



CHALMERS

2015-05-19



Analys av slutprocess inom blockstensindustrin

Kandidatarbete inom Chalmers Rock Processing Systems

Camilla Johansson
Filip Larsson
Fredrik Svensson
Anton Tennby

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Förord

Detta kandidatarbete är utfört vid civilingenjörsprogrammet i maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet är genomfört på uppdrag av *Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling*.

Kandidatgruppen vill tacka samtliga personer som hjälpt till under arbetets gång att realisera detta projekt. Ett särskilt tack riktas till vår handledare Rebecka Stomvall och examinator Dr. Magnus Bengtsson samt alla inblandade företag med personal och ledning: Emmaboda Granit AB, Hallindens Granit AB och Svimpex Granit AB.

Camilla Johansson, Filip Larsson, Fredrik Svensson och Anton Tennby

Göteborg, Maj 2015

Sammandrag

Detta kandidatarbete har genomförts på uppdrag av *Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling* på Chalmers Tekniska Högskola under vårterminen 2015.

Företag aktiva inom naturstensindustrin använder sig idag av olika metoder vid formatering av stenblock. Det är sedan tidigare begränsat med teoretisk forskning inom detta område och dagens metoder baseras mestadels på praktisk erfarenhet samt kunskap. På uppdrag av tre företag skall en analys genomföras angående vilken metod som är mest effektiv att använda i slutprocessen. Detta outforskade område är därför av stort intresse för naturstensindustrin och det som kommer att levereras är:

- En fullständig analys av de vanligaste arbetsmetoderna som används i slutprocessen med avseende på ekonomi, kvalitet, miljö, arbetsmiljö och ergonomi.
- Ett verktyg utformat i Excel där företagen själva kan beräkna sina produktionskostnader.
- En förbättrad konstruktion för den portabla diamantvajersågen.

Rapporten är baserad på ett flertal studiebesök hos de inblandade företagen Emmaboda Granit AB, Hallindens Granit AB samt Svimpex Granit AB. På plats har multipla tidmätningar på maskiner som använts i slutprocessen utförts. Tidmätningarna ligger sedan till stor grund för de ekonomiska och miljömässiga beräkningarna. Information till studien har även hämtats genom observationer, intervjuer och kontakt med tillverkare av samtliga maskiner. De ekonomiska beräkningarna innefattar kostnader för inköp, service, energi, slitage, personal och materialförluster. Kvalitetsaspekter har diskuterats med avseende på de olika arbetsmetoderna. Miljöanalysen omfattar koldioxidutsläpp hos samtliga maskiner som har behandlats under studiebesöken. Arbetsmiljö och ergonomi involverar studier som behandlar samtliga maskiner med operatörer.

Resultaten visar att sågning med en portabel såg är den metod som är att föredra sett ur ekonomi-, kvalitet-, arbetsmiljö- och ergonomiaspekter. Något som observerats på studiebesöken var att de portabla sågarna varit konstruerade med olika placering på stödhjulen till diamantvajern vilket resulterade i ojämn avverkning av sten. Det är därför av intresse att hitta en standardiserad process för att få en så effektiv avverkning av sten som möjligt. Detta har vidareutvecklats och genom beräkningar har en hypotes tagits fram som innefattar den mest gynnsamma placeringen av stödhjulet för sågen.

Abstract

This bachelor thesis has been conducted on behalf of the *Department of Product and Production Development* at Chalmers University of Technology during the spring semester of 2015.

Companies active in the stone industry use different methods when processing the stones. Previous research of development is limited in this area. Instead, current work methods are based mostly on practical experience and knowledge. On demand of three companies, an evaluation is made regarding which work method is most efficient to use in the final process. This unexplored area is therefore of great interest to this industry and this thesis will deliver:

- A full analysis of the working methods used in the final process regarding economic, quality, environmental, work environment and ergonomic aspects.
- A tool designed in Excel where companies can calculate their production costs.
- An improved design of the portable diamond wire saw.

This report is based on multiple visits at the involved companies Emmaboda Granit AB, Hallindens Granit AB and Svimpex Granit AB. Multiple time measurements on all machinery used in the final process were performed on site. The time measurements are the very basis for the economic and environmental calculations. Details of the study are also gathered through observations, interviews and contact with manufacturers of all machines. The financial calculations include the costs of purchasing, service, energy, wear, personnel and material losses. Quality aspects have been discussed with respect to the different working methods. Environmental analysis covers carbon dioxide emissions of all the machines that have been treated during the study visits. Work environment and ergonomics involves studies dealing with all machines including operators.

The results show that the portable diamond wire saw is the method that is preferred regarding economic, quality, work environment and ergonomic aspects. It has also been observed that there is no standard for the placing of the guide wheel in the construction of the portable diamond wire saw which results in an uneven quarrying. It is therefore of interest to find a standardized method to establish the most effective quarrying process as possible. This has been further developed through calculations and a hypothesis regarding the most favorable placing of the guide wheel for the saw has been generated.

Innehållsförteckning

Ordlista.....	1
1. Inledning.....	2
1.1 Produkten	3
1.2 Beskrivning av metoder vid formatering.....	4
1.3 Avverkningsmetodik	7
1.4 Definiering av funktioner	7
1.5 Projektets involverade företag.....	8
1.6 Syfte.....	8
2. Problem	9
3. Avgränsningar	11
4. Metod.....	12
4.1 Förberedelser	12
4.2 Datainsamling	12
4.3 Utvärdering	13
5. Resultat.....	14
5.1 Ekonomi.....	14
5.1.1 Allmänna kostnader	14
5.1.3 Ekonomiska beräkningar för borrning	20
5.1.4 Inköps- och servicekostnader	24
5.1.5 Beräkningsverktyg.....	25
5.2 Kvalitet	26
5.3 Miljö.....	27
5.3.1 Koldioxidutsläpp.....	27
5.3.2 Återvinning	31
5.4 Arbetsmiljö och ergonomi.....	32
5.4.1 Borrning	34
5.4.2 Kilning och pluggning	35
5.4.3 Sågning.....	35
5.5 Vidareutveckling av portabel såg.....	36
5.5.1 Teori.....	36
5.5.2 Hypotes.....	37
5.5.3 Geometri.....	38
5.5.4 Testmetod.....	39
5.5.5 Testgenomförande.....	40
6. Alternativa lösningar	42

7. Slutsats.....	43
8. Diskussion	44
8.1 Rekommendation	44
8.2 Utvecklingsmöjligheter för såg	46
9. Referenser	47
Bilaga A – Pellegrini TD 25	49
Bilaga B – Benetti VIP	51
Bilaga C – Falkenstein D1S	52
Bilaga D – Marini Mini Fil Super	53
Bilaga E – Tamrock Zoomrail	54
Bilaga F – Atlas Copco BBD 12	55

Ordlista

CRPS – Chalmers Rock Processing Systems

Forskningsgrupp inom processmetoder för stenindustrin på Chalmers Tekniska Högskola.

LCA – Livscykelanalys

Analys som innefattar miljöpåverkan under en hel livscykel.

Abrasivmedel:

En tilläggsprodukt som komplementerar vattenskärningsverktyg.

Diabas:

En silikatsten som karaktäriseras av sin svarta färg.

Effektivitet:

Hur väl produktionssystemets resurser utnyttjas.

Formatering:

Det slutbearbetningssteg inom stenindustrin som rapporten behandlar.

Granit:

En silikatsten som har goda hårdhetsegenskaper.

Impingement:

Arbetsrelaterad inklämningssyndrom som uppstår i samband med att arbete utförs i dålig arbetsställning.

Karbonatsten

Stensort som karaktäriseras av mjukare stenegenskaper och innehåller kolförening CO_3 .

Karpaltunnelsyndrom:

Arbetsrelaterad skada som uppkommer vid långtgående vibrationsarbeten.

Silikatsten

Stensort som karaktäriseras av hårda stenegenskaper och innehåller kiselförening SiO_x .

Täkt:

Plats där natursten utvinns.

Vita fingrar:

Arbetsrelaterad skada som uppkommer vid långtgående vibrationsarbeten.

1. Inledning

Förbrukningen av natursten har ökat avsevärt snabbare än andra mineralprodukter och står för en global tillväxt på runt 7.5% årligen. Tillväxten inom industrin beror mestadels på ökad utvinning av kiselhaltiga material, som exempelvis granit, gentemot kalkhaltiga stenar och skiffer (Ashmole, Motloun 2008).

Definitionen av en naturstensprodukt, som används i Sverige och Europa, är att produkten tillverkas av sten tagen som ett helt stycke från ett helt block ur berggrunden (Sveriges stenindustriförbund 2015). Sten är inget entydigt begrepp utan olika stensorter har olika egenskaper som bestäms av vilka mineraler de är uppbyggda av. Stentypen granit innehåller mestadels mineralerna fältspat, kvarts och glimmer, vilka ger graniten dess goda hårdhetsegenskaper. Det finns två huvudgrupper av natursten, vilka särskiljs på grund av skillnader i stenens egenskaper. Dessa är silikatsten och karbonatsten. Granit tillhör gruppen silikatsten tillsammans med andra stentyper som gnejs och diabas. Det är i stentäcker som utvinns silikatsten, så som granit och diabas, som detta projekt baseras på. Den andra gruppen, karbonatsten, innehåller stensorterna kalksten och marmor som karaktäriseras av mjukare egenskaper relativt silikatsten (Sveriges stenindustriförbund 2011).

Ingenjören har fått en större betydelse i utvinningen av natursten då man under senare år har börjat utveckla nya arbetsmetoder för att möjliggöra ökad lönsamhet (Ashmole, Motloun 2008). Blockstensindustrin har varit aktiv i Sverige sedan 1900-talets början och följer samma trend. Det finns ett flertal Svenska företag som är intresserade av en analys och optimering av processteg i utvinningen. Konkurrenten från andra företag på den internationella marknaden, exempelvis Kina, har blivit allt mer påtaglig och förnyande av processer möjliggör upprätthållandet samt ökning av marknadsandelar¹.

Projektet har initierats av de svenska företagen Hallindens Granit AB, Emmaboda Granit AB och Svimpex Granit AB i samarbete med forskningsgruppen CRPS på Chalmers Tekniska Högskola. Företagen är samtliga aktiva inom blockstensindustrin och en djupare presentation följer senare. Det har tidigare inte genomförts någon analys av slutprocessen bland de tre involverade företagen vilket gör projektet synnerligen intressant. Dagens metoder baseras på praktisk erfarenhet och kunskap om vilken metod som är effektivast saknas i dagsläget. Denna studie ingår i ett större projekt med CRPS där även andra delar av industrin studeras.

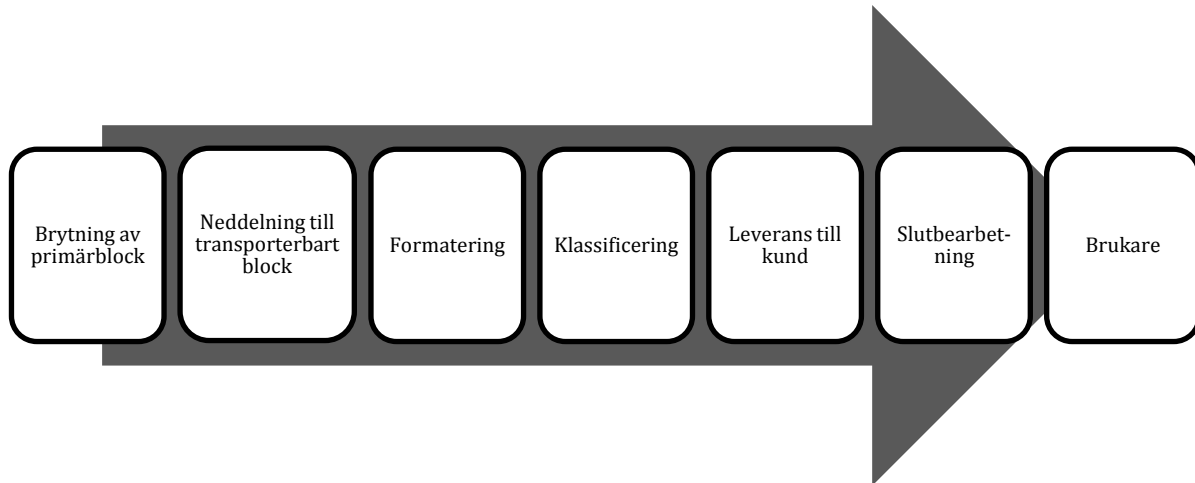
Vidare i detta avsnitt redogörs för produkten som de inblandade företagen framställer i ett bredare perspektiv. Sedan sammanställs de aktuella arbetsmetoderna inom projektet efterföljt av den avverkningsmetodik som ligger till grund för jämförelseanalysen. En funktionsidentifiering av metoderna har gjorts för att redogöra för vilka funktioner som är värdesänkande och värdehöjande. Därefter beskrivs på vilka platser studiebesök har genomförts och avslutningsvis förklaras projektets syfte.

¹Jörgen Lundgren, Försäljning Hallindens Granit AB, studiebesök 2015-01-29

1.1 Produkten

I *Figur 1* beskrivs stenens väg genom alla processer från utvinning till slutlig brukare.

Vid livscykelns början bryts stenblock ut ur berget. Dessa block kallas primärblock och väger runt 1000 ton. Stenblocken genomgår sedan ett antal bearbetningssteg där man minskar dess dimensioner och möjliggör transporter inför formatering. Dessa steg görs genom borrar- och sågningsprocesser vilka kan skilja sig åt mellan de inblandade företagen.



Figur 1 - Stenens väg

Det som kunden efterfrågar och som är företagets försäljningsobjekt framställs under formateringssteget. Där bearbetas stenblocken till ett rektangulärt block med efterfrågad dimension genom antingen borrar- eller sågning. Företagen strävar efter att skapa ett så homogent stenblock som möjligt och måste därmed avlägsna defekter i stenen som synliggjorts under tidigare steg. Produkterna sorteras därefter in i olika klasser beroende på utseendet och prissätts utifrån klassificeringen. Säljpriset kan variera mellan de olika företagen då de arbetar med olika stensorter med varierande egenskaper och efterfrågan. Exempelvis är den eftertraktade diabas dyrare än granit på grund av den svarta färgen.

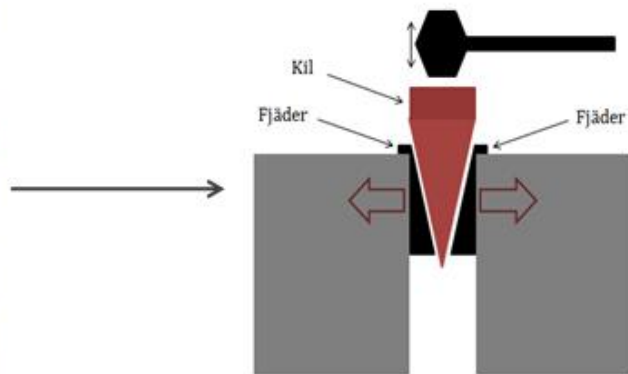
När produkterna är klassificerade säljs de vidare till kunderna. Kunderna tar in produkterna i sin produktion och färdigställer slutprodukten, vilket innefattar exempelvis vidare uppdelningsprocesser och ytbehandlingar av stenblocket. Brukarna av slutprodukterna är mestadels verksamma inom konstruktionssektorn med olika bygg och arkitekturprojekt, men även gravstensbranschen står för en markant förbrukningsandel av naturstensutvinning (Ashmole, Motloun 2008). Då produkter av natursten har näst intill oändlig livslängd återvinns de generellt sett aldrig utan återanvänds istället i nya applikationer. Populära slutprodukter inom byggbranschen är, beroende på vilken klass stenen innehar, olika sorters golv, bänkar och bord, bänkskivor och pelare. Inom konstbranschen görs många konstverk och statyer av sten. Mer ingående om vilka metoder som används i formateringsskedet och således vad denna analys fokuserar på i sin utvärdering beskrivs i nästkommande avsnitt.

1.2 Beskrivning av metoder vid formatering

Vid formatering används huvudsakligen två olika metoder sågning och borrar. Dessa metoder kan utföras på olika sätt. Det finns två vanliga utföranden vid borrar, automatiserad och handhållen borrar, som beskrivs nedan. Vid sågning finns två vanligt förekommande automatiserade metoder, stationär och portabel såg, som beskrivs nedan.

Automatiserad borrar med kilning

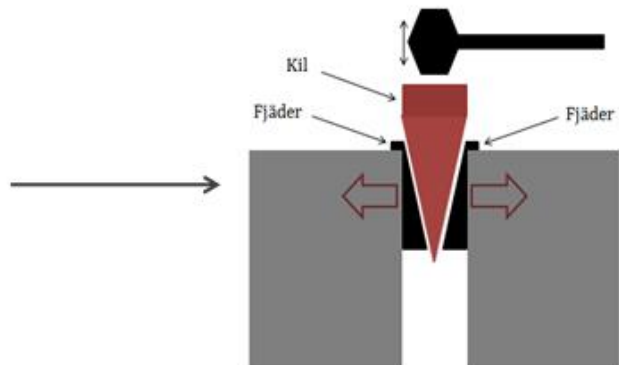
Metoden går ut på att göra ett flertal hål med hjälp i ett stenblock med en automatiserad borrar, exempelvis Tamrock Zoomrail. Borrarigen har tre borrarstänger vilket medför att den kan borrar tre hål samtidigt. Här borrar hålen genom nästintill hela stenen, en marginal från stenens underkant på tio cm lämnas. Stenblocket placeras intill borrarigen då borrar har en begränsad räckvidd vilket illustreras till vänster i *Figur 2*. Vid borrar uppstår stora mängder damm som samlas upp med hjälp av en dammsugare under arbetets gång. Efter borrarningen används kil för att sära på stenblocket (Johansson 2014). Denna kilningsprocess utförs med en manuell hammare eller en tryckluftshammare. Den sistnämnda kilningsmetoden analyseras dock inte i denna rapport. I *Figur 2* illustreras borrar med efterföljande kilning.



Figur 2 - Borrar med kilning

Handhållen borrar med kilning

Metoden går ut på att borrar ett flertal hål i ett stenblock manuellt med en handhållen borrar och därefter använda kil och hammare för att sära på blocket, se *Figur 3*. Då den handhållna borrar är portabel behöver stenblocket inte placeras på något särskilt sätt (Johansson 2014). Här borrar ett hål åt gången med ett borrar djup på cirka 20 cm. Vid borrar uppstår stora mängder damm som samlas upp med hjälp av en dammsugare under arbetets gång.



