

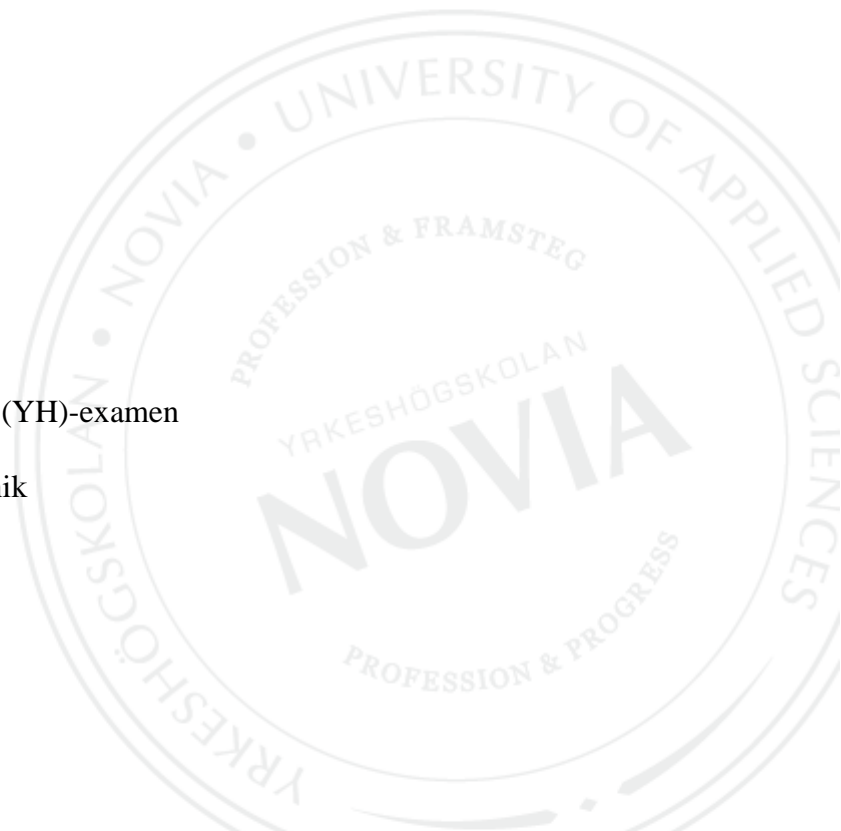
# Utveckling av äppeltorkningsmaskin för tillverkning av pellets

Lukas Wärnå

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2016



## EXAMENSARBETE

Författare: Lukas Wärnå  
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik Vasa  
Profilerings: Maskinkonstruktion  
Handledare: Kenneth Ehrström

Titel: *Utveckling av äppeltorkningsmaskin för tillverkning av pellets*

---

Datum 21.4.2016

Sidantal 26

Bilagor 24

---

### Abstrakt

Uppdragsgivare för detta examensarbete är Bornemanns musteri, företaget tillverkar äppelsaft i Pargas.

Syftet med examensarbete var att utveckla ett koncept för en torkningsmaskin för äppelrester. Den torkade äppelmassan skall sedan pressas till pellets. Energin från pelletsen kommer att utnyttjas genom förbränning. Arbetet innefattar olika torkningsmetoder, alternativa användningsområden för pellets som bränsle och funktionsbeskrivning för pellettillverkning. Energimängden hos pellets jämförs med andra vardagliga energikällor. Examensarbete behandlar konceptritningar på torkningskonstruktionen och dess komponenter.

Resultatet blev en snabb rotationstork och dess konceptritningar samt dess funktionsbeskrivningar.

---

Språk: svenska

Nyckelord: biomassa, äppeltork, pellets, 3D-modellering

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Lukas Wörnå
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Koneensuunnittelu
Ohjaaja:	Kenneth Ehrström

Nimike: Pellettien valmistuksessa käytettävän omenankuivauskoneen kehitys

---

Päivämäärä 21.4.2016 Sivumäärä 26

Liitteet 24

---

### Tiivistelmä

Tämän työn on tilannut Bornemannin panimo, joka tuottaa omenamehua Paraisilla.

Opinnäytetyön tarkoitus on kehittää konsepti koneesta joka kuivattaa omenajätettä. Kuivatetusta omenajätteestä puristetaan myöhemmin pellettejä. Pelleteissä olevaa energiaa hyödynnetään polttamalla. Työ sisältää eri kuivausvaihtoehtoja omenajätteelle, vaihtoehtoisia pelletin käyttötarkoituksia ja pellettivalmistuksen tuotantokuvauksen. Työssä vertaillaan pellettien energiamäärää muihin jokapäiväisiin energialähteisiin. Työ sisältää myös piirustuksia kuivauskoneesta ja sen komponenteista.

Työn tulos on nopeasti pyörivä kuivauskone. Työssä kuvaillaan kuivauskoneen toimintaa piirustuksilla.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: biomassa, omenankuivauskone, pelletti,  
3D-suunnittelu

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Lukas Wärnå  
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa  
Specialization: Mechanical construction system  
Supervisor: Kenneth Ehrström

Title: Development of an Apple Drying Machine for the Production of Pellets

---

Date 21.4.2016

Number of pages 26

Appendices 24

---

### **Abstract**

This thesis is made in behalf of Bornemann, a cider factory company in Pargas.

The purpose of the paper is to develop a concept for a machine for drying apple residues and from the dried mass be able to produce pellets. The energy from the pellets will then be utilized through combustion. The thesis discusses different drying methods, alternative uses for pellets as fuel and a functional description for pellet production. The energy content in the pellets as compared to other everyday energy sources is discussed, and concept drawings of the dryer and its components are presented.

The result of this thesis is a fast rotary dryer, its concept drawings as well as the functional descriptions of the dryer.

---

Language: Swedish

Key words: biomass, apple dryer, pellets, 3D-modeling

---

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Avgränsningar.....	2
1.4	Företagsbeskrivning.....	2
1.5	Konkurrensanalys.....	3
1.6	Disposition.....	3
1.7	Problemformulering.....	3
1.7.1	Anpassning.....	3
1.7.2	Konstruktion.....	4
1.8	Produktspecifikation.....	4
2	Teori.....	5
2.1	Vad är biomassa?.....	5
2.2	Olika sätt att utnyttja energi ur biomassa.....	5
2.2.1	Förbränning.....	5
2.2.2	Termisk omvandling.....	6
2.2.3	Förgasning.....	6
2.2.4	Pyrolys.....	6
2.2.5	Rostning.....	7
2.2.6	Kemisk omvandling, icke förbränningsprocesser.....	7
2.2.7	Oljor av biomassa.....	7
2.2.8	Jäsningsprocess, metan och alkohol.....	8
2.2.9	Begränsningar av biomassa.....	8
2.2.10	Förvandling av biomassa till elektricitet.....	9
2.3	Jämförelse av energimängden i träpellets med andra energikällor.....	10
2.4	Pellets.....	11
2.5	Olika pellets.....	11
2.6	Pelletproduktion.....	12
2.7	Malning av råmaterial.....	13
2.8	Torkning.....	14
2.9	Torkningsmetoder.....	15
2.9.1	Naturlig torkning.....	15
2.9.2	Rörknippstorkning.....	15
2.9.3	Trumtorkar.....	16
2.9.4	Bandtork.....	17
2.9.5	Överhettad ångtork.....	18
2.9.6	Snabb rotationstorkare.....	19
2.10	Pelletering.....	20
2.11	Maskinsäkerhet.....	21
3	Konceptval.....	21
4	Resultat.....	22
5	Diskussion.....	25
6	Källförteckning.....	26

# 1 Inledning

Studerar vid Yrkeshögskolan Novia på maskin- och produktionsteknik med konstruktör som inriktning. Detta examensarbete handlar om hur man tar till vara på energin som finns i matrester, specifikt äppelrester i detta fall. Fick uppgiften av familjebekanta i och med att de var i behov av en lösning på deras äppelrestavfallsproblem. Med en del planerande kom vi fram till ett gemensamt koncept vilket jag utvecklat vidare. Målet med arbetet är att konstruera en effektiv maskin som först torkar äpplen och sedan pressar dem till pellets. Jag kommer även i mitt arbete att undersöka andra metoder för utvinning av energi ur äppelresterna och jämföra dem med varandra för att se vilken lösning som skulle vara mest optimal. Slutprodukten kommer att användas till att värma upp hus och lagerbyggnad.

## 1.1 Bakgrund

Sedan starten av Bornemanns äppelmusteriet har äppelrester varit ett stort problem. I dagsläget slängs det ut i skogskanten för att förmultna. Detta leder till att många djur samlas för att äta resterna vilket gör att grannarna klagar. Utöver djuren blir det en stark lukt av resterna vilket stör alla som bor i närheten. Årets restavfall uppskattas till 50 ton, avfallet kommer att öka ju mera företaget utvidgar sin verksamhet, till slut kommer det bli för mycket rester för att man kan låta den förmultna i skogen. Musteriet är i behov av en ny lösning för att bli av med äppelresterna och för att kunna utvidga sin verksamhet.

## 1.2 Syfte

Huvudsyfte med detta examensarbete är att designa en maskin för torkning av äppelrester, för att sedan kunna använda den kvarvarande massan till pellets. Målet är att få ut så mycket energi av äppelresterna att det skulle räcka till att värma upp ett hus och en lagerbyggnad. Jag kommer även i mitt arbete att undersöka andra metoder för att utvinna energi ur äppelresterna och jämföra dem med varandra för att ta fram den mest optimala lösningen. Slutprodukten kommer att användas till uppvärmning.

### 1.3 Avgränsningar

Detta arbete kommer att omfatta designen av en äppeltorks konstruktion och en undersökning av olika metoder att utvinna energi av biomassa för uppvärmning. Mitt arbete begränsas till att ta fram konceptlösningar som hjälp då tillverkning blir aktuellt.

### 1.4 Företagsbeskrivning

Sedan år 2012 har Bornemanns tillverkat äppelsaft med hjälp av ett mobilt musteri. Företaget har varit verksamt i tre år. Musteriarbetet och försäljningen av äppelsaften sker i regionen. I Pargasområdet finns inga andra musterier och kunderna kommer framför allt från Pargas, St. Karins och Åbo.

Hos Bornemanns pressar man saften med en automatisk modern bandpress och upptappningen görs i bag-in-box förpackningar. Gällande saftförsäljning finns det konkurrens, den största kommer från Åland och Polen. På grund av detta måste Bornemanns utvidga sitt produktutbud och sin verksamhet för att kunna vara konkurrenskraftiga.

Tills vidare har Bornemanns arbetat som ett familjeföretag utan utomstående arbetskraft, till framtidsplanerna hör att kunna anställa personal. Bornemanns säljer kallpressad äppeljuice, äppelglögg, torkade äppelringar samt tillverkar små mängder lemonader av äpple och bär. I framtiden kommer Bornemanns även att tillverka äppelsylt, gelé, äppelmysli, cider och öl.

Äppelmängden Bornemanns tar in per år varierar enligt skörden, vanligtvis handlar det om ca 60 000 kg. Äpplen tas in från sex olika gårdar och andra privatpersoner som låter pressa äppel till saft. 60-70 % av äpplena blir till saft, resten blir till äppelrester.

## 1.5 Konkurrensanalys

Pelletspressningsmaskiner är en vanlig konstruktion. Det finns flera företag i Finland som konstruerar dessa maskiner. Torkningsmaskiner är det dock brist på. Det finns företag som tillverkar dessa torkningsmaskiner men i stor skala. Ledande landet på marknaden är Tyskland som har stora industrier som i många år utvecklat tekniken.

I mindre skala har jag inte hittat något företag som skulle tillverka torkningsmaskiner till försäljning. De maskiner som görs är specialbeställd, vilket får priset att stiga drastiskt.

## 1.6 Disposition

Detta examensarbete omfattar en utveckling av en äppeltorkningsmaskin för tillverkning av pellets, energiberäkningar för uppvärmning av hus och hall samt en jämförelse av andra uppvärmningsmetoder. Teoridelen omfattar äppeltorkning, pelletstillverkning samt maskinsäkerhet. Arbetet avslutas med resultatet som visar min design på torkningsmaskinen för företagets behov.

## 1.7 Problemformulering

Här presenteras problemformuleringen för konstruktionen.

### 1.7.1 Anpassning

Problemet som uppstår vid designandet av en äppeltork är att utveckla en äppeltork som är energisnål och kostnadseffektiv. Detta ger riktlinjer om vad som är möjligt att förverkliga med tanke på att hålla konstruktionskostnader så låga som möjligt.



### 1.7.2 Konstruktion

Konstruktionsproblemet innebär att planera och designa en äppeltork som klarar av att hantera mängden äpple som skall hinna torkas inom tidsramen innan kvantiteten blir för stor. Konstruktionen skall vara mobil för att underlätta eventuell förflyttning. Konstruktionen skall även klara av fukten den utsätts för samt fungera i det finska klimatet. En annan utmaning är att få konstruktionen byggd så att varmluften samt kallluften blandas rätt för att optimera temperaturen som behövs för att uppnå bästa resultat vid torkningen. Denna temperatur skall uppnås vare sig det är varmt eller kallt ute med en minimal kastning.

### 1.8 Produktspecifikation

Konceptet omfattar en torkningsmaskin för biomassa, närmare bestämt äppelrester.

En grunddesign på en snabb rotationstork utvecklad av Jumbo-group ligger som grund för konstruktionen av äppeltorken.

Torken skall vara uppdelad i tre delar, matningsmekanismen, pelletbrännare samt själva torkkammaren. Torkkammaren bör innefatta axlar med vingar som med en snabb roterande rörelse kastar materialet upp i luften. Axlarna skall drivas av el-motorer, vilka är monterade på utsidan av konstruktionen.

Varmluften skall komma från pelletbrännaren som skall vara skilt monterat från torken. Varmluften skall blandas med omgivningens luft för att uppnå den optimala temperaturen för torkning. Den vanliga luften skall tas in genom ett ventilationsrör som befinner sig på torkens tak. För att få in rätt mängd ”kall luft” bör ventilationsröret förses med en fläkt för att uppnå ett starkare sug.

Matningsmekanismen skall bestå av en matningstank där materialet transporteras med en spiralmatare som drivs med en elmotor.

Konstruktionen skall vara mobil för att lätt kunna förflyttas vid behov. Eftersom Bornemanns har ett mobilt musteri med vilket de kan åka till olika äppelgårdar, krävs även att torkningsmaskinen skall vara mobil. Detta för att minimera fraktkostnader och spara tid.

## 2 Teori

Detta kapitel omfattar den teori som använts i detta examensarbete.

### 2.1 Vad är biomassa?

Biomassa är alla levande samt döda organiska ämnen som härstammar från flora och fauna. Biomassa produceras genom fotosyntes. Ursprungligen härstammar all biomassa från växtriket men eftersom människor och djur äter av växterna transformeras växtbiomassan i människornas och djurens biomassa.

Biomassa representerar solljusets energi omvandlad genom fotosyntes. Tack vare detta lagras solens energi i biomassa i en biokemisk form. Växtbiomassans torrsvikt består i huvudsak av kol, syre och väte.

Restprodukter eller biprodukter innehåller i helhet ca 4,5 – 5,0 kWh biokemiskt lagrat solljus per kg torrsbstans. Detta värde kan dock inte fast slås då det ändras beroende på hur man behandlat produkten. Genom att effektivt bearbeta restmaterial, genererar vi återanvända material som kan återcirkuleras in i användningscykeln (Exergy, 1997).

### 2.2 Olika sätt att utnyttja energi ur biomassa

Det finns många olika möjligheter att utnyttja energi som är lagrad i biomassan. Nedan listar jag några av de vanligaste metoderna som används både i hemmet och i industrin.

#### 2.2.1 Förbränning

Den mest välkända processen för att utnyttja energi ur biomassa är genom förbränning, exempelvis förbränning av pellets. I förbränningsprocessen förbränns biomassa som alstrar värme och omvandlas till energi.

Fördelen med förbränning av biomassa är att man kan använda värmen utan att behöva konvertera den till en annan form av energi. Genom förbränning kan man använda värmen

direkt för exempelvis uppvärmning av lokaler eller vatten. Direktvärme kan även med hjälp av turbiner omvandlas till elektricitet (biomass energy processes u.å).

