

Övningsuppgift A - analys av bränsledata

Per Idenfeldt, Oliver Grahn Thuna, Daniel Berg, Gabriel Junhager

9/30/2019

Contents

1	Introduktion	1
2	Variabelselektion	1
2.0.1	Variabelselektion - forward och backward	4
3	Konstruktion av modell	5
3.1	Residyalanalys och outliers	7
3.2	MSEP	9
4	Jämförelse av amerikanska - och icke-amerikanska bilar	9
5	Resultat	10
6	Referens	10

1 Introduktion

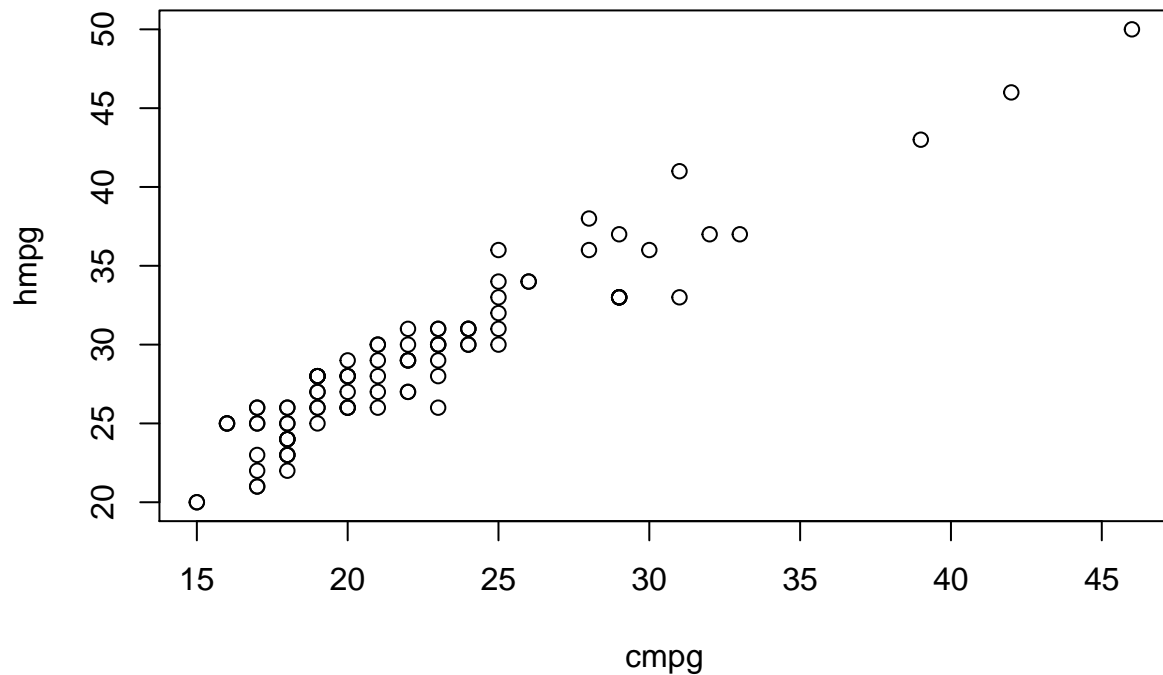
Denna rapport syftar till att utifrån de två datasetten “*Consumer Reports: The 1993 Cars - Annual Auto Issue*”, *Yonkers, NY: Consumers Union*” samt “*PACE New Car & Truck 1993 Buying Guide*” (1993), *Milwaukee, WI: Pace Publ. Inc*” bygga en modell om bilar bensinförbrukning. Detta görs genom att välja lämpliga variabler med hjälp av statistiska metoder som stegvis variabelselektion. Efter detta byggs en modell med hjälp av multipel linjär regression och dess prediktiva förmåga analyseras tillsammans med frågan om amerikanska bilar och icke-amerikanska bilar bränsleförbrukning skiljer sig på ett signifikant sätt.

2 Variabelselektion

Vi börjar med att undersöka data som är icke-kategorisk, annat data undersöks senare.

Variabler som helt klart är irrelevanta till bränsleförbrukning utesluts också automatiskt, till exempel standard på krockkudde.

