



Rock´n Screen

**Effektivisering av siktar genom styrning av
siktparametrar**

Henric Björk 830513

Daniel Ek Weis 870626

Andreas Fahlvik Svensson 861230

Pontus Olof-Ors 870304

Mattias Stenberg 860501

Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling

Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2009-05-20

PPUX 03-09-61

Förord

Rock'n Screen – effektivisering av siktar genom styrning av siktparametrar genomförs som ett kandidatarbete på institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg under våren 2009.

Vi har genomfört projektet i samarbete med vår handledare, doktorand Erik Hulthén, och riktar ett stort tack till honom, dels för hjälp då vi kört fast och dels för glada tillrop då arbetet gått bra. Vidare vill vi tacka projektassistent Johannes Quist för väldigt god hjälp med datorsimuleringar i EDEM och vår examinerare docent Magnus Evertsson för tips och idéer.

Vi fick möjlighet att utföra våra tester på NCCs krossanläggning i Stenungsund och vill därför tacka platschef Per Johnning för att han ordnade med testplats och tillgång till material. Vi vill även tacka personalen på anläggningen som var väldigt tillmötesgående och hjälpsam.

Vidare vill vi tacka Sture Hellqvist, på företaget Maskinfjädrar AB, för snabb hjälp med framtagande av fjädrar till laborationssikten.

Till sist vill vi tacka personalen i prototypverkstaden på Chalmers för många bra tips och god hjälp under bygget av laborationssikten.

Sammanfattning

De två huvudaktiviteterna vid en stenkrossanläggning är krossning och siktning av stenmaterial. Krossarna är den del som har kommit längst i sin utveckling och här förekommer idag en viss form av aktiv styrning. Siktarna, däremot, ställs in och optimeras då de installeras och sedan med jämna mellanrum exempelvis i samband med service eller siktsållsbyten.

Projektet Rock´n Screen – effektivisering av siktarna genom styrning av siktparametrar startades därför i syfte att utforska möjligheterna att styra även siktarna och på så vis effektivisera denna del av processen. Styrningen inriktades mot de tre parametrarna slag, frekvens och siktsållets lutning.

En stor del av arbetet under projektet har bestått i att konstruera och bygga en laborationssikt, som sedan skulle användas för utvärdering av parametrarnas inverkan på siktnings utfall. Labbsikten skulle givetvis erbjuda en möjlighet till variering av de tre intressanta parametrarna. För att i framtiden kunna minska antalet fysiska tester evaluerades även datorprogrammet EDEMs möjligheter till simulering av siktförloppet. EDEM är ett program som används för att simulera partikelflöden.

Bygget gick över förväntan. Slag, frekvens och lutning gick bra att variera och sikten finns nu på Chalmers tekniska högskola i Göteborg för fortsatt testverksamhet. När sikten var färdigställd och provkörda inleddes testerna. Försöken utfördes efter ett schema som lades upp med hjälp av den statistiska metoden fraktionerad faktordesign. Metoden innebär att man ger varje parameter ett hög- och ett lågvärde vilket medför att man kan testa flera parametrars inverkan utan att behöva testa alla olika parameterkombinationer. Således utfördes tester med fyra, istället för åtta, olika kombinationer av de tre parametrarna.

Eftersom det utfördes så få tester användes bara en hög respektive en låg inställning av de olika parametrarna och således ska resultatet endast ses som vägledande. Testerna visade dock på att högt slag och hög lutning ger en liten mängd överkorn, frekvensen har i det här fallet ingen större inverkan. Vill man istället ha lite underkorn bör alla parametrarna hållas låga. Även parametrarnas inverkan på siktkapacitet och materialbädd studeras och diskuteras. Här pekar resultaten på att slaget är den parameter som har störst enskild inverkan på kapaciteten men att man bör ha två parametrar höga för att få en hög kapacitet. När det gäller materialbädden ger lågt inställda parametrar en bättre bädd, detta hänger dock troligen samman med att matningen är konstant mellan de olika testen.

Avslutningsvis blev EDEM-simuleringarna mycket grundläggande då tillgången till simuleringsdatorn var väldigt begränsad. Det framkom dock att programmet har en väldigt stor potential och med en logaritmisk partikelfördelning, istället för den slumpmässiga som användes, bör man kunna simulera siktprocessen på ett trovärdigt sätt och på så vis spara både tid och pengar.

Abstract

The two main activities at a rock crushing plant are the crushing and screening of rock material. The crushers are today the most developed machines in the process and they sometimes have a real-time control system. Screens, however, are only optimized when they are installed and the settings are seldom updated.

A real-time control system would probably increase performance and therefore the project Rock'n Screen – optimization of vibrating screens through real time control was started. This project aims to explore the possibilities to control screens and through this improve the screening process. The goal is to control the three parameters stroke, frequency and the inclination of the screen surface.

A main effort during the project has consisted of constructing and building a test screen, which would provide the opportunity to examine the parameters effect upon screening. The test screen was built to offer the possibility of varying the different parameter settings. In order to investigate if the number of physical tests could be reduced in the future the computer program EDEM was evaluated. EDEM offers the possibility of simulating particle flows, which in this project was used to simulate a vibrating screen.

The completed test screen exceeded its expectations. The ability to vary the stroke, frequency and inclination really worked well and the test screen is now located at the Chalmers university of technology for further testing. A testing schedule was constructed using the statistical method fractional factorial design, in which you give all parameters a high and a low value and thereafter test different combinations. The method gives the opportunity to examine different parameters' influence without testing all possible combinations of the parameters. Hence, in this project, only four combinations were tested out of the maximal eight.

The few number of tests, although time saving is a disadvantage when it comes to the validity of the results. Hence they should only be used as a guideline. The results of the tests indicates that a high setting in the stroke and inclination gives less oversized particles and that the frequency does not affect this number at all. If the desire is to reduce the number of undersized particles all the parameters should have a low setting.

Unfortunately the test simulations in EDEM only covered the fundamentals since access to the computer with software was limited. However the results showed that the program has a great potential and with the use of a logarithmic particle distribution instead of the random distribution that was used in this project, EDEM could be used as a great tool when simulating vibrating screens.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 <i>Processen vid stenkrossanläggningar</i>	1
1.1.2 <i>Siktar</i>	1
1.1.3 <i>Siktning och siktbegrepp</i>	2
1.1.4 <i>Litteraturstudie</i>	3
1.1.5 <i>Laborationssiktar</i>	4
1.2 Syfte	4
1.2.1 <i>Målformulering</i>	4
1.2.2 <i>Byggnation</i>	5
1.2.3 <i>Test av parametrar</i>	5
1.2.4 <i>Simuleringar i EDEM</i>	5
1.2.5 <i>Analysförfarande av tester</i>	5
1.3 Problemformulering	5
1.3.1 <i>Byggnation</i>	5
1.3.2 <i>Test av parametrar</i>	5
1.3.3 <i>Simuleringar i EDEM</i>	6
1.4 Avgränsningar	6
1.4.1 <i>Parametrar</i>	6
1.4.2 <i>Mekaniska förändringar</i>	6
1.4.3 <i>Skillnad i siktstorlek</i>	6
1.4.4 <i>Styrning</i>	6
1.4.5 <i>Bergmaterial</i>	6
1.4.6 <i>Grusstorlekar</i>	6
1.4.7 <i>Sikttyp</i>	7
1.4.8 <i>Slag</i>	7
1.4.9 <i>Analysförfarande av tester</i>	7
1.5 Parameterval	7
2. Hypotes	8
2.1 Byggnation	8
2.2 Test av parametrar	8
2.3 Simuleringar i EDEM	9
3. Metod	10
3.1 Bygga av laborationssikt	10
3.1.1 <i>Planering av prototypbyggnation</i>	10
3.1.2 <i>Byggnation</i>	10
3.2 Test av parametrar	12
3.2.1 <i>Transportbandet</i>	13
3.2.2 <i>Sikten</i>	13
3.2.3 <i>Proverna</i>	13
3.3 Simuleringar i EDEM	13

3.4 Analysförfarande av tester	14
3.4.1 Faktordesign	14
4. Resultat	16
4.1 Byggnation	16
4.1.1 Frekvens	16
4.1.2 Slag	16
4.1.3 Lutning	17
4.2 Test av parametrar	17
4.2.1 Resultat från laborationssikten	17
4.2.2 Kapacitet och bäddbyggnad	21
4.3 Simuleringar i EDEM	22
5. Analys och slutsatser	23
5.1 Byggnation	23
5.2 Analys av parametertester	23
5.2.1 Analys av diagram	24
5.2.2 Parametrarnas huvudeffekter	24
5.2.3 Kapacitet och bäddbyggnad	27
5.2.4 Variationer i inmatat material	27
5.3 Simuleringar i EDEM	28
6. Rekommendationer och diskussion	29
6.1 Byggnation	29
6.2 Parametrar	29
6.3 Simuleringar i EDEM	30
Källförteckning	31
Appendix A – Pughmatris	I
Appendix B – Byggnation	II
Appendix C – Beräkningar	III
Appendix D – Ritningar	IV
Appendix E – Data	XXXV

1. Inledning

Här presenteras bakgrunden till Rock'n Screen - effektivisering av siktning genom styrning av siktparametrar. Projektet behandlar möjligheten att effektivisera storleksuppdelningen av sten vid stenkrossanläggningar.

1.1 Bakgrund

Projektet genomförs på uppdrag av Magnus Evertsson, docent vid institutionen för Produkt och Produktionsutveckling på Chalmers tekniska högskola, som ett kandidatarbete för fem studenter på maskinteknikprogrammet.

1.1.1 Processen vid stenkrossanläggningar

Marknaden för ballastmaterial är otroligt stor, till exempel producerades 3,04 miljarder ton bara i USA under 2006. Krossad sten används till i stort sett alla byggnadsverk som upprättas. Samtidigt som det byggs alltmer i världen ökar miljömedvetenheten och för att de här faktorerna ska kunna utvecklas hand i hand krävs överlag mer effektiva processer. Detta gäller inte minst vid utvinning av olika ballastprodukter.

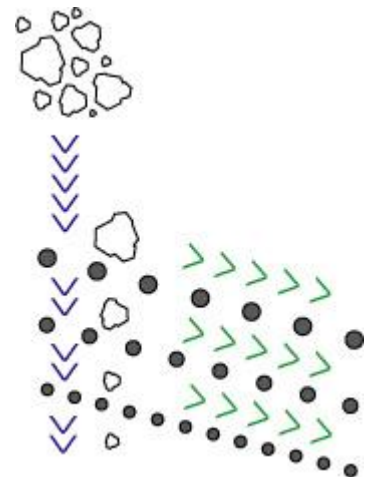
Processen vid utvinning av grus, sand och makadam, så kallat ballastmaterial som framställs på stenkrossanläggningar, följer en rad steg. Det exakta förloppet kan variera från anläggning till anläggning, men stegen som här kortfattat går igenom ingår allt som oftast i processen.

Utvinningen inleds med att berggrunden sprängs så att man kan separera råmaterialet från berget. Råmaterialet krossas sedan till mindre sten i en så kallad käftkross¹. Materialet transporteras därefter till mindre konkrossar² där stenen krossas till ännu mindre delar. Därefter storleksfördelas materialet i siktar, detta eftersom olika användningsområden kräver olika storlekar på stenen.

1.1.2 Siktar

Siktning, det vill säga uppdelning efter storlek, kan ske på flera olika sätt (Höffl, 1986). Till exempel genom centrifugering, med hjälp av luftströmmar i en cyklonsikt eller genom mekaniska vibrationer i en vibrationsikt kan stora partiklar skiljas från små. Detta projekt behandlar den sistnämnda typen, alltså vibrationsiktar.

En grundläggande beskrivning av siktprocessen hos en vibrerande sikt (figur 1) är att stenmaterialet faller ner på siksåll som kan vara plana eller lutande. Siksållen är utformade som galler vars hål endast släpper igenom sten med mindre storlekar. Med hjälp av en vibrerande rörelse silas sten med liten storlek igenom siksåll och sten med större storlekar leds bort. Materialet som går igenom siksåll kan sedan, beroende på siktens utformning, komma till ett annat siksåll där hålen i siksåll är mindre och en ny siktning tar vid.

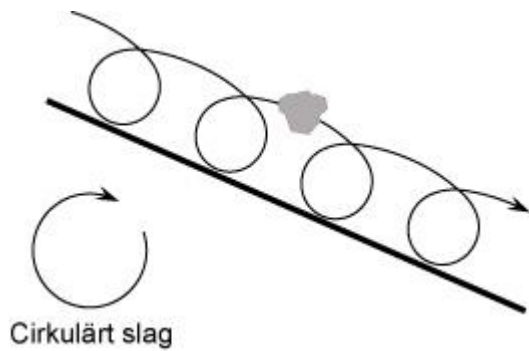


Figur 1. Principiellt siktförlopp i vibrerande sikt.

¹ Käftkross – krossar stenmaterialet mellan två ytor, vara en är fix och den andra rörlig (Metso minerals, 2008).

² Konkross – krossar stenmaterialet i ett hålrum mellan en yttre fixerad yta och en inte rörlig mantel. Manteln är monterad på en oscillerande axel (Metso minerals, 2008).

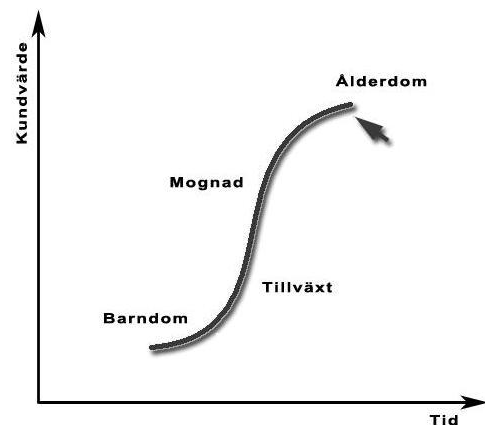
Siktars rörelse beskrivs med hjälp av de två parametrarna slag och frekvens. Slaget kan exempelvis vara cirkulärt (*figur 2*). Dess storlek är då diametern på den cirkulära rörelsen. Frekvensen är givetvis det antal gånger som rörelsen upprepas per sekund och den kan ibland även anges som varvtalet hos axeln som driver sikten.



Figur 2: Principskiss för ett cirkulärt slag.

Siktning är en viktig del vid produktion av ballastmaterial men förekommer även inom ett flertal andra branscher såsom gruv-, livsmedel- och läkemedelsindustri. Då stenkrossar inte levererar material med en tillräckligt snäv storleksfördelning måste fördelningen ske i efterhand och i takt med att kraven på materialkvalitet ökar, ökar även kraven på siktningens precision. Idag är siktparametrarna statistiskt inställda, det vill säga ingen hänsyn tas till att förutsättningarna kan förändras över tiden genom till exempel varierande inflöde av material eller slitage av siktssäll. Med utgångspunkt i att många processer blir bättre då de aktivt styrs jämfört med när de utförs statistiskt genomförs detta projekt med målet att effektivisera siktningen.

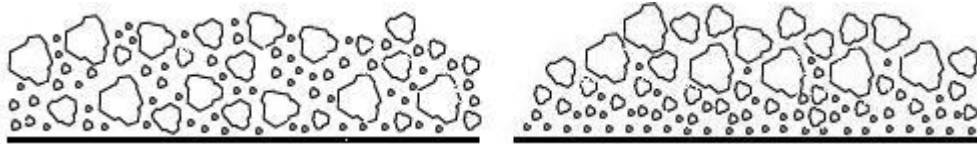
Siktprocessen har utvecklats under många år och liksom andra produkters utveckling kan dennes åskådliggöras genom en S-kurva (Lindstedt & Burenus, 2006), se illustration i *figur 3* för S-kurvan som gäller för siktar. I början av en produkts utveckling, dess barndom, är huvudfunktioner viktiga och lika stor vikt läggs inte vid tilläggfunktioner. Huvudfunktionerna är de funktioner som produkten från början är avsedd att utföra och hos en sikt avses då uppdelning av material i olika förutbestämda storlekar. Tilläggfunktioner är funktioner som inte direkt påverkar produktens huvuduppgift men de kan exempelvis förbättra användarens upplevelse av produkten eller förbättra sättet som huvudfunktionen utförs på. Tilläggfunktioner blir viktigare ju mer utvecklingen går framåt, detta på grund av till exempel ökade kundkrav eller hårdare konkurrens. I dagsläget har sikten nått högt upp på S-kurvan (*figur 3*), detta eftersom dess huvudfunktion är väl utvecklad. Siktningen sker med tillräckligt bra precision och inga större förändringar av själva huvudprocessen sker i dagsläget. Potentiella utvecklingsområden för siktar är nya tilläggfunktioner som gör siktningen mer effektiv samt att eliminera oönskade funktioner, som till exempel slitage av siktdelar. Här tillkommer möjligheten att styra en sikts parametrar, och på så sätt effektivisera sikten, som en viktig och aktuell funktion att införa.



Figur 3. S-kurva där pilen visar vart sikten befinner sig i dagsläget.

1.1.3 Siktning och siktbegrepp

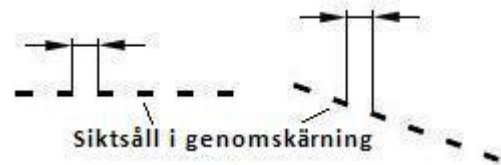
Under siktprocessen rör sig partiklar i materialet delvis runtomkring i materialbädden (*figur 4*) och delvis genom hålen i siktssäll (Metso minerals, 2004). Det förstnämnda kallas stratifikation och är en viktig del för en sikts prestationsförmåga. Stratifikationen sker även då materialet befinner sig på transportband. Rörelsen genom hålen kallas passage. Hur stor del av partiklarna som rör sig genom stratifiering respektive passage beror på siktens parametrar.



Figur 4. Partiklar rör sig i materialbädden, stratifierar. Till vänster ses en materialbädd före stratifiering och till höger har små partiklar stratifierat ner genom bädden.

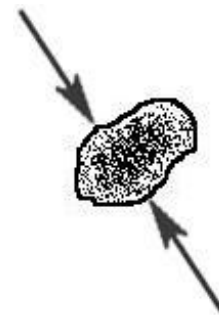
Innan tidigare arbeten som behandlar siktparametrars inverkan på utfallet diskuteras behöver ytterligare ett par begrepp som förekommer i ballastindustrin, och därmed även i rapporten, redas ut. Dessa begrepp är rensiktningsgrad och sortering kontra fraktion samt lite allmänt angående stenstorlekar. Rensiktningsgraden avser hur stor del av den siktade stenen som hamnar inom önskat storleksintervall (se förklaring av stenstorlek nedan). Det talas här om över- respektive underkorn. Överkorn är stenar som ligger ovanför önskat storleksintervall, till exempel en sten med måttet 13 mm i ett 8-11 mm intervall, således är underkorn stenar som ligger under intervallet. I processen då sten krossas accepteras en viss grad av över- och underkorn och acceptansgraden mäts i viktprocent. Till exempel kan en kund acceptera att 10 % av materialets vikt utgörs av stenar större än aktuellt intervall.

Överkorn förekommer eftersom man alltid använder siktsåll med hål som är något större än det önskade måttet på den största stenen. Man siktar till exempel 16 millimeters sten med ett såll som har 18 mm stora hål. Detta gör man dels för att sannolikheten att en sten som är exakt lika stor som ett hål verkligen passerar genom hålet är väldigt liten och dels på grund av att man ofta använder lutande siktsåll. Då man lutar siktsållet blir den horisontellt projicerade hålarean mindre än den faktiska hålarean (figur 5) vilket alltså minskar en stens möjligheter att passera hålet. Underkorn förekommer eftersom det aldrig går att undvika att en del litet material följer med det stora. Varken över- eller underkorn kan elimineras helt. Frågan är istället hur lågt det, med optimering av sikten, är möjligt att komma.



Figur 5. Skillnad i projicerad hålarea mellan plant och lutande siktsåll.

Sortering och fraktion är två begrepp som används då man talar om storleksfördelning av stenmaterial, skillnaden mellan de båda är precisionen med vilken de återger fördelningens gränser. Till exempel består en 8-11-fraktion av stenar med mått inom just detta intervall, minsta stenen är alltså 8 mm och den största är 11 mm. Detta kan jämföras med en 8-11-sortering som tillåter en viss andel över- respektive underkorn. Värt att nämna är även hur man mäter stenarna, en stens storlek fastställs genom att stenens minsta tvärsnitt, sådant att stenen kan passera genom ett hål med samma mått, identifieras (figur 6).



Figur 6. Hur man fastställer en stens storlek.

Sortering och fraktion är två begrepp som används då man talar om storleksfördelning av stenmaterial, skillnaden mellan de båda är precisionen med vilken de återger fördelningens gränser. Till exempel består en 8-11-fraktion av stenar med mått inom just detta intervall, minsta stenen är alltså 8 mm och den största är 11 mm. Detta kan jämföras med en 8-11-sortering som tillåter en viss andel över- respektive underkorn. Värt att nämna är även hur man mäter stenarna, en stens storlek fastställs genom att stenens minsta tvärsnitt, sådant att stenen kan passera genom ett hål med samma mått, identifieras (figur 6).

1.1.4 Litteraturstudie

Som sagts tidigare körs siktar oftast på de inställningar de fick vid installationen, alternativt vid en senare optimering. De här inställningarna bygger på gamla modeller som ofta till stor del är uppbyggda av erfarenheter och vars tillförlitlighet är osäker. Modellerna består av en mängd olika parametrar vilka beror på sikten och förhållandena runt om siktningen.

En modell (Soldinger Stafhammar, 2002) försöker på ett mer teoretiskt riktigt sätt beskriva en sikt matematiskt och erbjuder på så sätt ett verktyg för att analysera siktar. Denna modell ansågs för avancerad för att användas inom tidsramen för detta projekt och således används den ej. Dock presenteras resultat från tester angående parametrars inverkan på siktar. En ökning av accelerationen som partiklarna får på grund av siktens rörelse sägs öka graden av passage upp till ett visst maximum för att sedan minska passagegraden igen. Varje storleksfraktion har ett eget maximum. En ökning av accelerationen sägs också till viss del öka den totala stratifikationen. Siktplanens vinkel och bäddtjockleken verkar inte ha någon större inverkan på graden av passage.

I en artikel (Fowler & Lim, 1959) presenteras de viktigaste variablerna som matningshastighet, maskstorlek, lutning och frekvens. Effektiviteten av separeringen ökar med ökande maskstorlek, minskande matningshastighet och ökande lutning på siktsållen upp till 15°, varefter den minskar vid en ytterligare lutningsökning. Frekvenshöjning ger också högre effektivitet upp till ett maximum. Högst effektivitet får man om man kombinerar dessa fyra parametrar på rätt sätt.

En annan artikel (Porter, 1928) hävdar att kapaciteten ökar med ökande frekvens och minskar med ökande amplitud på slaget. Ökad matningshastigheten ger en förbättrad siktning upp till ett visst maximum för att senare försämra sikt kvaliteten. En stor del små partiklar i inmatningen påstås försämra kvaliteten samtidigt som en stor mängd större partiklar förbättrar kvaliteten.

Ett examensarbete utfört vid Bergsskolan i Filipstad (Asker, 2008) har studerats och här anses att en ökad frekvens ger en mindre andel överkorn och därmed ökad effektivitet. Det är dock oklart hur de här uppgifterna kan appliceras på frågeställningarna i detta projekt då de är begränsade till en viss sorts sikt och betydligt mindre materialstorlekar.

1.1.5 Laborationssiktar

I projektets inledning var tanken att tester skulle utföras antingen på en befintlig sikt eller på en mindre labbsikt. Det visade sig dock att valda parametrar skulle bli väldigt svåra att variera i en riktig sikt, samtidigt som det kändes för riskabelt och dyrt att arbeta i en riktig process. Alltså var en labbsikt nästa alternativ, tyvärr hade labbsikten som var tänkt att användas i projektet avyttrats och därmed var även detta alternativ borta. Det alternativ som återstod var att bygga en labbsikt som möjliggjorde variering av önskade parametrar och således blev detta bygge en stor del av projektet.

1.2 Syfte

Hela projektet bedrivs i tre delar, nämligen byggnation av en laborationssikt, tester av utvalda parametrars inverkan på siktnings utfall med hjälp av laborationssikten och datorsimuleringar i programmet EDEM. Syftet med vart och ett av stegen presenteras i detta avsnitt.

1.2.1 Målformulering

Genom att bygga en fungerande laborationssikt skall, under våren 2009, ett antal parametrar vid siktning utvärderas genom praktiska tester i labbsikten. Samtidigt skall simuleringar i EDEM visa om programmet kan vara användbart vid optimering av siktar, allt detta med målet att optimera siktprocessen under drift så att en högre kvalitet på produkten och/eller en bättre lönsamhet erhålls.

1.2.2 Byggnation

Byggnationen av en laborationssikt syftar till att framställa en mindre sikt där utvalda och intressanta parametrar på ett enkelt sätt kan varieras. Detta för att möjliggöra undersökningar av olika siktparametrars inverkan på siktkvaliteten.

1.2.3 Test av parametrar

Parametertester är grunden till hela projektet och syftet med denna del är att ta fram, eller möjliggöra framtagning av, en eller flera siktparametrar som går att variera i realtid och att utvärdera vilka av dessa som har störst potential att varieras i verkligheten. Man hoppas att en möjlighet till styrning av siktningen ska ge ett positivt utslag på till exempel kvaliteten hos materialet eller minska slitaget av apparaturen. Det finns även en vision om att i framtiden kunna kundorderstyra kvaliteten hos olika beställningar med hjälp av styrningen och på så vis kunna erbjuda en extra kundservice och ta olika mycket betalt för olika materialkvalitet.

1.2.4 Simuleringar i EDEM

Syftet med den tredje och sista delen, EDEM, är att undersöka möjligheterna till datorsimulering av siktförloppet. EDEM är ett förhållandevis nytt verktyg och därför ses testerna främst som en första vägledning av programmets potential. Programmet EDEM bygger på beräkningsmetoden diskret element metod, DEM. Det är en metod som tillåter beräkning och visualisering av rörelsen hos en stor mängd partiklar. Förhoppningen med DEM-simuleringar är att de ska kunna ersätta verkliga tester och experiment, då dessa kan vara både kostsamma och ibland även svåra att genomföra rent praktiskt.

1.2.5 Analysförfarande av tester

Analysen av testerna innebär främst att utvärdera de tester som görs i laborationssikten men även att jämföra simuleringarna i EDEM med de verkliga testerna och se om det finns några samband. Det övergripande syftet är att se hur siktkvalitet i form av över- och underkorn, materialbädd och kapacitet påverkas av de olika parametrarna.

1.3 Problemformulering

Varje del i projektet grundar sig i ett problem som behöver lösas eller i att det skulle kunna vara fördelaktigt att kartlägga olika samband. Problemen i projektets olika delar beskrivs i detta kapitel.

1.3.1 Byggnation

På dagens siktar är möjligheten att variera olika parametrar, utan omfattande ombyggnationer, väldigt begränsad. Detta medför att det inte går att utföra testerna i en befintlig sikt, utan de måste istället utföras i en laborationssikt. Då det inte fanns någon befintlig sådan att tillgå blev en stor och viktig del av projektet att bygga en fungerande labbsikt med möjlighet till variation av önskade parametrar.

1.3.2 Test av parametrar

Test av de valda parametrarnas inverkan på siktprocessen, och även hur parametrarna samspelar med varandra, är projektets huvudproblem. I den egenkonstruerade laborationssikten går dessa parametrar att variera inom önskade gränser. Man hoppas här att det finns någon form av samband mellan olika inställningar av parametrarna och siktningens utfall. Förhoppningsvis ska dessa samband kunna bidra till att siktprocessen i framtiden blir mer optimal och i bästa fall även möjlig att styra på ett enkelt sätt.

1.3.3 Simuleringar i EDEM

Ett annat problem som projektet står inför är att utvärdera om datorprogrammet EDEM går att använda till att simulera tester vid siktning, istället för att utföra dessa tester i verkligheten.

1.4 Avgränsningar

Projektgruppen har beslutat att göra vissa begränsningar av projektets omfattning. Dessa presenteras nedan.

1.4.1 Parametrar

Det finns en mängd olika parametrar som skulle kunna beaktas i analysen. För att hålla arbetets omfattning på en rimlig nivå sammanställdes alla tänkbara parametrar för att sedan gallras ner till ett hanterbart antal, i det här fallet tre. Det ses även som viktigt att de parametrar som ska testas berör själva sikten, det är alltså i det här projektet inte intressant att titta på parametrar i siktens omgivning. Gallringen av parametrarna utfördes med hjälp av en Pugh-matris och presenteras separat i avsnitt 1.5 och i *appendix A*.