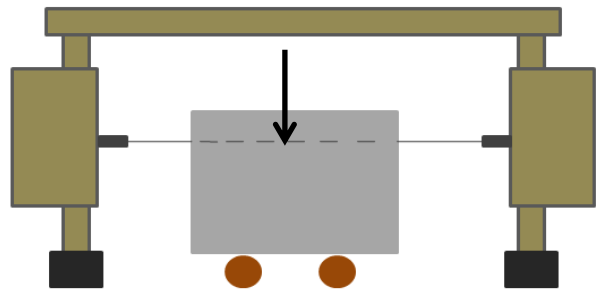
Figur 3 - Manuell borrar med kilning

Stationär sågning med diamantråjer

Metoden går ut på att såga ett snitt igenom stenblocket med hjälp av en automatiserad såg där stenen placeras enligt *Figur 4*. Sågen gör ett snitt från stenens ovansida med en konstant matning på 4-17 mm per minut och en marginal på tio cm lämnas. Stenblocket placeras en bit ovan mark som säkerhetsmarginal för att motverka risk att såga i marken². Efter sågningen avlägsnas den oönskade biten genom avslagning med kil och slägga.

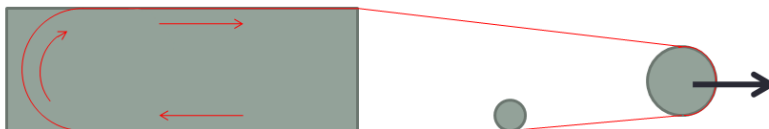


Figur 4 – Stationär sågning



Portabel sågning med diamantråjer

Metoden går ut på att såga ett snitt igenom stenblocket med hjälp av en automatiserad såg där diamantråjerna monteras runt blocket (Johansson 2014). Stenblocket placeras en bit ovan mark för att diamantråjerna ska kunna monteras runt, se *Figur 5*. Sågen arbetar tills en halvcirkel med diameter på ungefär 80 cm kvarstår. Den oönskade delen avlägsnas sedan med kil och slägga.



Figur 5 – Portabel sågning

²Jörgen Lundgren, Försäljning Hallindens Granit AB, studiebesök 2015-01-29

1.2.1 Övriga arbetsmetoder

Det förekommer andra tillämpningar av borrar där informationen från mätningarna är otillräcklig samt att vissa metoder inte har varit tillgängliga vid studiebesök, därför ingår inte dessa i jämförelsen. Dessa redogörs för nedan.

Pluggning

Vid formatering med handhållen borr är pluggning förekommande. Pluggning innebär att man kilar ett hål direkt efter hålet är borrarat för att endast separera en mindre del av stenen. Denna metod är effektiv att använda när stenen har naturliga sprickor men är mindre fördelaktig under andra omständigheter. Har stenen inga naturliga sprickor kan pluggning medföra att stenen skivas, inte delas som planerat, då man inte delar en hel sida på samma gång. Tidmätningar på pluggning har genomförts men då metoden är varierande i stor utsträckning anses mätdata vara mindre pålitlig för jämförelse med övriga metoder och ingår därför ej i jämförelsen.

Borrning med krona

Vid formatering med automatiserad borrhög kan helstångsborr ersättas med borkrona. Byte av borkrona är enkelt och kräver inget direkt underhåll vilket ger den en fördel gentemot helstångsborr som behöver slipas efter 20 meter. Inget av företagen som har undersökts i studien har använt sig av borkronor vid formatering så inga mätningar har genomförts. Utan mätningar kan inte användandet av borkrona jämföras med helstångsborr dock är det en skillnad i inköpspris mellan de båda vilket medför att borkrona är mer kostsam att använda.

Vibrationsdämpad handhållen borr

Handhållen borrarning medför vibrationer för operatören vilket innebär att borrarningen tidsbegränsas då det finns en gräns för hur mycket vibrationer en operatör får utsättas för under en arbetsdag utan risk för arbetsrelaterade skador. Chalmers Tekniska Högskola har tillsammans med Emmaboda Granit AB och Svimpex Granit AB tagit fram en prototyp för en vibrationsdämpad handhållen borr som ska kunna ersätta den traditionella³. Denna prototyp har dock inte observerats då den inte funnits tillgänglig i denna studie och ingår därför inte i jämförelsen.

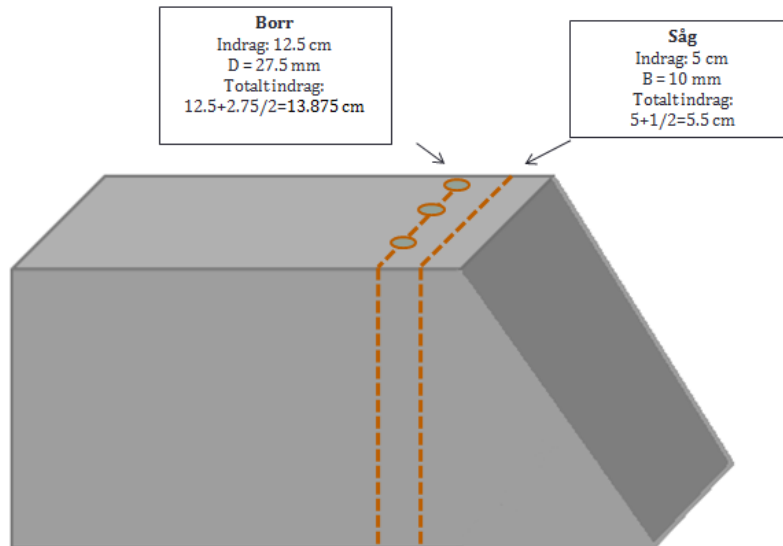
Modifierad handhållen borr

Emmaboda Granit AB har rekonstruerat en handhållen borr för att minimera belastning och vibrationer för operatören. Borren är monterad på en ställning som fungerar som en förlängd arm. Denna tillämpade borr har samma funktion som den traditionella handhållna borren bortsett från att den endast placeras ovan stenen av operatören och sedan per automatik borrar hålet på egen hand. Emmaboda Granit AB använder denna borr för pluggning och som nämndes ovan ingår därför denna ej i denna jämförelse.

³ Rebecka Stomvall, Projektledare Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers Tekniska Högskola, handledning 2015-02-05

1.3 Avverkningsmetodik

Analysen som görs i detta projekt avser endast avverkning av en hel sida av ett stenblock. För att dela blocket utan defekter krävs olika mycket indrag från kanten beroende på vilken metod som används. Dessa indrag illustreras i *Figur 6*. Måtten utgår från den kant på ovansidan stenen som ska avverkas.



Figur 6 - Indrag för såg respektive borr

1.4 Definiering av funktioner

Metodernas värdehöjande och värdesänkande funktioner har identifierats enligt *Figur 7*.

Beskrivning av process	•Borrning: Stenblocket delas med hjälp av borrar och sedan förs kilar in i hålen för att sära på blocket. •Sågning: Stenblocket placeras på angiven plats och delas med hjälp av såg bestyckad med diamantvajer.
Huvudfunktioner	•Borrning: Delning av stenblock med hjälp av borr. •Sågning: Delning av stenblock med hjälp av såg.
Tilläggfunktioner	•Borrning: Kan borra flera hål åt gången. •Sågning: Automatiserad process.
Stödfunktioner	•Borrning: Vid borrning används en förbränningsmotor för att driva borren. En dammsugare behövs för att samla upp damm. •Sågning: Vid sågning används en elektrisk motor för att driva sågen.
Oönskade funktioner	•Borrning: Borren kräver underhåll i form av slipning. Vid borrning krävs kilning för att dela på stenblocket. •Sågning: Vajern behöver bytas ut efter en viss bearbetad area. Arean varierar beroende på typ av såg. Blocket måste placeras på sådant sätt att sågens diamantvajer kommer runt stenblocket. Vatten måste tillsättas för att minska friktionen och kyla vajern.

Figur 7 - Funktionstabell

1.5 Projektets involverade företag

Nedan beskrivs de företag som har varit involverade i projektet från början till slut tillsammans med deras tåkter.

Hallindens Granit AB

Hallindens Granit har varit aktiva sedan år 1946 och har idag fyra stenbrott i Bohuslän samt ett i Skåne som levererar granit till kunder över hela världen. Studien har genomförts på tåkterna Bohus Grå Tossene och Bohus Röd Brastad norr om Lysekil. På Bohus Grå Tossene genomfördes mätningar och observationer av en portabel såg av märket Pellegrini TD25. På Bohus Röd Brastad genomfördes mätningar och observationer av den stationära sågen Falkenstein D1S samt den automatiserade borrarigen Tamrock Zoomrail.

Emmaboda Granit AB

Emmaboda Granit har varit aktiva sedan år 1907 och är idag en av Skandinaviens ledande företag inom naturstensindustrin. Emmaboda har i dagsläget åtta aktiva stenbrott lokaliserade i Bohuslän, Halland, Småland och Skåne. Studien har genomförts på tåkterna Bårarp i Halland, Brännhult i Småland samt Gylsboda i Skåne. På tåkten Bårarp genomfördes mätningar och observationer av en portabel såg av märket Marini Mini Fil Super. På tåkten Brännhult genomfördes mätningar och observationer av en portabel Pellegrini TD25 och på tåkten Gylsboda av en handhållen borrar av märket Atlas Copco BBD 12 T-01.

Svimpex Granit AB

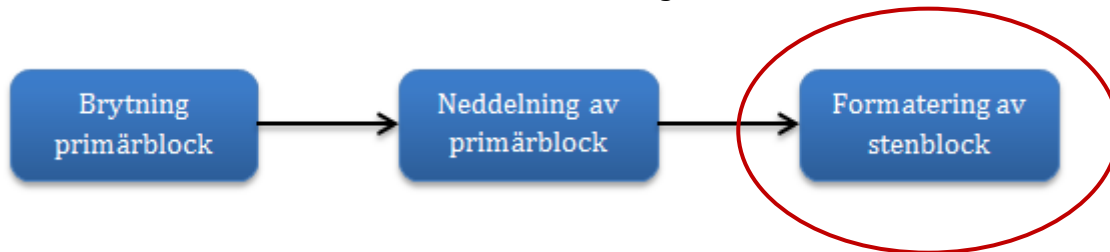
Svimpex Granit ingår i koncernen Naturstenskompaniet som i sin tur ingår i A P sten som är Sveriges största företagsgrupp inom naturstensprodukter. Svimpex har i dagsläget åtta aktiva stenbrott i södra Sverige. Studien har genomförts på tåkten Ekeröd i Skåne där mätningar och observationer utfördes på en portabel såg av märke Benetti VIP samt en handhållen borrar BBD12 från Atlas Copco.

1.6 Syfte

Genom ett kandidatarbete i samarbete med ett utvecklingsprojekt vid *Institutionen Produkt- och produktionsutveckling* på Chalmers Tekniska Högskola skall arbetsmetoderna i slutprocessen inom blockstensindustrin analyseras. Syftet med projektet är att undersöka och jämföra vilken av metoderna inom borrar eller sågning som är mest effektiv att använda med avseende på ekonomi, kvalitet, miljö, arbetsmiljö och ergonomi. Målsättningen är att ta fram kvantifierbara samt kvalitativa resultat som kan användas i beslutsprocessen om vilken metod som är bäst lämpad att använda vid slutprocessen.

2. Problem

Tillverkningen av stenblock sker i tre steg som tidigare diskuterats, vilka illustreras i *Figur 8*. I det sista steget i processen formateras stenen till rektangulära block med borrar eller sågning innan de levereras till kund. Det är i detta processteg som uppdragsgivarna är intresserade av en analys. I dagsläget finns ingen standard för vilken process som är mest gynnsam och uppdragsgivarna använder sig av båda metoderna på majoriteten av täkterna. Företagen använder dessutom olika varianter av borrar samt sågar⁴.



Figur 8 - Processens steg

2.1 Frågeställning

Huvuddelen av frågeställningen kommer följaktligen bestå av att studera vilken av dessa metoder som är mest fördelaktig att använda och vad som är värdehöjande med avseende på följande aspekter:

- **Ekonomi** – Kostnader så som inköp, service, slitage, personal, energiförbrukning och materialförluster som uppstår vid respektive metod beräknas och analyseras. Ekonomiaspekten är viktig då den påverkar företagets lönsamhet direkt och överlevnad på sikt. Detta tillsammans med att ha råd att genomföra nödvändiga investeringar för att öka effektiviteten innebär att ekonomiaspekten är central för stenblocksindustrins framtid.
- **Kvalitet** – Kontroll om slutprodukten skiljer sig i kvalitet vid respektive metod. En dålig kvalitet på slutprodukten kan medföra extra kostnader vid reklamationer från missnöjda kunder, vilket också kan leda till förlorade marknadsandelar under tid. God kvalitet medför ökad konkurrenskraft, hållbara kundrelationer och långsiktiga affärsmöjligheter.
- **Miljö** – En jämförelse mellan metodernas miljöpåverkan studeras genom att beräkna utsläpp av koldioxid. Detta för att väva in samhällskostnader i resonemanget om bästa metod. Miljöaspekten är något som uppmärksammas mer under senare år och har medverkat till ett ökat miljömedvetande hos kunder. Användandet av metoder som bidrar till mindre klimatförändringar främjar alla inblandande parter i stenens väg från berg till slutkund och kan leda till en ökning av marknadsandelar.
- **Arbetsmiljö och ergonomi** – Det undersöks om respektive metod tillför någon för- eller nackdel vad avser risk för arbetsrelaterade sjukdomar eller skador för personalen samt vilken metod som är mest lämplig ur en ergonomisk synvinkel. Arbetsmiljön i stenblocksindustrin har uppmärksammas mer under de senare åren och industrin är medvetna om vikten av en god arbetsmiljö samt konsekvenserna av en dålig. Friska

⁴Jörgen Lundgren, Försäljning Hallindens Granit AB, studiebesök 2015-01-29

medarbetare innebär ökad motivation och produktivitet hos de anställda samtidigt som sjukfrånvaron och omsättningen på personalen minskar. Dessa konsekvenser bidrar till en sundare organisation med en ökad ekonomisk stabilitet.

För att erhålla ett helhetsperspektiv och fördjupning av arbetsmetoderna kommer studien även att ta hänsyn till:

- Alternativa lösningar – En utvärdering av marknaden genomförs för att studera om det finns några alternativa metoder som kan ersätta borrhning och sågning.
- Vidareutveckling – Det undersöks om det finns möjlighet att förbättra någon av arbetsmetoderna. Förbättringen sker med avseende på effektivitet vilket medför en ökad ekonomisk lönsamhet.
- Beräkningsverktyg – Ett verktyg framtaget i Microsoft Office Excel där företagen kan genomföra ekonomiska beräkningar på sin egen produktion. Beräkningarna åskådliggör företagens produktivitet och kostnader inom formateringssteget.

3. Avgränsningar

Detta ämne inkluderar ett stort antal aspekter och för att göra analysen hanterbar krävs avgränsningar. Denna studie avgränsas till slutprocessen inom blockstensindustrin, som innefattar följande:

- En analys av borrhning i slutprocessen.
- En analys av diamantvajersågning i slutprocessen.
- En jämförelse mellan metoderna med kvantitativ data.

Studien kommer inte att behandla följande:

- Blockstensindustrins övriga processteg vid framtagning av stenblock.
- En jämförelse av tillämpade metoder där kvantitativ data inte är möjlig att samla in eller verifiera.
- Miljöpåverkan från tillverkning av de maskiner och komponenter som används i slutprocessen.

4. Metod

Metoden är uppdelad i projektets tre huvudmoment i kronologisk ordning där förberedelser är det första momentet följt av studiebesök och slutligen utvärdering och bearbetning av den information som samlats in under arbetets gång.

4.1 Förberedelser

I det inledande skedet i projektarbetet genomgick projektgruppen en noggrann granskning av vad problemet egentligen handlade om och vad som behövde genomföras. Ett klarläggande gällande företagets intressen, krav och önskemål har genomarbetats för att åskådliggöra var fokus bör ligga. Utefter detta har en handlingsplan upprättats med uppsatta tidsstolpar och ansvarsfördelning sammanställt i ett Gantt-schema. I det inledande arbetet formulerades även delmål och slutmål översatta i en leveranslista för att konkretisera vad som skulle levereras och vad som var eftertraktat i projektet. För att hamna på rätt väg i projektarbetet tog gruppen hjälp av boken *The Value Model* (Bengtzelius, Lindstedt 2004), där en utförlig metodbeskrivning angående projektarbete inom produktutveckling illustreras. Litteratur i form av artiklar och böcker inom ämnet studerades för att skapa en förståelse beträffande branschen, produkten, metoderna och råmaterialet.

Inför de kommande studiebesöken skedde förberedelser gällande tidmätningar, observationer och intervjuer. Till följd av detta utvärderades hur dessa uppgifter kan utföras på ett så effektivt sätt som möjligt och på vilket sätt gruppen bör arbeta under detta moment. Med en utstuderad problembild och begränsad tidsaspekt avgränsades studien till att fokusera på vad som gav mest värde till resultatet.

4.2 Datainsamling

Datainsamlingen har utförts genom ett flertal studiebesök på de olika företagens tåktar. Studiebesökens huvudfokus har varit att utföra tidmätningar och observationer av de olika metoderna inom sågning och borrar som används i slutprocessen. Tidmätningarna har skett med digital tidtagare och med hjälp av anteckningsblock har samtliga tidpunkter antecknats. Det har varit viktigt att utnyttja tiden effektivt då transporttiden till och från tåktarna har varierat mellan två till fyra timmar och därav har besökstiden varierat mellan fyra till åtta timmar. På grund av begränsad besökstid har studiebesöken skett genom att projektmedlemmarna arbetat parallellt med olika arbetsuppgifter.

Det har totalt genomförts åtta tidmätningar av de portabla sågarna och en mätning av den stationära sågen. Tidmätningens start är när personalen startar sågen och tidmätningen är slut när delningen av stenen är helt slutförd. Noteringar har skett vid avbrott och fördröjningar. Projektgruppen valde medvetet att lägga fler tidmätningar på de portabla sågarna då de används i större utsträckning samt att den stationära sågen har ett jämnt avverkningstempo och således lägre standardavvikelse. Det har genomförts tre tidmätningar för den automatiserade borrarigen och två mätningar för den handhållna borrarigen. Tidmätningen av borrar sker i två steg. Det första steget är när man borrar hålen i stenen då tidtagningen startar när man börjar borra första hålet och slutar när sista hålet är helt färdigt. Det andra steget är när man kilar stenen, tidtagningen startar när man börjar placera kilar och slutar när stenen är fullt delad. Tiderna från steg ett och två adderas sedan för att få den totala tiden. Tidmätningen är uppdelad i två steg då man på vissa tåktar väljer att borra flera stenar i följd för att sedan kila flera stenar i följd. Uppmätning, märkning, sortering samt förflyttning av sten är inte med i tidtagningen då samma procedur sker för både sågning och borrar och antas ta ungefär lika lång tid för de båda metoderna.

