



CHALMERS

Investeringsstrategi för ett hållbart maskininnehav

En utredning av teknisk och ekonomisk utveckling av klimateffektiva arbetsmaskiner

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik

OLLE BRANDT

CARL VILLWOCK

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR Innovation and R&D Management

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2022
www.chalmers.se
Rapportnummer E2022:006

Rapportnummer E2022:006

Investeringsstrategi för ett hållbart maskininnehav

En utredning av teknisk och ekonomisk utveckling av
klimateffektiva arbetsmaskiner

OLLE BRANDT
CARL VILLWOCK

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för Innovation and R&D Management

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

Investeringsstrategi för ett hållbart maskininnehav
En utredning av teknisk och ekonomisk utveckling av klimateffektiva arbetsmaskiner

OLLE BRANDT
CARL VILLWOCK

© OLLE BRANDT, 2022
© CARL VILLWOCK, 2022

Rapportnummer E2022:006
Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2021

Förord

Detta examensarbete har utförts under vårterminen 2022 och motsvarar 15hp. Rapporten är skriven på högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Examensarbetet har utförts i samarbete med byggbolaget Skanska Sverige AB och mer specifikt avdelningen Region Special.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare på Skanska, Anders Cederwald, som har hjälpt oss framåt i arbetet och visat engagemang i vårt ämne. Hans kunskap och kännedom om arbetsmaskiner har varit till stor hjälp.

Vi vill även tacka Jan Wickenberg, handledare på Chalmers, som har guidat oss in på rätt väg och motiverat oss när det behövts. Jans kunskap om hur man skriver ett arbete och den konstruktiva kritiken har varit till stor hjälp.

Vidare vill vi även tacka alla respondenter som har tagit sig tiden att svara på våra frågor och som har lärt oss massvis med saker inom arbetsmaskiner och framtiden för dessa.

Göteborg, Sverige 2021

Investeringsstrategi för ett hållbart maskininnehav

En utredning av teknisk och ekonomisk utveckling av climateffektiva arbetsmaskiner

OLLE BRANDT

CARL VILLWOCK

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Bygg- och anläggningsbranschen står idag för cirka 20% av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser och en del av dessa utsläpp beror på de arbetsmaskiner som används i byggprojektet. Flera stora aktörer inom branschen har enats om att minska sina utsläpp med 50% till 2030 för att till 2045 ha nettonollutsläpp.

I takt med att ny teknik så som vätgasdrift och elektrifiering utvecklas börjar beställare sätta krav på att entreprenörer kan genomföra byggprojekt med lägre klimatpåverkan där kraven bland annat innefattar klimatneutrala arbetsmaskiner. För att möta efterfrågan av klimatneutrala arbetsmaskiner och nå de klimatmål som finns för branschen behöver byggföretag investera i klimatneutrala maskiner.

För att investera ansvarsfullt krävs det att investeringarna är underbyggda med fakta och de är både ekonomiskt och klimatmässigt hållbara. Syftet med rapporten är därför att utreda hur den tekniska utvecklingen av klimatneutrala maskiner ser ut samt vilken ekonomisk påverkan investering i sådana får.

Rapporten har utförts på Skanska Sverige AB:s avdelning Region Special som är företagets största maskinägare. Rapporten innefattar investeringskalkyler, utredning av teknisk mognadsgrad och beräkningar av utsläpp för att i resultaten presentera olika strategiförslag.

Rapportens resultat visar att det är svårt att nå det uppsatta klimatmålet om minskning av växthusgasutsläpp med 50% för arbetsmaskiner till år 2030 oberoende av investeringsstrategi. Den tekniska utvecklingen av klimatneutrala arbetsmaskiner sker inte i tillräckligt snabb takt. Resultaten visar även att kostnaden för investering i klimatneutrala maskiner är betydligt högre jämfört med traditionella dieselmaskiner vilket innebär att det är svårt att bibehålla lönsamheten om inte debiteringen ökas kraftigt.

Nyckelord: Investering, kalkyl, hållbarhet, arbetsmaskiner,
Göteborg, Sverige 2021

Investeringsstrategi för ett hållbart maskininnehav
En utredning av teknisk och ekonomisk utveckling av klimateffektiva arbetsmaskiner

OLLE BRANDT
CARL VILLWOCK

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola

ABSTRACT

The construction industry today accounts for around 20% of Sweden's total emissions of green-house-gases (GHG). One part of these emissions derive from construction machinery that is used on construction sites and within projects. Several actors within the industry have agreed upon reducing these GHG emissions by 50% by 2030 and 100% by 2045.

Alongside the development of new technology, such as hydrogen fuel cells and electrification, new demands from customers have started to arise, which include climate-neutral construction. To be able to meet these customer demands and environmental goals, enterprises need to invest in climate-neutral machinery.

For an investment to be responsible, decisions should be based on facts and the investment must be both economically and environmentally sustainable. Therefore, the purpose of this work is to find out the technological development of construction equipment and then what economic impact it would have if it were to be invested in.

This work has been conducted at Skanska Sverige AB:s department Region Special which is the company's largest owner of construction machinery. This work includes investment calculations, an investigation of technological maturity (Technology readiness level), GHG calculations, and finally different strategy propositions.

The result of this work shows that it will be tough to reach the environmental goals of reducing the emissions of GHG by 50% by 2030 regardless of the investment strategy. The technological development of climate-neutral construction machinery is happening at a too slow pace. The result also shows that the cost of investments in climate-neutral construction machinery is much higher than the cost of investing in traditional construction machinery that runs on diesel. The conclusion from this is that it will be hard to maintain profitability unless the customers are willing to pay more for climate-neutral alternatives.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	1
1.1. BAKGRUND	1
1.1.1. Generell problembeskrivning	1
1.1.2. Företagspresentation.....	1
1.2. SYFTE	2
1.3. AVGRÄNSNINGAR.....	2
1.4. PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNING	2
2. METOD.....	3
2.1. TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	3
2.2. RELIABILITET, VALIDITET OCH UTVÄRDERING AV METOD	4
3. REFERENSRAM.....	5
3.1. OMVÄRLDENS PÅVERKAN	5
3.1.1. Teknisk omvärld.....	5
3.1.2. Institutionell omvärld.....	5
3.2. STRATEGIER FÖR KONKURRENS	6
3.3. INVESTERING.....	6
3.3.1. Kalkyler som grund för beslut	7
3.3.2. Nuvärdesmetoden	7
3.3.3. Internräntemetoden.....	8
3.3.4. Den ekonomiska och tekniska livslängden	9
3.3.5. Känslighetsanalys.....	9
3.3.6. Strategi vid osäkra investeringar.....	9
3.4. BEDÖMNING AV TEKNISK MOGNADSGRAD – TECHNOLOGY READINESS LEVEL.....	11
3.5. DRIVLINOR FÖR ARBETSMASKINER	12
3.5.1. Dieselmotorer	13
3.5.2. Batterier	13
3.5.3. Bränsleceller.....	15
3.6. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ANVÄNDNING AV DE OLIKA DRIVLINORNA.....	16
3.7. DAGENS UTBUD AV ELEKTRIFIERADE ARBETSMASKINER PÅ DEN SVENSKA MARKNADEN	16
3.8. JÄMFÖRELSE MED PERSONBIL- OCH TRANSPORTBRANSCHEN.....	17
3.8.1. Kostnadsutveckling personbilar	19
4. REGION SPECIALS ORGANISATION OCH ARBETSMASKINER	19
4.1. ORGANISATION	19
4.2. REGION SPECIALS TILLVÄGAGÅNGSSÄTT VID INKÖP AV ARBETSMASKINER	20
4.3. REGION SPECIALS MASKININNEHAV.....	20
4.3.1. Reinvesteringstakt.....	21
5. RESULTAT	22
5.1. BEDÖMNING AV TEKNISK MOGNADSGRAD	22
5.1.1. Enkät 1 – Bedömning av teknisk mognadsgrad klimateffektiva arbetsmaskiner.....	22
5.1.2. Enkät 2 – Bedömning av den tekniska mognadsgraden för teknikerna batterielektriska och vätgasdrivna arbetsmaskiner	24
5.1.3. Enkät 3 - Bedömning av teknisk mognadsgrad elektricitetens och vätgasens tillgång och utbyggda infrastruktur.....	25
5.1.4. Sammanfattning av TRL-bedömning	26
5.2. GENERELL INFORMATION INVESTERINGSKALKYLERING	26
5.2.1. Kostnader och antaganden.....	27
5.2.2. Anskaffningsvärdet	27

5.2.3.	<i>Förväntad prisutveckling av elektriska arbetsmaskiner</i>	28
5.2.4.	<i>Kalkyl- och interränta</i>	30
5.2.5.	<i>Drift- och drivmedelskostnader</i>	30
5.3.	KÄNSLIGHETSANALYS	31
5.3.1.	<i>Känslighetsanalys, elektrisk maskin</i>	32
5.3.2.	<i>Känslighetsanalys vätgasmaskin</i>	34
5.4.	SAMMANSTÄLLNING AV KALKYLER	35
5.5.	KLIMATBERÄKNINGAR	36
5.5.1.	<i>Emissioner</i>	37
5.5.2.	<i>Energiåtgång</i>	38
5.6.	STRATEGI BASERAT PÅ KALKYL OCH TEKNISK MOGNADSGRAD	39
5.6.1.	<i>Osäkerhetsnivå för investering i climateffektiva arbetsmaskiner</i>	39
5.6.2.	<i>Ställningstagande</i>	39
5.6.3.	<i>Förslag på strategiska handlingar</i>	40
5.6.4.	<i>Sammanfattning av strategier</i>	43
6.	SLUTSATS OCH DISKUSSION	45
6.1.	SLUTSATS	45
6.2.	METODREFLEKTION	47
6.3.	RESULTATREFLEKTION	47
6.4.	FORTSATTA STUDIER	48
	REFERENSLISTA	49

1. INLEDNING

I rapportens första kapitel beskrivs bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställningar.

1.1. Bakgrund

Avsnittet presenterar den generella problembeskrivningen och introducerar företaget Skanska Sverige AB och bolagets avdelning Region Special.

1.1.1. Generell problembeskrivning

Idag står Bygg- och anläggningssektorn i Sverige för cirka 20% av det totala utsläppet av växthusgaser (Fossilfritt Sverige, 2021). Till dessa 20% hör bland annat byggmaterial, energi samt transporter och arbetsmaskiner. Fossilfritt Sverige (2021) har tillsammans med ett antal större aktörer i bygg- och anläggningsbranschen enats om en färdplan som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser. Färdplanen ligger i linje med Sveriges mål om att minska utsläppen med 50% till 2030 för att till 2045 ha nettonollutsläpp av växthusgaser i branschen.

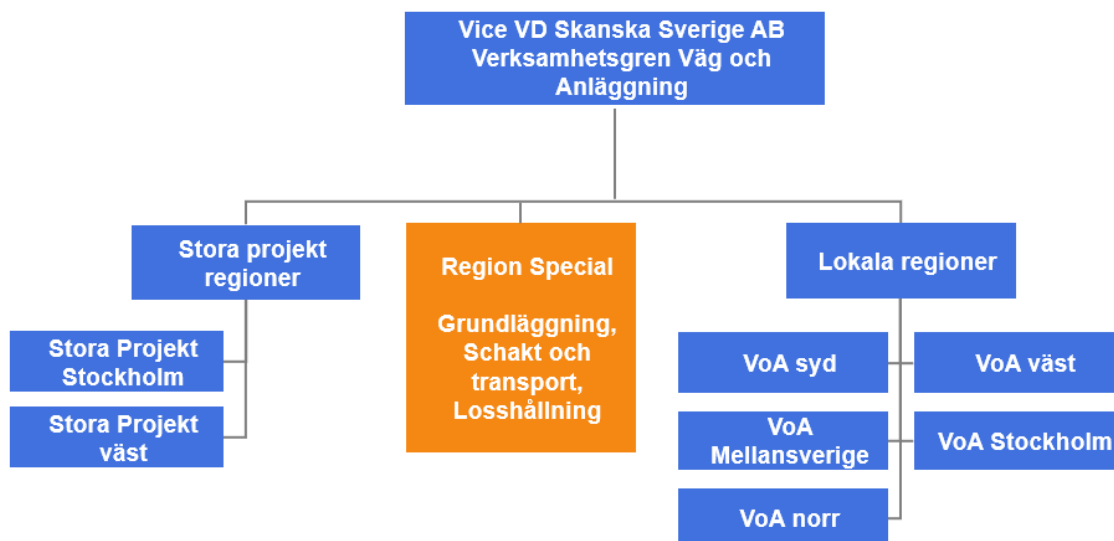
Arbetsmaskiner, som används på i princip varje byggprojekt idag, är till stor del dieseldrivna och har en hög klimatpåverkan. Utvecklingen av klimatneutrala arbetsmaskiner går framåt men utbudet är lågt och sådana maskiner har ett betydligt högre pris jämfört med dieselmaskiner. Många modeller som idag är klimatneutrala är ombyggnationer av dieselmaskiner och det finns inga serietillverkningar vilket bidrar till den höga anskaffningskostnaden.

För att minska utsläppen från arbetsmaskiner har entreprenörer tidigare använt sig av miljödiesel vilket av flera skäl inte längre är lika lätt att få tag på. Det finns en ökande trend av att upphandlingskrav och kunder sätter krav på att arbetsmaskiner ska vara klimatneutrala vilket innebär att entreprenörer behöver hitta lösningar och investera i teknik som möter efterfrågan.

Det råder osäkerhet i hur snabbt utvecklingen sker och hur priserna för både inköp och debitering kommer att förändras vilket ställer krav på att företag som behöver investera grundar sina beslut på fakta och analyser av utvecklingen. Skanskas Region Special som äger nästan 200 arbetsmaskiner vill utifrån ovan problembeskrivning utreda den teknik- och prisutveckling som ny teknik inom arbetsmaskiner innebär.

1.1.2. Företagspresentation

Skanska grundades 1887 och är ett av världens största bygg- och projektutvecklingsföretag och verkar i Norden, Europa och USA (Skanska, 2022). Inom Sverige är bolaget uppdelat i ett antal verksamhetsgrenar vilka är Hus, Väg och anläggning samt Industrial Solutions. Väg och anläggning driver och utvecklar projekt inom en rad olika kategorier så som mark, energi och infrastruktur. Verksamhetsgrenen Väg och Anläggning är uppdelad i olika regioner enligt figur 1.



Figur 1 - Organisationsschema verksamhetsgren Väg och Anläggning

Region Special specialiserar sig på grundläggningsverksamhet, schakt och transport samt losshållning. Regionen har cirka 200 arbetsmaskiner av varierande typ så som till exempel grävmaskiner, hjullastare och bormaskiner. Regionens verksamhet är väldigt maskinintensiv och är den region i Skanska Sverige AB med flest arbetsmaskiner vilket resulterar i ett högt utsläpp av växthusgaser eftersom majoriteten av arbetsmaskinerna är dieseldrivna.

Skanska Sverige AB har ett uppsatt klimatmål om att minska sina utsläpp i linje med färdplanen som tagits fram för bygg- och anläggningssektorn. Detta innebär att Region Special, som största maskinägare i bolaget, behöver investera i arbetsmaskiner med lägre klimatpåverkan för att nå målen.

1.2. Syfte

Rapporten syftar till att utreda hur teknik- och prisutvecklingen av klimateffektiva arbetsmaskiner förväntas utvecklas samt undersöka om det är möjligt att nå klimatmålen genom investering.

1.3. Avgränsningar

De klimatberäkningar som genomförs tar bara hänsyn till arbetsmaskinernas klimatpåverkan vid drift och inte vid tillverkning. Rapporten undersöker inte heller kostnader relaterade till laddning eller tankning av arbetsmaskiner, vilket kan bestå av till exempel inköp av laddutrustning samt arbetsplatsanpassning. Vidare undersöks inte efterfrågan på marknaden eller lämpliga debiteringsnivåer.

1.4. Precisering av frågeställning

För att uppnå syftet med rapporten preciseras ett antal frågeställningar som ligger till grund för arbetet:

- Hur bedöms den tekniska utvecklingen av klimateffektiva arbetsmaskiner se ut fram till och med 2030?
- Hur påverkas kostnader och intäkter vid investering i klimateffektiva arbetsmaskiner?

- Vilka ekonomiska faktorer, som i sin tur påverkar resultatet, är känsliga för variation?
- Utifrån den tekniska och ekonomiska utvecklingen, vilka investeringsstrategier är mest lämpliga vid investering i ny teknik?
- Är det möjligt att minska utsläppen av växthusgaser från arbetsmaskiner med 50% till 2030 genom investering i climateffektiva arbetsmaskiner?

Metoder som används i rapporten för att besvara frågeställningarna beskrivs i nästkommande avsnitt.

2. METOD

I metodkapitlet beskrivs vilket tillvägagångssätt och vilken datainsamling som har genomförts för att nå ett resultat.

2.1. Tillvägagångssätt

Arbetet med rapporten inleddes genom att studera litteratur och ha de första mötena med Skanskas maskinchef. Den kvantitativa informationen bestod av litteratur från källor så som Chalmers Bibliotek och Google Scholar vilka innehöll information som krävdes för att kunna bedöma teknisk mognadsgrad, teknisk utveckling samt prisförändringar. Interna dokument från Skanska studerades för att ge information om tekniska specifikationer, energiförbrukning, tillverkningsår och användningsområde för arbetsmaskinerna. Vidare studerades Skanskas investeringskalkyl för att öka förståelsen för ingående värden och parametrar.

Efter litteraturstudierna påbörjades arbetet med kalkylering och bedömning av teknisk mognadsgrad. Bedömningen av den tekniska mognadsgraden genomfördes genom att författarna skapade tre enkäter baserade på teorin om Technology Readiness Level. Enkäterna skickades ut till 12 leverantörer varav 6 svar erhöles. Informationen från enkäterna användes för att sammanställa en bedömning av den tekniska mognadsgraden och kunna analysera trender i utvecklingen. Vidare genomfördes kalkyler och känslighetsanalyser baserade på den information som inhämtades vid litteraturstudierna samt från intervjuer av bransch-kunniga personer. Kalkyler utfördes på samtliga maskinkategorier och känslighetsanalyser utfördes på vissa maskinkategorier för att exemplifiera effekten av varierande ekonomiska invärden. De beräkningar som är gjorda är utförda med programmet Microsoft Excel.

För att utföra klimatberäkningar erhöles först data på literförbrukning per maskinkategori av Skanskas Maskinchef. Datan användes för att beräkna nuvarande klimatpåverkan och användes även för att beräkna motsvarande energiförbrukning i kWh. Energiförbrukningen i kWh användes för att både exemplifiera det totala energibehovet vid en helelektrisk maskinflotta och även för att beräkna klimatpåverkan för respektive strategi som föreslås i sista avsnittet.

De strategier som presenterats i sista avsnittet utgår från den teoretiska referensramen och är baserad på litteratur. Strategierna har sedan anpassats till att passa investering i arbetsmaskiner. Strategiernas olika påverkan på ekonomi och klimat har analyserats utifrån resultaten av beräkningar och bedömning av teknisk mognadsgrad.

2.2. Reliabilitet, validitet och utvärdering av metod

Reliabiliteten var viktig för rapportens metodik gällande insamling av data och information. Reliabilitet innebär att mätmetoder är fria från fel och därför leder till konsekventa resultat (Thanasegaran, 2009). I denna rapport används det till att säkerställa att information som sammanställs, utvärderas och används, ska ske på ett sådant sätt att resultatet och dess slutsatser blir konsekventa.

Validitet är relevansen av det som mäts i relation till vad vi vill mäta (Josefsson, 2006). Dessa två begrepp (reliabilitet & validitet) korrelerar med varandra och för att uppnå validitet måste reliabilitet finnas (Josefsson, 2006). Källor från Chalmers bibliotek samt Google scholar är peer-reviewed för att uppnå validitet.

3. REFERENSRAM

I detta kapitel presenteras den litteratur författarna använt för att vidare kunna uppnå ett resultat och en slutsats. Litteraturen är baserad på kursböcker och internetbaserade källor.

3.1. Omvärldens påverkan

Ett företags omvärld innefattar alla faktorer som kan påverka företagets effektivitet och legitimitet (Jacobsen & Thorsvik, 2021). Därför är det viktigt för företag att studera omvärlden och klargöra hur den påverkar på olika sätt. Omvärlden går att dela in i två kategorier, *"teknisk omvärld"* samt *"institutionell omvärld"*.

3.1.1. Teknisk omvärld

Den tekniska omvärlden innefattar yttre förhållanden som har en direkt betydelse för hur en organisation löser uppgifter som är kopplade till sina mål (Jacobsen & Thorsvik, 2021). Detta inkluderar leverantörer, kunder, konkurrenter med flera. Enligt Jacobsen & Thorsvik (2021) finns det tre områden inom den tekniska omvärlden.

1. Förhållanden kopplade till ett företags resurstillgång är det första området vilket handlar om företagets förmåga att skaffa tillgång till resurser. Dessa resurser sträcker sig från finansiella medel till arbetares kompetens och information om marknadens utveckling.
2. Förhållanden kopplade till ett företags produktion är det andra området som innefattar teknikutvecklingen i samhället gällande både maskiner och kunskap. Om ett företag inte väljer att studera och ta sig an ny teknik kommer sannolikt kunder att välja en mer uppdaterad leverantör i stället.
3. Förhållanden kopplade till ett företags resultat är det tredje området vilket innebär att företag måste anpassa sin försäljning av varor/tjänster till vad som efterfrågas. Påverkande faktorer inom detta område är den ekonomiska utvecklingen, konkurrens inom branschen samt kunders egna preferenser.

Den tekniska omvärlden kopplas till ett företags effektivitet och produktivitet men har ingen inverkan på hur företaget uppfattas. För att ett företag ska uppfattas som legitimt och därmed accepteras av omvärlden måste den institutionella omvärlden studeras (Jacobsen & Thorsvik, 2021).

3.1.2. Institutionell omvärld

Den institutionella omvärlden påverkar ett företags legitimitet vilket förklaras som omvärldens uppfattning och acceptans av företaget (Jacobsen & Thorsvik, 2021). Om ett företag vill uppfattas som legitimt måste det ta hänsyn till flera faktorer. Regleringar, lagar och bestämmelser ska följas om man vill undvika rättsliga tvister. De beskriver vidare att värderingar och normer ska ha i åtanke vid etableringar, organiseringar samt styrning av företaget. De menar även att det finns en kognitiv faktor som förklaras som att branscher eller grupper tillsammans kommer fram till vad som är "rätt" tillvägagångssätt inom ett specifikt område (Jacobsen & Thorsvik, 2021).

