



Linnéuniversitetet

Kalmar Växjö

Examensarbete i maskinteknik

Utvärderingsmetod av transportalternativ till komplexa anläggningar, en fallstudie på Svensk Kärnbränslehantering AB

*Evaluation method of transport alternatives for
complex facilities, a case study at Svensk
Kärnbränslehantering AB*



Författare: Jesper Hallenborg & Hugo Häll

Handledare LNU: Fredrik Fjellstedt

Handledare SKB AB: Heikki Laitinen

Examinator: Mirka Kans

Termin: VT 21

Ämne: Industriell ekonomi

Nivå: Högskoleingenjör

Kurskod: 2MT14E, 15hp

Datum: 2021-06-01





Sammanfattning

I vårt samhälle idag finns ett större energibehov än någonsin förr. För att förse detta energibehov har vi i Sverige en mängd olika sorters kraftverk. Alla sorters energikraftverk har sina nackdelar och fördelar. För just kärnkraftverk är en stor nackdel det radioaktiva avfallet som uppstår vid energiproduktion. I detta arbete har vi studerat en liten del av det stora projektet att förvara detta radioaktiva avfall, vilket bedrivs av företaget SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB. Det slutförvar som kommer byggas har i uppgift att isolera det radioaktiva avfallet från miljö och samhälle.

En del av verksamheten i detta slutförvar är transport av bentonitmaterial, som är en typ av lermaterial. Bentonitens uppgift i detta fall är att försluta hål och tunnlar där det radioaktiva avfallet förvaras, 500 meter ner i berget. Vi har i denna studie tagit fram en utvärderingsmodell för att undersöka två transportalternativ för bentonit under jord, där vi främst studerat hur de skiljer sig i aspekt av:

- Energianvändning
- Start- och driftkostnad
- Tid

De transportalternativ som studerats är transport med lastbil och transport med skip, som är en typ av gruvhiss. Slutsatsen vi kommit fram till är att lastbilstransport är det mer passande alternativet för den verksamhet SKB kommer att bedriva. Den övervägande styrkan av en skip är den höga hastighet den kan arbeta i, vilket i detta slutförvar inte är en nödvändig egenskap.

Genom att i detalj studera den mängd material som ska flyttas samt de unika egenskaper båda transportalternativ besitter, har en jämförelse av olika aspekter kunnat utföras. Denna jämförelse har varit grund för de resultat och slutsatser vi kommit fram till. Resultatet vi presenterat kan användas som referensram för beslut gällande bentonittransporter då SKB's slutförvar går i drift.

Nyckelord: *Deponering, Transport, Kostnad, Energiförbrukning, Tid, Lastkapacitet*



Summary

In our society today, the need for energy is greater than ever before. In order to supply this growing demand, Sweden uses a variety of power plants. All kinds of power plants have their advantages and disadvantages. For nuclear power plants in particular, a major disadvantage is the radioactive waste that arises during energy production. In this case study we have examined a small part of the large project to store the radioactive waste, which is run by the company SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB. The final repository that is currently being planned has the task to isolate the radioactive waste from the environment and society.

A part of the operation in the final repository is the transport of the material bentonite, which is a type of clay. The bentonite's main function is, in this case, to seal the deposition areas where the radioactive waste is stored. Moreover, the material is stored 500 meters down into the bedrock. In this study, we have developed an evaluation method in order to examine two different means to transport bentonite underground, with focus on how they differ in aspects of:

- Energy consumption
- Startup- and operational costs
- Time

The two alternatives for transportation that have been studied are trucks and skip, which is a type of mine elevator. Our conclusion is that transport by truck is the more suitable alternative for the operation that SKB will conduct. The predominant strength of a skip is the high speed it can operate at, which in this final repository is not a necessary feature.

By studying the amount of material that needs to be moved, and the unique properties of both alternatives for transportation, a comparison of the different aspects has been made. This comparison has been the basis of the results achieved and the conclusions that have been reached. The results presented in this study can be used as a reference framework for decisions regarding how bentonite will be transported when SKB's final repository goes operational.

Keywords: *Deposition, Transport, Cost, Energy consumption, Time, Carrying capacity.*



Förord

Gästföreläsningar av SKB på Linnéuniversitetet var det som först väckte vårt intresse för denna verksamhet. Genom samtal med SKB's föreläsare Kajsa Engholm upprättades kontakt med lämpliga parter inom företaget. Detta gav i sin tur oss chansen att genomföra vår kandidatuppsats i samarbete med Heikki Laitinen.

Tack till Kajsa Engholm som hjälpt oss att upprätta kontakt med företaget, och även stöttat oss under arbetets gång.

Tack till vår handledare på SKB, Heikki Laitinen, som genom hela studiens gång försett oss med all nödvändig information som varit av behov. Heikki har även bidragit med goda råd samt vägledning för att nå ett resultat.

Tack till vår handledare på Linnéuniversitetet, Fredrik Fjellstedt som bidragit med råd och idéer samt nya infallsvinklar och tankesätt som hjälpt oss driva vårt arbete framåt.

Vi vill även rikta ett tack till vår examinator Mirka Kans, som har bidragit med värdefulla tankar och idéer som gjort denna studie möjlig.

Detta arbete är en gemensam insats av Jesper Hallenborg & Hugo Häll.

Jesper Hallenborg
Växjö, 26 maj 2021

&

Hugo Häll



Ordlista:

Deponeringsort - Tunnel i slutförvaret.

Deponeringshål - Hål i tunnel där radioaktivt avfall förvaras.

Avgasbroms/retarder - Motorbroms.

Skip - En gruvhiss.

Återfyllnadsmaterial - Bentonitmaterial som placeras i tunnel i form av block och pellets.

Buffertmaterial - Bentonitmaterial som placeras i hål i form av segementerade ringar och pellets.

EU-pall - Standardiserad lastpall som väger 25 kg.

SKB-pall - Särskild lastpall som används specifikt av SKB som väger 500 kg.



Innehållsförteckning

1	Introduktion	9
1.1	<i>Bakgrund</i>	9
1.2	<i>Problematisering</i>	10
1.3	<i>Syfte</i>	11
1.4	<i>Frågeställningar</i>	11
1.5	<i>Avgränsningar</i>	11
2	Teori	12
2.1	<i>Dragande produktion</i>	12
2.2	<i>Supply Chain Management</i>	12
2.3	<i>Bentonit</i>	12
2.4	<i>Livscykelkostnad (LCC)</i>	12
2.5	<i>Nyckeltal</i>	13
2.6	<i>Fysikaliska formler</i>	13
2.7	<i>Takttid</i>	13
3	Metod	14
3.1	<i>Val av metod</i>	14
3.2	<i>Val av ansats</i>	15
3.3	<i>Forskningsdesign</i>	16
3.4	<i>Etik</i>	16
3.5	<i>Forskningskvalitet</i>	17
3.6	<i>Litteraturstudie</i>	17
3.7	<i>Urval</i>	18
4	Empiri & Analys	19
4.1	<i>Svensk Kärnbränslehantering's verksamhet</i>	19
4.2	<i>Slutförvar</i>	19
4.3	<i>Bentonit</i>	20
4.4	<i>Krav på mängd bentonit</i>	22
4.4.1	<i>Återfyllnadsblock</i>	22
4.4.2	<i>Buffertkomponenter</i>	23
4.4.3	<i>Pellets</i>	23
4.5	<i>Alternativ 1: Lastbil</i>	25
4.5.1	<i>Buffert & Återfyllnadsblock</i>	25
4.5.2	<i>Pellets</i>	26
4.6	<i>Alternativ 2: Skip</i>	27
4.6.1	<i>Buffert & Återfyllnadsblock</i>	27
4.6.2	<i>Pellets</i>	28
5	Resultat	31
6	Diskussion	33
6.1	<i>Metoddiskussion</i>	33
6.2	<i>Resultatdiskussion</i>	33



6.3	<i>Samhällsrelevans</i>	35
7	Slutsatser	36
7.1	<i>Rekommendationer</i>	36
8	Referenslista	37
8.1	<i>Litteratur</i>	37
8.2	<i>Internetkällor</i>	38



1 Introduktion

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle är behovet av energi större än någonsin. Mängden fossila bränslen blir mindre och mindre samtidigt som priset på dessa stiger. De kommande generationer ställs inför många utmaningar då konsekvenserna av klimatförändring blir tydligare. Kravet på energieffektivitet och jakten på en mer hållbar energiproduktion är nu mer relevant än någonsin (UOE:EK).