### 2.2.2 Termisk omvandling

Termisk omvandlingsprocess använder värme för att utvinna energi. Detta sker genom att förändra biomassans kemiska egenskaper med kemiska reaktioner och interaktioner med syre. Dessa inkluderar följande (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.3 Förgasning

Förgasningsprocessen förverkligas med hjälp av höga temperaturer och reglering av mängden syre och ånga när man konverterar kolmaterial såsom petroleum, kol, biobränsle och biomassa till vätgas och kolmonoxid. Denna omvandlingsprocess producerar vad som kallas syntesgas. Detta är en mer effektiv produkt av biomassa än vad förbränningsprocessen ger. Syntesgasen kan brännas direkt eller används för att skapa metanol och väte och även vidare omvandlas till ett syntetiskt bränsle. Användning av syntesgas kan tillämpas på ett brett spektrum av energiutnyttjning (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.4 Pyrolys

Pyrolys inträffar när biomassan upphettas utan något syre i kammaren. Vatten, kol, tjära, olja och gaser som väte, metan, koldioxid och kolmonoxid är produkter av pyrolys av biomassa. Dessa kemiska förändringar bestäms av vilken typ av biomassa som bearbetas och hur lång tid det tar att värma upp. Den vanligaste slutprodukten som skapas genom pyrolysisprocessen är träkol (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.5 Rostning

Rostning för produktion av biomassa är en termokemisk process. Erforderlig temperatur för denna process är mellan 200 - 320° Celsius. Under processen avlägsnas syre och eventuell fukt från biomassan. Kvar blir vad som kallas flyktiga ämnen. Överflödiga flyktiga ämnen tas också bort för en renare form av användbar biomassa. Överflödiga flyktiga ämnen kan innefatta cellulosa och andra biopolymerer som avger en rad flyktiga ämnen när de sönderfaller. Resultatet av denna process är en torr, mörk, fast biomassa som kallas för bio-kol. Bio-kol görs oftast till pellets eller briketter (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.6 Kemisk omvandling, icke förbränningsprocesser

Det finns även andra processer för omvandling av biomassa till energi som inte kräver förbränning. Dessa metoder kan omvandla rå biomassa till olika former av fasta bränslen, gas och vätska. Kraftverken kan sedan använda dessa konverterade energier, direkt utan någon ytterligare behandling.

Dessa icke förbränningsätt av biomassa kräver uppvärmning av biomassan i ett försök att bryta ned den kemiska strukturen av anläggningen. Dessa kemikalier är som sagt fasta, gaser och vätskor. Några av dessa kemikalier kan användas direkt, medan andra måste brytas ned ytterligare genom andra raffineringmetoder.

Eftersom de flesta av biomassorna har gott om kolhydrater, kan de reduceras till flera olika kemikalier som anses som vitala bränslekällor (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.7 Oljor av biomassa

Förnybart växtliv såsom majs, sockerrör, sojabönor etc. kan omvandlas till flytande former av bränsle och används i stället för diesel och bensin. Matoljor från restauranger samlas ofta in för att återvinnas som biodiesel (biomass energy processes, u.å).

### 2.2.8 Jäsningsprocess, metan och alkohol

För att utvinna metan eller alkohol från biomassan krävs en termisk förgasning. Metan kan användas i gasform för att driva turbiner som producerar elektricitet. Metan kan också omvandlas till ett vätgasbränsle som används för att generera elektricitet med fördelen att ha mycket låga utsläpp.

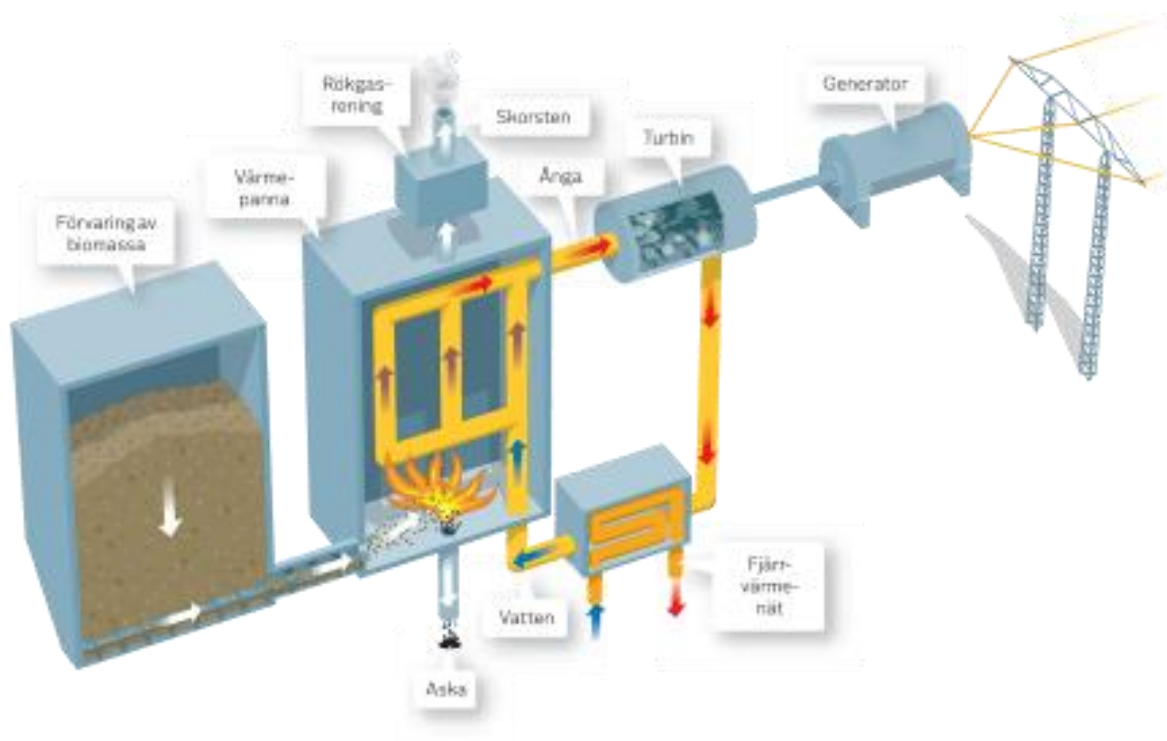
Genom jäsningsprocess konverterar man bioenergi. Det är genom en jäsningsprocess som man förvandlar förnybara växtprodukter till alkohol (etanol). Etanol används i dagens läge aktivt i bensinen. En biprodukt av denna process är metan, som tidigare nämnts kan användas för elproduktion (biomass energy processes, u.å.).

### 2.2.9 Begränsningar av biomassa

Biobränsle, såsom etanol, kan producera omkring fem gånger mera energi än vad det tar att framställa det, vilket gör det till ett ur ekonomiskt perspektiviskt god energikälla. Nackdelen är att ju längre avstånd bränslet måste transporteras desto mindre ekonomiskt blir det (biomass energy processes, u.å.).

### 2.2.10 Förvandling av biomassa till elektricitet

Figuren nedan (se figur 1) visar ett koncept på att förvandla biomassa till energi. Biomassan är lagrad i en behållare varifrån det transporteras med hjälp av en spiralmatare till själva pannan. I pannan förbränns biomassa som värmer upp vattnet under hög temperatur och tryck. Vattenången från pannan fortsätter sedan vidare för att driva en turbin som är kopplad till en generator. Från generatören åker elektriciteten ut i elnätet. Ången från turbinen fortsätter färden och värmer upp fjärrvärmevattnet som transporteras vidare genom rörsystemet.



Figur 1 Energiförvandlingskoncept för biomassa till elektricitet. (Vattenfall, 2013)

### 2.3 Jämförelse av energimängden i träpellets med andra energikällor

Tabellen nedan visar vad som motsvarar samma energi mängd i träpellets i jämförelse med andra vardagliga energikällor.

Tabell 1 jämförelse av energimängden i träpellets med andra energikällor.

Bränsle	Fukthalt 4-6 %	Trä pellets
	Energi innehåll GJ/ton	17,46 GJ
	Energi innehåll MWh/ton	4,85 MWh
Olja (1000 liter)	36 GJ/10 MWh	2,06 ton 3,16 m <sup>3</sup>
Naturgas (1000 m <sup>3</sup> )	39 GJ/10,83 MWh	2,24 ton 3,45 m <sup>3</sup>
Kol (1 ton)	27 GJ/7,5 MWh	1,55 ton 2,38 m <sup>3</sup>
Torvbriktetter (1 ton)	17,7 GJ/4,91 MWh	1,01 ton 1,56 m <sup>3</sup>
Elektricitet (1000 kWh)	3,6 GJ/MWh	0,21 ton 0,31 m <sup>3</sup>
Träpellets (1 ton)	17,46 GJ/4,85 MWh	1 ton
Fukthalt 4-6 %		1,54 m <sup>3</sup>

(Woodenergy, u.å)

Som exempel krävs det enligt regel 4 joule energi för att värma upp 1 gram vatten vilket innebär att det krävs 4000 joule för att värma upp 1 liter vatten.

1 kWh motsvarar 3600 kJ (Woodenergy, u.å)

## 2.4 Pellets

Pellets är ett fast bibränsle med en jämn kvalitet och låg fukthalt, bestående av hög energitäthet med en homogen storlek och form.

Konsekvent bränslekvalitet gör pellets till ett lämpligt val av bränsle typ för alla användningsområden, från spis och central värmesystem till storskaliga anläggningar.

Produktionen av pelletsen är både arbetsintensiv och kommersiellt utmanande. Ändå har man de senaste åren sett stora framsteg i maskiner och processer som används för omvandling av lågradig biomassa till högvärdig fasta bibränslen.

Den starka tillväxten av pelletsmarknaden har gjort krav på undersökningar av tillgänglig råvarupotential och övervägande av alternativ på råvara (Obernberger I. & Thek G., s. 5)

## 2.5 Olika pellets

Olika produkter och material kan pelleteras för att användas termiskt eller fortfarande som ett material, till exempel.

- Pellets gjorda av järnmalm är preliminära produkter i järnproduktionen.
- Djurfoderpellets tillverkas för en enklare hantering av animaliska livsmedel
- Humlepellets används i ölproduktion.
- Uranpellets är gjorda av anrikat uran som används för framställning av bränsleelement.
- Pellets används som en preliminär produkt i galenisk farmaciindustrin och pressas sedan till tabletter eller fylls i kapslar.
- Polystyrenpellets används som stoppningsmaterial för dockor, leksaksdjur, ”beanbags”, ortopediska kuddar, kuddar osv. också som förpackningsmaterial
- Isoleringpellets gjorda av returpapper används för termisk väggisolering
- pellets gjorda av sågspån, halm, hö eller hampa används också som djurströ i stall, burar och liknande.
- Pellets för energisk utnyttjande kan vara gjorda av trä, torv, örtartade biomassa eller avfall (Obernberger I. & Thek G., s. 6)



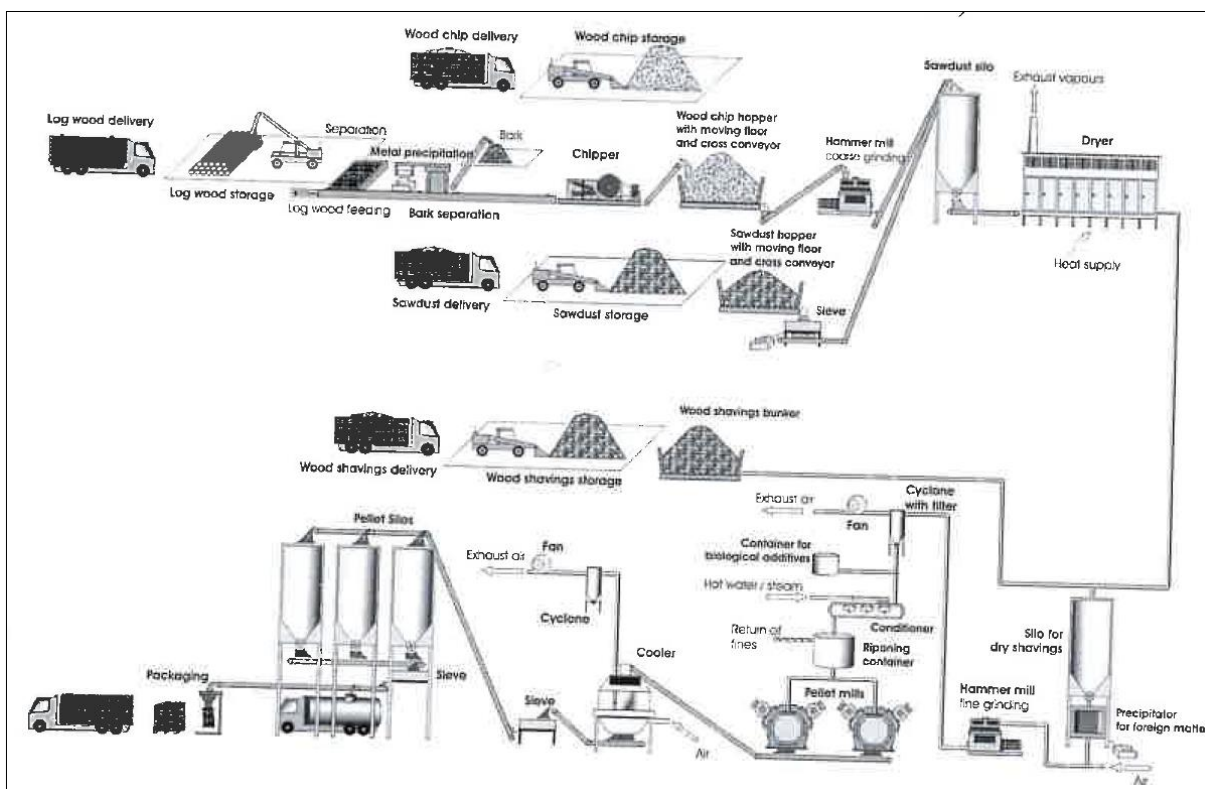
## 2.6 Pelletproduktion

Här följer en utvärdering om hur pelletsproduktion från biomassa sker. Det bör noteras att de nödvändiga processtegen skiljer sig åt beroende på vilken typ av råmaterial som används. Om exempelvis snabbväxande grödor används för pelletsproduktion måste framställning av plantagens jord, gödning, plantering, skörd och flisning samt logistikprocesser innan råvaran kan levereras till pelletsproduktionsanläggningen beaktas.

De mest använda råvarorna som används för pelletsproduktion är träspån, sågspån och trädamm. Träspån och trädamm är torra och går därmed i finslipning som ett första steg i processen. Sågspån är oftast fuktiga och behöver torka innan de malas. Pelletsproduktion består av fyra eller fem huvudsakliga processteg beroende på råmaterialet. Dessa är, (malning), torkning, lagring, pellet pressning samt kylning. Efter torknings processen genomförs vanligtvis en mellanlagring för att fränkoppla torkning från pelletstillverkningen. Efter pelletsproduktion, är lagringsutrymme en nödvändighet för pellets.

Efter torkning, Vissa material är färdigt torra, malas råmaterialet till dess önskade partikelstorlek.

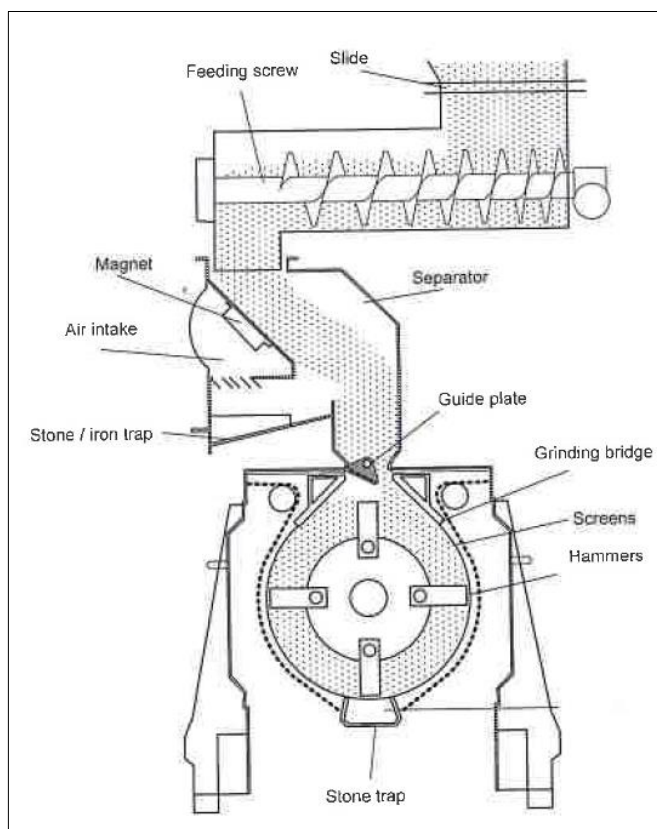
Det vanligaste partikelstorleken för råmaterialet är 4 mm då pelletar med en 6 mm diameter skall produceras (6 mm är den standardiserade diametern för pellets som ska användas i småskaliga ugnar), men avvikelser är möjliga när pelletskvaren eller själva råvaran kräver det. Om pellets med större diameter produceras, är även partikelstorleken hos insatsmaterialet större. Det är dock inte bara pelletens diameter, pelletsfabriken eller råvaran som bestämmer den rekommenderade partikelstorleken utan också användarkraven. Till exempel i stora kraftverk som konverterats från kolanvändning till pellets, brukar pellets mosas eller pulveriseras (vanligtvis i hammarkvarnar), så att de ursprungliga storleksfraktionen av pellet råvara erhålls innan det läggs in i pannan. Om partiklarna är för stora, kommer de inte att genomgå en fullständig förbränning vilket resulterar i att skorstensutsläppen och bottenaska kommer att innehålla oförbränt kol. Ju mindre partiklarna av insatsmaterial, desto bättre verkningsgraden. Pelletproducenten vill inte mala utgångsmaterialet mer än nödvändigt eftersom det kräver mer energi för att producera finare fraktioner (Obernberger I. & Thek G., s. 85-87)



Figur 2 Tillverkningsprocess för träpellets. Första etappen är leveransen av råmaterial som kan komma i olika format, från sågspån till hela träd. Efter leveransens läggs materialet i lager för att invänta torkningen. Då materialet är färdigt torkat fortsätter det till pelletsprocessen var det trycks till färdiga pellets. De färdiga ny pressade pelletsen kyls och läggs sedan på lager tills de skall levereras till kunden. (Obernberger I. & Thek G., s. 86)

## 2.7 Malning av råmaterial

Malning av råmaterial sker i allmänhet med hammarkvarnar eftersom den uppnår rätt finhet och homogenisering. Hammare med en karbidmetallbeläggning är monterade på rotern i en hammarkvarn. Hamrarna slungar materialet mot malningsbron på höljet av kvarnen där uppbyggnad av råvaran sker. Partikelstorleken hos utgångsmaterialet bestäms av skärmen genom vilket det malda materialet måste passera. Energibehovet för slipning stiger ju mindre partiklarna skall malas till. Vått råmaterial är vanligtvis svårare att mala eftersom materialet har en tendens att blinda skärmarna genom att täppa till hålen. Torkningsprocessen sker även snabbare om partikelstorleken är mindre. Hammarmalning av utgångsmaterialet före och efter torkning är vanligt i pelletsprocessen (Obernberger I. & Thek G., s. 87-88)



Figur 3 Funktionsprincipen för en hammarkvarn (Oberberger I. & Thek G., s.89)

## 2.8 Torkning

Processen för förtätningen i en pelletkvarn beror på friktionen mellan kompressionskanalen och råmaterialet och är bland annat beroende av fukthalten i råmaterialet. Därför vill man uppnå en optimal fukthalt i det applicerade råmaterialet. I vissa fall har råmaterialet en naturligt optimal fukthalt, då är torkning naturligtvis inte nödvändigt. Detta kan vara fallet med sågspån eller hyvelspån som genereras av behandlingen av torrt sågat virke eller med trädamm som genereras genom slipning av trä. Därför är dessa material favoriserade inom pelletsindustrin.