Vektorerna V7 och V8 står för hur många miles man kommer per gallon i stad respektive motorväg. Vi misstänker att vi kommer kunna kombinera dem i en variabel, hur ser de ut om vi plottar dem mot varandra?



Figur 1: Plot mellan city miles per gallon och highway miles per gallon

Vi ser en klar linjär trend. Korrelationen som visas nedan verkar också relativt hög.

% latex table generated in R 3.6.1 by xtable 1.8-4 package % Mon Sep 30 14:44:16 2019

	minprice	midprice	maxprice	cylinders	enginesize	horsepower	rpm	enginerev	fueltankcap	passcap	lencar	wheelbase	width	weight	mpg
minprice	1.00	0.97	0.91	0.62	0.65	0.80	-0.04	-0.47	0.64	0.06	0.55	0.52	0.49	0.67	-0.61
midprice	0.97	1.00	0.98	0.59	0.60	0.79	-0.00	-0.43	0.62	0.06	0.50	0.50	0.46	0.65	-0.59
maxprice	0.91	0.98	1.00	0.54	0.54	0.74	0.03	-0.37	0.58	0.05	0.44	0.47	0.41	0.61	-0.54
cylinders	0.62	0.59	0.54	1.00	0.87	0.68	-0.44	-0.74	0.67	0.40	0.68	0.68	0.78	0.80	-0.66
enginesize	0.65	0.60	0.54	0.87	1.00	0.73	-0.55	-0.82	0.76	0.37	0.78	0.73	0.87	0.85	-0.68
horsepower	0.80	0.79	0.74	0.68	0.73	1.00	0.04	-0.60	0.71	0.01	0.55	0.49	0.64	0.74	-0.66
rpm	-0.04	-0.00	0.03	-0.44	-0.55	0.04	1.00	0.49	-0.33	-0.47	-0.44	-0.47	-0.54	-0.43	0.34
enginerev	-0.47	-0.43	-0.37	-0.74	-0.82	-0.60	0.49	1.00	-0.61	-0.33	-0.69	-0.64	-0.78	-0.74	0.65
fueltankcap	0.64	0.62	0.58	0.67	0.76	0.71	-0.33	-0.61	1.00	0.47	0.69	0.76	0.80	0.89	-0.81
passcap	0.06	0.06	0.05	0.40	0.37	0.01	-0.47	-0.33	0.47	1.00	0.49	0.69	0.49	0.55	-0.45
lencar	0.55	0.50	0.44	0.68	0.78	0.55	-0.44	-0.69	0.69	0.49	1.00	0.82	0.82	0.81	-0.61
wheelbase	0.52	0.50	0.47	0.68	0.73	0.49	-0.47	-0.64	0.76	0.69	0.82	1.00	0.81	0.87	-0.65
width	0.49	0.46	0.41	0.78	0.87	0.64	-0.54	-0.78	0.80	0.49	0.82	0.81	1.00	0.87	-0.69
weight	0.67	0.65	0.61	0.80	0.85	0.74	-0.43	-0.74	0.89	0.55	0.81	0.87	0.87	1.00	-0.84
mpg	-0.61	-0.59	-0.54	-0.66	-0.68	-0.66	0.34	0.65	-0.81	-0.45	-0.61	-0.65	-0.69	-0.84	1.00

Vi kombinerar helt enkelt dessa variabler istället för att göra en modell åt varje, även fast de kan ha mindre skillnader.

Nu gör vi en korrelationsmatris utav dessa numeriska variabler.

```
##          minprice      midprice      maxprice  cylinders  enginesize
## minprice    1.00000000  0.970601402  0.90675608  0.6209279  0.6454877
## midprice    0.97060140  1.000000000  0.98158027  0.5898625  0.5974254
## maxprice    0.90675608  0.981580272  1.00000000  0.5410688  0.5350120
## cylinders    0.62092789  0.589862485  0.54106884  1.0000000  0.8740665
## enginesize    0.64548767  0.597425392  0.53501197  0.8740665  1.0000000
## horsepower    0.80244412  0.788217578  0.74444475  0.6844695  0.7321197
## rpm         -0.04259816 -0.004954931  0.02501478 -0.4392286 -0.5478978
## enginerev    -0.47039499 -0.426395113 -0.37402421 -0.7383795 -0.8240086
## fueltankcap  0.63536902  0.619479981  0.58129439  0.6673762  0.7593062
## passcap      0.06123644  0.057860074  0.05321592  0.4014559  0.3727212
## lencar       0.55385881  0.503628440  0.44293341  0.6816244  0.7802831
```

