ook te beschikken over een koelstroom. Hiervoor wordt onderzocht of het noodzakelijk is om de behuizing te voorzien van passieve koeling middels sleuven. *Actieve koeling is niet vereist.
R14	Must	Systeem wordt ontworpen, zodat het voldoet aan het grootste voorwerp dat door voorgaand team gebruikt werd (82,4x35,7x16,6 mm). Er wordt daarnaast hoofdprioriteit gegeven aan de afmetingen van de standaard Omron-producten (35,7x35,7x16,6 mm). Het is niet noodzakelijk om voorwerpen van verschillende afmetingen en vorm tegelijkertijd te laten behandelen.
R15	Should	Modules dienen makkelijk vervangen/verwisseld te kunnen worden indien noodzakelijk. (Er dienen maar een paar schroeven/onderdelen te worden verwijderd, alvorens de desbetreffende module uitneembaar is.)
R16	Must	Het systeem is op te delen in modules, die zich bevinden in toegewezen "gebieden", zoals 'glijbaan 1', 'transportband, borstelwals en vernauwing' en 'voedingen en PLC'. Tussen deze modules is een minimale speling van 20 mm aangebracht, zodat er voldoende luchtstroom aanwezig is en afstellingen en bouw mogelijkheden m.b.t. de transportband en de glijbanen mogelijk zijn.
R17	Must	Wielen en framework zijn bestand te zijn tegen gewicht van motoren, voedingen, PLC en overig plaatwerk. Hiervoor is een maximaal gewicht van 300 kg/wiel.

Tabel 2 - Eisen voor het feederstation gedurende ontwerpfase

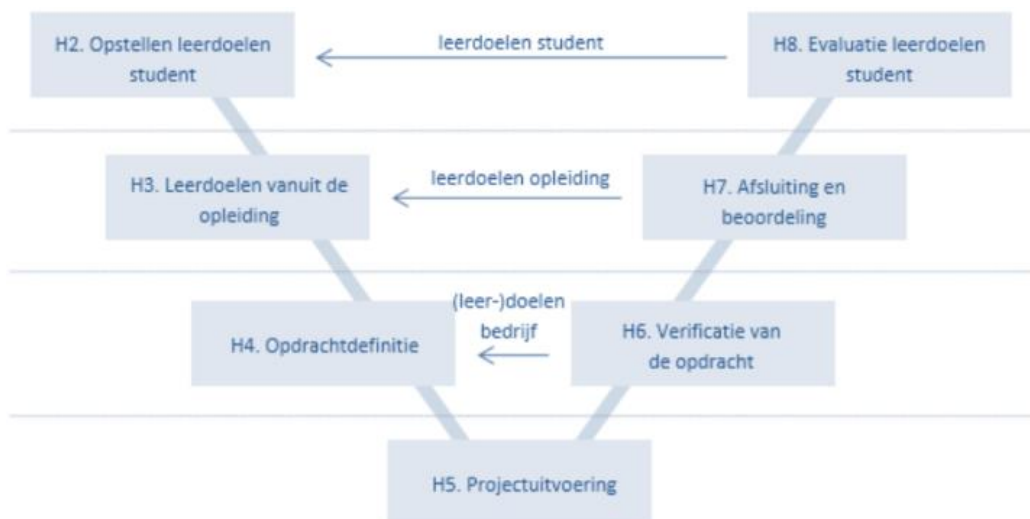
4. Methodologie

Om een project goed te laten verlopen, dient de stagiaire te werken volgens een algemene structuur die vooraf aan de stage wordt gekozen. Er is een vergelijking gemaakt tussen de watervalmethode, het V-model en een uitgebreide versie hiervan, waarop de uiteindelijke keuze is gevallen: V-model XT. De keuze hiervoor wordt hieronder toegelicht.

4.1 Wat is het V-model?

Het V-model is ontworpen door Paul E. Rook [4] en is bedoeld om een opdracht/project structuurmatig af te gaan. Bijzonder is dat er in deze methodologie uitvoerig aandacht wordt besteedt aan een evenwicht tussen het ontwikkelingsproces en (uiteindelijke) verificatie. Het model wordt stapsgewijs afgegaan. Pas wanneer een desbetreffende stap is uitgevoerd, kan de volgende stap worden toegepast. Het V-model is oorspronkelijk bedoeld voor het ontwikkelproces van software, maar wordt ook toegepast in andere vakgebieden, zoals de techniek.

Onderstaand figuur toont het V-model, wat door Fontys veelvuldig wordt gebruikt. Kenmerkend is dat de linkerzijde vooral ingaat op opstellen van leerdoelen en de opdrachtomschrijving, het middengedeelte de uitvoering betreft en de rechterzijde bekend staat als de verificatie van het systeem en de leerdoelen. Indien er gedurende de verificatie blijkt dat er iets niet klopt t.o.v. de eerder opgestelde doelen/definities, dient men deze stap over te doen, totdat doel/definitie en verificatie met elkaar in overeenstemming zijn.

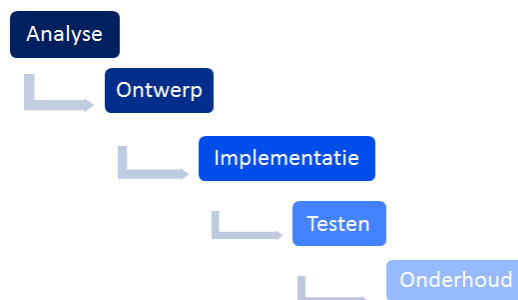


Figuur 1 - Fontys versie van het V-model, afkomstig uit de reader

4.2 Over de watervalmethode

De opdracht voor deze stage bestaat uit 2 einddoelen, waarvan beiden weer bestaan uit subdoelen. Gezien de omvang van deze hoeveelheid subdoelen, is het van belang om structuurmatig te werk gaan, aangezien men het einddoel hierdoor snel uit het oog kan verliezen.

Een mogelijke optie voor de methodologie, was de watervalmethode geweest (zie figuur hieronder). Hierbij wordt er per stap gewerkt en kan men niet verder met de volgende stap, als de eerste stap nog niet is voltooid. Voordelen zijn o.a. dat het grote, onoverzichtelijke project wordt opgedeeld in kleinere, overzichtelijke stappen. Tevens zullen er sneller fouten worden ontdekt gedurende de opdracht in plaats van erna, wat tijd, geld en moeite bespaart.

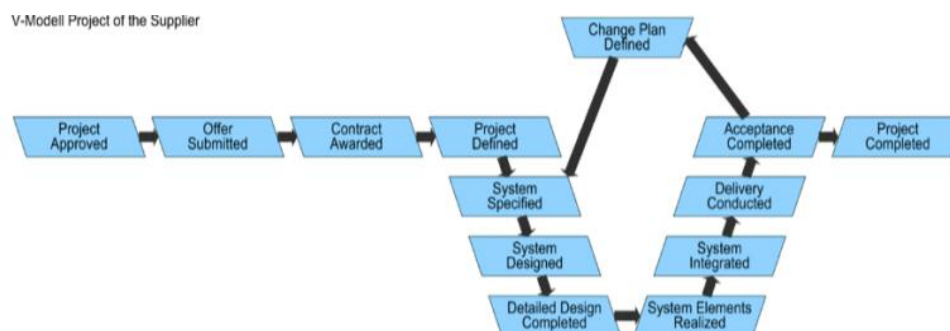


Figuur 2 - Watervalmodel standaard versie

4.3 Modelkeuze

Toch is er uiteindelijk gekozen voor de voordelen van het V-model, in feite een verbeterde variant op het watervalmodel. Het nadeel van het watervalmodel is dat er pas één keer in de laatste fasen wordt getest. Beter zou zijn om ieder onderdeel/specificatie los te testen, zodat er later minder kans op fouten is. Daarnaast werd op aanraden en aanvraag van de opdrachtgever gekozen voor het V-model. Een nadeel van dit model is wel dat er pas na ontwerp van de modules, de eerste verificatie plaatsvindt. Mocht er dus al een fout in het ontwerp zitten, dan bestaat de kans dat deze fout te laat wordt ontdekt, waardoor er (onnodige) tijd- en eventueel geldverlies ontstaat. Gedurende de stage zal de opdrachtgever hierdoor op de hoogte worden gehouden van ontwerpkeuzes en gekozen ideeën o.a. middels een morfologisch schema.

Het V-model met deze aanpassing heeft ook een naam: V-model XT. Het verschil tussen het gewone V-model en het V-model XT is dan ook de terugkoppeling binnen de ontwerp en implementatiefase.



Figuur 3 - V-Model XT (leverancier)

5. Ontwerpkeuzes

Gedurende het project zijn er diverse ideeën opgedaan middels onderzoek en meerdere brainstormsessies. Deze opties worden in dit hoofdstuk kort benoemd, maar er wordt vooral ingegaan op de definitieve opties en de reden voor deze keuzes. Tevens worden de risico's behandeld.

5.1 Mechanische en elektrische ideeën met keuzeverantwoording

Voor het bereiken van einddoel 1: een functionerend feederstation, is het van belang dat de mechanische constructie en componenten goed zijn uitgedacht. Daarom is er eerst middels een grove schets een systeem ontwikkeld, van waaruit men kon afleiden wat er precies moet gebeuren om aan de opgestelde eisen te voldoen. Welke handelingen zijn noodzakelijk om de binnenkomende goederen per stuk op dezelfde manier op een bepaalde hoogte te presenteren aan de volgende robot? Met die vraag zijn er mogelijkheden bedacht voor iedere aanwezige module. De werking van ieder punt en samenhang met andere modules wordt uitvoerig verklaard in hoofdstuk 6. In bijlage K is een morfologisch schema opgenomen die op een visuele manier de mogelijkheden per onderdeel met bijbehorende keuzes toont.

Er is gekozen voor *Coomach profielen als geraamte, door de modulaire opbouw mogelijkheden, de gewicht/stevigheidverhouding en de aanwezigheid in het station van de voorgaande projectgroep. De sleuven in het systeem zijn simpel, effectief en geschikt voor de aanvoer van goederen. De glijbaan is in dit ontwerp dicht gemaakt voor de veiligheid en zekerheid. Het idee is echter afkomstig van voorgaand team en wordt door de simpelheid en effectiviteit hergebruikt. De borstelwals biedt meer zekerheid t.o.v. andere mogelijkheden als een balk, doordat de goederen op elkaar kunnen blijven haken. Een borstel werpt deze goederen dan omhoog. De vernauwing is goedkoop, simpel en effectief.

Het reuzenrad is een nieuw idee en biedt meerdere functies, zoals een lift en een “sluis” mogelijkheid. Een echte sluis of automatische barrière is echter niet gekozen door bovenstaande voordelen én de hogere capaciteit die ten goede komt aan de rest van het systeem in het station. Een kokerwiel om de goederen (indien nodig) om te keren, is ook uniek en is gekozen door de simpele aansturing en hoge kans van slagen in combinatie met een simpele wissel. Het draaiplatform om de goederen juist te oriënteren voordat deze de spiraallift in gaan, was de meest simpele en goedkope oplossing om dit te doen.

Het laatste subsysteem betreft de spiraallift. Dit systeem is uniek in zijn soort en is gekozen doordat het zeer weinig ruimte inneemt t.o.v. andere mogelijkheden, maar toch een hoge capaciteit heeft. Daarnaast blijft de oriëntatie van de goederen in de lift gehandhaafd, is de aansturing eenvoudig (van constante rotatiebeweging naar verticaal transport) en is opslag mogelijk. Indien de volgende robot (bijvoorbeeld een UR5) die de goederen van het feederstation pakt, trager is dan de leversnelheid van feederstation, hoeft het feederstation niet direct de hele interne productie stil te zetten. In het spiraal kunnen er maximaal 20 goederen kwijt, waardoor de voorliggende modules één voor één rustig kunnen uitschakelen. Deze buffer/opslag in het spiraal zorgt ook voor een snelle toelevering, als de volgende robot weer op snelheid is.

Tenslotte is er gekozen voor verschillende type motoren (zie tabel 3), aangezien iedere module een andere motorfunctie vereist. Er wordt vooral gewerkt met glijbanen, waardoor het systeem zuinig in

energie is en er hier geen aparte aansturing voor nodig is. Een enkele transportband bij de borstelwals en vernauwing is gekozen, omdat: er hier geen hoogteverschil mogelijk is, de aanvoersnelheid op dit punt regelbaar moet zijn en het transport hier in sommige gevallen tijdelijk tegenovergesteld dient te gaan, indien er een verstopping bij de vernauwing plaatsvindt.

Doel motor	Snelheid	Koppel	Draaihoek	Opmerking	Mogelijkheid
Borstelwals	Hoog	laag	Volledige rotatie	Continue draaiing.	DC
Transportband	variabel (laag)	gemiddeld	Volledige rotatie	Polariteit moet wisselbaar zijn.	Stepper 12V
Reuzenrad	variabel (laag)	gemiddeld	Volledige rotatie	In stappen van 180 graden met home.	Stepper 12V
Wissel	hoog	laag	90-120 graden max.	Ga naar positie links, of positie rechts.	Servomotor/ Stepper 12V
Omkeerwiel	laag	laag	Volledige rotatie	Continue draaiing.	DC
Draaiplateau	gemiddeld	laag	Volledige rotatie	In stappen van 10 graden per controlemoment.	Stepper 12V
Pantograaf voor draaiplateau	hoog	laag	Volledige rotatie	In stappen van 90-270 graden per controlemoment.	Stepper 12V
Spiralen	variabel (laag)	hoog	Volledige rotatie	Continue beweging, met rotaties onthouden.	Stepper 24V
NB: Voor snelheid geldt: "laag" = ongeveer 1-3 omwenteling per seconde, "gemiddeld" = ongeveer 3-5 omwentelingen per seconde, "hoog" = meer dan 5 omwentelingen per seconde. "Variabel (laag)" betekent dat de snelheid aanpasbaar moet zijn, maar meestal "laag" wordt ingesteld.					

Tabel 3 - Lijst van type motoren met bijbehorende eigenschappen

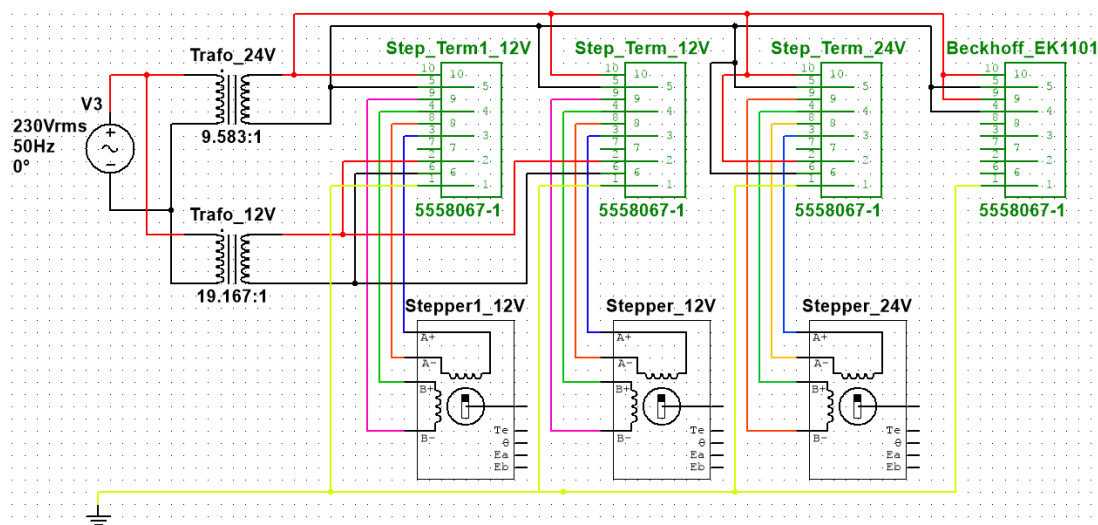
Een specifieke, gedetailleerde keuzeverantwoording is (evenals het morfologisch schema) te vinden in bijlage K. Hier staan ook meerdere keuzes in chronologische volgorde voor het feederstation gerangschikt. Het morfologisch schema is als aparte bijlage opgenomen, zodat het voor de lezer handiger is bij de modulebeschrijvingen in de volgende hoofdstukken.

5.2 Elektrisch ideeën en uiteindelijke keuzes

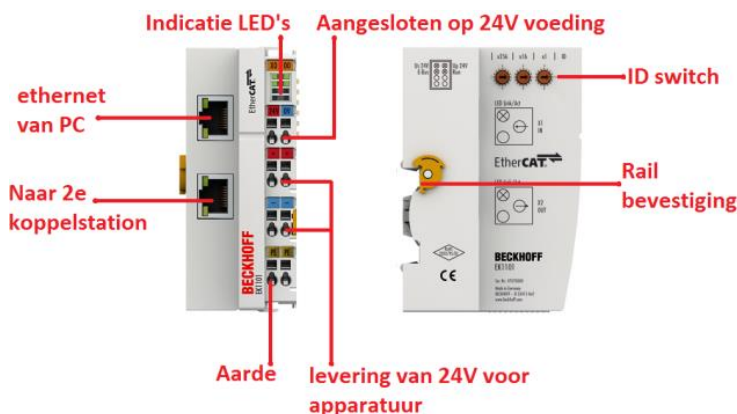
Het brein van het feederstation is een Beckhoff PLC met aangesloten kopstation met diverse terminals voor beweging, verlichting en sensoren. Dit kopstation werkt op een voedingsspanning van 24 Volt. Het systeem zal verder bestaan uit: een bostelwals, lopende band, wissel en diverse wielen en spiralen. Hiervoor is het noodzakelijk om motoren te gebruiken. Ten tijde van de start van deze stage, waren er al een paar stappenmotoren beschikbaar. Vaak kosten deze motoren relatief veel geld (vooral als men stappenmotoren gebruikt die door Beckhoff zelf worden aangeraden) en aangezien deze motoren krachtig genoeg zijn voor ieders toepassing, is besloten om deze te gebruiken. Dit levert wel een nadeel op: één stappenmotor werkt op 24 Volt. Deze kan dus op de voeding van 24 Volt worden aangesloten. De andere stappenmotoren werken maar op 12 Volt. Hiervoor is het noodzakelijk om óf een tweede voeding te plaatsen, of een spanningsdeler toe te passen, waardoor er van 24 Volt, maar 12 Volt wordt benut.

Aangezien het niet om een standaard spanningsverdeler gaat (waarbij men een verhouding van 1:1 voor de twee weerstanden in de deler noodzakelijk is), maar om een deler met belasting (immers, iedere motor die aan de uitgang wordt gekoppeld, bevat een belasting weerstand), is het eenvoudiger en efficiënter om een tweede losse voeding van 12 Volt te gebruiken.

Onderstaand figuur (figuur 3) toont het elektrisch schema, waarbij beide transformatoren, de Beckhoff *EK1101, een 24V stappenmotor terminal en twee 12V stappenmotor terminals zijn opgenomen. Signaalverbindingen tussen de terminals en de EK1101 onderling zijn niet in de tekening opgenomen, evenals de EtherCAT verbinding zelf. Het kopstation EK1101 is van ondersteunende informatie voorzien in figuur 4. De kenmerkende ID switch voor dit type is hier duidelijk te zien. Het volledige elektrische schema is als bijlage (bijlage F) achterin dit verslag opgenomen.



Figuur 4 - Elektrisch schema voorproef met nadruk op 2 voedingen



Figuur 5 - Informatie kopstation EK1101

5.3 Risico's: mogelijke knelpunten en oplossingen

Gedurende de brainstormsessie en ontwerpfase zijn een aantal (mogelijke) knelpunten boven water gekomen. Het hoogtepunt met het reuzenrad, beschreven in paragraaf 5.1 is er één van. Bijlage I toont alle risico's per module, ieder met impact/kans verhouding in een overzichtelijk kleurenschema, die ten tijde van uitvoeren en schrijven zijn ontdekt. Daarnaast zijn in bijlage I de risico's tegen elkaar uitgezet en zijn er mogelijke oplossingen beschreven.

6. Einddoel 1: Werking van het definitieve systeem

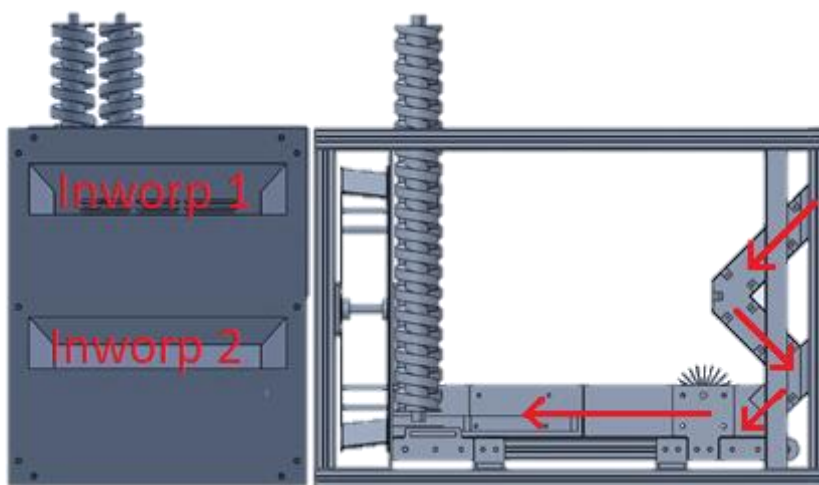
In hoofdstuk 5 zijn de keuzes voor alle onderdelen beargumenteerd. Hierbij is al een korte uitleg aan bod gekomen. Dit hoofdstuk gaat in op de details van de definitieve modules en bijbehorende componenten. Er worden nog berekeningen getoond en er wordt verteld over de veiligheidswaarborging van het fysieke systeem. Wat is er qua ontwerp en bouw gedaan om de veiligheid van de gebruikers te waarborgen?

6.1 Uitleg modules en componenten

De algemene constructie [1] is behouden gebleven: met behulp van Coomach ISB 40L profielen is een frame gecreëerd waarin de constructie wordt opgehangen. De afmetingen betreffen 100x70x58 centimeter. Voldoende om alle componenten compact te waarborgen met voldoende speling. De volgende sub-paragrafen gaan in op de interne modules. Gedurende de tocht van de goederen door het hele systeem, worden de goederen in de gaten gehouden door het systeem. Middels infrarood sensoren wordt er naast de controle van de positie van de goederen, ook gekeken waar de goederen zich in het systeem bevinden. Zo wordt er bij de verzamelbuffer gekeken of er nog goederen aanwezig zijn en wordt er bij het rad, de wissel, het draaiplateau en aan het begin en eind van het spiraal gekeken of er nog goederen in de desbetreffende subsystemen bevinden. Meer informatie over de software hiervoor staat beschreven in hoofdstuk 7.

6.1.1 Substelsiem 1: Invoer producten en verzamelbuffer

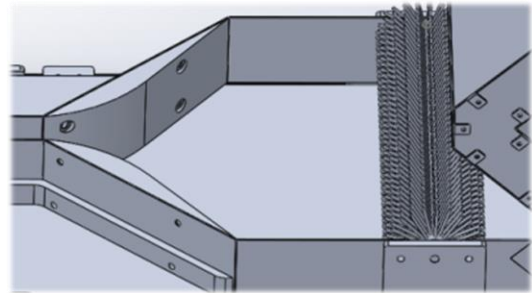
Het eerste substelsiem bestaat uit o.a. twee inlaatsleuven, ieder 50 bij 10 centimeter groot op twee verschillende hoogtes. De afmetingen zijn behouden gebleven aan het verkregen feederstation, aangezien deze afgestemd zijn op informatie over de *AGV's die de goederen in het station werpen [5]. Nadat de goederen via één van de twee inlaatsleuven zijn ingeworpen, volgen de goederen een glijbaan die ze naar de verzamelbuffer brengt. De glijbaan is zo ontworpen, dat zowel de goederen afkomstig van de eerste sleuf, op dezelfde plek komen als de goederen uit de tweede sleuf. De verzamelbuffer is in feite een transportband, die deels toebehoort aan substelsiem 2 en 3, omringt door 3 muren en een borstelwals, van substelsiem 2. Goederen verzamelen zich hier om vervolgens te worden getransporteerd naar de volgende modules.



Figuur 6 - Route van goederen door sleuven en glijbaan 1, overige componenten weggelaten

6.1.2 Subststeeem 2: Anti-stapelmechanisme en “single row” systeem

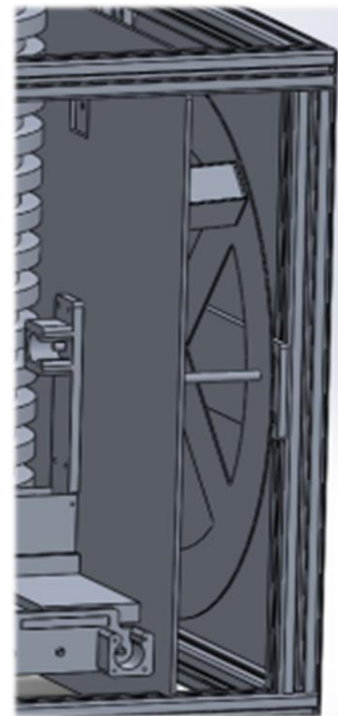
Het volgende subststeeem bestaat uit een transportband, borstelwals en een vernauwing. Goederen worden vanuit de verzamelbuffer lineair middels de transportband getransporteerd naar de borstelwals. Deze wals is in feite een cilindervormige borstel die met relatief hoge snelheid tegenovergesteld ten opzichte van de transportband draait. De functie van deze borstel is om goederen die om elkaar liggen van elkaar af te vegen. De specifieke indelingsstructuur van de vezelharen (de pijl-achtige vorm) zorgt ervoor dat de goederen richting de buitenmuren worden geworpen, in plaats van het midden. Dit zorgt voor een betere doorstroom van de goederen bij de vernauwing, doordat er nu niet één grove rij, maar twee grove rijen ontstaan. Dit benut de capaciteit van de brede band optimaler. De vernauwing is in feite niets minder dan dat de twee buitenmuren om de transportband naar elkaar toe komen, tot er net genoeg ruimte overblijft voor het transport van één van de goederen. Er ontstaat een enkele rij van achter elkaar liggende goederen. Doordat de vernauwing bolvormig is (gestroomlijnd), verloopt het proces om van meerdere rijen naar één rij te gaan efficiënter, dan wanneer deze stroomlijning niet werd gebruikt.



Figuur 7 - Borstelwals en vernauwing

6.1.3 Subststeeem 3: Object per objectmodule en lift 1

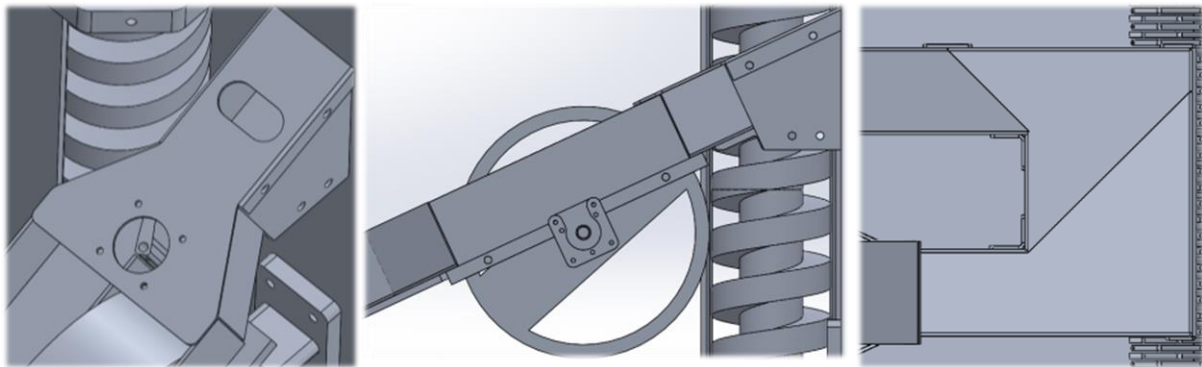
Na de vernauwing van subststeeem 2, komen de goederen via de (op dat moment nog maar smalle) transportband uit bij een opening in een grote wand. Achter deze wand bevindt zich een groot rad (gedurende de stage reuzenrad genoemd) met daarop twee bakjes bevestigd. Deze bakjes staan onder een lichte hoek, waardoor inkomende goederen in het bakje vallen en uitgaande goederen (doordat het bakje bovenin op z'n kop staat) juist uit het bakje vallen op een glijbaan richting een nieuwe module (beiden behorend bij subststeeem 4). Het rad wordt aangedreven door een stappenmotor, waardoor telkens een hoek van 180 graden kan worden gemaakt. De keuze voor twee, in plaats van meerdere bakjes op het rad, komt voort uit het doel van het wiel: uit een rij goederen telkens één van de goederen pakken en met een wachttijd los te laten richting de volgende module. Bijkomend voordeel van dit rad-systeem is een hoogte overbrugging. Het rad heeft dan ook als tweede doel om als lift te dienen. Er wordt namelijk vooral gebruik gemaakt van hoogte-energie voor de overige modules.



Figuur 8 - Reuzenrad

6.1.4 Substysteem 4: Wissel en omkeer-mechanisme

Vanaf het rad van subsysteem 3, vervolgen de goederen hun weg via een korte glijbaan richting een wissel. Voordat deze wissel wordt bereikt, worden de goederen eerst op hun oriëntatie “gescand”. Hier wordt de vraag of het desbetreffende goeder-object wel of niet op z’n kop ligt beantwoord. Dit gebeurt door een infrarood sensor. Deze sensor registreert of het goederobject op z’n kop ligt, door te kijken naar een witte sticker op de bovenzijde. Indien het object goed ligt, wordt de wissel (aangestuurd door een *servomotor/stappenmotor in verbinding met de PLC) omgezet naar rechts, waar het object een gewone glijbaan aflegt naar het volgende subsysteem. Ligt het object niet goed (dus op z’n kop), dan wordt de wissel snel naar links omgezet, zodat het object naar een nieuw wiel glijdt. Dit wiel is in feite een cilinder, waar twee kokerbakjes loodrecht in de cilinder zijn gemonteerd. Dit wiel draait met een constante, trage snelheid rond. Inkomend goederobject valt tegen de wand van de cilinder aan, waardoor het object wordt tegengehouden totdat er een opening van een koker verschijnt. (Of het object glijdt gelijk in één van de twee kokers, afhankelijk van de stand van het kokerwiel op dat moment. Beide mogelijkheden geven hetzelfde resultaat.) Het wiel draait dusdanig, dat het object bovenlangs in de koker blijft zitten, totdat deze door de draaibeweging weer eruit valt op een nieuw stuk glijbaan, dat weer in verbinding staat met de glijbaan van de goed gelegen objecten richting subsysteem 5.



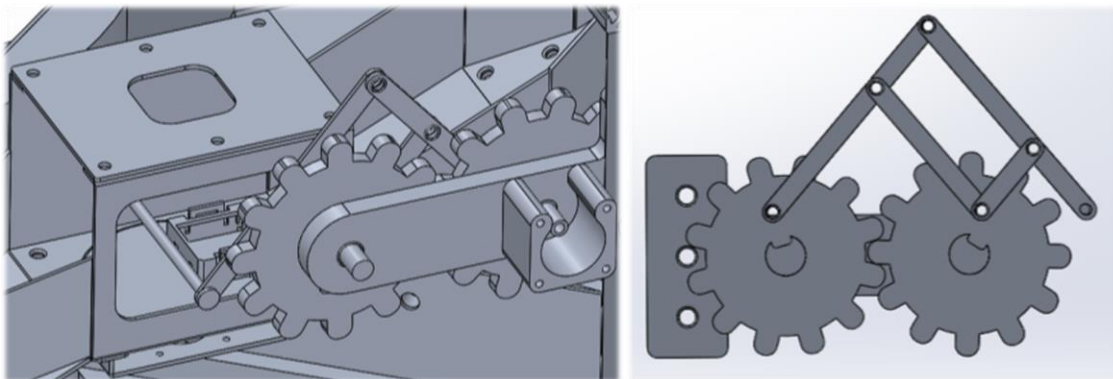
Figuur 9 – Wissel, omkeer-module en glijbaan 2 (van bovenaf gezien)

6.1.5 Substysteem 5: Draaiplatform en pantograaf

Substysteem 5 is aangesloten op de glijbaan vanaf subsysteem 4. Deze glijbaan is dusdanig ontworpen, dat er geen object gedurende de “reis” omklapt. Dit is gedaan, door de baanstukken passend op elkaar aan te sluiten (immers, er moet een hoek van 180 graden worden gemaakt). De baanstukken staan tegelijkertijd onder een hoek van 25 graden, zodat de objecten niet stil kunnen komen te liggen. Om grotere objecten dan het Omron-voorwerp door de 180 graden hoek te laten glijden, zonder dat deze klem kunnen komen te zitten, is de glijbaan in de hoek verbreed. De laatste afbeelding van figuur 8 toont glijbaan 2 van bovenaf.

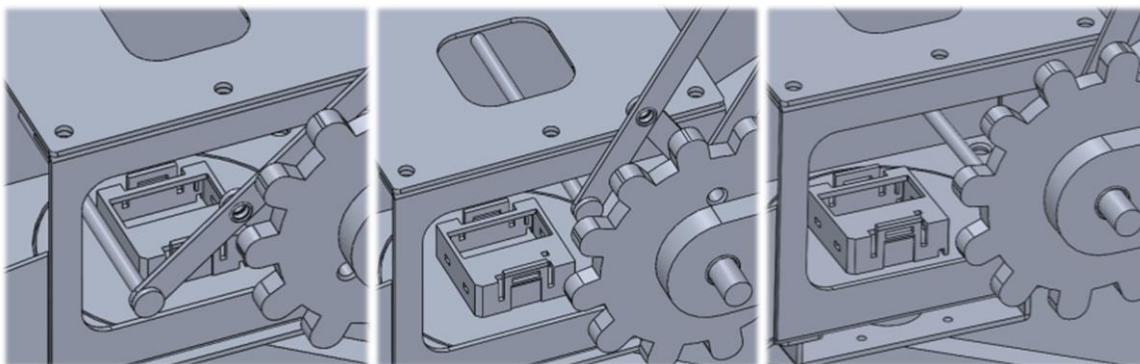
Substysteem 5 bevat een rotatieplatform (aangedreven door een stappenmotor), een infrarood sensor (om de positie van het desbetreffende object vast te kunnen stellen, zodat het platform zich hierop weer kan aanpassen) en een automatische beugel (pantograaf). Als het te behandelen goederobject aan komt op het rotatieplatform, staat de beugel (verbonden aan een pantograaf) aan het uiteinde van het platform klaar, ter preventie van doorglijden van het object. Als de sensor het object heeft gezien, wordt de beugel door de pantograaf ver het goederobject heen getild en wordt

de beugel gebruikt als blokkade voor het toesnellen van andere goederen. Hierna wordt het platform per stappen van 10 graden gedraaid om tussendoor feedback te krijgen van de erboven hangende 4 infraroodsensoren. (Er is gekozen voor 4 sensoren, zodat een groot gat in het goederobject kan worden opgemerkt, om zo de positie van het object te bepalen.) Indien het object goed ligt (maximale afwijking van 5 graden), wordt de beugel in werking gesteld en snelt deze naar z'n beginpositie. Hiermee duwt de beugel het object naar een kleine glijbaan die in verbinding staat met het laatste subsysteem: 6. De pantograaf is dusdanig gebouwd, dat deze een ovaalvorm aflegt door aansturing van een stappenmotor. Eén volledige rotatie van de motor zorgt voor één volledige aflegging van het ovaal. Middels instelling van de juiste hoek kan de beugel van de pantograaf dus als blokkade, rem of duwstang worden ingezet.



Figuur 10 - Draaiplatform en pantograaf

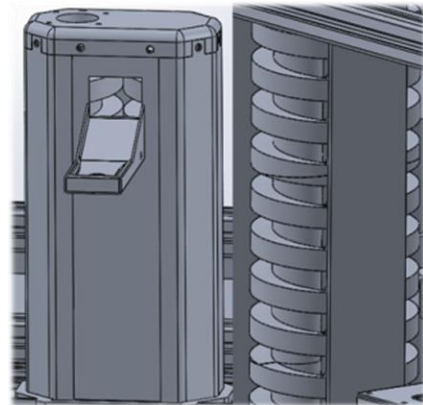
Hieronder is te zien hoe de pantograaf het goederobject tegenhoudt bij binnenkomst (eerste afbeelding), hoe de beugel hierna direct boven het object doorschiet (tweede afbeelding) en hoe deze daarna achter het object komt te staan (derde afbeelding), zodat er geen andere goederen die zijn doorgeschoten het oriëntatieproces kunnen verstoren. Hierna duwt de pantograaf middels de beugel het object van het draaiplatform af.



Figuur 11 - Diverse standen van de pantograaf met beugel

6.1.6 Subststeeem 6: lift 2 en uitvoer producten

Het laatste subststeeem bestaat uit twee spiralen in een behuizing die samen een module vormen en een afleverbakje. Eenmaal klaar bij subststeeem 5 valt het goederobject via een korte glijbaan tegen de wand van twee identieke, naast elkaar draaiende spiralen en blijft hier hangen, totdat een opening verschijnt tussen de twee spiralen in. Door de vormgeving van de spiralen (de spiralen zijn identiek, maar gespiegeld aan elkaar) en dezelfde draaisnelheid (beide spiralen zijn middels gelijke tandwielen verbonden aan één grote stappenmotor) valt een goederobject tussen de spoed van beide spiralen. Door de spiraalvorm naar beneden, valt het object tussen de twee spiralen in en wordt door een wand tegen gehouden. Beide spiralen brengen hierdoor het object omhoog, terwijl deze tegen de wand schuift. Eenmaal bovenin houdt de wand op, waardoor het object tussen de spiralen doorschuift naar de opening van de spiraalbehuizing. Tenslotte schuift het object een kleine helling af, om vervolgens in een bakje te belanden. Vanuit dit kleine bakje kan een volgende robot de goederen (die nu op de juiste manier liggen) weer oppakken en verder de minifabriek insturen.



Figuur 12 - Spiraal en eindbakje

Het voordeel van een spiraal als lift, is de grote (opslag)capaciteit van goederen, indien een volgende robot trager werkt dan het station. Een infrarood sensor registreert namelijk of het afleverbakje leeg of vol is, zodat de PLC de stappenmotor van het spiraal kan vertragen of zelfs doen stoppen. Indien dit voor lange tijd noodzakelijk is, kunnen ook de andere substsystemen met bijbehorende componenten tijdelijk stoppen.

6.2 Bijbehorende mechanische (en elektrische) berekeningen

Gedurende de ontwerpfasen zijn een aantal berekeningen noodzakelijk geweest. Het gewicht van het systeem, de motoreigenschappen voor iedere toepassing, de PLC en voedingen en de mechanismes zoals de pantograaf vergen berekeningen. Deze zijn allemaal in “Bijlage E: Berekeningen” te vinden. Ook de buiglijnen zijn globaal getekend en in de bijlage opgenomen.

6.3 Veiligheidswaarborging fysieke systeem

Het mechanische en elektrische systeem is op meerdere opzichten ontworpen zoals het nu is. Niet alleen is er rekening gehouden met: toepassing, budget, compactheid, capaciteit en multifunctionaliteit, maar ook met veiligheid. Hoewel de doelgroep vooral (jong-)volwassenen betreft, is het systeem qua veiligheid ook aangepast op jongere doelgroepen (kinderen van 3-12 jaar). De kans dat een kind in aanraking komt met het feederstation is klein, maar vanwege de demonstratie mogelijkheden en de al aanwezige afdekplaten om de kans op beklemming van niet gewenste producten (zoals vuil) zoveel mogelijk te voorkomen, is het station hierop beveiligd. Geforceerde acties, zoals openschroeven en open voedingskabels vastpakken zijn uitgesloten van de veiligheidswaarborging. Op softwaregebied zijn ook de nodige veiligheidssystemen gemaakt. Deze worden echter in hoofdstuk 7 besproken.

Het exterieur van het station is mechanisch en elektrisch veilig gesteld. Er bevindt zich een grote, duidelijk vormgegeven noodknop op de machine die het systeem in geval van nood stilzet en uitschakelt. Daarnaast is het plaatwerk ontdaan van scherpe hoeken en randen waaraan vingers gemakkelijk kunnen worden opgehaald. Plaatwerk wordt stevig op z'n plaats gehouden door minimaal 10 schroeven per plaat, waarvan 2 per hoek. Om het interieur geforceerd te kunnen bereiken, is het dus noodzakelijk om minimaal 2 schroeven los te halen. Voor het kabelmanagement aan de buitenzijde, zijn er twee contacten gemaakt, waardoor er geen gaten aanwezig zijn van waaruit de bekabeling komt.

De behuizing kent echter wel 3 gaten: 2 inlaat en 1 uitlaat voor goederen. Via de twee eerste gaten is het echter niet mogelijk om gemakkelijk bij de apparatuur binnenin te komen. De glijbaan is namelijk compleet rondom dicht gemaakt. Geforceerd de arm naar binnen steken via het onderste gat leidt enkel tot aanraken van de zachte borstelwals. Het uitlaat-gat is direct aangesloten op de spiralen en kan dus in theorie beklemming van de vingers veroorzaken. Echter, dit gat bevindt zich op meer dan een meter hoogte, waardoor het voor kleine kinderen moeilijk wordt om met de vingers beklemd te raken. Desalniettemin is het belangrijk om kleine kinderen uit de buurt van de machine te houden en rekening te houden met beklemming ten tijde van geforceerde acties. Het gebruik van het station dient door technisch ervaren personen te gebeuren en kinderen dienen op afstand gehouden te worden.

Het feederstation kan worden verplaatst middels vier wieltjes onder het basisframe. Twee van deze wielen bevatten een rem, die ervoor zorgt dat (indien vastgezet) het station niet uit zichzelf kan gaan rollen. Indien noodzakelijk kunnen de twee overige wielen makkelijk en efficiënt worden vervangen, doordat de wielen niet verbonden zijn met andere modules. Ieder wiel is individueel enkel aan het frame zelf bevestigd. Diverse modules intern kunnen tot op zekere hoogte worden vervangen, indien er gewerkt wordt met andere goederen of indien er slijtage is opgetreden. Het vervangen van deze onderdelen dient echter enkel en alleen te gebeuren als de machine compleet uitstaat.

Verder is het frame van het station verstevigd aan de bovenzijde, zodat (indien er per ongeluk een zwaar voorwerp op het station wordt gezet) de bovenste exterieurplaat niet doorzakt. Dit is gedaan door een extra Coomach profiel aan de bovenzijde te monteren, waar de exterieurplaat op rust. Een extra functie van dit Coomach profiel is de mogelijkheid tot montage van een extra rails voor PLC en voedingsmontage.

Elektrisch gezien is de machine gezekerd middels een zekeringsautomaat. Daarnaast is de gebruikte PLC geaard en bevat deze een terminal die de andere terminals controleert op spanning en hierover softwarematig feedback kan sturen. Verder bevat de machine een waarschuwingselement in de vorm van een 3 kleurige LED lamp, die middels kleur en knipperen aangeeft wat er gebeurt en of alles naar behoren werkt. Deze is op een vrij punt gemonteerd, wat de zichtbaarheid van het element vanaf alle kanten enorm vergroot. Mogelijkheden over de LED lamp staan beschreven in hoofdstuk 7.

De PLC, motoren en voedingen worden bij langdurig gebruik warm. Hierover is het niet noodzakelijk om actieve koeling (middels ventilatoren) te gebruiken. De passieve koeling van de modules zelf volstaat. De behuizing wordt van smalle gleuven voorzien, zodat het interieur (waar de PLC, motoren en voedingen zich bevinden) niet is afgesloten van de buitentemperatuur. Men dient deze luchtgleuven niet af te dekken!

7. Einddoel 2: Onderzoek en implementatie EtherCAT

Hoofdstuk 7 is meer gericht op de lezer die geïnteresseerd is in het onderzoek naar EtherCAT (wat staat voor Ethernet voor Controle Automatie technologie) en de toepassing hiervan in de softwarekant van dit project. De keuze voor EtherCAT komt aan bod en er worden voor- en nadelen besproken. Tenslotte wordt er gesproken over de toepassing van het concept “veiligheid” op softwaregebied.

7.1 Inleiding EtherCAT: wat is het en hoe werkt het?

EtherCAT [6] is bedacht door het Duitse bedrijf Beckhoff Automation en is in feite een veldbus, gebaseerd op ethernet. Men zocht toentertijd een manier om van applicaties die een zeer lage cyclustijd ($\leq 100 \mu s$) vereisen te kunnen automatiseren. Andere redenen waren een lage jitter (onregelmatigheden in tijdsbasis van signaal) en lagere hardware kosten [7] [8].

Kenmerkend van het systeem is dat er gebruik wordt gemaakt van realtime aansturen middels een standaard ethernetkabel. Een master stuurt een of meerdere zogeheten slaves aan. Hierbij kan de master softwarematig zijn (op een standaard PC) en bestaat een slave uit een kopstation, die op zijn beurt weer uit een of meerdere terminals bestaat. Deze terminals zijn digitaal verbonden aan elkaar en bevatten onderling poorten die (afhankelijk van het type terminal) in- en/of uitgangen bevatten. Hierop kunnen actuatoren en sensoren worden aangesloten.

7.2 Alternatieven en redenen voor kiezen van EtherCAT

De keuze van EtherCAT op het eerste gezicht is gemaakt door het lectoraat zelf. Deze methode beviel het lectoraat na gebruik en daarom koos men ervoor om het als standaard te gebruiken. Om een compleet masternetwerk aan te leggen, is het van belang om alle modules die in het netwerk komen te voorzien van hetzelfde protocol. Andere redenen voor EtherCAT waren dat het relatief simpel was om een geheel netwerk van EtherCAT te voorzien, de ondersteuning van Beckhoff en de mogelijkheden. De master is een gespecificeerde Beckhoff PC, waardoor miscommunicaties door het combineren van andere chipsets zijn uitgesloten.

De voordelen zijn in paragraaf 7.1 al benoemd. Een toevoeging daarop, is dat het schrijven van de taal versimpeld is, als er gebruik wordt gemaakt van de uitbreidingsmogelijkheden van TwinCAT. Het onderdeel “motion” is hiervan een voorbeeld. Er wordt hierbij simpelweg een blok toegevoegd waarop bijvoorbeeld de acceleratie, jitter en absolute positie worden ingevoerd. Er kan dan eventueel een ander mechanisme op reageren wanneer de desbetreffende positie is bereikt.

Desondanks zijn er gedurende het project ook nadelen opgevallen. Zo is Beckhoff, ondanks tientallen mogelijkheden voor soorten terminals, niet in staat om een terminal te maken die een simpele RGB LED kan aansturen. Hiervoor dient men 3 terminals aan te schaffen, een terminal per kleur. Meerdere LED's op 1 terminal is alleen mogelijk, als de LED's op 24V werken. Nog een punt, is dat Beckhoff niet geschikt is voor alle computers. Men dient een computer te hebben, waarvan de internetkaart bestaat uit chipsets van Intel. Zonder deze chipsets kan er geen realtime verbinding tot stand worden gebracht tussen de PC en de terminals. Tenslotte zijn de terminals per stuk behoorlijk prijzig en is de aanschaf via Fontys door de hoge prijs ingewikkeld.

De software (of programmeeromgeving) TwinCAT heeft als voordeel dat er veel extensies zijn die het programmeren aanzienlijk vereenvoudigen. TwinCAT 3 biedt ook vele mogelijkheden. Dit laatste is dan ook weer een nadeel: voor beginnend gebruikers is TwinCAT 3 door al deze mogelijkheden al erg snel onoverzichtelijk. Tutorialfilmpjes of documenten zijn schaars. Datasheets voor de terminals bieden vaak geen oplossing voor foutmeldingen op de terminals en in de software (het is vaak voorgekomen dat de desbetreffende foutmelding meerdere redenen kon hebben).

Een echt alternatief voor de terminals is er niet, aangezien het lectoraat het feederstation in het masternetwerk wilt toevoegen. Voor TwinCAT zou het programma *CODESYS een alternatief kunnen zijn. Hierbij is het wel van belang dat CODESYS over de juiste bibliotheken en gegevens van de terminals bevat. Beckhoff biedt hier zelf de installatiebestanden voor aan. Toch is het aan te raden om TwinCAT te gebruiken, aangezien de software gemaakt is voor de terminals. Eenmaal juist aangesloten met de juiste drivers herkent de software direct het kopstation en alle daarop aangesloten terminals. Voor wat ervaren programmeurs is dit een handige bijkomstigheid. Daarnaast deelt het uiterlijk van TwinCAT 3 veel gelijkenissen met CodeSys.

7.3 Onderzoek van de EtherCAT technologie

Ten tijde van de start van dit project, werden er een paar terminals aangeboden, waaronder een EK1101, drie EL7031 terminals (terminals geschikt voor aansturing van 24V stappenmotoren), een EL9210 (terminal voor mogelijkheid tot opzetten verschillende stroomgroepen met diagnose), een EL2024 (terminal met 4-kanaals digitale uitgang op 24V) en een EL9011 (een afdekkapje). Alle toentertijd aanwezige terminals zijn opgenomen in “Bijlage L: Informatie e-bus terminals”.

De opdrachtgever stelt de eis dat er wordt onderzocht of het EtherCAT protocol geschikt is voor het te ontwerpen feederstation. Hiervoor is een EK1101 EtherCAT kopstation noodzakelijk. Deze terminal betreft de PLC die de aangesloten terminals middels een Ethernet-poort verbindt aan een computer, vanwaar het softwareprogramma wordt geschreven en die als master zal dienen. Er is specifiek gekozen voor de EK1101 (i.p.v. EK1100), aangezien het ID van dit kopstation kan worden aangepast. Deze handigheid is noodzakelijk bij het gebruik van een masternetwerk (waar meerdere slaves aan worden gekoppeld, ieder met eigen ID).

Vooraf aan de opdracht werd er gesproken over het feit dat de PLC zou gaan draaien op een PLC taal. Welke PLC taal was aan de stagiaire om te beslissen. Er werd eerst gekeken naar het programma CODESYS, mede doordat de stagiaire hier al ervaring mee had. Er bleek echter dat CODESYS niet over de juiste bibliotheken beschikte. De opdrachtgever raadde aan om TwinCAT te gebruiken, een softwareprogramma ontwikkeld door Beckhoff voor apparatuur van Beckhoff waar men in PLC taal kon programmeren. Gekozen is voor de nieuwste versie: TwinCAT 3, door de juiste bibliotheken, uiterlijke gelijkenissen met CODESYS en de mogelijkheden op het gebied van beweging. De uitbreiding “motion” is namelijk speciaal geschikt voor het aansturen van actuatoren zoals stappenmotoren.

Er was wel een probleem: om een PLC middels EtherCAT aan te sturen, is het vereist om netwerkchips van Intel op de desbetreffende PC te hebben. Zonder deze netwerkchips is een realtime verbinding namelijk onmogelijk, wat problemen tussen de communicatie van de PC en de PLC oplevert. Er is daarom gekozen om te werken op een PC die de aangeraden chipset bevat: een Beckhoff PC die tegelijkertijd als master zal gaan dienen voor het feederstation. Na de juiste

stuurprogramma's te hebben geïnstalleerd, herkent de Beckhoff PC de terminals direct en is er gelijk sprake van een goede, stabiele communicatie.

Na het testen van de EK1101, is er getest met de EL7031 terminals. Doordat het mechanisch systeem overweg kan met 12V stappenmotoren en doordat deze motoren ten tijde van de start van het project al aanwezig waren, was het plan om gebruik te maken van een 24V stappenmotor (vanwege het noodzakelijke koppel) en 12V stappenmotoren (minder koppel noodzakelijk en meer ruimtebesparing). Hier ontstond wel een probleem: de EL7031 terminals zijn niet geschikt om motoren met een andere spanning dan 24V aan te sturen. Er is hierna overwogen om andere stappenmotoren te kiezen, maar door de toepassing, ruimtebesparing en het feit dat er een externe encoder op de EL7041 kan worden aangesloten, is gekozen om voor EL7041 terminals te kiezen. Deze kunnen worden aangesloten op een externe voedingsbron met afwijkende spanning t.o.v. 24V.

7.4 Uiteindelijke uitvoering en toepassing (software)

Voor het maken van een groot, duidelijk en dynamisch programma is besloten om eerst een flowchart te maken van het hele systeem. Deze flowchart is in z'n geheel opgenomen in "Bijlage G Software flowchart". Een korte toelichting hierop:

De flowchart is ingedeeld in verschillende vlakken (in de software zelf modi genoemd). De modus "Powermanagement" geldt voor een systeem dat aan staat, maar softwarematig nog moet worden ingeschakeld (immers, de fysieke aan-knop is enkel een schakelaar tussen inkomende stroom en de transformatoren, op hun beurt weer aangesloten op de terminals). Is het systeem bijvoorbeeld softwarematig aan, dan wordt de gele LED aangezet. Zo niet, dan brandt geen enkele LED.