Idag förses Sverige med energi med hjälp av en mängd olika sorters kraftverk. Förnybar energiproduktion blir alltmer tillgänglig i aspekt av effektivitet samt kostnad, vilket presenterar fler möjliga alternativ att förse landets energibehov. Det forskas kring ny och potentiellt mer kostnadseffektiv kärnkraft, men många anser att detta kommer hittas först i en långväga framtid. De fyra äldsta kärnkraftsreaktorerna i landet stängdes 2015 på grund av initiativ från ägarna av de svenska kärnkraftverken, vilket motiverades med att de inte längre var ekonomiskt konkurrenskraftiga. Med detta nämnt består kärnkraft som idag används, för att i kombination med andra alternativ förse samhället med energi. Då kärnkraft nyttjas uppkommer även radioaktivt avfall som måste hanteras med försiktighet (Söder et al, 2020).

SKB, Svensk kärnbränslehantering AB, beskriver att vi i Sverige använt kärnkraftsproducerad el sedan 60-talet. Vi som nyttjat denna energi har även en skyldighet mot kommande generationer att ansvarsfullt hantera det avfall som uppstått till följd av detta. Därför är en långsiktig lösning som inte är beroende av kontroll och uppsikt, och framförallt en säker sådan ett måste i vårt samhälle (SKB, 2021).

Strålsäkerhetsmyndigheten formulerar att strålskyddslagen visar att anläggningsplats, utformning, drift och byggnadsarbete av slutförvaret samt relaterade systemkomponenter ska väljas med syfte att förhindra, begränsa och fördröja kontaminering från tekniska såväl som geologiska skydd i den utsträckning som rimligtvis är möjlig (SSMFS, 2008). Avvägning mellan olika åtgärder ska ske med en samlad utvärdering av deras effekt på slutförvarets skyddsförmåga enligt (ibid:37).

Att förvara radioaktivt avfall från kärnkraftverk är ett megaprojekt som bör planeras i minsta detalj för att uppfylla kraven från bland annat Strålskyddsmyndigheten. Alla delprocesser i projektets helhet bör kartläggas och kritiskt granskas i aspekt av kostnad och effektivitet.



1.2 Problematisering

Hos projekt som är av den större graden, är det vanligt att flera olika aktörer är med och utför sitt respektive arbete. Detta medför att projekt av denna sort ofta blir komplexa och svåra att genomföra. Komplexiteten består av att kommunikation, tidsplanering och dokumentation ska ske mellan flera olika parter. Om avvikelser sker inom dessa områden blir konsekvenserna ofta ökade kostnader och förseningar (Kovács & Paganelli, 2003). En tydlig, väl uttänkt styrning krävs för att minimera kvalitetsbrister i projektet. I denna styrning spelar planeringsarbetet en viktig roll. Kvalitetsnivån bör då fastslås med projektmål, tillgänglig tid samt resurser i åtanke (Tonnquist, 2020). För att göra ett välgrundat beslut i ett projekt kan nyckeltal vara ett värdefullt verktyg för att styra verksamheten i rätt riktning (Catasús et al. 2017).

För att nå de mål ett projekt involverar måste transformerande aktiviteter i form av processer ständigt utföras. Processer delas många gånger in i tre olika typer. Huvudprocessen har som uppgift att förse kundens behov, stödprocessens syfte är att bistå huvudprocessen med de resurser som krävs och ledningsprocessen styr mål samt strategier. För att huvudprocessen ska fungera felfritt behövs väl fungerande stöd, och ledningsprocesser kring denna (Bergman & Klefsjö, 2020).

När en stödprocess som materialtransport ska utvärderas i ett komplext projekt, ger utvalda nyckeltal grunden till en jämförelse vilket kan användas som beslutsunderlag för att hitta ett alternativ som besitter önskade egenskaper. För att kunna göra ett välgrundat beslut bör alla intressanta faktorer i stödprocesser vägas.



1.3 Syfte

Syftet med denna studie är att skapa förståelse för olika faktorer som kan påverka valet av transportalternativ i en komplex anläggning.

Målet är att utveckla en modell för utvärdering av transportalternativ.

1.4 Frågeställningar

- Hur kan en modell för att utvärdera transportalternativ se ut?
- Vilka parametrar är viktiga att studera då man ska göra beslut kring transportalternativ i komplexa anläggningar?

1.5 Avgränsningar

I detta arbete studeras endast parametrarna energiförbrukning, lastkapacitet, tidseffektivitet samt start- och driftkostnad. De moment som ligger till grund för beräkningar är bentonitmaterialets transport från ytan ner till deponeringsnivå hos SKB. Projektet antas pågå under en 45 års period.



2 Teori

I detta kapitel beskrivs relevanta termer för arbetet, som tillämpas i senare delar för att kunna besvara de frågor studien centreras kring.

2.1 Dragande produktion

Dragande produktion är ett system för att återspegla kundbehovet bak i produktionen. Genom att endast fylla på de komponenter som går åt vid nästa arbetsmoment, kommer materialet att dras genom produktionen istället för att tryckas framåt (Liker, 2004).

2.2 Supply Chain Management

Begreppet supply chain management är enligt definition "Planering, utveckling, samordning, organisation, styrning och kontroll av intra- och interorganisatoriska processer från ett helhetssynsätt och avseende flöden av material, tjänster, information, och betalningar i försörjningskedjan från ursprunglig leverantör till slutgiltig förbrukare." (Mattson, 2012:71). Supply chain management involverar även logistik. Logistik är enligt definition "De aktiviteter som har att göra med att erhålla rätt vara eller service på rätt plats vid rätt tidpunkt och i rätt kvantitet till lägsta möjliga kostnad" (Fredholm, 2013:15).

Logistik är ett verktyg för att styra alla aktiviteter relaterade till planering, organisering och materialflödet. Relationen mellan de involverade delarna av systemet bygger på samordning och utbyte av material och information. Denna sammankoppling resulterar i en positiv systemeffekt som inte går att uppnå i de fall då varje del arbetar isolerat och individuellt (Jonsson & Mattsson, 2016).

2.3 Bentonit

Bentonit som ska användas som en isolerande buffert runt kopparkapslarna inuti berget är en lera. Bentonit bildas vid nedbrytning av vulkanisk aska, och har en hög halt av lermineralet montmorillonit. Dess främsta egenskaper är förmågan att svälla och täta vid upptag av vatten men även dess låga viskositet (Fors & Lange, 2007).

2.4 Livscykelkostnad (LCC)

Livscykelkostnad är en samlingsterm för alla kostnader ett objekt medför under sin livstid. Här kopplas grundinvestering tillsammans med framtida utbetalningar, såsom drift-, reparation-, och servicekostnader. Total livscykelkostnad kan beräknas med:

$$LCC_{tot} = investering + LCC_{energi} + LCC_{underhåll}$$



LCC ger en bra bild över vilka, och hur stora kostnader som erhålls. Detta kan leda till ett bra underlag för att utföra arbeten för att sänka kostnaderna inom de olika områdena. Livscykelkostnad kan tillämpas för att ge en bättre visualisering över samtliga kostnader av ett element. Detta kan i sin tur användas för att avgöra om en investering är lönsam, eller som grund till jämförelse av olika tjänster inom en verksamhet (Bergknut et al, 1993).

2.5 Nyckeltal

Nyckeltal är ett verktyg som används för att se hur olika aspekter av ens verksamhet ligger till i nuläget. Nyckeltal är värden som komprimeras utav flera omgångar av mätvärden för särskilda moment. Dessa används för att utveckla, styra och följa upp olika delar av ens verksamhet. Användning av nyckeltal kan ge en förenklad beskrivning av ett intressant område i en verksamhet. Nyckeltalet är en kvot av det man söker att jämföra:
Nyckeltal = intresse/jämförelsebas (Catasús et al, 2017).

2.6 Fysikaliska formler

Enligt Newtons andra rörelseprincip kan en kraft beräknas med hjälp av formeln $F = m \cdot a$ där m är massan och a är accelerationsmomentet (Ölme et al, 1994).

Den förbrukade energin i ett moment går att beräknas med hjälp av momentets effekt. Genom att tillämpa formeln $P = W/t$, där W representerar momentets energi och t representerar tid, går det att beräkna denna effekt. Det uträttade arbetets effekt går vidare även att beskrivas av $P = F_x \cdot v$ där F representerar kraft och v är hastighet (ibid).

