EXAMENSARBETE INOM TEKNIK,
GRUNDNIVÅ, 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2019

Vilket gräs är grönare?

En litteraturöversikt kring nytillverkade och begagnade personbilars totala klimatpåverkan för olika drivmedel.

NIKLAS BJÖRK

JIMMY CHAUNDY

KTH
SKOLAN FÖR INDUSTRIELL TEKNIK OCH MANAGEMENT

EXAMENSARBETE INOM TEKNIK,
GRUNDNIVÅ, 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2019

Which grass is greener?

A literature review of new and used passenger cars' total climate impact for different fuels.

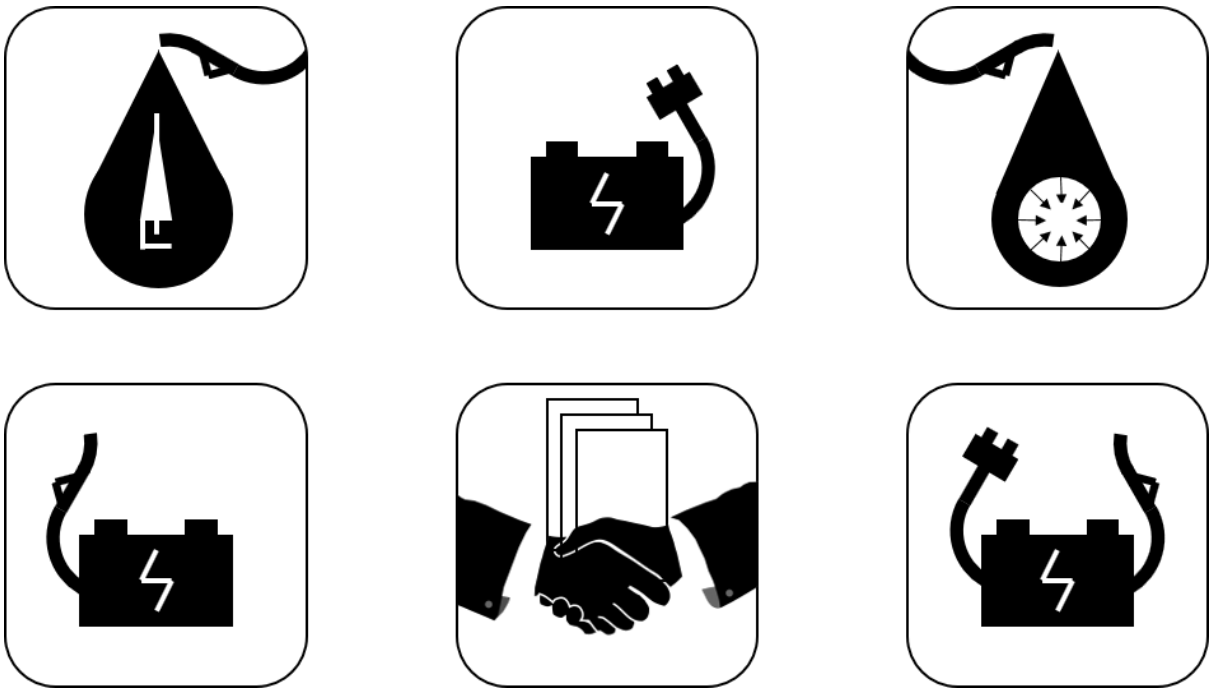
NIKLAS BJÖRK

JIMMY CHAUNDY

KTH
SKOLAN FÖR INDUSTRIELL TEKNIK OCH MANAGEMENT

Vilket gräs är grönare?

En litteraturöversikt kring nytillverkade och begagnade personbilars totala klimatpåverkan för olika drivmedel.



Niklas Björk, T-16: nibjork@kth.se
Jimmy Chaundy, M-15: jimmyekb@kth.se

VT2019
SA115X Examensarbete inom farkostteknik, grundnivå

Förord

Detta kandidatarbete genomförs av de två KTH-studenterna Niklas Björk och Jimmy Chaundy, med handledning från Ciarán O'Reilly. Niklas tar ansvar för kapitlen 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 2, 2.2, 2.3, 2.5, 3, 5, 9, sammanfattningen, koden samt framsidan. Jimmy tar ansvar för kapitlen 1.1, 1.4, 2.1, 2.4, 2.6, 4, 6, 7, 8 samt abstract. Bägge författarna ansvarar för insamlingen av källor relevanta till deras områden samt hjälper till med och överskådar den andras arbete. Vi tackar Ciarán för hans assistans och vägledning genom arbetet.

Sammanfattning

Människan har generellt ett behov av att transportera sig. I Sverige sker en betydande del av dessa med bil. För sträckor som är orimligt långa för gång och cykling bortom kollektivtrafiksnätet kommer behovet av bil att kvarstå. Transport med samtliga typer av dagens bilar har dock betydande klimatpåverkan. Det är därför önskvärt att använda bilar med minimal klimatpåverkan, sett till hela dess livscykel.

Denna rapport tar fram en metod för att genomföra en approximation av en livscykelanalys (LCA) på en bil baserat på ett fåtal datapunkter om bilen. För att uppnå detta genomförs en litteraturöversikt för att få data på utsläpp i de fem livsstegen materialframställning, tillverkning, användande, service och återvinning för en generell bil, med datapunkterna massa, batterikapacitet, genomsnittlig förbrukning under färd, körsträcka och livstid som variabler. Dessa datapunkter fylls sedan i med den konkreta bilens data för att ge en approximation av dess utsläpp. För konkretiseringen jämförs de fem drivmedelstyperna bensin, diesel, HEV, PHEV och BEV i de två personbilskategorierna sedan och SUV, tillsammans med en bensin- och dieselversion av en bil som bedöms vara vanlig på begagnatmarknaden. Avsikten är att få en indikation på dels vilken drivmedelstyp som har lägst utsläpp i en livscykel, dels att undersöka hur begagnade bilar står sig gentemot nytillverkade när det gäller CO2e-utsläpp.

Resultatet visar att vid en genomsnittlig körsträcka på 1211 mil per år och en livstid på 17 år är BEV tillsammans med PHEV de drivmedelsformer som har lägst CO2e-utsläpp över hela livscykeln, både för sedan och SUV, med de valda fordonen, förutsatt maximalt ett batteribyte. Två andra behovsfall testas även i denna analys. För det fall där den årliga körsträckan är lägre än genomsnittet, typiskt behovsfall för storstadsbo, visar rapporten att PHEV ger lägst utsläpp CO2e medan BEV ger högst utsläpp CO2e. För det fall där den årliga körsträckan är högre än genomsnittet, typiskt för den genomsnittlige dieselbilsföraren, är det fordon med lägst utsläpp CO2e BEV. Detta gäller för bägge kategorierna.

En styrka med denna metod är enkelheten i dess användande; med ett fåtal datapunkter som lätt kan anpassas efter ett konkret fordon och körsätt kan en approximation av fordonets nettoutsläpp tas fram. Dess huvudsakliga nackdel är att den gör många förenklingar, så approximationen blir grov. Detta kan dock motverkas genom att ersätta den generella data som används i funktionen med konkreta data för ett visst fordon, där sådant är känt.

Ett problem är att den data som används ibland är gammal nog att misstänkas inte vara helt korrekt och att den oftast inte explicit gäller för Sverige. Mer forskning på området, och mer lokalt relevant sådan, är därför önskvärt. En märkning lik energimärkningen som rangordnar ett fordons klimatpåverkan i de olika livsdelarna separat skulle underlätta konsumenter att göra ett mer klimatsmart val baserat på hur just de använder fordonet och ge en mer rättvis bild än enbart energianvändningen under användningsfasen.

Abstract

In general, mankind has a need to transport themselves. In Sweden a significant part of this need is met via car. For travels and transports that are too long or too time consuming for public transport, walking or bicycling, the need for the car within the Swedish society will persist. Travels by any car today is associated with significant climate effect – therefore it is desirable to use cars with minimal emissions, with regard to the vehicles' entire life cycle.

This report develops a method to carrying out an approximation of a life cycle analysis (LCA) for a car with regards to a few data points about the vehicle. To achieve this, a literature review is carried out in the area to obtain data on emissions in the five life stages of material production, manufacturing, use, service, and recycling for a general car, the variables being certain data points. These data points are then paired with the cars data to approximate their emissions. Two passenger car categories are chosen: sedan and SUV, within each five drive-train types are analysed: gasoline, diesel, HEV, PHEV and BEV. Included are also a petrol and a diesel version of a used car that is considered to be common in the used market. The intention is to get an indication of which type of fuel has the lowest emissions in a life cycle, and to investigate how used cars compare to newly manufactured in terms of CO2e emissions.

According to the results in this report, at an average annual driving distance of 12,110 km and a lifespan of 17 years, BEV closely followed by PHEV are the types with the lowest CO2e emissions over their entire life cycles. This is the true both for the sedan and the SUV category, assuming a maximum of one battery change. Two other cases are tested, at an annual driving distance lower than the average, typically the need for drivers in metropolitan areas, PHEV is proven to be the vehicle with the lowest CO2e emissions while BEV has the highest CO2e emissions. At an annual driving distance higher than the average, typical for the average diesel car driver, BEV is proven to be the vehicle with the lowest CO2e emissions, which applies to both categories.

One of the strengths of this report's method is its simplicity; with a few data points that can easily be adapted to a specific vehicle and driving habit, an approximation of the vehicle's net emission can be produced. Its main drawback is that many simplifications are made throughout the calculations, so the approximation becomes rough. However, this can be counteracted by replacing the general data used in the function with specific data for a particular vehicle, where such data is known.

One problem is that the data used is sometimes old enough to be considered not completely accurate and usually not explicitly applicable to Sweden. More research in the field, and more locally specific research, is therefore desirable. A label similar to the energy label which ranks a vehicle's climate impact in the various life-parts separately would facilitate consumers to make a more climate-smart choice based on their own driving habits and would provide a more fair verdict regarding the emissions than just, as it is today, the energy use during the vehicles use phase.

Innehållsförteckning

1: Inledning 1
1.1: Bakgrund 1
1.2: Syfte 1
1.3: Begränsningar 2
1.4: Metod 2
1.5: Valda fordon 3
1.6: Hållbar utveckling 4
2: Livscykelanalys 4
2.1: Materialframställning 7
2.2: Tillverkning 9
2.3: Användande 9
2.4: Service 10
2.5: Återvinning 11
2.6: Begagnat 13
3: Resultat 14
4: Analys 19
5: Diskussion 19
6: Slutsatser 21
7: Lista över förkortningar 22
8: Referenser 23
9: Bilagor 27
9.1: Huvudkoden 27
9.2: Räkna ut snittförbrukningarna 30

1: Inledning

1.1: Bakgrund

Alla människor som inte är helt materiellt självförsörjande har något behov av att transportera sig själva. Den genomsnittliga resan till arbete och skola för boende i Sverige var 2015–2016 ungefär 18,7 km lång tur och retur [1]. Till de flesta av dessa resor används någon typ av fordon och de vanligaste är i fallande storleksordning personbil, kollektivtrafik och cykel [1]. I storstäder är cykeln och kollektivtrafiken tillräckliga för de flesta persontransporter, men transporter utanför storstäderna, där sträckorna ofta är längre, kräver ett snabbare, personligt fordon.

Motorcykeln framhävs ibland som ett bra alternativ till personbilen då den tar mindre plats och har mindre klimatpåverkan [2]. En önskan från individ och samhälle om säkra transporter, specificerad via nollvisionen [3], gör dock motorcykeln orimlig som enda transportmedel. Detta då motorcykeln i sig själv inte erbjuder något skydd vid eventuella kollisioner eller olyckor av annat slag.

Sveriges vanligaste personliga fordon är idag personbilen [4], och antalet nyregistrerade bilar har ökat under de senaste åren [5]. Sveriges politiker gör gällande att det är önskvärt att behålla personbilen som transportmedel för människor på landsbygden [6]. Även en del personresor inom storstäderna kräver bil, såsom polisutryckningar och transport av äldre eller handikappade som har problem med cykel eller kollektivtrafik.

Behovet av personbilen nu och framöver är av ovanstående anledningar stort. Personbilens klimatpåverkan är dock påtaglig [7]. Det är därför önskvärt att minimera dessa transporters utsläpp. Av ovanstående anledningar kretsar denna rapport kring att undersöka olika personbilars klimatpåverkan under hela deras livscykel.