Staat het systeem aan en is de startknop ingedrukt? Dan wordt het systeem in de zogenoemde "wachmodus" gezet. Deze modus is gecreëerd om energie en motoren te besparen als er geen goederen in het systeem bevinden. Hierbij gaat de groene LED knipperen: klaar voor gebruik. Wordt er eenmaal door één van de infraroodsensoren ontdekt at er (nog) goederen aanwezig zijn, dan wordt het systeem in werking gezet. De groene LED brandt continu.

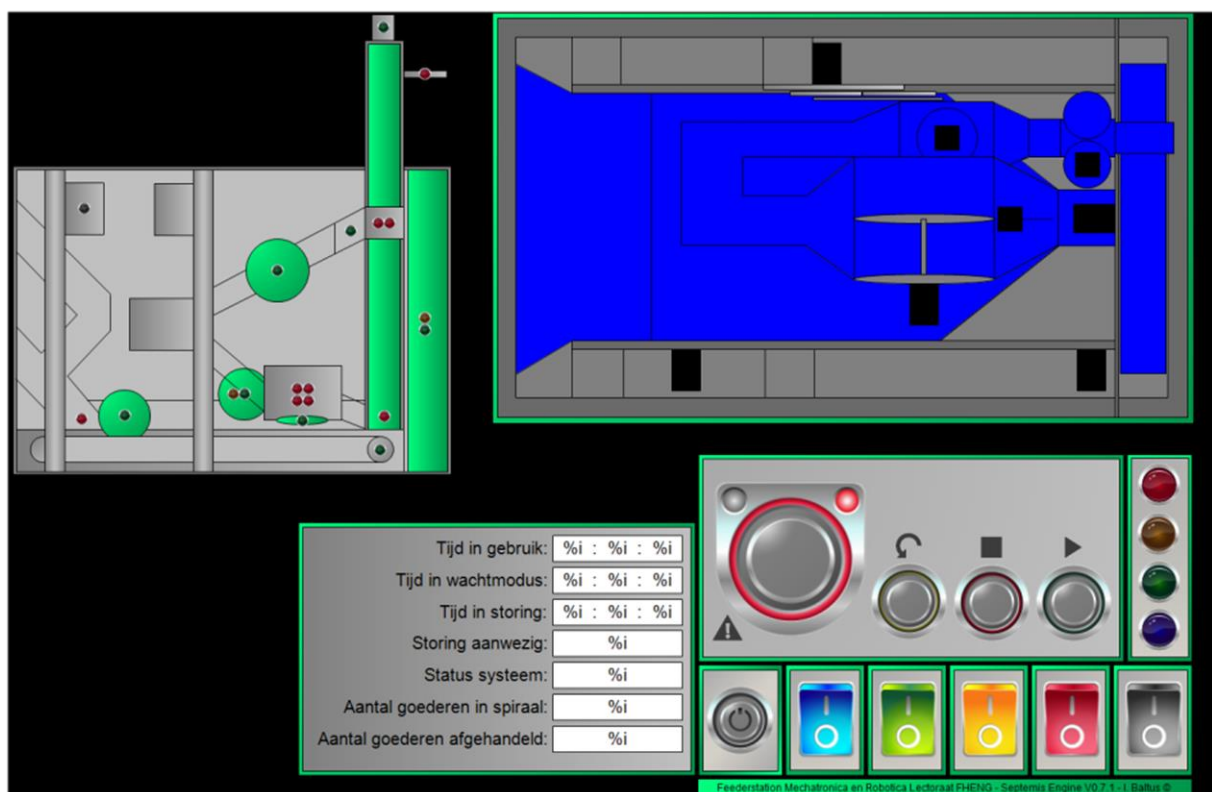
Het systeem in werking is niets minder dan aansturing van alle motoren op de juiste momenten, afgeleid door de verschillende sensoren. Voordat het systeem daadwerkelijk begint, worden het reuzenrad en de pantograaf naar de home-positie gebracht: laat het desbetreffende element langzaam bewegen totdat een home sensor wordt ingedrukt. Dit wordt gedaan, zodat er een referentiepunt is voor de software. Is dit punt bekend, dan kan de software vragen om het desbetreffende element 180 graden te laten draaien. Is er geen referentiepunt, dan kan het element vanaf een verkeerde positie starten, waardoor de precieze aansturing niets meer uitmaakt. Als alle home-posities zijn bereikt, wordt het hele systeem geactiveerd.

De 3 fysieke LED lampen op het systeem (gedurende communicatie eenvoudig "stoplicht" genoemd) hebben simpelweg een functie: de gebruiker op status en mogelijk gevaar attenderen. Meestal is een knipperend effect bedoeld om aan te tonen dat het systeem wacht op actie. Continu branden toont een standaard modus aan, zoals "in werking". De knoppen zelf geven ook licht: een knipperend effect betekend hier dat de desbetreffende knop kan worden ingedrukt, terwijl continu branden aangeeft dat de knop is ingedrukt en het achterliggende programma nu bezig is. Deze lichtsignalen zijn ook in de software opgenomen: middels een visualisatie waarbij de gebruiker het feederstation ook vanaf de master PC kan aansturen, is de status middels animatie ook af te leiden.

Tegelijkertijd worden alle goederen “bijgehouden”. De infraroodsensoren hebben namelijk niet alleen de functie van oriëntatie herkennen, maar ook van tellen. Middels zogenoemde “counters” in de software, wordt iedere objectregistratie bij de desbetreffende counter met waarde 1 opgeteld. Als het goederobject bij de volgende sensor komt, wordt hierbij de waarde 1 opgeteld en bij de vorige counter waarde 1 afgetrokken. Zo kan de software de goederen in feite volgen. Handig indien er geen goederen meer binnenkomen en om bij te houden of alle ingekomen goederen ook weer uit het systeem zijn en niet ergens zijn achtergebleven.

Deze functionaliteit wordt vooral ingezet om storingen te achterhalen en hierop automatisch te reageren, zonder input van de gebruiker achter de knoppen. Desondanks wordt de gebruiker wel continu op de hoogte gehouden door tellers in de visualisatie. Deze zijn op voorgenoemd systeem aangesloten. Daarnaast worden enkele feiten, zoals de tijd dat het systeem actief is en het aantal behandelde goederen getoond. Dit ter efficiëntie voor de gehele minifabriek. Deze specifieke tellers zijn niet opgenomen in de flowchart, maar de counters (waarop de tellers zijn aangesloten) wel.

Wordt het systeem overigens gereset (dat enkel mogelijk is als het systeem is gestopt door de stopknop of door een storing), dan worden alle counters gereset (dus ook de tellers). Alle goederen in het spiraal worden uitgeworpen en alle goederen op de transportband worden naar een veilige positie gebracht (de buffer). Na herstarten dient het systeem zich weer te kalibreren (home posities).



Figuur 13 - Visualisatie feederstation software TwinCAT 3

7.5 Veiligheidswaarborging softwarematig

Zoals al eerder genoemd wordt het systeem mechanisch en elektrisch beveiligd. Ook de software toont veiligheidssystemen. Hiervoor is een grote digitale noodstop toegevoegd (zie figuur 12). Indien deze wordt ingedrukt, worden alle systemen direct stilgelegd, ook als er nog goederen aanwezig zijn. De rode LED gaat knipperen en zal pas stoppen, als de noodstop wordt gereset. Door dit te doen, dient men de noodstop weer vrij te geven en de start en stopknop tegelijkertijd vast te houden. Hierna is het mogelijk om het systeem weer te resetten met de resetknop (deze zal zoals gebruikelijk gaan knipperen, evenals de gele LED), om vervolgens weer het systeem te starten op de gebruikelijke manier. Ook de fysieke noodstop werkt op deze manier.

Indien er een storing in één van de motoren ontstaat, of er een goederobject gedurende ene bepaalde ingestelde tijd niet wordt getraceerd, terwijl deze zich wel nog in het systeem zou moeten bevinden, wordt het systeem ter beveiliging ook stil gezet en zal de gebruikersinterface (de visualisatie) aangeven dat er een storing is en waar deze zich bevindt. Pas wanneer deze storing is opgelost, kan het systeem net als bij de noodstop weer verder.

8. Testresultaten

Gedurende de ontwerpfase waren er enkele onzekerheden ontstaan over mogelijke opties afkomstig van de brainstormfase (zie morfologisch schema in de bijlage). O.a. de transportband, het reuzenrad, de werking van de sensoren en de spiralen konden veel problemen bevatten, waardoor een werkend eindproduct ver te zoeken zou zijn. Deze zijn daarom hieronder uitgelicht. Dit hoofdstuk behandelt de testen die zijn gedaan om uit te zoeken of deze problemen werkelijkheid zijn en of er iets aan kan worden gedaan. Ook testen na voorgaande testen zijn in dit hoofdstuk genoteerd.

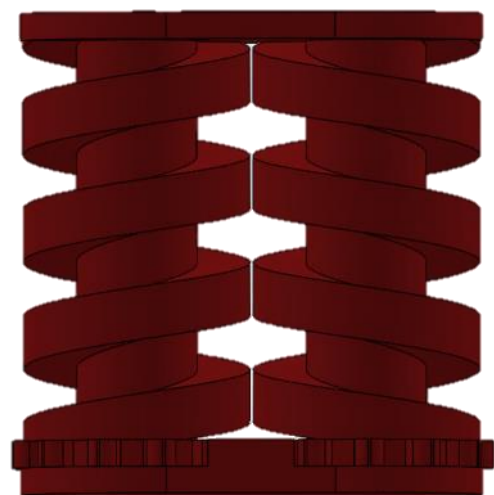
8.1 Spiraaltest

Voor het transport van de goederen van onderin het feederstation naar het eindpunt zijn er beperkte mogelijkheden. Er moet een relatief enorme hoogte worden overbrugt met maar beperkte ruimte voor de betreffende installatie. Daarnaast dient deze installatie een grote capaciteit te hebben en mogen de goederen nauwelijks verdraaien gedurende de rit naar boven. Een optie tijdens de ontwerpfase was al snel een soort tweeling *vijzel, gebaseerd op de grote schroeven die vaak gebruikt worden voor watertransport.

Er wordt hier gebruikt gemaakt van twee spiralen, met als extra functie voor de behuizing een soort geleidingsrails. Theoretisch gezien een perfecte oplossing, maar wel met enkele belangrijke nadelen: het produceren van op maat gemaakte spiralen van dusdanige omvang is op locatie onmogelijk. Dit zou extern kunnen worden geproduceerd, maar zou een enorm prijskaartje met zich mee dragen. Tevens zou, indien gebruik wordt gemaakt van een metaal het systeem wel stevig worden, maar tegelijkertijd ook zeer zwaar. De stappenmotor zou dan een enorme last moeten voortbewegen, terwijl de wrijving van goederen in de spiralen ook om een hoger koppel vraagt. Plastic zou een oplossing kunnen zijn, maar dient dan wel zo precies en glad mogelijk te worden afgewerkt. Tenslotte was ten tijde van ontwerp nog niet 100% zeker dat deze manier van transport echt zou werken: teveel wrijving en een beklemming van goederen in de module zouden problemen kunnen opleveren.

Om de spiralen op basis van deze problemen te testen, is er voor de bouw van het station een testobject gemaakt. Zie het figuur hiernaast.

Dit kleine model wordt aangestuurd door een 24V stappenmotor (enkel noodzakelijk voor de test, daarna implementatie in het echte station). Beide spiralen zijn voor deze test 15 centimeter hoog, ongeveer 1/6 deel van de echte spiralen. Het omhulsel wordt voor de test gemaakt met behulp van losse aluminium blokken, terwijl de spiralen, tandwielen, het onder- en bovenstel en de montage-as voor de stappenmotor worden geprint. Enkele onnauwkeurigheden door bijvoorbeeld opvulmateriaalresten, worden lichtelijk bijgeschaafd. Onderstaande tabel bevat de resultaten van de test.



Figuur 14 - Spiraaltestmodel

Specificatie		Test				
Eis/module	Probleem	Methode	Verwachting		Gemeten	(On)voldoende O/V/~
			Min.	Max.		
Spiraal	Is het te maken?	3D printen	Ja, goede prijs maar dient bijgeschaafd te worden.	Ja, werkt perfect.	Ja, maar bijschaven voor eerste keer print.	V
Spiraal	Treedt er slijtage op?	Enkel 3D geprint materiaal	Ja, maar te verwaarlozen t.o.v. duur gebruik.	Ja, na 10 tests is lichte slijtage merkbaar.	Ja, maar te verwaarlozen.	V
Spiraal	Stappenmotor te zwak voor hoogte?	Zwak t.o.v. plastic	Nee, stappenmotor heeft nauwelijks kracht nodig.	Ja, maar draait enkel langzamer als het spiraal vol beladen is.	Weinig kracht nodig bij 1. Meer bij vol.	V
Spiraal	Goederen komen klem te zitten.	Gebruik van twee spiralen.	Nee, de goederen glijden prima in en uit.	Ja, maar enkel als het spiraal te langzaam/te snel draait.	Alleen als glijbaan geen zijwanden heeft.	~
Is deze module geschikt?	Ja, de spiralen zijn zeer goed zelf te maken als er een 3D printer ter beschikking is. Middels materiaal PET-G is gebleken dat er zeer nauwkeurig en toch zeer stevig kan worden geprint. Het slijtage is nauwelijks merkbaar, maar zal op den duur spoorvorming veroorzaken. Dit zorgt er echter niet voor dat de goederen op den duur vast komen te zitten. De motor is sterk genoeg om meerdere goederen in het spiraal te vervoeren. 24V is hierbij ruim voldoende. Er is wel gebleken, dat indien het goederobject tegen de wanden van het spiraal terechtkomt bij binnenkomst, het de neiging heeft om 45 graden te draaien, waardoor het vast komt te zitten. Door deze verdraaiing onmogelijk te maken, is het noodzakelijk gebleken om de aansluitende glijbaan van nauwe zijwanden te voorzien.					

Tabel 4 - Spiraaltest

De test is uitgevoerd door een Omron-voorwerp via een geïmproviseerde aluminium glijbaan onder een hoek van 25 graden het spiraal in te laten glijden. De glijbaan is na diverse tests voorzien van zijwanden, waardoor het goederobject niet meer kan verdraaien. Dit zorgde ervoor dat de goederen netjes en snel het spiraal binnenkwamen en hierbinnen niet meer verschoven. Wanneer de geïmproviseerde wand ophield, werd het goederobject door de draaiende en duwende beweging van de spiralen uit het spiraal geworpen. Ook hier is gebleken dat zijwanden noodzakelijk zijn. Wanneer deze aanwezig zijn, werkt deze module naar behoren en is de test geslaagd.

8.2 Transportbandtest

Het vervoeren van goederen onderin het station wordt door ruimtegebrek en functionaliteit gedaan door een transportband. Althans, dat was gedurende de ontwerpfase de bedoeling. Er zijn een paar problemen die mogelijk kunnen ontstaan, zoals het verkrijgen van de band zelf, een te zwakke stappenmotor en de toegepaste vernauwing bij de transportband. Vandaar dat de functionaliteit van deze module eerst is getest op het oude onderstel van het voorgaande team (zonder de band zelf) op basis van de vernauwingsmogelijkheid. Een simpel vel papier werd hierbij gebruikt om de band te simuleren. Hierdoor kan vroegtijdig worden aangetoond of het zinvol is om een transportband op maat te laten maken, terwijl de kans bestaat dat de module niet zal werken. Daarna wordt er getest met de voor dit project gemaakte transportband (wel met de band zelf). Dit aangezien het maken van een testobject op ware grootte met een echte band te duur is. Eventueel noodzakelijke aanpassingen kunnen in dit stadium al worden toegepast op het echte transportsysteem. De onderstaande tabel toont de resultaten.



Figuur 15 - Transportbandmodule

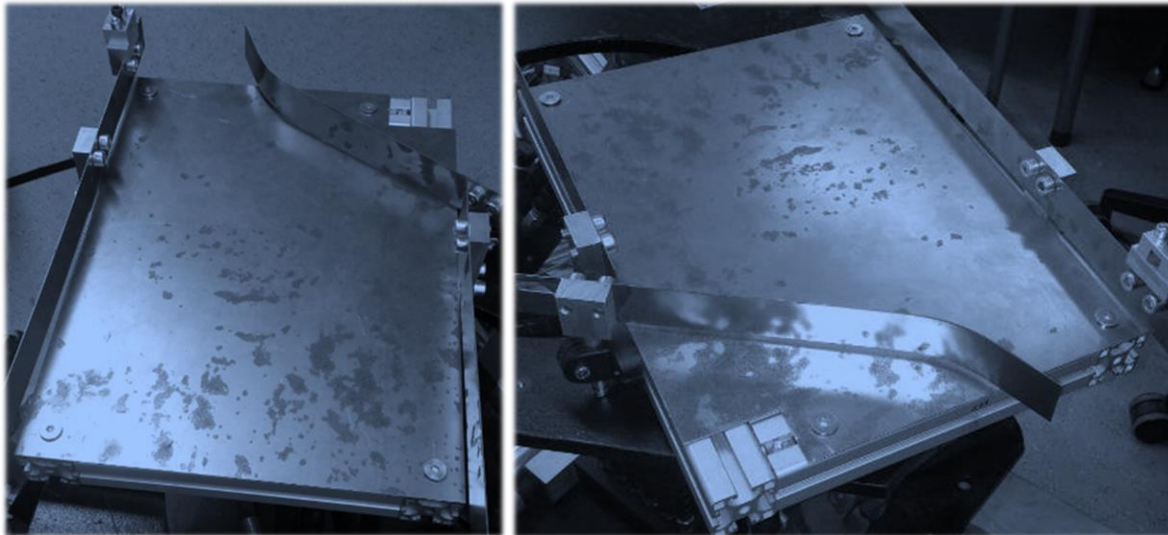
Specificatie		Test				
Module	Probleem	Methode	Verwachting Min.	Max.	Gemeten	(On)voldoende O/V/~
Transport band en vernauwing hoekig	Goederen komen klem te zitten zonder bolvormige wand.	Oude transport onderstel vorige team inclusief vel papier als band.	Nee, de goederen glijden prima en volgen de wanden goed.	Ja, indien er teveel goederen tegelijkertijd doorheen gaan.	Allereerst bolvormig nodig! Hoekige vernauwing klemt sneller.	O
Transport band en vernauwing bolvormig	Goederen komen klem te zitten, ondanks bolvormige wand.	Oude transport onderstel vorige team inclusief vel papier als band.	Nee, de goederen glijden prima en volgen de wanden goed.	Ja, indien er teveel goederen tegelijkertijd doorheen gaan.	Bolvormig beter. Bij trage snelheid papiervel relatief kleine kans op klem.	V
Transport band	Stappenmotor te zwak?	Zwak t.o.v. aangespannen band.	Nee, stappenmotor heeft nauwelijks kracht nodig.	Ja, stappenmotor heeft moeite met de kracht.	Nog niet getest...	???
Transport band	Band lastig te produceren.	Bestellen	Bestellen is relatief te duur.	Bestellen is qua bedrag te doen.	De transportband is rel. duur.	O

Is deze module geschikt?

Ten tijde van schrijven is de mogelijkheid om te kunnen testen met een echte band nog niet aanwezig. Vandaar dat een beoordeling nog niet kan worden gegeven. Er is uit de test met het oude onderstel wel gebleken dat een bolle vernauwing een vereiste is voor een soepele werking van deze module. Die test kan als geslaagd worden gezien. Met een hoekige vernauwing niet. Daarnaast is gebleken dat het bestellen van een band relatief duur is.

Tabel 5 – Transportbandtest

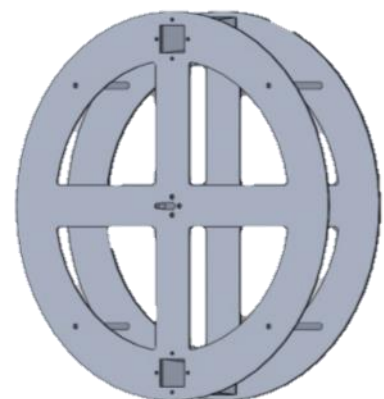
Ten tijde van schrijven is de definitieve transportband nog niet geleverd. Wanneer deze wordt geleverd, kan ook hiermee worden getest. De test met het oude transportband-onderstel en een vel papier gaf na een bolle vernauwing positieve resultaten.



Figuur 16 - Oude onderstel transportband

8.3 Reuzenradtest

Het reuzenrad heeft zoals eerder gezegd twee functies: ervoor zorgen dat goederen stuk voor stuk hun weg door het systeem vervolgen en de goederen omhoog te transporteren, zodat er voor de opeenvolgende modules gewerkt kan worden met hoogte-energie. Een mogelijk nadeel dat kan ontstaan, is dat de goederen klem kunnen komen te zitten tussen de afscheidingswand van het rad en het rad zelf. Door het wiel langzamer te laten draaien op deze plekken middels een stappenmotor, kan dit probleem worden getackeld. Daarnaast kunnen er meerdere goederen in een bakje komen te zitten, of glijden de goederen niet goed in en uit het bakje. Door het bakje hierop aan te passen middels de steilheid veranderen, kan ook dit probleem worden omzeild. Meerdere tests met het te gebruiken rad (aanpassingen kunnen op het huidige rad worden toegepast, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de spiralen) gaan uitwijzen of genoemde problemen inderdaad optreden en of de oplossingen werken.



Figuur 17 - Reuzenradwiel

Specificatie		Test				
Module	Probleem	Methode	Verwachting		Gemeten	(On)voldoende O/V/~
			Min.	Max.		
Reuzenrad	Goederen komen klem te zitten tussen wand en rad.	Rad op constante snelheid draaien.	Goederen komen soms klem te zitten.	Goederen komen nooit klem te zitten bij gepaste snelheid.	Nog niet getest...	???
Reuzenrad (aangepast)	Goederen komen klem te zitten tussen wand en rad.	Rad met pauzes laten draaien.	Goederen komen soms klem te zitten.	Goederen komen niet klem te zitten bij pauzes.	Nog niet getest...	???
Reuzenrad	2 of meerdere goederen in 1 bakje.	Rad met originele bakjes.	Elke keer meer goederen per bakje.	Nooit 2 of meer goederen per bakje.	Nog niet getest...	???
Reuzenrad (aangepast)	2 of meerdere goederen in 1 bakje.	Rad met vulling bakjes.	Soms meerdere goederen per bakje.	Nooit 2 of meer goederen per bakje.	Nog niet getest...	???
Reuzenrad	Bakjes niet steil genoeg.	Rad met originele bakjes.	Goederen vallen soms niet uit rad.	Goederen vallen altijd in en uit rad.	Nog niet getest...	???
Reuzenrad (aangepast)	Bakjes niet steil genoeg	Rad met steilere bakjes.	Goederen vallen soms niet uit rad.	Goederen vallen altijd in en uit rad.	Nog niet getest...	???
Is module geschikt?	Er is ten tijde van schrijven nog niet getest of deze module geschikt is. Dit aangezien het materiaal enorme vertraging heeft opgelopen bij de bestellingen.					

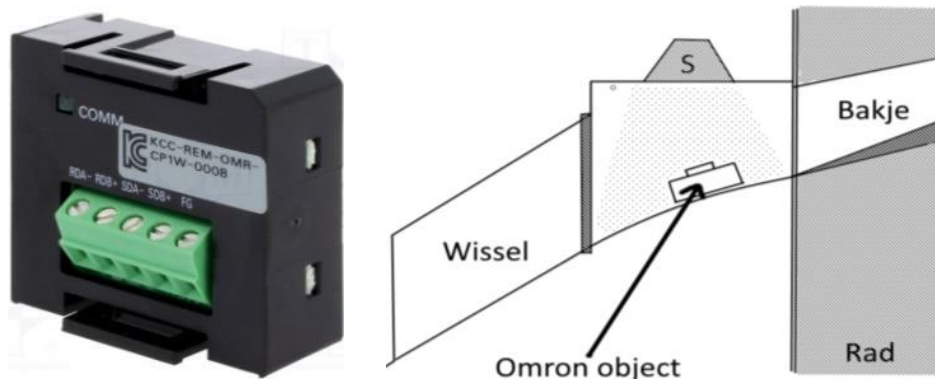
Tabel 6 - Reuzenradtest

8.4 Oriëntatiesensorentest

In het systeem maakt men onderscheidt tussen twee verschillende functies voor de sensoren: sensoren om te bepalen waar één van de goederen zich bevindt (of dat er überhaupt één of meerdere goederen op de desbetreffende plek bevinden) en sensoren die bepalen wat de oriëntatie van een goederobject is (gebruikt bij de wissel en het draaiplateau). Voor de positiesensoren wordt er een infrarood sensor toegepast, die middels TRUE (hoog) of FALSE (laag) een signaal doorgeeft aan de terminal. Een kwestie van aanwezig of niet aanwezig. Een oriëntatiesensor daarentegen vergt meer aandacht: deze moet de ligging van een object kunnen achterhalen, zodat de PLC een motor kan aansturen indien het object niet goed ligt. Hierbij dient het signaal afkomstig van de sensor als terugkoppeling.

Het object bevat, zoals hiernaast te zien is, twee openingen (1 groot en 1 klein) aan de bovenzijde. Hiermee kan de oriëntatie in het *XY-vlak worden vastgesteld. Om de *YZ oriëntatie te kunnen vaststellen, kan er gebruik worden gemaakt van de witte sticker, dat volgens de opdrachtgever altijd op het object aanwezig is. De andere zijde bevat deze sticker niet. Door de baan waarover het object glijdt zwart te maken, kunnen de infrarood sensoren een foutief georiënteerd object snel herkennen. Een goed georiënteerd object hoeft geen signaal uit te zenden, als de PLC de wissel enkel omzet bij

een witte sticker en anders niet. Voor beide toepassingen zijn infrarood sensoren geschikt, waardoor aan het advies van de opdrachtgever (liever lichtsensoren dan visie) wordt voldaan. Twee testen moeten vaststellen of deze twee mogelijkheden ook daadwerkelijk werken, alvorens ze worden toegepast in het uiteindelijke systeem. Onderstaande twee tabellen bevatten de testresultaten.



Figuur 18 - Omron goederobject met daarnaast schematische weergave infrarood sensor S en wisseloverdracht

Specificatie		Test				
Module	Probleem	Methode	Verwachting Min.	Max.	Gemeten	(On)voldoende O/V/G
Oriëntatiesensor IR	Goederen te snel voor sensor/niet duidelijk zichtbaar.	IR met zicht op goederen over steile baan.	Object niet herkenbaar en dus verkeerde actie.	Object meestal herkenbaar en dus goede actie.	Object meestal herkenbaar.	V
Oriëntatiesensor IR	Positie niet af te lezen/niet in gezichtsveld.	IR met zicht op draai-plateau.	Object niet herkenbaar en dus verkeerde actie.	Object herkenbaar en dus goede actie.	Nog niet getest...	???
Is module geschikt?	Deze module is ten tijde van schrijven nog niet 100% getest. Er is gebleken dat de sensoren wel degelijk herkennen of een goederobject aanwezig is of niet, maar dat hier wel een handmatige afstelling van de sensoren voor noodzakelijk is. Aangezien de sensoren middels een ingebouwde potentiometer handmatig zijn af te stellen, is dit dus geen probleem. Ondanks de snelheid die de goederobjecten krijgen door een hoek van 25 graden, worden de goederobjecten wel opgemerkt. Er is nog niet getest of de sensoren goed functioneren bij oriëntatieherkenning, laat staan deze herkenning bij hoge snelheid nabij de wissel. Dit dient nog te worden gedaan.					

Tabel 7 – Infrarood sensor test

8.5 Evaluatietests uitgevoerd op het eindproduct

Onderstaande tabel is een algemene evaluatie op alle eisen die vooraf zijn opgesteld ansicht. Er wordt enkel en alleen gekeken of het desbetreffende (sub)systeem voldoet aan de eisen (en dus functioneert) en of er aanpassingen noodzakelijk zijn, welke dat zijn en of deze aanpassingen ervoor hebben gezorgd dat het subsysteem nu wel voldoet. Voldoet hoofddoel 1 aan alle eisen?

Specificatie					
#	Subsysteem beschrijving	Voldoet systeem aan eis? O/V	Eventuele (probleem) beschrijving	Evt. aanpassing	Voldoet systeem aan eis na aanpassing? O/V
R01	Spiraallift	V	Volgens de bouwtekeningen is aan deze eis gehouden.	N.v.t.	N.v.t.
R02	Eindbakje	???	Nog niet kunnen testen...	N.v.t.	???
R03	Hele systeem	???	Nog niet kunnen testen...	N.v.t.	???
R04	Framewerk	~	Het frame met daarin alle onderdelen valt binnen de opgestelde grenzen, maar de spiraallift is hoger dan 1 meter. Deze kan niet kleiner.	N.v.t.	N.v.t.
R05	Terminals PLC	V	Na uitvoeren van tests is de Beckhoff PC als master verbonden aan de terminals van het feederstation. Test geslaagd.	N.v.t.	N.v.t.
R06	Hele systeem	???	Nog niet kunnen testen...	N.v.t.	???
R07	Hele systeem	O	Er zijn ten tijde van schrijven nog geen plannen hiervoor. Wordt als aanbeveling toegevoegd.	N.v.t.	N.v.t.
R08	Exterieur	O	Er zijn ten tijde van schrijven nog geen plannen hiervoor. Wordt als aanbeveling toegevoegd.	N.v.t.	N.v.t.
R09	Hele systeem	???	Nog niet kunnen testen...	N.v.t.	???
R10	Exterieur	V	Volgens bouwtekeningen is met deze eis rekening gehouden.	N.v.t.	N.v.t.
R11	Terminals PLC	V	Noodstop is aanwezig, zowel fysiek als digitale variant.	N.v.t.	N.v.t.
R12	Hele systeem	V	Volgens bouwtekeningen is hier rekening mee gehouden.	N.v.t.	???
R13	Koeling	~	Er was van tevoren gedacht dat de sleufopeningen voldoende zouden zijn. Na een stresstest van de terminals en 24V voeding, blijkt dat deze na afloop lichtelijk warmer werden.	Extra passieve koeling: glijbaan 1 is voorzien van kleine spleten voor voldoende airflow (extra).	V
R14	Hele systeem	???	Volgens bouwtekeningen voldoet het hele systeem aan de eis van de afmetingen. Dit is echter nog niet met alle bewegende elementen getest.	N.v.t.	???

R15	Hele systeem	???	Volgens de bouwtekeningen is vervanging eenvoudig. De realiteit moet dit wel bevestigen, alvorens deze eis kan worden goedgekeurd.	N.v.t.	???
R16	Hele systeem	V	Er is ten tijde van ontwerpen rekening gehouden met een speling van 20 mm. In de bouwtekeningen is deze speling groter dan 20 mm.	N.v.t.	N.v.t.
R17	Framewerk	V	De berekeningen tonen aan dat de wielen en het framewerk bestand zijn tegen het gewicht van alle onderdelen.	N.v.t.	N.v.t.
Hoofddoel 1 voltooid?		Op een aantal punten is uit tests en ontwerpen gebleken dat het systeem zal gaan functioneren. Een aantal tests zijn helaas nog niet uitgevoerd door vertraging van bestellingen en daarmee vertraging van de bouw. Ten tijde van schrijven kan dus nog geen conclusie worden getrokken of hoofddoel 1 voltooid is.			

Tabel 8 - Evaluatietest resultaten mechanisch en elektrisch

Onderstaande tabel gaat in op hoofddoel 2. Heeft het onderzoek tot resultaten geleidt? Zo ja, welke? En is er hierdoor de mogelijkheid om EtherCAT te implementeren in het systeem? Zo ja, is dit dan gelukt? Deze vragen komen in onderstaande tabel aan bod.

Specificatie			
#	Punt	Ja/Nee	Extra notitie
01	Onderzoek toont aan dat EtherCAT geschikt is	Ja, maar met opmerkingen.	Hoewel er tientallen terminals zijn, is er geen een geschikt voor een simpele RGB LED. Daarnaast zijn de terminals relatief zeer duur (gemiddeld 200 euro per stuk) en is er voor de beginnende programmeur weinig hulp: er zijn nauwelijks tutorials voor o.a. aansluiten en mogelijkheden. Tenslotte kunnen de terminals niet goed functioneren als het opstellen van een realtime verbinding via EtherCAT onmogelijk is. Hiervoor heeft men namelijk een netwerkkaart met Intel gebaseerde chips nodig. Desalniettemin is EtherCAT snel en betrouwbaar als de juiste terminals op de juiste manier zijn aangesloten op producten van Beckhoff zelf.
02	Wordt CODESYS aangeraden voor het gebruik bij Beckhoff terminals.	Nee	CODESYS is geschikt voor het werken met Beckhoff terminals, indien de juiste bibliotheken zijn geïnstalleerd (aangeboden door Beckhoff zelf). CODESYS kan een voordeel opleveren op gebied van overzichtelijkheid. Desondanks is TwinCAT 3 een betere optie, gezien de mogelijkheden die het bevat om simpeler te kunnen programmeren.
03	TwinCAT 3 is geschikt voor het gebruik van Beckhoff terminals.	Ja	TwinCAT 3 is voor de beginnende PLC programmeur erg onoverzichtelijk door de enorme keuze aan mogelijkheden. Toch is TwinCAT door eigen extensies eenvoudig om mee te

			programmeren en is een verbinding opzetten tussen master en slaves kinderspel, door o.a. de ingebouwde scan op aangesloten terminals.
04	Standaard laptop van student is geschikt voor het gebruik van EtherCAT.	Nee	Hoewel het mogelijk is om de iedere laptop waar TwinCAT 3 op staat te koppelen aan een Beckhoff master PC, is het niet mogelijk om alle soorten laptops direct als master te gebruiken. Dit is enkel mogelijk als de netwerkkkaart van de laptop voorzien is van Intel gebaseerde chipsets.
05	EtherCAT is fysiek geïnstalleerd op het feederstation.	Nee	Het systeem is getest met de testobjecten en de motoren en IR sensoren, maar doordat het feederstation fysiek nog niet af is, kan dit punt nog niet worden voltooid.
Hoofddoel 2 voltooid? Ja, er is onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van EtherCAT. Hieruit is gebleken dat (onder bepaalde voorwaarden) EtherCAT prima dienst kan doen als het brein en handelen van het feederstation. Er moet wel worden gezegd dat het systeem duur is om eenmaal goed te werken, het voor beginnende gebruikers erg onoverzichtelijk is en er weinig heldere documentatie en informatie over te vinden is. Desalniettemin is EtherCAT eenmaal werkend soepel, betrouwbaar en biedt het vele mogelijkheden. De toepasbaarheid van meerdere slaves op één master is niet getest, maar biedt hiermee nog meer mogelijkheden, vooral bij het gebruik van een mini-fabriek.			

Tabel 9 - Evaluatietest resultaten onderzoek EtherCAT en software

9. Evaluatie en aanbevelingen

Hoofdstuk 9 geeft een korte reflectie op de resultaten uit hoofdstuk 8 en geeft op basis van voorgaande gegevens enkele aanbevelingen aan volgende gebruikersgroepen.

9.1 Evaluatie van de resultaten en aanbevelingen

De tests zijn ten tijde van schrijven nog niet allemaal uitgevoerd. Vandaar dat in deze paragraaf enkel op de tests die wel zijn afgerond wordt ingegaan. Aan het begin van de ontwerpfase waren de spiraallift en de transportband elementen die veel onderzoek nodig hadden, alvorens deze werden toegepast in het officiële systeem. De spiralen waren nieuw en konden niet ergens worden zomaar besteld. De uitvoering is gebaseerd op de diagonale vijzels die worden gebruikt om hoger gelegen wateren met lage wateren te verbinden. In deze uitvoering zijn de spiralen verticaal geplaatst, zodat er zo veel mogelijk ruimtebesparing is. Dat er gekozen is voor twee gespiegelde spiralen, heeft te maken met het feit dat er nu goederen, in plaats van een vloeistof omhoog moet.

Uit de tests bleek dat ondanks de nieuwe toepassing, het ontwerp naar behoren functioneert. Het materiaal PET G is sterk en glad genoeg gebleken om voor een mechanische toepassing in te zetten. Het maken van deze spiralen middels een 3D printer biedt tijdbesparing en geeft een goed en licht eindresultaat met de gevraagde specifieke afmetingen.

Aanbeveling 1: voor het huidige systeem kan als aanbeveling worden meegegeven, om voor het opvulmateriaal te kiezen voor een oplosbaar materiaal. Hiervoor is PVA erg geschikt, daar dit 3D printmateriaal oplost in water. Een nadeel is dat dit minimaal twee keer zo duur is als PET. Het is dan ook de vraag of PVA opweegt tegen de kosten en een simpele vijl met gewoon PET materiaal.

Uit de tests met de transportband is besloten om een bolvormige vernauwing te gebruiken, daar de goederen niet blijven hangen. Bij de blokvormige vernauwing hadden de goederen de neiging om 45 graden te draaien en zo te blijven steken bij de nauwe doorgang. Deze doorgang is zo nauw, aangezien de goederen zo enkel maar één lijn kunnen vormen. De bolvormige vernauwing zorgt dat de goederen recht voor de nauwe doorgang komen te liggen en vanaf daar niet meer kunnen draaien.

Aanbeveling 2: het is handig om gebruik te maken van materiaal dat óf slijtbestendig is, óf makkelijk te vervangen is. In het feederstation is gekozen om de vernauwing te maken uit PET-blokken, die na verloop van tijd makkelijk kunnen worden vervangen, zonder dat de gehele transportband-module eruit hoeft te worden gehaald.

Het EtherCAT onderzoek heeft aangetoond dat het protocol goed is toe te passen in een machine als het feederstation. Bijbehorende software TwinCAT 3 bevat vele mogelijkheden en is voor ervaren gebruikers een uitkomst door de aanwezigheid van uitbreidingssets, zoals “motion”. Een toevoeging hierop is dat deze uitbreiding zeer handig is bij het gebruik van meerdere stappenmotoren die als toepassing een coördinaat moeten aansturen. Het zogeheten “motion NGN” kan bijvoorbeeld voor 3D printers worden ingezet. Waar normaal veel wiskundige formules en coderingen noodzakelijk zijn, biedt TwinCAT met motion NGN simpele functieblokken die enkel moeten worden ingevuld met specifieke waarden. In dit verslag wordt hier niet verder op ingegaan, daar het feederstation niet gebruik maakt van meerdere stappenmotoren op één coördinatenstelsel.

Aanbeveling 3: doordat TwinCAT veelzijdig is, is het voor de beginnende gebruiker een lastige programmeeromgeving. Het wordt aangeraden om de tutorialpagina van de site “contactandcoil.com” te bekijken, alvorens men de documentatie per terminal en onderdeel van Beckhoff zelf bekijkt. Beckhoff is voor beginnende programmeurs te specifiek, terwijl ContactandCoil de gebruiker laat kennismaken met mogelijkheden en deze stap voor stap met afbeeldingen uitlegt. Ten tijde van schrijven van dit verslag is de auteur bezig met een korte Nederlandstalige gebruikersgids, waar handige tips en duidelijke oplossingen voor vage problemen worden beschreven. Ook in oplossingen voor foutmeldingen schiet Beckhoff namelijk te kort: een foutmelding in Beckhoff kan al gauw meerdere redenen (en daarmee ook gelijk meerdere oplossingen) hebben. Soms staan alle redenen niet opgenoemd, waardoor de programmeur gebruik moet maken van diverse fora en hulpsites op internet.

Een kenmerkend nadeel van Beckhoff, is dat er in de meeste gevallen het beste met alleen apparatuur van Beckhoff kan worden gewerkt, om storingen te voorkomen. Dit kan veel kosten met zich meebrengen.

Aanbeveling 4: kies eerst terminals voordat men randapparatuur zoals motoren aanschaft. Voor sommige terminals betaalt men ongeveer 30 euro (simpele digitale I/O poorten), terwijl terminals voor stappenmotoren al gauw 220 euro of meer kosten. Bedenk eerst of er dan bijvoorbeeld gebruik kan worden gemaakt van DC-motoren, in plaats van stappenmotoren. Hetzelfde geldt voor servomotoren t.o.v. stappenmotoren. Het loont om eerst contact te maken met de helpdesk van Beckhoff. Medewerkers kunnen de actuele prijzen geven en aanbevelingen geven voor de juiste apparatuur voor het te maken systeem.

De laatste aanbevelingen die worden beschreven zijn er om meer mogelijkheden te bieden aan toekomstige gebruikers van het feederstation en technici die een machine middels het EtherCAT protocol dienen te ontwerpen, bouwen en programmeren. Deze staan in de onderstaande tabel.

Aanbevelingen		
#	Punt	Verklaring
05	Extra functie: deuren in spiraallift	Om de spiraallift voor andere projecten optimaal te benutten, kan men “deuren” in de lift maken. Deze deuren onderbreken in feite de geleidingsrails van de goederen, zodat er meerdere verdiepingen kunnen worden gemaakt. Handig indien er meerdere glijbanen/eindbakjes op één lift dienen worden te gemonteerd.
06	Noodstop-terminal in systeem	Beckhoff biedt noodstopterminal, zoals de EL1904. Deze zijn conform de veiligheidsnormen en sluiten de aangelegene terminals van de elektriciteit af, dien een ingang op deze terminal hoog wordt.
07	Doorzichtige voorplaat	Middels plexiglas kan men een zijde van het feederstation voorzien voor een doorkijkraam. Dit biedt een mooie kijkervaring voor het publiek, wat de demonstratie mogelijkheden vergroot.
08	Materiaal corrosiebehandeling	Ondanks dat aluminium niet kan roesten, kan er wel corrosie optreden. Door het plaatwerk te polijsten of te coaten wordt dit nadeel teniet gedaan.

09	Fontys-logo op exterieur	Er bestaat de mogelijkheid om het Fontys-logo en/of het lectoraat-logo op de machine te plaatsen. Hierdoor wordt er op demonstraties gelijk reclame gemaakt voor het bedrijf, wat meer belanghebbenden kan trekken.
10	Waarschuwingspictogrammen	Het feederstation is zo veilig mogelijk gemaakt. Desondanks kan bij iedere machine gevaar optreden en dienen ze altijd door ervaren gebruikers te worden bedient. Waarschuwingspictogrammen kunnen gebruikersgroepen vroegtijdig attenderen op gevaar.
11	RGB strips onderzijde station	Ter decoratie kan het feederstation worden voorzien van RGB LED strips. Hoewel de strips weinig praktisch nut bieden, kan het kleine feederstation hierdoor wel opvallen tegenover de grotere machines. De ruimte hiervoor aan de onderzijde van het station is in ieder geval aanwezig.

Tabel 10 - Aanbevelingen als mogelijkheden

9.2 Leerdoelen: meer inzicht in beroepsvaardigheden gekregen?

Voordat de stagiaire aan de stage begon, waren de volgende leerdoelen opgesteld:

- Stage lopen in een kleine werkomgeving, zodat er overzicht is op werkgever en opdracht. Hierdoor is er meer aandacht voor de opdracht en de structuur van werkgever/werknemer.
- Voornamelijk een mechanisch probleem oplossen, waarbij 3D tekenen aan bod komt. Hierdoor kan de stagiaire zich beter op dit interessegebied door ontwikkelen.
- Meer kennis opdoen van PLC technologie, vandaar de keuze voor de stage.

De stageperiode is ten tijde van schrijven bijna ten einde. Gedurende de stage is aan bovenstaande leerdoelen gehouden. De kleine werkomgeving zorgde voor een duidelijke communicatiestructuur. Problemen en ondervindingen werden direct met de opdrachtgever besproken en afgehandeld. Er is ook gebleken dat een grotere omgeving snel een nadeel kan bieden: bestellingen liepen enorme vertraging op, doordat er toentertijd meerdere projectgroepen liepen. De vertraagde bestellingen hebben ervoor gezorgd dat het feederstation mechanisch gezien niet af is gemaakt.

Er is daarentegen wel onderzoek gedaan naar EtherCAT en vooral mechanische mogelijkheden om het feederstation weer werkend te krijgen. Hierbij heeft 3D tekenen veel geholpen: door eerst in SketchUp een paar globale mogelijkheden vast te leggen en in SolidWorks het definitieve systeem te ontwerpen met bouwtekeningen, is de werking van het station duidelijk voorgelegd aan de opdrachtgever. Hierdoor kon laatstgenoemde snel hulp bieden bij problemen en passende mogelijkheden bieden aan de stagiaire. De stagiaire heeft ten slotte ook veel kennis opgedaan van mechanische eigenschappen, PLC-techniek en tips bij het 3D tekenen van medestagiaires en medewerkers. De kleine werkomgeving maakte deze communicatie beter mogelijk.

10. Conclusie

Dit laatste hoofdstuk gaat in op de conclusie voor zowel de opdracht als de leerdoelen.

Concluderend: zijn de hoofddoelen bereikt? Ja en nee. Het feederstation is door de te late levering van de bestellingen niet afgemaakt. Hoofddoel 1: maak het feederstation functionerend, is dus ten tijde van schrijven niet voltooid. Desondanks zijn er veel mogelijkheden opgesteld en getest. Hieruit zijn 3D tekeningen gemaakt en daaruit een bouwtekening-stappenplan. Alle noodzakelijke bestellingen zijn afgerond en men dient alleen te wachten op de laatste leveringen, zodat het station uiteindelijk alsnog kan worden afgebouwd.

Daarnaast heeft onderzoek met EtherCAT naast de vraag over de toepasbaarheid van het protocol, ook de vraag hoe het protocol geïmplementeerd kan worden beantwoord. EtherCAT kan (onder enkele voorwaarden) inderdaad worden geïmplementeerd in het feederstation. Een flowchart met de werking van de software is opgenomen in de bijlagen van dit verslag.

Er wordt na dit schrijven door de stagiaire doorgewerkt aan het feederstation tot einde van de stageperiode. Hierna wordt er gekeken naar een regeling dat de stagiaire als medewerker-student kan doorgaan aan het project. Regelingen hierbij zijn ten tijde van schrijven nog niet bekend. Wel kan worden geconcludeerd dat de student veel kennis heeft opgedaan van de opdracht en de beroepsvaardigheden.

Bibliografie

Deze lijst is onder te verdelen in 3 delen: bronnen voor de verslagstructuur, inhoudelijke gegevens en voor bronnen voor de figuren. De verslagstructuur is in het algemeen afkomstig van de reader voor semester 5 en 8 [9]. Onder figuren wordt verstaan: afbeeldingen en grafieken. Stijl: IEEE 2006.

Bronnen voor verslagstructuur en inhoudelijke gegevens

- [1] K. v. Bommel, C. Geurts, A. v. d. Bosch, Y. v. d. Bosch, E. Buijs, J. v. Driel, T. Laugs en B. Sripanha, „EINDVERSLAG EXPO_03 FEEDERSTATION 4.0,” Fontys Hogeschool Engineering, Eindhoven, 2017.
- [2] Fontys Hogeschool Lectoraat Mechatronics & Robotics, „Kenniscentrum Robotics and high tech Mechatronics | Fontys,” Fontys Hogeschool engineering, 2017. [Online]. Available: <https://fontys.nl/Over-Fontys/Fontys-Hogeschool-Engineering-en-Automotive-2/Lectoraat-Mechatronics-and-Robotics.htm>. [Geopend Oktober 2017].
- [3] F. Hogescholen, „Fontys Hogescholen | Wikipedia,” Fontys, 25 Oktober 2017. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Fontys_Hogescholen. [Geopend Oktober 2017].
- [4] P. Rook, „Controlling software projects,” *Software Engineering Journal* 1, Vols. %1 van %2Volume 1 Issue 1, Jan. 1986, nr. Software Engineering Journal 1, pp. 7-16, 1986.
- [5] K. v. Bommel, C. Geurts, A. v. d. Bosch, Y. v. d. Bosch, E. Buijs, J. v. Driel, T. Laugs en B. Sripanha, „BIJLAGEN BOEK EINDVERSLAG EXPO_03 FEEDERSTATION 4.0,” Fontys Hogeschool Engineering, Eindhoven, 2017.
- [6] M. Rostan, Y. Liu, J. Huan en W. Xiao, „Real-time industrial ethernet ethercat communication control”. Verenigde Staten Patent US 8060677 B2, 15 Nov. 2011.
- [7] EtherCAT, „EtherCAT | Wikipedia,” Beckhoff Automation GmbH, 20 Sept. 2017. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/EtherCAT>. [Geopend Oktober 2017].
- [8] R. Hulsebos, „Beckhoff EtherCAT als beste industrieel Ethernet protocol - EtherCAT in de praktijk,” Beckhoff Nederland, [Online]. Available: <http://www.beckhoff.nl/beckhoff.nl/dutch/applicat/ketels.htm>. [Geopend Oktober 2017].
- [9] EtherCAT Technology Group, „EtherCAT FAQ's,” 18 12 2008. [Online]. Available: http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjio9_50iHYAhVli8AKHV9DDcyQFgg8MAI&url=http%3A%2F%2Fwww.ethercat.org%2Fpdf%2Fenglish%2Fethercat_faqs.pdf&usg=AOvVaw1Et-cKqNYwZhT1ZPH7c1WD. [Geopend 12 2017].
- [10] Zarges B.V., „Voordelen van aluminium | Zarges,” Zarges B.V., [Online]. Available: <http://www.zarges.com/nl/de-onderneming/zarges-producten-en-prententies/voordelen-van-aluminium/>. [Geopend Oktober 2017].
- [11] N. Nijsten-Walters, „Semestergids 5 - Stage en 8 - Afstuderen,” Fontys Hogeschool Engineering, Eindhoven, 2016.
- [12] TME Electronic components, „CP1W-CIF11 - OMRON - Module: expansion | TME Electronic components,” Omron, [Online]. Available: <https://www.tme.eu/gb/details/cp1w-cif11/plc-drivers/omron/>. [Geopend oktober 2017].

Bronnen van enkele figuren

- [Figuur 1] N. Nijsten-Walters, „Semestergids 5 - Stage en 8 - Afstuderen,” Fontys Hogeschool Engineering, Eindhoven, 2016.
- [Figuur 3] A. VO, „Software Development Process Model: V-Model XT (Vorgehensmodell XT) - Anh Vo,” 19 November 2016. [Online]. Available: <https://anhvnn.wordpress.com/2016/11/19/software-development-process-model-v-model-xt-vorgehensmodell-xt/>. [Geopend 21 Januari 2018].
- [Figuur 18] TME Electronic components, „CP1W-CIF11 - OMRON - Module: expansion | TME Electronic components,” Omron, [Online]. Available: <https://www.tme.eu/gb/details/cp1w-cif11/plc-drivers/omron/>. [Geopend oktober 2017].

NB: Alle overige figuren, tabellen en gegevens zijn afkomstig van testen, berekeningen, ontwerpen en ondervindingen van de auteur van dit verslag. Wijzigingen onder voorbehoud.

Symbolen en begrippenlijst

*In dit hoofdstuk worden de begrippen met een *-teken kort gedefinieerd. Deze manier van verwijzen is gekozen, aangezien de woorden hier op alfabetische volgorde staan en er anders verwarring ontstaat met de verwijzingen naar de gebruikte bronnen en figuren in het verslag.*

Begrip	Definitie
Actieve koeling	Middels een ventilator het desbetreffende component koelen. Tegenovergestelde van passief koelen.
AGV	Afkorting van Automatisch Geleid Voortuig. Een robot die zelfrijdend (middels sensoren, draadgeleiding, navigatie of voorgeprogrammeerd) een traject afgaat. Laatste tijd veel te vinden in de logistiek, maar ook al voor particulier gebruik of entertainment (attracties).
Beckhoff	Ook wel Beckhoff Automation genoemd. Duits bedrijf, gespecialiseerd in het maken van automatiseringstechnologie. Bekend van het uitvinden van o.a. EtherCAT.
CODESYS	Ontworpen door het Duitse softwarebedrijf 3S. CODESYS is een ontwikkelomgeving voor het programmeren van industriële automatisering. Er kan o.a. worden geprogrammeerd in de programmeertalen Instruction List en Ladder Diagram .
Coomach	Bedrijf uit Nederweert, gespecialiseerd in het leveren van aluminium profielsystemen in diverse vormen en maten. In de context wordt vaak gesproken over Coomach-profielen. Hoewel Coomach ook Bosch compatible profielen levert, wordt in dit project gebruik gemaakt van ITEM compatible profielen. Beide bedrijven maken multifunctionele profielen die modulair kunnen worden opgebouwd.
DC motor	Een gelijkstroommotor, waarbij elektrische energie middels een magnetisch opgewekt veld wordt opgezet in beweging.
EK1101	Een kopstation van Beckhoff met een instelbaar adres, zodat de aangesloten terminals middels ethernet aan de master worden gekoppeld. De EK1101 bevat tevens een handmatig instelbaar ID adres.
Embedded technologie	Studie die zich bezighoudt met elektronische systemen (hardware en software) die een desbetreffend gebruiksvoorwerp “slimmer” kunnen maken. Lijkt op een elektronisch regelsysteem, maar processoren/controllers i.c.m. software nemen deze taak over.
EtherCAT	Een veldbus-systeem, gebaseerd op ethernet en uitgevonden door Beckhoff. Kenmerken zijn een snelle cyclustijd en lage hardware kosten (eenvoudige configuratie, implementatie en infrastructuur, dus geen dure montage en onderdelen) [10].
EXPO project (Fontys)	Benaming van projecten in het tweede leerjaar voor een opleiding van Fontys Engineering. De duur is meestal een kwartaal (iets meer dan 2 maanden), maar kan in overleg worden verlengd.
Feederstation	Het te maken systeem voor deze stageopdracht. In deze context is een feederstation een machine die een lading goederen binnenkrijgt (door bijvoorbeeld een AGV) en deze goederen stuk voor stuk met gelijke oriëntatie aan een vervolg robot (zoals een UR5 robot) moet aanbieden.
Gyroscoop	In deze context: een object of platform dat middels specifieke ophanging in 3 dimensies vrij kan bewegen. Een gyroscoop kan bijvoorbeeld voor het feederstation worden gebruikt om de complete oriëntatie van goederen aan te passen waar nodig.
Hoogte-energie	In de natuurkunde bekend als potentiële energie. Simpel gezegd: hoe hoger een voorwerp op Aarde staat, hoe hoger de potentiële energie ervan. Deze energie kan middels vallen worden omgezet in bewegingsenergie, waardoor verplaatsing (of transportatie) ontstaat. Hierdoor is een actieve aansturing (door bijvoorbeeld een motor) niet nodig en is het systeem eenvoudig in software en verbruikt het minder energie.