Äpplen har en fukthalt på 80 % före pressning och runt 50 % efter pressningen, beroende på skörden, pressen, omgivningen etc. För att kunna förbränna äppelpelletsen och få ut den önskade energinivån skall fukthalten sänkas till omkring 5 - 10 %.

Efter torkningen krävs en uppehållstid på 10 till 24 timmar i mellanlagring vilket hjälper till att balansera ut fukt i homogeniteter i den torra produkten. Detta är viktigt (för t.ex. träflis) eftersom direkt efter torkning är fukthalten i mitten av partiklarna högre än vid kanterna på grund av deras ganska stora partikelstorlekar (Oberberger I. & Thek G., s. 89-90)

## 2.9 Torkningsmetoder

Det finns många olika sätt att torka biomassa för pelletspressning. Beroende på råmaterialet är vissa metoder mer effektiva än andra. Nedan nämner jag några av de vanligaste metoderna som används av de stora industrierna idag.

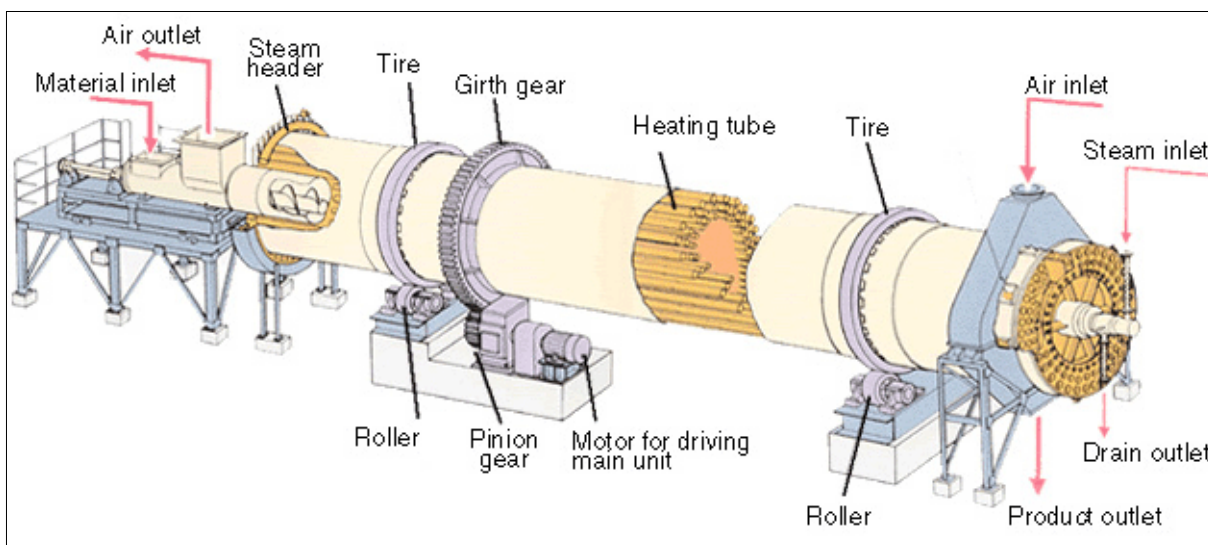
### 2.9.1 Naturlig torkning

Den enklaste formen av torkning är givetvis naturlig torkning. Materialet läggs i lösa högar och vänds med jämna intervaller, där det naturliga solljuset leder till avdunstning av vattnet. Detta sätt av torkning är endast av betydelse för halm och grödor. Att åstadkomma den optimala fukthalten för pelletering genom naturlig torkning är näst intill omöjligt (Obernberger I. & Thek G., s. 90)

### 2.9.2 Rörknippstorkning

Rörknippstorkare är torkar som värms indirekt, vilket innebär att det inte finns någon kontakt mellan värmebäraren och det materialet som skall torkas. På så sätt kan materialet torkas på ett mildt sätt på omkring 90 °C. Vattenånga, termisk olja eller varmt vatten används som uppvärmningsmedium. Matningstemperaturen beror på torkaren samt värmemediet och ligger mellan 150 °C och 210 °C.

Kärnan av torken är de uppvärmda rörknippen som roterar kring en horisontell axel. Värmeytan består av en matris av rör som är svetsade i en stjärnliknande konstruktion runt den centrala axeln. Värmemediet strömmar genom rören, det material som skall torkas är beläget mellan rören. Vid den yttre ändan av rörknippet finns transportblad som för materialet horisontellt längs axeln och kontinuerligt för det i kontakt med uppvärmningsytan. Genom denna återkommande så kallade ”trickling”, dvs. kontakten med uppvärmningsytan, uppnår man en god värmeöverföring. En insättning av varm luft eller rökgas kan ytterligare förbättra värmeöverföringen så att tiden för torkning kan minskas (Obernberger I. & Thek G., s. 91)



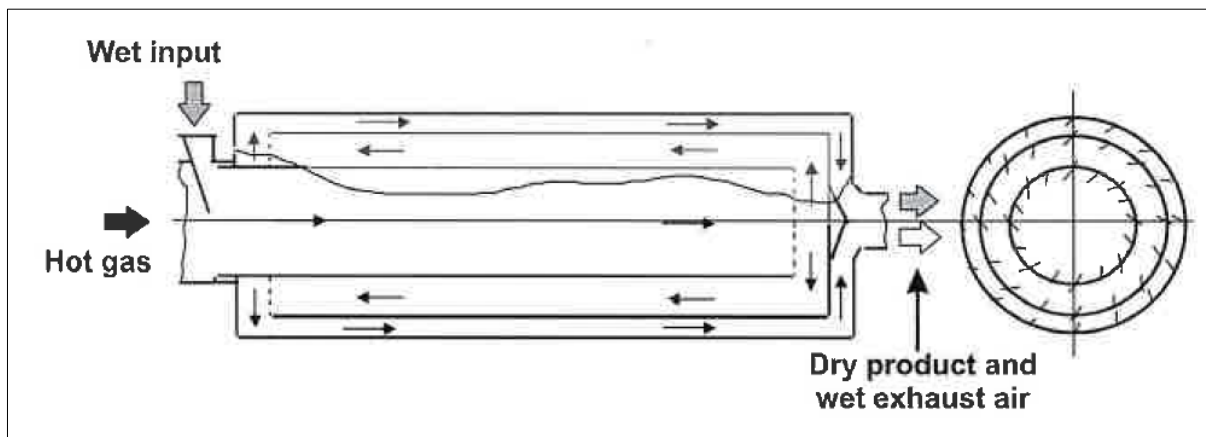
Figur 4 Funktionsprincipen och dess delar för en rörknippes tork. (TSK, u.å)

### 2.9.3 Trumtorkar

I trumtorkar, kan antingen direkt eller indirekt värme tillämpas. Torkare med direkt uppvärmning skickar värmemediet (rökgas eller processluft i lämpligt temperatur) direkt till torken. I en indirekt uppvärmda tork, skapas värmemediet genom en värmeväxlare som kan köras med rökgasen, processluft, ånga, termisk olja eller varmvatten. Själva värmemediet är i kontakt med materialet i båda typerna av torkarna.

Materialet som skall torkas leds in i trumman via roterande ventiler. Trumman roterar med endast ett fåtal varv per minut medan materialet transporteras framåt med varm gas. Torkningsprocessen stöds av bladen som är monterade på den inre väggen hos cylindern. De lyfter materialet, vilket sedan faller igen, och noggrant blandar materialet. Vid slutet av cylindern matas det torkade materialet pneumatiskt ut och separeras från flödet av den heta gasen med hjälp av en vägg. Inloppstemperaturen för värmemediet i en trumtork varierar

mellan 300 °C till 600 °C beroende på dess konstruktion (Obernberger I. & Thek G., s. 92-93)



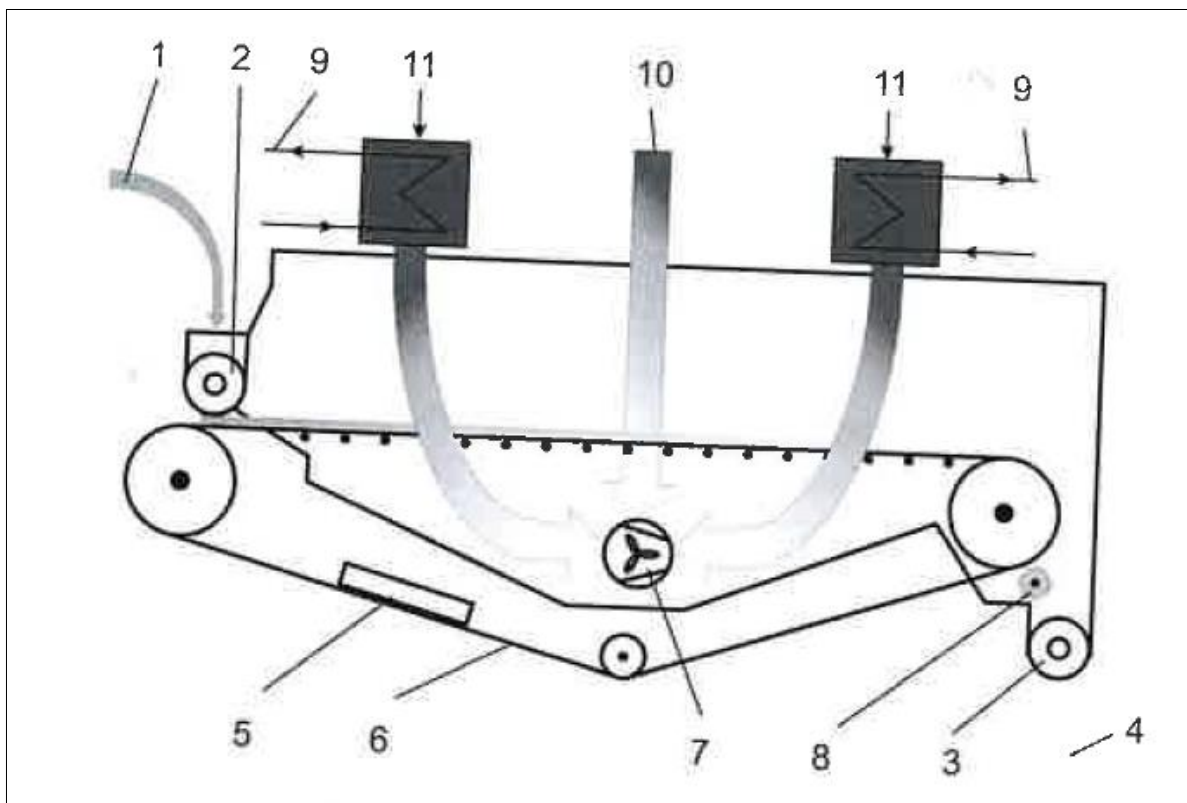
Figur 5 Tvärsnitt för en trummtork med tre kanaler. (Obernberger I. & Thek G., s. 93)

#### 2.9.4 Bandtork

Beroende på vilken typ av tork, varierar inloppstemperaturen hos värmemediet mellan 90 °C och 110°C och utloppets temperatur varierar mellan 60 °C och 70 °C. Denna relativt låga temperatur innebär en mild torkningsprocess.

Bandtorkar kan fungera både med direkt uppvärmning av processluft och indirekt värmning med en värmeväxlare med användning av ånga, termisk olja eller hett vatten. Själva värmemediet är alltid i kontakt med materialet. Bältet löper i en jämn och kontinuerligt sätt med råmaterialet. En avgasfläkt pressar gas för torkningen genom bandet och råmaterialet. För att hålla bandet i fungerande skick rengörs det konstant av en roterande borste.

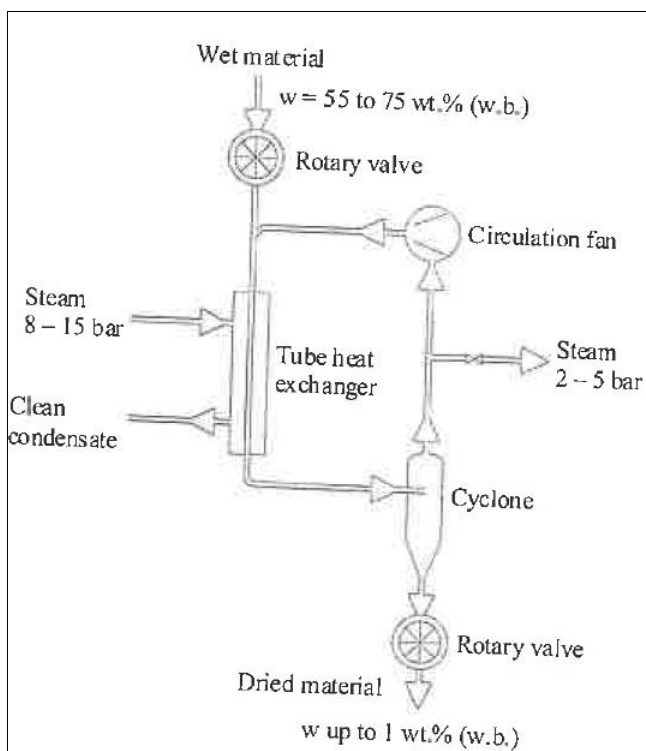
Bandtorkar är ganska stora, framför allt långa och dyrare än rörknippetorkar och trumtorkar med samma kapacitet. Detta kan under de rätta grundförutsättningarna kompenseras av bandtorken eftersom man kan jobba med lägre temperaturer som inte bara minskar utgifterna för värme men också resulterar i en större potential att utnyttja spillvärmerna (Obernberger I. & Thek G., s. 94-95)



Figur 6 Funktionsprincipen för en bandtork. Beskrivning på de olika delarna: 1) Inmatning för råmaterial. 2) Matnings skruv. 3) Tömnings skruv. 4) Utgångsväg för råmaterial. 5) Rengöringssystem för bältet. 6) Bältet. 7) Sugningsfläkt. 8) Roterande borste. 9) Energiförsörjning. 10/11) Luftintag. (Oberberger I. & Thek G., s. 94)

### 2.9.5 Överhettad ångtork

Överhettad ånga alstras av en värmeväxlare som vanligtvis drivs med mättad ånga vid ett tryck av 8 till 15 bar. Det går också att använda sig av termisk olja eller hett vatten i stället för mättad ånga. Den överhettade ångan cirkulerar i torken vid ett tryck på 2 till 5 bar och tjänar som ett bärarmedium till det material som skall torkas. Materialet i torken uppnår temperaturer på 115 °C till 140 °C. Det torkade materialet separeras från ångan i en cyklon och töms med en roterande ventil. Ångan hålls kvar i system. Överlopsånga som genereras ur materialet tas bort kontinuerligt. Den kan användas i andra delar av processen, det är i samma tryck som ångan i systemet.



Figur 7 Funktionsprincipen för en överhettad ångtork. (Oberberger I. & Thek G., s. 98)

Värmeåtervinning kan enkelt förverkligas genom att kontinuerligt ta bort överskottsånga, vilket är en betydande fördel med den överhettade ångtorken. Energiförlusten i torken är en ynka 5 %. Den utdragna ångan kan utnyttjas på flera sätt. exempelvis i ett uppvärmningssystem, fjärrvärme eller för generering av elektricitet (Oberberger I. & Thek G., s. 97-98)

### 2.9.6 Snabb rotationstorkare

Snabb rotationstorkare är en snabbtorkande process som är passande för en fin strukturerad biomassa. Detta är en effektiv metod för de flesta sorters biomassa.

