

Kvantificering af manuelt og automatisk de- tekterede overfladeskader i veje



Bachelorprojekt af:
Pernille Frost Fahlén, s143911

Vejleder (DTU): Bjarne Kjær Ersbøll
Vejleder (VD): Niels Skov Dujardin, Ingeniør Befæstelser

8. januar 2018

I Titelblad

Dansk titel	Kvantificering af manuelt og automatisk detekterede overfladeskader i veje
Engelsk titel	Quantification of manually and automatically detected road surface defects
Sprog	Dansk
Forfatter	Pernille Frost Fahlén (s143911)
Uddannelse	Danmarks Tekniske Universitet, DTU Compute Institut for Matematik og Computer Science
Vejledere	Bjarne Kjær Ersbøll, Professor og sektionsleder ved DTU Compute Niels Skov Dujardin, Ingeniør hos Befæstelser ved Vejdirektoratet
Projektperiode	4. september 2017 til 8. januar 2018
Semester	7. semester
Omfang	Bachelorprojekt - 15 ECTS points
Antal anslag	65578 (27 normalsider)

II Forord

Denne rapport er det afsluttende projekt på bacheloruddannelsen Bygningsdesign ved Danmarks Tekniske Universitet, DTU. Projektets omfang er 15 ECTS-point fordelt ud over 18 uger fra d. 4. september 2017 til d. 8. januar 2018. Rapporten er skrevet i samarbejde med Vejdirektoratet, som har været med til at gøre dette projekt muligt ved at stille det data til rådighed hele projektet er bygget op omkring. Rapporten er skrevet med henblik på at oplyse læseren om hvilke metoder og hvordan de er brugt for at analysere det udleverede data.

Projektet har været inddelt i 2 faser hvilket denne rapport bærer præg af. Den 1. fase opsummerer data for at få en forståelse for hvad det indeholde og hvad det kan bruges til, dernæst analyseres det.

Der skal lyde en stor tak til min vejleder Bjarne Kjær Ersbøll for at sætte mig i kontakt med Vejdirektoratet og efterfølgende vejlede mig igennem projektet. Ved Vejdirektoratet vil jeg gerne takke min vejleder Niels Skov Dujardin, som til enhver tid har været klar til at svare på de spørgsmål der er dukket op undervejs. Også en tak til Michael Ruben Anker Larsen fra Vejdirektoratet for at overskueliggøre sporkøringsdatasættet på trods af travlhed.

Dette Bachelorprojekt er udarbejdet af:
Pernille Frost Fahlén



d. 8. januar 2018

III Abstract

This project is dealing with the question if the quantification of manually and automatically detected road surface defects is accurate or not. Today is the state road network valued by subjective measurements and afterwards estimate the lifetime of each parcel. The Danish Road Directorate want to examine if this method is accurate enough to make a budget, 4 years ahead, and to optimize maintenance, 10 years ahead. To make this happen you need accurate data there can predict every parcel needs for maintenance. To be able to examine the accuracy of the data the past 7 years of collected data was made available. By analyzing the damagepoints and the lifetime it was concluded that the first expected lifetime tends to raise. Thereafter it has been examined if the rutting data collected by other measuringvehicles is a more accurate. The examination showed there were a difference between the three measuringvehicles ways of collecting and distribute data. A bigger datasheet is required to conclude if the variances can be assumed the same.