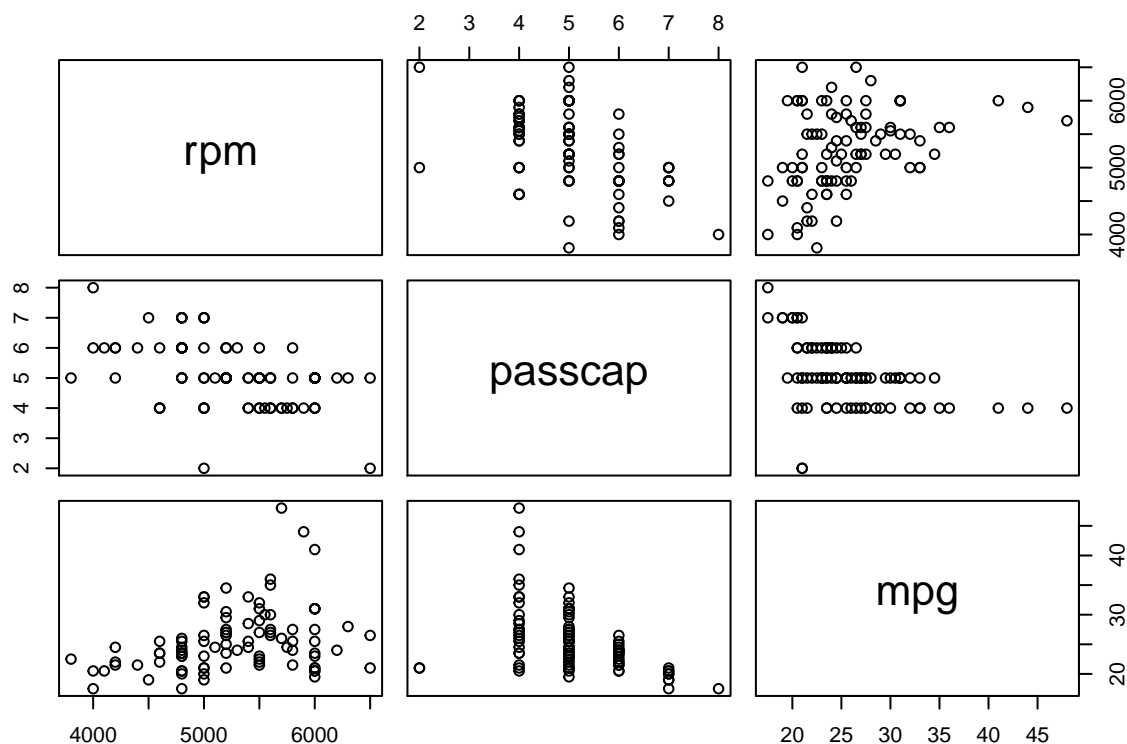
```

## wheelbase    0.51675786  0.500864163  0.46750079  0.6822698  0.7324842
## width        0.49287830  0.456027866  0.40841435  0.7825653  0.8671102
## weight       0.66655377  0.647179005  0.60514157  0.8007884  0.8450753
## mpg          -0.61059800 -0.586337687 -0.54317994 -0.6576892 -0.6790722
##             horsepower      rpm  enginerev fueltankcap      passcap
## minprice     0.802444116 -0.042598158 -0.4703950  0.6353690  0.061236438
## midprice     0.788217578 -0.004954931 -0.4263951  0.6194800  0.057860074
## maxprice     0.744444746  0.025014782 -0.3740242  0.5812944  0.053215917
## cylinders    0.684469459 -0.439228560 -0.7383795  0.6673762  0.401455913
## enginesize   0.732119730 -0.547897805 -0.8240086  0.7593062  0.372721168
## horsepower   1.000000000  0.036688212 -0.6003139  0.7117903  0.009263668
## rpm          0.036688212  1.000000000  0.4947642 -0.3333452 -0.467137627
## enginerev    -0.600313870  0.494764211  1.0000000 -0.6097098 -0.334975577
## fueltankcap  0.711790317 -0.333345218 -0.6097098  1.0000000  0.472095108
## passcap      0.009263668 -0.467137627 -0.3349756  0.4720951  1.000000000
## lencar       0.550864666 -0.441249316 -0.6902333  0.6904612  0.485294130
## wheelbase    0.486854213 -0.467812289 -0.6368238  0.7576745  0.694054395
## width        0.644413421 -0.539721132 -0.7804604  0.7987190  0.489978637
## weight       0.738797516 -0.427931473 -0.7352642  0.8940181  0.553272980
## mpg          -0.655795351  0.343757989  0.6523034 -0.8113934 -0.447278629
##             lencar wheelbase      width      weight      mpg
## minprice     0.5538588  0.5167579  0.4928783  0.6665538 -0.6105980
## midprice     0.5036284  0.5008642  0.4560279  0.6471790 -0.5863377
## maxprice     0.4429334  0.4675008  0.4084144  0.6051416 -0.5431799
## cylinders    0.6816244  0.6822698  0.7825653  0.8007884 -0.6576892
## enginesize   0.7802831  0.7324842  0.8671102  0.8450753 -0.6790722
## horsepower   0.5508647  0.4868542  0.6444134  0.7387975 -0.6557954
## rpm          -0.4412493 -0.4678123 -0.5397211 -0.4279315  0.3437580
## enginerev    -0.6902333 -0.6368238 -0.7804604 -0.7352642  0.6523034
## fueltankcap  0.6904612  0.7576745  0.7987190  0.8940181 -0.8113934
## passcap      0.4852941  0.6940544  0.4899786  0.5532730 -0.4472786
## lencar       1.0000000  0.8236504  0.8221479  0.8062743 -0.6148637
## wheelbase    0.8236504  1.0000000  0.8072134  0.8718953 -0.6511107
## width        0.8221479  0.8072134  1.0000000  0.8749605 -0.6912520
## weight       0.8062743  0.8718953  0.8749605  1.0000000 -0.8391626
## mpg          -0.6148637 -0.6511107 -0.6912520 -0.8391626  1.0000000