1.4.2 Mekaniska förändringar

Mekaniska förändringar på sikten kräver antingen att man vänder sig till tillverkaren för att övertyga denne om att förändringen blir lönsam eller att man bygger om en sikt i en befintlig anläggning vilket tyvärr skulle bli mycket komplicerat och kostsamt.

1.4.3 Skillnad i siktstorlek

Tester har inte genomförts i fullskaliga siktar utan endast i en laborationssikt. Det bortses alltså från eventuella skillnader mellan dessa båda siktar.

1.4.4 Styrning

Projektet behandlar endast möjligheten till påverkan genom styrning av parametrar och inte hur en styrning av parametrarna i fråga verkligen skulle realiseras.

1.4.5 Bergmaterial

Det förekommer olika bergmaterial på olika platser och således krossas och siktas också många olika typer. Det här projektet behandlar dock inte variationer i materialet utan anpassas efter stenen som krossas på anläggningen där testerna utförs.

1.4.6 Grusstorlekar

Sten krossas ner till olika storleksintervall, till exempel 0-2 mm, 2-5 mm och 5-8 mm. I processen finns, beroende på anläggningens storlek, en eller flera siktar. Då det finns flera siktar blir siktningen finare ju längre nedströms i processen man kommer. Under arbetet har det funnits tillgång till siktsåll med en maskstorlek på 18 mm och i processen där detta används siktas material i storleksintervallet 0-32 mm. En avgränsning till denna storlek på grus och siktsåll blir därför naturlig.

1.4.7 Sikttyper

Då det, som tidigare nämnts, finns många olika typer av siktar och siktsåll var det en omöjlighet att testa olika parametrars inverkan på alla typer. Siktsållet som använts i detta arbete kommer från en Morgårdshammarsikt 2472 av typen banansikt³ och är begagnat. Således gäller resultaten inte nödvändigtvis för ett nytt såll. Eftersom det fanns tillgång till såll från denna sikt har tester och simuleringar utförts med utgångspunkt i sållen som används i sikten. Sållen är av plast och maskstorleken är 18x18 mm.

Projektet kommer endast att behandla vibrerande siktar.

1.4.8 Slag

Vid siktning förekommer framför allt tre olika typer av slag: cirkulärt, elliptiskt och linjärt. Då det beslutades att en laborationssikt, med möjlighet till variation av siktsållets lutning, skulle byggas bestämdes även att sikten skulle ha ett cirkulärt slag. Detta för att det cirkulära slaget är vanligast hos lutande siktar (Metso Minerals, 2008) lättast att åstadkomma och lättast att variera eller kontrollera.

1.4.9 Analysförfarande av tester

För att hålla bra fokus genom projektet och för att analysarbetet skall ske strukturerat bestämdes att analysen behandlar parametrarnas inverkan på siktkvalitet i form av över- och underkorn, materialbädd och kapacitet. Andra relationer lämnas över till senare arbeten på området.

1.5 Parameterval

Då de mest intressanta parametrarna skulle väljas ut användes en Pugh-matris (*appendix A*) Matrisen är en relativ beslutsmatris som används som hjälpmedel vid urvalsprocesser inom projekt. Den visar vilka lösningar eller koncept som är bäst i förhållande till en referens med avseende på ett antal uppställda kriterier som är viktiga för funktionen hos den granskade produkten.

I den Pugh-matris som ställdes upp för att utvärdera de olika parametrarna fick följande alternativ bäst poäng:

- Frekvens
- Matningshastighet
- Matningsmängd
- Bäddtjocklek
- Slagstorlek
- Lutning av siktsållet

Av dessa sex parametrar har frekvensen, slagstorleken och lutningen valts ut till att bli de parametrar som varieras i testerna, dels i verkligheten och dels i datorsimuleringarna. De tre övriga parametrarna bäddtjocklek, matningshastighet och matningsmängd, som förvisso erhöll höga poäng i matrisen, valdes bort dels på grund av att de inte har att göra med själva sikten och dels på grund av följande. Bäddtjockleken är svår att styra och mäta på ett bra sätt och en variation av matningshastigheten och matningsmängden skulle innebära att hela krossanläggningen, och inte bara sikten, skulle behöva öka sin produktionstakt vilket troligtvis inte alltid är möjligt på en befintlig anläggning.

³ Banansikt – lutningen hos siktsållen avtar ju närmare siktens utlopp man kommer.

2. Hypotes

För var och en av projektets tre delar ställdes en hypotes upp, dessa användes sedan som riktmärke under arbetet och senare delar av rapporten beskriver vägen fram till att hypoteserna accepteras om de verkar rimliga eller förkastas om det inte finns något belägg för dem.

2.1 Byggnation

Bygget av laborationssikten utgår från hypotesen att ett cirkulärt slag kan genereras med excentriska vikter som är fästa på en motordriven axel som är upplagrad i sikten. Att få till ett slag som är helt cirkulärt kan dock vara svårt. Genom att låta labbsikten stå på fjädrar förväntas rörelsen möjliggöras. Fjädrar som är för styva kan dock förhindra rörelsen och för vecka fjädrar kan botten och på så vis förstöra vibrationen.

2.2 Test av parametrar

Hypotesen av testerna, och själva idén med detta kandidatarbete, är att resultaten förändras då labbsiktens parametrar varieras. Förväntningen är att skillnaden, till viss del, kommer vara synlig vid testtillfället, men att det är först när testerna har analyserats som slutsatser kan dras.

Med utgångspunkt i tidigare publikationer om siktparametrar togs en hypotes fram för hur de olika parametrarna kommer att förändra siktens prestation. Denna hypotes kan stämma även om testerna verkar ge annat resultat eftersom parametrarna endast testas i vissa intervall och därför kan missa helhetsbilden.

När frekvensen ökar borde möjligheterna för stenen att gå igenom hålen i siktduken till viss del minska eftersom rörelsen gör att hålarea blir mindre. Samtidigt borde högre frekvens göra att stenen studsar fler gånger per tidsenhet och får högre hastighet, vilket kan öka chansen till passage vid flack lutning men kan försämma vid branta lutningar. Låg frekvens har nackdelen att den borde leda till en försämrad kapacitet. Teoretiskt sett borde det alltså finnas en optimal frekvens.

Slaget påverkar hur stor rörelsen är, ett stort slag gör att stenen kommer att hoppa mer. En kraftigare rörelse ökar stratifieringen men minskar chansen till passage då stenen inte är lika mycket vid sållet. Troligen kommer det att finnas ett maximum för passage vid ett visst slag.

Vid ökande lutning på siktsållet förväntas kapaciteten bli högre och materialbädden minska, eftersom mer material snabbare kan gå igenom sikten. Emellertid borde siktningen också bli mindre precis eftersom stenen får mindre tid i kontakt med siktsållet och därmed sämre möjlighet till passage. Det borde därför finnas olika optimala lutningar som beror på om man vill satsa på kapacitet eller kvalitet.

Frekvensen förväntas vara den parameter som har störst potential att varieras i verkligheten. Den är lätt att styra och en styrning kan implementeras på befintliga siktar med hjälp av en frekvensomvandlare. Det är inte heller troligt att andra, mer svårimplementerade parametrar, påverkar utfallet så mycket mer att de blir fördelaktigare att variera.

Sammanfattningsvis:

- Ökad frekvens ger en viss minskning i passage av material, denna minskning blir mer påtaglig då siktsållets lutning är stor.
- Det finns ett maximum för passage med avseende på slagstorlek.
- Ökad lutning ger högre kapacitet, minskad materialbädd och lägre rensiktgrad.

2.3 Simuleringar i EDEM

Det finns stora förhoppningar att EDEM klarar av att simulera siktförlopp och därmed kan användas för att få fram resultat om siktparametrarna. Simuleringarna förväntas ge stöd åt resultaten som fås av testerna med laborationssikten eftersom de borde ge likartat resultat. DEM-simuleringar har också stor potential att vara ett bra hjälpmedel vid presentation.

3. Metod

I detta kapitel presenteras hur arbetet har lagts upp för var och en av projektets olika delar.

3.1 Bygge av laborationssikt

Bygget av laborationssikten utgjorde som sagt en stor del av projektet och således tog konstruktionsfasen och byggandet ganska lång tid. Här presenteras labbsiktens olika delar och hur dessa kom till, från ritbord till bygge i en verkstad.

3.1.1 Planering av prototypbyggnation

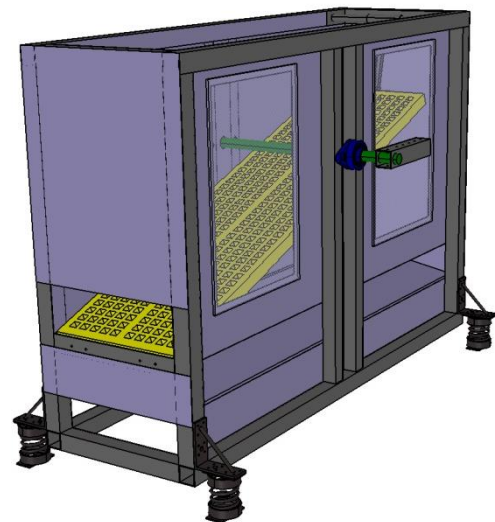
Till en början bestod arbetet med att ta fram en fungerande prototyp av en vibrerande sikt av att utvärdera hur excentriska vikter skulle kunna skapa en vibrerande rörelse och hur själva prototypen skulle se ut. Rörelsen utvärderades med hjälp av programmet ADAMS⁴ och utseendet på sikten med hjälp av CAD-programmet CATIA. Efter att modellen utformats och att lyckade simuleringar av rörelsen gjorts påbörjades valet av väsentliga delar för sikten.

Simulering av rörelse

Inledningsvis utvärderades möjligheten att, med hjälp av obalanser, inducera en excentrisk rörelse för hand med papper och penna. Senare, efter konsultation med sakkunniga inom området, övergick arbetet till simuleringsprogrammet ADAMS. I programmet skapades ett rätblock med en viss massa. I rätblockets centrum placerades ett hål för en genomgående axel och i axelns båda ändar fästes ocentrerade vikter. Axeln med obalanser roterades sedan i axelhålet. Simulationer visade att de roterande obalanserna inducerar en roterande rörelse på axeln och således även på rätblocket. Vid höga frekvenser, det vill säga höga varvtal på axeln, ger detta en vibrerande rörelse med ett cirkulärt utseende. Testerna visade även att det är möjligt att styra den erhållna rörelsen genom att ändra obalansernas massa och avstånd till axelns centrum.

CAD-modell

För att underlätta konstruktionen av sikten och för att kunna utvärdera storlekar på ingående komponenter upprättades en CAD-modell (figur 7). Detta gav mycket viktiga insikter om hur sikten skulle se ut och hur delar var tvungna att konstrueras för att tillföra önskade funktioner. Vid byggnationen utgjorde modellen en mycket viktig del som ritning för prototypen.



Figur 7. CAD-modell över laborationssikten.

3.1.2 Byggnation

Själva tillverkningen av sikten skedde i Chalmers prototypverkstad. Hela gruppen var med vid byggandet och god hjälp erhöles från personalen i prototypverkstaden. Byggandet av sikten delades in i olika moduler, för en närmare förklaring av modulindelningen och dess ingående detaljer se *appendix B*. Då rammodulen och drivmodulen var de som ansågs mest tidskrävande var det dessa som påbörjades först.

⁴ ADAMS – ett analysverktyg baserat på stelkroppsmekanik.

Rammodul

Detta var den modul som tog längst tid att göra klart, dels för att den kräver mycket arbete och dels för att det var väldigt viktigt att den blev bra då alla andra modulers funktion är beroende på att rammodulen fungerar som den skall.

Tillverkningen gick till så att fyrkantsrör sågades upp och svetsades ihop till en ram, (figur 8). Hål för fastsättning av andra moduler borrades i möjligaste mån innan svetsningen. Mycket arbete lades ner på att få ramen rak, då en skev ram hade omöjliggjort en del viktiga funktioner. För att hålla fjädrarna på plats vid sidan om sikten inhandlades vinkeljärn som skruvades fast på ramen. Vid testning insågs behovet av att förstärka vinkeljärnen vilket ledde till att stödpinnar svetsades fast. Även gångjärn för att hålla fast sållet inhandlades och monterades.

För att kunna fästa motorn till ramen tillverkades en fästplatta genom att fräsa ut hål ur en tjock metallplåt. För att kunna flytta motorn upp och ner och på så vis spänna eller slaka remdriften, frästes hålen på motorplattan avlånga. Eftersom en viktig funktion hos sikten är att kunna variera siktsållets vinkel var en anordning som kan hålla sållet i olika vinklar nödvändig att tillverka.



Figur 8. Laborationssikt under uppbyggnad.

Drivmodul

Axeln som skall hålla excentervikterna svarvades till rätt diameter och rullagren samt remskivan provades innan de monterades på rammodulen. Excentervikterna monterades genom att en bit fyrkantsrör borrades och trädde på axeln. Utmed fyrkantsröret borrades hål för att vikter, som tillverkades av solida fyrkantsstänger, skall kunna fästas på olika avstånd från axelns centrum. På varje sida av sikten monterades en excentervikt för att siktens balans inte skall rubbas. För att kunna montera motorns remskiva var en axelförlängning nödvändig att tillverka.

Fjädermodul

Eftersom fjädrarna inhandlades så bestod den enda tillverkningen inom fjädermodulen av att bygga styrcylindrar för fastsättning av fjädrarna på rammodulen. Till de första fyra fjädrarna svarvades cylindrar som skulle styra fjädrarna genom att dessa trycktes på cylindrarna. Dock ansågs detta fungera mindre bra vilket ledde till att det för den andra sortens fjädrar användes cylindrar med en lika stor innerdiameter som ytterdiametern hos fjädrarna. Fjädrarna trycktes in i dessa cylindrar vilket gav en bättre fjäderstyrning. För att kunna fästa styrcylindrarna i vinkeljärnen på ramen och i träplankor skapades fästen i form av plattjärn. Cylindrarna svetsades fast på plattjärnen som sedan skruvades fast i vinkeljärnen och träplankorna.

Sållmodul

Eftersom ett siktsåll från en befintlig sikt redan fanns behövdes inget speciellt arbete för att färdigställa sållmodulen. Det enda som fanns att göra var att montera siktsållet på ramen.

Skyddsmodul

Plåt monterades på ramen med nitar eller skruvar. Om det ansågs att det fanns ett behov av att kunna montera ner plåten användes skruvar. I en av plåtsidorna sågades hål ut. Över hålen fästes plexiglas med hjälp av dubbelhäftande tejp, detta för att skapa en möjlighet till insyn i sikten.

3.2 Test av parametrar

Testerna med laborationssikten utfördes vid NCCs anläggning i Stenungssund med den för det använda siktsållet gällande sorteringen, 0-32 mm. Stenmaterialet mättes upp i hinkar till en vikt av 25 kg per hink. Vid alla tester användes två hinkar vilket gav ett konstant materialflöde in i sikten.

Ett inledande testschema har utarbetats med hjälp av statistiska verktyg (Box et al., 2005). Tre parametrar kommer undersökas varav en anses vara beroende av de övriga två, detta brukar noteras som ett 2^{3-1} -experiment innebär betyder att endast fyra tester behöver genomföras trots att det finns 2^3 olika parameterkombinationer. Då man utför tester på detta sätt ger man alla parametrar ett hög- och ett lågvärde, se avsnitt 3.4.1 för en mer ingående beskrivning av metoden. I *tabell 1* ses de värden som parametrarna hade under testerna. Plus innebär att parametern ges ett högt värde i förhållande till medelvärdet, minus innebär det motsatta, alltså ett förhållandevis lågt värde.

Tabell 1. Inställningar vid tester.

		+	-
Slag [mm]	<i>a</i>	13	5
Frekvens [Hz]	<i>b</i>	20	10
Vinkel [°]	<i>ab</i>	20	5

Testschemat (*tabell 2*) har utformats så att tiden för omställningar av sikten skall bli så liten som möjlig. Slaget antas vara den parameter som är svårast och mest tidskrävande att ställa in. Detta behöver därför endast göras en gång enligt testschemat.

Tabell 2. Testschema, a är slag, b är frekvens och ab är vinkel.

Testnummer	Parametrar		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ab</i>
1	+	+	+
2	+	-	-
3	-	-	+
4	-	+	-

3.2.1 Transportbandet

Vid matning av sikten användes ett litet transportband (figur 9). För att skapa ett jämt materialflöde fördelades inledningsvis 25 kg stenmaterial på det stillastående bandet. När testet inleddes fördelades ytterligare 25 kg på det rullande transportbandet. För att materialet från den andra hinken skulle fördelas jämnt och inte skapa variationer i materialflödet jämnades bädden manuellt ut på transportbandet.

3.2.2 Sikten

Innan varje ny testsekvens inleddes ställdes vinkel på sållet och frekvensen på den roterande axeln in, detta gjordes innan sikten startades. Sikten kördes sedan tom för att säkerställa att de excentervikter som användes gav slaget som skulle undersökas i testet. Slagets storlek kontrollerades genom att punkter fästa på sikten studerades. När en punkt med samma diameter som önskat slag precis skapar en cirkelrörelse är slaget det samma som punktens diameter. När ett test skulle genomföras startades sikten upp och tilläts en viss tid för att svänga in. Därefter startades transportbandet varpå stenmaterialet kom i kontakt med sikten.

3.2.3 Proverna

För att skapa större säkerhet i provresultaten innehöll varje testsekvens fyra tester med samma parametrar. Proverna samlades upp på två presenningar som lagts ut under sikten, en för material som passerat igenom sållet och en för material som inte passerat. Varje test består således av två prover. Presenningarna och proverna samlades ihop och vägdes, därefter delades proverna ner till mer hanterbara volymer. Materialet som gick igenom siktens sållet delades ner till en åttondel av sin ursprungliga storlek medan det som inte gick igenom sållet delades ner till en fjärdedel. För neddelning av proverna användes en neddelare (figur 10).

3.3 Simuleringar i EDEM

För att kunna genomföra simuleringar i EDEM togs en CAD-modell fram för varje lutning som skulle testas, en av modellerna visas i figur 7. Dessa modeller gjordes så enkla som möjligt för att EDEM inte skulle behöva använda onödig datorkraft på grund av för stort beräkningsområde. När CAD-modellen var klar laddades den in i EDEM, varpå de utvalda parametrarna slag och frekvens tillsammans med ett antal grundparametrar så som material, studscoefficients, partikelstorlekar etcetera ställdes in.

Själva simuleringberäkningarna var ganska krävande på grund av det stora antal partiklar som krävs för att erhålla ett rimligt materialflöde över siktens sållet. Programmet beräknar med ett givet tidsintervall ut positionen för var och en av partiklarna som ingår i simuleringen och beroende på storleken av detta intervall och antalet beräkningsceller, som även det ställs in, kommer beräkningen att ta olika lång tid.



Figur 9. Transportbandet som användes till att mata sikten med material.



Figur 10. Neddelare som används för att dela ned stenproverna till hanterbar storlek.

3.4 Analyzförfarande av tester

Proverna som erhöles vid testerna med labbsikten analyserades genom att de delades ner med hjälp av små, runda siktsåll med hålstorlekar på 2, 4, 5.6, 8, 11.2, 16, 19 och 22.6 mm. Siktsållen staplades ovanpå varandra, sten fylldes på i det översta sållet och sållstapeln placerades i en skakmaskin (figur 11). Varje fraktion vägdes och resultaten samlades i ett Excel-dokument för vidare bearbetning och jämförelser.

3.4.1 Faktordesign

Faktordesign (Box et al., 2005) är ett statistiskt hjälpmedel vid utformning och genomförande av experiment. För att basera ett experiment på faktordesign måste först olika nivåer på de parametrar som ska studeras väljas. Som tidigare sagts är nivåerna i de utförda testerna helt enkelt plus och minus, det vill säga höga respektive låga inställningar av parametrarna.



Figur 11. Skakmaskin med siktsåll.

I faktordesignexperiment varieras en parameter i taget medan de övriga hålls konstanta. Det innebär att man måste göra väldigt många tester om man har flera variabler som ska varieras och testas mot varandra. Detta kan vara både tidsödande och kostsamt. Istället är det vanligt att forskare använder sig av fraktionerad faktordesign. Vid användning av fraktionerad faktordesign utförs bara en del av alla de jämförelser och experiment som måste utföras för att få ett helt faktordesignexperiment. Till exempel behövdes det bara göras fyra, istället för åtta, olika test efter implementering av fraktionerad faktordesign i testerna som utfördes inom projektet.

Fraktionerad faktordesign bygger på den så kallade sparsity-of-effects principen. Denna princip säger att ett system vanligtvis domineras av några huvudeffekter men även har högre ordningens effekter. Då är det mest troligt att första och andra ordningens effekter är de som påverkar resultatet av experimentet mest och att effekter som har högre ordning än så inte påverkar utfallet i någon större utsträckning. Det är alltså bara ett fåtal effekter som har någon statistisk betydelse för utfallet av experimentet.

Efter en slutförd fraktionerad faktoranalys framträder de viktigaste och största sambanden mellan de ingående variablerna. Man ser alltså trender i resultaten och åt vilket håll man ska justera variablerna vid fortsatta, fördjupande studier för att kunna optimera den undersökta processen.

Det utförda experimentet är ett så kallat 2_{III}^{3-1} -experiment. Detta betyder att för att göra ett helt faktordesignexperiment skulle man behöva göra $2^3 = 8$ försök men med en fraktionerad faktoranalys behöver det bara utföras $2^{3-1} = 4$ olika tester. Tvåan indikerar att experimentet har två olika nivåer, plus och minus i det här fallet. Indexet innebär här att experimentet har en upplösning på tre. Ett experiments upplösning är ett mått på hur väl det går att skilja på påverkan från huvudeffekter och från lägre ordningens effekter. En upplösning på tre betyder att det går att uppskatta experimentets huvudeffekter men att dessa riskerar att bli hopblandade med påverkan från andra ordningens effekter. Denna typ av problem går inte att undvika helt vid ett fraktionerat faktordesignexperiment utan då måste man utföra alla testerna i ett faktordesignexperiment.

Till sist behöver begreppet responsvariabler belysas. Ett experiments responsvariabler är de variabler som påverkas av parametrarna som varieras i testet. I de utförda testerna är responsvariablerna andelen över- och underkorn i respektive test. Huvudeffekterna beräknas sedan som medelvärdet av de responsvariabler som hög nivå minus de som har låg nivå, se formel nedan.

$$\text{Huvudeffekt} = \bar{y}_+ - \bar{y}_-$$

4. Resultat

Här presenteras resultatet i tur och ordning för var och en av projektets tre olika delar.

4.1 Byggnation

Som tidigare nämnts åtgick en stor del av projektets tid till att bygga den laborationssikt som sedan användes vid testerna (*figur 12*). Siktens prestation var ungefär i linje med de uppställda förväntningarna men en mer ingående beskrivning av hur väl laborationssikten fungerade är på sin plats och följer här.

Det som på förhand löpte störst risk att inte fungera var variabiliteten, och styrningen, av de parametrar som förväntades vara variabla och även fjädrarna som sikten vilar på. Parametrarna går igenom mer ingående under separata rubriker och vad gäller fjädrarna var de som först användes för veka. De bottnade då sikten belastades och byttes således ut till en styvare modell som fungerade mycket bra. I övrigt består sikten till störst del av hopsvetsade stålkomponenter, se ritningar i *appendix D*, men även skruvförband och nitar förekommer. Funktionaliteten hos dessa var god, undantaget sikten kördes på den högsta testinställningen med ett slag på 13 mm och en frekvens på 20 Hz, test 1 i testschemat (*tabell 2*). De här inställningarna resulterade i diverse problem som två trasiga svetsar, utböjda plåtar, brustna nitar och ett väldigt ostabilt siktsåll.



Figur 12. Den färdiga laborationssikten tillsammans med transportbandet efter ett utfört test.

Frekvens, slag och lutning var de parametrar som skulle gå att variera på laborationssikten och här presenteras resultatet för var och en av de olika parametrarnas funktionalitet och möjlighet till variation.

4.1.1 Frekvens

Frekvensen varieras med hjälp av en frekvensomvandlare. Denna kopplas in mellan elnätet och motorn och möjliggör på så vis en styrning av motorns varvtal vilket i sin tur styr axelns varvtal och alltså siktens frekvens. Variationen av denna parameter fungerade precis som väntat och var lätt att styra och kontrollera.

4.1.2 Slag

Storleken på slaget var svår att kontrollera och slaget blev inte heller helt cirkulärt. Det gick inte att erhålla ett så stort slag som 15 mm, vilket var tänkt som max från början. Istället blev det maximala slaget 13 mm och detta erhöles genom att använda de största excentervikterna, 750 g på varje sida. Problemet med detta var, som nämnts ovan, att siktens grundstomme inte riktigt höll för påfrestningarna utan ett par svetsar gav vika och siktsållet var inte helt stabilt.

4.1.3 Lutning

Siktsållets lutning var ganska enkel att kontrollera och variera. Man måste dock bortse från att sållet är skevt i sig själv och att lutningen därför varierar en aning beroende på var på sållet man mäter. Hela sållet lutade även lite i sidled eftersom dess justerbara ände endast var fastsatt i mitten vilket ledde till en viss instabilitet. Då problemet uppdagades löstes detta genom att sållet stabiliserades med hjälp av rep.

4.2 Test av parametrar

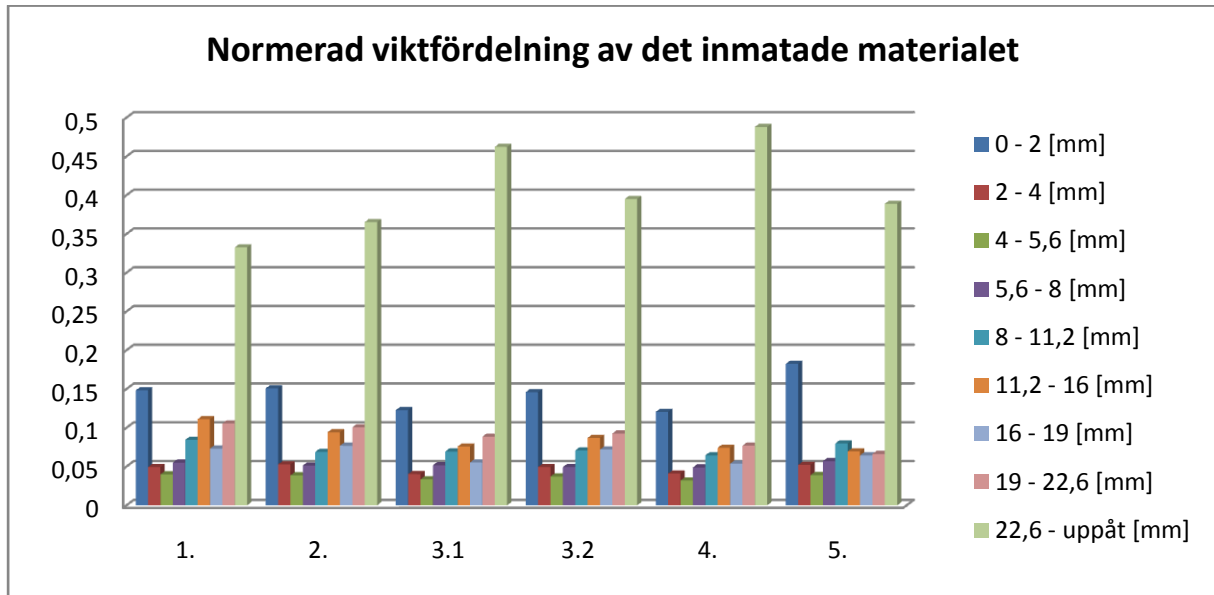
Som nämnts tidigare inträffade ett par oförutsedda händelser vid körning av laborationssikten. På grund av detta gjordes några förändringar av testschemat som beskrivs i avsnitt 3.2. Bland annat inträffade ett par problem vid körning av test 1. Därför kördes endast två test med parametrarna på den inställningen istället för fyra. Test 3 visade sig gå så långsamt att frekvensen, efter två körningar, fick ändras till hög istället för låg så att materialet över huvud taget skulle ta sig igenom sikten. Det gjordes två test med denna inställning. Det gjordes, som det var tänkt från början, fyra tester av test 2 och 4. Utöver alla dessa tester gjordes också två försök med lågt slag, hög frekvens och hög vinkel men med slaget i motsatt riktning (mot istället för med materialets riktning), vilket herefter kallas test 5. Vid redovisning av resultaten visas medelvärden av alla tester med samma inställningar. De ursprungliga testerna 3 kallas härmed 3.1 och de nya 3.2. *Tabell 3* ger en överskådlig bild över vilka tester som till slut genomfördes.