Vikt, densitet, dimensioner, total area på den avverkade sidan av stenblocket och avstånd mellan håll vid borrar har studerats. Tidmätningarna har sedan översatts till hastigheter för att kunna jämföra de olika metoderna. Antalet tidmätningar per tåkt är direkt kopplat till hur långa

studiebesök som har kunnat genomföras. Det första studiebesöket innefattade en hel arbetsdag och här kunde tidmätningar och observationer göras löpande under arbetsdagen. Det andra studiebesöket innefattade en halv arbetsdag där stor del av tiden gick åt till att förstå hela processen på tåkten, vilket resulterade i tidmätningar på endast två stycken stenblock. På det tredje studiebesöket skulle tre olika täkter besökas under samma dag, vilket resulterade i korta observationer och enstaka tidmätningar per takt.

En annan viktig del i studiebesöken har varit att samtala och fråga personalen på plats om vad de anser om problembildens olika aspekter och vilka eventuella förbättringsmöjligheter som existerar. För att få en djupare förståelse av hur väl maskinerna fungerar genomfördes därför intervjuer och observationer med personal på täkterna. Vid intervju med ansvarig chef på plats hölls semi-strukturerade intervjuer för att samla information om industrin angående arbetsmetoder, olyckor, historia och annan relevant information. Tillsammans med personalen som arbetar i tåkten genomfördes samtal och observationer under tiden de arbetade för att få insikt om arbetsförhållandena angående arbetsmiljö och ergonomi, hur väl maskinerna uppfyller sin funktion samt hur service och underhåll utförs. Detta tillsammans med fakta om arbetsmiljöreregler ligger till grund för arbetsmiljöanalysen.

Även jämförelsen av slutprodukternas kvalitet är utförd med hjälp av observationer innan och efter att formateringen har skett. Diskussioner angående hur kvaliteten varierar med avseende på metod har skett med arbetsledare som innehar mångårig erfarenhet av slutprodukten. Materialens egenskaper och hur de påverkas av de olika metoderna har studerats genom litteratur och iakttagelser.

Miljöberäkningarna är baserade på maskinernas effektåtgång under arbetet, drivmedel samt data om koldioxidutsläpp (Svensk Energi 2014). Information har även erhållits direkt från företagets representanter, maskintillverkarna och handledare. En jämförande analys om det är mest lönsamt att använda sig av ett dieselaggregat eller indragen el till att driva processerna har gjorts genom en totalkostnadsanalys av de båda alternativen. Priser och annan information till totalkostnadsanalysen har hämtats från de inblandade företagen och tillverkare av dieselaggregat.

4.3 Utvärdering

Efter studiebesöken har en utvärdering av informationen ägt rum. Utvärderingen har innefattat att bearbeta och översätta informationen samlad under studiebesöken till datorformat. Microsoft Office Excel samt MATLAB har använts för att genomföra beräkningar, enklare beräkningar har gjorts för hand. Tidmätningarna sammanställdes i Excel och med detta som underlag genomfördes kostnadsberäkningar för processerna med avseende på maskinernas inköpspris, driftskostnad, personalkostnad och kostnad för materialförluster. För att få uppdaterad information om service, livslängd samt inköpspris på de maskiner som används kontaktades respektive återförsäljare. De flesta kostnader är uträknade med standardenheten krona per kvadratmeter för att få en korrekt jämförelse mellan maskinerna då stenens dimensioner varierar vid varje tidmätning. Inköpspris och servicekostnad är återgivna i krona per år då informationen för att översätta detta till standardenheten saknas. Tidmätningarna är även basen för en del miljöberäkningar.

Vidareutvecklingen är baserad på observationer under studiebesöken. Diskussioner med handledare och forskare gällande val av lämplig teori och beräkningsmetod har ägt rum i samband med arbetet. Friläggningar har gjorts för hand med penna och papper. Realiteten i de framräknade resultaten har utvärderats med hjälp av rådfrågning av experter inom området. Detta ledde till ett fjärde besök där vidareutvecklingen av den portabla sågen som tagits fram under projektets gång testades. Resultatet utvärderades med avseende på skillnader i tid och avverkning i höjdd.

5. Resultat

En analys av slutprocessen har utförts där borrar och sågning har beaktats och jämförts. I detta avsnitt presenteras resultatet för ekonomi, kvalitet, miljö samt ergonomi och arbetsmiljö. Med dessa resultat som grund har en vidareutveckling av den portabla sågen genomförts som redogörs för i slutet av detta kapitel.

5.1 Ekonomi

Här presenteras resultatet för beräkningar som utförts på de kostnader som uppstår i slutprocessen:

- Personalkostnader
- Energiförbrukningskostnader
- Kostnader för slitage
- Materialförluster
- Inköpskostnader för maskiner
- Servicekostnader

De två första kostnadsaspekterna, personalkostnader och energiförbrukningskostnader, har kategoriserats som allmänna kostnader och redogörs först i avsnittet. Därefter redogörs beräkningar och sammanställningar för samtliga kostnadsaspekter exkluderat inköpskostnader för maskiner och servicekostnader. Komplexiteten i att få detaljerade uppgifter om årsproduktion för respektive maskin gjorde det inte möjligt att få ett homogent beräkningsutförande för alla aspekter. I slutet av ekonomidelen redogörs därför aspekterna inköpskostnader för maskiner och servicekostnader separat från beräkningarna och sammanställningarna. Det beräkningsverktyg som används i uträkningarna och som levereras till företagen beskrivs mer utförligt sist i ekonomiavsnittet.

För att på ett enkelt och överskådligt sätt kunna jämföra formateringsmetoderna översätts resultatet från mätningarna och beräkningarna till en standardenhet. Standardenheten är kronor per avlägsnad kvadratmeter [kr/m^2] och används för att sammanställa de ekonomiska beräkningarna för sågning respektive borrar. Den separata redogörelsen av inköp och servicekostnader görs istället i enheten [$kr/år$].

Ett gemensamt försäljningspris på 10 000 kr/m^3 används i beräkningarna då priset kan variera mellan olika stensorter⁵.

5.1.1 Allmänna kostnader

Nedan redogörs allmänna kostnader för borrar och sågning. De allmänna kostnaderna definieras som gemensamma för de två metoderna men beror av tiden det tar att avverka en kvadratmeter sten. Dessa kostnader kommer därför att omvandlas till standardenheten [kr/m^2] i avsnitten ekonomiska beräkningar för sågning respektive borrar.

⁵ Rolf Lundmark, VD Svimpex Granit AB, "Fakturerat material" 2014-11-20

Personalkostnader

Personalkostnaden beräknas med hjälp av ett antal faktorer vars värden används i budgeteringen från CRPS. Dessa presenteras i *Tabell 1*.

Tabell 1 - Personalkostnadsfaktorer

Personallön [kr/månad]	29 000
Arbetstid [h/månad]	165
LKP [faktor]	1.52
OH [faktor]	1.3

Personalkostnaden i enheten [kr/h] beräknas enligt ekvation (1). LKP och OH kan betraktas som ekonomiska påläggsfaktorer för att täcka bland annat pension och administration kopplat till de anställda.

$$Personalkostnad [kr/h] = \frac{Personallön \left[\frac{kr}{månad} \right] \cdot LKP \cdot OH}{Arbetstid \left[\frac{h}{månad} \right]} = 347.30 \quad (1)$$

För att beräkna vad personalen kostar i standardenheten [kr/m²] måste tiden det tar att avlägsna en kvadratmeter [h/m²] multipliceras med personalkostnaden [kr/h].

Energiförbrukningskostnader

Vid kostnadsberäkningarna har det observerats att två olika energikällor kan användas. Samtliga maskiner däribland sågen kan antingen drivas med el från elnät eller dieselaggregat. I beräkningarna har elnätspriset antagits till 0.80 kr/kWh för företagen⁶. Vidare i beräkningarna kommer endast det fasta elnätspriset att användas, då detta är vanligast förekommande. Energikostnad för diesel som beräknas nedan är endast till för att jämföras med det fasta elnätspriset. Samtliga kostnader framräknade nedan exkluderar inköpspris och servicekostnader och avser därför endast driftskostnader.

Dieselaggregatets bränsleförbrukning är beräknat till 9 liter diesel/h (Johansson 2014). Dieselaggregatet är av modellen *Atlas Copco QAS 125* och har en effekt på 125 kW. Dieselpriiset har erhållits till 10 000 kr/m³ och priset för genererad energi från dieselaggregatet kan därför beräknas enligt ekvation (2) och (3)⁷. Hänfödda faktorer visas i *Tabell 2*.

Tabell 2 - Dieselskostnadsfaktorer

Bränsleförbrukning [liter/h]	9
Bränslekostnad [kr/m ³]	10 000
Effekt dieselaggregat [kW]	125

$$Dieselskostnad [kr/liter] = \frac{Bränslekostnad \left[\frac{kr}{m^3} \right]}{1000 \left[\frac{liter}{m^3} \right]} = 10 \quad (2)$$

$$Energikostnad diesel [kr/kWh] = \frac{Bränsleförbrukning \left[\frac{liter}{h} \right] \cdot Dieselskostnad \left[\frac{kr}{liter} \right]}{Effekt dieselaggregat [kW]} = 0.72 \quad (3)$$

⁶ Magnus Richardsson, Produktion Emmaboda Granit AB, samtal 2015-02-26

⁷ Magnus Richardsson, Produktion Emmaboda Granit AB, samtal 2015-02-26

För att beräkna energiförbrukningskostnaden i standardenheten [kr/m²] måste tiden det tar att avlägsna en kvadratmeter [h/m²] multipliceras med motorns effekt [kWh] för att erhålla energiåtgång per avlägsnad kvadratmeter. Detta multipliceras sedan med energikostnaden [kr/kWh].

5.1.2 Ekonomiska beräkningar för sågning

De två sågningsmetoderna, portabel sågning och stationär sågning, behandlas och jämförs i detta avsnitt. Den portabla sågen har förekommit i tre olika modeller och två olika effektstorlekar vilka jämförs med varandra. Den stationära sågen används i dagsläget endast för dela upp stenblock i skivor, men skall undersökas om den är möjlig att använda till formateringsprocessen. Modellerna som studerats illustreras i *Tabell 3*.

Tabell 3 – Egenskaper för sågar

	Effekt [kW]	Beteckning
Pellegrini TD 25	18	Portabel
Marini Mini Fil Super	18	Portabel
Benetti VIP	55	Portabel
Falkenstein D1S	21	Stationär

Tidmätningarna som gjorts för sågning är basen för beräkningarna av de allmänna kostnaderna och ett genomsnitt av dessa tider presenteras i *Tabell 4*. En standardavvikelse har tagits fram för det tidsdata som samlats in för Pellegrini TD25 samt Marini Mini Fil Super och presenteras i *Tabell 5*. Standardavvikelsen tas fram för att utvärdera robustheten i tidmätningarna. Enbart dessa modeller hade multipla tidmätningar som möjliggjorde framtagning av standardavvikelse.

Tabell 4 - Genomsnittstider för sågarna

	Genomsnittstid [h/m ²]
Pellegrini TD 25	0.28
Marini Mini Fil Super	0.47
Benetti VIP	0.21
Falkenstein D1S	0.90

Tabell 5 - Standardavvikelse Pellegrini TD 25 och Marini Mini Fil Super

	Standardavvikelse [h/m ²]
Pellegrini TD 25	0.0516
Marini Mini Fil Super	0.00009025

Personalkostnader för sågning

Samtliga sågar är automatiserade vilket möjliggör att personalen kan göra andra arbetsuppgifter under tiden sågen arbetar. Därför skall kostnaden beroende på sysselsättningen hos personalen jämföras för 20 % och 100 % sysselsättning medan sågen arbetar. Vid 100 % sysselsättning bevakar personalen sågprocessen under hela sågförloppet. 20 % sysselsättning innefattar det minimum av övervakning som krävs för att kontrollera sågen under hela sågförloppet. Beräkning av personalkostnaderna har genomförts enligt ekvation (4) och (5). Personalkostanden för de olika sågarna sammanställs i *Tabell 6*.

$$\text{Personalkostnad (100\%)} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \text{Genomsnittstid} \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Personalkostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{h}} \right] \quad (4)$$

$$\text{Personalkostnad (20\%)} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \text{Genomsnittstid} \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Personalkostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{h}} \right] \cdot 0.2 \quad (5)$$

Tabell 6 – Kostnader för personal

	Genomsnittstid [h/m ²]	Personalkostnad [kr/h]	Personalkostnad 20% sysselsättning [kr/m ²]	Personalkostnad 100% sysselsättning [kr/m ²]
Pellegrini TD 25	0.28	347.30	19.62	98.10
Marini Mini Fil Super	0.47	347.30	30.31	151.55
Benetti VIP	0.21	347.30	14.59	72.96
Falkenstein D1S	0.90	347.30	62.57	312.87

Energiförbrukningskostnader för sågning

Kostnader som kan hänföras till energiförbrukning uppstår under själva sågningen. Alla sågar drivs av el. Uppgifter om sågarnas effekt har hämtats ur tekniska specifikationer från tillverkarna.

Kostnaden för att såga en kvadratmeter sten för respektive såg beror på dess driftskostnad och hur snabbt den arbetar. Denna kostnad har beräknats enligt ekvation (6). Samtliga energikostnader presenteras i *Tabell 7*.

$$\text{Energikostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \text{Effekt [kW]} \cdot \text{Genomsnittstid} \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Elpris} \left[\frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right] \quad (6)$$

Tabell 7 - Energiförbrukningskostnader för sågarna

	Effekt [kW]	Genomsnittstid [h/m ²]	Energi [kWh/m ²]	Elpris (elnät) [kr/kWh]	Energikostnad [kr/m ²]
Pellegrini TD 25	18	0.28	5.35	0.8	4.07
Marini Mini Fil Super	18	0.47	7.86	0.8	6.29
Benetti VIP	55	0.21	11.56	0.8	9.25
Falkenstein D1S	21	0.90	18.93	0.8	15.14

Slitagekostnader för sågning

Sågarna ger upphov till olika kostnader för slitage, antaganden har gjorts om att dessa är gemensamma i beräkningarna. Slitagekostnaderna är oberoende av bearbetningstid samt driftskostnader, och kommer därför att vara konstant för alla sågar. Samtliga slitagekostnader som beaktas uppkommer av diamantvajern och beräknas enligt ekvation (7). Dessa illustreras i *Tabell 8*.

$$\text{Slitagekostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Totalt pris} [\text{kr}]}{\text{Livslängd} [\text{m}^2]} \quad (7)$$

Tabell 8 - Kostnad för diamantvajer

Inköpspris för diamantvajer [kr/m]	640
Längd diamantvajer [m]	20
Totalt pris [kr]	12800
Livslängd för diamantvajer [m ²]	100
Slitagekostnad [kr/m²]	128

Materialförluster för sågning

Kostnader som uppstår av materialförluster uppkommer när blocket ska formateras och ett indrag på fem cm behövs för att vajern ska få fäste. Materialförlustkostnaderna beräknas enligt ekvation (8) och sammanställs i *Tabell 9*.

$$\text{Materialförlust} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \left(\frac{\text{Bredd} [\text{m}]}{2} + \text{Indrag} [\text{m}] \right) \cdot \text{Försäljningspris} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^3} \right] \quad (8)$$

Tabell 9 - Materialförlust

Bredd vajer [m]	0.01
Indrag [m]	0.05
Förlust per avverkad yta [m ³ /m ²]	0.055
Försäljningspris [kr/ m ³]	10000
Materialförlust [kr/m²]	550

Sammanställning av beräkningar för sågning

Alla beräkningar har utförts för att ta reda på kostnaden per avverkad kvadratmeter sten [kr/m²]. Energiberäkningarna har baserats på användandet av elnätet och dess elpriser. Total kostnad för varje såg presenteras i *Tabell 10-13*.

Tabell 10 - Pellegrini TD 25

<i>Sysselsättning</i>	<i>100 %</i>	<i>20 %</i>
Personal [kr/m ²]	98	19.62
Energi [kr/m ²]	4.07	4.07
Slitage [kr/m ²]	128	128
Materialförlust [kr/m ²]	550	550
Total [kr/m²]:	780.20	701.69
Standardavvikelse (+/-) [kr/m²]:	18.67	4.33
Standardavvikelse (+/-) [%]:	2.39	0.62

Tabell 11 – Marini Mini Fil Super

<i>Sysselsättning</i>	100 %	20 %
Personal [kr/m ²]	151.55	30.31
Energi [kr/m ²]	6.29	6.29
Slitage [kr/m ²]	128	128
Materialförlust [kr/m ²]	550	550
Total[kr/m²]:	835.84	714.60
Standardavvikelse (+/-) [kr/m²]:	0.00846	0.0019
Standardavvikelse (+/-) [%]:	0.001	0.0003

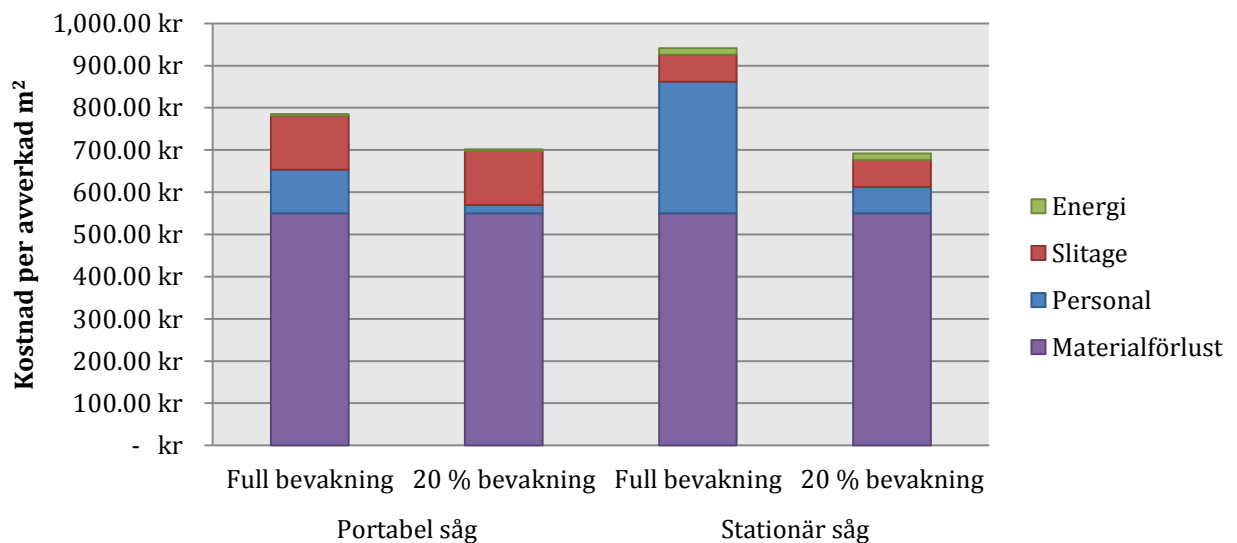
Tabell 12 – Benetti VIP

<i>Sysselsättning</i>	100 %	20 %
Personal [kr/m ²]	72.96	14.59
Energi [kr/m ²]	9.25	9.25
Slitage [kr/m ²]	128	128
Materialförlust [kr/m ²]	550	550
Total[kr/m²]:	760.21	701.84

Tabell 13 – Falkenstein D1S

<i>Sysselsättning</i>	100 %	20 %
Personal [kr/m ²]	312.87	62.57
Energi [kr/m ²]	15.14	15.14
Slitage [kr/m ²]	64	64
Materialförlust [kr/m ²]	550	550
Total[kr/m²]:	942.02	691.72

I Figur 9 sammanställs resultatet från den portabla sågen Pellegrini TD 25 och den stationära sågen Falkenstein D1S för att tydliggöra skillnader mellan deras sågmetoder.