```

Figur 2: Korrelationsmatris på data som endast är numerisk och relevant

Vi säger arbiträrt att vi vill testa alla variabler som fick $|r| < 0.5$, genom att plotta dem mot mpg.



Figur 3: Plotten av de variablerna som har dålig korrelation med *mpg*

Av denna figur kan vi inte riktigt avgöra om variablerna bör vara med i modellen eller ej, så vi har kvar dem och utför ytterligare tester.

2.0.1 Variabelselektion - forward och backward

```
summary(model1)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = mpg ~ weight + wheelbase + fueltankcap + domestic +
##     width + enginerev + enginesize + minprice + passcap)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -4.5669 -1.4095  0.0993  1.3611  8.6676
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  2.661431  12.139692   0.219  0.82701
## weight      -0.008281   0.001675  -4.945 3.92e-06 ***
## wheelbase    0.318107   0.096147   3.309  0.00139 **
## fueltankcap  -0.641508   0.188855  -3.397  0.00105 **
## domestic    -2.164667   0.700386  -3.091  0.00272 **
## width        0.319103   0.198430   1.608  0.11160
## enginerev     0.002587   0.001003   2.579  0.01169 *
```

```
## enginesize    1.814765    0.679593    2.670  0.00911 **
## minprice     -0.121207    0.053650   -2.259  0.02649 *
## passcap      -0.724709    0.419511   -1.728  0.08780 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.506 on 83 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.8056, Adjusted R-squared:  0.7846
## F-statistic: 38.23 on 9 and 83 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figur 4: Sammanfattning av vår modell med variabler utvalda av forward - och backward selection

3 Konstruktion av modell

Vår modell sammanfattas av figur 4. Finns det problem med multikolinearitet?

```
vif(model1)
```

```
##      weight    wheelbase fueltankcap    domestic      width    enginerev
##  14.300130    6.299636    5.620167    1.814558    8.239058    3.636914
##  enginesize    minprice      passcap
##   7.282365    3.226134    2.783643
```

Figur 5: VIF-test på modellen ovan

Ett VIF-test (figur 5) visar oss att variabeln weight är mycket korrelerad med andra variabler i vår modell. Om man tänker rent praktiskt så är detta mycket logiskt eftersom att vikten av en bil till viss del avgörs av de variablerna som vi redan har i vår modell. Är det verkligen nödvändigt att ha med denna variabel? Vi tar bort den och betraktar hur modellen ser ut.