2.7 Taktid

Enligt Bergman & Klefsjö (2020) kan taktid definieras som "Maximala tillåtna tiden per enhet vid produktionen för att möta kundens önskemål". Taktidens syfte är att bestämma i vilken hastighet processerna ska arbeta. Takten kan även användas som referenstal för att utvärdera hur bra processerna fungerar och vad som kan behöva förbättras (Rother & Shook, 2004).



3 Metod

3.1 Val av metod

Metod är det tillvägagångssätt som tillämpas för att studera det område som är av intresse.

I metodlitteratur sker det ofta en uppdelning mellan kvalitativ metod och kvantitativ metod (Blomkvist & Hallin, 2014).

Kvalitativa metoder och data innefattar vanligtvis datainsamlingsmetoder som intervjuer och observationer. Detta kan vara i form av ord och bilder som inte är numeriska. Dessa har i regel låg grad av standardisering och formalisering, vilket medför en hög flexibilitet. Inom kvalitativa metoder är undersökta områden dynamiska med fokus på helhet snarare än enskilda segment. Detta kräver ofta någon form av interaktion mellan forskaren och det undersökta (Säfsten & Gustavsson, 2019). Denna studie kommer att vara övervägande av den kvalitativa typen, då detta anses vara en passande metod för just detta arbete. All nödvändig information förses främst genom intervjuer samt analys av skriftliga dokument. All essentiell information för studien är tillhandahållen av en kontaktperson på företaget, som är projekteringsledare för överordnade system dPG bentonit och maskiner på SKB.

Kvantitativa metoder och data innefattar istället ofta områden som enkätstudier, experiment och statistiska metoder. Däribland finner man antal, storlekar och tidsrum som alla på något vis kan uttryckas numeriskt. Bland kvantitativa metoder finner man ofta en hög grad av standardisering och formalisering, vilket i sin tur medför en något begränsad flexibilitet. Detta skapar en tydlig distans mellan det undersökta och forskaren. Det undersökta området kan tillskrivas mätbara egenskaper, och det går att identifiera statistiska samband (ibid).

Fallstudie benämner en undersökning av ett eller flera specifika fall. Detta är lämpligt när man söker djupare förståelse för en situation eller händelse (ibid). Denna form av studie är ett verktyg för att besvara frågorna hur och varför, samt vad. Med hjälp en fallstudie går det att möjliggöra undersökningar i detalj med fokus på ett specifikt fenomen i sin naturliga miljö. Att just besvara frågorna hur och varför är i detta arbete en önskvärd egenskap, därför kommer detta att vara en fallstudie. Denna metod kan rimligtvis ge en riktig bild av det valda området samt uppfylla syftet i en acceptabel utsträckning.



3.2 Val av ansats

Vid behandling av information och teori vid empiriska studier kan man arbeta enligt en vald ansats. Det talas främst om tre begrepp inom detta område. Deduktion, induktion och abduktion (Blomkvist & Hallin, 2014).

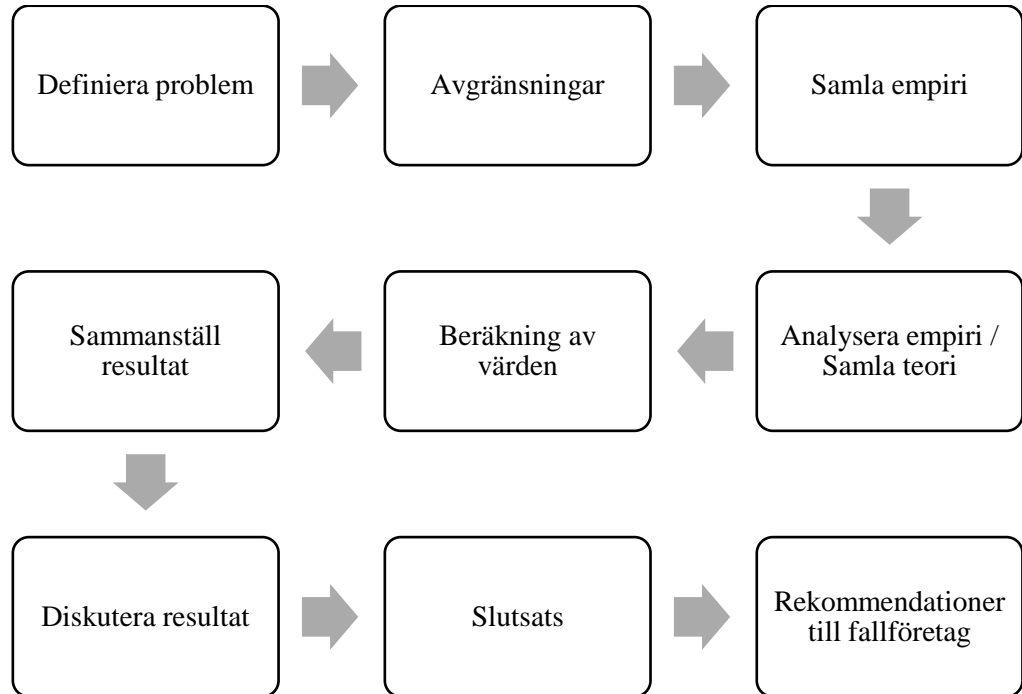
Att arbeta enligt en deduktiv ansats innebär att författaren formulerar hypoteser, vilka grundas i teorier. Därefter utformas en studie vars mål är att utreda om hypoteserna i fråga kan verifieras eller falsifieras. Vid detta tillvägagångssätt spenderas generellt mycket tid i början av studien på att fördjupa sig i ämnet för att kunna ta fram rimliga hypoteser i förhållande till befintlig teori (ibid).

Har man en induktiv ansats utförs istället en empirisk studie som utgår från ett valt problemområde, kring vilket teori sedan används för att utveckla en djupare förståelse för resultaten. Inom detta arbetssätt för att den teoriram som används kan ändras under arbetets gång. Det är alltså det empiriska materialet inom studien som avgör vilken teori som i sin tur är relevant (ibid).

Det tredje begreppet, abduktion, beskriver ett skiftande arbetssätt mellan teorier, litterära idéer och empiriskt material. Dessa tre områden påverkar förståelsen för varandra, vilket leder till ett öppet sinne för det empiriska materialet (ibid).

Detta arbete kommer främst att utgå från en induktiv ansats, då ett valt problemområde är utgångspunkten för studien. Den empiri samt teori som används är tillämpningsbar och relevant för studiens problematisering, och kommer bidra till en djupare förståelse för resultatet.

3.3 Forskningsdesign



Figur 1. Forskningsdesign

3.4 Etik

Att utföra vetenskapligt arbete etiskt korrekt är ett krav för att bibehålla ett högt förtroende i ditt arbete. Enligt Vetenskapsrådet (2018), uppnås ett etiskt arbete genom att följa den “Europeiska kodexen för forskningens integritet”, då kommer alla grundläggande principer som en god forskningssed är baserade på uppfyllas. De fyra olika principerna som beskrivs av Vetenskapsrådet i kodexen är:

- Tillförlitlighet, att säkerställa forskningens kvalitet.
- Ärlighet, att utföra forskningen öppet, rättvist, fullständigt och objektivt.
- Respekt, att ha respekt för kollegor, samhälle, miljö och deltagare.
- Ansvar, att ansvara för forskningen från idé till publicering

Enligt Blomkvist och Hallin (2014) handlar etik om att följa en god praxis vid vetenskapligt arbete så ingen kommer till skada. Men det handlar även om att vara opartisk under forskningsprocesserna, så ett pålitligt resultat kan uppvisas. Även hänvisning av källor är en viktig etisk del. Då läsaren ska



kunna avgöra till vilken mängd du har byggt vidare på befintlig kunskap och vad som kommer från dig (ibid).

I denna studie erhålls all information kring problemområdet av företaget, vilka är väl informerade med god kompetens inom området. Övrig information som används är refererad till varje gång då den används. Eventuellt sekretessbelagd information tas även hänsyn till då den förekommer.

3.5 Forskningskvalitet

För att vetenskapliga studier ska uppnå en kvalitet krävs det att dess resultat ska gå att lita på. Två termer som beskriver en hög kvalitet hos en vetenskaplig studie är giltighet och tillförlitlighet. Enligt Säfsten och Gustavsson (2019) kan giltighet och tillförlitlighet skrivas som reliabilitet och validitet (ibid).