1.2: Syfte

Att ta fram en metod för att analysera de vanligaste personbilstyperna i Sverige ur ett klimatperspektiv, och konkretisera den genom ett urval av bilmodeller. Genom att analysera fordonens klimatpåverkan under hela deras livscykel, en approximation av en så kallad LCA, fås resultat som kan användas för att jämföra personbilstyperna mot varandra. Jämförelsen ska ge privatpersoner och andra intresserade ett verktyg för att översiktligt åskådliggöra de olika personbilstypernas klimatpåverkan.

1.3: Begränsningar

- Den data som används i analyserna är genomsnitt, uppskattningar, övervägningar o.dyl. som inte kan representera verkligheten exakt. Det finns därför osäkerheter i resultaten.
- Trots att informationen som inhämtats till denna rapport i möjligaste mån har verifierats innehåller förmodligen även denna data osäkerheter, vilket får tas hänsyn till.
- Analysen behandlar enbart Sverige och dess nuvarande fordonsflotta, samhällsuppbyggnad m.m., där nutid är våren 2019, när relevant data för Sverige återfinns. När sådan data inte återfinns används data från övriga Europaländer i första hand och USA i andra hand.
- Enbart svensk- och engelskspråkiga källor används, för att minimera problem med översättningar, ty dessa är de språk som författarna är kunniga inom.
- En begränsad del av de material som bilarna består av tas hänsyn till, så en osäkerhet finns kring exakt vilka material och materialbearbetningsprocesser som personbilstillverkarna använder.

1.4: Metod

För att konkreta siffror till jämförelserna mellan drivmedel ska erhållas har dessa exemplifierats med likvärdiga, vanligt förekommande bilmodeller. För att förminska risken att valet av fordon orättvist ska gynna ett visst drivmedel har denna rapport tagit hänsyn till biltyper från två marknadssegment. Styrande faktor är dock att bilen ska vara vanlig på den svenska marknaden.

Eftersom elbilar i Sverige enbart utgör en bråkdel av fordonsflottan jämfört med traditionella fossila drivmedel och hybrider [8] har Sveriges två vanligaste elbilar fått styra urvalet av resterande bilar i denna rapport, se kap. 1.5: Valda fordon. För att undvika felaktigheter i jämförelserna och för att dessa två elbilar är av olika storlek har arbetet fördelats in i två kategorier: sedan och SUV.

Inom varje kategori har fyra olika bilmodeller med liknande egenskaper som de två elbilarna valts ut. Inom respektive segment jämförs elbil (BEV), två typer av hybridbilar (PHEV och HEV), bensinbilar och dieselbilar. Fordonstillverkare som är populära på den svenska marknaden har tilldelats en fördel i urvalet till de två kategorierna.

I valet av begagnade fordon har två varianter av en av de vanligaste bilarna i Sverige tagits med i arbetet. Eftersom hälften av Sveriges personbilsflotta är yngre än 10 år [9] antas det vara tillräckligt att titta på nyregistreringen av personbilar under perioden 2009–01 till 2017–12 för att välja begagnad bil.

1.5: Valda fordon

Följande fordon har valts till jämförelsen:
Sedan:

- Tesla Model S (BEV)
- VW Passat GTE (PHEV, bensin)
- Ford Mondeo Hybrid (HEV, bensin)
- Ford Mondeo 1.5T EcoBoost (bensin)
- Ford Mondeo 2.0 Duratorq TDCI 150 hk (diesel)

SUV:

- Tesla Model X (BEV)
- Mitsubishi Outlander PHEV (PHEV, bensin)
- Toyota RAV4 (HEV, bensin)
- Mitsubishi Outlander 2,0 AS&G CVT 4WD (bensin)
- Mitsubishi Outlander 2,2D AS&G 6AT 4WD (diesel)

Begagnad utöver ovan nämnda:

- Andra generationens Volvo V70 T4 (bensin, 2012) och D3 (diesel, 2016)

Tesla Model S och Tesla Model X är de vanligast förekommande elbilarna på marknaden med 18,3 % resp. 5,5 % av elbilsmarknaden [8]. Tesla erbjuder olika versioner för både Model S och Model X; skillnaderna ligger dock, frånsett prestandaversionerna, främst i mjukvara. Därför används i denna rapport inget tilläggsnamn som Tesla normalt sett använder i sin marknadsföring [10].

Passat GTE och Outlander PHEV (sedan respektive SUV) väljs för att de är de vanligast förekommande PHEV-bilarna på den svenska personbilsmarknaden med 22,1 % resp. 18,7 % av PHEV-marknaden [8] samt att de bedöms vara likvärdiga elbilarna till vikt och yttermått.

Ford Mondeo har valts till sedan-kategorin då modellen bedöms vara likvärdig med VW Passat GTE. Utöver detta har hänsyn tagits till Sveriges fordonsbestånd där Ford som tillverkare placerar sig på femte plats över vanligaste personbilar [4]. Den Mondeo-generation som behandlas här släpptes sent 2014 [11] och utgör en liten andel av marknaden, 0,47 % [5]. Denna behandlas ändå ty det bedöms att ingen av de vanligare fordonstillverkarna producerar mer likvärdiga modeller i både bensin-, diesel- och HEV-version, och att ha en och samma grund med olika motoralternativ bedöms vara till stor fördel i ett jämförande arbete som detta. Liknande resonemang är anledningen till att den senaste generationen Mitsubishi Outlander, med en genomsnittlig marknadsandel på c:a 0,8% [5][12] av alla personbilar sedan säljstart sent 2012 [13], förekommer i tre utföranden under SUV-kategorin.

Toyota RAV4, vars generation som i skrivande stund är på väg att bytas ut [14] innehar en marknadsandel på 0,92 % [5] sedan hybridversionen släpptes tidigt 2016 [15]. Yttermåtten hos Toyota RAV4 stämmer väl överens med yttermåtten på Mitsubishi Outlander [16][17] samt att Toyota är Sveriges tredje mest populära biltillverkare [4].

Valet av begagnad bil baseras på statistik av nyregistreringar under perioden januari 2009 till december 2017 [12]. Vald modell är den som registrerades i störst antal under perioden. Den data som erhålls för denna gäller för 2012 års T4 och 2016 års D3 ty de är de motoralternativ vars effekt till störst grad liknar de i Mondeon i bensin- och dieselversion [18][19][20] samt ingår i det undersökta tidsspannet.

1.6: Hållbar utveckling

Hela detta arbete kretsar kring hållbar utveckling, vilket framgår i kap. 1.2: Syfte. I och med vägtrafikens betydande utsläpp [7] och fortsatta behov enl. kap. 1.1: Bakgrund finns det ett värde i att få fram vilket personbilsalternativ som minimerar dessa utsläpp, sett till hela livscykeln, eller åtminstone att ta fram en metod för att kunna fastställa detta. Denna rapport fokuserar på det senare, och konkretiserar detta genom de valda personbilarna och den data som hittats.

Rapporten lyfter även vikten med att ta hänsyn till hela livscykeln; ett visst alternativ kan prestera bättre än övriga på delar av livscykeln, men vara sämre i helheten. Dessutom lyfts frågan kring huruvida ett nytt fordon kan prestera bättre i termer om minskad klimatpåverkan än ett begagnat fordon. I rapporten behandlas materialframställnings- och produktionsfaserna likadant för begagnat som nytt. Detta diskuteras vidare i 5: Diskussion.

2: Livscykelanalys

Under livscykelanalysen behandlas stegen råvaruframställning, tillverkning, användande, service och återvinning. Steget 'transportering', t.ex. av råvaror, färdig bil från fabrik och uttjänt bil till återvinning, visas senare i rapporten som mycket liten i jämförelse med övriga steg. Detta tillsammans med antagandet att transporten från fabrik till återförsäljare är mycket lika oavsett drivmedelstyp motiverar utelämnandet av detta steg.

För att jämföra de olika fordonen över deras livscykel behövs en generell formel där data för dem förs in och totala mängden utsläpp ges ut. Det finns en mängd "växthusgaser" som påverkar klimatet; ett vanligt sätt att summera dessa är att räkna om dem till hur många kilo koldioxid de motsvarar, som kallas koldioxidekvivalenter (CO2e) [21] och används i denna rapport.

Formeln är framtagen av författarna till denna rapport och ger en förenklad summering av utsläppen i samband med fordonets olika delar av livet. Den ges nedan, med variablernas innebörd i tabell 1:

$$e_{tot} = r_{tot}(m) + p_{tot}(e_c) + w_{tot}(m) + d\left(f_{eff} + s_{dis}\right) + t \cdot s_{tid} \qquad (1)$$

Tabell 1. Använda variabler och dess innebörd.

Variabel	Betydelse	Variabel	Betydelse
e_{tot}	CO2e för fordonet [kg]	p_{tot}	CO2e från tillverkning
m	Fordonets massa [kg]	w_{tot}	CO2e från återvinning
d	Körd sträcka [mil]	f_{eff}	CO2e från användande [1/mil]
t	Tid i bruk [år]	s_{dis}	CO2e från service m.a.p. körsträcka [1/mil]
e_c	Batteriets kapacitet [kWh] (endast EV, HEV, PHEV)	s_{tid}	CO2e från service m.a.p. fordonets ålder [1/år]
r_{tot}	CO2e från materialframställning		

Programmet CES Edupack 2018 [21] samlar information om olika material och en mängd information om dessa. Programmet är kapabelt till att ta fram en indikation om olika materials livscykelpåverkan, inklusive användning av produkten medelst tillägget Eco Audit Tool.

Gradin och Åström [22] har publicerat en studie som behandlar tillförlitligheten i användandet av Eco Audit Tool och resultaten påvisar i deras fall att programmet ger goda resultat. Just i fallet personbilar bedömer dock författarna till denna rapport att en LCA är att betrakta som komplex då ett fordon i sig innehåller väldigt många komponenter och processer. Gradin och Åström menar att för komplexa produkter bör LCA utföras mer ingående för att anses vara tillförlitlig [22]. Av det skälet används CES Edupack 2018 [21] enbart till CO2e från materialframställning [r_{tot}]. Information om CO2e återfinns under "CO2 Footprint, Primary Production" för respektive material i programmet. CES Edupack 2018 [21] är uppdelat i nivåer, där lägsta nivån ger allmän information om material medan den mest avancerade visar information om specifika material och legeringar. I denna rapport används "Level 1" och "Level 3". Formuleringen av p_{tot} och w_{tot} ges i de relaterade kap. 2.2: Tillverkning resp. 2.5: Återvinning.

Transport från fabrikerna till Sverige är svår att bestämma då det i många fall är okänt exakt hur den går till och vilken rutt den tar. Det finns även variationer kring hur många fordon som kan transporteras på samma gång samt om de samtransporteras med andra varor. Programmet CES Edupack 2018 [21] med tillägget Eco Audit Tool används för att få fram uppskattningar kring CO2e för transporterna. Dessa är jämfört med CO2e för material, användning, tillverkning med mera små och därför tas ingen hänsyn till transporter i denna rapport.

De material som behandlas i denna rapport (frånsett EV-batteri) är stål och järn, aluminium, plast, gummi och glas. Konkret info om andelen av de olika materialen

återfinns ej för de specifika fordonen, så det antas att fördelningen är den av en genomsnittlig sedan eller SUV, där massan av EV-batteriet subtraheras och behandlas separat för BEV, HEV och PHEV-fordonen. I tabell 2 nedan presenteras denna fördelning, som baseras på sex rapporter o.dyl. som behandlar detta:

Tabell 2. Andel av material i personbilar [23][24][25][26][27] och SUV [23][25][28]

Material	**Viktandel (sedan/SUV) [%]**
Stål och järn	58.8 / 56.7
Aluminium	10.0 / 12.4
Plast	17.0 / 13.1
Gummi	1.7 / 2.5
Glas	2.3 / 2.3

Dessa andelar är genomsnitten av den data som anges i källorna. Summan av dem är 89,8 % och 87 %, vilket orsakas av att sådant som vätskor, andra metaller, elektronik och andra material som är bortom denna rapports omfattning också bidrar med vikt. Divideras samtliga andelar med 0,898 för sedan och 0,87 för SUV blir de sammanlagt 100 %, vilket kommer att göras hädanefter. Därigenom görs förenklingen att fordonen enbart består av dessa material.

