

Effektivt materialflöde i gruvindustrin - Förslag till styrregler och planeringsverktyg

*En studie av malm- och gråbergsflöde vid Boliden Mineral AB:s
underjordsgruva i Kristineberg*

Gustaf Nyström
Kristofer Persson

Civilingenjörsexamen
Industriell ekonomi

Luleå tekniska universitet
Institutionen för ekonomi, teknik och samhälle

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och är den avslutande delen i Gustaf Nyströms och Kristofer Perssons masterutbildning inom Industriell ekonomi vid Luleå tekniska universitet. Examensarbetet utfördes vid Boliden Mineral AB:s gruva i Kristineberg under vårterminen 2012.

Vi vill ta tillfället i akt och tacka vår handledare vid Luleå tekniska universitet Anders Segerstedt, vår seminariegrupp samt Diana Chronéer för all konstruktiv kritik och värdefull stöttning de bidragit med under arbetes gång.

Vi vill även tacka vår handledare på Boliden Mineral AB, Fredrik Jonsson, för allt stöd och support under arbetets gång. Vi vill också tacka vår kontaktperson vid Kristinebergsgruvan, Jonas Muckenhirn, för all hjälp. Slutligen vill vi rikta ett stort tack till Boliden Mineral AB:s personal i Kristinebergsgruvan och Boliden samt de anställda vid Bennys Gräv AB för all tid de tagit sig för att hjälpa oss i samband med intervjuer och observationer.

Boliden, juni 2012

Gustaf Nyström

Kristofer Persson

Sammanfattning

För att tillverkande företag ska kunna vara konkurrenskraftiga krävs det en effektiv kostnadsstruktur. För att nå en effektiv kostnadsstruktur krävs det att företaget använder dess resurser optimalt för att på så sätt skapa ett bra värdeflöde. Då gruvindustrin måste behandla stora produktionsvolymmer är planeringen en avgörande del för att skapa ett effektivt materialflöde. Gruvindustrin har högt standardiserade produkter och eftersom företagen själva inte kan påverka marknadspriset innebär detta att de måste stäva efter att utnyttja sina resurser så effektivt som möjligt, det vill säga *kostnadseffektivt*. För att kunna arbeta kostnadseffektivt krävs det en bra koordinering av resurserna, med andra ord krävs en god *planering* och *styrregler* för att följa upp verksamheten.

På senare år har Boliden Mineral AB:s gruva i Kristineberg i samband med produktionsökning upplevt ett ökande gråbergs- och malmlager i gruvan vilket har orsakat produktionsstörningar på grund av höga lagernivåer. Eftersom ytterligare produktionsökningar stundar är frågan hur Boliden Mineral AB ska kunna undvika detta. Det finns en avsaknad av forskning hur materialflödet kan effektiviseras inom gruvindustrin. Större delen av forskningen behandlar enbart en parameter åt gången eller branscher som har annan karaktär på materialflödet. Därför är det av intresse att undersöka hur Boliden Mineral AB:s verksamheter kan förbättra sig och hur materialflödet karaktäriseras inom gruvindustrin. Syftet med det här examensarbetet är att undersöka hur styrregler och planeringsverktyg bör utformas för att stödja effektivt materialflöde inom gruvindustrin.

Karaktäristiska drag för materialflödet inom gruvindustrin är: *Produkter kan byta tillstånd* (malm och gråberg har olika mineralhalter), *olika flödesordning av material*, *låg adderat värde genom produktionsprocessen*, *segregation* (malm och gråberg har olika densiteter), *begränsade lagermöjligheter*, *förändrade förutsättningar* då brytningen kontinuerligt ändrar avstånden i gruvan och *kostnadsintensivt*. Det finns tre buffertar att undvika eller utjämna variationer i materialflödet. Dessa buffertar är *lager*, *kapacitet* och *tid*. Eftersom lagermöjligheterna inom gruvindustrin är begränsade måste ett större fokus ligga på kapacitet och tid. Studien föreslår att Boliden Mineral AB ska arbeta mer med kapacitets- och tidsrelaterade mått i sin produktion samt planering för att i ett tidigare stadie kunna undvika höga nivåer av Produkter I Arbete (PIA). Exempel på kapacitets- och tidsrelaterade mått är *nyttjandegrad*, *cykeltid* samt *ledtid*. Dessa mått följs inte upp i dagsläget och är avgörande för att kunna skapa ett effektivt materialflöde.

Abstract

Manufacturing companies requires an efficient cost structure to be competitive. To achieve an efficient cost structure it requires that the company use its resources optimally in order to create a preferable value stream. As the mining industry must deal with large production volumes the planning process is crucial to create an efficient material flow. The mining industry has highly standardized products, and because the companies themselves can't influence market prices, this means that they must strive to utilize their resources as efficiently, in this case cost effective, as possible. In order to work cost-effectively requires a good coordination of resources, in other words a suitable planning process and control rules to monitoring the activities.

In recent years, Boliden Mineral AB's mine in Kristineberg has faced increasing gaunge and ore stockpiles at the mine due to increased material volumes in the production. This has caused disruptions to production due to high inventory levels. Since further increases in production are approaching a main issue is how Boliden Mineral AB will avoid this. There is a lack of research on efficient material flows connected to the mining industry. Most research focuses on only one parameter at a time or on industries that have different character of the material flow. It is therefore of interest to investigate how Boliden Mineral AB's mines can be improved and how the flow of material is characterized in the mining industry. The purpose of this study is to examine how control rules and planning tools should be designed to support an efficient flow of materials in the mining industry.

Characteristic features of the material flow in the mining industry are: *Products may change state* (ore and gaunge have different mineral content), *different flow regime of the material*, *low added value through the production*, *segregation* (ore and gaunge have different densities), *limited storage capacity*, *changes in conditions* (the mining process is continuously changing the distance in the mine) and *cost intensive*. There are three buffers to avoid or smooth variations in material flow. These buffers are *inventory*, *capacity* and *time*. Since the inventory options in the mining industry are limited, a greater focus should be on capacity and time. The study suggests that the Boliden Mineral AB is required to work more on capacity-and time-related measurements in their production and planning. A result of this is to avoid high levels of Work In Process (WIP) at an earlier stage. Examples of capacity-and time-related performance measurements are *utilization*, *cycle time* and *lead time*. These dimensions are not monitored at the moment and are essential to create an efficient material flow.

Terminologi

Bultning	Armeringsjärn borrar in i berget runt tunneln och fästes med hjälp av betong eller plast.
Dagen	Ovan jord.
Efterskrotning	Borttagning av löst berg efter sprängning.
Förstärkning	Gruvtunneln betongsprutas och bultas för att öka stabiliteten i berget runt tunneln och förhindra fallande berg.
Gavel	Den innersta väggen som bearbetas i en gruvtunnel.
Gråberg	Berg med för låga halter mineraler för att vara ekonomiskt brytbart.
Lagerficka	Ort som är tvärsprängd 15 meter i en ort- eller rampvägg.
Malm	Berg innehållande tillräckligt höga halter mineraler för att vara ekonomiskt brytbart.
MTBF	Mean time between failure.
MTTR	Mean time to repair.
OTD	On time delivery.
Ort	Horisontell gruvtunnel.
PIA	Produkter i arbete.
Ramp	Gruvtunnel med lutning.
Salvborrning	Borrning inför sprängning.
Salvcykel	Olika moment som genomförs vid gavel mellan salvorna.
Salvskjutning	Sprängning.
Schakt	Lodrät gruvtunnel.
Skipp	Linbaserad hiss för berg upp från gruvan.
Skrotning	Borttagning av löst materiell i orter och ramper.
Personspel	Linbaserad personhiss under jord.
Tillredning	Tunneldrivning genom gråberg.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMDISKUSSION	3
1.3	SYFTE	4
1.4	AVGRÄNSNINGAR	4
1.5	KAPITELSAMMANFATTNING	5
1.6	STUDIENS DISPOSITION	5
2	METOD	7
2.1	FORSKNINGSFILOSOFI	7
2.2	VETENSKAPLIGT SYFTE	9
2.3	FORSKNINGSANSATS	10
2.4	FORSKNINGSSTRATEGI	12
2.5	METODVAL.....	14
2.6	DATAINSAMLING	14
2.6.1	<i>Primär och sekundär data</i>	<i>15</i>
2.6.2	<i>Datainsamlingstekniker.....</i>	<i>15</i>
2.7	TROVÄRDIGHET	19
2.7.1	<i>Reliabilitet</i>	<i>19</i>
2.7.2	<i>Validitet.....</i>	<i>20</i>
2.8	KAPITELSAMMANFATTNING OCH ARBETSGÅNG.....	22
3	TEORETISK REFERENSRAM	25
3.1	GRUVINDUSTRIEN EN BESKRIVNING.....	25
3.2	BEGREPPET MATERIALFLÖDE	27
3.2.1	<i>Effektivt materialflöde.....</i>	<i>30</i>
3.2.2	<i>Buffertar i materialflödet.....</i>	<i>31</i>
3.2.3	<i>Olika typer av materialflöde</i>	<i>37</i>
3.3	PLANERING.....	37
3.3.1	<i>Arbetsgång vid kort- och medelfristig planeringshorisont</i>	<i>40</i>
3.4	UTFORMNING AV STYRREGLER FÖR EFFEKTIV MATERIALFLÖDE.....	43
3.4.1	<i>Steg 1 - Identifiering av prestationsmått</i>	<i>44</i>
3.4.2	<i>Steg 2 - Identifiera styrregler för tillverkningen.</i>	<i>45</i>
3.4.3	<i>Steg 3 – Utforma planer baserade på styrreglerna.</i>	<i>46</i>
3.4.4	<i>Steg 4 till 6 – Utvärdering, analys och rekommendation</i>	<i>47</i>
3.5	KAPITELSAMMANFATTNING REFERENSRAM.....	47
4	FÖRETAGSPRESENTATION.....	49
4.1	KONCERNBESKRIVNING BOLIDEN MINERAL AB	49
4.2	AFFÄRSMODELL OCH PRODUKTER	50
4.3	BOLIDENOMRÅDET.....	50
5	FALLSTUDIEOBJEKT	53
5.1	HISTORIK KRISTINEBERGSGRUVAN	53
5.2	AVGRÄNSNING FÖR FALLSTUDIEOBJEKTET	54
5.3	PRODUKTION OCH MATERIALFLÖDE.....	54
5.3.1	<i>Skiftesgång.....</i>	<i>57</i>
5.3.2	<i>Salvcykel</i>	<i>58</i>
5.3.3	<i>Brytningsmetod Kristinebergsgruvan.....</i>	<i>59</i>
5.3.4	<i>Bergstransport</i>	<i>60</i>
5.3.5	<i>Intern flödesstudie</i>	<i>61</i>

5.3.6	<i>Lagernivåer</i>	62
5.4	NEW BOLIDEN WAY.....	62
5.5	PLANERINGSGÅNG I KRISTINEBERGSGRUVAN.....	63
5.6	KAPITELSAMMANFATTNING	64
6	BENCHMARKINGOBJEKT	67
6.1	BAKGRUND RENSTRÖMSGRUVAN.....	67
6.2	AVGRÄNSNING FÖR BENCHMARKINGOBJEKT.....	67
6.3	PRODUKTION OCH MATERIALFLÖDE.....	67
6.3.1	<i>Skiftesgång</i>	67
6.3.2	<i>Salvcykel och bergtransport</i>	68
6.3.3	<i>Lagernivåer</i>	69
6.4	PLANERINGSGÅNG.....	69
7	RESULTAT & ANALYS	71
7.1	KAPITLETS DISPOSITION	71
7.2	MATERIALFLÖDE OCH EFFEKTIVT MATERIALFLÖDE	71
7.3	BUFFERTAR I MATERIALFLÖDE.....	77
7.4	PLANERINGSGÅNG.....	78
7.5	HANDLINGSPLAN SAMT REKOMMENDATIONER	79
7.5.1	<i>Arbeta med flödesfokus</i>	80
7.5.2	<i>Bestäm framgångsfaktorer för effektivt flöde</i>	81
7.5.3	<i>Entydiga definitioner</i>	83
7.5.4	<i>Öka kapacitetsfokus i planeringen</i>	85
7.5.5	<i>Förbättrad informationsinput</i>	87
8	SLUTSATS ÅTERKOPPLING TILL STUDIENS SYFTE	89
9	DISKUSSION	93
10	LITTERATURFÖRTECKNING	95
BILAGA A	INTERVJUGUIDE	101
BILAGA B	SKIFTTIDER OCH SKIFTLAGSSCHEMAN	102
BILAGA C	KARTA ÖVER KRISTINEBERGSGRUVAN	103

1 Inledning

I detta kapitel ges en kort introduktion av bakgrunden till forskningsområdet och varför detta är av intresse. Vidare presenteras problemformulering, syftet med studien och avgränsningarna.

1.1 Bakgrund

Konkurrensen mellan tillverkande företag ökar allt mer på grund av framsteg i teknologin såväl som behovet, eller kravet, på att öka den egna kostnadseffektiviteten (Chen & Cochran, 2005). För att kunna vara kostnadseffektiv krävs det att organisationen utnyttjar sina resurser i värdeflödet på ett effektivt sätt. Med värdeflöde menas de aktiviteter i organisationen som skapar mervärde för slutprodukten (tjänsten eller varan) (Hopp & Spearman, 2008). För tillverkande företag, exempelvis gruvor, kan flödet både vara immateriellt (som exempelvis information) eller materiellt. Enligt Mattsson (1999) utgör materialflödet en central del i begreppet *logistik*. Många förknippar ordet logistik med transport men har dock en bredare betydelse än så. Segerstedt (2008) beskriver logistik som en strävan att finna det bästa produktions-, verksamhet- och transportflödet. Hopp (2008) definierar däremot logistik som ”... ett målorienterat nätverk av processer och lager som används för att leverera varor och tjänster till kunder”¹. För att skapa ett effektivt och målorienterat logistikflöde (eller nätverk) krävs koordinering av aktiviteter på strategisk, taktisk och operativ nivå. Denna koordinering kan även kallas för *planering* och vara mer eller mindre detaljerad beroende på tidshorisonten (McKay & Wiers, 2005). Planering kan vara på alltifrån strategisk nivå där beslut är långsiktiga och innefattar ofta hela värdekedjan till att vara kortsiktiga och behandla vilken ordning olika operationer ska utföras (McKay & Wiers, 1999) (Meyr, Herbert, & Rohde, 2005). Operationell planering kallas det när horisonten är medelfristig eller kortsiktig, ibland kallas den med medelfristig horisont även för *taktisk planering* (Meyr m.fl. 2005).

Planeringen hos en organisation är viktig för att kunna uppnå god logistik. Planeringen måste vara anpassad efter vilken typ av verksamhet som organisationen bedriver. Verksamhetens operationella strategi, det vill säga hur resurserna ska användas för att nå uppsatta mål på medelfristig och kort

¹ Hopps definition är från engelskans *supply chain*, vilket enligt Segerstedt (2008) kan betraktas som motsvarighet till svenskans betydelse av *logistik*.

sikt, ska helst i ett tidigt stadiet genomföra planeringsarbete för att på ett effektivt sätt samordna aktiviteterna i förädlingskedjan. Framförallt fokuserar planeringen på verksamhetens kapacitet (resurser) och prioriteringsordning. Vanliga nyckelbegrepp för operationell strategi är kostnad, kvalitet, ledtid, service och flexibilitet (Hopp, 2008). För att mäta på prestationen utifrån dessa nyckelbegrepp brukar produktionsplanerna bygga på någon form av styrregler (Chen & Cochran, 2005). Eftersom alla produktionsapparater ser olika ut är det viktigt att finna vilka styrregler som passar till den aktuella verksamheten (Chen & Cochran, 2005).

Gruvindustrin kategoriseras under processindustri. Processindustrin karaktäriseras av höga produktionsvolym, hög standardisering och kontinuerligt produktflöde (Hopp & Spearman, 2008), se Produkt-processmatrisen i Figur 1.

		Produktmix			
		Låg Volym, låg standardisering, unika produkter	Låg volym, flera produkter	Flera, större produkter, högre volymer	Hög volym, hög standardisering
Processtyp	Ej ordnat flöde (job shop)	Skrivmaskin			
	Osammanhängande flöde, partvis produktion (flow shop)	Tunga fordon			
	Sammanhängande flöde (Line flow)	Biltillverkning			
	Kontinuerligt flöde	Sockerraffinaderi (Processindustri)			

Figur 1 - Produkt-processmatrisen. Bearbetad från Hopp & Spearman (2008) s. 9 samt Olhager & Rudberg (2003) s. 340.

Hopp & Spearman (2008) menar även att processindustrin karaktäriseras av *automatiskt flöde* längs en fast rutt. På grund av de stora volymer som handskas inom processindustrin ställer detta höga krav på en bra planering för att få en effektiv verksamhet. Exempel på andra processindustrier är livsmedels-, kemikalie- samt pappersindustrin. Alla har flera gemensamma egenskaper, exempelvis kontinuerligt flöde och höga volymer, medan vissa detaljer såsom produkternas karaktärer skiljer verksamheterna åt.

Enligt Kvarnström (2010) karaktäriseras processindustrin, därmed också gruvindustrin, av ett så kallat *kontinuerligt processflöde*. Med detta menas att flödet karaktäriseras av inga partier eller satser utan av ett kontinuerligt materialflöde. Andra egenskaper för kontinuerliga processer är: olika materialkvaliteter under flödets gång, variation mellan kontinuerligt och diskontinuerligt flöde, låg värdeökning i produktionsprocessen och skiftande flödesordning (exempelvis att materialet kan transporteras i olika ordning) (Kvarnström, 2010). Detta är egenskaper som är viktiga att förstå för att kunna planera ett effektivt materialflöde.

1.2 Problemdiskussion

Då gruvindustrin måste behandla stora produktionsvolymer är planeringen en avgörande del för att skapa ett effektivt materialflöde. Gruvindustrin har högt standardiserade produkter och eftersom företagen själva inte kan påverka marknadspriset innebär detta att de måste stäva efter att utnyttja sina resurser så effektivt som möjligt, det vill säga *kostnadseffektivt*. För att kunna arbeta kostnadseffektivt krävs det en bra koordinering av resurserna, med andra ord krävs en god *planering*. Enligt McKay & Wiers (1999) finns det mycket forskning kring hur planeringen i en verksamhet ska se ut. Forskningen behandlar dock endast planering på en strategisk nivå och berör sällan industrispecifika exempel (McKay & Wiers, 1999). De menar dessutom att forskningen som rör planering på strategisk nivå är isolerade till enskilda tekniker så som *supply chain management* eller *kapacitetsplanering*. Oftast är enbart en parameter, exempelvis lagertid eller efterfrågan, betraktat åt gången och därmed missas samspelsfaktorer. Konsekvensen av detta är att de planeringsmodeller som finns oftast bara ger en isolerad förbättring av exempelvis lagernivåer.

För att kunna utarbeta bra planeringsverktyg och styrregler krävs därför en insikt i hur den observerade branschen fungerar och vilka villkor som präglar olika verksamheter. Det finns därför ett behov av att kombinera resultaten från forskning av enklare planeringsverktyg och styrregler med förankring till verkliga fall. Problematiken inom gruvindustri är att den karaktäriseras av något annorlunda produktionsförutsättningar än konventionell

processindustri. Det finns inga fasta anläggningar vid brytning av malm utan produktionen är rörlig och förutsättningarna ändras allteftersom brytningen fortgår. Detta gör att materialflödet får en annorlunda karaktär i gruvindustrin i form av bland annat *kontinuerligt flöde* vilket gör att det inte finns naturliga partier, *produkten kan byta tillstånd* vilket gör att det inte finns naturliga enheter, det är *olika flödesordning av material*, *lågt adderat värde* genom produktionsprocessen samt att *flödet beror på produktens fysiska egenskaper*. Materialflödets något annorlunda karaktärsdrag innebär i sin tur att planeringen ställs inför andra utmaningar jämfört med traditionell processindustri. Därför ämnar denna studie att identifiera framgångsfaktorer och nyckelparametrar för hur planering och styrregler inom gruvindustrin bör utformas för att nå ett effektivt materialflöde.

1.3 Syfte

Syftet med denna studie är formulerad som följande:

Hur bör styrregler och planeringsverktyg utformas för att stödja effektivt materialflöde inom gruvindustrin?

För att kunna besvara ovanstående fråga måste materialflödets karaktäristiska drag inom gruvindustrin undersökas, vilka branschens framgångsfaktorer är och hur dessa påverkar styrningen av materialflödet. Om en kännedom kring materialflödets karaktäristiska drag kan etableras i kombination med framgångsfaktorer för branschen innebär detta en förståelse för vad ett effektivt materialflöde är inom gruvindustrin. Vidare måste samverkan mellan materialflödet och planeringen undersökas för att kunna förstå exempelvis hur tidshorizonten i planeringen står i relation till nyckeltal i materialflödet. Avslutningsvis ska även specifika styr- och planeringsfaktorer undersökas för att kunna fastställa vilka som är viktiga för gruvindustrin. Därför är syftet nedbrutet i några forskningsfrågor som är formulerade som följande:

- Vilka egenskaper är specifika för materialflödet inom gruvindustrin?
- Vad är effektivt materialflöde inom gruvindustrin?
- Hur samverkar planering och materialflöde?
- Vilka specifika styr- och planeringsfaktorer är viktiga i gruvindustrin?

1.4 Avgränsningar

Eftersom detta är ett examinerade arbete inom industriell logistik kommer processtekniska (i fallstudieobjektet exempelvis geologiska och bergstekniska)

aspekter inte få allt för stort utrymme och enbart finnas med ifall de kan ge avspeglningar i logistiken. Med andra ord kommer enbart aspekter från andra vetenskaper beröras ifall det är relevant ur ett logistiskt synsätt. De planeringsverktyg och styrregler som ska utformas kommer framförallt vara inriktade på taktisk och operativ nivå, det vill säga på medel- och kortsiktig tidsfrist. Naturligtvis måste strategiska planer att behandlas eftersom de utgör den grund som taktisk och operativ planering står på men dessa kommer inte att utvärderas på något sätt utan strikt betraktas som premisser.

1.5 Kapitelsammanfattning

För att idag kunna konkurrera som tillverkande företag krävs en effektiv kostnadsstruktur. För att uppnå kostnadseffektivitet kräver detta att organisationen använder dess resurser optimalt för att skapa ett bra värdeflöde. Värdeflödet kan bestå av immateriella och materiella flöden. För att skapa ett effektivt materialflöde krävs god planering. Planering är koordinering av aktiviteter på strategisk, taktisk samt operativ nivå och för att kunna arbeta så målorienterat och effektivt som möjligt är det viktigt att planeringsarbetet får det utrymme det behöver redan i ett tidigt stadie.

Gruvindustrin är i stort behov av effektivt materialflöde eftersom produkterna har låg förädlingsgrad i produktionsprocessen och därmed mer priskänsliga. Detta kräver att gruvindustrin har ännu högre krav att arbeta kostnadseffektivt för att kunna konkurrera. Det finns det en brist av akademisk litteratur som berör de problem som uppstår vid planering och effektivisering av materialflödet inom gruvindustrin. Därför är syftet med denna studie att utforma planeringsverktyg och styrregler för effektivt materialflöde inom gruvindustrin. Fokus kommer att ligga på planering och styrregler för kort- och medelfristig sikt.

1.6 Studiens disposition

Studiens disposition ser ut som beskrivet i Tabell 1.

Tabell 1 - Studiens disposition och innehåll

Kapitel	Beskrivning av innehåll
Kapitel 2 Metod	Behandlar vilken metod studien tillämpar för att nå sitt syfte. Kortare genomgång av forskningsstrategier och mer detaljerad beskrivning hur arbetet har gått tillväga.
Kapitel 3 Teoretisk referensram	Omfattar relevanta teorier för att kunna besvara studiens syfte och forskningsfrågor. Den teoretiska referensramen behandlar begreppet materialflöde, vad effektivt materialflöde är, en

	beskrivning av gruvindustrin, planeringsmodeller samt hur utformning av styrregler går till.
Kapitel 4 Företagspresentation	Här presenteras koncernen bakom fallstudieobjektet och benchmarkingobjektet i generellt ordalag. I detta fall handlar det om Boliden Mineral AB.
Kapitel 5 Fallstudieobjekt	Detta kapitel behandlar fallstudieobjektet som i denna studie är Kristinebergsgruvan. Kapitlet är en kartläggning av Kristinebergsgruvan med utgångspunkt från metoden i kapitel 2 och syftet från detta kapitel.
Kapitel 6 Benchmarkingobjekt	Detta kapitel behandlar fallstudieobjektet som i detta fall är Renströmsgruvan. Kapitlet är en mindre omfattande kartläggning jämfört med Kristinebergs dito.
Kapitel 7 Resultat & Analys	Detta avsnitt presenterar resultat och analys utifrån kartläggningen från Kristinebergsgruvan och Renströmsgruvan med utgångspunkt i den teoretiska referensramen. Här presenteras även förbättrings-åtgärder för Boliden Mineral AB i allmänhet och Kristinebergsgruvan i synnerhet.
Kapitel 8 Slutsats	Återkopplar resultat & analys med studiens syfte för att på ett kort och koncist sätt besvara det och forskningsfrågorna.
Kapitel 9 Diskussion	Behandlar subjektiva åsikter, trovärdighet för studien och förslag till fortsatt forskning.

Utöver dessa kapitel ingår även litteraturförteckning i kapitel 10 och bilagesamling.

2 Metod

Detta avsnitt beskriver vilka metodstrategier som finns och vilka metoder som används för att besvara studiens syfte. Avsnittet börjar med en kort genomgång av forskningsfilosofier för att sedan fortsätta förklara studiens vetenskapliga syfte. Vidare bestäms forskningsansatsen, forskningsstrategin, metodvalet och tillvägagång för datainsamling. Metod-avsnittet avslutas med att beskriva arbetsgången samt en diskussion rörande trovärdigheten i arbetet sett från dess validitet och reliabilitet.

Metodavsnittet bygger på en struktur inspirerad av Saunders, Thornhill & Lewis (2009) där forskningsmetodiken börjar behandlas på ett filosofiskt plan för att allteftersom konkretiseras. I Tabell 2 nedan visas hur metodavsnittets disposition ser ut.

Tabell 2 - Metodavsnittets indelning. Disposition efter Saunders, Thornhill & Lewis (2009).

Delavsnitt	Område	Innehåll
2.1	Forskningsfilosofi	Behandlar hur studien betraktar verkligheten, vilka paradigmer den utgår ifrån. Detta har en signifikant betydelse för hur designen av metodmodellen kommer att se ut.
2.2	Vetenskapligt syfte	Beskriver det vetenskapliga syftet utifrån studiens frågeställning.
2.3	Forskningsansats	Behandlar om befintliga teorier ska användas för att lösa befintliga problem eller om empirin ska utmynna i nya teorier.
2.4	Forskningsstrategi	Beskriver hur forskningen ska gå till, hur forskningsområdet ska angripas.
2.5	Metodval	Beskriver vilken typ av data som ska samlas in.
2.6	Datainsamling	Behandlar hur data ska samlas in.

2.1 Forskningsfilosofi

Forskningsfilosofin beskriver forskarens övergripande inställning hur forskningen ska gå tillväga och hur resultatet ska tolkas. *Epistemologi* kallas även för kunskapsteori och är en av huvudgrenarna inom forskningsfilosofin (NE, 2012a). Epistemologin studerar grundläggande frågor som vad kunskap

är och vad man kan ha kunskap om. Vanliga frågeställningar är om det finns en yttre värld eller om det endast är betraktaren som skapar den via egna tolkningar och uppfattningar, om det är sinnet eller förnuftet som kunskaper vilar ytterst på (NE, 2012a).

Ett *paradigm* fastställer efter vilket mönster som ett forskningsobjekt ska tolkas (NE, 2012b). Paradigmens roll är att implicit styra hur forskningsobjektet ska tolkas, vilken data som är relevant, vilka metoder samt teorier som är applicerbar. Att bedriva vetenskap innebär alltså att befinna sig inom en paradigmatiske tradition, d.v.s. att arbeta med en gemensam teoretisk uppbyggnad och ett gemensamt synsätt av verkligheten (NE, 2012b). Författarna har valt att jämföra fyra paradigms utifrån epistemologi samt vilka datainsamlingsmetoder som förespråkas. *Positivism, Realism, Interpretivism och Pragmatism* är de olika paradigmerna som jämförs.

Tabell 3 - Jämförelse av de fyra paradigms sett till epistemologi och datainsamling. Efter Saunders, Thornhill & Lewis (2009) s. 119.

	<i>Epistemologi</i>	<i>Datainsamling</i>
Positivism	Endast observerbara fenomen kan ge trovärdig data samt fakta. Fokus på kausalitet och generaliserade teorier, vilket minskar fenomen som enklaste element.	Mycket strukturerade, stora prover, uppmätning, mestadels kvantitativa, men kvalitativa kan användas.
Realism	Observerbara fenomen ger trovärdiga uppgifter eller fakta. Otillräcklig data innebär felaktigheter i förnimmelser (direkt realism). Alternativt fenomen som skapar förnimmelser som är öppna för feltolkningar (kritisk realism). Fokus på att förklara i ett eller flera sammanhang.	Valda metoderna måste passa ämnet, kvantitativa eller kvalitativa data kan användas.
Interpretivism	Subjektiva betydelser och sociala fenomen. Fokusera på detaljerna i situationen, verkligheten bakom dessa detaljer, subjektiv betydelser motiverande åtgärder.	Små prover, djupgående undersökningar, kvalitativa data kan användas.
Pragmatism	Endera enskilt eller tillsammans kan observerbara fenomen och subjektiva betydelser ge godtagbara kunskaper beroende på frågeställningen. Fokus på praktisk tillämpad forskning som integrerar olika perspektiv för att hjälpa till att tolka data.	Blandade eller flera metoder, kvantitativ och kvalitativ går att använda.

Studiens forskningsfilosofi

Uifrån Tabell 3 går det att utläsa hur paradigmerna påverkar synen på kunskap och datainsamling. I och med att studien sökte att finna tillämpad forskning hade den ett *pragmatiskt synsätt*. Då studien redan i introduktionen påpekade brister för tillämpad forskning inom området var det viktigt att både objektiva och subjektiva bedömningar kunde beaktas för att skapa ett tillfredsställande resultat. Detta ledde till att både kvantitativ samt kvalitativ data gick att använda till studien, mer om detta längre fram.