Figur 9 – Sammanställning av sågberäkningar

5.1.3 Ekonomiska beräkningar för borrar

Två stycken olika borraralternativ behandlas och jämförs i studien. Det första alternativet är en automatiserad borrhög och det andra är en handhållen borrar, se *Tabell 14*. Båda alternativen använder sig av en kilningsprocess som antas utföras med en manuell hammare och kil.

Tabell 14 – Egenskaper för borrar

	Beteckning
BBD 12 T-01	Handhållen borrar
Tamrock Zoomrail	Borrhög

Tidmätningarna är basen för beräkningarna av de allmänna kostnaderna och ett genomsnitt av dessa tider presenteras i *Tabell 15*. En standardavvikelse har tagits fram för det tidsdata som samlats in för samtliga borrar metoder och presenteras i *Tabell 16*.

Tabell 15–Genomsnittstider borrar

	Genomsnittstid (hela processen) [h/m ²]	Genomsnittstid (endast borrar) [h/m ²]
BBD 12 T-01	0.12	0.06
Tamrock Zoomrail	0.29	0.24

Tabell 16 - Standardavvikelse borrar

	Standardavvikelse (hela processen) [h/m ²]	Standardavvikelse (endast borrar) [h/m ²]
BBD 12 T-01	0.025	0.0035
Tamrock Zoomrail	0.087	0.067

Personalkostnader för borrar

Det har antagits att personalen är 100 % sysselsatt vid båda borraralternativen. Detta antagande baseras på observationer från de olika studiebesöken och innebär ekonomiskt att personalkostnaden kommer stå för en väsentlig del av de totala borrarprocesskostnaderna. Personalkostnaden för borrar beräknas enligt ekvation (9) och presenteras i *Tabell 17*.

$$\text{Personalkostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \text{Genomsnittstid} \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Personalkostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{h}} \right] \quad (9)$$

Tabell 17 – Kostnader för personal

	Genomsnittstid [h/m ²]	Personalkostnad [kr/h]	Personalkostnad [kr/m²]
BBD 12 T-01	0.12	347.30	40.81
Tamrock Zoomrail	0.29	347.30	101.98

Energiförbrukningskostnader för borrar

Kostnader som kan hänföras till energiförbrukning uppstår under själva borrar. Energi förbrukas när de olika bormaskinerna ska drivas för att åstadkomma hål i stenen. Under borrarprocessen bildas även damm som kan avskiljas med hjälp av en dammsugare, vilken också drivs med el. Den efterföljande kilningsprocessen antas ske med en manuell hammare och kil som inte kräver elenergi.

Uppgifter om hur mycket luft som behövs för att driva den handhållna borrar och dammavskiljaren har hämtats från litteratur (Johansson 2014) och antagande har gjorts om att värdena även gäller för en borrar. Dessa visas i *Tabell 18*.

Tabell 18 – Förbrukningsvärden för borrar

Bormaskin [m ³ luft/h]	78
Kompressor i bormaskin [kWh/m ³ luft]	0.15
Dammavskiljare [m ³ luft/h]	1

Beräkningarna utgår ifrån att tider har mätts för att borrar en kvadratmeter sten [h/m²] utan hänsyn till den efterföljande kilningsprocessen, som inte antas ha någon energiförbrukning. För de uppmätta tiderna beräknas ett medelvärde som benämns genomsnittstid för borrar.

Energien som krävs för att komprimera den mängd luft som krävs för att driva bormaskinen och dammavskiljaren erhålls genom att multiplicera kompressorns energiförbrukning med respektive maskins luftåtgång. Detta multipliceras sedan med elpriset och genomsnittstiden för borrar för att få resultatet i standardenheten [kr/m²], se ekvation (10). Energiförbrukningskostnaderna för borrar presenteras i *Tabell 19*.

$$\begin{aligned} \text{Energikostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] &= \text{Luftåtgång} \left[\frac{\text{m}^3 \text{ luft}}{\text{h}} \right] \cdot \text{Kompressoreffekt} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ luft}} \right] \cdot \dots \\ &\dots \cdot \text{Genomsnittstid} \left[\frac{\text{h}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Elpris} \left[\frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Tabell 19 - Energiförbrukningskostnader för borrar

	Luftåtgång [m ³ luft/h]	Damm- avskiljare [m ³ luft/h]	Kompressor [kWh/m ³ luft]	Elpris [kr/kWh]	Genomsnittstid för borrar [h/m ²]	Energi- kostnad [kr/m²]
BBD 12 T-01	78	1	0.15	0.8	0.06	0.36
Tamrock Zoomrail	78	1	0.15	0.8	0.24	2.30

Slitagekostnader för borrar

De olika borraralternativen kan ge upphov till olika kostnader för slitage, men i beräkningarna har antagandet om att den handhållna borrar och borrarigen har samma inköpskostnad för borrarstång. Borrarstången som används till borrarigen kan efter en användning på 200 meter omsmidas så att ytterligare 200 meter kan borraras med samma stång innan den kasseras till metallåtervinning. Kostnaden för att smida om borrarstångarna beaktas inte i analysen.

Det som skiljer de olika borraralternativen åt är hur många hål som borraras per kvadratmeter [hål/m²] och hur djupa borrhålen är [m/hål]. Uttrycket borrarad meter per kvadratmeter [m/m²] som finns i *Tabell 20* erhålls genom att multiplicera de föregående faktorerna, se ekvation (11). En standardavvikelse beräknas och presenteras bredvid slitagekostnaderna [kr/m²].

$$\text{Slitagekostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Inköpspris} \left[\frac{\text{kr}}{\text{st}} \right] \cdot \text{Borrarad längd per kvadratmeter} \left[\frac{\text{m}}{\text{m}^2} \right]}{\text{Borrarad längd per borrarstång} \left[\frac{\text{m}}{\text{st}} \right]} \quad (11)$$

Tabell 20 - Borraruppgifter

	Inköpspris borrstång [kr/st.]	Borrarad längd per borrarstång [m/st.]	Borrarad längd per kvadratmeter [m/m ²]	Standard- avvikelse (+/-) [m/m ²]	Slitage- kostnad [kr/m²]	Standard- avvikelse (+/-) [kr/m²]
BBD 12 T-01	650	200	1.25	0.032	4.05	0.10
Tamrock Zoomrail	650	400	4.98	2.14	8.10	3.48

Materialförluster för borrar

För att avverka en sida på ett stenämne så måste ett snitt beredas längre in mot stenen för att undvika att den resulterande formateringen blir okontrollerbar. Avståndet som måste tilläggas är detsamma för borraralternativen.

Värdena i *Tabell 21* har uppskattats under studiebesök och ses som ett genomsnitt mer än exakta siffror. När värden på avstånden in på stenen som måste avlägsnas finns erhålls automatiskt antal kubikmeter sten som avlägsnas per kvadratmeter [m³/m²]. Detta värde multipliceras sedan med vad stenen kostar per kubikmeter [kr/m³] för att få fram standardenheten [kr/m²], se ekvation (12).

$$\text{Materialförlustkostnad} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right] = \left(\text{Indrag}[\text{m}] + \frac{\text{Borrdiameter}[\text{m}]}{2} \right) \cdot \text{Säljpris} \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^3} \right] \quad (12)$$

Tabell 21 - Materialförlustkostnader

Indrag [m]	0.125
Borrets diameter [m]	0.0275
Säljpris [kr/m ³]	10 000
Materialförlustkostnad [kr/m²]	1387.5

Sammanställning av borrhäknningar

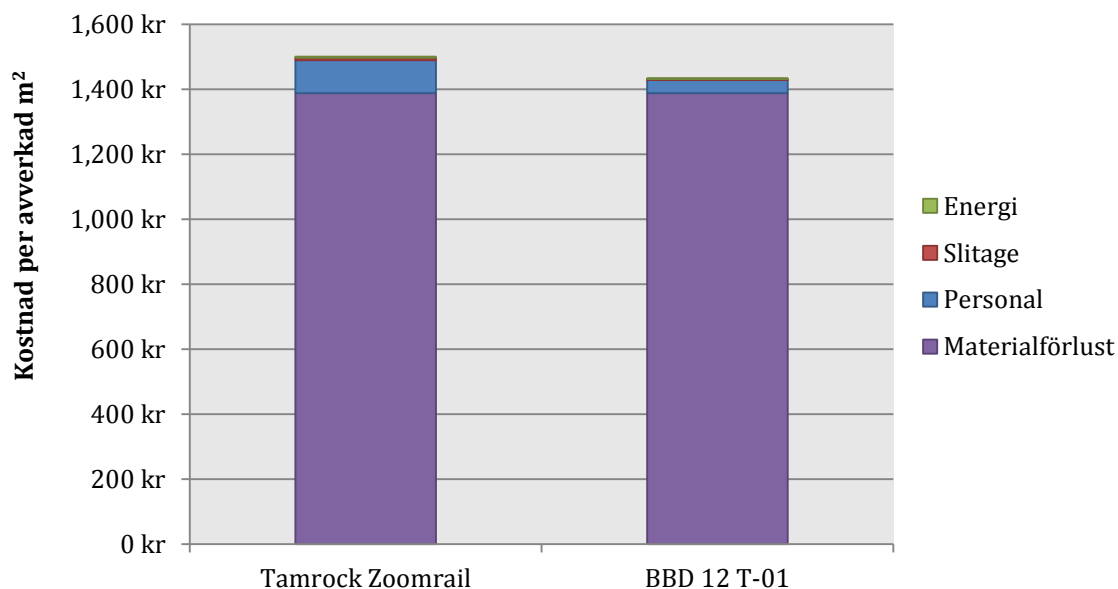
Alla beräkningar har utförts för att ta reda på kostnaden per avverkad kvadratmeter sten [kr/m²]. Resultatet av beräkningarna för borrhäkningsalternativen visas i *Tabell 22* och *Tabell 23*. En illustrativ sammanställning av resultaten för båda borrhäkningsalternativen visas i *Figur 10*.

Tabell 22 - Kostnader För Atlas Copco BBD 12 per kvadratmeter

Personal [kr/m ²]	40.81
Energi [kr/m ²]	0.57
Slitage [kr/m ²]	4.053
Materialförlust [kr/m ²]	1387.5
Total [kr/m²]:	1432.93
Standardavvikelse [kr/m²] (+/-):	8,90
Standardavvikelse [kr/m²] (%):	0,62 %

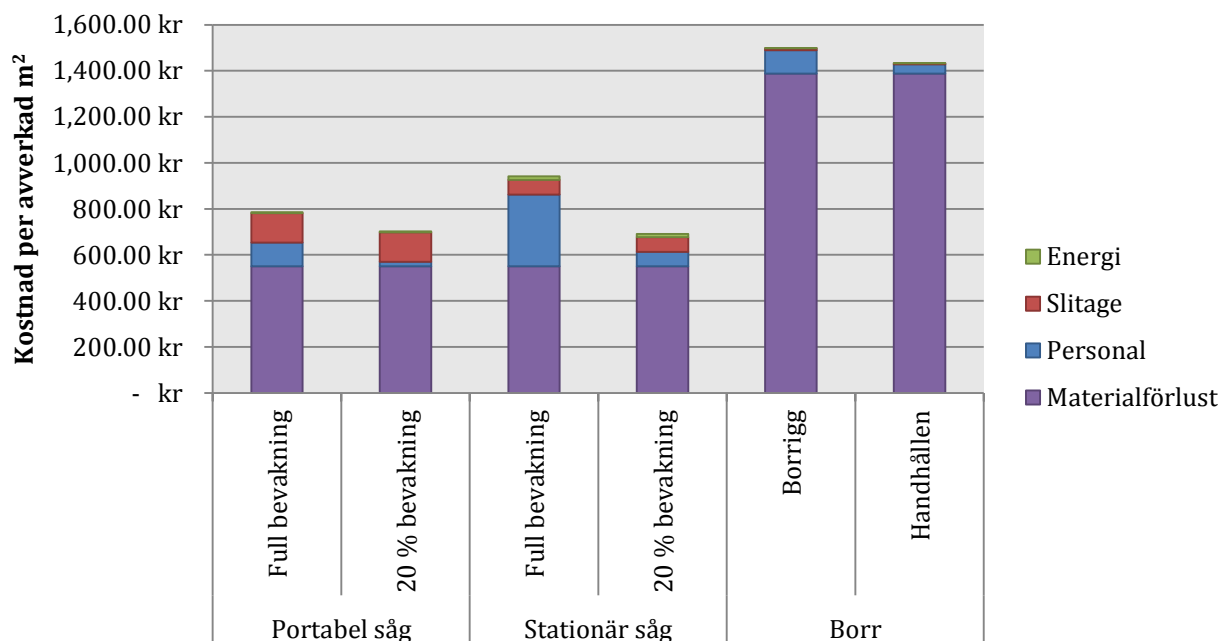
Tabell 23 - Kostnader för Tamrock Zoomrail per kvadratmeter

Personal [kr/m ²]	101.96
Energi [kr/m ²]	2.27
Slitage [kr/m ²]	8.10
Materialförlust [kr/m ²]	1387.5
Total [kr/m²]:	1499.84
Standardavvikelse [kr/m²] (+/-):	34,34
Standardavvikelse [kr/m²] (%):	2,29 %

**Figur 10 - Sammanställning av borrhäknning**

Sammanställning av såg- och borrarberäkningar

Nedan jämförs resultaten från beräkningarna från de olika metoderna i ett stapeldiagram, se *Figur 11*. Notera att detta resultat inte innefattar inköps- och servicekostnader.



Figur 11 – Sammanställning av såg och borrarberäkningar

5.1.4 Inköps- och servicekostnader

Här beräknas inköp och servicekostnader separat från tidigare uppkomna kostnader. Detta för att problematiken med att överföra resultatet i standardenheten [kr/m^2] medför att det inte blir en trovärdig slutsats på grund av att årsproduktionen är en för stor varierande faktor. Dessa kostnader analyseras istället i enheten [$kr/år$] och måste skiljas från tidigare sammanställda resultat.

Inköpspriset för att köpa in de olika bormaskinerna och inköpspriset visas i *Tabell 24* samt *Tabell 25*. Hammaren och kilen som används i kilningsprocessen för båda borraralternativen har exkluderas på grund av att inköpspriset har antagits vara lågt i jämförelse med maskinerna.

Tabell 24 – Inköpskostnader för borraralternativen

		Inköpspris [kr/st]
Borrugg	Tamrock Zoomrail	3 000 000
Handhållen borrar	Atlas Copco BBD 12 T-01	20 000

Tabell 25 – Inköpskostnader för sågalternativen

		Inköpspris [kr/st]
Portabel såg	Pellegrini TD 25	200 000
Portabel såg	Marini Mini Fil Super	200 000
Portabel såg	Benetti VIP	250 000
Stationär såg	Falkenstein D1S	900 000

Servicekostnader som krävs för att upprätthålla normal drift varierar mellan de olika metoderna. Enligt uppgifter som erhållits från de inblandande företagen så kräver borrhjgen dubbelt så mycket service än de andra alternativen för såg. Service är proportionellt med servicekostnader, vilket leder till att användningen av en borrhjg får högre servicekostnader än en såg. Dessa har uppskattats till 15000 respektive 30000 kr/år.

Uppgifter om servicekostnader för den handhållna borren BBD 12 har erhållits från dess tillverkare, Atlas Copco. Dessa är uppskattade till 3000 kr/år.

En avskrivningstid på 7 år har använts i beräkningarna och under dessa år antas inga servicekostnader uppkomma⁸. Maskinernas livslängd har uppskattats med hjälp av användare samt tillverkare och har antagits samma för alla maskiner⁹. Servicekostnaderna har därför uppskattats till att endast uppkomma under resterande år av maskinernas livslängd efter avskrivningstiden. Beräkningar för detta illustreras och sammanfattas i *Tabell 26*.

Tabell 26 - Årskostnad för maskiner

Maskin	BBD 12	Borrhjg	Falkenstein	Pellegrini/Marini	Benetti VIP
Inköpspris	20,000 kr	3,000,000 kr	900,000 kr	200,000 kr	250,000 kr
Livslängd [år]	20	20	20	20	20
Avskrivningstid [år]	7	7	7	7	7
Avskrivningskostnad/år	2,857 kr	428,571 kr	128,571 kr	28,571 kr	35,714 kr
Service/år efter avskr.	3,000 kr	30,000 kr	15,000 kr	15,000 kr	15,000 kr
Total kostnad livslängd	59,000 kr	3,390,000 kr	1,095,000 kr	395,000 kr	445,000 kr
Total kostnad per år	2,950 kr	169,500 kr	54,750 kr	19,750 kr	22,250 kr

5.1.5 Beräkningsverktyg

Beräkningsgången som används under hela ekonomiavsnittet har sammanställts i en Excelfil. Detta verktyg ska de tre inblandade företagen kunna använda sig av för egna framtida beräkningar. Den är modulerad så att egna tidmätningar samt parametrar förs in och ger beräkningsresultatet i samma format som används i sammanställningsavsnitten.