Nuvarande EV-batterier har en energitäthet på 200 – 250 Wh/kg [29]. Hädanefter kommer mitten av detta spann att användas, 225 Wh/kg, för att minska antalet beräkningar. Påverkan av vilken energitäthet som används kommer att tas upp i kap. 4: Analys. I brist på konkreta variationer i material för varje EV-batterityp kommer ett genomsnitt för litiumjonbatterier som angetts av Richa, Babbitt, Gaustad och Wang att användas [30]. Fördelningen presenteras i tabell 3 nedan.

Tabell 3. Materialfördelning för litiumjonbatteri.

Material	**Viktandel [%]**
Kol	24,5
Övrigt	23,1
Stål	22,4
Mangan	8,8
Koppar	5,7
Aluminium	4,3
Kobolt	4,0
Järn	3,3
Nickel	2,4
Litium	1,4

Kategorin Övrigt i Tabell 3 behandlar bland annat plast, bindningsmedel, elektrolyter och fosfor [30]. För kategorin övrigt är osäkerheten stor kring hur stor andel varje material tar. Då materialen inom kategorin varierar stort gällande CO2e kommer kategorin räknas bort för att inte få ett alltför stort fel. Varje materials vikt divideras med faktorn 0,77 för att nå 100 % batterivikt i likhet med hur materialet i personbilarna ovan behandlats.

2.1: Materialframställning

Materialframställning står för en betydande del av fordonens CO2e. Enligt resonemang som framförs i kap. 2: Livscykelanalys så har programmet CES Edupack 2018 [21] använts för att ta fram materialframställningens CO2e (r_{tot}).

Som tidigare nämnts behandlar denna rapport fem olika material (frånsett EV-batterier), och data från CES Edupack 2018 är enligt tabell 4 nedan. Då det inte är känt exakt vilka material som använts i produktionen samt att det antas att ett flertal använts listar tabellen ett snitt, dessa värden kan nås i CES Edupack 2018 under fliken “Level 1”.

Tabell 4. Utsläpp i samband med materialframställning, exklusive EV-batteri.

Material	**Benämning i CES Edupack 2018 (Level 1)**	**CO2e per enhet material [kg/kg]**
Stål och järn	Cast iron, ductile (nodular)	2,26 - 2,49
Aluminium	Aluminium alloys	12,5 - 13,8
Plast	Polypropylene (PP)	2,77 - 3,06
Gummi	Polyurethane (tpPUR)	3,05 - 3,37
Glas	Soda-lime glass	0,72 - 0,80

För de material i EV-batterierna som inte återfinns i CES Edupack 2018 Level 1 kommer Level 3 att användas. Kol återfinns inte i CES Edupack, så därför används i detta fall en forskningsrapport kring kol producerat från eukalyptusträd [31].

Tabell 5. Utsläpp i samband med materialframställning till EV-batterier.

Material	**Benämning i CES Edupack 2018**	**CO2e per enhet material [kg/kg]**
Kol	- - -	0,22
Stål	Low carbon steel **(Level 1)**	2,26 - 2,49
Mangan	Manganese, commercial purity **(Level 3)**	3,8 - 4,19
Koppar	Copper alloys **(Level 1)**	3,44 - 3,79
Aluminium	Aluminium alloys **(Level 1)**	12,5 - 13,8
Kobolt	Cobalt, commercial purity >99,3%Co, annealed, soft **(Level 3)**	7,9 - 8,72
Järn	Cast iron, ductile (nodular) **(Level 1)**	2,26 - 2,49
Nickel	Nickel, commercial purity, grade 270 **(Level 3)**	11,2 - 12,3
Litium	Lithium, commercial purity, min 99,9% **(Level 3)**	17,8 - 19,6

I värdena för materialframställning används ett medelvärde för respektive material, både från tabell 4 och tabell 5.

2.2: Tillverkning

När Samaras och Meisterling genomför en LCA på PHEVs antar de att tillverkningens utsläpp är samma oberoende av drivmedel, fast att utsläpp från tillverkning av EV-batterier adderas till de eldrivna fordonen och baseras på batteriernas kapacitet [32]. Detta antagande görs även i denna rapport, med samma motivering som de ger, nämligen att fordonen i stort är lika oavsett drivmedel och att de skillnader som finns är likvärdiga gällande utsläpp, bortsett från EV-batterierna [32]. Utsläppen (CO2e) för själva tillverkningen antas bestå uteslutande av elkonsumtion, och de konstateras vara 4087 kg CO2e/fordon samt 90 kg CO2e/kWh [32a]. Därmed fås följande:

$$p_{tot} = 4087 + 90 \cdot e_c \tag{2}$$

där $e_c$anger EV-batteriets kapacitet i kWh ($e_c = 0$ för bensin- och dieselbilar).

2.3: Användande

Tidsmässigt är detta den dominerande delen av fordonets liv. CO2e för personbilarnas användning räknas ut genom ekvationen nedan:

$$f_{eff} \cdot d \tag{3}$$

Som regel används ett snitt från spritmonitor.de [33] för att avgöra f_{eff}. Spritmonitor.de är en hemsida som med sina användares hjälp sammanställer faktisk bränsleförbrukning för olika personbilar. Att användardata används beror på att tillverkarnas egna uppgifter kring bränsleförbrukning kan vara missvisande. Konsumentverket menar att en bils faktiska bränsleförbrukning jämfört med biltillverkarens egna kontrollerade tester kan skilja upp till 30% [34]. Snittet baseras på de som angett flest tankningar, ty det bedöms representera en blandad körning bättre. Dessa snitt anges i kap. 3: Resultat.

Den andra faktorn, körsträckan d, är omöjlig att fastställa på ett allmängiltigt sätt i och med de olika transportbehov individer kan ha. Ett mått som kan användas då är genomsnittlig körsträcka, som Trafikanalys tar fram [35]. Dessa återges för år 2017 i tabell 6 nedan:

Tabell 6. Genomsnittliga körsträckor för de drivmedel som behandlas i rapporten.

Drivmedel	**Körsträcka [mil/år]; [mil/dag]**
Diesel	1699; 4,65
Bensin	927; 2,54
BEV	1123; 3,08
HEV	1416; 3,88
PHEV	1155; 3,16
Totalt	1211; 3,32

Ett annat mått som kan användas är den genomsnittliga körsträckan per huvudresa – def. enl. Trafikanalys som en resa som "startar och slutar i [förarens] permanenta bostad, fritidsbostad, arbetsplats, skola, praktikplats eller tillfälliga övernattningsplats" [1] – i olika kommungrupper. Med definitionen för huvudresa är det rimligt att säga att ett fordon måste ha kapaciteten att klara två huvudresor för att vara dugligt. Denna behövda kapacitet för olika kommungrupper kommer från Trafikanalys och ges i tabell 7 nedan [1]. Även antal huvudresor per dag anges [1].

Tabell 7. Längd på och antal huvudresor för olika kommungrupper.

Kommungrupp	**Genomsnittlig körsträcka per person och dag [mil]**	**Antal huvudresor per dag**
Storstäder	1,3	1,4
Förortskommuner till ovan	2,4	1,4
Större städer	2,6	1,4
Förortskommuner till ovan	2,8	1,1
Pendlingskommuner	3	1,3
Turism- och besöksnäringskommuner	2,7	1,4
Varuproducerande kommuner	3	1,3
Glesbygdskommuner	3,6	1,3
Samtliga	2,5	1,4

Ett viktigt komplement till de förbrukningar som fås från Spritmonitor är utsläppen som genereras av användningen av bensin och diesel. Meisterling och Samaras tar förutom förbränningen av bensin även upp utsläppen knutna till sådant som extraktion, förädling och distribution [32]. Dessa extra utsläpp, 19 g CO2e/MJ för bensin och 18 g CO2e/MJ för diesel [31a], behöver läggas till utsläppen vid förbränning. Med 34,2 MJ/l för bensin och 38,6 MJ/l för diesel [37] och fås det totala utsläppet, som anges i tabell 8 nedan:

Tabell 8. Utsläpp vid förbränning av bränsle.

Bränsle	**Utsläpp [g CO2e/l]**
Bensin	2941 [32a][37]
Diesel	3358 [32a][37]

2.4: Service

Varje personbil kräver någon typ av service under vissa bestämda intervaller, oftast bestämt i form av antal körda mil eller i form av tidsperiod. Servicetillfällena handlar om olika typer av underhåll, somliga tillfällen byts vätskor ut mot nya, andra tillfällen handlar

det om att byta hela komponenter. Serviceingrepp som gäller för samtliga fordon i denna rapport, t.ex. däckbyten, kommer försummas då de antas ske med samma intervall för alla fordon. Detta är en grov förenkling men utsläppen av dessa i relation till produktionskostnader och driftskostnader anses vara små.

I fallet BEV är det jämfört med alla andra fordonstyper i denna rapport klart mindre underhåll. Det rör sig enbart om vätskor och däck i de fastställda serviceintervallen [38][39]. Att det rör sig om mer underhåll för övriga fordonstyper i rapporten beror framförallt på förbränningsmotorn som kräver särskilt underhåll i fastställda intervaller. I HEV och PHEV ingår både förbränningsmotor och elmotor där servicen alltså omfattar bägge systemen. Motorolja behöver bytas oftare då förbränningsmotorn endast arbetar kortare perioder - det är inte ovanligt att intervallen är hälften så korta [40][41]. Likheterna mellan HEV och PHEV gör att service av de båda är tillräckligt lika för att betraktas exakt lika, inkluderat EV-batteriets livstid.

För förbränningsmotorer är underhållet större än för elmotorerna då det är fler slitagedelar att byta vid bestämda intervall [40]. Dock antar det i denna rapport att utsläpp av CO2e som konsekvens av dessa är små i förhållande till övriga utsläpp i rapporten. Något som däremot inte kan försummas är utsläppen i samband med byte av EV-batteri. I en rapport som kretsar kring estimering av livslängd för EV-batterier visar K. Richa, C.W. Babbitt, G. Gaustad och X. Wang att livslängden för batterierna mest troligt är mellan 8 och 10 år [30]. Alla EV-batterier i denna rapport kommer därför antas behöva bytas efter 9 år.

För att räkna ut påverkan av detta genomförs en LCA-approximation på batteriet separat. Detta görs genom att utsläppen i stegen materialframställning, tillverkning och återvinning som enbart är relaterade till batteriet summeras. Om utsläppet från materialframställningen per kWh batteri betitlas E_{batmat} och C_{bat}, R_{bat} anger insamlings- resp. återvinningsgrad för batteriet – som innebär hur mycket av materialet som samlas in för återvinning resp. hur mycket som sedan kan återvinnas; detta tas upp mer i följande kapitel – blir formen enl. nedan:

$$e_{tot,bat} = e_c\left((1 - C_{bat} \cdot R_{bat})E_{batmat} + 90\right) \quad (4)$$

2.5: Återvinning

Det har konstaterats att återvinningen av ett fordon bidrar med en obetydlig del till fordonets totala livscykelutsläpp [32], därmed bortser denna rapport ifrån det. Dock finns det värde i de material som fordonet består av; kan dessa material återvinnas och återanvändas kan de ersätta nytt material med minimala extra utsläpp. Därmed kan dessa räknas som negativa utsläpp i livscykeln. Används materialen som bränsle ersätter de istället någon annan energikälla, vilket istället kan medföra ett nettotillskott av utsläpp om alternativ med lägre utsläpp finns.

Spielmann och Althaus konstaterar i deras rapport om LCA på schweiziska personbilar återvinningsgraden för stål/järn, aluminium och plast [26], som anges i tabell 9 nedan. Andra rapporter står för data om gummi, glas och batterier.

Tabell 9. Insamlings- och återvinningsgrad av materialen.

Material	Insamlingsgrad [%]	Återvinningsgrad [%]
Stål/järn	97	91
Aluminium	97	88
Plast	55	100 [värme]
Gummi [42]	96	100 [45 energi]
Glas [43]	85	80
Batteri [44]	45	50

Förbränning av däck för personbilar ger upphov till 9,2 kWh/kg och 2,1 kg CO2e/kg [45], och för blandad plast gäller 8,6 kWh/kg och 2,55 kg CO2e/kg [46]. Beroende på vad denna energi ersätter kan det ge en nettoreduktion eller -ökning av utsläppen. Deras utsläpp per energienhet ges i tabell 10 nedan, tillsammans med ett par alternativa energikällor [46].