IV Resumé

Denne rapport omhandler hvorledes metoden til kvantificering af manuelt og automatisk detekterede overfladeskader i veje er retvisende eller ej. I dag bliver statsvejnettet vurderet subjektivt ved opmåling af skader og dernæst anslås levetiden på et givent vejstykke. Man ønsker at undersøge om denne metode er retvisende i forhold til at kunne lægge budgetter 4 år frem, og derudover optimere vedligeholdsprocessen 10 år ud i fremtiden. For at dette skal kunne lade sig gøre er man nødt til at have retvisende data, der gør det nemt at forudsige et vejstykkets behov for reparationer og fornyelse. For at undersøge dette er de seneste 7 års indsamlede data på statsvejnettet blevet stillet til rådighed. Ved at analysere skadespointet og levetiden blev der konkluderet at den først antagende levetid har tendens til at stige. Dernæst blev der undersøgt hvorledes andre målekøretøjers indsamlede data var mere retvisende ved opmåling af sporkøring. Undersøgelsen viste at der var forskel på de tre forskellige målekøretøjers måde at indsamle og formidle data på. Et større datasæt er dog nødvendigt for at kunne sætte streg under konklusionen at deres varians kan antages at være den samme.

V Indholdsfortegnelse

I	Titelblad	i
II	Forord.....	ii
III	Abstract.....	iii
IV	Resumé.....	iv
V	Indholdsfortegnelse	v
VI	Figur, tabel og billede oversigt.....	vii
1	Introduktion	1
2	Teori	2
2.1	JMP	2
2.1.1	Join	2
2.1.2	Subset.....	2
2.1.3	Distribution	3
2.1.4	Scatterplot matrix	3
2.1.5	McNemar's test.....	3
2.1.6	Levene's test	4
2.2	Outliers boxplot	4
2.3	McNemar's test.....	5
2.4	Levene's test	5
3	Datarapport for strækningsskader 2009-2016	6
3.1	Variabelliste.....	6
4	Datarapport for VRL 2010-2016.....	8
4.1	Variabelliste.....	8
4.2	Sortering i data.....	22
4.3	Sammenhæng mellem variable	23
5	Analyse af data fra 2010 til 2016	28
5.1	Gruppering af data	28
5.2	Visualisering af skadespoint og levetid	29
5.3	McNemar's test.....	31

6 Datarapport for nye målekøretøjers indsamlede data.....	32
6.1 Variabelliste.....	32
6.2 Sortering i data.....	33
6.3 Sammenhæng mellem køretøjer	33
7 Analyse af nye målekøretøjers data for sporkøring.....	34
7.1 Visualisering af middelværdi forskel.....	34
7.2 Levene's test	36
8 Konklusion.....	37
9 Litteratur	38
Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016.....	39
Bilag B: Scatterplot af Belægningskategori og Æ-10.....	47
Bilag C: Analyse skadespoint og levetid	48
Bilag D: McNemar's test resultater.....	66
Bilag E: Sporkøring sammenligning.....	69