Torkningen sker genom en snabbt roterande mekanism som slänger materialet upp i luften där det torkas av den varma luftströmmen. På så sätt skapas den nödvändiga maximala ytan som möjliggör en snabb torkning av materialet och samtidigt förhindrar att materialet klumpar ihop sig.

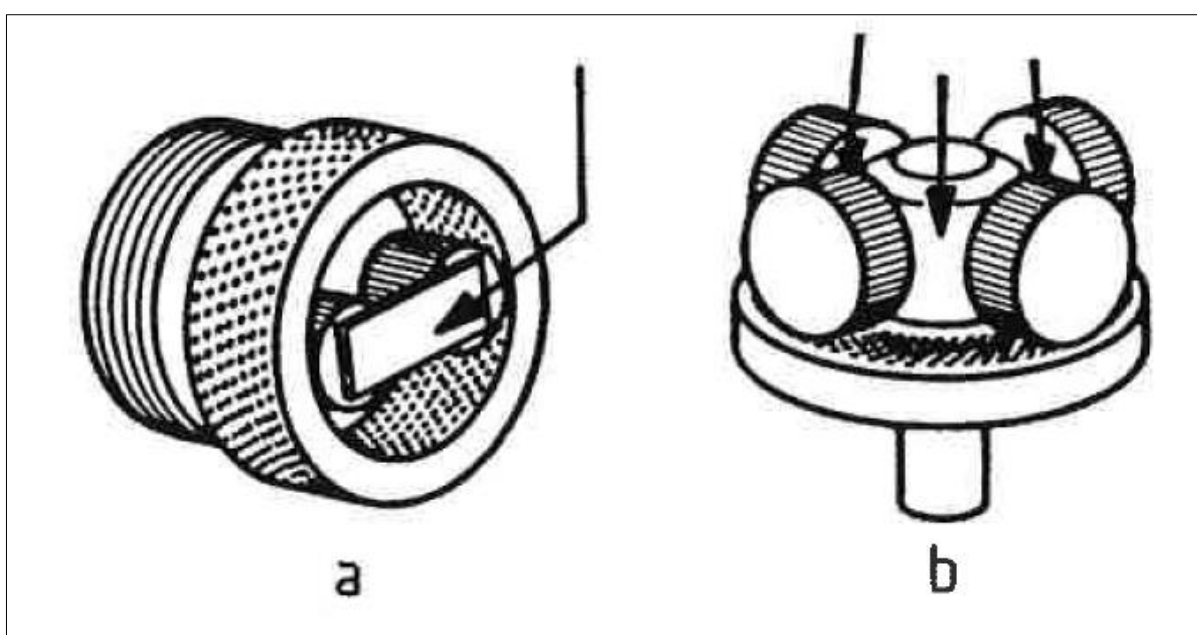
Varmluften kommer från en avsidig monterad brännare. Brännaren kan använda pellets som bränsle vilket minskar på energi kostnaderna. Brännaren producerar rökgaser på omkring 1200 °C, rökgasen blandas med friskluft för att uppnå den önskade inloppstemperaturen på



300 – 400 °C. Detta leder till att temperaturen i torkkammaren kommer att vara vid 50 - 130 °C vilket ger processen ett utmärkt torknings resultat (jumbo group, 2016)

## 2.10 Pelletering.

Följande steg efter torkning är den faktiska pelleteringsprocessen genom en pelletkvarn. De flesta pelletsproducenter använder sig normalt av ring eller plattmunstycke, ringmunstycket är det mer vanliga. Ringmunstycket består av en ring form som löper runt fasta valsar. Materialet matas till rullarna i sidled och pressas genom borrhålen i munstycket.



Figur 8 Munstycket "a" är ett ring munstycke och munstycke "b" är ett platt munstycke. (Oberberger I. & Thek G., s.101)

Rullarna i ett platt munstycke roterar på toppen av ett horisontellt munstycke. Materialet transporteras ovan ifrån och faller ned på plattformen och pressas sedan nedåt genom munstyckshålen.

Viktiga parametrar för att lyckas pressa pellets är press förhållandet, mängden borrhål och den resulterande öppna arean av hål.

Press förhållandet är förhållandet av diametern för hål till längden på kanalerna. tillsammans med den typ av råmaterial bestämmer press kvoten mängden friktion som genereras inuti kanalerna, vilket är varför det måste anpassas exakt till råmaterialet för att uppnå optimal

pellets-kvalitet och genomströmningshastighet. Variation av press förhållandet är endast möjligt genom att variera längden av kanalerna eftersom diametern ges av den önskade diametern hos pelleten. Material som inte har en stark egen bindande egenskap är i behov av längre kompressionskanaler (Obernberger I. & Thek G., s. 100-101)

## 2.11 Maskinsäkerhet

Eftersom denna konstruktion kommer användas enbart för privat bruk behöver inte maskinen följa de anordningar som är bestämda i de lagar som gäller på arbetsplatser. Detta förutsätter förstås inte att maskinen kan konstrueras utan minsta tanke på säkerheten. Enligt lag texten "Lag om vissa tekniska anordningars överensstämmelse med gällande krav" §4.

Konstruktionen består av såväl rörliga delar som varma enheter. Dessa maskindelar kommer att skyddas utan att dess funktion förhindras. Temperaturen inne i tork kammaren kommer inte vara varm nog att antända den fuktiga äppel massan. Eftersom det finns brinnande eld i konstruktionens direkta närhet kommer en brandsläckare alltid vara närvarande. Även om konstruktionen är så säker som möjligt är det viktigt att användaren vet om farorna samt under användning använder sig av rätt skyddsutrustning för att minimera riskerna.

Kravet med säkerheten i konstruktionen är att den skall kunna användas så riskfritt som möjligt av den avsedda användaren (Finlex, 2004)

## 3 Konceptval

Mitt konstruktionsval bygger på snabbrotationstorkprincipen. Detta val baseras på det att konstruktionen kan konstrueras i en relativt liten skala, till skillnad från andra torkningsmaskiner som behöver ett större arbetsplan. Storleken spelar en viktig roll med tanke på att maskinen skall vara mobil och för att konstruktions kostnader skall hållas låga. En snabb rotationstorkare är även en mera energi effektiv torkare än andra på marknaden. Snabb rotationstorken kräver mellan 500 - 750 kWh/ton avdunstat vatten medan andra tork konstruktioner, som nämnts tidigare, går upp till 1000 kWh/ton avdunstat vatten. Det årliga uppskattade energi behovet för en snabb rotationstork kommer i dags läge att ligga mellan 4500 - 6750 kWh/år. Den årliga mängden äpple är 60 ton, varav 60 - 70 % blir saft. De återstående äpplena har en fukthalt på 50 %, vilket man vill ha ner till en fukthalt på 5 - 10

%. Den årliga vatten mängden som skall avdunstras är runt 9 ton. Det som blir kvar till pellets produktion av den årliga äppel mängden är 12 ton.

Konstruktionen består preliminärt av tre stycken huvudkomponenter. Som första del har vi brännaren som tillför varmluften för torkningen. Brännaren kommer från ett företag vid namn Bmax technology och har en effekt på 35 - 50 kW, det går även att använda pellets som bränsle för att spara in på energi kostnaderna. Torkkammaren som är den huvudsakliga konstruktionen. Här torkas råmaterialet med hjälp av de roterande axlarna som slänger omkring materialet för att uppnå maximal tork kapacitet. Varmluften från brännaren blandas i torken med friskluft för att uppnå den önskade torkningstemperaturen. Friskluften sugas in från taket av torken med hjälp av en fläkt för att uppnå den optimala varmluft-friskluft blandningen för torkning. Avgaserna åker sedan ut genom luftventiler i taket på konstruktionen. Till sist har vi matningsmekanismen. Råmaterialet läggs i en behållare varifrån det materialet sedan, med hjälp av en spiralmatare, matas in i torken med önskad hastighet. Spiralmataren fungerar även som en kross ifall råmaterialet är för stort. Större bitar torkar långsammare än mindre.

## 4 Resultat

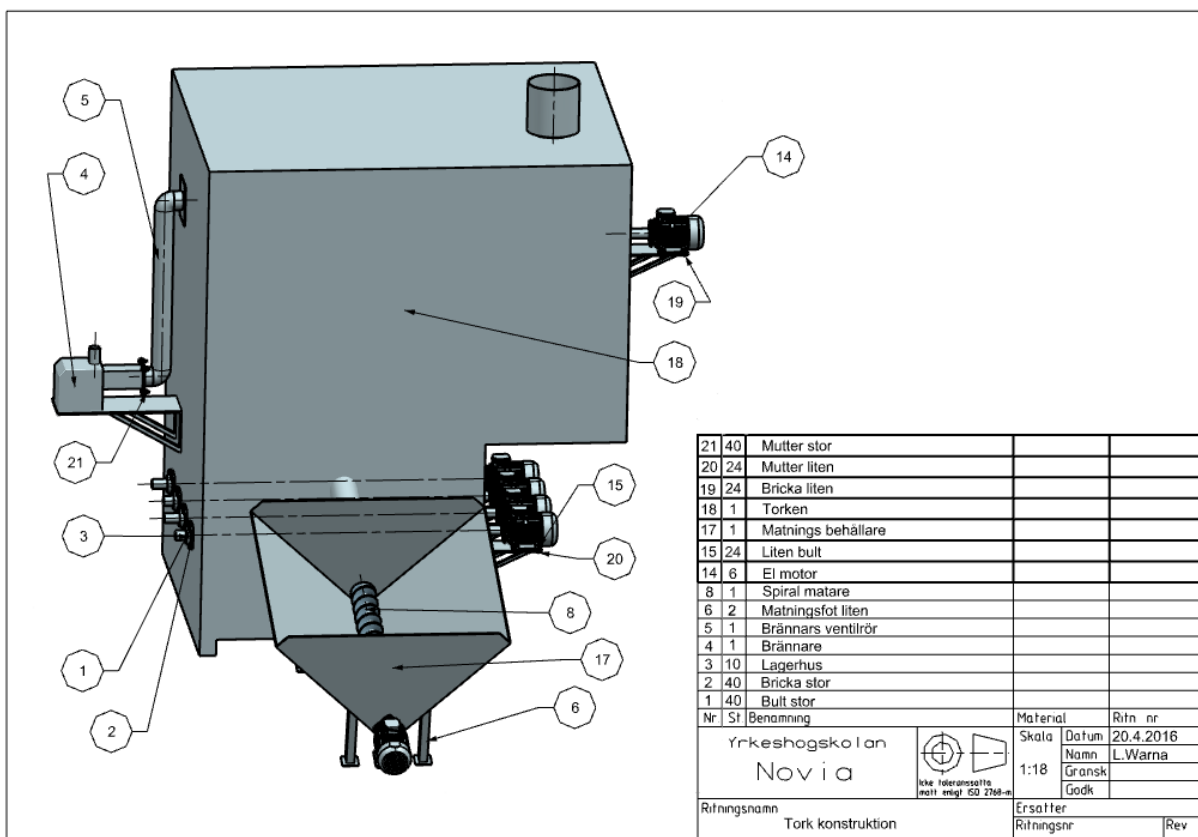
I detta kapitel presenterar jag ritningarna till den slut giltiga konstruktionen för torkningsmaskinen av äppelrester. De separata komponenterna hittas som bilagor. Notera att detta är en konceptplan vilket kan leda till förändringar.

Alla ritningar är gjorda med siemens NX 10.

Den slutgiltiga konstruktionen ses nedan i Figur 9 och Figur 10.

Flödesschema; Biomassan (äppelresterna) som skall torkas läggs i matningsbehållaren (17). Härifrån krossas råmaterialet till mindre bitar med hjälp av spiral mataren (8) som samtidigt, i ett stadigt flöde, matar råmaterialet till torken. Inne i torken blandas varmluften med kall luften för att uppnå den önskade torkningstemperaturen. Varmluften kommer från brännaren (4) som mixas i det inre ventil röret (13), med kall luften som kommer från centrifugal fläkten (10, se Figur 10).

Konstruktionen körs med hjälp av sex stycken el motorer (14). Fyra stycken för de roterande axlarna, en som kör centrifugal fläkten samt en för spiralmatningen. Brännaren har en inbyggd fläkt. Eftersom det kan finnas behov för variation av varvtalen på el motorerna, främst för centrifugal fläkten och spiral mataren, kommer el motorerna vara likströmmade, med en effekt på 3 kW, med ett varvtals kapacitet på 1450 varv/min. Genom att ändra på spänningen som tillförs likströms motorn kan man enkelt ändra på dess varvtal.

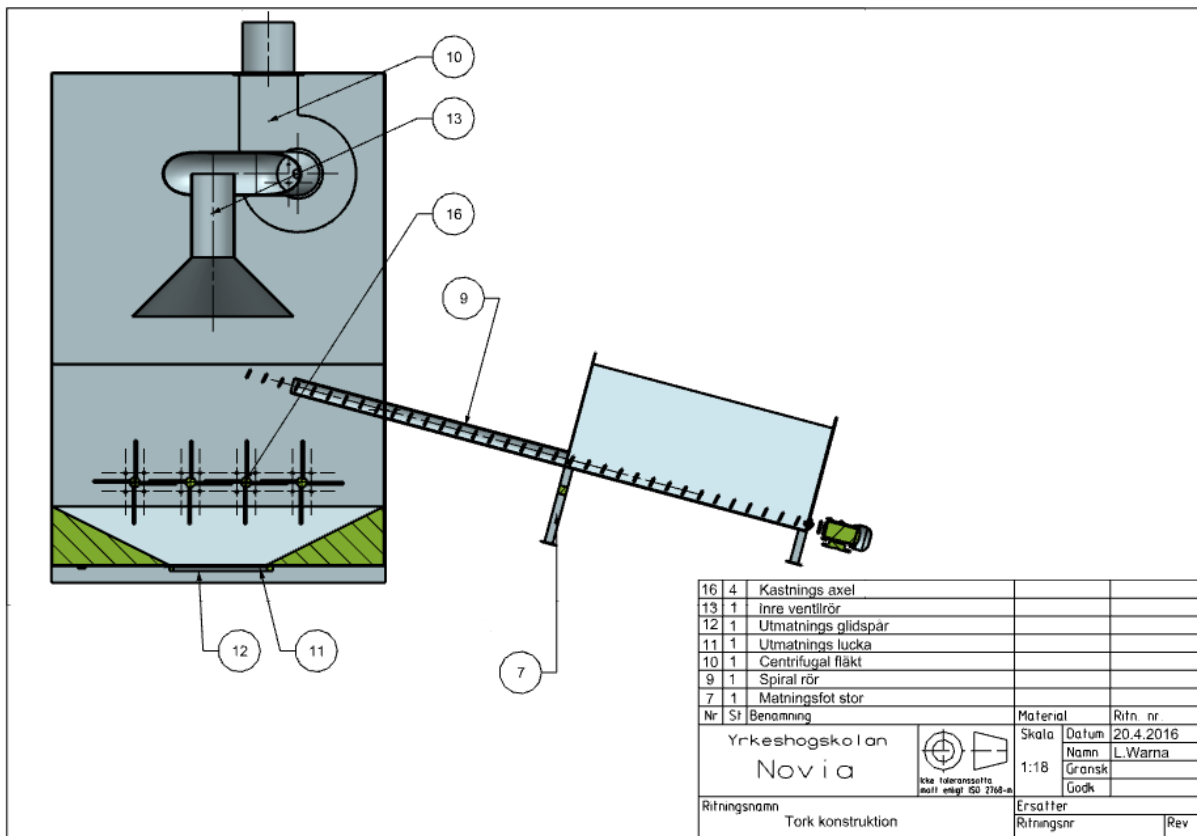


Figur 9 Den slutliga konstruktionen.

När råmaterialet når torken bemöts det av fyra stycken kastnings axlar med vingar (16) som med hjälp av en snabb roterande rörelse kaster råmaterialet uppåt för att uppnå största möjliga torkning kapaciteten av luftströmmen. De yttre roterande axlarna slänger råmaterialet in mot mitten medan dom två axlarna i mitten roterar åt motsatta hållet så att råmaterialet flyger utåt. Det finns en risk att en liten del av råmaterialet slinker mellan vingarna. Luftströmmen cirkulerar i hela torknings kammaren, vilket gör att det lilla som slinker förbi även torkas.

Då torkning processen är klar och man uppnått den önskade fukthalten i råmaterialet (detta kommer att ske genom prov), slutar axlarna rotera och man låter råmaterialet falla till botten av torken. Här samlas de torkade råmaterialet som man sedan får ut genom att

öppna utmatningsluckan (11). Konstruktionen kommer att stå på en trailer med hål i mitten vilket gör det lätt att samla ihop det torkade råmaterialet.



Figur 10 Tvärsnitt av den slutliga konstruktionen.

I tvärsnittet ser vi centrifugal fläkten (10). Fläkten suger in den kalla luften som sedan blandas, i det inre ventil röret (13), med den varma luftströmmen från brännaren. Temperaturen mäts i tork kammaren, temperaturen justeras med att ändra på brännarens fläkt och/eller centrifugal fläktens hastighet. Luftströmmen fortsätter sedan nedåt mot råmaterialet. Utmatningsluckan samt dess glidspår (11, 12) ses i konstruktionens botten. Utmatningsluckan fungerar med handkraft.