Företag måste anpassa sig till och förstå omvärlden för att överleva och vara konkurrenskraftiga (Jacobsen & Thorsvik, 2021). När ett investeringsbeslut ska tas för inköp av nya maskiner går det inte endast att fokusera på interna faktorer utan externa faktorer

(omvärlden) måste också tas hänsyn till. Företag måste ta reda på vad som är viktigt för omvärlden idag men även vad som kan tänkas vara viktigt och värderas högt av omvärlden i framtiden. Hållbarhet och klimatet är omtalade ämnen och tas hänsyn till i allt högre grad i dagens samhälle. Idag finns det en stor risk att legitimitetsproblem skapas för företag som inte tar hänsyn till hållbarhet (Jacobsen & Thorsvik, 2021).

Det finns flera möjliga konsekvenser som kan uppstå om ett företag inte uppfattas som legitimt av omvärlden. Jacobsen och Thorsvik (2021) beskriver att ett företag kan bojkottas av omvärlden om ett dåligt rykte börjar spridas. På omvänt sätt kan ett positivt rykte eller legitimitet ha positiv påverkan på företag. SAS är ett exempel på ett företag som gått med förlust under många år och ägarna skjutit in kapital för att undvika konkurs. Jacobsen och Thorsvik (2021) menar att SAS överlevnad, till stor del, har berott på legitimitet snarare än effektivitet då det har legat i aktieägarnas och omvärldens intresse att ha ett skandinaviskt flygbolag på marknaden. Slutligen skriver Jacobsen och Thorsvik (2021) att ett företags största överlevnadsmöjligheter skapas då de både är effektiva och legitima.

3.2. Strategier för konkurrens

Enligt Porter (1985) finns det generiska strategier som hjälper företag att bestämma hur de ska förhålla sig mot sina konkurrenter och därmed uppnå konkurrensfördelar. Dessa strategier beskrivs som:

Kostnadsledarskap – Uppnå den relativt lägsta kostnaden jämfört med konkurrenterna.

Differentiering – Urskilj dig från konkurrenterna genom att sticka ut med en speciell produkt eller tjänst.

Fokusering – Kan innebära kostnads- eller differentieringsbaserad fokusering. Fokusering innebär att man riktar sig till en specifik del av marknaden.

Enligt Jobber och Ellis-Chadwick (2020) ska en av dessa strategier väljas och följas strikt för att bästa resultat ska uppnås. Ett företag som blandar strategier och lyckas hamna i mitten kommer sannolikt inte att kunna konkurrera på bästa sätt då konkurrenterna som fokuserar på en enskild strategi troligtvis kommer prestera bättre då allt fokus läggs på ett område.

Det finns mycket att tänka på då investeringar i ny teknik utförs. Ett exempel är hur mogen en teknik anses att vara vilket kan vara svårt att bedöma då en teknik som anses vara mogen kan ha mängder med förbättringar kvar (Porter, 1985). Ett exempel är dieselteknologin som ansågs vara mogen för över 100 år sedan. Under denna tid har mängder med förbättringar gjorts gällande exempelvis verkningsgraden vilket skulle kunna tolkas som att tekniken inte var mogen för 100 år sedan.

En annan aspekt som är viktig att bestämma sig för, enligt Porter (1985), är ifall man som företag vill ha ett tekniskt ledarskap eller vara en följeslagare. När detta bestäms ska tre faktorer beaktas: Hur väl kan man som företag upprätthålla en ledande position? Hur stora är fördelarna med att vara först med tekniken? Hur stora är de potentiella förlusterna med att vara först?

3.3. Investering

En investering betyder att tillhandahålla resurser för ett särskilt ändamål som får konsekvenser på längre sikt (Andersson, 2013). Det finns ett antal olika investeringstyper så

som expansionsinvestering och reinvestering, även kallat ersättningsinvestering. Ersättningsinvestering syftar till att byta ut ett redan existerande objekt till något nytt med målet att bibehålla effektiviteten eller andra variabler som sedan tidigare existerat (Andersson, 2013).

Vidare beskriver Andersson (2013) att vid framtagande av investeringsunderlag är tiden en viktig dimension eftersom bedömningen behöver göras över hela investeringens livslängd. En investeringskalkyl måste ta hänsyn till både nutida och framtida betalningsströmmar. Orsaken till detta är att in- och utbetalningar inte är direkt jämförbara vid olika tidpunkter under investeringens livslängd. För organisationer som genomför investeringar innebär det ofta att en hög initialkostnad fås med efterföljande in- och utbetalningar där inbetalningarna står för den prestation objektet utför och utbetalningarna byggs upp av till exempel drift- och underhållskostnader (Andersson, 2013).

3.3.1. Kalkyler som grund för beslut

Kalkyler används som grund för beslut och bidrar till att beslut kan tas utifrån både kvantitativa och kvalitativa värden som använts vid kalkylering (Andersson, 2013). Andersson (2013) menar att det bör tas hänsyn till just vilka värden som används och vilken grunddata som ligger till grund för en kalkyl. Antaganden och förenklingar i kalkyler bör beaktas och andra beslutsunderlag bör övervägas för att på bästa sätt ta beslut utifrån både kvalitativa och kvantitativa värden. Kvantitativa värden så som finansiell data är ofta dominerande när det kommer till kalkylering.

Det finns olika metoder att använda vid investeringskalkylering (Andersson, 2013). Dessa metoder kan skiljas åt beroende på hur villkoren ser ut för en investering. Ska exempelvis två maskiner med lika lång livslängd jämföras och värderas kan man använda exempelvis payback-metoden medan om de har olika lång livslängd kan det vara bättre att använda Annuitetsmetoden eller nuvärdesmetoden. De metoder som kommer användas i denna rapport avser nuvärdesmetoden samt internräntemetoden.

3.3.2. Nuvärdesmetoden

För att kunna jämföra kassaflöden som löper över olika tid diskonteras värdet av framtida betalningsströmmar bak i tiden till dagen då investeringen ska ske (Andersson, 2013). Det beräknas ett nuvärde av framtida betalningsöverkott (eller underskott) vilket berättar hur mycket penningvärdet i framtiden är värt idag. För att ta reda på om en investering är lönsam med nuvärdesmetoden beräknas summan av netto-kassaflödet (inbetalningar minus utbetalningar) som sedan diskonteras till tidpunkten för investeringstillfället. Sedan ställs detta diskonterade kassaflöde mot kostnaden för grundinvesteringen och resultatet blir ett kapitalvärde. Är kapitalvärdet positivt klarar investeringen av det satta avkastningskravet/kalkylräntan. Vidare beskriver Andersson (2013) att kalkylräntan skulle kunna beräknas enligt följande:

$$\text{Kalkylräntan } (r) \geq (\text{Andel lån} * \text{långivarnas räntekrav}) + (\text{andel eget kapital} * \text{ägarnas förräntningskrav})$$

Kalkylräntan ska kompensera variationer i inflation och räntor genom att inräkna risk och förlorad köpkraft (Andersson, 2013).

Tabell 1 - Diskonteringsfaktorer för år 1-5 med en kalkylränta på 5%

År (n)	1	2	3	4	5
Diskonteringsfaktor	0,95	0,91	0,86	0,82	0,78
$\frac{1}{(1+r)^n}, r = 5\%$					

En illustration över en investeringskalkyl med nuvärdesmetoden ses i diagram 1. Diskonteringsfaktorerna som använts finns i tabell 1. Ett förtydligande är att om man vill beräkna värdet av kassaflödet (300kr) år 3 till dagens penningvärde med en kalkylränta på 5% görs det enligt följande: $300kr * \frac{1}{(1+0,05)^3} = 259kr$.

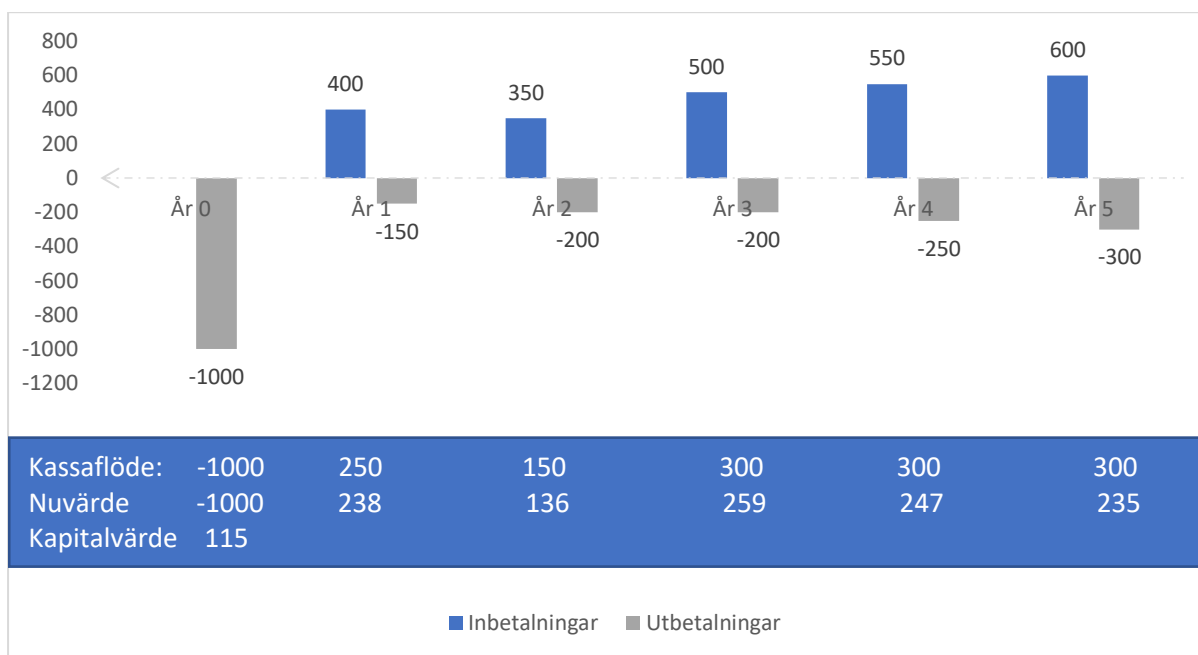


Diagram 1 - En illustration av en investeringskalkyl

I exemplet som presenteras i Diagram 1 är kapitalvärdet positivt vilket betyder att investeringen klarar avkastningskravet/kalkylräntan. Vid jämförelser av flera kapitalvärden är det högsta värdet att föredra, alternativt det värde med högst kapitalvärdeskvot som räknas ut enligt $\frac{\text{Kapitalvärde}}{\text{Grundinvestering}}$ (Andersson, 2013).

3.3.3. Internräntemetoden

Internräntan är den räntesats där avkastningen på investeringen är noll om internräntan används som kalkylränta (Andersson, 2013). Om internräntan används som kalkylränta är nuvärdet/kapitalvärdet lika med noll. Om internräntan är högre än kalkylräntan uppfyller investeringen företagets avkastningskrav samtidigt som en procentsats erhålls som mäter investeringens avkastningsförmåga. Vidare beskriver Andersson (2013) att det är krävande att utföra beräkningar för att erhålla internräntan, vilket medför att dessa beräkningar ofta görs via kalkyleringsprogram eller avancerade miniräknare. En positiv aspekt med denna metod är att det kan vara lättare att förstå lönsamheten av investeringen genom en procentsats i stället för ett belopp, vilket är resultatet från nuvärdesmetoden.

3.3.4. Den ekonomiska och tekniska livslängden

Vid investering skiljer man på den tekniska och den ekonomiska livslängden (Andersson, 2013). Andersson (2013) beskriver att den tekniska livslängden är den tid investeringen fungerar lika bra som den gjorde vid det tillfälle där den anskaffades. Den ekonomiska livslängden är den tid som det är ekonomiskt hållbart att bruka investeringen. För att kunna genomföra en investering krävs det att den tekniska livslängden inte är kortare än den ekonomiska livslängden (Andersson, 2013).

3.3.5. Känslighetsanalys

Vid investeringskalkylering finns det alltid en osäkerhet eftersom en sådan hanterar värden och parametrar som berör framtiden (Andersson, 2013). Det finns flera olika sätt att värdera risk vid investeringskalkylering och ett sätt för att kunna hantera och värdera risker är att utföra en känslighetsanalys. Vid utförande av känslighetsanalys varierar de värden som bygger upp kalkylen till dess att gränsvärden kan tas fram. Vanliga värden som varierar är nettokassaflödet, kalkylräntan samt den ekonomiska livslängden på investeringen (Andersson, 2013).

Genom att göra en känslighetsanalys kan flera konsekvenser av olika framtida utfall uppskattas genom att variera ingående variabler i en modell. Resultatet ska tala om hur stor effekt en viss ändring av invärden har på utvärden i kalkylen. I praktiken görs detta kvantitativt med beräkningar (Jovanović, 1999).

3.3.6. Strategi vid osäkra investeringar

Vid investeringar rekommenderas det att använda sig av en strategi för att få det bästa utfallet (Courtney et al., 1997). Som nämnt i 3.3.5 har investeringar alltid ett visst mått av osäkerhet vilket innebär att det kan vara svårt att veta om en investering är lönsam eller inte. Ett osäkert investeringsbeslut innebär oftast att de ingående variablerna som krävs för kalkylering är okända. Det är möjligt att göra okända variabler till kända variabler genom att analysera investeringsobjektet och dess kringliggande parametrar samt att identifiera trender som rör investeringsobjektet. När trender är identifierade och de variabler som tidigare var okända är kända kallas den osäkerhet som finns kvar för "resterande osäkerhet". Denna resterande osäkerhet kan enligt Courtney et al. (1997) delas in i fyra nivåer där 1 är minst osäker och 4 mest osäker:

1. *A-clear-enough future* – Framtiden är relativt lätt att förutse och det finns i stort sätt bara en riktning att gå. Det handlar mer om hur väl beräkningarna stämmer överens med utfallet snarare än om den strategiska riktningen är rätt.
2. *Alternare futures* – Det finns ett få antal scenarier med olika sannolikheter. Det går inte direkt att avgöra vilket scenario som kommer ske och den bästa strategin kommer vara beroende av vilket utfall som sker.
3. *A-range-of futures* – Framtiden beror på ett begränsat antal variabler som tillsammans kan skapa en mängd olika scenarier inom ett visst omfång. Likt nivå två är strategin väldigt beroende av vilket utfall som sker.
4. *True-ambiguity* – Denna nivå är ovanlig och det är oftast helt omöjligt att förutse vilket scenario som kommer ske. Det finns inte ett begränsat antal scenarier och det

kan även vara så att det inte ens går att identifiera vilka variabler som påverkar utfallet.

Innan strategin bestäms måste ett strategiskt ställningstagande bestämmas gentemot branschen. Det finns enligt Courtney et al. (1997) tre olika ställningstaganden:

1. *Shape the future* – Företaget tar sig an en ledarroll och agerar förebilder inom branschen. Det kan vara bra för att exempelvis upprätthålla en position som marknadsledare. Man vill skapa nya möjligheter inom branschen genom att tillföra något nytt till en nivå 1 bransch eller försöka styra efterfrågan på marknader med högre nivåer av osäkerhet.
2. *Adapt to the future* – Företaget reagerar eller anpassar sig i stället för att vara först med att ta initiativ. Är osäkerheten relativt låg och branschen förutsägbar väljer företaget strategi efter var och hur de vill konkurrera. Om däremot branschens utveckling är osäker är det bättre att lägga resurserna på att vara snabb med omställningar och öka flexibiliteten.
3. *Reserve the right to play* – Företaget investerar sparsamt och fokuserar i stället på att till exempel minska kostnader och upprätthålla relationer mellan kunder och leverantörer. Genom att göra detta väntar de ut osäkerheten och chansen ökar att rätt val av strategi implementeras. Samtidigt minskar risken för att en kostsam felinvestering genomförs.

De beskrivna ställningstaganden ska inte förväxlas med strategier utan betyder snarare vilken avsikt företaget har. För att detta sedan ska bli en strategi, måste det beskrivas vilka handlingar som måste genomföras. När graden av osäkerhet är hög beskriver Courtney et al. (1997) att det finns tre relevanta metoder att använda då en strategi ska implementeras:

1. *Big bets* – Innebär stora satsningar och vinsten eller förlusten kan bli väldigt stor. Denna strategi passar väl då ett företag vill utforma framtiden och vara först med en produkt på marknaden (första förhållningssättet).
2. *Options* – Syftar till att säkra vinster vid de absolut bästa scenarierna medan riskminimering av förluster vid ett sämsta scenario tillämpas. Liknelser kan dras till finansiella optioner gällande risk där risken att förlora pengar är begränsad medan chansen till hög avkastning är obegränsad. Inom denna metod är det vanligt att de första investeringarna som görs inte är allt för stora. Sedan beroende på hur marknaden utvecklas kan företaget välja att skala upp investeringen eller minska den.
3. *No-regrets moves* – Strategin syftar till att generera vinster oavsett vilket scenario som sker i framtiden. Vanliga metoder som används för att exemplifiera är kostnadsoptimering, utöka kapacitet eller kliva in i nya lönsamma marknader.

Sammanfattningsvis är det viktigt att välja strategiskt ställningstagande tillsammans med strategiska handlingar i en miljö då det råder hög grad av osäkerhet. Det kan vara svårt och därför är de beskrivna nivåerna av osäkerhet ett bra hjälpmedel för att förstå situationen på marknaden och hur man som företag ska tänka vid strategiska beslut och investeringar under osäkra förhållanden (Courtney et al., 1997).

3.4. Bedömning av teknisk mognadsgrad – Technology Readiness Level

Technology readiness level (TRL) är en metod som används inom flera industrier för att avgöra en produkts eller systems tekniska mognadsgrad (Tomaschek et al., 2016). Den tekniska mognadsgraden delas upp på en 9-gradig skala och avgör mognadsgraden mellan grundläggande forskning och fullt funktionell drift. Metoden användes initialt av NASA i sina rymdprogram för att bedöma komponenters mognadsgrad och säkerställa leveransbarhet och funktion. Metoden har utvecklats och anpassats till olika industrier, produkter och system.

TRL nivå 1 – Grundläggande forskning

Den första nivån i skalan anger den lägsta nivån av teknisk mognadsgrad (Mankins, 1995). Vid denna nivå finns det dock inte några prestationskrav knutna till tekniken utan tekniken betraktas endast som en upptäckt (Swedish Standards Institute, 2019). Exempel på nivå 1 är forskning på ett materials egenskaper så som sträckgräns eller temperaturlåghet.

Kontrollfrågor TRL 1:

1. Finns det stöd för att den grundläggande forskningen stödjer konceptet?

TRL nivå 2 – Formulerat teknologins koncept eller användningsområde

Nivå 2 anger att det finns tillräcklig forskning och kunskap för att kunna göra antaganden om praktiska tillämpningar av tekniken. Antaganden är spekulativa och kan inte styrkas med bevis eftersom det ännu inte genomförts detaljerade analyser av tekniken.

Kontrollfrågor TRL 2:

1. Finns det tänkta tillämpningar med teknologin?
2. Är systemets komponenter minst delvis beskrivna?

TRL nivå 3 – Experiment, analyser och konceptvalidering

På nivå 3 är det möjligt att utföra experiment och analyser genom att modellera och simulera tekniken inom tillämpningsområde. På denna nivå testas tekniken i labb-miljö för att utreda om konceptet fungerar och styrka koncepten med fysiska bevis.

Kontrollfrågor TRL 3:

1. Valideras systemets kapacitet genom simulering eller experiment?
2. Har det klarlagts att systemets genomförbarhet är fastställt?

TRL nivå 4 – Validering i testmiljö

Nivå 4 anger att tekniken är testad i labb-miljö och fungerar som en del av det system den tänkt att användas inom. Det är då styrkt att användningsområdet och konceptet fungerar.

Kontrollfrågor TRL 4:

1. Har kraven från användare fastställts?
2. Har individuella komponenter till systemet testats i labbmiljö med önskvärda resultat?

TRL nivå 5 – Integrering av komponenter demonstrerat i labbmiljö

Kritiska funktioner för prototypen är framtagna och denna kan testas i en simulerad eller nästintill verklig miljö. Teknologin är sammansatt med övriga tekniska delar och ska fungera som ett helhetssystem.

Kontrollfrågor TRL 5:

1. Har komponenter integrerats och demonstrerats?

2. Har systemet testats i labbmiljö med önskvärda resultat?

TRL nivå 6 – Prototyp demonstrerad i relevant miljö

Nivå 6 anger att det finns tydliga krav från de aktörer teknologin berör och att en prototyp kan demonstreras i relevant miljö. Prototypen klarar de kritiska funktionerna vid tester och syftar till att verifiera dess funktion utifrån de kritiska funktionerna. Prototypen demonstrerar de principer och kan vägleda för vidare utveckling.

Kontrollfrågor TRL 6:

1. Är den operationella miljön känd?
2. Har prototypen testats i en relevant miljö?
3. Klarar prototypen de operationella kraven när den ställs inför verklig belastning/körning?

TRL nivå 7 – Modelldemonstrering i operationell miljö

För att nivå 7 ska nås krävs det att en fullt fungerande modell representativ av den tänka slutdesignen finns framtagen. Systemet testas i operationell miljö och utsätts för flera test. Modellen överbelastas för att säkra att de gränser som är uppsatta håller.

Kontrollfrågor TRL 7:

1. Är de ingående komponenterna representativa för de komponenter systemet senare ska innehålla?
2. Är modellen/prototypen testad i en operationell miljö?
3. Har systemets olika delar individuellt testats för att säkerställa att de krav som tagits fram uppfylls?

TRL nivå 8 – Systemet är komplett och accepterat för drift

Systemet är fullt utvecklat och klart för drift. Systemet är testat i operationell miljö och dess användningsområde och kriterier för prestanda är satta av intresseaktörer.

Kontrollfrågor TRL 8:

1. Är systemets ingående komponenter fullt fungerande och integrerade med varandra?
2. Har teknologin/systemet bevisat sin funktionalitet i en operationell miljö och klarat av de uppsatta kraven?
3. Är tekniken/systemet utförd och fungerar på så sätt som var tänkt i ett designstadium?