Industrie 4.0	De nieuwste generatie van automatiseringstechnologie. Kan worden ingezet in een smart-fabriek. De grens tussen hardware en software is relatief klein geworden en mechanismes worden aangestuurd en gecontroleerd door algoritmes. De eerste generatie was mechanisatie en stoomkracht, de tweede generatie massaproductie (assemblage lijn) i.c.m. elektriciteit en de derde generatie computers en automatisering.
Lichtsensoren (LDR)	Een lichtgevoelige weerstand, die afhankelijk van de hoeveelheid licht die erop valt, een variabele weerstandswaarde heeft (afhankelijk van het materiaal waaruit de LDR is opgebouwd). Dit verschil in weerstand kan worden uitgelezen door bijvoorbeeld een PLC, die daardoor een ander element kan aansturen (terugkoppeling).
Lineaire motor	In feite een motor zonder roterend element, maar wel een beweging in een lijn door twee verschillende magneetvelden (de een vaak opgewekt door een magneet, de ander door elektrische spoelen), net zoals bij een gewone motor met rotor. Is nauwkeuriger en duurzamer dan gewone motoren, maar ook gelijk duurder.
Mechatronica	Studie, waarin werktuigbouwkunde, elektrotechniek, technische informatica en regeltechniek gecombineerd worden tot één studiepakket.
Methodologie	Die methode die wordt toegepast om tot een goed eindresultaat te komen. Voorbeelden zijn het watervalmodel en het V-model.
Omron	Japans technologiebedrijf dat de laatste jaren zich specialiseert in het ontwikkelen van automatiseringstechnieken. Voor de stageopdracht wordt vooral uitgegaan van producten van Omron, met afmetingen van 35,7x35,7x16,6 mm.
PLC	Staat voor Programmeerbare Logische Controller. Bevat een microprocessor en vaak meerdere in- en uitgangen. Door de inkomende waardes kan de PLC de uitgaande waardes aansturen. Een PLC wordt vaak toegepast bij geautomatiseerde machines.
Pantograaf	In deze context: een verstelbaar parallellogram, waarbij in het project een cirkelbeweging (door bijvoorbeeld een stappenmotor) door een specifieke constructie kan worden omgezet in een ovaalbeweging. Een andere naam voor zo'n toepassing is "tekenaap".
Passieve koeling	Bij koelen komt geen ventilator aan te pas. Een object kan o.a. bij passieve koeling door statische koelvinnen worden gekoeld. Tegenovergestelde van actief koelen.
Servomotor	Speciale motor die geschikt is voor een specifieke draaihoek.
SLB-er	Voluit: studieloopbaanbegeleider. Persoon die een student op school begeleidt bij zijn/haar studievoortgang. Vroeger mentor genoemd.
*Spindel	In deze context: een as, voorzien van schroefdraad, waarover een omhulsel (ook voorzien van schroefdraad) kan voortbewegen. Door de spindel te roteren en het omhulsel niet te laten roteren, kan het omhulsel door een roterende beweging, lineair over de spindel verplaatsen.
Stappenmotor	Borstelloze elektromotor die nauwkeurig in stappen van x aantal graden kan draaien. Kan koppel leveren als deze stil staat, afhankelijk van de aansturing van de motor.
TwinCAT	Programmeeromgeving met PLC talen, gemaakt door en geschikt voor Beckhoff.
UR5 robot	Een lichte, flexibele, automatische robotarm gemaakt door Universal Robots. Deze versie is belastbaar tot 5 kilogram (vandaar het getal 5).
Vijzel	In het verslag vaak spiralen genoemd. Een transportatiemiddel voor (vaak) vloeibare stoffen, gebaseerd op de schroef van Archimedes. Een schroef in een schuin staande buis zorgt door de roterende beweging dat de vloeistof omhoog wordt getransporteerd. In dit stageproject is de werking hetzelfde, maar de uitvoering anders: twee gespiegelde vijzels staan verticaal naast elkaar en vervoeren van goederen.
XY-vlak	In deze context: een 2D vlak evenwijdig aan een vlakke grond.
YZ-vlak	In deze context: een 2D vlak loodrecht verticaal op een vlakke grond.

Tabel 11 - Symbolen en begrippenlijst

Bijlagen

Dit laatste stuk van het verslag bevat de bijlages. Figuren/tabellen en andere gegevens die weinig uitleg vereisen en ook los gelezen kunnen worden maar veel ruimte innemen, zijn voor het gemak en de overzichtelijkheid voor de lezer hier opgenomen. O.a. de planning, tekeningen, schema's en berekeningen zijn hier terug te vinden.

In dit hoofdstuk zijn de volgende bijlagen toegevoegd:

A. Originele opdrachtomschrijving	Oorspronkelijke probleem- en doelstelling
B. Urenverantwoording en dagenlogboek	Houdt bij wat de student heeft gedaan.
C. Projectplanning	De bijgewerkte planning voor het project.
D. Bouwtekeningen	Tekeningen afkomstig uit SolidWorks
E. Berekeningen	Uitwerkingen voor de constructies.
F. Elektrische schema's	Aansluitschema's van onderdelen.
G. Software flowchart	Visuele weergave van de software-kant.
H. Software code	Daadwerkelijk gebruikte software code.
I. Datasheets	Enkele datasheets van componenten
J. Risicoanalyse	Mogelijke risico's worden behandeld.
K. Morfologisch schema	Mechanische en elektrische keuzes.
L. Informatie e-bus terminals	Info over aanwezige en benodigde terminals
M. Officiële Fontys stage formulieren	Dagen, beoordeling en originaliteitsverklaring

A. Originele opdrachtomschrijving

Deze eerste bijlage bevat de originele opdrachtomschrijving die de stagiaire alvorens te kunnen beginnen aan de stage, ter goedkeuring heeft moeten inleveren.

Bijlage bij formulier 4 – t.a.v. stageopdracht Italo Baltus bij Fontys Lectoraat Mechatronica en Robotica

- Over het bedrijf
Fontys Hogescholen is een scholengemeenschap die zich richt op onderwijs op HBO niveau. Deze instelling bestaat uit meerdere instituten, o.a. gevestigd in Tilburg, Eindhoven en Venlo en biedt studenten verschillende studies aan, waaronder Mechatronica. Naast het aanbieden van studies bestaat de organisatie ook uit diverse lectoraten waar onderzoek wordt gedaan ten gunste van het desbetreffende vakgebied. Het lectoraat 'Mechatronica en robotica' werkt zo samen met bedrijven aan ontwikkelingen van robotica en Mechatronica.
- Welke producten/diensten worden er gemaakt, voor welke markten?
Er worden studies aangeboden aan studenten en er wordt onderzoek gedaan ten gunste van het desbetreffende vakgebied, studenten en bedrijven die samenwerken aan een specifieke opdracht, zodat deze weer snel en gemakkelijk nieuwe kennis kunnen opdoen.
- Betrokken partijen
In principe wordt er een samenwerking aangegaan met de stagiaire en het lectoraat Mechatronica & Robotica van Fontys Hogeschool te Eindhoven. Hoewel er meerdere bedrijven vaak samenwerken met het lectoraat, zijn deze ten tijde van schrijven nog niet bekend. Wel is bekend dat het bedrijf van Omron een samenwerking is opgezet om onderdelen binnen de productielijn te automatiseren met robots en AGV'S, die een rol gaan spelen gedurende de stage.
- De opdracht/huidige situatie
Om de producten van AGV naar een bruikbare positie te brengen voor de robot is er een feederstation ontwikkeld door tweedejaars studenten. Het feederstation moest producten van Omron naar een bepaalde positie kunnen brengen waardoor een UR5 robot in staat is om deze producten op te pakken vanaf een vaste positie. Doordat de levering van enkele producten is vertraagd, is het feederstation nooit compleet afgebouwd en werkend gemaakt. Het doel van de stageopdracht is om de feederstation door te ontwikkelen zodat deze gebruikt kan worden binnen het lectoraat. De belangrijkste ontwikkelingen die nog aan het feederstation gedaan moeten worden zijn:
 - De onderdelen van de feederstation zijn besteld maar nog niet gemonteerd.
 - De elektronica is niet getest:
 - Bedrading is niet aangesloten
 - Er is geen software
 - Staalplaten aan de buitenkant zijn nu scherp en gevaarlijk. Hier moet een veilige oplossing voor komen.
- Probleemstelling
Hoe kan het desbetreffende feederstation worden afgebouwd en doorontwikkeld, om goederen, aangeleverd door een AGV, naar een bruikbare positie te brengen?
- Doel/resultaat
Om de stageopdracht voor de gegeven deadline (voor 1 februari) af te ronden, wordt verwacht:
 - Dat het feederstation functioneert (m.a.w. doet wat er wordt verwacht en dat bovengenoemde punten zijn afgerond)
 - Dat er een analyse van het feederstation is gemaakt
 - Dat er onderzoek naar mogelijkheden om het feederstation met EtherCAT aan te sturen is gedaan en gedocumenteerd
 - Dat er een verbeterplan op het feederstation is gemaakt - En dat de verbeteringen op het feederstation zijn geïmplementeerd.

B. Urenverantwoording en dagenlogboek

Onderstaande tabel bevat de urenverantwoording en tegelijkertijd een logboek van de werkzaamheden. Belangrijke data, vakanties en herkansingen zijn hier in opgenomen.

Urenverantwoording/planning vrije dagen en werkdagen - Italo Baltus						
Week	Dag	Start	Tot	Duur pauze [u]	Bezigheden	Opmerkingen
1	30-aug	9:00	17:00	0,75	Introductie, start gemaakt met PVA, urenverantwoording gemaakt.	Start officiële stage
	31-aug	8:50	17:05	0,75	Verder gewerkt aan het PVA.	
	1-sep	8:55	17:10	0,75	Verder gewerkt aan het PVA, urenverantwoording uitgebreid.	
	2-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	3-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
2	4-sep	8:55	17:05	0,75	PVA verdergegaan en gesprek gehad met teamlid EXPO project.	
					PVA afgemaakt V1.0: bijlage C toegevoegd. Al onderzoek gedaan naar EtherCAT modules Beckhoff.	
	5-sep	8:50	17:10	0,75	Beckhoff modules van juiste bekabeling voorzien, na handleidingen doorlezen. Tevens wat ontwerptekeningen gemaakt voor mogelijke mechanische constructies/aansturingen.	
	6-sep	8:55	17:00	0,75	Communicatieverbinding tussen Beckhoff modules en laptop voorzien. Onderzoek gedaan naar CODESYS als software.	
	7-sep	8:55	17:10	0,75	Mogelijk ontwerp voor systeem en gekeken naar constructies.	
	8-sep	8:55	17:15	0,75		
	9-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	10-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	11-sep	9:00	17:10	0,75	PVA verbetert n.a.v. beoordeling opdrachtgever.	
	12-sep	8:55	17:10	0,75	3D modellen van ideeën voor totaalsysteem. Aanpassing PVA V1.2.	
3	13-sep	9:00	17:00	0,75	SolidWorks bestand gemaakt n.a.v. Coomach profielen, 3D model.	
	14-sep	8:55	17:30	0,75	Begonnen aan SolidWorks modules en overleg met Mark gehad.	
	15-sep	8:55	17:20	0,75	Inplannen bedrijfsbezoek, 3D model en ideeën.	
	16-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	17-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	18-sep	11:10	17:10	0,75	Ochtend afwezig i.v.m. herkansing DEF4. Verder 3D model.	Herkansing DEF4
	19-sep	8:55	17:10	0,75	Documentatie, 3D model en morf. kaart n.a.v. ideeën gemaakt.	
	20-sep	9:00	17:00	0,75	Inhoudsopgave eindverslag V1.0 naar Mark, 3D model.	
	21-sep	8:55	17:00	0,75	3D model.	
	22-sep	8:50	17:05	0,75	3D model en onderzoek naar werking van EtherCAT protocol.	
4	23-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	24-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	25-sep	8:55	17:20	0,75	Plan bedrijfsbezoek en agenda, inhoudsopgave V1.1, 3D model.	
	26-sep	9:00	17:00	0,75	Morf. schema gedigitaliseerd, eigen eisen en 3D model.	
	27-sep	8:55	17:15	0,75	PVA V1.3 gemaakt, (voorbereidingen) bedrijfsbezoek, 3D model.	
	28-sep	9:15	17:15	0,75	Risicoanalyse en oplossingsstructuur gemaakt. PVA 1.3 bijgewerkt en aan 3D model gewerkt n.a.v. bedrijfsbezoek.	Later door treinstoring.
	29-sep	8:55	17:10	0,75	3D model verfijnen n.a.v. paar opmerkingen, risicoanalyse afgemaakt.	
	30-sep	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	1-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	2-okt	9:00	17:05	0,75	Met opdrachtgever gesproken over PLC en voortgang en gekeken naar testmodellen. PLC werkend gekregen middels Beckhoff PC.	
5	3-okt	8:50	16:45	0,75	Testmodel gemaakt voor spiralen, besproken met OBJEX-lab naar mogelijkheden. Vanaf 16:45 weg voor herkansing.	Herkansing CEN4b
	4-okt	8:50	17:05	0,75	Bezig geweest met uit elkaar halen van oude feederstation. Voorbereidingen testen PLC met 24V stappenmotor.	
	5-okt	8:55	17:05	0,75	Stappenmotor in werking met hulp Bas, code motor geschreven.	
	6-okt	8:50	17:05	0,75	3D tekening wat aangepast, code zitten schrijven voor motor.	
	7-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	8-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	9-okt	8:50	17:10	0,75	Flowchart gemaakt codering systeem, overleg met Mark over stand van zaken en documentatie bijgewerkt.	

					Documentatie bijgewerkt en verstuurd naar opdrachtgever. Zoeken naar mogelijke alternatieven voor visie sensoren. Vanaf 16:45 weg voor herkansing.	Herkansing SNS4
	10-okt	8:55	16:45	0,75		
	11-okt	8:55	17:00	0,75	Algemene werkzaamheden zoals 3D model.	
	12-okt	8:50	17:00	0,75	Bestellijst fase 1 gemaakt. Algemene werkzaamheden.	
	13-okt	8:50	17:15	0,75	Begonnen aan tussenverslag en onderzoek gedaan naar sensoren.	
	14-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	15-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
8	16-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Herfstvakantie
	17-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Herfstvakantie
	18-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Herfstvakantie
	19-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Herfstvakantie
	20-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Herfstvakantie
	21-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	22-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
9	23-okt	9:05	17:15	0,75	Tussenverslag geschreven en uitgewerkt.	
	24-okt	8:50	17:05	0,75	Tussenverslag en bestellijst. 3D model op een paar tips aangepast en bestellijst hierop aangepast.	
	25-okt	8:50	17:10	0,75	Tussenverslag en demontage oude feederstation. Gesprek met Mark gehad over bestellingen. Bestellingen worden behandeld.	
	26-okt	9:00	17:05	0,75	Tussenverslag en demontage oude feederstation. Code voor geldzaken van Mark ontvangen. Plan is om morgen te starten met 3D printen van testobject spiralen.	
	27-okt	8:55	17:00	0,75	3D printen van testobject spiralen. Verwachting volgende week klaar. Verder tussenverslag en laatste demontage oude station.	
	28-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	29-okt	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
10	30-okt	8:55	17:15	0,75	Mail naar Beckhoff t.a.v. facturen en vraag naar terminals. Gesprek met Mark over vorderingen. Spiraaltestobject binnen, wordt later deze week klaargemaakt voor test. Gewerkt aan tussenverslag.	
	31-okt	8:50	17:15	0,75	Tussenverslag geschreven en gestuurd naar opdrachtgever ter controle. Tussenverslag dient deze week naar begeleider van Fontys gestuurd te worden.	
	1-nov	8:55	17:10	0,75	Borstelwals KOTI prijs bekend: meer dan 200 euro. Nieuwe borstelwals gezocht die voldoet en goedkoper is. Tevens tussenverslag bijgewerkt.	
	2-nov	8:55	17:15	0,75	Kleine test gedaan met spiraalobject. Geeft een goede eerste indruk. Dient nog bijgeschaafd te worden. Verder tussenverslag afgemaakt.	
	3-nov	8:55	17:20	1	Tussenverslag gecorrigeerd op basis van verbeterpunten opdrachtgever. Hierna opsturen naar begeleider. Verder disassemblage feederstation.	
	4-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	5-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij – Dit weekend spiralen thuis bijgeschaafd. Duur: 1,5 uur.	Weekend
11	6-nov	8:55	17:10	0,75	Testen van bijgeschaafde spiralen: testuitslag goed. Gestart met 3D model fase 2.	
	7-nov	8:50	17:15	0,75	Feederstation disassemblage klaar, oud ijzer naar container. Verder aan 3D model fase 2.	
	8-nov	9:00	17:10	0,75	3D model fase 2.	
	9-nov	8:55	17:05	0,75	3D model fase 2.	
	10-nov	8:50	17:00	1	3D model fase 2.	
	11-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	12-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
12	13-nov	9:00	17:10	0,75	3D model fase 2.	
	14-nov	8:50	17:20	0,75	3D model fase 2 einde. Goedkeuring aan Mark over ontwerp.	
	15-nov	8:55	17:10	0,5	3D model verbeteringen doorgevoerd. Onderzoek naar sensoren.	
	16-nov	8:55	17:15	0,75	Onderzoek IR sensoren en bestellingen regelen.	
	17-nov	8:50	17:15	0,75	Onderzoek IR sensoren en bestellingen regelen.	
	18-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	19-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend

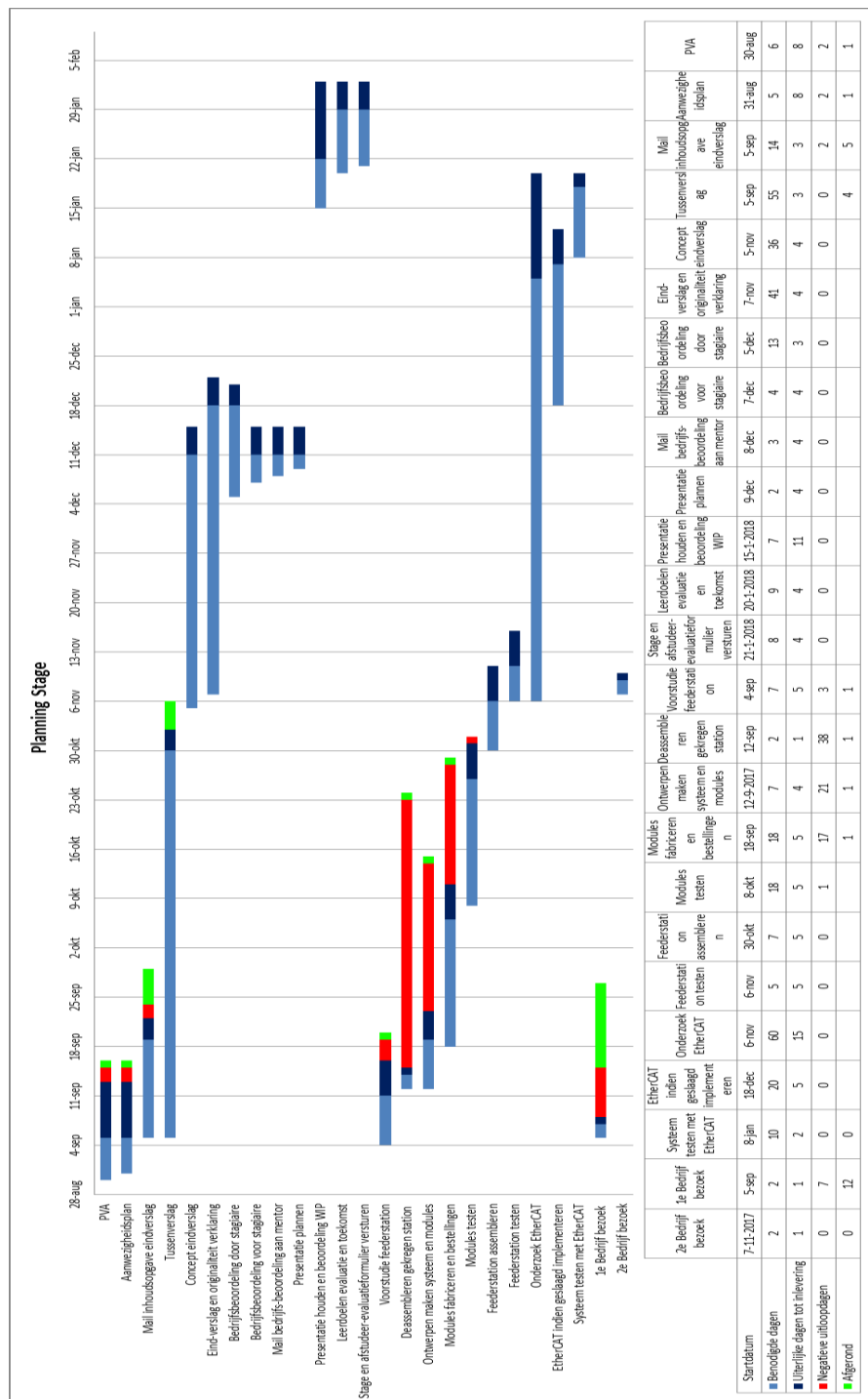
13	20-nov	8:55	17:00	0,75	IR-sensoren gekozen en in bestellijst opgenomen. Verder naar bestellingen gekeken en met Mark besproken.	
	21-nov	8:50	17:20	0,75	Begonnen aan 2D bouwtekeningen.	
	22-nov	9:00	17:10	0,75	2D bouwtekeningen en bestellingen bekijken.	
	23-nov	8:55	17:15	0,75	2D tekening maken.	
	24-nov	8:50	17:00	0,75	2D tekening maken.	
	25-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	26-nov	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
14	27-nov	8:55	17:00	0,75	Afspraak gemaakd naar Eric Rutjens over 3D printen. Hierna 2D tekeningen maken.	
	28-nov	8:50	17:15	0,75	2D tekeningen maken.	
	29-nov	8:50	17:10	0,75	2D tekeningen maken.	
					Ochtend tandartsafpraak. Hierna direct afspraak met Eric Rutjens van OBJEX lab (3D printen), uitzoeken wat kosten zijn van PET-G. Afspraken gemaakt over aanspreekpunt bij 3D printen en de kostenverdeling: PET zelf bestellen en printen zelf gratis.	Tandarts ochtend
	30-nov	10.30	17:15	0,75		
	1-dec	8:55	17:00	0,75	2D bouwtekeningen maken van onderdelen.	
	2-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	3-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	4-dec	8:55	17:20	0,75	Verder aan 2D bouwtekeningen maken.	
	5-dec	8:50	17:00	0,5	2D bouwtekeningen afgerond, onderdelen die 3D geprint worden bekeken op haalbaarheid en gewicht. Hieruit hoeveelheid rollen materiaal afgeleid en kosten bepaalt.	
15	6-dec	8:55	???	0,75	Gesprek met opdrachtgever, begonnen aan eindverslag en documentatie van sensoren doorgenomen. Bestelling voor PET G bij opdrachtgever afgegeven.	
	7-dec	8:50	17:15	0,75	Onderzoek naar de aanwezige terminals en welke voor het feederstation gebruikt kunnen worden. Verder onderzoek naar geschikte en goedkope sensoren.	
	8-dec	8:55	17:15	0,75	Verder gewerkt aan concept eindverslag.	
	9-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	10-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	11-dec	8:50	13:30	0,5	Verder gewerkt aan concept eindverslag.	Eerder weg door sneeuwval
	12-dec	9:25	17:15	0,75	Verder gewerkt aan eindverslag, handleiding voor station geschreven en probleem met software en motoren opgelost.	Iets later door sneeuwval
	13-dec	8:55	17:10	0,75	Testprogramma geschreven voor de software en getest.	
16	14-dec	8:55	17:10	0,75	Software voor eindproduct geschreven.	
	15-dec	8:50	17:00	0,75	Software voor eindproduct geschreven.	
	16-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	17-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	18-dec	9:00	17:10	0,75	Met opdrachtgever en werkplaats gesproken over stand van zaken leveringen. Blijkt nog niet gedaan te zijn. Opnieuw besteld.	
	19-dec	8:55	17:15	0,75	Software voor eindproduct. Gesproken met werkplaats over bestellingen. Regelingen getroffen over 3D printen.	
	20-dec	8:55	17:00	0,75	Software voor eindproduct geschreven.	
	21-dec	9:00	17:15	0,75	Software voor eindproduct geschreven.	
17	22-dec	8:55	16:30	0,75	Software voor eindproduct testen op master.	
	23-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	24-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	25-dec		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	26-dec		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	27-dec		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	28-dec		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	29-dec		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	30-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	31-dec	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	1-jan		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	2-jan		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	3-jan		N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie

	4-jan	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	5-jan	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Kerstvakantie
	6-jan	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
	7-jan	N.V.T.	N.V.T.	Vrij	Weekend
20	8-jan	9:00	17:10	0,75	Plaatwerk wordt gezaagd door werkplaats. Code en visualisatie.
	9-jan	8:50	13:00	0,5	Code en visualisatie, vanaf 13:00 herkansing DYN3B.
	10-jan	8:55	17:15	0,75	Gewerkt aan code en visualisatie.
	11-jan	9:00	17:10	0,75	Gewerkt aan code en visualisatie.
	12-jan	9:00	17:00	0,75	Inplannen eindpresentatie stage met opdrachtgever. Verder gewerkt aan code en visualisatie systeem en controle op 3D printen. Inplannen werkplaats voor aluminium plaatwerk.
	13-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij
	14-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij – Thuis gewerkt aan concept eindverslag.
21	15-jan	8:55	17:15	0,75	Eerste officiële 3D printwerk af. Goedgekeurd. Verder gewerkt aan code en bijbehorende visualisatie. Te horen gekregen dat de werkplaats volgende week beschikbaar is en dat het lang aangevraagde plaatwerk dan klaar is voor bewerking.
	16-jan	9:10	17:20	0,75	Volgende printopdracht ingezet. Verder gewerkt aan code schrijven en visualisatie hierop afstemmen. Overleg met stagebegeleider over inplannen eindpresentatie.
	17-jan	12:30	17:15	0,5	Afwezig tot 12.30 vanwege theorie examen auto. Coomach profielen binnen en in feederstation geplaatst. Bijwerken documentatie voor concept eindverslag. Controle op volgende 3D print onderdelen. Urenverantwoording bijwerken.
	18-jan	9:05	17:20	0,75	Verder gegaan met eindverslag concept en IR sensoren getest.
	19-jan	9:00	17:00	0,5	Verdergegaan met eindverslag concept.
	20-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij
	21-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij – Eindverslagconcept afgerond en opgestuurd.
22	22-jan	8:55	17:20	0,75	Controle documentatie. Opdrachtgever gesproken over stand van zaken en software geschreven + Beckhoff PC updaten.
	23-jan	8:55	17:00	0,75	Werkplaats: assen op draaimachine. Verder urenverantwoording.
	24-jan	9:00	17:10	0,75	Officiële documentatie t/m formulier A met Mark ingevuld.
	25-jan	9:05	17:15	0,75	Software geschreven en documentatie bijgewerkt.
	26-jan	8:55	17:00	0,75	Software geschreven en presentatie inplannen.
	27-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij
	28-jan	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij
23	29-jan	8:55	17:10	0,75	Documentatie en presentatie maken.
	30-jan	8:55	17:40	0,75	Presentatie maken en geven aan opdrachtgever en begeleider.
	31-jan	9:00	17:15	0,5	Nieuwe stagiaire ingewerkt en kennis laten maken met EtherCAT. Tevens bedrijfsbureau gecontacteerd voor formulier B & C digitaliseren en inleveren.
	1-feb	9:10	17:00	0,75	Printopdracht 7, 8, 9 en 10 gestart. Officiële formulieren digitaal bij eindverslag toevoegen. Verder in werkplaats gewerkt. Tevens stukje geschreven voor website lectoraat.
	2-feb	???	???	???	Plan: verslag en formulieren inleveren bij bedrijfsbureau. Hiermee stage afronden. Laatste uren in werkplaats besteden en 3D geprint materiaal ophalen/afspraken.
	3-feb	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij
	4-feb	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	Vrij

Tabel 12 - Urenverantwoording en dagenlogboek

C. Projectplanning

Deze bijlage toont de projectplanning gedurende het tussenverslag.



Figuur 19 - Planning stage

NB: Te zien is een grote uitloop voor afbreken gekregen station en ontwerpen van modules. Een verklaring hiervoor, is dat de het afbraakproces stil staat door afvoer oud materiaal. De ontwerpen blijken meer tijd nodig te hebben. Positief is wel dat de overige punten nu op schema lopen, enkel het fabriceren heeft net wat achterstand opgelopen. De stagiaire loopt wel voor op onderzoek van EtherCAT en bestellingen worden langzaam maar zeker afgerond, zodat de bouw later kan starten.

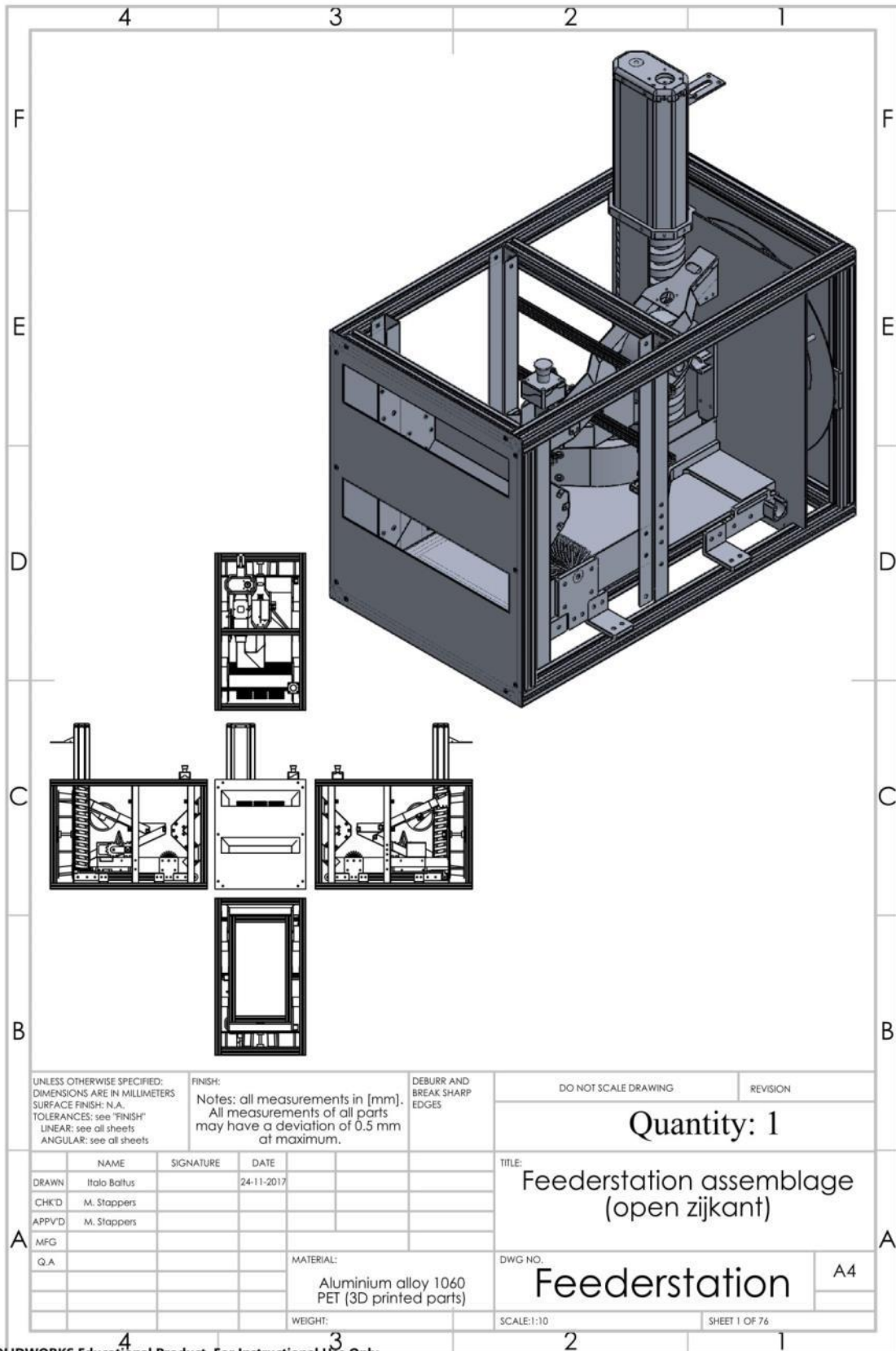
D. Bouwtekeningen

Deze bijlage omvat alle bouwtekeningen voor het mechanische gedeelte van het feederstation. Uitzondering hierop zijn de bouwtekeningen voor de Coomach profielen en een paar onderdelen die zijn ingekocht. Deze onderdelen zijn in de lijst van externe onderdelen opgenomen.

Samengevat bevat deze bijlage de volgende pagina's (sheets):

1. Feederstation assemblage (open zijkant)
2. Lijst van onderdelen (B.O.M.)
3. Exterieur plaat sleuven (voor)
4. Exterieur plaat aansluitingen (zijkant)
5. Exterieur plaat blanco (zijkant)
6. Exterieur plaat reuzenrad (achter)
7. Exterieur plaat onderzijde
8. Exterieur plaat bovenkant
9. M1 – Glijbaan 1 zijwand links (DOWN) & rechts (UP)
10. M1 – Glijbaan 1 afdekplaat boven
11. M1 – Glijbaan 1 afdekplaat midden
12. M1 – Glijbaan 1 afdekplaat onder
13. M1 – Glijbaan 1 U-profiel links
14. M1 – Glijbaan 1 U-profiel rechts
15. M2 – Borstelwals en vernauwing zijplaat rechts
16. M2 – Borstelwals en vernauwing zijplaat links
17. M2 – Stootblok en vernauwing rechts & links
18. M2 – Vernauwing spiraal draagplaat'
19. M2 – Vernauwing draagplaat blanco
20. M3 – Transportband L-draagklem
21. M3 – Transportband motorlager kap
22. M3 – Transportband rollager kap
23. M3 – Transportband rol met motoraansluiting & rol zonder aansluiting
24. M3 – Transportband dekplaat
25. M3, M4 & M10 – Transportband, reuzenrad & pantograaf NEMA 17 motorhouder
26. M4 – Reuzenrad voorwand
27. M4 – Reuzenrad draagbalk achter
28. M4 – Reuzenrad voorste schijf
29. M4 – Reuzenrad achterste schijf
30. M4 – Reuzenrad grote as
31. M4 – Reuzenrad bakje deel boven/onderkant
32. M4 – Reuzenrad bakje deel zij/achterkant
33. M4 – Reuzenrad wielschijf bout verbinder & askoppelstukje achter
34. M4 – Reuzenrad stootblok mal bakje
35. M4 – Reuzenrad draagbalk motor
36. M5 – Spiraal 180 mm linksom draaiend
37. M5 – Spiraal 180 mm rechtsom draaiend
38. M5 – Spiraal koppelstuk plaatje & cilinder
39. M5 – Spiraal tandwiel rechts & links
40. M5 – Spiraal geleidingsrails voor
41. M5 – Spiraal geleidingsrails achter
42. M5 – Spiraal afdekkap boven
43. M5 – Spiraal binding voor hele module

44. M5 – Spiraal exterieur kappen
45. M5 – Spiraal as verbindingen boven/onderzijde & koppelblokjes
46. M6 – Eindbakje onderstel
47. M6 – Eindbakje wanden
48. M6 – Eindbakje Omron CP1W-0008 mal
49. M7 – Draaimodule zijwanden spiraalmodule & draaimodule aansluiting
50. M7 – Draaimodule behuizing
51. M7 – Draaimodule behuizing deksel
52. M7 – Draaimodule draaischijf
53. M7 – Draaimodule motorhouder
54. M8 – Omkeermodule kokerwiel
55. M7 – Omkeermodule kokerwielhouder
56. M7 – Omkeermodule dubbele glijbaan
57. M8 – Omkeermodule dubbele glijbaan zijwand
58. M8 – Omkeermodule bevestiging aan reuzenrad
59. M8 – Omkeermodule wissel behuizing zijplaatje
60. M8 – Omkeermodule wissel behuizing deksel
61. M8 – Omkeermodule DC motorblok
62. M8 – Omkeermodule kokerwiel as & wisselplaat
63. M9 – Glijbaan 2 deel 1/3
64. M9 – Glijbaan 2 deel 2/3
65. M9 – Glijbaan 2 V-verbinding bovenzijde
66. M9 – Glijbaan 2 deel 3/3 (mondruit)
67. M9 – Glijbaan 2 deel 3/3 muren rechts (UP) & links (DOWN)
68. M9 – Glijbaan 2 U-draagprofiel
69. M9 – Glijbaan 2 hoekprofiel klein
70. M9 – Glijbaan 2 hoekprofiel groot
71. M9 – Glijbaan 2 rechte verbinder
72. M9 – Glijbaan 2 V-verbinding onderzijde
73. M10 – Pantograaf houder
74. M10 – Pantograaf tandwiel rechts & links
75. M10 – Pantograaf armen kort, gemiddeld & lang
76. M10 – Pantograaf plug-as met/zonder motor & stootrembeugel pin



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

4				3		2		1
#	Naam	Materiaal	Aantal	grootte [mm] (bsh)		Vorm		
1	Exterieur voorplaat met gleuven	Aluminium	1	700x530x2		Plaat		
2	Exterieur achter-plaat rad	Aluminium	1	700x530x2		Plaat		
3	Exterieur zij-plaat met aansluitingen ethernet	Aluminium	1	700x1000x2		Plaat		
4	Exterieur zij-plaat normaal	Aluminium	1	700x1000x2		Plaat		
5	Exterieur bovenplaat	Aluminium	1	580x1000x2		Plaat		
6	M1 - G1/2" baas 1 zijplaat rechts	Aluminium	1	506x246x2		Plaat		
7	M1 - G1/2" baas 1 zijplaat links	Aluminium	1	506x246x2		Plaat		
8	M1 - G1/2" baas 1 afdekplaat boven	Aluminium	1	504x435x2		Plaat		
9	M1 - G1/2" baas 1 afdekplaat midden	Aluminium	1	504x435x2		Plaat		
10	M1 - G1/2" baas 1 afdekplaat onder	Aluminium	1	504x435x2		Plaat		
11	M1 - G1/2" baas 1 u-profiel rechts	Aluminium	1	700x128x2		Plaat		
12	M1 - G1/2" baas 1 u-profiel links	Aluminium	1	700x128x2		Plaat		
13	M2 - Borstelwals en vernauwing zijwand groot rechts	Aluminium	1	808x125x2		Plaat		
14	M2 - Borstelwals en vernauwing zijwand groot links	Aluminium	1	808x125x2		Plaat		
15	M2 - Borstelwals T-4lem rechts (aanpassing?)	Aluminium	1	147x120x12		Blok		
16	M2 - Borstelwals T-4lem links (aanpassing?)	Aluminium	1	147x120x12		Blok		
17	M2 - Borstelwals as zonder motor (aanpassing + nog 1)?	PET	2	285x30x100		Blok		
18	M2 - Vernauwing spiraal draagplaat (freed) rechts	Aluminium	1	374,5x187,5x40		Blok		
19	M2 - Vernauwing spiraal draagplaat (freed) links	Aluminium	1	374,5x187,5x40		Blok		
20	M3 - Transportband L-4lem	Aluminium	4	90x59x60		Blok		
21	M3 - Transportband motorblok lager-4lem	Aluminium	1	159x64x10		Blok		
22	M3 - Transportband lager-4lem	Aluminium	1	159x64x10		Blok		
23	M3 - Transportband rol nabij motor	Aluminium	1	Diameter 44x130		As		
24	M3 - Transportband rol gewoon	Aluminium	1	Diameter 44x118		As		
25	M3 - Transportband dekplaat gehele band	Aluminium	1	758x400x2		Plaat		
26	M3 - Motorblokje houder	Aluminium	1	40x40x30		Blok		
27	M4 - Reuzenrad complete dikke wand	Aluminium	1	700x530x5		Plaat		
28	M4 - Reuzenrad draagbalk achter	Aluminium	1	580x100x8		Blok		
29	M4 - Reuzenrad cirkelplaat voor	Aluminium	1	Diameter 560x2		Plaat		
30	M4 - Reuzenrad cirkelplaat achter	Aluminium	1	Diameter 560x2		Plaat		
31	M4 - Reuzenrad wielas	Aluminium	1	Diameter 40x118		As		
32	M4 - Reuzenrad bakje boven en onderkant	Aluminium	2	240x44x2		Plaat		
33	M4 - Reuzenrad bakje zijkant en achterkant	Aluminium	2	244x54x2		Plaat		
34	M4 - Reuzenrad wielbouwverbinder (lang buisje)	Aluminium	4	Diameter 30x89		As		
35	M4 - Reuzenrad as stuks achter	Aluminium	1	Diameter 30x19		As		
36	M4 - Reuzenrad stootblok in bakje	PET	2	86,5x44x9		Blok		
37	M4 - Reuzenrad draagbalk motor	Aluminium	1	218x50x10		Blok		
38	M4 - Reuzenrad motor blokje	Aluminium	1	40x40x30		Blok		
39	M5 - Spiraal linkom draaiend	PET	5	Diameter 85x180		Blok		
40	M5 - Spiraal rechtom draaiend	PET	5	Diameter 85x180		Blok		
41	M5 - Spiraal aluminium koppeltstukje	Aluminium	30	20x10x2		Plaat		
42	M5 - Spiraal PET koppeltstuk cilinder	PET	8	Diameter 30x20		As		
43	M5 - Spiraal tandwiel rechts	PET	1	Diameter 95x20		Blok		
44	M5 - Spiraal tandwiel links	PET	1	Diameter 95x20		Blok		
45	M5 - Spiraal onder-asserbinding	Aluminium	2	Diameter 30x30		As		
46	M5 - Spiraal geleidingrails voor	Aluminium	1	925x66x8		Blok		
47	M5 - Spiraal geleidingrails achter	Aluminium	1	925x66x8		Blok		
48	M5 - Spiraal boven kap	Aluminium	1	182x100x25		Blok		
49	M5 - Spiraal bevestigingsring	Aluminium	1	202x125x20		Blok		
50	M5 - Spiraal exterieur kap zijkant	Aluminium	2	368x162x2		Plaat		
51	M5 - Spiraal verbinding as boven aan motor	Aluminium	1	Diameter 30x25		As		
52	M5 - Spiraal verbinding as boven voor lager	Aluminium	1	Diameter 30x34		As		
53	M5 - Spiraal verbinding as boven koppeltblokje mini	Aluminium	2	30x30x30		Blok		
54	M6 - Eindbakje onderstel	Aluminium	1	150x50x38		Blok		
55	M6 - Eindbakje wanden	Aluminium	1	156x165x2		Plaat		
56	M6 - Eindbakje mal Omron voorwerp	PET	1	90x50x10		Blok		
57	M7 - Draaimodule eindwand nabij spiraal rechts	Aluminium	1	65x50x2		Plaat		
58	M7 - Draaimodule eindwand nabij spiraal links	Aluminium	1	65x50x2		Plaat		
59	M7 - Draaimodule behuizing draaiplateau	Aluminium	1	308,5x300x2		Plaat		
60	M7 - Draaimodule dekplaat behuizing draaiplateau	Aluminium	1	120x84x2		Plaat		
61	M7 - Draaimodule draaifit zelf	Aluminium	1	Diameter 84x2		Plaat		
62	M7 - Draaimodule motorhouder draaiplateau	Aluminium	1	164x80x2		Plaat		
63	M8 - Omkeermodule kokerwiel	PET	1	Diameter 180x52		Blok		
64	M8 - Omkeermodule kokerwielhouder	Aluminium	1	202x78x40		Blok		
65	M8 - Omkeermodule dubbele g1/2" baas (behuizing)	Aluminium	1	203x33,5x2		Plaat		
66	M8 - Omkeermodule losse muur kokerwiel	Aluminium	1	162x60x2		Plaat		
67	M8 - Omkeermodule aan reuzenrad bevestiging	Aluminium	1	90x50x47		Blok		
68	M8 - Omkeermodule sensorbehuizing zijwand	Aluminium	2	100x83,5x2		Plaat		
69	M8 - Omkeermodule dekplaat sensorbehuizing	Aluminium	1	162x115x2		Plaat		
70	M8 - Omkeermodule DC motorblokje	Aluminium	1	40x40x30		Blok		
71	M8 - Omkeermodule kokerwiel as	Aluminium	1	Diameter 30x52		As		
72	M8 - Omkeermodule wissel zelf	Aluminium	1	55x45x8		Blok		
73	M9 - G1/2" baas 2 deel 1/3	Aluminium	1	181x150x2		Plaat		
74	M9 - G1/2" baas 2 deel 2/3	Aluminium	1	200x199,5x2		Plaat		
75	M9 - G1/2" baas 2 V-verbinding met draagprofiel boven	Aluminium	1	89x32x54		Blok		
76	M9 - G1/2" baas 2 deel 3/3 (mondstuk op draaimodule)	Aluminium	1	304x200x2		Plaat		
77	M9 - G1/2" baas 2 deel 3/3 muur rechts	Aluminium	1	72x66x2		Plaat		
78	M9 - G1/2" baas 2 deel 3/3 muur links	Aluminium	1	72x66x2		Plaat		
79	M9 - G1/2" baas 2 U-profiel draagbalk	Aluminium	2	700x128x2		Plaat		
80	M9 - G1/2" baas 2 hoekbinder klein	Aluminium	2	40x30x2		Plaat		
81	M9 - G1/2" baas 2 hoekbinder groot	Aluminium	2	219,5x30x2		Plaat		
82	M9 - G1/2" baas 2 rechte binder	Aluminium	2	30x80x2		Plaat		
83	M9 - G1/2" baas 2 hangverbinding aan profiel onder	Aluminium	1	88,5x32x64		Blok		
84	M10 - Pantograafmodule pantograafhouder	Aluminium	1	180x100x10		Blok		
85	M10 - Pantograafmodule tandwiel rechts	PET	1	Diameter 30x17		Blok		
86	M10 - Pantograafmodule tandwiel links	PET	1	Diameter 30x17		Blok		
87	M10 - Pantograafmodule arm kort	Aluminium	1	50x10x2		Plaat		
88	M10 - Pantograafmodule arm middeld	Aluminium	1	90x10x2		Plaat		
89	M10 - Pantograafmodule arm lang	Aluminium	2	130x10x2		Plaat		
90	M10 - Pantograafmodule plug-as met motor	Aluminium	1	Diameter 20x33		As		
91	M10 - Pantograafmodule stoprembeugel pin	Aluminium	1	Diameter 10x67		As		
92	M10 - Pantograafmodule motorblokje	Aluminium	1	40x40x30		Blok		

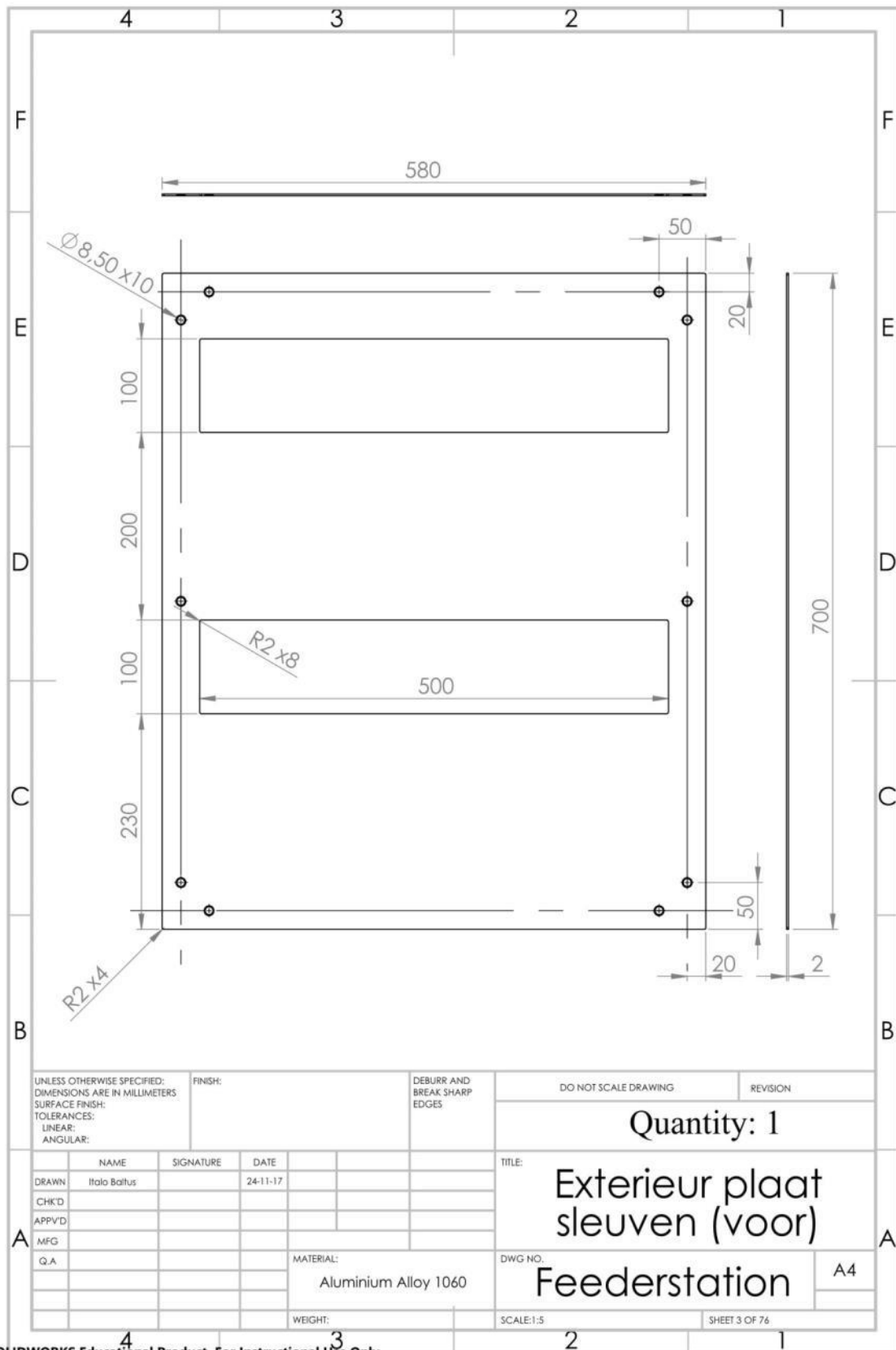
Totaal: 137 onderdelen

DWG NO.