Det som inte syns i ritningarna är gummi filter som kommer komma på inre sidorna av torken. Filtarnas funktion är att hålla råmaterialet från att åka ut på sidorna. Det andra som inte heller är med i ritningarna är lager behållare för brännarens bränsle pellets.

## 5 Diskussion

Detta examensarbete har varit både lärorikt och intressant. Mina kunskaper inom 3D-ritning och skriv kunskaper har utvecklats väldigt mycket vilket jag kommer ha stor nytta av i framtiden.

Som ses i ritningarna har jag inte lyft fram något specifikt material för konstruktionen. Detta beror på att det ännu är aktuellt och skall diskuteras och planeras vad som ger det mest optimala lösningen. Men i huvudsakligen kommer konstruktionen bestå av aluminium, rostfritt och konstruktionsstål.

Det som jag kommer göra annorlunda ifall jag i framtiden kommer göra ett liknande projekt är att ställa upp ett bättre schema för mig själv. Kommer att dela upp arbetet i mindre funktioner som man sedan tar itu med inom sina egna utsatta deadlines. Skulle även sätta mera tid i planeringsfasen och inte hoppa för snabbt till konkreta slutsatser. Flera alternativa lösningar skulle även kunna lyftas fram.

Eftersom jag varken haft möjligheten att praktiskt pröva mina lösningar och inte heller fått relevanta svar från de ledande industrierna på marknaden kommer konstruktionen säkerligen utvecklas och förbättras under snar framtid. Faktorer som väsentliga för förändringar och utveckling är till exempel konstruktionens storlek, mängden roterande axlar, bränning funktionen med mera.

Eftersom detta bara är ett koncept utav många olika möjligheter till en äppeltork, kommer det mera än sannolikt vidare utvecklas, till en så optimal lösning som möjligt för Bornemanns musteri.

## 6 Källförteckning

Biomass energy processes, (u.å). [Online]

[http://greenliving.lovetoknow.com/Biomass\\_Energy\\_Processes](http://greenliving.lovetoknow.com/Biomass_Energy_Processes) [Hämtat 10.02.2016]

Exergy, (1997). *Naturliga fysiska resurser och livskraftiga energisystem* [Online]

<http://www.exergy.se/ftp/nfr.pdf> [Hämtat 20.01.2016]

Jumbo group (2016). *Smart dry GmbH* [Online]

[http://www.homepelletierer.de/en/download/STR\\_2\\_25.pdf](http://www.homepelletierer.de/en/download/STR_2_25.pdf) [Hämtat 11.02.2015]

Vattenfall, 2013. *Biomassakraftverk-så fungerar de.* [Online]

<http://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/biomassa/biomassakraftverk-sa-fungerar-de/> [Hämtat 6.4.2016]

Obernberger I. & Thek G. (2010) *The pellet handbook: the production and thermal utilisation of biomass pellets*. London: earthscan

TSK, (u.å). *Steam tube dryer* [Online]

<http://www.tsk-g.co.jp/en/tech/equip/kanso/STD.html> [Hämtat 6.4.2016]

Coford connects, (u.å). *Units, conversion factors and formulae for wood for energy* [Online]

<http://woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ht21.pdf> [Hämtat 27.5.2016]

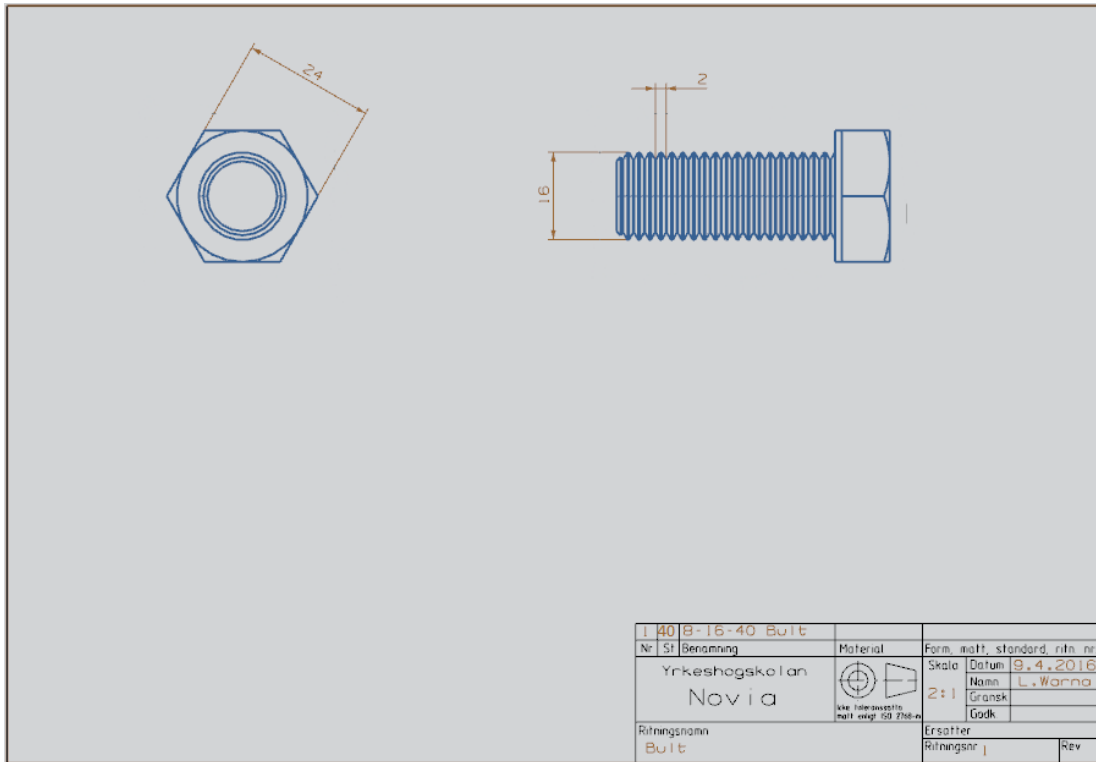
Finlex (2004). *Lag om vissa tekniska anordningars överensstämmelse med gällande krav* [Online]

[http://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2004/20041016?search\[type\]=pika&search\[pika\]=egert%20bruk](http://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2004/20041016?search[type]=pika&search[pika]=egert%20bruk) [Hämtat 21.4.2016]

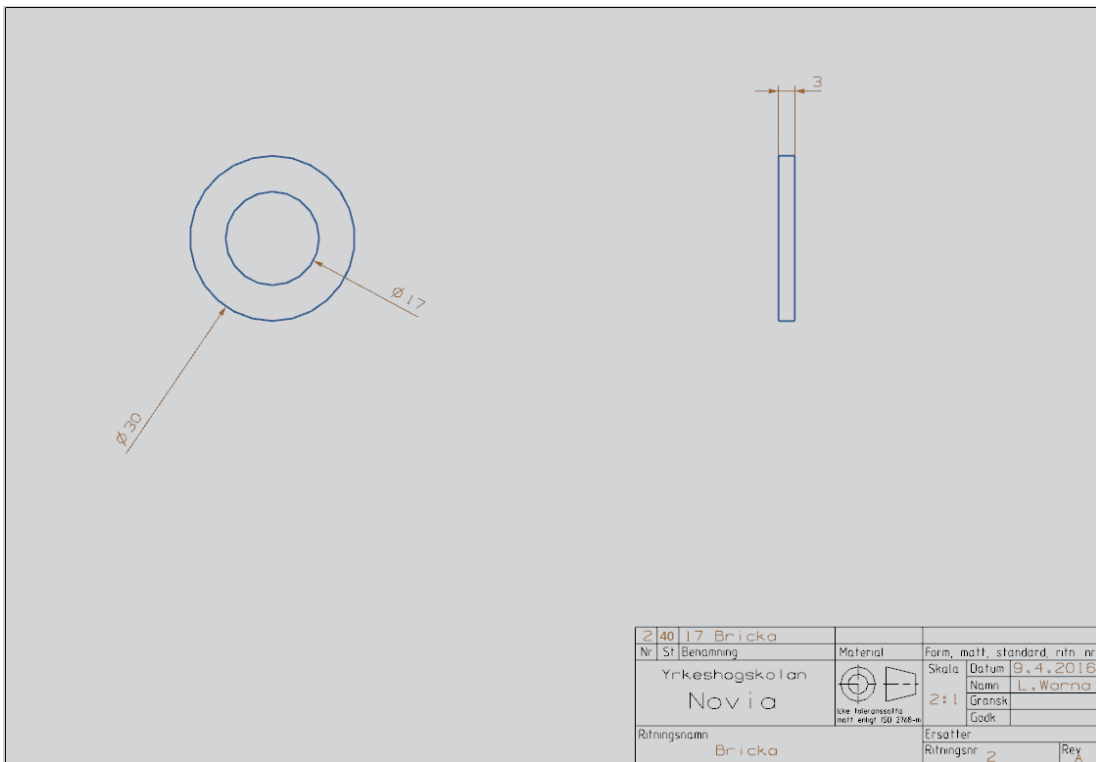
Solidcomponents, (u å). [Online]

<http://www.solidcomponents.com> [Hämtat 9.4.2016]