VI Figur, tabel og billede oversigt

Figur 1: Optælling af forekomster for samme vejnummer.....	9
Figur 2: Optælling af forekomster for Side.	10
Figur 3: Boxplot og opsummering af variabelen Areal for 2016.....	11
Figur 4: Boxplot og opsummering af variabelen Længde for 2016.	11
Figur 5: Optælling af de forskellige slidlag.	12
Figur 6: Boxplot og opsummering af variabelen Skadespoint for 2010 og 2016.	13
Figur 7: Boxplot og opsummering af variabelen Ådt - grunddata for 2010 og 2016.....	14
Figur 8: Boxplot og opsummering af variabelen Æ10 - grunddata for 2010 og 2016.	15
Figur 9: Boxplot og opsummering af variabelen IRI for 2010, 2014 og 2016.	16
Figur 10: Boxplot og opsummering af variabelen Spor målt for 2010 og 2016.....	17
Figur 11: Optælling af de forskellige belægningskategorier.....	18
Figur 12: Optælling af de forskellige der har udført det visuelle eftersyn.	18
Figur 13: Optælling af procent belægningsandel for 2016.....	19
Figur 14: Optælling af levetiden for 2010-2016.....	20
Figur 15: Optælling af hvor mange og hvornår der tidligst skal lægges ny belægning.	21
Figur 16: Scatterplot af Nr og Ådt-grunddata	23
Figur 17: Scatterplot af Nr og Længde	23
Figur 18: Scatterplot af Side og Ådt-grunddata.	24
Figur 19: Scatterplot af Ådt grunddata og Æ-10 grunddata.	25
Figur 20: Scatterplot af de 3 største/ mest normale belægningskategorier og Ådt grunddata.	26
Figur 21: Scatterplot af Skadespoint og Levetid	27
Figur 22: Tidsserie af skadespoint og levetid.....	29
Figur 23: Tidsserie af skadespoint og levetid.....	30
Figur 24: Tidsserie af skadespoint og levetid.....	30
Figur 25: Scatterplot af RWS-, DYNA- og DRD's sporkøringsdata.....	33
Figur 26: Boxplot af sporkøringerne.	34
Figur 27: Boxplot for sporkøring med fratrukket middelværdi.....	35
Figur 28: Boxplot for sporkøring med samme nulpunkt.....	35
Figur 29: Resultat af Levene's test fra JMP.	36
Figur 30: Boxplot og opsummering af variabelen Areal for 2010-2016.	39
Figur 31: Boxplot og opsummering af variabelen Længde for 2010-2016.	40
Figur 32: Boxplot og opsummering af variabelen Skadespoint for 2010-2016.	41
Figur 33: : Boxplot og opsummering af variabelen Ådt grunddata for 2010-2016.	42
Figur 34: Boxplot og opsummering af variabelen Æ-10 grunddata for 2010-2016.....	43
Figur 35: Boxplot og opsummering af variabelen IRI for 2010-2016.....	44
Figur 36: Boxplot og opsummering af variabelen Sporkøring for 2010-2016.	45
Figur 37: Opsummering af variabelen Belægning andel i % for 2010-2016.	46
Figur 38: Scatterplot af Belægningskategori (AB, ABS, SMA) og Æ-10 grunddata for 2010-2016. ...	47

Tabel 1: McNemar's test for 2010-2016.	31
Tabel 2: McNemar's test for 2011-2012.	66
Tabel 3: McNemar's test for 2012-2013.	66
Tabel 4: McNemar's test for 2013-2014.	67
Tabel 5: McNemar's test for 2014-2015.	67
Tabel 6: McNemar's test for 2015-2016.	68
Billede 1: Almindeligt boxplot [2].....	4
Billede 2: Outlier boxplot [2].....	4
Billede 3: Udsnit at kort fra vejman.dk [6] der viser de parametre der er tildelt hvert vejstykke.	8
Billede 4: Et eksempel på en forgrening af vejdelene fra vejman.dk [6].....	9
Billede 5: Teststrækning for nye målekøretøjer.	32

1 Introduktion

Projektets overordnede mål er at undersøge om den nuværende metode til vurdering af kapitalbevarende vedligehold er brugbar. Vurderingen af skaderne sker i dag subjektivt og et skadespoint beregnes ud fra de indsamlede data på hver parcel. Efterfølgende gives en samlet tilstandsvurdering i form af vurderet restlevetid. Er den nuværende metode til skadesvurdering virkelighedsnær? Svaret på dette spørgsmål vil jeg i dette projekt finde ved at bruge de subjektive data indsamlet gennem de sidste syv år.

Projektet er inddelt i 2 faser hvilket denne rapport bærer præg af. Den 1. fase opsummerer data for at få en forståelse for hvad det indeholder og hvad det kan bruges til, dernæst analyseres det. Sortering af data er vigtigt at starte ud med for at man gennem hele projektet kun benytter det brugbare data. Det er også vigtigt at gøre sig den overvejelse om der er nok data til at vise det mest præcise billede af virkeligheden. Dernæst vil jeg se på hvilke sammenhænge der er mellem VRL og andre parametre. Samtidig overvejes de subjektive observationers anvendelighed til at forudse kommende reparationer. Herefter udarbejdes et skadesbillede, hvor resultaterne fra tidligere sammenholdes for at vurdere brugbarheden af den nuværende metode til kapitalbevarende vejvedligehold. I den sidste fase vil jeg kigge på nye data fra andre målekøretøjer og holde det op mod de allerede kendte data om sporkøring.