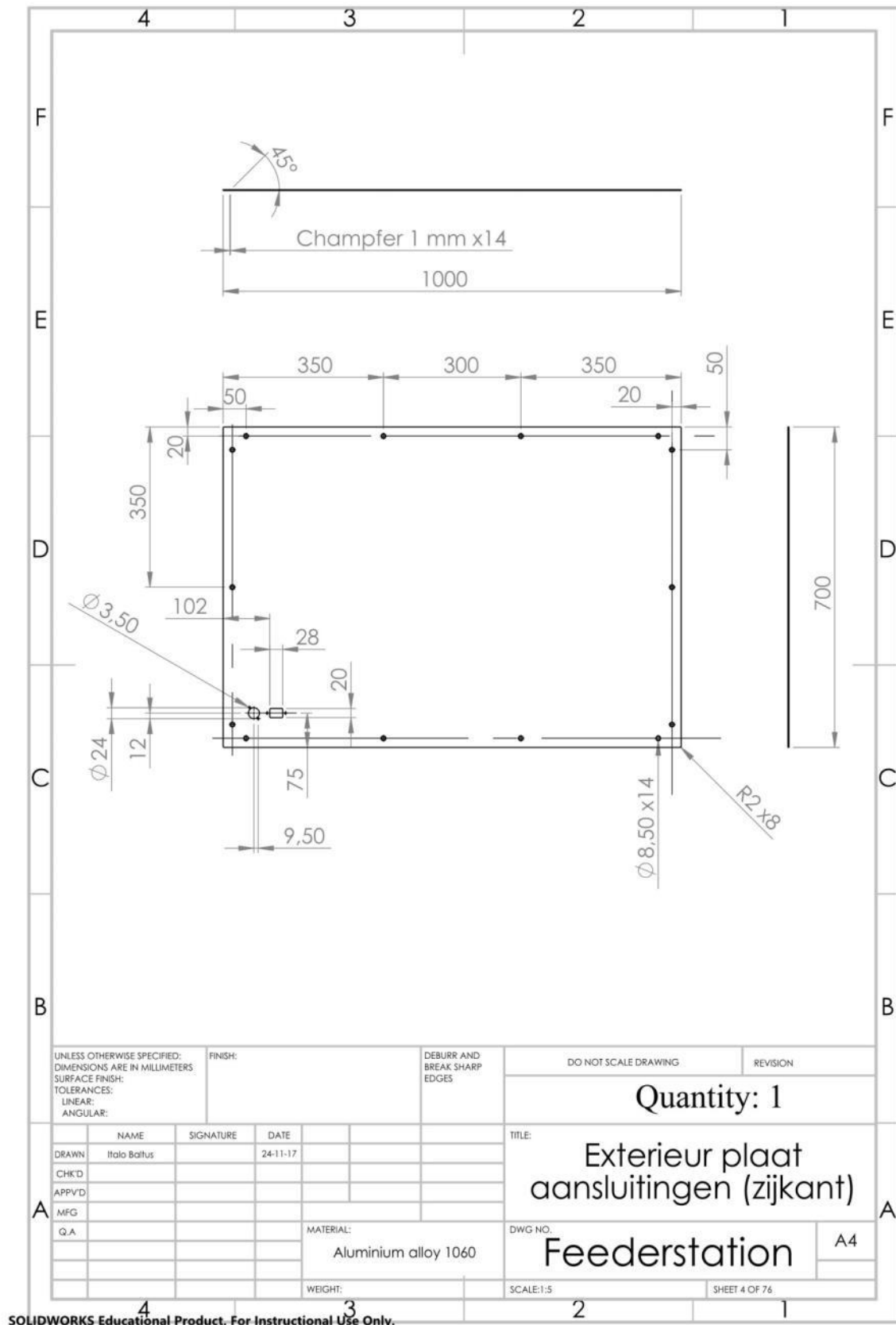
Feederstation

A4

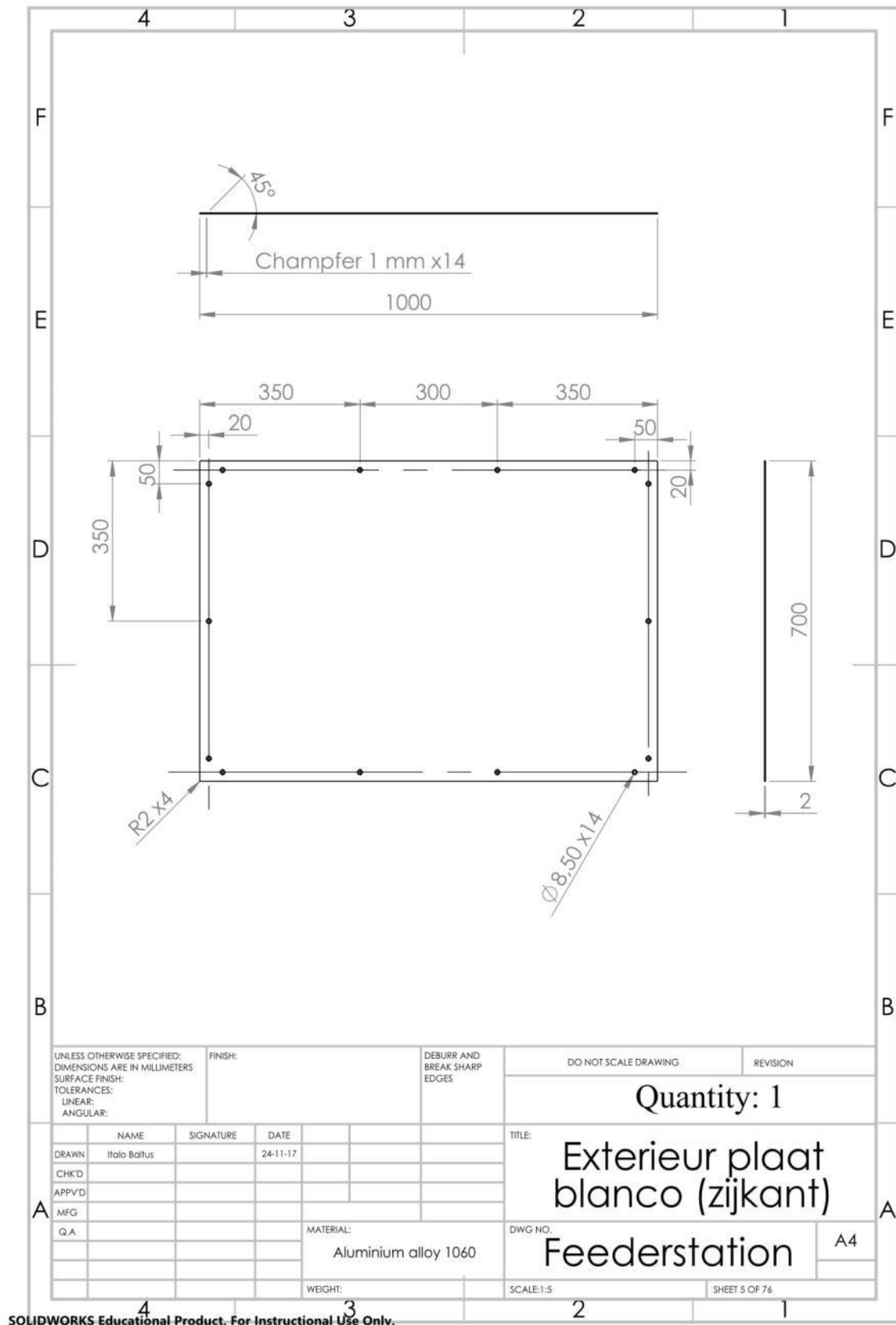
SHEET 2 OF 76

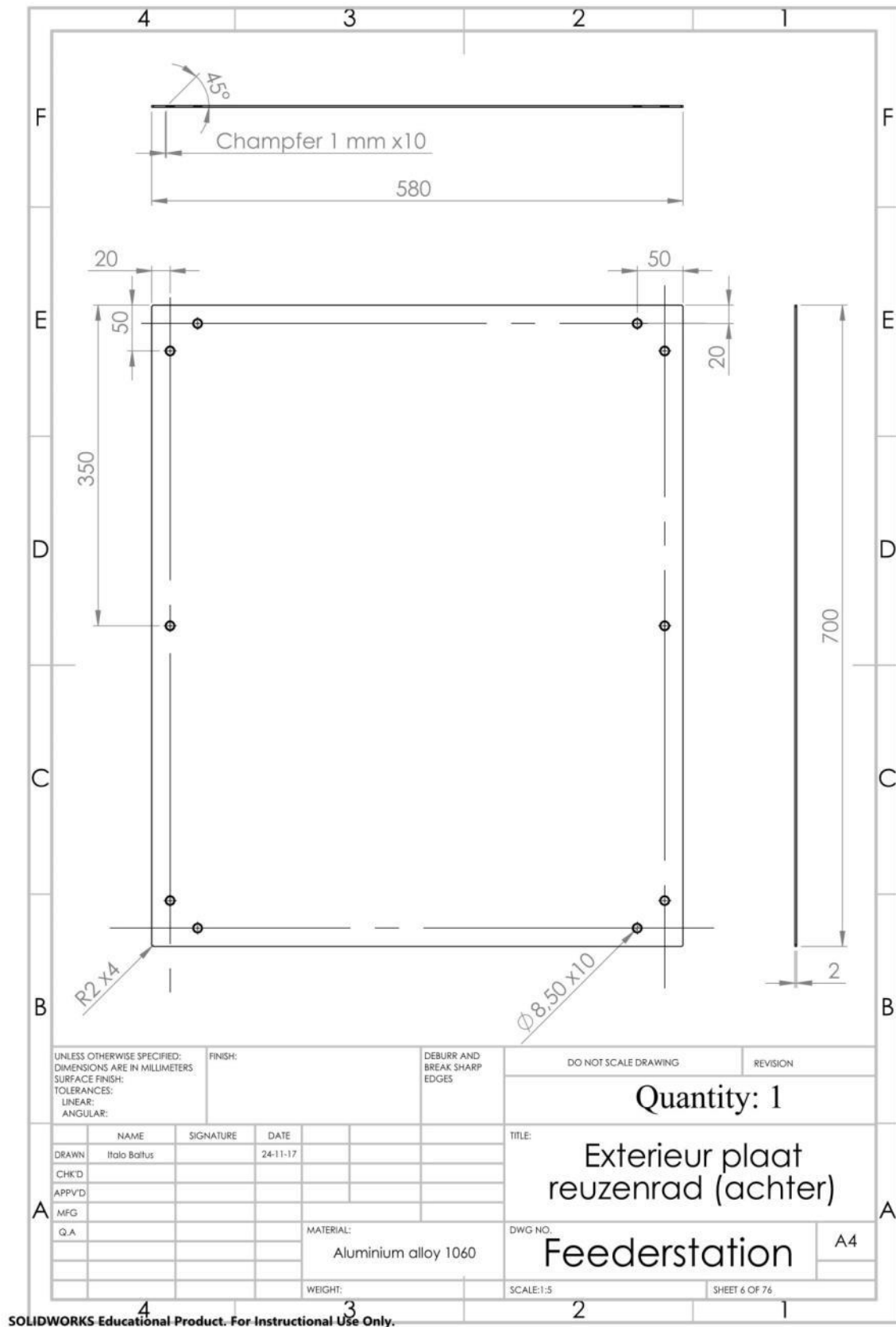


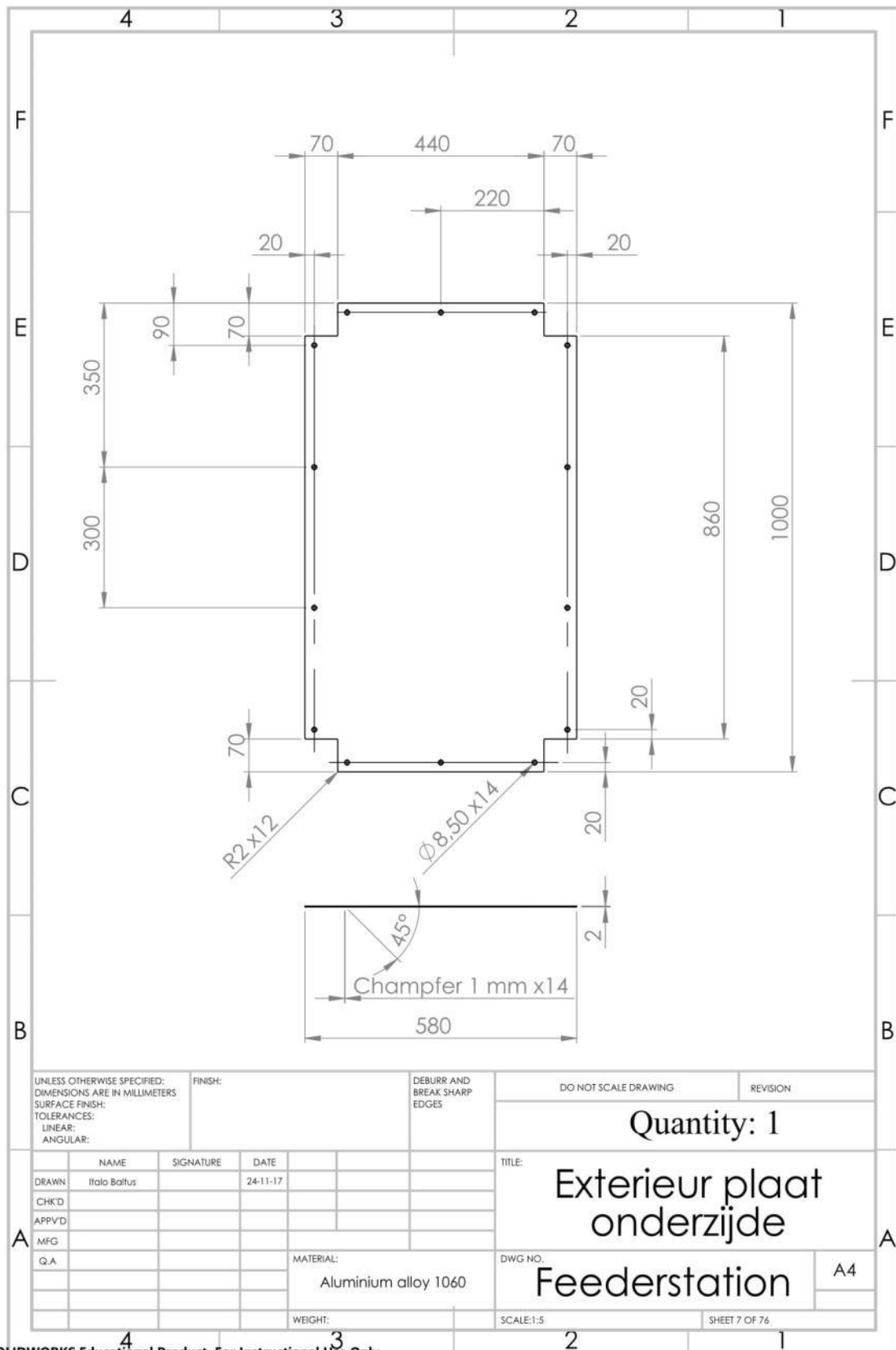
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



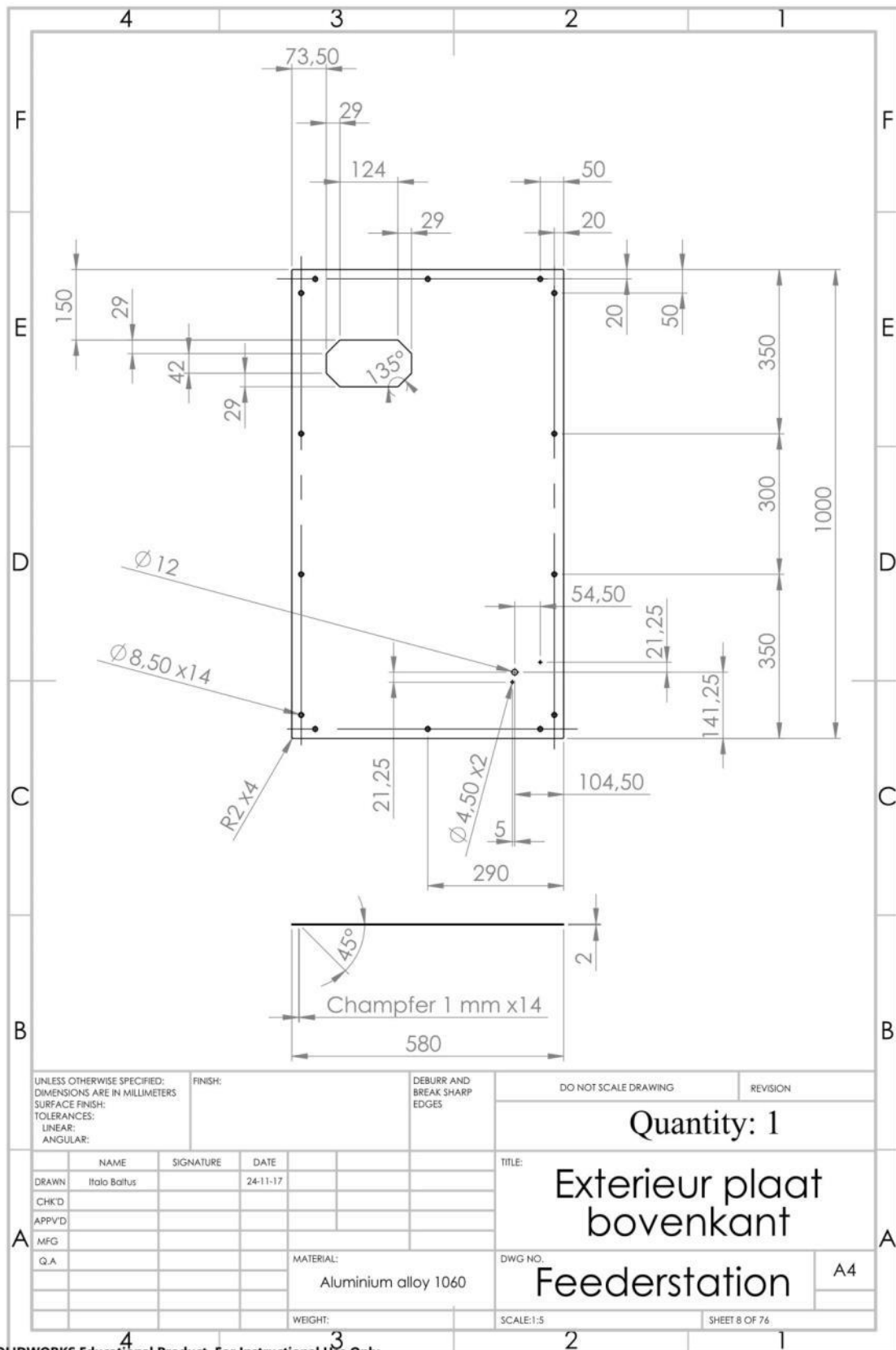
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



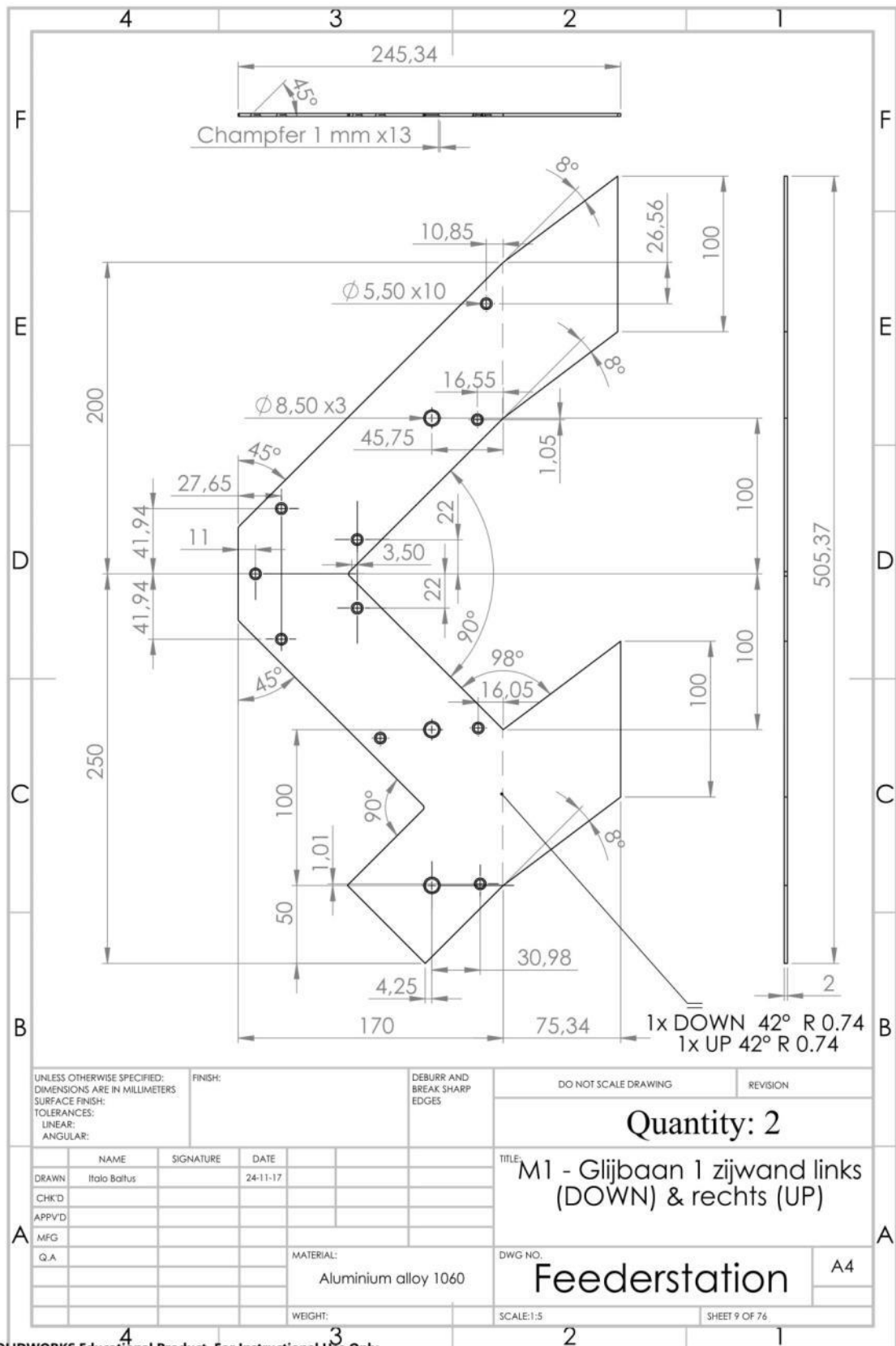




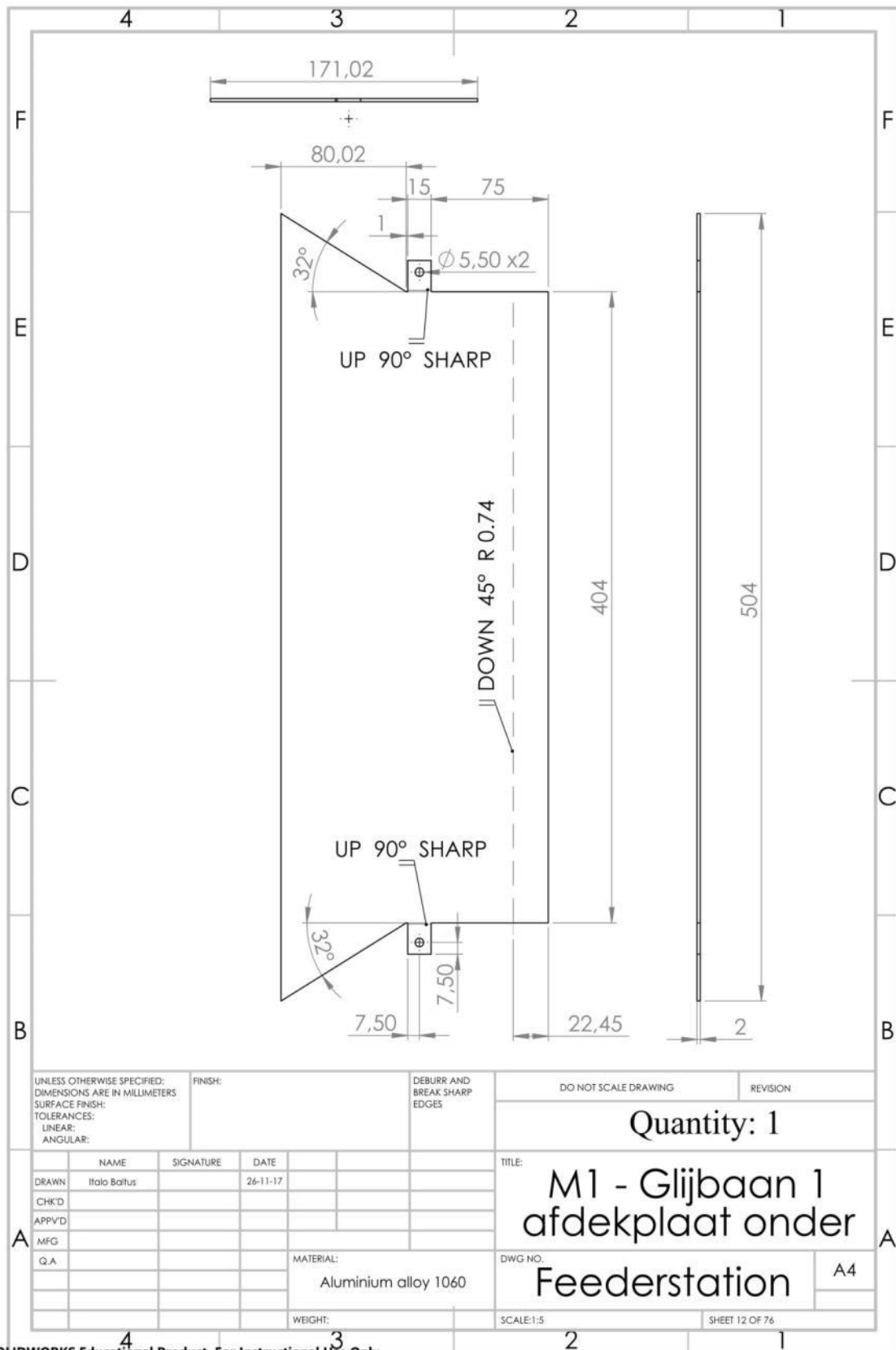
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



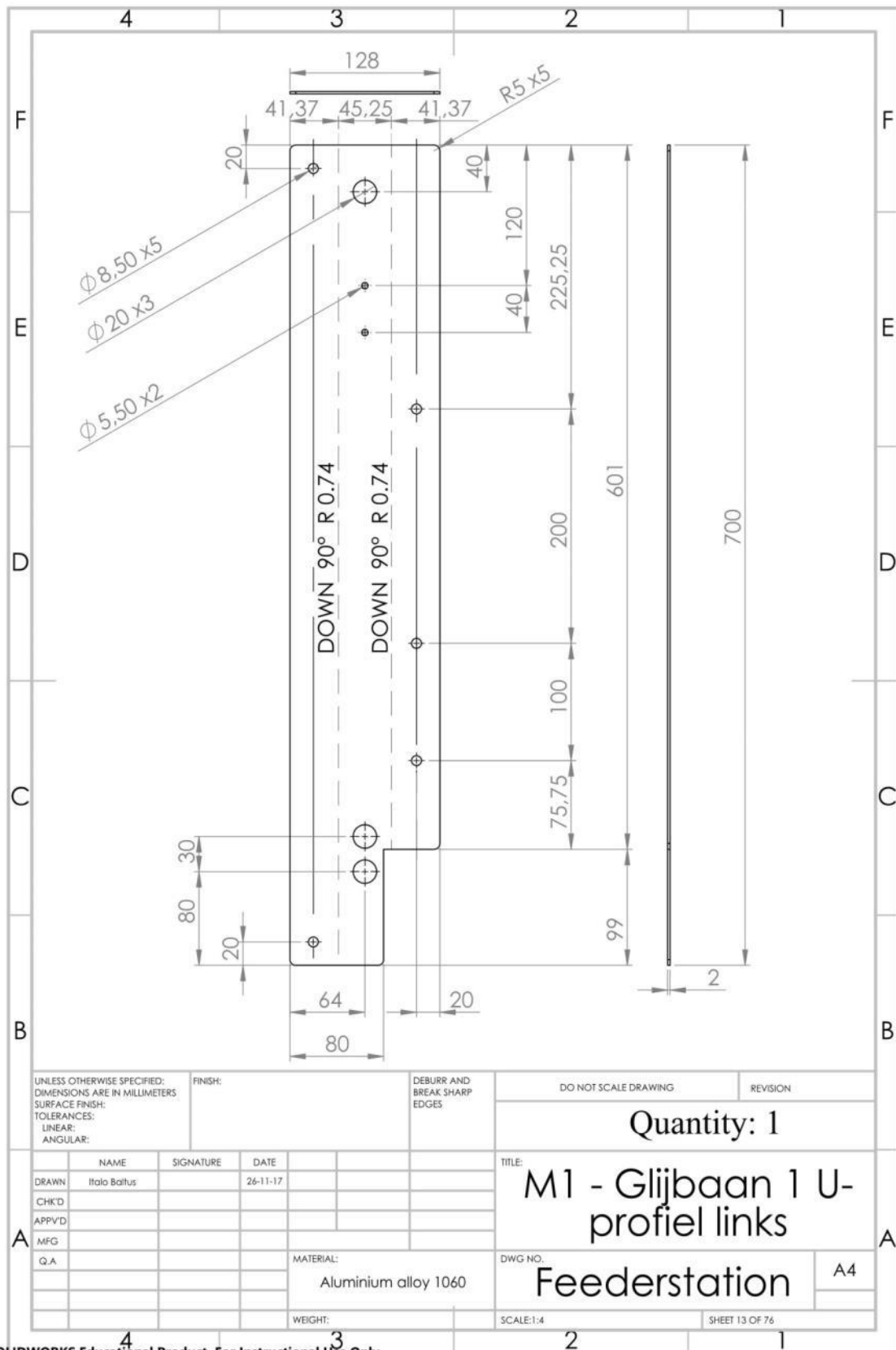
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



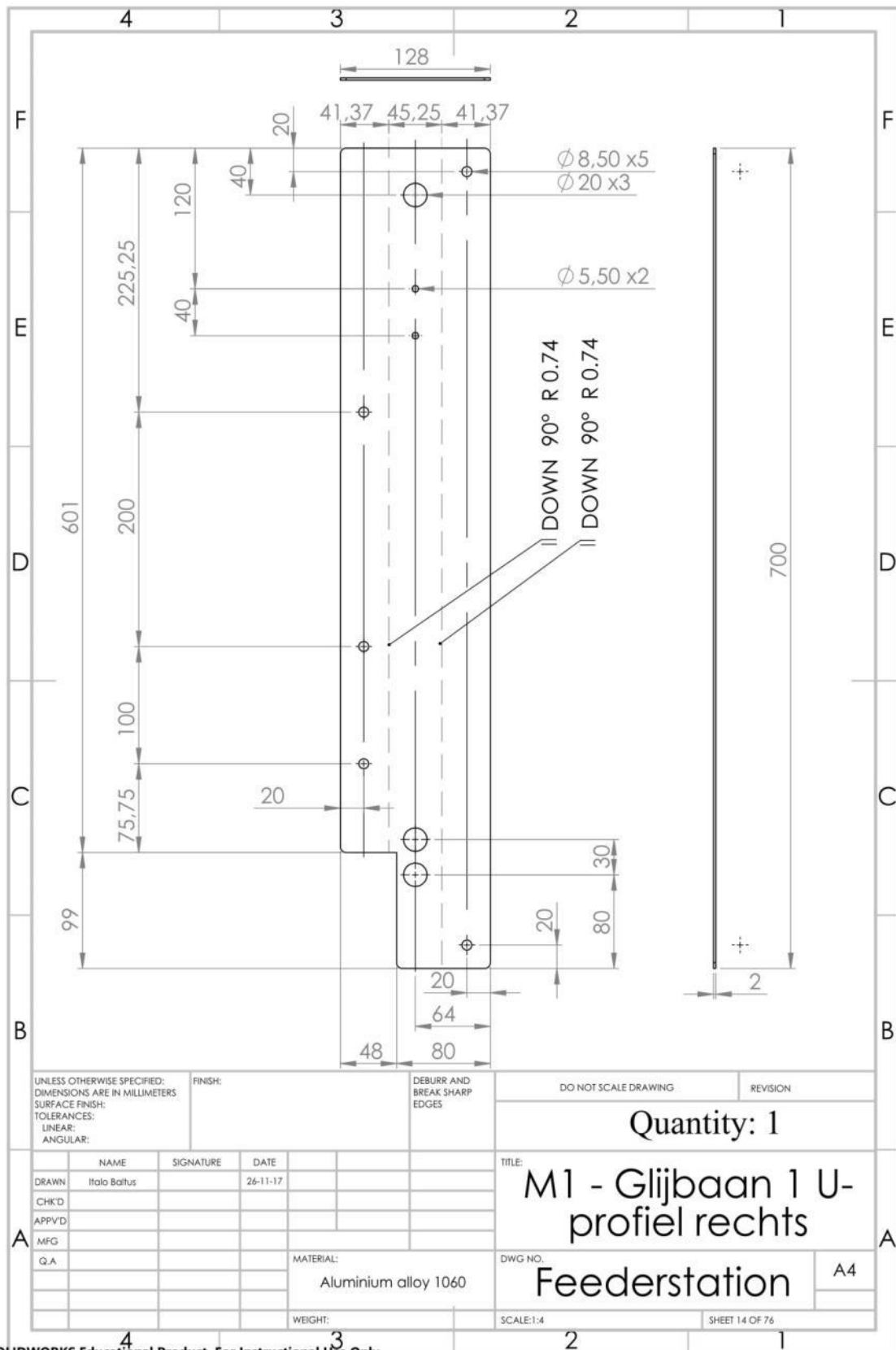
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



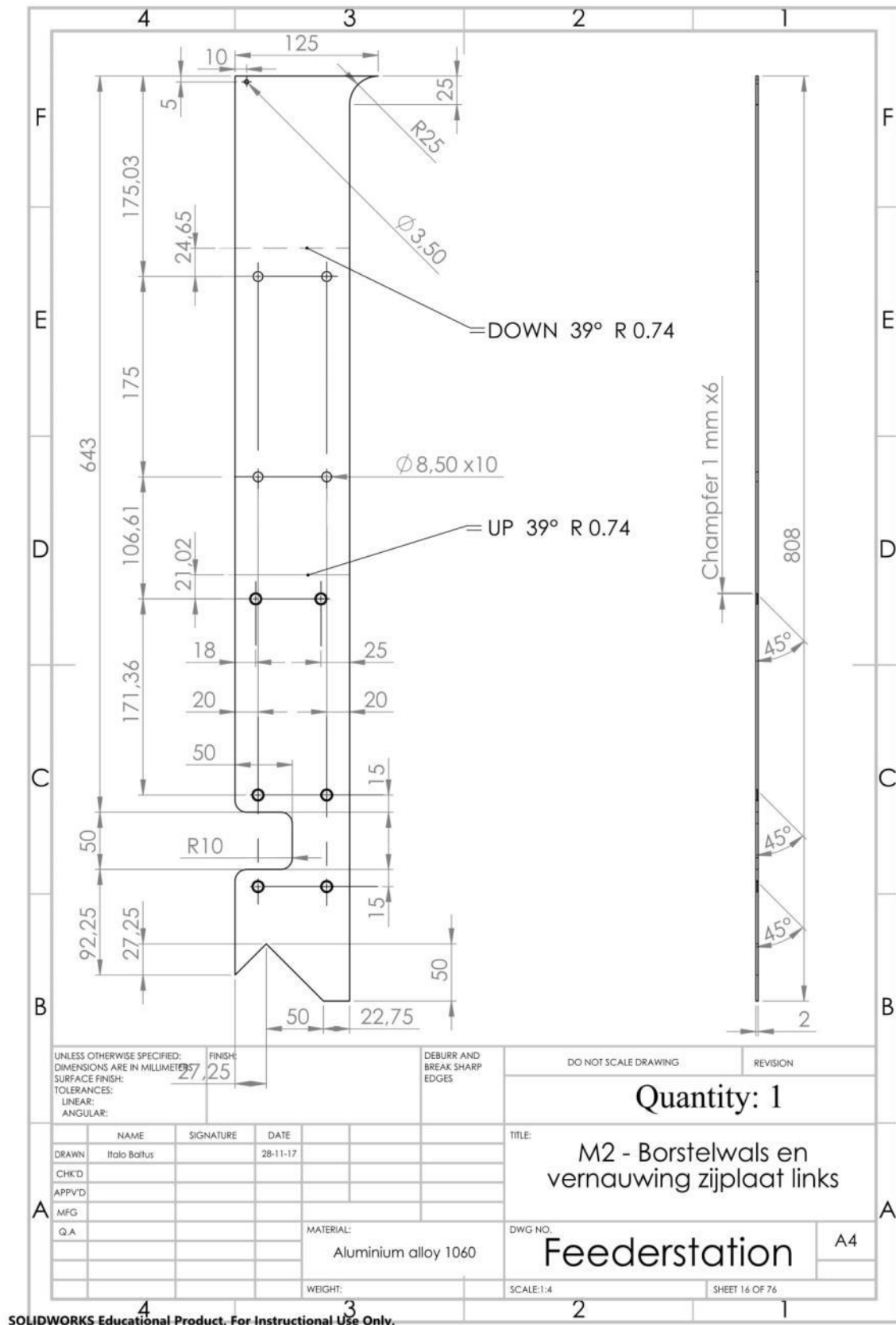
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



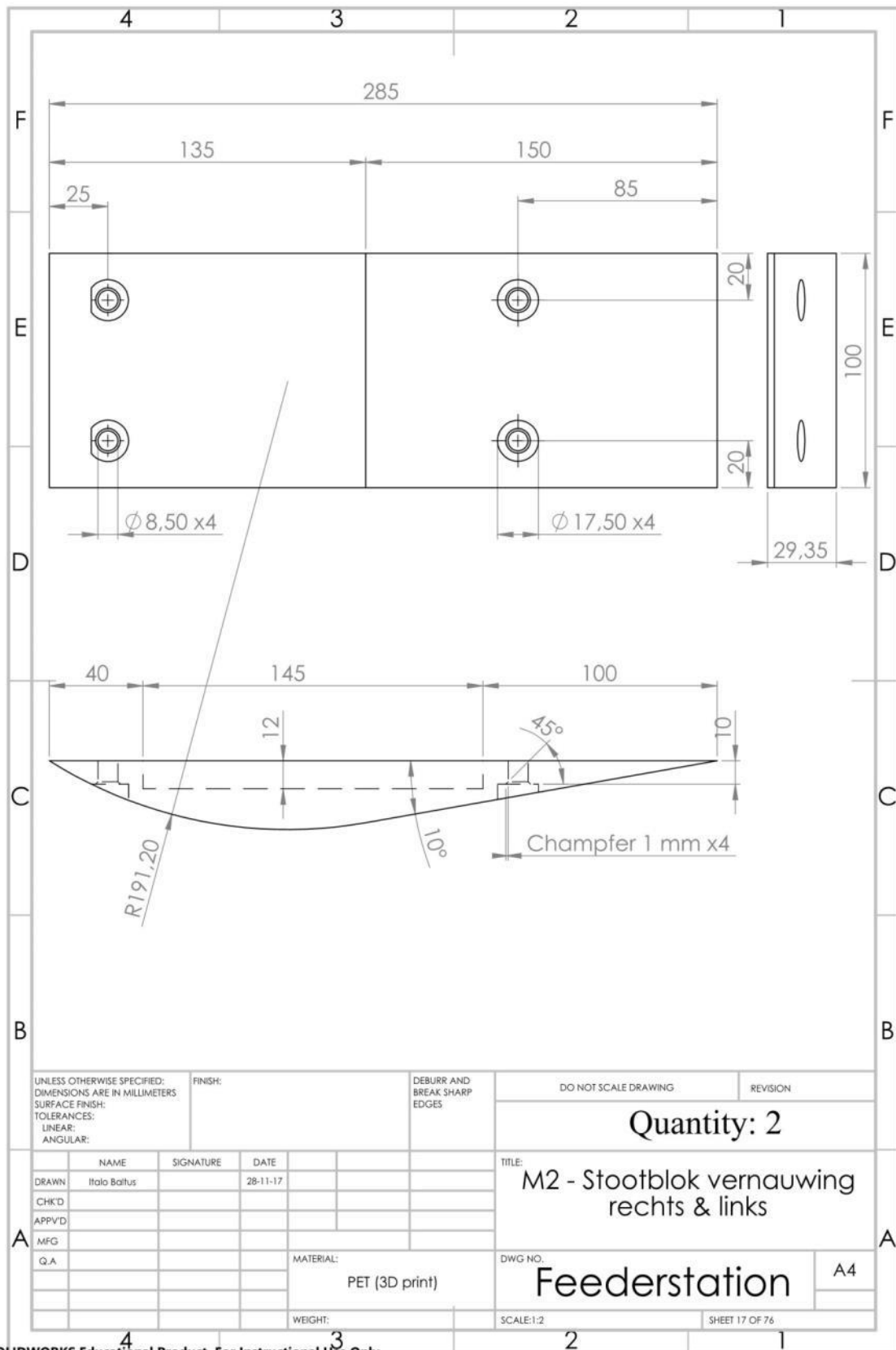
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



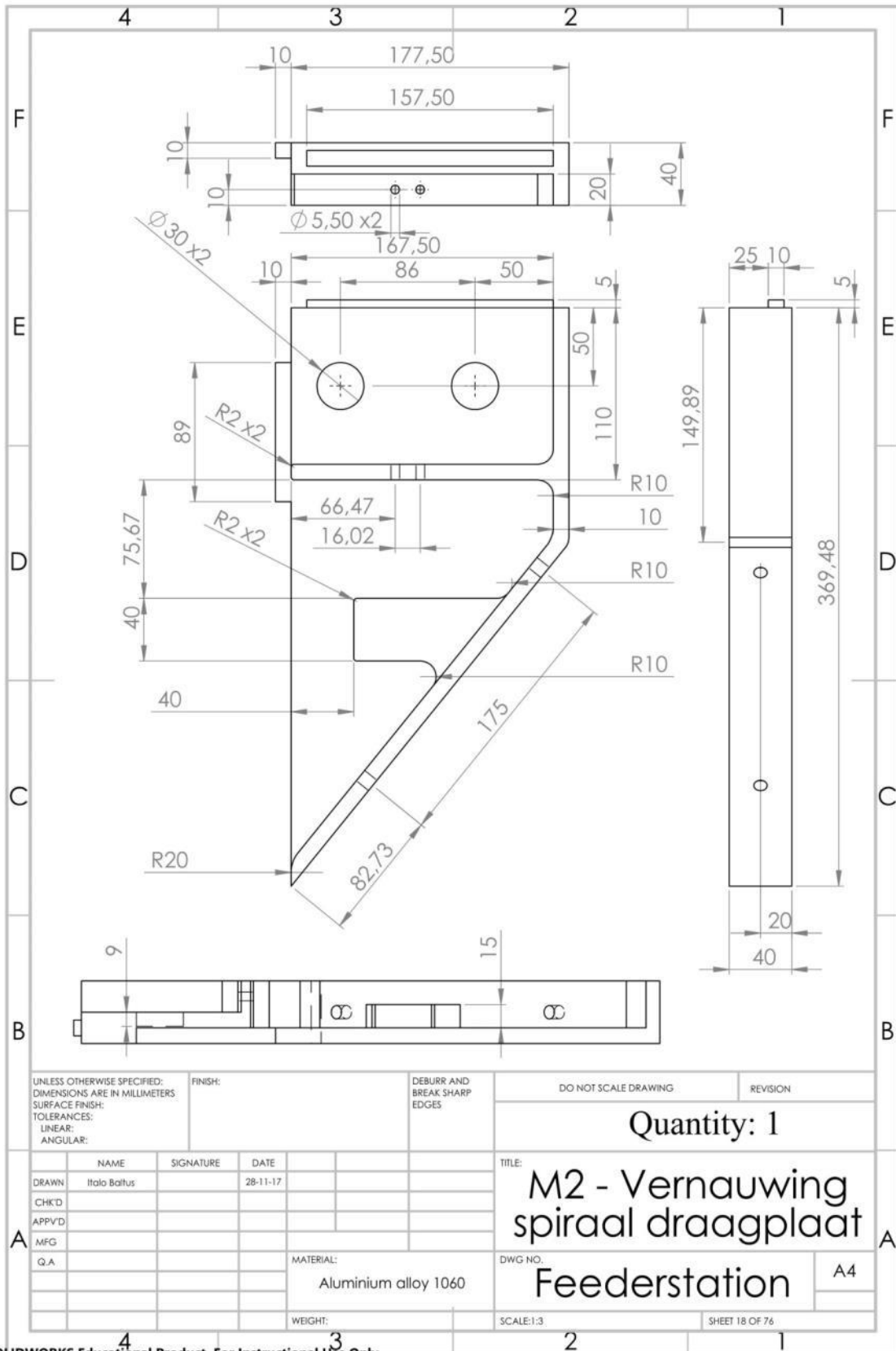
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



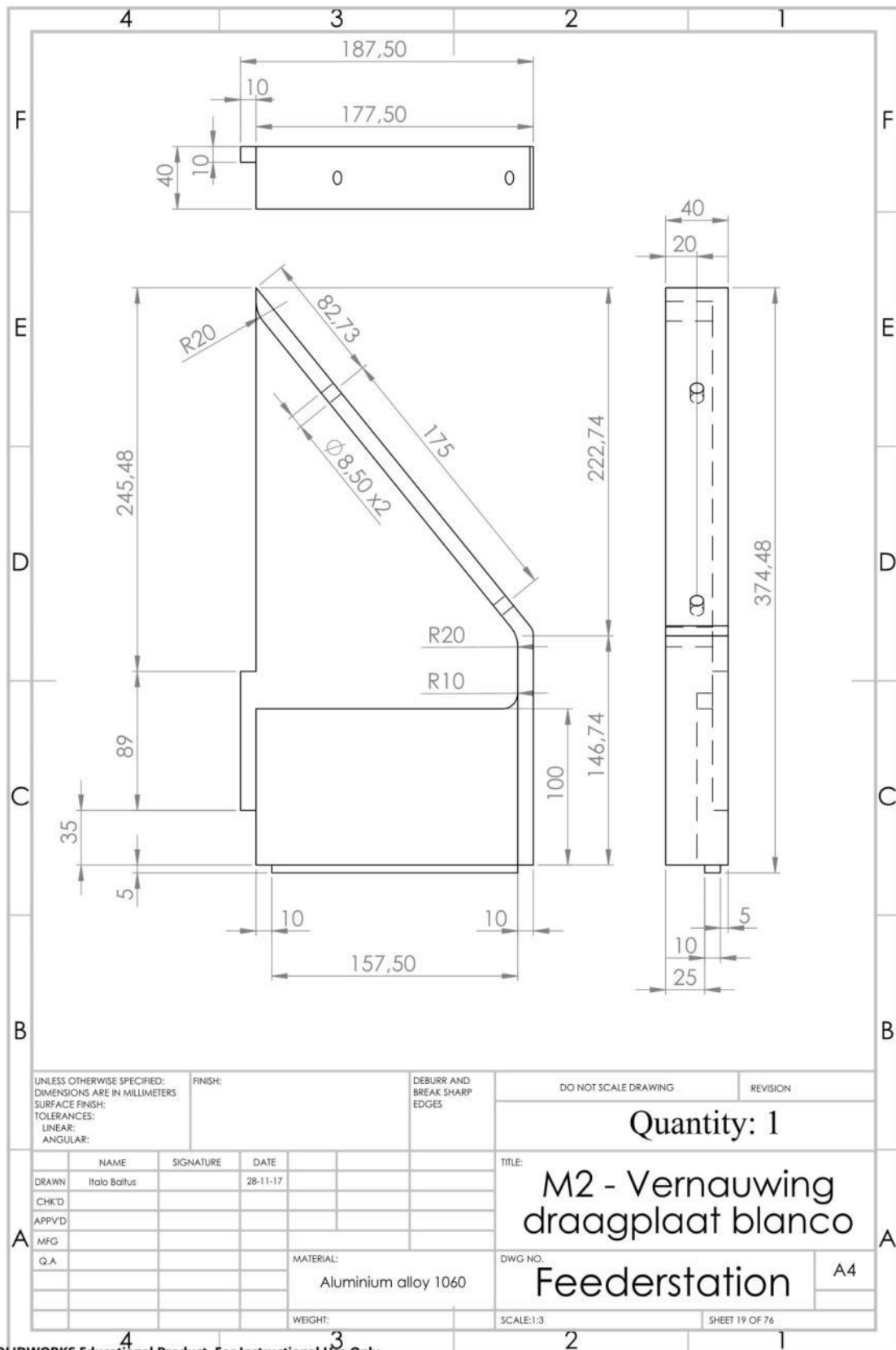
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



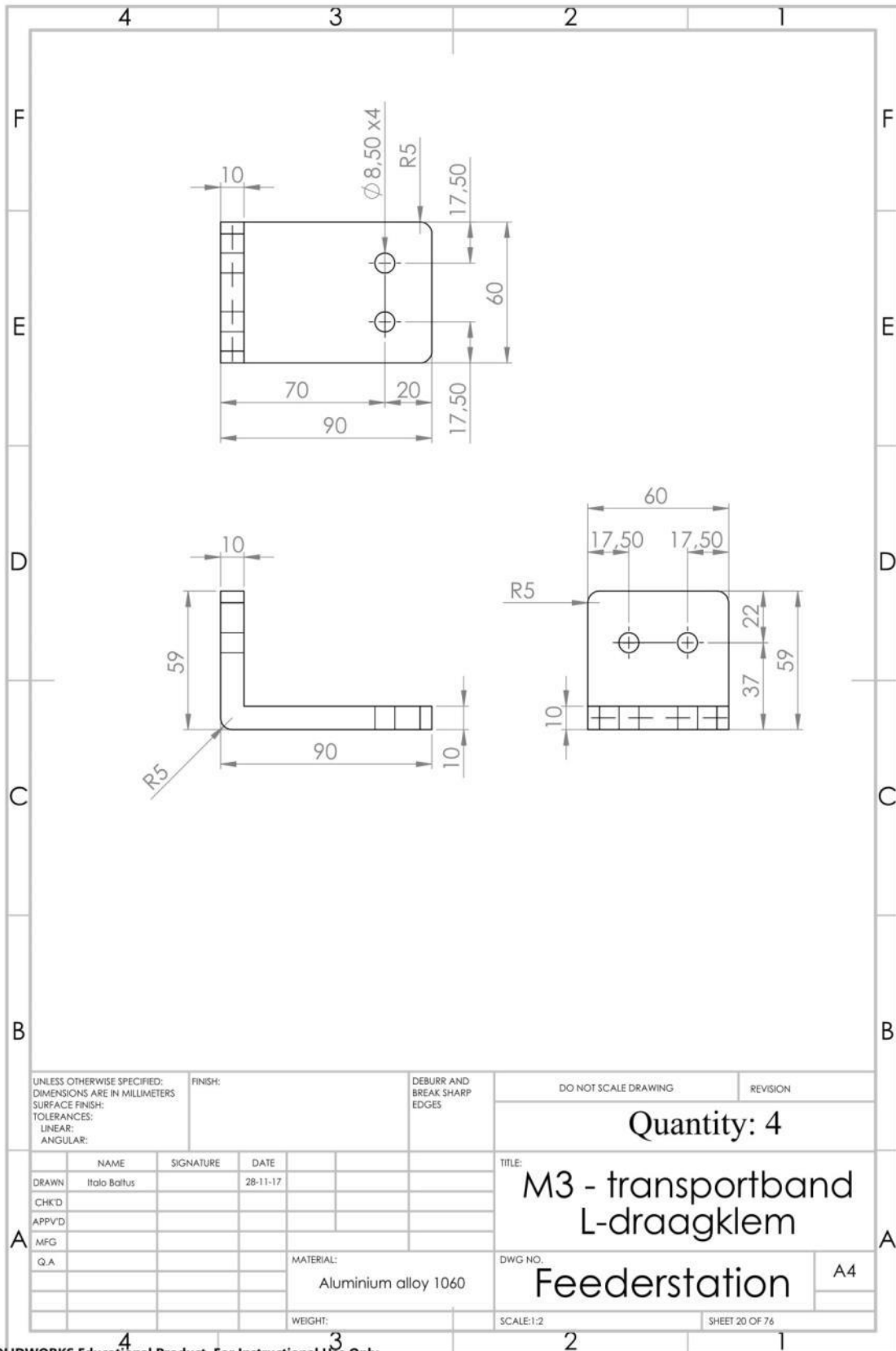
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