## Bilaga 1

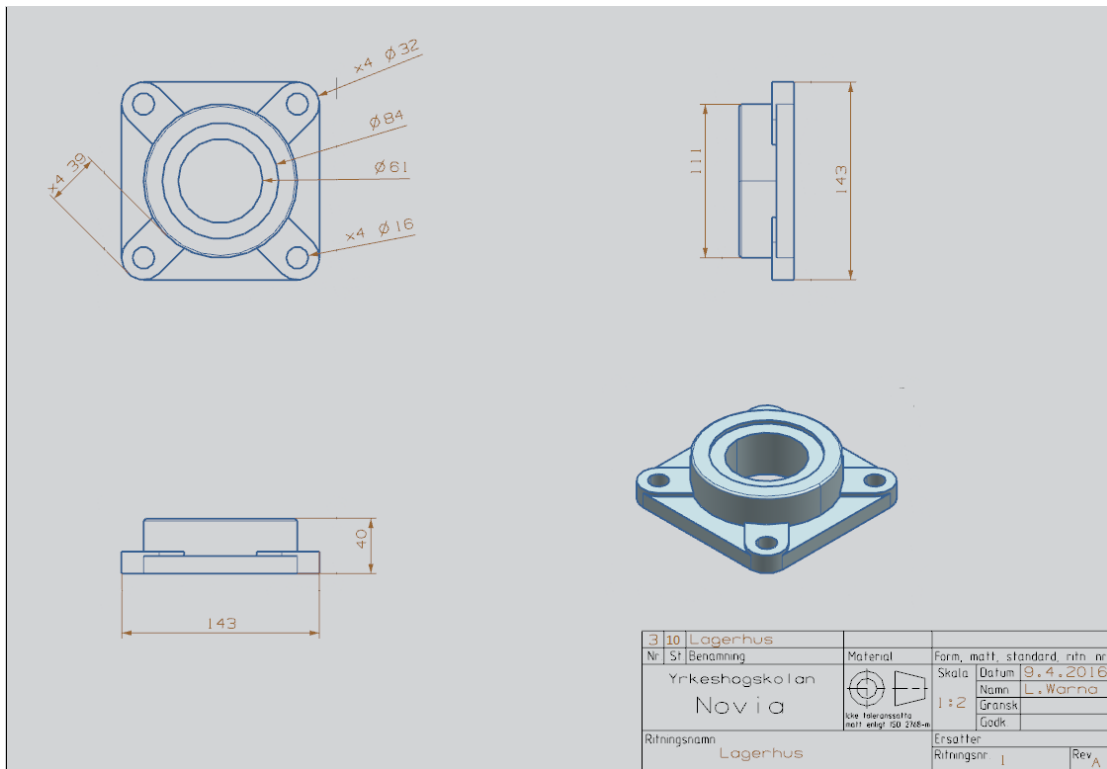


## Bilaga 2

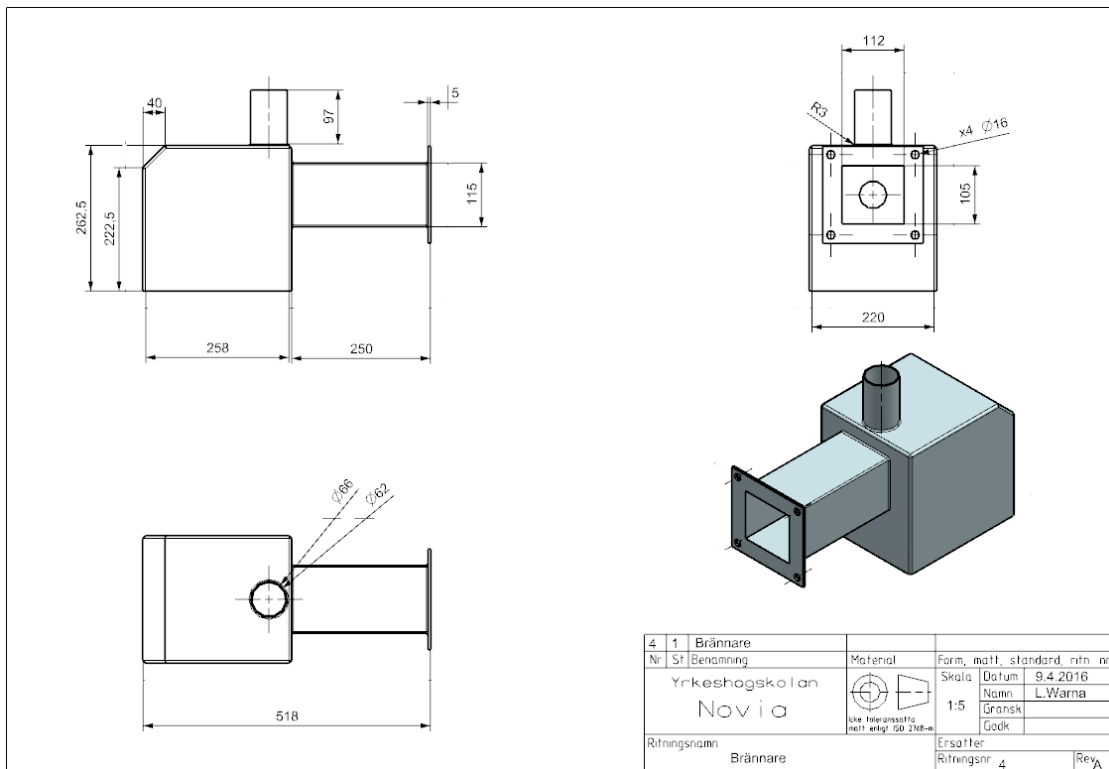




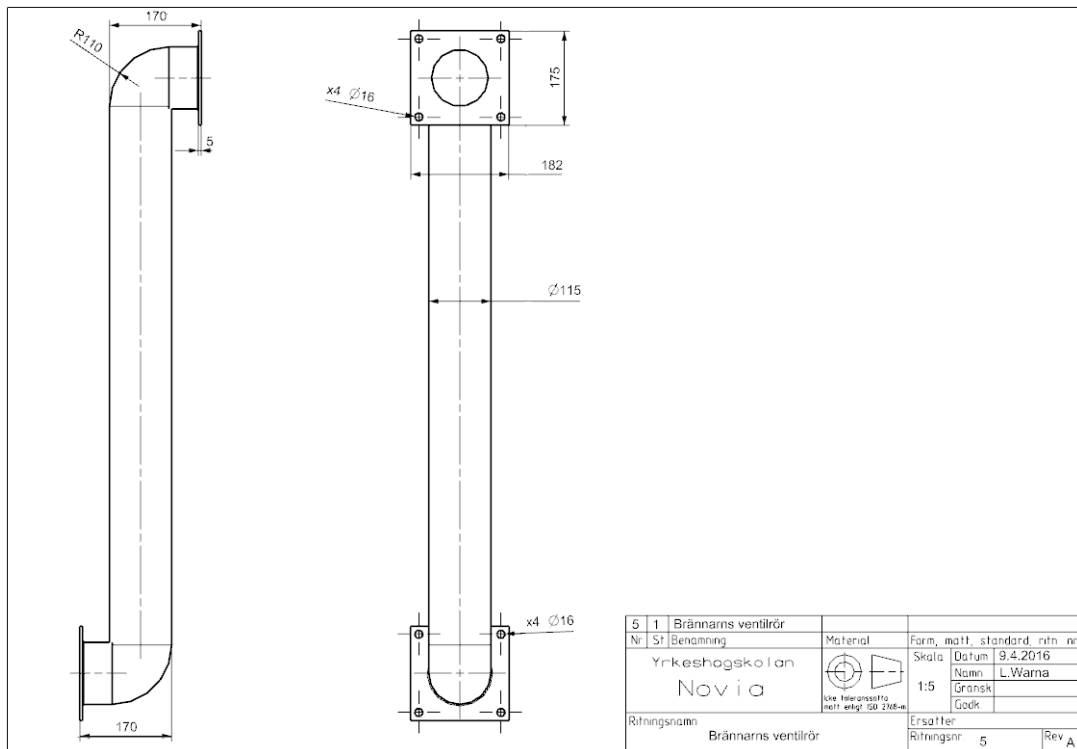
### Bilaga 3



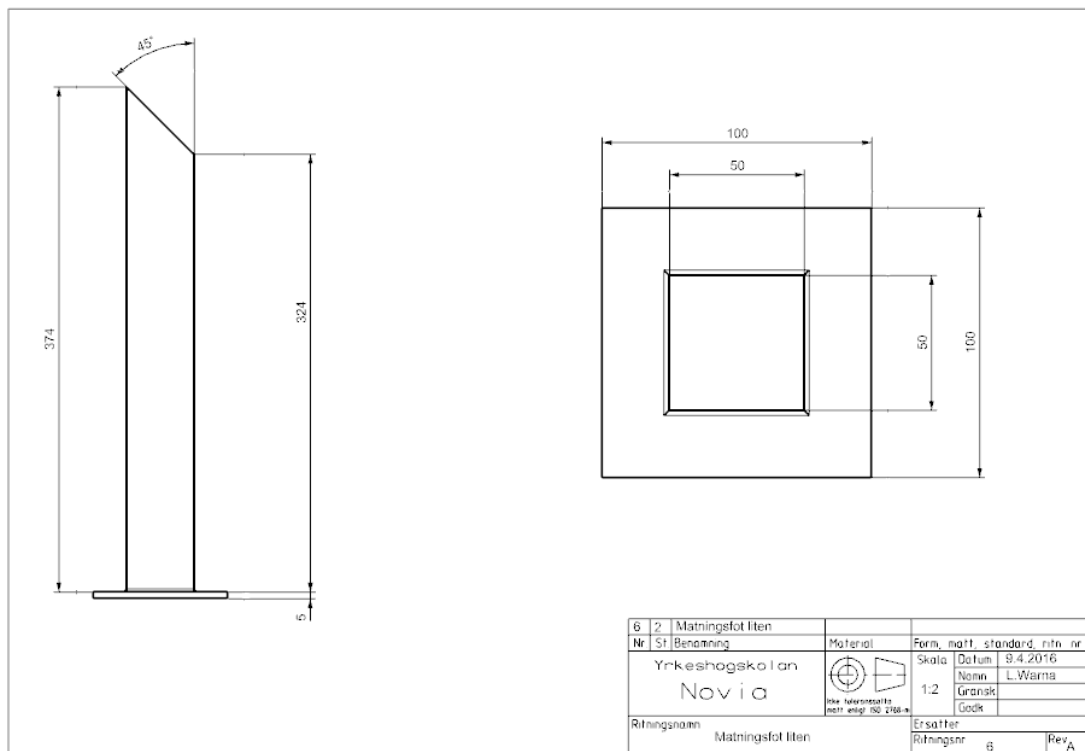
### Bilaga 4



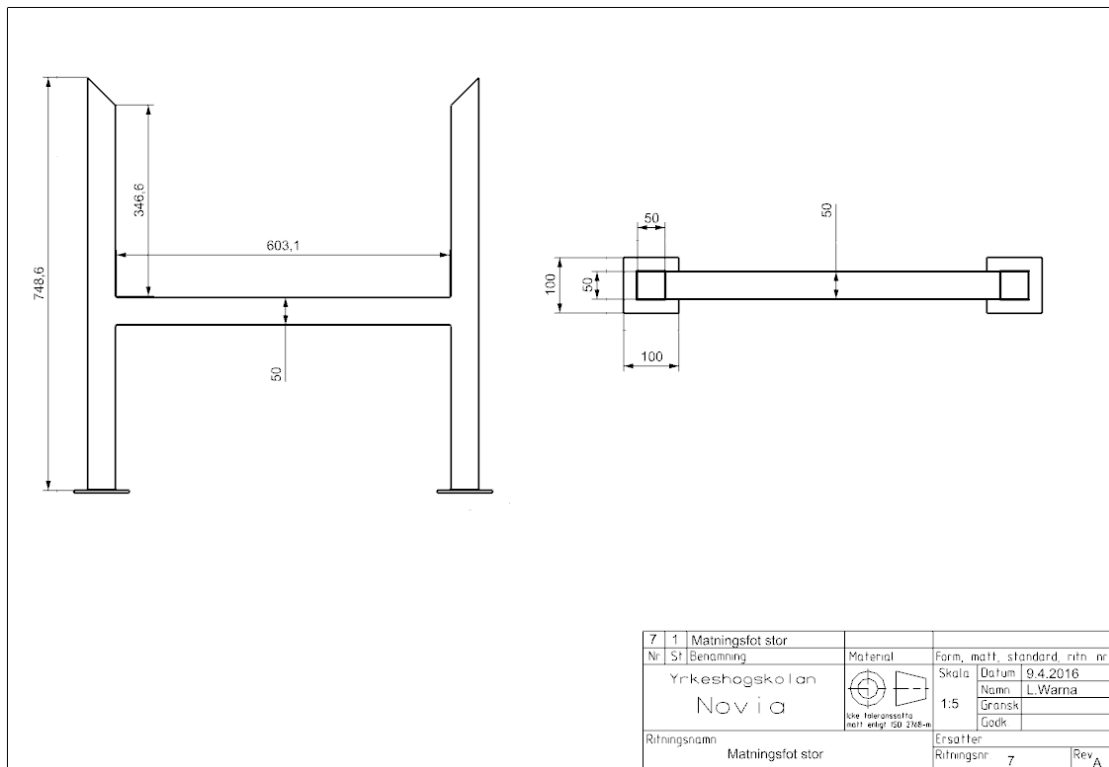
## Bilaga 5



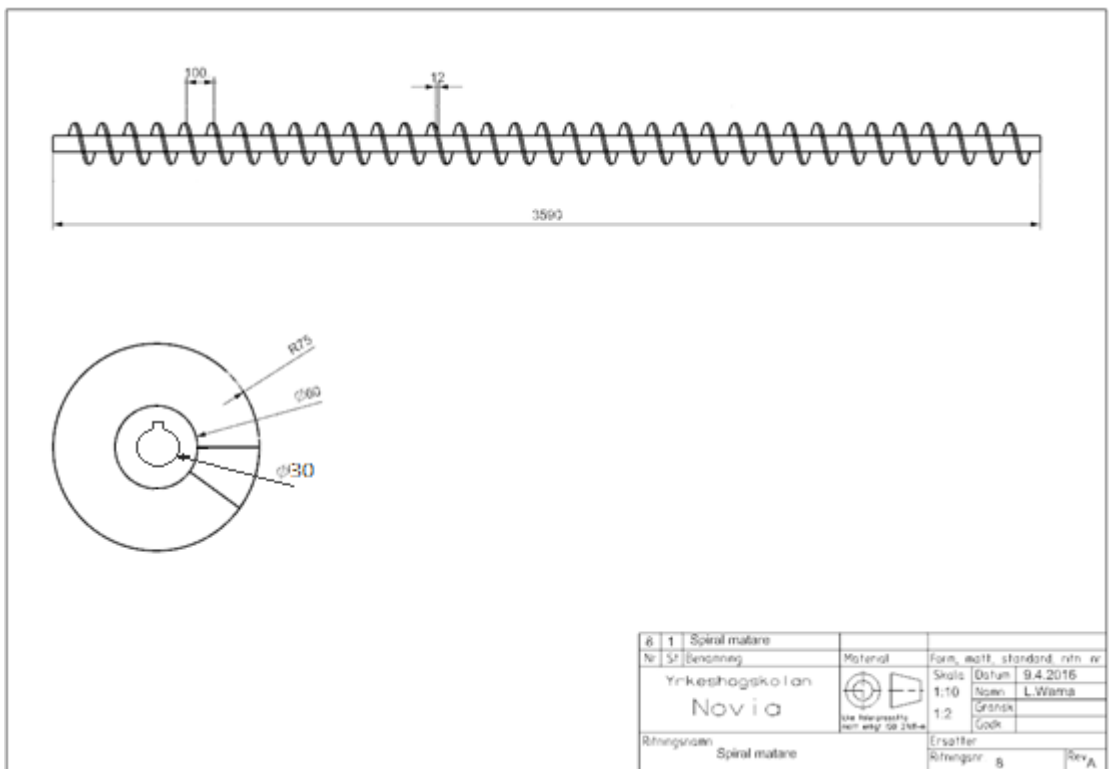
## Bilaga 6



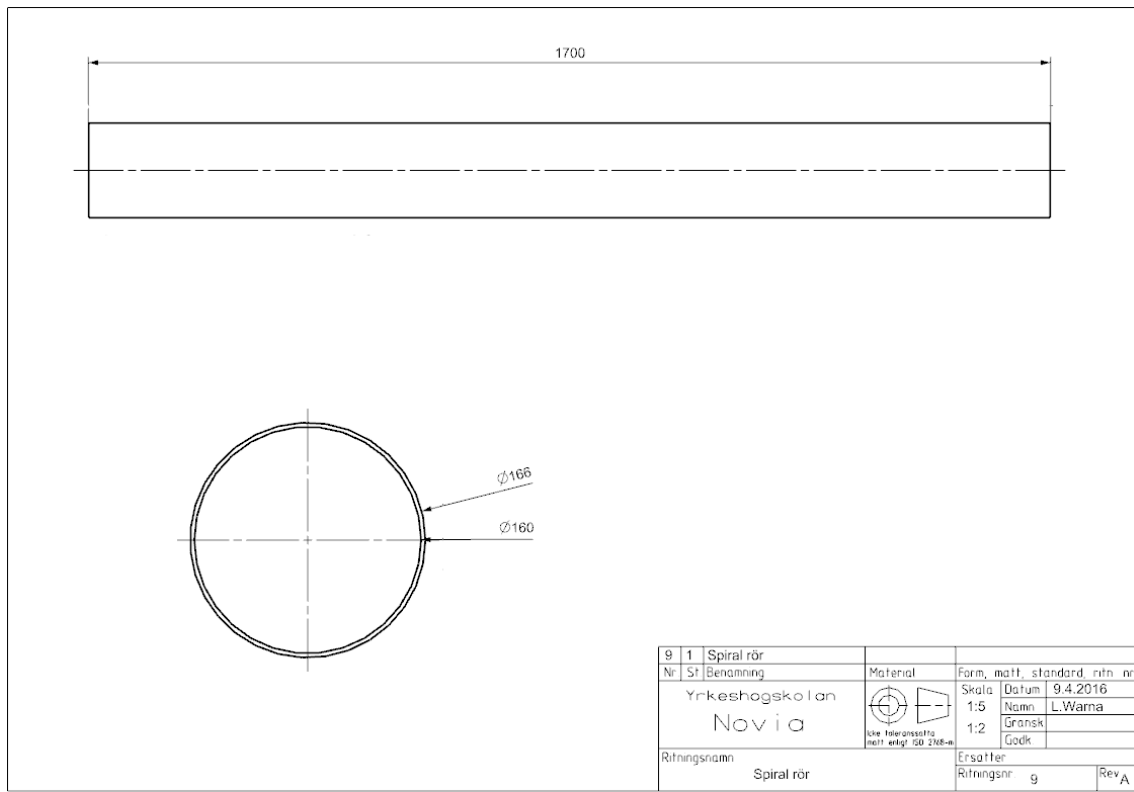
## Bilaga 7



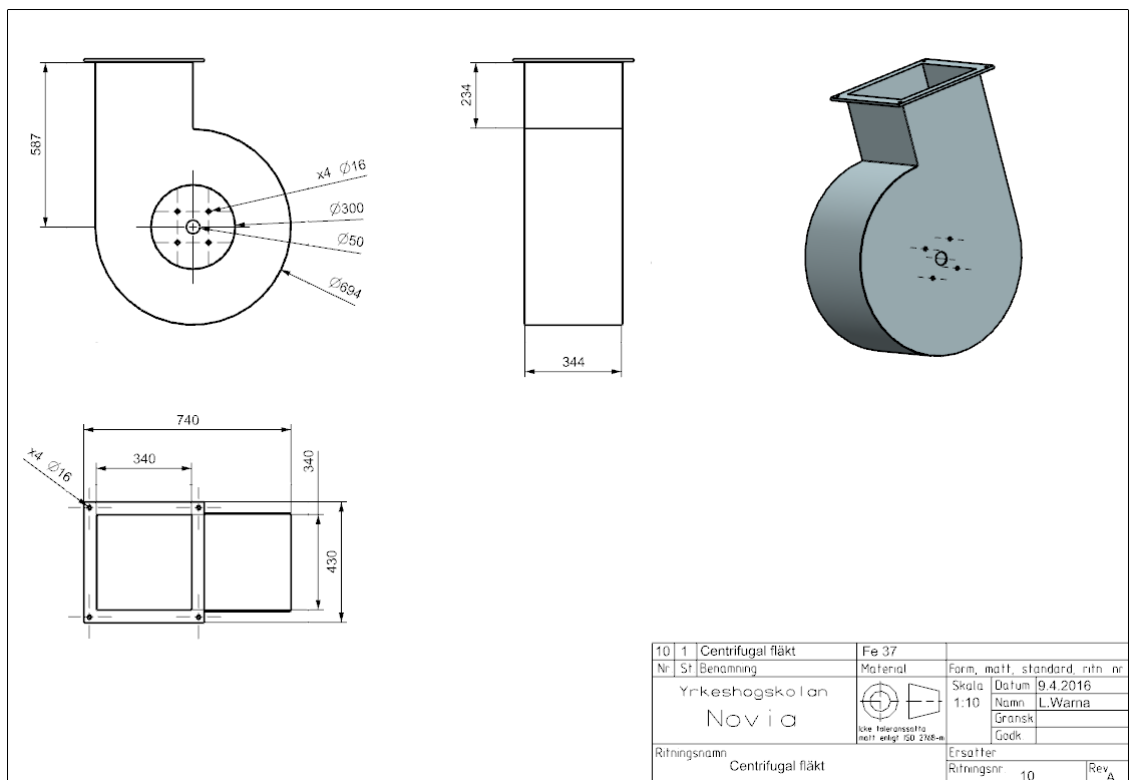