Tabell 10. Utsläpp från olika energikällor.

Energikälla	Utsläpp från 1 kWh [g]	Energiform
Gummi	231	Värme/El
Plast	296	Värme/El
Biomassa	19	Värme
Olja	318	Värme
Vindkraftverk	0,06	El
Kol	1000	Värme/El
Svensk el [47]	46	El
Svensk fjärrvärme*	~150	Värme

**: Svensk fjärrvärme genereras till 63 % med biomassa, och resterande andel är fördelad på spillvärme, värmepumpar, fossila bränslen och 'övriga' [48]. Utsläppen uppskattas grovt till 150 g/kWh genom en uppskattad fördelning om 63 % biomassa, 10 % kol, 10 % olja och resterande utsläppsfria källor.*

w_{tot} ges då av summan av, för varje material, produkten mellan insamlingsgraden, återvinningsgraden, andelen av fordonets massa, fordonets massa, samt utsläppen knutna till materialet. Återvinns materialet är den sista faktorn utsläppen från framtagningen av det, fast negerat. Därmed blir w_{tot}i de fallen alltid icke-positivt. Förbränns det istället är den sista faktorn skillnaden mellan materialets utsläpp vid förbränning och utsläppen från

det som det ersätter, vilket kan medföra ett strikt positivt w_{tot}. Den i formelform ges nedan:

$$w_{tot} = -m \cdot (C_s \cdot R_s \cdot P_s \cdot E_s + C_{al} \cdot R_{al} \cdot P_{al} \cdot E_{al} + C_g \cdot R_g \cdot P_g \cdot E_g + C_{bat} \cdot R_{bat} \cdot P_{bat} \cdot E_{bat} + C_p \cdot R_p \cdot P_{p,com}(E_{p,com} - E_{rep,p}) + C_p \cdot R_p \cdot P_{p,rec} \cdot E_p + C_r \cdot R_r \cdot P_{r,com}(E_{r,com} - E_{rep,r}) + C_r \cdot R_r \cdot P_{r,rec} \cdot E_r) \quad (5)$$

där C, R, P och E avser insamlingsgrad, återvinningsgrad, andel av fordonet samt utsläpp, indexen s, al, g, bat, r och p står för materialen stål och järn, aluminium, glas, batteri, gummi resp. plast, och tilläggsindexen rec, com och rep betyder återvinning, förbränning och ersättning. Exempelvis avser termerna $P_{r,com}$ $[E_{r,com} - E_{rep,r}]$ andelen av plast i ett fordon som förbränns och skillnaden i utsläpp från förbränning av plast och den energikälla som ersätts av plasten.

2.6: Begagnat

I denna rapport behandlas begagnade bilar på samma sätt som övriga. Det betyder att trots att de begagnade bilarna haft tidigare ägare och brukare så räknas alla CO2e-utsläpp i samband med materialframställning- och produktionsfaserna med. Detta tillvägagångssätt diskuteras i 5: Diskussion.

3: Resultat

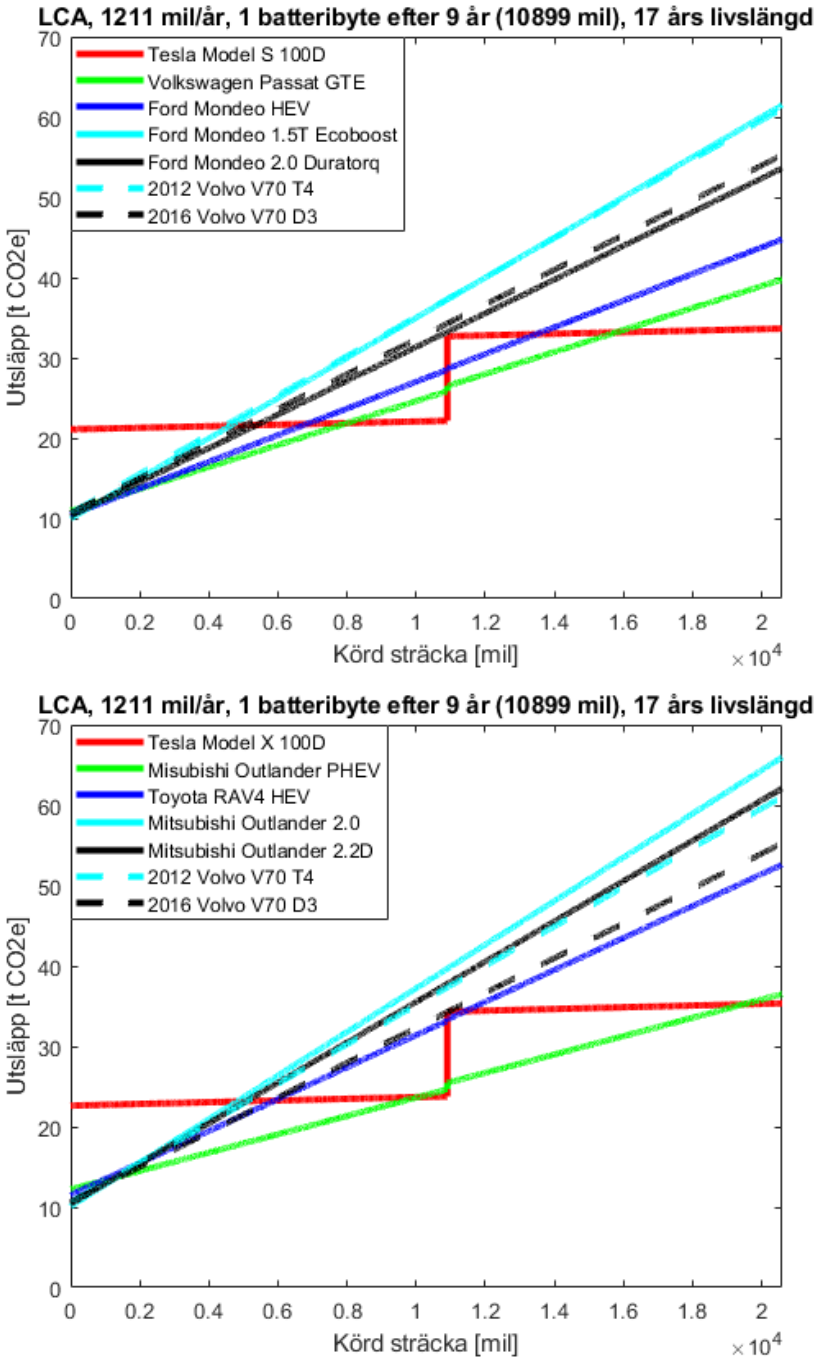
Data för de valda bilmodellerna tas i huvudsak från officiella källor [16][17][18][19][20][38][39][49][50] och Spritmonitor.de [33]. Förbrukningarna som kommer att användas anges i tabell 11 nedan. Dessa har tagits fram m.h.a. en Matlabkod, som finns under kap. 9: Bilagor. Även de resulterande utsläppen, med data från tabell 8 och 10, återges.

Tabell 11. Snittförbrukningar för fordonen, l/100 km för bensin, diesel och HEV, kWh/100 km för BEV och l/100 km + kWh/100 km för PHEV.

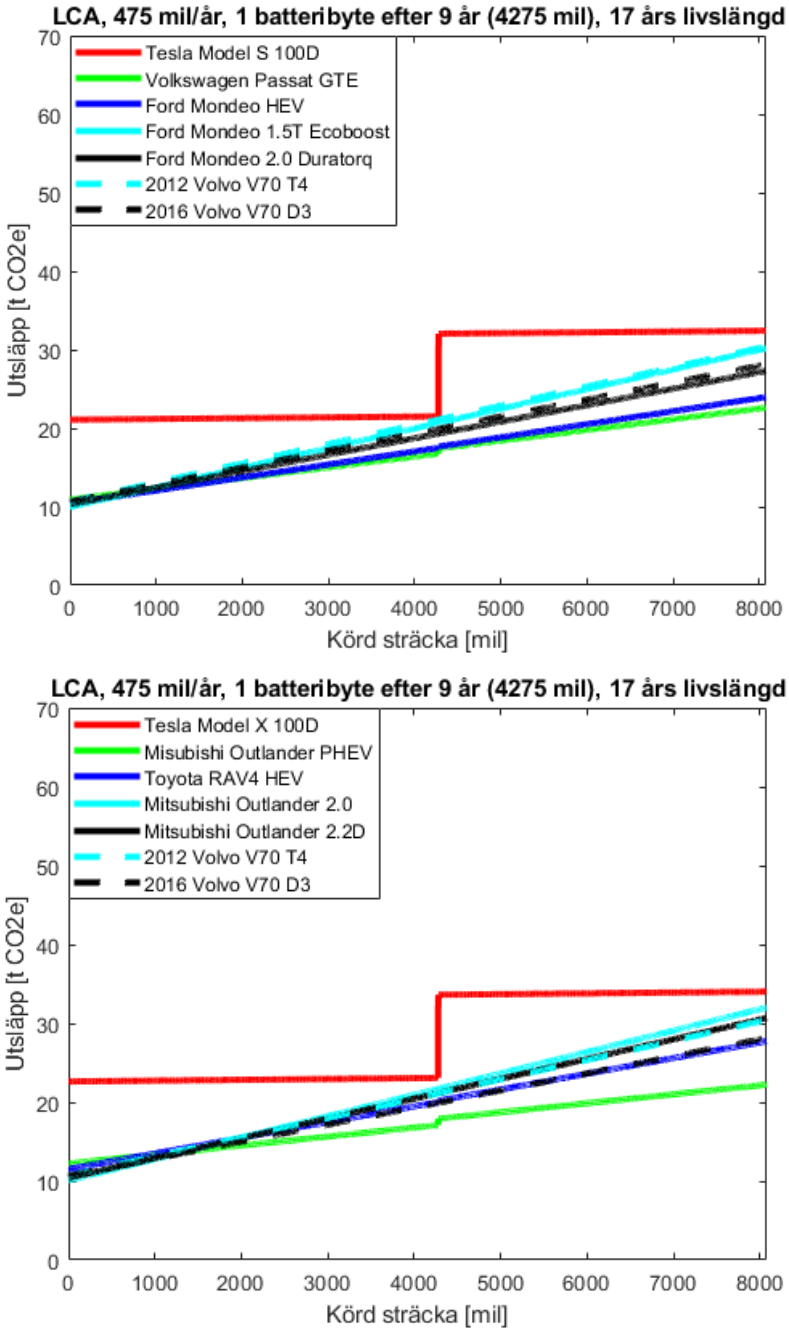
Fordon	Blandad körning	Utsläpp [g CO2/km]
Model S (BEV)	21.3	9,80
Passat GTE (PHEV, bensin)	4.53 + 8.09	137
Mondeo Hybrid* (HEV, bensin)	5.65	166
Mondeo 1.5T (bensin)	8.51	250
Mondeo 2.0 (diesel)	6.26	210
Model X* (BEV)	23.1	10,6
Outlander PHEV (PHEV, bensin)	3.68 + 12.7	114
RAV4 (HEV, bensin)	6.76	199
Outlander 2,0 (bensin)	9.23	271
Outlander 2,2D (diesel)	7.48	251
V70 T4 (bensin)	8.32	245
V70 D3 (diesel)	6.45	217