⁸ Jörgen Lundgren, Försäljning Hallindens Granit AB

Rolf Lundmark, VD Svimpex Granit AB

Magnus Richardsson, Produktion Emmaboda Granit AB, Telefonmöte 2015-04-02

⁹ Atlas Copco, Pellegrini samtal 2015-04-20

5.2 Kvalitet

När sten formateras med hjälp av borrar erhålls en varierande yta med låg ytfinhet. Borrar medför även flera kvarvarande spår efter borrhålen med en radie på ca 1.5 cm, se *Figur 12*. Handhållen borrar medför ofta även flikiga sidor som illustreras i *Figur 13*.



Figur 12 – Spår från borrhål



Figur 13 – Ojämna ytor efter handhållen borrar

Vid sågning fås en betydligt renare yta med en högre ytjämnhet vilket medför att man får en större del säljbar sten. Med den fina ytan synliggörs eventuella defekter i stenen som man inte hade sett vid borrar, detta minskar risken för eventuella reklamationer från kunder då stenen kan klassificeras korrekt innan försäljning. Det kan dock uppstå defekter även vid sågning, om diamantvajer utsätts för stort tryck i spåret kan repor uppstå. Exempel på hur reporna kan se ut illustreras i *Figur 14*. Dessa repor uppstår mestadels på en begränsad yta av den sågade stenen och påverkar inte stenens försäljningspris.



Figur 14 – Repor från diamantvajer efter sågning

5.3 Miljö

Samtliga maskiner som har studerats drivs av el. Företagen använder sig av elnät och i vissa fall av dieselaggregat. I studien har maskinernas koldioxidutsläpp beräknats då koldioxid är den emission som markant påverkar den globala växthuseffekten negativt. I tabellerna samt graferna nedan illustreras koldioxidutsläppen för dessa maskiner för att jämföra vilken maskin som har lägst negativ miljöpåverkan.

5.3.1 Koldioxidutsläpp

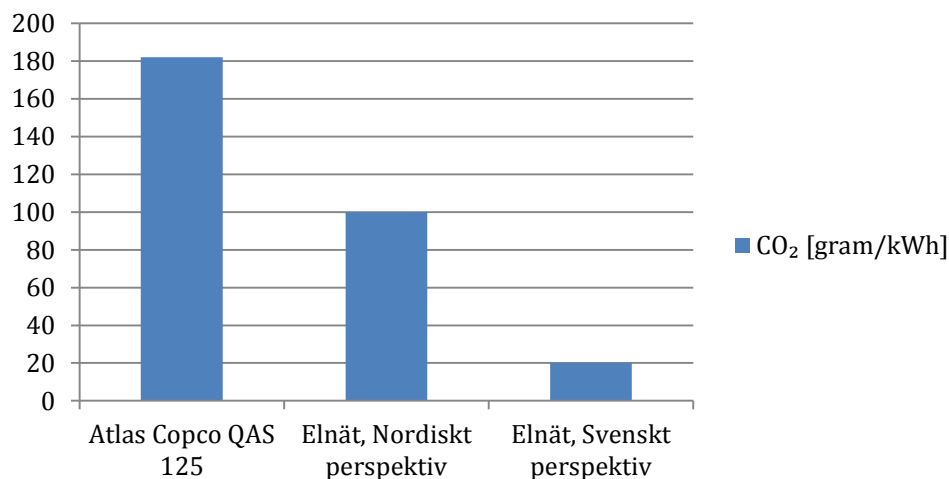
Koldioxidutsläpp från elnätet varierar beroende på hur elen har producerats vilket medför att samtliga metoder kommer ha olika koldioxidutsläpp beroende på vilken elleverantör de använder sig av. Studien kommer därför utgå från två perspektiv, nordiskt och svenskt perspektiv, där de involverade företagen sedan kan avgöra vilket perspektiv dem tillhör beroende på hur elleverantören producerar sin el. Då inte alla observerade stentäkter har tillgång till elnät är även en jämförelse med ett dieselaggregat utförd och redovisas i samma tabell.

Enligt den nordiska elmarknaden medför en kWh i genomsnitt ett utsläpp på ca 100 gram koldioxid. Detta är en viktning av hur de nordiska länderna producerar sin el och vilka utsläpp de medför. På den svenska elmarknaden produceras framförallt el genom vatten- och kärnkraft. Detta medför att en kWh i genomsnitt ger ett utsläpp på ca 20 gram koldioxid vid ett normalår, detta varierar beroende på den vattentillgång som finns under året och om Sverige behöver importera el eller om den kan producera ytterligare el genom vattenkraft (Svensk Energi 2014). Det finns inte tillgång till el i alla täkter och istället används dieselaggregat som substitut till elnätet. Det dieselaggregat som studerats är Atlas Copco QAS125 då det är detta dieselaggregat som studerats vid studiebesöken. QAS125 genererar 125kW och har en bränsleförbrukning på nio liter per timme, vilket leder till ett utsläpp på 22.86 kg koldioxid per timme. Se *Tabell 27*.

Tabell 27 – Koldioxidutsläpp från dieselaggregat

	Bränsleförbrukning [m ³ /h]	Emissionsfaktor [kg/GJ]	Värmevärde [GJ/m ³]	Utsläpp [gram/h]
Dieselaggregat (Atlas Copco)	0.009	72.01	35.28	22864.6

Skulle man istället använda sig av elnätet genererar 125 kW ett utsläpp på 2.5 kg respektive 12.5 kg koldioxid per timme enligt svenskt respektive nordiskt perspektiv. I *Figur 15* illustreras en jämförelse mellan dieselaggregat och elnät, koldioxidutsläppet är beräknat i gram per förbrukad kilowattimme.



Figur 15 – Jämförelse koldioxidutsläpp mellan dieselaggregat och elnät

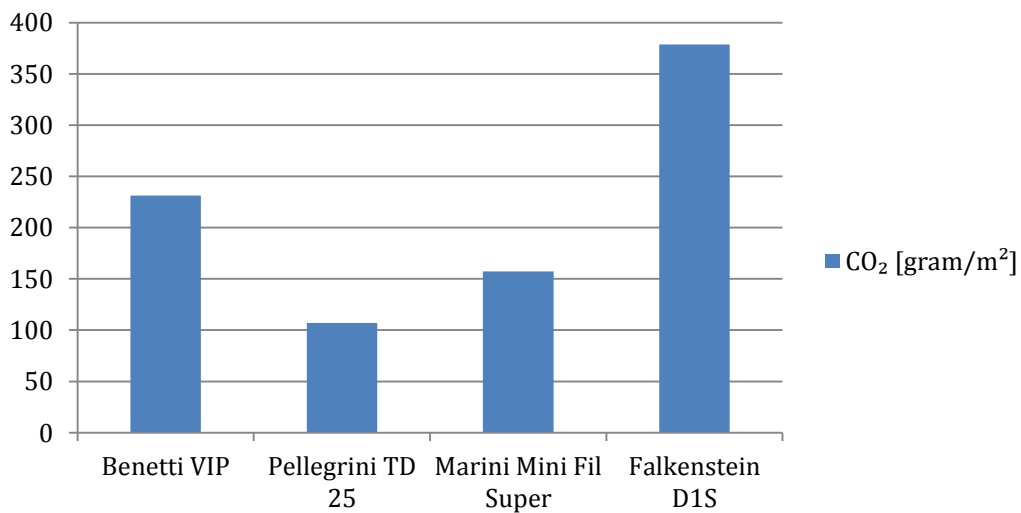
Sågning

De maskiner som ingår i studien är Benetti VIP, Marini Mini Fil Super, Pellegrini TD 25 samt Falkenstein D1S då det är dessa modeller som har studerats under studiebesöken. Samtliga sågar är eldrivna och deras koldioxidutsläpp illustreras i *Tabell 28*. Uträkningen till enheten [kWh/m²] baseras på de tidmätningar som gjorts under studiebesöken och återfinns i *Tabell 4*.

Tabell 28 – Koldioxidutsläpp för sågar

	Effekt [kW]	Energi [kWh/m ²]	Utsläpp CO ₂ , svenskt perspektiv [gram/m ²]	Utsläpp CO ₂ , nordiskt perspektiv [gram/m ²]	Utsläpp CO ₂ , dieselaggregat [gram/m ²]
Benetti VIP	55	11.56	231.2	1156	2114.4
Pellegrini TD25	18	5.35	107	535	978.52
Falkenstein D1S	21	18.93	378.6	1893	3462.3
Marini Mini fil super	18	7.86	157.2	786	1437.6

I *Figur 16* illustreras utsläppen från sågning enligt svenskt perspektiv, som synes har Pellegrini TD25 lägst koldioxidutsläpp per avverkad m² jämfört med de andra modellerna med elnätet som energikälla.



Figur 16 Koldioxidutsläpp för sågning med svenskt elnätsperspektiv

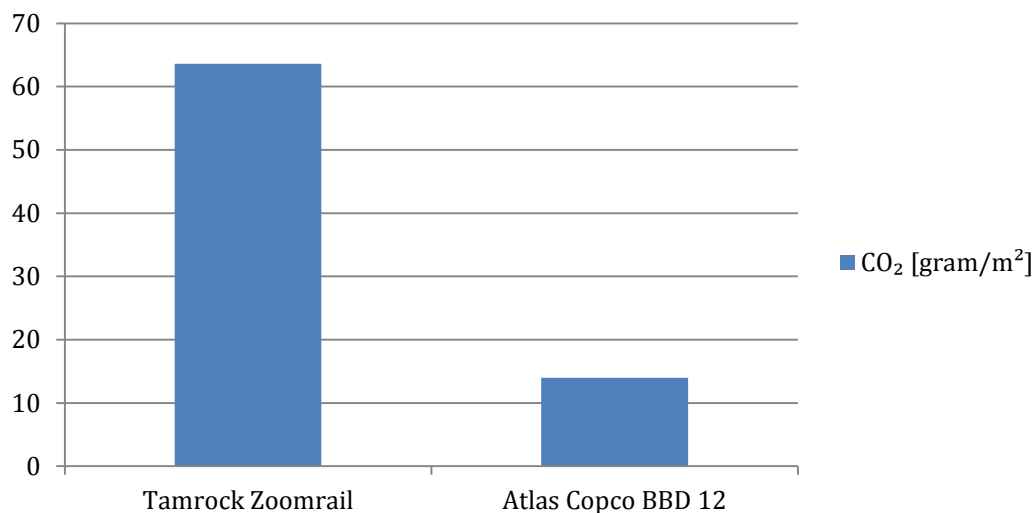
Borrning

Borrmaskinerna drivs av tryckluft som genereras med en eldriven kompressor. Borrarna som studerats är en handhållen BBD12 från Atlas Copco samt en automatiserad borrhugg av märket Tamrock Zoomrail. Antagande 0.15 kWh per m³ luft, då inräknat visst läckage och övriga förluster. Borrmaskinerna och tillhörande dammsugare förbrukar 78 m³ luft per timme respektive 1 m³ luft per timme. Detta ger totalt 79 m³ luft per timme vilket motsvarar en elförbrukning på 11.7 kW. Uträkningen till enheten [kWh/m²] baseras på de tidmätningar som gjorts under studiebesöken och återfinns i *Tabell 15*. Beräkningarna sammanställs i *Tabell 29*.

Tabell 29 – Koldioxidutsläpp från borrning

	Effekt [kW]	Energi [kWh/m ²]	Utsläpp CO ₂ , svenskt perspektiv [gram/m ²]	Utsläpp CO ₂ , nordiskt perspektiv [gram/m ²]	Utsläpp CO ₂ , dieselaggregat [gram/m ²]
Tamrock Zoomrail	11.7	3.18	63,6	318	581.67
BBD 12 T-01	11.7	0.70	14	70	128,04

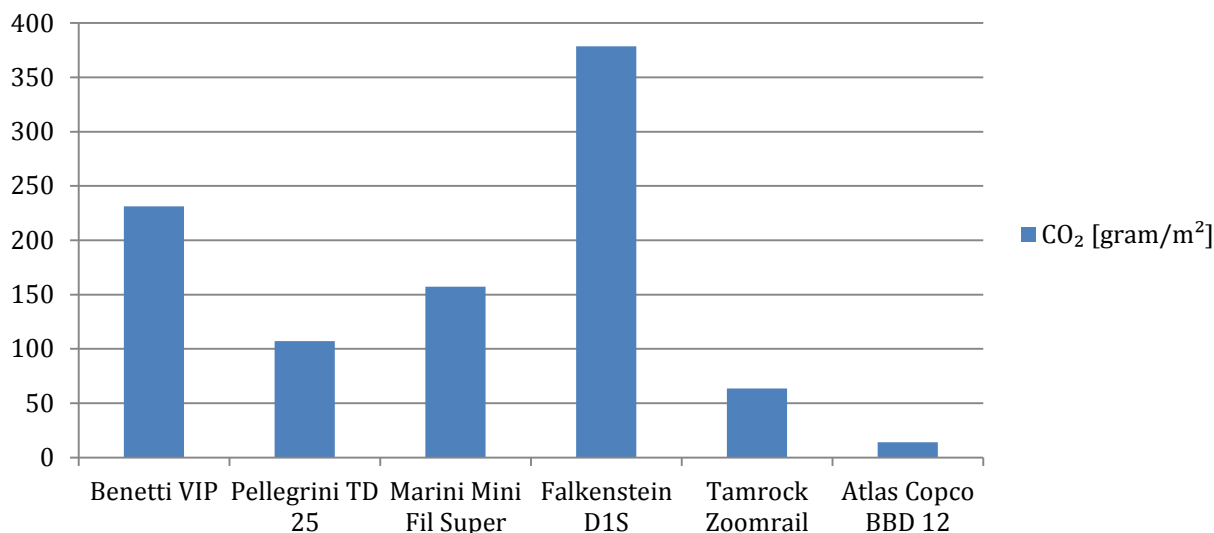
I *Figur 17* illustreras utsläppen från borrning enligt svenskt perspektiv, som synes har den handhållna borren BBD 12 lägst koldioxidutsläpp per avverkad m² jämfört med den automatiserade Tamrock Zoomrail med elnätet som energikälla.



Figur 17- Koldioxidutsläpp från borrning med svenskt elnätsperspektiv

Sammanställning

I Figur 18 illustreras koldioxidutsläppet per avverkad m² för samtliga maskiner. Det syns tydligt att den handhållna borrar BBD 12 från Atlas Copco har lägst koldioxidutsläpp i jämförelse med övriga maskiner. Ur miljösynpunkt är borrar därmed den bästa arbetsmetoden vid formatering av stenblock framförallt användning av handhållen borrar.



Figur 18- Koldioxidutsläpp från samtliga maskiner med svenskt elnätsperspektiv

För att få en bättre uppskattning om hur stora koldioxidutsläppen från maskinerna i slutprocessen är i förhållande till tåktens totala utsläpp har en procentandel beräknats och sammanställts i Tabell 30. Koldioxidutsläpp per sten varierar beroende på hur stor stenen är och en snittstorlek på 5 m³ används baserat på mätningarna som utförts i analysen. Enligt en LCA analys för stenblocksindustrin i USA är koldioxidutsläppet 580 kg per ton producerad sten i tåkten (Center for Clean Products 2008). LCA analysen beaktar samtliga steg i blockstensindustrin inkluderat transporten mellan processtegen, underhåll etc. Analysen innefattar dock även ytbehandlingar och packetering vilket inte utförs av de involverade företagen. Detta medför att procentsatsen är något missvisande då det är oklart hur höga utsläpp dessa steg har. En slutsats är dock att maskinerna i slutprocessen bidrar till en mycket liten del av de totala koldioxidutsläppen i blockstensindustrin.

Tabell 30- Andel koldioxidutsläpp som tillhör slutprocessen i blockstensindustrin

Modell	CO ₂ per sten i slutprocess [kg]	CO ₂ per sten i hela processen [kg]	Andel CO ₂ från slutprocess [%]
Tamrock Zoomrail	0.250	6960	0.0030
Atlas Copco BBD12	0.027	6960	0.0004
Falkenstein D1S	1.033	6960	0.0150
Pellegrini TD25	0.220	6960	0.0030
Benetti VIP	1.115	6960	0.0100
Marini Mini fil super	0.334	6960	0.0050

5.3.2 Återvinning

De komponenter som går att återvinna är borrarstängerna som används vid handhållen och automatiserad borrarning. Borrarstängerna som används vid den automatiserade borrarigen går dessutom att smida om en gång innan återvinning. Diamantvajer består av flera material så som metall, plast och diamanter. Vajern går därför inte att återvinna utan kasseras som metallskrot¹⁰. En diamantervajer är förbrukad efter 100 m² vid en portabel såg och 200 m² vid en stationär såg, ur miljösynpunkt baserad endast på diamantervajern så är därför den stationära sågen att föredra. En borrarstång är förbrukad efter 200 m för både handhållen och automatiserad borrarning. Då borrarstången för den automatiserade borrarren kan omsmidas är denna att föredra ur miljösynpunkt.

¹⁰ Ulf Eriksson, Försäljning Tyrolit AB, Telefonsamtal 2015-04-17

5.4 Arbetsmiljö och ergonomi

Som inledning till detta kapitel presenteras en olycka som skedde i mars 2011. En person som arbetade i ett stenbrott med bearbetning av stenblock skadade ena benet allvarligt. Skadan uppstod efter delningen av ett stenblock genom att halva stenblocket fallit över ena benet på den anställde (NorraSkåne 2011). Detta aktuella olycksexempel lyfter fram vikten av att utveckla arbetsmiljön och ergonomin för de anställda.

Det finns flera betydande sjukdomar som kan uppstå vid långtgående arbete med vibrerande handhållna maskiner däribland karpaltunnelsyndrom, impingement och vita fingrar. Karpaltunnelsyndrom innebär att nervinklämning i handleden orsakar smärta, domningar och svaghet. Vita fingrar, även kallad Raynauds sjukdom, orsakas av nedsatt blodflöde till följd av kramper i fingrarnas blodkärl. Impingement uppstår i samband med att arbete utförs i dålig arbetsställning, exempelvis om en operatör borrar med en handhållen borr och håller borsten i högre höjd än axelhöjd. Impingement är likt karpaltunnelsyndrom, ett inklämningssyndrom där vävnader i axeln hamnar i kläm. Vid inandning av stendamm finns risk för sjukdomen stendammlunga även kallad silikos, en sjukdom som tar 10 till 30 år att upptäcka efter det att expositionen ägt rum (Production Ergonomics 2015).