Projektet er udarbejdet indenfor de sidste 18 uger, hvor der i gennemsnit er brugt 20 timer pr. uge for at projektet omfatter 15 ECTS point. Dette er med til at afgrænse omfanget af projektet og ikke mindst hvilket data fra testkørslen der har nået at være klar. Datasættet fra testkørslen er blevet udleveret 15. december 2017, der er derfor ikke lavet flere analyser for at underbygge resultatet yderligere.

2 Teori

I dette afsnit vil der blive gennemgået hvilke metoder der er blevet brugt i løbet af projektet. Til at starte med vil der blive gennemgået de forskellige funktioner der er blevet brugt i JMP, så det senere hen er muligt at benytte sig af de samme metoder som der i løbet af rapporten bliver refereret til. Efterfølgende beskrives de forskellige tests der er benyttet gennem projektet, hvordan de kan bruges og hvordan de fungerer.

2.1 JMP

JMP er et dataanalyseprogram, som er nemt og hurtigt at bruge. Softwarens interface gør det muligt at kunne klikke sig frem til analyser, men også programmering af scripts, der kan det samme, er muligt. Programmet kreerer selv et script når klik-menuerne benyttes. Herved kan man gemme grafer funktioner til hurtigt fremkaldelse i hvert eneste datasæt. Løbene kan koderne kopieres og derved undgås det at der er behov for at klikke igennem en del menuer og indstillinger for lignende plots hver gang. Ved at kopiere koderne til forskellige dataset opnår man ens visualisering af plots og de er derfor nemmere at overskue og sammenligne efterfølgende.

JMP skelner mellem 3 forskellige modelleringstyper: Kontinuert, ordinal og nominal. Hver af de tre modelleringstyper benyttes forskelligt og giver forskellige muligheder i programmet, det er derfor vigtigt at hver variabel bliver tildelt den rigtige modellerings- og datatype fra start. Ifølge SAS Institute Inc. [1] skelnes der mellem datatype og modelleringstype, hvor datatypen fastsætter inputværdiens form (eks. tal, bogstaver eller dato).

Programmet har mange funktioner og i dette projekt er der kun brugt få værktøjer herfra. Funktionerne der er blevet benyttet mest i løbet af projektet fremgår herunder beskrevet og hvordan de kan bruges.

2.1.1 Join

Join er en funktion der kan benyttes når man skal samle flere dataset. Andre funktioner kan det samme, men det der er specielt ved join-funktionen er at det er muligt at sammenligne dataset udfra ønskede parametre og derved kun samle de dele af datasættet der er ens på en eller flere parametre. Efterfølgende kan man igen vælge hvilke kolonner/ variable der skal overføres til det nye dataset. For at undgå at der ikke er redundans i datasættet kan de datavariabler der er blevet tjekket for at være ens eksempelvis vælges til kun at blive vist en gang i det nye dataset.

2.1.2 Subset

Subset er en funktion der kan benyttes når man vil dele et dataset op. Eksempelvis hvis det er en kategorisk variabel kan du vælge at lave et subset der kun indeholder en af disse kategorier. Det er også muligt at lave et "tilfældigt" subset der vælger tilfældigt blandt datasættene i hovedfilen. Her kan du selv vælge hvor mange dataset det nye subset skal indeholde. Til sidst kan man navngive det nye subset og gemme det som et script så det er hurtigt kan fremkaldes senere.

2.1.3 Distribution

Distribution er en funktion i JMP der giver mulighed for at visualisere og opsummere data. Der er et utal af muligheder for at gøre plots personlige ved at ændre farver, variabel navne og hvad man ønsker der skal vises i plottet eller tabellen. I denne rapport er der primært benyttet outlier box-plots, histogrammer og opsummeringstabeller. Alt efter hvilken modelleringstype variabelen har, angives forskellige muligheder.