**: Enbart ett ytterst litet urval återfanns, 2-3 st. Detta ökar osäkerheten i informationen.*

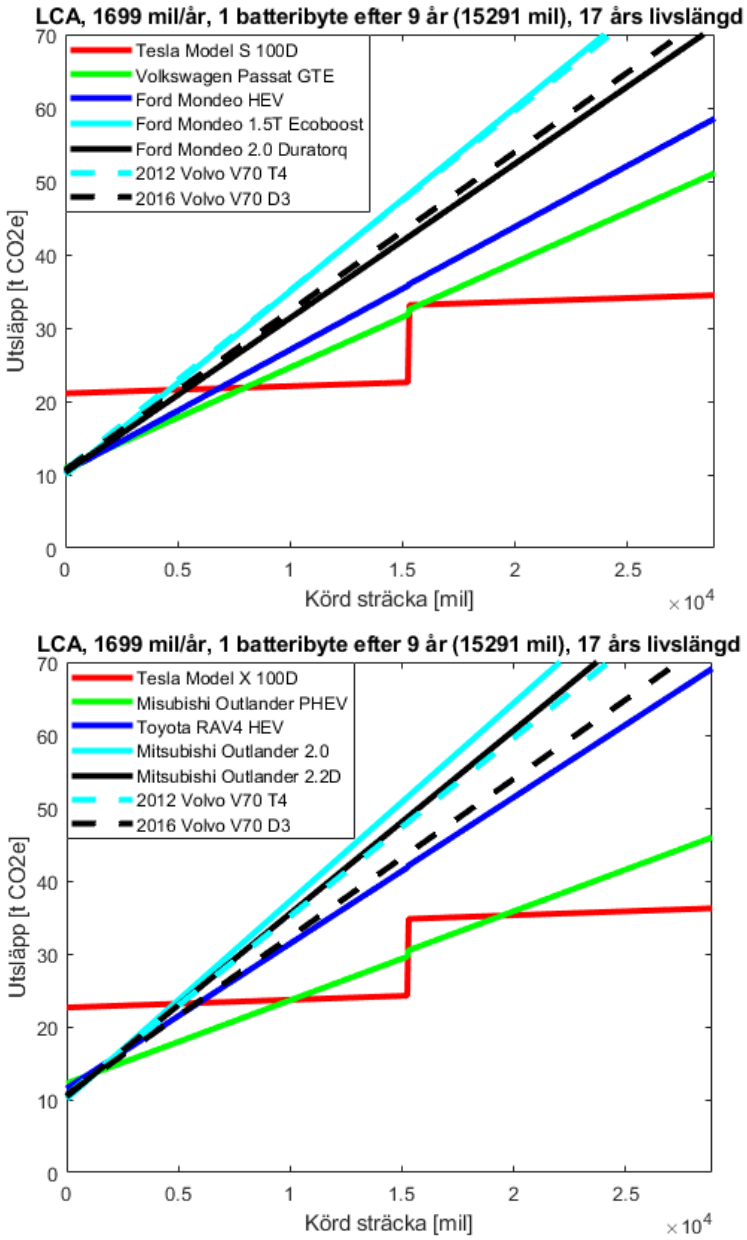
De omfattande beräkningar som behövs för att få fram resultat görs i ett eget program skrivet i Matlab, som återfinns under kap. 9: Bilagor. Med tre antagna körsträckor ur tabell 6 och ett batteribyte vid 9 års ålder för BEV, HEV och PHEV-bilarna, men ingen övrig service som är nämnvärd ur utsläppssynvinkel återfås följande grafer, för sedan resp. SUV:



Figur 1. Utsläpp över körsträcka för fallet 1211 mil/år (genomsnitt överlag).



Figur 2. Utsläpp över körsträcka för fallet 475 mil/år (genomsnitt i storstäder).



Figur 3. Utsläpp över körsträcka för fallet 1699 mil/år (genomsnitt för dieselbilar).

Kapaciteten av HEV-fordonens batterier anges inte i det förstahandsmaterial som använts, så de har tagits från andra källor [15][51]. Även tjänstevikter för Volvo V70 saknas i dess manualer, så det approximeras genom info ur en artikel i samband med en provkörning av denna [52]. Livslängden på 17 år baseras på den genomsnittliga för en bil i Sverige [53]. I figurerna är återvinningsfasen utelämnad. För samtliga fordon med eldrift (BEV, PHEV och HEV) inträffar ett batteribyte under fordonens livslängd. Dessa utsläpp visas i tabell 12 nedan.

Tabell 12. Batterikapacitet och utsläpp i och med tillverkning av EV-batterierna.

Fordon	Batterikapacitet [kWh]	Utsläpp [t CO2e]
Model S (BEV)	100	10,2
Passat GTE (PHEV, bensin)	6,1	0,622
Mondeo Hybrid (HEV, bensin)	1,4*	0,143
Model X (BEV)	100	10,2
Outlander PHEV (PHEV, bensin)	7,6	0,775
RAV4 (HEV, bensin)	1,59*	0,162

**: Från inofficiell källa [51][15]*.

Koden genererar även nettoutsläppet för hela livscykeln (med återvinningsfas inräknad). I tabell 13 nedan ges resultatet för två alternativ: Att allt material som förbränns ersätter kol, t.ex. inom stålindustrin, eller att de ersätter den genomsnittliga svenska fjärrvärmen.

Tabell 13. Nettoutsläpp för fordonen.

Fordon	Alternativ 1 [t CO2e]	Alternativ 2 [t CO2e]
Model S	26,8	28,4
Passat GTE	33,9	35,3
Mondeo Hybrid	38,9	40,4
Mondeo 1.5T	55,9	57,3
Mondeo 2.0	47,7	49,1
Model X	27,2	28,7
Outlander PHEV	29,6	31,0
RAV4	45,9	47,2
Outlander 2,0	60,4	61,5
Outlander 2,2D	56,2	57,4
V70 T4	54,8	56,4
V70 D3	49,0	50,6

4: Analys

Denna rapport ska främst ses som en jämförande studie. Ett fåtal relevanta datapunkter går in i analysen men mycket försummas. Ett sådant exempel är service och reparationer, med motivering i 2.4: Service. Det är också mycket som varit okänt och därför har generaliseringar gjorts. Denna rapport räknar inte heller med några typer av reparationer. Dock bör den jämförande biten av denna undersökning ändå vara värdefull då sådana poster i mångt och mycket kan anses vara lika.

Som nämnts i kap. 2.3: Användande ägnas den tidsmässigt största delen av personbilarna i denna rapport i drift. Detta är i samklang med var de flesta fordons största utsläpp sker. Figur 1 till 3 visar tydligt att den absolut största mängden CO2e under fordonens livslängd sker i samband med användning för bensin-, diesel-, HEV- och PHEV-fordon medan de största utsläppen för BEV-bilarna i rapporten sker i samband med tillverkning och batteribyte. För PHEV- och HEV-fordonen är dessa poster mycket mindre p.g.a. en mycket lägre batterikapacitet. Om det är möjligt att utöka batteriernas livslängd medför detta stora vinster gällande utsläppen av CO2e. Om syftet är att minska utsläpp av CO2e syns i figurerna att det vid inköp av fordon är fördelaktigt att välja personbil utefter behov. Det ska tilläggas att rapporten endast behandlar ett urval likvärdiga bilar; för en fullständig behovsanalys behövs fler fordon och mer data.

EV-batterierna i denna rapport är mest troligt ganska olika varandra till sammansättningen, vilket kan påverka utfallet av analysen. För att undersöka detta modifieras batteriets energitäthet i koden efter vilket det blir tydligt att denna har en liten påverkan på resultatet. Inom det givna intervallet à 200–250 Wh/kg varierar inte nettoutsläppen för fordonen mer än 0,5 tCO2e, eller cirka 2 %. Med modellens approximativa natur får detta anses vara försumbart, så länge den riktiga energitätheten är tillräckligt nära det använda värdet.

För samtliga fordon är CO2e från återvinningen (w_{tot}) alltid negativ. Det kommer från att en stor andel av materialen från samtliga fordon kan återvinnas, vilket ger ett negativt nettoutsläpp. Andelen material som förbränns är liten nog att inte orsaka ett nettotillskott i återvinningsfasen, oavsett vilken av energikällorna i tabell 10 de ersätter. Detta utvecklas mer i kommande kapitel.

5: Diskussion

Metoden som tas fram och används har en styrka i att den är enkel att använda. Med kunskap om ett fordons massa, genomsnittliga förbrukning, batterikapacitet om den har eldrift, dess årliga körsträcka samt dess förväntade livslängd kan man approximera fordonets totala nettoutsläpp av växthusgaser. Detta gör den lätt att tillämpa i flera situationer. Man ska dock inte göra misstaget att tänka att de siffror modellen genererar är exakt de riktiga, de är mer en vägledning. Detta belyser en av modellens tre huvudproblem.

Modellens första, och största, problem är dess inexakthet. Fordonets livscykel är förenklad och använder approximativa data där genomsnittet väljs om ett intervall finns. Användandet av privat rapporterade bränsleförbrukningar är också en felkälla. Här skulle man istället kunna använda fordonens förbrukningar enligt WLTP, som har fördelen att komma från en mer igenkänd källa. Som tidigare tagits upp brukar dock de värdena

underskatta den riktiga förbrukningen, varför de inte används här. Jämför man förbrukningarna enl. WLTP för fordonen, som återfinns i användarhandböckerna för de flesta fordonen som analyseras här, med de rapporterade till Spritmonitor ser man att alla ligger en del över WLTP-värdena, men de bedöms vara tillräckligt nära för att de ska vara rimliga. Detta relaterar till det andra problemet.

Den data som används har brister med sig. Dels är en del gamla nog att risken att de är utdaterade är nämnvärd, och flera av dem gäller inte explicit för Sverige. Det skulle vara fördelaktigt om en rapport (eller flera) kring nutidens fordonsåtervinning i Sverige gjordes tillgänglig, eftersom det är rimligt att anta att en stor majoritet av fordonen lär återvinnas i just Sverige. Att materialframställningen och produktionens utsläpp inte (explicit) gäller för Sverige är ett mindre problem med de fordon som används i denna rapport eftersom samtliga är utländska märken. Då är det rimligt att anta att de även tillverkas utomlands. Här kan det istället vara lämpligt med mer geografiskt specifika data. Också de kan behöva en uppdatering, i och med att det är fullt rimligt att sådan data kan ändras markant över tid.

Det konstateras i tabell 9 att en betydande del av gummi och plast från fordonen förbränns. I tabell 10 ser man att detta kan ha stor påverkan sett till CO2e beroende på vilken energikälla de ersätter. Om de används istället för kol eller olja blir det en nettominskning medan för övriga källor blir det en ökning istället, i synnerhet om el ska genereras. Som nämnts är dock användningen av kol inom stålindustrin fortfarande flitig, så om gummi och plast kan ersätta detta är det en vinst. Utsläppen av CO2e vid förbränning av gummi och plast är dock inte de enda problemen, utan sot och lokalt giftiga gaser kan även bildas. Detta relaterar till modellens tredje problem.

Modellen tar enbart hänsyn till utsläpp av CO2e. Det är de utsläpp som per definition har störst påverkan på klimatet, men det är viktigt att komma ihåg att detta inte gör att det inte finns andra aspekter att ta hänsyn till. Olika material kan ha olika återvinningsprocesser, med olika bimaterial som kan vara svåra att hantera. Sådant som försurning av regn, lokal miljöförstörelse, utsläpp av tungmetaller och nedskräpning är exempel på aspekter som inte tas med, men som ändå har vikt. EV-batterierna är det värsta exemplet. Som synes i tabell 9 är den faktiska återvinningen av dessa låg i jämförelse med de övriga materialen. Insamlingen är den lägsta av alla material, och hälften av det blir spill. Det tas delvis med genom att materialinsparningen i återvinningsfasen blir låg, men bortser ifrån vilken påverkan det övriga materialet har. När antalet EV-bilar ökar blir detta ett växande problem.

Det finns en stor osäkerhet kring de olika EV-batteriernas exakta sammansättning samt produktionssätt, det betyder att stor vikt har lagts på att värden som presenteras i kap. 2.2: Tillverkning är riktiga. Om det vore möjligt att minska EV-batteriets utsläpp i samband med produktion skulle BEV vara ett betydligt bättre alternativ i termer om utsläpp av CO2e; utsläppen vid produktion är enligt denna rapport EV-batteriernas absolut största nackdel i nuläget. Det ska även nämnas att om batterierna håller längre än vad denna rapporten tar i beräkning medför även det stora fördelar i termer av utsläpp; om inget batteribyte skulle behövas under livstiden för BEV skulle det medföra en minskning av utsläppen med närmare en tredjedel beroende på användande. Det samma men omvänt gäller givetvis om det skulle vara så att EV-batteriet fallerar tidigare än vid nio år. Vikten av att inte välja ett större batteri än nödvändigt framgår också tydligt. I ekvation 2, som visar en LCA-approximation för batteriet ensamt, är dess utsläpp en konstant

multiplicerad med dess kapacitet. För Teslabilarna är batteriets utsläpp omkring hälften av det totala fordonets, så ett mindre batteri kan ha stor påverkan på nettoutsläppet för ett helt fordon.