Validitet kan delas upp i intern och extern validitet. Den interna validiteten beskriver i vilken utsträckning det undersökta svarar mot det man haft som avsikt att undersöka. Den externa validiteten beskriver i vilka sammanhang resultaten stämmer, samt huruvida resultaten är generaliserbara. Reliabilitet handlar istället om möjligheten att erhålla samma resultat vid upprepade försök (ibid).

För att säkerställa hög validitet samt reliabilitet i studien används information som tillhandahållits av företaget från personer som aktivt arbetar inom området, med beprövad och erkänd kompetens. Information som erhålls från övriga källor är publicerat och granskat material, vilket till stor grad är offentligt tillgängligt.

3.6 Litteraturstudie

Tidigare studier av transport inom gruvinstrumenter har undersökts för att hitta lämpliga tillvägagångssätt för arbetet, med ett stort fokus på logistik. Litteratur har främst hittats med hjälp av universitetets sökmotor OneSearch samt det Digitala Vetenskapliga Arkivet, Diva. Sökord som aktivt använts har varit breda begrepp som logistik, transport, nyckeltal och energiförbrukning. Genom sökord av denna typ går det att få en bild av vilka parametrar som är viktiga att ha i åtanke då en modell för utvärdering av transportalternativ tas fram.



3.7 Urval

Vid insamling av material och källor används ett icke slumpmässigt urval. Detta innebär att den information som är lättast att få tillgång till studeras för att erhålla empiriskt material till arbetet (Blomkvist & Hallin, 2014). De dokument information hämtats från är skickat från SKB och innehåller data om deras verksamhet samt information som är direkt relevant till problemområdet.



4 Empiri & Analys

I detta arbete tillämpas den framtagna modellen specifikt på de moment som innefattas av bentonittransport från ytan till deponeringsnivå i SKB's slutförvar.

4.1 Svensk Kärnbränslehantering's verksamhet

SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB, har av Kärnkraftbolagen i uppdrag att ta hand om det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken (SKB, 2021). Huvudlinjen för slutförvaring av använt kärnbränsle är geologisk deponering i kristallint berg (urberg) enligt KBS-3-metoden. Konceptet togs fram av SKB i början av 80-talet och har sedan dess utvecklats och fördjupats till den aktuella utformning som redovisas i 2016 års Fud-program (ibid). SKB är inte ett vinstdrivande företag, därför skiljer de sig som verksamhet i många aspekter från majoriteten av andra producerande företag, då de fokuserar mer på säkerhet och robusta processer än effektivitet.

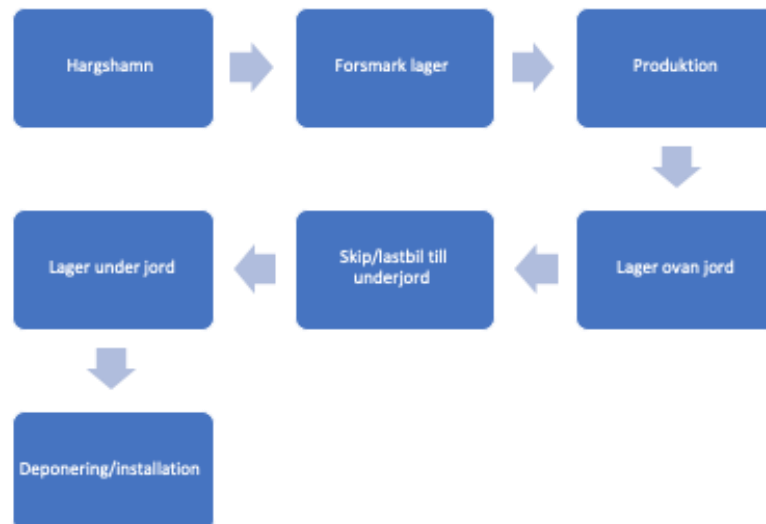
4.2 Slutförvar

Geologisk deponering innebär bruk av en miljö med ytterst lågt utbyte med ekosystemet på jordens yta, som är och kommer att förbli stabil under avsevärt lång tid. Förvarets säkerhet utgörs av det naturliga skyddet som berggrunden, djupet av deponeringen samt miljön på förvarsdjup bildar. Utöver detta ges ytterligare skydd av de tekniska barriärerna i bruk. Dessa tekniska barriärer skraddarsys till miljön på förvarsdjupet och designas så att de isolerar det förbrukade bränslet, vilket förhindrar att radioaktiva ämnen sprider sig under lång tidsrymd. De tekniska barriärer som sätts på plats är framtagna för att inte kräva något underhåll efter att förvaret förslutits. Bland dessa tekniska barriärer finner man buffert och återfyllnad av materialet bentonit (SKB, 2021).

Slutförvaret är uppbyggt av ett antal tunnlar, dessa kallas deponeringsorter. Varje deponeringsort innehåller 40 deponeringshål. Då dessa ska fyllas med material behövs vetskap om volymer. Volymen av deponeringsorten går att beräkna genom att multiplicera basytan på innervägen som är $13,8 \text{ m}^2$ med längden på tunneln som är 290 m. Då erhålls en total volym av:
 $13,8 \cdot 290 = 4002 \text{ m}^3$. Enligt internt material framgår volymen av deponeringshålen som $19,4 \text{ m}^3$. Takten för deponeringen kommer ske med en hastighet av 180 kapslar om året, vilket innebär att 4,5 deponeringsorter fylls varje år (SKB, 2021).

4.3 Bentonit

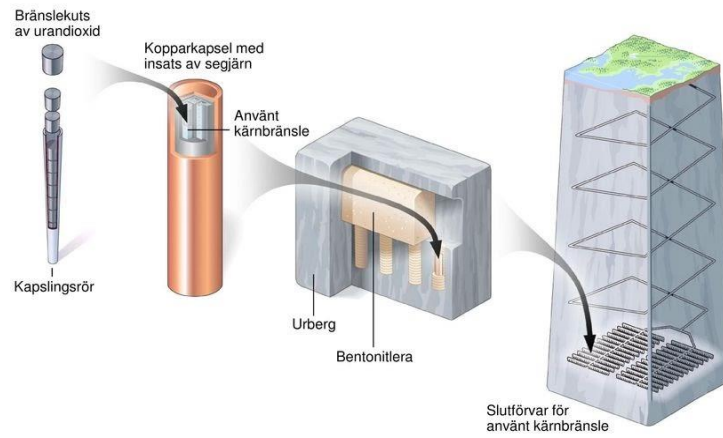
Bentonitmaterialet inkommer som råmaterial till företaget i hamnen i Hargshamn. Därefter bearbetas detta för att sedan fraktas till ett lager i Forsmark. Material produceras därefter till fyllnadsmaterial, samt detaljer i form av ringar och block som är färdiga för att installeras i deponeringshålen. Bentonitflödet i dess sista steg följer en modell av dragande produktion. Dessa detaljer produceras för att lagras, när lagret är fullt avstannar produktionen tillfälligt. När materialet har önskad form lagras detta ovan jord tills signal inkommer från underjord. Det fraktas därefter ned under jord för att hamna i ett korttidslager där materialet lagras i väntan på att deponeringscykeln ska starta. Anledningen till att ett korttidslager används under jord är på grund av den fientliga miljön för bentonitmaterialet som efter ungefär 48 h försämrar kvalitén av materialets önskade egenskaper.