```
##
## Call:
## lm(formula = mpg ~ wheelbase + fueltankcap + passcap + enginerev +
##      minprice + domestic + width, data = cars)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.4898 -1.8394  0.0158  1.2732 11.4361
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  15.850119   12.698952   1.248  0.21541
## wheelbase     0.153398    0.103860   1.477  0.14338
## fueltankcap  -1.053296    0.189060  -5.571 2.91e-07 ***
## passcap      -1.147245    0.471535  -2.433  0.01707 *
## enginerev     0.002793    0.001019   2.741  0.00746 **
## minprice     -0.152612    0.053255  -2.866  0.00524 **
## domestic     -1.175666    0.771363  -1.524  0.13119
## width         0.202137    0.201100   1.005  0.31767
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.879 on 85 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7372, Adjusted R-squared:  0.7155
## F-statistic: 34.06 on 7 and 85 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figur 6: Sammanfattning på modell med weight borttagen

Figur 6 visar att vi får betydligt högre säkerhet i skattningarna på några av dess parametrar. Detta är typiskt för problem med multikolinearit. Det finns fortfarande en viss osäkerhet i vissa parametrar, kan detta lösas genom att även ta bort width variablen?

```
vif(model2)

##    wheelbase fueltankcap      passcap  enginerev   minprice    domestic
##    5.567336   4.265823   2.663558   2.841073   2.407469   1.666951
##          width
##    6.409084
```

Figur 7: VIF-värden på modell med weight borttagen

Figur 7 visar att width har ett högt VIF-värde, vi betraktar ett högt VIF-värde som över 5. Vi tar bort denna variabel och ser om vi får en förbättring.

```
##
## Call:
## lm(formula = mpg ~ wheelbase + fueltankcap + passcap + enginerev +
##      minprice + domestic, data = cars)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.6268 -1.8208 -0.0243  1.4521 11.7952
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 25.2338745  8.6092177   2.931  0.00433 **
## wheelbase    0.1952111  0.0951716   2.051  0.04330 *
## fueltankcap  -0.9542848  0.1613814  -5.913 6.61e-08 ***
## passcap      -1.2217060  0.4657073  -2.623  0.01030 *
## enginerev     0.0023672  0.0009267   2.554  0.01240 *
## minprice     -0.1597589  0.0527812  -3.027  0.00326 **
## domestic     -0.9068639  0.7235670  -1.253  0.21348
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.879 on 86 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7341, Adjusted R-squared:  0.7155
## F-statistic: 39.56 on 6 and 86 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figur 8: Sammanfattning av modell med weight och width borttagna

Modellen har relativt okej R²-värde, och alla lutningskoefficienter förutom den för domestic har goda t-värden. Detta tyder på att vi inte längre har lika starka multikollinearitet-problem som vi hade tidigare.

```
vif(model3)