En god feature i distributions-funktionen giver muligheden for at markere et eller flere punkter, bjælker eller en række i en tabel og undersøge dette nærmere. Hvis et punkt er markeret er det ligeledes markeret i datasættet. Derved kan man eksempelvis tjekke detaljer i alle variable for den valgte række. Det er en rigtig god mulighed for at tjekke et dataset, som måske har en angivet værdi der ligger udenfor de andre. Hvis man dobbeltklikker vil der blive lavet et subset med de markerede rækker.

2.1.4 Scatterplot matrix

Scatterplot matrix-funktionen giver mulighed for hurtigt og nemt at overskue forskellige variables sammenhæng. Især ved ens variabeltyper fra flere år som ønskes sammenlignet, er denne funktion et godt redskab. De variable der ønskes sammenlignet indsættes på de to akser og efterfølgende bliver der lavet et scatterplot for hvert mulige par de to akser imellem. Denne funktion giver et hurtigt overblik over om der er nogen form for sammenhæng mellem to variable eller ej.

2.1.5 McNemar's test

JMP gør det nemt at lave en test og det gælder også McNemar's test. Det kræver dog lidt forarbejde før det kan lade sig gøre. Der skal opstilles 3 kolonner og 4 rækker. De første to kolonner indeholder sammensætningen af de forskellige muligheder og den sidste kolonne indeholder antal forekomster af denne mulighed, se evt. vedlagte fil *McNemars_test.jmp*. Det er vigtigt at de to første kolonner får tildelt rang af deres variable. Det gøres ved at markere variabelen og højreklikke, Column Properties → Value Ordering. Dernæst skal den sidste kolonne angives som en "frekuensi". Alt efter hvilken udgave af programmet man benytter gøres det på forskellige måder. Med JMP 13 markeres kolonnen vælg Cols i menuen Cols → Preselect Role → Freq.

Når alle optællingerne og variableerne er på plads bruges "fit X by Y", hvor hver kolonne tildeles sin respektive variabel X eller Y. Der åbnes nu et vindue med en hel masse funktioner. For at lave en McNemar's test skal man benytte det allerede åbnede tabel hvor man kan vælge hvilke udregninger der skal vises. Selve testen af χ^2 som bliver udregnet findes under tilvalget af Agreement Statistic og Bowker's test. En McNemar's test er en 2 x 2 Bowker's test, så længe der ikke er angivet flere end 4 rækker med 2 mulige valg vil dette være tilfældet.

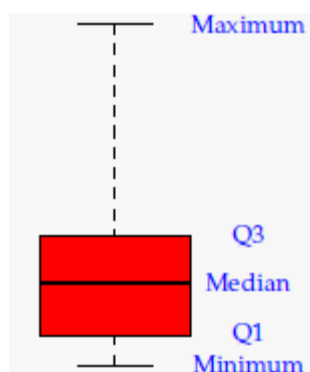
2.1.6 Levene's test

JMP kan lave en Levene's test på to måder: Ved at bruge den indbyggede funktion eller ved at lave en Oneway ANOVA over et allerede bearbejdet dataset. I dette projekt bruges et allerede bearbejdet dataset og derfor vil kun denne metode blive gennemgået.

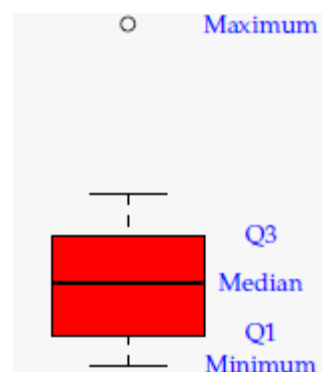
I JMP skal der være angivet to variabler: En kontinuert og en nominal (kategorisk). Den kontinuerte variabel skal være en beregning af Z_{ij} for at det er en Levene's test. Herefter benyttes "Fit X by Y" hvor den kontinuerte variabel indsættes under Y og den nominale variabel indsættes under X. Efterfølgende tilvælges en "Means/ Anova" analyse, se evt. vedlagte fil *Levenes_test.jmp*.