Tabell 3. Utvidgat testschema

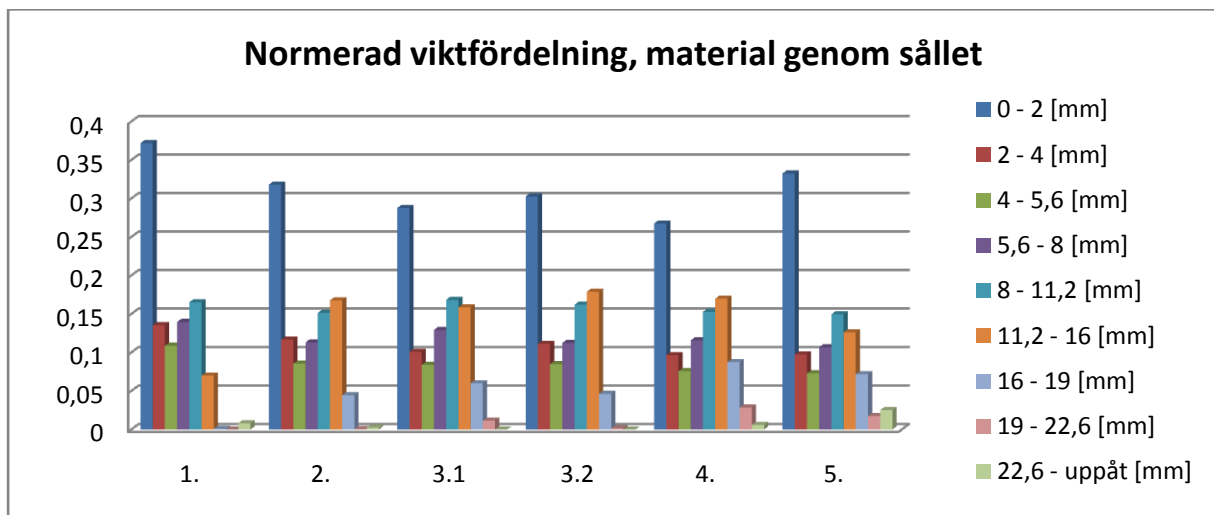
Testnummer	Antal test	Parametrar		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ab</i>
		<i>A (Slag)</i>	<i>B (Frekvens)</i>	<i>C (Lutning)</i>
1	2	+	+	+
2	4	+	-	-
3.1	2	-	-	+
3.2	2	-	+	+
4	4	-	+	-
5	2	- (bakåt)	+	+

4.2.1 Resultat från laborationssikten

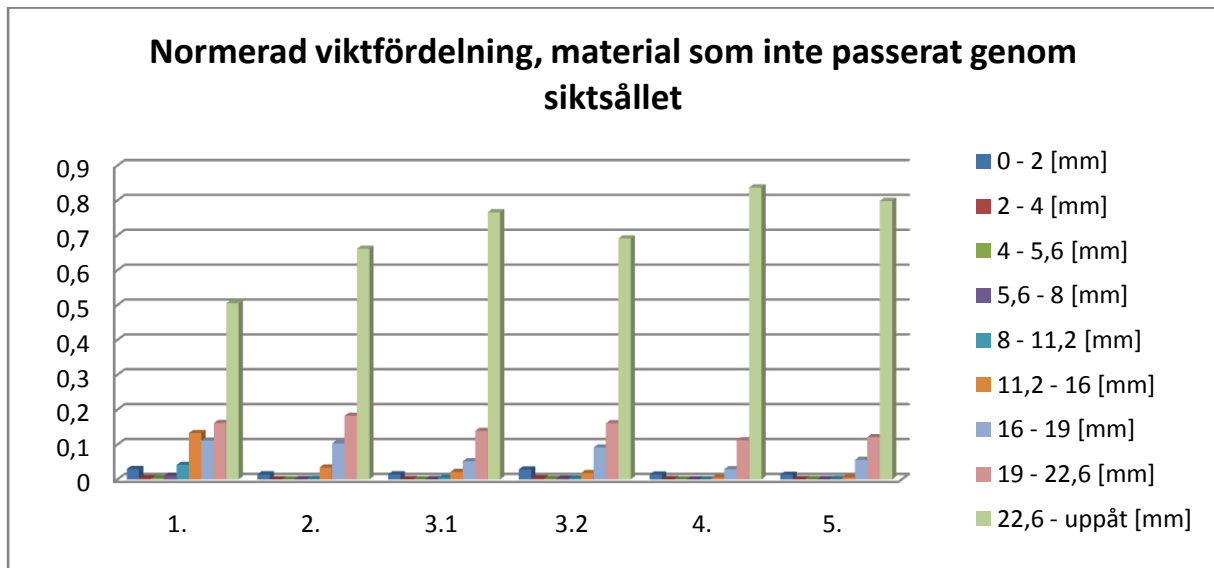
Efter att proverna från laborationssikten delats ner i olika fraktioner finns det flera sätt, vart och ett med olika för- och nackdelar, att presentera hur bra eller dålig siktningen varit. *Figur 13* visar hur storleksfördelningen ser ut för det inmatade materialet. I *figur 14* ses ett stapeldiagram över fördelningen mellan de olika storleksfraktionerna i materialet som kom igenom siktsållet. Ett likadant diagram fast för material som inte kom igenom sållet ses i *figur 15*.



Figur 13. Normerad viktfordelning av det inmatade materialet.



Figur 14. Normerad viktfordelning hos materialet som passerat genom siktsållet.

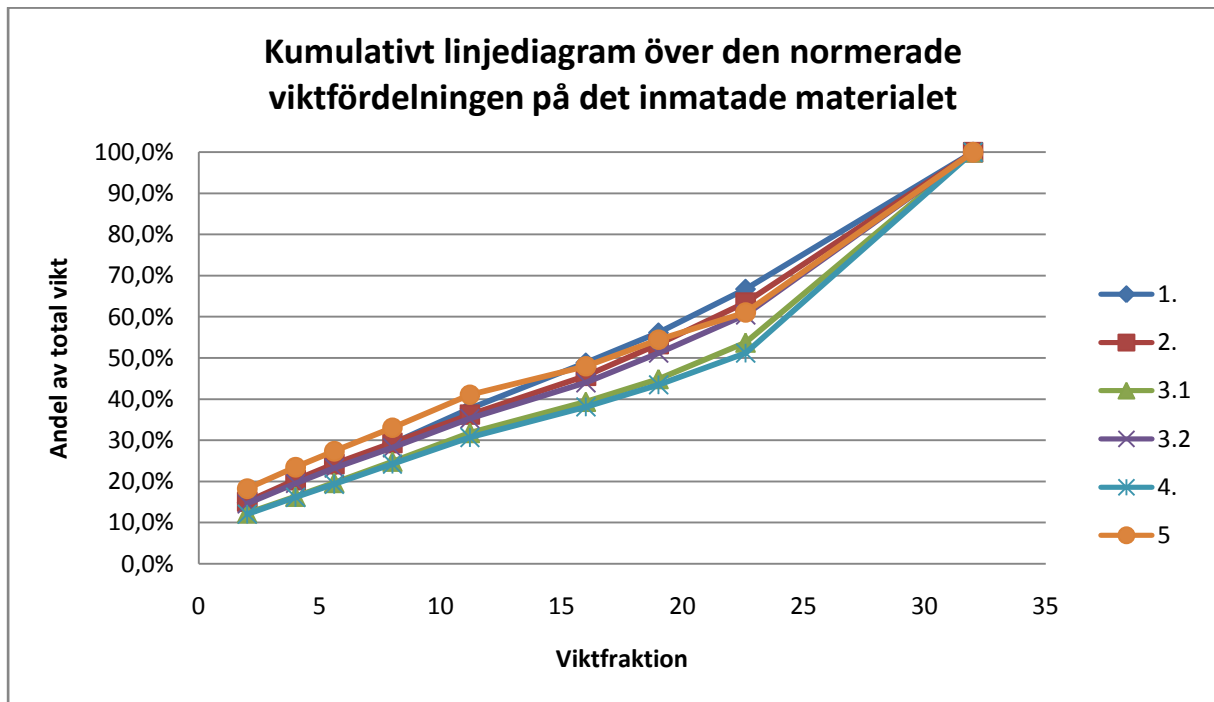


Figur 15. Normerad viktfordelning för materialet som inte passerade igenom sållet.

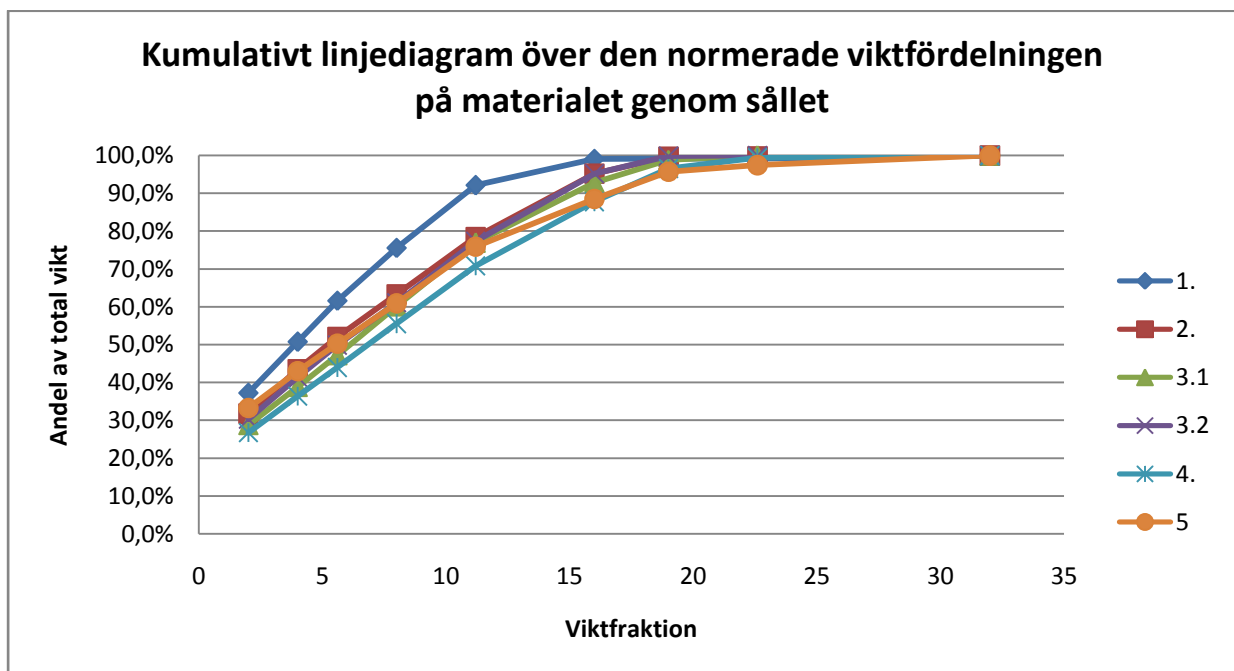
Eftersom siktsållet som användes är konstruerat för att släppa igenom en sortering på 0-16 mm är det i detta fall intressant att titta på hur storlekarna kring 16-19 mm och 19-22,6 mm varierar i de olika testerna. På grund av att maskstorleken på siktsåll som används för att släppa igenom 0-16 mm är 18 mm, att såll till viss del är töjbara samt att sållet som användes i dessa tester var slitet, finns det risk för att stenar större än den önskade maxgränsen på 16 mm kommer igenom. Då stenar runt 18 mm är de som har svårast att komma igenom hål av samma storlek, är det mer intressant att titta på hur siktens parametrar påverkar dessa än att studera mindre stenar som oftast, oberoende av siktens inställning, kommer igenom hålen. Ett exempel på detta ses om man jämför t.ex. hur den minsta fraktionen, dvs. 0-2 mm, i det genomsläppta materialet varierar med hur 19-22,6 mm fraktionen varierar. 0-2 mm fraktionen varierar mellan testerna med ca 10 % som mest medan 19-22,6 mm fraktionen varierar som mest mellan test fyra och två, där 19-22,6 mm fraktionen stod för 2,8 % respektive 0,068 % (*appendix E*). För test fyra är alltså 19-22,6 mm fraktionen ungefär 40 gånger än för test två. Samma siffra blir ungefär 1,4 för 0-2 mm fraktionen. Samma sak gäller om man studerar diagrammet över material som inte kom igenom sållet och jämför den största fraktionen med en fraktion kring 18 mm. Således varierar fraktionerna kring 18 mm mer än de små och stora fraktionerna även om stapeldiagrammen ser ut att visa motsatsen, samma resonemang gäller självklart även andra typer av diagram.

Ett annat sätt att redovisa resultaten är att använda kumulativa linjediagram. I ett kumulativt diagram innehåller varje punkt information från de föregående. Det vill säga att man successivt adderar värdet för nästkommande punkt till summan av alla föregående punkter. På grund av detta är det alltså skillnader mellan linjernas lutning och inte avstånden mellan dem som är viktiga då ett kumulativt diagram ska avläsas.

Figur 16 visar ett kumulativt diagram över det material som matades in i sikten. Som tidigare sagt så syns skillnaderna mellan testerna där graferna uppvisar olika lutning, det vill säga där de är parallella har de samma fördelning.

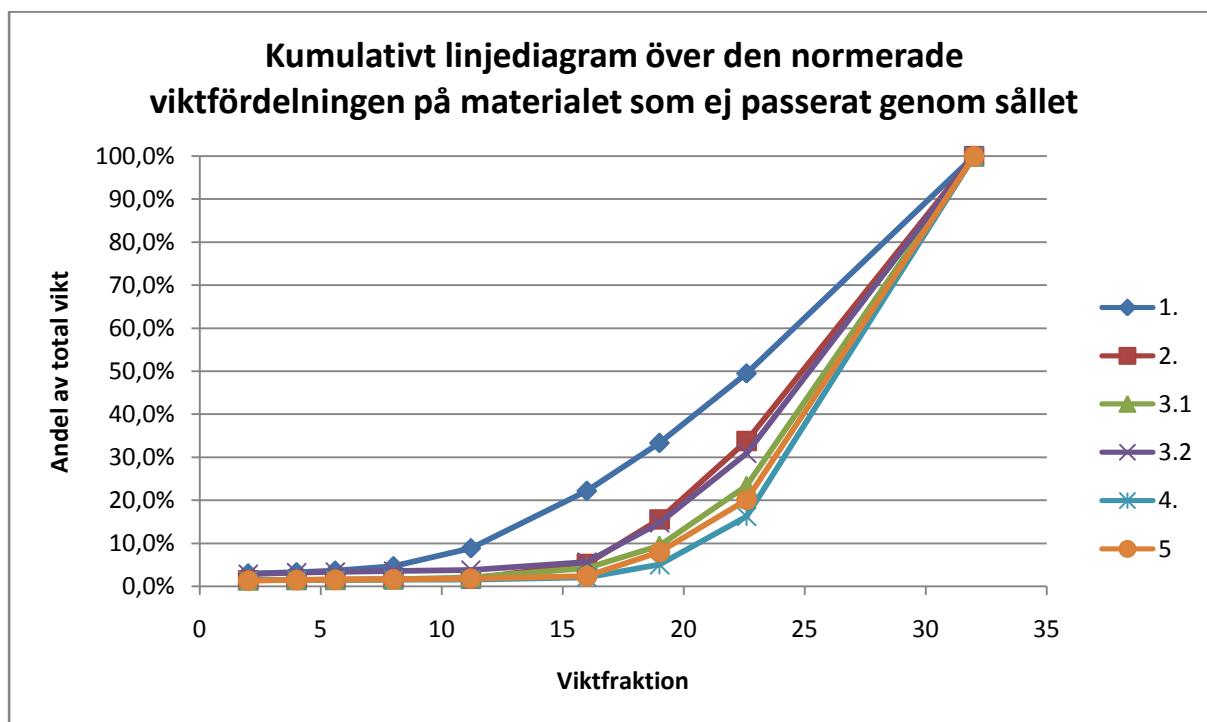


Figur 16. Kumulativt linjediagram som visar viktfordelningen hos matningen.



Figur 17. Kumulativt linjediagram som visar viktfordelningen hos materialet som passerat genom sållet vid siktnig.

Figur 17 är ett kumulativt diagram över materialet som gick genom sållet för de olika testerna och figur 18 är detsamma fast för material som inte gick igenom sållet för de olika testerna. En perfekt sikt skulle för det materialet som går igenom sållet ge ett diagram som går upp till 100 % vid den maximala storleken som sållet avser att släppa igenom. Vad gäller det material som inte går igenom sållet så skulle en perfekt sikt ligga på 0 % fram till den maximala storleken som sållet avser att släppa igenom och sedan börja gå upp mot 100 %.



Figur 18. Kumulativt diagram över viktfordelningen hos materialet som inte passerat genom sållet efter avslutad siktning.

Tabell 4 visar hur stor andel över- och underkorn av den totala vikten hos proverna som gick igenom respektive inte gick genom sållet för de olika testerna. Andelen överkorn beräknas som massan av de stenar som ligger över den önskade maximala storleken, i detta fall 16 mm, delat med den totala massan hos materialet som passerade genom siktsållet. Andelen underkorn är således massan hos det material som inte kom igenom siktsållet, men som är litet nog att kunna komma igenom, delat med den totala massan hos materialet som inte gick genom sållet.

Tabell 4. Procentuella mängden över- och underkorn i respektive test.

Testnummer	Responsvariabler	
	y ₁ [% överkorn]	y ₂ [% underkorn]
1	0,9	22,2
2	4,8	5,2
3.1	7,2	4,2
3.2	4,8	5,7
4	12,2	2,1
5	11,5	2,5

4.2.2 Kapacitet och bäddbyggnad

Vid varje test gjordes observationer av hur lång tid det tog att sikta det tillförda materialet och av hur tjock materialbädden blev (tabell 5). Möjliga slutsatser att dra utifrån dessa data är hur olika inställningar på sikten påverkar kapaciteten, vilken matningshastighet som bör användas och hur förekomsten av en bädd påverkar siktens prestanda.

Tabell 5. Sikttid och relativ storlek på materialbädd under respektive test.

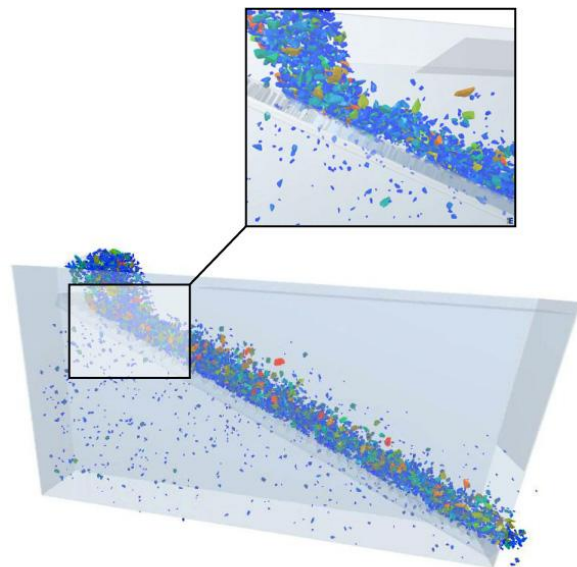
Test	Sikttid	Bädd
1	12 s	Ingen
2	20 s	Liten
3.1	>1 min	Stor
3.2	16 s	Liten
4	40 s	Stor
5	30 s	Stor

Sikttiden för test 3.1 är över en minut. Detta är ett fall där materialet rörde sig väldigt långsamt och till slut låg endast stor sten kvar på siktsållet. Då stängdes sikten av och den kvarvarande stenen plockades ut för hand. Därför finns det ingen exakt sikttid för detta test. I de övriga fallen analyserades tid och bäddtjocklek med hjälp av videoupptagningar från testtillfället.

4.3 Simuleringar i EDEM

Som tidigare nämnts krävde simuleringar i EDEM mycket datorkraft och tid. Tillgång till beräkningsdator, eller snarare brist därav, har resulterat i att simuleringar inte kunnat genomföras i lika stor utsträckning som inledningsvis planerats. Vissa tendenser kunde dock konstateras vilka senare låg till grund för val av lämpliga parametrar inför testerna med laborationssikten.

Testerna i EDEM genomfördes uteslutande med cirkulärt slag. När tillräckligt många partiklar användes i simuleringarna bildades en fullt tillräcklig siktbädd (figur 19) där stratifiering av partiklar på siktsållet tydligt framträdde. Skillnaden i andelen passerade partiklar mellan simuleringar med och utan en tillräcklig siktbädd kunde studeras. Simuleringarna tyder på att en större andel partiklar passerade sållet när en bädd bildades. Vid avsaknad av materialbädd uppträdde partiklarna mer kaotiskt med många fler studsar, tillika missar, innan en eventuell passage.



Figur 19. Bild från simuleringsprogrammet EDEM.

För att få en så verklighetstrogen simulering som möjligt skulle det behövas en annan storleksfördelning än den som användes. De simuleringar som genomfördes använde en slumpmässig fördelning i ett visst intervall där antalet små partiklar var i samma storleksordning som de stora partiklarna. Efter att de verkliga försöken genomförts kunde det konstateras att detta inte ger ett representativt resultat. En simulering utan förenklingar skulle dock visa sig vara mycket beräkningskrävande och inte realiserbar med de medel som ställts till projektets förfogande.

5. Analys och slutsatser

Här analyseras resultaten och utifrån detta dras slutsatser. Målet är att besvara de frågeställningar som presenterades i avsnitt 1.3.

5.1 Byggnation

Totalt sett gick bygget enligt planen, dock finns det alltid saker som kunde ha gjorts annorlunda och som skulle kunna förbättras inför fortsatt användande av laborationssikten. Till att börja med skulle det behövas större kunskap om hur man varierar slaget så att önskad storlek erhålls. För att få denna kunskap behövs ytterligare tester där man kör sikten tom och experimenterar med olika excentervikter och deras placering med avseende på avstånd till axeln.

När testerna genomfördes kom det fram att slaget troligen inte är uniformt över hela sikten, något som kan bero på att axeln med excentervikterna inte sitter i, eller tillräckligt nära, tyngdpunkten. Slaget var inte heller helt cirkulärt, utan snarare elliptiskt. Axeln placering i förhållande till tyngdpunkten kan inverka även här men det kan också bero på fjädrarnas styvhet i förhållande till siktens tyngd så det är svårt att spekulera i innan man testat sikten med en annan axelplacering. Det bör dock framhävas att axeln placerades utanför tyngdpunkten för att möjliggöra lutningen av siktstållet. Vill man ändra axelns placering kommer det således att ske på bekostnad av frihet i lutningsvariationen.

Till sist är det viktigt att ta upp hållfasthetsaspekten. På detta plan var det främst upphängningen av siktstållet som inte riktigt klarade påfrestningarna. Som sagt blev det problem under test 1, då slag och frekvens var maximala. Först lossnade vinkeljärnet som sållets nedre kant vilar på eftersom det endast hade punktsvetsats. Detta var dock inga problem att reparera även om det hade gått att förutse. Även fastsättningen i sållets andra ände, där vinkeländringen görs (*figur 20*), vållade vissa problem. Först lossnade en svets som håller fast ett gångjärn, denna gick dock lätt att svetsa fast igen. Vårre var att det endast monterats en stång som siktstållet höjs och sänks längs. Att endast använda en stång innebär en minskad stabilitet av siktstållet i sidled vilket ledde till en ojämn materialfördelning, materialet drog sig till ena sidan av sållet. Den ojämn fördelningen ledde i sin tur till att kvaliteten i siktningen och resultaten av tester i labbsikten kan ifrågasättas. Då problemet uppdagades åtgärdades det som sagt genom att sållet stabiliserades med hjälp av rep men en mer hållbar förändring skulle kunna vara att lägga till en extra stång, identisk med den som redan finns.



Figur 20. Mekanism för att ställa in siktstållets vinkel.

5.2 Analys av parametertester

Analysen av testerna delades upp i följande fyra delar: grundläggande analys av diagrammen som presenterades i resultatkapitlet, analys utifrån statistiska metoder, siktkapacitet och bäddbyggnad samt slutligen påverkan av variationer i det inmatade materialet.

5.2.1 Analys av diagram

I diagrammen över materialet som gick genom sållet och över det som inte gick igenom (*figurerna 14, 15, 17 och 18*) kan en del enkla observationer göras. Mer slutgiltiga slutsatser kring parametrar kan dock först dras när resultaten analyseras statistiskt, vilket görs i kapitel 5.2.2.

I *figur 14* syns tydligt att test 1 har minst andel överkorn men *figur 15* visar att detta test också har mest underkorn. Detta bekräftas också av *tabell 4*. Anledningen till detta är att alla parametrar har höga inställningar, vilket gör att materialet går igenom sikten väldigt fort och därmed ges stenen inte lika stor möjlighet att passera genom sållet.

Test 4 och 5 har fått motsatt resultat, alltså stor andel överkorn och liten andel underkorn. Här har materialet istället haft oskäligt lång tid på sig att sållas.

En annan intressant aspekt är att test 2 och 3.2 är väldigt lika när det gäller över- och underkorn. Att endast ha slaget på hög inställning ger alltså ungefär samma effekt som att ha både vinkel och frekvens på hög inställning.

Det kan också vara intressant med en jämförelse mellan test 3.1 och 5, eftersom det enda som skiljer dessa test är slagets riktning. Test 3.1 har endast 4,8 % överkorn jämfört med 11,5 % i test 5 men också 5,7 % underkorn mot 2,4 % i test 5. Att låta slaget gå i motsatt riktning verkar alltså minska andelen underkorn. Denna fördel verkar dock inte vara lika stor som nackdelen med för mycket överkorn.

Ur det kumulativa diagrammet för material som passerade genom siktsållet kan utläsas att det endast verkar vara test 1 som har siktat perfekt, eftersom den kurvan når 100 % redan vid 16 mm. Inget av testerna verkar dock ha siktat perfekt när det gäller material som inte gick igenom siktsållet, vilket kan utläsas ur *figur 18*.

5.2.2 Parametrarnas huvudeffekter

För att kunna se klara samband mellan de tre parametrarna och siktens prestanda har parametrarnas huvudeffekter beräknats. Hur metoden fungerar och hur den används beskrivs i avsnitt 3.4. I analysen av testerna från labbsikten användes andel över- och underkorn som responsvariabler och sedan beräknades huvudeffekterna som slag, frekvens och varvtal utgör på responsvariablerna. I *tabell 6* ses resultatet från den första analysen. Hur huvudeffekterna beräknas kan även det ses i avsnitt 3.4.

Tabell 6. Huvudeffekter för de tre parametrarna.

	Huvudeffekter	
	Överkorn	Underkorn
A (slag)	-0,05212	0,09693
B (frekvens)	-0,00001	0,05254
C (lutning)	-0,04200	0,07006

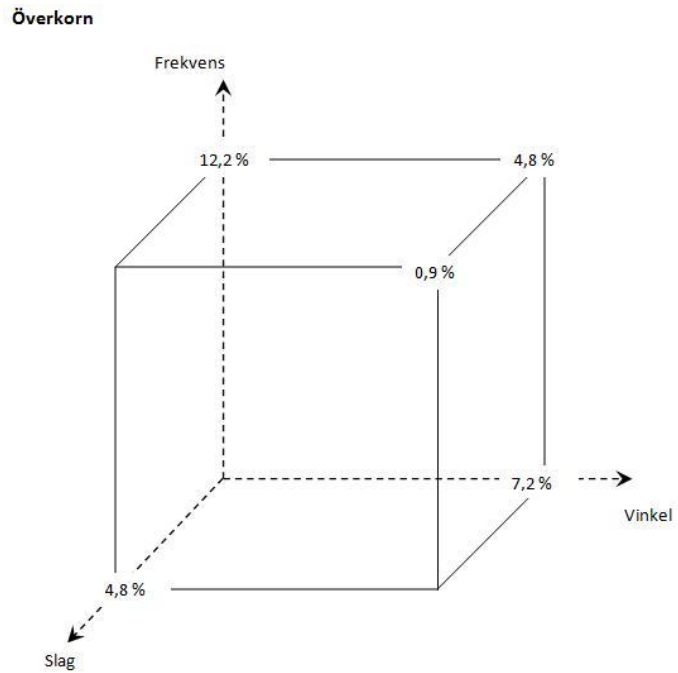
Vad gäller andelen överkorn så visar testerna att slaget och lutningen har en negativ påverkan på denna, medan frekvensens inverkan på överkornen är försumbar. En negativ påverkan betyder att om responsvariabeln ökas så minskar andelen överkorn, det motsatta förhållandet gäller givetvis för en positiv påverkan.