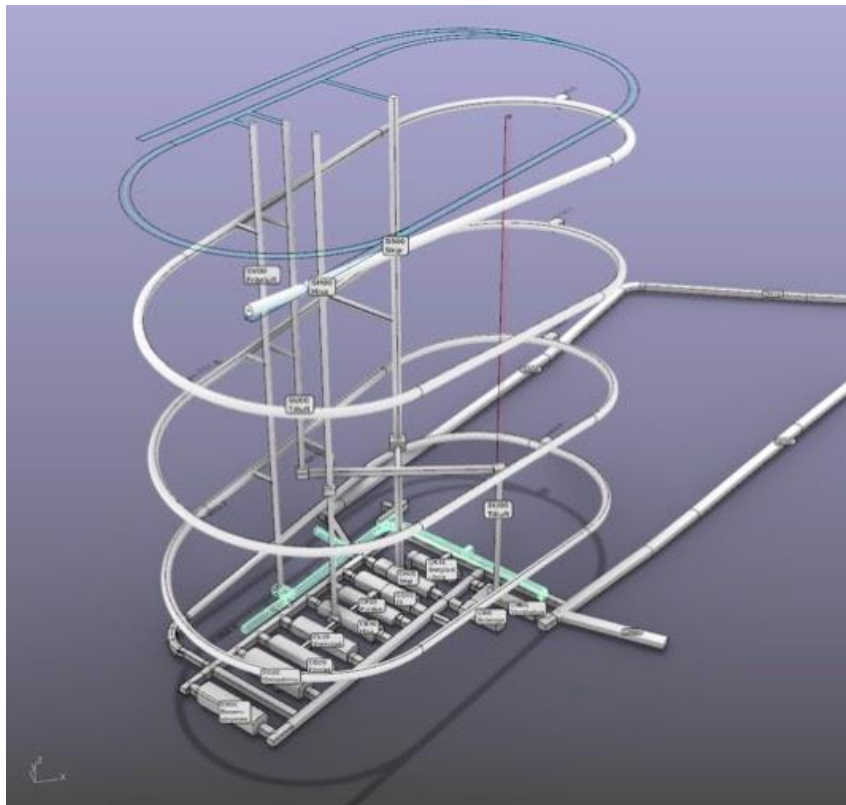
Figur 2. Översikt av bentonitflödet.

De tre olika huvudtyperna av bentonitprodukter som ska fraktas ner till deponeringsnivå är återfyllnadsmaterial, buffertmaterial och pellets. Samtliga typer är komponenter av lermineralet bentonit. Buffertmaterialet är de komponenter som placeras i deponeringshålet kring kopparkapseln som innesluter det radioaktiva bränslet. Detta buffertmaterial är i form av segmenterade block som läggs i mönstret av ringar under, kring samt ovanför kapseln i deponeringshålet. Återfyllnadsmaterialet har som syfte att fylla och försluta deponeringsorterna under jord där deponeringshålen befinner sig. För att fylla upp tomrum som bildas främst mellan berget och bentonitprodukterna används även bentonit i form av pellets för att fylla utrymme återfyllnad och buffert lämnar öppet. SKB använder två olika typer av pellets, buffertpellets som används i själva deponeringshålet och återfyllnadspellets som används i deponeringsorten.

Vår metod



Figur 3. SKB's deponeringsmetod (SKB, 2021).



Figur 4. Rampen ner till deponeringsnivå i SKB's berganläggning (SKB, 2021).



4.4 Krav på mängd bentonit

Under denna rubrik kommer kravet på den totala mängden material beräknas för att erhålla en utgångspunkt.

4.4.1 Återfyllnadsblock

För att fylla en deponeringsort med återfyllnadsblock krävs det 328 lager med 66 block i varje lager, två gånger. Denna blockstapel installeras med ett murningsmönster för att motverka svällande krafter från deponeringshålen, samt att motverka flöde av vatten i deponeringsorten. Detta resulterar i en mängd av:

$328 \cdot 66 \cdot 2 = 43\,296$ block. Vilket innebär att minst 43 296 block kommer installeras i varje deponeringsort.

I en deponeringsort ska det finnas minst 40 godkända deponeringshål med den bestämda deponeringstakten av 180 kapslar per år. Det årliga behovet motsvarar således:

$$180/40 = 4,5 \text{ deponeringsorter.}$$

Antal block som ska transporteras ner per år blir:

$$43\,296 \cdot 4,5 = 194\,832 \text{ st}$$

Vid användning av skip används en speciell SKB-pall som rymmer 9 återfyllnadsblock per pall. Detta leder till att antalet pallar som ska transporteras med skipen blir:

$$194\,832/9 = 21\,648 \text{ st}$$

För användning av lastbil använder man standardiserade EU-pallar för att öka kapacitet av pallar per resa. Dock tar dessa pallar endast 6 block per pall. Därav blir de eftersökta behovet av antal pallar med lastbil:

$$194\,832/6 = 32\,472 \text{ st}$$



Tabell 1. Sammanställd jämförelse av återfyllnadsmaterialtransport, antal pallar varje transportmetod fraktar under ett år

Återfyllnadsmaterial (antal pallar)	Per deponeringsort	Per år
Skip	4 811 st	21 648 st
Lastbil	7 216 st	32 472 st

4.4.2 Buffertkomponenter

För att fylla ett deponeringshål krävs 31 lager buffertkomponenter. 13 utav dessa 31 lager är block, och 18 lager är ringar.

En årsförbrukning, 180 kapslar, kräver:

$$13 \cdot 180 = 2\,340 \text{ pallar med block}$$

$$18 \cdot 180 = 3\,240 \text{ pallar med ringar}$$

då varje block samt varje ring fyller en pall vardera, oavsett vilken sorts pall som används. Sammanlagt blir detta:

$$2\,340 + 3\,240 = 5\,580 \text{ pallar med buffertkomponenter}$$

Tabell 2. Sammanställd jämförelse av buffertmaterialtransport, antal pallar varje transportmetod fraktar under ett år

Buffertmaterial (antal pallar)	Per deponeringsort	Per år
Skip	1 240 st	5 580 st
Lastbil	1 240 st	5 580 st

4.4.3 Pellets

Ett deponeringshål har volymen $19,4 \text{ m}^3$, och bufferten som installeras i deponeringshålet har en volym av $17,2 \text{ m}^3$.

$$V_1 = 19,4 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 17,2 \text{ m}^3$$

$$V_1 - V_2 = 19,4 - 17,2 = 2,2 \text{ m}^3$$



detta ger att det finns utrymme för ytterligare $2,2 \text{ m}^3$ material i deponeringshål. För att fylla ut den resterande volymen använder man buffertpellets. Buffertpellets har en densitet av $1\,035 \text{ kg/m}^3$ så den totala vikten pellets i varje deponeringshål blir:

$$2,2 \cdot 1\,035 = 2\,277 \text{ kg}$$

För att fylla alla deponeringshål i deponeringsorten kommer det behövas:

$$2\,277 \cdot 40 = 91\,080 \text{ kg buffertpellets}$$

Återfyllnadspelletsen har som uppgift att fylla två områden. Det första är en slits ovanför deponeringshålet som är till för att göra installationen av kapseln enklare. Enligt ritningar som har försetts av SKB har slitsen en volym på:

$$(1,75 \cdot 1,25 \cdot 1,6)/2 = 1,75 \text{ m}^3$$

För alla slitsar i en deponeringsort blir kravet på återfyllnadspelletts:

$$1,75 \cdot 40 = 70 \text{ m}^3.$$

Det andra området återfyllnadspelletts ska användas till är att fylla utrymmet mellan blockstapeln med återfyllnadsblock och bergväggen. Detta utrymme erhålls genom att subtrahera volymen för blockstapeln från volymen av deponeringsorten.

$$\text{Volymen för deponeringsorten: } V_1 = 13,8 \cdot 290 = 4\,002 \text{ m}^3$$

$$\text{Volymen för blockstapeln: } V_2 = 11,7 \cdot 290 = 3\,393 \text{ m}^3$$

$$\text{Volymen för återfyllnadspelletts: } V_1 - V_2 = 4\,002 - 3\,393 = 609 \text{ m}^3$$

Den totala volymen återfyllnadspelletts per deponeringsort blir således volymen pellets i tunneln adderat med volymen pellets i slitsarna:

$$70 + 609 = 679 \text{ m}^3$$

Återfyllnadspelletts har en densitet av $1\,150 \text{ kg/m}^3$, dess totala vikt uppgår till:

$$679 \cdot 1\,150 = 780\,850 \text{ kg}$$



Vid arbete med återfyllnadspelletts fyller man deponeringsorten i sekvenser, där en sekvens motsvarar ungefär 7 m. En deponeringsort fylls 290 m med återfyllnadsmaterial. Antalet sekvenser uppgår då till $290/7 \approx 41$ st. Då en sekvens ska fyllas krävs:

$$780\,850/41 \approx 18\,800 \text{ kg återfyllnadspelletts}$$

4.5 Alternativ 1: Lastbil

Här anpassas mängden material efter lastbil som transportalternativ gällande dess egenskaper av lastkapacitet och tid

Ett alternativ att frakta bentonitmaterial ner till deponeringsnivå är med hjälp av lastbilstransport. Lastbilar kan transportera tunga artiklar eller material, I gruvindustrin används dessa för att transportera mineraler och avfall till och från gruvschakt (Thrush, 1968). Enligt företaget Delego easy transport (2019) rymmer en lastbil utan släp vanligtvis 18 st EU-pallar. Medellönen för en svensk lastbilschaufför är ungefär 29 300 kr per månad (Statsskuld, 2019). Enligt företaget IF resulterar detta i en kostnad för arbetsgivaren av 44 470 kr i månaden med avgifter samt aktuella tillägg inräknat (IF, 2021). Samtliga lastbilar är eldrivna och kör med last från ytan ner under jord längs en 5 km lång ramp med en lutning av 10%. Varje lastbil framförs manuellt av en lastbilsförare.