2.2 Vetenskapligt syfte

Det vetenskapliga syftet utgår ifrån studiens centrala frågeställning och hur frågan eller frågorna ska besvaras. Saunders m.fl. (2009) menar att det finns tre vanliga klassificeringar för att beskriva det vetenskapliga syftet i en studie: *explorativ*, *deskriptiv* och *explanativ*. Forskningsprojekt kan kombinera mer än en av dessa i sitt vetenskapliga syfte (Saunders m.fl., 2009).

Explorativt syfte innebär sökandet efter att förklara vad som händer, få en insyn i ett problem eller undersöka ett fenomen ur en ny vinkel (Saunders m.fl. 2009). Churchill Jr. & Iacobucci (2005) beskriver explorativ forsknings huvudmål som att få insikt eller idéer inom ett ämne. De menar att explorativa studier är framförallt bra att använda vid omfattande men vagt beskrivna problem. Eller som Saunders m.fl. (2009) beskriver explorativa studier: ”*Det är särskilt användbart om du vill förtydliga din förståelse ett problem, t.ex. om du är osäker på den exakta typen av problem*”. Vid explorativa studier är det viktigt att kunna byta inriktning vartefter studien pågår då ny data kan öka eller förändra insikten till forskningsproblemet (Saunders m.fl., 2009).

Deskriptivt syfte innebär ofta sökandet eller bestämmandet av *hur ofta* någonting händer eller *relationen* mellan två variabler och dessutom guidas av en initial hypotes (Churchill Jr. & Iacobucci, 2005). Saunders m.fl. (2009) beskriver deskriptiv forskning som att skapa en korrekt bild av personer, händelser eller situationer. Vidare skriver de att det är viktigt känna till fenomenet som står i fokus för forskningen för att kunna samla in rätt data. Det är väldigt sällan deskriptiv forskning står ensamt syfte utan brukar oftast kombineras tillsammans med ett explorativt eller explanativt dito (Saunders m.fl., 2009).

Explanativ forskning innebär att bestämma kausala relationer mellan olika variabler (Saunders m.fl., 2009). Enligt Churchill & Iacobucci (2005) samt

Saunders m.fl. (2009) innebär detta att söka *orsak-och-verkan* (synonym med kausalitet) genom att göra experiment, finna sambandet och därmed beskriva variablernas korrelation mellan varandra.

Studiens vetenskapliga syfte

Syftet med denna studie är att undersöka *vilka* faktorer som är viktiga för materialflödet hos fallstudieobjektet inom gruvindustrin, *hur* dessa påverkar samt *vad* ett effektivt materialflöde karaktäriseras av inom gruvindustrin. Med hjälp av dessa parametrar skulle studien utforma och undersöka hur dessa kunde nyttjas i planeringsfasen av produktionen för att skapa ett effektivt materialflöde. Detta innebär att denna studie var *explorativ* i kombination med *deskriptiv*, hädanefter kallat *explorativ-deskriptiv*.

2.3 Forskningsansats

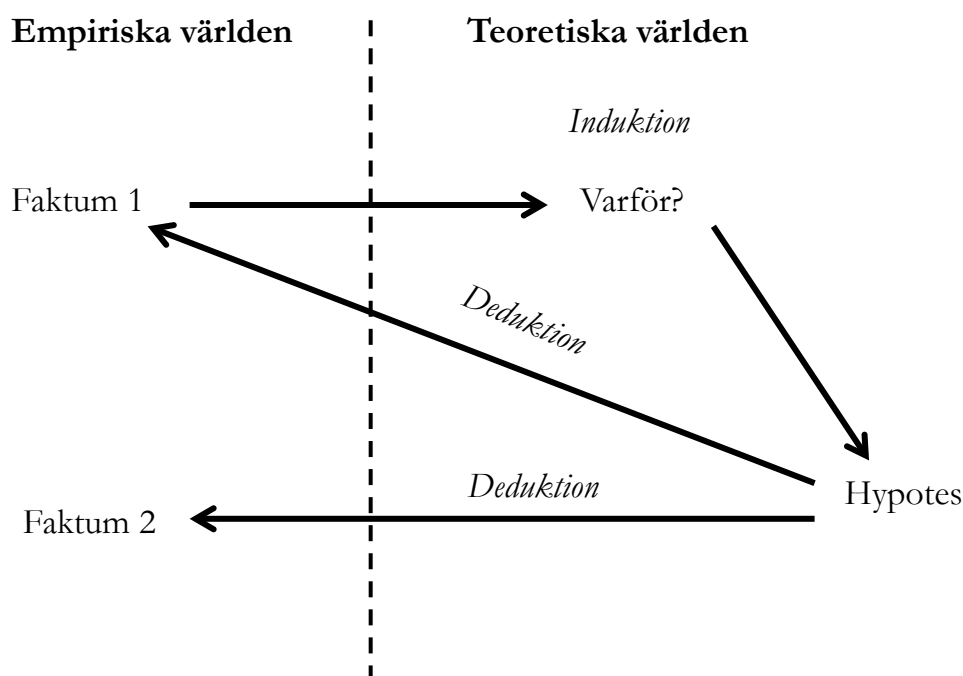
Enligt Saunders m.fl. (2009) kommer en forskningsstudie innehålla någon form av teori, frågan är bara hur ansatsen till teorin kommer att se ut. Det vill säga om utgångspunkten är från *empiri till teori* eller om ansatsen rör *verifiering av teori* utifrån empiriskt stöd (Arbnor & Bjerke, 2009). Saunders m.fl.(2009) kallar dessa två forskningsansatser för *induktiv* respektive *deduktiv* ansats.

Induktiv ansats innebär att studien utgår ifrån ett antal enskilda iakttagelser där en allmän hypotes kan bestämmas (NE, 2012c). Arbnor & Bjerke (2009) uttrycker induktion som skapandet av generella lagar genom observation av individuella fall.

Deduktion förknippas ofta med vad som anses vara vetenskaplig forskning (Saunders m.fl. 2009). Saunders m.fl. 2009 menar att deduktiv ansats utgår ifrån en hypotes från någon befintlig teori och verifierar denna genom empiriska studier. Exempelvis genom att undersöka korrelationen mellan två kända variabler och se om deras relation stämmer överens med hur teorin förklarar sambandet. Arbnor & Bjerke (2009) anser att deduktion och induktion sker i cykler för att på så sätt föra forskningen framåt. De drar förklaringen av deduktion ett steg längre och menar på att deduktiv ansats först innebär ett upprättande av en prognos (utifrån en teori) som i sin tur verifieras av kända fakta. Med andra ord att deduktiv forskningsansats görs i två steg: *prognostisering* och *verifiering*. Prognostisering innebär att utfallet, utifrån relevant hypotes, ska förutses före empirin påbörjas. Verifiering innebär bekräftelse av hypotesens riktighet då prognosen visar sig stämma.

Detta skapar en öppning för en tredje ansats som innehåller hela cykeln, det vill säga induktiv-deduktiv forskningsansats eller *abduktiv* ansats som Arbnor

& Bjerke (2009) kallar den för (Cooper & Schindler, 2003). Enligt Arbnor & Bjerke (2009) används vid abduktiv ansats ett ensamt, ofta oväntat, fall som sätts i fokus ur ett generellt hypotetiskt perspektiv. Om denna hypotes är sann kan den förklara det aktuella fallet, vilket sedermera bekräftas genom ytterligare studier (observationer) av ytterligare fall (Arbnor & Bjerke, 2009). Enligt författarna kan induktiv och deduktiv ansats betraktas som två stycken *forskningsstrategier* medan abduktiv ansats kan ses snarare som en *forskningstaktik*. De förklarar detta genom att understryka att induktion börjar i empiri och deduktion startar i teori medan abduktion har utgångspunkt i båda, d.v.s. att studien alternerar mellan existerande fakta och teorier för att kunna komplettera varandra. Se Figur 2 för en överskådlig förklaringsmodell av deduktiv och induktiv ansats.



Figur 2 - Skillnaden mellan induktion och deduktion. Fritt omarbetat efter Cooper & Schindler (2003) s. 39 samt Arbnor & Bjerke (2009) s. 91.

Studiens forskningsansats

Denna studie baseras på en abduktiv forskningsansats då befintliga och generella teorier jämförs med observationer från en fallstudie. De teorier och modeller som kommer att användas presenteras närmare i kapitel 3 Teoretisk referensram. Den abduktiva forskningsansatsen bidrar till att forskningen kommer att ta hänsyn både till existerande fakta från Kristinebergsgruvan samt den teoretiska referensramen för att komplettera varandra, vilket är fördelaktigt vid ett pragmatiskt synsätt. Syftet med studien är att genom alternering mellan teori och data skapa effektiva styrregler och

planeringsverktyg för gruvindustrin i allmänhet samt Kristinebergsgruvan i synnerhet utifrån vad teorin och observationerna ger för resultat.

2.4 Forskningsstrategi

De strategier som kommer att presenteras i detta avsnitt kan användas för alla tre typer vetenskapligt syfte (explorativ, deskriptiv och explanativ) (Saunders m.fl. 2009). Enligt Saunders m.fl. (2009) är vissa strategier närmare kopplade till deduktiv ansats samtidigt som andra är mer lämpliga för induktiv ansats. Saunders m.fl. (2009) nämner åtta stycken strategier i form av *experiment*, *enkät*, *fallstudie*, *händelsebaserad forskning*, *etnografi*², *arkivstudier* samt *grundad teori*. Däremot så nämner Yin (2003) fem stycken huvudstrategier som specificeras nedan i Tabell 4. Dessa fem huvudstrategier är snarlika de som Saunders m.fl. (2009) definierar men betydligt mer överskådliga då de finns i tabellform. Endast snabb presentation av några av de olika strategierna som beskrivs av Yin (2003) kommer att göras nedan eftersom vissa strategier som Saunders m.fl. (2009) nämner är irrelevanta för denna studie.

Tabell 4 - Relevanta situationer för olika forskningsstrategier. Källa: Yin (2003) s.5.

Strategi	Forskningsfråga	Fordrar kontroll av beteendestyrdade händelser?	Fokuserar på samtida händelser?
Experiment	Hur, Varför?	Ja	Nej
Enkät	Vem, Vad, Var, Hur många, Hur mycket?	Nej	Ja
Arkivundersökning	Vem, Vad, Var, Hur många, Hur mycket?	Nej	Ja eller Nej
Historiskt material	Hur, Varför?	Nej	Nej
Fallstudie	Hur, Varför?	Nej	Ja

Experiment är en hypotesprövning vars syfte är att bekräfta eller vederlägga den bakomliggande teorin (NE, 2012d). Enligt Nationalencyklopedin (2012k) handlar det om att kartlägga ett kausalt eller funktionellt samband där ett försöksobjekt eller situation påverkas så att en typisk effekt kan registreras. I de enklare experimenttyperna förekommer bara en studie av den eventuella

² Används främst inom studien av kultur- och samhällstyper (antropologi), där en induktiv ansats används (Saunders m.fl. 2009)

relationen mellan två variabler; detta kan emellertid utvecklas för att skapa väldigt komplexa hypotesprövningar (Saunders m.fl. 2009).

Enkät är en vanlig metod vid deduktiv forskningsansats och då det vetenskapliga syftet är explorativt eller deskriptivt (Saunders m.fl. 2009). Fördelen men enkäter är att en stor mängd data kan samlas in från en ansenlig population relativt kostnadseffektivt (Saunders m.fl. 2009).

Arkivundersökning passar bra vid alla tre typer av vetenskapliga syften och strategin går ut på att undersöka administrativa dokument (Saunders m.fl. 2009). Risken med denna metod är att data kommer vara skriven i annat syfte än studiens, d.v.s. skriven för organisationen i fråga, och därmed har ett annat syfte än vad forskningen har i grunden (Saunders m.fl. 2009).

Fallstudier fokuserar på att analytiskt förstå ett sammanhang mellan några få parametrar (Cooper & Schindler, 2003). Även Saunders m.fl. (2009) definierar fallstudier på liknande vis med *kontexten* samt *multipla källor* som huvudsatser i en fallstudie och passar bäst på studier med explorativt eller explanativt syfte. Denna forskningsstrategi är lite av motsatsen till experiment då det är strikt kontroll av variablerna medan i en fallstudie kan det vara flera parametrar som spelar in i sammanhanget (Saunders m.fl. 2009). Enligt Cooper & Schindler (2003) är det svårt att verifiera eller avvisa hypoteser med hjälp av en fallstudie då den ofta förlitar sig till stor del på kvalitativ data (se 2.5 Metodval). Därför understryker Saunders m.fl. (2009) vikten av triangulering³ för att säkerställa kvalitén på den insamlade datan.

Studiens forskningsstrategi

Studien använder sig av en fallstudie vid Boliden Mineral AB:s gruva i Kristinebergs för att undersöka olika variablernas relation till varandra i ett materialflöde. Variablernas betydelse undersökes utifrån multipla källor, det vill säga exempelvis intervjuer, observationer, arkivdata (se 2.6 för mer detaljerad beskrivning) för att sättas in i ett sammanhang. Givna variabler sett från generella modeller är *planeringshorisont*, *nyckeltal för produktion* i Kristinebergsgruvan, *villkor eller begränsningar för materialflödet*, *volym producerat historiskt*. Eftersom det är svårt att verifiera eller avvisa hypoteser med fallstudier görs en benchmarking mot en annan gruva för få flera källor. Denna benchmarking är dock inte lika omfattande i sin karaktär, därav namnet benchmarking istället för dubbla fallstudieobjekt. Benchmarkingen

³ Triangulering är en datainsamlingsmetod som går ut på att säkerställa data genom att undersöka minst två av varandra oberoende källor.

kommer att ske i Renströmsgruvan vilken också tillhörde Boliden Mineral AB. Med andra ord berör studie två gruvor inom samma koncern.

För att få data av vissa parametrar över längre tid kommer även arkivstudier att genomföras, exempel på detta var flödesstudier inom fallföretaget. Arkivstudier har fördelen att studien kan ta del av data under en längre tidsrymd vilket gjorde vissa mätningar mer tillförlitliga.

2.5 Metodval

Enligt Saunders m.fl. (2009) skiljer sig kvalitativ och kvantitativ studier utifrån vilken typ av data den behandlar. Kvantitativ data innefattar numerisk data, vilken ofta är svårtolkad före den är bearbetad. Med hjälp av bland annat grafer och tabeller kan trender och förhållanden mellan data tas fram. Kvalitativ data är all data som inte är numerisk eller har blivit kvantifierad. Med kvantifiera data menas att kvalitativ data konverteras till kvantitativ genom att de mjuka parametrarna omvandlas till hårda genom till exempel numerisk gradering av olika beteenden (Saunders m.fl. 2009). Kvalitativ data kan ses som mjuka parametrar som inte går att mäta i siffror.

Studiens metodval

Studien har en kvalitativ natur samtidigt som den behandlar kvantitativa aspekter. Exempel på kvalitativ data är intervjuer och observationer som innebär subjektiva bedömningar rörande materialflödet och planeringen. Då studien innefattade kartläggning av exempelvis utnyttjandegrader samt ledtider, vilket var numeriska beräkningar, kan den anses innehålla kvantitativa inslag. Då merparten av datainsamlingen sker med hjälp av kvalitativa metoder kan den anses vara av kvalitativ natur. Det kvalitativa metodvalet används för att undersöka hur beteenden från olika personer och andra mjuka parametrar spelar in i planeringen och den dagliga verksamheten. Hur fördelningen mellan kvantitativ och kvalitativ data såg ut presenteras längre fram mer detaljerat i avsnitt 2.6.2 Datainsamlingstekniker.

2.6 Datainsamling

Enligt Saunders m.fl. (2009) behöver ett forskningsprojekt eller -fråga alltid någon form av data för att kunna besvara eller belysa problemet i fråga. De fortsätter dock med att konstatera att det är omöjligt att tillvarata all data som finns tillgänglig. Det är därför det finns en mängd datainsamlingstekniker för att reducera mängden data som behöver behandlas för att få ett relevant resultat. Det finns två typer av data: *primär* och *sekundär* (Saunders m.fl. 2009). Enligt Saunders m.fl. (2009) är primär data information som samlas in i specifikt syfte att användas till studien; sekundär data är däremot information som samlats in annat syfte än till den aktuella studien.

2.6.1 Primär och sekundär data

Vid insamling av primär data finns det olika tekniker. Saunders m.fl. (2009) nämner *intervjuer*, *enkäter* och *observationer* som metoden till primär datainsamling. Eftersom det tidigare konstaterats att det är omöjligt att behandla all data är det viktigt att skapa ett *urval* från populationen för datainsamlingsprocessen (Cooper & Schindler, 2003). Det finns två typer av insamlingstekniker av data vilka är *slumpmässigt* eller *icke-slumpmässigt* urval (Cooper & Schindler, 2003) (Saunders, Lewis, & Tornhill, 2009). Slumpmässigt urval går ut på att genom olika metoder få ett "representativt" urval från populationen, däremot icke-slumpmässigt urval väljer stickprov från populationen genom någon form av bedömning (Saunders m.fl. 2009). Viktigt vid en urvalsprocess är, för både slumpmässigt och icke-slumpmässigt, det med fördel om följande frågor kan besvaras (Cooper & Schindler, 2003):

- Är populationen relevant?
- Vad är det för intressanta parametrar?
- Vad är det för typ av urval?
- Vilken storlek på urvalet ska studien ha?

Sekundär data är svårare att klassificera på ett enkelt sätt men Saunders m.fl. (2009) ger bland annat *dokument* och *enkäter* som exempel på sekundära källor. Churchill & Iacobucci (2005) väljer dock att klassificera sekundär data efter *interna* och *externa* källor sett från organisationens perspektiv.

Saunders m.fl. (2009) menar att sekundär data ofta blir bortglömd i datainsamlingsprocessen och är passande vid begränsade resurser (exempelvis tid), dessutom kan sekundärdata bidra till ett längre tidsspann av information. Mer om trovärdighet diskuteras längre fram, se avsnitt 2.7 Trovärdighet.

2.6.2 Datainsamlingstekniker

Tabell 5 nedan beskriver vilka datakällor som kan betraktas som relevanta för denna studie.

Tabell 5 - Relevanta datakällor. Fritt omarbetad och översatt från Yin (2003) s. 86.

Källa	Styrka	Svaghet
Dokumentation	• <i>Stabil</i> kan granskas flera gånger. • <i>Diskret</i> inte är skapad som ett resultat av fallstudien.	• <i>Tillgänglighet</i> kan vara svår att få tag i eller medvetet undanhållen.

	• <i>Exakt</i> innehåller exakta namn, referenser och detaljer kring en händelse. • <i>Bred täckning</i> – har långt tidsspann, många händelser och många parametrar.	• <i>Partiskt</i> i dess urval av populationen. • <i>Partisk information</i> reflektioner kan vara partiska från (okänd) författare.
Arkiv	• Samma som för dokumentation samt precis och kvantitativ.	• Samma som för dokument samt begränsning av tillgänglighet på grund av sekretesskäl.
Intervjuer	• Målinriktade fokuserar direkt på fallstudieämnet. • Insiktsfull beskriver upplevda fördelar från fenomenets orsak-verkan.	• Bias på grund av dåligt formulerade frågor. • Svarsbias. • Inexakt på grund av dåligt minne hos intervjuobjektet. • Formbarhet intervjuobjektet ger de svar som intervjuaren vill ha.
Direkta observationer	• Verklighetsförankring undersöker händelser i realtid. • Sammanhangsberoende undersöker sammanhanget i händelsen.	• Tidskrävande. • Selektiv såvida inte flera händelser observeras. • Formbarhet händelser kan få ett annat förlopp då de observeras. • Kostnad de timmar som krävs av mänsklig övervakning.
Deltagande observation	• Samma som för direkta observationer samt insikt för beteende och motiv mellan människor.	• Samma som för direkta observationer samt bias p.g.a. observatörens manipulering av händelsen.

Observationer kan delas in i två typer: *deltagande* och *strukturerad* observation (Saunders m.fl. 2009). Enligt samma författare är deltagande observation är vanligt vid kvalitativa studier och innebär att observatören själv ingår i de aktiviteter som ska observeras eller endast observerar aktiviteten med känd eller okänd identitet. Strukturerad observation fokuserar mer på att kvantifiera den observerade företeelsen och har därför en betydligt mer

strukturerad utgångspunkt, denna metod är typisk för kvantitativ metod (Saunders m.fl. 2009).

Intervju är en diskussion mellan två eller fler människor med ett bakomliggande syfte (Saunders m.fl. 2009). Enligt samma författare finns det tre typer av intervjuer: *strukturerad*, *semi-strukturerad* samt *djupgående* eller *ostrukturerade intervjuer* (gruppintervjuer räknas hit). Enligt Saunders m.fl. (2009) är denna typologi indelad efter hur pass formell och strukturerad intervjun är, strukturerad intervjuteknik är mer formell medan djupgående intervjuer är mest informell och ostrukturerad av dessa tre. De olika intervjuteknikerna är mer eller mindre vanliga beroende på vilket vetenskapligt syfte studien har: strukturerade intervjuer är vanligast vid deskriptivt men förekommer även vid explanativt syfte, semi-strukturerade är vanligast vid explanativa men förekommer även vid explorativa studier samt vanligaste syftet vid ostrukturerade (djupgående) intervjuer är explorativt (Saunders m.fl. 2009). Se Tabell 6 nedan för förtydligande.

Tabell 6 - Användning av intervjutekniker vid olika vetenskapliga syften. Omarbetad från Saunders m.fl. (2009) s. 323.

	Explorativt	Deskriptivt	Explanativt
<i>Strukturerad</i>		Vanlig	Förekommer
<i>Semi-strukturerad</i>	Förekommer		Vanlig
<i>Ostrukturerad</i>	Vanlig		

Studiens datainsamling

Denna studie använde sig av både primär och sekundär data. Den primära datan insamlades i form av intervjuer och observationer. Urvalsprocessen skedde på icke-slumpmässig grund då personerna som intervjuades med semi-strukturerad intervjuteknik blev utvalda genom en bedömning av deras kompetensområde och roll inom verksamheten. I både Kristinebergsgruvan och Renströmsgruvans organisationer blev personer med kunskap inom produktion eller planering utvalda. Totalt fyra personer med nyckelroller ingick i de semi-strukturerade intervjuerna, dessa personer hade nyckelroller inom produktion eller planering. Två stycken personer i Kristinebergsgruvan och två stycken personer i Renströmsgruvan. Den mall som användes vid intervjuer finns i Bilaga A Intervjuguide, observera att mallen bara var en grund vid de semistrukturerade intervjuerna och frågorna omformulerades något under intervjutillfället. Frågorna berör frågor rörande *lager*, *planering* och *flaskhalsar*. Större antal semi-strukturerade intervjuer hade varit svårt att

genomföra eftersom den relevanta populationen är begränsad vid mindre organisationer som karaktäriserar gruvorna i Kristineberg och Renström.

Observationerna var både deltagande och strukturerade. Dock med betoning på deltagande observationer eftersom det var en fallstudie i explorativt-deskriptivt syfte vilket gav en övervikt på kvalitativ data. Vid kartläggningen av Kristinebergsgruvan skedde deltagande observationer främst i form av delaktighet i möten. Under första tiden skedde deltagande observationer under produktionsmöten som var efter varje skiftbytet på morgonen. Detta skapade en insikt hur det dagliga arbetet gick till och vilken problematik som uppstod i verksamheten. Vidare skedde deltagande observationer på planeringsmöten och byggmöten. Den sistnämnda har något missvisande namn då dessa möten gällde uppföljning av bergstransport och parterna var Bolidens representanter från produktion och planering samt representanter från entreprenören som skötte bergstransporten. Strukturerade intervjuer skedde genom guidning i gruvan samt tidtagning av lastbilarna som transporterade berg. Stor del av materialet skedde även genom en hårfin gräns mellan ostrukturerade intervjuer och observationer, ett inofficiellt samtal kan anses antingen vara ostrukturerad intervju eller observation. Dessa inofficiella samtal skedde med förmän, driftcentral, planering, produktion, entreprenörer och operatörer.

Den sekundära datainsamlingen skedde genom dels intern data i form av interna rapporter (kvalitativa) men även historiska data från aktiviteter kopplat till materialflödet (kvantitativt och kvalitativt). Interna rapporter utgjorde av flera interna flödesstudier som Boliden Mineral AB gjort med tidsintervall på fem år, den senaste 2009. Historisk data utgjordes i form av produktionsrelaterad data såsom lagernivåer, veckorapporter, skifttider, Gantt-scheman, skjutplaner samt uppföljningsrapporter av produktionsdata.

Extern sekundär data utgjordes av den teoretiska referensramen som byggdes utifrån relevant litteratur och artiklar. Som det nämndes i inledningen fanns det en begränsad mängd relevanta artiklar kopplat till gruvindustrin. Detta visas i Tabell 7. Givetvis användes fler sökord för att hitta relevanta artiklar inom området eller andra isolerade (exempelvis med fokus på lagerhantering) ämnesområden. Det huvudsakliga syftet med artikelstudien var att påvisa saknaden av relevant litteratur och forskning kring ämnesområdet. I Tabell 7 är drygt 10 % av artiklarna som är relevanta. Observera att artikelsökningen fokuserades på planering inom gruvindustrin och att sökord som "materialflöde" inte genomfördes. Dessutom användes både engelska och svenska sökord. Exempel på sökord är (bara engelska varianterna presenteras):

production planning, production scheduling, decision support systems, lean mining, inventory planning och så vidare.

Tabell 7 - Resultat av artikelsökning i ett tidigt skede. Genomförd 12-02-12 till 12-02-14.

Databas	Sökord	Antal träffar (artiklar)	Relevanta
Jstor	"Ore transport" planning	6	0
Emerald		2	0
Science direct		36	2
Jstor	"Ore Manufacturing" planning	1	0
Emerald		1	0
Science direct		0	0
Jstor	"Scheduling tools" mining	1	1
Emerald		1	0
Science direct		31	5
Totalt		79	8

Fler databaser än ovan nämnda användes vid sökningen men merparten av artiklar som använts har hittats hos någon av dessa tre. Vid sökning på vetenskapliga artiklar användes Google Scholar som verktyg där de flesta artikelträffarna fanns i databaser som var tillgängliga via Luleå universitetsbibliotek. Andra databaser som användes är Bolidens egna intranät och databas. Dokument från intranätet eller den egna databasen har inte refererats med URL eller liknande då detta material inte var publicerat.

Vid litteratursökning användes de tillgängliga böcker som finns vid Luleå universitetsbibliotek där både fysiska och elektroniska resurser fanns att tillgå.

2.7 Trovärdighet

Trovärdighet beskriver hur pass tillförlitlig en utförd studie är. Trovärdighet kan delas upp i två delar; *reliabilitet* och *validitet*. *Reliabilitet* beskriver hur pass samlade de olika mätningarnas resultat är. *Validitet* skildrar hur väl mätningarna behandlat de på förhand sökta aspekterna.

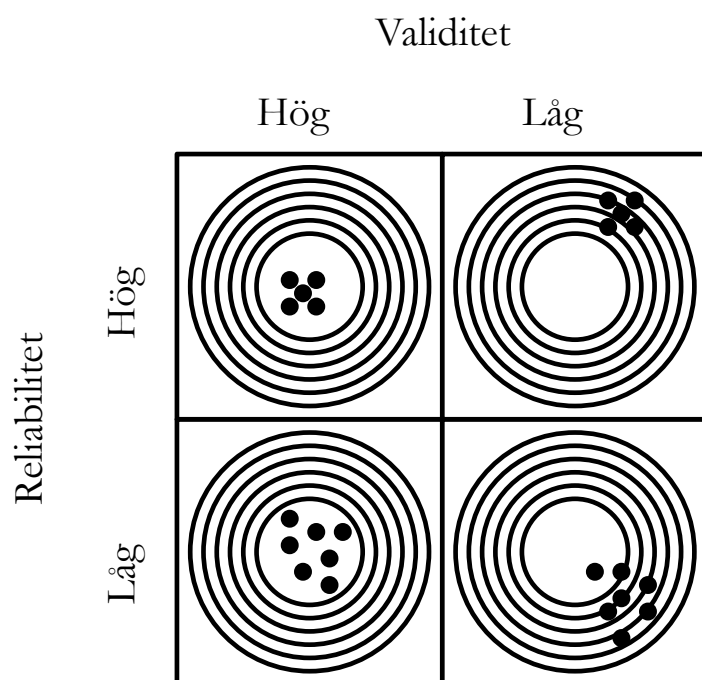
2.7.1 Reliabilitet

Reliabiliteten beskriver hur träffsäker studien är. Ifall flera observationer av liknande fall visar på samma resultat visar det på en god reliabilitet (Saunders m.fl. 2009). Om flera olika forskare kommer fram till liknande resultat vid liknande observationer så kan även det ses som ett bevis på god reliabilitet.

2.7.2 Validitet

Validitet visar på ifall en mätning mäter rätt parametrar. Även om resultatet från flertalet mätningar är likvärdiga betyder inte det att mätningarna har behandlat rätt aspekter (Saunders m.fl. 2009). Validitet kan beskrivas utifrån tre olika delar som är *inre validitet*, *yttre validitet* samt *konstruktionsvaliditet* (Yin, 2003). Inre validitet, som enbart passar för explanativa studier, beskriver dataanalyseringen för att finna samband genom användande av logiska modeller (Yin, 2003). Yttre validitet visar på ifall resultatet av studien är går att applicera på andra studier, det vill säga fastställa hur generaliserbar studien är (Yin, 2003). Konstruktionsvaliditet visar på hur datainsamlingen har gjorts, vilka metoder samt vilka källor som ska användas (Yin, 2003).

Figur 3 visar på hur reliabilitet och validitet påverkar utfallet för en studie. I kvadraten uppe till vänster symboliserar en studie där mätningarna både visar på liknande resultat samt överensstämmer väl med vad som var tänkt att mätas från början. I fall där både reliabiliteten och validiteten är låg fås spridda resultat som dessutom inte förklarar de på förhand sökta aspekterna.



Figur 3 - Förklaringsmodell för reliabilitet och validitet. Källa: Cooper & Schindler (2003) s. 235.