I kubanalysen presenteras andelen överkorn (*figur 21*) för varje test i hörnen på en kub, där de olika positionerna beror på hur parametrarna var inställda. Parametrarna slag, frekvens och vinkel har var sin axel i kuben, deras låga inställning är i origo och deras höga är i kanten på kuben längs med axeln. Det kanske mest intressanta resultatet angående huvudeffekterna hittas för responsvariabeln överkorn där effekten från frekvensen är betydligt mindre än vad de övriga effekterna är. Detta resultat leder till en möjlighet att utvidga analysen, vilket enkelt kan åskådliggöras i kubanalysen för överkornen. Detta genomförs genom att kuben trycks ihop ovanifrån till ett plan, det vill säga topplanet sammanförs med bottenplanet. Tack vare att frekvensens inverkan på andelen överkorn är så liten går det alltså att försumma frekvensen. Genom att göra detta får man en kvadrat mellan vinkel och slag som har alla sina fyra hörn fyllda med resultat. Detta gör att man får ett fullständigt faktordesignexperiment för sambanden mellan slag, vinkel och andelen överkorn (*figur 22*). För det hörn som nu får värden från två olika tester beräknades ett medelvärde.

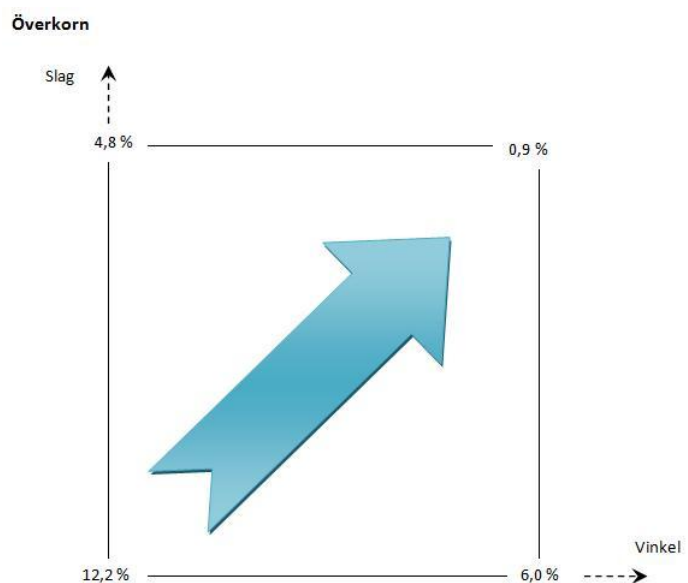
Kvadratanalysen pekar på att både slag och vinkel skall köras med hög inställning för att mängden överkorn skall minska. Att köra båda med låg inställning ger en stor del överkorn. Pilen i *figur 22* avser den riktning som man skall ändra inställningarna åt för att minska andel överkorn.

Huvudeffekterna beräknades även för det kvadratiska fallet, allt enligt tillvägagångssättet i avsnitt 3.4, och de nya huvudeffekterna presenteras i *tabell 7*.

Eftersom huvudeffekterna i *tabell 7* för slaget och vinkeln är ungefär lika stora så indikerar analysen, och även kvadratanalysen ovan, att de båda parametrarna påverkar andelen överkorn ungefär lika mycket.



Figur 21. Kubanalys för överkornen.

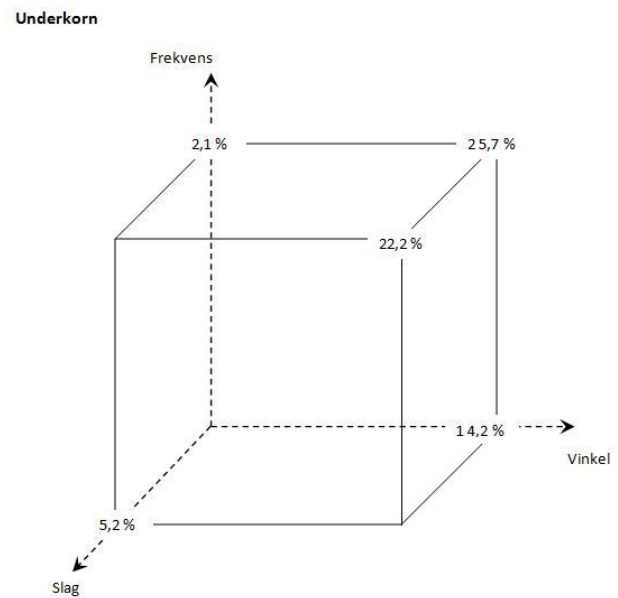


Figur 22. Kvadratanalys för överkornen.

Tabell 7. Huvudeffekter i det förenklade fallet.

Parameter	Huvudeffekt
	Överkorn
A (slag)	-0,062
C (vinkel)	-0,050

För underkornen är slaget den parametern som påverkar mest (tabell 6), följt av lutningen och till sist frekvensen. Dock är skillnaden mellan de olika effekterna relativt liten och på grund av experimentets upplösning, se avsnitt 3.4, går det inte att enbart från en statistisk analys med säkerhet säga att den inbördes ordningen mellan de tre parametrarna stämmer, bara att de påverkar ungefär lika mycket. Dock så stöds den inbördes ordningen hos de beräknade huvudeffekterna av en kubanalys för underkornen (figur 23) där andelen underkorn minskar mest om man kör slag och lutning på låg inställning. Med stöd av kubanalysen dras slutsatsen att de tre parametrarna påverkar andelen underkorn ungefär lika mycket, dock med den inbördes ordning som åskådliggörs i tabell 6.

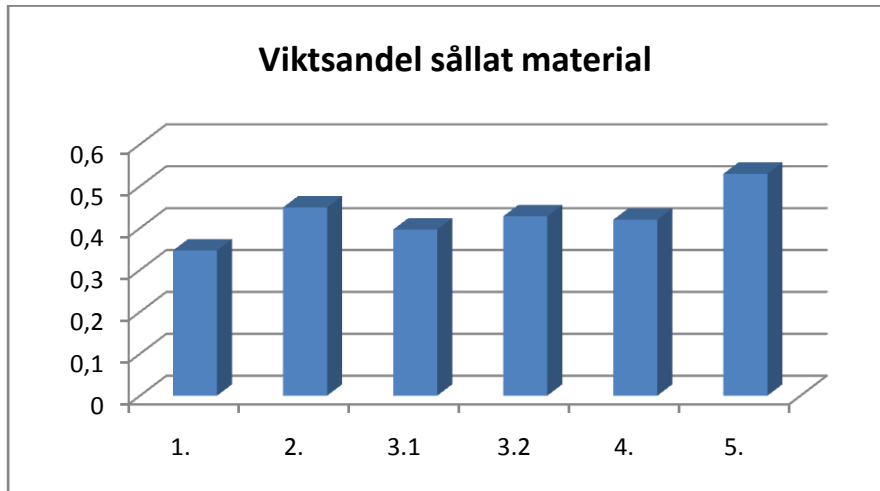


Figur 23. Kubanalys för underkornen.

På grund av att alla tre parametrar påverkar andelen underkorn ungefär lika mycket finns det tyvärr ingen möjlighet att utvidga analysen som fallet var med överkornen.

Sammanfattningsvis pekar testerna på att när det gäller underkorn påverkar slag, frekvens och lutning ungefär lika mycket och att en låg nivå av dessa ger en mindre andel underkorn. Detta stöds till viss del direkt av provresultaten där en stor del underkorn erhöles då alla parametrar var höga, detta kan enklast ses i kubanalysen (figur 23).

För överkornen visar testerna på att slag och vinkel påverkar ungefär lika mycket medan frekvensen har väldigt liten påverkan. Höga inställningar på slag och vinkel borde ge en mindre mängd överkorn. Även detta stöds till viss del av försöken då test 1, där alla parametrar har hög inställning, har en väldigt liten andel överkorn. Dock hämmas den totala mängden material som går genom siktsållet, det vill säga kapaciteten att sikta material minskar vid höga inställningar (figur 24).



Figur 24. Andel material som kom igenom sållet vid siktning.

5.2.3 Kapacitet och bäddbyggnad

I tabell 5 syns skillnader i sikttider för de olika testen. I de fall där sikttiden är kort har två eller fler av siktparametrarna hög inställning och för de fall där sikttiden är väldigt lång har endast en siktparameter hög inställning. Detta stämmer för alla test utom test 2, där endast slaget har hög inställning. Att sikttiden för detta test ändå är kort visar att slaget är den parameter som verkar vara viktigast för siktens kapacitet.

Hypotesen om att vinkeln på siktsållet skulle ge en hög kapacitet oberoende av hur de andra parametrarna är inställda ser inte ut att stämma. Tittar man på de tre testerna där bara en parameter är hög, alltså test 2, 3.1 och 4, har testet med hög vinkel, test 3.1, sämst kapacitet. Detta beror troligen på att det som kallas hög vinkel inte är så brant egentligen. Den höga vinkeln är 20 grader och klarar inte själv av att flytta fram stenen utan det viktigaste verkar vara den rörelse som stenen får och därmed är slaget och frekvensen viktigare. För att få en stor kapacitet verkar det dock som om att det bästa är att ha minst två parametrar med hög inställning.

Till sist är det intressant att studera de valda parametrarnas inverkan på materialbädden (tabell 5). Helt klart är att bädd och tid har ett samband. Ju snabbare materialet passerar desto mindre blir bädden. Här ger alltså två höga parametrar eller, som i test 2, endast högt slag en mindre bädd. Hypotesen om att lutningen ensam skulle kunna påverka bäddtjockleken verkar alltså inte stämma. Det är dock lite vanskligt att uttala sig om bäddtjockleken efter detta test då sikten matades med samma materialmängd vid alla försök. Det skulle mycket väl kunna bli ett mindre tydligt resultat om det hade funnits möjlighet att hålla ett mer konstant materialflöde. Vid höga inställningar rusade nämligen materialet genom sikten och en bädd skulle då kunnat samla materialet och på så vis bromsa upp det. Vid låga inställningar bromsades istället materialet upp och en bädd skulle i detta fall kunnat hjälpa till att skjuta materialet genom sikten. Det är dock troligt att höga inställningar ger en mindre bädd än låga, under samma matningsförhållande och vid kontinuerlig drift, om än inte lika markant som här.

5.2.4 Variationer i inmatat material

Mängden material in i sikten hölls konstant till 50 kg vid varje test. Däremot skiljde det lite mellan testerna vad gäller storleksfördelningen hos stenmaterialet. Se diagram avseende matning i avsnitt 4.2.1. Dessa variationer är dock omöjliga att komma ifrån. Det är även normalt med variationer i det

inmatade materialet hos siktar i fullskala eftersom materialet, som kommer från krossen, inte är homogent fördelat. Variationerna anses inte påverka resultaten av proverna negativt utan kan tvärtom vara något positivt då de gör att testerna blir mer realistiska.

I och med att flera tester utfördes med samma parameterinställningar och sedan slogs samman till ett medelvärde minimerades även effekterna av alltför stora avvikelser i sammansättningen hos materialet.

5.3 Simuleringar i EDEM

EDEM är utan tvivel ett mycket kraftfullt redskap som givet de rätta förutsättningarna väsentligt skulle kunna underlätta testförfaranden och ge styrka till resultaten.

Materialbädden påverkar resultatet genom att den förhindrar partiklar från att studsas på siktsållet. Partiklarna ges då större möjlighet att leta sig igenom sållet eftersom deras färd längs sållet kan betraktas som kontrollerad. En partikel som vid varje kontakt med siktsållet kastas upp i luften kommer inte att systematiskt vandra längs sållet vilket minskar dess chans att träffa precis rätt i en maska. Detta är speciellt tydligt för partiklar nära maskans storlek. En påverkande faktor och något som kan betraktas som en felkälla var att studscoefficienterna mellan de interagerande materialen behövde uppskattas. Ett högt värde mellan till exempel siktsållet och partiklarna resulterade i att bädden och partiklarna uppträdde på ett onaturligt sätt.

Problemet med storleksfördelningen visade sig vara betydligt större än vad som inledningsvis förmodats. Istället för att använda en slumpmässig fördelning baserad på partiklarnas storlek hade en logaritmisk fördelning med avseende på massa hamnat betydligt närmare verkligheten. Andelen verkligt små partiklar, under 2 mm, har vid tester konstaterats ha en massa i ungefär samma storleksordning som de större partiklarna. Detta betyder alltså att antalet små partiklar är flera tiopotenser större än de stora varför en linjär storleksfördelning inte blir representativ.

6. Rekommendationer

I detta kapitel diskuteras kortfattat vad projektarbetets resultat kan användas till, rekommendationer för fortsatt arbete presenteras också. Rekommendationerna bygger på slutsatserna som drogs då resultaten analyserades.

6.1 Byggnation

Vid fortsatt utnyttjande av labborationsvikten rekommenderas till att börja med tester där det fastställs vilka vikter på vilken position som ger vilket slag. Det skulle kunna tillverkas fler vikter och upprättas en lista över vilken inställning som ger vilket slag.

När det gäller siktens hållfasthet är det främst fastsättningen av sållet i den ände som förs uppåt vid lutningsändring som behöver modifieras. Här rekommenderas en förbättring av vinkeljusteringen, till exempel genom en extra stång. En kontroll av plåtar och nitar hade även varit på sin plats då gamla nitar kan ha lossat och helt nya kan behöva läggas till.

Till sist rekommenderas det att någon form av skydd byggs runt de roterande excentervikterna. Detta kan vara bra dels för att skydda människor från att gå in i vikterna och dels för att vikterna inte ska slungas iväg om de lossnar.

6.2 Parametrar

Analysen av testerna ledde till slutsatser angående hur parametrar påverkar andelen över- och underkorn och kapaciteten. Nedan följer rekommendationer utgående från analysen beträffande hur parametrar skall ställas in för att påverka siktars resultat.

Om andelen överkorn är viktig att hålla nere i en process rekommenderas att slag och lutning körs med höga inställningar. Vad gäller frekvensen så inverkar den inte nämnvärt och kan därför köras på valfri inställning. Vid höga inställningar på slag och lutning minskar dock andelen material som passerar genom siktsållet och därmed också kapaciteten att producera material.

Är det däremot viktigt att andelen underkorn är låg rekommenderas att slag, lutning och frekvens körs på en låg inställning. De tre parametrarna har ungefär lika stor effekt på andel underkorn dock visade analysen att slaget påverkar lite mer än de övriga, följt av lutning och sist frekvens. Därför kan det vara klokt att i första hand sänka slaget och vinkel.

För att ställa in sikten så att både en låg andel över- och underkorn fås krävs troligen en kompromiss. Tyvärr så rymdes inte detta inom tidsramen för projekt och lämnas således till senare arbeten inom området.

För att erhålla en hög kapacitet i en sikt rekommenderas att sikten körs med hög inställning på minst två av parametrarna. Dock verkar slaget viktigast och därmed rekommenderas det att slaget i första hand höjs för att få en höjd kapacitet.

För att få en komplett bild av sambanden mellan parametrarna och andelen över- och underkorn rekommenderas att ett fullständigt faktordesign experiment genomförs. Detta skulle också ge möjligheten att säkerställa resultaten från detta projekt. Även flera tester som skulle kunna klarlägga hur man kan hitta de optimala inställningarna för sikten skulle vara intressanta att genomföra, då detta projekt enbart har inriktat sig på att finna enkla samband mellan parametrar och siktars prestation.

En jämförelse mellan projekts resultat och andra modeller över siktar, till exempel Soldinger Stafhammars (2002), hade varit intressant att genomföra och skulle även kunna bekräfta, eller dementera, de samband som har påvisats.

Att utföra samma tester som gjorts i laborationssikten i en fullskalig sikt skulle ge underlag för en intressant jämförelse och därmed en möjlighet att dra slutsatser om hur väl laborationssikten överensstämmer med riktiga siktar. Det skulle alltså ge ett tillfälle att kontrollera om den byggda labbsikten verkligen går att använda istället för att göra tester i fullskala.

6.3 Simuleringar i EDEM

Det som återstår att titta på är hur simuleringarna stämmer överens med verkliga tester och till detta skulle en jämförelse med till exempel laborationssikten vara perfekt. Här kan det vara bra att se på inflödet så att materialet som matas in i sikten i EDEM har ett verklighetstroget beteende. Det är även nödvändigt att studera hur parametrar som studscoefficients och materialval skall ställas in i programmet för att resultatet skall bli tillfredsställande.

För att kunna efterlikna den verkliga storleksfördelningen hos partiklarna, det vill säga en mycket större andel små partiklar än stora, och för att möjliggöra fler simuleringar hade en dedikerad beräkningsdator med högre prestanda varit önskvärd. En högre prestanda skulle även tillåta simulering av en större materialbädd och samtidigt utföra beräkningarna på kortare tid.

Källförteckning

Asker, Carl-Anders, 2008. *Effektiviteten vid siktning med Mogensen Sizer vid olika frekvenser och finsiktning av torkad sand*, Bergsskolan, Filipstad.

Box, Georg E.P., Hunter, J. Stuart, Hunter, William G., 2005. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, USA, Wiley.

Fowler, R. T., Lim S. C., 1959. *The influence of various factors upon the effectiveness of separation of a finely divided solid by a vibrating screen*, London, Pergamon Press Ltd.

Höffl, Karl, 1986. *Zerkleinerungs- und Klassier-maschinen*, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

Lindstedt, Per & Burenius, Jan, 2006. *The Value Model: How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value*, Sverige, Nimba AB.

Mesto Minerals, 2004. *Basics in Minerals Processing*, Finland.

Metso Minerals, 2008. *Crushing and Screening Handbook*, Finland, Kirjapaino Hermes.

Porter, J. B., 1928, Natl. Res. Council, Rept. No. 22., Canada

Soldinger Stafhammar, Monica, 2002. *Screening of Crushed Rock Material*, Ph.D. Thesis. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Internetkällor

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sand_&_gravel_construction/myb1-2006-sandc.pdf, 2006 *Minerals Yearbook: Sand and Gravel, Construction*, 2009-05-20

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/stone_crushed/myb1-2006-stonc.pdf, 2006 *Minerals Yearbook: Stone, Crushed*, 2009-05-20



Appendix A – Pughmatrix

Pughmatrix är en relativ beslutsmatrix som används för att jämföra olika koncept. I matrisen jämförs olika koncept med ett referenskoncept med avseende på olika bedömningsgrunder som är viktiga för produkten. Konzepten betygsätts efter om de är bättre, sämre eller lika bra som den valda referensen. Är de bättre än referensen får de +, är de sämre får de - och om de anses vara lika bra blir betyget 0. Betygen räknas sedan samman till en slutgiltig poäng som rangordnas efter storlek och de koncept med högst poäng utvecklas vidare. Pugh-matrisen brukar också kallas för Pughs metod eller konceptvalsmatrix.

Chalmers	Pughmatrix (Relativ beslutsmatrix):											
Kriterier	Alternativ											
	Ref	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Inverkan på siktkvalitet	0	-	0	+	-	-	-	-	0	+	+	-
Inverkan på siktkapacitet	0	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
Lätt implementering	0	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Kostnad för implementering	0	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Slitage	0	+	+	0	+	+	+	-	+	-	-	-
Antal +		1	4	2	4	4	1	0	3	1	2	1
Antal 0		0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Antal -		4	0	2	1	1	4	5	1	4	3	4
Nettovärde	0	-3	4	0	3	3	-3	-5	2	-3	-1	-3
Rangordning												
Vidareutveckling												
Beslut												

Referens	Slagstorlek
A	Slagform
B	Frekvens
C	Lutning
D	Matningshastighet
E	Matningsmängd
F	Matningsform (form på materialflödet in, t.ex. tät eller utspritt)
G	Matningsriktning
H	Bäddtjocklek
I	Maskstorlek/maskslitning
J	Siktlängd
K	Siktbredd

inräknas, förutom fjädrarna, även styrcylindrarna som håller fjädrarna på plats och träplankor som fjädrarna och där igenom sikten skall stå på.

Sållmodul

Sållmodulen består av ett såll, gjort av plast, ifrån en riktig sikt. Detta fästs till gångjärnen i rammodulen för att vinkeln på sållet skall kunna varieras.

Skyddsmodul

Huvudsyfte att dels skydda från de rörliga delarna dels hålla stenmaterial på rätt plats inne i sikten. Skyddsmodulen består av plåt och plexiglas som fästs på rammodulen. Plexiglaset är till för att tillåta insyn in i sikten.

Tillverkning

För att slippa förlora tid på att testa fram vilka delar som skulle fungera bra så gjordes utvärderingar över diverse olika delar som behövde dimensioneras. En del ingående delar såsom fyrkantsstål till själva huvudramen valdes så att de ansågs överdimensionerade och därmed gjordes ingen dimensionering.

Fjädrar

Att dimensionera fjädrarna ansågs svårt, då kravet på dem inte bara var så enkelt att de skulle klara en viss kraft i axiell led. Kravet på dem var att de skulle vara tillräckligt styva för att kunna hålla upp sikten och inte bottna under körning samtidigt som de inte fick vara så styva att de inte tillät någon rörelse alls. Detta ledde till att det i fjädrarnas fall ansågs enklare att prova fram passande fjädrar. Tillsammans med Maskinfjädrar AB valdes först en fjäder som provades när prototypen var klar. Dessvärre ansågs fjädern för vek och en ny, styvare, fjäder valdes. Dessa fungerade väldigt bra för sikten och fjädervalet ansågs vara klart.

Kullager

Då lasterna som kullagren skulle utsättas för ansågs små och ett optimalt val av kullager inte ansågs nödvändigt och inte speciellt vinstgivande i form av till exempel mycket mindre pris, valdes kullager som skulle klara större laster än vad skulle kunna uppstå i sikten.

Remdrift

För att spara tid och göra det så enkelt som möjligt valdes remdriften tillsammans med Tools Momentum, vilka hade ett datorprogram för att bestämma passande remdrift. Med hjälp av mått från CAD-modellen som till exempel avstånd mellan motoraxel och obalansaxeln dimensionerades remdriften. Den inhandlades även från Tools Momentum.

Motor

Vid valet av motor ansågs effekten vara den viktigaste parametern att dimensionera efter. Motorn skulle ha tillräckligt stor effekt för att klara av att förflytta stenmassorna i sikten. Det enda som kräver en betydande mängd effekt i sikten är stenmassornas friktion mot sikttsållet, det vill säga det motstånd som uppbringas mot den inducerade rörelsen. Inverkan från rullagrens friktion försumrades. Den behövda effekten beräknades vid det fall som antogs kräva mest effekt. Lutningen på siktksållet antogs vara noll grader, vilket gör att all tyngd från stenen trycker på sållet, stenmassan antogs vara 40 kg och friktionskoefficienten antogs vara 0.5. Vidare antogs ett stort slag

med högt varvtal vilket ger en högre hastighet som leder till högre effekt, då effekten beräknas som friktionen gånger hastigheten på vibrationen. Vid ett varvtal motsvarande 25 Hz och med ett slag på 25 mm så ger detta tillsammans med 40 kg sten att det krävs en effekt på ungefär 390 W. En motor som låg på 370 W valdes dels eftersom den gav ekonomiska fördelar med avseende på inköpspris, dels då 370 W ansågs vara tillräckligt nära 390 W då detta värde med all sannolikhet låg i överkant av det som egentligen behövdes. Effekten beräknades enligt följande:

$$P = vmg\mu$$

Där m står för stenens massa, g är gravitationskonstanten, μ för friktionskoefficienten samt v står för hastighet som beräknas enligt

$$v = 2\pi rf$$

Där r är radien på rörelsen, det vill säga halva slaget, och f är frekvensen.

Appendix C – Beräkningar

Här presenteras dimensioneringen av remdriften som gjordes av företaget Tools Momentum.

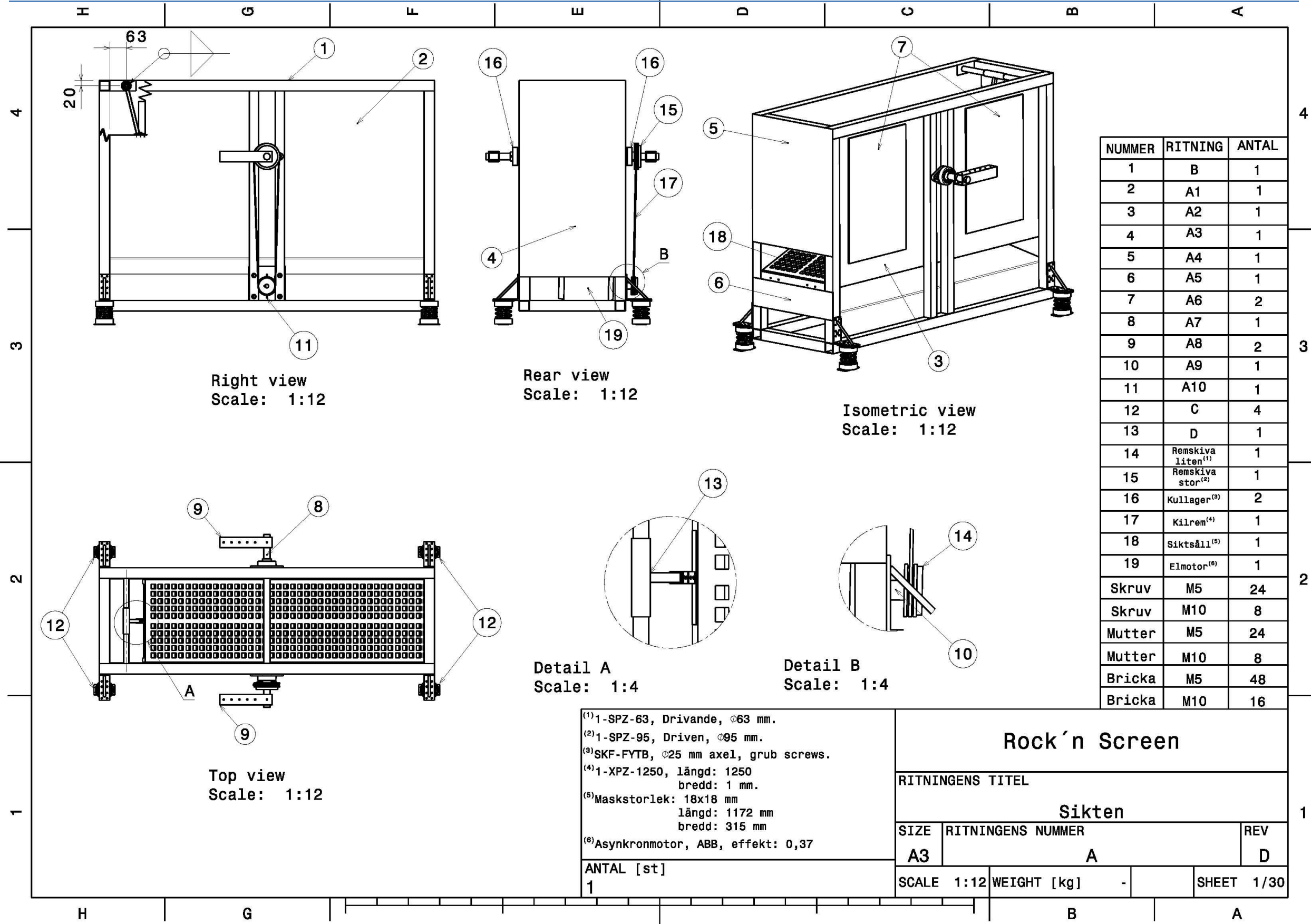


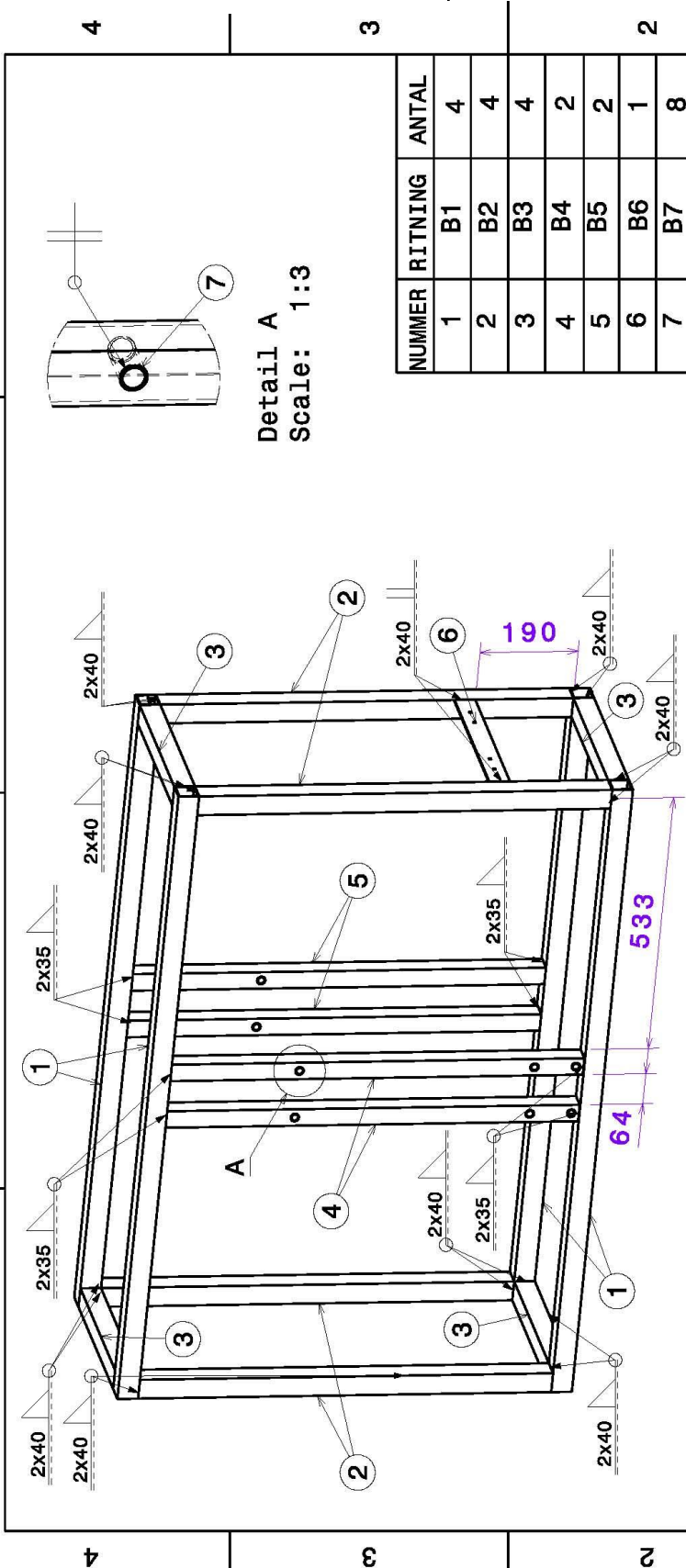
Industriremkonstruktion - Detaljrapport om drivningen