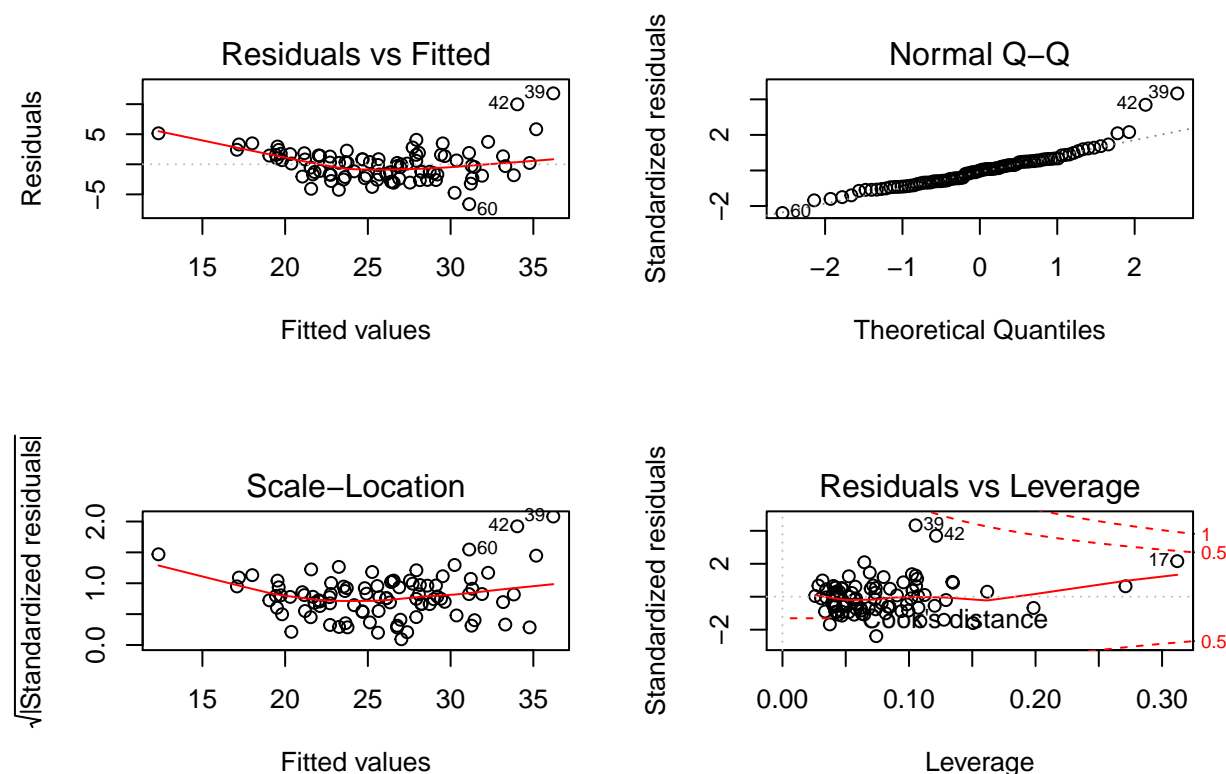
##    wheelbase fueltankcap      passcap  enginerev   minprice    domestic
##    4.674244   3.107832   2.597820   2.349101   2.364555   1.466595
```

Figur 9: VIF-värden av modell med weight och width borttagna Enligt våra VIF-värden så har vi inte längre några problem med kolinearit.

Vårt att notera: Det är egentligen inte viktigt att intercept har hög säkerhet för vår modell. Detta eftersom att det är inte meningsfullt att tänka sig vad en bil med 0 i alla värden har för bränsleförbrukning. I vår modell har denna hypotetiska bil en bränsleförbrukning på 25.23, vilket är mer än vad vi förväntar oss av en bil utan säten eller bränsletank och med 0 rpm.

3.1 Residualanalys och outliers

Vi undersöker residualer och möjliga outliers med nedanstående plottar.



Figur 10: 4 plottar relaterade till residualanalys på vår modell utan outliers

Observationerna 39 och 42 ligger precis innanför Cook's distance. När vi tittar på vår QQ-plot så ser vi att även här så orsakar 39 och 42 trubbel, och gör även att variansen för residylerna inte blir lika normalfördelat som det annars skulle vara.