## Bilaga 8



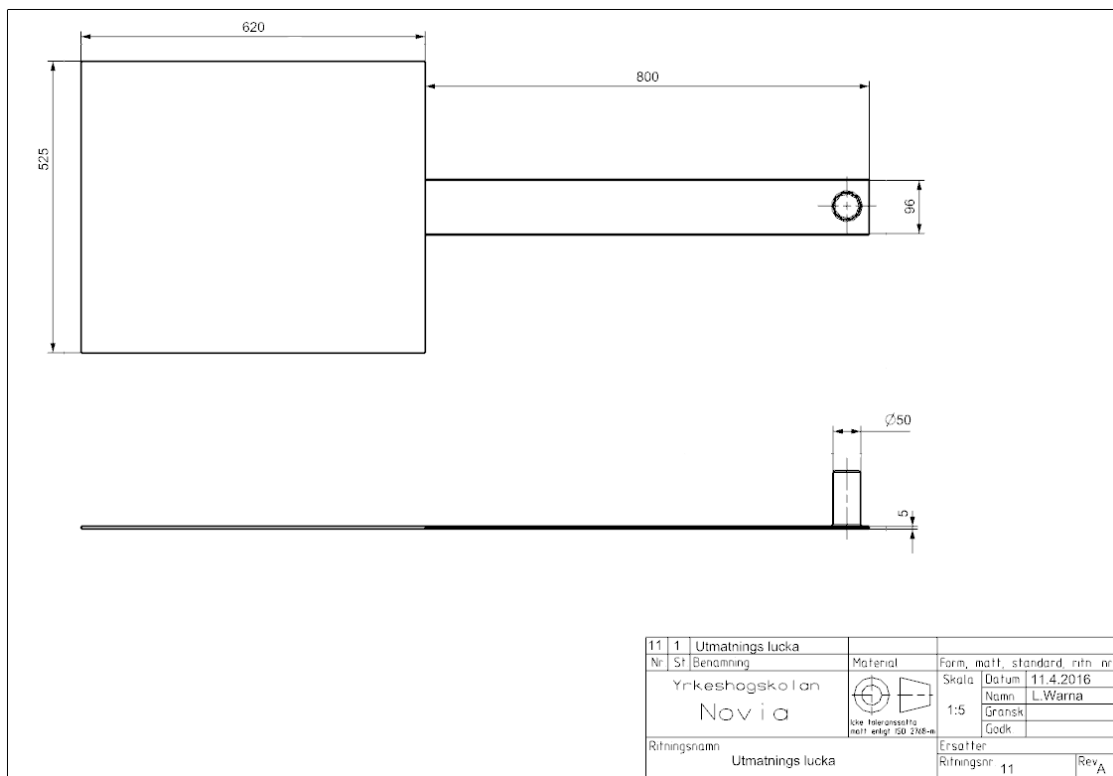
## Bilaga 9



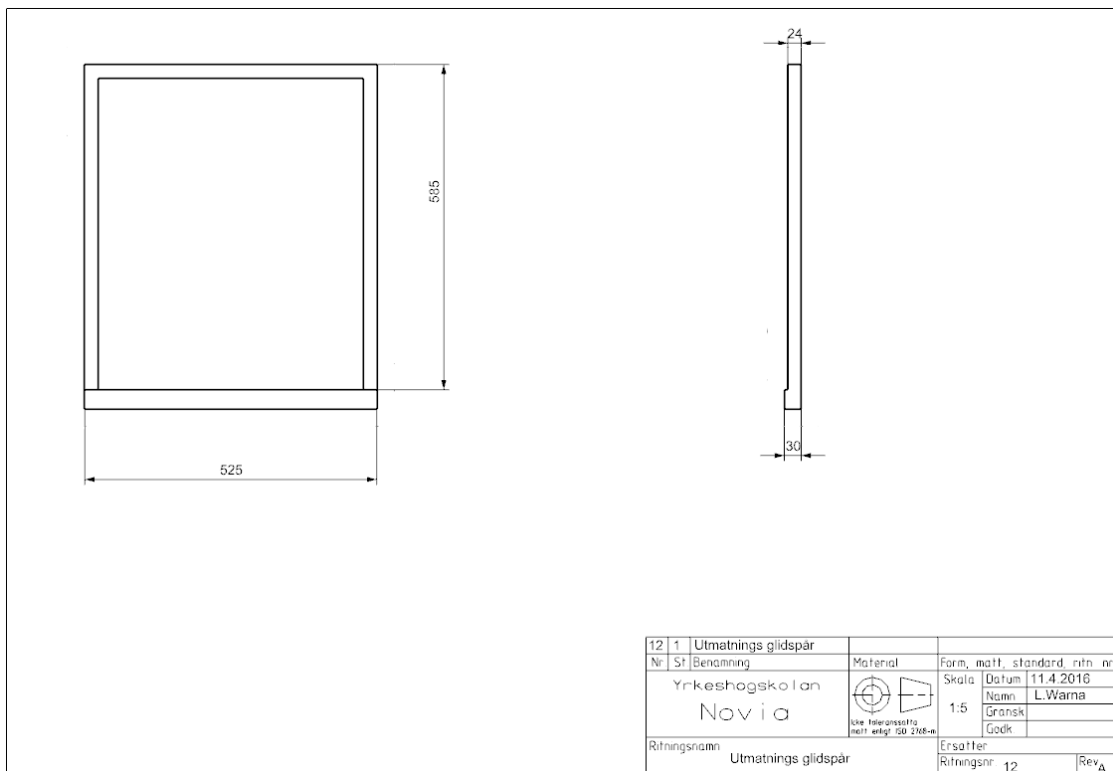
## Bilaga 10



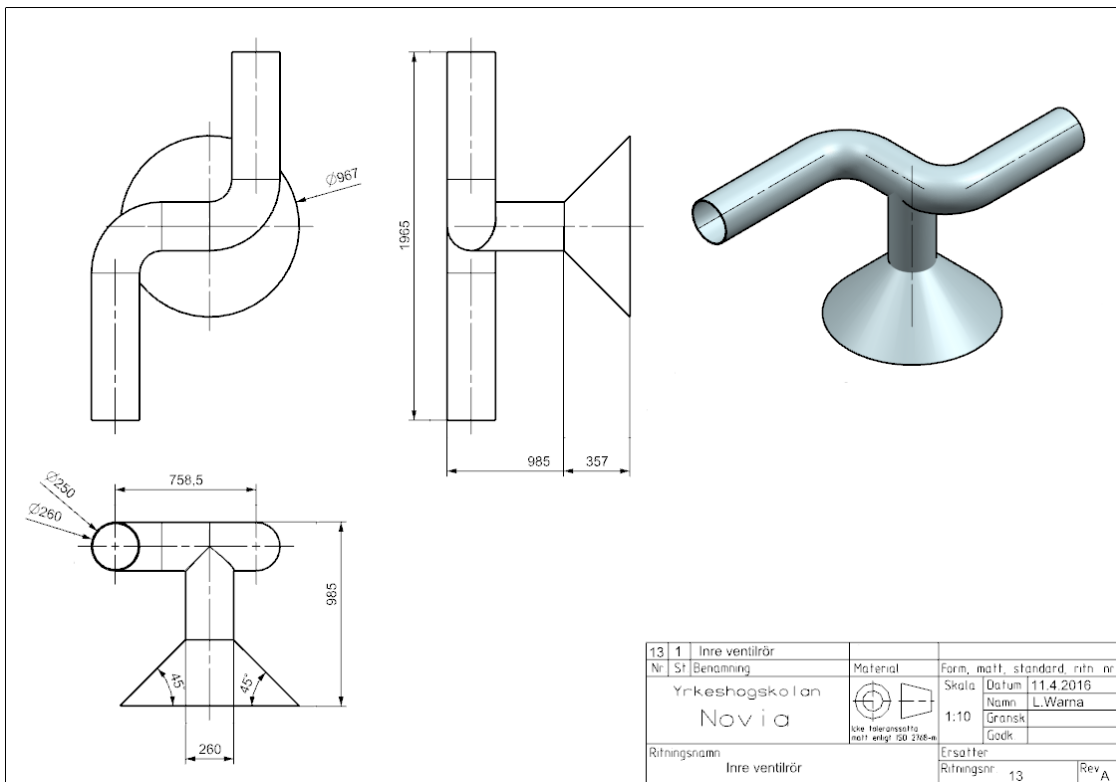
## Bilaga 11



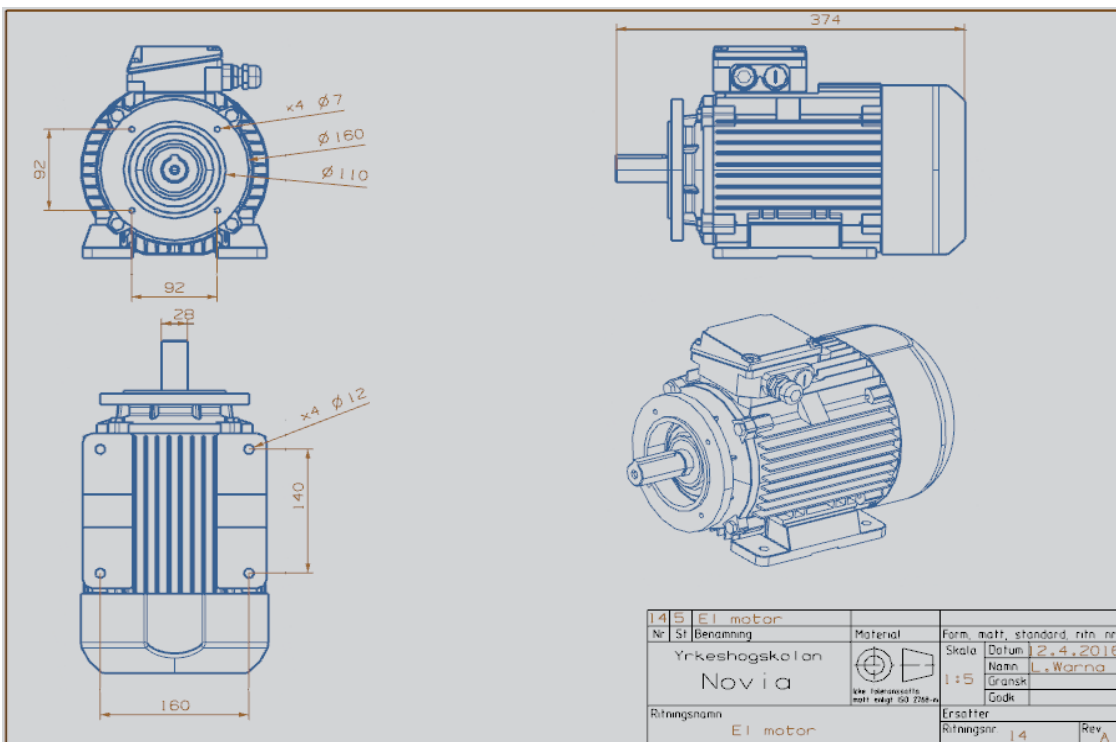
## Bilaga 12



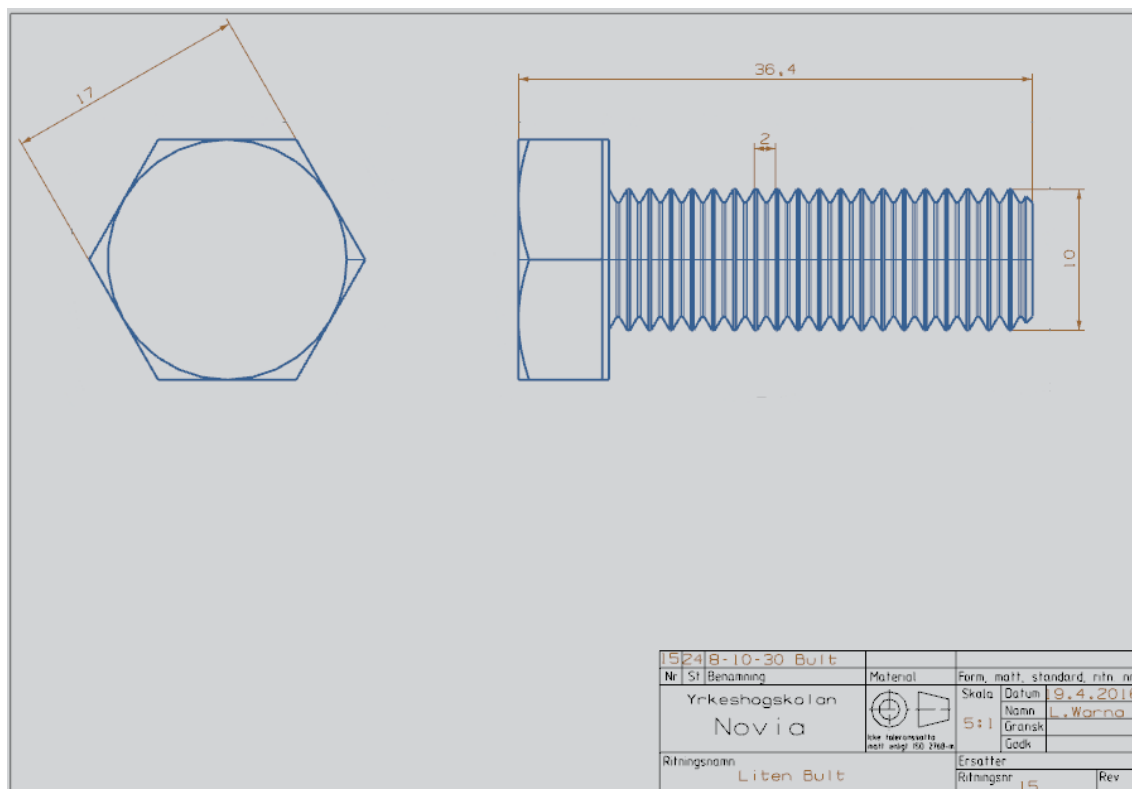
### Bilaga 13



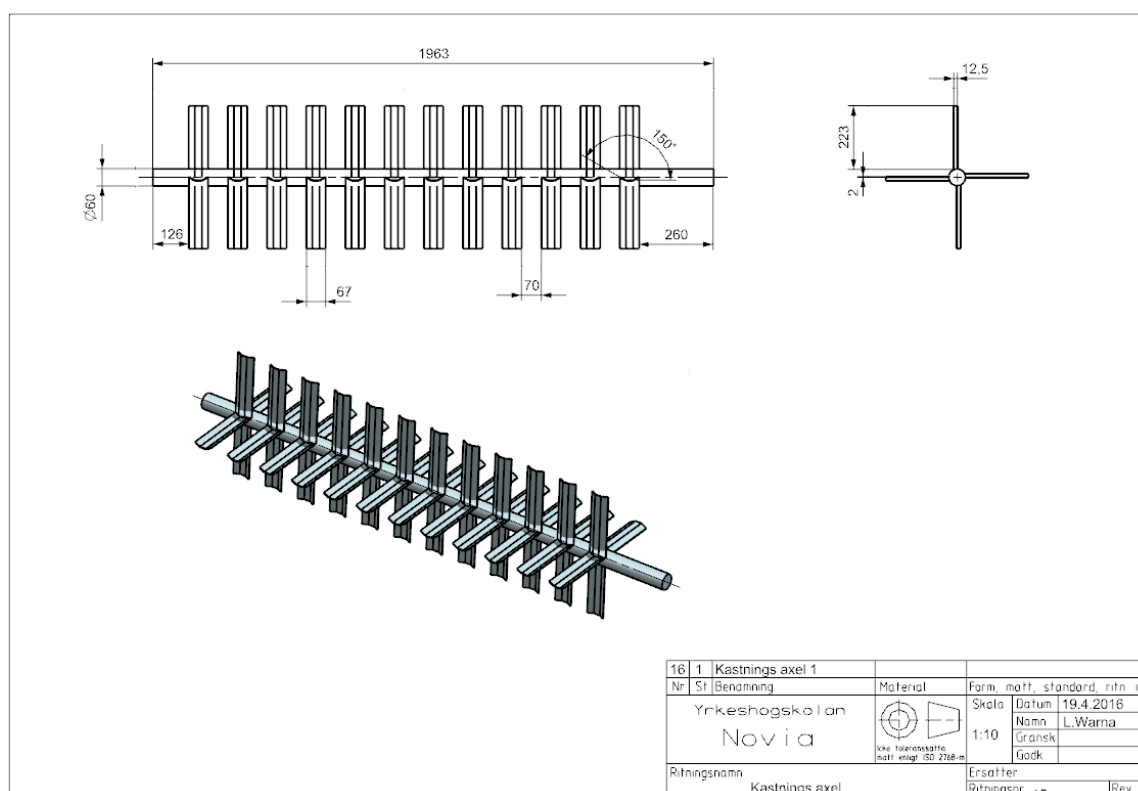
### Bilaga 14



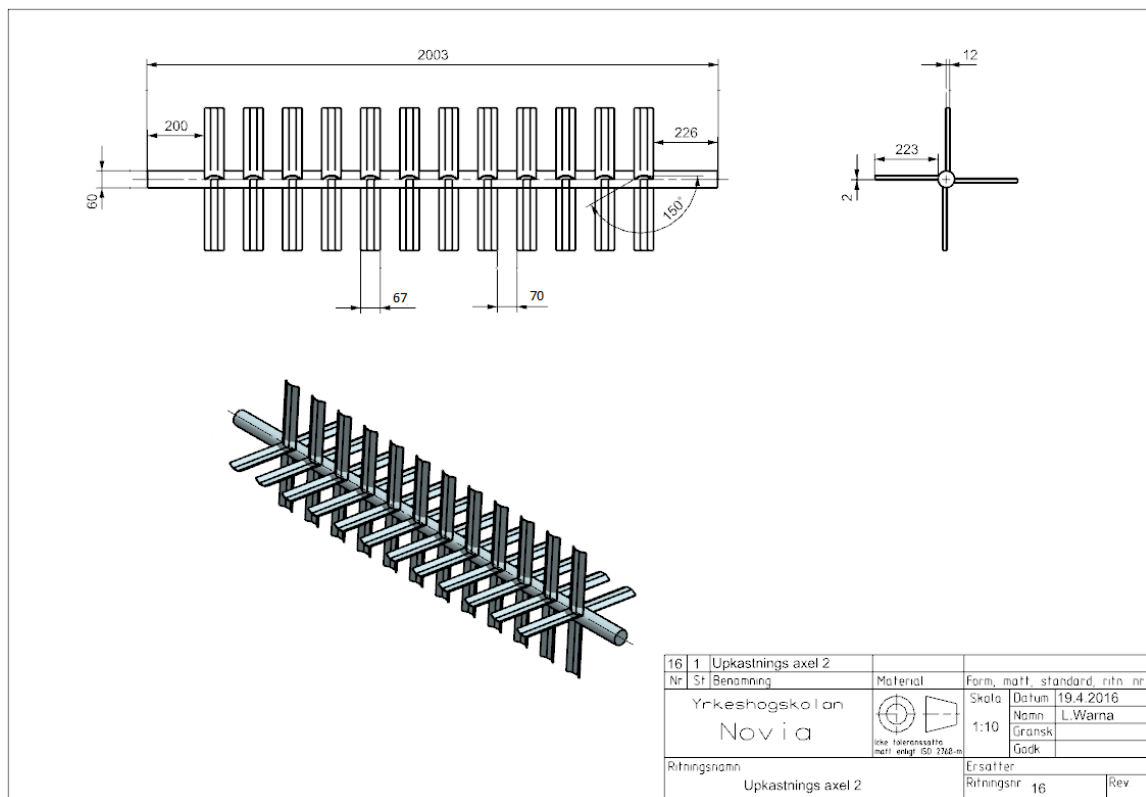