TRL nivå 9 – ”Flygredo”

Systemet används fullt ut i operationell skala och är integrerat enligt intresseaktörernas kriterier.

Kontrollfrågor TRL 9:

1. Är systemet välutvecklat och används i en operationell miljö?
2. Är tekniken känd och finns det tillgänglig information om tekniken för användare?
3. Har tekniken/systemet anammats av organisationer och användare?

Denna teori används i projektet för att utreda hur de olika teknikerna för arbetsmaskiner står sig i mognadsgrad och tar hänsyn till hur väl de olika teknikerna är utvecklade sett till energiförsörjning, drift och arbetsplatsanpassning.

3.5. Drivlinor för arbetsmaskiner

Kapitlet beskriver drivlinor som vid upprättande av rapport finns tillgängliga och/eller är kända av författarna och den forskning som studerats. Drivlinorna har delats in i kategorierna

dieselmotorer, batterier samt bränsleceller. Det ska även nämnas att hybrider som kombinerar olika drivlinor finns tillgängligt på marknaden men hanteras inte i rapporten.

3.5.1. Dieselmotorer

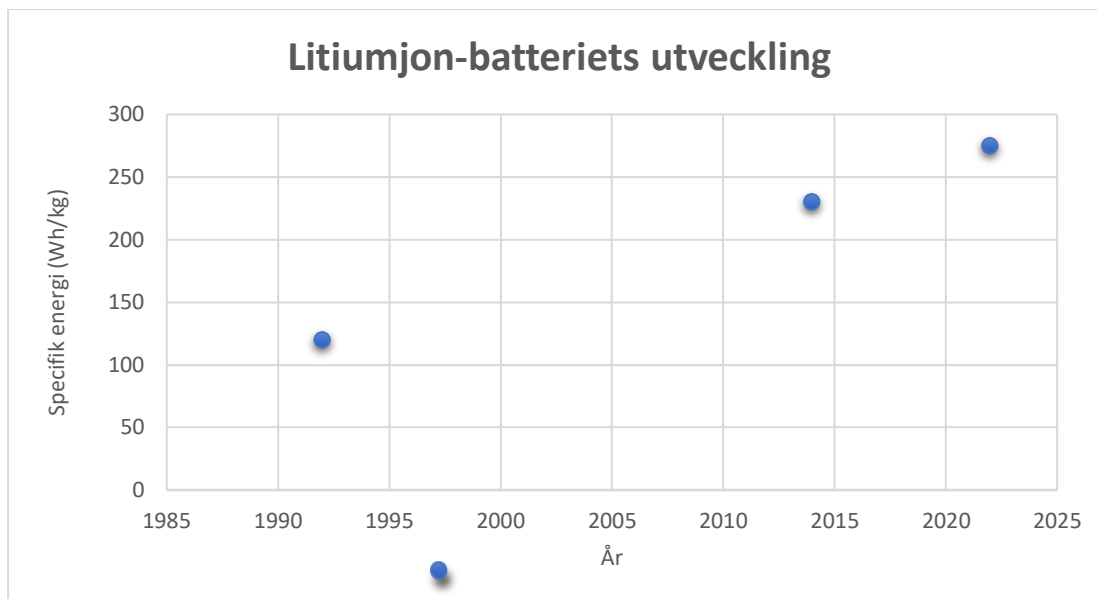
Dieselmotorn klassas som en förbränningsmotor och för dieselmotorn innebär detta att den skapar mekaniskt arbete genom en intern förbränning av luft och diesel. Värme skapas genom kompression i en förbränningskammare och sedan används dieseln som bränsle till denna värme. Värmeenergin övergår sedan till mekanisk energi som driver motorn (Eriksson & Lindström, 2011). Vid energiproduktion med en dieselmotor är den teoretiska verkningsgraden 40-45% och kapaciteten ligger mellan 0,1-20 MW (Karlsson, 2020). Densiteten hos diesel uppges vara 815 kgm^{-3} och energiinnehållet 9800 kWhm^{-3} eller 9,8 kWh/liter (Drivkraft Sverige, 2019).

Som nämndes tidigare finns det hybrider som kombinerar olika drivlinor. Vanligast är en kombination mellan förbränningsmotor och elmotor med batteri. Förbränningsmotorn fungerar som primär energikälla och elmotorn som sekundär. Med det menas att elmotorn endast hjälper till med energitillförsel då maskinens effektbehov ökar (Zhao et al., 2015). Om fordonet får överskottsenergi från förbränningsmotorn kan denna rörelseenergi fångas upp och lagras i batteriet. Hybrider kan därför bidra till en effektivare resursanvändning och minskad bränsleförbrukning (Zhao et al., 2015).

3.5.2. Batterier

Ett annat alternativ som drivlina är en elektrisk motor med ett batteri som lagringsenhet. Vid jämförande mellan flera elektriska motorer inom elbilsbranschen kan olika verkningsgrader konstateras. Dessa är beskrivna som "peak efficiencies" eller maximal verkningsgrad och ligger inom spannet 89,8-97%. Märkena vars dessa elmotorer kommer ifrån är Tesla, Chevrolet, BMW samt Shanghai Edrive (Wen et al., 2020). Det är även viktigt att nämna den maximala effekten som kan uppnås med en elmotor. Den varierar även här och det högsta värdet bland tidigare nämnda tillverkare var 310kW för en Tesla modell S (Sieklucki, 2018).

När man talar om batterier inom fordonsbranschen är litium-jonbatterier en av de vanligaste och mest använda typerna. Dess verkningsgrad uppskattas till 85-100% vid energilagring och effekten är i spannet 0,001-0,1MW (Karlsson, 2020). Ett batteri kan skifta i energiinnehåll beroende på exempelvis vikt. Ett spann som identifierats för batterier applicerade på specifikt tunga fordon var 120-220 Wh/kg (Cunanan et al., 2021). Om dock hela fordonsbranschen räknas in var det högsta, som författarna kan bekräfta med hjälp av vetenskapliga källor, 243 Wh/kg (Zengin et al., 2022). För att tydliggöra utvecklingen av litium-jonbatterier och dess specifika energi har figur 2 illustrerats av författarna. Notera att figuren visar litium-jonbatteriets generella utveckling och tar hänsyn till litium-jonbatterier som är applicerbara inom alla områden till skillnad från ovan då specifikt fordonsbranschen var i fokus.

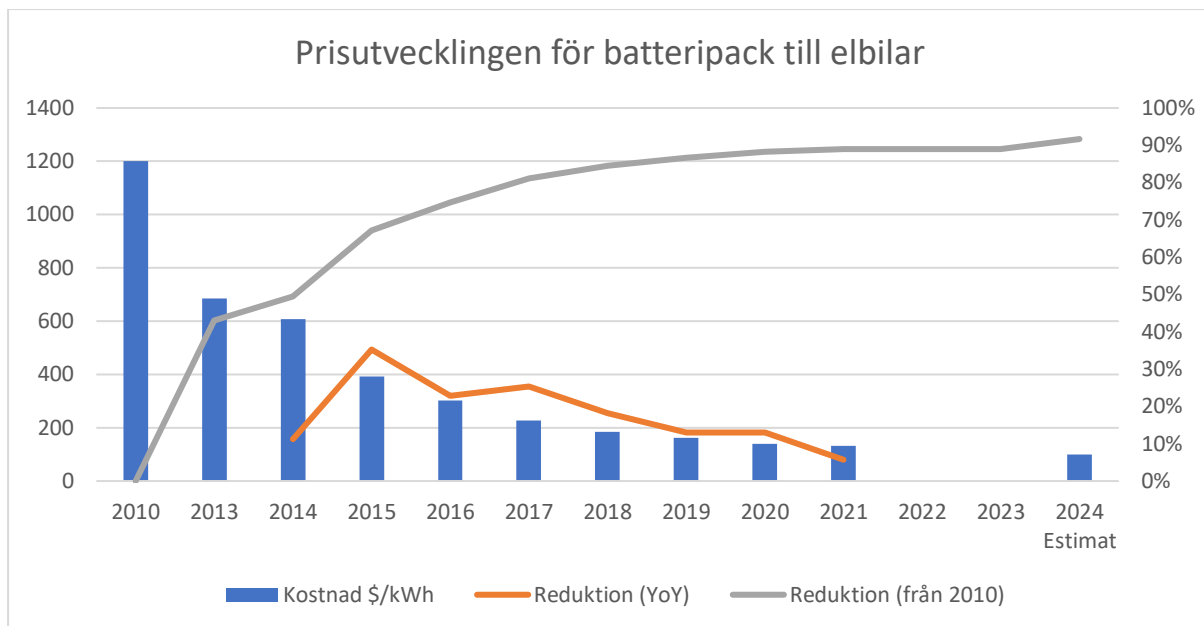


Figur 2 – Utvecklingen av litium-jon batteriets specifika energi (Zengin et al., 2022), (Pistoia, 2014), (Sanguesa et al., 2021).

En nackdel med litiumjon-batterier är dess säkerhet. Batteriets höga energitäthet innebär en lägre säkerhetsfaktor då termisk energi kan läcka ut och blandas med lättantändliga gaser vilket genererar lågor. Det finns även en ökad risk för kortslutning inom vissa typer av litiumjon-batterier då det idag förekommer nickel i större utsträckning som minskar den termiska stabilitetens förmåga. Enkelt förklarat kan detta leda till kortslutning/cellfel. Det finns två sätt att förebygga dessa fel vilka är att antingen använda material så som eldtåliga elektrolyter och katoder eller noga övervaka battericellerna vid drift (Wen et al., 2020).

Något som även måste tas hänsyn till gällande fordon som ska drivas med hjälp av batteri och elmotor är hur miljön påverkar prestandan. Batteriers kemiska sammansättning kan förändras vid höga temperaturer (på exempelvis sommaren) vilket kan innebära energiförluster vid laddning samt reducerad körsträcka med cirka 17-37%. På vintern, när det blir tillräckligt kallt, kan elmotorn tappa ännu mer energi då batteriets kemiska sammansättning ändras även då. På vintern kan det konstateras energiförluster som bidrar till en reducerad körsträcka med cirka 17-54% (Singh et al., 2022).

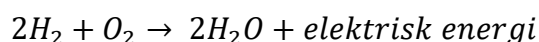
Figur 3 illustrerar prisutvecklingen för batteripack som är applicerbara på elbilar. Som kan utläsas från figuren är kostnadsreduktionen per år avtagande men fortfarande positiv. Med andra ord blir batteripacken billigare för varje år men skillnaden i hur mycket billigare var större för 10 år sedan mot vad den är nu. Hur denna utveckling kommer att fortsätta är oviss men enligt BloombergNEF (2022) och deras prognos kan ett batteripack komma att kosta under 100\$/kWh vid 2024. Om denna prisnivå nås menar de även att elbilar kommer vara tillgängliga för massförsäljning i stor utsträckning då de blir ekonomiskt jämförbara med förbränningsbilar. Elbilar och förbränningsbilar förväntas i så fall kosta lika mycket för konsumenterna.



Figur 3 - Prisutvecklingen för batteripack som är applicerbara på elbilar (BloombergNEF, 2021).

3.5.3. Bränsleceller

Bränsleceller skapar elektrisk energi genom att låta vätgas reagera med syre. Reaktionens restprodukter blir vatten och värme och hela reaktionen kan enligt Vätgas Sverige (2016) skrivas:



För att skapa vätgas spjälkas vatten (elektrolys) med hjälp av elektricitet och formeln är enkelt formulerat omvänd mot den ovan, alltså att vatten omvandlas till vätgas och syre. Verkningsgraden för själva framställningen är ca 60-70% (Carredano Robertsson & Nordin, 2021).

Det finns olika typer av bränsleceller och den som är att föredra prestationsmässigt för arbetsmaskiner anses vara den av typen Polymer electrolyte membrane (PEM) som kan nå en verkningsgrad på ca 65% (Wang et al., 2021). Andra källor beskriver dock hur verkningsgraden för ett vätgasdrivet fordon endast är 25-35% om man inkluderar hela värdekedjan, alltså alla steg från energiutvinning av gröna alternativ fram tills bränslecellen omvandlat vätgasen till vattenånga och energi (Zengin et al., 2022).

Energidensiteten för vätgas är låg räknat i volymenheter. För att lagra 1kg vätgas vid trycket 1 bar och 25°C krävs en volym av 11 m³. Detta ställer vissa krav på lagringen och de vanligaste metoderna är antingen genom behållare med ett tryck på ca 500 bar vilket ger en densitet om ca 27kgH₂m⁻³, eller genom att göra vätet flytande vilket sker vid -253°C och då fås densiteten 40kgH₂m⁻³ (Züttel et al., 2010). Energiinnehållet för vätgas är ca 33 kWh/kg (Zengin et al., 2022).

Om vätgas ska användas som energikälla i syfte att minska klimatpåverkan måste krav ställas på att vätgasen är grön. Det finns flera olika former/typer av vätgas som benämns olika beroende på hur den är framställd (Naturskyddsföreningen, 2021). Vätgasen ger samma resultat energimässigt men dess påverkan på klimatet skiljer sig åt. Grå vätgas framställs exempelvis ur fossila bränslen vilket släpper ut mängder med koldioxid i atmosfären. Blå

vätgas framställs på liknande sätt men med tillägget att koldioxiden fångas upp vid framställningen. Tyvärr skadas ofta miljön när fossila bränslen utvinns och metan läcker ut i atmosfären vilket gör att blå vätgas inte heller är optimalt ur ett miljöperspektiv. Slutligen finns den gröna vätgasen som framställs genom elektrolys som förklarades i början av detta kapitel. Om elektriciteten till själva spjälkningen kan komma från exempelvis vind-, vatten- eller solkraft klassas vätgasen som grön och påverkan på klimatet är avsevärt mycket lägre än i de övriga fallen (Naturskyddsföreningen, 2021).

3.6. Förutsättningar för användning av de olika drivlinorna

Förutsättningarna för elektriska arbetsmaskiner, drivna av batterier eller vätgas, har större utmaningar jämfört med dieselmaskiner. Konstruktionsarbeten kan ske både inom stadens gränser och utanför tätbebyggda områden vilket ställer krav på att tillgång på el för batterielektriska maskiner. Tillgången för vätgas och hanteringen av vätgas på arbetsplatser är en utmaning för användandet av vätgasdrivna arbetsmaskiner. En infrastruktur med god tillgång på elektricitet är därför nödvändigt för att batterier ska vara ett alternativ. På samma sätt är det viktigt att tillgången till vätgas ökar om arbetsmaskiner ska kunna använda det som energikälla (Wang et al., 2021).

3.7. Dagens utbud av elektrifierade arbetsmaskiner på den svenska marknaden

Data har hämtats från olika tillverkare inom det tyngre segmentet för arbetsmaskiner. Då elektrifierade arbetsmaskiner med vikter på 5 ton eller lättare finns i större utsträckning har fokus lagts på att sammanställa det tyngre segmentet vilket i detta diagram avser elektrifierade maskiner med en vikt på 9,5 ton eller mer. Det ska tilläggas att de maskiner som är från tillverkaren Epiroc används inom gruvindustrin och anses vara på nivå 9 på TRL-skalan. Dessa är inte anpassade till bygg- och anläggningssektorn utan presenteras endast som jämförelse.

Något som vidare är viktigt att nämna är att vissa maskiner som finns listade i diagrammet inte serietillverkas och är inte OEM (Original Equipment Manufacturer). Nasta Zeron ZE350 som är en 38 tons eldriven grävmaskin med kabel är exempelvis i själva verket en modifiering av ursprungsmaskinen Hitachi ZX350 som är en dieseldriven grävmaskin (Nasta, 2022). Pons CAT 320 Z-line är en elektrisk grävmaskin baserad på CAT 320 vilket även den är en dieseldriven maskin (Pon-Cat, 2022). Utbudet för tyngre arbetsmaskiner är begränsat då de som finns är specialtillverkade eller är anpassade för gruvindustrin.

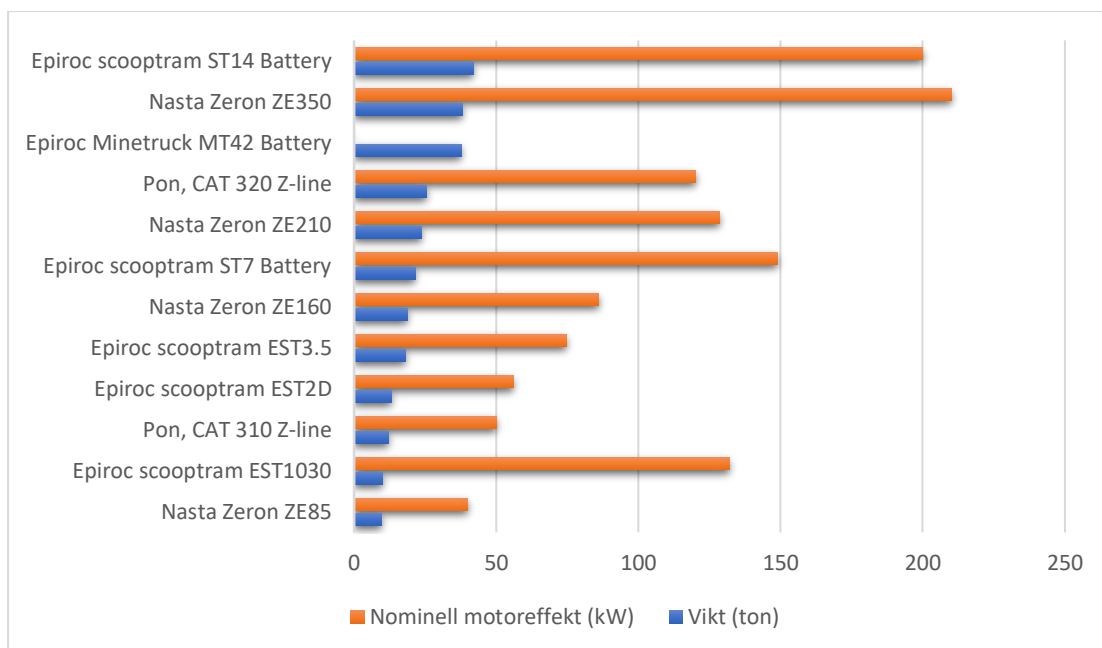


Diagram 2 : Utbud över tunga elektrifierade arbetsmaskiner på den svenska marknaden tillsammans med ett fåtal norska leverantörer. Hämtat från respektive leverantörs hemsida samt från Segerborg Fick et al. (2021).

3.8. Jämförelse med personbil- och transportbranschen

För att senare i rapporten kunna utföra analys av trender och utveckling dras paralleller med personbil- och transportbranschens utveckling inom elektrifiering. Norge har en omfattande elektrifiering och en illustration över utvecklingen inom elbilsmarknaden finns i diagram 3. Detta diagram avser laddningsbara bilar och inkluderar därför helt eldrivna bilar men även laddningsbara hybrider. Jämförs detta med andelen elektrifierade arbetsmaskiner inom bygg- och anläggningssektorn kan det konstateras att bygg och anläggning inte för nuvarande har likadan utveckling. Som tidigare förklarat är utbudet av elektrifierade arbetsmaskiner större för de lättare segmenten än inom de tyngre. Andelen elektrifierade arbetsmaskiner, år 2020, uppskattades vara mindre än 1% i Sverige och då handlade det främst om kompakta grävmaskiner och hjullastare med en vikt på 6-7 ton (Mawdsley & Helbig, 2021).



Diagram 3 - Andel elektriska fordon av nya bilköp per år. Data hämtad från Sanguesa et al. (2021).

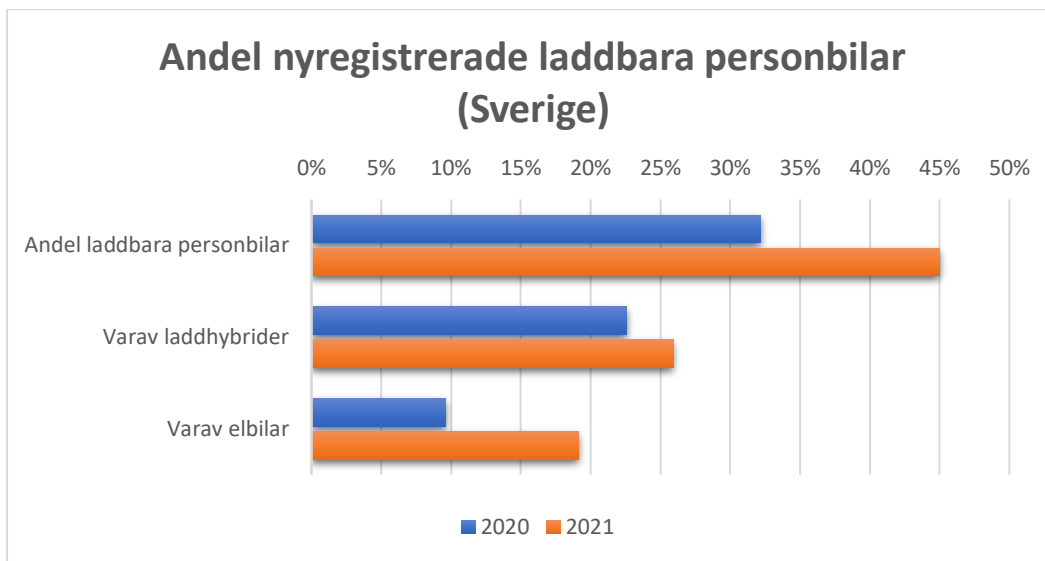


Diagram 4 - Andel nyregistrerade laddbara personbilar (Mobility Sweden, 2022)

Parallellt med den ökade försäljningen av elbilar har även en ökning av prestandan konstaterats. Ett exempel på detta finns i diagram 5 där utvecklingen av batteriers kapacitet inom specifikt elbilssegmentet illustreras.