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

Konstruerad för:	Tillhandahålls av: Lennart Kristensson TOOLS Momentum AB Box 6184 von Utfallsgatan 16B GÖTEBORG, Västra Götalands län [SE-14] SE-400 Sverige lennart.kristensson@toolsmomentum.com +46313409932 Telefon +46313409949 Fax		
Användningsom.: Design #1			
INMATNING			
Info. om drivning	Drivande	Driven	
Hastighetsförh.: 1,51 Ned	Känd storlek: 63 Mm Datum	95 Mm Datum	
Motoreffekt: 0,37 kW	RPM: 1500,0	994,7	
Belastningsfakt.: 1,2	Maximal kanthastighet: 33,0 m/s	33,0 m/s	
Konstruktionseff.: 0,44 kW (25000 h)	Kontrollerade bussningar: TL		
Centrumavståndet: 500 Mm +/-10%	Kontrollerade remmar: QuadPower II		
VALD DRIVNING			
Remtyp: QuadPower II - XPZ	Rem	Drivande	Driven
Hastighetsförh.: 1,51 Ned	Del nr: 1-XPZ1250	1 SPZ 63	1 SPZ 95
Driven RPM: 994,7	Produktnr: 9411-01250		
Märkeffekt: 1,62 kW	Toppbredd: --	17,11 Mm	17,11 Mm
Axelbelastn.: 114 N	Vikt: 74 g	0 g	0 g
Centrumavståndet: 500,7 Mm	Kant-/remhastighet: 4,9 m/s	5,3 m/s	5,2 m/s
Monterings/spännomfång: 480,7 Mm till 535,7 Mm	RPM: 237,5	1500,0	994,7
	Bussning del nr: --	1108	1210
	Borrning: --	9 Mm - 28,6 Mm	11 Mm - 32 Mm
	Delningsdiameter: --	63,00 Mm	95,00 Mm
SPÄNNING	Ny rem	Begagnad rem	
Ribb/kardel nedböjningsavstånd: 5,00 Mm	5,00 Mm	5,00 Mm	
Ribb/kardel nedböjningskraft: 6 N	6 N	5 till 6 N	
Ljudspänningsmätare			
Remfrekvens: 39 till 40 Hz	36 till 37 Hz		
505C/507C Modell LPM-inställningar: Vikt: 51,33 g/m, Bredd: 1 mm/#R, Spännvidd: 500 mm			
ANTECKNINGAR			
- Drivningen är överdimensionerad och verkningsgraden kan reduceras.			
- Design Flex Pro Drive Solutions förutsätter att Gates produkter används. Resultaten från beräkningarna kan inte användas för icke Gates produkter.			
- Gates produkter är inte avsedda för bruk i någon applikation där fel på produkten kan orsaka skada eller dödsfall. Detta inkluderar till exempel användning i flygplan, propeller eller rotordrivna system eller andra luftburna applikationer			

Appendix D – Ritningar





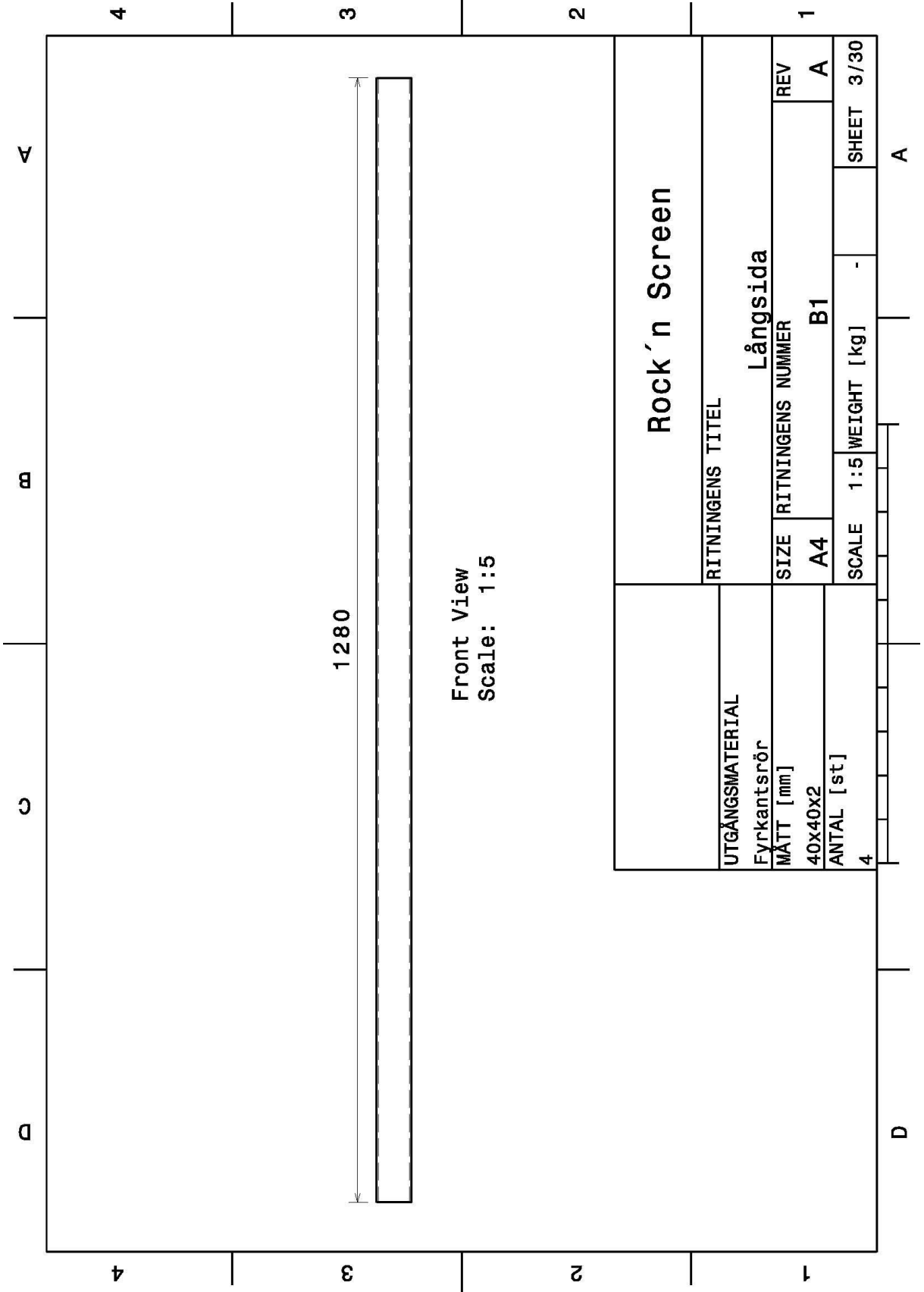
NUMMER	RITNING	ANTAL
1	B1	4
2	B2	4
3	B3	4
4	B4	2
5	B5	2
6	B6	1
7	B7	8

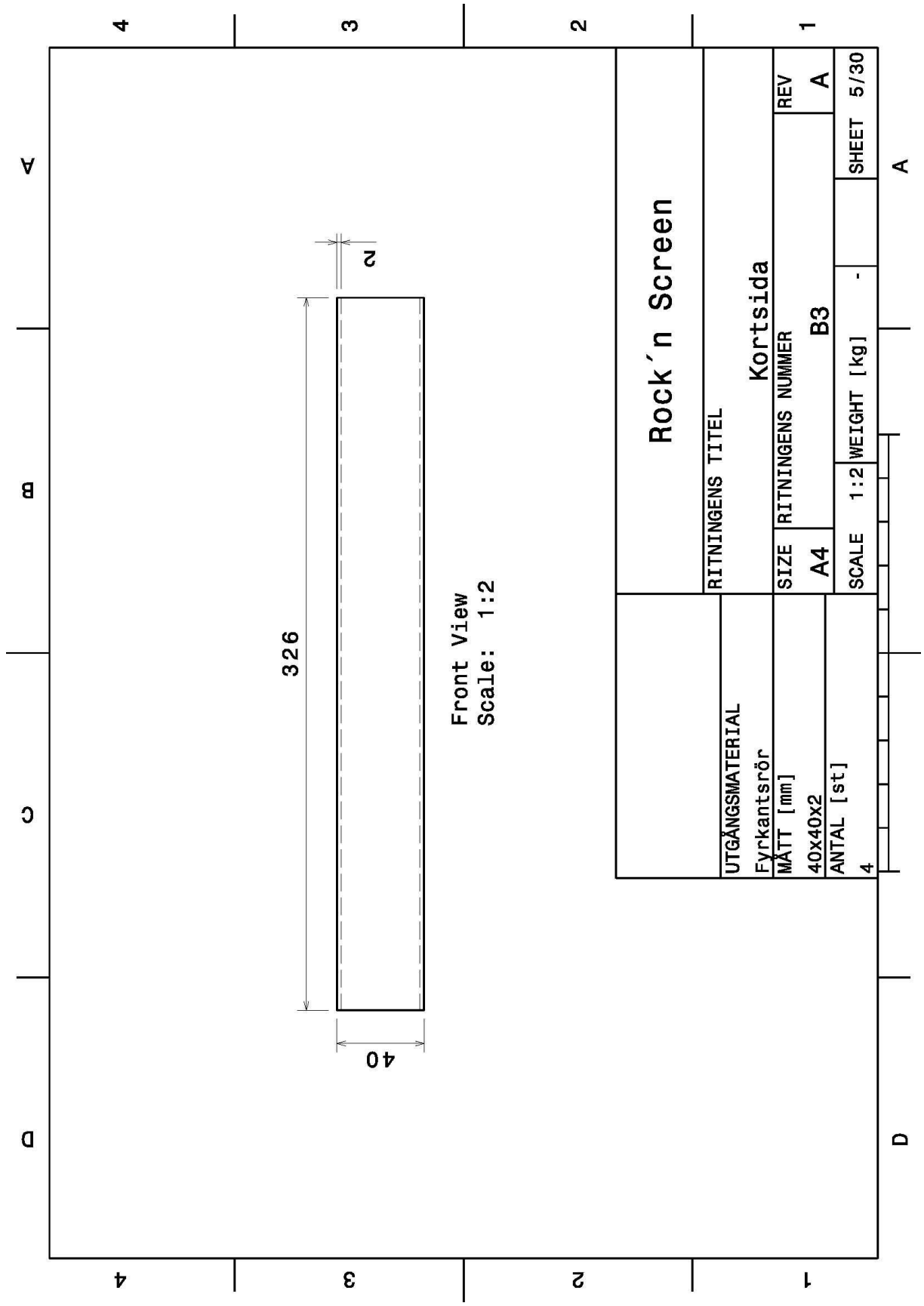
Rock'n Screen

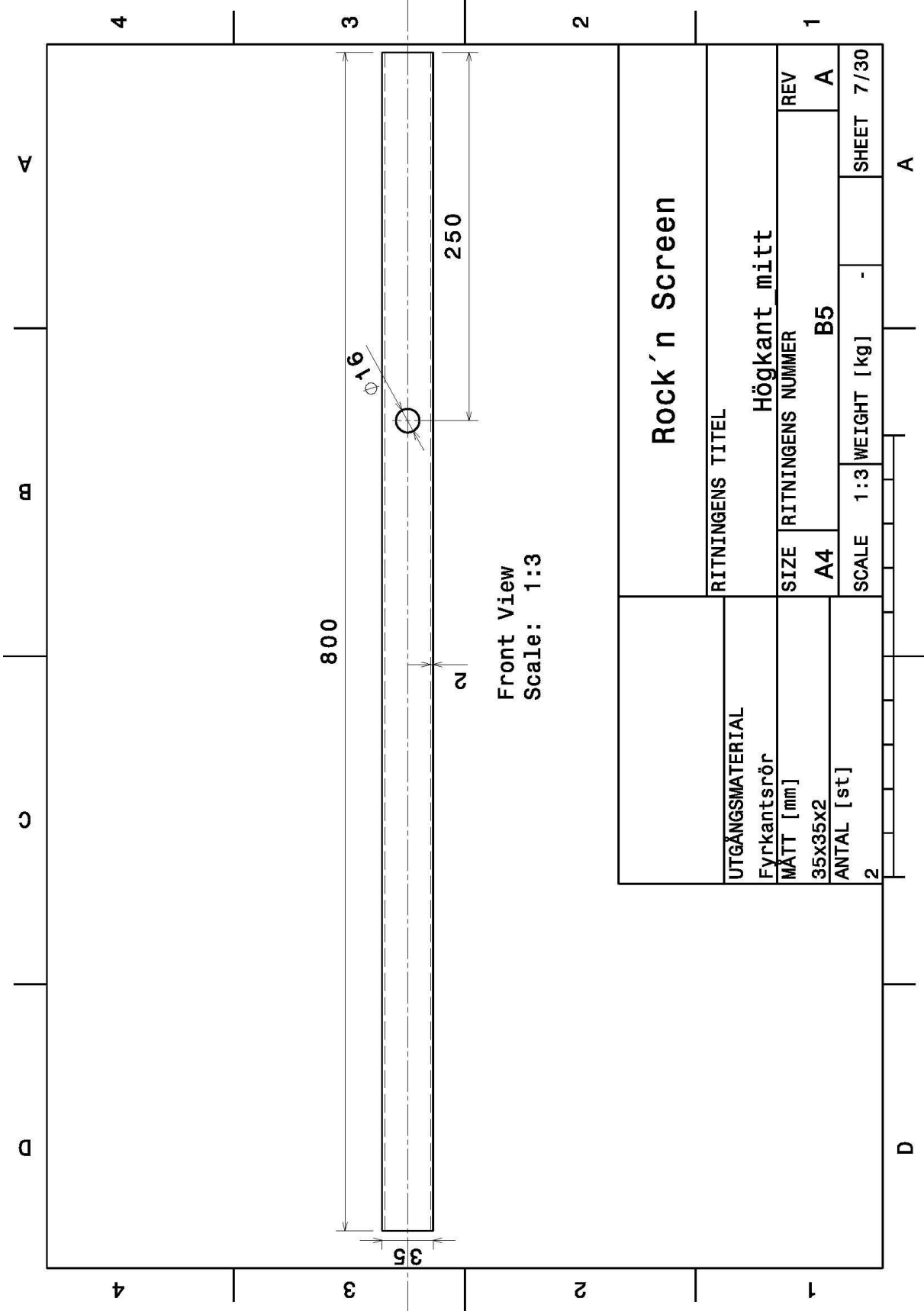
RITNINGENS TITEL
Chassi

SIZE	RITNINGENS NUMBER	REV
A4	B	A

SCALE 1:10 WEIGHT [kg] - SHEET 2/30



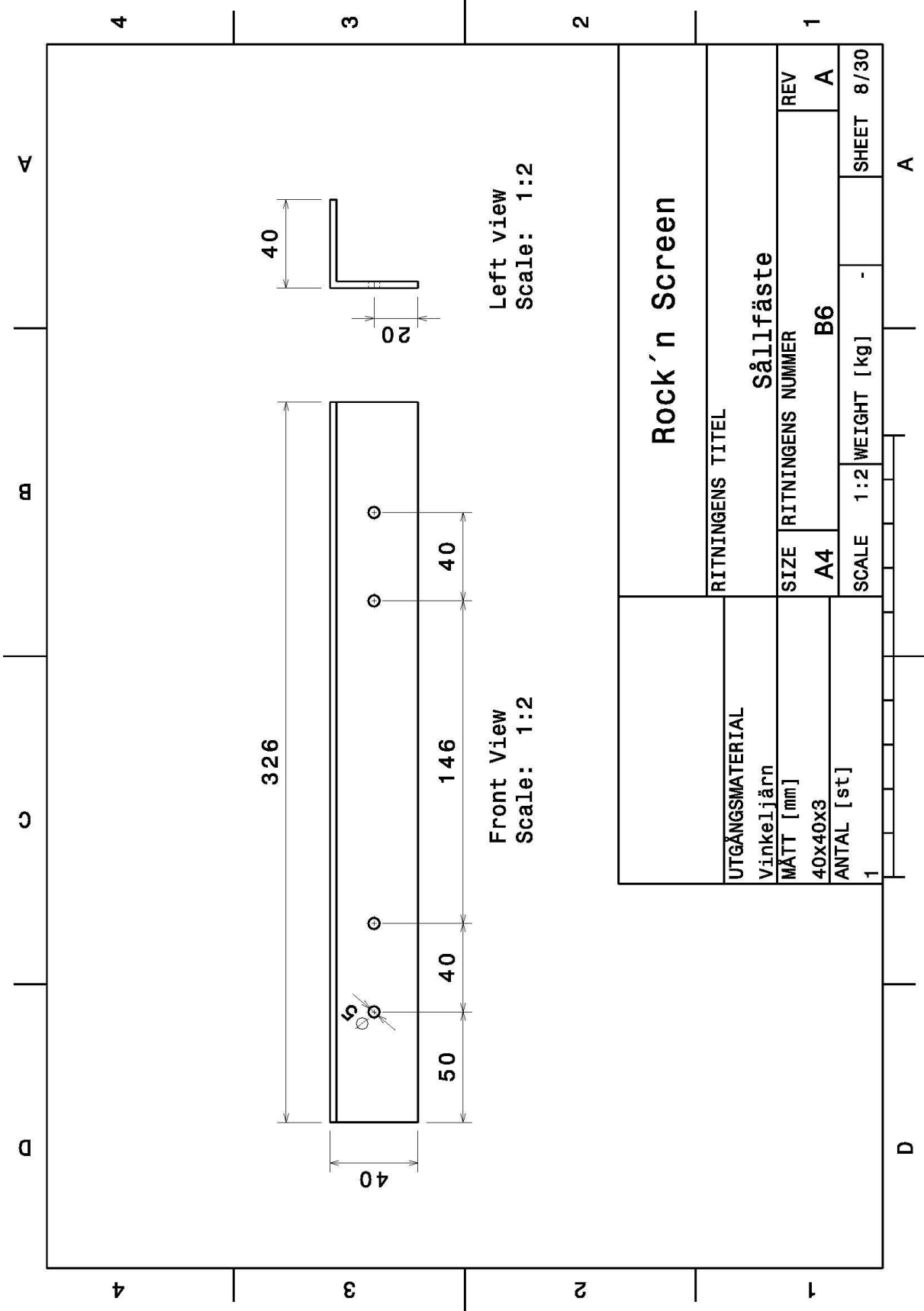


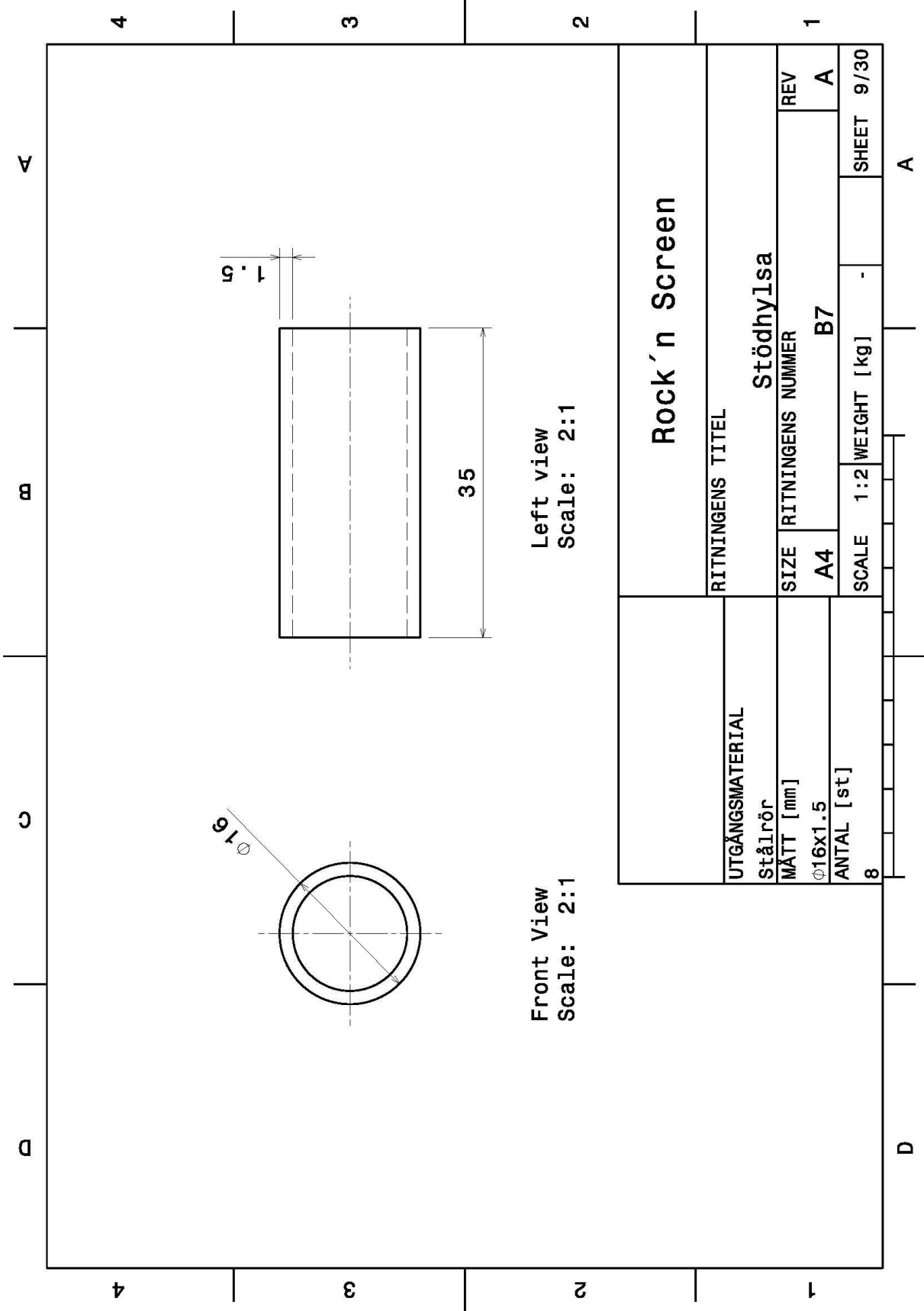


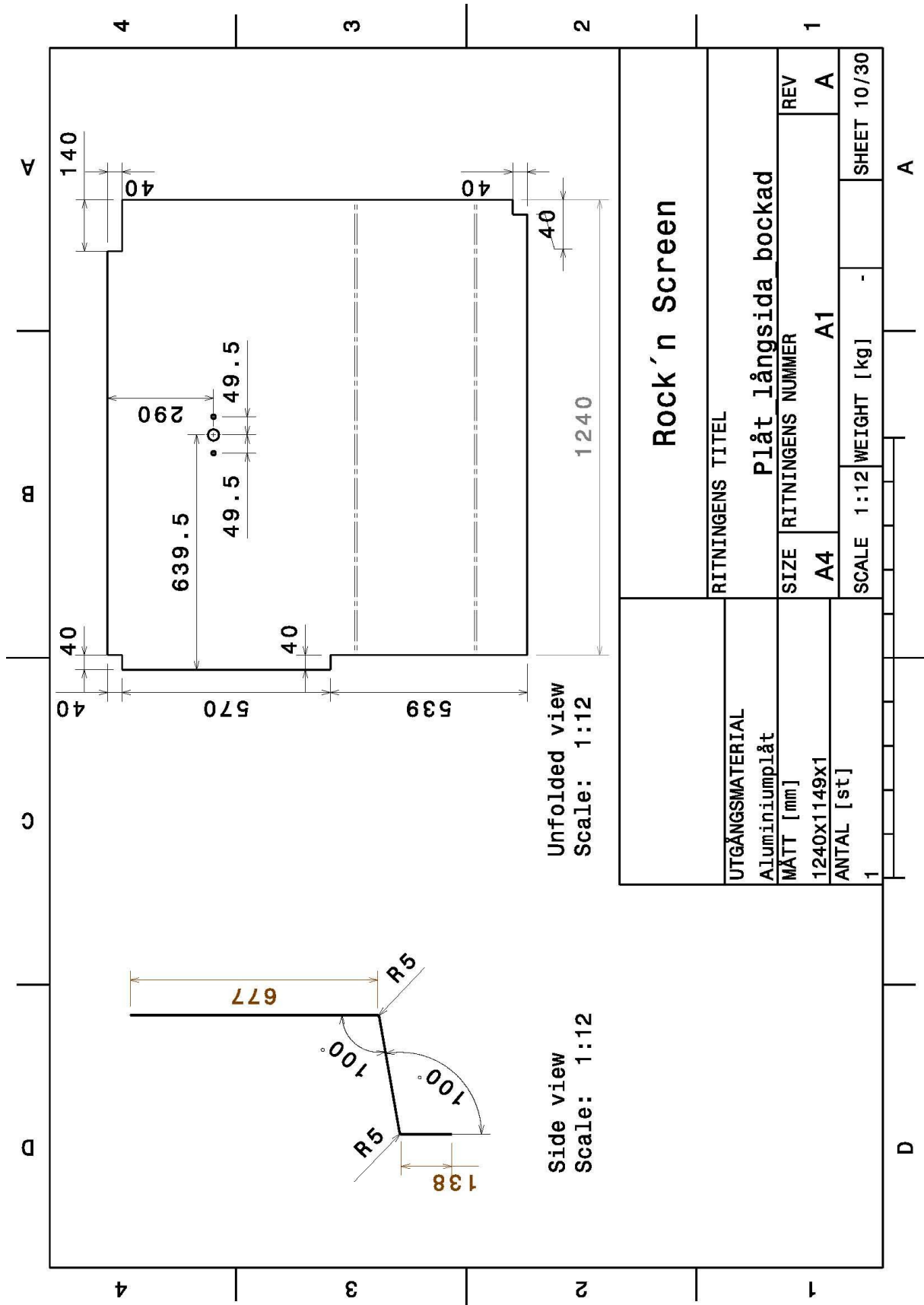
Front View
Scale: 1:3

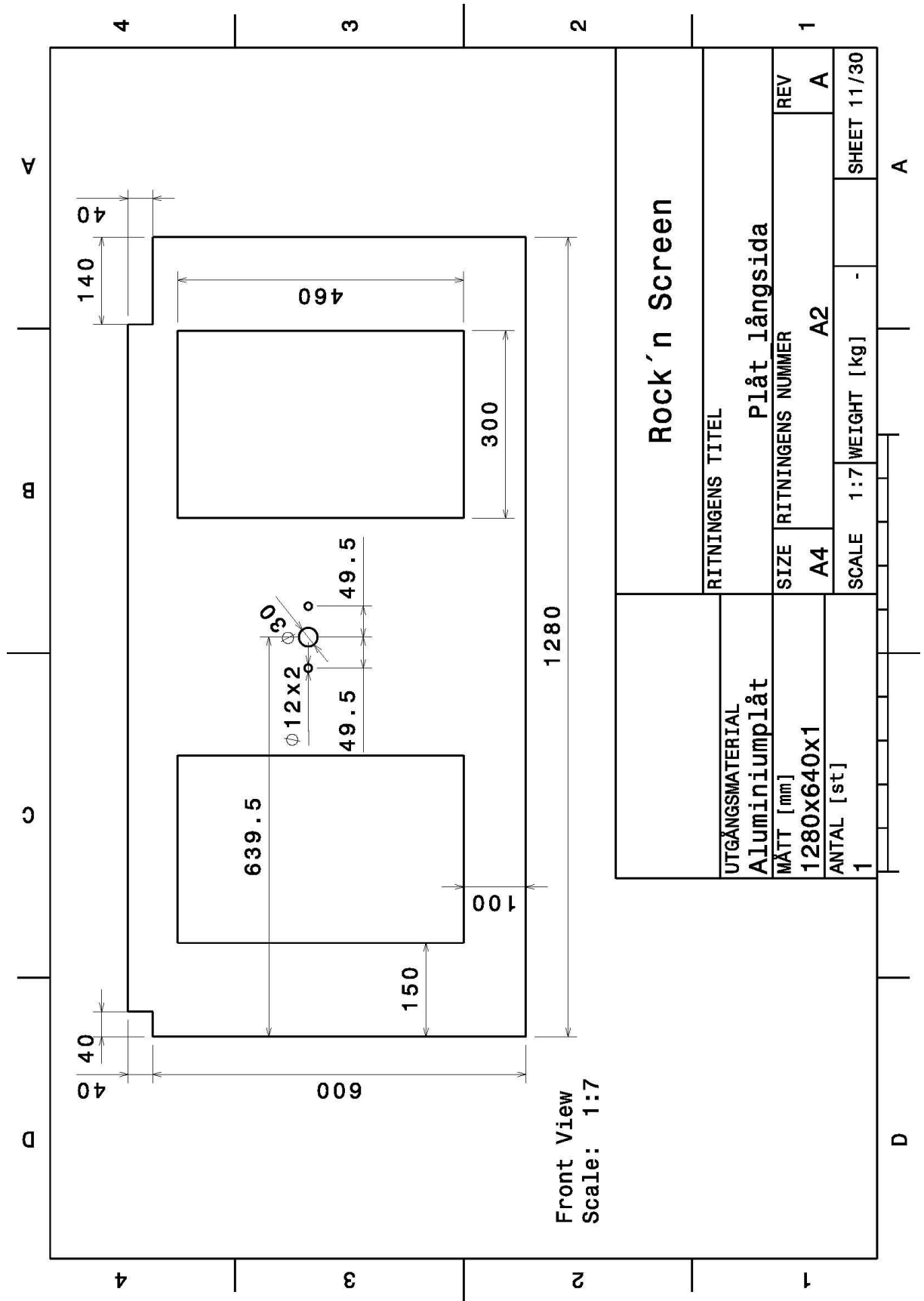
RITNINGENS TITEL		Högkant mitt		REV	A
		SIZE	RITNINGENS NUMBER		B5
UTGÅNGSMATERIAL	Fyrkantströr	MÅTT [mm]	35x35x2	ANTAL [st]	2
SCALE		1:3	WEIGHT [kg]	-	SHEET 7/30