Rapporten behandlar begagnade bilar på samma sätt som nya, det vill säga att de har lika mycket utsläpp i samband med materialframställning och produktion. Det skulle kunna argumenteras för att en begagnad bils framställnings- och produktionsutsläpp borde fördelas på brukarna. Då skulle de begagnade bilarna ha ett lägre CO2e-utsläpp framförallt eftersom de är högst jämförbara med de nyare bilarna de jämförs med, se figur 1—3. Detta förutsätter dock att bilarna klarar av att brukas i 17 år räknat från det datum då de införskaffats begagnade, vilket beroende på fordonets redan ackumulerade ålder kan vara svårt att uppnå.

Att de begagnade och motsvarande nya är såpass lika under användningsfasen antyder dessutom att det kan vara ovist ur klimatsynvinkel att byta till ny bil i förtid. Figurerna visar tydligt att produktionen av en ny bil orsakar stora utsläpp, så därför kan det vara fördelaktigt att bruka fordonet så länge som möjligt. Undantaget är om den bil man byter till har såpass avsevärt lägre utsläpp under användning att dess utsläpp innan dess kompenseras för. Det kan exempelvis vara fallet om man har ett körsätt enl. figur 3 och byter från en bensinbil till en PHEV-bil.

Denna rapport bortser även från hur körstilar och miljön kring fordonet påverkar. Enbart en slags genomsnittlig förare och miljö har tagits med genom förbrukningarna. Det kan vara av intresse att undersöka detta, i synnerhet hur temperatur påverkar. Skall fordonet användas i kallt eller varmt klimat så kan slutsatsen ändras.

Det skulle vara bra om konsumenter fick information om fordonets hela livscykel, genom exempelvis en standardiserad märkning. En sådan kunde exempelvis bestå av en slags rangordning där de fem livsstegen redovisas separat på ett tydligt sätt. Idag finns en standardiserad EU-märkning på sådant som vitvaror och bildäck som visar energiförbrukning och ett fåtal andra för konsumenten relevanta data under användning, den så kallade energimärkningen [54]. En märkning enl. ovan med utseende som den skulle underlätta för konsumenter att välja det mest klimatsmarta valet för dem, utan att vilseledas av att bara användningsfasen presenteras, som det är idag genom förbrukning enl. WLTP o.dyl.

6: Slutsatser

Syftet med denna rapport är att ta fram ett verktyg för privatpersoner och andra intresserade för att välja fordon med minsta möjliga klimatpåverkan. Enbart med hjälp av de nu framtagna LCA-approximationerna framgår enligt figur 1 och 3 att det finns stor skillnad på vilket fordon som ger störst respektive lägst utsläpp av CO2e.

Om syftet är att minska sin klimatpåverkan tycks det för en storstadsbo med årlig körsträcka på 475 mil [1] enligt denna rapport finnas stora fördelar med att inte välja någon av denna rapports BEV i nuläget. För den genomsnittlige bilföraren med en årlig körsträcka på 1211 mil är det någorlunda jämnt mellan BEV och PHEV, speciellt för SUV. Den genomsnittlige dieselbilsföraren med en årlig körsträcka på 1699 mil släpper ut betydligt mycket mindre CO2e om en BEV väljs istället för övriga fordonstyper i denna rapport. Detta får man ur figur 1—3. De visar också att miljövinsterna med att byta fordon

till ett likvärdigt kan vara små, så det kan mycket väl vara fördelaktigt klimatmässigt att använda ett fordon tills det är bortom räddning, såvida inte det nya fordonet har markant lägre utsläpp.

Denna rapport behandlar blott en liten andel av de fordon som finns på marknaden; det finns BEV på den svenska marknaden med mindre batterier och därmed också mindre utsläpp som borde kunna konkurrera mer med övriga bilar även för exemplet storstadsbo med årlig körsträcka 475 mil.

7: Lista över förkortningar

- **BEV:** Battery Electric Vehicle. Ett fordon som uteslutande drivs med el som lagras i fordonets EV-batteri.
  A vehicle that is exclusively powered by electricity stored in the vehicle's EV battery
- **CO2e:** Koldioxideekvivalenter. Tar hänsyn till flera gaser som ger liknande klimatpåverkan som koldioxidutsläpp och räknar om dessa som utsläppet av koldioxid.
  A recalculation of the amount of greenhouse gases as carbon dioxide.
- **EV-batteri:** Batteri som används för elmotorförsörjning för BEV, PHEV och HEV.
  Battery which supplies power for the electric motor in BEV, PHEV and HEV.
- **HEV:** Hybrid Electric Vehicle. Ett fossilt drivet fordon som även kan drivas med el genererad uteslutande på fordonet, det vill säga regenerativ laddning under körning [55]. Vanligen kallas hybrid-bil.
  A vehicle with a combustion engine and electric motor that is supplied with electricity generated exclusively by the vehicle, so called regenerative charging [55].
- **PHEV:** Plug-in Hybrid Electric Vehicle. En HEV som även kan laddas från ett eluttag.
  HEV which can also be charged from another power supply.
- **LCA:** Livscykelanalys. Life cycle analysis.
- **PB:** Personbil. Private car.
- **SUV:** Sport Utility Vehicle, i denna rapport något större bilar än sedan med högre markfrigång.
- **t:** Ton, viktenhet motsvarande 1000 kg. Tonne, weight unit of 1000 kg.
- **WLTP:** Wordwide harmonised Light vehicles Test Procedure. Ett laboratorietest som ska motsvara normal körning bättre än den förra standarden. Den ger bränsleförbrukning för fordon med förbränningsmotor eller räckvidd för fordon med batteridrift.
  A laboratory test which supplies fuel consumption or range for vehicles.

8: Referenser

1. Trafikanalys. RVU Sverige - den nationella resvaneundersökningen 2015-2016. [internet]. Stockholm/Östersund: Trafikanalys; 2017. [citerad 2019-04-16]. Hämtad från: https://www.trafa.se/globalassets/statistik/resvanor/2016/rvu_sverige_2016-reviderad-7-juli.pdf?
2. SMC. Nu är det bevisat, motorcyklar är mer miljövänliga än bilar. [Internet]. Borlänge: SMC; UÅ [citerad 2019-04-16]. Hämtad från: https://www.svmc.se/smc/SMCs-arbete--fragor/Motorcykeln/Miljo_och_buller/Nu-ar-det-bevisat-motorcyklar-ar-mer-miljovanliga-an-bilar/
3. Trafikverket. Det här är nollvisionen. [Internet]. Borlänge: Trafikverket; UÅ [uppdaterad 2018-05-08; citerad 2019-04-06]. Hämtad från: https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/Trafiksakerhet/det-har-ar-nollvisionen/
4. BILSweden. Sveriges fordonsbestånd [internet]. Stockholm: BILSweden; u.å. [citerad 2019-04-05] Hämtad från: http://www.bilsweden.se/statistik/fordonsbestand
5. BILSweden. Nyregistreringar [internet].Stockholm: BILSweden; u.å. [citerad 2019-04-07] Hämtad från: http://www.bilsweden.se/statistik/nyregistreringar
6. SVT nyheter. Så vill partierna gottgöra landsbygden för höga bränslepriser. [Internet]. UO: SVT nyheter; 2018-08-29 [uppdaterad 2018-08-30; citerad 2019-03-06] Hämtad från: https://www.svt.se/nyheter/val2018/sa-vill-partierna-gottgora-landsbygden-for-hoga-branslepriser
7. Naturvårdsverket. Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter [internet]. Stockholm: Naturvårdsverket, u.å. [uppdaterad 2018-12-12, citerad 2019-04-02] Hämtad från: https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/
8. Power Circle AB. Elbilsstatistik [internet]. Stockholm: Power Circle AB; u.å. [uppdaterad Q2 2019, citerad 2019-04-02] Hämtad från: https://www.elbilsstatistik.se/elbilsstatistik
9. ACEA. ACEA Report: Vehicles in use – Europe 2018 [internet]. Bryssel: ACEA; 2018. [Citerad 2019-04-07]. Hämtad från: https://www.acea.be/statistics/article/Report-Vehicles-in-Use
10. Tesla. Model S [internet]. UO: Tesla; 2019 [citerad 2019-04-24]. Hämtad från: https://www.tesla.com/sv_SE/models
11. Vikström FD. Det var på tiden. Vi Bilägare [internet]. 2014-11-20 [citerad 2019-04-07] Hämtad från: http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/det-var-pa-tiden
12. BILSweden. Arkiv nyregistreringar [internet].Stockholm: BILSweden; u.å. [citerad 2019-04-07] Hämtad från: http://www.bilsweden.se/statistik/arkiv-nyregistreringar_1
13. Rönnblom E. Provkörning: Mitsubishi Outlander [2012]. Vi Bilägare [internet]. 2012-10-16 [citerad 2019-04-22]. Hämtad från: http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/provkorning-mitsubishi-outlander-2012-40269

14. Wahlström T. Provkörning: Toyota RAV4 [2019]. Vi Bilägare [internet]. 2019-03-23 [citerad 2019-04-22] Hämtad från: http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/provkorning-toyota-rav4-2019
15. Vikström F. Provkörning: Toyota RAV4 Hybrid. Vi Bilägare [internet]. 2016-02-28 [citerad 2019-04-22]. Hämtad från:http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/provkorning-toyota-rav4-hybrid
16. Toyota Sweden AB. RAV4 Produktblad[e-broschyr]. Vällingby, Elanders Sverige AB; 2017 [citerad 2019-04-22]. Hämtad från: http://tims.elanders.com/webbroschyr/produktblad_arkiv/RAV4/RAV4_pf_web_1703_1510-1.pdf
17. Mitsubishi Motors Corporation. Outlander PHEV Owner's Manual [broschyr]. Born, Mitsubishi Motors Europe B.V.; 2018.
18. Volvo Cars Corporation. Volvo V70 & XC70 Instruktionsbok -- Web Edition [e-broschyr]. Göteborg, Volvo Cars Corporation; 2011. [citerad 2019-04-22]. Hämtad från: https://www.volvocars.com/se/support/cars?pc=Y285&my=2012&sw=11w46&tab=manuals
19. Ford Motor Company Limited. Ford Mondeo [e-broschyr]. Brentwood, Ford Motor Company Limited; 2018. [citerad 2019-04-22]. Hämtad från: https://www.ford.se/kopa/nasta-steg/ladda-ner-en-broschyr#/overlay/content/overlays/download-a-brochure/mondeo
20. Volvo Cars Corporation. V70, XC70 Ägarmanual -- Web Edition [e-broschyr]. Göteborg, Volvo Cars Corporation; 2015. [citerad 2019-04-22]. Hämtad från: https://www.volvocars.com/se/support/cars?pc=Y285&my=2016&sw=15w17&tab=manuals
21. Granta Design. CES Edupack, 18.1.1 [datorprogram]. Storbrittanien; 2018. [citerad 2019-05-03]. Hämtad från: https://grantadesign.com/education/ces-edupack/
22. Tasala Gradin K, Hedlund Åström A. Evaluation of an Eco Audit Tool - through an LCA of a novel car disc brake. [internet]. Stockholm: KTH; 2018. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=6781&pid=diva2%3A1259707&c=1&searchType=SIMPLE&language=sv&query=Evaluation+of+an+Eco+Audit+tool&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&noOfRows=50&sortOrder=author_sort_asc&sortOrder2=title_sort_asc&onlyFullText=false&sf=all
23. Sullivan JL, Kelly JC, Elgowainy A. Vehicle Materials: Material Composition of Powertrain Systems. Lemont: Argonne National Laboratory; 2015.
24. Balitskii A, Mrozik M, Abramek KF, Chmiel J. Material Changes in the Construction of Passenger and Cargo Vehicles. Problemsky Eksploatacji. 2016;3: ss. 77-89.
25. Dai Q, Kelly JC, Elgowainy A. Vehicle Materials: Material Composition of U.S. Light-duty Vehicles. Lemont: Argonne National Laboratory; 2016.
26. Spielmann M, Althaus HJ. Can a prolonged use of a passenger car reduce environmental burdens? Life Cycle analysis of Swiss passenger cars [internet]. Journal of Cleaner Production. 2007;15[11-12]: ss. 1122-34. [citerad 2019-04-24] Hämtad från: https://www.researchgate.net/profile/Hans-Joerg_Althaus/publication/