Lastbilarna som ska användas planeras leasas till en kostnad av 13 500 kr för varje lastbil per månad. Denna kostnad antas vara i samma storlek som kostnaden för att äga samt underhålla en egen lastbil. Utöver detta tillkommer en personalkostnad av 44 470 kr varje månad per anställd för att framföra fordonet (IF, 2021). Detta resulterar i en total kostnad av:

$$12 \cdot (13\,500 + 44\,470) = 695\,640 \text{ kr för ett arbetsår, per anställd samt lastbil.}$$

4.5.1 Buffert & Återfyllnadsblock

I företagets nuläge med den modell av pall de arbetar med rymmer en lastbil 18 EU-pallar material. När lastbilen kör material ner längs den 5 km långa rampen ner i underjorden är energiförbrukningen minimal. Detta då gravitationen driver fordonet och lastbilen bromsar med hjälp av retarder/avgasbroms. Fordonet kör konstant i 10 km/h. Med denna hastighet dröjer det 0,5 h för en lastbil att färdas rampens sträcka. Det främst energikrävande momentet i lastbilens färd är sträckan uppför rampen. Rampen har en lutning på 10%, dvs 5,71 grader.



En lastbil utan släp väger 5 000 kg. Varje tom EU-pall väger dessutom 25 kg. Den totala vikten per lastbil på sträckan uppför rampen blir således 5 450 kg.

För att beräkna energiåtgången behöver en del parametrar studeras.

Kraften som krävs för att upphäva rullningsmotståndet kan beskrivas med hjälp av:

$$F = m \cdot g \cdot \sin(\nu) = 5\,450 \cdot 9,81 \cdot \sin(5,71) = 5\,319,4 \text{ N}$$

Den krävda energin kan då beräknas som:

$$P = N \cdot (m/s) = 5\,319,4 \cdot 5000/1\,786 = 14\,891,8 \text{ W} = 14,892 \text{ kW}$$

För att förse årsbehovet av bentonitmaterial krävs det att totalt 5 580 + 32 472 = 38 052 pallar fraktas ner under jord. Då en lastbil rymmer 18 pallar krävs 2 114 st lastbilsturer. Varje enkelsträcka tar 0,5 h att köra, vilket resulterar i 1 057 energikrävande timmar per år med detta transportalternativ. Energiåtgången för ett år blir således:

$$kWh = kW \cdot t = 14,892 \text{ kW} \cdot 1\,057 \text{ h} = 15\,740,777 \text{ kWh}$$

4.5.2 Pellets

Då transport sker med lastbil fraktas istället pellets till deponeringsnivå med standardcontainer. En tom 20 fots ISO-container väger ca 2 300 kg. Då deponeringsorterna fylls sekventiellt, 7 m åt gången, skickas 2 fyllda containrar ner för varje sekvens. En med återfyllnadspelletts samt en med buffertpellets för att fylla en sekvens. Dessa pellets används för att fylla ungefär 290 m av tunneln, vilket resulterar i:

$$2 \cdot 290/7 \approx 83 \text{ resor för att fylla behovet för en tunnel}$$

Då en lastbil utan släp väger 5000 kg, väger den 2 300 + 5 000 = 7 300 kg då den kör uppför rampen efter att ha transporterat pellets.

Energiförbrukningen beräknas då som:

$$F = m \cdot g \cdot \sin(\nu) = 7\,300 \cdot 9,81 \cdot \sin(5,71) = 7\,125 \text{ N}$$

$$P = N \cdot (m/s) = 7\,125 \cdot (5\,000/1\,786) = 19,947 \text{ kW}$$



Då varje energikrävande sträcka tar 0,5 h att färdas. Den totala energikrävande tiden blir 41,5 h då 83 resor utförs. Den totala energiåtgången för att transportera pellets blir således:

$$kWh = kW \cdot t = 19,947 \cdot 41,5 = 827,795 kWh$$

Vilket resulterar i en årsförbrukning av:

$$4,5 \cdot 827,795 = 3\,725,066 kWh$$

4.6 Alternativ 2: Skip

Här anpassas mängden material efter skip som transportalternativ gällande dess egenskaper av lastkapacitet och tid

Skip är en typ av gruvhiss som främst används för att transportera mineraler från gruvschakt till ytan. Det förekommer i varierande storlekar som anpassas specifikt till det schakt de används i (Thrush, 1968). I detta fall rör sig skipen i ett hisschakt som är 500 m djupt. Den är eldriven och rör sig i en hastighet av 10 m/s. Skipen kräver ingen förare för att drivas.

Livscykelkostnaden för skipen beräknas till 507 Mkr, där ungefär hälften av denna summa är en startkostnad och resterande halva är en driftkostnad, för att täcka projektet som helhet. Om antagandet görs att projektet kommer pågå i 45 år skulle den årliga kostnaden för skipen bli:

$$507\,000\,000/45 = 11\,266\,666,7 kr$$

4.6.1 Buffert & Återfyllnadsblock

Vid användning av skip kan det transporteras 6 st pallar åt gången. Skipen kommer ha en hastighet på 10 m/s och färdas 500 m neråt. Givet detta vet man att en resa kommer ta ungefär 50 sekunder. Skipkorgens vikt uppskattas till 4 000 kg utan pallar. Med tompallar som väger 500 kg styck, kommer vikten därför bli 7 000 kg. 7 000 kg är minimum vikt som transporteras varje resa. För att spara på energiförbrukningen så låter man gravitationen sköta det mest energikrävande på resan ner.

För resorna upp med tompallar blir energiförbrukning:

$$m = 4\,000 + (6 \cdot 500) = 7\,000 kg$$

$$W = m \cdot g \cdot h = 7\,000 \cdot 9,81 \cdot 500 = 34\,335\,000 joule$$



$$P = W/t = (34\,335\,000/50) = 686\,700 = 686,7 \text{ kW}$$

Om skipen ska användas för att transportera ner årsförbrukningen som ligger på $21\,648 + 5\,580 = 27\,228$ st pallar, och varje resa med skipen tar 6 st pallar resulterar det i:

$$27\,228/6 = 4\,538 \text{ st resor med skip}$$

Då varje resa tar 50 sekunder blir den totala aktiva tiden för skipen:

$$4\,538 \cdot 50 = 226\,900 \text{ s} = 63,02 \text{ h}$$

Skipen är aktiv 63,02 h på ett helt år och varje resa kräver 686,7 kW.

Då blir den årliga förbrukningen:

$$\text{kWh} = \text{kW} \cdot t = 686,7 \cdot 63,02 = 43\,275,834 \text{ kWh}$$

4.6.2 Pellets

I fallet då skipen ska användas för att transportera de två olika sorterna pellets, buffert och återfyllnad, behövs det speciella transportkärl. Återfyllnadspelletts transporteras i en container vars vikt utan last är 114 kg och som rymmer $2,2 \text{ m}^3$. Buffertpellets transporteras i en pellettcylinder, som väger 435 kg utan last och denna rymmer $1,5 \text{ m}^3$. Dessa fraktkärl transporteras på en SKB-pall vardera, vars vikt är 500 kg.

Då kravet på mängden buffertpellets för ett deponeringshål är 2 277 kg, kommer det krävas 2 styck pellettcylindrar då dess innehåll uppgår till $1,5 \text{ m}^3$. Precis som med lastbilen kommer deponeringsorterna fyllas sekvensiellt även när skipen används. En sekvens är 7 m och där ingår ett deponeringshål. Då en deponeringsort innehåller 40 deponeringshål kommer det behövas 40 resor med skipen för att uppfylla behovet med buffertpellets.