```
cars[c(39,42), ]
```

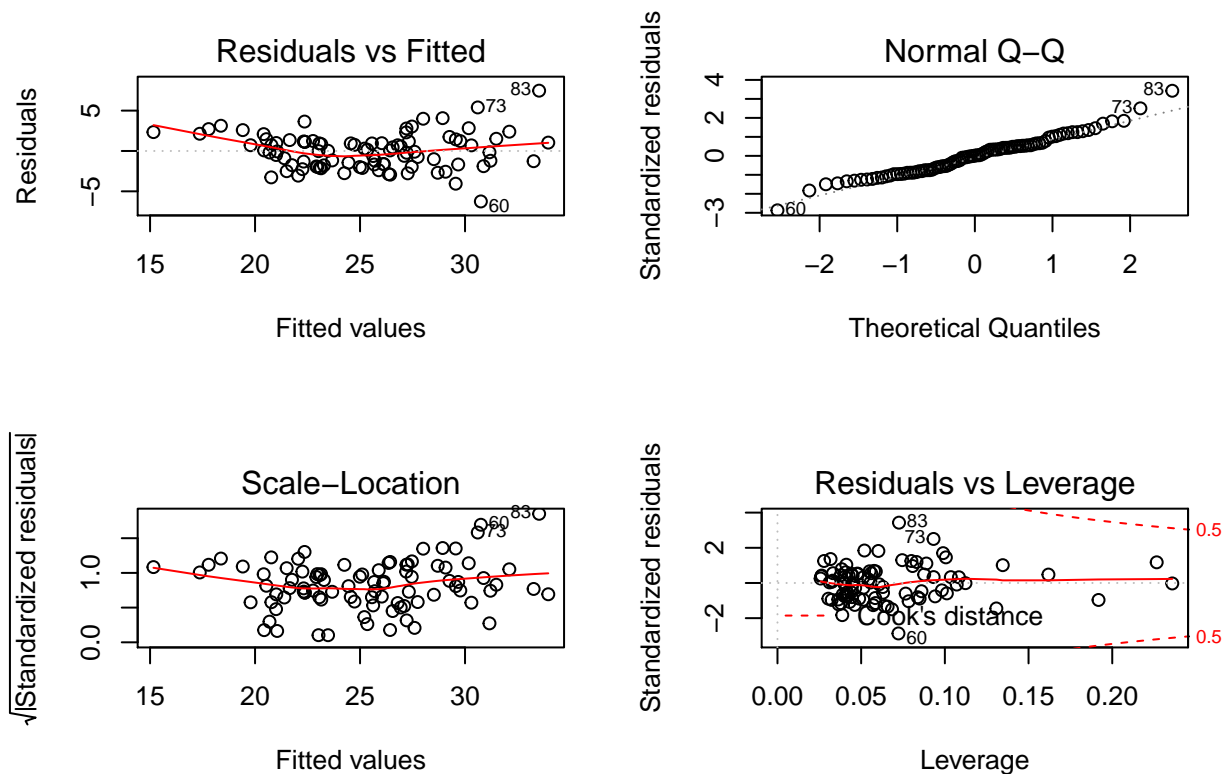
```
##      manufacturer model  type minprice midprice maxprice  cmpg  hmpg  airbags
## 39          Geo Metro Small      6.7      8.4      10.0    46    50         0
## 42          Honda Civic Small      8.4     12.1     15.8    42    46         1
##      drivetrain cylinders enginesize horsepower   rpm  enginerev
## 39           1         3         1.0         55 5700      3755
## 42           1         4         1.5        102 5900      2650
##      manualtransmissions fueltankcap passcap  lencar wheelbase width  Uturn
## 39                   1         10.6      4     151      93    63     34
## 42                   1         11.9      4     173     103    67     36
##      rearseatroom luggagecap weight domestic
## 39          27.5         10    1695         0
## 42          28         12    2350         0
```

Ovanför ser vi att dessa observationer är båda små bilar med väldigt höga bränslekostnader, vilket kan ha att göra med dessa specifika modeller. Vi väljer att ta bort dessa outliers och ser om vår modell blir märkbart bättre.

```
##
## Call:
## lm(formula = mpg ~ fueltankcap + passcap + enginerev + minprice +
##     domestic, data = cars)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.2536 -1.7167  0.0233  1.2022  7.4715
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 40.2930033  3.1103282  12.955  < 2e-16 ***
## fueltankcap -0.7751716  0.1206219  -6.426 7.24e-09 ***
## passcap     -0.5457420  0.2792933  -1.954 0.05399 .
## enginerev    0.0013391  0.0007269   1.842 0.06895 .
## minprice    -0.1183507  0.0390999  -3.027 0.00327 **
## domestic    -0.4921866  0.5703853  -0.863 0.39062
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.263 on 85 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7625, Adjusted R-squared:  0.7485
## F-statistic: 54.58 on 5 and 85 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figur 11: Sammanfattning av vår modell utan outliers

```
par(mfrow=c(2,2))
plot(model4)
```

Figur 12: 4 plottar för residylanalys för vår modell utan outliers

Residylerna till vår nya modell ser genast mycket bättre ut på figur 11, och vi får även aningen bättre R^2 -värde på figur 12.