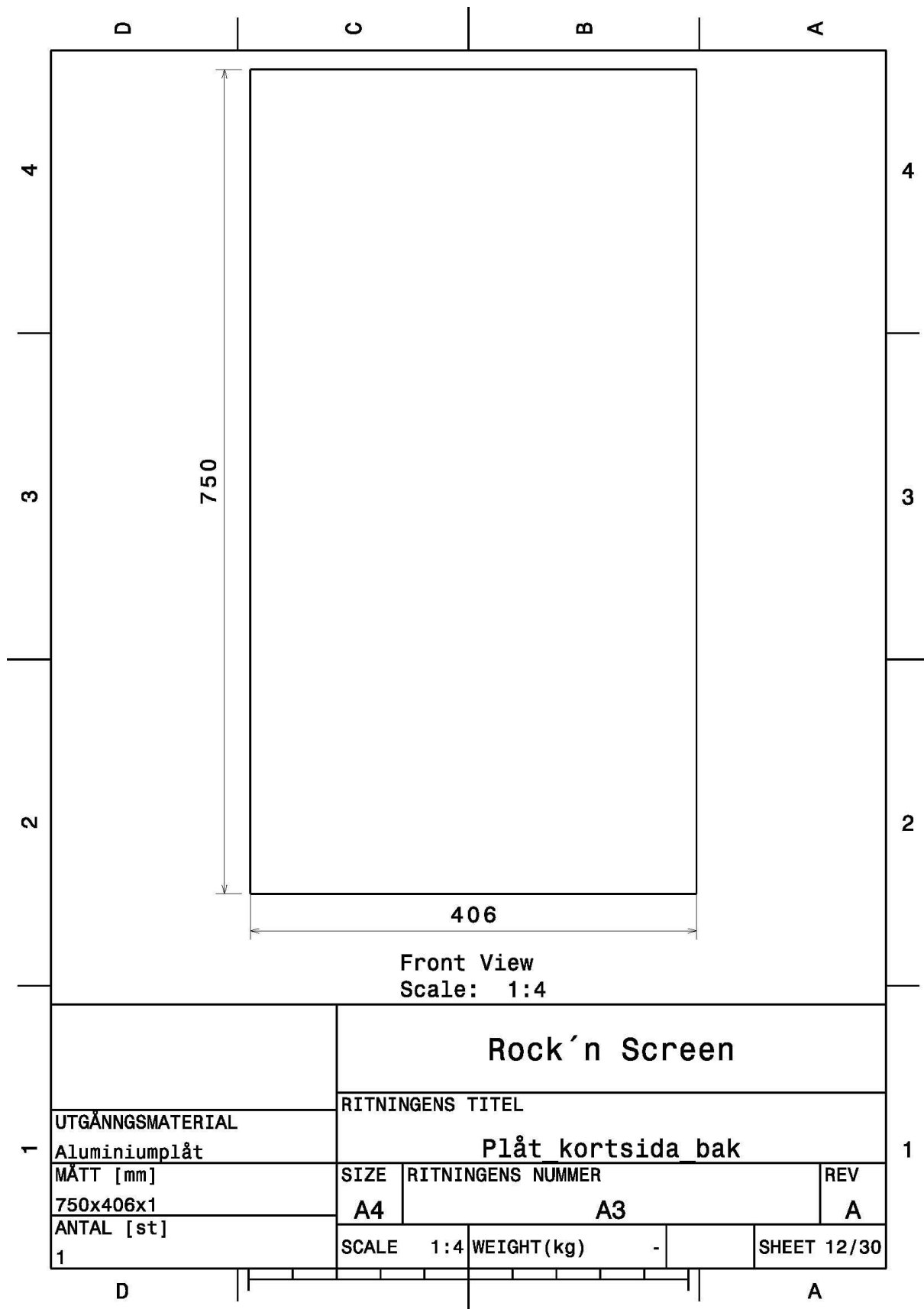
Rock'n Screen

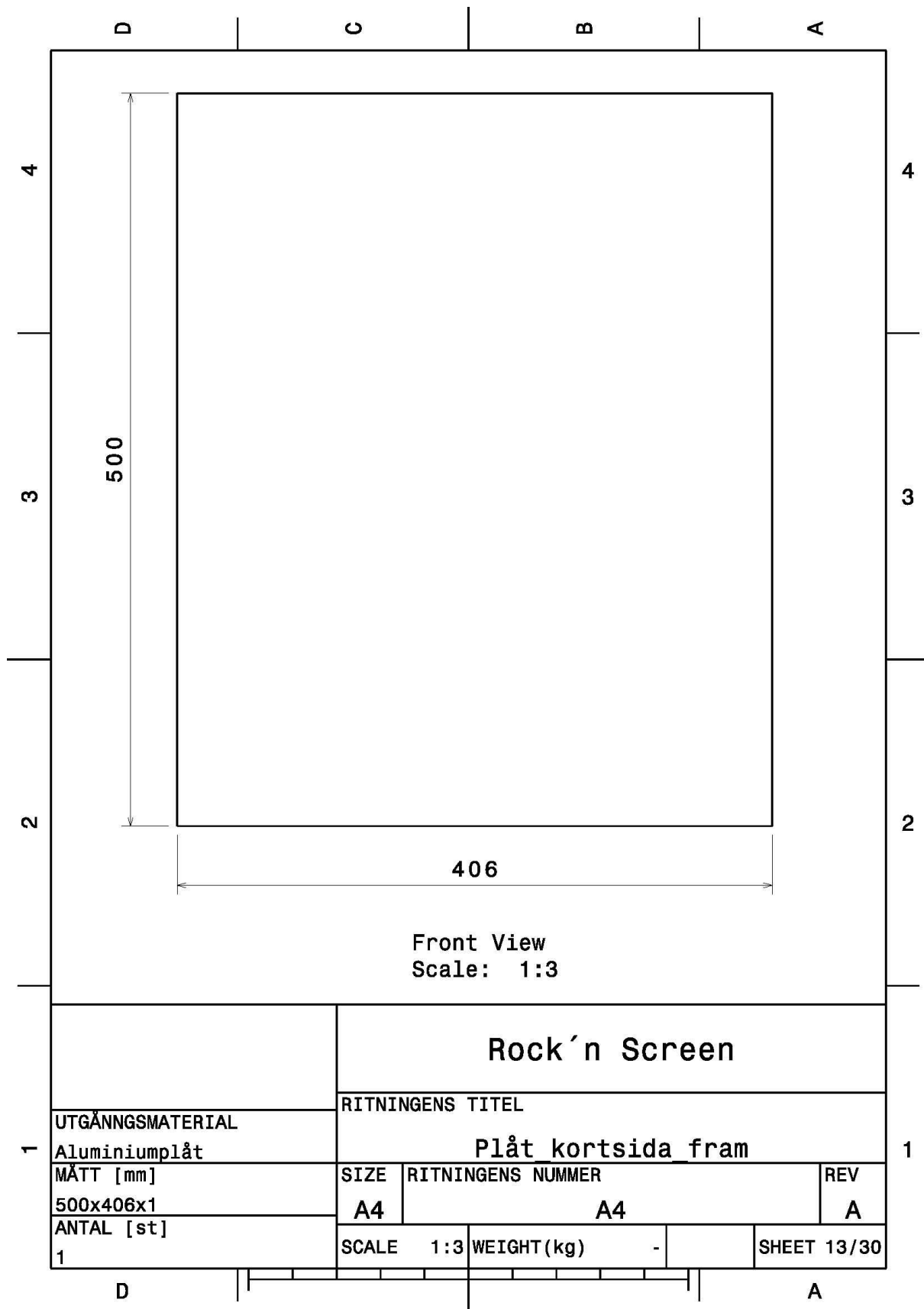


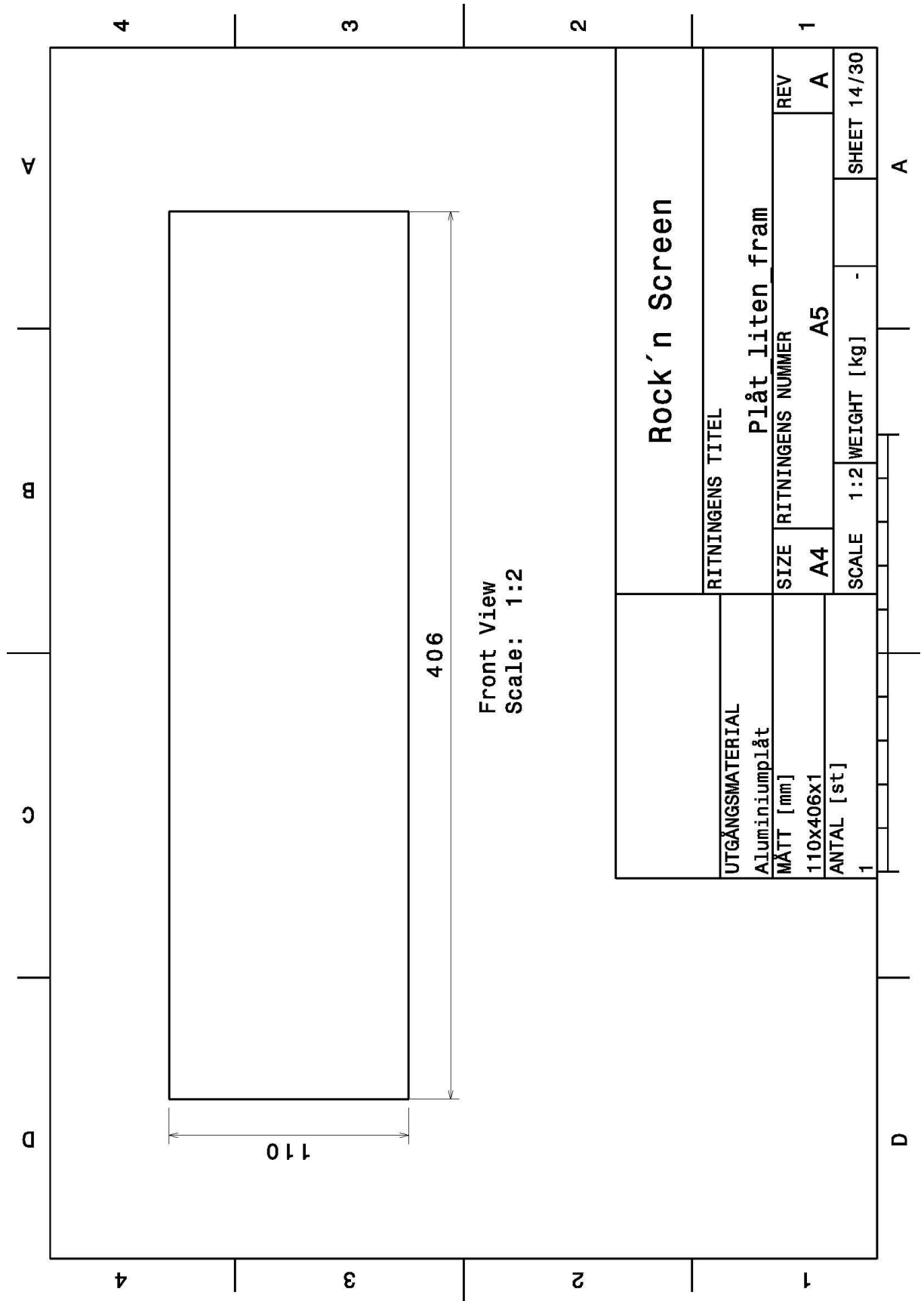


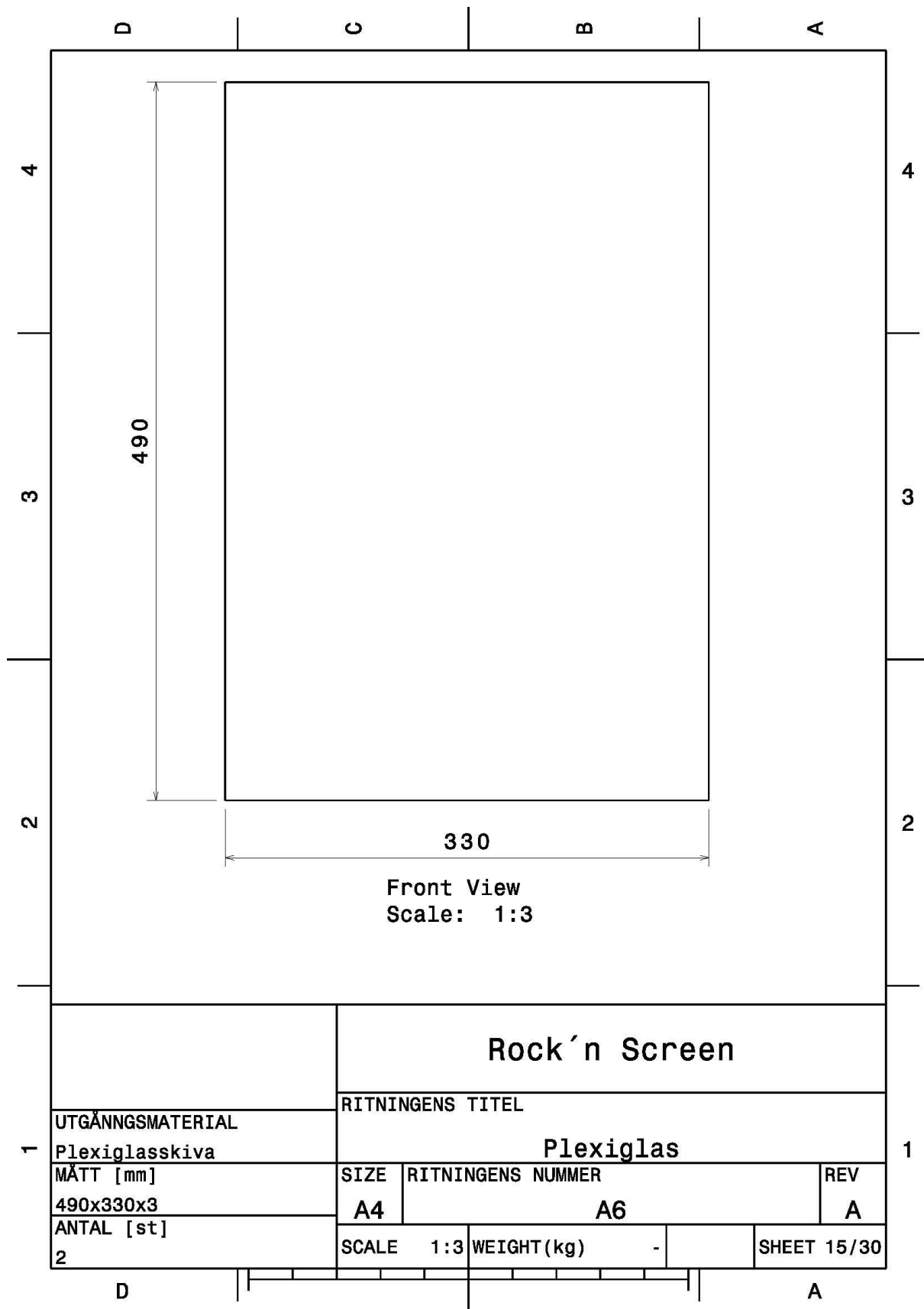


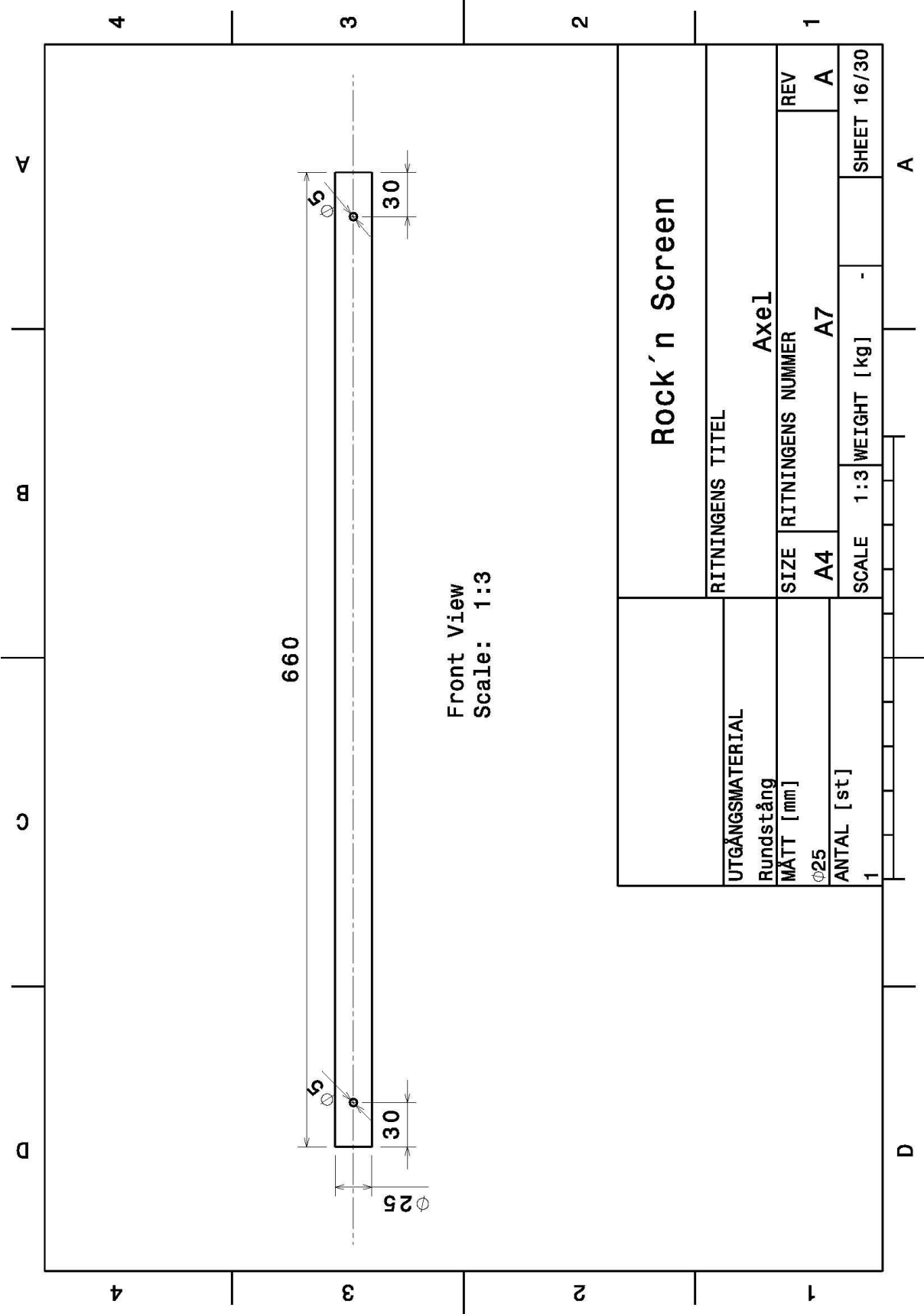








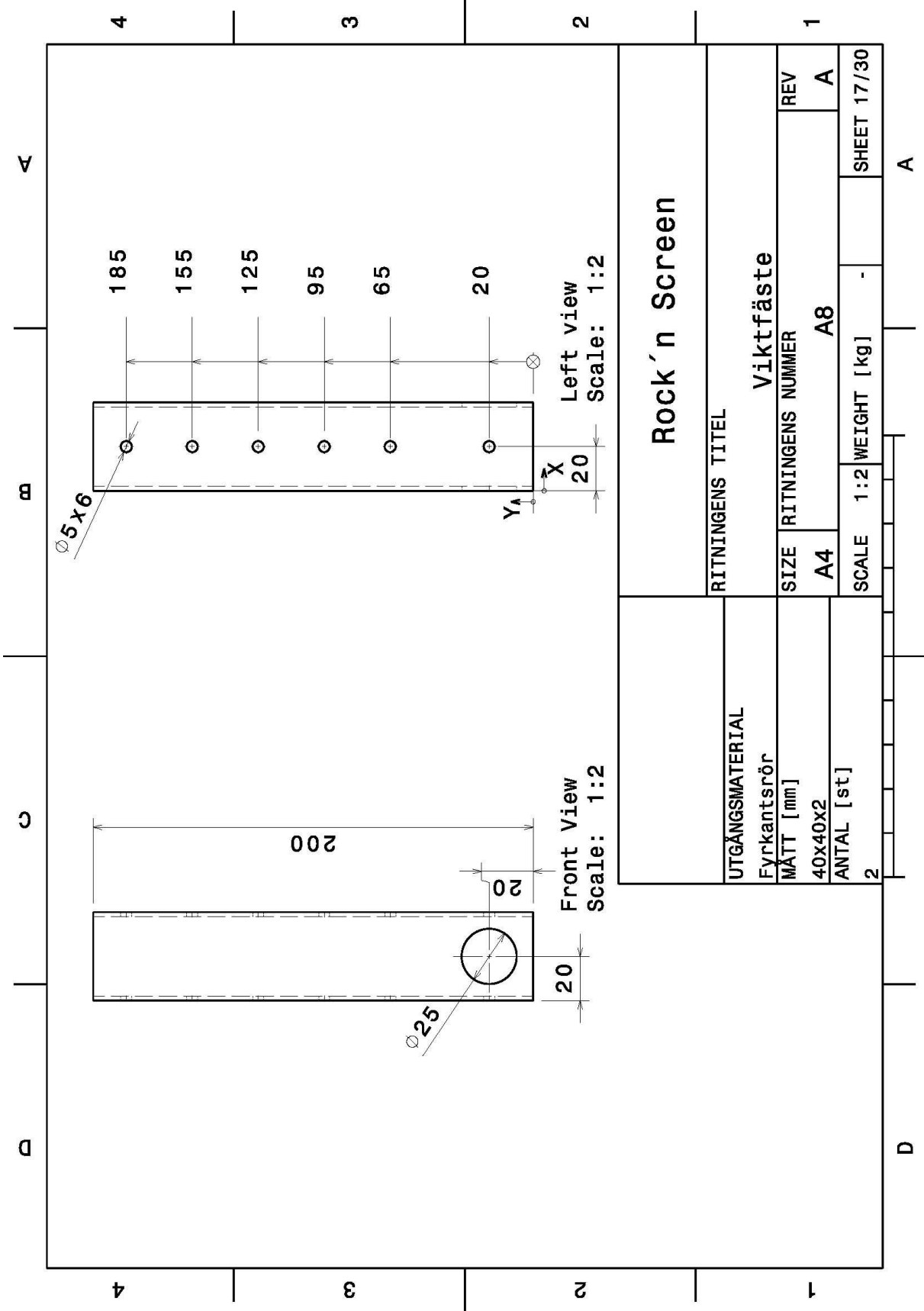


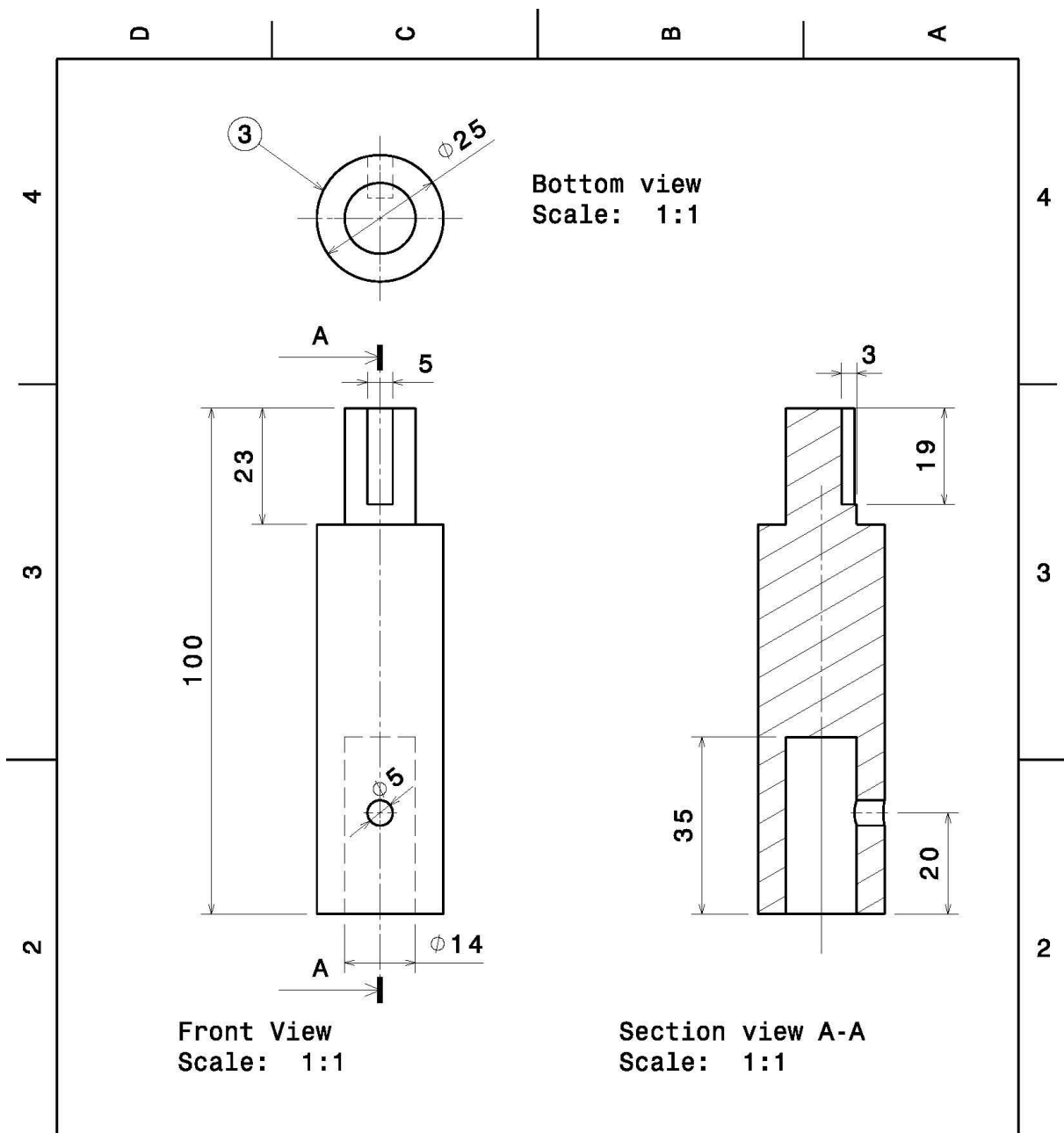


Front View
Scale: 1:3

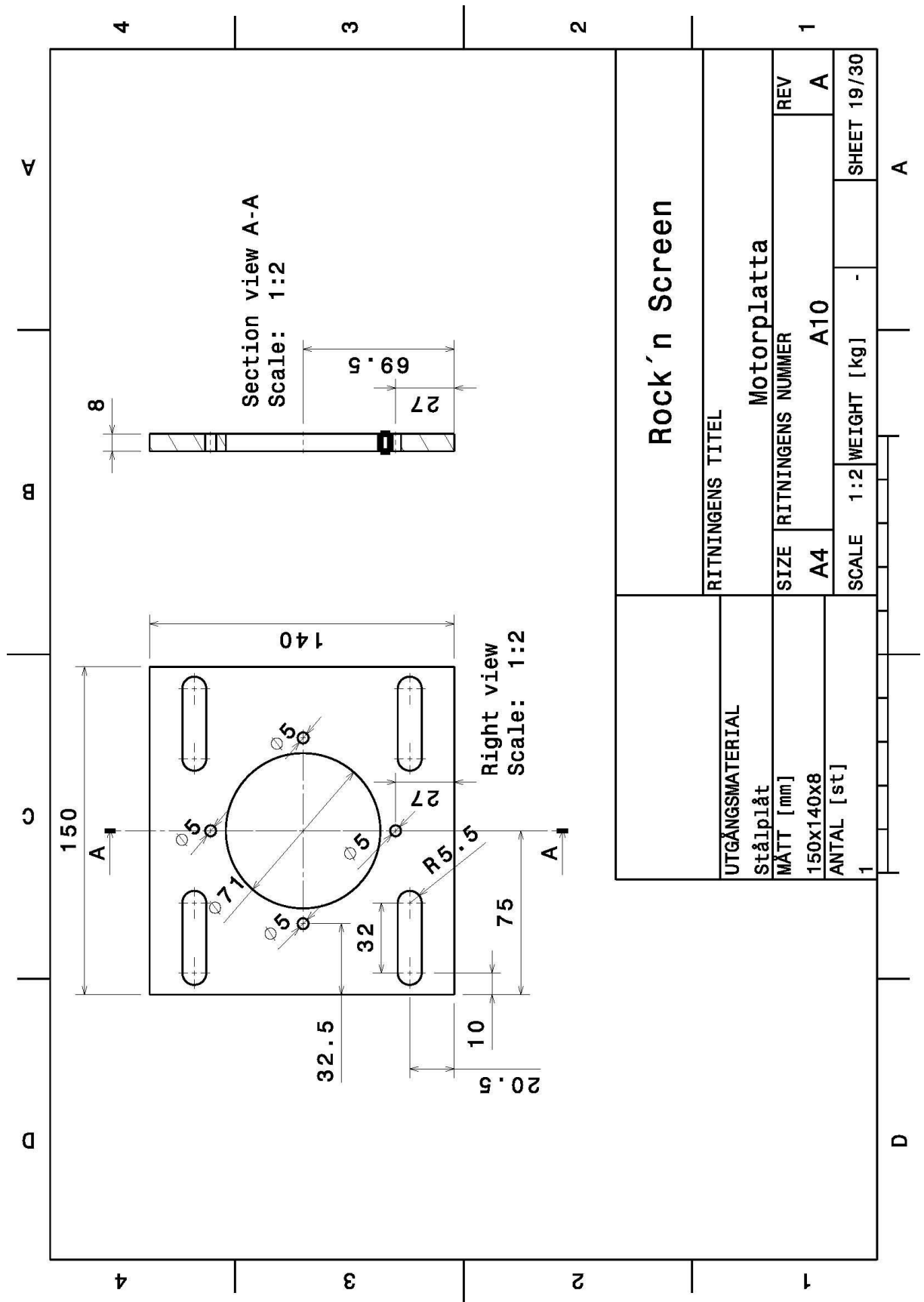
Rock'n Screen

RITNINGENS TITEL		Axel	
UTGÅNGSMATERIAL	Rundstång	SIZE	RITNINGENS NUMMER
MÅTT [mm]	Ø25	A4	A7
ANTAL [st]	1	SCALE	1:3 WEIGHT [kg]
			-
			SHEET 16/30

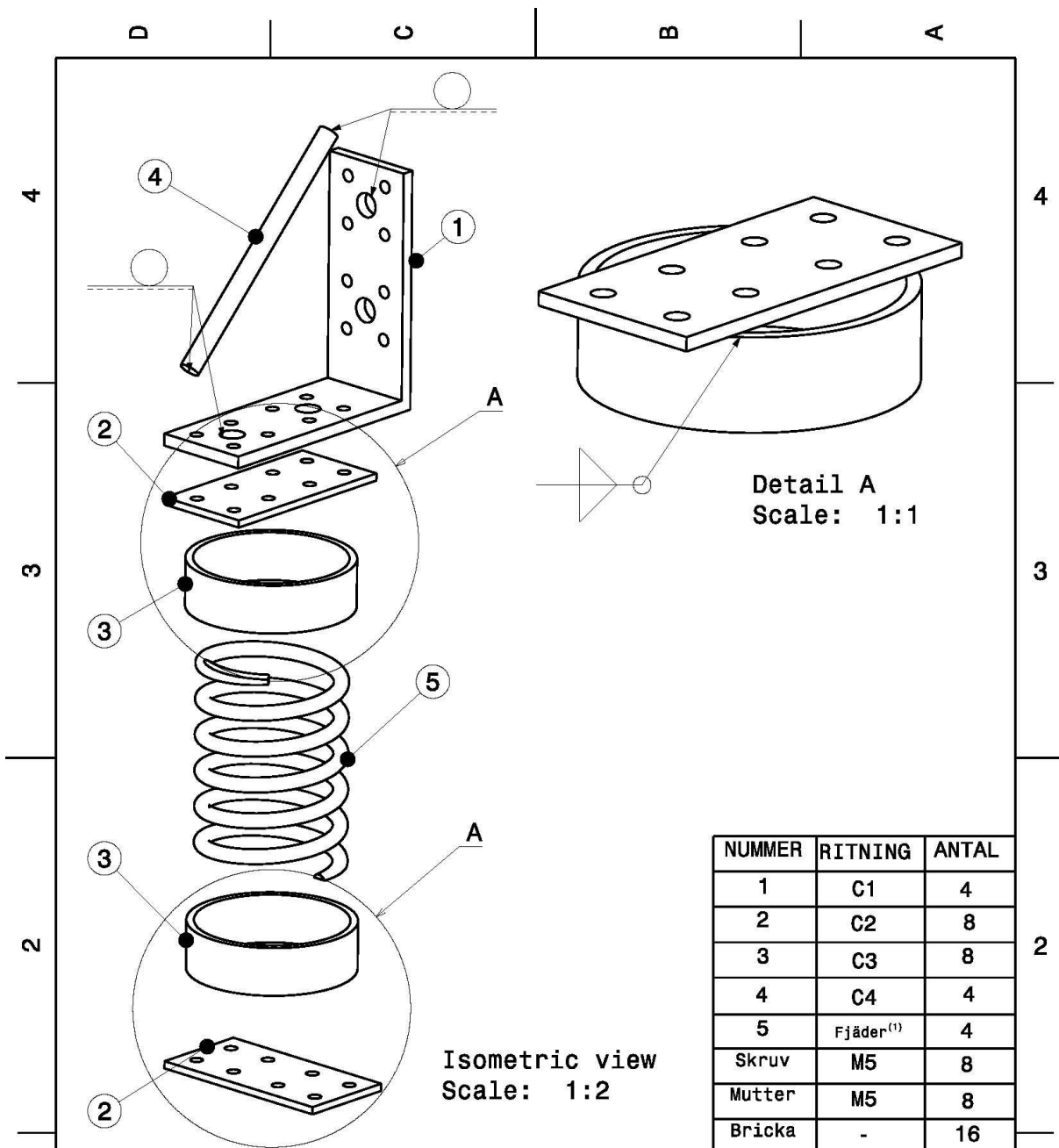




		Rock'n Screen		
		RITNINGENS TITEL		
1	UTGÄNNINGSMATERIAL	Axelkoppling		
	Rundstång	SIZE	RITNINGENS NUMMER	REV
	MÅTT [mm]	A4	A9	A
	ANTAL [st]	SCALE	WEIGHT (kg)	SHEET
	1	1:1	-	18/30



RITNINGENS TITEL		Rock'n Screen	
		Motorplatta	
UTGÅNGSMATERIAL	Stålpålat	SIZE	RITNINGENS NUMBER