En anmärkningsvärd observation är att eftersom stentäkterna är placerade i skogen och tillgängligheten är begränsad gäller särskilda omständigheter om en olycka skulle uppstå. Ambulans och brandkår har tidskrävande sträckor att förflytta sig för att komma åt flera stentäkter och i vissa fall kan det vara svårt att komma åt avskilda delar av en stentäkt för räddningspersonal samt större fordon. Detta ökar kraven på att sjukutrustning och hjälp finns tillgängligt på plats då olyckan uppstår. Något som medför ytterligare risker är när personal jobbar över sena kvällar eller helger och det inte finns hjälp att tillgå. På grund av detta är det av högsta prioritet att de anställda har tillgång till goda kommunikationsmöjligheter om inte mobiltelefonen har täckning.

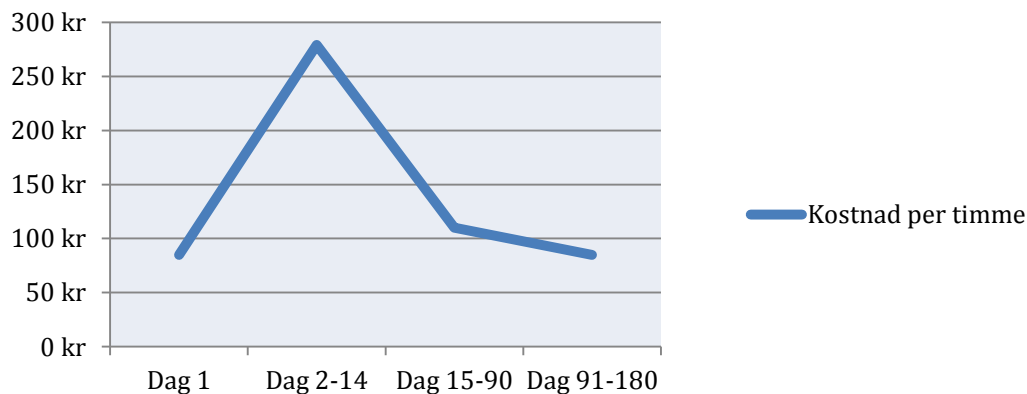
Enligt observationer är personalen av hög grad beroende av varandra för att arbetet ska flyta på effektivt, därför uppstår ett kritiskt läge då någon är borta på grund av vård av barn, sjukdom eller skada. Kostnader som uppstår i samband med frånvarande personal på grund av skada eller sjukdom varierar med avseende på den tid frånvaron sker. Försäkringskassan visar följande kostnader i *Tabell 31* och *Figur 19* nedan för de anställdas sjukfrånvaro. Viktigt att notera är att dessa kostnader inte tar hänsyn till potentiella kostnader för ny personal, sämre kvalitet, minskad produktion och andra typer av ersättningar (Försäkringskassan 2013). De kostnader som är medräknade presenteras i *Tabell 32*.

Tabell 31 – Kostnad sjukfrånvaro

	Dag 1	Dag 2-14	Dag 15-90	Dag 91-180
Antal timmar	8	96	600	712
Kostnad	680 kr	26 784 kr	66 000 kr	60 520 kr
Kostnad per dag	680 kr	2 232 kr	880 kr	680 kr
Kostnad per timme	85 kr	279 kr	110 kr	85 kr
Totalkostnad per halvår	153 984 kr			

Tabell 32 – Ersättning personal

Månadsinkomst	29 000 kr
Årsinkomst	348 000 kr
Arbetsgivaravgift	31,42 %
Semesterlön	12 %
OH-kostnader	30 %
Kompletterande avtal dag 15-90	10 %



Figur 19 – Sjukfrånvaro, kostnad per timme

Arbetsmiljöverket tillhandahåller föreskrifter och allmänna råd om vibrationer, buller och kvarts för att minimera risken att personal blir sjukskriven eller kräver tidigarelagd pension på grund av dålig hälsa. Vibrationer syftar till hand- och armvibrationer som överförs från utrustning som hålls, stöds eller styrs av hand eller arm. Beräkningen av den dagliga vibrationsexponeringen görs enligt (Arbetsmiljöverket 2005), med A_{max} som motsvarar den högsta frekvensvägda accelerationen under åtta timmars arbetsdag. Det rekommenderade gränsvärdet enligt arbetsförmedlingen är för hand- och armvibrationer $5,0 \frac{m}{s^2}$. Buller omfattar både hörselskadligt och störande ljud på en arbetsplats. Gränsvärdena i *Tabell 33* framställs i dB och gäller för buller avseende hörselskaderisk. Hänsyn till eventuell dämpning vid användningen av hörselskydd bör tas i beaktning. För att sätta dessa siffror i perspektiv innebär samtal med hög röst på en meters avstånd 70 dB (Arbetsförmedlingen 2014).

Tabell 33 – Gränsvärden buller

Buller avseende hörselskaderisk	Gränsvärden
Daglig bullerexponeringsnivå $L(8h)$ [dB]	85
Maximal A-vägd ljudtrycksnivå $L(max)$ [dB]	115
Impulstoppvärde $L(peak)$ [dB]	135

$L(8h)$ motsvarar ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå normaliserad till en åttatimmars arbetsdag. $L(max)$ motsvarar maximal A-vägd momentan ljudtrycksnivå. $L(peak)$ motsvarar momentan C-vägd ljudtrycksnivå. A-vägd ljudtrycksnivå motsvarar ljud på lägre frekvenser medan C-vägd ljudtrycksnivå motsvarar ljud på högre frekvenser. Särskilda villkor finns att tillgå på

arbetsmiljöverkets hemsida om hantering av kvarts eller kvartshaltigt material med syftet att förebygga ohälsa och besvär av luftföroreningar.

Anställd personal i de undersökta stenbrotten använder undantagsvis hjälm. Orsaken till varför hjälm inte används ideligen kan vara flera, en orsak är att det saknas tydliga regler och riktlinjer gällande användningen av hjälm. Erfarenheter pekar på att det vanligen är alla eller motsvarande ingen alls som använder hjälm eller liknande säkerhetsutrustning, andra uppdelningar förekommer sällan på arbetsplatser generellt. Det är även stora variationer i användandet av reflexväst och reflexjacka hos de anställda. Vid varmare väderlek används inte reflexjackan och det är inte alltid personalen använder en reflexväst istället utan jobbar enbart med tröjor eller t-shirtar ofta i svart kulör vilket försvårar synligheten. Dock används reflexjackan flitigt vid kallare väderlek av de allra flesta, mycket på grund av kyla. Inga tydliga regler mer än enskilda rekommendationer vad gäller användandet av skyddsutrustning går att hitta vilket kan vara en orsak till att användandet varierar beroende på täkt, väder, lättillgänglighet och arbetsuppgift. Det samma gäller användandet av dammsugare vid borring som kommer att diskuteras mer senare.

På samma vis som med skyddsutrustningen varierar säkerhetsmarkeringar och säkerhetsrutiner på stentäkterna. Några arbetsplatser saknar väl synliga säkerhetsmarkeringar och varningsskyltar vilket leder exempelvis till att de anställda kan befinna sig i närheten när tunga lyft sker med hjullastare. Detta sker då personen i hjullastaren har begränsad sikt och får hjälp att utföra sitt arbete av någon på marken som befinner sig i närheten där det tunga lyftet begås. Regnskydd eller tak saknas vid ett antal arbetsplatser vilket bidrar till förhöjda risker för de anställda. Vid sämre väderlek uppstår kraftig kyla och underlaget blir ofta lerigt och halt, detta orsakar halkrisk. Dock finns stugor där personalen har möjlighet att värma sig och torka sina kläder vid nederbörd. Skyddsglasögon används inte alltid, det finns en risk för stensplitter oavsett arbetsmetod och därför risk för olyckor. Arbetsljuset och sikten är mestadels bra då arbetet sker under dagtid. Under vinterhalvåret och på kvällar används strålkastare för att lysa upp arbetsplatsen vilket i det stora hela ersätter dagsljuset. Raster och pauser fungerar väldigt bra för de anställda och de upplever ingen påtaglig stress under arbetets gång. Dock är arbetet för många monotont och ibland ensamt, detta måste inte vara något negativt. I stort sett samtliga anställda har bra skor med stålhätta och bra grepp utifall det är halt underlag eller om någon olycka skulle ske där foten hamnade i kläm. Nedan följer en jämförande analys av de olika arbetsprocesserna.

5.4.1 Borring

Gällande borring med handhållen borr är skakningarna och risken för olyckor då användaren arbetar med dålig arbetsställning de största problemen vilket visas i *Figur 20*. När sidor på stenblock formateras med handhållen borr blir arbetsställningen väldigt dålig ur ergonomisk synvinkel. Detta då det är svårt att få fäste i stenen på en vertikal yta, kraften som operatören behöver använda ökar och risken för skador ökar. Ett annat stort problem är att det bildas damm som inte alltid sugs upp av en dammsugare. När stenblocket borraras bildas vassa kanter som en användare sedan vid kilningen kommer i kontakt med och riskerar att skära sig. Det finns dammsugare tillgängliga på alla arbetsplatser, dock används inte alltid dammsugaren som den ska vid manuell borring oftast av praktiska skäl som att det kan vara svårt att få fäste på en sned yta. Att inte använda dammsugare orsakar kraftig bildning av damm som operatören andas in vilket kan ge upphov till sjukdomar som tidigare diskuterats.

En fastmonterad automatiserad borr fungerar relativt bra ur en ergonomisk synvinkel. Det finns inga särskilda risker för olyckor om maskinen hanteras korrekt, detta då operatören befinner sig på flera meters avstånd från borren. Vid användandet av denna maskin används även dammsugaren konstant då den är fastmonterad vid borren. Vid borring i allmänhet förekommer mycket buller och det kräver att de anställda använder hörselskydd vilket enligt observationer fungerar bra på samtliga arbetsplatser.

5.4.2 Kilning och pluggning

Kilning som görs i samband med samtliga borrar metoder och pluggning som sker vid specifika tillfällen är två likartade processer som leder till att personalen exponeras för olycksrisker. Tunga och icke ergonomiska lyft förekommer då stänger samt borrar förflyttas och placeras vid det förberedande arbetet inför kilning eller pluggning. Släggan som används i processen medför stora risker för olyckor på grund av sin svårhanterlighet. Om användaren av misstag missar kilen och träffar stenen studsar släggan i stenblocket och kan olyckligt träffa kroppsdelar. Det finns även en risk vid miss att träffa sig själv på foten eller benet med släggan om arbetet inte sker med korrekt arbetsställning. Då stenblocket separeras finns fara för att de anställda fastnar med fingrar eller händer om stenen faller åt motsatt håll, eller att stenen faller över någon kroppsdel. Kilning och pluggning sker utan något nämnvärt buller eller störande ljud.

5.4.3 Sågning

Vid användning av portabel såg med diamantvajer är säkerheten för de anställda jämförelsevis hög förutsatt att ingen rör sig vid den sida av maskinen som vajern far mot om den går av. Några tåkter har markeringar och varningsskyltar, samt rutiner för att förhindra att någon rör sig bakom sågen då den är igång. Bildandet av damm är liten då vatten binder upp det mesta av dammpartiklarna. En stor fördel med att använda såg är att operatören kan utföra annat arbete under tiden. Vid sågning i allmänhet förekommer väldigt lite buller och de anställda kan arbeta utan hörselkåpor.

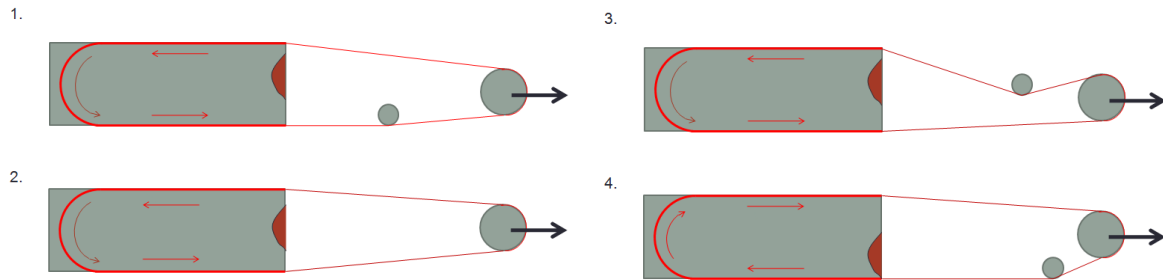
Stationär såg är på många sätt lik den portabla sågen och utsätter inte operatören för olycksrisk på något nämnvärt sätt då den är helt och hållet automatiserad och operatören befinner sig på flera meters avstånd. Risk för olyckor är minimal då vajern rör sig i horisontell led och om den går sönder händer inget mer än att den fastnar i stenblocket. Sågen befinner sig under tak med bra underlag och ljus vilket också underlättar arbetet. Sågen går att ställa in så att arbetet genomförs utan att någon operatör är närvarande vilket är det optimala sett ur ett ergonomiskt perspektiv.



Figur 20 – Borrning med handhållen borrar

5.5 Vidareutveckling av portabel såg

Det har uppmärksammats att det inte finns någon generell metod för att montera stödhjulen vid sågning. På de olika täkterna som har besökts har alla stödhjul varit placerade på olika sätt. Detta illustreras i *Figur 21*.



Figur 21 - Stödhjulsplacering av dagens metoder

Att dessa stödhjul placeras på olika sätt finns det ingen förklaring till. Det är därför av intresse att hitta en standardiserad placering av dessa stödhjul för att få en så effektiv avverkning av sten som möjligt.

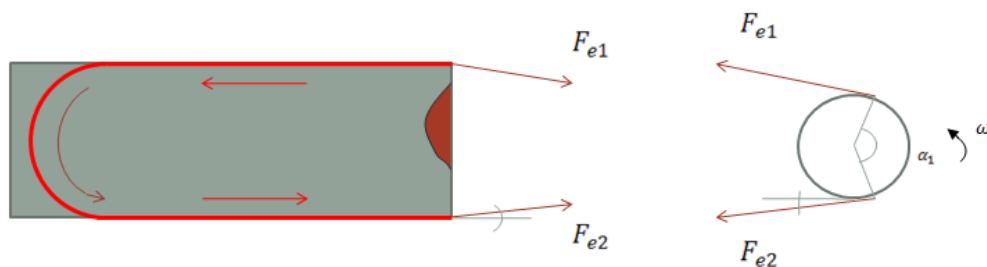
Vid avverkning av sten körs sågen tills en liten halvcirkel, med en diameter på ungefär 60 cm, kvarstår. Denna halvcirkel tenderar att lokaliseras både över och under centrum av stenen efter bearbetning, beroende vilken rotationsriktning sågen har.

5.5.1 Teori

Det har uppmärksammats att denna halvcirkel har positionerat sig någorlunda i mitten av stenen på de snabbaste avverkande sågarna. För den långsammaste sågen positionerade sig halvcirkeln i botten av stenen. Genom att placera stödhjulet på optimalt ställe kan halvcirkeln styras till att placera sig i centrum av stenen och kontrollera om det finns en relation mellan tidsåtgången och halvcirkeln. Detta skall leda till en så jämn avverkning som möjligt vilket leder till maximal effektivisering av vajerslitage, tidsåtgång och energianvändning.

Eytelweins ekvation

Johann Albert Eytelwein var en betydande tysk ingenjör från Berlin som levde på 1700-1800 talet. Eytelweins ekvation beskriver förhållandet mellan två linkrafter kring ett drivande hjul, beroende på friktion och omslutningsvinkel. En kraftjämvikt har gjorts för att visa detta, se *Figur 22*.



Figur 22 - Kraftjämvikt

Eytelweins ekvation:

$$F_{e2} = F_{e1} e^{\mu_s \alpha_1}$$

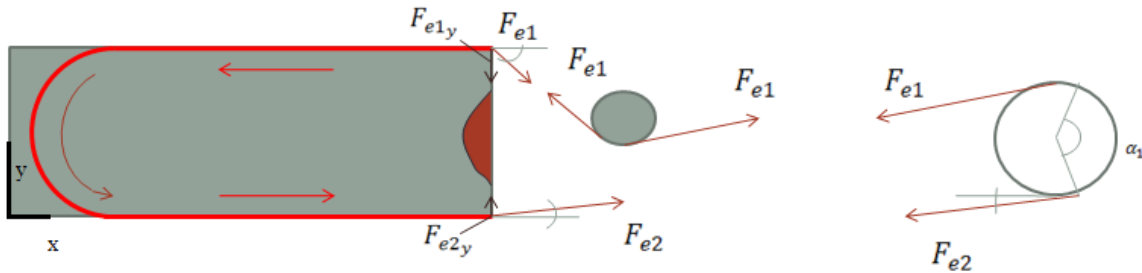
→

$$F_{e2} > F_{e1}$$

Ekvationen visar att den dragande linkraften från stenen är större än den tryckande, vilket bevisar varför halvcirkeln, vid denna rotationsriktning, placerar sig ovanför centrum.

5.5.2 Hypotes

Eftersom den dragande linkraften alltid kommer vara större än den tryckande kraften från det drivande hjulet, måste krafternas uppdelning justeras med ett stödhjul. Avverkning av stenen i lodrät riktning sker endast med avseende på krafternas komponenter i y-led. Genom att placera hjulet närmare stenen erhålls en snävare vinkel mot stenens kant, vilket ökar kraften i y-led, se *Figur 23*.



Figur 23 – Kraftjämvikt – Tillagt stödhjul

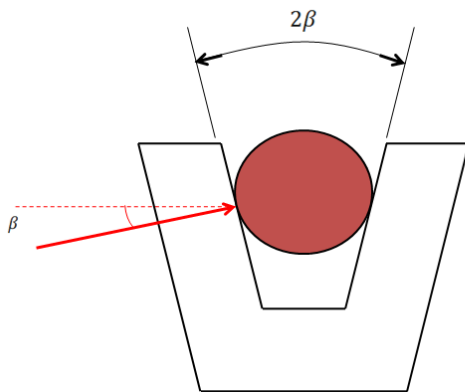
För att alltid erhålla en anlagd kraft i lodrät riktning på stenen bör stödhjulet placeras så att dess nedre kant är i centrum av stenen. Med denna placering av stödhjulet är hypotesen att erhålla lika stora linkrafter i y-led vid stenens kant.

