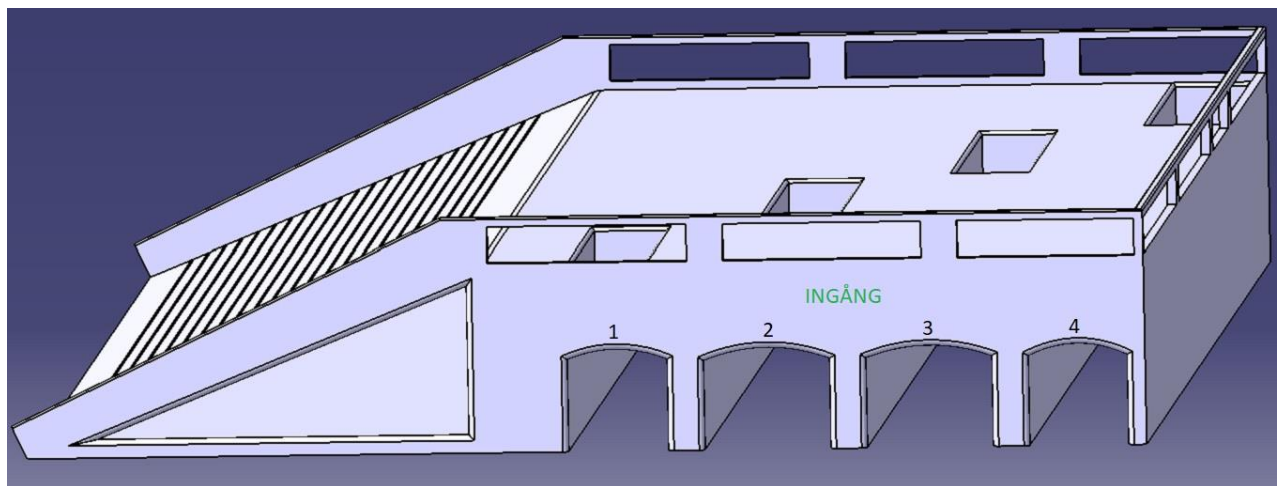




CHALMERS

Konceptutveckling för avlastning av bergmaterial

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik



Ahmed Mohamed Abokor

Beilul Tareke

Sammanfattning

Bergmaterial är en nödvändig råvara som används för en fungerande infrastruktur i form av bland annat vägar, tunnlar, broar och flygplatser. Därför finns det ett stort behov av bergmaterial i Sverige. När det gäller produktion av bergmaterial används ofta en strategi där olika produkter läggs i stora högar nära produktionen. För att kunder ska få sina lastbilar lastade innebär det därför långa körsträckor in i anläggningar. Den primära lösningen angående avlastning är dieseldrivna hjullastare vilket ger upphov stora bränslekonsumtioner. Detta faktum har en negativ effekt på avlastningens gällande dess flexibilitet och miljöpåverkan.

Projektet har som syfte att utveckla ett produktionskoncept för att möta det växande behovet gällande förbättring av automatiserad avlastning av bergmaterial till kund. Förbättringen ska handla om att öka avlastningens flexibilitet och minska dess miljöpåverkan. Arbetet tillämpades utefter en standardiserad konceptutvecklingsmetod som innebär att koncept i flera steg systematiskt utvecklas för att därefter successivt granskas och elimineras för att markera det mest optimala konceptet.

Det resulterande konceptet blev ett produktionskoncept bestående av en hybriddriven hjullastare, en eldriven och självkörande dumper truck samt en anläggning med mindre fickor. I relation till de övriga idéerna visar sig denna vara mer flexibel och miljövänlig. Med en hybriddriven hjullastare, en autonom och eldriven dumper samt en avlastningskonstruktion med förmåga att, oberoende av dumpern, simultant möjliggöra för flera avlastningen konstaterades att detta produktionskoncept var mest optimalt.

Abstract

Aggregates are essential raw materials for the well-functioning of an infrastructure in the form of roads, tunnels, bridges and airports. There is therefore a big demand for aggregates in Sweden. Regarding the handling of aggregates is a method often used whereby large piles of products are placed in close proximity to the production site. For consumers this means that they have to drive long distances in order to load their lorries and receive their orders. The primary method of unloading aggregates is the use of diesel driven wheel loaders. The utilization of diesel driven wheel loaders for the unloading of aggregates therefore causes vast consumptions of fuel. This matter subsequently has a negative effect on the flexibility and environmental impact of this unloading method.

The purpose of this project is to develop a production concept to meet the growing demand of improvements regarding automated unloading of aggregates to customers. The enhancement relates to increasement of flexibility and decrement of ecological impact. The development process was structured according to a standardized methodological approach whereby concepts are gradually and systematically developed before analyzed, compared and sequentially eliminated until one concept is made clear to be the most optimal.

The resulting concept became a production concept consisting of a wheel loader, an electric and autonomous dumper truck and a construction with small pockets. In relation to the other ideas, this turned out to be more flexible and environmentally friendly. With a hybrid-driven wheel loader, a self-propelled and electrically driven dump truck and a construction with the ability to, independently of the dumper, enable simultaneous unloading into several vehicles, it was found that this production concept was most optimal.

Förord

Detta examensarbete är sammanställt av teknologerna Ahmed Mohamed Abokor och Beilul Tareke som ett sätt för dem att avsluta utbildningen de har läst. Arbetet har handletts och examinerats av Gauti Asbjörnsson (forskarassistent på avdelningen för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap) och skrevs under höstterminen 2022. Ett stort tack riktar teknologerna till Gauti Asbjörnsson och alla som har medverkat för färdigställandet av denna rapport.

Examensarbete 2023

Konceptutveckling för avlastning av bergmaterial

Ahmed Mohamed Abokor och Beilul Tareke



CHALMERS

Institutionen för Industri-och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

Innehåll

1. Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	7
1.3 Avgränsningar	7
1.4 Precisering av frågeställningar	7
2. Metod	7
3. Teori	8
3.1 Bergmaterial	8
3.2 Produktion av bergmaterial	9
3.3 Materialhantering av bergmaterial	11
3.4 Elektrifiering och automatisering av tåker	12
4. Problemöversikt	13
4.1. Marknadsundersökning	13
4.1.1 Undersökning av befintliga koncept	13
4.1.2 Intervjuer	15
4.1.3 NCC:s flödesschema	16
4.2 Kundbehovlista	16
4.3 Kriteriespecifikation	17
5. Konzeptutveckling	18
5.1 Funktionsanalys.....	18
5.2 Morfologisk matris.....	19
5.3 Elimineringmatris	20
5.4 Pugh-matris	22
5.5 Kesselringmatris.....	24
5.6 Slutkoncept a2-b2-c4.....	24
5.6.1 Konzeptets dellösningar	25
5.7 Vidareutveckling och diskussion	27
5.8 Beräkningar	29
5.8.1 Ett möjligt utfall	32
6. Slutsats och rekommendationer	33

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Oavsett hur mycket olika byggnationer kan skilja sig åt delar de flesta trots allt en grundläggande nödvändighet, nämligen behovet av ballast. Ballast, eller bergmaterial som det även kallas definieras som “konformigt material som används till byggande” (Sveriges bergmaterialindustri, 2019, s.1). I sin hemsida skriver företaget Jehander och redogör för såväl bergmaterialens användningsområden som deras nuvarande konsumtion i Sverige (Jehander, u.å.). Företaget konstaterar att ballast är en essentiell byggsten i all konstruktion och tydliggör att varken vägar, broar, hus eller flygplatser kan byggas utan dem. Bolaget uppger att mellan 70 och 80 miljoner ton bergmaterial årligen säljs i Sverige och att över hälften av all ballast som produceras används inom infrastruktur. Företaget tydliggör även att bergmaterial behövs för att producera betong och att det konstruktionsmaterialet konsumeras i stora mängder i projekt relaterade till samhällsutveckling.

En vanligt förekommande metod som används i anläggningar är att placera ballast i stora högar tätt intill produktionen. I praktiken resulterar detta i att kunder måste köra långa sträckor in i arbetsområden för att få sina lastbilar fyllda. En konsekvens av denna strategi är att den kan leda till försämring i produktiviteten då köbildningar av lastbilar kan uppstå som i väntan på att fyllas med bergmaterial få stå tomma vilket resulterar i tidsmässiga och ekonomiska förluster. En åtgärd som implementerades i tidigare anläggningar var att bygga fickor där lastbilar tilläts parkera för att fyllas med bergmaterial. I och med att dagens lastbilar är större är de inte kompatibla med sådana system och således krävs en lösning till ineffektiviteter som härrör från dagens metoder för pålastning av bergmaterial. I figur 1 illustreras NCC Tagene:s krossanläggning.



Figur 1: NCC Tagene:s tåkt (NCC, 2021)

1.2 Syfte

Syftet med detta projekt är att utveckla ett produktionskoncept för att möta det växande behovet gällande förbättring av automatiserad avlastning av bergmaterial till kund. Förbättringen ska handla om att öka avlastningens flexibilitet och minska dess miljöpåverkan.

1.3 Avgränsningar

Projektets slutgiltiga mål är att utveckla ett koncept som ökar avlastningens flexibilitet och reducerar dess miljöpåverkan. Slutkonceptet kommer därför att vara för storskaligt för att visualiseras i en fysisk prototyp och därför kommer ingen fysisk illustration att göras. Av denna anledning kommer dessutom inga fysiska tester att genomföras utan all information kommer att samlas genom litteraturstudier och intervjuer. Tekniken som kommer att användas kommer dessutom att vara befintlig teknologi.

1.4 Precisering av frågeställningar

- Kan ett produktionskoncept av befintlig teknologi ha mindre miljöpåverkan än den rådande metoden för avlastning av ballast?
- Kan ett produktionskoncept av befintlig teknologi öka flexibiliteten gällande avlastning av bergmaterial?

2. Metod

Målet med detta arbete är att utveckla ett produktionskoncept och därför kommer denna uppsats att struktureras utefter konceptutvecklingsmetodiken som redogörs i boken *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design* (Johannesson m.fl., 2013). Denna metod initieras med en problemdefinition där problemet som ska lösas tydligt definieras. I nästa fas av denna metod genomförs en marknadsundersökning för att utreda om det finns ett behov av en lösning till problemet och i så fall vilka krav respektive önskemål ett sådant koncept skulle behöva uppfylla. Kunderna till produktionskonceptet är företag inom bergmaterialindustrin och därför kommer 3 intervjuer att hållas. Dessa intervjuer kommer att klargöra vilka krav och önskemål konceptet borde arbetas utefter men även problemen som finns med nuvarande lösningar och vilka ekonomiska och tidsmässiga förluster de ger upphov till. Utifrån denna undersökning ska en kundbehovlista dessutom skrivas som i textform kort och koncist ska presentera kundens krav och önskemål. Baserat på behovslistan ska en kriteriespecifikation slutligen utformas där produktkonceptets krav och önskemål kommer att dokumenteras. Önskemål är alla inte lika viktiga och av den orsaken kommer de att viktas från 1 till 5 i kravspecifikationen.