Studiens trovärdighet

Eftersom studien enbart behandlade ett fallstudieobjekt innebar det att resultatet inte gick att generalisera, trots att två gruvor ingick i studien var omfattningen på benchmarkingen för liten för att kunna säkerställa en generaliserbarhet. Dessutom ingår både Kristinebergsgruvan och Renströmsgruvan i samma koncern vilket gör att generaliserbarheten var

tvivelaktig redan innan datainsamlingen påbörjades. Detta är dock ett vanligt förekommande problem vid ett pragmatiskt synsätt. Dessutom är det svårt att avvisa eller bekräfta hypoteser när en studie använt sig av fallstudieobjekt på grund av mängden kvalitativ data. Med detta menas att många uppskattningar gjordes från personer med stor erfarenhet, ett exempel är olika tidsintervaller i köteorin uppskattades av operatörer och förmän som sedan bekräftades genom enklare tidmätningar av bergstransporten. Tidmätningarna i sig hade inte fungerat som tillräckligt material då dessa utfördes under en för kort tidsperiod, fyra skift, men i kombination med subjektiva bedömningar från operatörer och förmän fungerade dessa antaganden som tillförlitliga eftersom detta var en form av triangulering. Observera att alla antaganden som gjordes finns utskrivna i studien. Eftersom studiens resultat bygger på en fallstudie och benchmarking är den yttre validiteten liten eftersom, som tidigare nämnt, generaliserbarheten är låg. Konstruktionsvaliditeten var däremot hög då datainsamlingsmetoden har beskrivits ganska detaljerat där rollerna preciserades på de som intervjuades, vad som observerades samt vilka metoder och databaser som användes vid sammanställandet av den teoretiska referensramen. Den interna validiteten går inte att diskutera eftersom denna studie inte är explanativ natur.

Reliabiliteten undersöktes genom att jämföra observationerna vid Kristinebergsgruvan med observationer i Renströmsgruvan samt gamla examensarbeten gjorda i gruvindustrin. Exempelvis har samma planeringssvårigheter observerats av Bergstrand & Åkerström (2006) vid Boliden Mineral AB:s dagbrott i Aitik samt samma karaktäristiska drag i materialflödet i LKAB:s underjordsgruva i Kiruna (Kvarnström, 2010). Som tidigare nämnt tyder samma resultat från liknande observationer på god reliabilitet hos studien.

2.8 Kapitelsammanfattning och arbetsgång

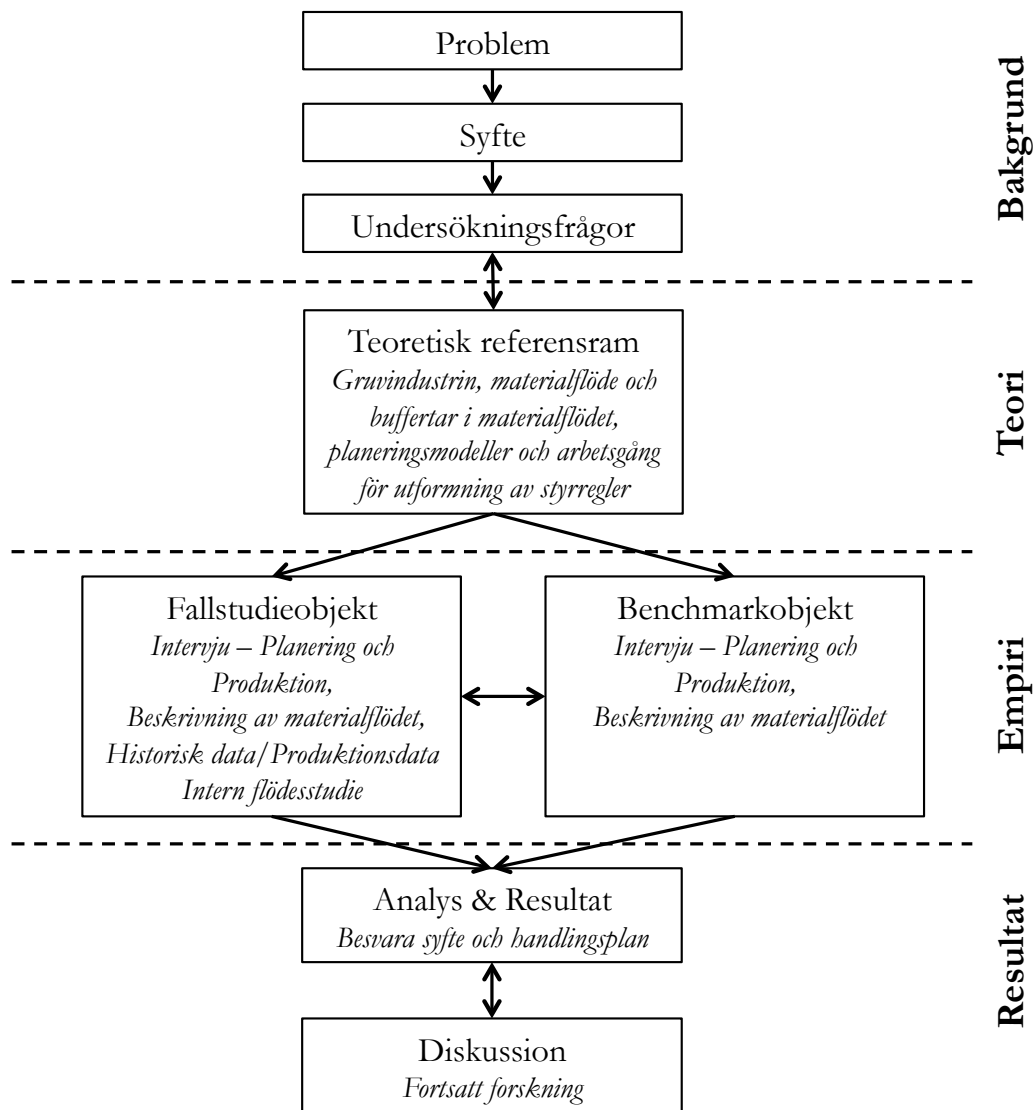
Studiens metodik sammanfattas i Tabell 8.

Tabell 8 - Sammanfattning över studiens metodik

Område	Studiens inriktning
Forskningsfilosofi	Pragmatisk.
Vetenskapligt syfte	Explorativ-deduktiv.
Forskningsansats	Abduktiv.
Forskningsstrategi	Fallstudie och arkivstudie.
Metodval	Kvantitativ och kvalitativ.
Datainsamling	Ostrukturerade intervjuer, semi-strukturerade intervjuer, deltagande och strukturerade observationer. Litteratur- och artikelstudier som extern form av sekundärdata. Rapporter och historisk data.

Då författarna hade möjligheten att under studiens tjugo veckor befinna sig i Boliden och Kristineberg innebar detta att observationen av verksamheten utfördes kontinuerligt under tiden studien fortskred. I och med författarnas närvaro på orterna var flertalet personer involverade i arbetet både genom organiserade semi-strukturerade intervjuer samt genom inofficiella samtal och diskussioner men även i form av observationer av verksamheten.

Övergripande var tillvägagångssättet att grundligt kartlägga de processer och flöden av material som fanns i gruvan genom ovanstående metodik; vartefter nuläget analyserades och teorier applicerades för att ge förslag till planeringsverktyg och styrregler, vilket studien syftade till. Se Figur 4 för arbetsgången.



Figur 4 - Studiens arbetsgång & analysmodell

Figur 4 visar hur undersökningsfrågorna var ett resultat av problemet och syfte i kombination med tidigare forskning. Den teoretiska referensramen byggde på en artikel- och litteraturstudie och hade som syfte att bestämma entydiga definitioner för begrepp såsom materialflöde, effektivt materialflöde, utnyttjandegrader och så vidare. Referensramen skulle även presentera olika vedertagna tillvägagångssätt för planering och utformning av styrregler samt en beskrivning av branschspecifika förutsättningar.

Vidare låg denna referensram till grund då kartläggningen av Kristineberg gjordes. Dels kommer kartläggningen att bygga på kvantitativ data som gammal produktionsdata men även kvalitativ data som semi-strukturerade intervjuer med nyckelpersoner: ansvariga för produktion och planering.

Vid kartläggningen undersöktes olika aspekter inom materialflödet såsom produktion, planering och transport. Fokus låg på skapandet av verktyg som

möjliggjorde att månadsplaner kan brytas ned till vecko- samt dagsplaner. Delar av den datainsamling som gjordes hämtades från Bolidens egen databas i form av kvalitativa och kvantitativa data. Detta berörde produktionsdata, information om underhåll, skiftesgång och gamla flödesstudier. En av svårigheterna vid kartläggandet av materialflödet i en gruva var det faktum att brytningen fortgick under hela studien. Detta innebar att förutsättningarna för materialflödet förändrades vartefter brytningen pågick, därför blev beskrivningen av materialflödet på en relativt generell nivå för att på så sätt inte bli inaktuell. Det faktum att materialflödet ständigt förändrades innebar att historisk data också användes med viss försiktighet eftersom den endast avspeglade förutsättningar som kunde ha ändrats.

Efter kartläggningen av Kristineberg gjordes en liknande kartläggning med Renströms underjordsgruva. Detta kallas för *benchmarkingobjektet* och syftet med detta är att jämföra nyckelparametrar för materialflödet. Tanken var att jämföra processerna i Kristineberg med de i Renström för att se om materialflödet och planeringen skiljde sig markant och om någon av verksamheterna arbetade signifikant mer effektivt. Valet av Renström som benchmarkingobjekt berodde på den nära geografiska lokalisering i förhållande till Kristineberg samt att Renström har relativt liknande förutsättningar gällande maskinpark, tonnage, ekonomi, brytnings- och driftteknik i förhållande till övriga gruvor inom närområdet.

Efter benchmarkingen analyserades resultatet från datainsamlingen utifrån den teoretiska referensramen. Med utgångspunkt i Kristinebergs förutsättningar och materialflöde lades en handlingsplan samt en utformning av styrregler och planeringsverktyg fram.

Studien avslutas med en diskussion rörande resultatet och förslag på framtida forskning att knyta ihop studien.

3 Teoretisk referensram

I detta kapitel presenteras den teoretiska referensramen där allmänna begrepp och teorier förklaras. Syftet är att presentera tidigare material inom området för att sedan kunna jämföra med den kartläggning som presenteras i senare kapitel. Avsnittet kommer att börja med en presentation av gruvindustrin för att sedan fortsätta med att utreda begreppet materialflöde och vad ett effektivt materialflöde är. Avslutningsvis behandlar kapitlet modeller vid planering och hur styrregler bör utformas ur ett teoretiskt perspektiv.

3.1 Gruvindustrin – en beskrivning

Gruvindustrin innefattar brytning och beredning av mineral, det vill säga brytning av *malm* för att sedan renas till koncentrat (slig eller pellets) för vidare transport till smältverk (NE, 2012h). Malmen, det gruvorna bryter, är en metallhaltig mineralkoncentration som det finns ett ekonomiskt värde att bryta ur (NE, 2012i). Halterna kan därmed variera beroende på vilken metall eller metaller som finns i malmen; vilket innebär att det kan krävas stora volymer berg för att få erforderlig mängd metall.

Gruvindustrin brukar ofta kategoriseras under processindustri. Figur 5 visar den vanligt förekommande produkt och processmatrisen som visar en korrelation mellan höga volymer och kontinuerligt flöde (Hopp & Spearman, 2008). Hopp & Spearman (2008) menar att matrisen är bra för att kategorisera olika processtrukturer men understryker att produkt och processmatrisen är endast en del av hela helheten. Enligt Hopp & Spearman (2008) är det inte alltid så simpelt som att kategorisera verksamheten efter en matris, utan det är flera faktorer som spelar roll. Den största utmaningen ligger i att kombinera låga kostnader med stora volymer samtidigt som ändå behålla flexibiliteten och kundanpassningsförmågan i produktionen. Påståendet stämmer bra då gruvindustrin är en bransch med något annorlunda behov än övriga processindustrin. Detta grundar sig i att produktionen skiljer sig från konventionella processindustrier där pappers- och kemikalieindustrin har fasta anläggningar medan gruvindustrin är av naturen rörlig då brytningen ändrar produktionsförutsättningarna varje dag.

		Produktmix			
		Låg volym, låg standardisering, unika produkter	Låg volym, flera produkter	Flera, större produkter, högre volymer	Hög volym, hög standardisering
Processstyp	Ej ordnat flöde (job shop)	Skrivmaskin			
	Osammanhängande flöde, partvis produktion (flow shop)	Tunga fordon			
	Sammanhängande flöde (Line flow)	Biltillverkning			
	Kontinuerligt flöde	Sockerraffinering (Processindustri)			

Figur 5 - Produkt-processmatrisen. Bearbetad från Hopp & Spearman (2008) s. 9 samt Olhager & Rudberg (2003) s. 340.

Sett ur en planeringsorienterad syn karaktäriseras processindustrin av ett starkt sekvensberoende mellan olika operationer (Kallrath, 2002). Det vill säga att efter operation A måste operation B följa för att sedan fortsätta med C, det går inte att byta ordning på de olika operationerna. Gruvindustrin karaktäriseras av kontinuerligt processflöde (Kvarnström, 2010). Olika karaktäristiska drag för kontinuerligt processflöde går att utläsa i Tabell 9.

Tabell 9 - Karaktäristiska drag för kontinuerligt processflöde. Omarbetad från Kvarnström (2010) s. 4.

Karaktäristiskt drag	Problem
Kontinuerligt flöde	Inga naturliga partier.
Produkten kan byta tillstånd	Inga naturliga enheter
Olika flödesordning av material	Materialet kan komma ut från systemet i olika ordning.

Lågt adderat värde till produkten genom produktionsprocessen	Stor känslighet för kostnadsökningar.
Segregation	Flödet beror på produktens fysiska egenskaper

Enligt Tabell 9 innebär kontinuerligt flöde att det inte finns några naturliga partier; Kallrath (2002) menar på att det finns ett mellanting av kontinuerligt flöde och partitillverkning som ibland kan förekomma inom processindustrier. Detta kallar författaren för *semi-partitillverkning* (semi-batch production). Semi-partitillverkning sker i verksamheter där det produceras ett begränsat antal produkter i relativt höga volymer och förekomsten av specialmaskiner medger ett kontinuerligt flöde i långa kampanjer (Kallrath, 2002). Med andra ord är det ett kontinuerligt flöde av enheter utan tydligt definierad start eller stopp.

3.2 Begreppet materialflöde

För att kunna beskriva materialflödets funktion i industrin måste begreppet först redas ut och undersökas om det finns någon entydig förklaring till ordet och vilka parametrar som påverkar materialflödet. Enligt Mattson (1999) menas ”flöde” allmänt en förflyttning, eller transport, av material eller immateriell egenhet (exempelvis information). Dessa flöden har olika hastigheter (de är intermittenta) och skapar på så vis ansamlingar, även kallat *lager* (Mattsson, 1999). Enligt Bjørnland, Persson & Virum (2003) förknippas transport och lagring med ordet *logistik*. Dessa aktiviteter är centrala för ämnesområdet logistik och har en nära relation till begreppet materialflöde då författarna förklarar logistik som *läran om effektiva materialflöden* (Bjørnland m.fl. 2003). Enligt Nationalencyklopedin (2012e) innefattar logistik de fysiska produktionsflöden samt strategiska aspekter på informationsflöden och organisationsstruktur för materialflöden. Segerstedt (2008) ger förklaringen att logistik är ”... en vetenskap som studerar problem i samband med materialflöde inom företag eller organisationer vanligen med huvudsyftet att åstadkomma metoder för att rätt material ska finnas på rätt plats vid rätt tid...”. Med andra ord är materialflöde nära förknippat med ämnesområdet logistik och därmed kommer ordet logistik att användas till olika förklaringsmodeller eller principer för att förklara hur materialflödet fungerar.

Det finns dock fler beteckningar inom ämnesområdet logistik. Ordet *materialadministration* är enligt Segerstedt (2008), Bjørnland m.fl. (2003) och Mattsson (1999) nära förknippat med logistik, eller till och med är synonymer. Materialadministration behandlade från en början enbart flödespåverkande funktioner som *inköp*, *produktion* och *fysisk distribution* för att sedan alltmer

fokusera på *tidskonkurrens* och en strävan efter *reducerade ledtider*. Materialadministration kan ses som ett äldre uttryck för dagens betydelse av logistik och behandlar idag samma områden (Segerstedt, 2008) (Mattsson 1999). I fortsättningen kommer studien att behandla de två orden som synonymer. Se Tabell 10 för en sammanfattning av olika definitioner av logistik. Det kan konstateras att Bjørnland m.fl. (2003) har den mest omfattande definitionen då författarna även tar med det så kallade *reverse logistics*⁴ i sin förklaring.

Tabell 10 - Olika definitioner och förklaringar av logistik samt materialadministration.

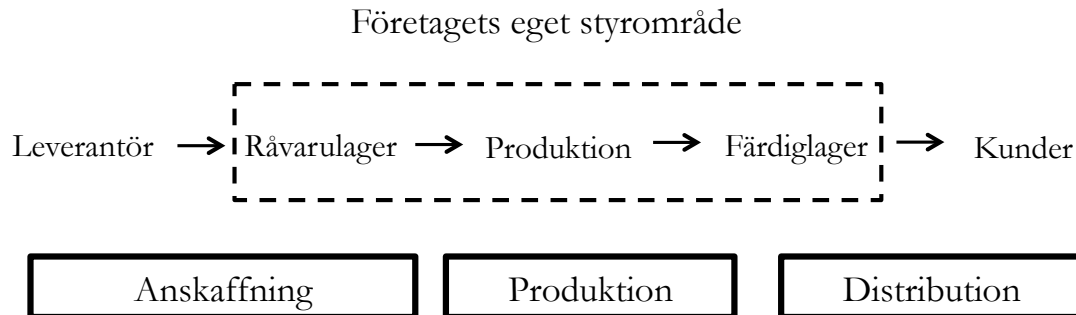
Källa	Definition/Förklaring
Segerstedt (2008)	Strävan efter ett effektivt flöde; produktion, verksamhet och transport; från leverantör till kund.
NE (2012f)	Begrepp som integrerar inköp och materialförsörjning, produktionsplanering samt fysisk distribution. Materialadministration (logistik förf. anm.) inbegriper planering, utveckling, samordning, organisation, styrning och kontroll av materialflödet från råvaruleverantör till slutlig förbrukare.
Ericsson & Persson (1981)	Logistik är de synsätt och principer som man lägger som grund för att planlägga, utveckla och organisera, samordna, styra och kontrollera materialflödena från råvaruleverantörer till slutförbrukare.
Mattsson (1999)	Planering, utveckling, samordning, organisation, styrning och kontroll av det tillverkande företags material- och resursflöden. (Mattsons definition av <i>produktionslogistik</i>).
Bjørnland m.fl. (2003)	Samma som Ericsson & Persson (1981) men med tillägget: från <i>slutförbrukare</i> till <i>kassering</i> .

Även om det finns stor korrelation mellan logistik (materialadministration) och materialflöde finns det dock några grundläggande skillnader. Mattsson (1999) delar in logistik i två huvudområden: *produktionsstyrning* och *materialstyrning*. Produktionsplaneringen är relaterat till resursflödesaspekten och materialplaneringen är relaterat till materialflödesaspekten (Mattsson, 1999). Enligt Bjørnland m.fl. (2003) kan dock inte det ena utesluta det andra då det är stark korrelation mellan resursflödena och materialflödena. Vid

⁴ Planering och kontroll av materialflöde i motsatt flödesriktning för korrekt kassering (Dekker, M., Inderfurth, & Van, 2005)

undersökandet av materialflödet behövs alltså även resursflödet, planerings och- styrsystemet samt organisationsstrukturen tas hänsyn till (Bjørnland m.fl. 2003). De resurser som Mattsson (1999) syftar på är maskiner, anläggningar, verktyg, transportutrustning, personal samt tillverkningsunderlag vars uppgift är att förädla materialflödet. För att se en principskiss över materialflödet hos ett företag se

Figur 6.



Figur 6 - Principskiss över materialflödet in till, genom och ut från ett företag. Fritt efter Bjørnland m.fl. (2003) s. 19.

De ämnesområden som brukar ingå ur ett logistiskt perspektiv är (Bjørnland m.fl. 2003):

- *Transport* vanliga aktiviteter är planering, genomförande, uppföljning, val av rutt, val av transportmedel och så vidare.
- *Lagring och lagerstyrning* behandlar var lager ska lokaliseras, hur stora de ska vara, servicenivåer och så vidare.
- *Materialhantering och packning* starkt förknippat med lagerhantering och hur kortare interna förflyttningar ska lösas.
- *Orderbehandling och kundserviceaktiviteter* behandlar orderöverföring, -mottagning, -bearbetning och leverans.
- *Prognostisering* skapandet av försäljningsplaner.
- *Produktionsplanering* planerar resursutnyttjandet, hur företaget ska producera i förhållande till dess kapacitet.
- *Inköp och försörjning* – inköp av förbrukningsmaterial och större, engångsköp såsom projektinköp.

Ovan är några exempel av de ämnesområden som berörs vid logistik med tillhörande aktiviteter, andra områden som ibland nämns är stödfunktioner såsom underhåll och reservdelsförsörjningen. Det finns ytterligare områden där logistik spelar roll vilka inte kommer att betraktas närmare. Exempel på dessa är marknadsföring, konstruktion, produktutveckling och så vidare (Bjørnland m.fl. 2003).

3.2.1 Effektivt materialflöde

Då materialflödet har beskrivits är det lämpligt att gå vidare med en beskrivning vad ett *effektivt* materialflöde innebär. Enligt Bjørnland m.fl. (2003) handlar effektiviteten ur en logistisk synpunkt att reducera kostnaderna och att öka intäkterna genom förbättrad leveransservice. De menar alltså att effektiviteten bestäms genom hur väl företaget utnyttjar dess kapitalinvesteringar. Segerstedt (2008) menar att en effektiv material- och produktionsstyrning ger korta ledtider, hög leveranssäkerhet, låg kapitalbindning i lager och PIA (produkter i arbete), högt utnyttjade av kapitalinvesteringar (maskiner, anläggningar och personal) samt låga administrationskostnader. Mattsson (1999) nämner ytterligare tre egenskaper som är vanliga mål för effektivt materialflöde: jämnt (och högt) kapacitetsutnyttjande, hög flexibilitet och låga tillverkningskostnader. Det är svårt att kombinera alla dessa egenskaper med varandra och därför handlar det mycket om att göra en avvägning mellan *resursutnyttjning*, *kapitalbindning* och *leveransservice* (Segerstedt, 2008). Se Figur 7 för exempel på motsättningar; ett plus betyder positiv korrelation mellan målsättningarna minus innebär motsättning och därmed en målkonflikt.

	Låg kapitalbindning	Högt kapacitetsutnyttjande	Kort genomloppstid	Kundanpassbara produkter
Låg kapitalbindning		—	+	—
Högt kapacitetsutnyttjande	—		—	—
Kort genomloppstid	+	—		+
Kundanpassbara produkter	—	—	+	

Figur 7 - Exempel på motstridiga målsättningar. Omarbetad från Mattsson (1999) s. 20.

Exempel på aspekter som påverkar leveransservicen är leveranstid, -säkerhet, tillgänglighet, variantbredd samt flexibilitet (Bjørnland m.fl. 2003). Kapitalbindning skapas genom exempelvis höga lagernivåer. Mattsson (1999) konstaterar exempelvis att en hög leveranssäkerhet åstadkommas genom stora lager (det vill säga hög kapitalbindning). Därför måste prioriteringarna göras efter den övergripande strategisk inriktning (affärsidé) som organisationen har.

Mattsson (1999) skiljer på *inre* och *yttre* effektivitet. Yttre effektivitet är företagets förmåga att anpassa sig efter och utnyttja de möjligheter som finns på marknaden; inre effektivitet är förmågan att vara effektiv i den operativa verksamheten inom begränsningen av befintliga resurser och produkter (Mattsson, 1999). Ibland kan målen för inre respektive yttre effektivitet stå i motsats till varandra och än en gång är det viktigt att göra prioriteringar utifrån organisationens övergripande strategi (Mattsson, 1999). Bjørnland m.fl. (2003) beskriver att uppfyllandet av en sådan målkonflikt kallas för *suboptimering* och innebär ofta negativa konsekvenser för verksamheten i stort.

3.2.2 Buffertar i materialflödet

Enligt Hopp & Spearman (2008) karaktäriseras materialflödet av *variation* eftersom varken efterfrågan eller operationerna i flödet är optimerade i förhållande till varandra. Om flödet var exakt anpassat efter en jämn efterfrågan skulle det finnas 100 % nyttjandegrad, inga lager och ledtiden skulle vara lika lång som processtiden (Hopp & Spearman, 2008). I praktiken fungerar det inte så. Enligt Hopp & Spearman (2008) behövs det någon form av *buffert* för att kunna motverka svängningarna i produktion och efterfråga. Denna buffert består av en kombination av *tid*, *lager* och *kapacitet*. Författarna understryker att variation är snarlikt men ändå inte detsamma som *slumpmässighet*. Med andra ord att variationen styrs av någon form av sannolikhetsfördelning tillskillnad från slumpen. Eftersom variationen beror på någon form av sannolikhet går den att bestämma med hjälp av statistiska begrepp som *medel* och *standardavvikelse* (Hopp & Spearman, 2008). Det är därför viktigt att förstå hur variationen påverkar flödet genom att undersöka buffertarna. De begrepp som presenteras i följande underavsnitt till 3.2.2 ligger senare till grund för flödesrelaterade nyckeltal. De flödesrelaterade nyckeltalen ligger i sin tur till grund för att mäta effektiviteten i materialflödet (Bjørnland m.fl. 2003).

Tid

Tid är ett väldigt centralt begrepp i produktionstermer och ofta mäts effektiviteten efter någon form av tidsmått (Hopp & Spearman, 2008). För att kunna beskriva materialflödet på ett tillfredsställande sätt krävs entydiga definitioner av termerna. Här presenteras centrala termer för tidsmått inom logistik.

Ledtid definieras enligt Hill & Khosla (1992) som ”... *den tid det tar mellan kundens efterfråga uppstår till dess att denna efterfråga är tillfredsställd*”. Med andra ord betraktar de hela processen från efterfråga, genom hela försörjningskedjan fram tills kunden får varan i handen eller servicen utförd. Begreppet ledtid innebär alltså att det måste finnas en kunddefinition. Enklare begrepp brukar därför vara *genomloppstid* eller *total processtid* och syftar på den tid det tar för en enhet att passera alla operationer i ett system.

Cykeltid är den tid det tar att utföra en operation i kedjan (Hopp & Spearman, 2008). Det innebär att cykeltiden är själva processtiden och förseningar sammanräknat, eller värdeökande tid samt icke-värdeökande tid (exempelvis omarbetning) summerat (Hopp & Spearman, 2008) (Hopp, 2008). En synonym för cykeltid är operationstid.

Takttid är den tid det tar mellan två enheter att produceras, det vill säga tiden det tar mellan enhet n och enheten $n+1$ att lämna systemet (Hopp, 2008).

Sist men inte minst kommer det som Hopp & Spearman (2008) anser vara viktigaste måttet för en enskild operation och är *effektiv processtid*. Med effektiv menas den processtid som tillför något värde eller förenklat: då operationen arbetar på en produkt. Effektiv processtid utesluter all tid då operationen står still vid exempelvis underhåll och omställningar. Den genomsnittliga effektiva processtiden beräknas som följande:

$$t_0 = \text{Effektiv processtid}$$

$$t_e = \text{Genomsnittlig effektiv processtid}$$

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$$t_e = \frac{t_0}{A}$$

MTTF står för *mean time to failure* och är snitttiden mellan underhåll, skrivs även ibland som MTBF (*mean time between failure*). MTTR står för *mean time to*

repair och är snitttiden för reparationen (Hopp & Spearman, 2008). Effektiv processtid kan även benämnas som *tillgänglig tid*.

Lager

Lager är en plats där råmaterial, halvfabrikat och färdigprodukter förvaras (NE, 2012g). Ett lager kan finnas varstans inom produktionsledet eller distributionskedjan för att minska verkan från variationer inom produktion eller distribution (NE, 2012g). En mer generell beskrivning är att lager är en materialinsamling av olika förädlingsgrader, beroende på var i förädlingskedjan lagret är beläget, som väntar på nästa processteg (Hopp & Spearman, 2008; Mattsson, 1999).

Mattsson (1999) använder en metafor för att beskriva lager; inom produktionen kan de liknas vid dammar i ett vattenflöde. Dammarna skapas för att samla upp det vatten som kommer med de olika årstidernas variation. Detta för att sedan kunna fördela ut vattenmängden jämnt under året och därmed säkerställa en kontinuerlig elproduktion. Vanlig klassificering av lager är råvarulager, PIA och färdiglager (Mattsson, 1999). Enligt Mattsson (1999) finns det dock ytterligare typer av lager med så kallad *frikopplingsfunktion* vilket innebär att lagret klassificeras efter lagrets funktion. Lagret är då definierad som någon form av materialansamling. Dessa lagertyper beskrivs närmare i Tabell 11.

Tabell 11 - Lagertyper med frikopplingsfunktion.