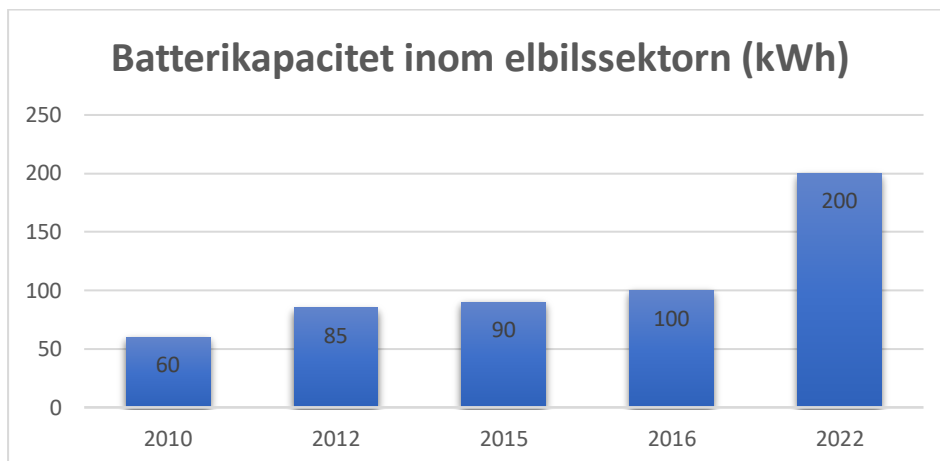


Diagram 5 – Utvecklingen av kapaciteten för elbilsbatterier (Sanguesa et al., 2021).

Enligt uppgifter som författarna har fått, genom samtal med anonyma respondenter inom maskintillverkande organisationer, skiljer sig elektrifieringstakten åt mellan olika segment. Personbilarna förväntas vara först med elektrifiering, sedan tyngre fordon inom transportsektorn och till sist arbetsmaskiner. Anledningen till detta är enligt respondenterna att effektuttaget på arbetsmaskiner är högre och har en högre variation jämfört med personbilar och transportfordon.

Inom transportsektorn med inriktning på lastbilar registrerades år 2021 346 eldrivna lastbilar med en vikt över 16 ton i Europa varav 47 registrerades i Sverige. Detta innebär att utvecklingen för nyregistrerade ellastbilar över 16 ton inom Europa har ökat med 193% jämfört med 2020 (IHS Markit, 2021, refererad i (Kane, 2021)). Denna siffra är trots

ökningen låg jämfört med exempelvis antalet nyregistrerade elbilar vilket ses i diagram 4 givet att antagandet att det finns betydligt fler bilar än lastbilar i Sverige stämmer.

Enligt Björk et al. (2022) skulle personbilar med batteridrift kunna utgöra nästan 100% av försäljningen år 2030. Om detta sker menar de att förnybara bränslen skulle kunna frigöras till segment som ligger efter i utvecklingen.

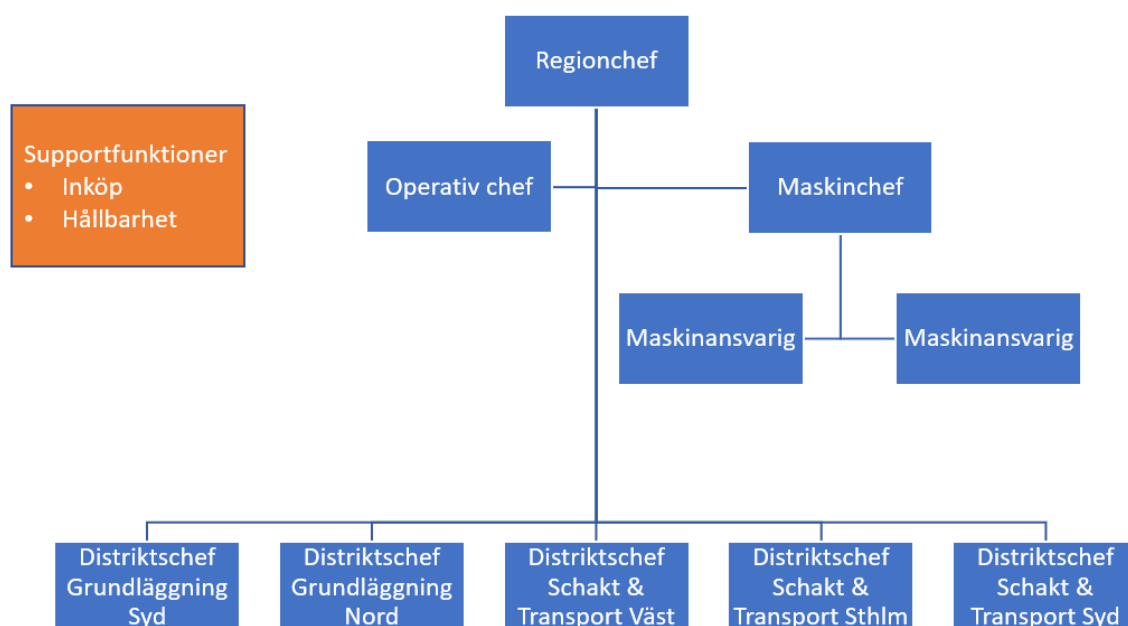
3.8.1. Kostnadsutveckling personbilar

Enligt BloombergNEF (2021) är batteripriset starkt kopplat till anskaffningskostnaden för en elbil. De nämner att förväntningen är att batteripriserna kommer sjunka med 60% fram till och med 2030 vilket kommer ha påverkan på priset. Samtidigt gör de bedömningen att minskningen av anskaffningskostnaden på elbilar kommer vara större än de 60% eftersom det sker en uppskalning av produktion vilket sänker priset per enhet. Just nu bedömer de att elbilar är 50-200% dyrare beroende på segment. Vidare bedömer de att priset för en elbil kommer nå samma nivå som för en bil med förbränningsmotor under perioden 2025-2027 för alla segment. Segmenten som beskrivs är olika storlekar på bilar.

4. REGION SPECIALS ORGANISATION OCH ARBETSMASKINER

4.1. Organisation

Region Special består av ett flertal geografiska distrikt som tillsammans täcker större delen av Sverige. De avdelningar som verkar inom organisationen Region Special är Grundläggning Syd, Grundläggning Nord, Schakt & Transport Syd, Schakt & Transport Väst samt Schakt & Transport Stockholm. Maskinchefen på Region Special är ansvarig för arbetsmaskinernas debitering, service- och underhållsavtal samt inköp av nya arbetsmaskiner. Maskinchefen rapporterar till Regionchef.



Figur 4 – Organisationsschema för Region Special

4.2. Region Specials tillvägagångssätt vid inköp av arbetsmaskiner

Region Special köper maskiner från flertalet leverantörer i dagsläget. I stort är investeringarna ofta reinvesteringar vilket betyder utbyte av existerande maskin till ny. I takt med att regionen utökar sina marknadsandelar och expanderar maskinverksamheten genomförs även nyinvesteringar. Tillvägagångssättet för inköp av maskiner fungerar på så sätt att distriktschefer tillsammans med maskinchef årligen ser över investeringsbehovet. Maskinchef initierar sedan kontakt med leverantörer tillsammans med inköpsorganisationen på Skanska för att vidare genomföra inköpen.

4.3. Region Specials maskininnehav

Region Special har cirka 200 arbetsmaskiner i sin maskinflotta. Maskinerna är inköpta av flertalet leverantörer och är av olika typ. I tabell 2 presenteras de maskingrupper författarna delat upp maskinerna i och där det beskrivs hur många maskiner av respektive kategori Region Special äger.

Tabell 2 – Region Specials maskiner uppdelade i kategorier.

Maskinkategori	Antal maskiner per kategori
Bandschaktare	8
Borrvagn Berg	11
Borrvagn Grundläggning	10
Dumper	5
Grävmaskin >30 ton	13
Grävmaskin 20-30 ton	34
Grävmaskin 8-20 ton	7
Hjulgrävmaskin	17
Hjullastare	26
Kompaktmaskiner	29
Pålkran	5
Vibrovält	28
Totalt	193

4.3.1. Reinvesteringstakt

Det genomsnittliga antal år en maskin på Region Special brukas innan försäljning är enligt Region Specials maskinchef cirka 10 år. Utifrån anskaffningsår erhållet från Region Special har en reinvesteringsplan (tabell 3) tagits fram för att visualisera antalet maskiner som ska bytas ut varje år för respektive maskinkategori.

Tabell 3 – Antal maskiner för reinvestering per år per maskinkategori

Maskinkategori	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Bandschaktare					1		2		8
Borravn berg		2			3	1		1	11
Borravn grundläggning		1		2	2			3	10
Dumper		1	1					2	5
Grävmaskin >30ton	2	1	1	2		1	4	1	13
Grävmaskin 20-30 ton	2	4	5	2	5	3	5	2	34
Grävmaskin 8-20 ton		2	1			2		2	7
Hjulgrävmaskin		1		6	4	1	1	2	17
Hjullastare	4	1	3	3	5	3	3	2	26
Kompaktmaskiner	4	2	3	7	2	4	1	2	29
Pålkran				2	1				5
Vibrovält	1	2	4	2	6	2	2	3	28
Totalt per år	13	17	18	26	29	17	18	20	193

5. RESULTAT

I detta kapitel presenteras resultatet och frågeställningarna besvaras. Kapitlet inleds med att redovisa den tekniska mognadsgradens nuläge och bedömda utveckling. Sedan redovisas resultat och antaganden som berör investeringskalkylering och andra relevanta ekonomiska faktorer så som förväntad prisutveckling för elektriska arbetsmaskiner. Sedan utförs känslighetsanalyser för att mäta hur känsligt resultatet är för variation hos olika variabler. Slutligen redovisas lämpliga investeringsstrategier.

5.1. Bedömning av teknisk mognadsgrad

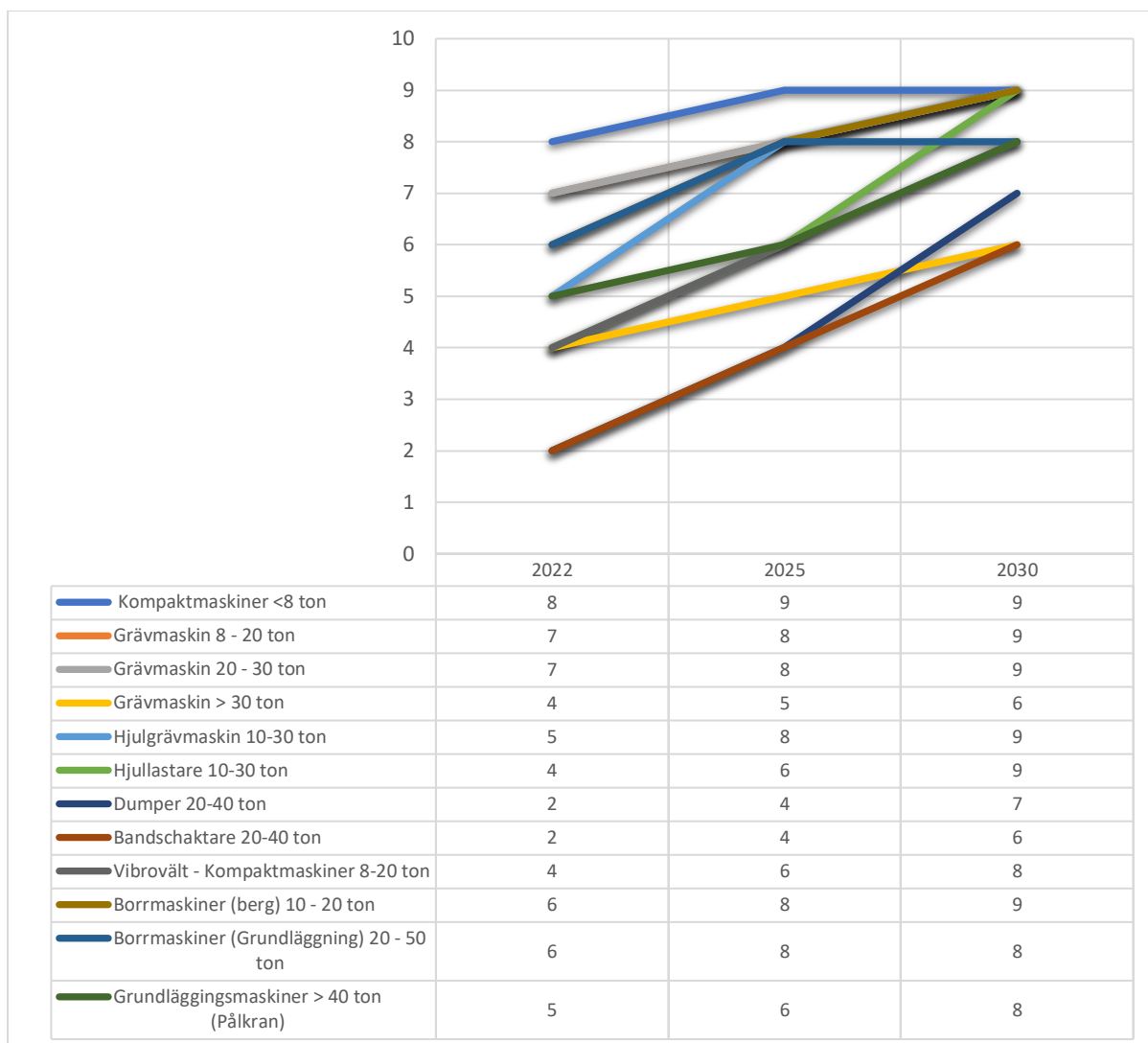
För att bedöma den tekniska mognadsgraden för climateffektiva arbetsmaskiner användes metoden Technology Readiness Level (TRL) vilken beskrivs i 3.4. Metoden användes genom att be bransch-kunniga personer från olika leverantörer av arbetsmaskiner svara på enkäter och genom att hålla intervjuer med dessa personer. Totalt kontaktades 12 leverantörer och 6 har svar mottogs. Uppföljningsmöten har genomförts för att säkerställa att respondenterna förstått upplägget och för att diskutera svaren. Respondenterna har besvarat tre olika enkäter vilka presenteras i efterföljande stycken. De tre enkäterna har bett respondenterna bedöma den tekniska mognadsgraden 2022, 2025 och 2030 för de olika kategorier enkäterna representerade. De tre enkäterna togs fram för att säkerställa att en helhetsbild av fossilfria maskiner och förutsättningarna för dessa kunde förstås. En uppdelning av den 9-gradiga skalan gjordes enligt tabell 4 för att minska omfattningen av enkäten vilket resulterade i att 1-3 representerade basforskning, 4-5 representerar modellering och simulering, 6-8 representerar prototyp och testkörning hos kund medan 9 representerar fullt utvecklad produkt som är tillgänglig för försäljning.

Tabell 4 - Uppdelning av Technology Readiness Level skalan

TECHNOLOGY READINESS LEVEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BESKRIVNING	BASFORKSNING			MODELL SIMULERING		PROTOTYP TESTKÖRNING HOS KUND			TILLGÄNGLIG FÖR FÖRSÄLJNING

5.1.1. Enkät 1 – Bedömning av teknisk mognadsgrad climateffektiva arbetsmaskiner

I enkät 1 ombads respondenterna bedöma den tekniska mognadsgraden för de maskinkategorier som presenterades i 4.3 med hänsyn till att dessa har noll utsläpp vid drift. Instruktionen för bedömningen var att bedöma maskinkategoriernas tekniska mognadsgrad förutsatt att arbetsmaskinerna inte var ombyggda eller specialmaskiner, alltså OEM. Respondenterna ombads bedöma var på den 9-gradiga skalan respektive maskinkategori befinner sig 2022 och var de bedömer att de befinner sig 2025 och 2030 förutsatt att maskinerna är fossilfria vid drift. En sammanställning av svaren presenteras i figur 5.

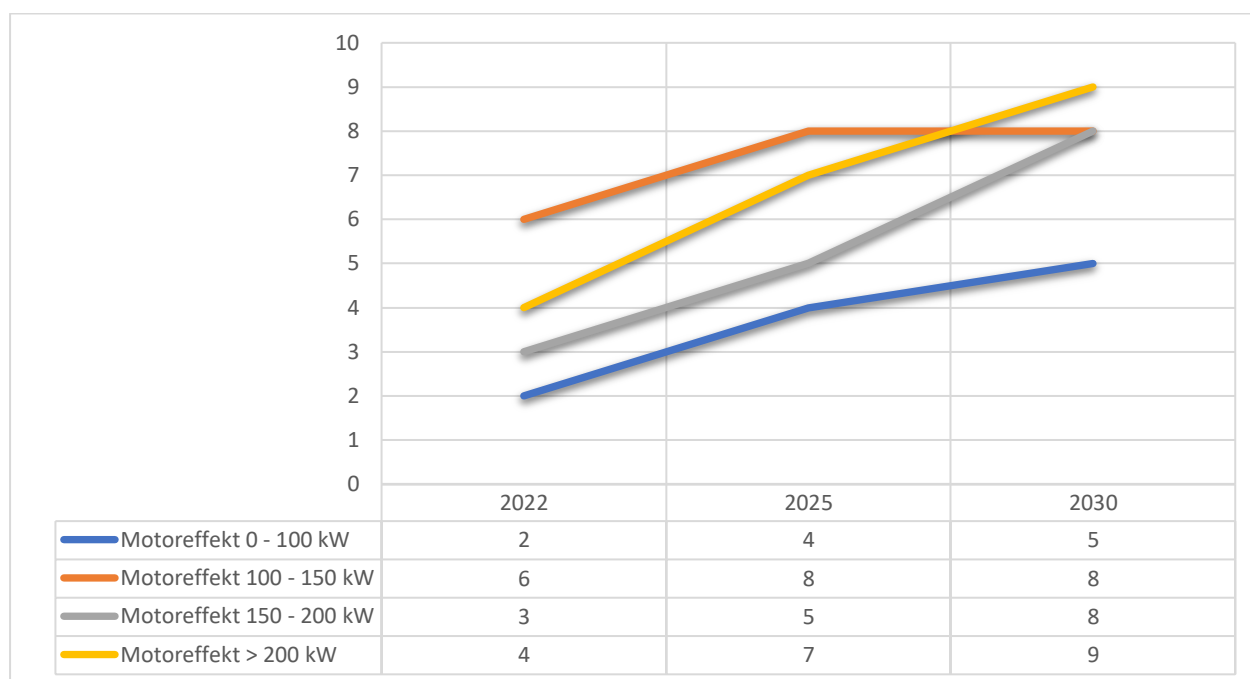


Figur 5 - Sammanställning av svar från enkät 1. Bedömning av teknisk mognadsgrad för klimateffektiva arbetsmaskiner (el- eller vätgasdrift)

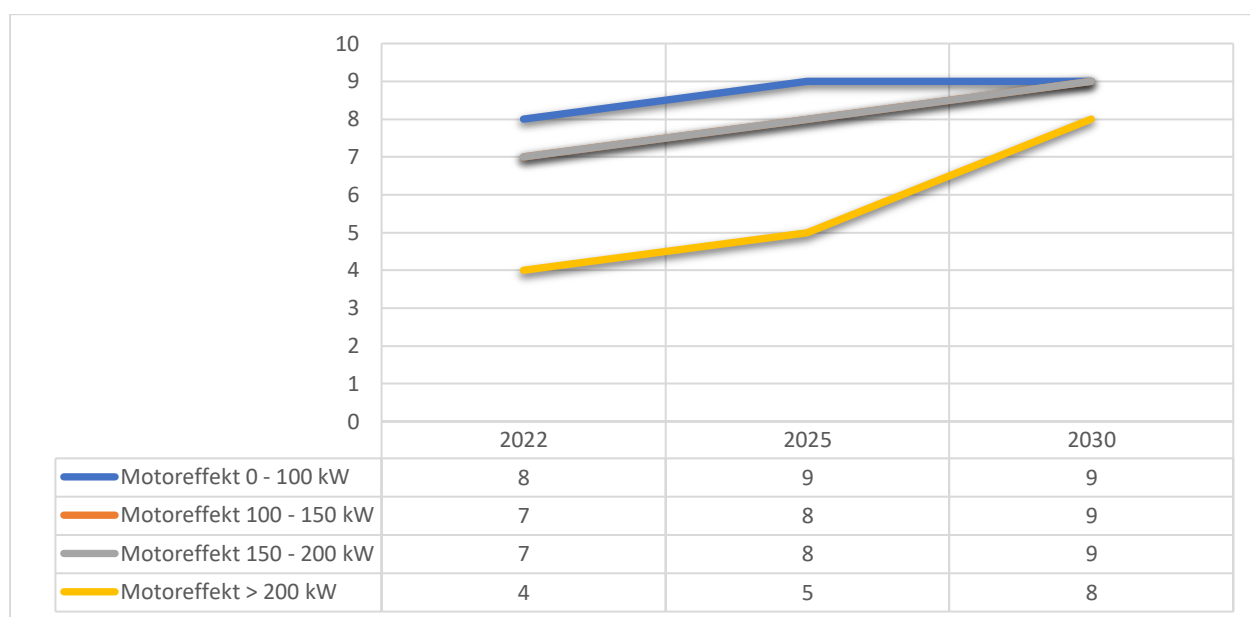
Av de sammanställda svaren går det att utläsa att det i flertalet maskinkategorier når TRL 9 vilket innebär att de kommer finnas som utsläppsfria modeller innan 2030. Kompaktmaskiner är den minsta kategorin med den lägsta vikten och motoreffekten vilket redan nu finns till försäljning men enligt respondenterna finns det inte ett fullt utbud. Vidare bedöms de lättare varianterna av grävmaskiner kunna leverera prototyper 2022 och 2025 för att senare i perioden mellan 2025 och 2030 erbjuda modeller som finns tillgängliga för marknaden. Kategorin med grävmaskiner som är tyngre än 30 ton förväntas inte kunna vara fossilfria inom det intervallet rapporten avser. De maskinkategorier som inte förväntas erbjuda fossilfria alternativ i intervallet är grävmaskiner med en vikt högre än 30 ton, dumphar, bandschaktare, vibrovältar och grundläggningsmaskiner vilket vissa respondenter anser beror på det höga effektuttag dessa kategorier kräver vid drift.

5.1.2. Enkät 2 – Bedömning av den tekniska mognadsgraden för teknikerna batterielektriska och vätgasdrivna arbetsmaskiner

I enkät 2 ombads respondenterna bedöma den tekniska mognadsgraden för de två olika teknikerna batterielektriska arbetsmaskiner och vätgasdrivna arbetsmaskiner. Respondenterna fick bedöma de två teknikerna baserat på fyra olika intervaller av motoreffekter. Uppdelningen av motoreffekt utfördes eftersom författarnas uppfattning var att utvecklingen av teknikerna skiljer sig åt beroende på storlek på maskiner vilket oftast korrelerar med motoreffekt. Denna uppfattning bekräftades vid granskning av sammanställning enligt figur 6 och 7.