Nästa steg i denna process är att göra en funktionsanalys genom att utforma ett funktionsträd. I detta funktionsträd ska konceptets huvudfunktion samt dess delfunktioner och lösningarna till delfunktionerna visualiseras. Därefter ska en morfologisk matris skrivas. En morfologisk matris är en tabell som används för att generera produktkoncept genom att visualisera lösningar till produktkonceptets delfunktioner och sedan kombinera dem för att framställa kompletta koncept.

Nästa steg i denna process består av analys, utvärdering och successiv eliminering av koncept. En elimineringsmatris kommer att utvecklas med kraven från kravspecifikationen. Alla krav måste uppfyllas och därför kommer ett koncept att elimineras ifall det som minst inte uppfyller ett krav. De kvarstående koncepten kommer därefter att jämföras i hur väl de uppfyller önskemålen i en pughmatris. Ett koncept kommer att väljas som referens och detta koncept kommer att jämföras med de övriga. Ifall ett koncept uppfyller ett önskemål bättre än referensen kommer det att bedömas med ett plustecken (+). Ifall det uppfyller ett önskemål sämre än referensen kommer det att bedömas med ett minustecken (-) och ifall både produktionskonceptet och referensen uppfyller ett önskemål lika bra bedöms det med en nolla (0). Varje koncepts eventuella plustecken, minustecken eller nolla kommer att summeras för att bestämma vilka koncept som ska förkastas respektive behållas. De resterande koncepten kommer att jämföras i hur väl de uppfyller önskemålen i en kesselringmatris. I kesselringmatrisen kommer varje koncept att bedömas från 1 till 5 i hur väl de uppfyller önskemålen. Detta värde kommer att multipliceras med önskemålets viktade värde. Efter att detta har gjorts för varje önskemål kommer resultaten summeras. Konceptet med högst resulterande värde kommer då bli projektets slutkoncept. Slutkonceptet kommer därefter att vidareutvecklas. Beräkningar gällande koldioxidutsläpp, bränslekostnader och energianvändning kommer att göras. Denna konceptutvecklingsmetodik illustreras i figur 2.



Figur 2: Flödesprocess för examensarbetet.

3. Teori

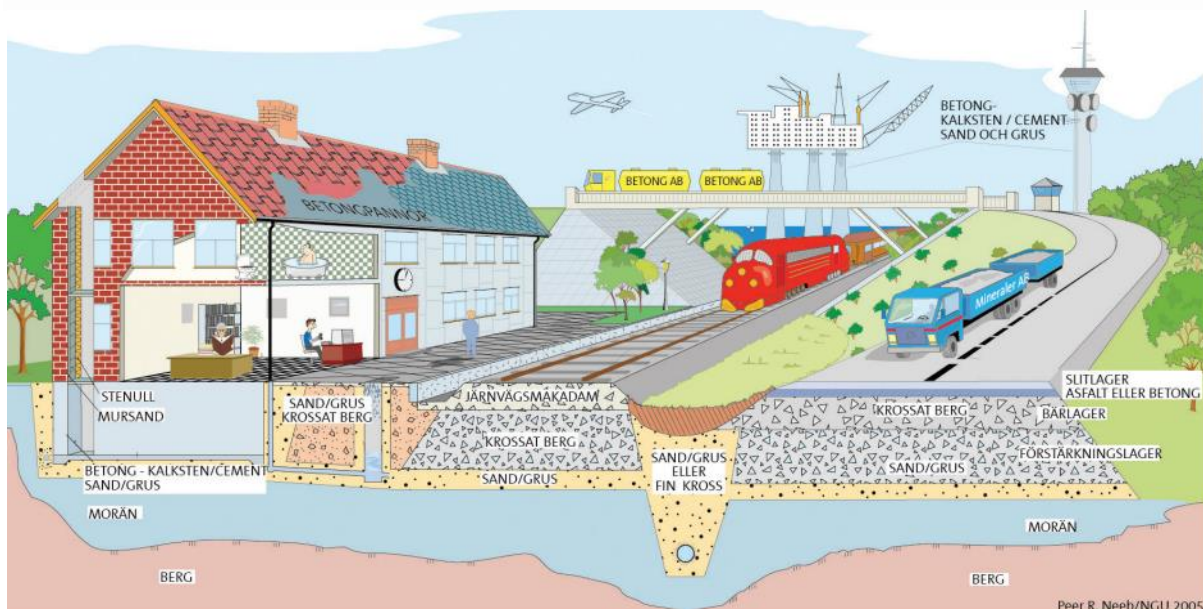
3.1 Bergmaterial

Myndigheten Sveriges Bergmaterialindustri skriver artikeln *Om bergmaterial* som handlar om användningen av bergmaterial. Myndigheten konstaterar att bergmaterial är en nödvändig råvara och att ballast används för en fungerande infrastruktur i form av bland annat vägar, järnvägar, hamnar och flygplatser. Detta är bergmaterialens största användningsområde, mer än 50% av produktionen av bergmaterial går till att bygga vägar i Sverige. För att bygga en väg ställs olika krav på bergmaterial då vägarna är uppbyggda i flera lager med olika funktioner. Detta innebär olika produkter för lagren. De olika lagren börjar med att dela upp trafikens belastning så att vägen inte ska sjunka, spricka eller rasa. Den största andelen av materialen används framförallt för att uppbygga vägkroppen men en stor del av materialen används för asfalt, som till 95 procent består av ballast.

Både banvall för järnvägar samt start-och landningsbanor på flygplatser byggs i olika lager med diverse egenskaper och där går mycket bergmaterial åt. För järnvägar krävs en stadig banvall innan rälsen läggs. På flygplatser är påfrestningen stor i start- och landningsbanor och därför går konstruktionen flera meter under marken. En tiondel av Sveriges bergmaterial används för att tillverka betong, vilket är en blandning av cement, grus, sten och vatten. 80 procent av innehållet utgörs av bergmaterial. Förbrukning av betong sker i stora mängder i projekt där reningsverk, tunnlar, dammar, broar och lägenhetskomplex byggs.

Behovet av bergmaterial i Sverige beror på byggkonjunkturen, vilket har gått upp till 100 miljoner ton ballastmaterial per år. Som tidigare nämnt används bergmaterial i nästan all byggande i vårt samhälle och det beror på att bergmaterial har många nödvändiga och viktiga egenskaper såsom kornstorlek, geometri och utseende samt kornens fysikaliska egenskaper som dess hållfasthet och förmågan att motstå nötning samt dess förmåga att suga upp vatten (Sveriges bergmaterialindustri, u.å.).

Myndigheten Sveriges Geologiska Undersökning skriver om hur ballast brukar kategoriseras. Rapporten fastställer att konsumtionen av bergmaterial är traditionellt uppdelad i de tre industriella kategorierna: industrimineraler, ballast och natursten. Industrimineral är en typ av bergart eller mineral med ett speciellt ekonomiskt värde. Det definieras baserat på dess fysikaliska eller kemiska egenskaper såsom isoleringsförmåga, fibrositet, hårdhet och densitet. Ballastmaterial är bergmaterial som används för byggande som nämns i *bakgrund*. Största delen av Sveriges bergarter kan användas för någon typ av ballastprodukt och ballasten är den mest använda typen av bergsten. Natursten är en vara som extraheras som en hel bit från ett helt block ur berggrunden. Natursten av olika slag används som byggnadssten för trappor, kantsten eller husfasader (MiniBaS Innovation, 2018).



Figur 3: Användningsområden för ballast (Sveriges geologiska undersökning, 2020)

3.2 Produktion av bergmaterial

I rapporten *Bergmaterialindustrin i praktik och teori* beskrivs alla steg i tillverkningen av bergmaterial. Samlingsbegreppet av tillverkningsprocessens moment kallas losshållning och innefattar markförberedelse, borrhning, sprängning, skrotning, krossning-och siktning samt behandling av bergmaterial som är för stora för att bearbetas direkt. Avtäckningen, eller förberedelsen av marken, initieras med att eventuell skog huggs ner samt att alla växter och löst sittande stenar tas bort. Kombinationen av såväl organiska som icke organiska material som blir till från avtäckningen kan användas för dämpning av buller, avskärmning eller för att motverka översvämningar. Efter avtäckning påbörjas schaktning av marken. Ytterligare markarbete genomförs för att jämna marken och göra den hård nog för utplacering av krossutrustning.

Nästa steg i produktionen av bergmaterial är borrar. Borrar är ett ytterst betydelsefullt moment då den har inverkan på ballastens slutgiltiga kvalitet. Dåligt genomförd borrar resulterar i defekter som i senare skeden inte kan åtgärdas. Innan borrar färdigställs borrarplaner där utförandet av borrar bestäms. I borrarplaner beskrivs vanligen fakta relaterade till borrhålen såsom håldjup, hållutning och håldiameter. Annan information borrarplaner tydliggör är vilken utrustning som ska användas beroende på bergets egenskaper samt kundens önskemål gällande ballastens kvalitet. Parametrar som avgör val av borrar är önskad mängd ballast, bergets egenskaper och nivåskillnader i täkten. Slående borrar, eller hammarbollar som det även kallas är den metod som används i störst utsträckning och innebär att borrhål blir till genom att borrar kronor upprepat slås mot berg. Hammarbollar har följande tillvägagångssätt: topphammarbollar och sänkhammarbollar. De skiljer sig åt gällande var någonstans bollar arbetar från då bollar arbetar i borrhålet vid sänkhammarbollar och ovanför markytan vid topphammarbollar.

Nästa steg i denna process är fragmentering av berg. Sönderdelningen av berg kan göras kemiskt där berg sprängs eller mekaniskt där berg krossas. Kemisk fragmentering av berg är vanligare då denna metod är billigare samt mer effektiv än att krossa berg mekaniskt. De sprängämnen som används i störst utsträckning är: NG-baserade sprängämnen, SME-baserade sprängämnen och ANFO. Ett NG-baserat sprängämne är dynamit med 20 procent nitroglycerin. När dynamit först uppfanns innehöll den 90 procent nitroglycerin och det är av säkerhetsskäl som dess innehåll av denna substans har reducerats. För att minska dynamitens stöt- och värmekänslighet tillsätts den numera vatten och alkohol. I bergmaterialindustrin är SME-baserade sprängmedel de sprängmedel som används i störst utsträckning. Kursboken framhäver att denna typ av sprängmedel inte enkelt löses upp i vatten och att den därför kan användas i vattenfyllda borrar. ANFO är en granulatformad blandning av diesel och ammoniumnitrat och används med tändpatroner. Det har dålig vattentålighet och bör därför användas under torra förhållanden.

Nästa steg i produktionen av bergmaterial är tändningen. De tre metoderna för tändning kan kategoriseras som: icke elektriska, elektriska och elektroniska. Tekniker som faller under kategorin *icke-elektriska metoder för tändning* är till exempel pentylstubin eller krutstubin med sprängkapsel. Elektriska metoder för tändning har elektriska tändkapslar vars ledare är kopplade till kopplingstråd som är sammansluten med en tändkabel och tändapparat. Det som kännetecknar elektroniska metoder för tändning är att de har funktioner för programmerbar tidsstyrning.