3.2 MSEP

Hur är vår modells prediktiva förmåga? Vi jämför den med en modell som endast har weight, och en modell som är som vår slutgiltiga fast med weight.

```
## [1] "mpg~ width"
## [1] 9.953143

## [1] "mpg~ weight+wheelbase+fueltankcap+passcap+enginerev+minprice+domestic"
## [1] 5.054161

## [1] "mpg~ wheelbase+fueltankcap+passcap+enginerev+minprice+domestic"
## [1] 5.693809
```

Eftersom att ett lågt MSEP-värde är ett tecken på bra prediktiv förmåga så kan vi säga att vår slutgiltiga modell är bättre än en modell med endast weight. Däremot är den aningen sämre än vår slutgiltiga modell fast med weight. Vi anser att det fortfarande inte är värt att inkludera weight eftersom att modellen får problem i skattningen av lutningskoefficienterna.

4 Jämförelse av amerikanska - och icke-amerikanska bilar

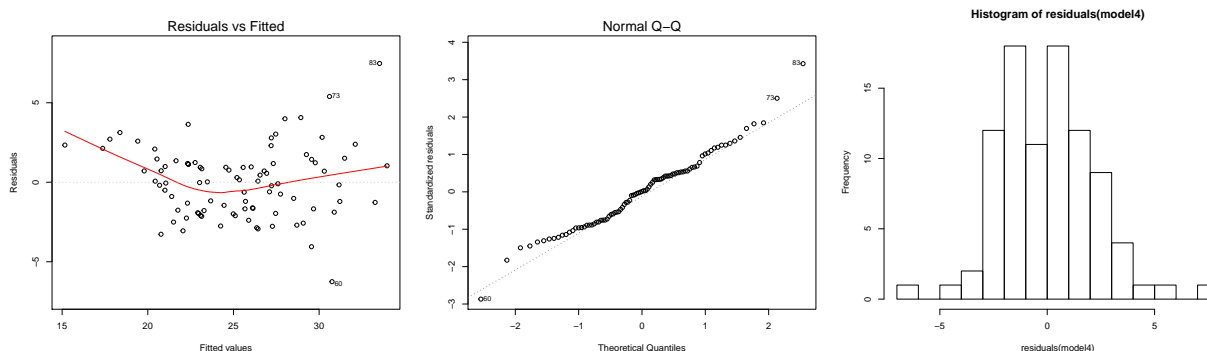
I modell 4 kan vi notera att variabeln "domestic" har ett p -värde på 0.39062. Eftersom detta är baserat på en nollhypotes där koefficienten för domestic antas vara noll så ser vi att koefficientens värde, nämligen

-0.538925 , inte alls är signifikant skilt från noll, förutsatt att alla antaganden för en multilinjär modell är uppfyllda förstås. I detta fall kan vi då av datat dra slutsatsen att bränsleförbrukningen inte påverkas märkbart av att bilen är amerikansk eller inte.

5 Resultat

I sammanfattningen för modell 4, samt tillhörande plot, kan man se att medianen ligger nära noll och att kvartilerna ligger tillfredsställande symmetriska omkring medianen. Vid första anblick ser datat lite "böjt" ut men inte tillräckligt för att dra några säkra slutsatser om krökning. För säkerhetens skull kan vi kolla om residualerna är normalfördelade i en plot nedanför. Det ser helt okej ut.

Residualerna verkar bli mer spridda vid prediktioner av större värden av bensinförbrukning, vilket kan indikera heteroskedasticitet, men igen, inte så extremt att vi kan dra säkra slutsatser.



```
##
## Call:
## lm(formula = mpg ~ fueltankcap + passcap + enginerev + minprice +
##     domestic, data = cars)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.2536 -1.7167  0.0233  1.2022  7.4715
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 40.2930033   3.1103282  12.955 < 2e-16 ***
## fueltankcap  -0.7751716   0.1206219  -6.426 7.24e-09 ***
## passcap      -0.5457420   0.2792933  -1.954 0.05399 .
## enginerev     0.0013391   0.0007269   1.842 0.06895 .
## minprice     -0.1183507   0.0390999  -3.027 0.00327 **
## domestic     -0.4921866   0.5703853  -0.863 0.39062
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 2.263 on 85 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7625, Adjusted R-squared:  0.7485
## F-statistic: 54.58 on 5 and 85 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

6 Referens

Formula with dynamic number of variables: <https://stackoverflow.com/questions/4951442/formula-with-dynamic-number-of-variables>