Lagertyp	Beskrivning	Källor
<i>Omsättningslager</i>	Beskriver det lager som uppstår då inleveranstakten samt kvantiteten skiljer sig gentemot förbrukningstakten.	(Mattson, 1999)
<i>PIA</i>	PIA kan ses som ett buffertlager för att minska risken för att produktionsstörningar ska sprida sig i produktionsledet. PIA innefattar produkterna från första förädlingsprocessen tills att de kommer till färdiglager.	(Conway, Maxwell, McClain, & Thomas, 1988))
<i>Koordinationslager</i>	Kopplar samman parallella flöden för att på så sätt få ner leveranskostnader och lagerhållningskostnader.	(Mattson, 1999)
<i>Spekulationslager</i>	Spekulationslager är en typ av omsättningslager. Dock är den väsentliga skillnaden att ett spekulationslager inte har någon kontakt med nutida efterfrågan utan det byggs upp utifrån spekuleringar om	(Paché, 1995)

	framtida upp- eller nedgångar i efterfrågan.	
<i>Säkerhetslager</i>	Säkerhetslager används för att minska risken för produktionsstopp vid störningar inom produktionen.	(Natarajan & Goyal, 1994)
<i>Utgjänningslager</i>	Då förbrukningen av produkterna kan vara väldigt varierande över tiden så kan ett utjämningslager upprättas. Utjämningslager används då för att kunna behålla samma order- och transportkvantiteter under hela cykeltiden.	(Mattson, 1999)
<i>Styrningslager</i>	Uppstår då olika komponenter skall sammanfogas till en slutprodukt. Väntan kan uppkomma på grund av att en av komponenterna har försenats eller att tidigare moment inte har varit möjliga att köras parallellt.	(Mattson, 1999)

Kapacitet

Kapaciteten är definierad som den maximala snitthastighet som en enhet kan flöda genom systemet och är därför en funktion av systemets enskilda operationers kapaciteter (Hopp, 2008). Enligt Hopp (2008) definieras den enskilda operationens kapacitet som:

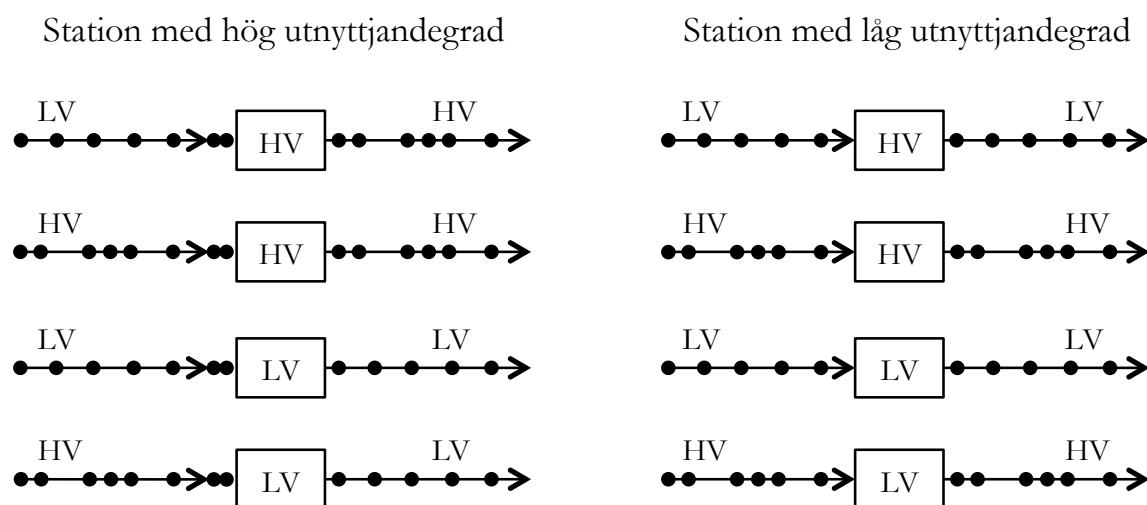
$$\text{Operationskapacitet} = \text{Baskapacitet} - \text{Avvikelser}$$

Baskapaciteten är då operationens kapacitet vid ideala förhållanden. Ett exempel är om en operation kan tillverka 7 enheter per vecka men kräver en dags underhåll i veckan, då blir operationskapaciteten 6 enheter per vecka.

Ett nyckelbegrepp för att mäta flödets kapacitetsutnyttjande är *nyttjandegrad* (Hopp & Spearman, 2008). Nyttjandegrad kan beräknas på flera sätt. Det kan vara operationstid dividerat med tillgänglig tid, eller antal enheter producerade dividerat med antal enheter som kan produceras vid ideala förhållanden (Hopp, 2008). Den operation i systemet som har högst nyttjandegrad är *flaskhalsen*. Flaskhalsen är även den operation som sätter begränsningen före hela systemet prestanda (Hopp & Spearman, 2008). Om en operation i ett system ökar sin nyttjandegrad utan att göra några övriga ändringar kommer PIA och cykeltiden för operationen att öka exponentiellt.

Att sträva efter 100 % utnyttjandegrad eller full beläggning är inte alltid önskvärt (Segerstedt, 2008). Med hjälp av enkel köteori kan detta påstående bevisas. Vid en för hög utnyttjandegrad kan andra, på förhand oplanerade, problem uppstå. En 100 % utnyttjandegrad ger en bra ekonomisk kalkyl just på maskinen i fråga men kan leda till att genomloppstider blir högre (Segerstedt, 2008). Det kan i sin tur leda till försenade leveranser och därmed även högre kostnader. Därför är det viktigt att avväga vad som kan anses vara en lämplig utnyttjandegrad.

Ett bra exempel är i Figur 8 som visar hur variationen i flödet av en stations utnyttjandegrad och variation i processering.



Figur 8 - Stationens påverkan på flödets variation. Källa: Hopp (2008) s. 59.

I Figur 8 visas hur en enskild stations variation påverkar efterföljande flödets variation där LV står för låg variation och HV står för hög variation. Till vänster i Figur 8 visas hur variationen i station med hög utnyttjandegrad påverkar efterföljande flöde (Hopp, 2008). Före en station med hög utnyttjandegrad byggs det upp lager. Dessa lager leder till att stationens utflöde inte påverkas av flödet in till stationen (Hopp, 2008). Det resulterar i att vid hög utnyttjandegrad på en station så blir flödet ut från stationen i direkt korrelation med stationens variation.

Till höger i Figur 8 visas hur en station med låg utnyttjandegrad påverkar flödets variation. När en station har en låg utnyttjandegrad, det vill säga när ankomstintensiteten är betydligt lägre än serviceintensiteten, uppstår det inga lager framför stationen (Hopp, 2008). Det leder i sin tur att artiklarna går rakt in i stationen vilket mynnar ut i att variationen i flödet in i stationen blir direkt avgörande hur variationen i flödet ut ur stationen blir (Hopp, 2008).

Vanligtvis är inte sanningen så enkel som visas i Figur 8 utan ligger någonstans emellan de två alternativen (Hopp, 2008). Därför brukar

variationen i flödet ut ses som en summa av variationen i flödet in och stationens flöde.

För att underlätta bedömningen av vad som kan anses vara en lämplig utnyttjandegrad och beläggning kan ett flertal olika formler användas (Segerstedt, 2008). Med indata i form av ankomstintensitet, betjäningsintensitet, antalet betjäningsstationer och antalet ankomster ger formlerna bland annat resultat i form av genomsnittligt antal enheter i kö i systemet samt genomsnittlig tid i kö för enheterna (Segerstedt, 2008). Se Tabell 12 för symbolförteckningen, dessa symboler är de som kommer att användas i de matematiska modeller som senare presenteras i Tabell 13.

Tabell 12 - Symbolförteckning för köteori. Källa: Segerstedt (2008) s. 133.

Symbolförteckning
λ = Ankomstintensitet; enheter/tidsenhet
μ = Serviceintensitet; enheter/tidsenhet
ρ = Utnyttjandegrad
P_0 = Sannolikheten att det finns 0 enheter i hela systemet
P_n = Sannolikheten att det finns n enheter i hela systemet
L = Genomsnittligt antal enheter i hela systemet
L_q = Genomsnittligt antal enheter i väntan på service eller bearbetning
W = Genomsnittligt tid för en enhet att passera systemet, i kö och service
W_q = Genomsnittlig tid för en enhet i kön, väntetid före service eller bearbetning

Tabell 13 visar två typer av modeller inom köteorin. Dels multiple-server model som innebär att det kan finnas flera betjäningsstationer parallellt, exempelvis som i en dagligvarubutik där det finns flera kassor. Dels finite source model som innebär att det är ett slutet system med begränsad population, exempelvis i ett lagerhus där det finns ett begränsat antal truckar som kan komma till betjäningsstationen (Segerstedt, 2008).

Tabell 13 - Formler för köteori. Omarbetad från Segerstedt (2008) s. 134.

Fler betjäningsstationer - "Multiple-Server Model"	Begränsad källa av ankomster "Finite Source Model"
$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$	$\rho = 1 - P_0$
$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0, 0 < n < s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s! s^{n-s}} P_0, n \geq s \end{cases}$	
$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$	$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$

$L = \lambda W$	$L = N - \frac{\mu}{\lambda}(1 - P_0)$
$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1 - \rho)^2}$	$L_q = N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda}(1 - P_0)$
$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	$W = L[(N - L)\lambda]^{-1}$
$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	$W_q = L_q[(N - L)\lambda]^{-1}$

3.2.3 Olika typer av materialflöde

Vanligt förekommande termer för att beskriva materialflödets karaktär är *pull* och *push*. Enligt Hopp & Spearman (2008) kommer pull från produktionsfilosofin Toyota Production System och är en term som beskriver hur en operation måste efterfråga en ny enhet innan den kommer och på så sätt skapar ett dragande flöde genom produktionsprocessen. Med andra ord innebär det att antalet produkter i arbete (PIA) i systemet är begränsat vid tillämpning av pull. Däremot vid push påbörjas enheterna efter ett schema oavsett vilken status systemet i övrigt har, därmed finns det ingen övre begränsning hur många PIA som systemet kan innehålla (Hopp & Spearman, 2008). Fördelen med pull, enligt Hopp & Spearman (2008), är att synsättet fokuserar mer på materialflödet än pull och på så vid minskar kostnader, variation i produktionen, kvalitet och ökad flexibilitet. Minskade kostnader genom en begränsning av antalet PIA som ger exempelvis minskad kapitalbindning, minskat antal omarbete och större hänsyn till störningar i produktionen (Hopp & Spearman, 2008). Det blir ingen *explosion av PIA* som kan hända i ett push-system som blint följer produktionsplanen (Hopp & Spearman, 2008). Med en explosion av PIA menas att nivån av produkter i arbete ökar konstant över en längre tid. Ökad kvalitet beror på att det är lättare att finna störningar och problem då antalet PIA är färre (Hopp & Spearman, 2008). Minskad variation i produktionen beror av att antalet produkter i arbete är få vilket gör att cykeltiden också minskar helt enligt *Littles lag* (se avsnitt 3.4.2 för en närmare beskrivning av Littles lag) (Hopp & Spearman, 2008). Ökad flexibilitet är ett resultat eftersom ett pull-system endast skickar, eller drar, enheter först när operationen är klar och på sätt minskar cykeltiden och ökar flexibiliteten (Hopp & Spearman, 2008).

3.3 Planering

För att kunna skapa effektivt materialflöde är planeringen en essentiell del, för detta krävs en förståelse för vad planering innebär. Enligt McKay & Wiers (1999) är planering *en resursallokering under en viss tidsperiod med syfte att utföra ett antal uppgifter*. Med detta menar författarna sekvensering av operationerna samt hur lång tid varje operation ska ta för att utföra en viss uppgift. Däremot

Meyr m.fl. (2005) har en bredare uppfattning av vad planering innebär. De menar att planering dels innefattar ovanstående definition men inkluderar även andra egenskaper som *analys av beslut, definitioner av mål, prognostisering*, strävandet efter att *finna lösningar* på problem och *välja det bästa alternativet*. Beroende på planeringshorisont och inverkan från ett visst beslut brukar planeringen delas in i tre kategorier (Meyr m.fl. 2005):

Långsiktig planering Besluten som fattas kallas för *strategiska beslut* och innefattar ofta hela förädlingskedjan. Planeringshorisonten är ofta flera år framåt. Det finns flera *filosofier* vars syfte är att effektivisera eller förbättra organisationens processer (Nave, 2002). Dessa filosofier är långsiktiga och är av strategisk karaktär. Eftersom dessa filosofier har olika fokus påverkas den medel- och kortsiktiga planering beroende på vilket synsätt företaget tillämpar. Ett exempel i Tabell 14 visar på tre vanliga filosofier med olika syften.

Tabell 14 - Jämförelse av olika förbättringsprogram. Omarbetad efter Nave (2002) s. 77.

Filosofi	Sex Sigma	Lean-tillverkning	Teorin om begränsningar
Koncept	Reducera variation.	Ta bort slöseri.	Kontrollera flaskhalsar.
Fokus	Problemfokuserad.	Flödesfokuserad.	Systembegränsningar.
Utgångspunkt	Det finns ett problem. Systemets output förbättras om variationen i alla processer är minimal.	Reducering av slöseri är bra för företagets prestation. Många små förbättringar är bättre än system-analyser.	Tyngdpunkt på snabbhet och volym, utgår ifrån nuvarande system och olika processers ömsesidiga beroende av varandra.
Primäreffekt	Enhetlig process-output.	Reducerad total processtid.	Snabb taktid.
Sekundäreffekt	Mindre slöseri, snabbare taktid, mindre lager, fokus på fluktuationer, förbättra produktkvalitet-	Mindre variation, enhetlig output, mindre lager, fokus på flöde, förbättrad produktkvalitet.	Mindre lager och slöseri, förbättrad kvalitet, fokus på taktid.

Dessa strategier påverkar den långsiktiga planeringen vilken i sin tur har inflytande över medel- och kortsiktig planering och därför är det fördelaktigt

att ta hänsyn till verksamhetens strategiska utgångspunkt. De förbättringsprogram som Nave (2002) nämner sammanfattas i Tabell 14 med karaktäristiska drag och dess effekter.

Medelsiktig planering Inom ramen för de strategiska besluten fattas mer specifika planer hur flödet och resurserna ska användas för att nå de strategiska målen (Meyr m.fl., 2005). Planeringshorisonten ligger mellan sex till tjugofyra månader. Den medelfristiga planeringen fokuserar på att tillverka en produktionsplan, en Master Production Scheduling (MPS), utifrån den medelfristiga prognostiseringen. Denna används sedan som utgångspunkt vid distributions-, kapacitets- samt personalplaneringen vilka alla är typiskt för medelsiktig tidshorisont (Meyr m.fl., 2005).

Kortsiktig planering Den lägsta planeringsnivån ska ange verksamheten detaljerade anvisningar hur aktiviteterna ska verkställas och kontrolleras (Meyr m.fl., 2005). Därför har denna typ av planering störst noggrannhet och detaljrikedom. Kortsiktig planering arbetar inom ramen för lång- och medelsiktig planering men är en viktig faktor då det faktiska utförandet är beskrivet. Enligt Meyr m.fl. (2005) ligger planeringshorisonten från någon dag till tre månader. Vanliga arbetsmoment inom kortsiktig planering är transportplanering, partistorlekar, maskinscheman samt planering för verkstadsgolvet (Meyr m.fl., 2005).

Medelsiktig planering kallas även för *taktisk planering*, medelsiktig tillsammans med kortsiktig benämns även som *operationell planering* (Meyr m.fl., 2005).

Mattsson (1999) har dock en något annorlunda klassificering av planeringen. Han kallar sin kategorisering för planeringsnivåer och största skillnaden ligger i att han har fyra nivåer istället för Meyr m.fl. (2005) som "bara" har tre stycken. Se Tabell 15 för Mattssons (1999) planeringsnivåer.

Tabell 15 - Olika kategorisering för planering. Källa: Mattsson (1999) s. 48.

Funktion	Planeringsobjekt	Horisont	Periodlängd	Omplanering
<i>Sälj- och verksamhetsplanering (Strategisk)</i>	Produktgrupp	1-2 år	Kvartal/ månad	Kvartalsvis/ månadsvis
<i>Huvudplaneringen (Taktisk)</i>	Produkt	0,5-1 år	Månad/ vecka	Månadsvis/ veckovis
<i>Orderplanering (Operativ)</i>	Artikel	1-6 månader	Vecka/dag	Veckovis/ dagligen
<i>Detaljplanering (Verkställande)</i>	Operation	1-4 veckor	Dag/timme	Dagligen

Gemensamt för båda kategoriseringarna är ju kortare planeringshorisont desto mer ökar detaljnivån på planeringen. Enligt Mattsson (1999) sker planeringen genom prioriteringsplanering (sekvensering) och kapacitetsplanering (resurser). Ju kortare planeringshorisont desto viktigare blir prioriteringsplaneringen och ju längre horisont desto viktigare blir kapacitetsplaneringen.

3.3.1 Arbetsgång vid kort- och medelfristig planeringshorisont

Som tidigare nämnt i avsnitt 1.4 Avgränsning fokuserar studien på kort- och medelfristig planeringshorisont. Enligt Mattsson (1999) har samtliga planeringsnivåer (lång-, medel- och kortsiktig planering) fyra stycken gemensamma principiella frågeställningar:

- Hur stora kvantiteter efterfrågas och när?
- Hur mycket finns tillgängligt att leverera?
- Hur stora kvantiteter måste tillverkas och när?
- Vilken kapacitet för att tillverka dessa kvantiteter krävs?

Enligt Mattsson (1999) beskriver ovanstående frågeställning grunden vid prioriterings- och kapacitetsplanering. Prioritetsplaneringen beskriver vad som ska tillverkas och i vilken ordning det ska levereras. Kapacitetsplanering innefattar att fastställa vilken kapacitet som krävs för att kunna producera de kvantiteter som behövs samt vilken kapacitet som organisationen förfogar över (Mattsson, 1999). McKay & Wiers (1999) har en något vidare syn på vilken input som krävs för planeringen. För det första utgår författarna från tre olika perspektiv vid planering: *problemet*, *processen* och *organisationen*. Det går att hårdraget översätta deras perspektiv som motsvarigheten till följande

motsvarigheter: operativ-problem, taktisk-process samt strategisk-organisation. Enligt McKay & Wiers (1999) använder planeraren input i Tabell 16 för att schemalägga vid process och problem (taktisk och operativ planering).

Tabell 16 - Input av information i planeringsprocessen. Källa: omarbetad från McKay & Wiers (1999) s. 247-

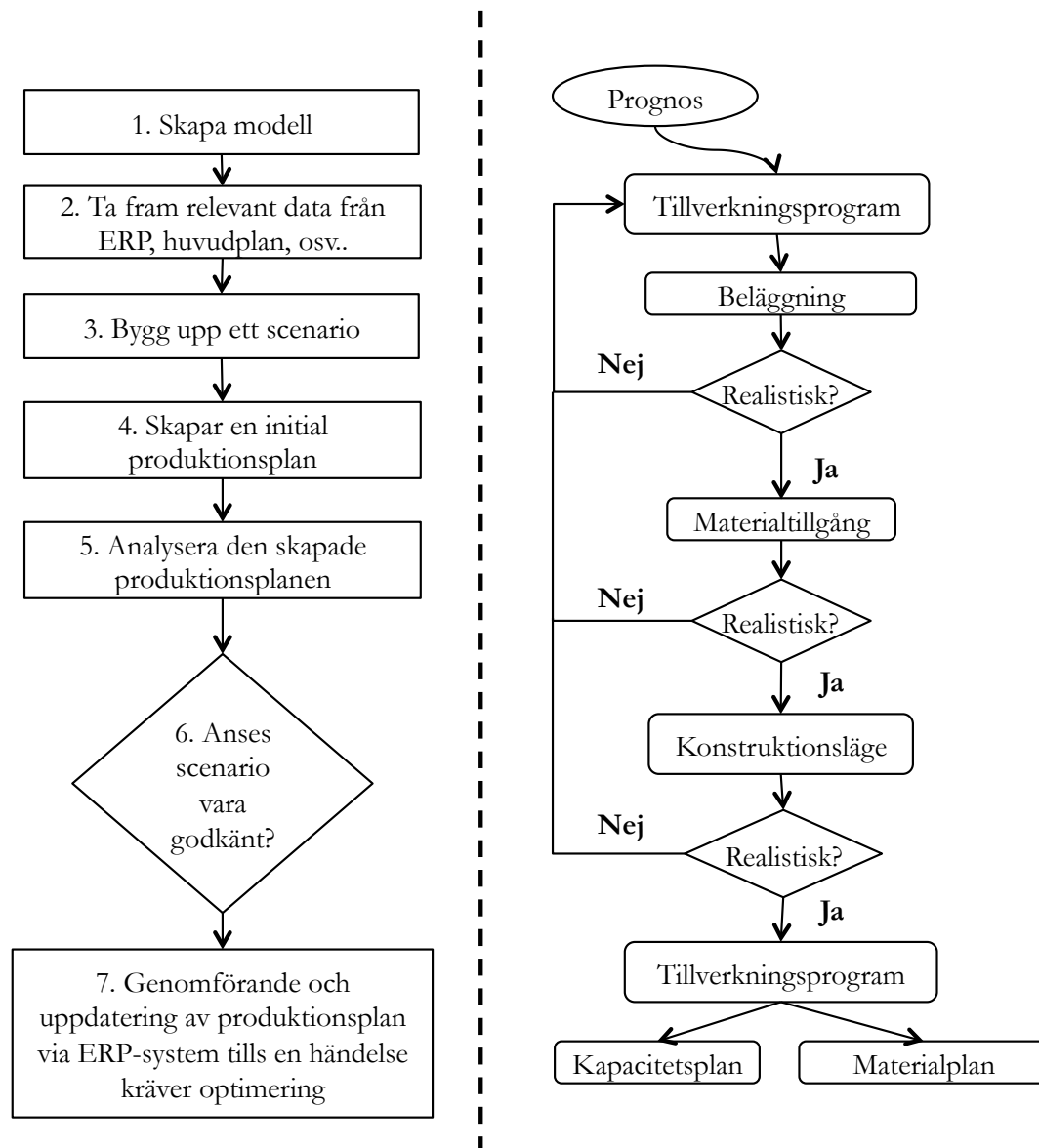
Informationskälla	Input
<i>Människor</i>	Expertis, skicklighet, motivation och så vidare.
<i>Organisation</i>	Mål, tillvägagångssätt, ansvarsområden, rykten, politik och så vidare.
<i>Resurser</i>	Kapacitet, flexibilitet, tillförlitlighet, kostnader, lokalisering, avstånd, underhållsbehov, känslighet och så vidare.
<i>Material</i>	Färdigdatum, förväntad efterfråga, kvalitet, ledtider, processtider, partistorlek, lagernivåer, risker och så vidare.

Mattssons (1999) principiella frågeställning och McKay & Wiers (1999) informationsinput besvarar varandra; frågeställningen vad som är relevant att veta och informationsinputen var informationen kommer ifrån.

Enligt Mattsson (1999) är planeringen en avvägning mellan vad som behövs levereras och vad som kan produceras. Avvägningen är ett hänsynstagande till de resursbegränsningar som finns inom produktionssystemets ramar. Exempel på detta är lager, utgångsmaterial, transportutrustning (Mattsson, 1999). I ett långt perspektiv är i princip alla resursbegränsningar av ekonomisk natur; om planeringshorisonten är tillräckligt lång finns det alltid tillräckligt med tid för att kunna eliminera de begränsningar som resurserna har (Mattsson, 1999). Ju längre planeringshorisont desto viktigare blir kapacitetsplaneringen enligt Mattsson (1999).

Vidare menar Mattsson (1999) finns det principiellt två tillvägagångssätt vid planering: först materialhänsyn sedan kapacitetshänsyn eller först kapacitetshänsyn sedan materialhänsyn. Vid planering av först materialhänsyn sedan kapacitetshänsyn planeras materialflödet efter efterfrågan utan någon hänsyn till kapacitetsstillgången. I nästa steg undersöks kapacitetsbehovet utifrån materialplaneringen och om kapacitetsbehovet

överstiger det organisationen förfogar över måste materialflödena justeras baserat på simuleringsanalyser och (eller) erfarenhetsmässiga bedömningar (Mattsson, 1999). Vid planering med kapacitetshänsyn först utgår planeraren ifrån resursernas begränsning för att utifrån dessa bestämma en realistisk materialplan (Mattsson, 1999). I Figur 9 visas två tillvägagångssätt vid produktionsplanering. Den vänstra sidan visar en mer tidskrävande metod som innebär skapandet av en modell över produktionsapparaten.



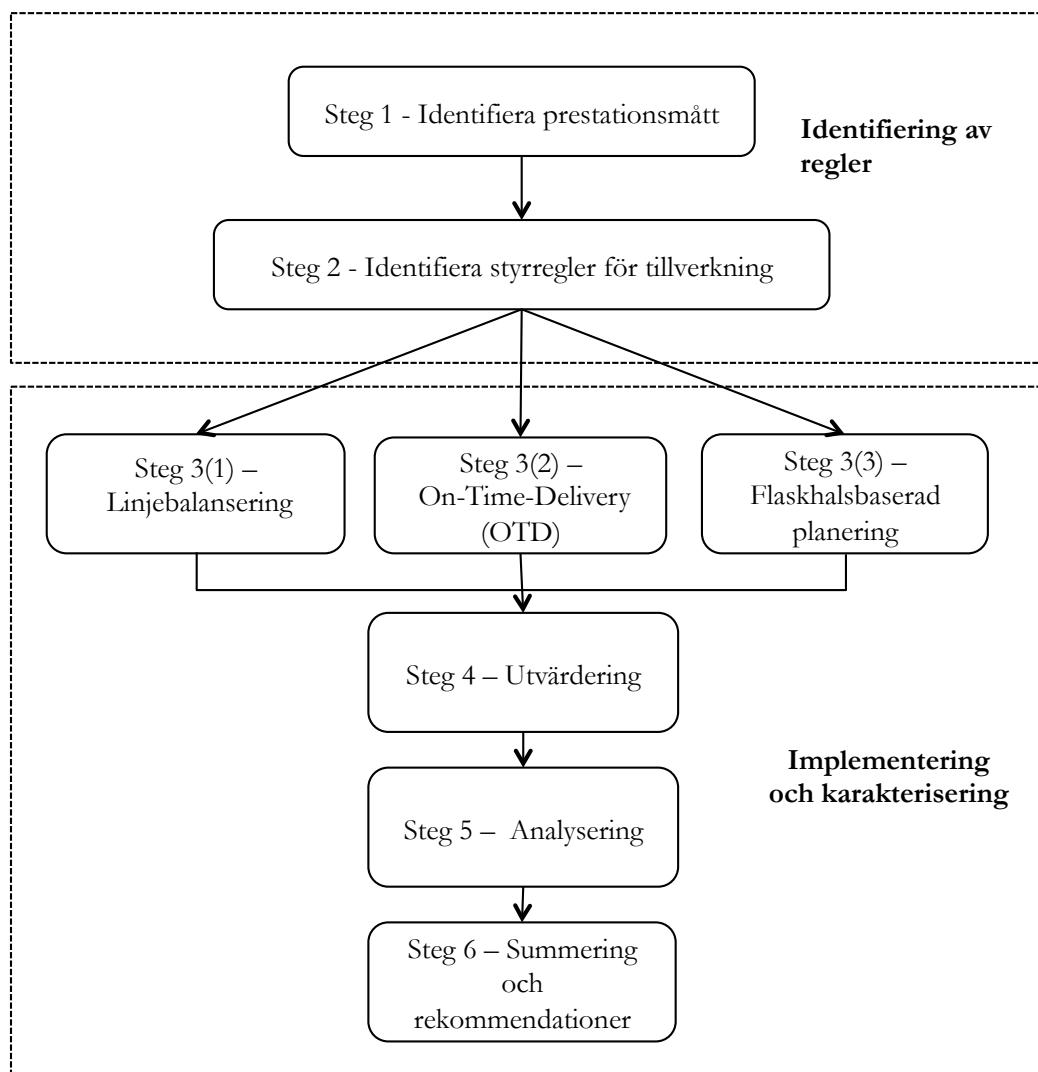
Figur 9 Planeringsgång för produktionsplanering, två olika tillvägagångssätt. Omarbetad från Segerstedt (2008) s. 68 samt Stadtler (2005) s. 200.

Beroende på detaljgrad kan modellen innehålla avstånd mellan aktiviteter, materialplaner, färdigdatum och så vidare (Stadtler, 2005). När modellen är klar synkas den med ERP:n (Enterprise Resource Planning, resursplan på svenska), huvudplan samt förväntad eller reell efterfråga (Stadtler, 2005). Vidare produceras ett sannolikt scenario eftersom resurserna kan vara flexibla, exempelvis att olika operatörer klarar flera arbetsuppgifter, vilket medför att

resurserna kan användas på flera olika sätt. Därefter skapas en initial produktionsplan som sedan ska analyseras och godkännas. När detta är klart följer steg 7 i figuren vilket kan tolkas som kontinuerlig uppföljning av produktionsplanen (Stadtler, 2005).

3.4 Utformning av styrregler för effektiv materialflöde

Enligt Chen & Cochran (2005) innebär en produktionsmiljö som karakteriseras av långa cykeltider, fluktuerande efterfråga, komplex produktion och skiftande nivåer av PIA att det krävs en bra kortsiktig planering. De kortsiktiga planerna kan med fördel använda sig av *tumregler*, eller *styrregler*, för att generera effektivare produktionsplaner (Chen & Cochran, 2005). Eftersom dagens produktionsmiljöer ofta är dynamiska innebär det att styrreglerna måste utarbetas dynamiskt, det vill säga ingen enskild styrregel är optimal utan varje regel måste utarbetas utifrån varje enskilt fall. I Figur 10 presenterar Chen & Cochran (2005) ett tillvägagångssätt för att utforma effektiva styrregler vilket presenterar närmare i följande underrubriker.



Figur 10 - Tillvägagångssätt för utarbetande av styrregler. Källa: Chen & Cochran (2005) s. 342.

3.4.1 Steg 1 - Identifiering av prestationsmått

Enligt Chen & Cochran (2005) är *effektiv PIA*, *On-time delivery (OTD)* och *Bottleneck loading* (flaskhalsbelastning) viktigaste prestationsmått baserat på deras erfarenhet och litteraturstudie. Framförallt effektiv PIA och OTD är de vanligaste prestationsmått i verkligheten men Chen & Cochran (2005) har valt att lägga till flaskhalsbelastning vid tillfällen då produktionen är komplex och då begränsningar i exempelvis verktyg kan ha stor inverkan på taktiden. Effektiv PIA ($PIA_{effektiv}$) beräknas som följande:

$$PIA_{effektiv} = \frac{\sum_i PIA - \sum_i (PIA_i - PIA \text{ Mål}_i)}{\sum_i PIA}$$

Där i är antalet operationer. Måttet visar avvikelser från målet och visar vid varje operation hur stor avvikelsen är. $PIA_{effektiv}$ har ett idealvärde på 1, d.v.s. att PIA-nivåerna överensstämmer med målet till 100 %.

OTD är ett mått som visar hur många operationer som är utförda i tid i förhållande till hur många operationer totalt som är utförda. Detta beräknas som följande:

$$OTD = \frac{o}{o + e + l}$$

Där o är antalet operationer utförda i tid, e är antalet för tidigt utförda operationer och l är antal operationer som är sena. Än en gång är ideala OTD-värdet 1, det vill säga att 100 % av alla operationer utförs i utsatt tid.

Flaskhals har tidigare definierats som en operation eller del i systemet som har högst nyttjandegrad och på så vis begränsar taktiden. Därför är det fördel om flaskhalsen inte står stilla utan att nyttjandegraden är närmare 100 % (Chen & Cochran, 2005). Flaskhalsbelastningen kan undersökas genom att jämföra det förväntade PIA som ska anlända i förhållande till flaskhalsens teoretiska kapacitet under en fördefinierad tidsperiod:

$$Flaskhalsbelastning (BL) = \frac{\sum_i \sum_j h_{ij}}{K}$$

Där h_{ij} är de nödvändiga produktionstimmar i flaskhalsen som behövs för den förväntade inleveransen av PIA under en fördefinierad tidsperiod. K är den teoretiska kapaciteten angiven i timmar för flaskhalsen. Enligt Chen &

Cochran (2005) är det viktigt att använda detta verktyg enbart under längre tidsperioder då det tenderar att bli missvisande på kort sikt.