Skuthantering, som är produktionens följande steg handlar om hantering av stenblock som är för stora för att bearbetas direkt. Metoderna som används för sönderdelning av skrut är sprängning eller mekanisk fragmentering med hydraulhammare eller stålkula. Sprängningen genomförs ifall stenblocken är väldigt stora. Vid användning av stålkulor för fragmentering av stenblock släpps stålkulor från höga höjder på stenblock med hjälp av lastmaskiner. Skuthantering med hydraulhammare utgår på att sten sönderdelas genom att knackas. Denna metod kan vara fördelaktig då den inte ger upphov till kemiska rester, luftstöt vågor eller vibrationer. Den används dock inte i Sverige. Krossning-och siktning är produktionens sista delmoment och är skedet då bergmaterial formas till slutprodukter. Krossningen utförs i flera moment och antalet gånger bergmaterial får krossas beror på kraven som ställs på tillverkaren gällande form och kornstorlek. Marknadens utbud av bergmaterial består till stor del av sten som har krossats två gånger. Bland de produkter som krossas tre eller fyra gånger ingår

främst ballast som används i produktion av asfalt eller betong. Krossningens stadium samt metoderna för vardera delen presenteras i figur 3. Samtidigt som bergmaterial krossas siktar det för att skilja färdiga produkter från material som kräver vidare bearbetning (Sveriges bergmaterialindustri, 2019).

Krosssteg	Maskintyp
Förkrossning	Käft- eller spindelkross
Mellankrossning	Käft-, spindel- eller konkross
Efterkrossning	Kon-, slag- eller centrifugalkross
Finskrossning	Kon-, slag- eller centrifugalkross
Kubisering	Slag- eller centrifugalkross. Eventuell retur genom konkross

Tabell 1: En tabell som illustrerar krossningens delmoment samt lösningar till vardera delen i processen.

3.3 Materialhantering av bergmaterial

Rapporten *Bergmaterialindustrin i praktik och teori* behandlar dessutom teori gällande materialhantering och vanliga metoder för att lagra ballast. Boken klargör tidigt att bibehållningen av stenmaterialens kvalitet till stor del beror på hur lagringen och materialhanteringen genomförs. Konsekvenserna av vanskött materialhantering kan därför resultera i osäljbar ballast. I boken konstateras det inledningsvis att bergmaterial först måste lagras innan det levereras till kund. Ballast lagras i upplag, fickor eller silon. Vid val av teknik för lagring bör man tänka på underlagets bärförmåga, klimatets påverkan, damning samt risken för separation av bergmaterial. Förvaring i silon är dyrt men däremot har lösningen ett flertal fördelar. Med hjälp av gravitationen sker tömningen av silon automatiskt medan övriga lösningar kräver mekaniska tömning. Användningen av silon leder till färre bekymmer rörande damm och nederbörd. I situationer där silon med uppvärmningsfunktion används skyddas bergmaterial från kyla och frost. Vid användning av de övriga metoderna för lagring kan ballast påverkas av snö och regn. På grund av detta faktum gör företag investeringar i tält, presenningar eller täckplast för skydd mot oväder. Ytan bergmaterialet placeras på måste först och främst vara jämn och ren. Ett företags olika bergmaterial får inte lagras tätt intill varandra eftersom de då riskerar att blandas. Varje hög med ballast måste märkas upp med sin typ av bergmaterial och för att undvika att stenmaterial kommer i kontakt med lera bör lastmaskinen vara fri från smuts. Lastmaskinen ska dessutom ha kapaciteten att lasta stora volymer eftersom färre transporter då behöver göras. Risk för separation av material finns vid pålastningar och transporter och av den anledningen ska endast nödvändig materialhantering ske. Ballast som är i direkt kontakt med marken har generellt sätt sämre kvalitet. I vissa fall säljs inte sådan ballast eller ser företag till att marken täcks med fiberdukar innan utplacering av bergmaterial sker.

Teori rörande lösningar för att åstadkomma effektivt materialflöde behandlar kursboken sidorna 27–35. Det fastslås inledningsvis att flödet av material delvis sker med matare och transportörer och delvis med fordon av olika slag. Transporten påbörjas i allmänhet med att matare fylls. Matarens syfte är att föra råmaterial till nästa processenhet och vilken matare som tillämpas beror på vilken ballast som transporteras. De mest använda matarna är bandmatare, bordmatare, vibrerande matare och lamellmatare. De mest vanliga transportörerna inom bergmaterialindustrin är transportskruvar, bandtransportörer och elevatorer. En transportskruv kan föreställas som en ihålig axel med en öppning för inmatning av material och en öppning för utmatning. Genom den ihåliga axeln går en roterbar spiralformad axel och när den inre axeln roterar förflyttas material i den ihåliga större axeln från ena öppningen till den andra. Bandtransportörer används för transport av material mellan processenheter men även för utlastning till kund. Transportband, som det även kallas, är en anordning som transporterar material på band med roterande rullar. Elevatorer förflyttar antingen ballast vertikalt eller diagonalt uppåt och har en öppning för inmatning och en för utmatning. Bergmaterial förflyttas i dem med skopor som drivs monterade på kedjor eller remmar. Fordon som ofta brukar användas för transport av bergmaterial är: lastbil, dumper, hjullastare eller grävmaskin. Som alternativ till truckar används ofta lastbilar i täkter för transport av ballast på grund av dess många fördelar. För företag innebär användning av lastbilar lägre underhållskostnader, bränslekostnader, koldioxidutsläpp och högre maxhastighet. Den initiala investeringen i lastbil är dessutom lägre än för dumper truck. För längre transportsträckor inom täkter och för transporter till förkross används dumprar. Hjullastaren är ett multifunktionellt fordon och används därför till ett flertal arbeten i täkter. Hjullastare används för transporter mellan produktionsenheter, pålastning av dumper, kortare förflyttningar av material och pålastning till kunder. Avtäckning, borttagning av skrut från förkrossens intagsöppning och skrotning genomförs i allmänhet med grävmaskiner (Sveriges bergmaterialindustri, 2019).

3.4 Elektrifiering och automatisering av täkter

Säkerhetsproblem, påtagliga koldioxidutsläpp, höga driftskostnader samt behov av produktivitetsökningar och automatisering är några av problemen som präglar bergmaterialindustrin. I sin rapport belyser Joel Lööv och Magnus Nygren detta då de konstaterar att hälften av alla dödsfall som sker i gruvindustrin inträffar som resultat av den mänskliga faktorn (Lööv, J. Nygren, M., 2019).

Fossilfritt Sverige skriver artikeln *Aggregate industry* som behandlar koldioxidutsläpp relaterade till ballastindustrin och uppger att 0,25 till 0,45 miljoner ton koldioxidekvivalenter avges vid produktion av ballast i Sverige (Fossilfritt Sverige, 2019). I samma text rapporteras att transport av ballast utgör 30 procent av all transport gällande tunga fordon och att detta årligen resulterar i en miljon ton koldioxidutsläpp. Att höga driftskostnader är rådande klagas i rapporten *Övergången till eldriven gruvdrift* av Mining Magazine där den konventionella metoden för transport uppför en 17 kilometer lång backe uppges resultera i en dieselkonsumtion på 600 till 800 liter i timmen (Mining Magazine, u.å.).

I artikeln *Elektrifieringen gör det hållbart att krossa sten* skriver företaget ABB om sitt samarbete med bolaget Jonsson där de försöker utveckla eldrivna krossar (ABB, 2022). Artikeln markerar att dagens efterfrågan på krossar gäller en förbättring av säkerheten och minskningen av klimatavtrycket. Det rapporteras dessutom att eldrivna krossar styrs enklare, är mer ekonomiska och kräver mindre underhåll. Ballastföretaget Swerock skriver på sin hemsida att bolaget investerar en eldriven lastbil för transport av hyrliftar (Swerock, 2021).

Förutom nollutsläpp är denna eldrivna lastbil säkerhetsmässigt fördelaktig då den inte avger buller. Att en elektrifiering och automatisering av ballastindustrin äger rum tydliggörs därutöver i Skanska:s hemsida där de i artikeln *Electric site – världens första utsläppsfria bergtäkt* beskriver projektet Electric site som är menat att utveckla en klimatsmart, effektiv och säker bergtäkt (Skanska, u.å.). Artikeln framhäver att tester görs med självkörande grävmaskiner i syfte att öka säkerheten och automatiseringen.

4. Problemöversikt

I det kommande avsnittet kommer problemet att stegvis definieras. Förtydligandet av problemet kommer att initieras med en undersökning av befintliga koncept. Därefter kommer resultat från tre intervjuer att presenteras. Ett flödesschema som visualiserar NCC Tagene:s produktionsflöde och en tabell med företagets utbud med ballast kommer att redogöras. Konceptets krav och önskemål kommer därutöver presenteras i form av en kundbehovlista. Detta kommer att göras för att slutligen sammanställa en kravspecifikation som kommer att användas i elimineringsfasen av projektet.

4.1. Marknadsundersökning

4.1.1 Undersökning av befintliga koncept

I artikeln *Truck unloader for fast loading of bulk material* i hemsidan at-minerals beskrivs systemet MTD50R från företaget McCloskey. Konceptet beskrivs som ett avlastningssystem anpassat för lastbilar. I artikeln står det att vid tester där MTD50R har undersökts ifall det kan avlasta och transportera 300 ton asfalt under en timma har det visat sig att systemet klarar av att avlasta och transportera mellan 450 och 500 ton asfalt (skribent saknas, u.å.). I figur 4 illustreras MTD50R.



Figur 4: MTD50R (at-minerals, u.å.)

RTU220, som visas i figur 5, är utvecklat av företaget EDGE Innovate och är likaså menat att användas för avlastning och transport av bergmaterial. I texten *Radical Truck Loader* skriver företaget Edge Innovate om systemets särskilda funktionaliteter. De framhäver att systemet kan transportera 750 ton per timme, att systemet kan fyllas med bergmaterial från sidan och att dess bränsleförbrukning är låg då den förbrukar 18 liter diesel per timme (skribent saknas, u.å.).



Figur 5: *Radical Truck Loader* (Edge innovate, u.å.)

I tidningen *Aggregate Business* skriver journalisten Guy Woodford artikeln *Kleemann launches mobile stacker range*. Woodford skriver att systemet MOBIBELT är indelat i tre storlekar. MOBIBELT MBT 20 som använder ett bandchassi och har bälteslängden 20 meter. Med MBT 24 visar Kleemann också ett annat mobilt system med ett bandchassi och en bälteslängd på 24 meter lång. Med en transportbandslängd på 15 meter är MBW 15 den minsta i Wirtgen-koncernens portfölj och dess nya design möjliggör för enkel transport av anordningen. Med de nya MOBIBELT systemen beskriver Kleemann att logistiken vid stenbrott och byggarbetsplatser nu kan ordnas flexibelt och anpassas till specifika situationer (Aggregate Business, 2020).