2.2 Outliers boxplot

Et boxplot findes i to udgaver der bruges i to forskellige situationer. Et almindeligt boxplot og et outlier boxplot, på Billede 1 og 2 er vist et eksempel på sådanne.



Billede 1: Almindeligt boxplot [2].



Billede 2: Outlier boxplot [2].

Et outlier boxplot giver mulighed for at se om der er nogle af de indsamlede data der er langt fra de andre. I nogle tilfælde vil man kunne bruge det til at udelukke unøjagtige data og derved gøre det samlede dataset mere præcist. For at finde de datapunkter der er udenfor de andre, bruges IQR (Inter Quartile Range).

$$IQR = Q_3 - Q_1$$

Hvis et datapunkt er $1,5 \times IQR$ større end Q_3 , vil de være udenfor. Ligeledes gælder det, at hvis datapunktet er $1,5 \times IQR$ mindre end Q_1 , vil punktet være udenfor. Et punkt udenfor kaldes en outlier.

2.3 McNemar's test

McNemar's test bruges til at vurdere marginal homogenitet for to kategorier. Denne test kan kun benyttes på nominale modelleringstyper, da det skal være muligt at tælle hvor mange dataset en kategori indeholder. Det kan være svært med en kontinuert variabel, her kan man dog lave den om til en kategorisk variabel ved at inddele det i intervaller, hvis man ønsker at bruge McNemar's test.

Testen starter ud med at opdele optællingerne i et skema som beskrevet af John Uebersax [3]. Efterfølgende beregnes summerne for hver række og kolonne. Marginal homogenitet indebærer at en rækkes sum er lig den tilsvarende kolonnes sum derved fås de to følgende ligninger:

$$\left. \begin{array}{l} a + b = a + c \\ c + d = b + d \end{array} \right\} b = c$$

Nulhypotesen for McNemar's test siger at sandsynligheden for b og c er lig hinanden:

$$H_0 : p_b = p_c$$

Efterfølgende kan McNemar's statistic beregnes:

$$\chi^2 = \frac{(b - c)^2}{b + c}$$

For at teste nulhypotesen bruges χ^2 -fordelingen [2] for 1 frihedsgrad. Resultatets præcision vurderes efterfølgende ud fra skemaet i forskellige kombinationer af den kategoriske variabel. Desværre kan McNemar's test ikke bruges når $(b + c) < 10$.

2.4 Levene's test

Levene's test bruges til at teste om varianserne, variable imellem, er ens. For at man kan lave testen kræver det en kategorisk variabel der er koblet til en kontinuert variabel. Det eneste der skal bruges for at kunne lave en Levene's test derudover er Z_{ij} som beregnes ved at tage den absolutte værdi af hver observation, hvor middelværdien for den respektive kategori er trukket fra [4]:

$$Z_{ij} = |y_{ij} - \bar{y}_i|$$

På denne værdi laves en Oneway ANOVA test. Hvis p-værdien er mindre end signifikansniveauet afvises nulhypotesen:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_t^2$$

3 Datarapport for strækningsskader 2009-2016

Vejdirektoratet har indsamlet data på statsvejnettet fra 2009 til 2016. I dette projekt bruges disse data kun som opslagsværk hvis man finder nogle underlige sammenhænge i VRL 2010-2016 datasættet. Da datasættet ikke benyttes i analysearbejdet, vil det kun være datasættets variable der bliver beskrevet. Datasættene for strækningsskaderne er vedlagt i zip-filen.

3.1 Variabelliste

Nr, Del, Side, Spor, Fra, Til, Slidlag, Slidlag dato, Vejnavn, Distrikt er variable der er med til at indikere hvilken parcel der er tale om i VRL 2010-2016 filerne. De bliver derfor beskrevet og undersøgt hver især i afsnit 4.1 Variabelliste.

Skade overlapper anden strækning: Hvis en detekteret skade fordeler sig over to parceller angives et "Ja" i denne kategoriserede variabel. Hvis ikke dette er tilfældet lades feltet være tomt svarende til "Nej".