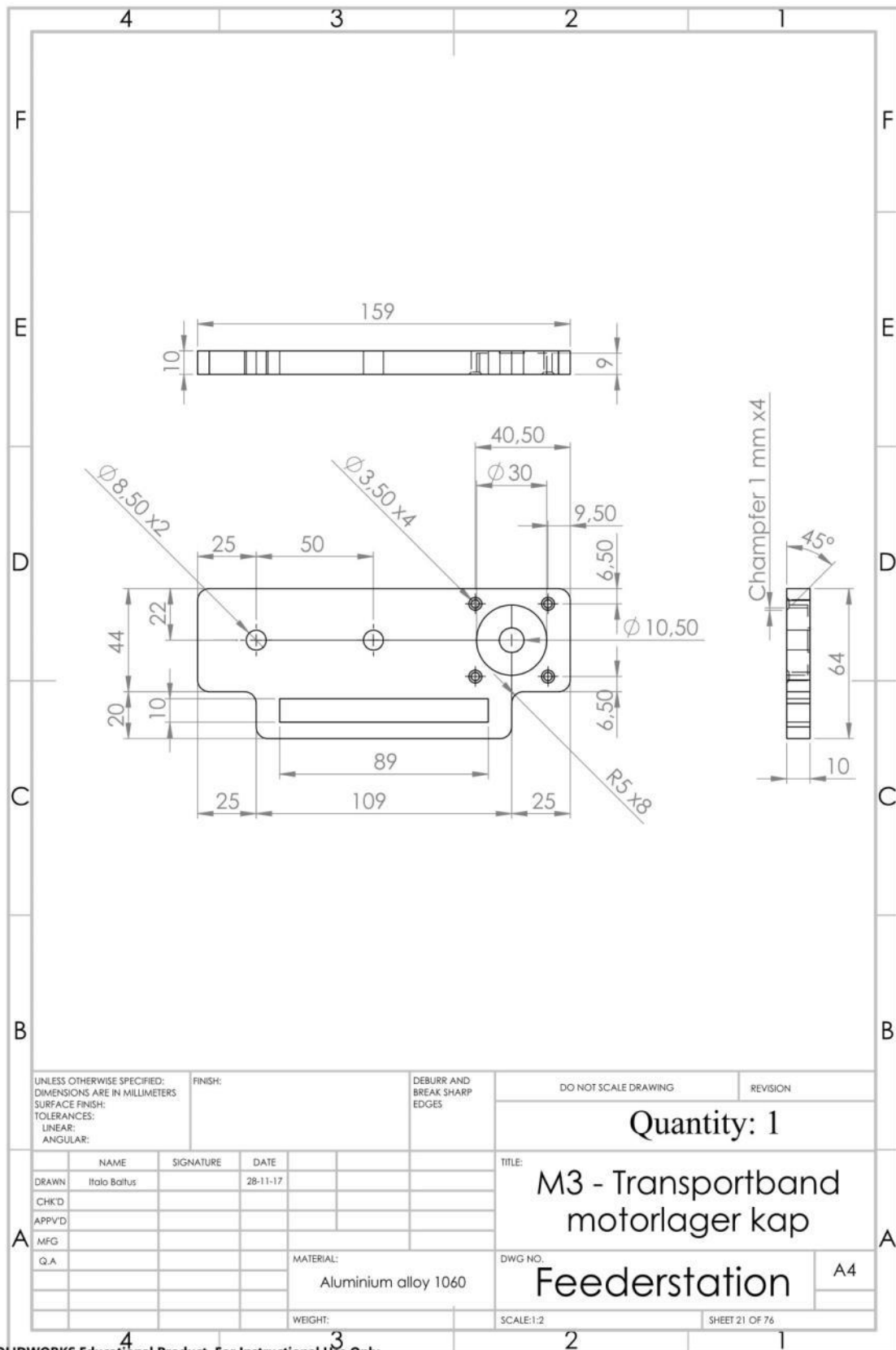
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



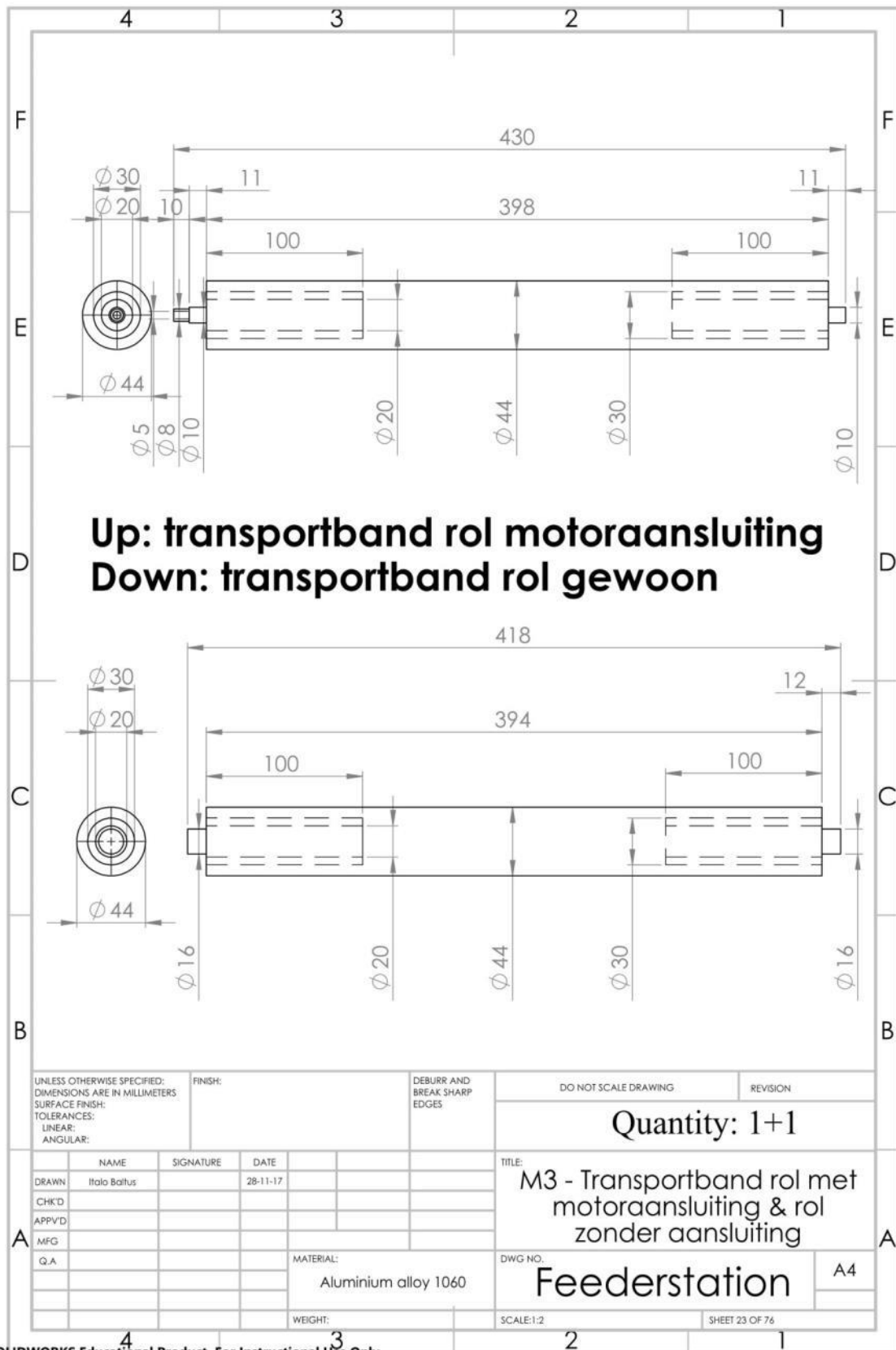
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



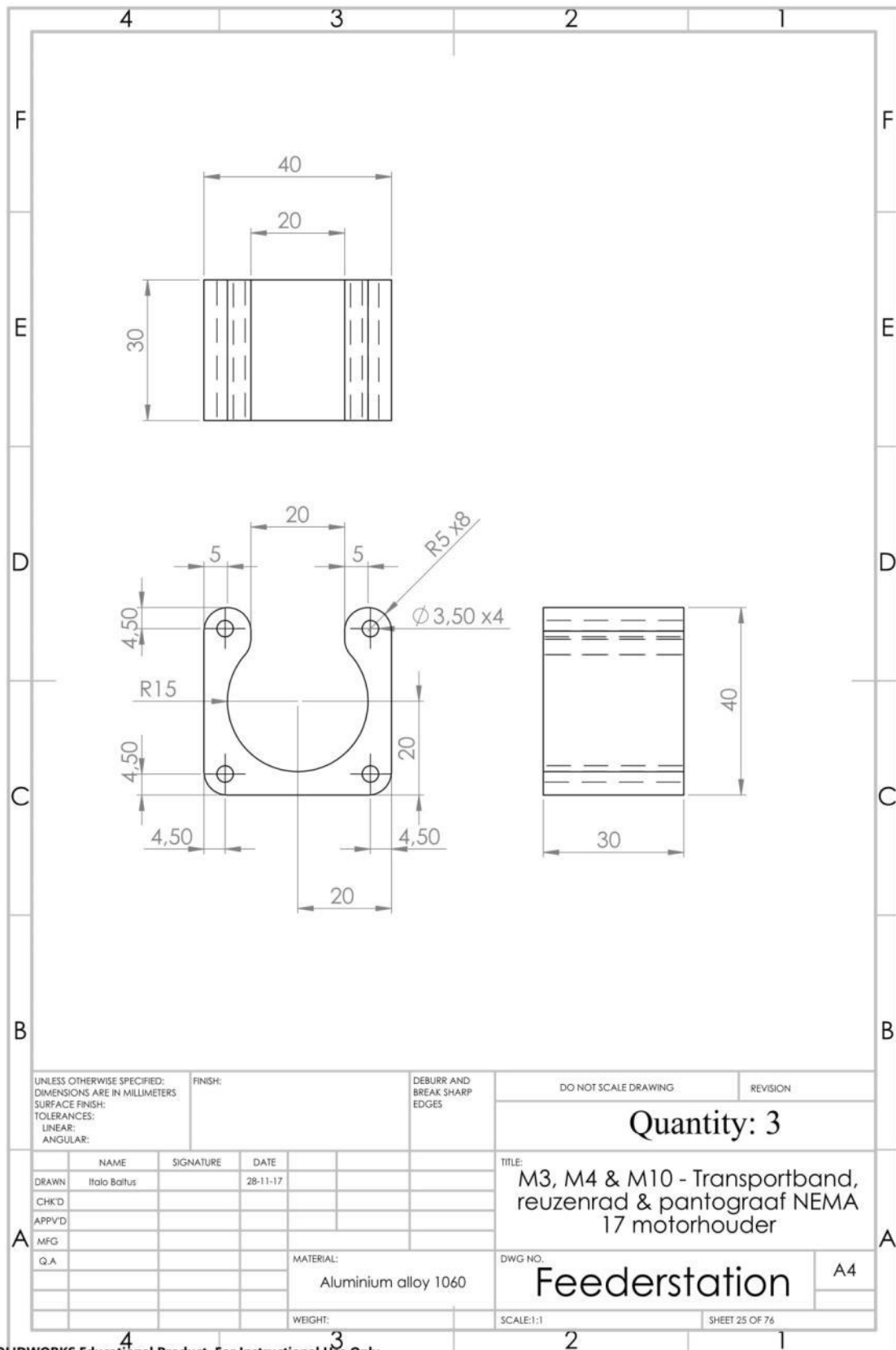
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



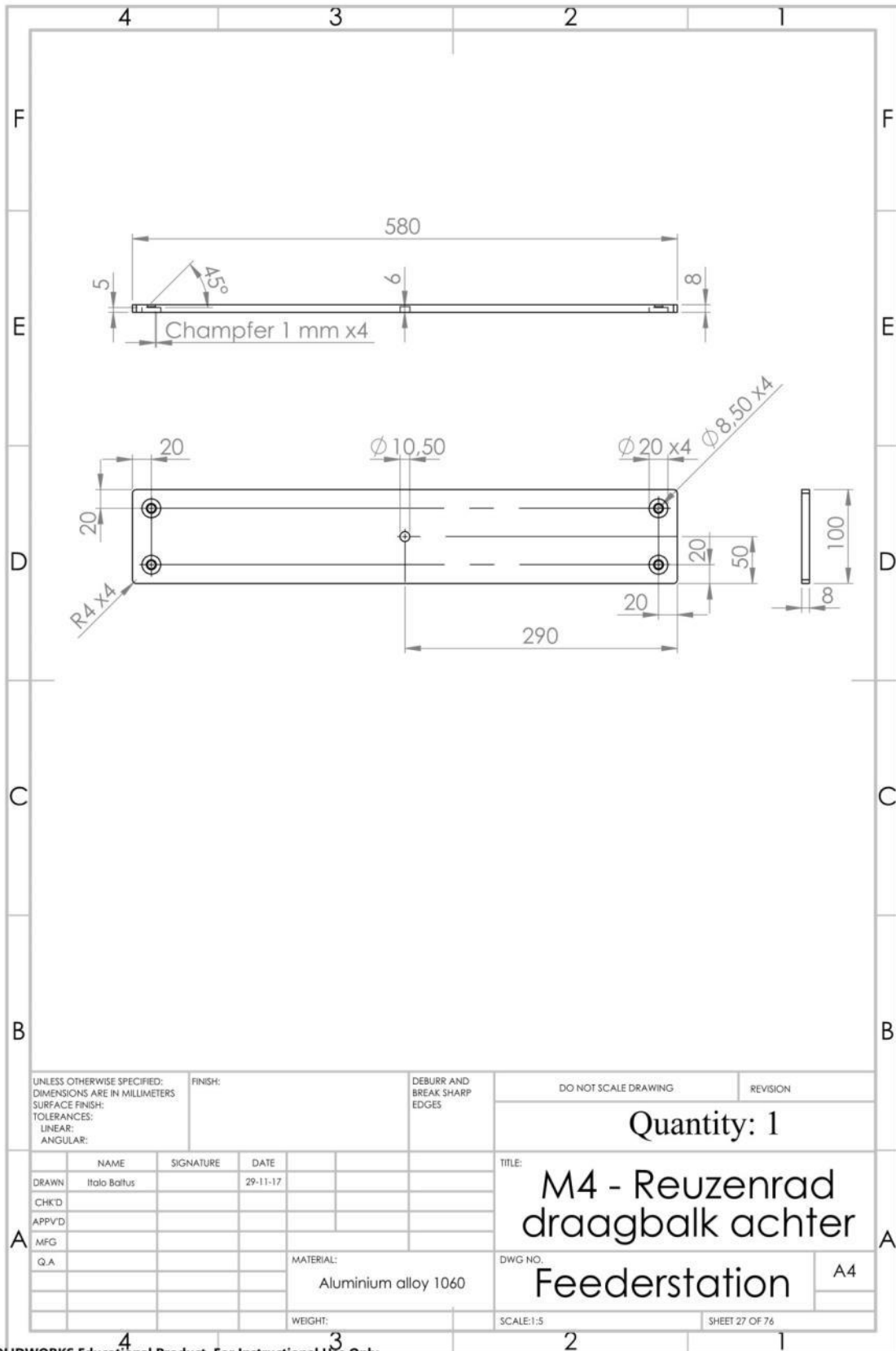
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



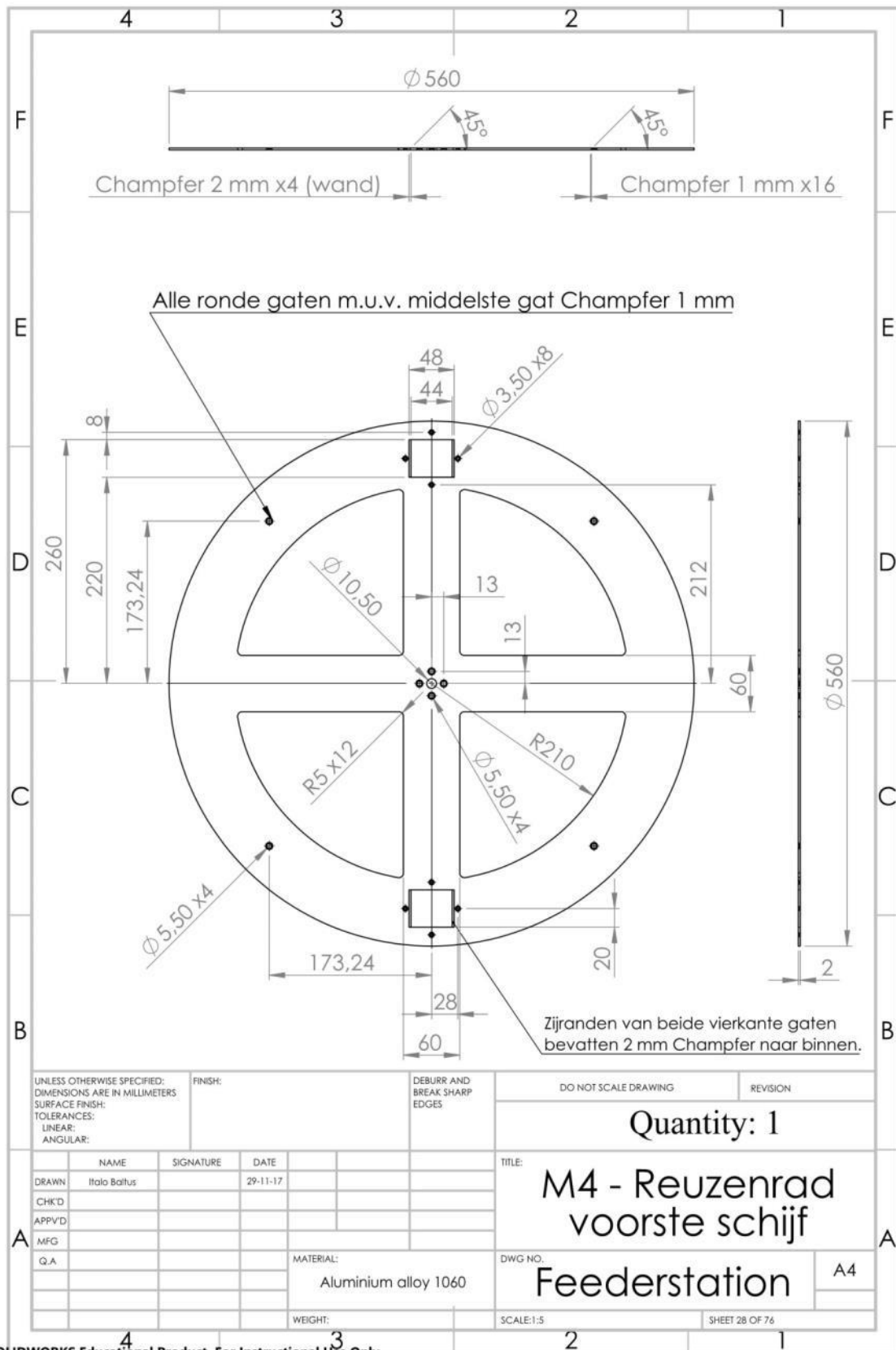
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



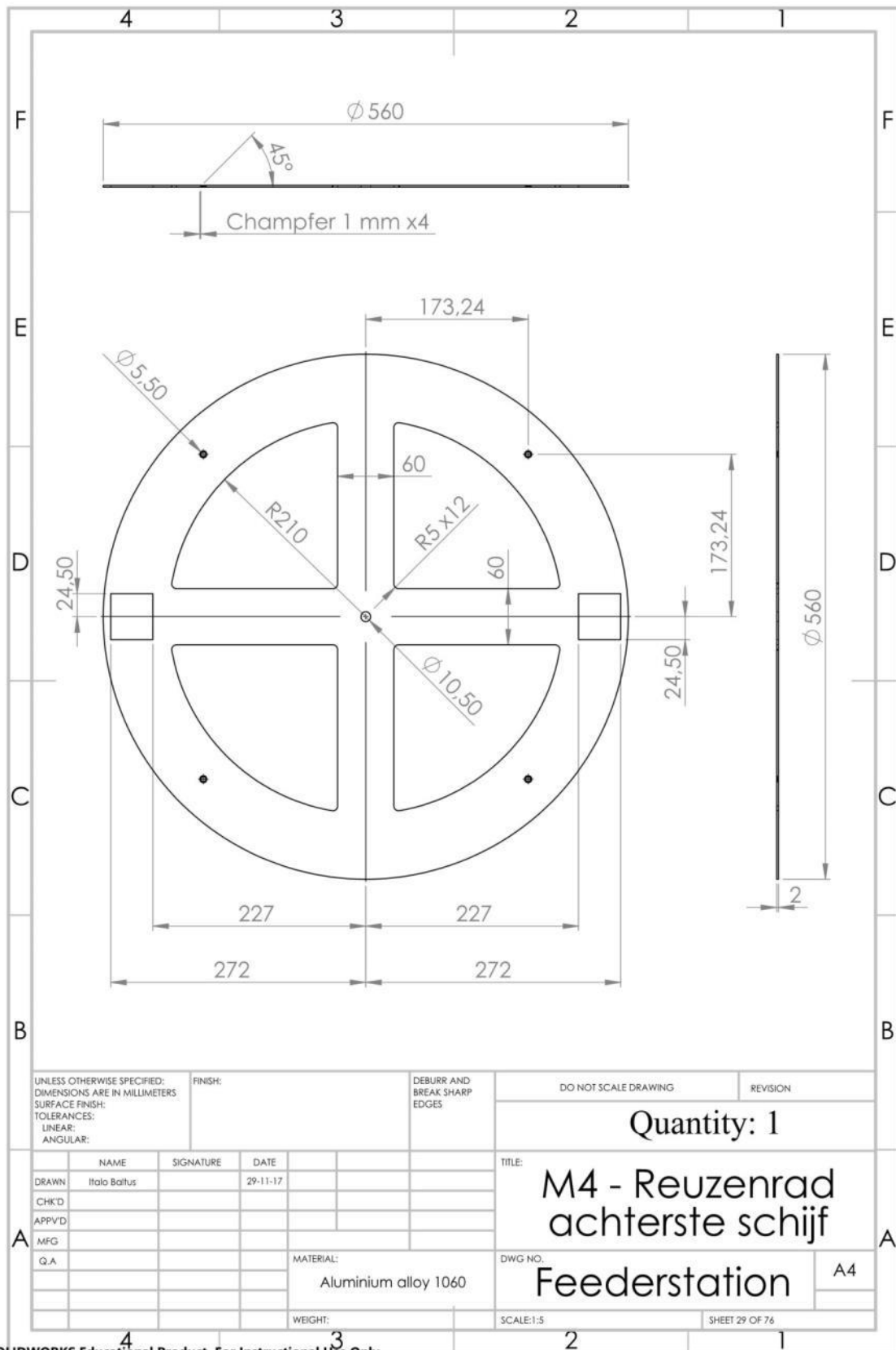
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



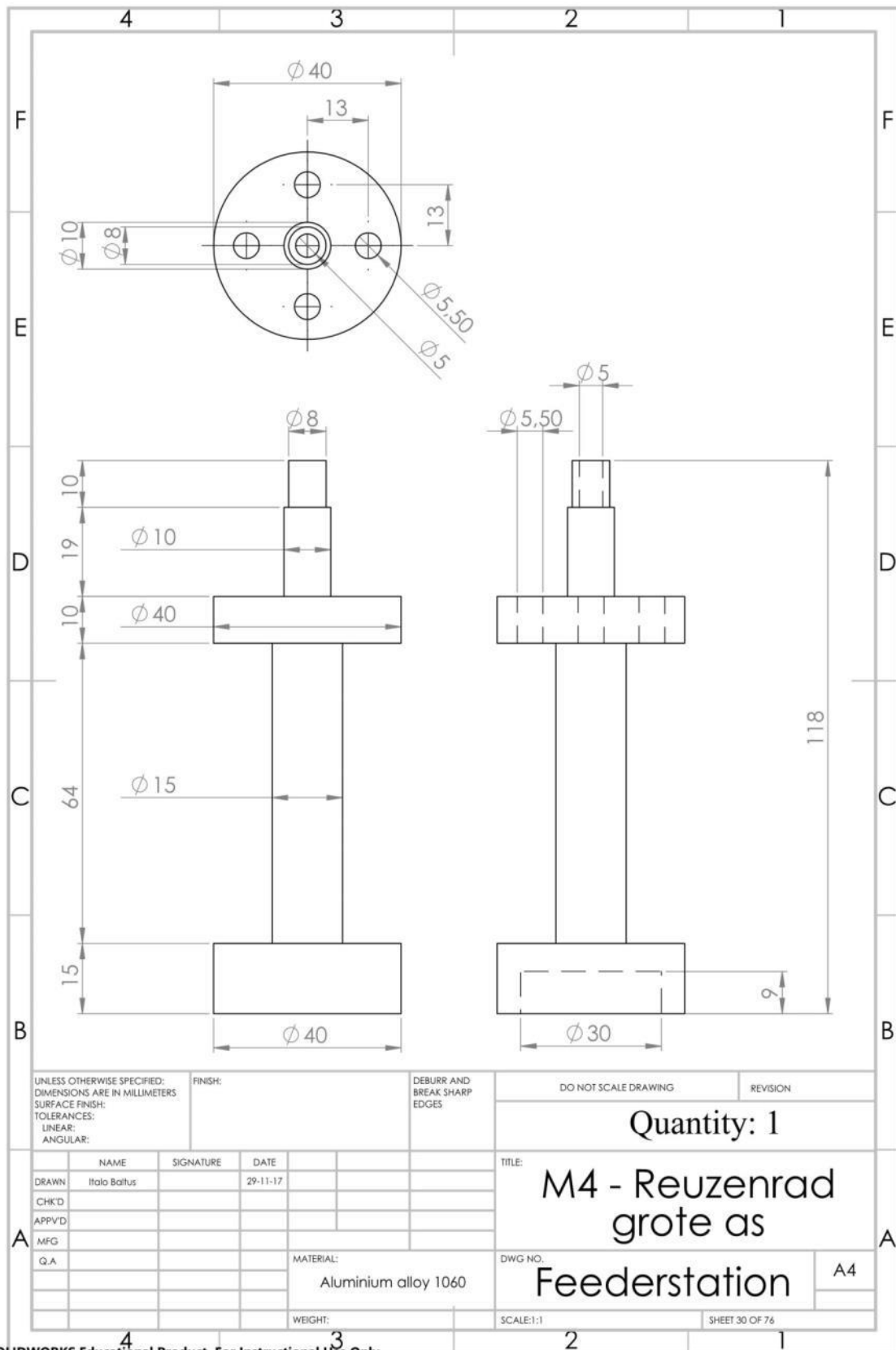
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



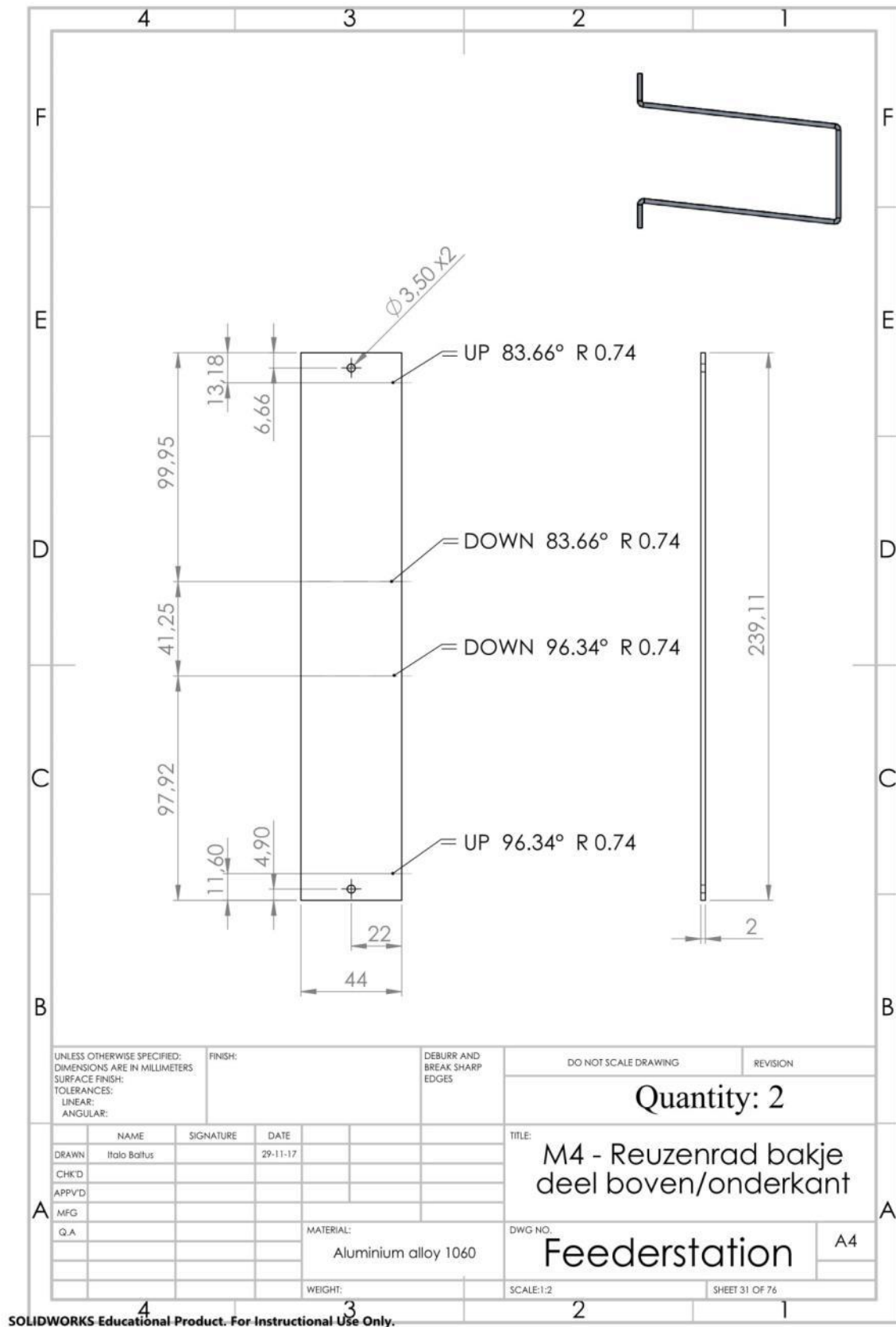
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



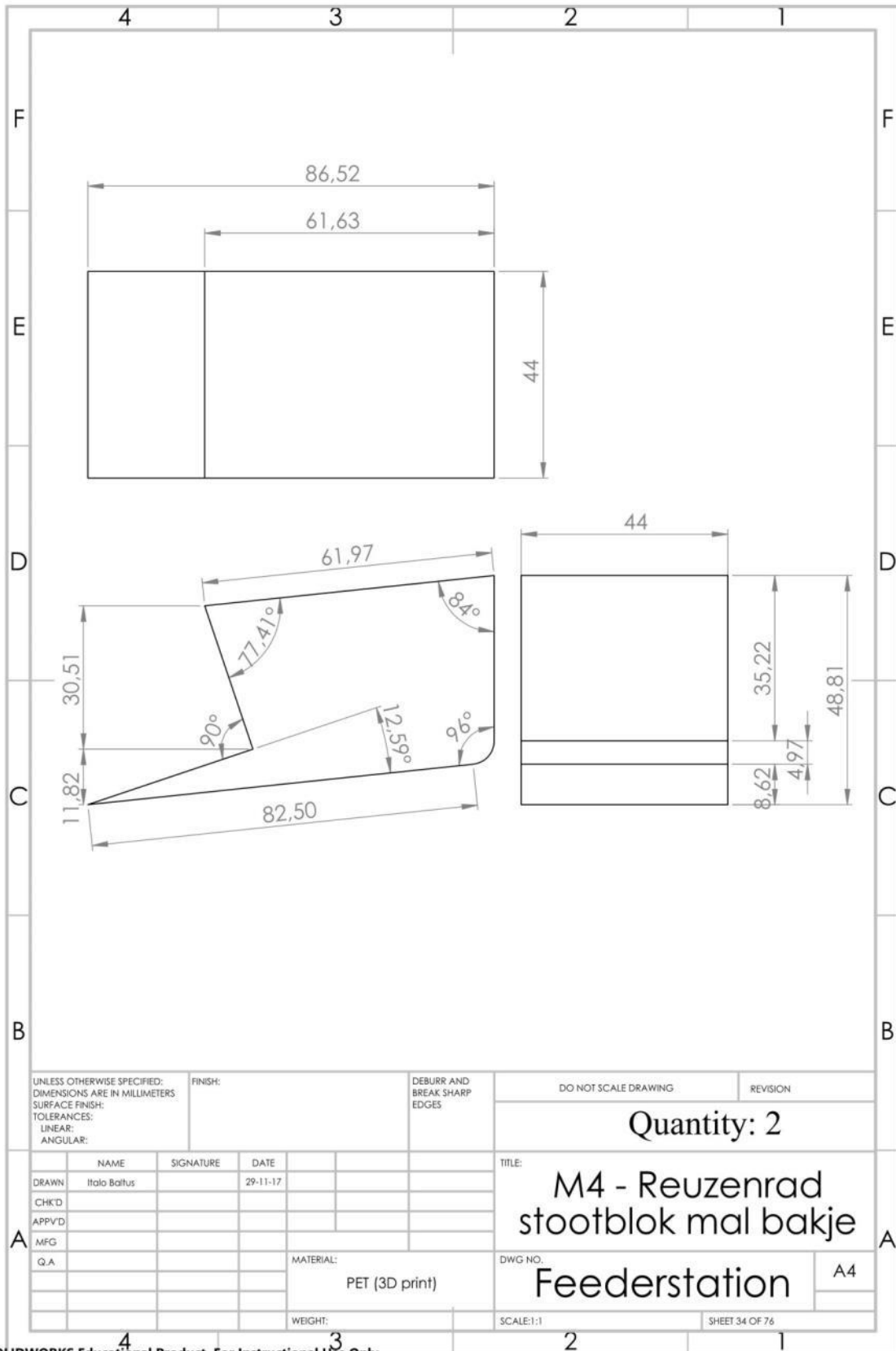
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



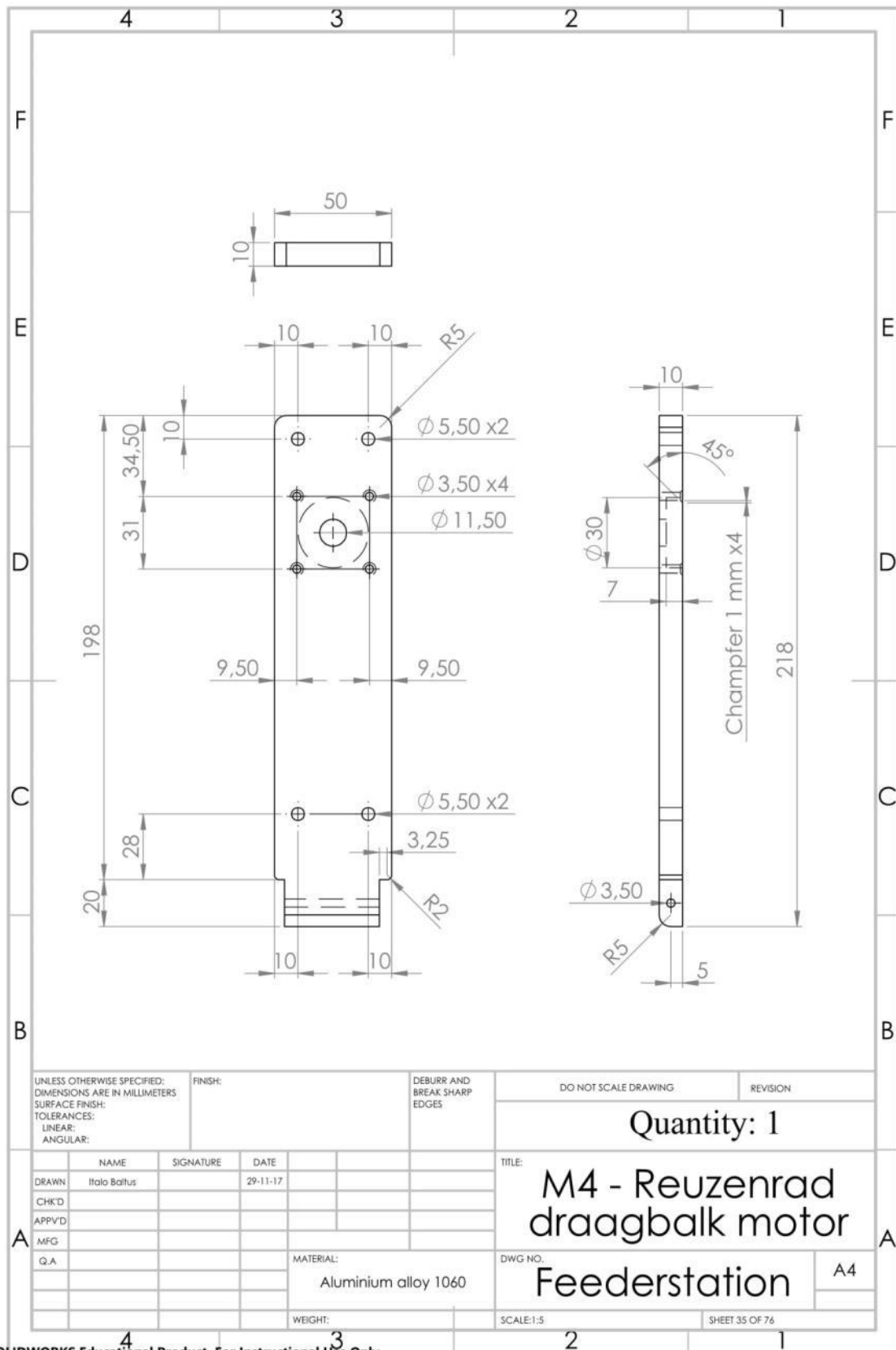
				4	3	2	1
				F	F		
				E	E		
				D	D		
				C	C		
				B	B		
				A	A		

Up: reuzenrad wielschijf bout verbinder
Down: reuzenrad as koppelstukje achter

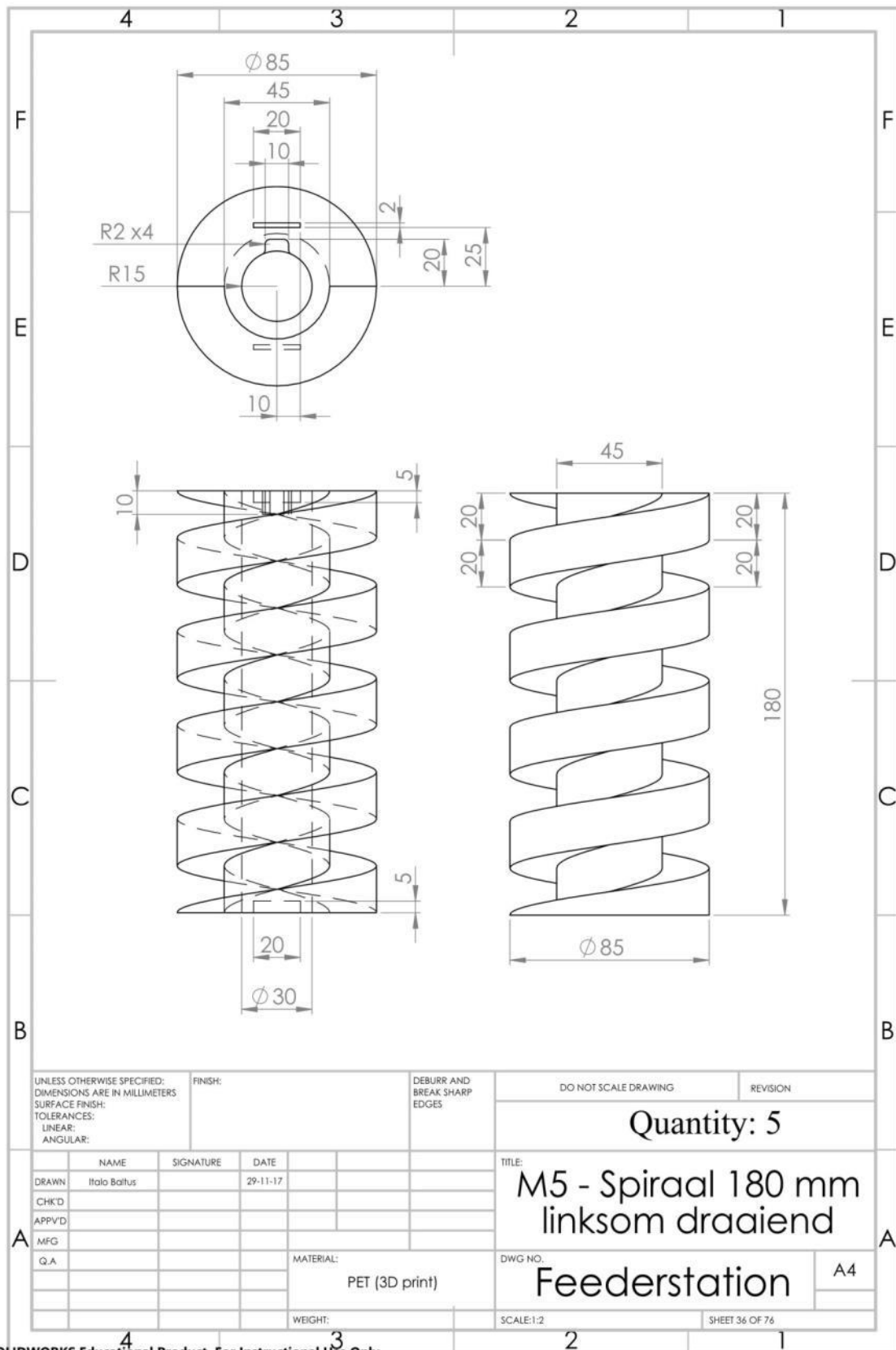
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								Quantity: 4+1			
DRAWN: Italo Baltus				SIGNATURE:		DATE: 29-11-17		TITLE: M4 - Reuzenrad wielschijf bout verbinder & as koppelstukje achter			
CHK'D:								DWG NO. Feederstation A4 SCALE: 1:1 SHEET 33 OF 76			
APPV'D:											
MFG:											
Q.A:											
						MATERIAL: Aluminium alloy 1060					
						WEIGHT:					



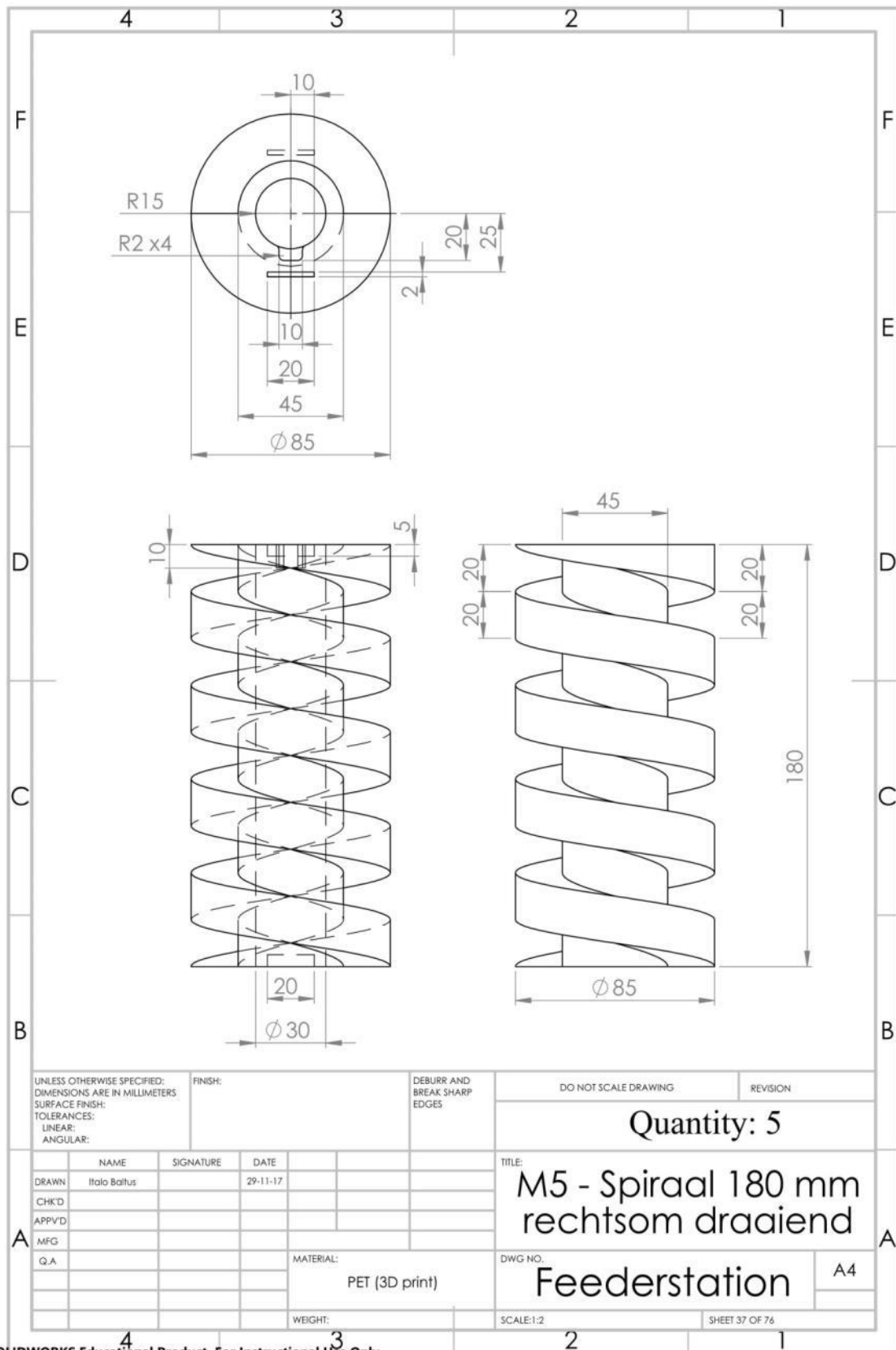
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

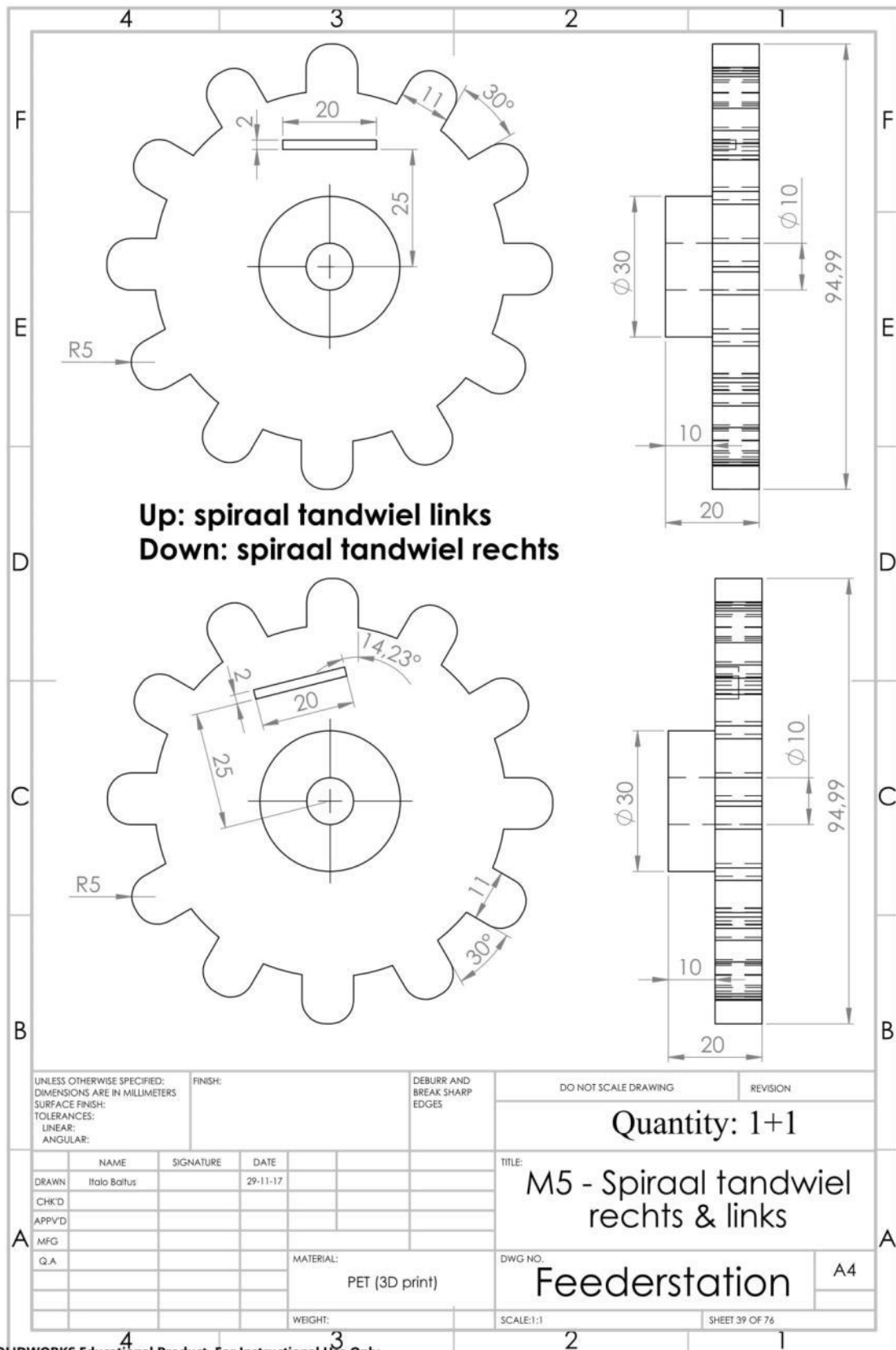


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

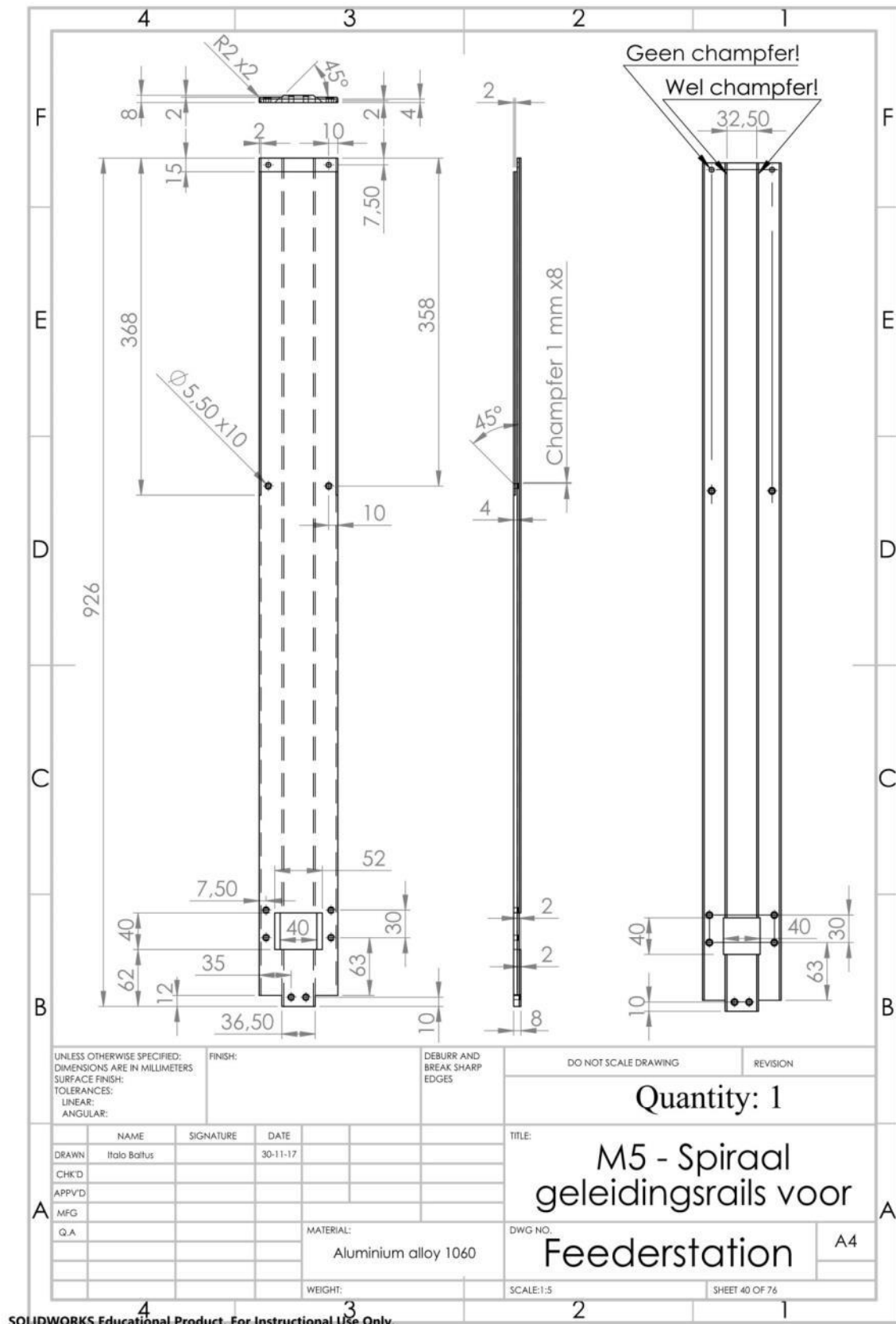


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

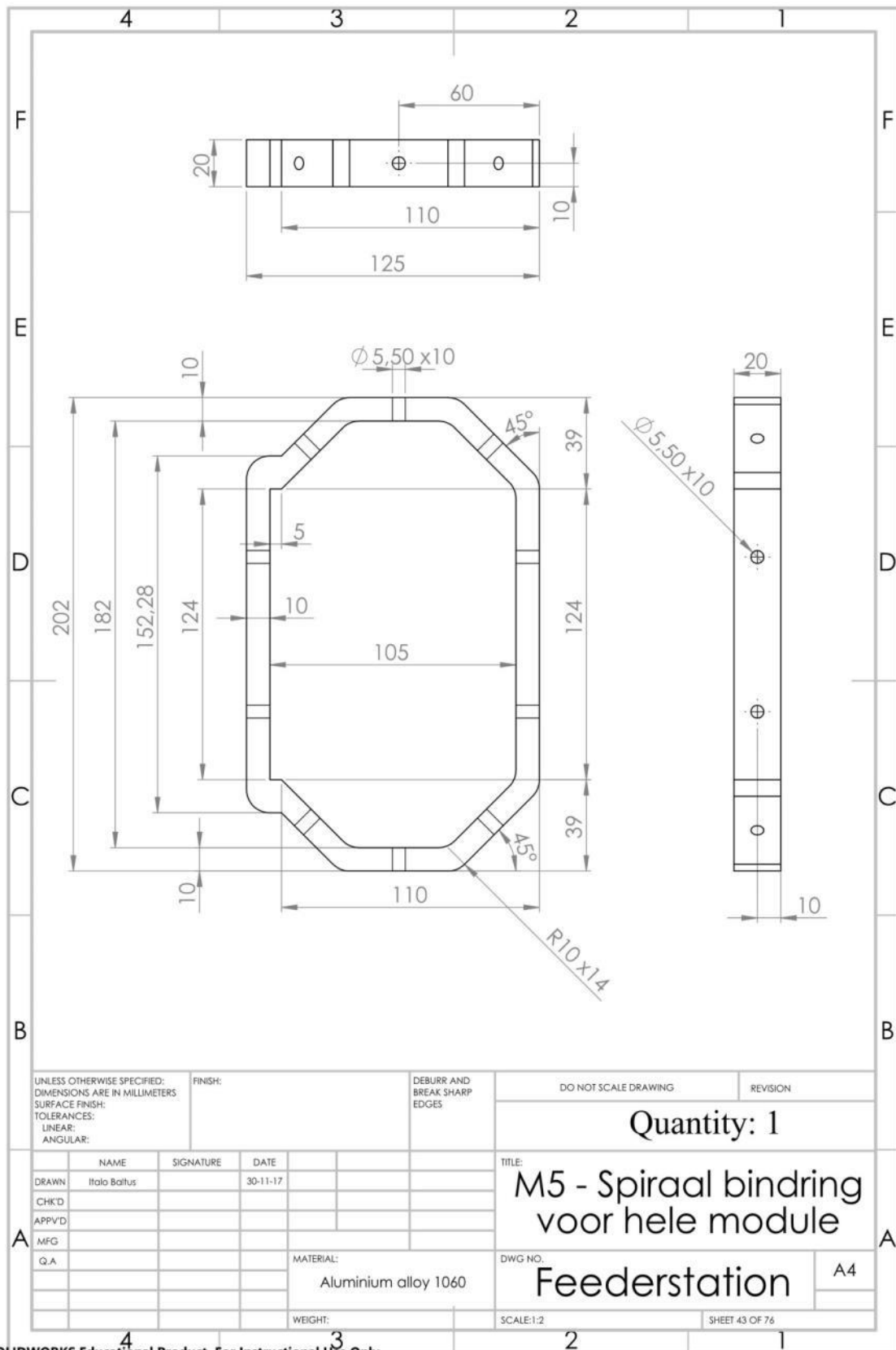




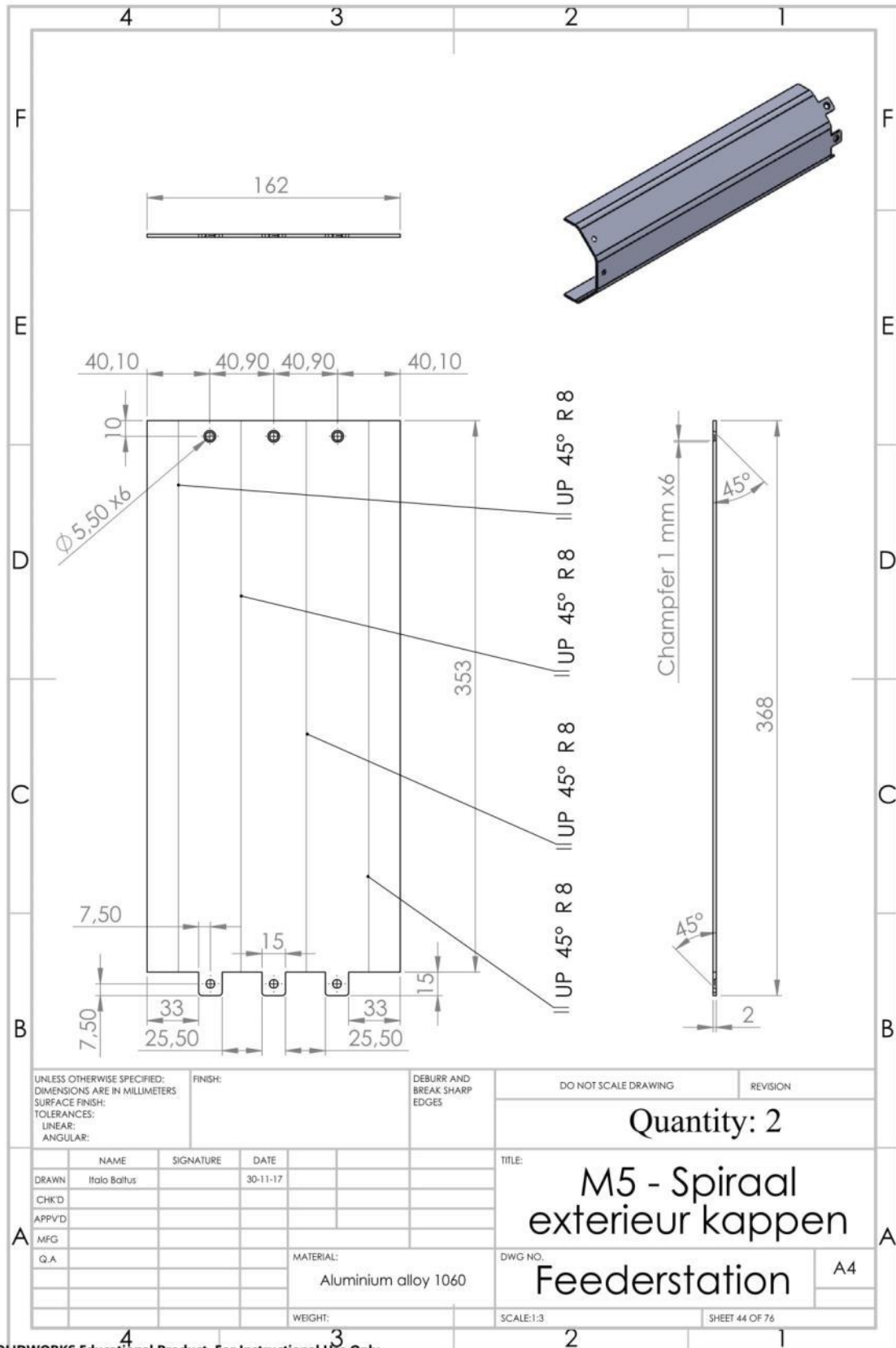
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