222296557_Can_a_prolonged_use_of_a_passenger_car_reduce_environmental_burdens_Life_Cycle_analysis_of_Swiss_passenger_cars/links/5c07c95892851c6ca1ff6754/Can-a-prolonged-use-of-a-passenger-car-reduce-environmental-burdens-Life-Cycle-analysis-of-Swiss-passenger-cars.pdf
27. Schweimer GM, Levin M. Life Cycle Inventory for the Golf A4. Wolfsburg: Research, Environment and Transport, Volkswagen AG; 2000
28. [U.S.] Department of Energy. Code of Federal Regulations, Title 10 Energy; Chapter II Department of Energy; Subchapter D Energy Conservation; Part 490 Alternative Fuel Transportation Program; Subpart A General Provisions. [internet] Washington: Department of Energy; 2016. s. 965. [citerad 2019-04-24] Hämtad från: https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2016-title10-vol3/pdf/CFR-2016-title10-vol3-sec490-2.pdf
29. Chu S, Cui Y, Liu N. The path towards sustainable energy [internet]. Nat Mater. 2017;16: ss. 16–22 [citerad 2019-04-25]. Hämtad från: https://www.osti.gov/servlets/purl/1361156
30. Richa K, Babbitt CW, Gaustad G, Wang X. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. [internet]. Resources, Conservation and Recycling. 2014;83: ss. 63-76 [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491300253X
31. Norgate T, Haque N, Somerville M, Jahanshahi S. The grennhouse gas footprint of charcoal production and of some applications in steelmaking. CSIRO [internet]. Australien, Canberra: CSIRO; 2011. [citerad 2019-05-04]. Hämtad från: https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro%3AEP104971&dsid=DS3&fbclid=IwAR0NqhXhi-WWkY9CRmJ4QVltJbkRJ45QF45sM1RnCKgSAzVCxRBQE56pj60
32. Meisterling K, Samaras C. Life Cycle Assessment Of Greenhouse Gas Emissions From Plug-In Hybrid Vehicles: Implications For Policy [internet]. Environ. Sci. Technol. 2008;42[9]: ss. 3170-76 [citerad 2019-04-25]. Hämtad från: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es702178s
    a. Life Cycle Assessment Of Greenhouse Gas Emissions From Plug-In Hybrid Vehicles: Implications For Policy - Supporting Online Information [internet]. [citerad 2019-04-25]. Hämtad från: https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es702178s/suppl_file/es702178s-file004.pdf
33. Spritmonitor. MPG and Cost Calculator and Tracker. [internet]. Tyskland: Fisch und Fischl GmbH; 2019 [citerad 2019-04-26]. Hämtad från: https://www.spritmonitor.de/en/
34. BILSweden. Bränsleförbrukning i verkliga livet. [internet]. Stockholm: BILSweden; 2014 [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: http://www.bilsweden.se/i-debatten/bilsweden_tycker/bransleforbrukning-i-verkliga-livet_1
35. Trafikanalys. Gör ditt eget statistikurval. [internet]. Stockholm/Östersund: Trafikanalys; UÅ [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.trafa.se/vagtrafik/korstrackor/?cw=1&q=t10094|ar:2017|mkorstr|drivm|agarkat~standardtable
36. Trafikanalys. RVU Sverige - den nationella resvaneundersökningen 2015-2016. [internet]. Stockholm/Östersund: Trafikanalys; 2017. [citerad 2019-04-28]. Hämtad från:

https://www.trafa.se/globalassets/statistik/resvanor/2016/rvu_sverige_2016-reviderad-7-juli.pdf?
37. Berkeley University of California. List of common conversion factors. [internet]. Berkeley, USA: Berkeley University of California; u.å. [citerad 2019-05-01]. Hämtad från: http://w.astro.berkeley.edu/~wright/fuel_energy.html
38. Tesla. Model X Ägarhandbok [e-broschyr]. Kalifornien: Tesla; 2018. [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.tesla.com/sites/default/files/model_x_owners_manual_europe_sv_se.pdf
39. Tesla. Model S Ägarhandbok [e-broschyr]. Kalifornien: Tesla; 2018. [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.tesla.com/sites/default/files/model_s_owners_manual_europe_sv_se.pdf
40. Elbilsnytt. Elbilar mycket billigare att serva! [Internet]. Göteborg: Engineering Force Sweden AB; 2018 [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: http://elbilsnytt.se/elbilar-mycket-billigare-att-serva/
41. Miljöfordon. Volkswagen Passat Sportscombi GTE. [internet]. UO: Stockholms, Göteborgs och Malmö Stad. [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.miljofordon.se/bilar/soek-bil/detalj/?id=91394
42. Rafique RMU. Life Cycle Assessment of Waste Car Tyres at Scandinavian Enviro Systems [internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; 2012. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/171866/171866.pdf
43. Farel R, Yannou B, Bertoluci G. Finding best practices for automotive glazing recycling: a network optimization model [internet]. Journal of Cleaner Production. 2013;52: ss. 446-61. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00796046/PDF/JCLP3320.pdf
44. European Commision. SET-Plan ACTION n°7 – Declaration of Intent: "Become competitive in the global battery sector to drive e-mobility forward" [internet]. Bryssel: European Commision; 2016. [citerad 2019-04-30] Hämtad från: https://setis.ec.europa.eu/system/files/integrated_set-plan/action7_declaration_of_intent_0.pdf
45. The Japan Automobile Tyre Manufacturers Association, Inc. Tyre LCCO2 Calculation Guidelines Ver. 2.0 [internet]. Toranomon: JATMA; 2012. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: http://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/pdf/lcco2guideline_en.pdf
46. Eriksson O, Finnveden G. Plastic waste as a fuel – CO2-neutral or not? [internet]. Energ Environ Sci. 2009;2: 907-14. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: https://www.researchgate.net/publication/230582969_Plastic_waste_as_a_fuel_-_CO2-neutral_or_not
47. Moro A, Lonza L. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles [internet]. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2018;64: ss. 5-14. [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916307933
48. Swedish Energy Agency. Energy in Sweden 2017 [internet]. Eskilstuna: Swedish Energy Agency; 2018 [citerad 2019-04-29]. Hämtad från: http://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=5733

49. Mitsubishi Motors Europe B.V. Outlander Owner's Manual [e-broschyr]. Nederländerna, Born: Mitsubishi Motors Europe B.V.; 2018. [citerad 2019-04-28]. Hämtad från: https://www.mitsubishi-cars.co.uk/media/pdfs/owners-manuals/OGFE19E1.pdf
50. Volkswagen Sverige. Passat. [e-broschyr]. Södertälje: Volkswagen Sverige; 2018. [citerad 2019-05-01]. Hämtad från: https://www.volkswagen.se/sv/ladda-ner/broschyrarkiv/passat-arkiv.html
51. Svärd N. Provkörning: Ford Mondeo Hybrid 2,0 HEV [2016]. Vi Bilägare [internet]. 2016-06-25 [citerad 2019-05-03]. Hämtad från: http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/provkorning-ford-mondeo-hybrid-20-hev
52. Rönnblom E. Provkörning: Volvo V70 [2013]. Vi Bilägare [internet]. 2013-08-30 [citerad 2019-05-03]. Hämtad från: http://www.vibilagare.se/test/biltester/provkorning/provkorning-volvo-v70-2013
53. Trafikanalys. Fordon på väg 2017 [internet]. Stockholm/Östersund: Trafikanalys; 2018 [citerad 2019-05-05]. Hämtad från: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2018/rapport-2018_13-fordon-pa-vag-2017.pdf
54. Statens energimyndighet. Energimärkning – 20 år i konsumentens tjänst [internet]. Eskilstuna: Energimyndigheten; 2016 [citerad 2019-05-07]. Hämtad från: https://energimyndigheten.a-w2m.se/Test.ashx?ResourceId=5607
55. Recharge. Att köpa elbil – BEV, PHEV, laddhybrid och allt annat du behöver ha koll på [internet]. Stockholm: Recharge; 2016-05-12 [uppdaterad 2018-09-21; citerad 2019-04-04]. Hämtad från: https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/artiklar/20160502/att-kopa-elbil/

9: Bilagor

Nedan anges de två koder som använts i arbetet samt resultatet från andra årliga körsträckor.