Figur 6 - Bedömning av teknisk mognadsgrad vätgasdrift arbetsmaskiner



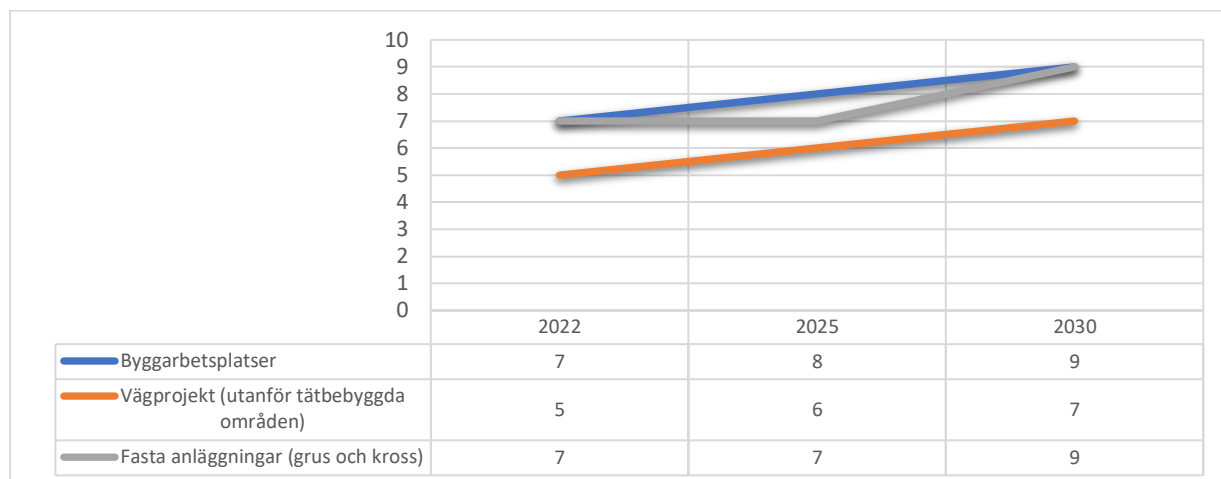
Figur 7 - Bedömning av teknisk mognadsgrad batterielektrisk drift arbetsmaskiner

Ur sammanställningarna går det att utläsa att tekniken för elektriska arbetsmaskiner är längre fram i utvecklingen jämfört med vätgastekniken. Det konstateras att de högre motoreffekterna vilket ofta korrelerar med högre vikt på arbetsmaskiner lämpar sig bättre med vätgasdrift jämfört med batterielektrisk drift. I övriga motoreffekter förväntas den batterielektriska tekniken vara mogen nog att den finns för försäljning inom intervallet 0 – 200kW år 2030. Respondenterna anser också att leverantörer kommer kunna erbjuda prototyper av arbetsmaskiner som använder vätgas som drivmedel vid samma tidpunkt.

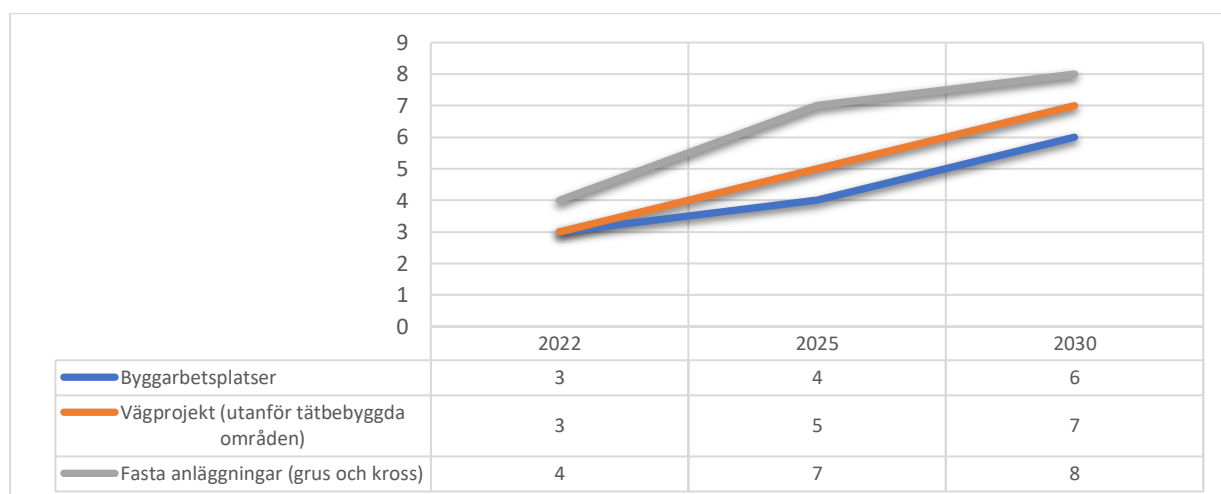
5.1.3. Enkät 3 - Bedömning av teknisk mognadsgrad elektricitetens och vätgasens tillgång och utbyggda infrastruktur

Enkät 3 behandlar huruvida energitillgång och utbyggd infrastruktur finns tillgängligt för omställning till climateffektiva maskiner med fokus på elektricitet och vätgas.

Respondenterna ombads bedöma den tekniska utvecklingen för de två olika energislagen och var på skalan dessa befinner sig sett till att arbetsmaskinernas arbetsområde skiljer sig. De tre olika arbetsområdena eller segmenten har bestämts till byggarbetsplatser inom tätbebyggelse, väg- och infrastrukturprojekt utanför tätbebyggda områden samt mer fasta anläggningar så som grustag och bergtäkter. De sammanställda resultaten presenteras i figur 8 och 9.



Figur 8 - Bedömning TRL elektricitet (tillgång och utbyggd infrastruktur)



Figur 9 Bedömning TRL vätgas (tillgång och utbyggd infrastruktur)

Ur figurena 8 och 9 går det att utläsa att respondenterna anser att tillgången och utbyggnaden av infrastrukturen kring laddning och effektkrav för att möjliggöra arbetsplatser med fossilfria arbetsmaskiner är längre fram för elektricitet. Vätgasen bedöms utvecklas stadigt till 2030 men den bedöms inte vara fullt utvecklat på så sätt att vätgasdrivna arbetsmaskiner är möjliga att ha på arbetsplatser till dess.

5.1.4. Sammanfattning av TRL-bedömning

Den sammanvägda bedömningen som författarna utläser av resultaten är att flera alternativ till dieselmaskiner förväntas vara till försäljning under perioden 2025-2030. Bedömningen är att maskiner som har en lägre motoreffekt än 150kW som drivs på elektricitet via batterier är de maskiner som ligger tidigast i utvecklingen. Elektricitetens tillgång förväntas under samma period finnas tillgänglig på byggarbetsplatser och i fasta anläggningar samt ha en infrastruktur som stödjer användandet av elektriska arbetsmaskiner. För de tyngre kategorierna förväntas inte fossilfria alternativ finnas under perioden 2022-2030. Bedömningen är dock att de tyngre maskinerna kommer använda bränsleceller och vätgas som drivmedel i stället för att vara batterielektriska eftersom effektuttaget är högre. Utifrån intervjuerna förklaras detta även som att vikten för batterier som krävs till så pass stora maskiner blir för hög och batterierna tar för stor plats.

5.2. Generell information investeringskalkylering

Investeringskalkyler har utförts inom respektive maskinkategori. TRL-resultaten visar att vätgasmaskiner inte kommer finnas tillgängliga i stor utsträckning fören 2030 och de som beräknas finnas då är endast tunga maskiner med hög motoreffekt. På grund av detta har investeringskalkyler till övervägande del utförts på elektriska arbetsmaskiner med undantag av en vätgasmaskin vilken är en grävmaskin som har en vikt över 30 ton. För att exemplifiera hur dessa kalkyler har utförts illustreras resultatet av en elektrisk grävmaskin inom maskinkategorin 20-30ton i figur 10. Detta exempel av investeringskalkyl har använt ett anskaffningspris som är 100% högre (plus 2% årlig inflation) än motsvarande dieselmaskins. Startåret för denna kalkyl är 2025 då maskiner inom denna maskinkategori förväntas finnas på marknaden i stor utsträckning enligt TRL-bedömningen. Som illustreras i kalkylen övergår det ackumulerade nettonuvärdet av kassaflödet till att vara positivt mellan år 7 och 8 eller 2031 och 2032.

Investeringskalkyl

(Period)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
År		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
<i>(siffror i tkr förutom kapitalvärdeskvoten och internräntan)</i>											
Grundinvestering	-5 306										
Restvärde (avsk enl. 20%-regeln)	5 306	4 245	3 184	2 122	1 061						0
Inbetalningar		1 946	1 985	2 024	2 065	2 106	2 148	2 191	2 235	2 280	2 325
Utbetalningar (drift)		1 127	1 150	1 201	1 225	1 250	1 275	1 300	1 326	1 353	1 380
Netto kassaflöde	-5 306	819	835	823	840	857	874	891	909	927	946
Akkumulerat exklusive diskontering	-5 306	-4 487	-3 652	-2 829	-1 989	-1 132	-259	633	1 542	2 469	3 415
Nettonuvärde framtida kassaflöd	-5 306	791	780	743	732	721	711	700	690	680	670
Nettonuvärde ackumulerat	-5 306	-4 515	-3 735	-2 993	-2 261	-1 540	-829	-128	562	1 242	1 913
Kapitalvärdeskvot											0,36
Internränta (avkastning på investering)											10%

Figur 10 - Exempel på investeringskalkyl inom maskinkategorin 20-30 ton

Generella antaganden som gäller alla kalkyler finns att läsa i tabell 5. Enligt tabellen är vissa värden inom ett spann. Innan känslighetsanalyser utfördes användes därför 3,5% som kalkylränta och 2,12 kr/kWh som elpris för alla maskinkategorier. I kalkylen gällande vätgasmaskinen > 30 ton användes ett vätgaspris på 90 kr/kg om inte annat anges.

Investeringskalkyler används för att beräkna nuvärdet utifrån vissa indata. Dessa indata brukar ofta vara intäkter och kostnader medan utdata är nuvärdet eller internräntan. Denna kalkyl, samt alla andra som författarna utfört, har en fast internränta på minst 10% vilket gör att timpriset (intäkterna) är utdata. Kalkylen visar vilken debitering som är nödvändig för att investeringen ska vara lönsam. Med dessa antaganden som är beskrivna beräknas ett timpris för denna maskinkategori, som visas ovan, till 1255kr/h. Timpriset för respektive maskinkategori redovisas senare i rapporten.

5.2.1. Kostnader och antaganden

Resultatet och de investeringskalkyler som genomfördes baserades på både kända och okända värden. De okända värdena estimerades genom författarnas anskaffade kunskaper inom ämnesområdet genom samtal med bransch-kunniga personer som intervjuats. De okända värdena tas även med i känslighetsanalysen för att täcka in den osäkerhet som råder vid investeringar i framtiden.

Tabell 5 - Kostnader och antaganden som berör investeringskalkylerna gällande elektriska arbetsmaskiner

	Typ av kostnad	Säker/osäker/ej möjligt/sekretess	Åtgärd	Värde
Elektrisk drift	Anskaffningskostnad	Osäker	Känslighetsanalys	100%-200% högre än dieselmaskin
	Elpris	Osäker	Känslighetsanalys	1,0 – 6,0 kr
	Reparation- och underhållskostnader	Säker	Ingen	-15% jämfört med dieselmaskin
	Kalkylränta	Sekretess	Känslighetsanalys	0 – 15%
	Drifttimmar	Säker	Ingen	1550h/år
	Energiförbrukning	Säker	Ingen	
	Intäkt per timme	Osäker	Känslighetsanalys	1100 – 2400kr
	Övriga driftkostnader	Säker	Ingen	450kr/h

5.2.2. Anskaffningsvärdet

Anskaffningskostnader för dagens utbud av diesel-maskiner finns i tabell 6 och är uppskattade med hjälp av Region specials interna verksamhet. En uppfattning som författarna har fått genom personliga samtal med leverantörer är att en eldriven maskin kommer vara cirka 100-200% dyrare än motsvarande dieseldrivna maskin. Andra källor menar dock att kostnaden kan vara upp emot 3 gånger så hög. Litterära källor som författarna hittat bekräftar detta men beskriver ett väldigt stort spann som varierar mellan att vara 20%- till och med 3 gånger dyrare (DNV, 2018). DNV (2018) menar samtidigt att de som är 3 gånger dyrare förväntas vara specialbyggda och ej serietillverkade maskiner. Givet att det råder olika uppfattningar om vad anskaffningsvärdet faktiskt kommer vara, har författarna gjort två fall

till respektive kalkyl. Ett fall där värdet är 100% högre jämfört med motsvarande dieselmaskin samt ett fall där värdet är 200% högre.

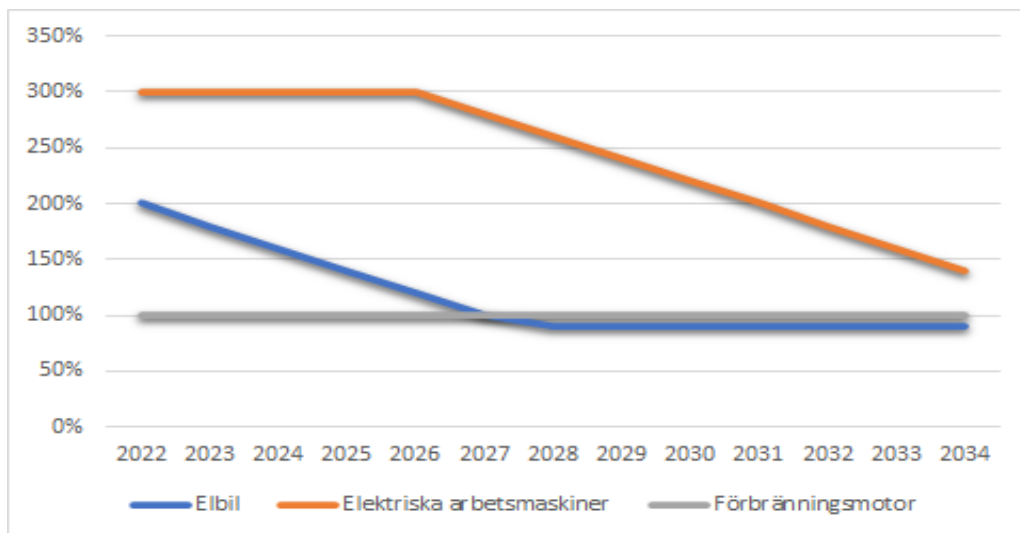
Restvärdet för maskinerna är inte relevant för rapportens resultat och inkluderas därför inte i kalkyleringen. Restvärdet antas därför vara 0 efter 10 år för att underlätta vid kalkylering och för att minska risk för missvisande värden.

Tabell 6 - Snitt för anskaffningskostnader per maskinkategori (diesel-maskiner)

Maskinkategori	Anskaffningskostnad (2022)
Bandschaktare	3 300 000 SEK
Borrvagn, grundläggning	5 500 000 SEK
Borrvagn, berg	5 500 000 SEK
Dumper	3 000 000 SEK
Grävmaskin 8 - 20 Ton	1 800 000 SEK
Grävmaskin 20 - 30 ton	2 500 000 SEK
Vibrovält	850 000 SEK
Grävmaskin >30 Ton	3 500 000 SEK
Hjulgrävmaskin	2 750 000 SEK
Hjullastare	2 200 000 SEK
Kompaktmaskiner	1 000 000 SEK
Pålkran	12 500 000 SEK

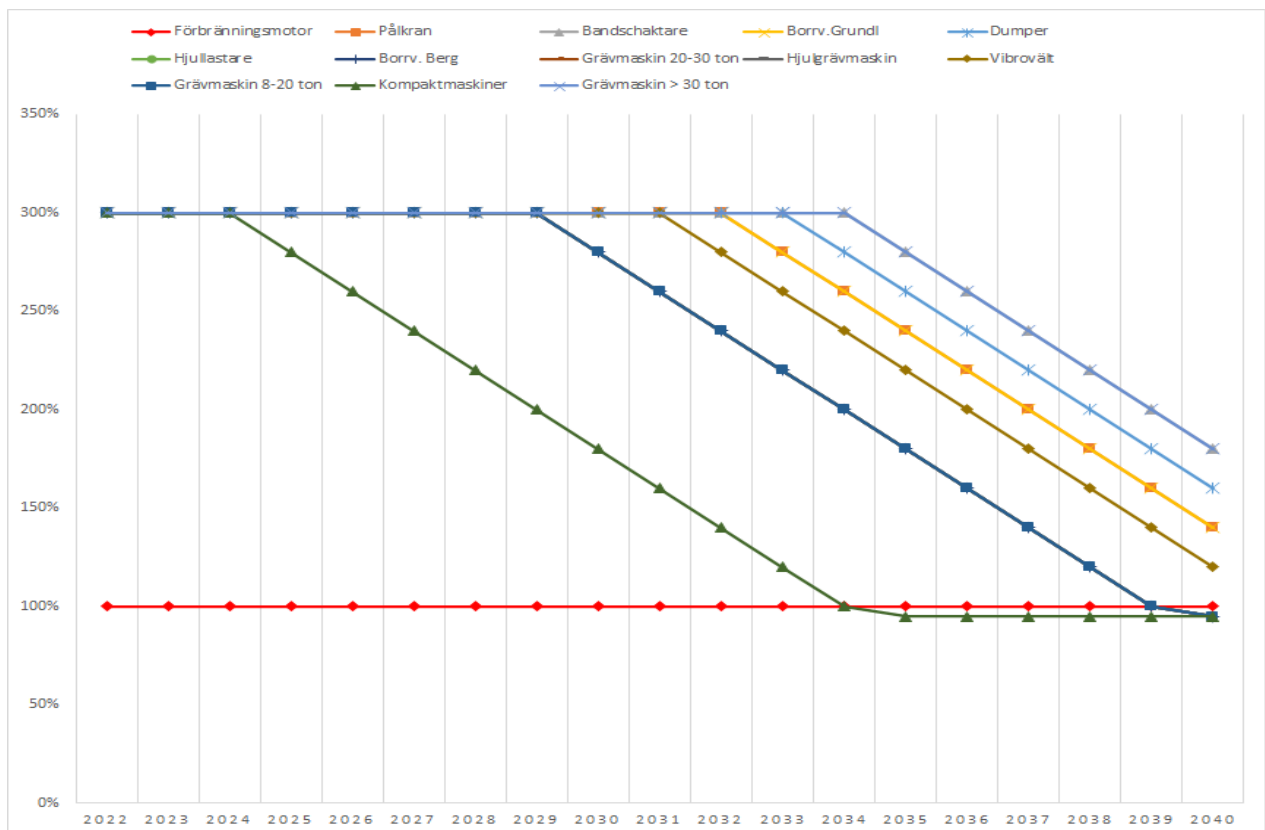
5.2.3. Förväntad prisutveckling av elektriska arbetsmaskiner

Baserat på intervjuer och litterära källor förväntas elektriska arbetsmaskiner vara ha ett 100-200% högre anskaffningsvärde jämfört med dieselmaskiner idag. Utvecklingen av priset bedöms sjunka allteftersom batteripriser minskar, tekniken skalar upp och maskinerna i större utsträckning blir serietillverkade. Vid analys av prisutvecklingen gällande elektriska bilar konstateras det att priset stadigt sjunker i takt med att marknaden blir större och batteripriser minskar. Bedömningen enligt BloombergNEF (2021) är att elbilar kommer nå samma prisnivå som bilar med förbränningsmotor 2025-2027 för alla storlekar på personbilar. Som tidigare beskrivit förväntas personbilsbranschen ligga före arbetsmaskiner i utvecklingen av elektrifiering. I figur 11 har författarna beskrivit prisutvecklingen för personbilar och arbetsmaskiner. Den kurva som anges för elbilar är baserad på litterära källor. Kurvan för elektriska arbetsmaskiner är ett antagande utifrån litteratur och intervjuer att arbetsmaskiner har en senare utveckling jämfört med personbilsindustrin gällande elektrifiering och prisnivåer. Antagandet är utfört så att prisutvecklingen släpar 5 år jämfört med personbilsindustrin och att utvecklingen är att jämföra med den för elbilar.



Figur 11 - Illustrering över elbilars och elektriska arbetsmaskiners prisutveckling jämfört med prisnivå för förbränningsmotor.

Vidare konstateras det att prisutvecklingen skiljer sig mellan de olika maskinkategorierna eftersom respektive maskinkategori har olika TRL-nivåer i dagsläget. Bedömningen är att arbetsmaskiner följer personbilsutvecklingen men har olika förskjutning sett till när minskningen börjar. Med detta som bakgrund har figur 12 framställts för att illustrera en eventuell prisutveckling för respektive maskinkategori baserat på TRL-bedömningen. I figuren antas prisminskningen ske när maskinkategorin når TRL 9. För de maskinkategorier som inte ännu nått TRL 9 inom perioden 2022 till 2030 har antaganden gjorts utifrån vilken TRL-nivå maskinkategorin har år 2030.



Figur 12 - Antagande av prisutveckling elektriska arbetsmaskiner.

5.2.4. Kalkyl- och interränta

Kalkylräntan som används i denna kalkyl har antagits till 3,5% men kommer varieras i känslighetsanalysen för att mäta dess påverkan på resultatet. Eftersom det värde som tillåts variera i kalkylen är timpriset och inte internräntan i kalkylerna har internräntan satts till 10% i alla kalkyler. I känslighetsanalysen har dock internräntan tillåtits variera beroende på olika faktorer för att mäta känsligheten i resultatet.

5.2.5. Drift- och drivmedelskostnader

Här redovisas kostnader som är kopplade till driften samt drivmedel.

5.2.5.1. Driftkostnader

Driftkostnader inkluderar förarlöner, drivmedel, reparation och underhåll, skatter, försäkringar samt transporter och är baserade på information från Region Specials interna verksamhet. De kostnader som ej avser underhåll/reparation, drivmedel och anskaffning antas vara samma för respektive maskin (diesel, el, vätgas). Eftersom dessa kostnader inte påverkar jämförelsen mellan maskinerna kommer de ej redovisas var för sig utan vara inkluderade i den totala driftkostnaden.