Vejklasse: Denne variabel inddeler vejene i 9 forskellige kategorier: Forbindelsesrampe; lokalvej, primær by; motortrafikvej; motorvej; p-plads, sideanlæg; sideanlæg; trafikvej, fordeling land; trafikvej gennemfart land og trafikvej, primær by.

Inspektionsdato: Datoen for den udførte inspektion af parcellen.

Afhjælpning: Garanti periode, mangelansvar på belægnings.

Skade: Når der er observeret en skade inddeles de under denne variabel efter hvilken type skade der er tale om. Der er benyttet 46 forskellige typer skader i 2009 til og med 2013, mens der kun er benyttet 13 forskellige i 2014 til 2016. Dette skyldes at der tidligere er lavet en "udrensning" i de kategorier der har været brugt tidligere kategorierne undersøges og forklares af Niels Dujardin i hans notat [5].

Alvorlighed: Denne variabel inddeler igen skaderne i hvor alvorlige/ store de er i forskellige kategorier. Denne kategoriske variabel beskrives også i Niels Dujardins notat [5], hvor der til sidst er to oversigter over de forskellige kategorier af skader og alvorlighed der blev brugt i 2009-2013 og 2014-nu.

Reg. mængde: Den registrerede mængde af skadens størrelse.

Rep. mængde: Den reparerede mængde er den mængde af skaden der er blevet repareret.

Enhed: Indikerer enheden på den registrerede mængde og den reparerede mængde. Enheden kan være løbende meter, kvadratmeter eller styk alt afhængig af skadestypen.

Prioritet: Prioritering inddeles i 3 kategorier: Akut, i år eller senere. Denne variabel indikerer hvornår skaden bør udbedres. Denne variabel aflæses også i oversigten fra Niels Dujardins notat [5].

Rep. metode: Denne variabel forklarer hvilken metode der anslås at kunne udbedre skaden. Denne variabel aflæses ligeledes af oversigten fra Niels Dujardins notat [5].

Enhedspris: Angiver prisen på en enhed af den angivne skade.