9.1: Huvudkoden

```
%% Deklarerar allt generellt
batRho=0.225;                          %kWh/kg batteri 225
batEmm=(1/77)*[24.5 22.4 8.8 5.7 4.3 4.0 3.3 2.4 1.4]*[0.22 2.375 3.995 3.615 13.15 8.31 2.375 11.75 18.7]';
%kg CO2e/kg batteri

matPerPB=0.01/0.898*[58.8 10 17 1.7 2.3]';      %Stål, Al, Plast, Gummi, Glas [-]
matPerSUV=0.01/0.87*[56.7 12.4 13.1 2.5 2.3]';  %Stål, Al, Plast, Gummi, Glas [-]
matEmm=[2.375 13.15 2.915 3.21 0.76]';          %Utsläpp av mat.framställning [kg CO2e/kg]
matIns=0.01*[97 97 55 96 85 45]';               %Insamlingsgrad          [-]
matRec=0.01*[91 88  0 55 80 50]';               %Återvinning av material [-]
matCom=0.01*[ 0 0 100 45  0  0]';               %Förbränning av material [-]
mCEL=1/1000*[19 318 0.06 1000 46 150]'; %Förbränning av alt. till gummi/plast [kg CO2/kWh]
%biomassa, olja, vind, kol, svensk el, svensk fjärrvärme
%Mult. sen med kWh/kg för gummi resp. plast (9.2 / 8.6) f.a. ge hur mycket alt. skulle släppa ut vid samma kWh genererat
fComEm=[2.941 3.358 0.046]';                    %Anv. av bensin/diesel/el     [kg/l el. kg/kWh]

rListPB=@(m, e_c) [(m-e_c/batRho)*matEmm.*matPerPB ; e_c/batRho*batEmm];
```

```
rListSUV=@(m, e_c) [(m-e_c/batRho)*matEmm.*matPerSUV ; e_c/batRho*batEmm];
%m i kg
p_tot=@(e_c) 4087 + 90*e_c;                    %kg CO2e, e_c i kWh

wListPB=@(m, e_c, mI1, mI2) -(rListPB(m, e_c).*matIns.*matRec + (m-e_c/batRho)*[matPerPB;0].*matIns.*matCom.*[0 0 9.2*mCEL(mI1)-2.1 8.6*mCEL(mI2)-2.55 0 0]');
wListSUV=@(m, e_c, mI1, mI2) -(rListSUV(m, e_c).*matIns.*matRec + (m-e_c/batRho)*[matPerSUV;0].*matIns.*matCom.*[0 0 9.2*mCEL(mI1)-2.1 8.6*mCEL(mI2)-2.55 0 0]');

newBat=@(e_c) e_c*(batEmm/batRho + 90);
LCAbat=@(e_c) e_c*((1-matIns(6)*matRec(6))*batEmm/batRho + 90);

e_totPB=@(m,d,t,e_c,f_eff,mI1,mI2) sum(rListPB(m,e_c) + wListPB(m, e_c, mI1, mI2)) + p_tot(e_c) + f_eff/10*d;
e_totSUV=@(m,d,t,e_c,f_eff,mI1,mI2) sum(rListSUV(m,e_c) + wListSUV(m, e_c, mI1, mI2)) + p_tot(e_c) + f_eff/10*d;

%% Definierar data för bilarna
%[m, e_c, f_eff]
%[kg, kWh, kg/100 km]
TS100=[2215, 100, fComEm(3)*21.3];
VWGTE=[1722, 6.1, fComEm(1)*4.53+fComEm(3)*8.09];
FoMHB=[1696, 1.4, fComEm(1)*5.65]; %e_c från ViBilägare om Mondeo HEV
FoMBe=[1612, 0,fComEm(1)*8.51];
FoMDi=[1709, 0,fComEm(2)*6.26];
TMX60=[2352, 60,fComEm(3)*23.1];
TX100=[2459, 100,fComEm(3)*23.1];
MOuPH=[1880,7.6,fComEm(1)*3.68+fComEm(3)*12.7];
TRAV4=[1835,1.59,fComEm(1)*6.76]; %e_c från källa 16
MOuBe=[1510,0,fComEm(1)*9.23];
MOuDi=[1590,0,fComEm(2)*7.48];
VV7Be=[1800,0,fComEm(1)*8.32];%m ungefär, baseras på ViB 2013 on V70
VV7Di=[1800,0,fComEm(2)*6.45];%Ditto

%% Livscykler
%17 år, 1211 mil/år, 1 bat.byte vid 9 år

yd=1211;%Årlig körsträcka i mil
lt=17;%Livslängd i år
s=0:lt*yd;%mil
figure;
TS100_use=[(sum(rListPB(TS100(1),TS100(2)))+p_tot(TS100(2))+TS100(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListPB(TS100(1),TS100(2)))+p_tot(TS100(2))+TS100(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(TS100(2))
)]/1000;
VWGTE_use=[(sum(rListPB(VWGTE(1),VWGTE(2)))+p_tot(VWGTE(2))+VWGTE(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListPB(VWGTE(1),VWGTE(2)))+p_tot(VWGTE(2))+VWGTE(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(
VWGTE(2)))]/1000;
FoMHB_use=[(sum(rListPB(FoMHB(1),FoMHB(2)))+p_tot(FoMHB(2))+FoMHB(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListPB(FoMHB(1),FoMHB(2)))+p_tot(FoMHB(2))+FoMHB(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(Fo
MHB(2)))]/1000;
plot(s, TS100_use,'r', 'LineWidth',3);hold on;
plot(s, VWGTE_use,'g', 'LineWidth',3);
plot(s, FoMHB_use,'b', 'LineWidth',3);
plot(s, (sum(rListPB(FoMBe(1),FoMBe(2)))+p_tot(FoMBe(2))+FoMBe(3)/10*s)/1000,'c', 'LineWidth',3);
plot(s, (sum(rListPB(FoMDi(1),FoMDi(2)))+p_tot(FoMDi(2))+FoMDi(3)/10*s)/1000,'k', 'LineWidth',3);
plot(s,                (sum(rListPB(VV7Be(1),VV7Be(2)))+p_tot(VV7Be(2))+VV7Be(3)/10*s)/1000,'c--',
'LineWidth',3);
plot(s,                 (sum(rListPB(VV7Di(1),VV7Di(2)))+p_tot(VV7Di(2))+VV7Di(3)/10*s)/1000,'k--',
'LineWidth',3);
```

```
title(['LCA, ' num2str(yd) ' mil/år, 1 batteribyte efter 9 år (' num2str(9*yd) ' mil), ' num2str(lt) ' års livslängd'])
legend("Tesla Model S 100D","Volkswagen Passat GTE","Ford Mondeo HEV","Ford Mondeo 1.5T Ecoboost","Ford Mondeo 2.0 Duratorq","2012 Volvo V70 T4","2016 Volvo V70 D3")
xlabel("Körd sträcka [mil]");ylabel("Utsläpp [t CO2e]")
axis([0 s(end) 0 70])

figure;
TX100_use=[(sum(rListSUV(TX100(1),TX100(2)))+p_tot(TX100(2))+TX100(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListSUV(TX100(1),TX100(2)))+p_tot(TX100(2))+TX100(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(TX100(2)))]/1000;
MOuPH_use=[(sum(rListSUV(MOuPH(1),MOuPH(2)))+p_tot(MOuPH(2))+MOuPH(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListSUV(MOuPH(1),MOuPH(2)))+p_tot(MOuPH(2))+MOuPH(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(MOuPH(2)))]/1000;
TRAV4_use=[(sum(rListSUV(TRAV4(1),TRAV4(2)))+p_tot(TRAV4(2))+TRAV4(3)/10*(0:9*yd))
(sum(rListSUV(TRAV4(1),TRAV4(2)))+p_tot(TRAV4(2))+TRAV4(3)/10*(9*yd+1:s(end))+newBat(TRAV4(2)))]/1000;
plot(s, TX100_use,'r', 'LineWidth',3);hold on;
plot(s, MOuPH_use,'g', 'LineWidth',3);
plot(s, TRAV4_use,'b', 'LineWidth',3);
plot(s,          (sum(rListSUV(MOuBe(1),MOuBe(2)))+p_tot(MOuBe(2))+MOuBe(3)/10*s)/1000,'c', 'LineWidth',3);
plot(s,           (sum(rListSUV(MOuDi(1),MOuDi(2)))+p_tot(MOuDi(2))+MOuDi(3)/10*s)/1000,'k', 'LineWidth',3);
plot(s,           (sum(rListPB(VV7Be(1),VV7Be(2)))+p_tot(VV7Be(2))+VV7Be(3)/10*s)/1000,'c--', 'LineWidth',3);
plot(s,           (sum(rListPB(VV7Di(1),VV7Di(2)))+p_tot(VV7Di(2))+VV7Di(3)/10*s)/1000,'k--', 'LineWidth',3);
title(['LCA, ' num2str(yd) ' mil/år, 1 batteribyte efter 9 år (' num2str(9*yd) ' mil), ' num2str(lt) ' års livslängd'])
legend("Tesla Model X 100D","Misubishi Outlander PHEV","Toyota RAV4 HEV","Mitsubishi Outlander 2.0","Mitsubishi Outlander 2.2D","2012 Volvo V70 T4","2016 Volvo V70 D3")
xlabel("Körd sträcka [mil]");ylabel("Utsläpp [t CO2e]")
axis([0 s(end) 0 70])

combustionReplacementIndex=4;

x1=(
e_totPB(TS100(1),s(end),lt,TS100(2),TS100(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex) + LCAbat(TS100(2)))/1000;    %1 bat.byte=2 bat. totalt
x2=(
e_totPB(VWGTE(1),s(end),lt,VWGTE(2),VWGTE(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex) + LCAbat(VWGTE(2)))/1000;    %1 bat.byte=2 bat. totalt
x3=(
e_totPB(FoMHB(1),s(end),lt,FoMHB(2),FoMHB(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex) + LCAbat(FoMHB(2)))/1000;    %1 bat.byte=2 bat. totalt
x4=e_totPB(FoMBe(1),s(end),lt,FoMBe(2),FoMBe(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex)/1000;
x5=e_totPB(FoMDi(1),s(end),lt,FoMDi(2),FoMDi(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex)/1000;
x6=(e_totPB(VV7Be(1),s(end),lt,VV7Be(2),VV7Be(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex))/1000; %-sum(rListPB(VV7Be(1),VV7Be(2)))
x7=(e_totPB(VV7Di(1),s(end),lt,VV7Di(2),VV7Di(3),combustionReplacementIndex,combustionReplacementIndex))/1000; %-sum(rListPB(VV7Di(1),VV7Di(2)))
disp(['LCA för Tesla Model S 100D: ' num2str(x1) ' tCO2e'])
disp(['LCA för VW Passat GTE: ' num2str(x2) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Ford Mondeo HEV: ' num2str(x3) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Ford Mondeo 1.5T: ' num2str(x4) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Ford Mondeo 2.0: ' num2str(x5) ' tCO2e'])
disp(['LCA för beg. Volvo V70 T4: ' num2str(x6) ' tCO2e'])
```

```
disp(['LCA för beg. Volvo V70 D3: ' num2str(x7) ' tCO2e'])

x8=(
e_totSUV(TX100(1),s(end),lt,TX100(2),TX100(3),combustionReplacementIndex,combustionReplaceme
ntIndex) + LCAbat(TX100(2)))/1000;    %1 bat.byte=2 bat. totalt
x9=(
e_totSUV(MOuPH(1),s(end),lt,MOuPH(2),MOuPH(3),combustionReplacementIndex,combustionReplac
ementIndex) + LCAbat(MOuPH(2)))/1000;    %1 bat.byte=2 bat. totalt
x10=(
e_totSUV(TRAV4(1),s(end),lt,TRAV4(2),TRAV4(3),combustionReplacementIndex,combustionReplace
mentIndex) + LCAbat(TRAV4(2)))/1000;   %1 bat.byte=2 bat. totalt
x11=e_totSUV(MOuBe(1),s(end),lt,MOuBe(2),MOuBe(3),combustionReplacementIndex,combustionRe
placementIndex)/1000;
x12=e_totSUV(MOuDi(1),s(end),lt,MOuDi(2),MOuDi(3),combustionReplacementIndex,combustionRepl
acementIndex)/1000;
disp(['LCA för Tesla Model X 100D: ' num2str(x8) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Mitsubishi Outlander PHEV: ' num2str(x9) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Toyota RAV4 HEV: ' num2str(x10) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Mitsubishi Outlander bensin: ' num2str(x11) ' tCO2e'])
disp(['LCA för Mitsubishi Outlander diesel: ' num2str(x12) ' tCO2e'])
```

9.2: Räkna ut snittförbrukningarna

```
%Stad
%Motorväg
%Blandat

%3xX-matriser

%Model S
eUseTMS=[15.73 17.36 19.77 18.43 19.18 24.80 22.01 21.93 22.88 23.84 23.83 39.13;
        15.69 16.12 18.22 18.77 19.68 21.15 20.05 21.91 23.40 23.36 24.34 28.22;
        15.65 16.22 18.22 18.67 19.69 21.11 21.28 21.91 23.06 23.32 24.33 32.13
       ];

%Passat GTE
fUsePGT=[5.12 5.79  3.53  3.57 5.31  1.81 6.91
        5.15 5.84  4.35  3.95 5.29  2.58 6.02
        5.15 4.90  4.10  3.78 5.31  2.50 6.02
       ];
eUsePGT=[7.50 4.24 22.28 11.21 6.48 16.61 1.30
        7.43 1.73  1.76 11.91 4.19  6.28 1.53
        7.41 4.20  7.17 11.77 6.48 16.10 3.50
       ];
%Mondeo Hybrid
fUseMHB=[5.93 5.36
        6.02 5.36
        5.93 5.36
       ];
%Mondeo Bensin
fUseMBe=[6.02 10.22 9.82 8.45 7.83
        6.03 10.41 9.29 8.45 8.49
        6.03 10.36 9.82 8.45 7.88
       ];
%Mondeo Diesel
fUseMDi=[6.98 6.22 5.61 7.15 5.53
        6.90 6.19 5.63 6.50 5.65
        6.83 6.19 5.63 6.99 5.65
       ];
```

```
%Model X
eUseTMX=[23.65 24.50 21.09
         22.59 24.20 21.82
         23.37 24.16 21.82
        ];
%Outlander PHEV
fUseOPH=[0.49 3.00 4.29 3.64 5.17 3.39 4.13
         3.25 3.05 4.65 6.11 5.24 4.95 4.36
         1.74 2.95 4.36 4.22 5.26 3.39 3.89
        ];
eUseOPH=[20.36 12.04 11.03 2.69 13.17 15.19 19.10
          3.77  8.32  6.62 2.75  5.50 15.13  8.04
         17.93 12.09 11.03 3.09 13.17 15.19 16.45
        ];
%RAV4
fUseRV4=[7.07 5.55 7.32 6.24 6.64 7.07 7.31 7.31 6.33 6.31 5.69
         7.08 5.70 7.42 6.93 7.40 7.32 7.38 7.65 6.42 6.30 5.85
         7.08 5.48 7.35 6.93 6.64 7.29 7.38 7.58 6.43 6.33 5.85
        ];
%Outlander Bensin
fUseOBe=[9.22 9.72 9.41 8.52 9.54
         8.79 9.66 9.46 8.54 9.32
         9.15 9.71 9.46 8.55 9.29
        ];
%Outlander Diesel
fUseODi=[8.41 6.81 7.83 7.86 8.01 6.62
         8.41 6.82 7.25 7.92 7.85 6.60
         8.41 6.82 7.38 7.87 7.78 6.62
        ];
%V70 Bensin
fUseVBe=[8.37 9.20 7.56 8.50
         8.25 9.01 7.50 8.36
         8.28 9.12 7.50 8.36
        ];
%V70 Diesel
fUseVDi=[7.31
         6.69
         7.27
        ];
avgVDi=mean([7.27 6.29 5.76 6.35 6.52 6.48]);

lazFunc=@(mat) [mean(mat(1,:)) mean(mat(2,:)) mean(mat(3,:))];
```