Figur 6: *Kleemanns MBT 20* (Aggregate business, 2020-10-05)

4.1.2 Intervjuer

För att en förståelse om hur marknadens olika aktörer ser på dagens lösningar gällande avlastning av ballast hölls tre intervjuer. Den första intervjun gjordes med en platschef till NCC Tagene Christopher Andersson. Den andra intervjun genomfördes med ingenjören Robert Nilsson från Volvo AB och den tredje med en professor Magnus Evertsson från Chalmers. Från besöket i krossanläggningen erhöles en inblick i hur en producent av ballast ser på denna process. Det tydliggjordes att ineffektiviteter gällande pålastning av ballast inte direkt medför en kostnad för producenter av bergmaterial, men att tidsfördröjningar kan få företag att förlora kunder och därmed förlora kapital. Något som även blev tydligt var att företaget är villigt att investera i ett dyrare koncept ifall det är miljövänligt då det ger bolaget en möjlighet till att få god publicitet vilket ökar sannolikheten till fler statligt upphandlade projekt. Under intervjun konstaterade dessutom platschefen att pålastning av bergmaterial brukar ta ungefär en minut och att lastning, transport samt avlastning görs med hjullastare. Det poängterades däröver att flexibilitet är efterfrågat av företaget gällande koncept för denna process. Något som därtill framhövdes av chefen var att det finns ett behov av effektivisering gällande energiförbrukningen av denna process då företaget konsumerar 5000 liter diesel per vecka. Denna bränsleförbrukning medför en kostnad på en halv miljon kronor per månad.

Intervjun som hölls med ingenjören genomfördes för att se problemet utifrån en tillverkare av hjullastare. Under den andra intervjun fastställde ingenjören att några av de främsta hindren gällande utvecklandet av eldrivna hjullastare är pris på ingående komponenter, kännedom om ny teknologi och tillgänglighet av komponenter som är kompatibla med det egna företagets system. Annat som nämndes under intervjun var att det finns ett behov av att implementera eldrivna system i tåkar då företag har krav från såväl kunder som myndigheter. Det nämndes därutöver att elektrifiering av bergmaterialindustrin är efterfrågat givet dagens bränslepriser.

Intervjun med professorn hölls för att få en generell överblick över hur pålastning av ballast har genomförts, hur dess utveckling har varit och dess följder. Professorn delade med sig att stora ballastproduktionsanläggningar byggdes under 1990-talet med fickor varifrån lastbilar effektivt kunde lastas. Han berättade dessutom att dessa inte längre används i lika stor utsträckning då de har blivit gamla och inte är tillräckligt stora för dagens lastbilar. Med tiden har hjullastare blivit den främsta lösningen gällande avlastning av ballast och detta hävdade professorn har haft en kontraproduktiv effekt på tiden för avlastning. Professorn konstaterar därutöver att en reduktion av tiden för avlastning är ett värde för kunden och att det kan möjliggöra för byggföretag att beställa större mängder ballast då fler rundor då kan köras. Han markerade även att tekniken för att effektivisera och automatisera bergmaterialindustrin är mogen och implementeras i gruvor.

4.3 Kriteriespecifikation

Kravspecifikationen har framställts utifrån marknadsundersökningen och dess delmoment och har som funktion att redogöra de kriterium konceptet bör uppfylla. Kravspecifikationens kriterium består av krav och önskemål. Önskemålen är inte alla lika viktiga och av den orsaken viktas dem från 1 till 5. Kriteriespecifikationens kriterium gällande prestanda fastställdes då avlastning av bergmaterial till kund generellt sätt brukar ta en minut och att lastbilar allmänt brukar lastas med 15 ton ballast. Kravet rörande storlek bestämdes eftersom avlastning av ballast numera sker mer ineffektivt eftersom dagens lastbilar inte är kompatibla med avlastningssystemen som användes förr. Utifrån ett säkerhetsperspektiv ansågs ett krav gällande inkapsling av rörliga delar självklart för att minska risken för skada. De två slutliga kraven gällande material bestämdes eftersom bergmaterialindustrin bedrivs utomhus och brukar tunga fordon.

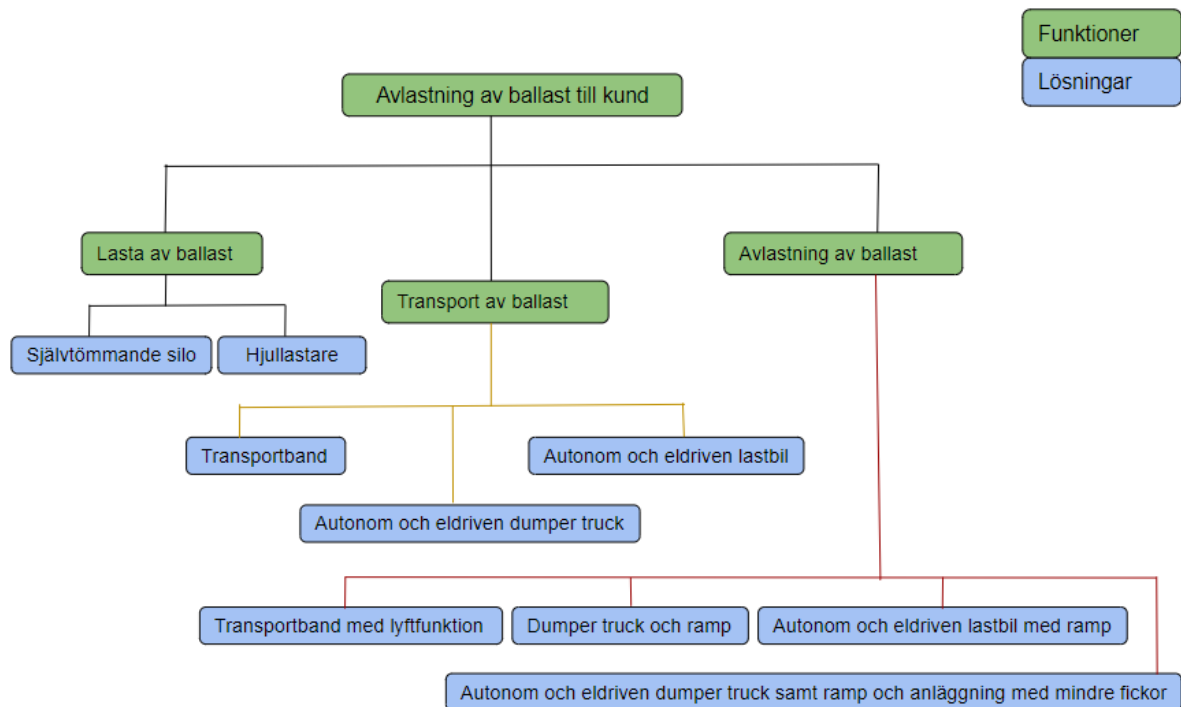
Chalmers		Dokumenttyp	Kriterielista			
Utfärdare: Ahmed Abokor och Beilul Tareke		Projekt	System för avlastning av bergmaterial			
			Skapad: 2022-10-28			
			Modifierad:			
Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)	
Funktion(er)						
Lasta bergmaterial		K				
Transportera bergmaterial		K				
Avlasta bergmaterial		K				
1. Prestanda						
1.1 Hantera minst 15 ton bergmaterial		K		Simuleringar	Produktplanering	
1.2 Avlastningen < 1 min		K		Simuleringar	Produktplanering	
1.3 Konceptet ska vara autonomt		Ö	3	Simuleringar	Kunden	
1.4 Systemet ska vara flexibelt		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
2. Miljö (omgivande)						
2.1 Systemet ska vara eldrivet		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
2.2 Systemet ska vara hybriddrivet		Ö	3	Simuleringar	Kunden	
3. Livslängd						
3.1 Livslängden ska hålla minst vara 10 år		Ö	4	Utmattningsprov	Producent	
3.2 Systemet ska enkelt underhållas		Ö	5	Simuleringar	Produktplanering	
4. Storlek						
4.1 Konceptet bör vara anpassat utefter storleken av dagens lastbilar		K		Simuleringar	Kunden	
5. Säkerhet						
5.1 Systemet ska vara vibrationståligt		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
5.2 Systemet ska inte ge ifrån mycket buller		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
5.3 Systemet ska vara vindtåligt		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
5.4 Systemet ska enkelt kunna stoppas vid fara		Ö	4	Simuleringar	Kunden	
5.5 Systemet ska kunna föra material genom ojämna vägar		Ö	5	Simuleringar	Kunden	
5.6 Rörliga delar ska inkapslas		K		Simuleringar	Kunden	
6. Material						
6.1 Eventuell metall ska vara rostfri		K		Se materialdata	Produktplanering	
6.2 Materialet ska vara robust		K		Se materialdata	Produktplanering	
7. Design						
7.1 Designen ska vara servicevänlig		Ö	5	Simuleringar	Produktplanering	

Tabell 3: Kriteriespecifikation.

5. Konceptutveckling

5.1 Funktionsanalys

Produktionskonceptets funktioner samt dellösningar illustreras i figur 8 som ett *funktionsträd*. I *funktionsträd* presenteras först konceptets huvudfunktion och därefter dess olika delfunktioner. Till var och en av delfunktionerna skrivs potentiella dellösningar. Detta görs för att underlätta generering av kompletta koncept. Figur 8 visar att konceptet har en huvudfunktion som är uppdelad i tre delfunktioner. Under vardera delfunktioner presenteras också dess dellösningar.



Figur 8: Funktionsanalys.

5.2 Morfologisk matris

I tabell 4 presenteras projektets morfologiska matris. I matrisen visas konceptets delfunktioner i den vänstra kolumnen och till höger om varje delfunktion redogörs dellösningar till respektive delfunktion. Detta sätt att dokumentera delfunktioner och dellösningar underlättar konceptgenereringen då dellösningar systematiskt kan kombineras för att bilda kompletta koncept. Denna morfologiska matris genererar totalt $2 \times 3 \times 4 = 24$ koncept. I kommande avsnitt kommer koncept att identifieras som aX-bX-cX där X representerar ett nummer.

Delfunktioner	Lösningar till delfunktioner			
Lastning av ballast	Själv tömmande silo	Hjullastare		
A	a1	a2		
Transport av ballast	Transportband	Autonom och eldriven dumper truck	Autonom och eldriven lastbil	
B	b1	b2	b3	
Avlastning av ballast	Transportband med lyftfunktion	Autonom och eldriven dumper truck med ramp	Autonom och eldriven lastbil med ramp	Autonom och eldriven dumper truck med ramp, anläggning med mindre fickor
C	c1	c2	c3	c4

Tabell 4: Morfologisk matris.

5.3 Elimineringssmatris

I elimineringssmatrisen, som visas i tabell 5, genomförs eliminering av koncept. Som tabellen visar elimineras ett koncept ifall det tydliggörs att det inte löser huvudproblemet, inte uppfyller alla krav, inte visar sig vara realiserbart eller saknar tillräcklig information. Denna elimineringssmatris skiljer sig från övriga då den innehåller en ytterligare kolumn för att förenkla beslut gällande hur realiserbara koncepten är. I den kolumnen bestäms varje koncepts realiserbarhet i procent. Faktorer som avgör vardera koncepts procentuella realiserbarhet är hur det presterar jämfört med NCC:s nuvarande lösning i hur snabbt den bedöms genomföra processen, hur stor bränsleförbrukning den har, ifall dess användning leder till onödigt mycket materialhantering och hur flexibel den är. Detta är en subjektiv uppskattning. Ifall ett koncepts realiserbarhet bedöms vara under 50 procent värderas den vara "icke realiserbar" och får per automatik ett "nej" under kolumnen "realiserbar". Det motsatta gäller för koncept vars realiserbarhet visar sig vara över 50 procent.