För att uppfylla behovet av återfyllnadspelletts i varje sekvens krävs 3 resor med skipen, där 4 pallar lastas i 2 sekvenser och 1 pall i den sista. Skipens maxlast begränsar antalet pallar med last man kan bära i varje resa, vilket är anledningen till antalet småresor. Arbetet med återfyllnadspelletts sker i totalt 41 sekvenser per tunnel, då det sker 3 resor per sekvens resulterar detta i 123 skipresor för att förse behovet i detta arbetsmoment. Då energiåtgången av



det utförda arbetet är beroende av den totala massan som transporteras kan detta beräknas per sekvens.

Transporten tillbaka från deponeringsnivå bär alltså:

$2 \cdot (2\,456 + 4\,000) + 614 + 4\,000 = 17\,526 \text{ kg}$ massa i arbete för varje sekvens, vilket totalt sker i 41 sekvenser per tunnel.

$$m = 17\,526 \text{ kg}$$

$$W = m \cdot g \cdot h = 17\,526 \cdot 9,81 \cdot 500 = 85\,965\,030 \text{ joule}$$

$$P = W/t = (85\,965\,030/50) = 1\,719\,300,6 = 1\,719,3 \text{ kW}$$

Total tid i arbete för att transportera återfyllnadspelletts är då:

$$41 \cdot 50 = 2\,050 \text{ s} = 0,57 \text{ h}$$

Energiförbrukningen för att förse en tunnel med återfyllnadspelletts blir således:

$$\text{kWh} = \text{kW} \cdot t = 1\,719,3 \cdot 0,57 = 979,05 \text{ kWh}$$

För att förse årsbehovet krävs det:

$$979,05 \cdot 4,5 = 4\,405,71 \text{ kWh}$$

För buffertpellets kommer den totala mängden massa i varje resa upp från deponeringsnivå uppgå till:

$$2 \cdot (500 + 435) + 4\,000 = 5\,370 \text{ kg}$$

$$m = 5\,370 \text{ kg}$$

$$W = m \cdot g \cdot h = 5\,370 \cdot 9,81 \cdot 500 = 26\,339\,850 \text{ joule}$$

$$P = W/t = (26\,339\,850/50) = 526\,797 = 526,8 \text{ kW}$$

Då det endast krävs 1 resa för att förse ett deponeringshål med tillräcklig mängd buffertpellets kommer antal resor bli 40 st. Den aktiva tiden skippen används till detta syfte blir då:

$$50 \cdot 40 = 2\,000 \text{ s} = 0,55 \text{ h}$$



$$kWh = kW \cdot t = 526,8 \cdot 0,55 = 292,66 kWh$$

Energiförbrukning för att fylla alla deponeringshål i en tunnel med buffertpellets kräver 292,66 kWh.

För att förse årsbehovet krävs det:

$$292,66 \cdot 4,5 = 1\,317 kWh$$

Transporten av pellets varje år förbrukar sammanlagt:

$$1\,317 + 4\,405,71 = 5\,722,7 kWh$$



5 Resultat

I detta kapitel presenteras en visualisering av de beräkningar som utförts i föregående del.

Tabell 3. Sammanställt resultat av nyckeltal för de två transportalternativen för buffert- samt återfyllnadskomponenter

	Energiförbrukning (kWh per år)	Lastkapacitet av buffertkomponenter	Lastkapacitet av återfyllnadsblock	Tid (aktiva energikrävande timmar per år)
Skip	43 275,834	6 st komponenter	54 st block	63,02 h
Lastbil	15 740,777	18 st komponenter	108 st block	1 057 h
Resultat	Skip kräver 66% mer energi för att utföra samma arbete	Skip har 66% mindre lastkapacitet för buffertmaterial	Skip har 50% mindre lastkapacitet för återfyllning	Skip används endast 6% av lastbilens aktiva tid

Tabell 4. Sammanställt resultat av nyckeltal för de två transportalternativen för buffert- samt återfyllnadspellet

	Energiförbrukning (kWh per år)	Antal resor för att fylla behov av buffert per år	Antal resor för att fylla behov av återfyllnad per år	Tid (aktiva energikrävande timmar per år)
Skip	5 722,7	180	554	10,2 h
Lastbil	3 725,1	180	185	184,5 h
Resultat	Skipen kräver 35% mer energi för att utföra samma arbete	Antal resor för buffertpellets är densamma i båda fall	Skip kör 66% fler resor än lastbil	Skip används endast 5,5% av lastbilens aktiva tid



Tabell 5. Sammanställt resultat av det totala antalet resor de två transportalternativen utför under ett år för att frakta det material som ska transporteras

	Antal resor för allt material som krävs
Skip	5 272 resor
Lastbil	2 478 resor
Resultat	Skip kräver 53% fler resor för att transportera ner allt material som krävs under 1 år

Tabell 6. Sammanställt resultat av den årliga kostnaden för de två transportalternativen

	Kostnad per år
Skip	11 266 666 kr
Lastbil	695 640 kr

Utifrån de huvudresultat som tagits fram i studien är lastbilsalternativet fördelaktigt för SKB's verksamhet. Det har då inte tagits hänsyn till tidsaspekten, vilket diskuteras vidare i diskussionskapitlet.



6 Diskussion

6.1 Metoddiskussion

Arbetet är utfört kring konceptuella områden, som inte ännu är i bruk i verkligheten. Detta medför att många ändringar kan ske på kort tid. Även under denna studies gång har ett antal förändringar av förutsättningar skett. Då grundliga förutsättningar förändras kan reliabilitet i detalj bli svårt att erhålla. Vid förändringar så är däremot validiteten fortfarande hög, då den mest aktuella informationen är den som arbetet utgått från och anpassats efter. All information vi samlat in under arbetets gång har erhållits från en källa med stor samt erkänd kompetens inom detta fält. På grund av sekretessbelagd information har det inte funnits möjlighet att källhänvisa på ett korrekt vis under empiri & analyskapitlet, då större delen av information som använts grundar sig i internt material.

De tal som är presenterade i dekvationerna genom arbetet är många gånger avrundade värden för enkelhetens skull. I praktiken har vi använt så exakta decimaler som möjligt i varje ekvation som utförts, vilket är det som presenteras som svar i uträkningarna.

Då Covid-19 pandemin har pågått under hela arbetets gång har studien begränsats på olika sätt. Under studiens gång har det endast kunnat ske ett företagsbesök på grund av den rådande situationen. Detta anses däremot inte ha haft en större påverkan på utfallet då verksamheten ännu inte är i fullt bruk. Då SKB har bedrivit mycket av sin verksamhet på distans för att undvika smittspridning har ledtiden för att få rätt information många gånger påverkats negativt. Under förutsättningarna anser vi trots detta att arbetsgången varit fungerande då ett välgrundat resultat erhållits.

6.2 Resultatdiskussion

Vid första anblick är transport med lastbil enormt mycket mer tidskrävande än den med skip. Detta beror på att alla beräkningar är utförda med en enda lastbil som grund, i det verkliga fallet kommer det användas ett flertal lastbilar simultant. Totalt antal lastbilar i bruk kommer att avgöras då behovet av tidseffektivitet är fastställt. Detta resulterar i att den totala beräknade tiden kan divideras med antal lastbilar och därmed erhålla en storleksordning liknande av skipens arbete. I beräkningar som berör bemanning av lastbilsfordon har inte gardering mot eventuell frånvaro tagits i beaktning, fallet som betraktats innefattar endast en förare per fordon.



Eftersom lastbilar planeras att leasas finns ingen direkt investeringskostnad för dessa, utan istället en driftkostnad som omfattar samtliga kostnader för fordon, och personal. Driftkostnaden för lastbilarna skalas upp i takt med antal lastbilar i bruk, vilket skapar en problematik i att jämföra dess kostnad med den av en skip. Kostnaden för lastbilsdrift är beroende av antal fordon, och är därför svår att uppskatta utan vetskap om det slutgiltiga antalet som behövs. Att investera i en skip är en stor kostnad, det tillkommer dessutom även här en driftkostnad. Skipalternativet kan förväntas kosta ungefär lika mycket varje år som lastbilsalternativet om man väljer att ha 16 fordon i drift. Detta kan beräknas med:

$$\text{Kostnad av skip/kostnad av lastbil} = 11\,266\,666,7/695\,640 \approx 16,2$$

Lastbilarna fraktar material lastat på EU-pallar som väger 25 kg per pall, istället för SKB-pallar som väger 500 kg per pall, har de en anmärkningsvärd mindre massa att bära tillbaka uppför rampen. Detta syns tydligt i skillnaden av förbrukad energi vi beräknat i studien. Då EU-pallar har ett standardiserat mått är de även mer "skräddarsydda" för att kunna fraktas med lastbil, vilket ligger till grund för den stora skillnaden i antal pallar skip och lastbil kan bära.