MÅTT [mm]	150x140x8	A4	A10
ANTAL [st]	1	SCALE	1:2 WEIGHT [kg]
			-
			SHEET 19/30



Detail A
Scale: 1:1

Isometric view
Scale: 1:2

NUMMER	RITNING	ANTAL
1	C1	4
2	C2	8
3	C3	8
4	C4	4
5	Fjäder ⁽¹⁾	4
Skruv	M5	8
Mutter	M5	8
Bricka	-	16

⁽¹⁾Tryckfjäder NPÅ
6x55idx88x5.75nt
Material: EN 10270-1-SH

Rock'n Screen

UTGÅNGSMATERIAL
-

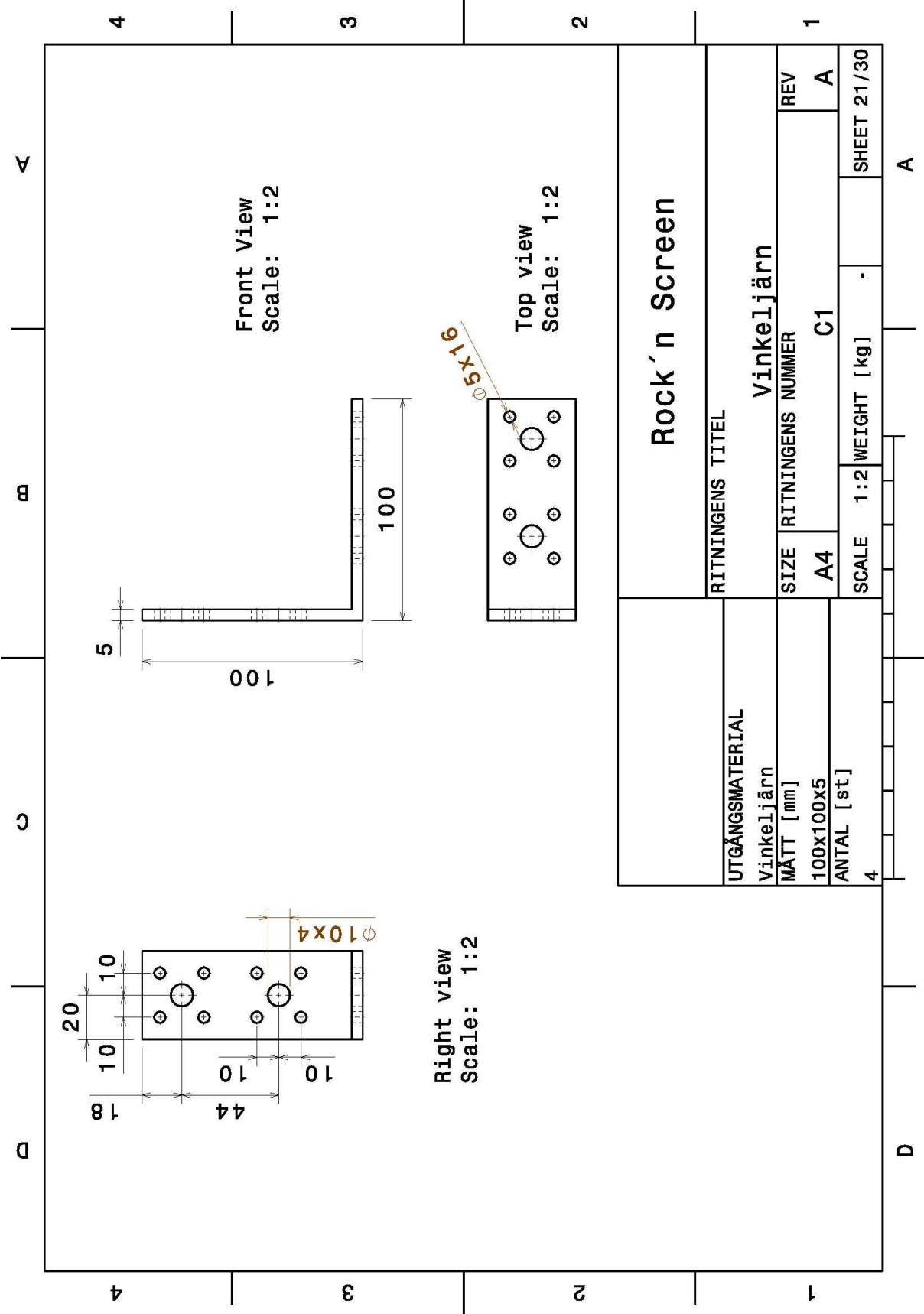
RITNINGENS TITEL
Fjäderfäste

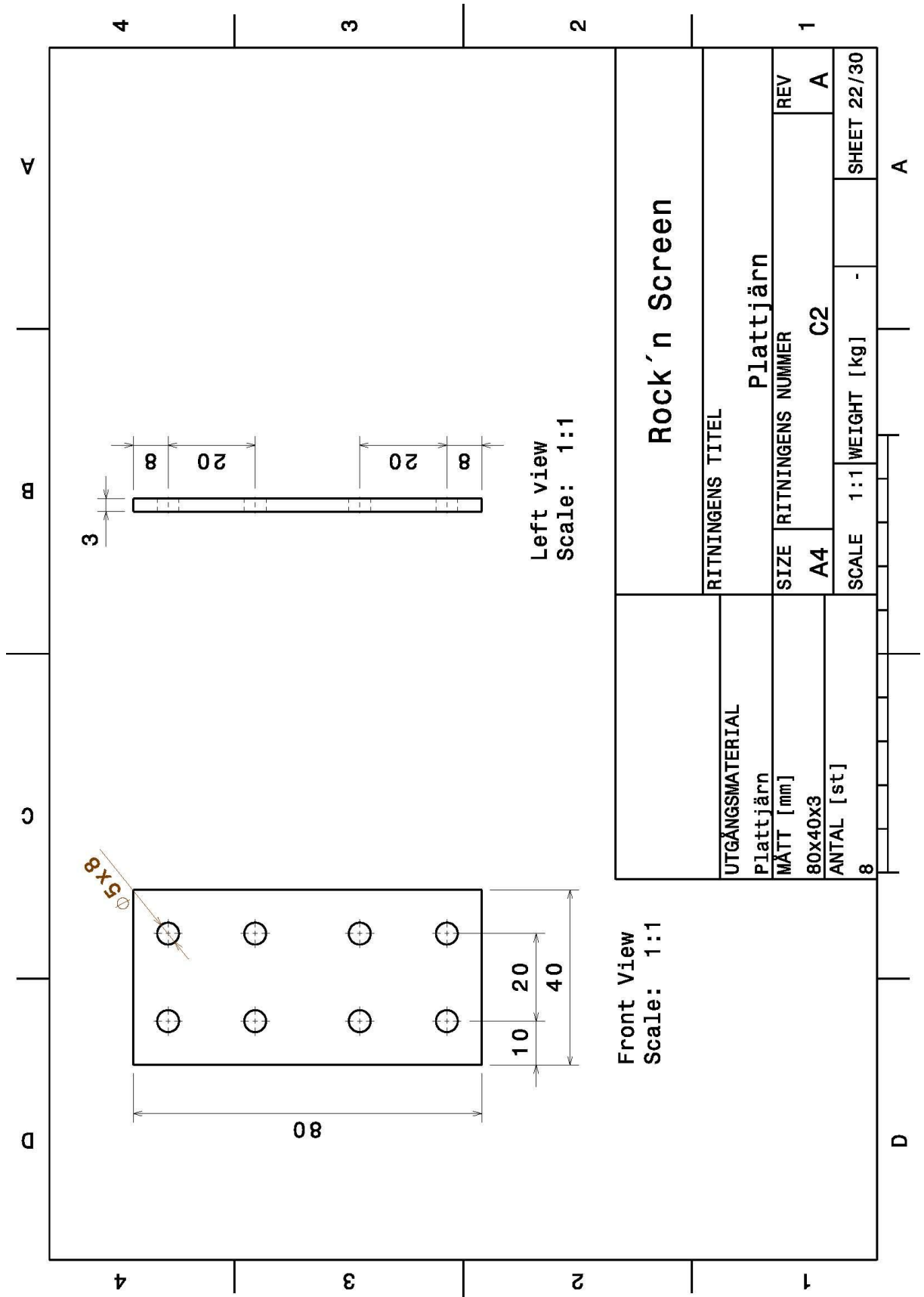
MÅTT [mm]
-

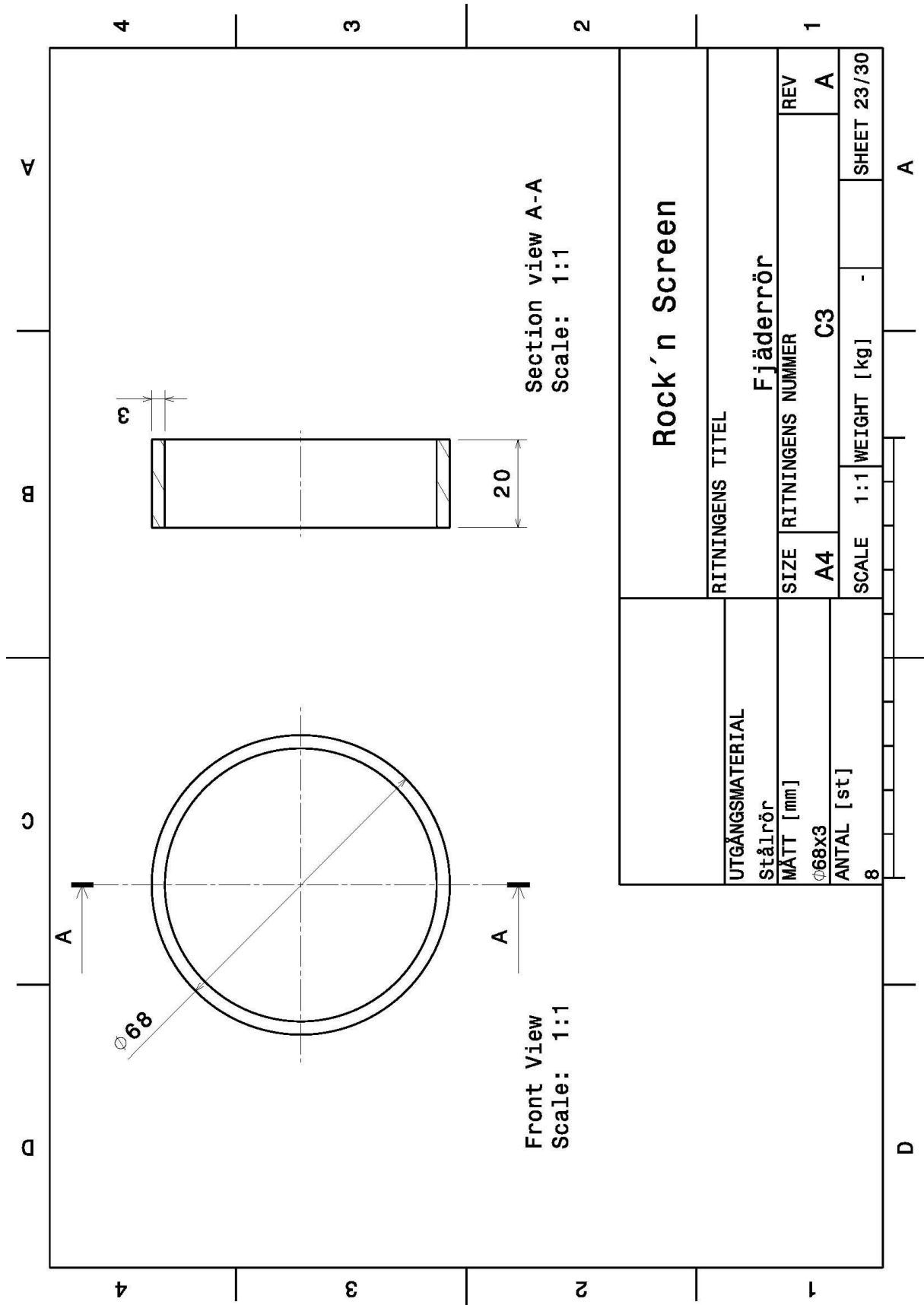
SIZE	RITNINGENS NUMMER	REV
A4	C	A

ANTAL [st]
4

SCALE	1:2	WEIGHT(kg)	-	SHEET	20/30
-------	-----	------------	---	-------	-------

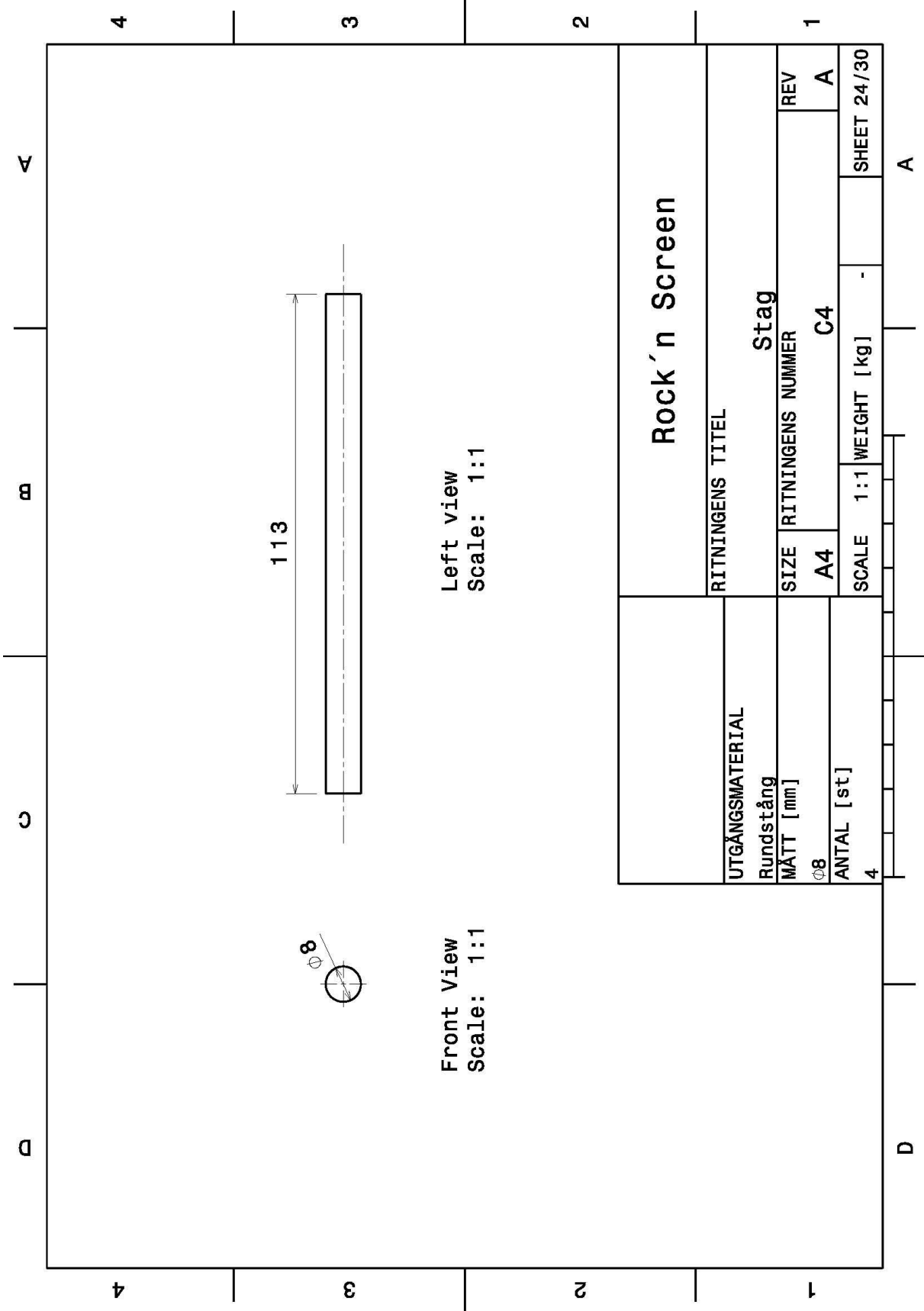


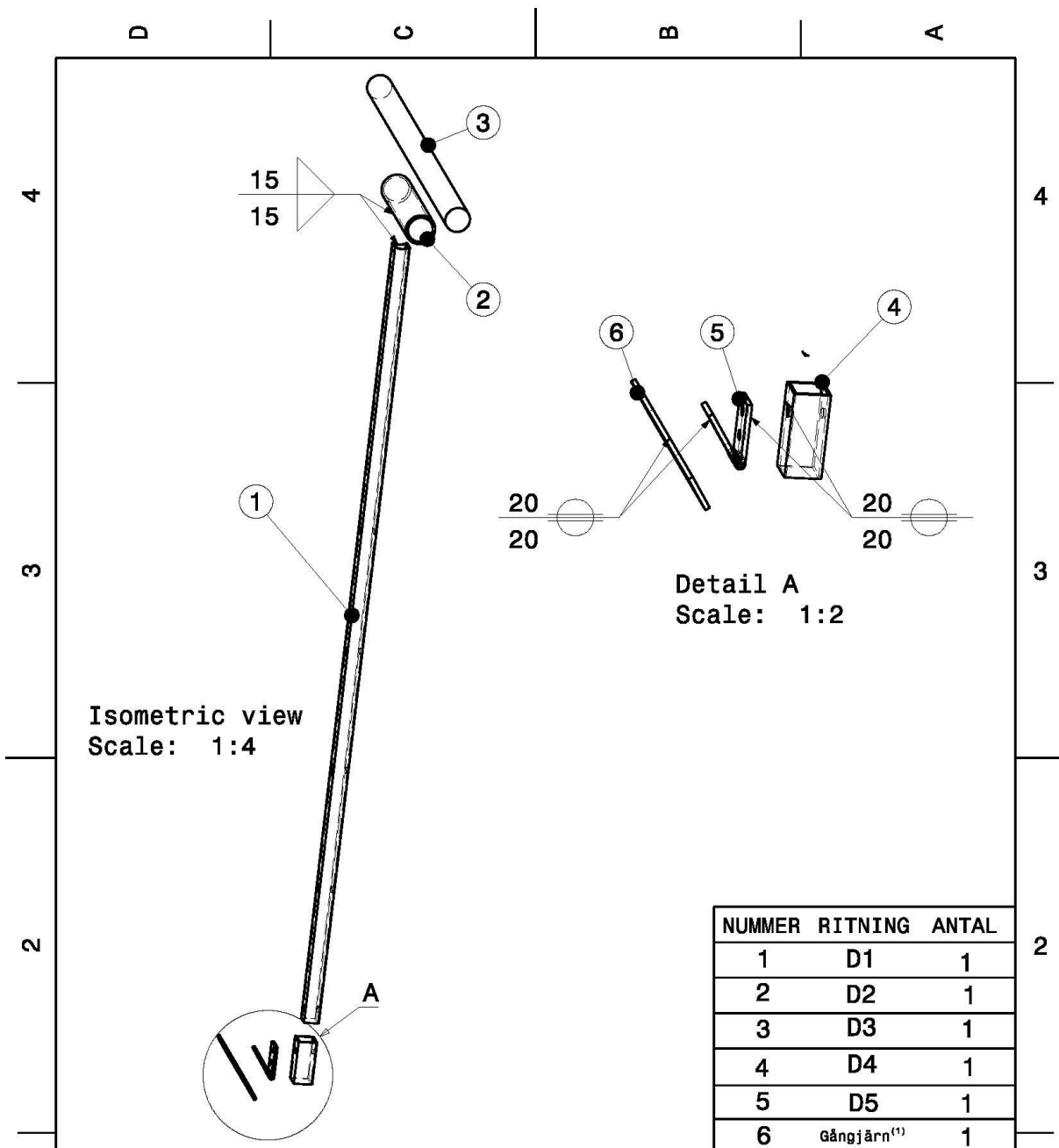




Rock'n Screen

RITNINGENS TITEL		Fjädrerör		REV	A
UTGÅNGSMATERIAL	Stålrör	SIZE	RITNINGENS NUMBER	C3	
MÅTT [mm]	Ø68x3	A4	A		
ANTAL [st]	8	SCALE	1:1	WEIGHT [kg]	-
					SHEET 23/30