Lösningar	Löser huvudproblemet	Uppfyller alla krav (se kriterielistan)	Realiserbar i procent	Realiserbar	Tillräcklig information finns	Beslut
a1-b1-c1	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a1-b1-c2	Ja	Ja	70%	Ja	Ja	Ja
a1-b1-c3	Ja	Ja	70%	Ja	Ja	Ja
a1-b1-c4	Ja	Ja	65%	Ja	Begränsat	Ja
a1-b2-c1	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a1-b2-c2	Ja	Ja	75%	Ja	Ja	Ja
a1-b2-c3	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a1-b2-c4	Ja	Ja	85%	Ja	Begränsat	Ja
a1-b3-c1	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a1-b3-c2	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a1-b3-c3	Ja	Ja	75%	Ja	Ja	Ja
a1-b3-c4	Ja	Ja	70%	Ja	Begränsat	Ja
a2-b1-c1	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a2-b1-c2	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a2-b1-c3	Ja	Ja	45%	Nej	Ja	Nej
a2-b1-c4	Ja	Ja	40%	Nej	Begränsat	Nej
a2-b2-c1	Ja	Ja	45%	Nej	Ja	Nej
a2-b2-c2	Ja	Ja	75%	Ja	Ja	Ja

a2-b2-c3	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a2-b2-c4	Ja	Ja	80%	Ja	Begränsat	Ja
a2-b3-c1	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a2-b3-c2	Ja	Ja	40%	Nej	Ja	Nej
a2-b3-c3	Ja	Ja	85%	Ja	Ja	Ja
a2-b3-c4	Ja	Ja	85%	Ja	Begränsat	Ja

Tabell 5: Elimineringssmatris.

5.4 Pughmatris

I tabell 6 och 7 illustreras projektets två pughmatriser. Skälet till att två pughmatriser redogörs är för att tydliggöra att rangordningen av koncepten är rimlig. Vardera matrisen har olika referenser som koncepten jämförs med. Referensen till den första tabellen är a1-b3-c4 och till den andra tabellen är referensen a2-b2-c4. Rutan till rangordningen av varje koncept är färglagd. Ifall ett koncept rangordnas bra i båda iterationerna av pughmatrisen är dess ruta grön. Färgerna ljusgrön och rosa i denna ruta innebär att ett koncept visar sig godtagbart medan rött betyder att det förkastas.

Kriterier	Koncept											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	a1-b3-c4	a1-b1-c2	a1-b1-c3	a1-b1-c4	a1-b2-c2	a1-b2-c4	a1-b3-c3	a2-b2-c2	a2-b2-c4	a2-b3-c3	a2-b3-c4	
Konceptet ska vara autonomt		0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	
Systemet ska vara flexibelt		-	-	-	0	+	-	+	+	0	+	
Systemet ska vara eldrivet		0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	
Systemet ska vara hybriddrivet		0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	
Livslängden ska hålla i minst 10 år		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska enkelt underhållas	R E F E R E N S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska vara vibrationstålgt		-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Systemet ska inte ge ifrån mycket buller		+	+	+	+	-	0	-	-	0	-	
Systemet ska vara vindtålgt		-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Systemet ska kunna stoppas vid fara		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Systemet ska kunna föra material genom ojämna vägar		-	-	-	+	+	0	+	+	0	0	
Designen ska vara servicevänlig		-	-	0	-	0	0	-	0	-	0	
Summa +		x	2	2	2	2	2	0	3	3	1	2
Summa 0		x	6	6	7	9	9	11	5	6	8	7
Summa -		x	5	5	4	1	1	1	4	3	3	3
Nettovärde			-3	-3	-2	1	1	-1	-1	0	-2	-1
Rangordning			5	5	4	1	1	3	3	2	4	3
Vidareutveckling		Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja	

Tabell 6: Första Pughmatrisen.

Kriterier	Koncept											
	9	2	3	4	5	6	7	8	1	10	11	
	a2-b2-c4	a1-b1-c2	a1-b1-c3	a1-b1-c4	a1-b2-c2	a1-b2-c4	a1-b3-c3	a2-b2-c2	a1-b3-c4	a2-b3-c3	a2-b3-c4	
Konceptet ska vara autonomt		+	+	+	+	+	+	0	+	0	0	
Systemet ska vara flexibelt		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Systemet ska vara eldrivet		+	+	+	+	+	+	0	+	0	0	
Systemet ska vara hybriddrivet		-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	
Livslängden ska hålla i minst 10 år		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska enkelt underhållas	R E F E R E N S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska vara vibrationståligt		-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska inte ge ifrån mycket buller		+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	
Systemet ska vara vindtåligt		-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska kunna stoppas vid fara		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Systemet ska kunna föra material genom ojämna vägar		-	-	-	0	0	-	0	-	-	-	
Designen ska vara servicevänlig		-	-	0	-	0	-	-	0	-	0	
Summa +			3	3	3	3	3	3	0	3	1	1
Summa 0			3	3	6	6	7	5	10	6	8	9
Summa -			6	6	5	3	2	4	2	3	3	2
Nettovärde			-1	-1	-2	0	1	-1	-2	0	-2	-1
Rangordning			3	3	4	2	1	3	4	2	4	3
Vidareutveckling			Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja

Tabell 7: Andra Pughmatrisen.

5.5 Kesselringmatrix

En kesselringmatrix utarbetades för att ta fram det mest optimala konceptet. Alla önskemålen togs ifrån kriteriespecifikation och används i matrisen. I matrisen används ett poängsystem för att kunna underlätta rangordningen av koncepten. Varje koncept bedöms i hur väl det uppfyller ett önskemål från 1 till 5. Värdet av den bedömningen multipliceras med önskemålets viktade värde. Denna procedur itererades för varje koncept gällande varje önskemål och produkten från varje multiplikation adderades för vardera konceptet. Det är utefter varje koncepts resulterande värde som de rangordnas och i tabell 7 visar sig koncept a2-b2-c4 vara mest optimal.

Chalmers		Kesselringmatrix																				
Utfärdare: Ahmed och Beilul		Skapad: 2022-11-18					Modifierad: 2022-11-22					Koncept										
Kriterium		a1-b3-c4			a1-b2-c2			a1-b2-c4			a1-b3-c3			a2-b2-c2			a2-b2-c4			a2-b3-c4		
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t			
Konceptet ska vara autonomt	3	5	15	5	15	5	15	5	15	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6			
Konceptet ska vara flexibelt	4	3	12	4	16	4	16	3	12	4	16	5	20	5	20	5	20	5	20			
Systemet ska vara eldrivet	4	5	20	5	20	5	20	5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Systemet ska vara hybriddrivet	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15			
Livslängden ska hålla i minst 10 år	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12			
Systemet ska enkelt underhållas	5	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15			
Systemet ska vara vibrationståligt	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16	4	16			
Systemet ska inte ge ifrån mycket buller	4	4	16	3	12	3	12	4	16	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8			
Systemet ska vara vindtåligt	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16	4	16			
Systemet ska kunna stoppas vid fara	4	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16	4	16	4	16			
Systemet ska kunna föra material genom ojämna vägar	5	2	10	5	25	5	25	2	10	5	25	5	25	3	15	3	15	3	15			
Designen ska vara servicevänlig	5	3	15	4	20	4	20	4	20	4	20	5	25	3	15	3	15	3	15			
T (Totalt viktat värde)	x	x	151	x	171	x	171	x	156	0	153	x	174	0	154	0	154	0	154			
Rangordning		6			2			2			3			5			1			4		
Beslut		Nej			Nej			Nej			Nej			Nej			Ja			Nej		

Tabell 8: Kesselringmatrix.

5.6 Slutkoncept a2-b2-c4

Detta produktionskoncept lastar, transporterar och avlastar ballast med en hjullastare, en eldriven dumper truck samt en anläggning med mindre fickor. Under utvärderingen och den systematiska elimineringen av koncept bedöms detta koncept alltid som bra. I elimineringsmatrisen uppskattas dess procentuella realiserbarhet till 80 procent. I den första pughmatrisen klassificeras det som näst bäst och i den andra pughmatrisen används konceptet som referens. Det som särskiljer detta koncept från de resterande är dess flexibilitet. Med hjullastarens mångsidiga funktionaliteter, dumpers miljömässiga och kostnadseffektiva fördelar kombinerat med avlastningsmodellens förmåga att, oberoende av dumpern, simultant möjliggöra för flera avlastningen kan man klart konstatera att detta produktionskoncept visar sig vara mest optimalt. Byggnationen är försedd med fickor som kan tömmas och illustreras i figur 11.

5.6.1 Konceptets dellösningar

- **Lösning för lastning**

På sin hemsida skriver myndigheten Sveriges geologiska undersökning texten *Lastning och transport* där de tydliggör och beskriver vilka maskiner som implementeras i bergmaterialindustrin (Sveriges geologiska undersökning, u.å.). Om hjullastaren skriver myndigheten att fordonet är multifunktionellt. Myndigheten framhäver att hjullastare används för all typ av materialtransport såväl mellan produktionsstationer som till kund. I detta koncept är hjullastaren enbart ämnad till att lasta dumpern.



Figur 9: Hjullastare (Volvo, u.å.)

- **Lösning för transport**

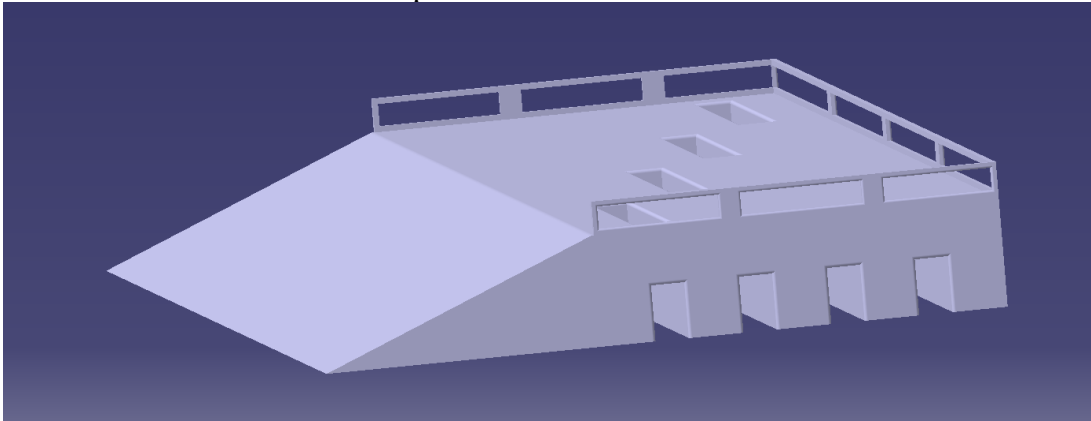
I figur 10 presenteras Volvo:s eldrivna och autonoma dumper truck HX2. I företaget Swecon:s hemsida skriver chefen Fredrik Rigsjö om projektet “Electric site” mellan Skanska och Volvo där de försöker utveckla en utsläppsfri bergtäkt. Han skriver i artikeln att denna dumper implementeras för intern transport mellan krossar och att åtta dumprar av denna modell används i stället för 3 dieseldrivna dumprar (Swecon, 2018). I slutkonceptet för detta projekt är denna dumper menad att användas för intern transport samt avlastning.