Det som skall erhållas är:

$$F_{e2y} = F_{e1y}$$

Friktionskoefficient på drivande hjul

Spåret för vajern på det drivande hjulet kan jämföras med ett kilremsspår. En viss vinkel β på kilremsspåret möjliggör bra fäste för diamantvajern, se *Figur 24*. Kilremsspåret är gjort i gummi.



Figur 24 - Kilremsspår

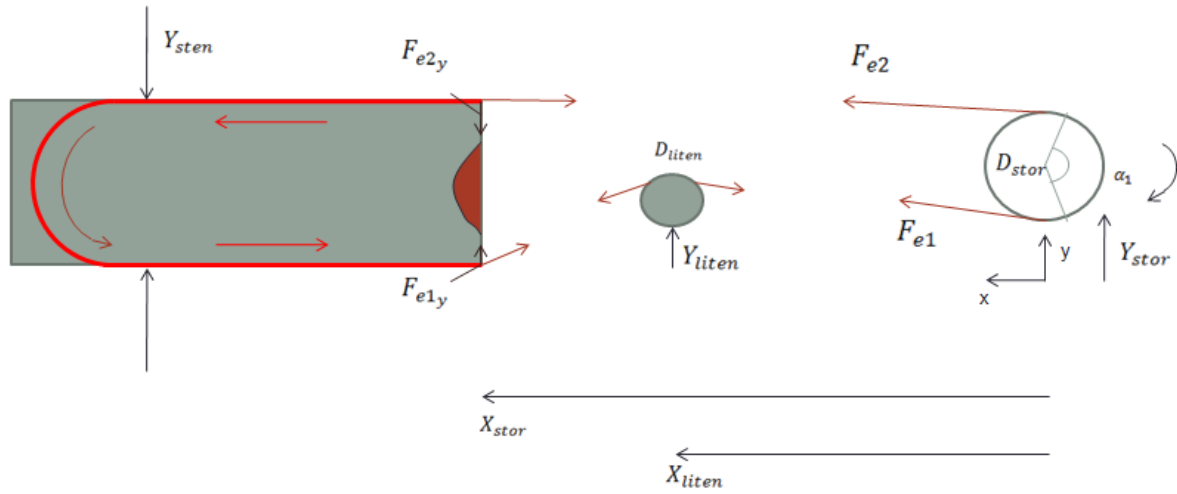
För att få likhet mellan ett kilremsspår och ett planremsspår, införs här ett *skenbart friktionstal*:

$$\mu_s = \frac{\mu}{\sin \beta}$$

Ett planremsspår har $\beta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \mu_s = \mu$, d.v.s. kan denna användas till både kil- och planremsspår (Mägi, Melkersson 2013).

5.5.3 Geometri

En geometrisk kartläggning har gjorts där testet kommer att utföras.



Figur 25 - Geometrisk kartläggning

- X_{stor} = Avstånd mellan sten och stort hjul
 Y_{stor} = Höjd mellan mark och botten av stort hjul
 X_{liten} = Avstånd mellan sten och litet hjul
 Y_{liten} = Höjd mellan mark och botten av litet hjul
 Y_{sten} = Höjd sten
 D_{stor} = Diameter stort hjul
 D_{liten} = Diameter litet hjul
 α = Omslutningsvinkel
 β = Kilremsspårvinkel
 μ_s = Skenbar friktion

Kraftkomposanterna kan, med hjälp av geometri från Figur 25 härledas enligt ekvation (13) och (14).

$$F_{2y} = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{Y_{sten}-D_{stor}-Y_{stor}}{X_{stor}}\right)\right)e^{\alpha\mu_s} \quad (13)$$

$$F_{1y} = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{Y_{liten}+D_{liten}}{X_{stor}-X_{liten}}\right)\right) \quad (14)$$

Med hjälp av dessa ekvationer kan det fås huruvida kraftkomposanterna kan fås lika eller ej. Om F_{2y} antar ett värde > 1 är detta problem ej lösbart, då F_{1y} alltid kommer att vara ≤ 1 på grund av dess sinusfunktion. Detta gör att exponentialfunktionen från Eytelweins ekvation är av högsta betydelse.

5.5.4 Testmetod

Testet kommer att gå ut på att placera stödhjulet så att kraftkomposanternas i y-riktning blir lika. Eftersom friktionskoefficienten är svår att ta fram för just detta enstaka fall, kommer denna vara en varierande parameter som testet baseras på. Då diamantvajern är täckt i plast och kilremsspåret är gjort i gummi är här friktionskoefficienter för läder/trä och gummi/metall antagits relevanta för detta fall. De friktionskoefficienter (Nordling, Österman 1987) som har gjorts beräkningar för finns i *Tabell 34*.

Tabell 34 - Friktionskoefficienter

Materialkombination	Statisk friktion
Läder/trä (våt yta)	0.27
Gummi/metall	0.4
Metall/trä	0.5

För att påvisa hur stor inverkan kilremsspårets vinkel och friktionskoefficienten har på den dragande linkraften tabelleras värdena på de uppkomna krafterna för olika vinklar och friktionskoefficienter nedan. Observera att de konstanta värdena i *Tabell 35* endast är exempel och dess syfte är att visa hur krafterna påverkas.

Tabell 35 - Testfall, visar hur friktionen och vinkeln på kilrem påverkar

Konstanta värden		μ	β [°]	F_{1y}	F_{2y}
X_{stor}	6	0.3	36	0.5450	0.2482
Y_{stor}	1	0.4	36	0.5450	0.4236
α	180°	0.5	36	0.5450	0.7228
D_{stor}	0.6	0.3	18	0.5450	1.0544
X_{liten}	4	0.4	18	0.5450	2.9142
D_{liten}	0.3	0.5	18	0.5450	8.0544
Y_{liten}	1				
Y_{sten}	1.9				

Tre olika tester kommer utföras med olika placeringar av stödhjulet beroende på friktionskoefficient. Resultatet kommer sedan utvärderas huruvida jämn avverkning som erhållits.

5.5.5 Testgenomförande

Testet genomfördes på Emmaboda Granits stentäkt i Bårarp, Getinge. Geometridata för detta test presenteras i *Tabell 36*.

Tabell 36 - Geometridata

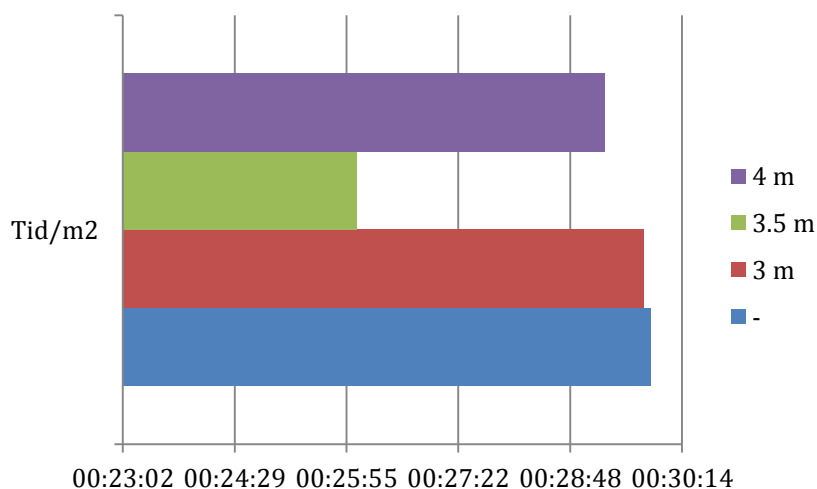
Testets geometriska värden	
X_{stor}	6
Y_{stor}	1
α	180°
β	36°
D_{stor}	0.6
X_{liten}	Varieras
D_{liten}	0.3
Y_{liten}	0.5
Y_{sten}	Varierande

Tre olika placeringar av stödhjulet gjordes under testsessionen. Med avseende på dessa utvärderas hur avverkningstiden och positionen på den kvarvarande halvcirkeln har förändrats. På grund av kollision mellan övre och undre vajer var stödhjulet fixt i sidled och kunde förflyttas en meter i sidled. En tidmätning gjordes först på befintlig metod för att kunna jämföra resultatet. Tidsresultatet presenteras i *Tabell 37*.

Tabell 37 - Data för testsession

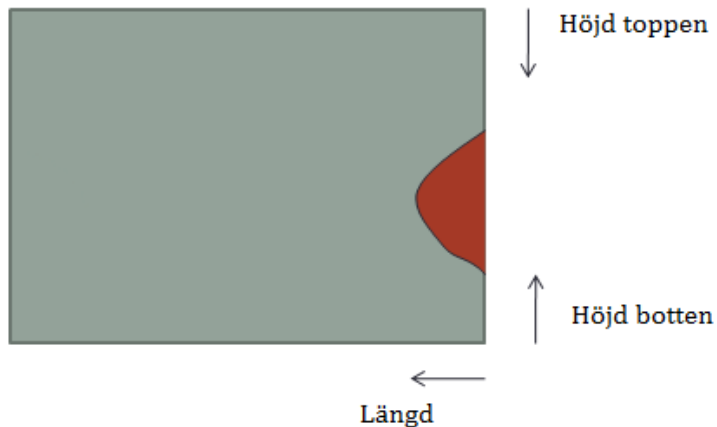
Sten	X_{liten}	Y_{liten}	Höjd [m]	Bredd [m]	Area [m ²]	Tid [h]	Tid/m ²
1	-	-	1.25	1.4	1.75	00:52:13	00:29:50
2	3 m	0.5	1.15	1.25	1.4375	00:42:46	00:29:45
3	3.5 m	0.5	1.12	1.37	1.5344	00:39:59	00:26:03
4	4 m	0.5	1.25	1.45	1.8125	00:53:01	00:29:15

En grafisk redovisning för tidsresultatet presenteras i *Figur 26*. Observera att skalan avser slutskedet av tidmätningen.



Figur 26 - Tidsåtgång med olika placering av stödhjul

En illustrativ bild av halvcirkelns position på stenblocket visas i *Figur 27*. Positionen på halvcirkeln för de olika testfallen presenteras i *Tabell 38*.



Figur 27 - Halvcirkelns positionsändring

Tabell 38 - Data för position av halvcirkel

Sten	Höjd botten [m]	Höjd toppen [m]	Längd [m]
1	0.1	0.6	0.22
2	0.15	0.5	0.3
3	0.2	0.4	0.31
4	0.22	0.4	0.31

För att redogöra vilken friktion som är rimlig att anta med avseende på resultatet presenteras i *Tabell 39* förhållandet mellan kraftkomposanterna vid de tre testfallen, beräknade med olika friktionskoefficienter.

Tabell 39 - Kraftkomposanter med avseende på friktionskoefficient

Friktionskoefficient	X_{liten}	Y_{liten}	Fe1y	Fe2y
0.3	3	0.5	0.2577	0.3289
	3.5	0.5	0.3048	0.3289
	4	0.5	0.3714	0.3289
0.4	3	0.5	0.2577	0.6165
	3.5	0.5	0.3048	0.6165
	4	0.5	0.3714	0.6165
0.5	3	0.5	0.2577	1.1556
	3.5	0.5	0.3048	1.1556
	4	0.5	0.3714	1.1556

Eftersom förhållandet mellan höjd botten och toppen är ungefär 1:2 (*Tabell 38*) vid det tredje och fjärde testet jämfört med det första, är det rimligt att kraftkomposanterna bör ha liknande förhållande. Genom *Tabell 39* kan därför en friktionskoefficient på runt 0.4 antas trovärdig i detta fall.

6. Alternativa lösningar

En undersökning av marknaden har genomförts för att studera alternativa lösningar inom blockstensindustrin som kan användas i slutprocessen.

Abrasiv vattenskrining och laserskrining

Vid abrasiv vattenskrining används högt trycksatt vatten som blandas med abrasivmedel för att skära genom material. Vattenskrining är en kall bearbetningsprocess vilket gör det möjligt att skära genom alla typer av material som exempelvis sten (Swedish Waterjetlab 2015). Vattenskrining används vanligen vid brandbekämpning eller för att skära ut tunnare detaljer. Vattenskrining begränsas dock till material som är tunnare än 300 mm vilket gör att metoden inte kan tillämpas vid formatering av stenblock (Hydrocut 2015). Även laser kan användas för att skära i sten, där en laserstråle värmer upp ett mycket litet snitt på materialet och smälter lokalt den punkten. Detta ger ett mycket exakt snitt med minimalt spill då lasern kan kontrolleras bra med hjälp av datorer. Även denna metod begränsas dock av blockstens storlek då laserskrining endast skär material med tjocklek upp till 30 mm (Anderssons Mekaniska AB 2015).

Flame Jet Cutter

Pellegrinis produkt Flame Jet Cutter använder en eldsflamma för att dela stenen. Denna metod anses inte effektiv och används främst i länder som inte har höga krav på utsläpp av koldioxid. Den är dessutom mest lämpad för att bryta ut större block från berget då den medför stora materialförluster vilket innebär att den inte är lämplig att använda vid formatering (Pellegrini Meccanica 2015).

Övriga sågar

Det finns andra typer av diamantsågar på marknaden som kan användas vid formatering. Det är framförallt på den asiatiska marknaden dessa förekommer i olika utföranden. En variant är sågen Kunhong Diamond Saw Blade vilken har en stor diamantbeklädd klinga med en diameter på 3600 mm (Linyi Kunhong Tools Co 2015). Denna typ av såg är inte testad i denna studie vilket medför att dess utförande ej kan bedömas.

7. Slutsats

I denna studie har en analys av slutprocessen inom blockstensindustrin genomförts. En jämförelse mellan de vanligaste arbetsmetoderna, sågning och borrar, är utförd med avseende på ekonomi, kvalitet, miljö samt arbetsmiljö och ergonomi.

Analysens resultat är följaktligen:

- Ur ekonomiskt perspektiv är sågning den arbetsmetod som är att föredra. Sågning är ungefär 40 % billigare än borrar.
- Med avseende på kvalitet ger sågning en renare yta på slutprodukten än borrar vilket synliggör defekter i stenen och därmed minskar risken för reklamationer.
- Ur miljösynpunkt är borrar att föredra då denna arbetsmetod har en lägre energiförbrukning vilket medför lägre koldioxidutsläpp. Den handhållna borrar har ungefär 87 % lägre koldioxidutsläpp än Pellegrini TD25.
- Med avseende på arbetsmiljö och ergonomi är sågning fördelaktigt då borrar medför en större spridning av damm samt vibrationer från borrar vilket kan medföra arbetsrelaterade sjukdomar och skador. Även risken att utsätta sig för dåliga arbetsställningar vid användning av handhållna borrar betyder att automatiserad såg är bättre.
- Vidareutveckling av såg ledde till marginell förbättring med avseende på tidsåtgång.
- Vidareutveckling av såg ledde till att halvcirkeln positionerade sig närmare centrum än tidigare.
- Skillnaden i slitage efter vidareutvecklingen kunde inte verifieras.

8. Diskussion

Resultaten från denna analys är av hög betydelse för företagen på grund av globaliseringen och den ökade konkurrenssituationen som råder i branschen. Blockstensindustrin växer framför allt i Asien (Ashmole, Motloun 2008) och andra delar av Europa. Sverige har tillgång till bra natursten och en stor del av denna exporteras över hela världen. För att bli mer konkurrenskraftiga mot den internationella marknaden är det därför viktigt för den svenska industrin att förbättra sin produktionsprocess. Projektet ingår i ett större forskningsprojekt i samarbete med Chalmers Rock Processing Systems som behandlar en större del av branschen.

Resultatet visar att sågning är den process som är att föredra med avseende på ekonomi, kvalitet samt arbetsmiljö och ergonomi. Borrning visades vara fördelaktig endast ur miljösynpunkt då koldioxidutsläppen var betydligt lägre på grund av en snabbare avverkningshastighet och lägre effektåtgång. Ur ett större perspektiv bidrar detta resultat till möjligheter att förbättra produktivitet, lönsamhet och arbetsförhållanden. Dessa faktorer är bidragande och centrala för blockstensindustrins framtida utveckling. Denna analys belyser potentialen att med små investeringar uppnå stora förbättringar i slutprocessen.

Noggrannheten i studien kan anses vara till viss del begränsad då antalet formella kvalitativa intervjuer är få. Observationerna som genomförts anses dock till viss del väga upp saknaden av intervjuer då de skett kontinuerligt under samtliga studiebesök. Fler intervjuer hade kunnat ge en djupare förståelse för branschen och de anställdas åsikter gällande arbetsmiljö och ergonomi. Avsaknaden av flertalet intervjuer har dock bidragit till en mer objektiv syn med begränsad påverkan från enskilda individers åsikter med avseende på.

Resultatet är baserat på ett flertal mätningar av de olika metoderna som används i slutprocessen. En del av dessa metoder har endast ett fåtal mätningar kunnat genomföras och för att få ett mer pålitligt resultat hade fler mätningar varit nödvändiga. Att vissa metoder har få mätningar beror på att vissa processer tar längre tid eller endast används på ett fåtal täkter.

Diamantvajerarnas egenskaper varierar med avseende på slitage och tillverkare. En ny diamantvajer avverkar generellt sett stenen med en lägre hastighet än en äldre då en större del av diamanterna kommer i kontakt med stenen då vajern är mer utnött. Vid tidmätningarna som ligger till grund för analysen har diamantvajerarna varit från olika tillverkare och olika mycket använda vilket medför en avvikelse i resultatet. Dessa avvikelser har inte beaktats i analysen då det hade behövts ett stort antal mätningar för att få en korrekt uppfattning om diamantvajerns inverkan på avverkningshastigheten.

Processerna i branschen är ofta svåra att standardisera på grund av naturmaterialets struktur i sig. Naturmaterialet varierar mycket i kvalitet, struktur och form, faktorer som kräver hög flexibilitet och kunskap hos personalen. Variationen mellan olika bergtyper i industrin är hög och hur stor inverkan detta har på slutprocessens utförande är i dagsläget oklart. Detta medför att resultatet från analysen inte kan konstateras vara korrekt för alla typer av natursten.

8.1 Rekommendation

Resultatet tyder på att det finns en stor potential i att effektivisera blockstensindustrin. Då den tidigare forskningen inom detta område är i stort sett obefintlig bör samtliga verksamma inom branschen fundera mer kring på vilket sätt forskning och utveckling kan bidra till verksamheten och på lång sikt överlevnaden.