Reparationskostnader och underhåll beräknas vara lägre för en eldriven maskin jämfört med en dieseldriven (DNV, 2018). Hur mycket lägre finns det olika åsikter om och enligt litteratur (Ribberink et al., 2021) kan det handla om 20% lägre medan författarna fått olika uppfattningar från tillverkare som menar att det kan handla om allt mellan 15%-40% lägre. I denna rapports kalkyler har 15% lägre underhålls- och reparationskostnader använts för eldrivna maskiner. Då ingen information gällande underhållskostnader för vätgasmaskiner hittats har samma värden som för elektriska maskiner använts som underhållskostnader.

5.2.5.2. Drivmedelskostnader

Drivmedelskostnaderna skiljde sig åt och påverkades av olika verkningsgrader samt marknadspriser för diesel, el och vätgas. Först räknades energibehovet ut genom att beräkna hur mycket energi som kunde utvinnas av en dieselmotor, utslaget på ett år. Detta räknades ut enligt:

$$\frac{\text{Förbrukning}_{\text{liter,diesel}}}{\text{år}} * \text{energiinnehåll}_{\text{diesel}} * \eta_{\text{dieselmotor}=40\%} = \text{Energibehov}_{\text{netto}}$$

Förbrukningen för varje enskild maskinkategori redovisas i det sammanställande avsnittet. Energiinnehållet för diesel redovisades i den teoretiska referensramen och var satt till 9,8 kWh/liter.

När energibehovet var beräknat dividerades detta med verkningsgraden för en batterielektrisk drift vilket, med stöd från den teoretiska referensramen, var ca 85%. Resultatet blev energibehovet per år att förse respektive maskin med. Priset för el antogs vara 2,12 kr/kWh i kalkylerna. Med ovanstående resonemang kan en kostnad per kWh beräknas för respektive energislag (diesel, el, vätgas). Om dieselpriiset antas vara 16,6kr/L och elpriset 2,12kr/kWh skulle kostnaden för drivmedel kunna reduceras med 41%. Tabell 7 visar olika kostnadsbesparingar eller ökningsar för el och vätgas, jämfört med diesel. Kostnaden redovisas per liter dieselevivalenter och motsvarar kostnaden för energin som ska täcka energibehovet av en liter diesel i en dieselmotor.

Då verkningsgraden för bränsleceller varierar beroende på typ av bränslecell och hur stor del av värdekedjan som räknas in har tre scenarier använts. Då $\eta = 65\%$ syftar det endast till en PEM-bränslecell. Då $\eta = 30\%$ syftar det till hela värdekedjan, alltså från elektrolys till komprimering vid höga tryck till förbränning i fordon. Då $\eta = 46\%$ syftar det till framställningen av vätgas (genom elektrolys) kombinerat med förbränningen i ett vätgasfordon vilket blir en gemensam verkningsgrad på $\eta = 70\% \cdot 65\% = 46\%$. Det kan dock konstateras att alla tre fall är ekonomisk ogynnsamma i dagsläget vilket till stor del beror på priset 90kr/kg som använts i rapporten från källan (Alpman, 2021).

Tabell 7 - kostnadsjämförelse mellan olika drivmedel

	$\eta_{Dieselmotor} = 40\%$	$\eta_{Batteri} = 85\%$	$\eta_{Bränslecell} = 65\%$	$\eta_{Bränslecell} = 46\%$	$\eta_{Bränslecell} = 30\%$
	Diesel	El	Vätgas/bränslecell	Vätgas/bränslecell	Vätgas/bränslecell
Kr/L, Kr/kWh, Kr/kg	16,6	2,12	90	90	90
kWh/L, kWh/kg	9,8		33	33	33
Kr/kWh brutto	1,69	2,12	2,73	2,73	2,73
Netto kWh/L	3,92				
Elbehov brutto kWh		4,61	6,03	8,52	13,07
Kostnad per liter dieselekvivalens	16,6	9,78	16,45	23,24	35,64
Differans		-41%	-1%	40%	115%

5.3. Känslighetsanalys

Känslighetsanalyser har utförts på två maskinkategorier, ”elektrisk grävmaskin 20-30 ton” samt ”vätgas/bränslecell grävmaskin > 30 ton”. För att mäta känsligheten i investeringskalkylerna varierades kalkylräntan, anskaffningskostnaden samt drivmedelskostnaderna. Driftkostnaderna antogs vara lika för de olika maskinerna bortsett från de kostnader som är drivmedel. De värden som används inom respektive analys är följande, om inte annat anges:

Tabell 8 - Fasta värden inom respektive känslighetsanalys om inte annat anges

Anskaffningskostnad/Grundinvestering Elektrisk grävmaskin 20-30 ton	5 306 040kr (100% över dieselmaskinen + 2% årlig inflation fram till 2025)
Anskaffningskostnad/Grundinvestering Vätgas/bränslecell grävmaskin > 30 ton	7 428 456kr (100% över dieselmaskinen + 2% årlig inflation fram till 2025)
Kalkylränta	3,5%
Elpris	2,12 kr/kWh
Vätgaspris	90 kr/kg
Intäkt (elmaskin)	1255 kr/h
Intäkt (vätgasmaskin)	2084 kr/h
Underhållskostnader/reparation	15% lägre än för dieselmaskiner

5.3.1. Känslighetsanalys, elektrisk maskin

Ökning av grundinvestering utgår från anskaffningskostnaden av en dieseldriven grävmaskin idag inom maskinkategorin ”grävmaskin 20-30 ton”. 100% innebär dieselmaskinens anskaffningskostnad som uppskattas till 2 653 020kr (vilket inkluderar inflation 2%/år fram till 2025) plus 100% av det beloppet. Anledningen varför startåret är 2025 var eftersom TRL-resultatet visade att tekniken är mogen först då. I tabell 9 illustreras hur mycket variationen av kalkylräntan samt anskaffningskostnaden påverkar nettonuvärdet. Om exempelvis kalkylräntan är 4% och anskaffningskostnadsökningen 120% blir nettonuvärdet 1199 tkr.

Tabell 9 - Känslighetsanalys som visar hur nettonuvärdet påverkas av kalkylräntan och anskaffningskostnaden vid investeringskalkylering av en elektrisk grävmaskin med vikt 20-30 ton. Den streckade linjen anger gränsen mellan ett positivt och negativt nettonuvärde. Siffror i tkr förutom då % anges.

Kalkylränta	Anskaffningskostnadsökning					
	100%	120%	150%	180%	200%	220%
0%	3415	2884	2088	1292	762	231
1%	2942	2412	1616	820	289	-241
2%	2506	1976	1180	384	-147	-677
3%	2103	1572	776	-19	-550	-1081
4%	1730	1199	403	-393	-923	-1454
5%	1383	853	57	-739	-1270	-1800
6%	1062	532	-264	-1060	-1591	-2121
7%	764	233	-563	-1359	-1890	-2420
8%	486	-45	-841	-1637	-2167	-2698
9%	227	-304	-1100	-1896	-2426	-2957
10%	-15	-546	-1341	-2137	-2668	-3199
11%	-241	-771	-1567	-2363	-2894	-3424
12%	-452	-982	-1778	-2574	-3105	-3635
13%	-649	-1180	-1976	-2772	-3302	-3833
14%	-834	-1365	-2161	-2957	-3487	-4018
15%	-1008	-1538	-2334	-3130	-3661	-4191
16%	-1171	-1702	-2497	-3293	-3824	-4355

Den streckade linjen markerar gränsen för en lönsam eller ej lönsam investering. Om nettonuvärdet befinner sig under den streckade linjen är investeringen ej lönsam med förklaringen att nettonuvärdet är mindre än noll. Om nettonuvärdet befinner sig ovanför den streckade linjen är investeringen lönsam.

I tabell 10 listas internräntorna för olika timpriser som korrelerar med olika anskaffningskostnader. Här utgår anskaffningskostnaderna, precis som i tabell 8, från kostnaden av en dieseldriven grävmaskin i maskinkategorin ”grävmaskin 20-30 ton”. I kolumnen med rubriken 80% betyder det att resultatet beräknades med anskaffningskostnaden 2 653 020kr plus 80% av det beloppet samt en årlig inflation på 2% fram till 2025. På samma sätt som tidigare illustrerar den streckade linjen lönsamheten men kravet här är att internräntan skall vara 10% eller högre. Alla värden som ger en internränta under 10% betraktas som ej lönsamma.

Tabell 10 - Känslighetsanalys som visar hur internräntan påverkas av timdebitering och anskaffningskostnaden vid investeringskalkylering av en elektrisk grävmaskin med vikt 20-30 ton. Den streckade linjen anger gränsen då internräntan är högre respektive lägre än 10%.

Pris/h	Anskaffningskostnadsfaktor													
	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%	210%
1100	5%	3%	3%	2%	1%	0%	-1%	-2%	-2%	-3%	-3%	-4%	-5%	-5%
1120	6%	5%	4%	3%	2%	1%	0%	-1%	-1%	-2%	-3%	-3%	-4%	-4%
1140	7%	6%	5%	4%	3%	2%	1%	0%	0%	-1%	-2%	-2%	-3%	-3%
1160	8%	7%	6%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%	-1%	-1%	-2%	-3%
1180	9%	8%	7%	5%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%	-1%	-1%	-2%
1200	10%	9%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	0%	0%	-1%
1220	11%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	2%	2%	1%	0%	0%
1240	12%	10%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	2%	2%	1%	1%
1260	13%	11%	10%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	2%	2%	1%
1280	14%	12%	11%	10%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	3%	2%
1300	14%	13%	12%	11%	10%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%	3%
1320	15%	14%	13%	12%	10%	9%	9%	8%	7%	6%	5%	5%	4%	3%
1340	16%	15%	14%	12%	11%	10%	9%	8%	8%	7%	6%	5%	5%	4%
1360	17%	16%	14%	13%	12%	11%	10%	9%	8%	7%	7%	6%	5%	5%
1380	18%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	10%	9%	8%	7%	7%	6%	5%
1400	19%	17%	16%	15%	14%	12%	11%	10%	10%	9%	8%	7%	7%	6%
1420	20%	18%	17%	15%	14%	13%	12%	11%	10%	9%	9%	8%	7%	6%
1440	20%	19%	18%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	10%	9%	8%	8%	7%
1460	21%	20%	18%	17%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	10%	9%	8%	8%
1480	22%	20%	19%	18%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	11%	10%	9%	8%
1500	23%	21%	20%	18%	17%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	10%	10%	9%
1520	24%	22%	21%	19%	18%	17%	16%	14%	14%	13%	12%	11%	10%	9%
1540	24%	23%	21%	20%	19%	17%	16%	15%	14%	13%	12%	12%	11%	10%
1560	25%	24%	22%	21%	19%	18%	17%	16%	15%	14%	13%	12%	11%	11%

I tabell 11 analyseras elpriset och hur det kan tänkas påverka lönsamheten givet olika priser per timme. Den lodräta axeln motsvarar kostnaden per kWh medan den vågräta motsvarar intäkten per timme. Resultatet blir olika internräntor beroende på dessa parametrar.

Författarna har, likt tidigare, valt att en internränta på 10% eller mer räknas som lönsam och därför är de celler som uppfyller detta villkor ovanför/till höger om den streckade linjen. De resultat som är till vänster om den streckade linjen motsvarar på samma sätt olönsamma internräntor.

Tabell 11 - Känslighetsanalys som visar hur internräntan påverkas av timdebitering och elpris vid investeringskalkylering av en elektrisk grävmaskin med vikt 20-30 ton. Den streckade linjen anger gränsen då internräntan är högre respektive lägre än 10%.

Kr/kWh	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550
1	6%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	24%
1,1	6%	8%	11%	13%	15%	17%	19%	20%	22%	24%
1,2	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%
1,3	5%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%
1,4	5%	7%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	23%
1,5	5%	7%	9%	12%	14%	16%	18%	19%	21%	23%
1,6	4%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%
1,7	4%	6%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%
1,8	4%	6%	8%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	22%
1,9	3%	6%	8%	10%	12%	15%	17%	18%	20%	22%
2	3%	5%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%
2,1	3%	5%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%
2,2	2%	5%	7%	9%	12%	14%	16%	18%	20%	21%
2,3	2%	4%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%
2,4	2%	4%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%
2,5	1%	4%	6%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%
2,6	1%	3%	6%	8%	10%	13%	15%	17%	19%	20%
2,7	0%	3%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
2,8	0%	3%	5%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
2,9	0%	2%	5%	7%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
3	-1%	2%	5%	7%	9%	11%	14%	16%	18%	19%
3,2	-2%	1%	4%	6%	9%	11%	13%	15%	17%	19%
3,4	-2%	1%	3%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
3,6	-3%	0%	3%	5%	7%	10%	12%	14%	16%	18%
3,8	-4%	-1%	2%	4%	7%	9%	11%	13%	15%	17%
4	-5%	-2%	1%	4%	6%	9%	11%	13%	15%	17%
4,2	-6%	-3%	0%	3%	6%	8%	10%	12%	14%	16%
4,4	-7%	-3%	0%	2%	5%	7%	10%	12%	14%	16%
4,6	-8%	-4%	-1%	2%	4%	7%	9%	11%	13%	15%
4,8	-9%	-5%	-2%	1%	4%	6%	8%	11%	13%	15%
5	-10%	-6%	-3%	0%	3%	5%	8%	10%	12%	14%
5,2	-11%	-7%	-4%	-1%	2%	5%	7%	9%	12%	14%
5,4	-13%	-8%	-5%	-1%	1%	4%	6%	9%	11%	13%
5,6	-14%	-9%	-6%	-2%	1%	3%	6%	8%	10%	13%
5,8	-15%	-10%	-7%	-3%	0%	3%	5%	8%	10%	12%
6	-17%	-12%	-8%	-4%	-1%	2%	4%	7%	9%	11%

5.3.2. Känslighetsanalys vätgasmaskin

Här redovisas känslighetsanalyserna på en vätgasmaskin i maskinkategorin ”grävmaskiner > 30 ton”. Notera att denna känslighetsanalys inte är direkt jämförbar med den ovan då en del värden skiljer sig utöver drivmedel. De värden som skiljer sig är krävt energibehov och anskaffningskostnad enligt tabell 8.

I tabell 12 redovisas internräntan vid olika kostnader för vätgas (kr/kg, lodräta axeln) samt intäkter per timme (kr, vågräta axeln). Likt tidigare illustrerar den streckade linjen lönsamheten och internräntan beräknas som lönsam då den uppgår till minst 10%.

Tabell 12 - Känslighetsanalys som visar hur internräntan påverkas av timdebitering och vätgaspris vid investeringskalkylering av en vätgasdriven grävmaskin med vikt över 30 ton. Den streckade linjen anger gränsen då internräntan är högre respektive lägre än 10%.

	1 900 kr	1 950 kr	2 000 kr	2 050 kr	2 100 kr	2 150 kr	2 200 kr	2 250 kr	2 300 kr	2 350 kr	2 400 kr
50 kr	15%	16%	17%	19%	20%	21%	23%	24%	25%	27%	28%
55 kr	13%	15%	16%	18%	19%	20%	22%	23%	24%	26%	27%
60 kr	12%	14%	15%	16%	18%	19%	21%	22%	23%	24%	26%
65 kr	11%	12%	14%	15%	17%	18%	19%	21%	22%	23%	25%
70 kr	10%	11%	13%	14%	16%	17%	18%	20%	21%	22%	24%
75 kr	8%	10%	11%	13%	14%	16%	17%	18%	20%	21%	22%
80 kr	7%	8%	10%	12%	13%	15%	16%	17%	19%	20%	21%
85 kr	5%	7%	9%	10%	12%	13%	15%	16%	18%	19%	20%
90 kr	4%	6%	7%	9%	10%	12%	14%	15%	16%	18%	19%
95 kr	2%	4%	6%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	18%
100 kr	1%	3%	4%	6%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%
105 kr	-1%	1%	3%	5%	6%	8%	10%	11%	13%	14%	16%
110 kr	-3%	-1%	1%	3%	5%	7%	8%	10%	11%	13%	14%
115 kr	-5%	-3%	0%	2%	3%	5%	7%	9%	10%	12%	13%
120 kr	-7%	-5%	-2%	0%	2%	4%	5%	7%	9%	10%	12%
125 kr		-7%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%	7%	9%	11%
130 kr			-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%	8%	9%
135 kr				-6%	-4%	-1%	1%	3%	4%	6%	8%
140 kr					-6%	-3%	-1%	1%	3%	5%	6%
145 kr					-8%	-5%	-3%	-1%	1%	3%	5%
150 kr						-7%	-5%	-2%	0%	2%	4%
155 kr							-7%	-4%	-2%	0%	2%
160 kr								-7%	-4%	-2%	0%
165 kr									-6%	-4%	-2%
170 kr										-6%	-3%
175 kr											-5%
180 kr											-8%

Då övriga ingående parametrar i kalkylen för vätgasmaskinen förväntas visa samma förhållanden som för elmaskinen varför det inte har utförts fler känslighetsanalyser för vätgasmaskinen.

5.4. Sammanställning av kalkyler

Författarnas bedömning av TRL-resultatet är att den dominerande tekniken fram till 2030 huvudsakligen kommer vara batterielektrisk drift, med undantag för de tyngre maskinkategorierna med hög motoreffekt som troligtvis i stället kommer att använda vätgas. Med anledning av detta har huvudsakligen investeringskalkyler utförts på maskinkategorier med elektrisk drift. Det ska även tilläggas att vätgasdrift är betydligt dyrare än eldrift enligt rapportens kalkyler (se tabell 7).

När investeringskalkyler, med avseende på elektrisk drift, var utförda inom alla maskinkategorier och resultatet analyserats med känslighetsanalyser har två olika scenarier skapats. Anledningen till detta är att det råder osäkerhet om hur mycket högre anskaffningskostnaden för en elektrisk arbetsmaskin kommer vara jämfört med en dieselmaskin. Därför har ett ”best case” och ”worst case” skapats där best case innefattar en anskaffningskostnadsökning om 100% medan worst case innefattar en ökning om 200% i anskaffningskostnad. Övriga värden antas vara samma i de olika fallen (se tabell 12).

Tabell 13 - Antaganden som gäller i alla investeringskalkyler då inte annat anges

Antaganden:	
Kalkylränta	3,5%
Avkastning på investering (internränta)	10%
Verkningsgrad Dieselmaskin	40%
Verkningsgrad elmaskiner	85%
Verkningsgrad Vätgasmaskin	46%
Dieselnkostnad	16,6 kr/L
Elkostnad	2,12 kr/kWh
Underhåll/reparation	15% lägre jämfört med dieselmaskiner
Restvärde efter 8-10 år	0
Nyttjade drifttimmar	1 550 /år
Driftkostnader (ex drivmedelskostnader)	450 kr/h

I tabell 14 redovisas resultaten av alla investeringskalkyler. Resultaten visar vilken debitering som krävs för att investering ska vara lönsam. Priser per timme som är under de angivna värdena betraktas som olönsamma då avkastningen på investeringen (interräntan) blir lägre än 10%.

Tabell 14 - Sammanställning av investeringskalkyler, map elektrisk drift samt ett fall med vätgas. Siffrorna redovisas i kr

Maskin	Anskaffningskostnad (Diesel)	Anskaffningskostnad El (Worst case)	Anskaffningskostnad El (Best case)	Pris/h (Worst case)	Pris/h (Best case)	Pris/h (Diesel)
Bandschaktare	3 300 000	9 900 000	6 600 000	1 836	1 458	1277
Borrvagn, grundläggning	5 500 000	16 500 000	11 000 000	2 520	1 911	1505
Dumper	3 000 000	9 000 000	6 000 000	1 722	1 374	1209
Grävmaskin 8 < x <= 20 ton	1 800 000	5 400 000	3 600 000	1 237	1 011	889
Grävmaskin 20 < x <=30 ton	2 500 000	7 500 000	5 000 000	1 513	1 215	1064
Vibrovält	850 000	2 550 000	1 700 000	971	842	837
Grävmaskin >30 Ton	3 500 000	10 500 000	7 000 000	2 024	1 620	1504
Hjulgrävmaskin	2 750 000	8 250 000	5 500 000	1 558	1 234	1034
Hjullastare	2 200 000	6 600 000	4 400 000	1 444	1 176	1070
Kompaktmaskiner	1 000 000	3 000 000	2 000 000	972	829	778
Pålkran	12 500 000	37 500 000	25 000 000	4 800	3 469	2415
Borrvagn, Berg	5 500 000	16 500 000	11 000 000	2 465	1 897	1450
Grävmaskin >30 Ton (Vätgas)	3 500 000	10 500 000	7 000 000	2 445	2 043	1504

5.5. Klimatberäkningar

Här besvaras hur en eventuell övergång till ett elektrifierat maskininnehav hade påverkat emissionerna från arbetsmaskinerna. Emissionsberäkningarna utgår bara från utsläpp vid drift och tar inte hänsyn till tillverkning av maskiner. 2030 ska en halvering av emissionerna vara gjord, från startåret 2015. Beräkningarna som redovisas nedan utgår från att dagens

emissionsnivåer är jämförbara med 2015 års nivåer vilket bekräftats av Skanskas maskinchef. I detta kapitel har det även beräknats vilken energitillgång som krävs för att ett elektrifierat maskininnehav ska vara möjligt.

5.5.1. Emissioner

Utsläppen från diesel beräknades genom att multiplicera literförbrukningen per år med dess klimatpåverkan, vilket enligt Energimyndigheten är 2,68 kg CO₂-ekvivalenter per liter Mk1-diesel (Energimyndigheten, 2017). Vidare beskriver Energimyndigheten (2017) att påverkan från el är 0,047 kg CO₂-ekvivalenter per kWh, beräknat på el som drivmedel. Då energiinnehållet i diesel är beskrivet i teorin som 9,8 kWh/L kunde klimatpåverkan per kWh för de båda energislagen beräknas. Om elmotorns verkningsgrad är 85% enligt teorin och motsvarande dieselmotors verkningsgrad var 40% kunde ett års emissioner beräknas till 11 091 ton CO₂-ekvivalenter för dieselmaskinerna samt 900 ton CO₂-ekvivalenter för elmaskinerna vilket motsvarar en potentiell reduktion med 92%. I diagram 5 illustreras utsläppen per maskin inom varje maskinkategori.