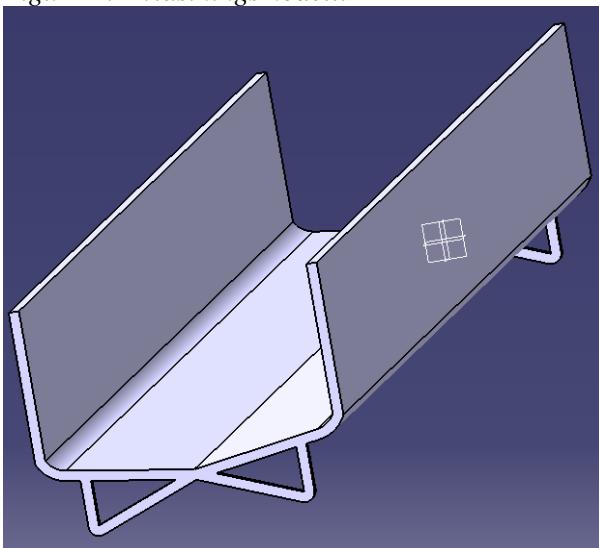
Figur 10: Eldriven dumper truck (Swecon, 2018).

- **Lösning för avlastning**

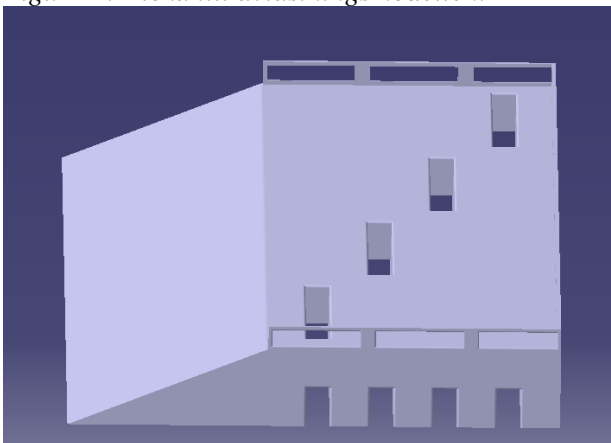
Detta avlastningskoncept är utformat för att öka produktiviteten av dumpern. Öppningarna vid sidan är ingångar respektive utgångar för lastbilar medan öppningarna på konceptets topp är till för fickor där dumprar är menade att avlasta bergmaterial som sedan töms när lastbilar är under dem. På grund av att detta koncept både tömmer och lagrar ballast är inte dumpern i behov av att vänta på en lastbil för att genomföra avlastning. Detta tillåter dumpern göra fler transporter inom tåkten och därför ökar dess flexibilitet och produktivitet.



Figur 11: Avlastningsmodell.



Figur 12: Ficka till avlastningsmodellen.



Figur 13: Avlastningsmodellen.

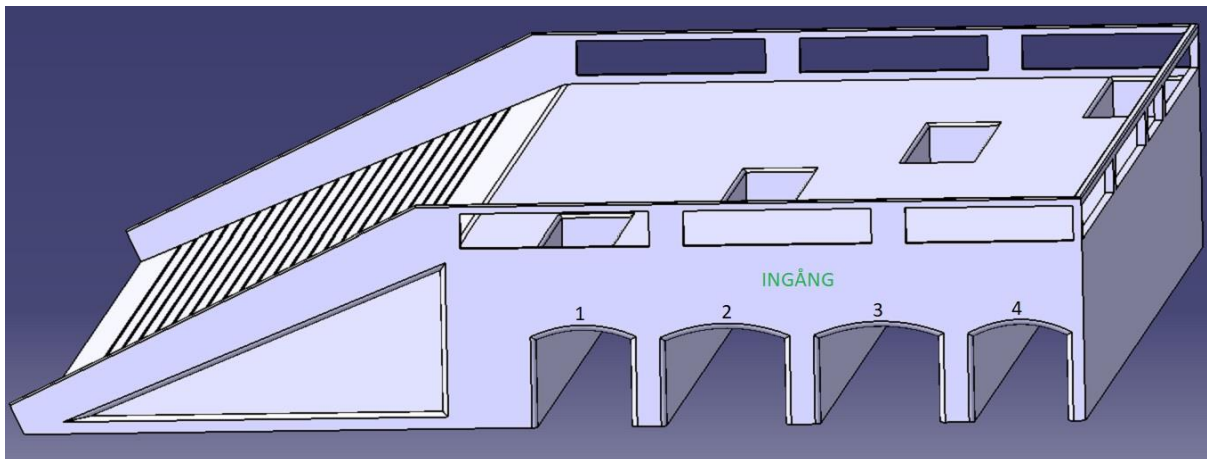
5.7 Vidareutveckling och diskussion

För att vidare automatisera avlastningen av ballast borde en digital plattform för bokning av ordrar etableras. I den ska ballastproducenten visa vilka tider som är tillgängliga för avlastning och byggföretag informera hur mycket ballast de efterfrågar. I samma digitala tjänst ska byggföretag dessutom skriva sin mejladress och registreringsnumret till vardera bilen för att underlätta identifieringen av lastbilarna. För att minska körsträckan för kunden bör avlastningsmodellen anläggas vid tåktens ingång. För att minska konceptets klimatavtryck byts hjullastaren ut mot Volvo:s nya hybriddrivna hjullastare LX1 som presenteras i Fredrik Rigsjös artikel (Swecon, 2018). I syfte att säkerställa ifall lastbilar står rätt placerade under vardera fickan ska marken under fickorna vara markerad. Både in-och utgångarna ska förses med kameror som registrerar lastbilarnas registreringsnummer och i samband med att lastbilarna lämnar tåkten ska en faktura automatiskt skickas till respektive byggföretags mejladress. För att avlastning av ballast ska genomföras säkert och effektivt borde byggnationen bestå av robusta material. Konstruktionen bör bestå av armerad betong och dess ovansida bör asfalteras för att underlätta dumprens transport. Dess barriärer och fickor bör bestå av rostfritt stål. Varje ingång tilldelas ett nummer. Ovanför ingångarna ska det dessutom stå "INGÅNG" med grön text och ovanför utgångarna ska det stå "UTGÅNG" med röd text. Av säkerhetsskäl adderas barriärer vid rampens sidor och på dess ovansida ritas räta upphöjningar. Rampens designas ihålig och ingångarna görs större för att spara på material. För vidare materialbesparing förstoras ingångarna samtidigt som modellens area minskas.

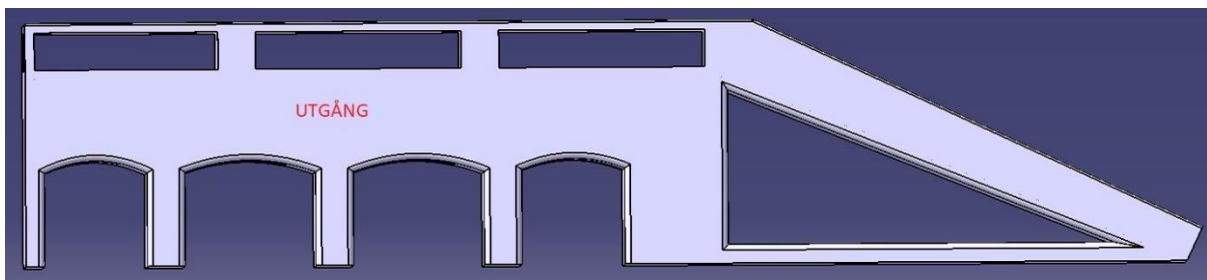
Med arbetets frågeställningar i åtanke konstateras att detta produktionskoncept skulle öka avlastningens flexibilitet och reducera dess klimatpåverkan. Den konventionella lösningen för att utföra avlastning av ballast till kund är att använda en dieseldriven hjullastare. Denna lösning använder däremot en hybriddriven hjullastare och en eldriven dumper truck för lastning och transport. Avlastningen, som utförs av dumpern och avlastningsmodellen, kräver ingen konsumtion av fossila bränslen. I och med att avlastningsmodellen är menad att placeras vid tåktens ingång och att transporten till den utförs med dumprar minimeras den hybriddrivna hjullastarens körsträcka vilket ytterligare minskar dess utsläpp. Dessa faktorer tyder på att detta koncept skulle medföra mindre klimatpåverkan. Hjullastaren, som tidigare utförde hela processen, har i detta koncept som uppgift att avlasta på dumprar och utföra korta transporter medan dumprarna tillåts, till följd av byggnationen, göra flera avlastningar och transportera ballast. Detta koncept är därför utformat så att fler avlastningar kan göras vilket medför en ökning i flexibilitet.



figur 14: Volvo:s hybriddrivna hjullastare LX1 (Swecon, 2018)



Figur 15: Ingång till avlastningsmodellen.



Figur 16: Utgång till avlastningsmodellen.

5.8 Beräkningar

I intervjun som hölls med NCC Tagene uppgavs att företaget konsumerar 5000 liter diesel varje vecka. Fordonstillverkaren Volvo redogör att de har lyckats reducera sina lastbilars bränsleförbrukning till 2,4 liter per mil (Volvo, 2019). Tabell 9 visar energianvändningen, antalet kilon koldioxidutsläpp samt bränslekostnaden från konsumtionen av 5000 liter bensin, diesel och E85. I hemsidan Miljöfordon uppges att resultaten gällande energianvändning beräknas genom att energimängden per liter för respektive drivmedel multipliceras med dess volym ($\text{kWh} = \text{volym} \times \text{energimängd}$). För ren diesel konstaterar hemsidan att energimängden diesel är 9,8 kWh/l. Värdet som visar koldioxidutsläppen i tabellen är framtaget genom en beräkning där drivmedlets volym multipliceras med ett värde av hur mycket koldioxid konsumtionen av 1 liter diesel ger upphov till ($\text{kg CO}_2 = \text{volym} \times \text{kg CO}_2 \text{ ekvivalenter/liter}$). Värdet som multipliceras med drivmedlets volym skriver företaget är 2,58 kg CO₂/liter för diesel. Bränslekostnaden är beräknad genom att drivmedlets volym multipliceras med dess nuvarande literpris (Miljöfordon, 2022).

Ange volym drivmedel		WTW  Klimat-påverkan [kg CO ₂]	Energianvändning [kWh]	Bränslekostnad [SEK]
Bensin	5000 liter	13 905	44 194	95 500
Diesel	5000 liter	12 900	48 446	118 050
E85	5000 liter	7 060	32 603	73 950

Tabell 9: En tabell som visar energianvändningen, antalet kilon koldioxid samt bränslekostnaden för 5000 liter av drivmedlen som figuren visar (Miljöfordon).