3.4.2 Steg 2 - Identifiera styrregler för tillverkningen.

Enligt Chen & Cochran (2005) de vanligaste styrreglerna relaterade till linjebalansering, *On-time delivery* samt *nyttjandegrad hos flaskhalsar*. De styrregler, enligt Chen & Cochran (2005), som förknippas med linjebalansering bygger på Littles lag:

$$PIA = Takt (TH) \times Cykeltid (CT)$$

Med *takt* menas hur många enheter som systemet producerar per tidsenhet⁵. Med hjälp av Littles lag kan ett målvärde för PIA beräknas. Detta genom att erforderad takt kan beräknas utifrån förväntad efterfrågan och tillgänglig tid samt att genomsnittlig cykeltid kan uppskattas (Chen & Cochran, 2005). Dock understryker Hopp (2008) att Littles lag bara är tillämpbar på lång sikt samt att processen måste vara stabil för att formeln ska gälla. Med stabil process menar han att ingen systematisk trend får förekomma under datainsamlingen, exempelvis konstant ökning av PIA, ökad takt och så vidare. Det går även att använda Littles lag till att utgå ifrån en önskvärd nivå av PIA och önskad takt för att sedan beräkna ett målvärde för cykeltiden. Ett mått som Hopp (2008) använder är *kritisk PIA* och bestämmer den nivå av PIA som når maximal takt och minimal cykeltid. Denna beräknas som följande:

$$Kritisk PIA = Flaskhalstakt (r_b) \times Minimal cykeltid (T_0)$$

En metod för att nå ett visst målvärde för PIA är *CONWIP*. CONWIP, eller konstant PIA som det heter på svenska, bygger på att ett konstant PIA eftersträvas inom produktionen (Hopp, 2008). Då mycket PIA leder till långa genomloppstider med stora variationer är det av stort intresse att eftersträva en minskning av PIA. CONWIP går ut på att skapa ett pull-flöde genom systemet; först när en enhet är färdig i systemets sista operation påbörjas en ny i systemets första operation (Hopp & Spearman, 2008).

Kanban är ytterligare en väletablerad metod för att minska risken för ett högt PIA och är nära relaterad till CONWIP (Hopp, 2008). Kanban fungerar att när enhet är klar i en operation, vilken som helst, skickas en signal till lagret före

⁵ Kan jämföras med *takttid*. Skillnaden är att takttid är ett tidsbegrepp och takt ett förhållande. Takt är den inverterade takttiden; om en enhet produceras med takttiden 3 minuter blir takten 1/3 enheter per minut.

operationen att påbörja en ny enhet. Detta skapar ett dragande flöde vid varje operation och signalerna brukar traditionellt skickas med ett så kallat Kanban-kort (Hopp & Spearman, 2008). Kanban-korten ger en klar och lättöverskådlig blick över lagersaldo och behov. Då CONWIP innefattar hela processen, eller systemet, är den både enklare att implementera samt ett mer effektivt verktyg för en PIA-begränsning inom processen kontra vad Kanban är (Segerstedt, 2011). Enligt Hopp & Spearman (2008) är det vanligt att ett Kanban-systemet tillverkar enligt *make-to-stock*, det vill säga produktion mot lager och därmed blir ledtiden relativt kort då produkten redan är klar då kundorder inkommer. Däremot bibehåller ett CONWIP-system flexibilitet genom att inte producera mot lager vilket medför att ledtiden blir något längre vid CONWIP-system än vid Kanban (Hopp & Spearman, 2008). Vidare anser Segerstedt (2011) att placeringen av buffertar inom processen automatiskt faller ut vid användning av CONWIP. Den främsta anledningen till att använda sig av CONWIP, och därmed ett pull-flöde, är att den är mindre känslig för felaktigheter i PIA-nivåerna än ett fullständigt push-flöde (Hopp & Spearman, 2008).

Styrregler kopplade till OTD fokuserar på tider för färdigställande. Det finns ett flertal regler kopplade till detta bland annat *tidigast färdigdatum* (*earliest due date*, EDD) som innebär att prioritera operationer med tidigast färdigdatum (Nahmias, 2009). Övriga styrregler baserade på OTD är *kritiskt ratio* (CR) där ett ratio beräknas mellan tid kvar till färdigdatum och processtid samt *minsta slacktid* (LST) där prioriteringen görs efter hur mycket tid det är kvar mellan att färdigställa produkten och slutdatum (Nahmias, 2009).

Flaskhalsbaserade styrregler går ut på att få maximal nyttjandegrad på flaskhalsen eller flaskhalsarna (Chen & Cochran, 2005). Detta genom noggrann planering så att övriga operationer i flödet inte skapar stillestånd för flaskhalsen.

3.4.3 Steg 3 – Utforma planer baserade på styrreglerna.

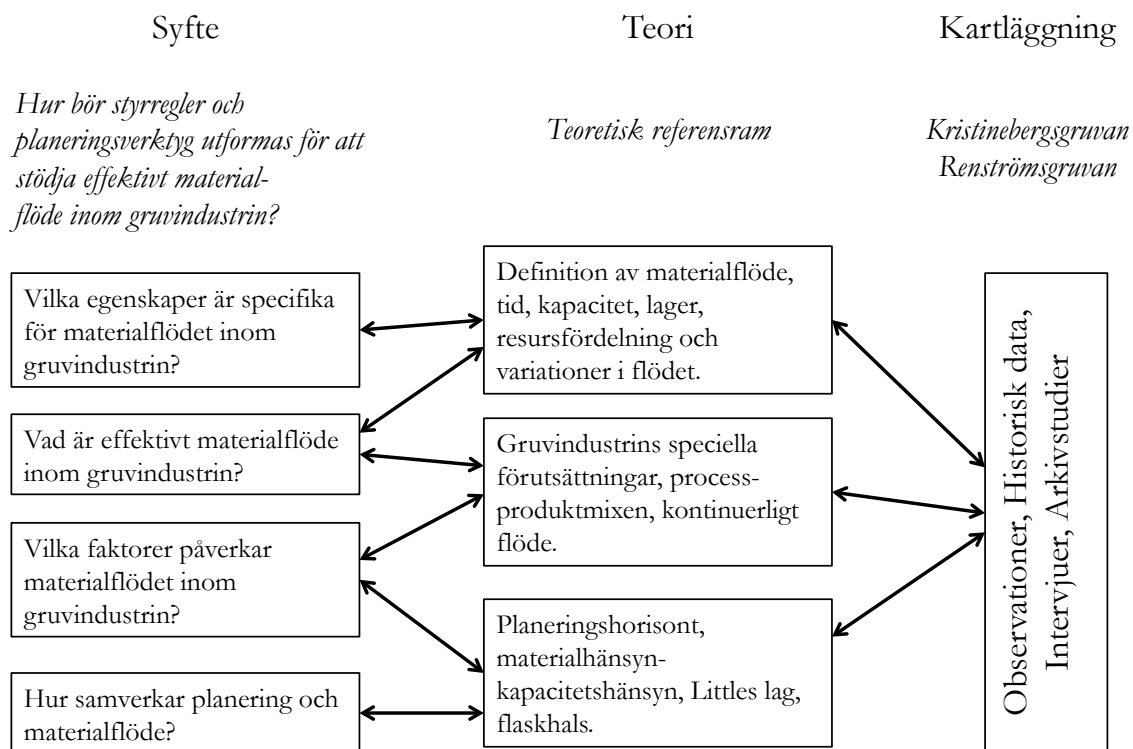
Enligt Chen & Cochran (2005) innebär steg 3 att en produktionsplan upprättas med en bas i styrreglerna. De menar att planerna är då inriktade efter antingen linjebalanserings-, OTD eller flaskhalsbaserade strategier. Planerna utförs och dessutom sker kontinuerlig uppföljning av nyckeltalen för de olika styrreglerna. Exempel på detta är att PIA-nivåerna jämförs mot målvärdet för PIA i olika operationer; differensen beräknas och en kumulativ differens räknas ut parallellt för att undersöka om det finns trender i avvikelserna.

3.4.4 Steg 4 till 6 – Utvärdering, analysering och rekommendation

Steg 4 är att utvärdera planerna utifrån prestationsmåten som identifierades i steg 1, om det finns ackumulerade fel i planerna eller att styrreglerna inte lämpar sig för verksamheten. Steg 5 blir att analysera styrreglerna effektivitet genom att upprepa steg 3 och 4 för olika situationer. Dessutom kan alla tre typer av styrregler utvärderas och analyseras för att se vilken som ger bästa resultat (Chen & Cochran, 2005). Enligt Chen & Cochran (2005) är det fördelaktigt att göra känslighetsanalyser utifrån de olika styrreglerna och affärsstrategiska mål, exempelvis olika nivåer på PIA och dess påverkan på flaskhalsbeläggningen. I Chen & Cochrans (2005) egna studie använder de sig av känslighetsanalys för att utvärdera de olika prestationerna för styrreglerna. Avslutande steg 6 blir att summera och rekommendera vilken typ av styrregel som lämpar sig bäst, hur den ska användas och när den ska användas. I Chen & Cochrans (2005) studie kom de fram till att för effektiv PIA är linjebalansering mest optimal, för leveranser i tid är OTD bäst och för utnyttjande av flaskhalsar är flaskhalsbeläggnings-regler mest effektiv.

3.5 Kapitelsammanfattning referensram

Vid sammanfattning av detta teoriavsnitt används Figur 11 som utgångspunkt.



Figur 11 - Teoretisk referensmodell.

Teorin ska med hjälp av en kartläggning av en fallstudie samt en benchmarking ligga till grund för att kunna besvara syftet med studien. Genom förståelsen vad materialflöde, effektivt materialflöde och buffertar i materialflöde är kan detta kombineras information från kartläggningen för att besvara de olika forskningsfrågorna. Materialflöde är nära förknippat med termen logistik och innefattar samordningen av resurser för att skapa ett flöde genom produktionen. Exakt vad effektivt materialflöde definieras som måste varje enskild organisation bestämma men mer generellt handlar det om hur företaget utnyttjar sina kapitalinvesteringar; enligt Bjørnland m.fl. (2003) handlar effektiviteten att reducera kostnaderna och att öka intäkterna genom förbättrad leveransservice. Det är svårt att samtidigt uppnå högt kapacitetsutnyttjande, hög flexibilitet och låga tillverkningskostnader. Därför måste en avvägning göras mellan resursutnyttjning, kapitalbindning och leveransservice. Materialflödet kräver dock någon form av buffertar eftersom det alltid uppstår någon form av variation. Buffertarna finns antingen i form av tid, lager eller kapacitet.

Gruvindustrin brukar kategoriseras under processindustrin. Detta innebär gruvindustrin karaktäriseras av höga produktionsvolymerna och hög standardisering av produkterna. Andra karaktäristiska drag är kontinuerligt produktionsflöde vilket gör att det inte finns naturliga partier, produkten kan byta tillstånd vilket medför att det inte finns naturliga enheter. Det uppstår olika flödes ordning bland materialet som gör att det kan komma ut från systemet i olika ordning, det är lågt adderat värde till produkten vilket gör att det är stor känslighet för kostnadsökningar samt att produktionen segregeras vilket gör att flödet beror på produktens fysiska egenskaper.

Planering är enligt McKay & Wiers (1999) *"en resursallokering under en viss tidsperiod med syfte att utföra ett antal uppgifter"*. Med andra ord en sekvensering av operationerna samt en uppskattning hur lång tid varje operation ska ta för att utföra en viss uppgift. Vid planering finns det i huvudsak tre typer av tidshorisonter: kort-, medel- och långfristig sikt. Ju kortare tidshorisonten är på planeringen desto mer detaljerad blir den. Det finns två principiella tillvägagångssätt vid planering, antingen att först undersöka materialhänsyn och sedan göra en kapacitetsbedömning eller vice versa. Planeringen kan med fördel göras i kombination med upprättandet av styrregler. Skapandet av styrregler utgår ifrån någon form av prestationsmätt som ska överensstämja med den långsiktiga planeringen. Därefter finns det tre huvudtyper av styrregler: linjebalansering, on-time-delivery och flaskhalsbaserade. Dessa implementeras och analyseras utifrån de förutbestämda prestationsmåten.

4 Företagspresentation

Detta avsnitt avser att ge läsaren en kännedom kring Boliden Mineral AB, vilket är det företag som driver Kristinebergsgruvan. Avsnittet börjar med att beskriva Boliden som koncern för att sedan belysa Bolidenområdet.

4.1 Koncernbeskrivning Boliden Mineral AB

Boliden Mineral AB (härefter benämnt Boliden) är ett nordiskt mineralföretag som verkar på en global marknad. Företaget har verksamhet i Sverige, Norge, Finland, Danmark, Tyskland och Irland (Boliden AB, 2011). Boliden har runt 4400 anställda, en omsättning på ungefär 36,7 miljarder kronor och ett rörelseresultat på 5,6 miljarder kronor under 2010 (Boliden AB, 2011). De metaller som huvudsakligen bryts är zink och koppar, men även andra metaller så som bly, guld samt silver är metaller som Boliden producerar och som har stor betydelse för företagets lönsamhet (Boliden AB, 2011). Kunderna är framförallt industrier såsom stålföretag och tillverkare av halvfabrikat, exempelvis valsar, koppartråd och stänger. Förutom metaller säljer Boliden även restprodukten svavelsyra till olika industriella användningsområden. Nedan i Figur 12 visas en överblick av Bolidens verksamhet och var anläggningarna är placerade.



Figur 12 - Överblick av Bolidens verksamhet. Källa: Bolidens årsrapport (2010).

Boliden uttrycker sin affärsidé som följande: ”Vår affärsidé är att utvinna mineraler och producera högkvalitativa metaller på ett kostnadseffektivt och miljöanpassat sätt för att långsiktigt möta marknadens metallefterfrågan och därigenom skapa värde för Bolidens aktieägare.” (Boliden AB, 2011).

4.2 Affärsmodell och produkter

Organisationens affärsmodell kan delas upp i fyra olika delar: prospektering, gruvor, smältverk och kunder. *Prospektering* innebär identifierandet av nya mineraltillgångar som redan är eller kan utvecklas till malmreserver. Prospekteringen sker dels i närheten av befintliga gruvor för att undersöka om gruvans livslängd kan förlängas men även i nya områden för att utöka ”gruvportföljen”⁶.

Gruvor bryter malm i dagbrott och underjordsgruvor för att sedan transportera detta till områdets anrikningsverk. Där anrikas malmen till ett koncentrat som antingen säljs till externa kunder eller skickas vidare till något av koncernens smältverk för ytterligare förädling. Det är endast en mindre volym av koncentraten som säljs externt, större delen zinkkoncentrat (70 %) och i princip allt kopparkoncentrat vidareförädlas i egna smältverk (Boliden, 2012). Bolidens gruvor har internationellt sett relativt höga metallhalter med Aitik (dagbrott nära Gällivare) som undantag (Boliden AB, 2011). Därför ligger metallhalterna i koncentraten från anrikningsverken i snitt på cirka 54 procent för zink och cirka 30 procent för koppar.

Smältverk vidareförädlar råmaterial till metaller med hög renhet. Försörjningen till smältverken sker dels genom egna gruvor men eftersom smältverken har högre kapacitet köper Boliden in koncentrat från externa leverantörer och satsar även på att återvinna elektronikskrot (Boliden AB, 2011). Organisationens egna gruvor täcker cirka 25 procent av smältverkens kopparbehov och ungefär 70 procent av zinkbehovet. *Kund* har redan berörts i föregående avsnitt (4.1).

Basmetallerna⁷ som Boliden säljer är huvudsakligen standardiserade produkter som prissätts efter en global tillgång och efterfråga. Dock sker största delen av försäljningen regionalt på grund av höga transportkostnader. Det är egentligen endast zinkförsäljningen från Bolidens sida som är i någon form differentierad; detta eftersom företaget utvecklat zinklegeringar som är anpassade efter enskilda kunders processer.

4.3 Bolidenområdet

Bolidenområdet är en beteckning för de gruvor som ligger i det mineralrika Skellefteåfältet (Boliden, 2012). Boliden har idag verksamhet i fem gruvor i

⁶ Benämns *produktportfölj* i andra branscher.

⁷ Basmetall är en sammanfattande benämning på metallerna bly, koppar, zink och tenn. (NE, 2012j)

området, två dagbrott i Maurliden och Maurliden Östra samt tre underjordsgruvor i Renström, Kristineberg och Kankberg. Malmen som bryts i området är så kallad *komplexmalm*. Med *komplexmalm* menas malm som innehåller flera basmetaller och har en komplicerad kemisk och mineralogisk sammansättning vilket kan leda till problem vid metallutvinningen (NE, 2012k). Genom åren har Boliden öppnat och drivit nära 30 gruvor i området.

5 Fallstudieobjekt

Detta kapitel presenterar fallstudieobjektet; Boliden Mineral AB:s gruva i Kristineberg. Kapitlet börjar med en allmän beskrivning över nuläget, hur processerna ser ut och numeriska data kring nyckeltal. Kapitlet bygger på intervjuer, arkivstudier och observationer.

5.1 Historik Kristinebergsgruvan

Bolidens gruva i Kristineberg är den äldsta aktiva gruvan inom Bolidenområdet (Bolidens intranät). Brytning har skett i gruvan från 1940 och har ungefär idag en brytning på ca 680 000 ton malm årligen. Kristinebergsgruvan har runt 200 anställda och sysselsätter ytterligare 50 stycken via olika entreprenader. Den malm som bryts vid Kristinebergsgruvan kan delas upp i två delar: komplex- (innehåller en blandning av zink, koppar, bly, silver) och guldalm. Brytningen skedde till en början som dagbrottsbrytning men övergick till att bli underjordsbrytning under 60-talet. I dagsläget sker brytningen på ner till 1315 meters djup vilket gör den till Sveriges näst djupaste gruva sett till brytningsnivå (Bolidens intranät).



Figur 13 Kristinebergsgruvan

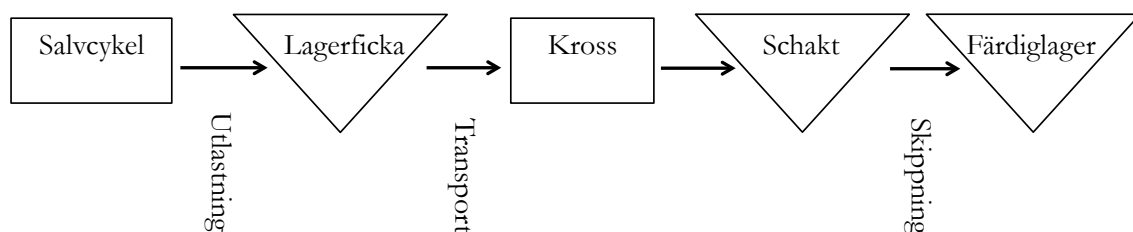
5.2 Avgränsning för fallstudieobjektet

I denna studie ligger fokus på flödet från *brytning* till *uppfodring* av materialet ur gruva. Med andra ord beaktas inte logistiken rörande transport till och från anrikningsverk. Detta förefaller ganska naturligt då Kristinebergsgruvans färdiglager "ägs" av anrikningsverket i Boliden. Denna avgränsning underlättar även en intern benchmarking då liknande förutsättningar gäller för andra gruvor. Rekommendation till utformning av planeringsverktygen och styrreglerna kommer att i senare avsnitt presenteras men hur de ska implementeras i enskilda verksamheter kommer däremot inte behandlas.

5.3 Produktion och materialflöde

Kristineberg står inför en produktionsökning vilket medför en ökad materialhantering. Dock förutspår planeringen att andelen gråbergshantering troligtvis inte ökar lika mycket som andelen malmhanteringen. Gruvan i Kristineberg är en underjordsgruva med i huvudsak två malmtyper. Den ena är komplexmalm där huvudmetallen är zink alternativt koppar (metallpriser och halter avgör detta) och den andra är en malm med huvudmetall i form av guld. Brytningen av malmen sker i flera produktionsfronter, eller *gavlar* som det kallas med fackterm. I gruvan finns det i genomsnitt 18 aktiva gavlar åt gången varav målsättningen är 11 malmgavlar och resten är gråbergsgavlar för tillredning. *Gråberg* är ett annat ord som kommer att förekomma, det är benämningen på icke ekonomiskt berg och kan förklaras som motsatsen till malm. *Tillredning* är en benämning för tunneldrivning⁸ genom gråberg med syfte att exempelvis nå en malmkropp eller bygga utrymme för ventilation.

Materialflödet kan skilja mellan gråberg och malm men eftersom malmen är av högre prioritet är det mer pedagogiskt att visa hur materialflödet av malm ser ut. Se Figur 14 för en principbeskrivning över materialflödet vid transport av malm (och även till viss del gråberg).



Figur 14 Principbeskrivning över materialflödet av malm

⁸ Tunneln kallas för *ort* om den inte är i kontakt med dagen.

I Figur 14 börjar produktionen med en salvcykel, se avsnitt 5.3.2 för definition och förklaring vad en salvcykel är.

Utlastning

Materialet (malmen eller gråberget) lastas ut av en specialbyggd lastmaskin (Toro-maskin⁹) från gavel till lastficka, även kallad lagerficka. En *lagerficka* är en 15 meter lång ort i berget med syfte att kunna lagra material i väntan på lastning och transport till kross. Ibland används även andra utrymmen som lagringsutrymmen och kan därför också ha benämningen lastficka, dessa kan dock ha varierande utseende och storlek. Materialet lastas av en "normal" lastmaskin (hjullastare) till lastbilar. Varje lastbil tar maximalt 30 ton malm eller 26 ton gråberg. Anledningen till att mängden gråberg är mindre beror på att malmen har högre densitet och att flaket på lastbilen inte har tillräcklig volym för att klara av mer än 26 ton gråberg.

Kross

Materialet transporteras från lastfickorna (kan vara från djup uppemot 1300 meter under marknivån) till en kross på 620 meters nivå. Denna maskin krossar malmen eller gråberget till mindre storlek. Sedan sorteras malmen (eller gråberg om ett schakt är ledigt) efter om det är E-malm (benämningen på guldmalmen) eller zinkmalm.

Schakt

Ett schakt är en lutande eller vertikal gång som i detta fall har syfte att fungera som lagringsplats. Huvudschaktet går ned till nivå 790 meter. I schaktet måste minst en volym på 6000 ton ligga. Annars skapas för stort tomrum i schaktet som på grund av bergtrycket kommer att tryckas ihop, alternativt rasa in från sidorna. Maximalt får 9000 ton material ligga i schaktet vilket gör att den reella lagervolymen är 3000 ton. Materialet i schaktet kommer så småningom att skippas upp till *dagen* (marknivån).

Skippning

Skipp är en typ av hiss som används för att uppfordra materialet från schaktet. Det är här det skiljer sig beroende på om materialet är malm eller gråberg. Malm skippas upp till 90 meter, därifrån på ett band och vidare på hög för att invänta vidare transport till anrikningsverket i Boliden, se Figur 15. Sista delen på transportbandet är svängbart för att kunna dela upp malmtyperna, upplaget rymmer cirka 25 000 ton. Gråberg skippas också upp till 90 meters

⁹ Specialbyggd lastmaskin som är låg och avlång för att kunna arbeta i utrymmen med lägre takhöjd, lämpar sig inte för lastning på lastbil

nivå och transporteras sedan de sista 90 höjdmeterna med lastbil för att sedan tippas på hög. Det finns två parallella skippar med kapacitet på 9 ton var för sig, dessa kan nå en hastighet på 7 meter per sekund.



Figur 15 - Transportband för malm. Källa: Bolidens intranät.

Det är dock inte allt gråberg som transporteras till kross för skippning. En viss del måste av olika anledningar köras hela vägen till dagen med lastbil för tippning. En av anledningarna till detta är att Kristineberg bara har ett schakt vardera för två olika typer av malm (guld eller zink/koppar) och dessa får inte blandas. Ytterligare anledning är då transportbandet efter krossen står still på grund av exempelvis reparation. Detta är inte helt ovanligt då ett lass gråberg ibland kan vara för finkornigt och åka rakt igenom krossen utan fördröjning; detta skapar för högt tryck på transportbandet och därmed stillestånd. Krossen står dessutom still stor del av tiden vilket skapar ytterligare störningar i flödet. I dagsläget kommer dock brytningen av guldmalmen att tillsvidare avslutas och vilket innebär att schaktet kan användas till gråbergslagring och -transport.

Under slutet av 2010 inrättades en driftcentral med syfte att ur en operativ utgångspunkt styra och följa upp produktionen. Detta sker genom ett gantt-schema där driftcentralen kontrollerar att aktiviteterna sker i rätt ordning, att de påbörjats och för in de utförda aktiviteterna i gantt-schemat.

5.3.1 Skiftesgång

Produktionen sker skiftvis med fyra stycken skiftlag. Se Tabell 17 hur skiftesupplägget ser ut.

Tabell 17 - Skiftesformen i Kristinebergsgruvan

	Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lördag	Söndag
Förmiddag							
<i>Börjar</i>	05.30	05.30	05.30	05.30	05.30	–	–
<i>Slutar</i>	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	–	–
Eftermiddag							
<i>Börjar</i>	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	06.00	06.00
<i>Slutar</i>	23.15	23.15	23.15	23.15	22.00	13.30	13.30
Natt							
<i>Börjar</i>	22.12	22.12	22.12	22.12	–	–	–
<i>Slutar</i>	06.30	06.30	06.30	06.30	–	–	–

Arbetsformen är upplagd så att sprängning ska kunna ske vid matrasterna i matsalen som är belägen på drygt 1000 meters nivå. Matrasterna är 10.00, 18.00 och 02.00 alla dagar och under dessa sker skjutningarna. Därför kallas för dessa tider även för *skjuttider*. Totalt tillgänglig tid som är schemalagd är 5 dygn 15 timmar och 42 minuter. Detta är dock lite missvisande då skiften överlappar varandra på nätterna så den tillgängliga arbetstiden per vecka blir 8 timmar och 12 minuter kortare, det vill säga 5 dygn, 7 timmar och 30 minuter. Detta ger en tillgänglig arbetstid på 75,89 % av en veckas totala antal timmar (5,3125 dygn dividerat på 7 dygn). Då är inte matrasterna exkluderade eller den tid verksamheten står still vid skiftesskarvarna vilket gör att den effektiva tiden sänks ytterligare. Vid en beräkning av den effektiva arbetstiden blir resultatet 4 dygn, 10 timmar och 10 minuter. Villkoren är då att matrasterna och utvädring av giftiga gaser vid skjutning tar i snitt 1 timme och 10 minuter samt att varje skift behöver 10 minuters förberedelse. Detta ger en effektiv arbetstid på 63,19 % av en hel vecka.

Se Bilaga B Skifttider och skiftlagsscheman för en mer detaljerad beskrivning av skiftesgången. Bilagan är Bolidens uppskattning av lunchtider, utvädring och förberedelser. Skiftesbyten ska egentligen ske på maskin vid skiftskarvar som överlappar, detta fungerar dock inte helt friktionsfritt.

Vid sprängning vädras gruvan ur innan de anställda kan återvända till arbetet. Utvädringen tar olika lång tid beroende på hur många salvor som skjuts men

grovt räknat tar det en timme per skjuttid; förmiddagarna något längre då det är fler salvor och natten kortare då det är färre. Vid vissa skift kan det hända att inga salvor skjuts och då är matrasten 30 minuter.

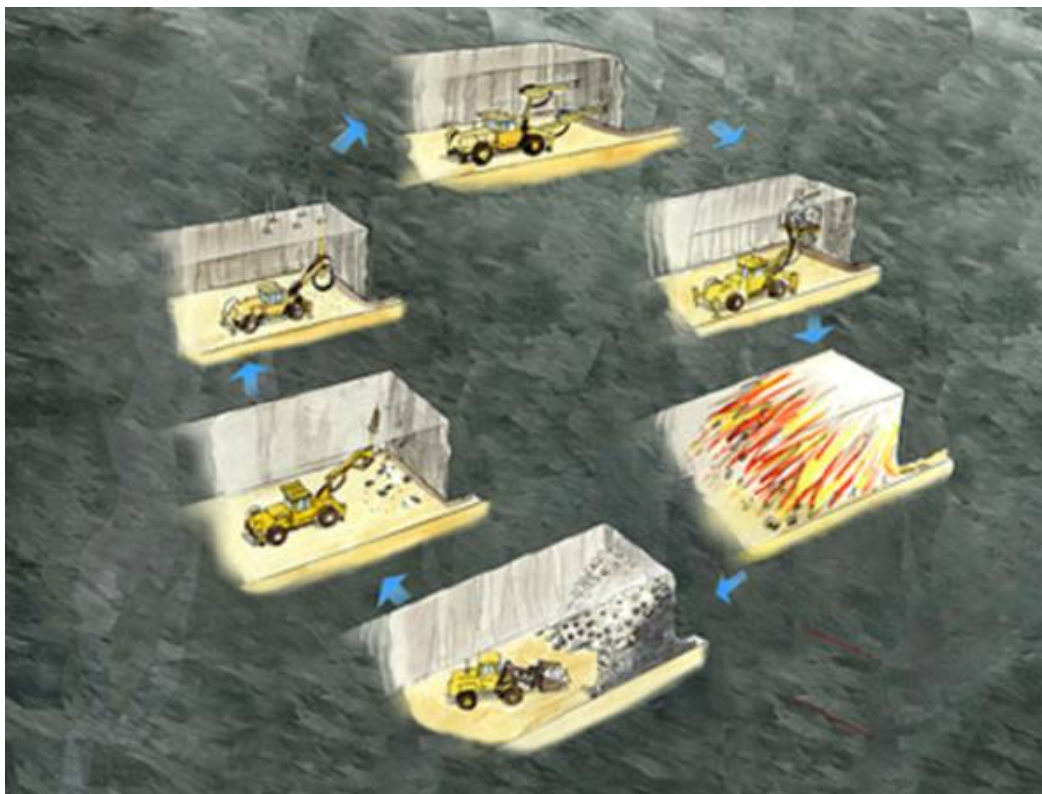
Vid skiftesskarvarna tappar verksamheten också tid då personalhissen maximalt går ner till 590 meters nivå. Därefter måste de anställda ta sig med hjälp av bil till rätt nivå. Maskinoperatörerna arbetar oftast med brytning och då innebär detta att de måste åka från 590 meters nivå till drygt 1300 meters nivå.