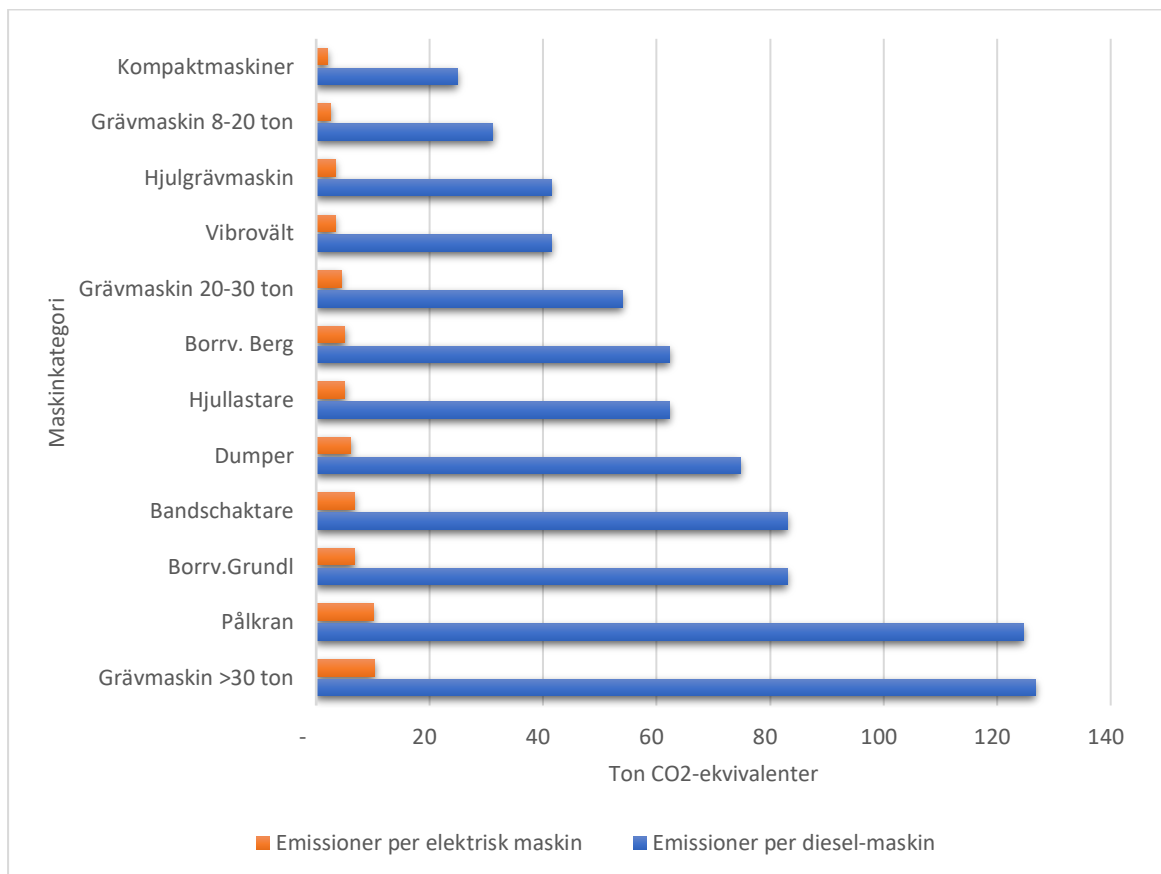


Diagram 5 - Emissioner per maskinkategori räknat i Ton CO₂-ekvivalenter per år

Eftersom Region Special har olika antal maskiner i respektive maskinkategori har även ett diagram skapats (se diagram 6) över de totala emissionerna summerat per maskinkategori.

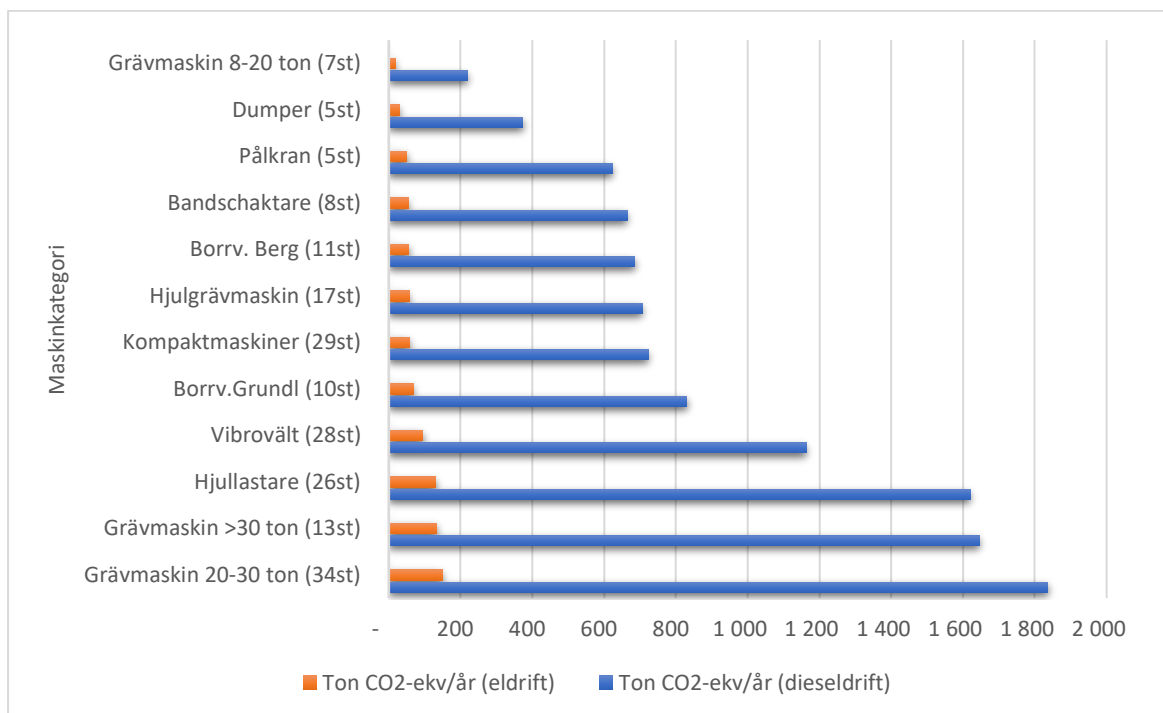


Diagram 6 - Totala antalet CO2-ekvivalenter då alla maskiner räknats med.

5.5.2. Energiåtgång

Beräkningar har utförts på hur mycket energi som krävs för att kunna driva ett helt elektrifierat maskininnehav. Likt beräkningarna kring emissionerna har samma verkningsgrader och värden använts för dessa kalkyler. Först redovisas energiåtgången per maskin (se diagram 7) och sedan det totala energibehovet som krävs för ett helt elektriskt maskininnehav.

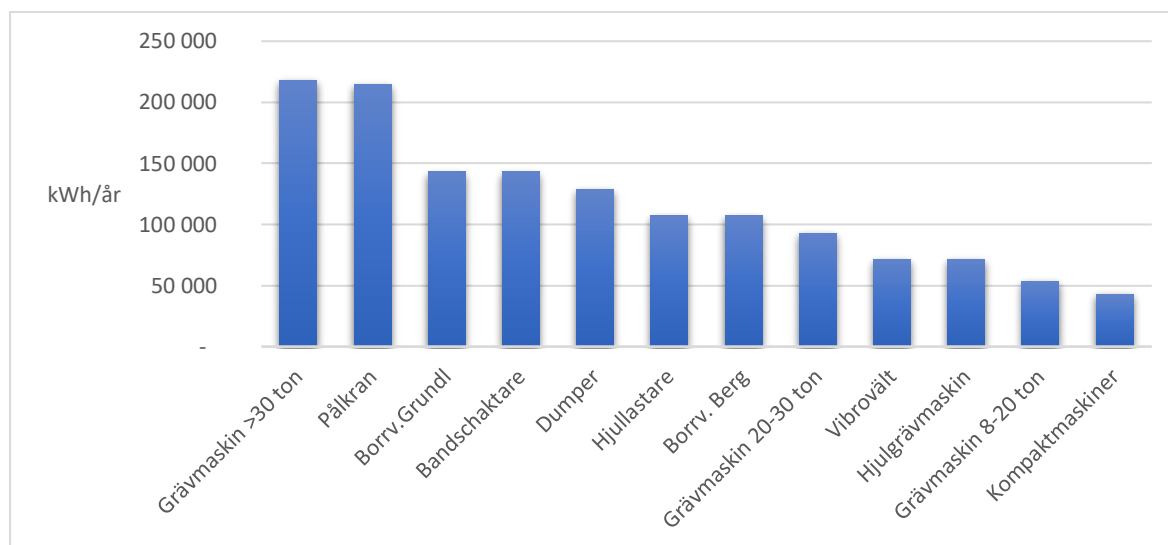


Diagram 7 - Mängden energi som krävs för att uppfylla energibehovet som motsvarar ett års drift för varje enskild dieselmaskin.

I diagram 8 illustreras energiförbrukningen för alla maskiner under ett helt år och även hur mycket energi som krävs till motsvarande elektriska maskiner för att möta samma nettoförbrukning som fås ut av dieselmaskinerna. Det totala energibehovet för en 100% elektrifierad flotta blir således ca 19 GWh/år vilket kan jämföras med energin som krävs för att värma upp ca 760 hushåll under ett år (Bestel, 2022).

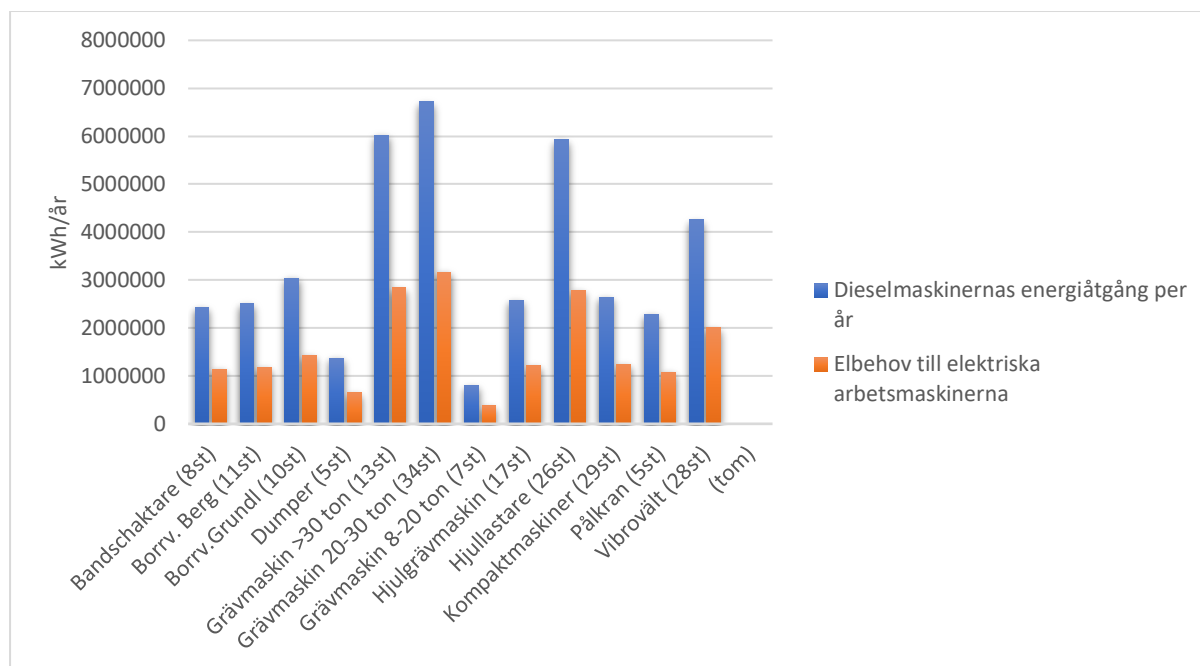


Diagram 8 - Den totala energiförbrukningen och energibehovet av hela maskininnehavet under ett år.

5.6. Strategi baserat på kalkyl och teknisk mognadsgrad

Nedan presenteras hur teoretiska strategier från referensramen är tillämpbara vid investering i klimateffektiva arbetsmaskiner.

5.6.1. Osäkerhetsnivå för investering i klimateffektiva arbetsmaskiner

Enligt den teori som är beskriven i 3.3.6 finns det enligt Courtney et al. (1997) fyra olika osäkerhetsnivåer vilka beskrevs som A clear-enough future, Alternative futures, A range of futures och True Ambiguity. Genom undersökning av teknisk mognadsgrad, intervjuer och variation av ekonomiska värden bedömer författarna att osäkerhetsnivån för investering av klimateffektiva maskiner är mellan Alternative Futures och A Range of Futures, alltså mellan nivå 2 och nivå 3. Bedömningen bygger på resultaten av undersökningen av teknisk mognadsgrad där det konstateras att flera maskinkategorier inte kommer vara tillgängliga för försäljning tidigare än 2030 och att det i vissa maskinkategorier fortfarande är osäkert vilken typ av drivlina som kommer vara den vanligaste tekniken. Vid investeringskalkylering finns det flera värden som är uppskattningar och inte går att fastställa vilka kan ha stor påverkan på den strategi som antas för investering i arbetsmaskiner.

5.6.2. Ställningstagande

Enligt teorin beskriven i 3.3.6 finns det enligt Courtney et al. (1997) tre olika ställningstaganden en organisation kan anta vid osäkra investeringar. Dessa beskrivs som Shape the future, Adapt to the future och Reserve the right to play. Som beskrivet i 3.3.6 är

ställningstaganden inte att förväxla med strategi utan snarare hur organisation förhåller sig till osäkerheten.

Shape the future - Ställningstagandet innebär, vilket tidigare är beskrivet, att ett företag tar sig an en ledarroll och agerar förebild för branschen. Applicerat på klimateffektiva arbetsmaskiner innebär det att ett företag som Skanska går före övriga konkurrenter och investerar i den nya tekniken, arbetar med leverantörer och är delaktiga i prototypframtagningen och testningen av prototyper.

Adapt the future – Ställningstagandet innebär att företag reagerar och anpassar sig till hur branschen agerar. Eftersom det finns osäkerhet kring hur klimateffektiva arbetsmaskiners utveckling ser ut innebär detta att ett företag som Skanska väntar tills osäkerheten minskat och då är snabba i omställningen när tekniken är etablerad.

Reserve the right to play – Investering av klimateffektiva arbetsmaskiner sker långsamt och företaget väntar till osäkerheten minskat. Detta ökar chansen för att investeringarna är rätt och risken för felinvestering minskar. Konsekvensen i detta fall kan bli att legitimiteten minskar och att det upplevs att företaget som en stor aktör inte tar ett större ansvar för minskning av utsläpp.

Region Specials ställningstagande är inte undersökt och författarna har inte avsikten att föreslå ställningstagande eftersom det är högst beroende av marknad, konkurrenter och övriga strategiska beslut. Det är trots det viktigt att välja ställningstagande för att kunna genomföra och besluta om den strategi som lämpar sig bäst för bolaget. De strategier som författarna föreslår beskrivs i 5.6.3.

5.6.3. Förslag på strategiska handlingar

Osäkerhetsnivån som beskrivs i 5.6.1 bedöms vara på nivå 2 eller nivå 3. Vidare behöver Region Special ta ställning till utvecklingen och den osäkerhet som råder för investering i klimateffektiva arbetsmaskiner. Utifrån ställningstagandet kan Region Special välja strategi vilka är starkt förknippade med varandra. Strategier bygger på handlingar och då främst på när det är lämpligt att investera i klimateffektiva arbetsmaskiner. I efterföljande kapitel kommer tre olika strategier baserat på utredningen av teknisk mognadsgrad och investeringskalkylering presenteras. Även miljöpåverkan av respektive strategi presenteras.

5.6.3.1. Big bets

Den strategi som lämpar sig bäst till ställningstagandet Shaping Strategy är Big Bets.

Tankesättet med strategin har applicerats på investering av klimateffektiva maskiner och anpassats av författarna. Strategin innebär att Region Special investerar i maskiner som nått TRL 7-9 och antalet investeringar per maskinkategori och år presenteras i tabell 14. TRL 9 är sedan tidigare beskrivet den nivå som anger att produkten finns tillgänglig för försäljning och tekniken är brett använd i branschen. Anledningen till att författarna även tar med de kategorier som nått nivå 7 och 8 i strategin är vi bedömer att det kommer finnas möjligheter att köpa maskiner innan de är serietillverkade då i form av prototyper och tidiga modeller. Detta innebär sannolikt en högre investeringskostnad och i sin tur en högre timdebitering vilket presenterades i 5.3 med förhoppningen att investeringarna ger hög avkastning i framtiden. Risken med strategin är den tekniska utvecklingen gör att investering i tidigt skede gör att maskinerna behöver anpassas till nyare teknik i ett senare skede eller att tekniken inte är den som kommer dominera marknaden.

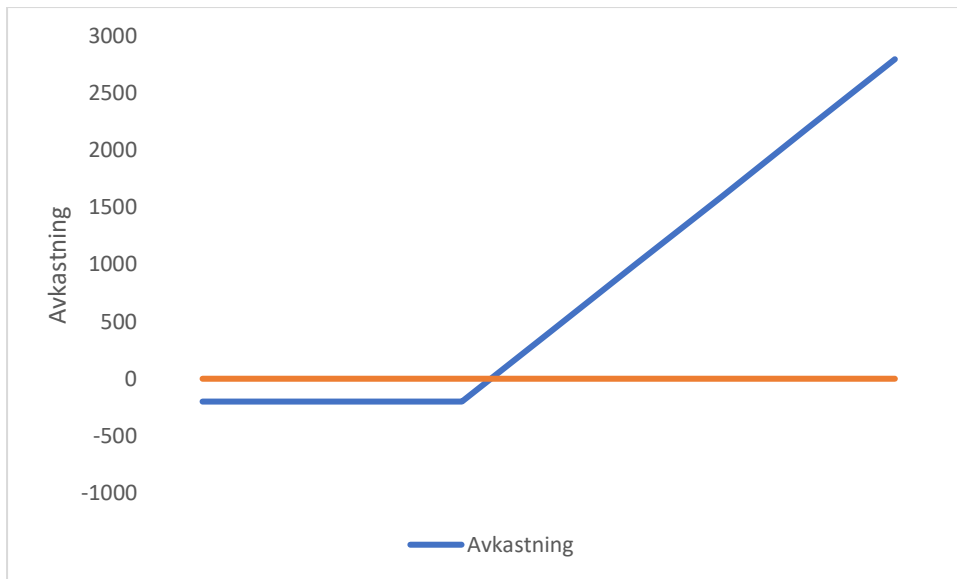
Klimatpåverkan av strategin presenteras i 5.6.4.

Tabell 15 - Antal maskiner som byts ut per år inom respektive kategori med strategin "Big Bets".

Maskinkategori	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Bandschaktare									0
Borrv. Berg					3	1		1	5
Borrv. Grundl.				2	2			3	7
Dumper									0
Grävmaskin >30ton									0
Grävmaskin 20-30 ton			5	2	5	3	5	2	22
Grävmaskin 8-20 ton			1			2		2	5
Hjulgrävmaskin				6	4	1	1	2	14
Hjullastare						3	3	2	8
Kompaktmaskiner	4	2	3	7	2	4	1	2	25
Pålkran									0
Vibrovält								3	3
Totalt alla kategorier	4	2	9	17	16	14	10	17	89

5.6.3.2. Options

Strategin Options tar mindre risker då investeringskostnaderna generellt inte är lika stora som i fallet för Big Bets. Skanska kan här välja att göra en investering, i ny teknik, per maskinkategori. När sedan framtiden talar om vilken teknik som är den dominerande, eller att osäkerheten har minskats, kan investeringarna väljas att skalas upp eller ned beroende på utfallet. Genom denna metod kan Region Special vara med och konkurrera på marknaden utan att ta en stor risk. Figur 13 illustrerar kurvan för en finansiell option vilket förväntas likna avkastningskurvan vid användandet av denna metod (Courtney et al., 1997). Den blå linjen ligger initialt under 0-nivån för att sedan, om rätt utveckling sker, höjas till högre nivåer med stor avkastning. Om den önskade utvecklingen inte sker kommer den blå kurvan ej att generera positiv avkastning (sticka upp ovanför 0-nivån) men samtidigt är den maximala förlusten av investeringen liten då den inte kan bli större än grundinvesteringen.



Figur 13 - En illustration över hur kurvan av en option kan se ut (Courtney et al., 1997).

5.6.3.3. No Regret-Moves

No Regret-Moves är handlingar som ska generera vinster oavsett vilket utfall som sker i framtiden (Courtney et al., 1997). Om denna metod används av Region Special, kommer deras största fokus vara på att kapa kostnader, effektivisera samt samla in värdefull kompetens. En uppfattning som författarna fått från leverantörer är att tomgångskörningen inom byggbranschen är hög. Ett förslag, som grundar sig i no regret-moves metoden, är att reducering av tomgångskörning skulle kunna vara ett tillvägagångssätt till kostnadsbesparingar samt minskning av emissioner.

Om denna metod används inom strategin bör inte Region Special köpa maskiner som har en TRL under 9. Inga prototyper borde köpas och de bör vara säkra på att lönsamheten för miljöalternativen ligger på samma nivå som för dieselalternativen.