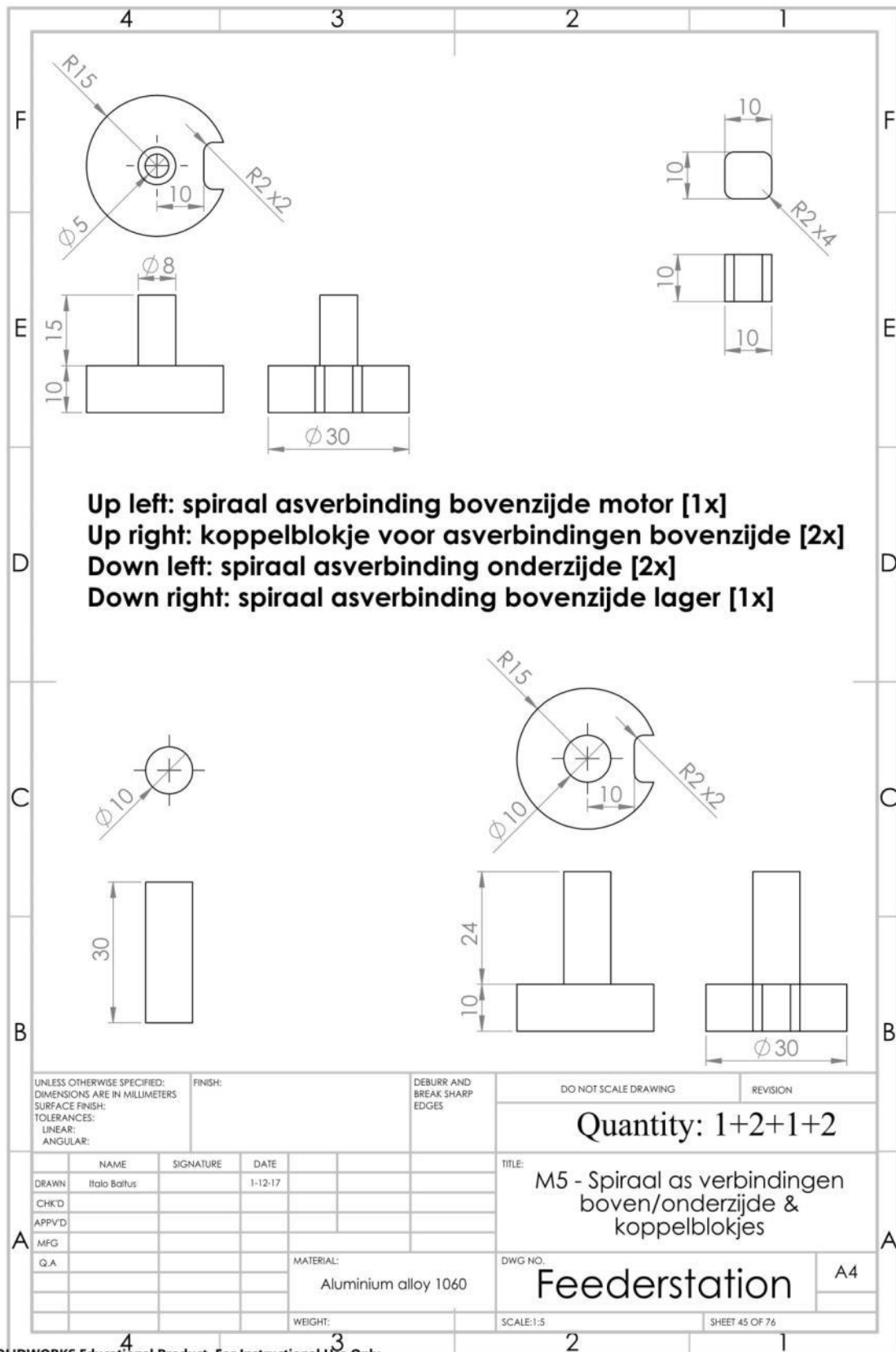


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

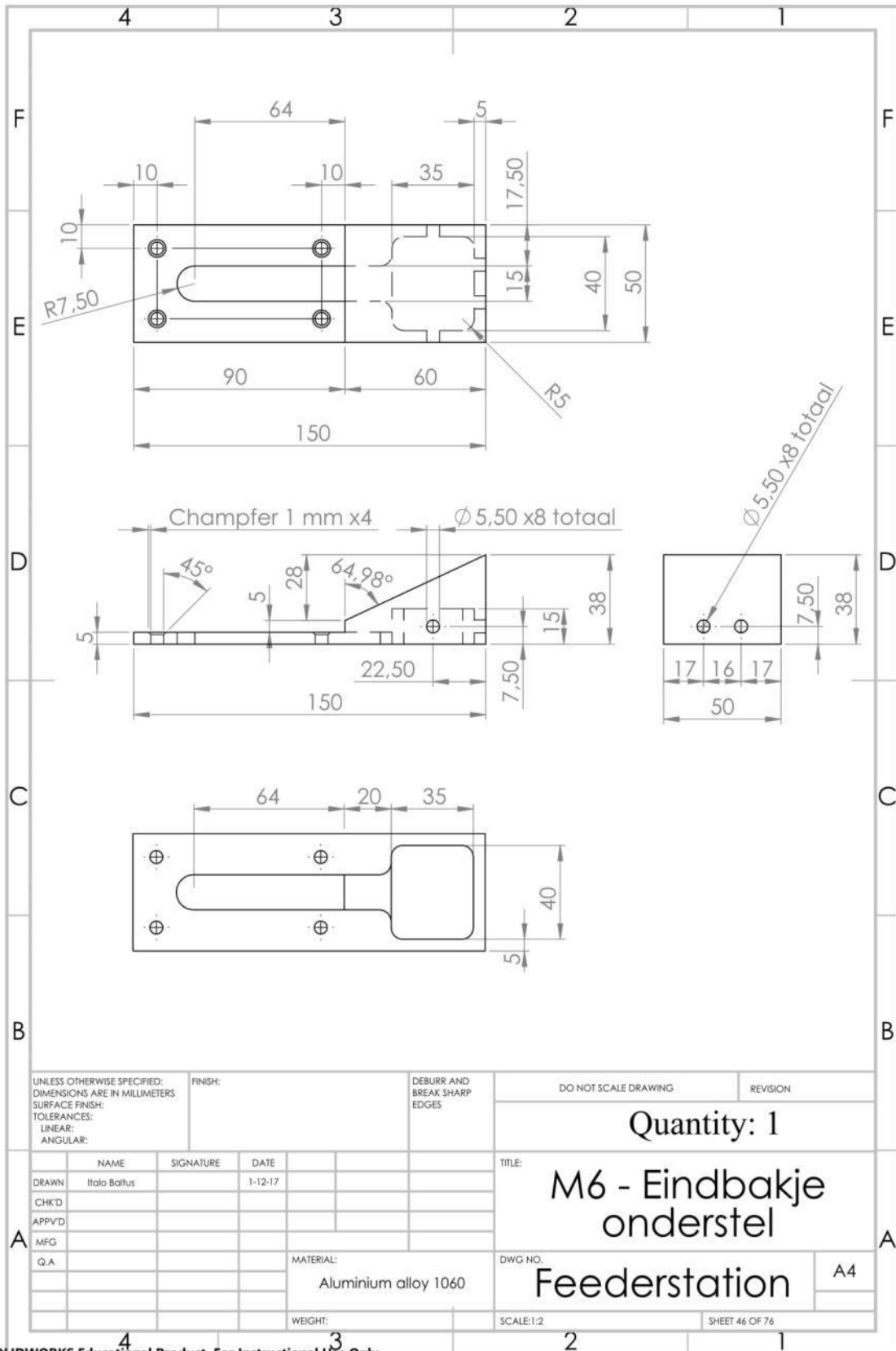


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

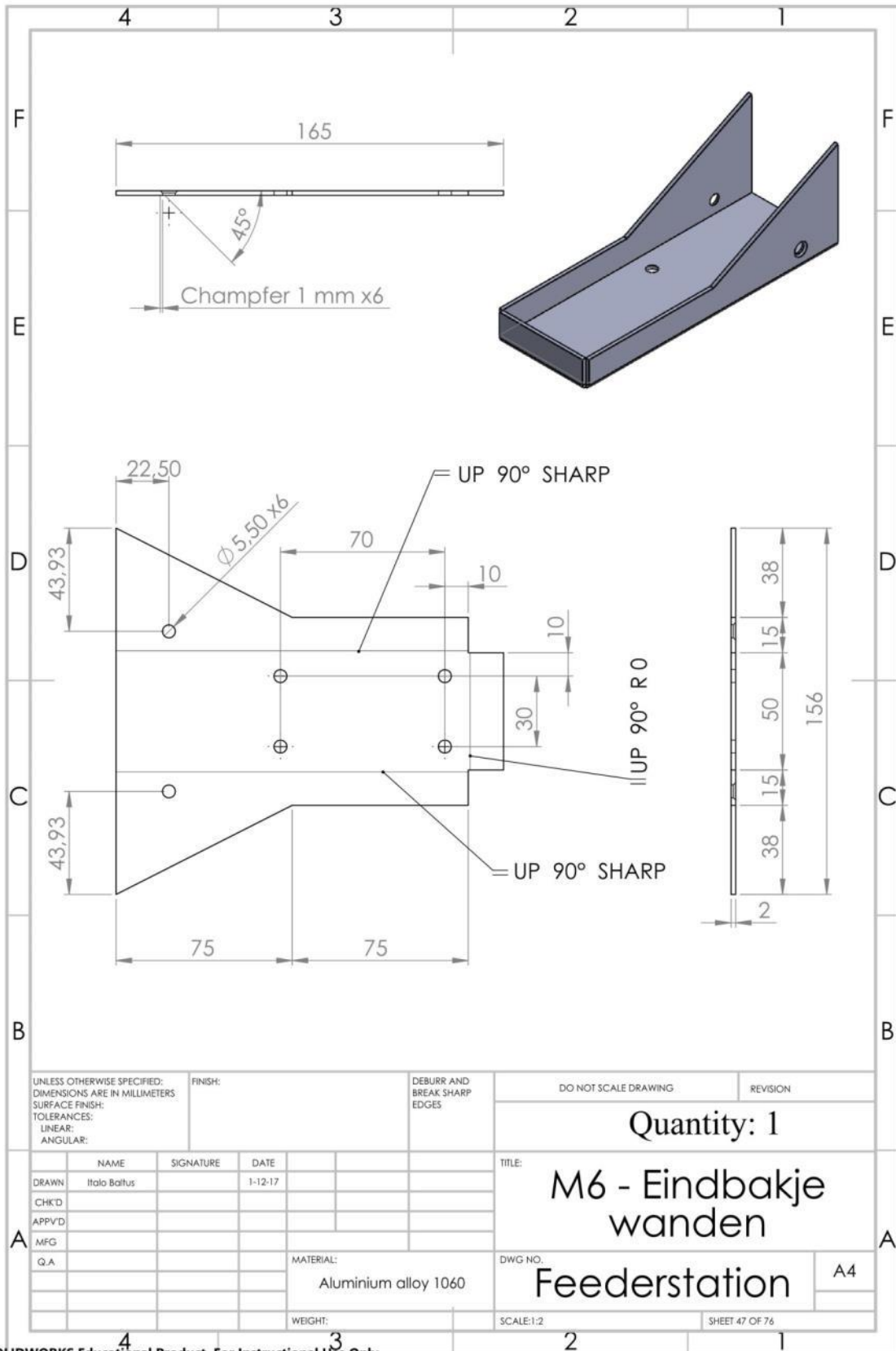




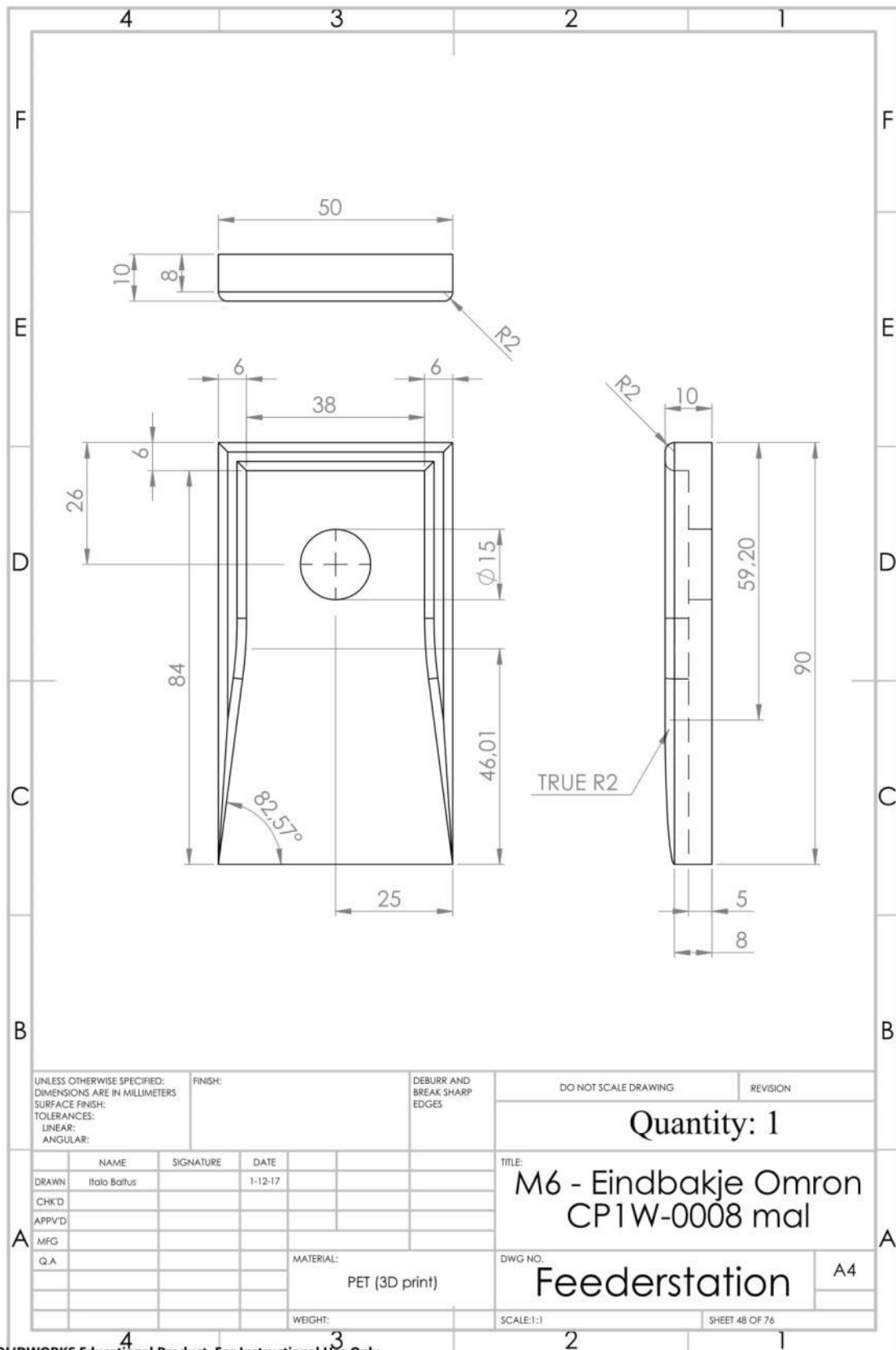
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



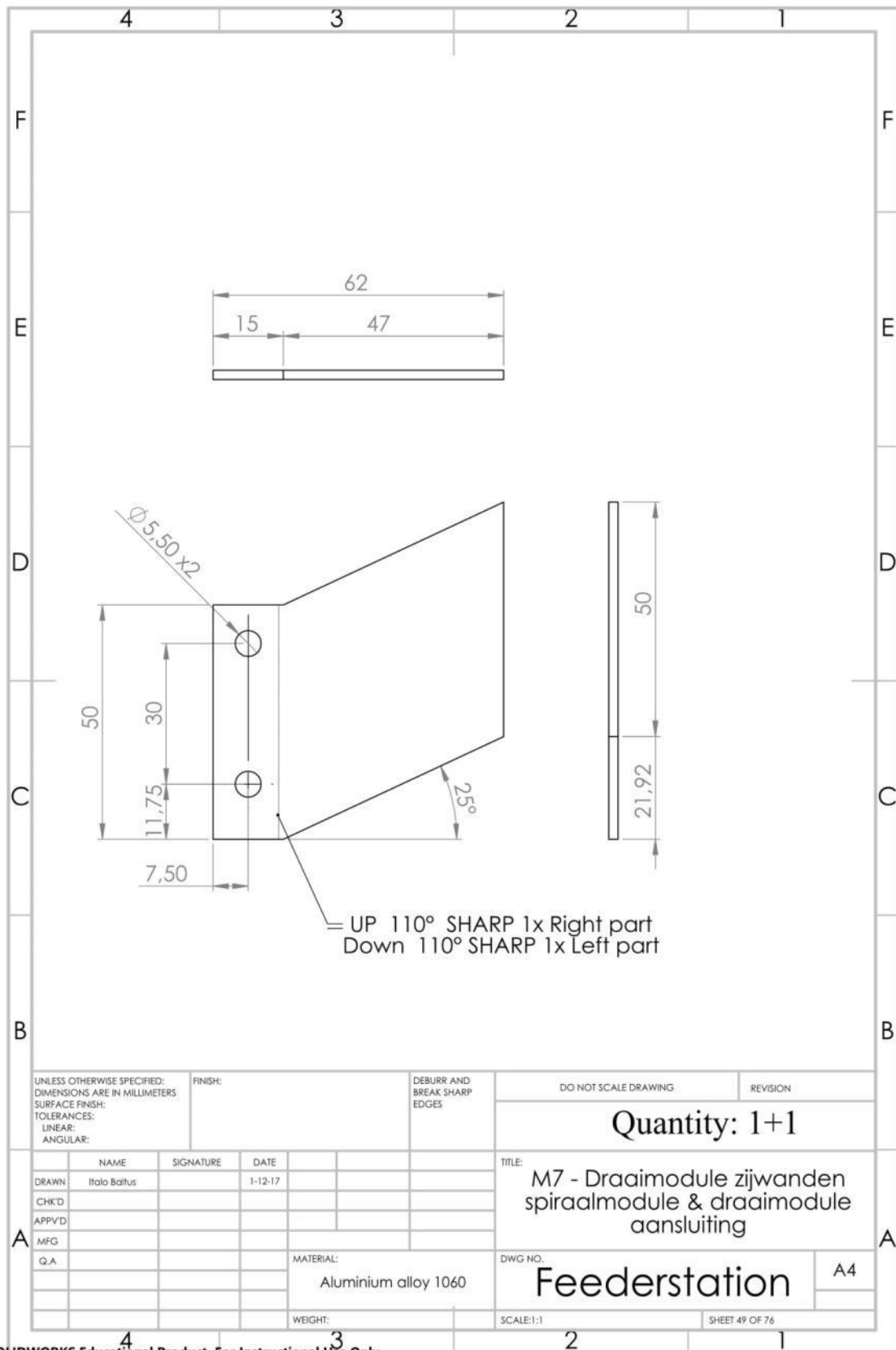
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



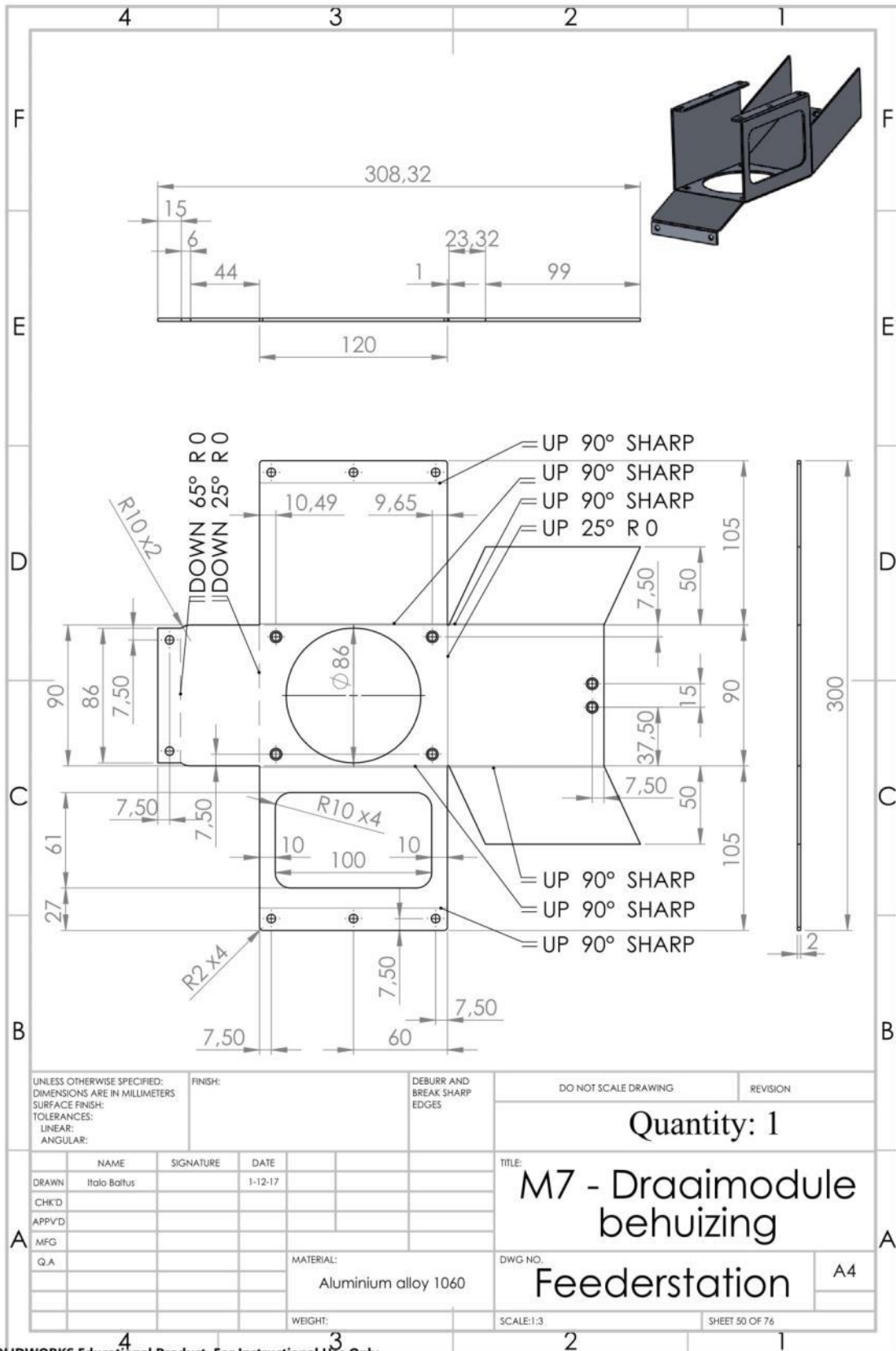
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



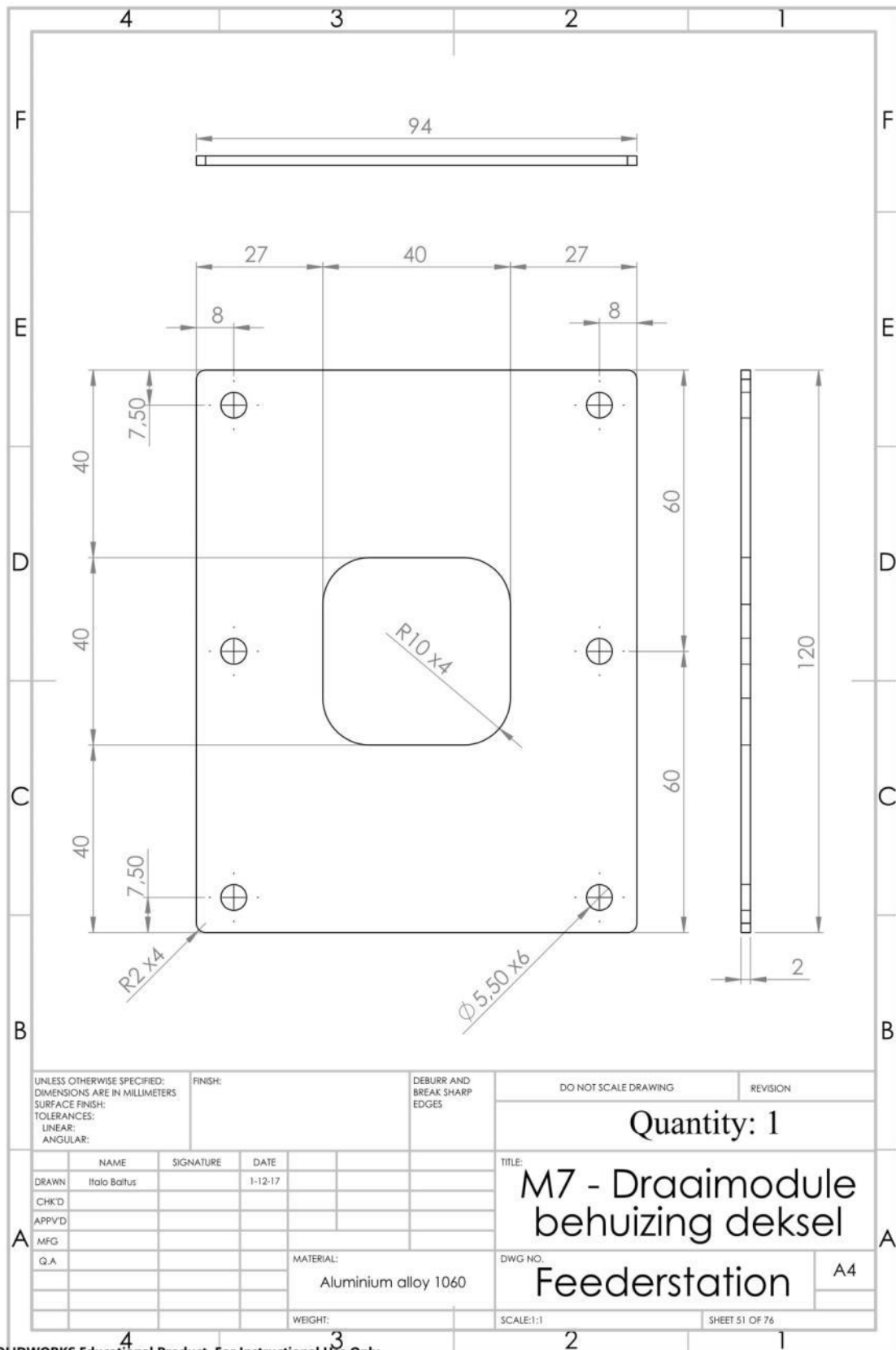
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



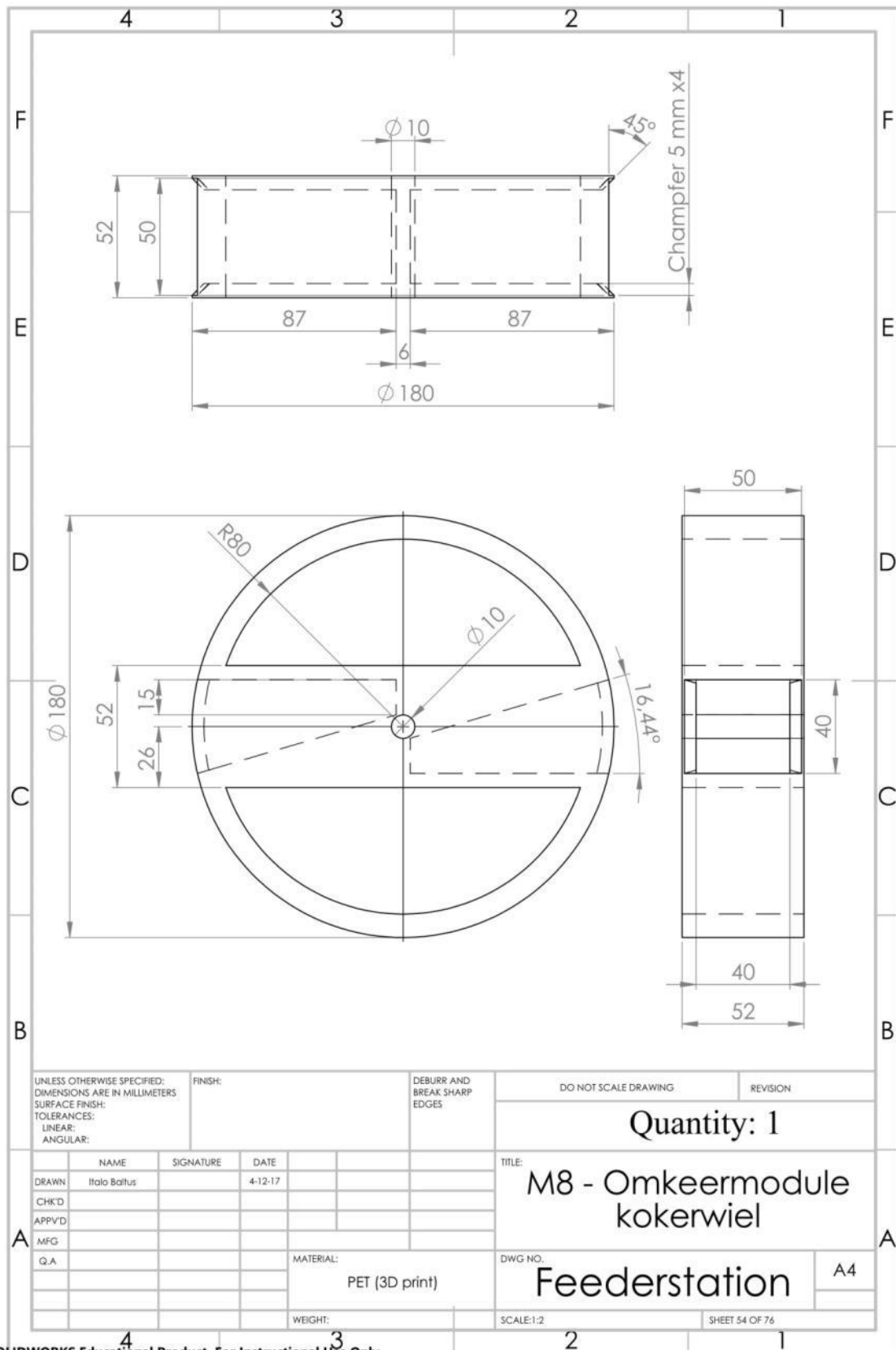
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



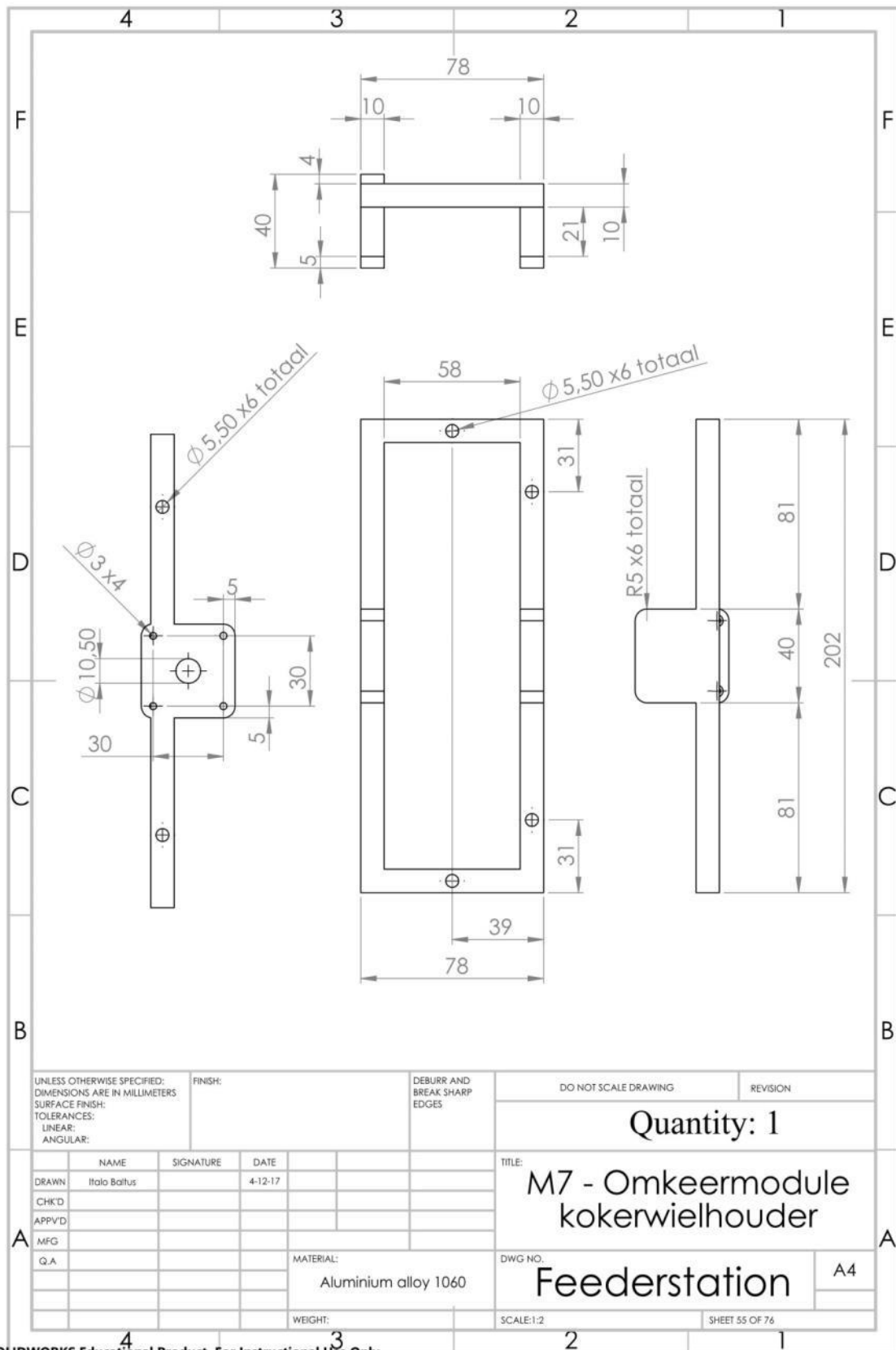
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



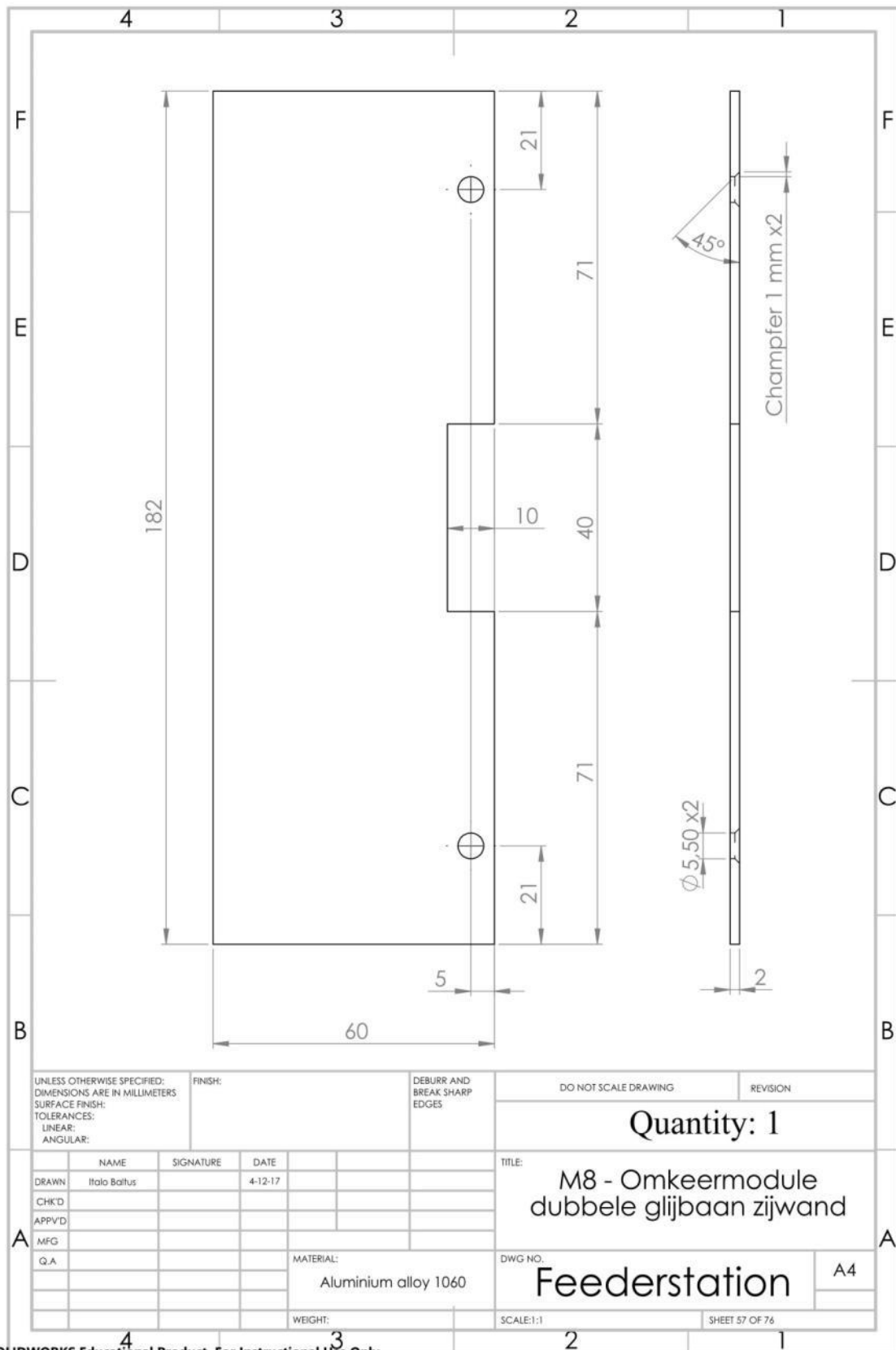
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



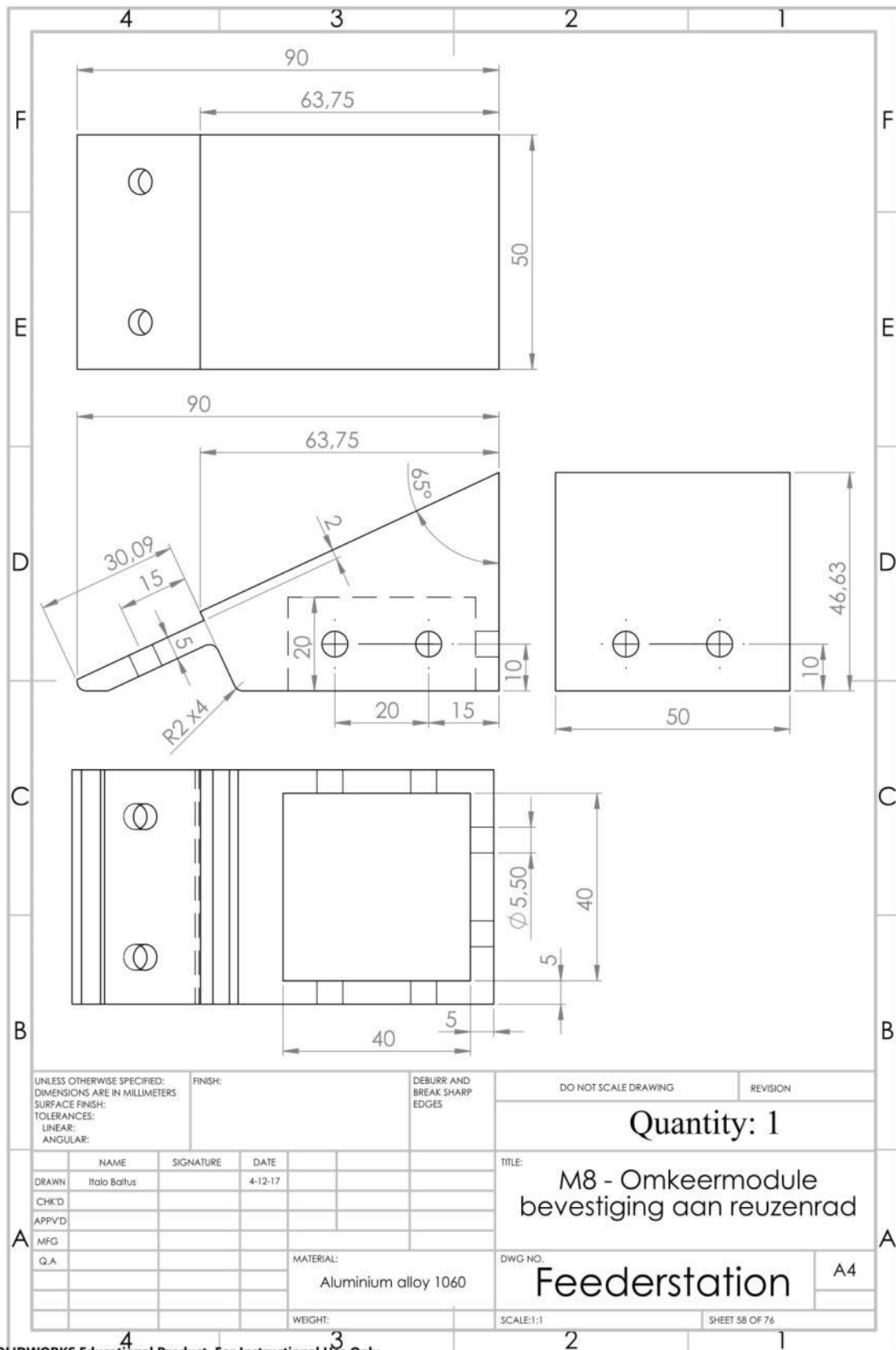
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



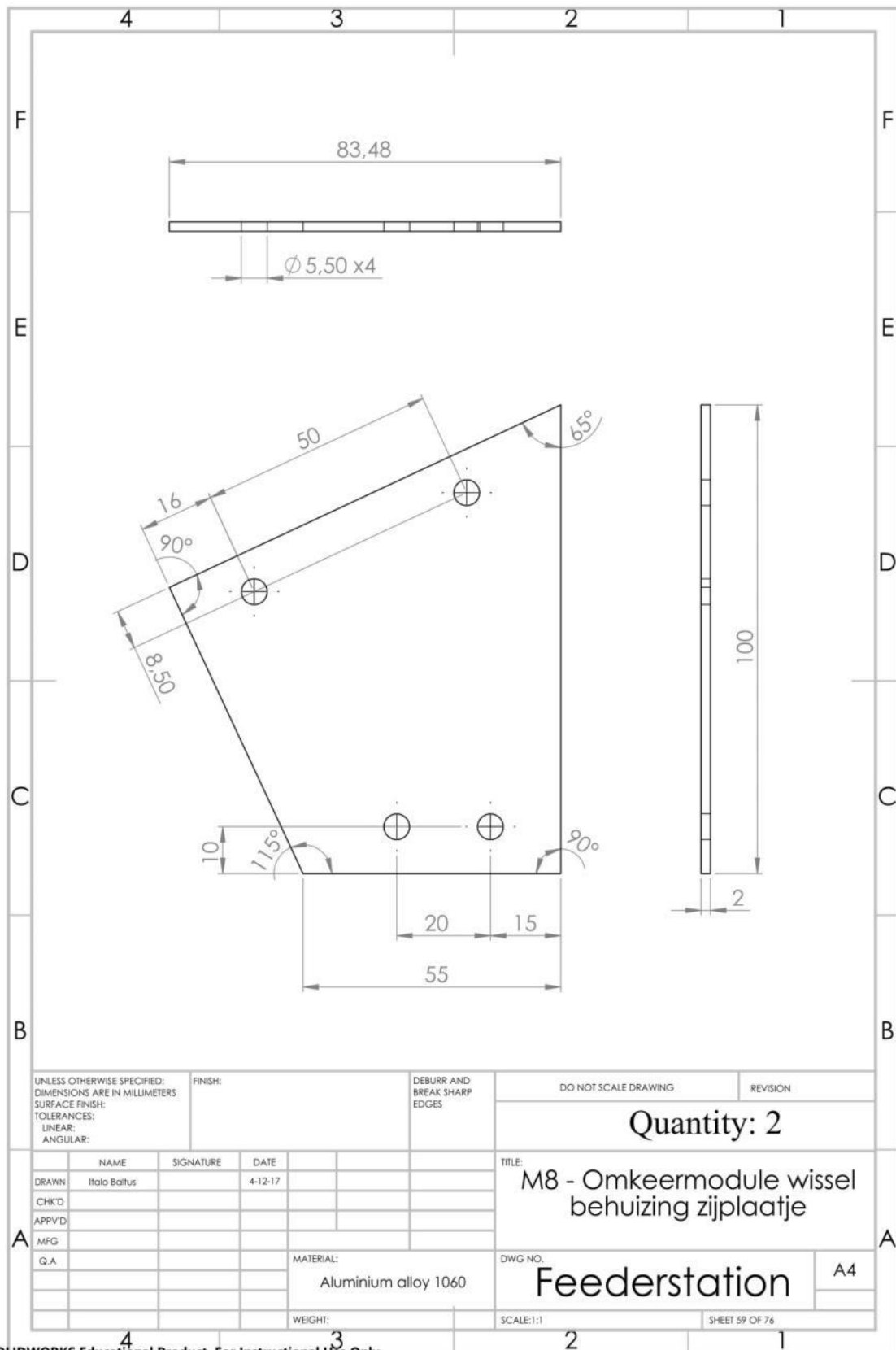
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