Skifteslaget som arbetar natt går konstant. Tre övriga skifteslag delar på dag och helg på följande vis:

- Vecka 1 förmiddag
- Vecka 2 eftermiddag samt helg
- Vecka 3 ledig

5.3.2 Salvcykel

Produktionen sker i så kallad salvcykler. En salvcykel består av *sprängning* (även kallat *salvskjutning*), *lastning*, *skrotning*, *förstärkning* genom *sprutbetong* och *bultning*, *salvborrning* och avslutningsvis *laddning* av sprängmedel. Se Figur 16 för en skiss över aktiviteterna.



Figur 16 - Salvcykelns aktiviteter. Källa: Bolidens intranät.

Salvcykeln kan justeras efter bergförhållanden och olika brytningsmetoder. Efter en salvskjutning lastas materialet ut från gavel till lastficka helst i närheten av ramp. Anledningen till detta är enligt Boliden att få gaveln så snabbt som möjligt tillgänglig för nästa operation och undvika väntetider för bilarna vid lastning. Nästa operation är *skrotning* då lösa stenar tas ned från tak och väggar. Efter detta sprutas betong på väggar och tak samt bultsättning sker för att *förstärka* berget. Olika bergförhållanden kräver olika mycket förstärkning för att det ska vara säkert att arbeta i rummet. Förstärkningen kan kräva olika volymer sprutbetong eftersom tjockleken på betonglagret kan variera mellan 30-50 millimeter och därför kan operationens tidsåtgång variera. Detsamma gäller bultsättning som kan variera beroende på vilken maskin som används och hur tätt bultarna måste sättas. Ibland kan det krävas efterförstärkning eller efterskrotning om det är stora rörelser i berget och risk för att det ska börja rasa. Därefter sker *salvborrning* och *laddning* av salva.

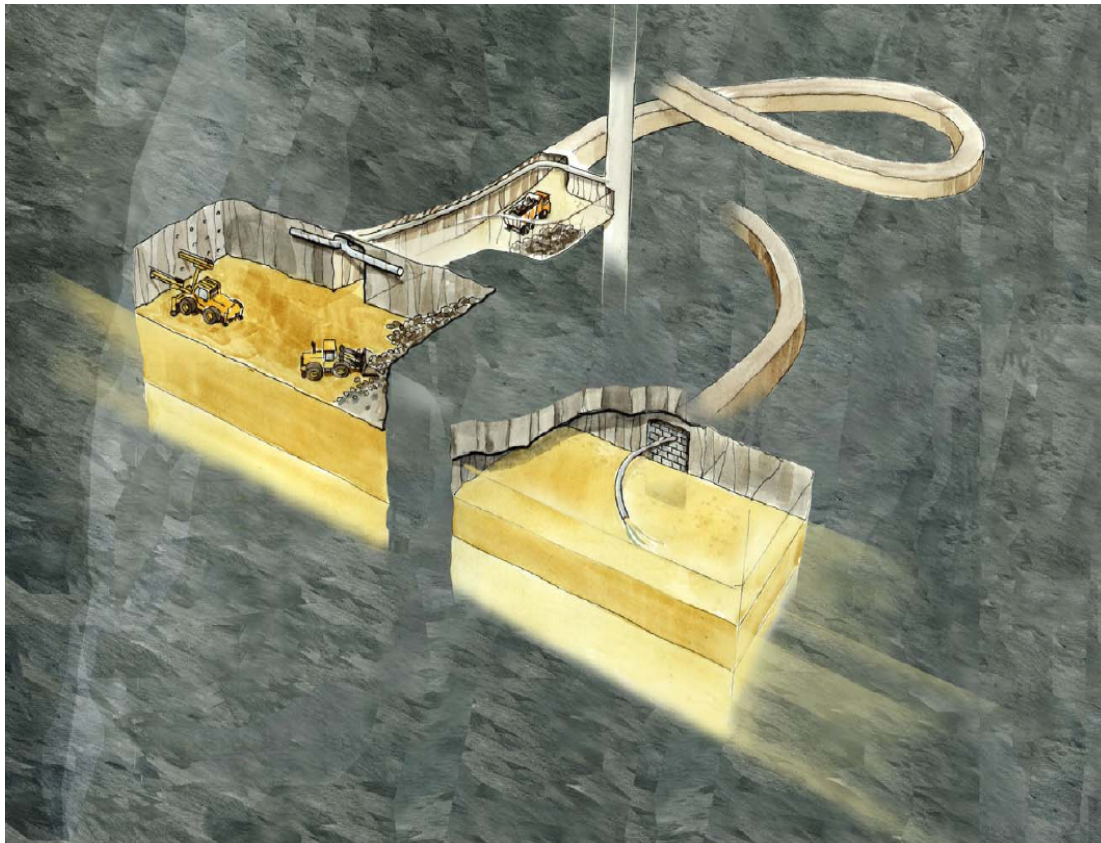
Djupet på ett borrarat salvhål kan variera men maximalt djup är dock 5,25 meter. Tiden för en salvcykel kan som sagt variera på grund av bergförhållanden och storlek på tunneln. En tunnel kan ha storlekar upp till 7 gånger 7 meter, detta innebär att materialet som skjuts lös under en salva kan ligga mellan 500-900 ton. En normal salva ligger i medel på 400 ton för gråberg och 700 ton för malm. En bra riktlinje är att en salvcykel tar ungefär 4 skift att genomföra, detta innebär att normalt arbetstempo ger två salvor per gavel och vecka i gruvan.

5.3.3 Brytningsmetod Kristinebergsgruvan

Igensättningsbrytning är den brytningsmetod som används mestadels i Kristinebergsgruvan. Metoden bygger på att återanvända gråberg som brutits vid exempelvis tillredningen. Gråberget transporteras till ett utjänat brytningsrum och får fungera som fyllnadsmaterial för återfyllnad av brytningsrummet. Det är en fördel att fylla igen utjänta bergrum dels för att minska rörelser (ras och sprickbildning) i berget för aktuellt och närliggande bergrum samt dels för att slippa transportera gråberg till dagen. När gråberget har fyllt det gamla rummet muras öppningen igen, anrikningssand blandas med vatten och pumpas (eller skickas in genom självtryck) sedan in i rummet för att fylla ut det tomrum som uppstått mellan gråbergsfyllningen. *Anrikningssanden* kommer från anrikningsverket som en restprodukt av den malm som skickas dit. När blandningen sedan har brunnit kan brytning påbörjas bredvid alternativt över det gamla brytningsrummet.

Figur 17 visar på hur igensättningsbrytningen fungerar. Till vänster i Figur 17 åskådliggörs ett aktivt brytningsrum där borrning pågår i vänstra gaveln av

brytningsrummet samtidigt som lastning pågår vid den andra. Till höger i Figur 17 visas ett uttjänat brytningsrum som återfylls.



Figur 17 Återfyllnadsbrytning. Källa: Bolidens intranät.

5.3.4 Bergstransport

Gruvan i Kristineberg har lagt ut transporten av gråberg, malm och sprutbetong samt underhåll av ramper på entreprenad: *Bennys Gräv AB* (härefter Bennys). Eftersom Kristinebergsgruvan inte har en enda stor, solid, malmkropp innebär detta att brytningen sker på flera ställen i gruvan parallellt i olika malmkroppar. Att transportera ett lass gråberg eller malm till kross från lastningsficka tar mellan 40-45 minuter tur och retur beroende på trafiksituation och lokalisering på lagerfickan. Däremot tar ett gråberglass till dagen cirka 1 timme och 20 minuter att köra tur och retur.

I dagsläget har Bennys 11 stycken *bergbilar* varav 1 bil är reserv. Uttrycket *bergbil* innebär en lastbil som enbart kör malm och gråberg. Till Bennys maskinpark tillkommer även två betongbilar. Det finns en begränsning av chaufförer vilket innebär att om två betongbilar måste köras kan det leda till att en bergbil färre kan användas. Dessutom finns det en begränsning i utrymmet då alla vägar i gruvan är enfiliga, detta medför att chaufförerna måste ha god kommunikation för att kunna mötas på strategiska platser.

5.3.5 Intern flödesstudie

År 2009 genomfördes senaste flödesstudien i Kristinebergsgruvan under en 11 dagar lång tidsperiod. Observera att allt som nämns i detta avsnitt är kopplat till flödesstudien 2009 och nuläget kan se annorlunda ut. Syftet med studien var att undersöka prestandamått så som gavelutnyttjande, maskinutnyttjande samt utnyttjande av tiden. Bakgrunden till flödesstudien var dels att göra en uppföljning från en liknande flödesstudie från 2004 i Kristinebergsgruvan samt att identifiera flaskhalsar för att finna förbättringsområden. Studien avgränsades till att inte behandla skippning och uppfraktning.

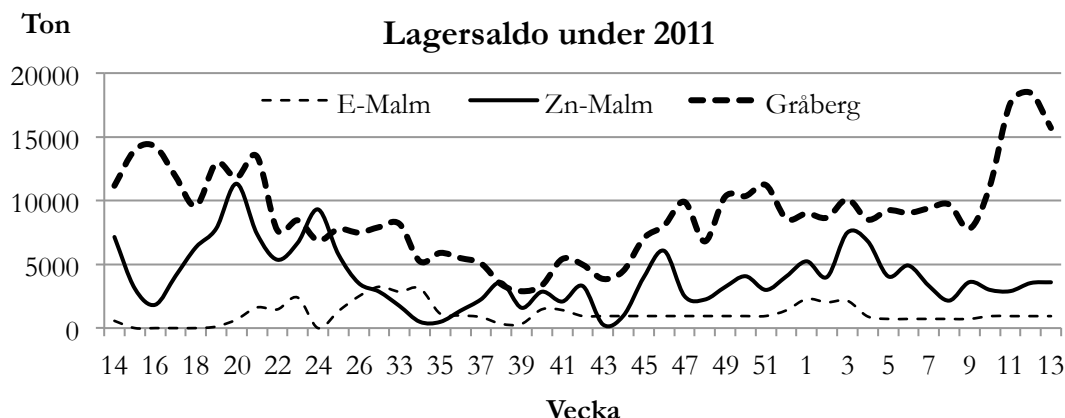
Alla utnyttjandegrader i studien beräknades utifrån aktiviteternas nettotid under ett dygn dividerat med 24 timmar, detta för att kunna undersöka effekten av eventuella ändringar i till exempel skiftform. Den tillgängliga tiden, det vill säga schemalagd arbetstid, uppgick till 17 timmar per dygn. Enligt studiens synsätt blir därmed maximal möjlig utnyttjandegrad cirka 70 % (17 dividerat på 24 timmar). Flaskhalsar har definierats som den aktivitet som begränsar mängden malm eller antalet salvor som gruvan kan producera. Genom att undersöka totala operationstiden¹⁰ (väntetid plus processtid) för olika operationer eller aktiviteter analyseras därefter vilken aktivitet som anses vara begränsande för produktiviteten i gruvan.

Resultatet från flödesstudien var att författarna bakom konstaterade att det då inte fanns någon reell flaskhals eftersom ingen operation urskiljde sig med långa väntetider eller ledtider. De konstaterade även att maskinutnyttjandet var relativt lågt och att ingen maskin låg på ett utnyttjande över 60 %. Av alla maskingrupper hade bergbilarna högst maskinutnyttjande, dock presenterades ingen specifik siffra för detta. Reparation var den störning som orsakat mest tidsförlust i gavlarna.

Gällande tidsutnyttjandet förlorade Kristinebergsgruvan två produktionstimmar i gaveln vid varje skiftbyte på kvällen och en timme vid matrast. Mellan för- och eftermiddag lyckades Kristinebergsgruvan med flygande skiftbyten även om det blev en markant skillnad i antal aktiviteter vid skiftskarven.

¹⁰ Flödesstudien använder egentligen beteckningen *total ledtid* (*operationstid + väntetid*) men för att denna studie ska använda samma definitioner genomgående benämns dessa som operationstid (processtid + väntetid). Det skiljer dock ingenting i själva synsättet.

5.3.6 Lagernivåer



Figur 18 - Lagersaldo under 2011 och delar av 2012

I Figur 18 kan lagersaldot för produktionsveckorna under ett års tid utläsas. Båda malmtyperna, E-malm och Zn-malm, samt gråberg finns kartlagt. Grafen baseras på vad som är inrapporterat måndag varje vecka och därefter inskrivet i veckorapporterna. Noterbart är också att fyra veckor under sommaren har uteslutits eftersom varken produktion eller uppskippning utfördes under dessa veckor. Zn-malm och gråberg varierar kraftigt under året samtidigt som E-malm ligger relativt stabilt med undantag för sommarmånaderna. Ett fenomen som kan uppstå (och har gjort det tidigare) är när alltför stora nivåer av gråberg och malm lagras i gruvan uppstår brist av lagringsutrymmen. När det inte finnas lediga lagringsfickor att frakta malm eller gråberg till så att det hämmar produktionstakten kallas det för att verksamheten blivit *bergvräkt*. Att bli bergvräkt är något som Kristineberg i dagsläget är oroliga över då PIA-nivåerna har ökat markant den senaste tiden.

5.4 New Boliden Way

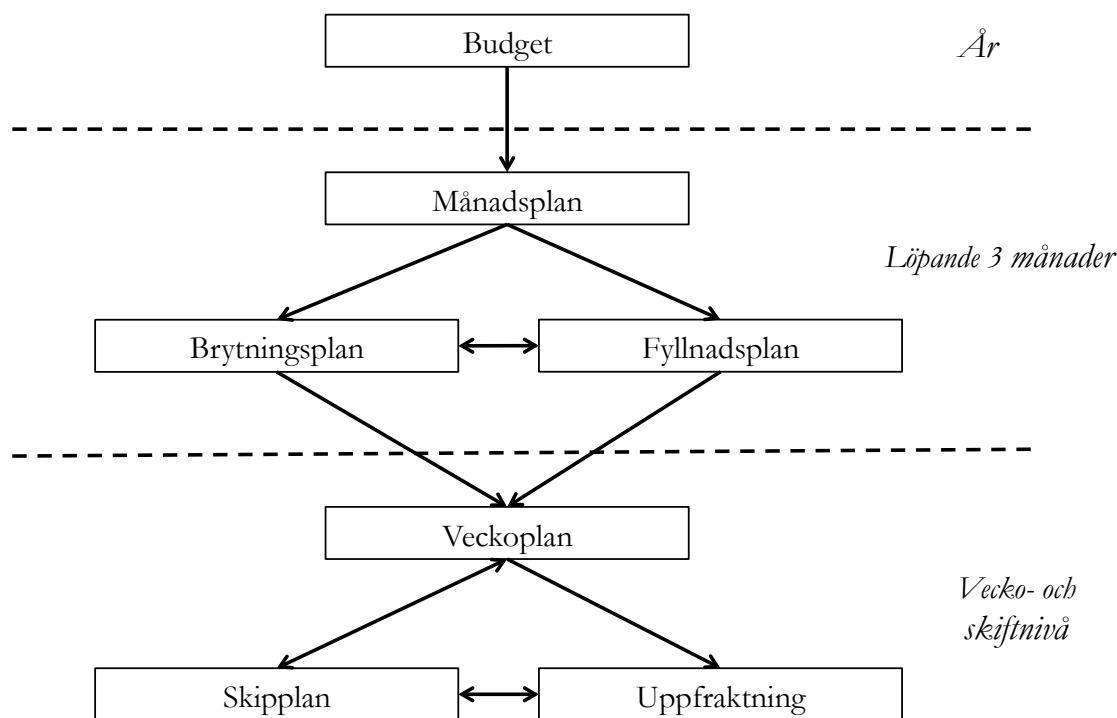
New Boliden Way (NBW) är en ny ledningsfilosofi inom Boliden-koncernen med tydlig inspiration från Lean eller Toyota Production System. NBW har ett utpräglat flödesfokus; hur organisationen ska maximera det totala flödet genom hela värdekedjan. Ledningen har understrukt kundorientering i vad som räknas som värdeskapande. Som Boliden själva beskriver det: *"Att ta ansvar för värdekedjan handlar om insikten att endast arbete som skapar värden bör utföras – allt annat arbete är onödigt. Varje arbetsuppgift som inte bidrar till att skapa värden för våra kunder – interna eller externa – bör utföras i så liten omfattning som möjligt."*

Det är svårt att se tydliga effekter av NBW än så länge gällande produktivitet och kostnadseffektivitet, dock har rapporteringen och mötesstrukturen inom företaget blivit betydligt mer strukturerat. Detta beror till stor del att möten

och rapporter följer en väldigt tydlig standardisering. Kristinebergsgruvan har ett försprång inom arbetet av NBW eftersom den fungerade som pilotprojekt inom koncernen.

5.5 Planeringsgång i Kristinebergsgruvan

Figur 19 som förklarar vilka planer som läggs och under vilken tidshorisont.



Figur 19 - Förenklad förklaringsmodell över planeringsgången i Kristinebergsgruvan.

Budget

Det finns en årsplan som kallas för *budget* vilken bestämmer hur många ton malm som ska brytas under det aktuella året. Budgeten läggs i oktober året före och det innebär att förutsättningarna kan drastiskt vara förändrade i januari då budgeten ska börja gälla. Planeringen bygger till stor del på bergstekniska aspekter; som verksamheten ser ut idag är ungefär 32 salvor per vecka en optimal takt och detta förutsätter att det finns tillräckligt många gavlarna för att detta tempo ska kunna hållas. Om gavlarna likafullt inte räcker till kan tempot ökas vilket planeringen brukar förespråka men som produktionen inte anser är lika lätt genomförbart. Det går att uppnå 3 salvor per vecka och brytningsrum men det leder ofta till att det blir för mycket material att hantera från samma område samt att det måste ställas i relation till om det är en lätt eller svår gavel sett ur bergstekniska aspekter.

Månadsplaner

Budgeten ligger till grund för planer med kortare tidshorisont. Själva brytningen planeras sedan på en tre månaders tidshorisont och uppdateras löpande varje månad. Fokus i dessa brytningsplaner ligger på antal salvor och tonnage. Annan input som är viktig för brytningsplanerna är hur återfyllningen ska se ut. Återfyllningen är det arbetsmoment där utjänta bergrum fylls igen med cirka 70 % gråberg och 30 % anrikningssand vilket kan variera beroende på karaktären på gråberget. Återfyllnadsplanen är också på en tre månaders tidshorisont men uppdateras löpande varje månad. Därför planeras brytnings- och återfyllnadsplanerna parallellt för att de ska stämma i förhållande till varandra.

Veckoplaner

Månadsplanerna bryts till sist ned i veckoplaner som lämnas som förslag till driftcentralen som sedan bestämmer hur produktionen ska se ut. Bland annat byggnation i gruva och avvikelser har stor inverkan att veckoplanerna ändras. En viktig faktor för planeringen på denna nivå är planen för skippen. Den avgör hur uppfrakt av material ska gå tillväga eftersom gråberg kan behöva transporteras ända upp till dagen om skippen är stillastående, därför bestäms detta på skiftnivå. Andra input för hur uppfrakt av material är volymnivåerna i schakt, lastfickor och vilka salvor som är inplanerade närmast. Som tidigare nämnt har schaktet ett begränsat intervall att spela på trots att det rymmer uppemot 9000 ton. Nedre nivån är ungefär 6000 ton vilket inte får slarvas med eftersom schaktet ligger nära personhissen. Med en reell lagringskapacitet i schaktet på 3000 ton och en normal produktion på 2 salvor per skift innebär det att vid haveri på skippen kan schaktet fyllas igen på ungefär 2,5 skift. Enligt produktionsansvarig är det vara önskvärt att kunna köra större partier åt gången för att jämna ut produktionen samt att kunna skipa gråberg i större utsträckning för att på så sätt slippa transporter upp till dagen. En gråbergstransport från brytningsrum till dagen tar ungefär dubbelt så lång tid som en gråbergstransport till skip. Detta innebär att underhåll för kross blir känsligare då skippningen gör att volymen i schaktet minskar för snabbt än önskvärt.

Uppföljning av planeringen sker veckovis och börjar med att undersöka hur många ton som fraktats till krossen, sedan kontrolleras antalet salvor och var de skjutits för att slutligen räkna ut baklänges vilken gavel som har producerat vad.

5.6 Kapitelsammanfattning

Kristineberg står inför en produktionsökning vilket medför en ökad materialhantering. Dock förutspår planeringen att andelen gråbergshantering

troligtvis inte ökar lika mycket som andelen malmhanteringen. Redan idag finns det stora svårigheter att transportera malm och gråberg upp ur gruvan. Framförallt är det gråberget som innebär problem då malmen prioriteras vid fraktning. Kristinebergsgruvan går allt närmare mot att bli *bergvräkta*, det vill säga när alla lagerfickor är fyllda med gråberg så att det inte finns något utrymme att lasta ut gråberg eller malm från en gavel. Då brytningen av malm sträcker sig allt längre från krossen innebär det en ökade körsträckor alltefter brytning i gruvan sker. Gruvan i Kristineberg har nu kommit till en punkt då lagernivåerna växer mer och mer vid normal drift vilket har lett till att stor del av dagarna går åt till så kallad *brandsläckning*. Med brandsläckning menas sista-minuten planering och intensiva omfördelningar av resurser för att klara av produktionen på kort sikt. Gruvan i Kristineberg har vissa egenskaper som kan försvåra interntransporten av material under jord:

- Malmen är så kallad komplexmalm vilket innebär att den innehåller flera olika mineraler. På grund av detta får inte vissa malmtyper (det vill säga där det finns högre halter av exempelvis guld eller zink) blandas, dessutom får inte malm blandas med gråberg.
- Malmkropparna är flera och därmed uppstår mycket tillredning för att kunna bryta malmen på flera ställen. Med tillredning menas att bryta gråberg för att skapa transportvägar eller för att komma åt malmådran eller -kroppen.
- Brytningen sker framförallt västerut vilket gör att gruvan blir avlång och avståndet till kross ökar. Gruvan blir dessutom djupare vilket innebär att lastbilarna måste frakta malm och gråberg allt högre upp vertikalt sett, vilket också tar tid. Brytningen ligger idag som djupast på 1320 meter och krossen ligger på 590 meter.
- Det är enfilig väg nere i gruvan vilket skapar kapacitetsbegränsningar av antalet fordon i gruvan. Mötesfickor finns med jämna mellanrum men detta gör ändå att trafiken inte får bli för omfattande på vissa sträckor då bland annat säkerheten och framkomligheten äventyras.
- Mjukt gråberg, kräver mycket förstärkningsarbete ju djupare gruvan går på grund av tryck från kringliggande berg. Ju mer förstärkningsarbete och efterförstärkning som krävs desto längre blir tidsåtgången för produktionen.

6 Benchmarkingobjekt

I detta kapitel sammanfattas den information som erhållits vid studiebesöket på Boliden Minerals AB:s gruva i Renström. För att kunna urskilja skillnader och likheter ställdes samma frågor som i Kristineberg. Vidare valdes personer på motsvarande position ut för intervju för att på så sätt få en rättvis bedömning.

6.1 Bakgrund Renströmsgruvan

Brytningen i Renströmsgruvan startade 1952 och är idag Sveriges djupaste gruva. Idag sker brytning ner till 1340 meters djup vilket gör den några meter djupare än Kristineberg. Det finns i dagsläget prospekteringsresultat ända ner till 1700 meters djup. En stor skillnad mellan Renström och Kristineberg är att den förstnämnda har betydligt högre metallhalter. Men trots att gruvan har högre metallhalter bryter den mindre kvantiteter. Trots att gruvorna använder sig av samma brytningsmetod skiljer sig förutsättningarna mellan de två gruvorna. Renströmsgruvan använder sig av återfyllandsbrytning precis som i Kristineberg.

6.2 Avgränsning för Benchmarkingobjekt

Studien fokuserade på layouten av gruvan rörande kross och lastning på bergbil samt begrepp vid planering och produktion. Detta innebar att tider rörande upptransport, salvcykeltider och lagernivåer inte studerades. Vidare studeras inte transport av malm till anrikningsverket utan fokus låg på materialflödet och planeringsförfarande från brytning till att malmen skippas upp till laven samt gråberget som används till återfyllnad.

6.3 Produktion och materialflöde

Den typ av malm som bryts i Renström är komplexmalm, precis som i Kristineberg. Brytningen sker i olika malmkroppar på flertalet olika gavlar och på olika djup. Det leder till att planeringen av produktion och materialflödet påminner väldigt mycket om Kristinebergs planeringssätt. Renström har ett liknade materialflöde som Kristineberg, men har till skillnad mot Kristineberg inget slutlager ovan jord vilket innebär att planeringen är mer koordinerad med anrikningsverket i Boliden.

6.3.1 Skiftesgång

Se Tabell 18 för en översikt av skiftiderna i Renströmsgruvan.

Tabell 18 - Skifttider Renströmsgruvan

	Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lördag	Söndag
Förmiddag							
<i>Börjar</i>	06.00	06.00	06.00	06.00	06.00	06.00	06.00
<i>Slutar</i>	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15
Eftermiddag							
<i>Börjar</i>	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	–	–
<i>Slutar</i>	23.15	23.15	23.15	23.15	23.15	–	–
Natt							
<i>Börjar</i>	00.00	00.00	00.00	00.00	–	–	(00.00)
<i>Slutar</i>	06.00	06.00	06.00	06.00	–	–	(06.00)

I Tabell 18 går det att utläsa de skiftesgången som används i Renströmsgruvan. Nattskiftet jobbar nio nätter på två veckor vilket innebär att de arbetar fyra nätter varannan vecka och fem nätter varannan vecka. Renström har inte överlappande skiftgång eftersom de spränger vid skiftskarv, vilket medför att det finns ett spann på 45 minuter för utvädring mellan skiften. Eftersom ingen sprängning sker under natten kan en skiftesskarv äga rum mellan natt- och förmiddagsskiftet. Den tillgängliga tiden i gruvan är antingen *5 dagar och 3 timmar* eller *5 dagar och 9 timmar* beroende på om nattskiftet arbetar fyra eller fem nätter. Varje skift innefattas även av ett flytande avbrott för lunch som i snitt ligger runt 60 minuter. På söndagar har det arbetslag som arbetar en arbetsplatsträff under eftermiddagen vilket innebär att arbetet i gruvan stannar av vid 12.00. När dessa relativt fasta avbrott räknas in fås en effektiv tillgänglig tid som ligger på *4 dagar, 8 timmar och 45 minuter* alternativt *4 dagar, 13 timmar och 45 minuter*.

6.3.2 Salvcykel och bergtransport

Trots att Renströmsgruvan använder sig av samma brytningsmetod som Kristineberg finns det skillnader som gör att förutsättningarna blir annorlunda för de två gruvorna. Brytningen sker, likt i Kristineberg, i flertalet olika brytningsrum vilket får till följd att transporttid är en stor del av maskinernas tillgängliga. I och med att brytningen sker vid olika gavlar får det till följd att det är stora variationer mellan salvcykeltiderna kan uppstå beroende på avståndet mellan maskinernas parkeringsplatser och vart brytningen pågår. Eftersom Renström ligger i ett berg som består av stabil berggrund leder det till att mindre efterförstärkning behövs vilket reducerar salvcykeltiderna.

Brytningen ligger på ett flertal olika djup ner till 1340 meters djup och krossen ligger på 890 meters nivå. Transporten av berg sköts av Boliden och sker idag med fyra bergbilar och bergbilarnas chaufförer. Vid personalbrist i gruvan

omfördelas personalen vilket kan ge utslag på lastningen då lastarens chaufför ges andra arbetsuppgifter i gruvan. Det får som följd att bergbilschaufförerna tvingas lasta den egna lastbilen med lastaren. Detta är något som påverkar effektiviteten i materialflödet negativt. Malmen transporteras upp till krossen samtidigt som gråberget läggs i en utjänt ort för att sedan användas till återfyllnad av ett gammalt brytningsrum. Vid krossen tippas malmen av bergbilarna ned i en matare som fördelar malmen till krossen. Genom användande av matare framför krossen kan ett mindre slitage på krossen uppnås. Från krossen bandtransporteras sedan malmen till ett schakt för att slutligen skippas upp till laven.

6.3.3 Lagernivåer

Renströmsgruvan strävar efter att hålla ner lagernivåerna i gruvan. Därför eftersträvar Renströmsgruvan att lasta bergbilarna direkt från gavel ifall tid och utrymme finns vid gaveln i fråga. Gruvan håller i dagsläget ingen noggrann räkning över gråbergsnivåerna i gruvan eftersom de eftersträvar att "gömma" det i gamla orter. Officiellt har inte Renströmsgruvan lager överhuvudtaget men inofficiellt anses de själv ändå att det finns en viss lagernivå. Vid intervjuer med planering och produktion visade det sig att produktion- och planeringsenheterna klassificerade lager i gruvan på samma sätt.

6.4 Planeringsgång

Renströmsgruvan har inget nämnvärt slutlager vilket innebär att planeringen måste samköras med anrikningsverket i Boliden. Det leder till att brytningsplanerna påverkas av vilken kapacitet anrikningsverket har för tillfället. Utöver det så sker vanlig planering där en budget läggs för kommande år och sedan bryts ner i månadsplaner och veckoplaner. Bergtransportens planering sker på skiftnivå där arbetsledaren för föregående skift tillsammans med driftcentralen lägger skiftets körschema.

7 Resultat & Analys

Detta avsnitt kopplar ihop informationen från kartläggningen av fallstudie- och benchmarkingobjektet med den teoretiska referensramen. Syftet är att med analys av verksamheterna och dess materialflöde som grund kunna utarbeta planeringsverktyg och styrregler anpassade till branschen.

7.1 Kapitlets disposition

Kapitlet kommer att börja med en analys av fallstudieobjektet och benchmarkingobjektet med utgångspunkt från kartläggningen samt teoretisk referensram. Detta innebär att analysen kommer att följa samma ordning kapitelrubrikerna i avsnitt 3: Definition av *materialflödet*, *effektivt materialflöde*, *buffertar i materialflöde*, *planering* samt *utformning av styrregler*. Avslutningsvis presenteras en handlingsplan hur Boliden ska gå tillväga för att förbättra planeringen för att nå effektivt materialflöde.

7.2 Materialflöde och effektivt materialflöde

Tabell 19 beskriver de karaktäristiska dragen grundat på Kvarnströms (2010) tabell som presenterades på sida 26. De kursiva delarna i denna nya tabell är tillägg utifrån vad som upptäckts i Kristineberg- och Renströmsgruvan.

Tabell 19 - Återkoppling av karaktäristiska drag och problemområden för gruvindustrin.