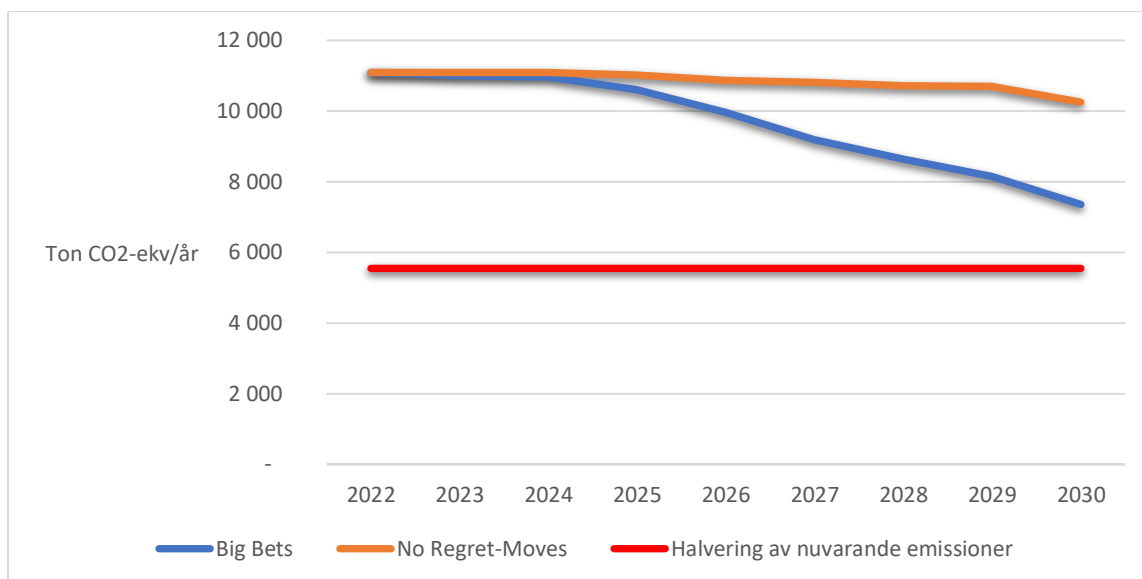
Tabell 16 - Antal maskiner som byts ut inom respektive kategori med strategin "No Regret-Moves".

Maskinkategori	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Bandschaktare									0
Borrv. Berg								1	1
Borrv. Grundl.									0
Dumper									0
Grävmaskin >30ton									0
Grävmaskin 20-30 ton								2	2
Grävmaskin 8-20 ton								2	2
Hjulgrävmaskin								2	2
Hjullastare								2	2
Kompaktmaskiner			3	7	2	4	1	2	19
Pålkran									0
Vibrovält									0
Totalt alla kategorier	0	0	3	7	2	4	1	11	28

5.6.4. Sammanfattning av strategier

Som tidigare beskrivet kan ett företag använda sig utav flera olika strategier. Något som ska tilläggas utöver det som är skrivet i detta kapitel är att det är viktigt att välja generisk strategi (se kapitel 3.2) för att uppnå konkurrensfördelar. Författarnas tolkning är att Porters (1985) strategier utgör en grund för att vara konkurrenskraftig. Därför måste man som företag bestämma om man vill anta en roll som kostnadsledare eller differentiera sig. Detta är något som författarna bedömer korrelera med ett företags ställningstagande.

I figur 14 visas hur de olika strategierna påverkar Region Specials utsläpp per år. Detta är beräknat på Region Specials dieselmaskiner som byts ut mot elmaskiner. Vätgas är inte medräknat.



Figur 14 - Här visas olika strategiers påverkan på utsläppen.

Som framgår av figuren kommer ingen av strategierna att uppnå en halvering av emissioner innan 2030. Strategin som innefattar ”options” är inte inkluderad då kurvan förväntas ligga mellan de övriga strategierna.

6. SLUTSATS OCH DISKUSSION

6.1. Slutsats

Syften med rapporten var att utreda den tekniska utvecklingen för klimateffektiva arbetsmaskiner och genom variation av ekonomiska värden analysera investeringskalkyler. Utöver det var syftet att utreda om det är möjligt att genom investering i klimateffektiva arbetsmaskiner reducera maskinflottans klimatpåverkan med 50%. Nedan besvaras rapporten frågeställningar.

Hur bedöms den tekniska utvecklingen av klimateffektiva arbetsmaskiner se ut fram till och med 2030?

Den tekniska utvecklingen av klimateffektiva arbetsmaskiner, alltså arbetsmaskiner som har noll miljöpåverkan vid drift, varierar beroende på maskinkategori. De svar som respondenterna gav i enkätsvaren tyder på att elektriska arbetsmaskiner har en snabbare utveckling än arbetsmaskiner som drivs av vätgas. Enligt Technology Readiness Level-metoden är nivå 9 den nivå som anger när ett system är tillgängligt för försäljning och brett använt inom branschen. De utsläppsfria maskinkategorier som förväntas vara tillgängliga till försäljning inom intervallet 2022 – 2030 är Kompaktmaskiner, Grävmaskiner 8-20 ton, Grävmaskiner 20-30 ton, Hjulgrävmaskiner 10-30 ton, Hjullastare 10-30 ton och Vibrovältar 8-20 ton. Anledningen till att det är just dessa kategorier som förväntas vara tillgängliga för försäljning bedöms bero på typen av arbete som maskiner utför (applikation), samt maskinernas motoreffekt. De lägre motoreffekterna bedöms ha större möjlighet att elektrifieras än de som har 200kW eller högre. För maskiner som har en motoreffekt om 200kW eller högre förväntas vätgas vara den teknik som är applicerbart. Vätgasen bedöms dock vara senare i utvecklingen och kan möjligtvis vara en aktuell teknik för vissa maskinkategorier tidigast 2030.

Gällande energitillgång skiljer sig också de två energislagen elektrisk drift och vätgasdrift åt. Bedömningen är att lösningar för tillgång, förvaring och utbyggd infrastruktur för vätgas ligger längre fram i tiden jämfört med elen. El finns tillgängligt på de flesta arbetsplatser men kan komma att kräva utbyggnation och bättre planering i ett tidigare skede för att möjliggöra drift av elektriska arbetsmaskiner. De arbetsplatser som lämpar sig för elektrisk drift är byggarbetsplatser inom tätbebyggelse och fasta anläggning så som krossar och grustag.

Hur påverkas kostnader och intäkter vid investering i klimateffektiva arbetsmaskiner?

Lönsamheten är till stor del beroende av anskaffningskostnaden och drivmedelskostnader vid jämförelse med motsvarande dieselmaskin. Vid jämförelse av drivmedelskostnader är i dagsläget vätgas det dyraste alternativet medan kostnaderna för diesel och el är likvärdiga. Denna jämförelse är dock högst beroende av prisutvecklingen på marknaden.

Anskaffningskostnaden för elektriska arbetsmaskiner jämfört med dieselmaskiner bedöms vara 100-200% högre. Kostnadsantagandet baseras på litterära källor samt intervjuer men är fortsatt svårpreciserad. Författarna har jämfört prisutvecklingen med den för eldrivna personbilar och med den jämförelsen konstaterat att det dröjer till efter 2030 för de flesta maskinkategorier innan priset är på liknande nivå som för dieselmaskiner. Detta innebär att anskaffningskostnaden får en stor påverkan på investeringskalkyleringen och beslutsunderlaget vid framtagande av investeringsstrategi. Det kan dock konstateras att Region Special, vid investering i klimateffektiva arbetsmaskiner, behöver höja debiteringen

per timme för att ha möjlighet att bibehålla lönsamheten enligt de känslighetsanalyser som har genomförts. Rapporten har inte undersökt kundernas prisförväntning för klimateffektiva arbetsmaskiner utan de ekonomiska effekterna visas för att ha beslutsunderlag vid investeringsbeslut.

Vilka ekonomiska faktorer, som i sin tur påverkar resultatet, är känsliga för variation?

I rapporten har kalkylräntan, anskaffningskostnaden, timdebiteringen och drivmedelspriser varierats för att undersöka hur dessa påverkar kalkylen och för att avgöra vilka värden som innebär att investeringen är lönsam. Flera värden som använts har varit okända och har krävt att författarna utfört antaganden baserade på intervjuer och litterära källor. Det kan konstateras att alla dessa faktorer har en stor påverkan på resultatet och är därmed känsliga för variation. Eftersom faktorernas värden är osäkra är det svårt att veta vilket värde som kommer stämma i framtiden. Intervallet blir därför ganska brett och värdena i respektive ytterkant påverkar därför resultatet på väldigt olika sätt.

Utifrån den tekniska och ekonomiska utvecklingen, vilka investeringsstrategier är mest lämpliga vid investering i ny teknik?

Rapporten har presenterat tre olika strategier som beror på vilket ställningstagande och risk Region Special är villiga att ta. De tre strategierna är Big bets, Options och No-Regret Moves. Strategierna har applicerats och anpassats av författarna för att matcha TRL-bedömningen. Strategin Big Bets är den strategi som är förknippad med högst risk där strategin bygger på att investera tidigt, redan under TRL 7. Detta innebär att Region Special investerar i klimateffektiva maskiner så snart de släpps på marknaden samt investerar i modeller som inte är serietillverkade, det vill säga prototyper. Denna strategi innebär sannolikt höga anskaffningskostnader. No-Regret Moves är en mer restriktiv strategi som bygger på att låta branschen få anpassa sig till den nya tekniken och i stället lägga över initiativet till kunden. Det innebär att Region Special inte investerar i klimateffektiva maskiner innan kunderna efterfrågar dessa och är beredda att betala den högre timdebiteringen. Options-strategin bygger på att ha låg risk men också möjlighet till att ta marknadsandelar. Strategin innebär att Region Special investerar i ett fåtal maskiner inom respektive kategori relativt tidigt för att ha ett brett sortiment att erbjuda kund och på så sätt ta marknadsandelar.

Som tidigare beskrivet måste ett företags ställningstagande bestämmas. En tolkning som författarna gör är att ställningstagandet kan kopplas ihop med Porters faktorer som bestämmer ifall man ska vara en teknisk ledare eller följare (se kapitel 3.2). Vid analys av dessa faktorer är författarnas slutsats att den bästa strategin, givet den data som hittats och gällande fallet i denna rapport, är att vara en följeslagare och inte teknisk ledare. Anledningen till detta är att det är väldigt svårt att säga hur man ska upprätthålla en ledande position och blockera konkurrenter från att inte erbjuda samma produkt. Detta är dock något som inte varit fokus i denna rapport men är enligt författarnas uppfattning bra att utreda vidare. Det råder även osäkerhet om hur stora fördelarna eventuellt skulle kunna bli vid investering i klimatsmarta arbetsmaskiner då arbetet inte behandlat potentiella kunders önskemål och betalningsvilja. Det är även svårt att säga hur stora eventuella förlusterna skulle kunna vara ifall man är först med att investera i ny teknik.

Den slutsats som författarna gör, med avseende på investeringsstrategier i ny teknik, är att det inte finns en generisk strategi som är applicerbar för alla. Frågan är mycket komplex och många faktorer måste beaktas. Företag måste eliminera osäkerhet, välja ett ställningstagande, välja konkurrerande strategi och sedan hålla sig till den.

Är det möjligt att minska utsläppen av växthusgaser från arbetsmaskiner med 50% till 2030 genom investering i klimateffektiva arbetsmaskiner?

Baserat på TRL-bedömningen och de olika strategier som har föreslagits är det inte möjligt att uppnå 50% reduktion av växthusgasutsläpp på maskinflottan enbart genom investeringar i klimatsmarta arbetsmaskiner. Det finns möjlighet, genom att investera enligt Big Bets, att närma sig en halvering men inte ens denna riskfyllda strategi kommer att uppnå målet. Anledningen är att det inte är möjligt att reinvestera i tillräckligt många maskiner eftersom tekniken inte är utvecklad till den grad som är nödvändig. Många maskiner som behöver reinvesteras under perioden 2022-2030 kommer därför att behöva reinvesteras till dieselmaskiner vilket ytterligare fördröjer investeringen i klimateffektiva maskiner med 10 år från den dagen då de anskaffas. Författarna vill addera till slutsatsen att målet för 2030 fortfarande kan uppfyllas för bygg- och anläggningssektorn, men i så fall måste andra delar inom sektorn dra bidra till minskningen mer då målet innefattar alla bidragare till klimatutsläpp och inte endast arbetsmaskinerna.

6.2. Metodreflektion

Rapporten har utförts genom att intervjua bransch-kunniga personer, analysera litterära källor samt utföra en bedömning av den tekniska mognadsgraden genom att be bransch-kunniga svara på tre enkäter. Enkäterna skickades ut till 12 personer varav 6 svarade. Att det är så få svar innebär att man bör tolka svaren med försiktighet och att ett större antal svar hade varit att föredra. Anledningen till att det var så få svar tros ha att göra med omfattningen av enkäterna vilket gjorde att övningen var tidskrävande. Det tros också ha att göra med att leverantörer inte kan ge sina bedömningar på grund av sekretess vilket visade sig flera gånger vid intervjuerna när personerna inte ville svara på vissa frågor.

Intervjuerna genomfördes med bransch-kunniga personer som alla hade lång erfarenhet av att arbeta med utveckling och försäljning av arbetsmaskiner. Intervjuerna var semistrukturerade vilket skapade både för och nackdelar. Nackdelarna var att det inte blev konsekventa frågor till respondenterna och att det allteftersom arbetet pågick behövde kompletteras med ytterligare frågor till respondenterna.

6.3. Resultatreflektion

Det ämne rapporten rör är onekligen viktigt för att bygg- och anläggningsbranschen ska kunna minska sina klimatutsläpp från maskinerna. Skanska är ett framsynt byggbolag som är tydliga med sin vision om att bli klimatneutrala vilket inte minst visar sig i att de 8 år innan målet 2030 som innebär att halvera sina klimatutsläpp sponsrar denna rapport. Sett till investering i arbetsmaskiner med låg klimatpåverkan vid drift finns det mycket osäkerheter. Osäkerheterna är främst relaterade till den tekniska utvecklingen och priser på arbetsmaskiner vilket utredningen försökt klargöra. Rapporten har inte lyckats fastställa fullt ut hur kostnader kommer att påverkas och då främst drivmedelspriser och anskaffningskostnader. I rapporten har ett antal antaganden gjorts eftersom det inte fullt ut gått att säkerställa genom litterära källor.

Sett till arbetsmaskinernas klimatpåverkan och det mål om minskning med 50% av växthusgaser är det svårt att nå målet genom investering i klimateffektiva arbetsmaskiner. Resultatet fastställer att utvecklingen av tekniken inte sker i den takt som krävs för att nå målet. Det går att närma sig en halvering men detta kräver en hög takt av investering i klimatmaskiner vilket enligt författarnas uppfattning kommer med en hög prislapp. Den nuvarande prisbilden är att klimateffektiva arbetsmaskiner är upp till 3 gånger dyrare och det finns inget som talar för att priset sjunker i en takt som är nödvändig för att kunna investera fram till 2030. I resultatet är dock intäkten en varierande faktor i kalkylen vilket innebär att investering med avkastning (internränta) på 10% är möjlig men då med en ökad timdebitering.

Slutsatsen blir således att investering i klimateffektiva maskiner är svårt i den grad som krävs för att nå målen och anskaffningskostnaden kommer vara hög en lång tid framöver för nästan samtliga maskinkategorier.

6.4. Fortsatta studier

Vid genomförande av rapporten har flera avgränsningar fått göras vilka bland annat är arbetsplatsanpassning för att möjliggöra drift av el- och vätgasdrivna arbetsmaskiner samt investeringskostnader som har med laddning och tankning att göra. Det vore därför intressant att se vilken påverkan laddinfrastruktur och möjligheten att förvara vätgas på arbetsplatsen får på den totala lönsamhetskalkylen.

Vidare vore det också intressant att utreda kundkrav och upphandlingskrav som skulle kunna möjliggöra en snabbare omställning samt betalningsviljan hos kunder.

Referenslista

- Alpman, M. (2021, 24/02-21). Vätgas växer i Mariestad.
<https://www.energigas.se/publikationer/tidningen-energigas/vatgas-vaxer-i-mariestad/>
- Andersson, G. (2013). *Kalkyler som beslutsunderlag* (7 ed.). Studentlitteratur.
- Bestel. (2022). *Tips om elanvändning*. <https://www.bestel.se/kundtjanst/tipsomelanvandning/>
- Björk, L., Johansson, M., Nyberg, E., & Pyddoke, R. (2022). Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: kostnader, finansiering och affärsmodeller. In.
- BloombergNEF. (2021). *Hitting the EV Inflection Point*. T. Environment.
<https://www.transportenvironment.org/discover/hitting-the-ev-inflection-point/>
- Carredano Robertsson, A., & Nordin, E. (2021). *Elektrolysör på Kungsängens gård i Uppsala : Förnybar vätgasproduktion för ökad framställning av metan* (Publication Number 21022) [Student thesis, DiVA.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-447307>
- Courtney, H., Kirkland, J., & Viguerie, P. (1997). Strategy under uncertainty. *Harvard business review*, 75(6), 67-79.
- Cunanan, C., Tran, M.-K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V., & Fowler, M. (2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Clean Technologies*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>
- DNV, G. (2018). *Emission-reduction potential of fossil- and emission-free building and construction sites*. D. G. A. Energy. <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2019/02/Report-Emission-reduction-potential-construction-Oslo.pdf>
- Drivkraft Sverige. (2019). *Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp*. Drivkraft Sverige AB. <https://drivkraftsverige.se/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/>
- Energimyndigheten. (2017, 2021-11-11). *Växthusgasutsläpp*. Energimyndigheten.
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>
- Eriksson, C., & Lindström, L. (2011). *Miljövänligare dieselmotorer : En studie om vilka tekniska lösningar dieselmotorutvecklande företag använder för att bemöta existerande och framtida miljökrav* (Publication Number 158) [Student thesis, DiVA.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-58980>
- Jacobsen, D. I., & Thorsvik, J. (2021). *Hur moderna organisationer fungerar* (G. L. Sandin, Per, Trans.; 5:2 ed.). Studentlitteratur. (Hvordan organisasjoner fungerer)
- Jobber, D., & Ellis-Chadwick, F. (2020). *Principles and practice of marketing* (Ninth edition ed.) [Non-fiction]. McGraw-Hill Education.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=clc.012eac4.600d.4ed2.80ea.c0d704cd1869&site=eds-live&scope=site&authtype=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>
- Josefsson, A.-S. (2006). *Reliabilitet, validitet och felkällor i Metodik för inventering av förorenade områden (MIFO)* [Student thesis, Tema vatten i natur och samhälle]. DiVA. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-5593>
- Jovanović, P. (1999). Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk. *International Journal of Project Management*, 17(4), 217-222. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00035-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00035-0)
- Kane, M. (2021). *Europe: Electric Truck Market Almost Tripled In 2021*.
<https://insideevs.com/news/569412/europe-electric-truck-market-2021/>

- Karlsson, J. (2020). *Energitekniska alternativ vid ansträngd eleffekt* [Student thesis, DiVA.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-79586>
- Mankins, J. C. (1995). Technology readiness levels. *White Paper, April*, 6(1995), 1995.
- Mawdsley, I., & Helbig, T. (2021). *Kartläggning av eldrivna arbetsmaskiner* (16538102 (ISSN)). (SMED Rapport, Issue.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-8933>
- Nasta. (2022). *Zeron ZE350 – en utslippsfri gravemaskin på kabel!*
<https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze350/>
- Pistoia, G. (2014). *Lithium-Ion Batteries : Advances and Applications*. Elsevier.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=1583621>
- Pon-Cat. (2022). CAT 320 Z-line. Pon-Cat. https://www.pon-cat.com/en-no/pon-equipment/About_us/miljo-og-sikkerhet/z-line/cat-320-z-line
- Porter, M. E. (1985). TECHNOLOGY AND COMPETITIVE ADVANTAGE. *Journal of Business Strategy*, 5(3), 60-78. <https://doi.org/10.1108/eb039075>
- Ribberink, H., Wu, Y., Lombardi, K., & Yang, L. (2021). Electrification Opportunities in the Medium- and Heavy-Duty Vehicle Segment in Canada. *World Electric Vehicle Journal*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/wevj12020086>
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1).
<https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>
- Segeberg Fick, A., Dunér, F., & Lundberg, K. (2021). *Fossilfria och nollutsläpps arbetsmaskiner : En samverkansåtgärd inom Miljömålsrådets delprojekt Staten går före* (978-91-7725-931-2 (ISBN)). (Trafikverkets publikationer, Issue.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-5153>
<http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1600692/FULLTEXT01.pdf>
- Sieklucki, G. (2018). An investigation into the induction motor of tesla model S vehicle. 2018 International Symposium on Electrical Machines (SME),
- Singh, G., Manchanda, H., & Bhatia, S. (2022, 2022/). A Review on Performance of Electric Motor Vehicle. *Advances in Energy Technology*, Singapore.
- Skanska. (2022, 2022-03-15). *Kort om Skanska*. Skanska Sverige AB.
<https://www.skanska.se/om-skanska/skanska-i-sverige/kort-om-skanska/>
- Swedish Standards Institute. (2019). Space engineering – Definition of the Technology Readiness
- Levels (TRLs) and their criteria of assessment. In *SS-EN 16603-11:2019*. <https://www.sis-se.eu1.proxy.openathens.net/produkter/flyg--och-rymdteknik-05c07947/system-for-rymdkommunikation/ss-en-16603-112019/>: SIS.
- Thanasegaran, G. (2009). Reliability and Validity Issues in Research. *Integration & Dissemination*, 4.
<https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=88e929cf-e8ca-4776-90d7-22964b84fb6e%40redis>
- Tomaschek, K., Olechowski, A., Eppinger, S., & Joglekar, N. (2016). A Survey of Technology Readiness Level Users [<https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2016.00283.x>]. *INCOSE International Symposium*, 26(1), 2101-2117.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2016.00283.x>
- Vätgas Sverige. (2016). *Bränslecellen-så funkar den!* Vätgas Sverige.
<https://vatgas.se/faktabank/bransleceller/>
- Wang, Y., Yuan, H., Martinez, A., Hong, P., Xu, H., & Bockmiller, F. R. (2021). Polymer electrolyte membrane fuel cell and hydrogen station networks for automobiles: Status,

- technology, and perspectives. *Advances in Applied Energy*, 2, 100011.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100011>
- Wen, J., Zhao, D., & Zhang, C. (2020). An overview of electricity powered vehicles: Lithium-ion battery energy storage density and energy conversion efficiency. *Renewable Energy*, 162, 1629-1648.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.055>
- Zengin, F., Okumuş, E., Ateş, M. N., & Tunaboğlu, B. (2022). Applications and Expectations of Fuel Cells and Lithium Ion Batteries. *Digitizing Production Systems*, Cham.
- Zhao, D., Stobart, R., Dong, G., & Winward, E. (2015). Real-Time Energy Management for Diesel Heavy Duty Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(3), 829-841. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2343939>
- Züttel, A., Remhof, A., Borgschulte, A., & Friedrichs, O. (2010). Hydrogen: the future energy carrier. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1923), 3329-3342.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0113>



CHALMERS