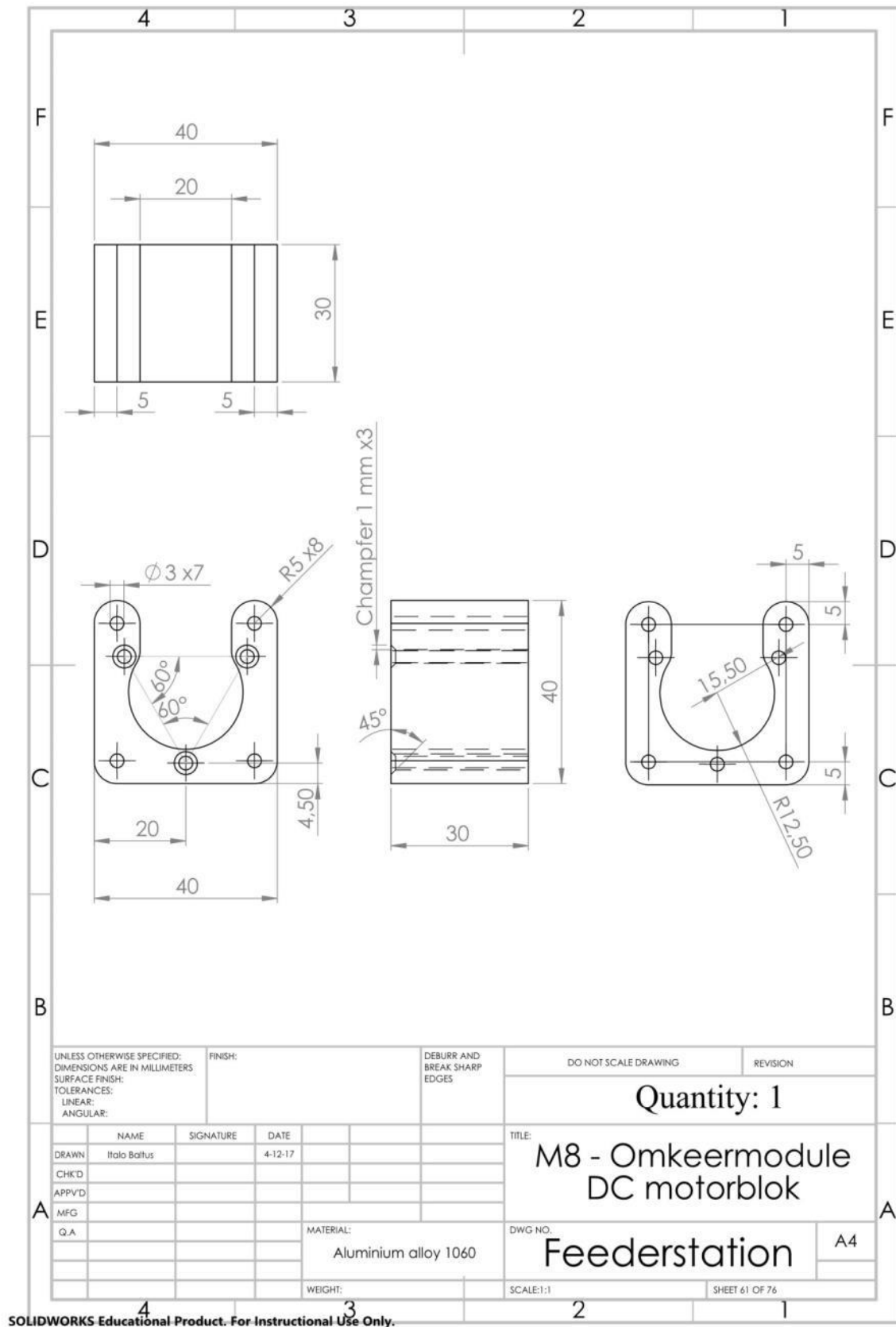
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



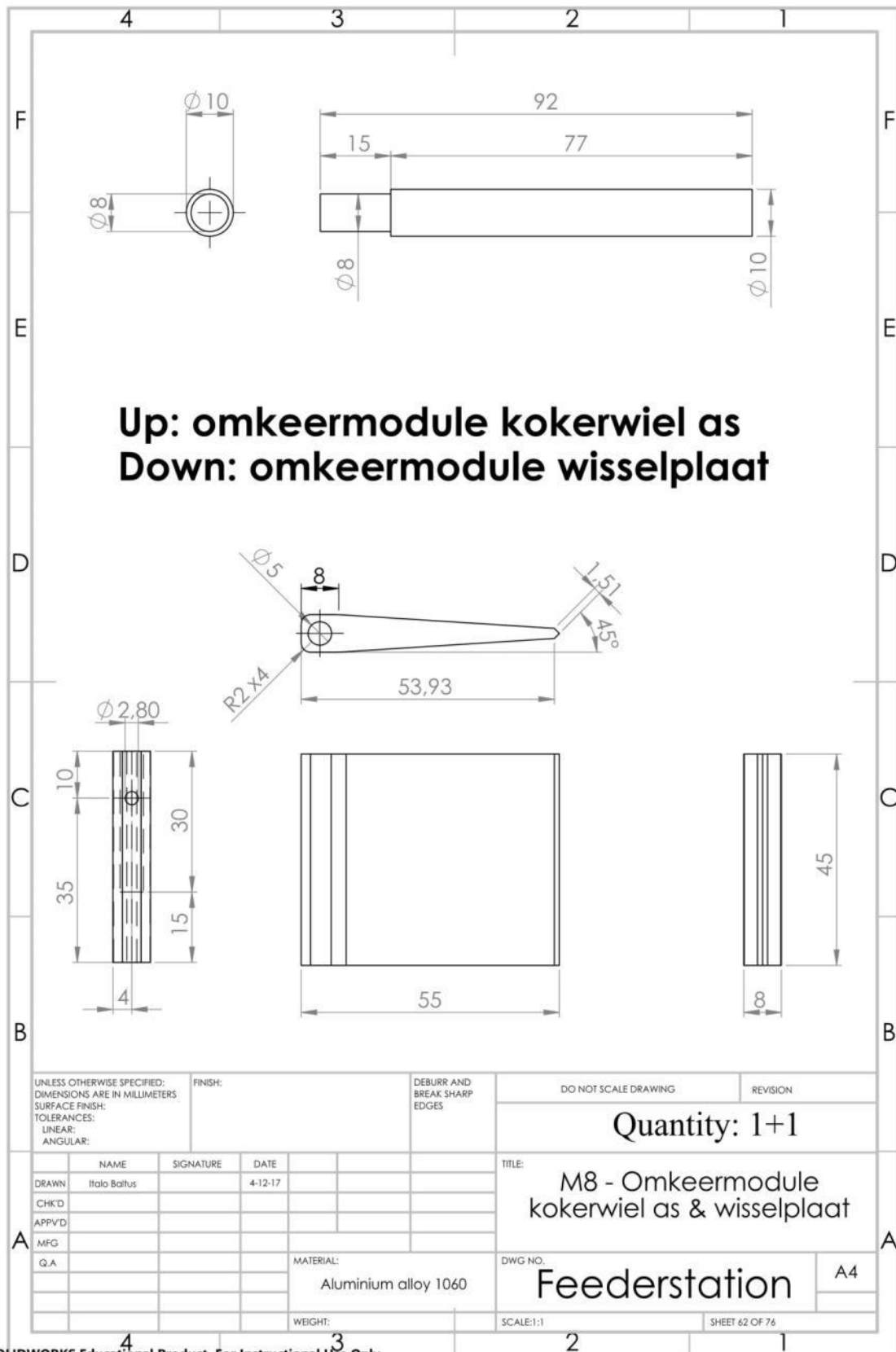
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



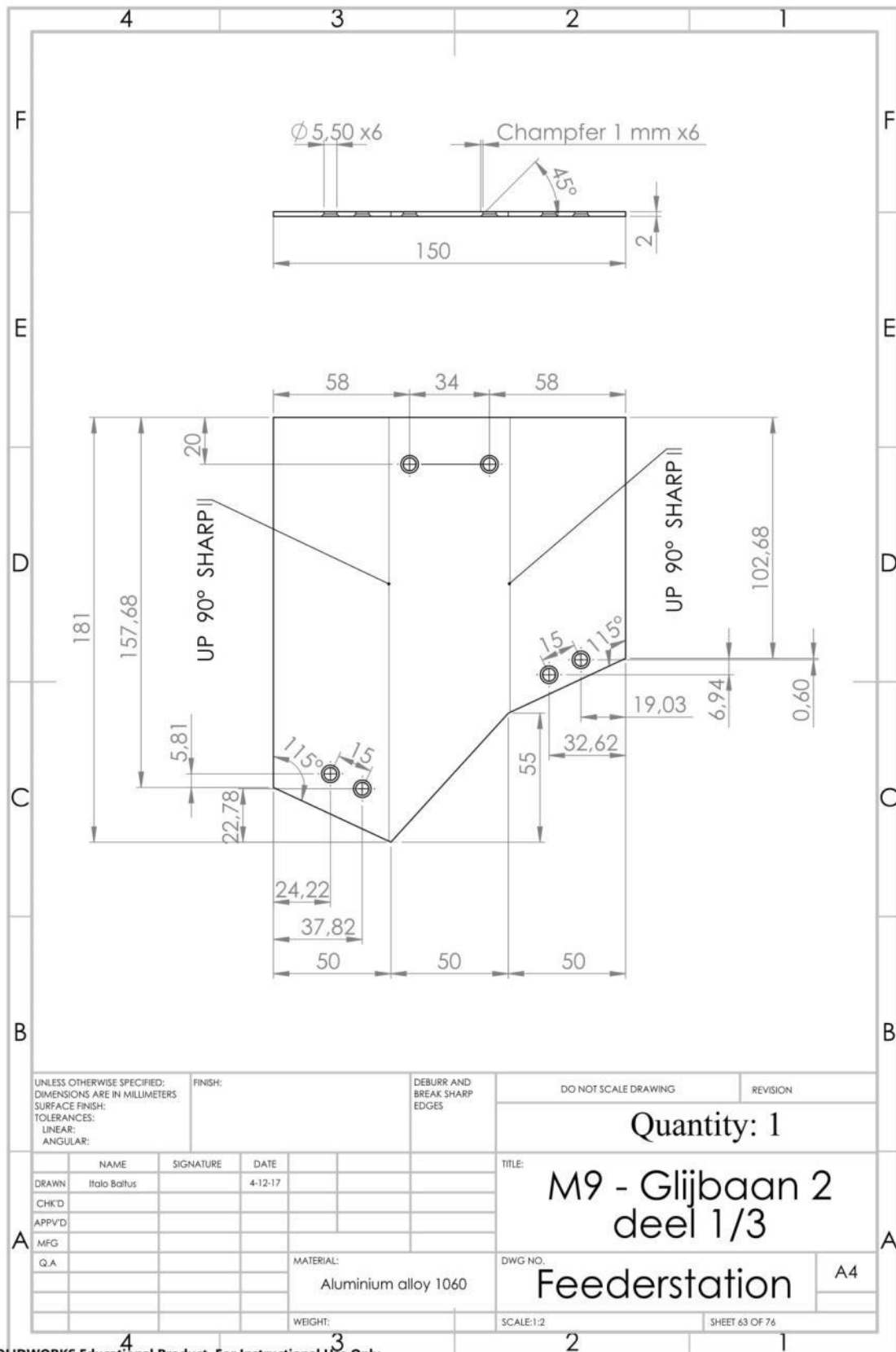
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



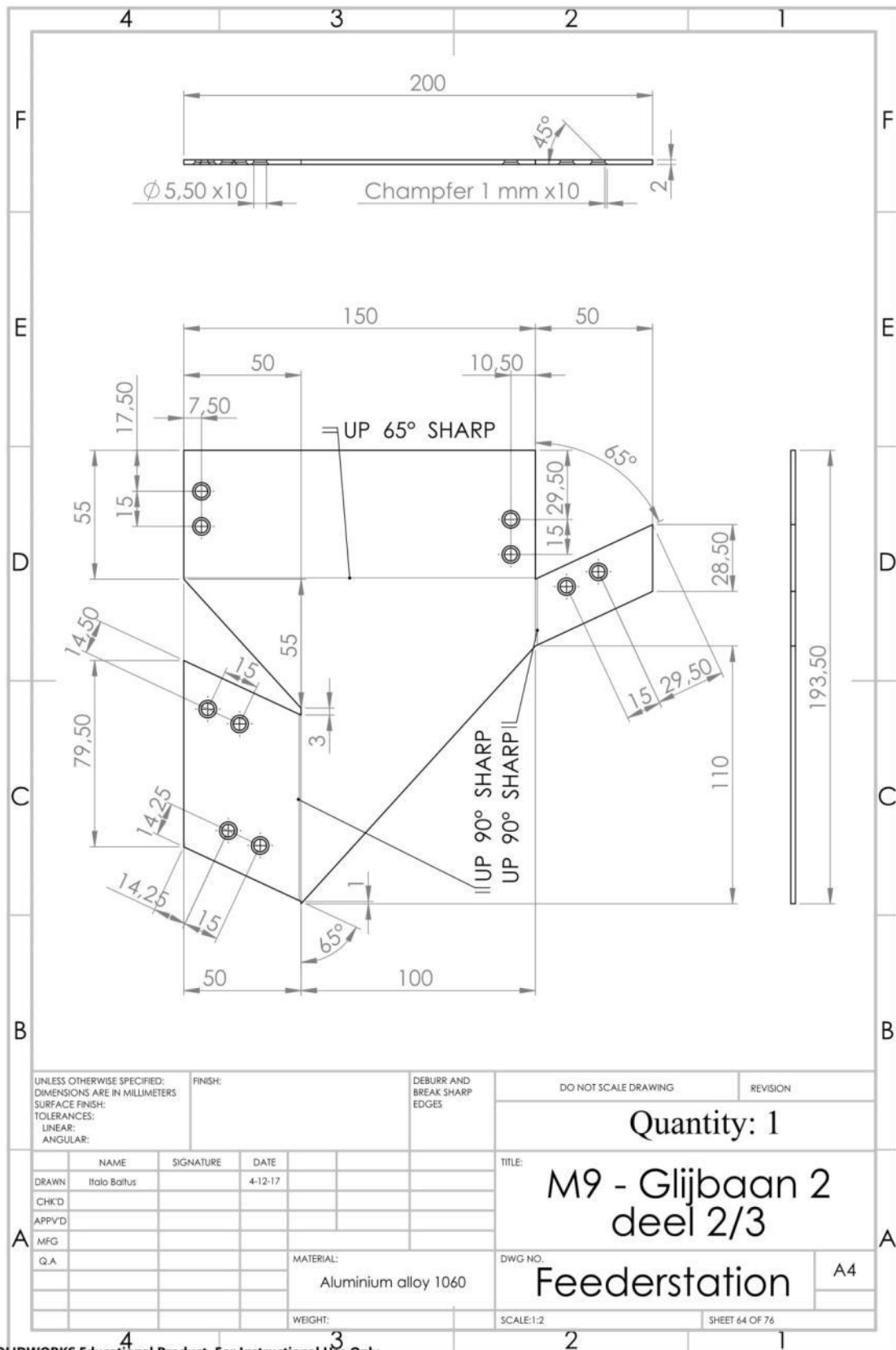
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

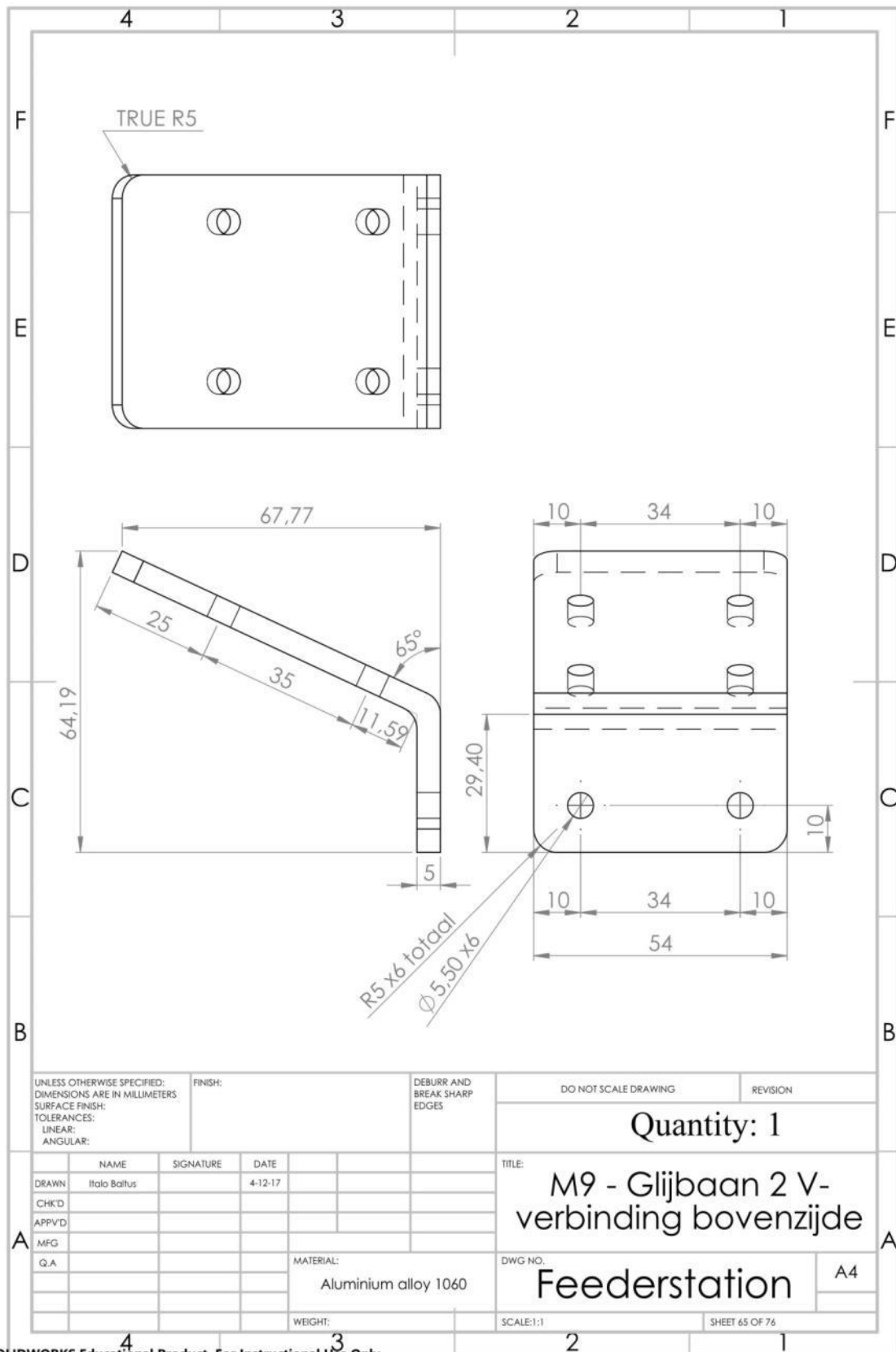


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

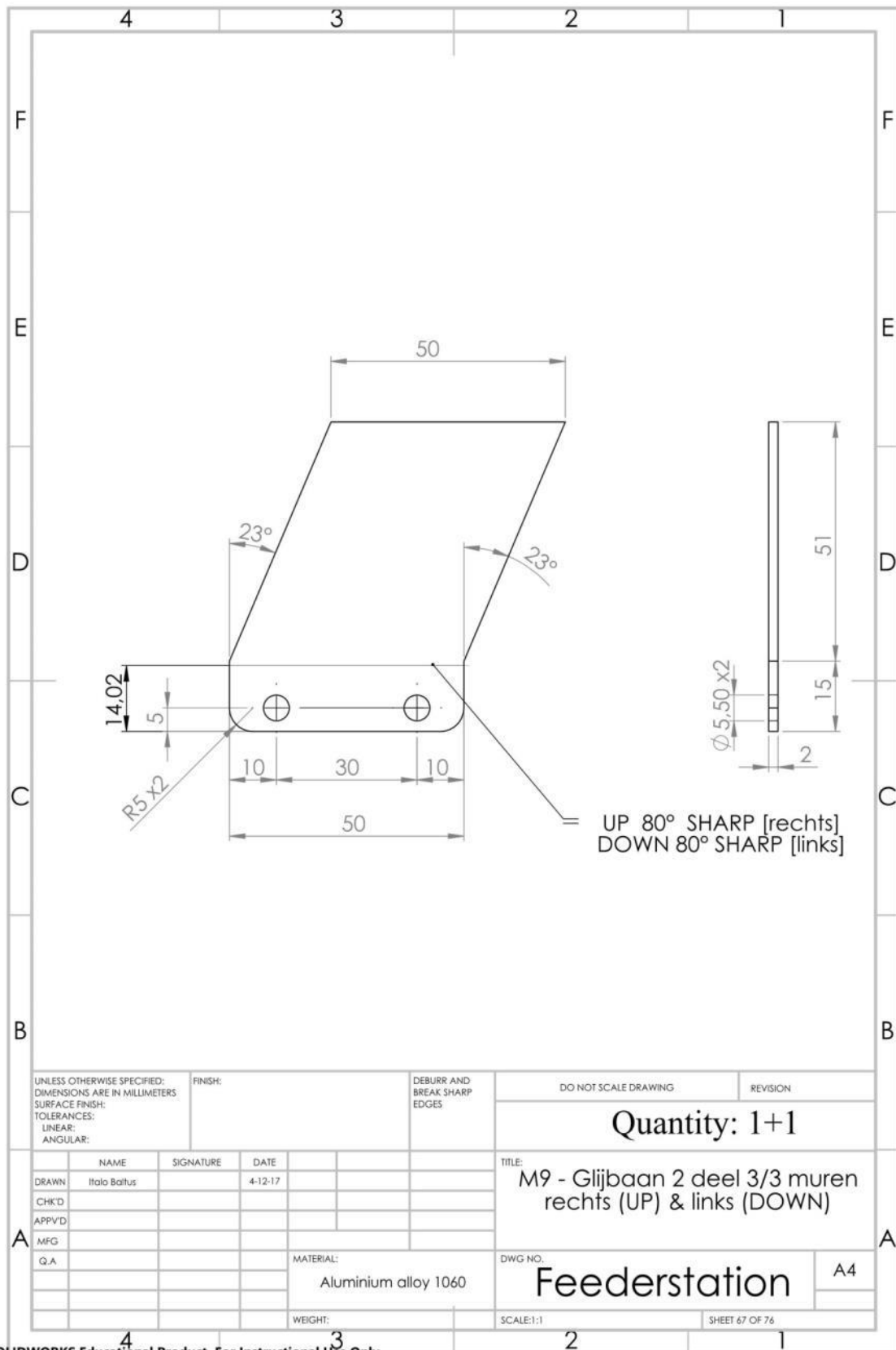


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

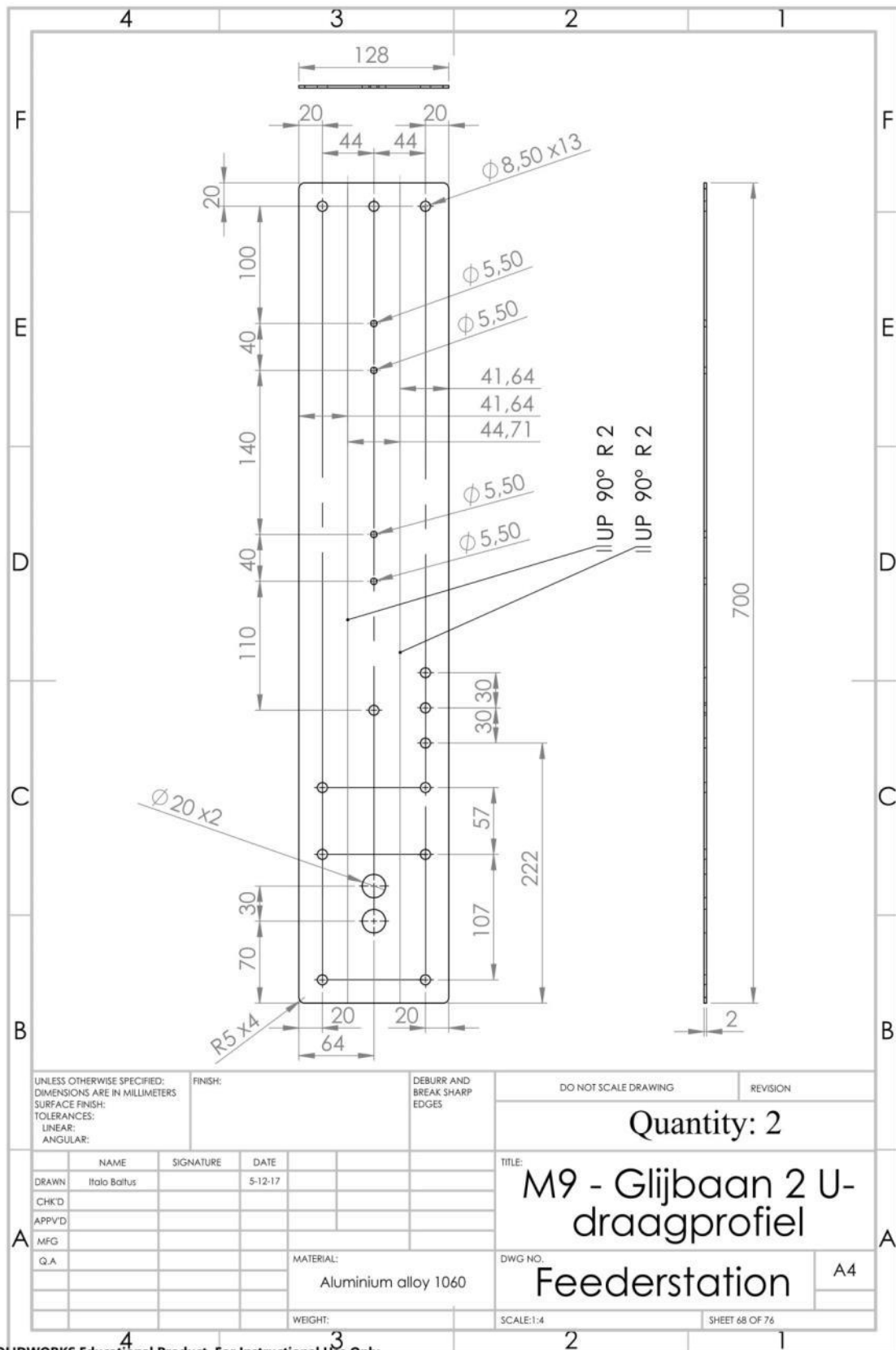




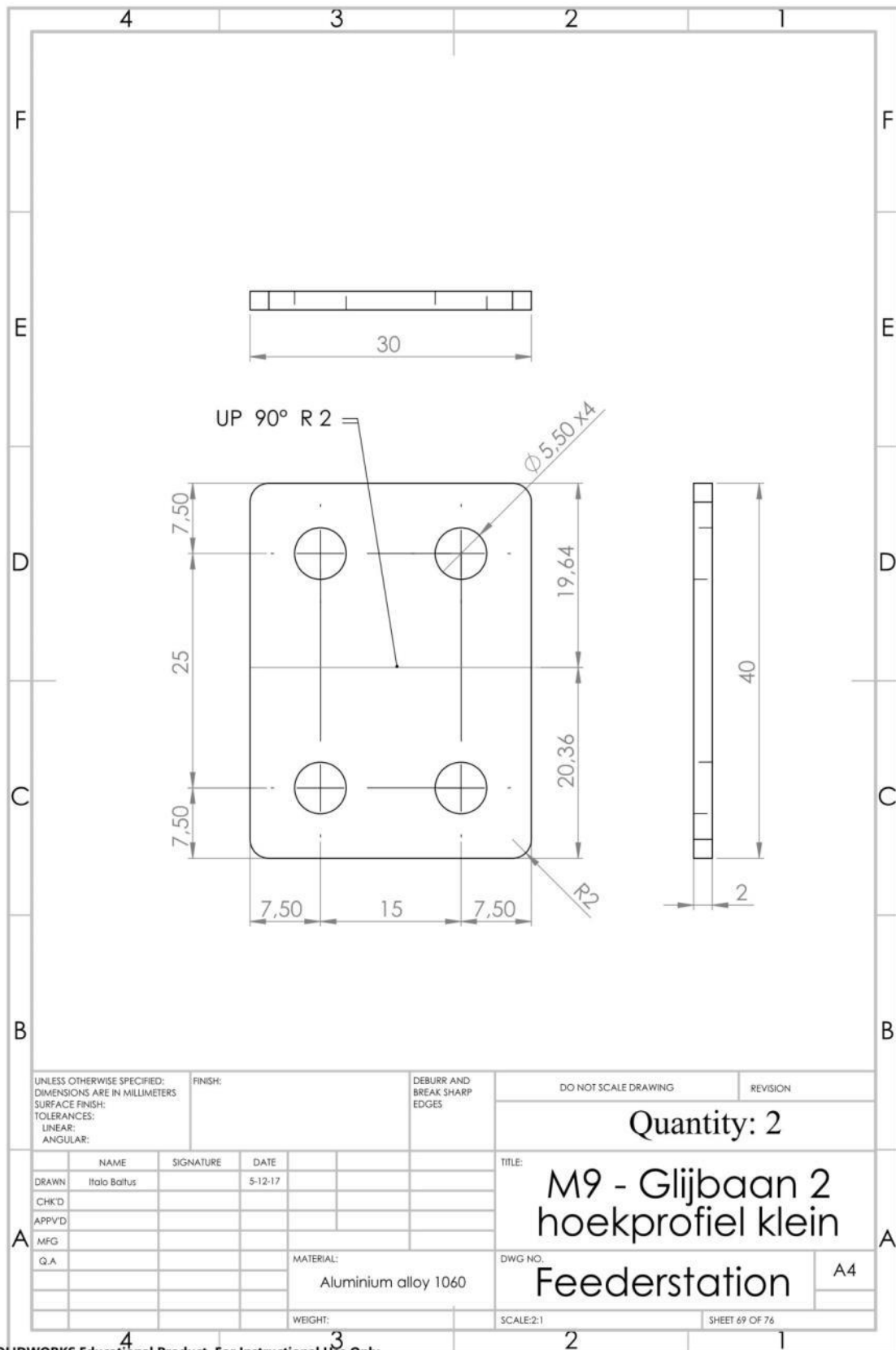
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



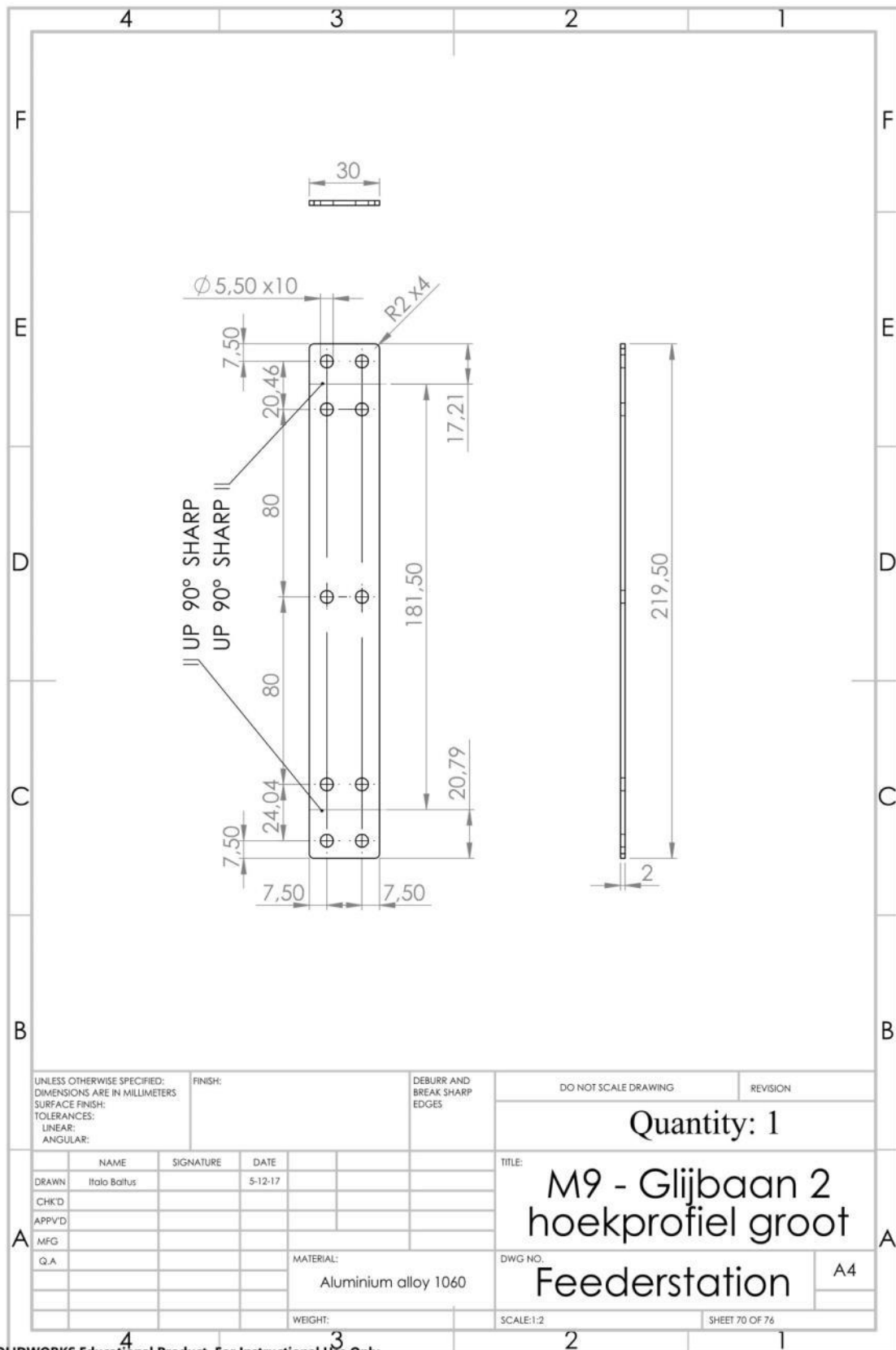
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



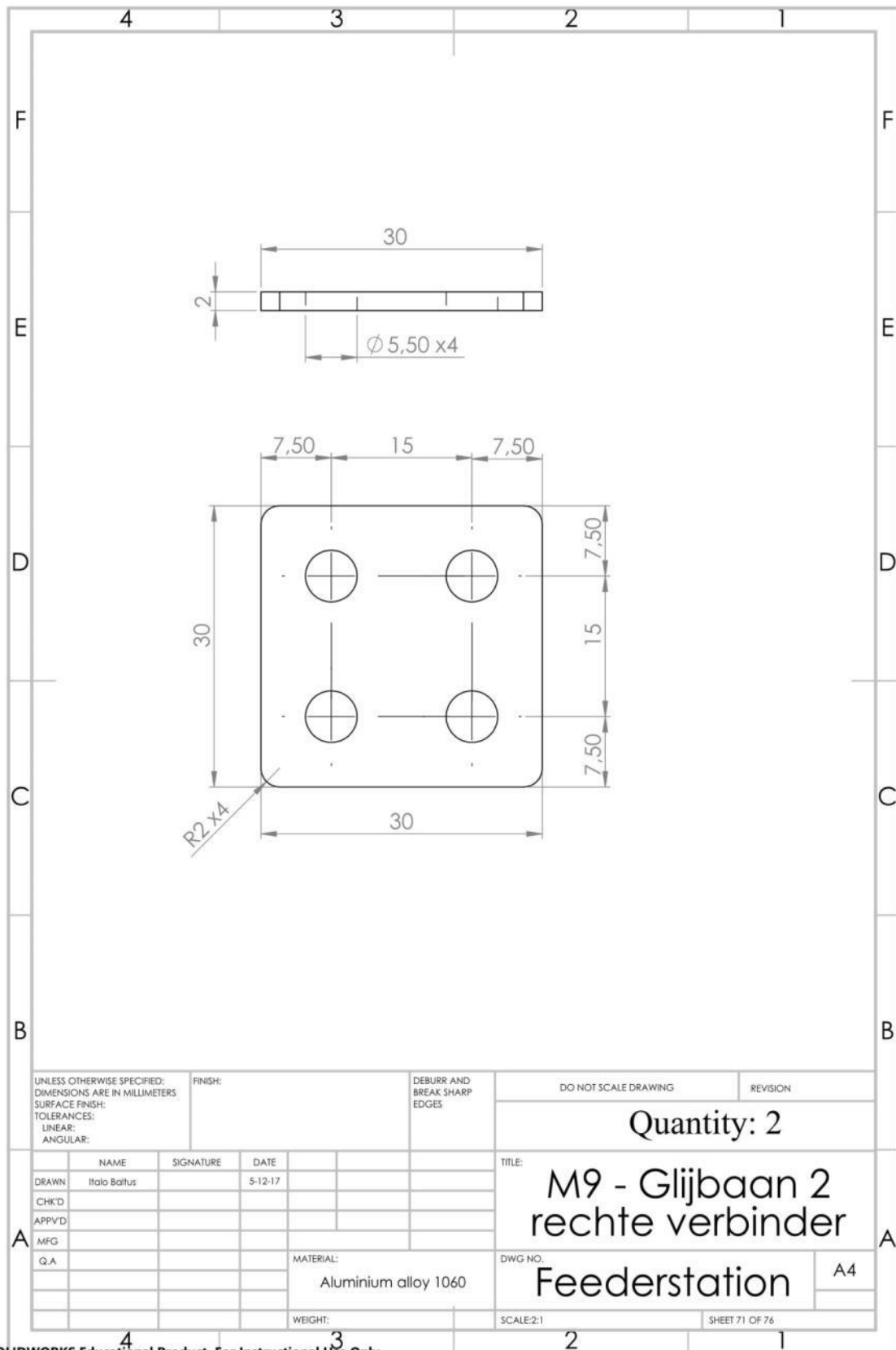
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



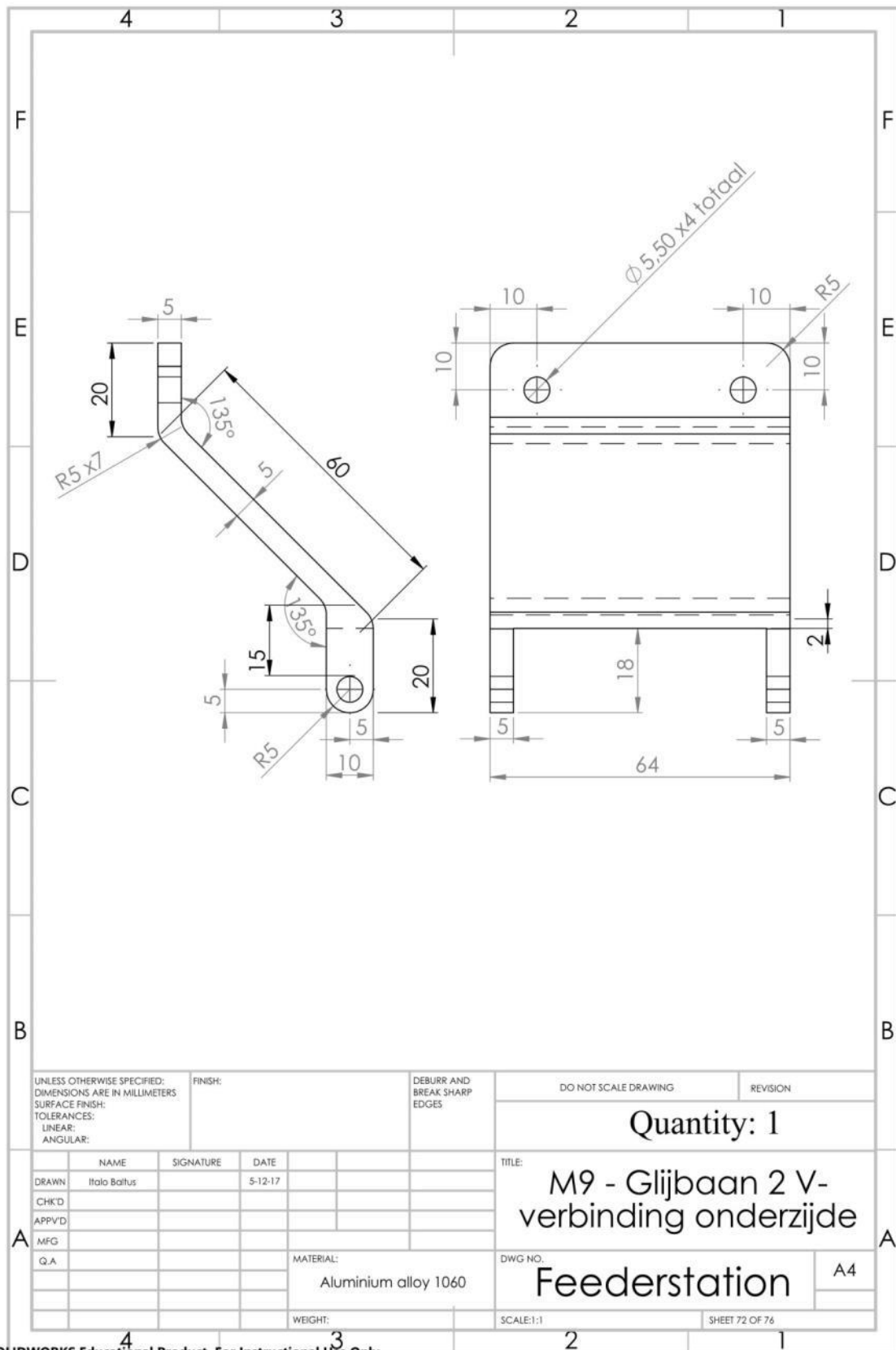
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



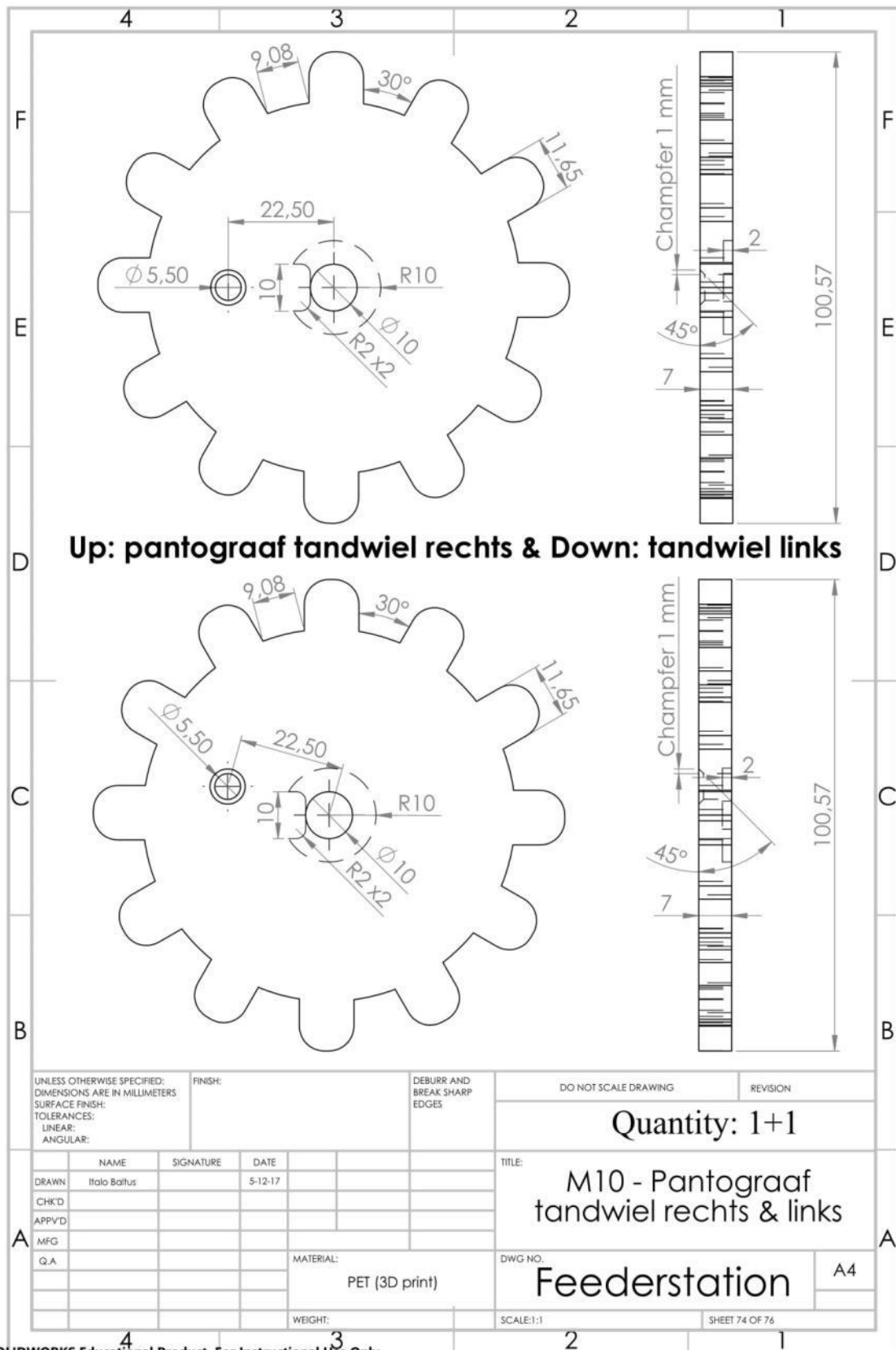
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



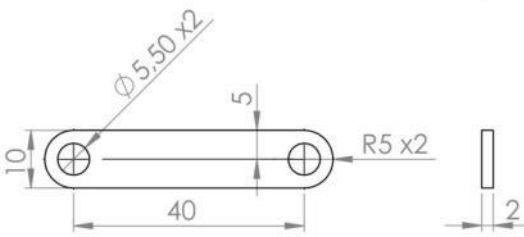
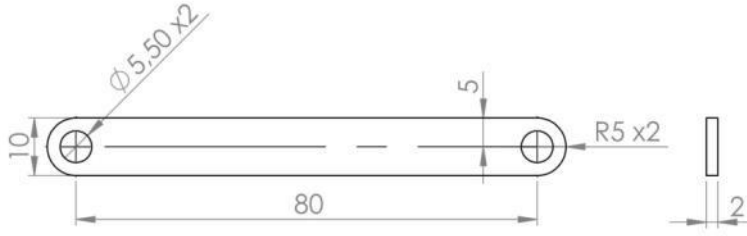
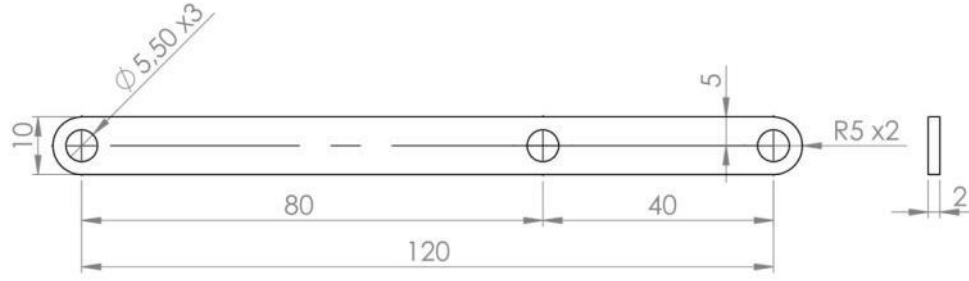
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



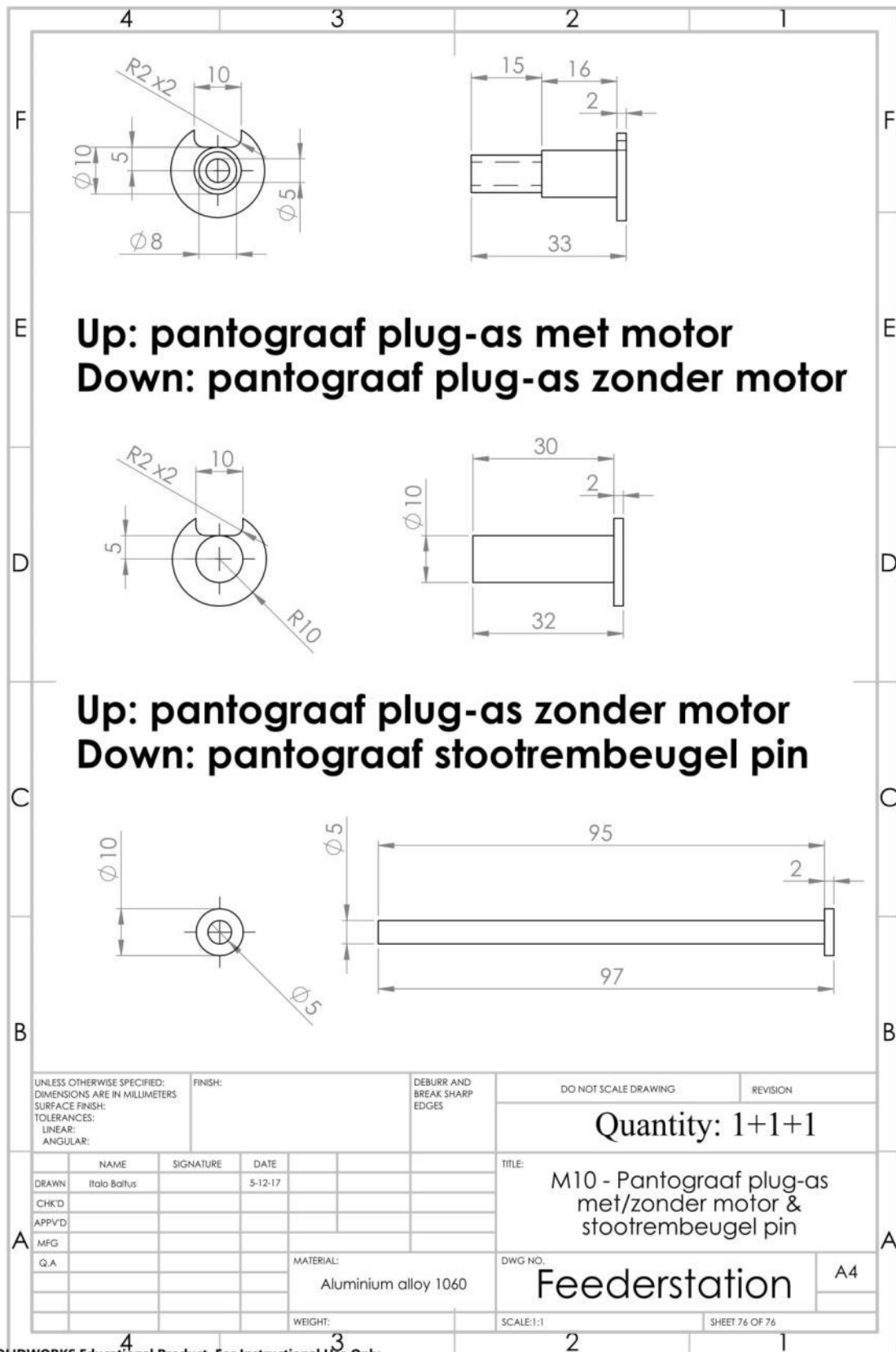
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

4	3	2	1																																																																									
F				F																																																																								
E	Up: pantograaf arm kort Down: pantograaf arm gemiddeld			E																																																																								
D				D																																																																								
C	Up: pantograaf arm gemiddeld Down: pantograaf arm lang			C																																																																								
B				B																																																																								
A	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="font-size: small;">UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:</td> <td style="font-size: small;">FINISH:</td> <td style="font-size: small;">DEBURR AND BREAK SHARP EDGES</td> <td style="font-size: small;">DO NOT SCALE DRAWING</td> <td style="font-size: small;">REVISION</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2" style="text-align: center; font-weight: bold;">Quantity: 1+1+2</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="font-size: small;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NAME</th> <th style="width: 20%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">DRAWN</td> <td>Italo Baltus</td> <td>5-12-17</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" style="font-size: small;"> TITLE: M10 - Pantograaf armen kort, gemiddeld & lang </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="font-size: small;"> MATERIAL: Aluminium alloy 1060 </td> <td colspan="2" style="font-size: small;"> DWG NO. Feederstation </td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="font-size: small;">WEIGHT:</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">SCALE: 1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2" style="font-size: x-small;">SHEET 75 OF 76</td> </tr> </table>			UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION					Quantity: 1+1+2		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NAME</th> <th style="width: 20%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">DRAWN</td> <td>Italo Baltus</td> <td>5-12-17</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				NAME	SIGNATURE	DATE				DRAWN	Italo Baltus	5-12-17				CHK'D						APPV'D						MFG						Q.A						TITLE: M10 - Pantograaf armen kort, gemiddeld & lang		MATERIAL: Aluminium alloy 1060				DWG NO. Feederstation		WEIGHT:				SCALE: 1:1						SHEET 75 OF 76		A
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION																																																																							
				Quantity: 1+1+2																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NAME</th> <th style="width: 20%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">DRAWN</td> <td>Italo Baltus</td> <td>5-12-17</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				NAME	SIGNATURE	DATE				DRAWN	Italo Baltus	5-12-17				CHK'D						APPV'D						MFG						Q.A						TITLE: M10 - Pantograaf armen kort, gemiddeld & lang																																				
NAME	SIGNATURE	DATE																																																																										
DRAWN	Italo Baltus	5-12-17																																																																										
CHK'D																																																																												
APPV'D																																																																												
MFG																																																																												
Q.A																																																																												
MATERIAL: Aluminium alloy 1060				DWG NO. Feederstation																																																																								
WEIGHT:				SCALE: 1:1																																																																								
				SHEET 75 OF 76																																																																								
4	3	2	1																																																																									

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

E. Berekeningen

Gewichtsberekeningen:

Eis:

- 300 kg/wiel maximaal, systeem mag niet doorzakken op wielen

Gegeven:

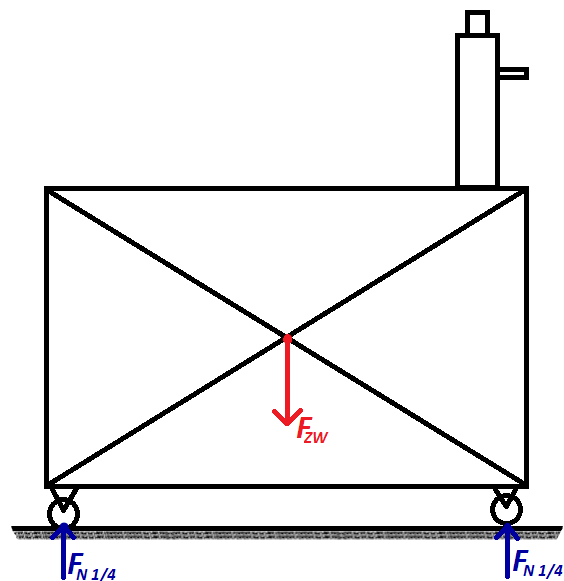
- totale gewicht van systeem zonder goederen minus elektrische componenten en bedrading = +/- 70 kg (verkregen via SolidWorks massa calculatie)
- Onderdelen die ten tijde van deze calculatie nog niet in het feederstation waren opgenomen:
 - 90 gram voor EL7041, dus $5x = 450$ gram.
 - 105 gram voor EK1101 kopstation
 - Ongeveer 50 gram voor overige e-bus terminals, gem. 10 terminals = 500 gram
 - 300 gram voor iedere voedingsmodule, dus $2x = 600$ gram
 - 360 gram per NEMA 17 stappenmotor, dus $5x = 1800$ gram
 - 155 gram voor DC motor Copal
 - 170 gram voor DC motor Crouzet
 - 720 gram voor NEMA 23 stappenmotor
- Overige materialen zoals bekabeling en knoppen, neem een maximaal gewicht van 5 kg

Dus:

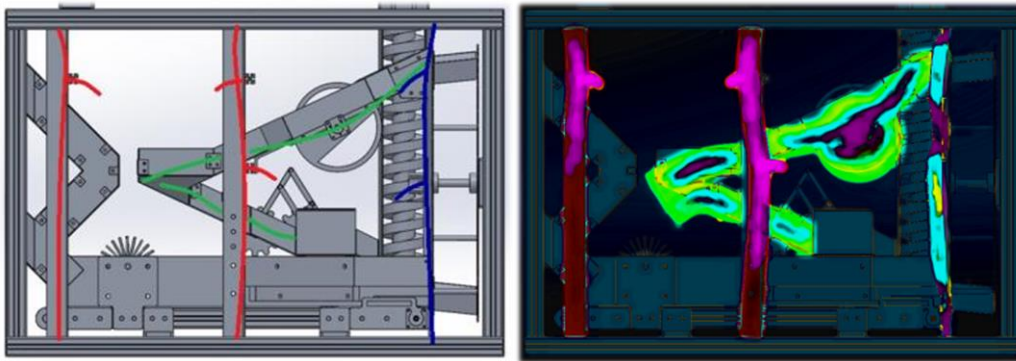
- Systeem is in rust, dus: $F_n = -F_{zw}$
- Gemiddeld dus 80 kg voor gehele systeem
- $F_{zw} = m \cdot g \rightarrow 80 \cdot 9,81 = 784,8 \text{ N}$
- $F_n = 4 \cdot 300 \cdot 9,81 = 11772 \text{ N}$
- Verhouding is: $\frac{11772}{784,8} = 15$

Conclusie:

Maximale gewicht dat het hele systeem mag hebben voordat de wielen bezwijken, is pas 1/15 deel van het maximale gewicht. Het systeem zal dus niet bezwijken onder het gewicht.