## Bilaga 15



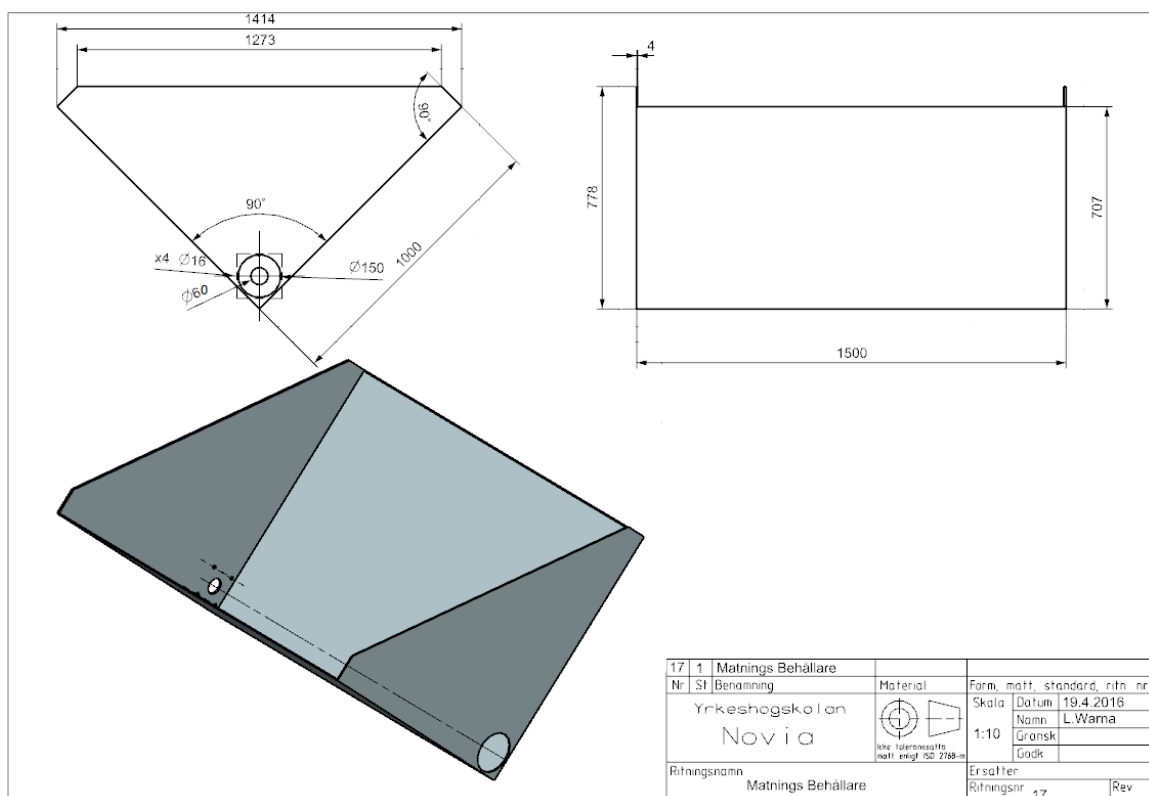
## Bilaga 16



## Bilaga 17

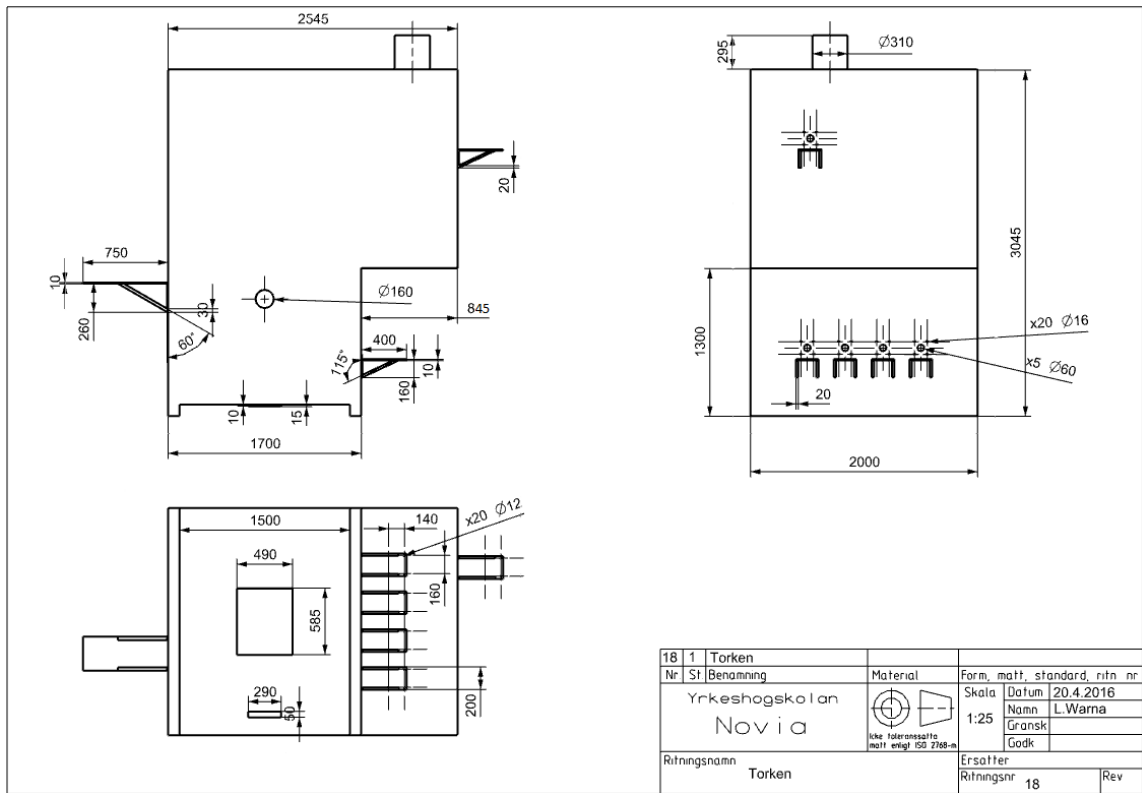


## Bilaga 18

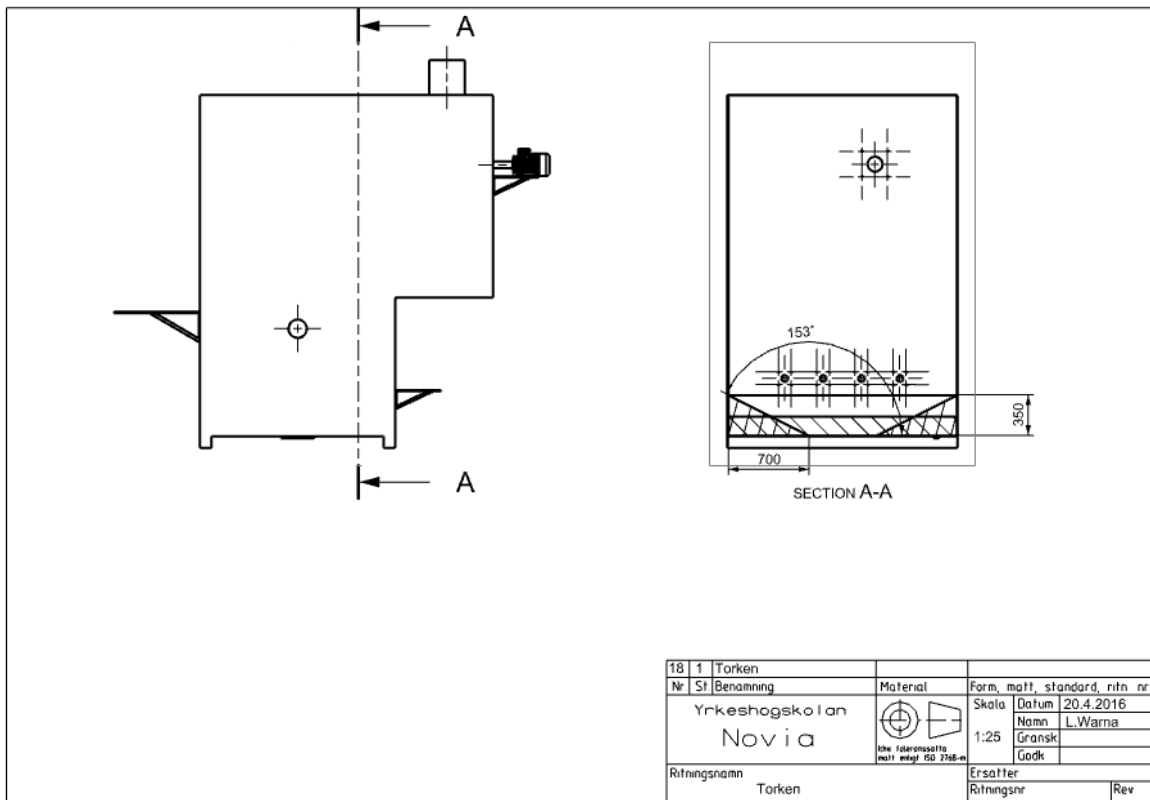




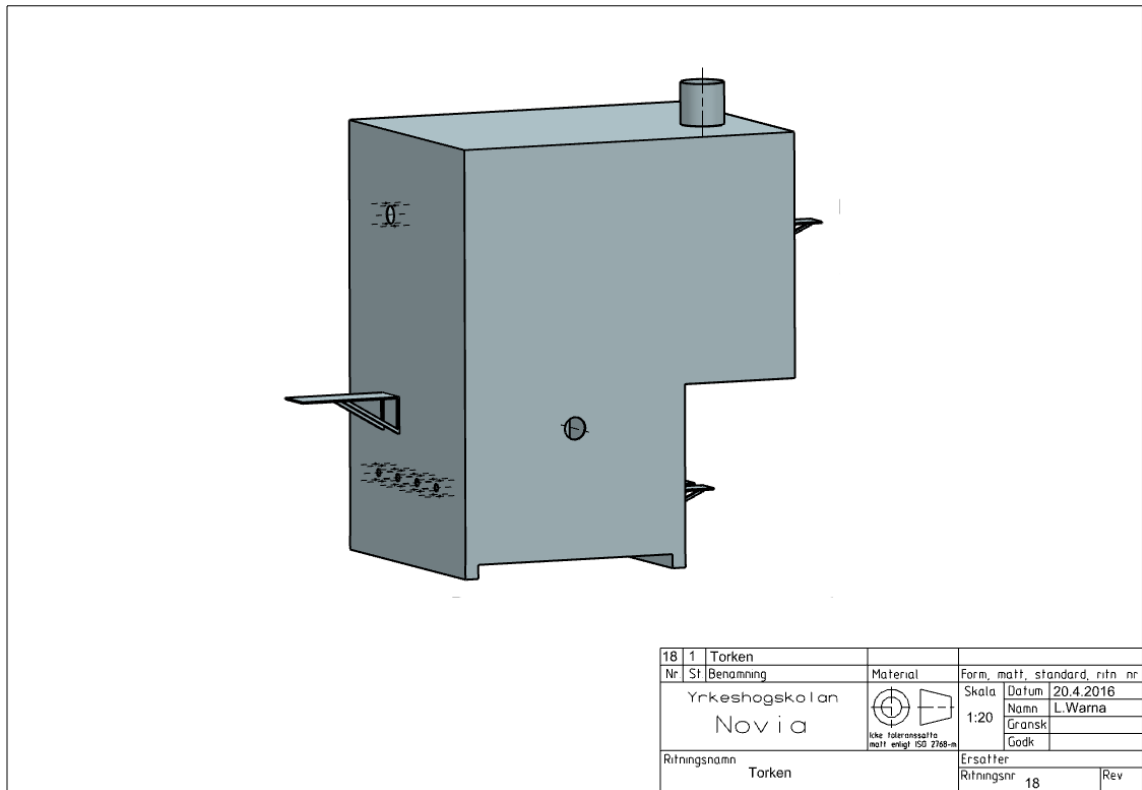
# Bilaga 19



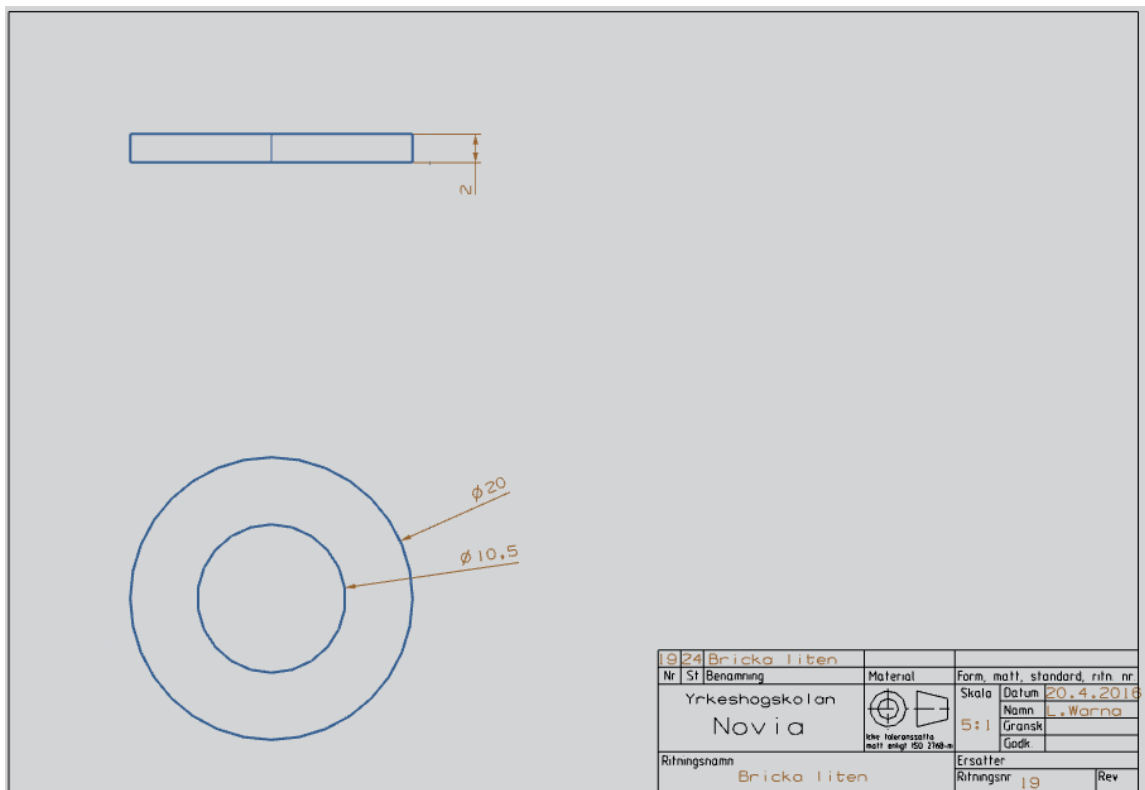
# Bilaga 20



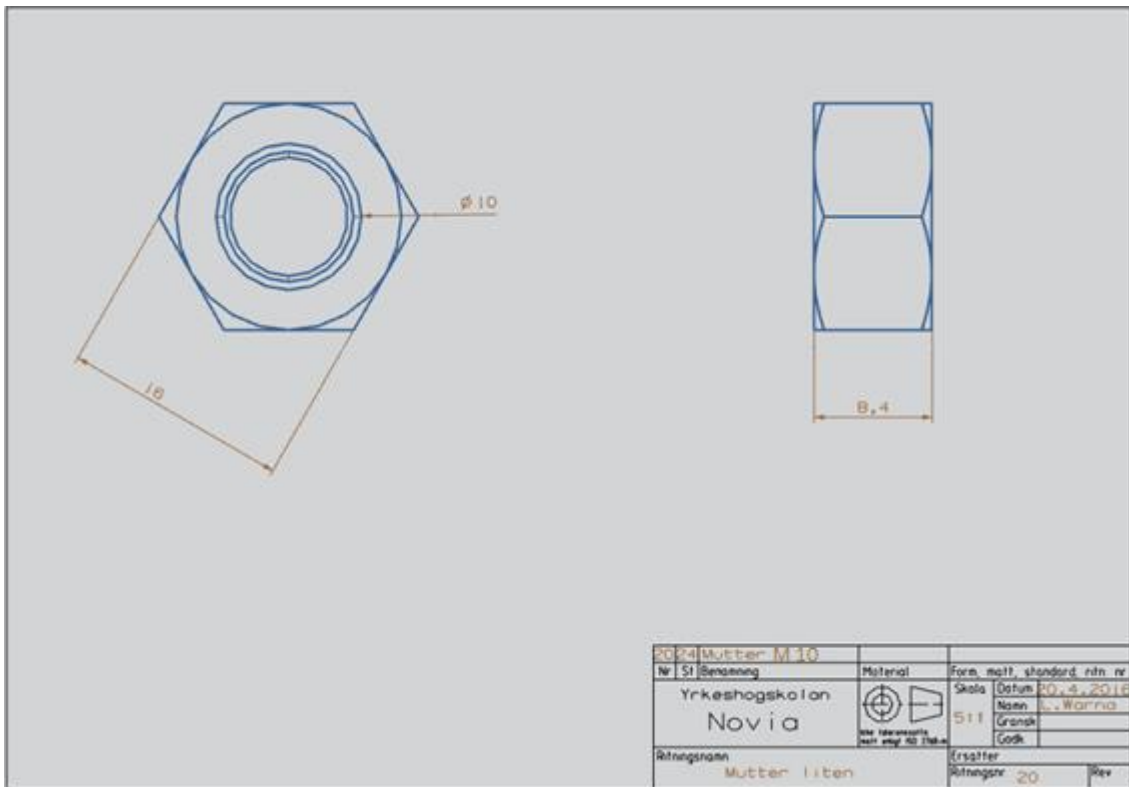
## Bilaga 21



## Bilaga 22



Bilaga 23



Bilaga 24