Tabell 10 visar resultat där dessa beräkningar har gjorts för volymer mindre än 5000 liter för att redogöra vilka miljömässiga och ekonomiska effekter en reduktion av bränslekonsumtionen skulle ha. Tabell 10 redogör för hur mycket utsläppen från en dieseldriven lastbil kan reduceras ifall dess konsumtion av diesel minskas. Informationen i tabell är tagen från en klimatkalkyl från företaget Ntex Inrikes AB. Det är ett fraktbolag som låter sina kunder beräkna hur mycket koldioxidutsläpp en leverans skulle innebära. I beräkningarna ingår transportlängd och godsets vikt. För beräkningarna till resultatet i tabellen sattes godsets vikt till 15 000 kilo. Volvo Lastvagnar konstaterar att deras eldrivna lastbilar har en energiförbrukning på 11 kWh per mil och bolaget Uniper SE skriver att Sveriges elmix avger 20 gram koldioxid för varje kilowattimme som produceras. Bränslekostnaden beräknades på hemsidan Miljöfordon (Volvo Lastvagnar, 2022) (Uniper SE, u.å.).

	Volym diesel (L)	Koldioxidutsläpp (kg CO ₂)	Energiförbrukning (kWh)	Bränslekostnad (SEK)
Current state:	5000	12 800	48 446	118 050
5% reduktion	4750	12 255	46 024	112 148
10% reduktion	4500	11 610	43 602	106 245
15% reduktion	4250	10 965	41 180	100 342
20% reduktion	4000	10 320	38 757	94 440
25% reduktion	3750	9 675	36 335	88 538

Tabell 10: En tabell som visar hur energianvändningen, antalet kilon koldioxid samt bränslekostnaden förändras när NCC Tagene:s bränslekonsumtion reduceras (Miljöfordon).

Tabell 11a visar hur energiförbrukningen samt koldioxidutsläppen ökar för Volvo:s eldrivna och dieseldrivna lastbilar när körsträckan blir längre. Tabell 11b illustrerar samma sak men för kostnaden gällande vardera fordons drivmedel. Energiförbrukningen för den eldriven lastbilen beräknas genom att körsträckan multipliceras med 11 kWh/mil och koldioxidutsläppen beräknas genom att energiförbrukningen multipliceras med 20 och divideras med 1000 för att omvandla värdet till kilogram. Volym av drivmedel beräknades genom att multiplicera körsträckan med 2,4 eftersom Volvo:s lastbilar förbrukar 2,4 liter bränsle per mil. Energiförbrukningen för den dieseldriven lastbilen beräknas genom att multiplicera volymen diesel med drivmedlets energimängd, vilket är 9,8 kWh/l. Bränslekostnaden beräknas genom att multiplicera literpriset av diesel med dess volym. I tabell 11b beräknas kostnaden av elektricitet genom att multiplicera energiförbrukningen med ett genomsnittligt värde för priset av 1 kWh i elområde 3. Detta värde är 1,35 SEK (Konsumenternas Energimarknadsbyrå, 2022). Kostnaden för diesel beräknades genom att multiplicera volymen diesel med 24,46 SEK (Globalpetrolprices, 2023). Diagram 1 och 2 illustrerar värden från tabell 11a och tabell 11b.

Körsträcka (mil)	Eldriven lastbil			Dieseldriven lastbil	
	Energiförbrukning (kWh)	Koldioxidutsläpp (kg CO ₂)	Volym drivmedel (L)	Energiförbrukning (kWh)	Koldioxidutsläpp (kg CO ₂)
10	110	2,2	24	235,2	61,92
20	220	4,4	48	470,4	123,84
30	330	6,6	72	705,6	185,76
40	440	8,8	96	940,8	247,68
50	550	11	120	1176	309,6
60	660	13,2	144	1411,2	371,52
70	770	15,4	168	1646,4	433,44
80	880	17,6	192	1881,6	495,36
90	990	19,8	216	2116,8	557,28
100	1100	22	240	2352	619,2

Tabell 11a: Tabell som visar hur energiförbrukningen och koldioxidutsläppen ökar för eldriven och dieseldriven lastbil.

Körsträcka (mil)	Eldriven lastbil		Volym drivmedel (L)	Dieseldriven lastbil	
	Energiförbrukning (kWh)	Kostnad (SEK)		Energiförbrukning (kWh)	Kostnad (SEK)
10	110	148,5	24	235,2	587,04
20	220	297	48	470,4	1174,08
30	330	445,5	72	705,6	1761,12
40	440	594	96	940,8	2348,16
50	550	742,5	120	1176	2935,2
60	660	891	144	1411,2	3522,24
70	770	1039,5	168	1646,4	4109,28
80	880	1188	192	1881,6	4696,32
90	990	1336,5	216	2116,8	5283,36
100	1100	1485	240	2352	5870,4

Tabell 11b: Tabell som visar hur energiförbrukningen och kostnaden ökar för eldriven och dieseldriven lastbil.

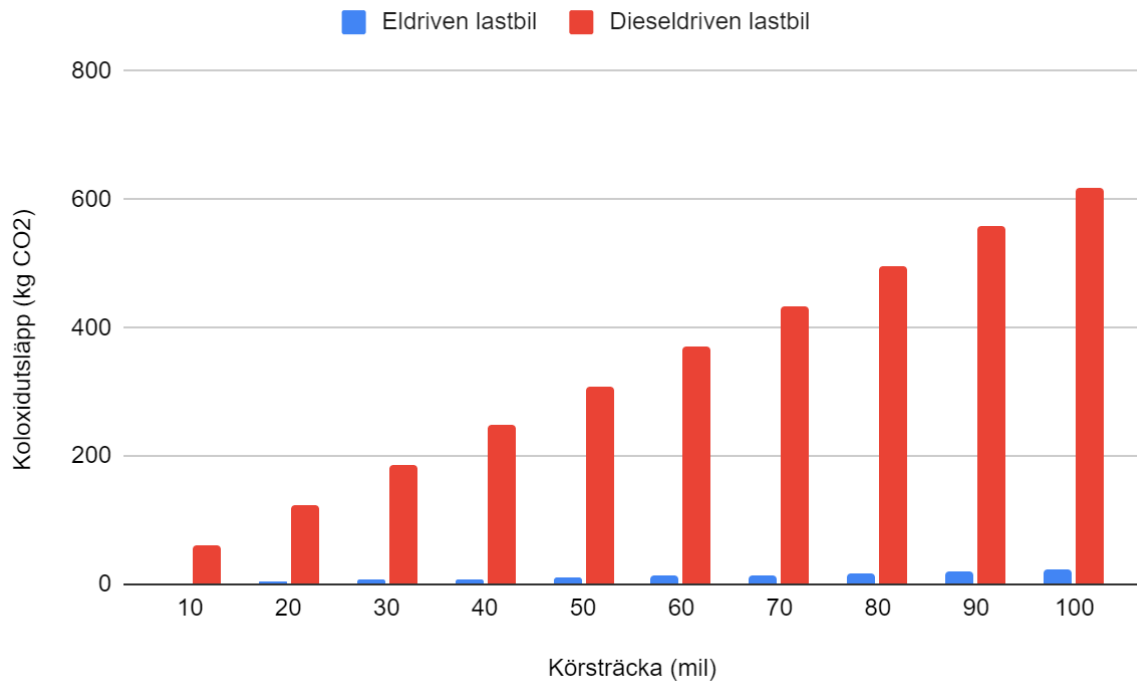


Diagram 1: Stapeldiagram som visar hur energiförbrukningen skiljer sig för en eldriven respektive dieseldriven lastbil.

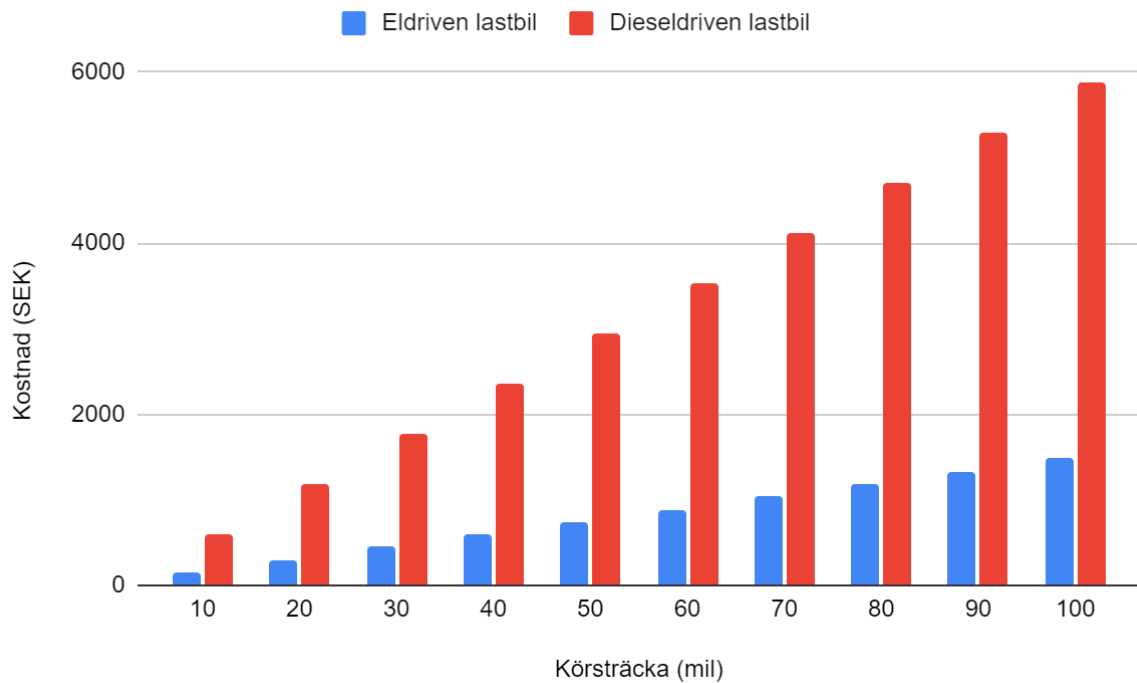


Diagram 2: Stapeldiagram som visar hur koldioxidutsläpp skiljer sig för en eldriven respektive dieseldriven lastbil.

5.8.1 Ett möjligt utfall

För att få en konkret förståelse av hur ett bolag skulle påverkas ifall konceptet a2-b2-c4 konceptet lyckades öka dess flexibilitet och reducera dess klimatavtryck presenteras ett scenario där konceptet antas minska koldioxidutsläppen med 15 procent och förbättra flexibiliteten. En optimering gällande flexibiliteten skulle uppfattas som attraktivt för producentens kunder då det skulle innebära snabbare och smidigare ordrar av ballast. I praktiken skulle företaget kunna marknadsföra sig som kundvänligt då det skulle kunna erbjuda sina kunder möjligheten att förbeställa sina ordrar och automatiskt få flera av sina lastbilar lastade samtidigt. Tåktens minskade klimatpåverkan innebär att den skulle släppa ut 10 965 kg CO₂. Detta värde beräknas genom att multiplicera värdet för NCC Tagene:s nuvarande koldioxidutsläpp i tabell 9 med 0,85. Differensen i kilo koldioxid är 1935 kg CO₂ (12900 kg CO₂-0,85*12900 kg CO₂). Tåktens nya bränslekonsumtion beräknas bli 4250 liter diesel och ger en differens på 750 liter diesel (5000 L - 4250 L). Detta konstateras då värdet av tåktens nya koldioxidutsläpp, dividerat med 2,58 kg CO₂/liter diesel, blir 4250 liter. Med ett literpris på 24,46 SEK blir tåktens nya bränslekostnad 103 955 SEK och bidrar till en besparing på 18 345 SEK (5000 L*24,46 SEK - 4250 L*24,46 SEK).