Keuze voor een aantal onderdelen m.b.t. krachtleer en vervorming:



In de afbeelding is de zijkant van het feederstation te zien. Hierin zijn de buiglijnen globaal (en overdreven ter duidelijkheid) getekend van de onderdelen die in dit opzicht het meest te lijden zullen hebben. De bevestigingsdelen voor glijbaan 1 en glijbaan 2 (in het rood) zullen gaan buigen door de 20 mm profielen met daarop de PLC's, voedingen en dus de ondersteuning van andere modules.

Om dit probleem zo simpel mogelijk te tackelen, zijn hier U-profielen voor ingezet die hun functie verticaal uitvoeren. Hiermee zijn er geen solide balken noodzakelijk, maar leveren ze niet in op stevigheid. Een extra voordeeltje is dat deze U-profielen tegelijkertijd als kabelgoten kunnen dienen, zodat de bekabeling stevig en netjes is weggestopt.

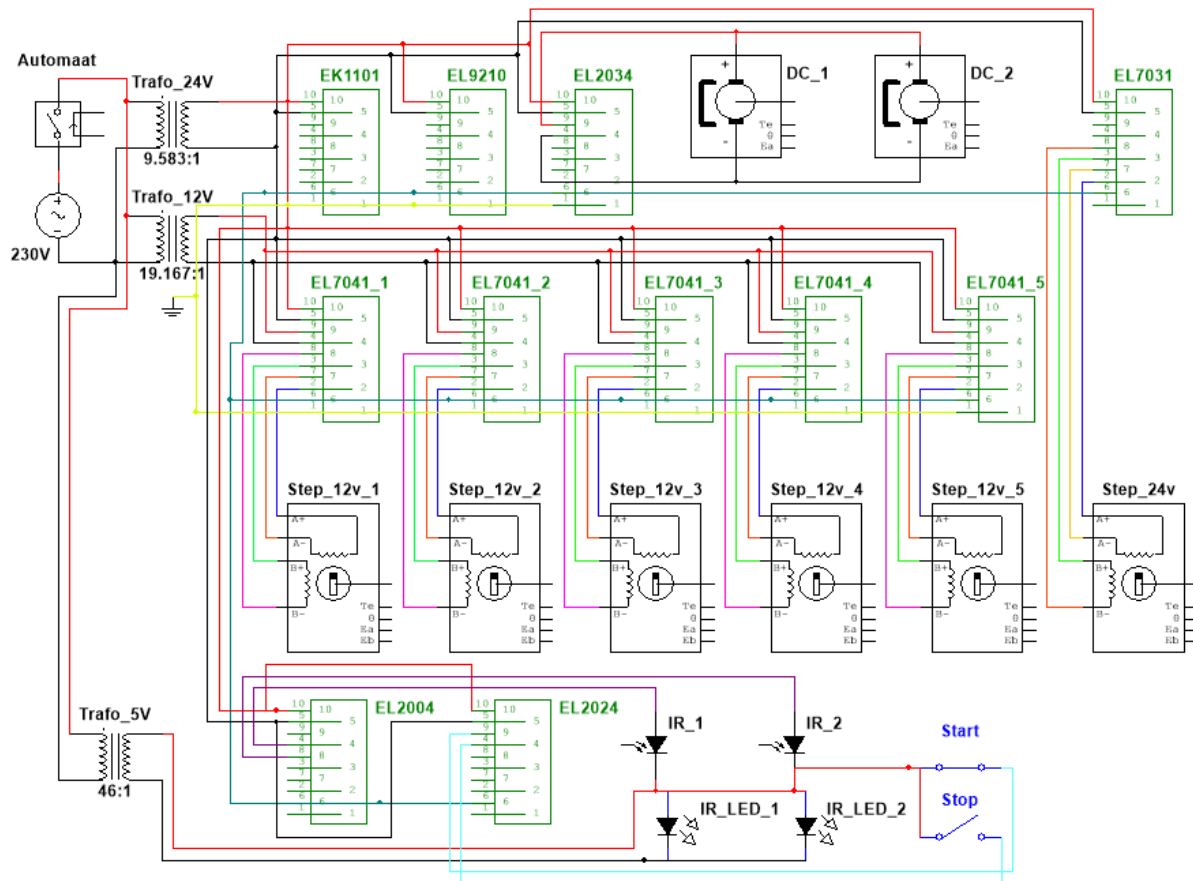
De groenen lijnen vormen de omkeermodule met wissel en tweede glijbaan. Te zien is dat deze doorbuigen. De omkeermodule wordt daarom op twee plekken ondersteund: op de dikke wand van het reuzenrad en op één van de U-profielen. Doordat deze module in feite een horizontaal gelegen U-profiel is (immers, betreft een goot die als glijbaan dient), zal deze vormgeving ervoor zorgen dat de module stevig, doch relatief licht is. Een extra functie van de houder van het kokerwiel, is tevens extra stevigheid bieden aan deze constructievorm. Ditzelfde verhaal geldt voor het overhangende deel van de tweede glijbaan. Om deze module eenvoudig los te kunnen maken, is er expliciet voor gekozen om geen bevestiging met glijbaan 1 te maken.

Dan is er nog de wand van het reuzenrad (blauwe lijn). Deze wand heeft als hoofdfunctie om goederen in het reuzenrad tegen te houden totdat deze hun bestemming hebben bereikt. Daarnaast draagt deze wand in samenwerking met de profielen van de transportband nagenoeg de hele constructie. Er is daarom gekozen om deze plaat 5 mm, in plaats van de standaard 2 mm te maken.

Er wordt rekening gehouden met: aluminium alloy 1060, daarvan is bekend dat de treksterkte ongeveer $68,9 \text{ N/mm}^2$ is. Dit betekent simpel gezegd: als deze waarde wordt bereikt of overschreden, zal het materiaal breken. Dit materiaal heeft een hogere trekkracht per gewichtsverhouding dan ijzer.

F. Elektrische schema's

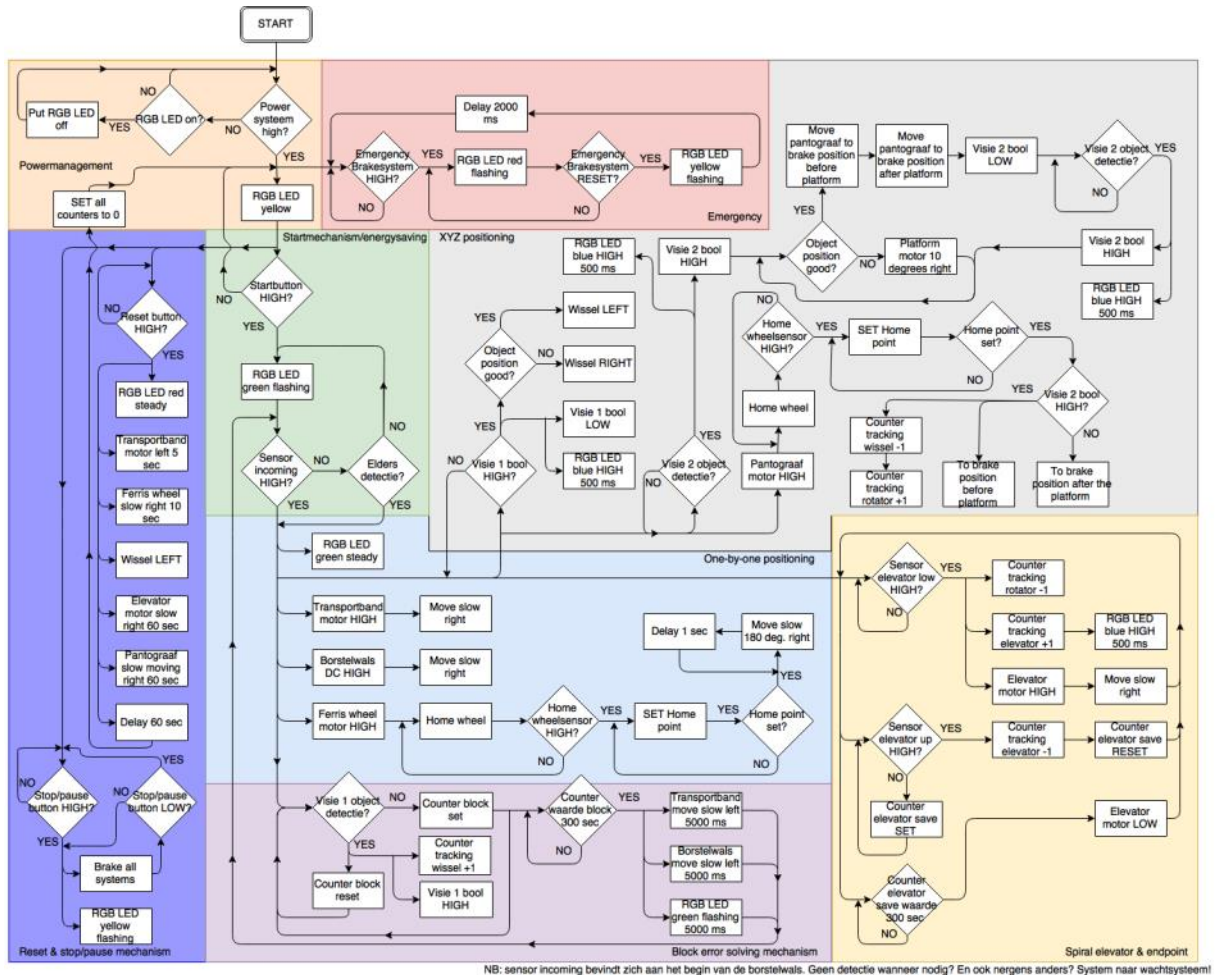
In deze bijlage is het elektrische schema voor het systeem geplaatst. Te zien zijn o.a. het kopstation EK1101, de 24V uitgangsterminal voor 2 DC motoren (borstelwals en kokerwiel), vijf EL7041 terminals voor het aansturen van vijf 12V stappenmotoren, een zekeringsautomaat die het hele systeem uitschakelt bij overbelasting en een paar knoppen en infrarood sensoren (i.v.m. ruimtegebrek en het feit dat ze identiek zijn, zijn op deze pagina niet alle sensoren en knoppen opgenomen). Alle terminals zijn met elkaar intern verbonden, op deze pagina duidelijk gemaakt met de cyaan-kleurige draad.



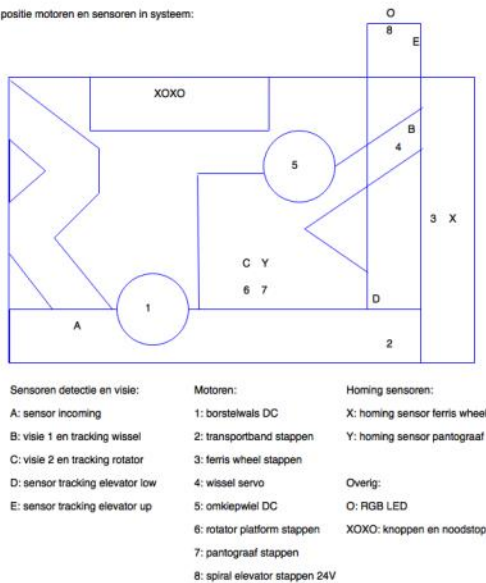
Figuur 20 - Elektrisch schema hoofddeel

G. Software flowchart

Onderstaand figuur toont een flowchart van de werking van de software voor de PLC van het station. Het totaalplaatje is opgedeeld in diverse subsystemen. Daarnaast bevat deze bijlage een overzicht van de zijkant van het station, waarbij de gebruikte componenten duidelijk zichtbaar zijn.



Uitleg positie motoren en sensoren in systeem:



Figuur 21 - Flowchart van de software

H. Software code

In deze bijlage is een deel van de software opgenomen, zodat de lezer een indruk krijgt over de opbouw van de software voor het feederstation. De fysieke code is beschikbaar op aanvraag.

AlleVariabelen **VAR_GLOBAL** **MAIN**

```

1 VAR_GLOBAL
2 //Lijst van alle digitale inputs middels knop
3 StartKnop AT %I* : BOOL; //1
4 StopKnop AT %I* : BOOL; //2
5 ResetKnop AT %I* : BOOL; //3
6
7 //Lijst van alle digitale inputs middels IR s
8 BufferSensorIn AT %I* : BOOL; //1
9 ReuzenradSensor AT %I* : BOOL; //2
10 WisselSensor1 AT %I* : BOOL; //3
11 WisselSensor2 AT %I* : BOOL; //4
12 Draaiplateausensor1 AT %I* : BOOL; //5
13 Draaiplateausensor2 AT %I* : BOOL; //6
14 Draaiplateausensor3 AT %I* : BOOL; //7
15 Draaiplateausensor4 AT %I* : BOOL; //8
16 SpiraaleindbakSensor AT %I* : BOOL; //9
17
18 //Lijst van alle digitale inputs middels home
19 HomeSensorReuzenrad AT %I* : BOOL; //10
20 HomeSensorPantograaf AT %I* : BOOL; //11
21
22 //Lijst van alle softwarematige inputs middel
23 DigitaleNoodstop : BOOL; //A
24 PowerKnop : BOOL; //B
25
26 //Lijst van alle digitale outputs middels IR
27 BufferSensorOut AT %Q* : BOOL; //1
28
29 //Lijst van alle digitale outputs middels DC
30 BorstelwalsDC AT %Q* : BOOL; //2
31 KokervielDC AT %Q* : BOOL; //3
32
33 //Lijst van alle digitale outputs middels lam
34 RodeLED AT %Q* : BOOL; //4
35 GeleLED AT %Q* : BOOL; //5
36 GroeneLED AT %Q* : BOOL; //6
37 StartKnopLED AT %Q* : BOOL; //7
38 StopKnopLED AT %Q* : BOOL; //8

```

PROGRAM POU

```

1 VAR
2 FbPower : MC_Power;
3 Transportband_NEMA17 : AXIS_REF;
4 FbHome : MC_Home;
5 Reuzenrad_NEMA17 : AXIS_REF;
6 FbReadStatus : MC_ReadStatus;
7 AxisStatus : ST_AxisStatus;
8 FbMoveAbsolute : MC_MoveAbsolute;
9 TON1 : TON;
10 TON2 : TON;
11
12 //Label: Als er na 30 seconden niets wordt opgemerkt door de buffersensor, met startknop nog
13 AlleVariabelen.StartKnopAan AlleVariabelen.BufferSensorIn
14 TON8
15 T#30s PT
16
17 //Label: Als het systeem in de energy saving-modus gaat, zijn alle systemen gerent. De transi
18 AlleVariabelen.EnergySavingModus
19 TON10
20 T#10s PT
21
22 MC_MoveContinuousAbsolute1
23 MC_MoveContinuousAbsolute
24 Busy - AlleVariabelen.Transport
25 Active - AlleVariabelen.Transport
26 AlleVariabelen.Transportband_NEMA17 - Axis
27 AlleVariabelen.EnergySavingModus
28

```

Figuur 22- Algemene indruk software

I. Datasheets

Gedurende de stage zijn vele datasheets genuttigd om kennis op te doen en überhaupt te begrijpen hoe het desbetreffende onderdeel werkt. Aangezien het opnemen van al deze datasheets dit verslag aanzienlijk vergroot, is besloten om de meest gebruikte datasheets als naam met uitgever in deze bijlage toe te voegen. Zie hieronder het resultaat.

- **CODESYS V3, Installation & Start (User Documentation V11.0)**
 - Uitgever: 3S-Smart Software Solutions GmbH
 - Gebruikt voor: opstarten en installatie CodeSys.
- **Drawing NE8FDY-C6 datasheet**
 - Uitgever: Neutrik AG
 - Gebruikt voor: technische gegevens en tekening ethernet poort.
 - Gevonden via: Conrad.nl
- **Gebruiksaanwijzing voeding Phoenix 24 Volt output - 9027529**
 - Uitgever: PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG
 - Gebruikt voor: informatie opdoen over 24V voedingsmodule.
 - Gevonden via: Conrad.nl
- **Wie verbinde ich die Soft-SPS CodeSys Control Win V3 mit dem Beckhoff I/O Modul EK1100?**
 - Uitgever: Dominik Huth
 - Gebruikt voor: communicatieverbinding opstarten tussen CodeSys en Beckhoff terminals.
- **Niebling Technical Brushes**
 - Uitgever: MT Intersales i.s.m. Niebling Technische Bürsten GmbH
 - Gebruikt voor: kennis opdoen voor verschillende typen borstelwalsen.
- **Auswahlhilfe - Befehlen und Signalisieren - Build it in.**
 - Eaton Industries GmbH
 - Gebruikt voor: keuzes drukknoppen feederstation.
 - Gevonden via: Conrad.nl
- **Documentation EL70x1 Stepper Motor Terminals (V4.4)**
 - Uitgever: Beckhoff Automation GmbH
 - Gebruikt voor: technische gegevens, foutmeldingen en mogelijkheden stappenmotorterminals van Beckhoff.
 - Gevonden via: Beckhoff.com
- **Wantai Mini Stepper Product Specifications 42BYGHW811-AG26.8**
 - Uitgever: Wantai
 - Gebruikt voor: technische gegevens en tekening stappenmotor NEMA 17 (12 Volt).
- **New TX³ RANGE – Trusted Protection for your installations**
 - Uitgever: Legrand B.V.
 - Gebruikt voor: informatie over zekeringsautomaten van het merk Legrand.
- **Ultimaker 2+ Specification sheet**
 - Uitgever: Ultimaker
 - Gebruikt voor: technische gegevens zoals instellingen en inhoud van Ultimaker 2+ 3D printer.
- **HG37 DC GEARED MOTORS**
 - Uitgever: Copal Electronics
 - Gebruikt voor: technische gegevens en tekening gebruikte DC motor van Copal.
 - Gevonden via: RS-Online.com
- **Crouzet D.C. geared motors**
 - Uitgever: Crouzet
 - Gebruikt voor: technische gegevens en tekening gebruikte DC motor van Crouzet.
 - Gevonden via: RS-Online.com
- **Datasheet SP Roller Lever Microswitch, 2A@ 250 V ac RS Stock 804-6271**
 - Uitgever: RS PRO
 - Gebruikt voor: technische informatie over gebruikte home sensors.
 - Gevonden via: RS-Online.com

J. Risico analyse

Deze bijlage toont de mogelijke risico's die gedurende de ontwerpfase boven water zijn gekomen. Onderstaande tabel bevat deze risico's in chronologische volgorde, verdeelt in groepen per module. De impact is uitgezet tegen de kans dat het probleem ontstaat. Beide waardes met elkaar vermenigvuldigen levert een totaalscore. De legenda onderaan deze pagina geeft aan wat deze totaalscore voor het project betekent en wat er aan deze risico's gedaan dient te worden.

Risicotabel analyse per module						
Mod.	#	Omschrijving	Impact	Kans	Tot.	Uitleg/Opmerking
1	1	Sleuven niet geschikt voor toepassing.	10	1	10	Sleuven zijn berekend.
	2	Glijbaan niet steil genoeg.	9	1	9	Hoek 45 graden, duw-effect.
	3	Montageschroeven blokkeren goederen.	9	1	9	Weggewerkt, duw-effect.
2	4	Transportband niet te fabriceren/vinden.	10	4	40	Exacte afmetingen
	5	Motor kan transportband niet aan.	8	4	32	Evt. andere motor?
	6	Vernauwing blokkeert goederen.	10	5	50	Grote kans, idee maken?
	7	Goederen blijven hangen aan montageschroeven.	8	2	16	Opstopping, wegwerken.
3	8	DC kan borstelwals niet aan.	6	2	12	Is 1 buis met lagers, niet zwaar.
	9	Borstelwals type blijkt niet/nauwelijks geschikt.	3	3	9	Toch V-vorm, of...?
4	10	Overgang transportband reuzenrad blokkering.	10	8	80	Gleuf ertussen. Idee?
	11	Reuzenrad draait te snel	9	1	9	Te regelen.
	12	2 goederen in 1 bakje	9	4	36	Vulling gebruiken?
	13	Bakjes niet schuin genoeg, geen grip, geen vallen.	10	3	30	Bakjes extra schuin maken.
	14	Goederen blokkeren tussen wanden en wiel.	10	8	80	Schade en blokkering.
5	15	Wissel niet snel genoeg	10	3	30	Meer ruimte geven, sneller?
	16	Wissel te snel: blokkering goederen tussen wand.	8	5	40	Meer ruimte geven?
	17	Visie kan goederen niet herkennen.	10	6	60	Kan eis niet aan en is lastig.
	18	Blokkering van goederen tussen wiel en gang	8	2	16	Extra muurtje onderzijde?
6	19	Niet steil genoeg, afremmen.	10	1	10	Volgende module problemen.
	20	Goederen vallen om tijdens rit.	10	2	20	Niet aan eis voldoen.
7	21	Goederen glijden over platform heen door snelheid.	10	3	30	Rem inbouwen via pantograaf?
	22	Goederen komen niet goed op platform terecht.	10	4	40	Pantograaf heen en ook terug?
	23	Visie kan goederen niet herkennen.	9	6	54	Aan eis niet voldoen.
	24	Pantograaf valt uit.	10	1	10	Blokkering, maar betrouwbaar.
8	25	Motor kan wrijving goederen in spiraal niet aan.	8	2	16	Sterke motor, verwaarlozen.
	26	Spiraalprincipe werkt niet/nauwelijks.	10	3	30	Andere oplossing/spiraal?
	27	Goederen komen klem te zitten tussen doorgang.	10	6	60	Schade en blokkering.
	28	Spiraal niet te maken/verkrijgen.	9	9	81	Andere oplossing?
9	29	Teveel goederen in 1 keer	10	3	30	Twee tegelijk, softwarematig?
	30	Infrarood sensor kan goederen niet zien.	6	4	24	Terrein eindstop verkleinen?
	31	Goederobject glijdt tegen rand, moeilijk grijpbaar.	3	7	21	Randen laag mogelijk?
10	32	Modules passen (net) niet.	8	5	40	Bijschaven, opnieuw maken.
	33	Geraamte profielen niet sterk genoeg	9	1	9	Kans zeer klein voor toepassing.
	34	Systeem te zwaar voor onderstelwielen	5	1	5	Kunnen veel hebben, niet erg.
	35	Algemeen systeem te duur.	8	2	16	Overleg plegen! Goedkoper?
	36	Plaatwerk exterieur niet af.	4	1	4	Veiligheid gering, wel demo.
	37	Modules niet op tijd af.	10	3	30	Kans op niet werkend systeem.
11	38	Voedingen trekken onderdelen niet.	8	2	16	Andere voeding regelen.
	39	PLC werkt niet/geen kalibratie.	10	6	60	Neem tijd hiervoor!
	40	Voedingen/PLC oververhit, brand of schok.	10	1	10	Veiligheid gebruiken, noodstop.

Tabel 13 - Risico's en analyse

Uitleg modules:

01: Glijbaan 1
 02: Transportband + vernauwing
 03: Borstelwals
 04: Reuzenrad module
 05: Wissel + oriëntatie sensor 1 + omkeerwiel
 06: Glijbaan 2
 07: Rotatie platform + oriëntatie sensor 2 + pantograaf
 08: Spiraallift
 09: Eindpunt + positiesensor
 10: Constructie algemeen
 11: Voeding(en) en PLC

Uitleg totale score zone

Groen: veilig, wel naar kijken.
 Geel: grote kans, zeker kijken!
 Oranje: overleggen!
 Rood: Plan B en evt. C hebben.

Uitleg kans op optreding-schaal

01: Zekerheid van 0-10%, eigenlijk nooit
 02: Zekerheid van 10-15%, zeldzaam
 03: Zekerheid van 15-25%, onwaarschijnlijk
 04: 25-40%, mogelijk gaat dit gebeuren.

05: 40-50%, nagenoeg 50-50 kans.

06: 50-70%, Voorbereiding hebben.

07: 70-75% bijna zeker dat dit gebeurt, overleg!

08: 75-85%, hier enorm op letten! Plan B hebben.

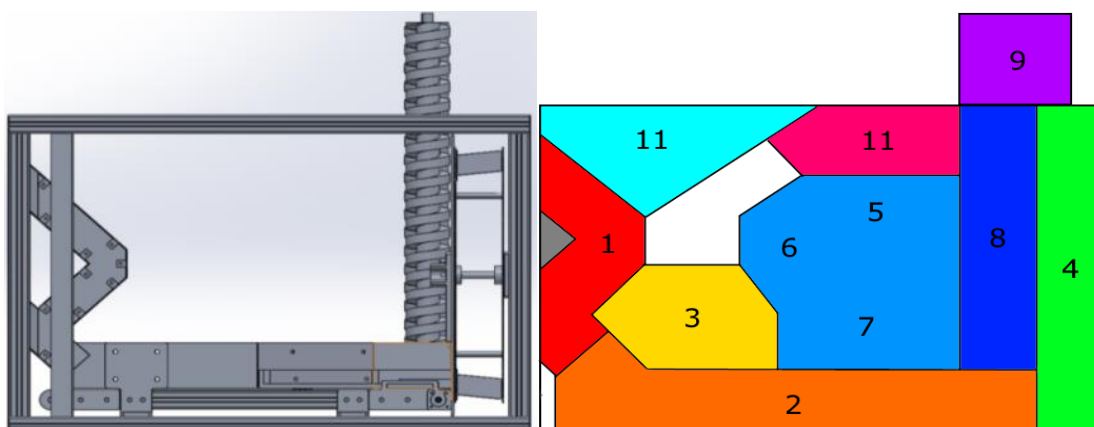
09: 85-95%, vereist dat hier wat gebeurt!

10: 95-100%, dit gaat gewoon gebeuren!

Deze tabel toont de relaties tussen de risico's uit de risicoanalyse. Hierbij zijn de risico's als nummer tegen elkaar uitgezet. Daarnaast is de locatie van de modules in onderstaand figuur (zijaanzicht)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	-	X	X																																					
2	X	-	X																																					
3	X	X	-																																					
4				-	X	X	X																																	
5				X	-	X	X	X																																
6				X	X	-	X																																	
7			X	X	X	X	-																																	
8								-	X																															
9								X	-																															
10										-	X	X	X	X																										
11										X	-	X	X	X																										
12										X	X	-	X	X																										
13										X	X	X	-	X																										
14										X	X	X	X	-		X																								
15															-	X	X	X																						
16															X	X	-	X	X																					
17															X	X	X	-	X																					
18															X	X	X	X	-																					
19																				-	X																			
20																				X	-																			
21																						-	X	X	X															
22																						X	-	X	X															
23																						X	X	-	X															
24																						X	X	X	-															
25					X																					-	X	X	X											
26																										X	-	X	X											
27																										X	X	-	X											
28																										X	X	X	-											
29											X	X																												
30																																								
31																																								
32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
33																																								
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
35	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
36																																								
37	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
38																																								

Tabel 14 - Relaties tussen de risico's station) verduidelijkt.



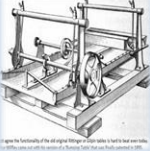
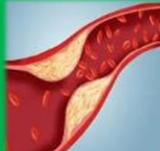
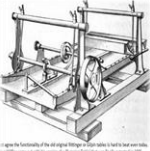
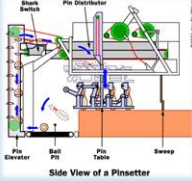
Deze tabel bevat voor ieder risico een mogelijke oplossing, die ten tijde van de brainstorm- en ontwerpfase is bedacht.

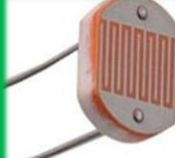
Risico-oplossingsstructuur		
#	Omschrijving	Mogelijke oplossing
1	Sleuven niet geschikt voor toepassing.	Verlengstuk aan machine koppelen voor goede afmetingen.
2	Glijbaan niet steil genoeg.	Kijken naar materiaalsoort, anders glijbaanmodule opnieuw.
3	Montageschroeven blokkeren goederen.	Kijken of de baan kan worden gelast. Anders nieuwe schroeven.
4	Transportband niet te fabriceren/vinden.	Afmetingen voor de band aanpassen, anders nieuw systeem.
5	Motor kan transportband niet aan.	Stroomhoeveelheid aanpassen, anders andere motor kiezen.
6	Vernauwing blokkeert goederen.	Nieuwe vernauwingsblokken gestroomlijnd.
7	Goederen blijven hangen aan montageschroeven.	Zie punt 3.
8	DC kan borstelwals niet aan.	Zie punt 5.
9	Borstelwals type blijkt niet/nauwelijks geschikt.	Ander borsteltype kiezen in overleg met opdrachtgever.
10	Overgang transportband reuzenrad blokkering.	Klein plastic dun plaatje op de band laten rusten als brug.
11	Reuzenrad draait te snel	Snelheid softwarematig aanpassen.
12	2 goederen in 1 bakje	Bakjes van vulling voorzien. Anders nieuwe bakjes.
13	Bakjes niet schuin genoeg, geen grip, geen vallen.	Bakjes van nieuwe ondergrond en plafond voorzien.
14	Goederen blokkeren tussen wanden en wiel.	Testen! Softwarematig oplossen middels modules afstemmen.
15	Wissel niet snel genoeg	Meer ruimte tussen visie en wissel brengen.
16	Wissel te snel: blokkering goederen tussen wand.	Softwarematig oplossen. Tijdvertraging aanpassen.
17	Visie kan goederen niet herkennen.	Andere sensormethode kiezen.
18	Blokkering van goederen tussen wiel en gang	Zie punt 14.
19	Niet steil genoeg, afremmen.	Steilheid aanpassen, kijk naar ander soort materiaal.
20	Goederen vallen om tijdens rit.	Baan lasten meebuigen met parcours van goederen.
21	Goederen glijden over platform heen door snelheid.	Gebruik pantograaf, aanpassen middels software.
22	Goederen komen niet goed op platform terecht.	Zie punt 21.
23	Visie kan goederen niet herkennen.	Zie punt 17.
24	Pantograaf valt uit.	Laat systeem merken dat dit het geval is. Eventueel door sensor.
25	Motor kan wrijving goederen in spiraal niet aan.	Zie punt 5.
26	Spiraalprincipe werkt niet/nauwelijks.	Ander liftstelsel kiezen, kijken waar het fout gaat en aanpassen.
27	Goederen komen klem te zitten tussen doorgang.	Zie punt 16.
28	Spiraal niet te maken/verkrijgen.	Ander liftstelsel kiezen, afmetingen aanpassen indien nodig.
29	Teveel goederen in 1 keer	Gebruik sensor op eindpunt voor terugkoppeling. Zie punt 12.
30	Infrarood sensor kan goederen niet zien.	Gebruik andere sensor, probeer eindpuntoppervlak te verkleinen.
31	Goederobject glijdt tegen rand, moeilijk grijpbaar.	Kijken naar mogelijkheid om randen te verlagen.
32	Modules passen (net) niet.	Gebruik vooraf uitschietruimte, pas modules aan of schaven.
33	Geraamte profielen niet sterk genoeg	Ander geraamte kiezen en/of materiaal modules aanpassen.
34	Systeem te zwaar voor ondersteelwielen	Zie punt 34.
35	Algemeen systeem te duur.	Overleg met opdrachtgever over budget. Materialen aanpassen.
36	Plaatwerk exterieur niet af.	Demo mogelijk, op een ander moment afmaken.
37	Modules niet op tijd af.	Overleg eerst met opdrachtgever. Eventueel hulp vragen.
38	Voedingen trekken onderdelen niet.	Nieuwe voeding(en) plaatsen. Overleg met opdrachtgever.
39	PLC werkt niet/geen kalibratie.	Extra tijd noodzakelijk voor kalibreren. Hulp vragen voor PLC.
40	Voedingen/PLC oververhit, brand of schok.	Gebruik voldoende koelsleuven en een noodstop.

Tabel 15 - Mogelijke oplossingen voor risico's

K. Morfologisch schema

Bijlage K bevat de keuzeverantwoording voor de mechanische en elektrische keuzes die gemaakt zijn gedurende de ontwerpfase. In onderstaand morfologisch schema zijn de keuzes groen gemarkeerd. Een oranje gemarkeerde optie (onzeker) betekent dat een test gaat uitmaken wat er gekozen wordt.

#	Keuze:	Optie 1:	Optie 2:	Optie 3:	Optie 4:	Optie 5:
K1	Constructie geraamte	Coomach profielen 	Frame blokken 	Specifiek laten fabriceren 	-	-
K2	Laadpunten	Trechterbak 	Sleuven 	-	-	-
K3	Goederen niet op elkaar	Barrièrebalk 	Schudplank 	Borstelwals 	Trechter 	-
K4	Goederen in 1 lijn	Vernauwing 	Schudplank 	Borstelwielen 	Trechter 	-
K5	Goederen per stuk behandelen	Automatische barrière deur 	Sluis 	Kwartslagwielen 	Reuzenrad 	-
K6	Positionering YZ-vlak	Jongleerplank 	Kokerwiel 	*Gyroscoop 	-	-
K7	Positionering XY-vlak	Draaiplateau 	Trechter met Bowlingprincipe 	-	-	-

K8	Positie hoogte	Spindel lift 	Schaarlift 	Spiralen 	Reuzenrad 	Lopende band 
K9	Oriëntatie-systeem	Cameramodule 	Lichtsensoren 	-	-	-
K10	Motoren	DC motor 	Stappenmotor 	Servomotor 	*Lineair 	-
K11	Verplaatsing door systeem	Pers 	Glijbaan 	Lopende band 	Rails 	-

Tabel 16 - Morfologisch schema met definitieve keuzes in groen

Onderstaande tekst verwijst naar iedere keuze en geeft extra toelichting bij het morfologisch schema.

Voor de eerste keuze (**K1**) is gekozen voor Coomach profielen, aangezien ze lichter zijn dan frameblokken, goedkoper zijn dan het specifiek laten maken van de constructie en ook gelijk handig in gebruik zijn: ze zijn multifunctioneel toepasbaar. Doordat veel van de al aanwezige profielen uit het voorgaande project uitermate geschikt en in perfecte conditie waren, bespaart deze optie nog eens veel geld, dat beter gebruikt kan worden in andere modules. Voor de afwerking wordt plaatmateriaal gebruikt.

De laadpunten (**K2**) zullen worden gekenmerkt door sleuven. Dit idee is afkomstig uit het voorgaande project [1] [5] en zal worden hergebruikt, daar het werkingsprincipe simpel is en voldoet aan de eisen. Een trechterbak is relatief lastiger te fabriceren en zou problemen kunnen opleveren met het aanleversysteem, dat geschikt is voor de sleuven.

K3 bestaat uit een borstelwals, aangezien een balk en een trechter voor opstopping kan zorgen. De goederen kunnendoor hun bouw namelijk aan elkaar blijven haken. Een schudplank is duurder en zou door het aanhaken ook minder kans op een 100% resultaat kunnen geven. Een borstelwals biedt relatief meer zekerheid, aangezien alle goederen in contact komen met de wals en van elkaar af worden geveegd, ondanks dat ze aan elkaar kunnen blijven hangen. Tenslotte biedt de wals meer mogelijkheden, die in hoofdstuk 6 worden besproken.

De volgende keuze (**K4**) is een vernauwing. Een schudplank dient te worden gebruikt in combinatie met een vernauwingsmiddel en biedt t.o.v. een glijbaan of lopende band geen meerwaarde. Een

trechter geeft eenzelfde probleem als gebleken in de derde module. Borstelwielen blijken na een test niet nodig te zijn, indien de vernauwing gestroomlijnd is (afgeronde wanden). Mocht er toch nog een opstopping ontstaan, kan dit probleem worden getackeld met andere modules (zie hoofdstuk 6).

K5 is een reuzenrad, vanwege de toename van de capaciteit en de desbetreffende functie. Tevens is de kans op twee goederen tegelijkertijd doorlaten kleiner, dan indien een barrièredeur wordt gebruikt. Kwartslagwielen en een sluis zouden ook geschikt zijn, maar het reuzenrad vervult gelijktijdig ook de functie van lift. Daarnaast is deze keuze meer compact dan de sluis.

Voor **K6** is de keuze snel gemaakt: een jongleerplank biedt weinig zekerheid op goed resultaat, aangezien de kans bestaat dat de goederen niet kantelen in de lucht en een gyroscoop zeer ingewikkeld te maken en programmeren zou zijn. Hoewel de gyroscoop door het vervullen van zowel module 6 als 7 minder ruimte zou innemen, is eenvoud de doorslaggevende factor. Daarnaast kan een kokerwiel indien goed toegepast zorgen voor een hoge capaciteit en een eenvoudige aansturing: enkel een wissel is noodzakelijk om goed gelegen goederen met rust te laten en fout gelegen goederen te behandelen (zie hoofdstuk 6).

De keuze **K7** was een moeilijkheidskwestie. Een draaiplateau is mechanisch gezien vele malen eenvoudiger te realiseren dan een bowlingmachine-principe, waarbij met trechters/kokers wordt gewerkt. Daarnaast zorgt vasthaken voor mogelijke problemen, waardoor dit lastige systeem minder goed functioneert dan een eenvoudig draaiplateau. De softwarematige terugkoppeling van de positie “zien” blijft wel een lastig onderdeel.

Om de juiste hoogte te bereiken voor afgifte, is voor **K8** gekozen voor spiralen. Een reuzenrad zou namelijk door de breedte onnodige ruimte wegnemen. Een lopende band heeft hetzelfde probleem, vanwege de hoek die de band moet maken. De band zou ook verticaal kunnen worden toegepast, maar zou hiermee alsnog onnodige ruimte wegnemen door in- en afgifteopening. Tevens is dit laatste idee enorm duur door de flexibiliteit van de band. Een liftbakje en schaarlift zouden kunnen, maar bieden een zeer lage capaciteit en hiermee dus inefficiëntie t.o.v. spiralen. Het is niet de bedoeling dat deze module een bottleneck vormt voor het hele proces en zelfs buiten het station. Nadeel is wel dat het produceren van de spiralen lastig is. Uit tests moet blijken of de spiralen in eigen huis kunnen worden gemaakt en of dit nadeel juist de doorslaggevende factor kan zijn voor een andere optie of niet.

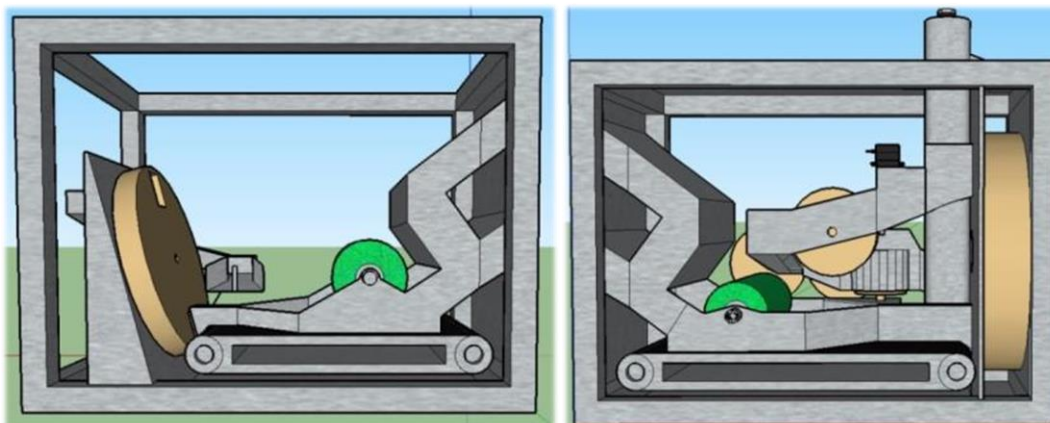
Voor **K9** is de keus na lang onderzoek gevallen op infrarood sensoren. Een cameramodule lijkt het meest voor de hand om de positie van de goederen vast te kunnen leggen, maar het programmeerwerk hierachter is zeer lastig. Tevens raadt de opdrachtgever een cameramodule af. Een *lichtsensor heeft de voorkeur, maar enkel licht gebruiken is geen optie. Uit testen is uiteindelijk de keus gevallen op infrarood. Er kan namelijk worden gewerkt met licht/donker.

Voor **K10** zijn meerdere opties goed. Een *DC motor is geschikt voor een operatie die geen specifieke snelheid en kalibratie nodig heeft en die enkel beweging vereist, ofwel linksom draaiend ofwel rechtsom draaiend. Een *stappenmotor is noodzakelijk voor toepassingen als het reuzenrad, maar ook het draaiplateau en de spiralen. Een lineair motor is niet geschikt voor de gekozen modules en is bovendien duur ten opzichte van de andere type actuatoren.

K11 bestaat uit glijbanen en een lopende band. In het ontwerp van het voorgaande team werd gebruik gemaakt van een pers. Dit is nu achterwege gelaten, vanwege de beperkte capaciteit en de mogelijkheid op beschadiging van producten, indien er een of meerdere goederen klem komen te zitten. Er is samen met de opdrachtgever gekeken naar rails met karretjes erop, o.a. van Beckhoff. Dit systeem is echter te duur en te groot voor het compacte station en zou daarom eerder geschikt zijn als schakeling in de algemene industrieopstelling waar het feederstation ook deel van uit kan maken. Er is gekozen om nagenoeg alle verplaatsing middels *hoogte-energie toe te passen. Dit is goedkoop, relatief eenvoudig te maken en vergt geen aandacht als het gaat om elektrische componenten en software. Eén van de verplaatsingen vindt echter onderin het station plaats, waardoor er geen mogelijkheid voor een glijbaan is. Hier wordt gebruik gemaakt van een transportband. Een voordeel van deze band, is dat de snelheid van de verplaatsing van de goederen kan worden aangepast aan de andere modules. De borstelwals, vernauwing en het reuzenrad zijn óf mechanisch, of elektrisch aan elkaar verbonden, waardoor deze modules samen één systeem vormen. Indien er een probleem bij één van deze modules optreedt, kunnen de andere modules hierop ingrijpen. Meer informatie hierover in hoofdstuk 6.

Ten tijde van het kiezen van de uiteindelijke principes voor iedere module, is ook rekening gehouden met multifunctionaliteit. Nagenoeg alle modules vervullen minimaal twee functies. Dit bespaart geld en ruimte, dit laatste gebaseerd op de eis voor een compact systeem.

Na de keuze van de opties voor de modules, is er in het tekenprogramma SketchUp een globale opstelling (nog zonder officiële afmetingen) van alle componenten getekend. De eerste optie toont het frame, met een glijbaan die de inkomende goederen naar een transportband met borstelwals brengt. Na een vernauwing komen de goederen in een open wiel, dat de goederen stuk voor stuk naar een hoger punt brengt, om zo via een tweede glijbaan naar een wissel te gaan.



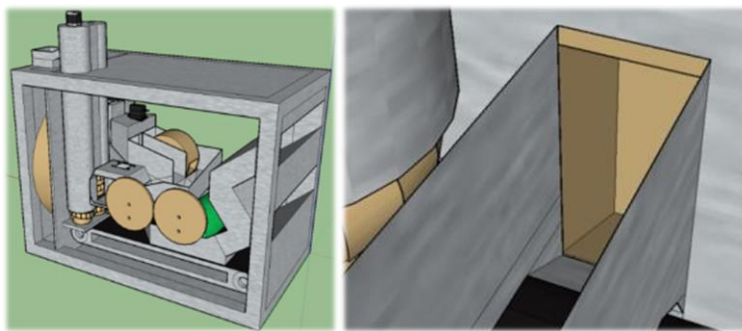
Figuur 23 – V.l.n.r.: reuzenrad eerste versie en reuzenrad tweede (gebruikte) versie

Het probleem van deze methode en opstelling, is dat er te weinig hoogte wordt benut, waardoor er al snel geen hoogte-energie meer kan worden gebruikt voor de (nog niet ingetekende) modules. Tevens is er weinig ruimte voor de tweede glijbaan om vanaf de achterzijde van het reuzenrad, naar de voorzijde te gaan. Dit vergroot de kans op opstoppingen.

Na dit probleem te hebben geconstateerd, is besloten om een nieuw reuzenrad te bedenken die minder ruimte eist en een grotere hoogte overbrugt.

Het tweede systeem toont het frame, de eerste glijbaan, de borstelwals, vernauwing en de transportband. Verschil is nu dat het reuzenrad niet meer schuin, maar rechtop staat. Hierdoor is er minder ruimte noodzakelijk. Deze mogelijkheid doet zich voor door gebruik van een nieuw systeem: de kokers van het reuzenrad zijn nu niet meer aan beide zijden open, maar enkel aan de voorzijde. Door deze kokers zelf schuin te plaatsen, zal de beweging van het rad de stand van de kokers veranderen. Onderaan staat de koker naar beneden gericht, waardoor goederen makkelijk in de koker vallen. Eenmaal bovenin is de koker zo gedraaid, dat de koker naar boven is gericht. Hierdoor vallen de goederen juist uit de koker naar de glijbaan. Een wand met enkel een gat onderin en bovenin, weerhoudt de goederen ervan om gedurende de rit niet uit het rad te vallen, m.u.v. de plekken waar dit juist noodzakelijk is.

Door dit systeem is er voldoende hoogte voor de navolgende modules en kan alles met hoogte-energie werken.



Figuur 24 - Overzicht systeem in SketchUp, met nadruk op overdracht transportband naar reuzenrad

Tenslotte is er nog gekeken naar het materiaaltype voor de interne onderdelen en afwerkingsplaten. Het voorgaande team had gekozen voor staal. Hoewel staal enorm stevig is, is het hiermee ook gelijk veel zwaarder, vanwege de grote dichtheid. Het gewicht van de uiteindelijke feederstation mag 300 kilogram per wiel zijn. Dit is uitzonderlijk veel, aangezien het feederstation wel te verplaatsen moet zijn. Daarnaast rustten veel interne modules op elkaar. Daarom is er gekozen voor een lichtgewicht, doch stevig metaal. Hiermee valt de keuze snel op aluminium, aangezien dit zo'n drie keer lichter is.

Een ander voordeel is een trage veroudering door o.a. corrosie. Ten tijde van de start van de stage, bleek al snel dat het gebruikte staal in het station niet geschikt was: er was in een half jaar tijd al roest ontstaan en het station lag er verloederd bij. Te bedenken dat het station wordt gebruikt voor demonstraties en de levensduur vanwege de aanschafprijs toch langer dan een half jaar dient te zijn, is er gekozen voor aluminium, aangezien er geen coating noodzakelijk is. Daarnaast is aluminium makkelijk te bewerken: de lage dichtheid helpt hieraan mee [11].

Aluminium kent naast vele voordelen ook een nadeel: de compactheid. Staal is door de hoge dichtheid compact. Desalniettemin is de compactheid ongeveer 2,5 keer kleiner, wat dus weer niet opdoet tegen een drie keer zo sterk aluminium, ondanks de relatief lage massa.

L. Informatie e-bus terminals

Bijlage L bevat informatie over de terminals. Waar staat bijvoorbeeld de 4-cijferige code voor? Welke terminals waren ten tijde van ontwerpen al aanwezig en welke zijn gebruikt?

Aanwezige terminals gedurende de start van de stage:

- **EK1100-reeks: EtherCAT kopstation**
 - 1x 1100: EtherCAT kopstation voor e-bus terminals (EL series)
 - 1x 1101: EtherCAT kopstation met ID schakelaar voor e-bus terminals (EL series)
- **EL1000-reeks: digitale ingang**
 - 1x 1014: 4x digitale ingang 24V DC 10 microseconden filter time
 - 1x 1084: 4x digitale ingang 24V DC negatief omschakelen / 3.0 milliseconden filtertijd
 - 1x 1094: 4x digitale ingang 24V DC negatief omschakelen / 10 microseconden filtertijd
- **EL2000-reeks: digitale uitgang**
 - 1x 2004: 4x digitale uitgang 24V DC / 0.5A
 - 1x 2024: 4x digitale uitgang 24V DC / 2A
 - 1x 2034: 4x digitale uitgang 24V DC / 2A, met diagnostiek
 - 1x 2202: 2x snelle digitale uitgang (3 fase) 24V DC 0.5A Aan/uit-tijd 1 microseconde
- **EL3000-reeks: analoge ingang**
 - 2x 3004: 4x analoge ingang, enkel eindigend 12 bit, min. 130 kOhm
 - 3x 3102: 2x analoge ingang 16 bit, min. 200 kOhm
- **EL4000-reeks: analoge uitgang**
 - 2x 4004: 4x analoge uitgang 12 bit, load >5 kOhm
 - 1x 4112: 2x analoge uitgang 16 bit, load <500 Ohm
 - 1x 4132: 2x analoge uitgang 16 bit, load >5 kOhm
- **EL5000-reeks: speciale functies**
- **EL6000-reeks: interface/CANopen/etc.**
- **EL7000-reeks: stappenmotor/DC/servomotor terminal**
 - 3x 7031: stappen motor terminal 24V DC / 1,5A
- **EL9000-reeks: systeem terminal**
 - 1x 9011: bus afdekplaatje
 - 1x 9210: voeding-terminal 24V DC max. 6.3A met diagnostiek

Terminals die voor het feederstation worden gebruikt:

- 1x EK1101 als kopstation met ID schakelaar
- 1x EL9210 voor diagnostiek
- 5x EL7041 voor stappenmotor 12V
- 1x EL7031 voor stappenmotor 24V
- 1x EL2034 voor 2 DC motoren met diagnostiek
- 1x EL1014 voor 3 knoppen
- 3x EL1124 voor digitale ingang sensoren
- 1x EL2004 voor LED's in knoppen op 24V
- 1x EL2024 voor grote lamp drie kleuren (stoplicht) op 24V