Karaktäristiskt drag	Problem
Kontinuerligt flöde	Inga naturliga partier då malmen från olika gavlar blandas i schaktet före skippning.
Produkter kan byta tillstånd	Inga naturliga enheter. <i>Olika halter på malmen, dessutom kan gråberget ha skiftande egenskaper i form av hårdhet. Beroende på om det är gråberg eller malm väger materialet olika. Även malmens mineralkoncentration påverkar densiteten.</i>
Olika flödesordning av material	Materialet kan komma ut från systemet i olika ordning.
Lågt adderat värde till produkten genom produktionsprocessen	Stor känslighet för kostnadsökningar.

Segregation	Flödet beror på produktens fysiska egenskaper. <i>Beroende på vad som bryts (gråberg eller malm) kan materialet ha olika prioriteringar.</i>
Begränsade lagermöjligheter	<i>Begränsat med lagerytor som dessutom är utspridda.</i>
Extrem arbetsmiljö	<i>Tunga last och kraftig lutning är exempel på parametrar som ökar slitage på maskiner vilket leder till ökat underhållsbehov.</i>
Förändrade förutsättningar	<i>Brytningen gör att förutsättningarna för flödet ändras varje dag, exempelvis ökade avstånd från kross och skippar.</i>
Kostnadsintensivt	<i>Det krävs stora investeringar i bland annat prospektering, brytning och transport för att frigöra malmen</i>

Skillnaden mellan Kristinebergsgruvan och Renströmsgruvan är främst att Kristineberg har betydligt mer omfattande brytning än Renström. Med omfattande menas att Kristineberg bryter mer material (räknat i ton), gråberg och malm, än vad Renström gör. Eftersom Renström i princip inte har något upplag innebär detta att det inte finns möjligheter till ett slutlager. Detta leder till att Renströmsgruvan måste ha en bra dialog med anrikningsverket för att på så sätt synkronisera transporterna från gruva till anrikning samt att transporterna är anpassade efter anrikningsverkets kampanjer. Eftersom båda gruvorna har samma brytningsmetod har de en liknande salvcykel, det som särskiljer i tiderna i själva cykeln beror av något annorlunda maskinpark, andra avstånd i gruvan samt bergtekniska skäl. Ytterligare skillnader är att i Renström sker skjutningarna mellan skiften istället för på matrasterna som i Kristineberg. Renström skiljer däremot inte mellan olika malmtyper utan har bara två materialtyper: gråberg och malm. I övrigt har Renströmsgruvan samma karaktäristiska drag för materialflödet som presenterades i Tabell 19. I denna analys har *tillgänglig tid* haft sin utgångspunkt i skifttiderna. Eftersom maskinerna är beroende av operatörerna innebär det att den begränsande faktorn för verksamheterna är operatörernas skifttider.

Effektivt materialflöde bör fokuseras på att minska tillverkningskostnaderna då adderat materialflödet karaktäriseras av låg adderat värde genom produktionsprocessen. Eftersom New Boliden Way fokuserar på *operation*

excellence (som Boliden själv uttrycker det) bör kostnadsreducering vara huvudfokus. Kostnadsreduceringen måste dock ske i kombination med antingen minskad flexibilitet eller ökat kapacitetsutnyttjande. Med andra ord: hur kapitalinvesteringarna kan utnyttjas på ett effektivare sätt. Med effektivitet menas då inre effektivitet där förmågan att jobba på rätt sätt i den operativa verksamheten inom begräsningarna av befintliga resurser och produkter. I tidigare interna flödesstudier har det konstaterats att inga maskiner eller maskingrupper nyttjas mer än 60 % av tiden. Detta är något missvisande eftersom flödesstudierna har utgått ifrån 24 timmars produktionstid trots att den egentliga tillgängliga tiden, den totala skifttiden, uppgår till 75,89 % under en vecka. Det som studien dock påpekade var att bergbilarna var den maskingrupp med högst nyttjandegrad. Om det uppstår problem med bortfraktningen av gråberg är det dessutom lätt att beskylla bergtransporten för att vara flaskhalsen i verksamheten då den interna flödesstudien pekat på att de har högst nyttjandegrad. Dock använder denna studie och Bolidens interna flödesstudie olika definitioner av flaskhals. Denna studie har den operation med högst nyttjandegrad som flaskhals medan Boliden har en vagare definition i form av den operation som begränsar brytningen.

Däremot finns det en falsk trygghet i form av tron att Kristinebergsgruvan har överkapacitet. Enligt den interna flödesstudien från 2009 är det ingen maskin eller maskingrupp som går mer än 60 % av tiden och att bergbilarna är den maskingrupp med högst nyttjandegrad. Detta är lite missvisande eftersom beräkningen är gjord efter antagandet att dividera arbetstiden med 24 timmar, det vill säga att den tillgängliga tiden är 24 timmar. Antagandet stämmer illa med verkligheten där denna studie utgår ifrån att den effektiva tillgängliga tiden utan skiftesöverlapp, matraster och förberedelser uppgår till 4,42 dygn per vecka. 60 % av 7 dygn är 4,2 dygn och om dessa utnyttjas blir det 95 % av de tillgängliga 4,42 dygnen. Med andra ord ligger nyttjandegraden för bergbilarna närmare 95 % vilket är nära maximala kapaciteten. Dessutom är denna studie tre år gammal och sedan dess har produktionen stadigt ökat.

Ett annat sätt att betrakta bergbilarnas nyttjandegrad är att beräkna hur många bilar som behövs för att frakta bort som bryts per vecka och dividera det med kapaciteten att frakta bort materialet, se Tabell 21 för antalet lass som behövs under en normal produktionsvecka.

Tabell 20 - Antal lass per bil som krävs vid normalt produktionstempo

Skift	Antal bergbilar	måndag	tisdag	onsdag	torsdag	fredag	lördag & söndag	Summa antal lass
E.M.	8	7	7	7	7	7		280
F.M.	8	7	7	7	7	7	7	392
Natt	6	5	5	5	5	5		120

Den totala summan lass som krävs under en veckas normal produktion är 792 enligt Tabell 20. Se Tabell 21 för behovet av antal bilar per vecka.

Tabell 21 - Antal bilar för att frakta bort material

Salvtyp	Billaster per salva	Antal salvor per vecka i snitt	Bilar per vecka
Gråberg	16	14 stycken	215
Malm	26	20 stycken	517
<i>Totalt</i>		<i>34 stycken</i>	<i>733</i>

Eftersom en gråbergssalva är ungefär 400 ton och varje lass är på 26 ton blir det 16 billaster per salva, varje malmsalva är i snitt 700 ton och varje lass är på 30 ton vilket gör att det krävs 26 billaster för att frakta en salva. Totalt skapar det 733 billaster under en normal produktionsvecka. Detta ger en utnyttjandegrad på ungefär 93 % (733 dividerat på 792) förutsatt att alla bilar går till kross. Det höga kapacitetsnyttjandet på bergbilarna påverkar i sin tur lagernivåerna. Om det uppstår variationer i produktionstakten, det vill säga brytningen, blir det svårt att frakta bort material då bergbilarna redan ligger nära maximalt tempo.

Det finns en problematik i att sätta in extra bergbilar på grund av ökade avstånd, ökade lagernivåer av gråberg eller ökad materialhantering till följd av förhöjd produktionstakt. Denna problematik grundar sig i att det fortfarande bara finns en kross, begränsade utrymmen för lastbilarna att mötas på och att flera lastbilar eventuellt måste köra till samma gavel för att bli lastande. Ju fler lastbilar i gruvan desto större blir nödvändiga väntetiden, kötiden, för dem och detta påverkar i sin tur nyttjandegraden.

Med hjälp av köteori (finite source model) kan *kritiska områden* för bergstransporten definieras som betjäningstationer. Därigenom kan nyttjandegrader beräknas för dessa stationer utifrån en uppskattad betjäningstid. Kritiska områden kan vara kross, vältrafikerade transportorter eller lastningsaktivitet. Dock är chaufförerna bra på att kommunicera vilket gör att trots det sätts in fler bilar i gruvan så "krockar" de inte. Däremot blir

väntetiden högre för exempelvis möten eller vid lastning vilket i sin tur påverkar nyttjandegraden på bergbilarna.

I Kristinebergsgruvan tar det mellan 40-45 minuter för en lastbil att köra mellan gavel och kross med last tur och retur. För att visa hur finite source model fungerar vid planering av bergstransport visas ett exempel i Tabell 22 och Tabell 23. I båda beräkningarna har 40 minuters ankomstintervall använts.

Tabell 22 - Finite source model med 40 minuters ankomstintervall och 2 minuters servicetid.

Antal berg-bilar	Nyttjande-grad	Antal enheter i system + kö	Antal enheter i kö	Tid i system + kö (min)	Väntetid i kö (min)
12	54,8%	1,04	0,49	3,8	1,8
11	50,6%	0,89	0,38	3,5	1,5
10	46,2%	0,76	0,30	3,3	1,3
9	41,8%	0,64	0,23	3,1	1,1
8	37,3%	0,54	0,17	2,9	0,9
7	32,8%	0,45	0,12	2,7	0,7
6	28,2%	0,36	0,08	2,6	0,6
5	23,6%	0,29	0,05	2,4	0,4
4	18,9%	0,22	0,03	2,3	0,3
3	14,2%	0,16	0,01	2,2	0,2
2	9,5%	0,10	0,00	2,1	0,1
1	4,8%	0,05	0,00	2,0	0,0

Tabell 23 - Finite source model med 40 minuters ankomstintervall och 2,5 minuters servicetid.

Antal berg-bilar	Nyttjande-grad	Antal enheter i system + kö	Antal enheter i kö	Tid i system + kö (min)	Väntetid i kö (min)
12	65,8%	1,48	0,82	5,6	3,1
11	60,9%	1,25	0,64	5,1	2,6
10	55,9%	1,05	0,49	4,7	2,2
9	50,8%	0,88	0,37	4,3	1,8
8	45,5%	0,72	0,27	4,0	1,5
7	40,1%	0,59	0,19	3,7	1,2
6	34,5%	0,47	0,13	3,4	0,9
5	28,9%	0,37	0,08	3,2	0,7
4	23,3%	0,28	0,05	3,0	0,5
3	17,5%	0,20	0,02	2,8	0,3
2	11,7%	0,12	0,01	2,6	0,1
1	5,9%	0,06	0,00	2,5	0,0

Trots att det bara skiljer 30 sekunder mellan servicetiderna får det en stor effekt på nyttjandegraden hos betjäningsstationen. I dagsläget finns det 8

stycken bilar vilket gör att det skiljer $45,5 \% - 37,3 \% = 5,5$ procentenheter mellan de två scenarierna, trots att det bara är en skillnad i 30 sekunder på servicetiden.

Dessa två exempel är bäst lämpade vid kross eller gavel då servicetiden är konstant oavsett hur många bilar som kommer, däremot i en mötesplats i en trång sektor kan det tänkas att varje möte innebär 10 sekunder längre servicetid, se Tabell 24.

Tabell 24 Finite source model med 10 sekunders ökning i servicetiden med varje extrabil. Utgångspunkten är 2 minuter vid 8 bilar.

Antal berg-bilar	Nyttjandegrad	Antal enheter i system + kö	Antal enheter i kö	Tid i system + kö (min)	Väntetid i kö (min)
12	69,0%	1,64	0,95	6,4	3,7
11	60,9%	1,25	0,64	5,1	2,6
10	52,8%	0,95	0,42	4,2	1,9
9	44,9%	0,72	0,27	3,5	1,3
8	37,3%	0,54	0,17	2,9	0,9
7	30,2%	0,40	0,10	2,4	0,6
6	23,8%	0,29	0,06	2,1	0,4
5	18,0%	0,21	0,03	1,7	0,2
4	12,9%	0,14	0,01	1,5	0,1
3	8,5%	0,09	0,00	1,2	0,1
2	4,9%	0,05	0,00	1,0	0,0
1	2,0%	0,02	0,00	0,8	0,0

Utgångspunkten i Tabell 24 är att servicetiden ligger på 2 minuters vid 8 bilar, detta innebär att 1 bil i modellen tar 50 sekunder i servicetid och 12 bilar tar 2 minuter och 40 sekunder i servicetid. Detta ger en exponentiell förändring i nyttjandegraden och ligger troligtvis lite närmare sanningen då utrymmet är så pass begränsat i gruvan. Detta exempel visar att trånga passager är mer kritiska vid ökat antal bergbilar än vad lastning och kross är, förutsatt att dessa betjäningsstationer inte ändrar servicetid vid fler antal bilar.

Då båda gruvorna har samma karaktär på materialflödet och tillhör samma företag innebär det samma framgångsfaktorer för att skapa ett effektivt materialflöde. I Renström menar på att de också har problem med "flytande flaskhalsar". Med andra ord att det skiljer från dag till dag eller från vecka till vecka vad som begränsar produktionen för tillfället. Oftast, precis som i Kristineberg, beror denna förflyttning av flaskhals på ett haveri. Mer långsiktigt betraktar dock produktionen i Renström antalet operatörer som flaskhalsen, eftersom ett maskinhaveri kan alltid kompenseras med att någon arbetar övertid samtidigt om en operatör saknas kan inte en annan köra två

stycken maskiner samtidigt och därmed blir produktionen lidande. Flaskhalsen enligt planeringen i Renström är transport och lastning ur ett övergripandeperspektiv, ibland betraktas bultningen som flaskhalsen i salvcykeln men eftersom salvcykeln går snabbare än bortfraktningen av material blir detta flaskhalsen ur ett större perspektiv. Därför kan det konstateras att ju mer Boliden arbetar med att effektivisera enbart salvcyklens tider desto mer suboptimeras verksamheten. Detta gör att bergstransporten inte hinner med återfyllnad och uppfrakt av malm då. Dock har denna studie inte tagit del av produktionsdata från Renström och därför är det svårt att fastställa att bergstransporten är flaskhals utifrån den teoretiska referensramen, med andra ord om operationen har högst nyttjandegrad.

7.3 Buffertar i materialflöde

Det finns ett problem rörande produktionssiffrorna från Boliden då de inte är allt för tillförlitliga. Det tidigare nämnda Gantt-schemat har vissa svagheter då operatören ansvarar för att rapportera när en aktivitet påbörjats eller avslutats. Det förekommer att efter avslutad aktivitet dröjer det ett tag innan rapporteringen till driftcentralen sker. Om det är medvetet eller omedvetet låter författarna vara osagt men det påverkar produktionssiffrorna och gör dem relativt osäkra på dess tillförlitlighet. Gällande materialflödets typ är det ett push-flöde som karakteriserar gruvorna. Detta är kanske inte så oväntat då produktionen ska ske efter budget (materialplanen). Påståendet att det är push-flöde stärks av det faktum att Kristinebergsgruvan riskerar att bli bergvräcka. Det vill säga en explosion av PIA som Hopp & Spearman (2008) uttrycker det, vilket inte är ovanligt vid push-system.

Renström beräknar lager på samma sätt som i Kristineberg, det vill säga genom att räkna antal skopor och antal lass. Dock har inte Renström något gråbergssaldo och det lagersaldo som finns över malmen är begränsat till lagerfickor och schaktet under krossen. Som tidigare nämnt är slutlagret i princip försumbart i Renström tillskillnad från i Kristineberg. Däremot i schaktet under krossen i Renström finns det inga restriktioner om miniminivåer på grund av bergtekniska skäl tillskillnad från i Kristineberg.

Det observerades ingen brist på operatörer i Kristineberg däremot fanns det brist på dem i Renström då samma operatör kunde få lasta sin egen bergbil, detta skapar däremot en större flexibilitet om samma operatör kan sköta flera moment. Detta skulle dock inte kunna fungera på samma sätt i Kristineberg eftersom transporten där sköts av entreprenör och i Renström är Boliden själva som ordnar detta.

Som tidigare nämnt i den teoretiska referensramen skriver Hopp (2008) att om en operation i systemet närmar sig 100 % i nyttjandegrad, utan övriga ändringar, kommer PIA och cykeltiden för operationen att öka exponentiellt. En tolkning av detta är när bergstransporten ligger på hög utnyttjandegrad innebär detta i förlängningen att små avvikelser i form av oförutsedda reparationer, tillfällig ökning i materialhanteringsbehovet och liknande får stora konsekvenser. En förändring på en procentenhet kan teoretiskt sett ge stort utslag i form av exponentiellt ökande PIA-nivåer och cykeltider. När dessutom gruvindustrin karaktäriseras av att brytningen förflyttar sig, i fallstudieobjektets fall allt längre ifrån, blir förändringar i cykeltiden än mer avgörande då avstånden ökar.

7.4 Planeringsgång

NBW (New Boliden Way) är väldigt nära förknippat med vad Nave (2002) beskriver som *Lean- tillverkning*. Det vill säga att fokus ligger på flödet och där effekterna av arbetet är reducering av slöseri, reducerad total processtid, mindre lager och så vidare. Eftersom NBW är så tydligt flödesfokuserat är det lite förvirrande när planeringen ute i verksamheterna arbetar mer efter ett fokus på systembegränsningar med tyngdpunkten på snabbhet och volym, vilket Nave (2002) beskriver som *teorin om begränsningar*. Helst bör Boliden arbeta mer mot NBW eftersom företaget bara är i ett tidigt stadium av sin implementering av förbättringsprogrammet. Detta ska genomsyra planering även på kortare tidshorisonter. En viktig del för att arbeta efter NBW är att fokusera mer på flöden än i dagsläget, mer om detta i avsnitt 7.5.

Planeringen har sin gång med materialhänsyn först för att sedan kontrollera kapacitetshänsyn. För planeringen med kortare tidshorisont ligger fokus på prioriteringsordning; hur mycket gråberg som ligger i aktiva gavlar och hur sekvenseringen av skjutningarna ser ut. Här stämmer teori (planeringsfokus enligt Mattsson, 1999) och praktik väl. Planering på längre sikt verkar däremot inte ha så mycket kapacitetsfokus som teorin förespråkar. Från den teoretiska referensramen går det att utläsa enligt Mattsson (1999) att ju längre tidshorisont desto mer fokus måste ligga på kapacitetsplaneringen. På kort tidshorisont finns det sällan något att göra åt de resursbegränsningar som finns men ju längre fram planeringen sker desto mer utrymmet finns det att åtgärda kapacitetsbrister. Dock är det rätt att planera med en materialhänsyn först för att sedan utgå ifrån kapaciteterna då gruvindustrin har egenskaper som gör att materialhänsynen är prioriterat. Då gruvor är beroende av malmbasens halter, malmkroppens utseende och hur eventuellt flera malmkroppar förhåller sig till varandra innebär detta att materialhänsynen måste komma först och inte tvärtom.

Planeringen skiljer inte mycket mellan Kristineberg och Renström. Båda gruvorna har fokusering på fyllnings- och brytningsplaner vilket gör att det är materialhänsynen som kommer först. Sekvensering av uppfraktningen sker av arbetsledarna i Renström. I övrigt sker samma uppföljning och planeringen sker på samma tidshorisonter. Sett till McKay & Wiers (1999) informationskällor *människor, organisation, resurser* och *material* kommer input framförallt från människor och organisation. Med andra ord väger expertis, skicklighet, tillvägagångssätt, mål och ansvarsområden tungt i planeringsprocessen på medel- och kortsiktig tidsfrist. Material och resurser som informationskällor används väldigt lite vilket märks då input till planeringen i form av bland annat processtider, ledtider, risker, lagernivåer, kapacitet, tillförlitlighet, underhållsbehov och flexibilitet inte används i planläggningen.

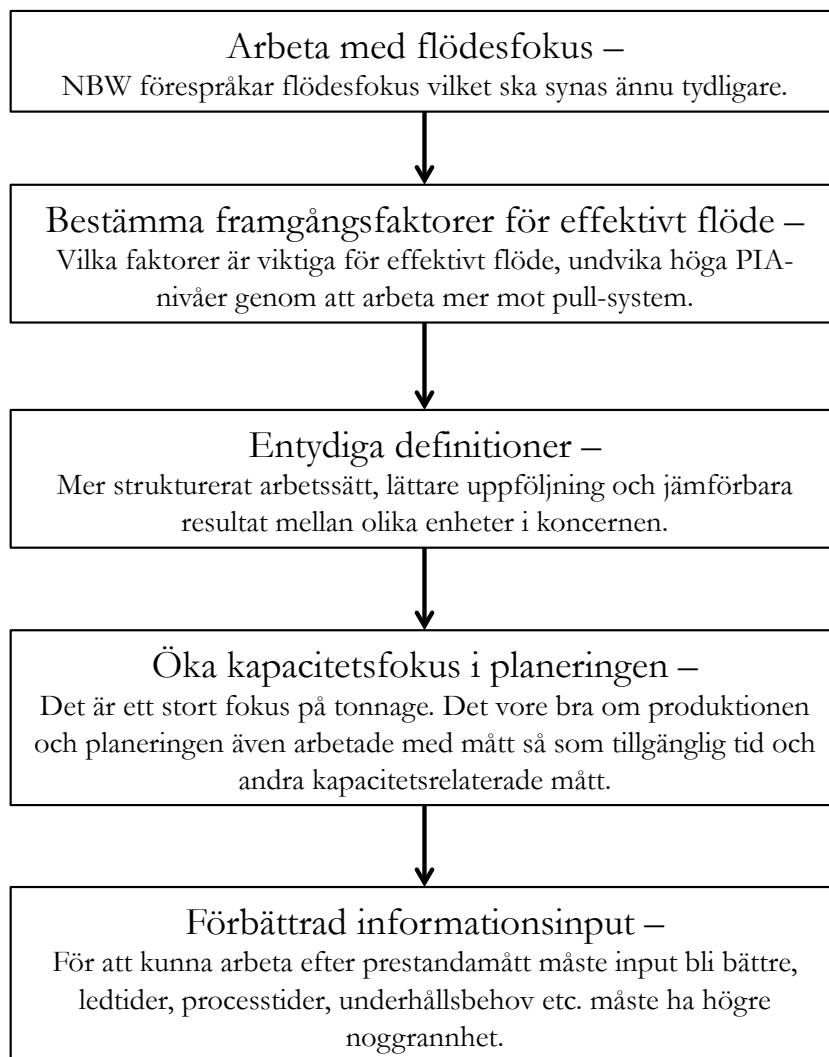
Mattsson (1999) har fyra frågeställningar som måste besvaras för allt planering, oavsett planeringshorisont:

- Hur stora kvantiteter efterfrågas och när?
- Hur mycket finns tillgängligt att leverera?
- Hur stora kvantiteter måste tillverkas och när?
- Vilken kapacitet för att tillverka dessa kvantiteter krävs?

I Bolidens planeringsgång är det egentligen bara de tre första frågeställningarna som beaktas. Hårdraget finns det inget kapacitetsfokus överhuvudtaget. Sammanfattningsvis är kärnan till problemen i planeringen att det inte finns tillräcklig vetskap kring vilka volymer som kan utlovas sett till resursernas begränsning. Det måste finnas en högre medvetenhet rörande kapaciteten.

7.5 Handlingsplan samt rekommendationer

Med analysen som grund kommer här en handlingsplan som är specifik för Boliden i allmänhet och Kristinebergsgruvan i synnerhet. Se Figur 20 för rekommenderad handlingsplan.



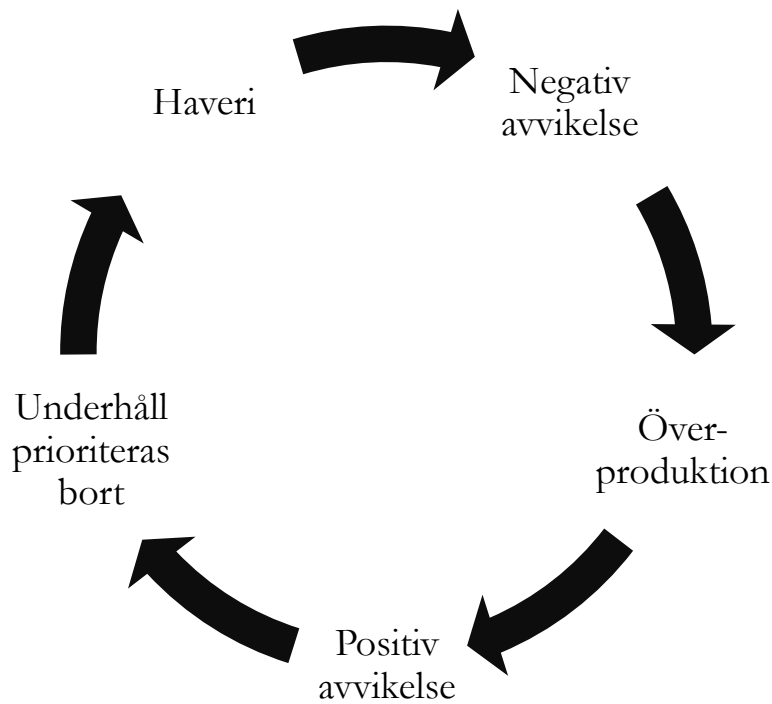
Figur 20 - Rekommenderad handlingsplan

Följande underrubriker behandlar hur handlingsplanen mer i detalj.

7.5.1 *Arbeta med flödesfokus*

NBW är, som tidigare konstaterat, väldigt likt lean-tillverkning och därmed tydligt flödesfokuserat. Då gruvor har ett materialflöde som karaktäriseras av lågt adderat värde genom produktionsprocessen är det än viktigare att minimera slöseri vilket lean tillverkning förespråkar. Enligt Nave (2002) innebär detta att fokus kommer ligga på små förbättringar istället för stora systemanalyser i förbättringsarbetet. Viktiga effekter utifrån detta förbättringsarbete enligt Nave (2002) är reducerad processtid, mindre variation och mindre lager. Alla dessa effekter är verkligen något som Kristinebergsgruvan måste eftersträva för effektivare materialflöde.

Tidigare studier från Bolidens dagbrott i Aitik av Bergstrand & Åkerström (2006) visar att det finns ett synsätt i produktion och planering som Figur 21 visar. De fann att produktionen varierar kraftigt i sitt flöde i förhållande till den planerade brytningen vilket skapar en ond spiral som Figur 21 beskriver.



Figur 21 - "Produktionens onda cirkel". Källa: Bergstrand & Åkerström (2006) s. 56.

Detta "länk" observerades även i Kristinebergsgruvan. Överproduktion uppstår när det går bättre än planerat och det vedertagna tankesättet blir "nu ska vi producera allt vad som går för det kommer ändå att uppstå problem senare, då är det bra att ha en buffert". Överproduktionen leder till positiv avvikelse i förhållande till brytningsplanerna och underhållet prioriteras bort för att skapa sig denna buffert. Det lågt prioriterade underhållet leder till haveri som då är oväntat och innebär att en negativ avvikelse uppstår i förhållande till produktionsplanerna. För att ta ikapp detta måste gruvan överproducera och en ond spiral uppstår.

Varken Kristinebergsgruvan eller Renströmsgruvan arbetar med tidsrelaterade mått som ledtid, cykeltid, taktid, processtid förutom när det gäller salvcykeln. Salvcykeln är den enda operation i materialflödet där arbetet går ut på att hitta förbättringar tidsmässigt vilket innebär att det lätt skapas suboptimering av materialflödet, något som syns i Renströmsgruvan. Där har salvcykeln ett högre tempo vilket skapar problem för senare operationer eller stationer i flödet och detta upptäcks lättare om det finns en större medvetenhet rörande ledtider, taktider, operationstider, processtider etc. för hela materialflödet.

7.5.2 Bestämna framgångsfaktorer för effektivt flöde

Alla flöden karaktäriseras av variation och hur en verksamhet arbetar med att minimera denna variation skiljer sig kan skilja markant från en till annan. Variationerna måste jämnas ut med hjälp av lager, tid eller kapacitet vilket i

förlängningen innebär hur en organisation väljer att ha för lagerhållning, ledtider till kunder, kapitalstock och så vidare.

Produktionen sker idag under kraftigt begränsad tillgång till lager, då både delar av gråberget och all malm räknas som PIA måste det finnas tydligare mål hur lagernivåerna i gruvan ska se ut. Som tidigare nämnt bör fokus ligga på reducerad processtid, mindre variation och mindre lager. Eftersom Kristinebergsgruvan har flera gavlar (produktionsfronter) innebär det att verksamheten eftersträvar en flexibel produktion, det vill säga att det finns kapacitet nog för att kunna klara avvikelser (variation) i form av underhåll, efterförstärkning och så vidare utan att det ska påverka materialflödet. Problemet är att när Kristinebergsgruvans verksamhet väl diskuterar kapaciteter fokuseras det bara på baskapaciteten, det vill säga den kapacitet som är rådande vid ideala förhållanden. Med andra ord ägnas inte avvikelser såsom underhåll vilket gör att operationskapaciteten, som egentligen är det intressanta, förbises.

Då PIA är en begränsning kan Boliden med hjälp av Littles lag beräkna längsta cykeltid för att klara budgeten. Fördelen med att kontrollera PIA bättre, eller till och med sätta en begränsad nivå av PIA, som prestationsmål är att försöka skapa ett pull-flöde. Fördelen med pull-flöde är att produktionsapparaten undviker situationer där PIA helt plötsligt växer okontrollerat till alltför höga nivåer (bergvräkning), dessutom förespråkas pull-flöden av NBW vilket underlättar motiveringen att sträva mot ett något förändrat arbetssätt. Eftersom stora mängder gråberg och malm innebär brist på lagringsutrymme i gruvan påverkar detta i sin tur produktionen kan en övre kritisk gräns för PIA bestämmas genom exempelvis erfarenhet. Taktiden finns det redan riktlinjer för i form av materialplanerna (brytning- och återfyllnadsplan). Därigenom kan cykeltiderna för olika operationer mätas för att undersöka avvikelser. Den cykeltid som blir avgörande är den i flaskhalsen ($\text{Kritisk PIA} = \text{Taktid} \times \text{Cykeltid i flaskhals}$). Om avvikelserna bildar en trend kommer detta oundvikligen påverka PIA-nivån i gruvan på både kort och, framförallt, längre sikt. Genom att få ner höga PIA-nivåer reduceras total processtid och lager minskar.

Eftersom det tidigare att all slags variation i produktionen skapar svängningar i produktionsflödet är det av stor vikt att undersöka denna variation. Det är vanligt att salvor skjuts senare än planerat och det förekommer även att salvor skjuts tidigare för att försöka "ta ikapp" förlorad produktion. Dessa svängningar är inte önskvärda utan en helt jämn produktionstakt över året är önskvärt; särskilt då Kristinebergsgruvan har en budget att följa vilket kan betraktas som en väldigt stabil form av efterfråga sett på årsbasis. Av planerat

salvtempo under 2011 var det endast 4 veckor av 49 som innehöll samma utfall som planerat, det är ungefär 8 % av alla veckor som haft precis samma utfall som planerat. Därför bör OTD finnas med som ett prestandamått för att mäta hur väl utfallet stämmer med planerna och om det finns någon trend i avvikelserna. Det finns tankegångar i Kristineberg att ”en tidig salva är en bra salva”, detta håller dock inte produktionen i Renström med om och menar på att detta stämmer bara då det finns kapacitet att klara av ett ökat salvtempo. Med OTD som prestandamått lyfts nackdelarna med avvikelser från planeringen fram dessutom skapas ett tydligt mått och uppföljningsverktyg för planföljksamhet.