6. Slutsats och rekommendationer

Målet med denna studie var att utveckla ett produktionskoncept för att öka flexibiliteten för att avlasta bergmaterial till kunder och minska processens miljöpåverkan. Under hela processen av undersökningen gjordes antaganden som påverkade lösningarnas bedömning och om antagandena hade förändrats lite hade även bedömningarna ändrats. På grund av detta ansågs inte alla lösningarna som eliminerades i Kesselringmatrisen nödvändigtvis vara avsevärt mindre optimala men elimineringsprocessen indikerade på att de inte skulle presterar bättre än a2-a2-a4. Detta produktionskoncept består av en hybrid hjullastare, en eldriven dumper truck och en anläggning med mindre fickor. De faktorer som särskiljer a2-b2-c4 mest är dess flexibilitet. Med hjullastare kan man avlasta bergmaterial till kunderna direkt men eftersom arbetets syfte är att minska avlastningens miljöpåverkan var det viktigt att ha hjullastarens körsträcka och dieselkonsumtion i åtanke. Därför bestämdes att hjullastaren skulle användas för att köra korta sträckor och lasta bergmaterialet på en autonom dumper truck i stället. Konceptets andra dellösning är en dumper truck, vilket är ett eldrivet fordon som är menat att ta emot produkten från en hjullastare och transportera den hela vägen till konceptets tredje dellösning. Valet av en eldriven och autonom dumper truck som dellösning grundade sig i dess miljövänliga och kostnadseffektiva fördelar då den inte kräver fossilt bränsle och körs obemannad. Konceptets sista dellösning var en avlastningsmodell med mindre fickor. Denna dellösning var designad för att ta emot flera laster från dumprar, hålla produkter och avlasta dem i samband med inkörning av kund. Eftersom avlastningsmodellen bestämdes vara konceptets lösning gällande avlastning behöver dumpern främst brukas för transporter. Avlastningsmodellen gör det därför möjligt för dumpern att utföra flera avlastningar inom tälken vilket betyder att konceptet a2-b2-c4 lastar, transporterar och avlastar ballast på ett flexibelt och miljövänligt sätt.

En investering i koncept a2-b2-c4 innebär en stor initial investering och för att ett företag ska säkerställa sig om att detta koncept skulle bidra med värde för dem i form av minskad miljöpåverkan och ökad flexibilitet är det essentiellt att konceptet utvärderas kvantitativt. Detta genomfördes aldrig i detta arbete men rekommenderas starkt för analys av koncept a2-b2-c4. Några sätt som detta koncept kvantitativt skulle kunna utvärderas är genom att simuleras via digitala verktyg såsom Visual Components, Tecnomatix Plant Simulation och Anylogic.

Referenser

Bergmaterialindustrin i praktik och teori. 2019. Sveriges Bergmaterialindustri.
[BERGMATERIALINDUSTRIN I PRAKTIK OCH TEORI](#)

EDGE Innovate. (u.å.). Radical Truck Loader. Hämtad 2022-10-12.
<https://edgeinnovate.com/products/radial-truck-unloader/>

Fossilfritt Sverige. (2019). *Aggregates industry*. Hämtad 2023-01-20
<https://fossilfritt sverige.se/en/roadmap/the-aggregates-industry/>

GlobalPetrolPrices.com. 2023. *Sverige Dieselpriser*. hämtad: 2023-01-20. [Sverige dieselpriser, 16-januar-2023 | GlobalPetrolPrices.com](#)

Jehander. *Ballastens betydelse för samhällsbyggande*. (u.å.). Hämtad: 2022-09-04.
<https://www.jehander.se/sv/Jehander-ballast-samhallsbyggande>

Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2013). *Produktutveckling: effektiva metoder för konstruktion och design* (2. uppl.). Liber.

Konsumenternas Energimarknadsbyrå. 2022. *Elpriser*. hämtad: 2023-01-20 [Prisutveckling och prognos för elpriser - oberoende konsumentinformation om el \(energimarknadsbyrån.se\)](#)

Lööf, J. Nygren, M. (2019). *Initiatives for increased safety in the Swedish mining industry: Studying 30 years of improved accident rates*. Hämtad: 2023-01-20 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1314121/FULLTEXT01.pdf>

Mining Magazine. (u.å.). *Övergången till en eldriven gruvdrift*. Hämtad: 2023-01-23
[Övergången till eldriven gruvdrift](#)

Miljöfordon. 2022. *Drivmedelskalkyl*. Hämtad 2022-12-18
<https://www.miljofordon.se/ekonomi/drivmedelskalkyl/?petrol=&diesel=2000&e85=&gas=&electric=&hvo=&fame=>

Miljöfordon. 2022. *Miljöpåverkan*. Hämtad 2023-01-11.
<https://www.miljofordon.se/bilar/miljoepaaverkan/>

NCC. (2021). *Environmental Product Declaration for aggregates from Gothenburg quarry - Tagene*.<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLlibrary/Files/860a46b9-ad2e-48c9-fb92-08d9bd3aaab3/Data>

Ntex inrikes. (u.å.). *Klimatkompensera dina transporter*. Hämtad 2022-12-16.
<https://ntexinrikes.se/hallbarhet/klimatvalet/>

Rigsjö, F. *Tester påbörjas vid världens första "utsläppsfria" bergtäkt*. (2018). Hämtad: 2022-11-22. [Tester påbörjas vid världens första "utsläppsfria" bergtäkt | Swecon Anläggningsmaskiner AB](#)

Skanska. (u.å.). *Electric site – världens första utsläppsfria bergtäkt*. Hämtad 2023-01-23
<https://www.skanska.se/om-skanska/skanska-i-sverige/innovation/electric-site/>

SBMI Sveriges bergmaterialindustri. (u.å.). *Om bergmaterialindustrin* hämtade: 2022-11-20
[Om bergmaterialindustrin - SBMI](#).

Sveriges geologiska undersökning. (u.å.). *lastning och transport*. Hämtad 2022-12-02.
[Lastning och transport](#)

Sveriges geologiska undersökning. (2018). *Kritiska egenskaper hos bergmaterial och alternativa material*. Hämtad 2022-11-23.
[Kritiska egenskaper hos bergmaterial och alternativa material](#)

Sveriges geologiska undersökning. (2020). *Grus, sand och krossberg 2020*. Hämtad 2022-12-13.
[Grus, sand och krossberg 2020](#)

Swecon. (2018). Tester påbörjas vid världens första ”utsläppsfria” bergtäkt. Hämtad 2023-01-23
[Tester påbörjas vid världens första ”utsläppsfria” bergtäkt | Swecon Anläggningsmaskiner AB](#)

Trafikverket. (2022). *Emissionsfaktorer vägtrafik för 2020, 2030 och 2040*. Hämtad: 2022-12-16.
<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/d4c1beff0a9a4e91b0246ef155188c3d/emissionsfaktorer-vagtrafik-2020-2030-och-2040.xlsx>

(Skribent saknas). (u.å.). *Truck unloader for fast loading of bulk material*. at-minerals. Hämtad: 2022-10-12.
[Truck unloader for fast loading of bulk material - Mineral Processing](#)

Uniper SE. (u.å.). *El istället för fossila bränslen*. Hämtad: 2023-01-11.
[El istället för fossila bränslen | Uniper](#)

Volvo Construction Equipment. (u.å.). *Stora hjullastare Volvo L260H*. Hämtad 2022-11-22.
<https://www.volvoce.com/europe/se/products/wheel-loaders/l260h/>

Volvo Trucks. (2019). *2,4 liter per mil i bränsleförbrukning*. Hämtad: 2022-12-16.
[2,4 liter per mil i bränsleförbrukning](#)

Volvo Lastvagnar. (2022). *Volvos tunga ellastbil sätts på prov: utmärker sig inom både räckvidd och energieffektivitet*. Hämtad: 2023-01-11.
[Volvos tunga ellastbil sätts på prov: utmärker sig inom både räckvidd och energieffektivitet](#)

Woodford, G. (2020-10-05). *Kleemann launches mobile stacker range*. Aggregates Business. Hämtad: 2022-10-13.
[Kleemann launches mobile stacker range | Aggregates Business](#)

Information gällande personlig kommunikation är i respondenternas ägo.

Intervju med Christopher Andersson (platschef för NCC Tagene), 23 september, 2022.

Intervju med Robert Nilsson (tjänsteägare för Volvo), 19 oktober, 2022.

Intervju med Magnus Evertsson (Dr. och docent i Chalmers), 24 oktober, 2022.

Appendix

Bilaga A

Intervju med ingenjör Robert Nilsson från Volvo

- Hur stor är bränsleförbrukningen för dagens hjullastare?
- Vilka hinder står i vägen för att utveckla eldrivna hjullastare?
- Finns det något annat fordon ni producerar som kan uppfylla samma funktion som en hjullastare i en täkt?
- Ser ni ett behov av att implementera eldrivna system i täkter?
- Ser ni en risk med att elkablar kan skadas eller stå i vägen för produktion av bergmaterial?
- känner du till om det finns litteratur gällande elektrifiering av fordon som används i täkter?

Intervju med platschef Christopher Andersson från NCC

- Hur långa sträckor behöver kunder köra för att lastas med bergmaterial?
- Vilken teknik använder ni för pålastning av bergmaterial i nuläget?
- Vilka tekniker använde ni förr?
- Vilka är fördelarna respektive nackdelarna har tekniken ni använder för pålastning av bergmaterial?
- Brukar det ske köbildning som tvingar kunder vänta innan deras lastbilar kan fyllas med bergmaterial?
- Hur länge brukar köerna bli och hur stora är de ekonomiska och tidsmässiga förlusterna som de ger upphov till?

- Hur stor är graden av automation i den nuvarande lösningen ni använder?
- Önskar ni att graden av automation skulle gå upp?
- Hur mycket kostar den nuvarande lösningen ni använder?
- Hur mycket är ni villiga att investera i ett nytt koncept som löser problemen ni upplever?
- Hur stor är arean på er anläggning?
- Hur mycket ballast brukar ert företag lasta på lastbilar i genomsnitt?
- Räcker det ofta med en avlastning?
- Har de någon relation till varandra, hur viktiga är de i sådana fall och hur nära måste de vara varandra?
- Vad är de vanligaste orsakerna till att flaskhalsar sker vid pålastning av ballast?

Frågor till Professor Magnus Evertsson från Chalmers

- Var någonstans upptäckte du först ineffektiviteter med pålastning av bergmaterial och vad var orsakerna till dem?
- Har du upptäckt samma problem på flera täkter och om du har gjort det undrar vi om tidsfördröjningarna skedde av samma anledningar?
- Hur stort skulle du säga att problemet är?
- Känner du till om det finns företag som försöker lösa detta problem?
- Vet du om det finns någon litteratur vi kan läsa som skulle vara till hjälp för oss?



CHALMERS