NUMMER	RITNING	ANTAL
1	D1	1
2	D2	1
3	D3	1
4	D4	1
5	D5	1
6	Gångjärn ⁽¹⁾	1

⁽¹⁾Gångjärn bredd: 15 mm
Längd: 23 mm

Rock'n Screen

RITNINGENS TITEL
Vinkeljustering

UTGÄNNGSMATERIAL

-

MÅTT [mm]

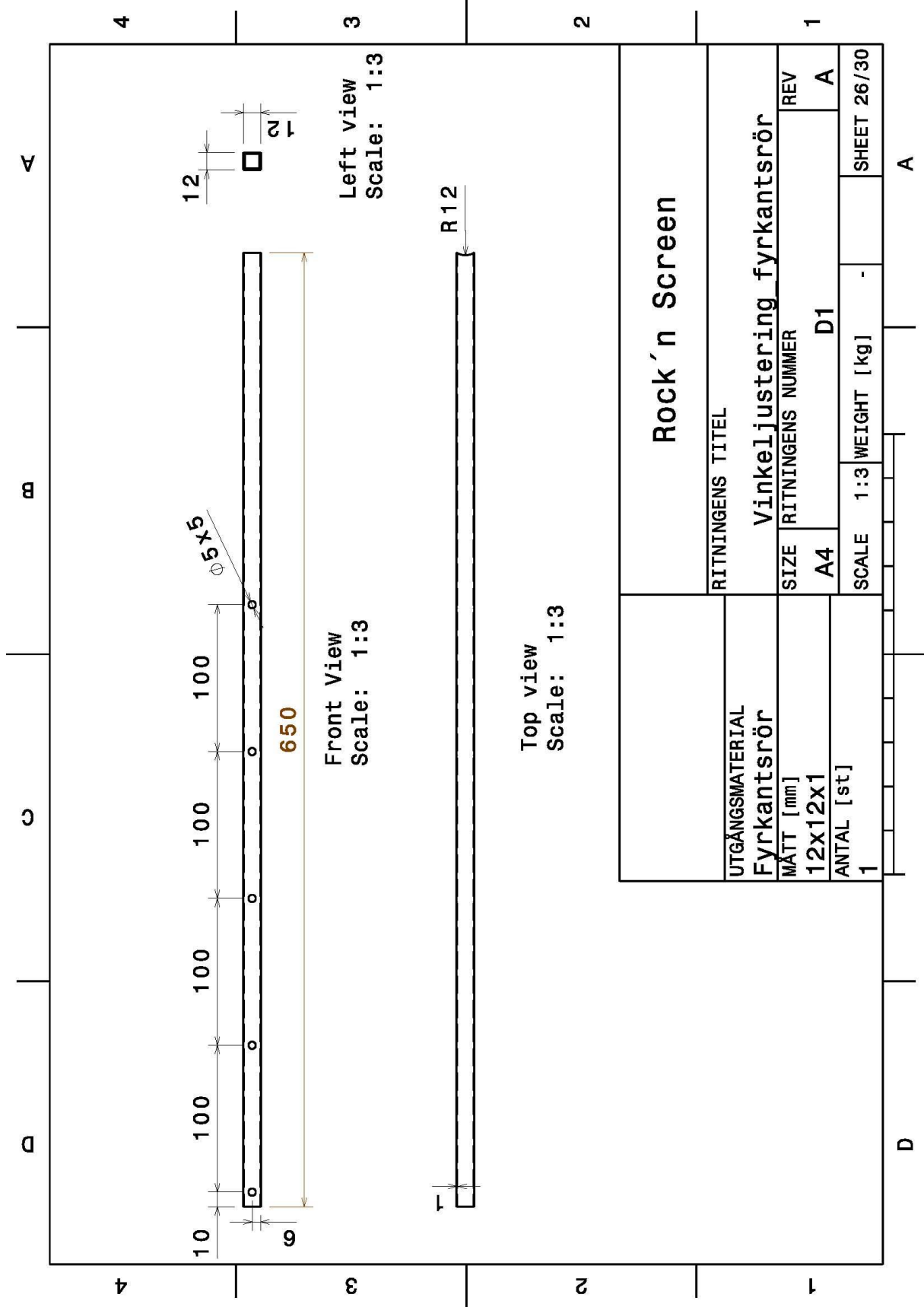
-

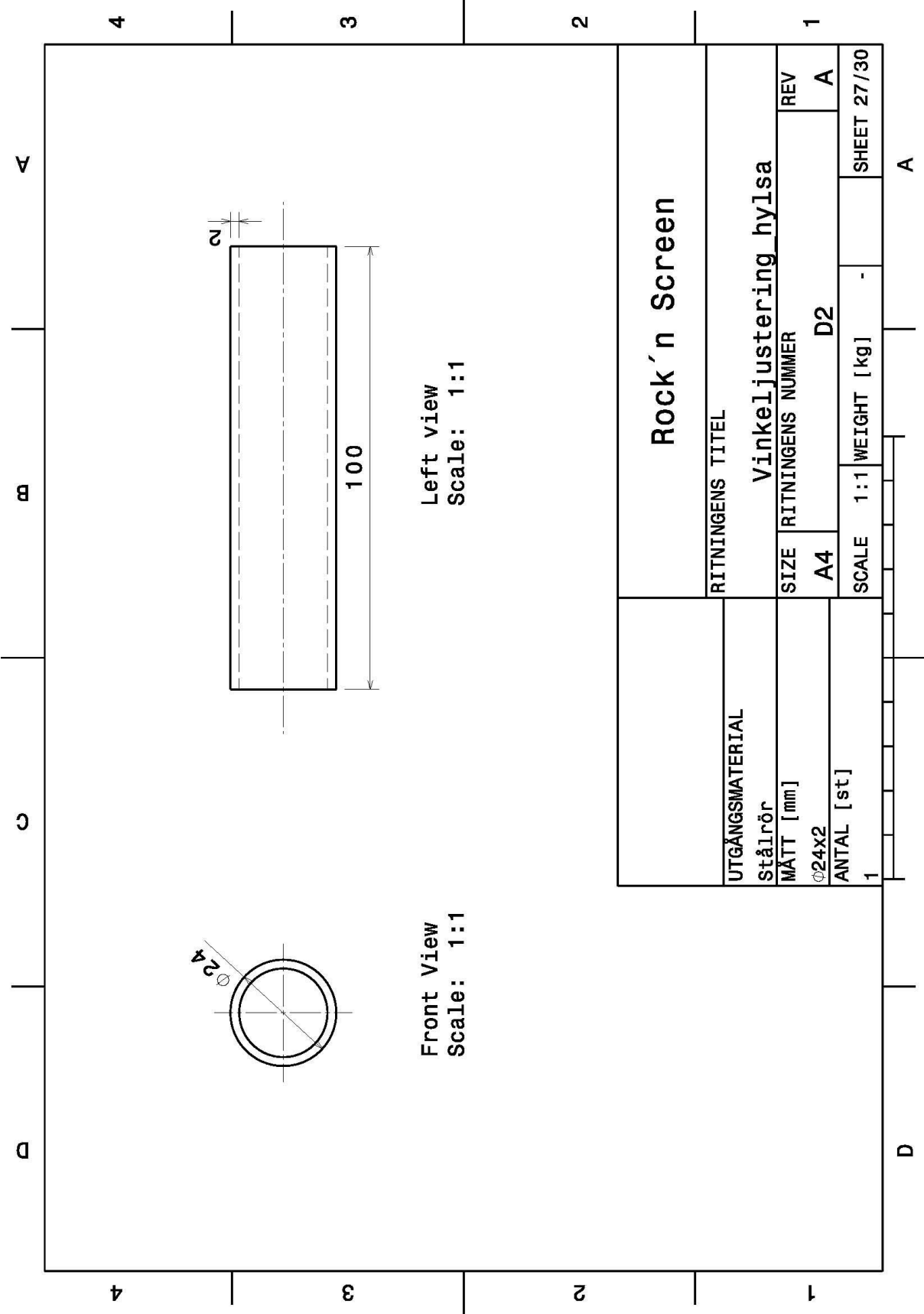
ANTAL [st]

1

SIZE	RITNINGENS NUMMER	REV
A4	D	A

SCALE	WEIGHT (kg)	SHEET
1:4	-	25/30

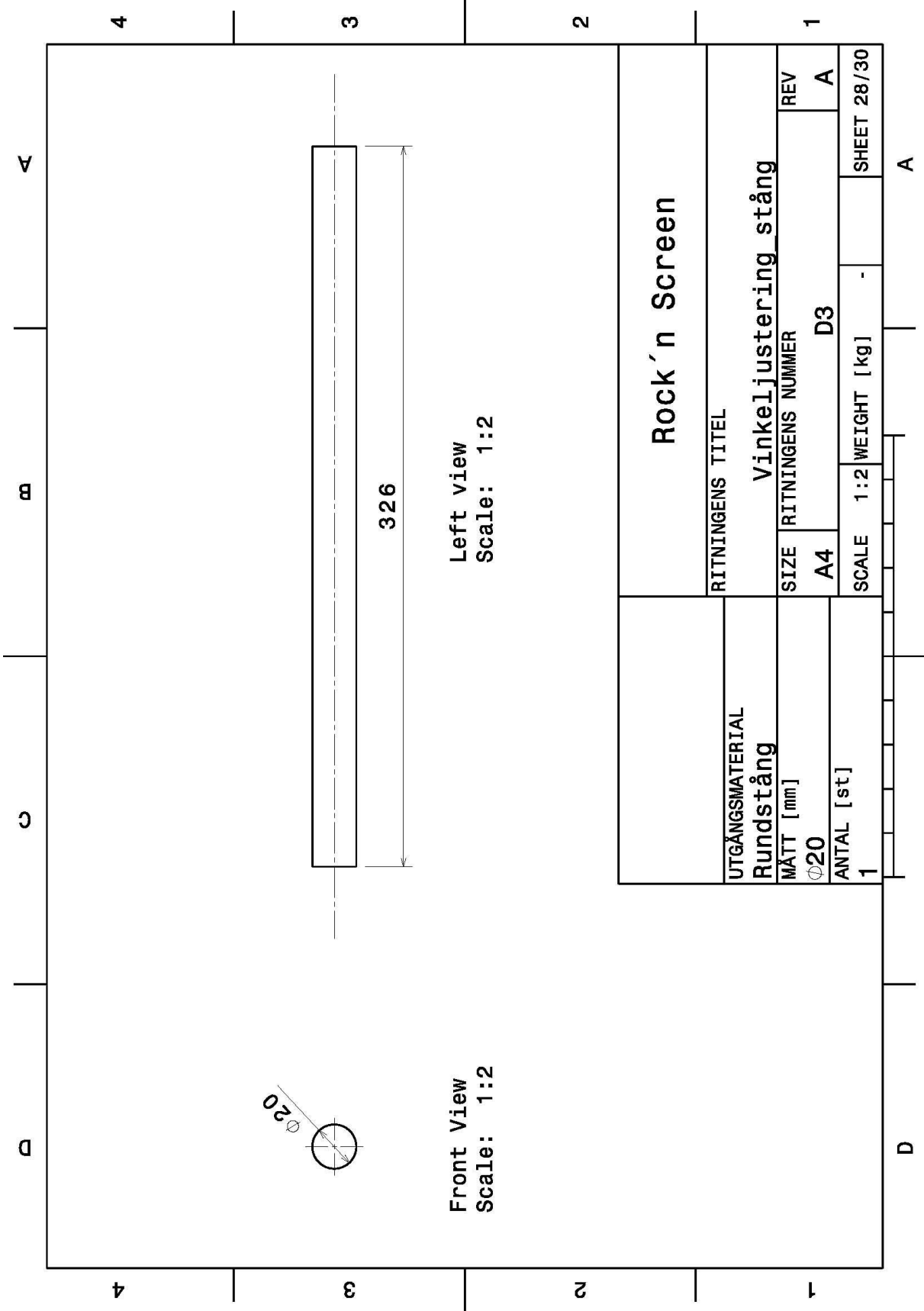




Front View
Scale: 1:1

Left View
Scale: 1:1

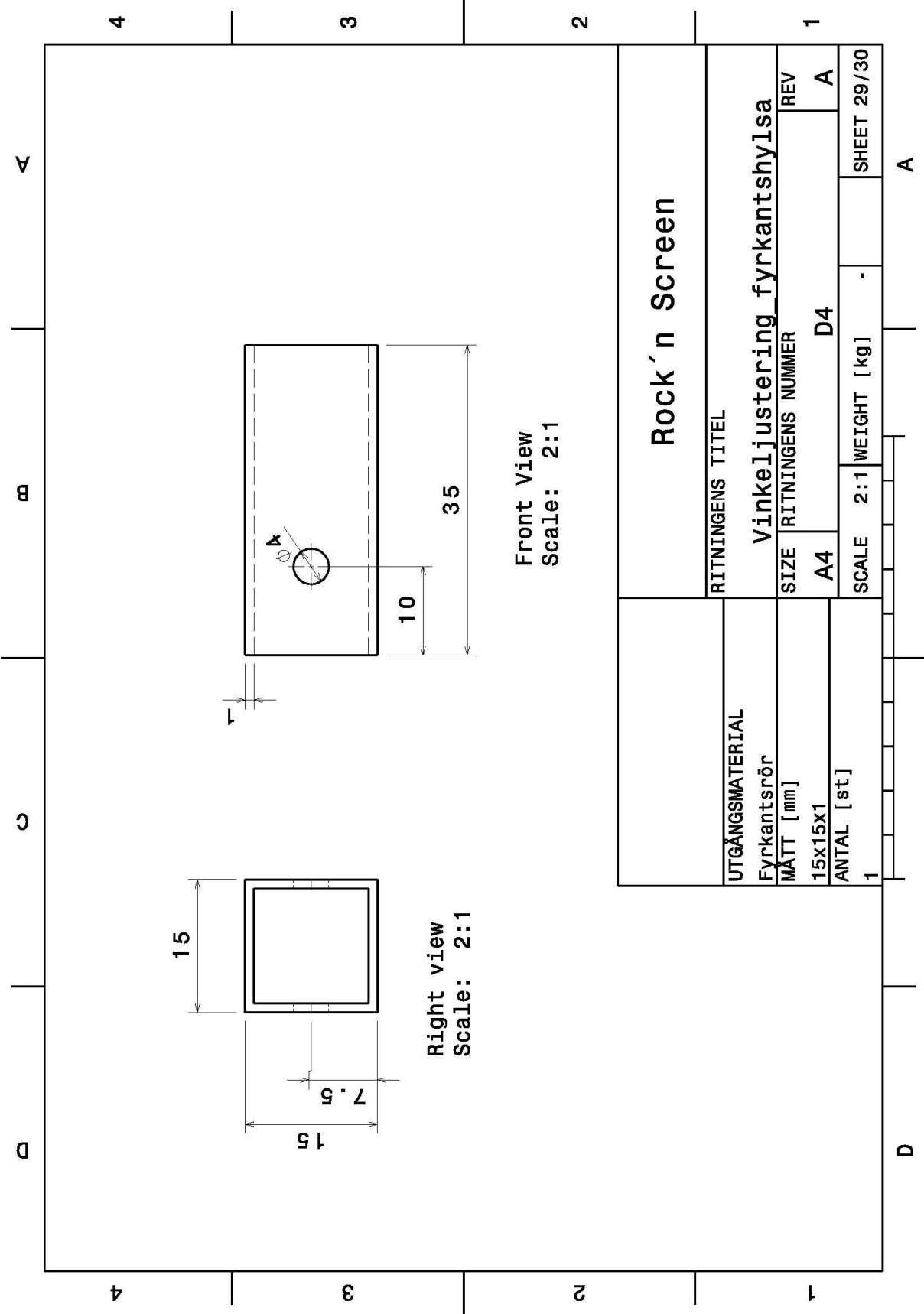
UTGÅNGSMATERIAL Stålrör		RITNINGENS TITEL	
		Rock'n Screen	
MÅTT [mm]	SIZE	RITNINGENS NUMMER	REV
Ø24x2	A4	D2	A
ANTAL [st]	SCALE	1:1	WEIGHT [kg]
1	-	-	SHEET 27/30

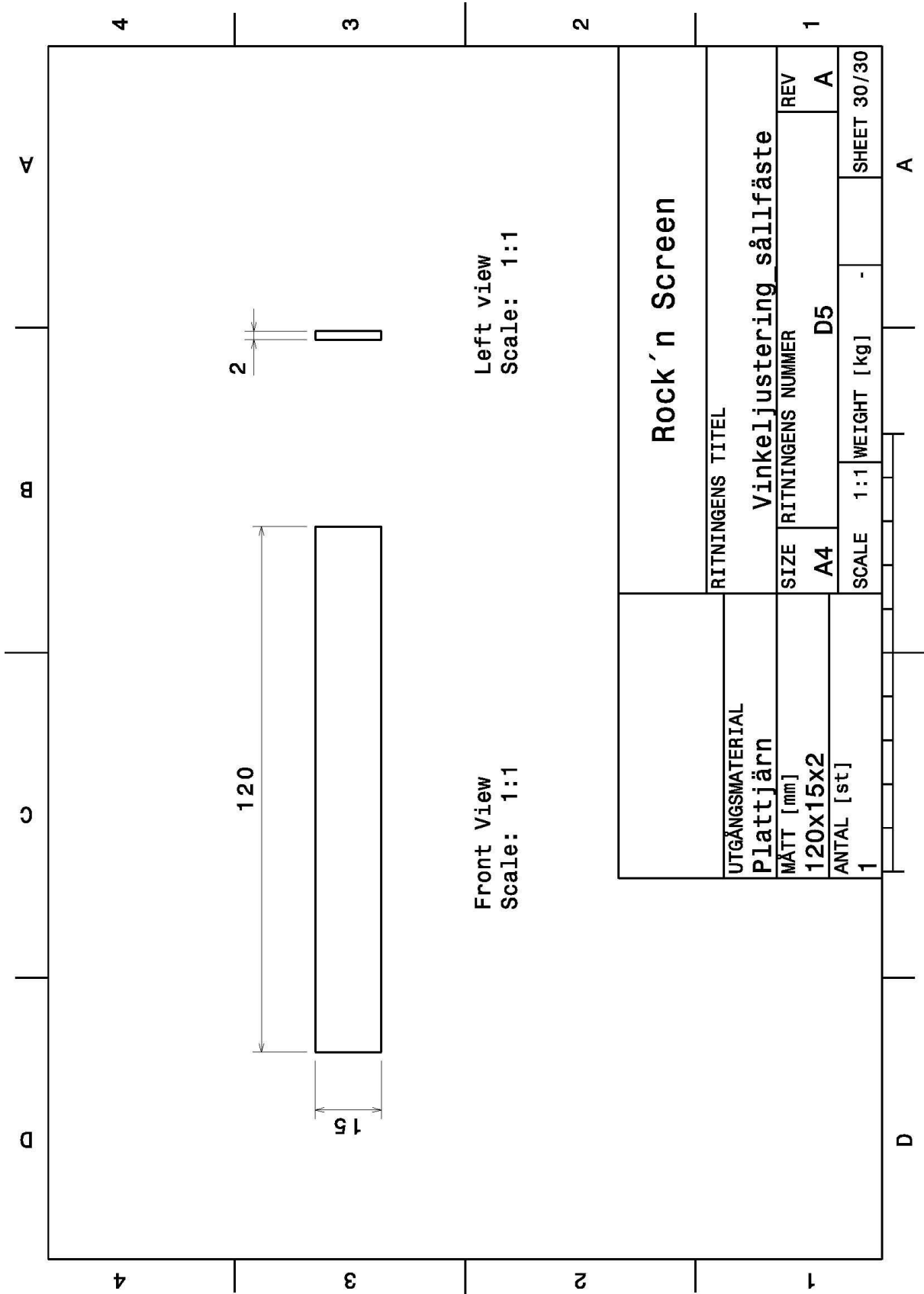


Front View
Scale: 1:2

Left view
Scale: 1:2

Rock'n Screen		RITNINGENS TITEL	
UTGÅNGSMATERIAL		Vinkeljustering stång	
Rundstång		SIZE	RITNINGENS NUMBER
MÅTT [mm]		A4	D3
Ø20		REV	
ANTAL [st]		A	
1		SCALE	1:2 WEIGHT [kg]
		-	
		SHEET 28/30	





Appendix E – Data

Här redovisas den data som erhöles vid analys av testerna. Tabellen nedan visar vikten av de olika fraktionerna för samtliga test.

Test	Storlek [mm]								
	0 - 2	2 - 4	4 - 5,6	5,6 - 8	8 - 11,2	11,2 - 16	16 - 19	19 - 22,6	22,6 - uppåt
1.1 liten	1127,5	410	347,9	460,75	601,9	292	5	0	0
1.1 stor	118,35	8,8	6,6	21,85	133,55	650,45	655,15	898,9	2843,1
1.2 liten	1063,7	389,1	293,15	362,45	371,85	119,5	0	0	47,6
1.2 stor	211,35	31,7	31,55	92,6	328,5	826,9	583,25	896,6	2764,65
2.1 liten	1183,65	425,85	317,05	375,8	539,75	656,75	119,8	0	36,4
2.1 stor	61,25	0,65	2,35	4,8	14,25	182,85	534,2	763,9	3295,05
2.2 liten	1118,8	427,9	312,1	407,55	543,6	641,5	166,6	0	0
2.2 stor	75,9	3,05	2,6	5,25	7,7	207,2	478,2	897,45	3009,5
2.3 liten	1059,15	370,3	271,1	361,85	468,35	638,5	154	0	0
2.3 stor	58,2	3,2	2,15	3,75	0	113,45	439,9	863,65	3172,35
2.4 liten	1307,7	489,5	354,25	515,4	672,05	526,4	212,55	10	0
2.4 stor	66,1	3,35	2,3	3,8	5,55	112,25	407,35	755,45	2422,75
3.1 liten	1041,4	360,5	307,25	452,7	584,55	506,1	259,75	42,75	0
3.1 stor	75,8	3,15	3	4,1	24,7	144,7	341,35	910	4472,25
3.2 liten	878,2	311,5	252,15	410	539,4	552,45	140,6	33,95	0
3.2 stor	71,05	3,5	1,85	4,2	20,6	73,8	189,95	504,75	3309,4
3.2.1 liten	1207,55	449,45	331,95	406,6	577,5	707,65	209,9	11,2	0
3.2.1 stor	105,2	9,3	4,85	7,3	6,9	54,7	369,5	721,9	3053,65
3.2.2 liten	1046,15	378,5	299,6	430,3	629	623,1	134,9	0	0
3.2.2 stor	179,75	23,05	10	14,7	19,3	128,35	537,7	879	3816,05
4.1 liten	845,15	281,55	245,95	412,5	542,95	580,45	412,35	146,55	0
4.1 stor	68	2,7	0,8	0	0	0	56,3	504,9	4451,3
4.2 liten	991,95	349,4	277,15	399,8	532,7	605,6	297,1	159,05	43,6
4.2 stor	81,65	4,15	1,75	2,5	3,7	4,8	110,55	509,4	4202,85
4.3 liten	1059,65	368,05	287,75	429,5	591,6	629,5	336,85	53,65	0
4.3 stor	74,75	3,5	2,9	3,8	1,55	52,8	215,65	665,7	4309
4.4 liten	1038,95	422,5	303,35	462,2	582	682,6	240,5	60,3	43,55
4.4 stor	62,85	4,55	2,3	4,4	3,65	46,7	213,85	595,95	4043,8
5.1 liten	1404,15	387,5	271,6	363	539,35	435,65	248,2	62,85	121,75
5.1 stor	57,95	4,6	2,7	3	0	13,65	207,15	490,85	3028,85
5.2 liten	1263,25	394,3	313,35	494,4	660,3	576,7	328,05	78	81
5.2 stor	39,3	4,35	2,95	3,6	10,55	27,65	193	373,55	2660,85

Hur det inmatade materialet fördelas över de olika fraktionerna för de olika testen presenteras i tabellen nedan.

Test	Sammanlagda normerade tester, feed [%]								
Vikt per storlek	0 - 2 mm	2 - 4 mm	4 - 5,6 mm	5,6 - 8 mm	8 - 11,2 mm	11,2 - 16 mm	16 - 19 mm	19 - 22,6 mm	22,6 - uppåt mm
1.	14,8%	4,9%	4,0%	5,5%	8,4%	11,1%	7,3%	10,6%	33,3%
2.	15,1%	5,3%	3,9%	5,1%	6,9%	9,4%	7,7%	10,1%	36,5%
3.1	12,3%	4,0%	3,4%	5,2%	6,9%	7,6%	5,5%	8,9%	46,2%
3.2	14,6%	4,9%	3,7%	4,9%	7,1%	8,7%	7,2%	9,3%	39,5%
4.	12,1%	4,1%	3,2%	4,9%	6,4%	7,4%	5,4%	7,7%	48,8%
5.	18,3%	5,2%	3,9%	5,7%	8,0%	7,0%	6,4%	6,6%	38,9%

Följande tabell visar hur materialet som gick genom siktsållet fördelade sig på de olika fraktionerna.

Test	Sammanlagda normerade tester, material genom siktsållet [g]								
Vikt per storlek	0 - 2 mm	2 - 4 mm	4 - 5,6 mm	5,6 - 8 mm	8 - 11,2 mm	11,2 - 16 mm	16 - 19 mm	19 - 22,6 mm	22,6 - uppåt mm
1.	37,2%	13,6%	10,9%	14,0%	16,5%	7,0%	0,1%	0,0%	0,8%
2.	31,8%	11,7%	8,5%	11,3%	15,1%	16,8%	4,4%	0,1%	0,2%
3.1	28,8%	10,1%	8,4%	12,9%	16,8%	15,9%	6,0%	1,1%	0,0%
3.2	30,3%	11,1%	8,5%	11,2%	16,2%	17,9%	4,6%	0,2%	0,0%
4.	26,7%	9,7%	7,6%	11,6%	15,3%	17,0%	8,7%	2,9%	0,6%
5.	33,2%	9,7%	7,3%	10,7%	15,0%	12,6%	7,2%	1,8%	2,5%

Tabellen nedan visar hur materialet som inte gick genom siktsållet fördelade sig på de olika fraktionerna.

Test	Sammanlagda normerade tester, osållat[g]								
Vikt per storlek	0 - 2 mm	2 - 4 mm	4 - 5,6 mm	5,6 - 8 mm	8 - 11,2 mm	11,2 - 16 mm	16 - 19 mm	19 - 22,6 mm	22,6 - uppåt mm
1.	3,0%	0,4%	0,3%	1,0%	4,2%	13,3%	11,2%	16,2%	50,5%
2.	1,5%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	3,4%	10,3%	18,2%	66,2%
3.1	1,4%	0,1%	0,0%	0,1%	0,4%	2,2%	5,2%	13,9%	76,6%
3.2	2,9%	0,3%	0,1%	0,2%	0,3%	1,8%	9,1%	16,1%	69,1%
4.	1,4%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,5%	2,9%	11,2%	83,7%
5.	1,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,6%	5,6%	12,1%	79,9%