Buffertpellets är en liten massa i förhållande till återfyllnadspelletts per sekvens. När buffertpellets transporteras med lastbil utnyttjas därför inte volymen av containern maximalt. Ett alternativ till detta kan vara att en större mängd buffertpellets transporteras åt gången för att lagras underjord, och förse flera sekvenser med material. Därmed minskar antalet resor som krävs för att fylla behovet. Detta kan vara möjligt förutsatt att miljön i containern skyddar materialet från yttre faktorer som kan ha negativ inverkan på buffertpelletsens prestanda.

Skippen har en väldigt låg aktiv tid i arbete per år, medför detta med stor sannolikhet även en låg utnyttjandegrad. Eftersom miljön under jord förhindrar att materialet lagras där en längre tid finns inget direkt behov att transportera bentoniten till deponeringsnivå så snabbt som möjligt. Strategin är därför istället att transportera materialet på efterfrågan vid behov.

I avseende att transportera material till deponeringsnivå på väldigt kort tid är skippen det klart överlägsna alternativet till lastbilar. Men detta behov finns idag inte, då företaget arbetar med noggrann planering och därmed kan förutse när nödvändigt material behövs på rätt plats. Man kan då starta transportcykeln med lastbilar på ett sätt som säkerställer att det behov som finns kan fyllas vid rätt tidpunkt. Transport med lastbilar förbrukar dessutom en markant lägre mängd energi än vad skippen gör då de utför samma arbete. Detta indikerar att lastbilstransport är ett mer hållbart alternativ i aspekt av



energiförbrukning. Om behovet av antal lastbilar är färre än 16 styck blir detta det billigare transportalternativet att driva, i aspekt av start samt driftkostnad.

6.3 Samhällsrelevans

Då radioaktivt avfall uppkommer som biprodukt av kärnkraft tillkommer ett stort ansvar. Detta ansvar involverar ett väl planerat slutförvar för detta skadliga avfall med mål att upprätta en hållbar utveckling i aspekt av miljö och samhälle. Vikten av att noggrant ha planerat och sett över de alternativ som finns för att uppnå ett säkert resultat är kritisk. För att ge framtida generationer de förutsättningar de förtjänar är därför SKB's arbete högst relevant, som förhoppningsvis kan bidra med kunskap om säker förvaring av radioaktivt avfall på en internationell nivå.



7 Slutsatser

Egenskapen att kunna utföra ett arbete på väldigt kort tid är inte i alla sammanhang en nödvändig egenskap. Positiva effekter ett välplanerat arbete medför kan eliminera det eventuella behovet att utföra detta på så kort tid som möjligt. Hög tidseffektivitet i en aktivitet av systemet kan leda till låg utnyttjandegrad. Det finns alltid förbättringsmöjligheter där små förändring kan medföra en stor skillnad på lång sikt.

Denna utvärderingsmodell kan användas som verktyg då två olika metoder som utför samma typ av uppgift ska vägas mot varandra. Utfallet kan användas som beslutsunderlag för att kunna göra ett välgrundat val.

7.1 Rekommendationer

Med det underlag som ligger till grund för denna studie anses lastbilstransport av bentonitmaterialet vara det mest fördelaktiga alternativet för SKB.

Det kan även vara fördelaktigt att vidare studera möjligheten att lagra en mängd buffertpellets på deponeringsnivå, då man i nuläget har mycket outnyttjad lastkapacitet vid just detta moment.

Detta arbete omfattar endast 15 högskolepoäng, vilket medför en relativt stram tidsram. Om studien istället utförts under en längre period hade detta öppnat upp möjligheter för att kunna gå ännu mer in på detaljnivå, och eventuellt studera en större del av bentonitflödeskedjan. Ytterligare intressanta faktorer att fördjupa sig i kan vara saker som leveranssäkerhet, personsäkerhet, samt alternativa användningsområden för respektive transportmetod.



8 Referenslista

8.1 Litteratur

Bergman, Bo & Klefsjö, Bengt (2020). *Kvalitet från behov till användning*. Upplaga 6:1. Studentlitteratur AB, Lund.

Blomkvist, Pär & Hallin, Anette (2014). *Metod för teknologer. Examensarbete enligt 4-fasmodellen*. Upplaga 1:5. Studentlitteratur AB, Lund.

Bergknut, Per & Elmgren-Warberg, Jill & Hentzel, Mats. (1993). *Investering i teori och praktik*. Upplaga 5. Studentlitteratur AB, Lund.

Catasús, Bino & Högberg, Olle & Johrèn, Anders. (2017). *Boken om nyckeltal*. Upplaga 2:1. Liber, Malmö

Fors, Peter & Lange, Fredrik (2007). *Slutförvar för använt kärnbränsle: förstudie : mottagningsanläggning för bentonit och lera i Hargshamn*. Stockholm: Svensk kärnbränslehantering AB (SKB)

Fredholm, Peter (2013). *Logistik & IT för effektivare varuflöden*. Upplaga 2:1. Studentlitteratur AB, Lund.

Jonsson, Patrik & Mattsson, Stig-Arne (2016). *Logistik läran om effektiva materialflöden*. Upplaga 3. Studentlitteratur AB, Lund.

Kovács, George L & Paganelli, Paolo. (2003). *A planning and management infrastructure for large, complex distributed projects - beyond ERP and SCM*.

Liker, Jeffrey K. (2004). *The Toyota way - vägen till världsklass*. Upplaga 1:6. McGraw-Hill, New York, NY.

Mattson, Stig-Arne (2012). *Logistik i försörjningskedjor*. Upplaga 2:1. Studentlitteratur AB, Lund.

Rother, Mike & Shook, John (2004). *Lära sig se*. Stiftelsen Plan Utbildning, Stockholm.

Säfsten, Kristina & Gustavsson, Maria (2019). *Forskningsmetodik, för ingenjörer och andra problemlösare*. Upplaga 1:1. Studentlitteratur AB, Lund.



Thrush, Paul W (1968). *A dictionary of mining, Mineral and Related Terms*. U.S. Bureau of mines, Department of the Interior.

Tonnquist, Bo (2020). *Projektledning, teori och praktisk tillämpning av projektmetodik och agila metoder*. Upplaga 8. Sanoma utbildning AB, Stockholm.

Ölme, Alf & Zetterberg, Per-Olof & Magnusson, Carl-Erik & Gislén, Lars & Bengtsson, Hans-Uno (1994). *Fysik I Naturvetenskapsprogrammet*. Upplaga 1. Gummessons tryckeri AB, Falköping.

8.2 Internetkällor

Containerexperten (2021). "Mått på containers".
<https://containerexperten.se/container-matt/> [2021-05-21]

Delego easy transport (2019). "Standardmått inom transport".
<https://www.delego.com/standardmatt-inom-transport/> [2021-05-19]

IF (2021) "Vad kostar en anställd?"
<https://www.if.se/foretag/forsakringar/personalforsakring/personaltips/vad-kostar-anstalld> [2021-05-24]

SKB (2021) "Det här är vårt uppdrag". <https://www.skb.se/det-har-ar-skb/vart-uppdrag/> [2021-03-12]

Statsskuld.se (2019) "Löneutveckling lastbilschaufför".
<https://statsskuld.se/jobb/lonestatistik/lastbilschauff%C3%B6r> [2021-05-18]

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSMFS (2008). "Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd". www.stralsakerhetsmyndigheten.se [2021-03-23]

Söder, Lennart & Kåberger, Thomas & Göransson, Lisa & Johnsson, Filip & Carlson, Ola & Laestadius, Staffan & Nilsson, Lars J (2020). "Är kärnkraften nödvändig för en fossilfri, svensk, elproduktion?". KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
https://research.chalmers.se/publication/517394/file/517394_Fulltext.pdf [2021-05-18]

VR (2018) "Etik i forskning". <https://www.vr.se/uppdrag/etik/etik-i-forskningen.html> [2021-03-16]