Även flaskhalsbaserade styrregler bör upprättas. Eftersom gruvdrift består av ständigt förändrade förutsättningar blir det då extra viktigt att känna till resursernas kapacitet och om styrreglerna är flaskhalsbaserade innebär detta att det uppstår en medvetenhet som i sin tur går att utnyttja vid den rekommenderade planeringsgången. En förutsättning för flaskhalsbaserade styrregler är kännedom rörande operationstider, tillgängliga tider och avvikelser vilket innebär noggrannare mätning och inrapportering angående dessa parametrar. Det är viktigt att hålla reda på nyttjandegraderna på bergstransporten då den enligt vedertagen teori kan definieras som flaskhals i dagsläget. För dessa operationer är köteori i form av *finite source model* ett bra verktyg som uppföljning av prestandamått. Med denna modell används lastning eller tömning i schakt beroende på vilken som har längst operationstid som servicestation för att beräkna nyttjandegrad. Fördelen är att även trånga passager där det sker många möten, eller att väntetiden för ett möte blir långt, går det att använda köteorin som modell för att beräkna cykeltider och nyttjandegrader på bergbilarna.

Dessutom bör det finnas prestandamått som mäter olika operationers avvikelser eller variation i cykeltiden. Som Figur 8 på sidan 35 visar kan stationer med låg variation utnyttjas i större utsträckning då dessa klarar av höga variationer i materialflödet på ett bättre sätt. Med andra ord kan större del av dessa stationers kapacitet utnyttjas utan att det får negativa följd effekter.

7.5.3 Entydiga definitioner

Detta kan verka trivialt men vikten av entydiga definitioner inom samma koncern måste lyftas fram. För att kunna arbeta med styrregler och planeringsmodeller måste exempelvis ”flaskhals” betyda samma sak för planering som för produktion. Än bättre är det om samma ord har samma betydelse för hela koncernen; att det finns entydiga definitioner för prestandamåttens innebörd och hur de mäts eller beräknas. Något som

observerats är att det finns en begreppsförvirring, det vill säga att olika delar i organisationen inte har samma syn på lager, flaskhalsar, ledtider och så vidare. Ett exempel på begreppsförvirring är personer som påstått att underhåll är en flaskhals när det egentligen är en avvikelse enligt den teoretiska referensramen. Resonemanget att underhåll är en flaskhals för att det inte kan hålla den brytningstakt som krävs kan ses som bakvänt. Ett sundare resonemang är brytningstakten inte är anpassad till vad produktionen egentligen klarar. Felaktiga definitioner kan skapa falsk trygghet som tidigare påtalats; felaktigt beräknade nyttjandegrader målar upp en tro att det finns överkapacitet i en gruva trots att verkligheten är det motsatta.

Entydiga definitioner underlättar även möjligheterna att jämföra mellan, benchmarking, olika gruvor inom samma koncern. Ett exempel är från de interna flödesstudierna. Där beräknades nyttjandegraderna genom att ta operationstiderna under en vecka dividerat med total tid under veckan. Istället för att dividera med totala tiden borde nämnaren bestå av *tillgängliga tiden* under veckan. Det vill säga total skiftetid, vilket är den faktiska tiden som arbete kan pågå. Det blir då betydligt lättare att använda dessa nyttjandegrader mellan olika gruvor som kan ha kortare eller längre skiftetider och få jämförbara mått.

Definitionerna bör bestå av de som nämns i Tabell 25.

Tabell 25 - Förslag på definitioner

Begrepp	Förklaring eller beräknas
Nyttjandegrad	$\frac{\text{Tillgänglig tid}}{\text{Operationstid}}$
Flaskhals	<i>Operationen med högst nyttjandegrad</i>
PIA (lager)	$\text{Takttid} \times \text{Cykeltid}$
Cykeltid	<i>Tiden det tar att utföra en operation.</i>
Kapacitet	<i>I form av tonnage men ÄVEN som tillgänglig tid för olika operationer</i>

Det som även bör nämnas är att flaskhalsen är den med högst nyttjandegrad över en längre tid, exempelvis minst 3 månader. Annars finns det risk att det uppstår en förvirring vad som är den egentliga flaskhalsen och det skapas en tro att flaskhalsen är flytande. Självklart kan oväntade avvikelser få konsekvenser på kortare sikt vilket gör att flaskhalsen upplevs som att den har

flyttat sig men den är viktigt att det finns en medvetenhet i verksamheten vilken operation eller station som är den verkliga begränsningen för materialflödet.

7.5.4 Öka kapacitetsfokus i planeringen

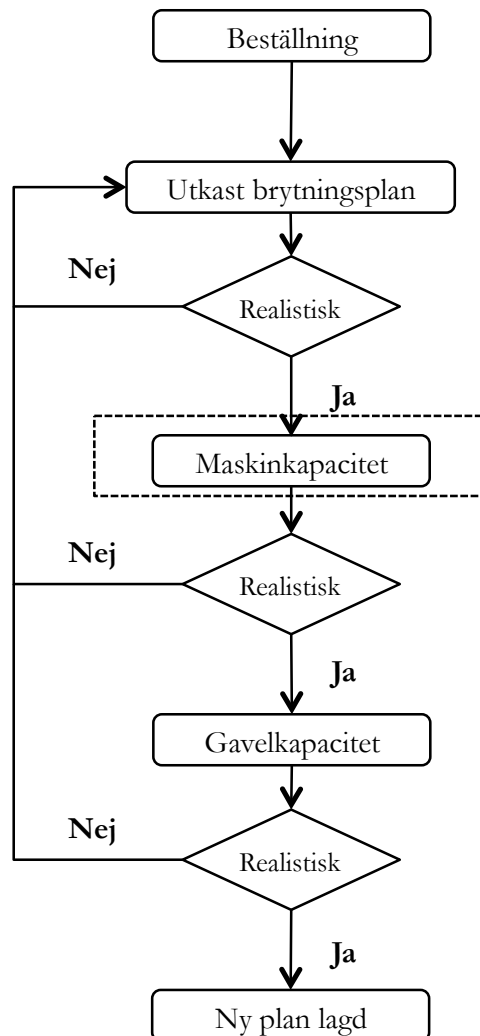
Kristinebergsgruvan arbetar med att först planera efter materialhänsyn och sedan kommer sällan eller aldrig kapacitetshänsynen. En subjektiv bedömning är att det finns en attityd där det är produktionens ”problem” att klara av de uppsatta målen. Detta kan bero på att det verkar saknas en förståelse vad dagens maskinpark tillsammans med tillgänglig arbetskraft klarar av, det vill säga vilken kapacitet verksamhetens resurser egentligen har. Denna brist på förståelse beror till stor del av att planering och produktion har ett väldigt stort fokus på hur många ton som utvinns ur gruvan. Dagens prestationsmätt är alltså materialrelaterade mått och allteftersom brytningen fortgår blir det svårt att mäta och följa upp hur många ton gruvans resurser klarar av. Än en gång rekommenderas någon form av tidsrelaterade mått där det är betydligt lättare att kunna följa upp avvikelser och beräkna brytpunkter då exempelvis ytterligare en bergbil måste sättas in.

Ett teoretiskt exempel är om X ton ska fraktas från en viss del av gruvan under en förutbestämd tidsperiod kommer det krävas 5 bergbilar under två veckor. Om den genomsnittliga körtiden ändras från 45 minuter till 50 minuter per bergbil leder detta till att antingen en extra bil måste sättas in eller att tidsrymden två veckor måste förlängas så att uppgiften blir realistisk. Ifall förutsättningarna ändras blir det mer naturligt att se konsekvenserna i ett tidigare skede med tidsrelaterade mått.

Ett tydligare fokus på kapacitet i planeringen lyfter även fram konsekvenserna att prioritera bort underhåll eller bristen av kontinuerligt underhåll. Underhåll ska aldrig prioriteras bort för att arbeta ikapp, särskilt inte när Kristineberg har en internkund i form av anriktningsverket. Ju mer underhåll som krävs desto tidigare och tydligare kommer det att lyftas fram om det finns ett större fokus på resursernas kapacitetsutnyttjande. ”Produktionens onda cirkel” i Figur 21 på sida 81 skulle definitivt undvikas om det fanns ett tydligare fokus på kapacitet i planeringsstadiet. För att kunna tydliggöra kapacitetsfokus i planeringen är det en fördel om det finns en modell att tillgå. Här följer rekommenderad modell eller verktyg för planering i Kristineberg.

Utifrån Kristinebergsgruvans förutsättningar har ett förslag på planeringsgången utarbetats i Figur 22. Denna modell är mer fokuserad på medel- och kortfristig

planeringshorisont. Beställning har en vid betydelse och kan exempelvis representeras av en prognos.



Figur 22 - Rekommenderad planeringsgång för Kristinebergsgruvan.

Utifrån beställningen läggs en brytningsplan i kombination med fyllnadsplan. Modellen utgår ifrån arbetsgången materialhänsyn först sedan kapacitetshänsyn. Tanken med detta är att inte skapa alltför stora förändringar i planeringsrutinen och på så sätt lättare att implementera. Då brytningsplanen är färdig undersöks den om den är realistisk, om svaret är ja fortsätter planeringen till nästa steg annars läggs en ny brytningsplan.

Därefter fortsätter arbetsgången med att undersöka huruvida materialplanen är realistisk i förhållande till de resurser som finns tillgängliga. Ju längre planeringshorisonten är desto större utrymme bör denna del i arbetsgången få eftersom det är lättare att kunna åtgärda eventuella resursbrister. Med andra ord är det svårt att kunna åtgärda resursbegränsningar vid kortsiktig planering därför måste det göras vid längre planeringshorisont. Maskinkapaciteterna

behöver inte nödvändigtvis bygga på ton som dimensionsmått, planeringen kan med fördel använda sig av tid som mått på kapacitet. Fördelen med tid är att kapaciteten kan beräknas även för maskingrupper som bara indirekt har med produktionen att göra. Exempelvis i områden som kräver mycket efterförstärkning kommer kräva mer tid per producerat ton, då är det lättare att mäta kapaciteten i tillgänglig tid för att på så sätt lättare kunna planera, revidera och följa upp. Sist men inte minst kontrolleras gavelkapaciteten, om det finns tillräckligt med gavlarna för att klara tonnaget. Denna bör i flesta fall vara realistisk då brytningsplanen gavlarnas egenskaper. Därefter är planeringen färdig.

Med ökat kapacitetsfokus i planeringen går det inte att skylla på att verksamheten är "händelsestyrd". En vanlig ursäkt är att det inte går att planera för att verksamheten är så pass händelsestyrd när det egentligen borde fungera tvärtom; med god planering ska verksamheten klara av överraskningar utan större bekymmer. För att kunna arbeta med kapacitet och nya prestationsmått kräver detta att input av information får en förändring.

7.5.5 Förbättrad informationsinput

För att kunna arbeta med nya styrregler och planeringsverktyg måste det byggas på data som inte finns i dagsläget alternativt finns i för dålig noggrannhet. Som tidigare konstaterat är det bara två av McKay & Wiers (1999) fyra informationskällor som har någon tydlig input vid planeringen. Det saknas input från *resurs* och *material* som informationskällor, se Tabell 26. Dock finns några input så som *förväntad efterfråga* med i planeringen men detta är dock för lite för att kunna anses ha material som informationskälla.

Tabell 26 - McKay & Wiers (1999) informationskällor som saknas.

Informationskälla	Input
<i>Resurser</i>	Kapacitet, flexibilitet, tillförlitlighet, kostnader, lokalisering, avstånd, underhållsbehov, känslighet och så vidare.
<i>Material</i>	Färdigdatum, förväntad efterfråga, kvalitet, ledtider, processtider, partistorlek, lagernivåer, risker och så vidare.

Framförallt är det informationskällan *resurs* som Boliden och Kristinebergsgruvan måste arbeta tydligare med. Noggrannheten i informationen måste också lyftas fram. För att få tillförlitlig data måste rapporterna samlas in samma tidpunkt varje vecka, månad eller år och helst

utan avvikelser. Varje operation ska vara tydligt definierad när den slutar och när den börjar för att olika operatörer inte ska rapportera in annorlunda. Det absolut bästa vore om all datainsamling sker automatiskt för att på så sätt minimera den mänskliga faktorn.

8 Slutsats Återkoppling till studiens syfte

Studiens syfte presenterades i avsnitt 1.3 och det är nu dags att återkoppla resultat och slutsatser till forskningens syfte och -frågor. Här sammanfattas först svaret på forskningsfrågorna för att sedan avsluta med att på ett sammanfattande vis besvara studiens centrala syfte.

Vilka egenskaper är specifika för materialflödet inom gruvindustrin?

De egenskaper som är specifika för materialflödet inom gruvindustrin sammanfattas kort och koncist av Tabell 27 som även presenterats tidigare i studien.

Tabell 27 - Karaktäristiskt för materialflöde inom gruvindustrin.

Karaktäristiskt drag	Problem
Kontinuerligt flöde	Inga naturliga partier då malmen från olika gavlar blandas i schaktet före skippning.
Produkter kan byta tillstånd	Inga naturliga enheter. Olika halter på malmen, dessutom kan gråberget ha skiftande egenskaper i form av hårdhet. Beroende på om det är gråberg eller malm väger materialet olika. Även malmens mineralkoncentration påverkar densiteten.
Olika flödesordning av material	Materialet kan komma ut från systemet i olika ordning.
Lågt adderat värde till produkten genom produktionsprocessen	Stor känslighet för kostnadsökningar.
Segregation	Flödet beror på produktens fysiska egenskaper. Beroende på vad som bryts (gråberg eller malm) kan materialet ha olika prioriteringar.
Begränsade lagermöjligheter	Begränsat med lagerytor som dessutom är utspridda.

Extrem arbetsmiljö	Tunga last och kraftig lutning är exempel på parametrar som ökar slitage på maskiner vilket leder till ökat underhållsbehov.
Förändrade förutsättningar	Brytningen gör att förutsättningarna för flödet ändras varje dag, ex. ökade avstånd från kross och skippar.
Kostnadsintensivt	Det krävs stora investeringar i bl.a. prospektering, brytning och transport för att frigöra malmen

Andra förutsättningar som skiljer gruvindustrin från andra typer av branscher är att det i princip inte finns fasta anläggningar. Produktionen sker inte på en fast lina utan brytningen gör att produktionsfronten ständigt förflyttar sig vilket skapar något annorlunda förutsättningar i materialflödet i form av ökade avstånd.

Vad är effektivt materialflöde inom gruvindustrin?

Effektivt materialflöde inom gruvindustrin innefattar en kostnadseffektiv brytning i kombination med en relativt flexibel produktionsapparat. Kostnadseffektiviteten är ett måste eftersom det är ganska lågt adderat värde genom produktionsprocessen i gruvindustrin. Kostnadseffektiv brytning innebär en relativt hög nyttjandegrad av kapitalstocken men eftersom detta strider delvis mot flexibel brytning kan det innebära målkonflikter, därför är det svårt att fastställa en perfekt avvägning mellan dessa två. Flexibiliteten är viktig just på grund av de ständigt ändrade produktionsförutsättningarna vilket medför större variationer i både produktens egenskaper men även i själva materialflödet (intermittent). Då det är vanligt med begränsat utrymme inom gruvindustrin är det en fördel om materialflödet är av dragande karaktär: pull-flöde. Vid pull-flöde undviker verksamheten effektivt att dra på sig en ökande PIA-nivå vilket skapar stora försvåringar när det uppstår.

Hur samverkar planering och materialflöde?

På grund av att bergstekniska skäl är den enskilt största anledningen till skillnad i materialflödet mellan gruvor påverkas även planeringen därefter. Därför finns det ett fokus på materialhänsyn för att sedan undersöka kapacitetsbegränsningarna. Parametrar som ingår i planerna blir därför därefter, framförallt fokus på tonnage vid brytning och hur fyllningen ska ske för att få undvika för mycket påverkan på berget. Dessutom är det praktiskt att fylla igen för att bli av med överflödigt material som gråberg och

anrikningssand. När det gäller tider är fokus på cykeltiderna vid salvcykeln, däremot hur stödoperationernas tider ser ut påverkar inte nämnvärt planeringen.

Vilka specifika styr- och planeringsfaktorer är viktiga i gruvindustrin?

Den brytningsmetod som Kristineberg och Renström använder sig av fokuserar väldigt mycket på gavelkapaciteten, det vill säga hur många gavlar som behövs för att kunna bemöta ställda produktionskrav. Något som helt klart påverkar, ur en teoretisk synpunkt, är brytningsmetoden och malmens lokalisering. Låt säga att om det fanns en enda stor gavel och att malmen ligger samlad innebär en allt mer storskalig brytning. Detta i sin tur gör att brytningen är mer kostnadseffektiv då det finns skalfördelar och att produktionen inte ställer samma krav på flexibilitet (kräver mindre tid till transport mellan gavlar). Skillnaden mellan gruvor i gruvindustrin beror framförallt på bergstekniska skäl vilket gör detta till den faktor som påverkar materialflödet mest mellan olika gruvor. Detta gör att materialhänsynen alltid måste komma först vid planering i gruva; till skillnad från andra branscher där kapaciteten kommer först vid planering.

Hur bör styrregler och planeringsverktyg utformas för att stödja effektivt materialflöde inom gruvindustrin?

Eftersom kostnadseffektivitet och flexibilitet är viktiga faktorer vid effektivt materialflöde inom gruvindustrin är det extra viktigt att fokusera på flaskhalsbaserade styrregler och prestandamått. Eftersom både i Kristineberg och Renström har haft problem med bergvräkning är det en fördel om pullflöde eftersträvas i större utsträckning, det vill säga genom att fastställa nivåer som PIA inte får överstiga och om detta sker ska åtgärder genast sättas in. Genom en tydligare fokusering på flaskhalsbaserade styrregler medföljer även en ökad medvetenhet kring ledtider, tillgängliga tider, cykeltider och så vidare. Dessutom blir suboptimeringar tydligare och kan motarbetas. Vidare fördelar att arbeta med flaskhalsbaserade styrregler är att nyttjandegraderna från olika operationer går att direkt härleda till kostnadseffektiv produktion och flexibilitet. Något som saknas i stor utsträckning är tidsrelaterade mått vilket medför en ökad medvetenhet rörande kapaciteter, nyttjandegrader och ett snabbare sätt att upptäcka avvikelser. Ett viktigt instrument för transporten under jord är köteori som kan användas vid kritiska moment i frakten så som vid lastning, tömning vid kross och möte i trånga passager. Köteorin som verktyg bygger på just tidsrelaterade mått.

9 Diskussion

Diskussionen syftar till att presentera författarnas egna tankar rörande studien. Hur tanken såg ut från början, hur arbetet utvecklas sig, vad som kunnat göras bättre och förslag till fortsatt forskning inom området.

I början av vårt arbete var tanken att på ett mer matematiskt och konkret vis kunna presentera planeringsverktyg och styrregler för gruvindustrin. Allt eftersom studien fortgått har vi insett att det saknats för många parametrar i form av produktionsdata för att fullt ut upprätta sådana modeller. Problemet har varit att det tar för lång tid att skaffa sig tillräckligt tillförlitlig data för att bygga sådana modeller, något som det inte har funnits utrymme för under denna studie. Därför har arbetets fokus legat på hur utformandet av styrregler och planeringsverktyg ska se ut. Det syns tydligt bland annat i den teoretiska referensramen där stor del av arbetet gått till att skapa en djupgående förståelse i vad materialflöde ska definieras som, vad *effektivt* materialflöde är, hur gruvindustrins karaktäristiska drag sätter villkoren och hur planeringen kan påverka för att skapa detta effektiva materialflöde. Detta har i sin tur skapat en grund för resultat och analys att stå på. Alla rekommendationer som finns tillsammans med handlingsplanen är sökt att vara förankrade i både teoretiska, generaliserbara modeller och en övergripande kartläggning.

Gruvindustrin var i sig en utmaning att ta sig an då branschen skiljer sig markant från konventionell industri med fasta anläggningar. Stor del av arbetet lades på att förstå hur verksamheten fungerar, kartläggning och uppleva den dagliga verksamheten på nära håll. Gruvans komplexitet kan ses i Bilaga C Karta över Kristinebergsgruvan. Det har varit en stor fördel att vi kunnat tillbringa större delen av tiden i Kristineberg och därför även kunnat ta del av organisationskulturen. Detta har varit till stor hjälp för oss under studiens gång att skapa en förståelse hur arbetet går till ”på riktigt”.

Problemet med studien är att eftersom en fallstudie som metodverktyg har använts är det svårt att generalisera de förslag till utformning av planeringsverktyg och styrregler. Förslag till forskning är att undersöka huruvida utformningen för planeringsverktyg och styrregler fungerar i gruvor med annorlunda förutsättningar. Mer isolerade problemområden som att bara förbättra utnyttjandet av flaskhalsar eller införandet push-flöde i gruvan vore intressant att undersöka närmare.

10 Litteraturförteckning

Litteratur

Arbner, I., & Bjerke, B. (2009). *Methodology for creating business knowledge* (3:e upplagan uppl.). Sage, Kalifornien: Thousand Oaks.

Bergstrand, Å., & Åkerström, S. (2006). *Produktionsplanering - Planerings för effektiv styrning vid Aiktik dagbrott*. Luleå: Luleå tekniska universitet.

Bjørnland, D., Persson, G., & Virum, D. (2003). *Logistik för konkurrenskraft* (1:a upplagan uppl.). Malmö: Liber ekonomi.

Chen, H.-N., & Cochran, J. K. (2005). Effectiveness of Manufacturing Rules on Driving Daily Production Plans. *Journal of Manufacturing Systems* , 24 (4), ss. 339-351.

Churchill Jr., G., & Iacobucci, D. (2005). *Marketing research: Methodological foundations* (9:e upplagan uppl.). Mason, Ohio: Thomson/South-Western.

Conway, R., Maxwell, W., McClain, J. O., & Thomas, L. J. (1988). The Role of Work-In-Process Inventory in Serial Production Lines. *Operations Research in Manufacturing* , 36 (Nr 2), 229-241.

Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2003). *Business research methods* (8:e upplagan uppl.). Boston: McGraw-Hill.

Dekker, R., M., F., Inderfurth, K. F., & Van, L. N. (2005). Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains. *The Journal of the Operational Research Society* , 56 (6), 752.

Ericsson, D., & Persson, G. (1981). *Materialadministration : ett företagsledaransvar* (1:a upplagan uppl.). Malmö: Liber Läromedel.

Hill, A. V., & Khosla, I. S. (Januari 1992). Models for optimal lead time reduction. *Production and operations management* , 1 (2), ss. 185-197.

Hopp, W. J. (2008). *Supply Chain Science*. New York: McGraw-Hill Irwin.

Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2008). *Factory physics*. New York: McGraw-Hill.

Kallrath, J. (2002). Planning and scheduling in the process industry. *OR Spectrum* (24), 219-250.

Kvarnström, B. (2010). *Traceability in Continuous Processes - Applied to Ore Refinement Processes*. Luleå: Luleå tekniska universitet.

Mattsson, S.-A. (1999). *Produktionslogistik. Planeringsmiljöer och planeringsmetoder*. Malmö: Permatron.

McKay, K. N., & Wiers, V. C. (1999). Unifying the theory and practise of production scheduling. *Journal of Manufacturing Systems* , 18 (4), ss. 241-255.

Meyr, Herbert, W. M., & Rohde, J. (2005). Structure of Advanced Planning Systems. i H. Stadtler, & C. Kilger, *Supply chain management and advanced planning* (ss. 109-117). Heidelberg: Springer.

Nahmias, S. (2009). *Production and operations analysis* (6:e upplagan uppl.). Boston: McGraw-Hill.

Natarajan, R., & Goyal, S. (1994). Safety Stocks in JIT Environments. *International Journal of Operations & Production Management* , 14 (Nr 10), 64-71.

Nave, D. (Mars 2002). How to compare six sigma, lean and the theory of constraints: A framework for choosing what's best for your organization. *Quality progress* , ss. 73-78.

Olhager, J., & Rudberg, M. (2003). Manufacturing strategy and e-business: an exploratory study . *Integrated Manufacturing Systems* , 14 (4), ss. 334-345.

Paché, G. (1995). Speculative inventories in the food retailing industry. *International Journal of Retail & Distribution Management* , 23 (Nr 12), 36-42.

Saunders, M., Lewis, P., & Tornhill, A. (2009). *Research methods for business students, 5th edition* (5:e upplagan uppl.). Harlow: Pearson Education.

Segerstedt, A. (2011). Dimensionering av buffertar i ett flöde: Conwip och eller Kanban styrning? *Bättre logistik* (1), ss. 10-12.

Segerstedt, A. (2008). *Logistik med fokus på material- och produktionsstyrning* (2:a upplagan uppl.). Malmö: Liber.

Stadtler, H. (2005). Production planning and scheduling. i H. Stadtler, & C. Kilger, *Supply chain management and advanced planning* (ss. 197-215). Heidelberg: Springer.

Yin, R. K. (2003). *Case study research : design and methods* (3:e upplagan uppl.). Thousand Oaks : Sage Publications.

Internet

Boliden AB. (2011). *Årsrapport 2010*. Stockholm: Boliden.

Boliden. (2012). *Boliden*. Hämtat från <http://www.boliden.com/sv/Verksamheter/Gruvor/Boliden-Area/> den 24 Februari 2012

Boliden. (2012). *Boliden AB Årsrapport 2011*. Stockholm: Boliden.

Bolidens intranät. (u.d.). Hämtat den 24 Februari 2012

NE. (2012a). *Nationalencyklopedin*. (D. Prawitz, Redaktör) Hämtat från http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/kunskapsteori?i_h_word=epistemologi den 22 Februari 2012

NE. (2012b). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/paradigm/279752> den 22 Februari 2012

NE. (2012c). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/kort/induktion/1174079> den 21 Februari 2012

NE. (2012d). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/experiment> den 22 Februari 2012

NE. (2012e). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/logistik/244069> den 29 Februari 2012

NE. (2012f). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/materialadministration> den 29 Februari 2012

NE. (2012g). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/lager/236397> den 5 Mars 2012

NE. (2012i). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/malm/249581> den 9 Februari 2012

NE. (2012j). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/basmetall> den 15 Februari 2012

NE. (2012k). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/komplexmalm> den 24 Februari 2012

NE. (2012h). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.ltu.se/lang/gruva> den 3 April 2012

BILAGOR

BILAGA A INTERVJUGUIDE

LAGER

Vad är lager enligt er?

Hur mäts lagersaldot?

Klassificerar ni materialet i lagret?

Mäter ni ledtider för materialet?

Har ni någon miniminivå för lagret?

Mäter ni lageromsättningen?

Sker det någon typ av registrering av vad som ligger i lager?

Hur sker registreringen?

PLANERING

Hur planeras brytningen?

Hur planeras uppfraktningen av material från gruvan?

Vilka parametrar (input) baseras planeringen utifrån?

Vilka parametrar undersöker ni vid uppföljning av lagda planer?

FLASKHALSAR

Hur definierar du produktionens flaskhals?

Har ni flaskhalsar?

Är flaskhalsen flytande?

Om inte, vad är er flaskhals?

BILAGA B SKIFTTIDER OCH SKIFTLAGSSCHEMAN

		Måndag			Tisdag			Onsdag			Torsdag			Fredag			Lördag & Söndag			
		Start	Slut	Längd	Start	Slut	Längd	Start	Slut	Längd	Start	Slut	Längd	Start	Slut	Längd	Start	Slut	Längd	
Natt	Förberedelser				22:12	22:22	00:10	22:12	22:22	00:10	22:12	22:22	00:10	22:12	22:22	00:10				
	Transporttid ner & Arbete				22:22	01:40	03:18	22:22	01:40	03:18	22:22	01:40	03:18	22:22	01:40	03:18				
	Lunch,Utvädring & Transporttid till mat				01:40	02:50	01:10	01:40	02:50	01:10	01:40	02:50	01:10	01:40	02:50	01:10				
	Arbete & Transporttid upp				02:50	06:30	03:40	02:50	06:30	03:40	02:50	06:30	03:40	02:50	06:30	03:40				
Fm	Förberedelser	05:30	05:40	00:10	05:30	05:40	00:10	05:30	05:40	00:10	05:30	05:40	00:10	05:30	05:40	00:10				
	Transporttid ner & Arbete	05:40	09:40	04:00	05:40	09:40	04:00	05:40	09:40	04:00	05:40	09:40	04:00	05:40	09:40	04:00				
	Lunch,Utvädring & Transporttid till mat	09:40	10:50	01:10	09:40	10:50	01:10	09:40	10:50	01:10	09:40	10:50	01:10	09:40	10:50	01:10				
	Arbete & Transporttid upp	10:50	14:00	03:10	10:50	14:00	03:10	10:50	14:00	03:10	10:50	14:00	03:10	10:50	14:00	03:10				
Em	Förberedelser	14:00	14:10	00:10	14:00	14:10	00:10	14:00	14:10	00:10	14:00	14:10	00:10	14:00	14:10	00:10	06:00	06:10	00:10	
	Transporttid ner & Arbete	14:10	17:40	03:30	14:10	17:40	03:30	14:10	17:40	03:30	14:10	17:40	03:30	14:10	17:40	03:30	06:10	09:40	03:30	
	Lunch,Utvädring & Transporttid till mat	17:40	18:50	01:10	17:40	18:50	01:10	17:40	18:50	01:10	17:40	18:50	01:10	17:40	18:50	01:10	09:40	10:50	01:10	
	Arbete & Transporttid upp	18:50	23:15	04:25	18:50	23:15	04:25	18:50	23:15	04:25	18:50	23:15	04:25	18:50	22:00	03:10	10:50	13:30	02:40	
Skift Vecka		Natt	Dag	EM	Ledig															
		1	Team_4	Team_1	Team_2	Team_3														
		2	Team_4	Team_3	Team_1	Team_2														
		3	Team_4	Team_2	Team_3	Team_1														

BILAGA C KARTA ÖVER KRISTINEBERGSGRUVAN