Projektgruppen rekommenderar att i stor utsträckning använda sig av sågning i slutprocessen. Företagen bör även försöka planera arbetet och möjliggöra att personalen skall ha andra arbetsuppgifter att arbeta med under tiden sågen arbetar exempel vid uppmätning och

märkning av block. Det finns dock undantag då borrar är att föredra. När stenblocken har tydliga naturliga sprickor går det betydligt snabbare att borra med handhållen borr eller pluggning. Det har i enstaka fall förekommit onödiga ställtider i produktionen vilket medför att personal och maskiner står outnyttjade. Projektgruppen rekommenderar därför ledningen att kontinuerligt se över tåkternas logistik och personal så att produktionsflödet utnyttjas till sin maximal kapacitet.

Fortsättningsvis beskrivs rekommendationer och eventuella förbättringsmöjligheter för de aspekter som diskuterats i projektets frågeställning.

Ekonomi

De ekonomiska beräkningarna visar att sågning är den metod som är att föredra, speciellt om man kan organisera så personal kan arbeta med andra sysslor under processens gång. Den stationära sågen visar sig vara mer kostsam att använda i slutprocessen, skillnaden är dock marginell vid 20 % bevakning. Då denna såg kan programmeras och därmed bli helt självgående kan natt- och helgproduktion bli möjlig. Den stationära sågen innebär dock en större investeringskostnad på närmare en miljon kronor.

Denna studie har enbart analyserat slutprocessen. Framtida analyser av blockstensindustrins övriga processer bör genomföras innan stora investeringar utförs. Ledningen bör hålla sig uppdaterade om nya maskiner finns på marknaden och fundera kring om nyinvesteringar kan betala tillbaka sig i produktivitet och effektivitet.

Kvalitet

De enda kvalitetsskillnader som funnits i arbetsmetoderna är att man vid sågning tydligare kan se defekter i stenen och därmed motverka eventuella reklamationer. Då reklamationer är ovanliga i dagsläget även då borrar används ses detta som en mindre avgörande faktor vid val av arbetsmetod.

Miljö

Miljöanalysen visar att handhållen borrar är överlägsen andra arbetsmetoder med avseende på utsläpp av koldioxid. Detta för att den kräver mindre el för att utföra sin uppgift, dock anses utsläpp från övriga arbetsmetoder ligga inom rimliga gränser och bör inte hindra företagen från att använda dessa i slutprocesserna. Företagen rekommenderas att förse alla tåktar med el då användning av dieselaggregat ger upp till nio gånger större utsläpp av koldioxid. Då studien endast analyserat möjlig återvinning av borrarstänger samt diamanthålar och inte miljökonsekvenser av tillverkningsaspekter på dessa samt resterande komponenter för hela maskinerna rekommenderas företagen att göra en mer omfattande miljöanalys innan nya investeringar genomförs.

Arbetsmiljö och ergonomi

Arbetsmiljöanalysen visar att sågning är fördelaktigt då borrar medför högre olycks- och sjukdomsrisk. Arbetsgivaren bör ta del av publicerad forskning inom arbetsmiljö och ergonomi för att genomföra välgrundade riskbedömningar på det arbete som utförs. Undersökningar av arbetsförhållandena och bedömningar av i vilken omfattning de anställda utsätts för dessa risker bör göras. Riskbedömningar görs regelbundet och dokumenteras så att uppgifterna kan användas i framtiden. För att initiera arbetet med arbetsmiljö och ergonomi görs en nulägesanalys där arbetstagarna genomför en medicinsk kontroll där samtliga värden utvärderas mot de risker som finns. Om riskbedömningen motiverar så skall orsaken till riskerna utredas och åtgärder vidtas så att riskerna minimeras. Exempel på åtgärder kan vara alternativa arbetsmetoder, val av arbetsutrustning, tillgång till hjälpmedel, underhållsprogram för maskiner, noga utformning och planering av arbetsplats, utbildning av personal, begränsad exponering av risker, anpassning av arbetstider samt tillhandahållande av skyddande

arbetskläder och utrustning. Samtliga åtgärder som planeras dokumenteras i en skriftlig handbok där det även finns information om när det skall göras och vem som bär ansvaret. Vid höga bullernivåer bör personalen använda sig av hörselskydd samt begränsa den utsatta tiden. Personal bör genomgå utbildning för att lära känna stenen och hur vilka risker arbetet medför. Hur stenen reagerar på olika arbetsmetoder och vilka processer som medför extra hög olycksrisk. Utbildningen borde också behandla faror med potentiella sjukdomar eller skador vid arbete i en stentäkt samt långsiktiga hälsorisker. Personalen kan ta del av hur arbetet går att genomföra med hänsyn till mest gynnsamma ergonomiska aspekter. Denna utbildning kommer att betala av sig i längden då personalens sjukfrånvaro och förtidspension minimeras.

8.2 Utvecklingsmöjligheter för såg

Vidareutvecklingen av den portabla sågen visar att det finns möjlighet till förbättring i produktiviteten. Projektgruppen rekommenderar fortsatt arbete med utvecklingen av sågprocessen då denna metod har störst utvecklingspotential att bli kostnadseffektiv.

Vidareutvecklingen av sågen påverkade den kvarvarande halvcirkeln på förväntat sätt men resultatet avspeglade sig inte på samma vis i tidsåtgången. Med ett monterat stödhjul, så att den svagare linkraften får en högre infallsvinkel, förbättrades avverkningstiden med endast någon minut vilket motsvarar en förbättring på ungefär 3.5 %. Styrningen av diamantvajern i höjdlid verkar därför inte vara den mest bidragande faktorn till avverkningshastigheten. Det är oklart hur mycket vajerslitaget och energianvändningen påverkades av det monterade stödhjulet. För att erhålla denna information hade ett flertal tester behövt göras under en längre period för att jämföra hur länge varje vajer håller. Med en effektmätare inkopplad hade energiåtgången kunnat loggas och jämföras.

En teori är att det istället är avverkningen som sker till följd av att diamantvajern arbetar från stenens baksida och framåt som är den faktor som påverkar tidsåtgången mest. Det är därför av intresse att i framtiden utforska med hur stor kraft som appliceras på stenen. Denna krafts storlek beror på vilken hastighet sågen förflyttas bakåt. Med en lägre kraft går det åt mer tid för att avverka stenblocket men istället minskar slitaget på diamantvajern. På samma sätt minskar tidsåtgången medan slitaget på vajern ökar vid en högre anlagd kraft. Eftersom strömtillförseln till sågen är varierbar kan olika fall testas under en längre tid och sedan utvärderas hur slitaget av vajern förhåller sig till tidsåtgången vid sågning. Detta resultat kommer dock att variera mellan olika täkter, då takttiderna skiljer sig mellan olika produktioner. Det är inte alltid önskvärt att hitta det snabbaste sättet utan istället att finna ett anpassat resultat för varje stentäkt.

Det finns en rad olika parametrar som påverkar resultatet som måste tas hänsyn till. Bland annat hur sliten vajern är, vilket företag som har tillverkat vajern, olika defekter i stenblock samt hur stor halvcirkel som skall sparas. Dessa parametrar måste anpassas för i ett framtida testscenario. För att analysera hur effekten påverkas bör en effektmätare även installeras inför ett framtida testscenario. Detta ger en god vetenskaplig grund vilket möjliggör djupare analys av processen.

Det är inte heller säkerställt att Eytelweins ekvation är optimal för detta problem. Eytelweins ekvation tar hänsyn till krafter, friktion samt omslutningsvinkel och hänförs huvudsakligen till remväxlar. Eftersom friläggning av såg och sten kan efterliknas en remväxel antogs denna ekvation användbar. Det ekvationen inte tar hänsyn till är avverkning och nötning av olika typer av material, vilket gör detta problem oerhört komplext. För vidare utveckling av sågning behöver problemuppställningen vara ännu mer kritisk och någon form av nötningslag behöver knytas samman med kraftkomposanterna.

9. Referenser

Artiklar

I. Ashmole, M. Motloung. (2008). "*Dimension stone: The latest trends in exploration and Production technology*", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, s 35-37.

Johansson K. (2014). *LCA-energi. Produktion markbeläggning av natursten i Sverige*. Version 6

Center for Clean Products, University of Tennessee. (2008). *Granite dimensional stone quarrying and processing: A life cycle inventory*

Böcker

Bengtzelius U, Lindstedt P. (2004).
The Value Model How to Master Product Development and Create Unrivalled Customer Value. 1. Uppl.

Berlin C, Adams C. (2015)
Production ergonomics Designing work systems to support optimal human performance.

Nordling C, Österman J. (1987)
Physics Handbook "Elementary Constants and Units Tables, Formulae and Diagrams and Mathematical Formulae"

Webbsidor

Sveriges stenindustriförbund (2015)
<http://www.sten.se/press/stenfakta/> [2015-05-09]

Sveriges stenindustriförbund (2011) (PDF)
<http://media.sten.se/2012/01/NaturstenTryck-2011.pdf> [2015-05-09]

Swedish Waterjetlab (2015). *Vattenskärning*
<http://www.waterjetlab.se/vattensk%E4rning.html> Vattenskärning [2015-04-27]

Hydrocut (2015). *Abrasiv vattenskärning*
<http://www.hydrocut.se/abrasiv-vattenskarning/> [2015-04-27]

Andersson Mekaniska AB (2015). *Hur fungerar laserskärning*
<http://www.anderssonsmekaniska.se/se/hur-fungerar-laserskarning.html> [2015-04-27]

Pellegrini Meccanica spa (2015). *Flame Cutting*
http://www.pellegrini.net/INGLESE/taglio_termico_ING.html [2015-04-27]

Linyi Kunhong Tools Co (2015). *Diamond steel saw blank*
<http://cnkunhongsd.ecol.xyz/products/tool-parts/p1349589/diamond-steel-saw-blank-diamond-grinding-disc.html> [2015-04-27]

Svensk Energi AB (2014). *Hur mycket koldioxid medför din elanvändning?*

<http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/> [2015-04-27]

Försäkringskassan (2013). *Beräkna kostnader för sjukfrånvaro*
https://www.forsakringskassan.se/wps/portal/arbetsgivare/sjukfranvaro/berakna_kostnad_fo_r_sjukfranvaro/berakna_sjukfranvarokostnader [2015-03-25]

NorraSkåne (2011). *Fick sten över sig*
<http://www.nsk.se/article/20110331/NYHETER/110339940/-/fick-sten-over-sig> [2015-04-01]

Arbetsmiljöverket (2005). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om vibrationer*
http://www.av.se/dokument/afs/AFS2005_15.pdf [2014-04-10]

Arbetsmiljöverket (2005). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller*
http://www.av.se/dokument/afs/afs2005_16.pdf [2014-04-10]

Arbetsmiljöverket (2014). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om kvarts*
http://www.av.se/dokument/afs/AFS1992_16.pdf [2014-04-10]

Arbetsmiljöverket (2014). *Stendamm ger lungskador*
<http://www.av.se/teman/stendamm/?AspxAutoDetectCookieSupport=1> [2014-04-10]

Structurae (2008). *Johann Eytelwein*
<http://structurae.net/persons/johann-eytelwein> [2015-05-03]

Bilaga A – Pellegrini TD 25

Tidtagningar och uppmätningar för Pellegrini TD 25 sammanställs nedan.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Volym (m ³)	Area (m ²)
1	1.95	1.15	3.25	7.29	3.74
2	1.80	1.40	2.60	6.55	3.64
3	2.00	1.10	3.30	7.26	3.63
4	1.96	1.20	1.25	2.94	1.50
5	2.00	1.15	.98	2.25	1.13

Uppmätt tid vid sågning

Sågning	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
			Stopp 1		Stopp 2			
1	11:01:57	11:05:13	12:41:32	13:00:21	13:35:34	14:01:32	00:48:03	00:12:51
2	11:10:15	11:39:30					0:29:15	avbruten
3	12:19:11	12:57:40	13:35:31	13:51:23			0:54:21	0:14:58
4	14:44:21	15:11:35					0:27:14	0:18:09
5	14:51:46	15:11:52					0:20:06	0:17:50

Avslagning efter sågning

Avslag	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	14:03:30	14:04:54	0:01:24	0:00:20
2			avbruten	
3	13:01:43	13:04:01	0:02:18	0:00:38
4	15:12:24	15:14:03	0:01:39	0:01:06
5	15:15:11	15:17:21	0:02:10	0:01:55

Total genomsnittlig tid per m2

Sten totalt	Sågning (tid/m ²)	Avslag (tid/m ²)	Totalt (tid/m ²)
1	00:12:51	0:00:22	0:13:14
2	avbruten	avbruten	
3	0:14:58	0:00:38	0:15:36
4	0:18:09	0:01:06	0:19:15
5	0:17:50	0:01:55	0:19:45
		Genomsnitt:	0:16:58
		Procent/h	0.2827077

Standardavvikelse/m²

Standardavvikelse	Total tid per kvm	Medelvärde	x - m (tid)	x - m [min]	(x-m) ² [min]
1	0:13:14	0:16:58	-00:03:44	-3.731694168	13.92554137
2	avbruten				
3	0:15:36	0:16:58	-0:01:21	-1.356402793	1.839828537
4	0:19:15	0:16:58	0:02:18	2.293092156	5.258271637
5	0:19:45	0:16:58	0:02:48	2.795004805	7.812051862
			Summa:		28.8356934
			Standardavvikelse [min]:		3.100306082
			Standardavvikelse [h]:		0.051671768

Bilaga B – Benetti VIP

Tidtagningar och uppmätningar för Benetti VIP sammanställs nedan.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [m]	Höjd [m]	Area (m ²)
1	2.30	2.10	4.83

Uppmätt tid vid sågning

Sågning	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	13:40:36	14:38:22	00:57:46	00:12:37

Avslagning efter sågning

Avslag	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	14:38:22	14:41:32	00:03:10	0:00:39

Total genomsnittlig tid per m2

Totalt	Såg (tid/m ²)	Avslag (tid/m ²)	Totalt (tid/m ²)	Procent/h
Total tid per m ² :	00:12:37	0:00:39	0:13:16	0.2102

Bilaga C – Falkenstein D1S

Tidtagningar och uppmätningar för Falkenstein D1S sammanställs nedan.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [m]	Höjd [m]	Area (m ²)
1	1.85	1.52	2.81

Uppmätt tid vid sågning

Sågning	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	11:16:00	13:48:01	02:32:01	00:54:06

Avslagning efter sågning

Avslag	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	13:50:42	13:51:43	00:01:01	0:00:22

Total genomsnittlig tid per m²

Totalt	Såg (tid/m ²)	Avslag (tid/m ²)	Totalt (tid/m ²)	Procent/h
Total tid per m ² :	00:54:06	0:00:22	0:54:28	0.90162

Bilaga D – Marini Mini Fil Super

Tidtagningar och uppmätningar för Marini Mini Fil Super sammanställs nedan.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [m]	Höjd [m]	Area (m ²)
1	1.7	1.25	2.125
2	1.9	2.0	3.8

Uppmätt tid vid sågning

Sågning	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	13:35:32	14:31:10	00:55:38	00:26:11
2	13:35:32	15:15:12	01:39:40	00:26:14

Avslagning efter sågning

Avslag	Start	Slut	Tid	Tid/m ²
1	14:34:22	14:35:43	00:01:21	00:00:38
2	15:18:31	15:20:02	00:01:31	00:00:24

Total genomsnittlig tid/m²

Sten totalt	Sågning (tid/m ²)	Avslag (tid/m ²)	Totalt (tid/m ²)
1	00:26:11	00:00:38	00:26:49
2	00:26:14	00:00:24	00:26:38
		Genomsnitt:	00:26:44
		Procent/h	0.45
		Standardavvikelse [h]:	0.000090025

Bilaga E – Tamrock Zoomrail

Här samlas relevant data som används i beräkningar för Tamrock Zoomrail.

När tid mättes vid Tamrock Zoomrail samlades data kring tre bearbetade stenar, med olika avverkade tvärsnitt.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [mm]	Höjd [mm]	Area [mm ²]	Area [m ²]
1	1500	1300	1,95E+06	1,95
2	1500	1300	1,95E+06	1,95
3	3700	1400	5,18E+06	5,18

Uppmätt tid vid borrhning

Borrhning	Tid [hh:mm:ss]	Tid/m ²	[hål/sten]	Borrdjup [m/hål]	Borrad [m/m ²]
1	00:26:29	00:13:35	7	1,2	4,31
2	00:36:28	00:18:42	12	1,2	7,38
3	00:56:02	00:10:49	13	1,3	3,26

Kilning efter borrhning

Kilning	Tid [hh:mm:ss]	Tid/m ²
1	00:08:00	00:04:06
2	00:08:00	00:04:06
3	00:08:00	00:01:33

Total genomsnittlig tid tid/m²

Totalt	Borrhning (tid/ m ²)	Kilning (tid/ m ²)	Totalt (tid/m ²)
1	00:13:35	0:02:10	0:15:45
2	00:18:42	0:02:10	0:20:52
3	00:10:49	0:00:49	0:11:38

Sammanställning

Sammanställning:	Genomsnitt	Standardavvikelse
Genomsnitt tid (total) [h/m ²]	0,294	0,0870
Genomsnitt borrad [m/m ²]	4,985	2,143
Genomsnitt tid (borrning) [h/m ²]	0,239	0,0667

Bilaga F – Atlas Copco BBD 12

Här samlas relevant data som används i beräkningar för Atlas Copco BBD 12.
Här har beräkningarna baserats på två processfall.

Uppmätt tvärsnittsarea

Sten	Bredd [mm]	Höjd [mm]	Area [mm ²]	Area [m ²]
1	2100	900	1,89E+06	1,89
2	2800	700	1,96E+06	1,96

Uppmätt tid vid borrhning

Borrhning	Tid [hh:mm:ss]	Tid/m ²	[hål/sten]	Borrdjup [m/hål]	Borrad [m/m ²]
1	00:07:04	00:03:44	12	0,2	1,27
2	00:06:45	00:03:27	12	0,2	1,22

Kilning efter borrhning

Kilning	Tid [hh:mm:ss]	Tid/m ²
1	00:04:14	00:02:14
2	00:09:10	00:04:41

Total genomsnittlig tid tid/m²

Totalt	Borrhning(tid/ m ²)	Kilning (tid/ m ²)	Totalt (tid/m ²)
1	00:03:44	0:02:14	0:05:59
2	00:03:27	0:04:41	0:08:07

Sammanställning

Sammanställning:	Genomsnitt	Standardavvikelse
Genomsnitt tid (total) [h/m ²]	0,117	0,0252
Genomsnitt borrad [m/m ²]	1,250	0,032
Genomsnitt tid (borrhning) [h/m ²]	0,0599	0,00348