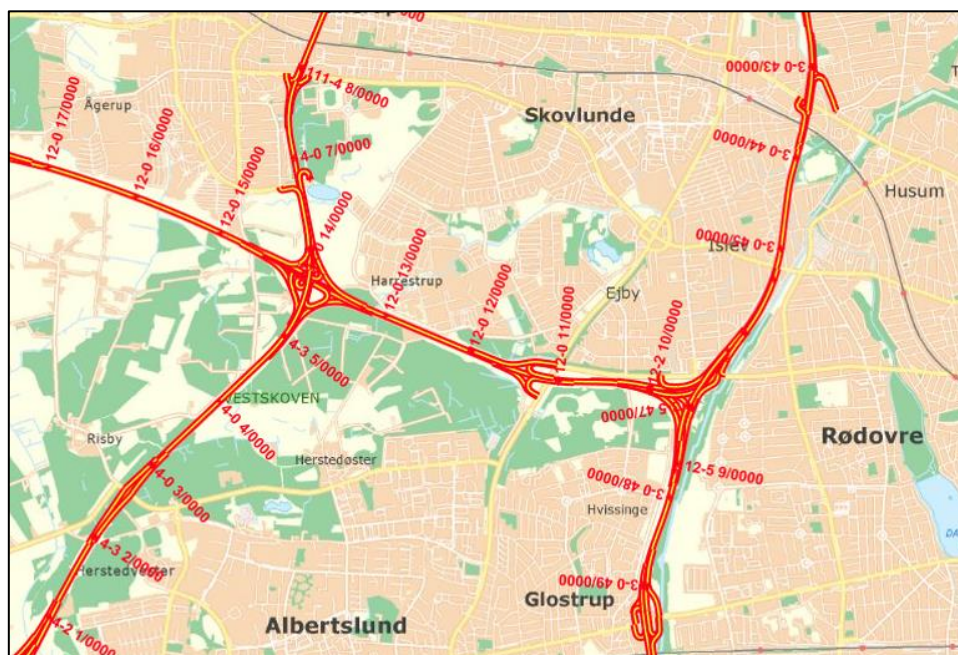
4 Datarapport for VRL 2010-2016

Vejdirektoratet indsamler løbende data fra det danske statsvejnet for at vurdere tilstanden og forudsige hvornår det bedst kan betale sig at reparere, udskifte eller lappe en given parcel. Denne rapport indeholder data fra 2010 til og med 2016. For at have et godt udgangspunkt for videre analyser er datasættet beskrevet og undersøgt. Alle undersøgelserne er lavet på datasættet *subset_før2010 JMP*. Men undtagelse af variabelen "tidligst ny belægning" Denne variabel fjernes fra subsættet og derved undersøges den fra det samlede dataset *dataset_samlet JMP*.

4.1 Variabelliste

Det udleverede data har en del variable, der er meget forskellige, disse kan deles ind i de 3 modeleringstyper der benyttes i JMP (tidligere beskrevet i afsnit 2.1 JMP). De forskellige modelleringstyper benyttes forskelligt og giver forskellige muligheder i JMP. For at give et overblik over datasættet er den enkelte variable beskrevet og de variable med indflydelse på belægningstilstanden er analyseret nærmere i 4.3 Sammenhæng mellem variable.

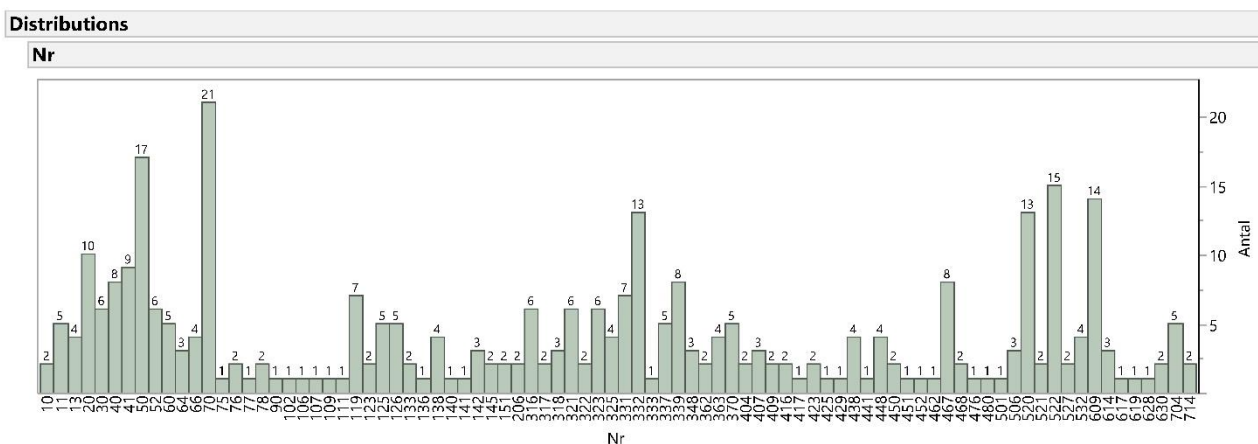
Nr, Side, Spor, Fra kmt og Til kmt er variable der bruges til at stedfæste hvilken vej der er tale om. Det samlede dataset for 2010-2016 består af 783 forskellige parceller efter de 5 variable er blevet sammenlignet (beskrives i afsnit 4.2 Sortering i data). På Billede 3 herunder kan den røde tekst aflæses som Nr-Del og kilometrering.



Billede 3: Udsnit af kort fra vejman.dk [6] der viser de parametre der er tildelt hvert vejstykke.

Nr: Alle veje er nummereret og derved med til at stedfæste hvilken vej der er tale om. I det samlede datasæt på 783 parceller fordeler antallet af vejnumre sig i 106 forskellige kategorier. I JMP

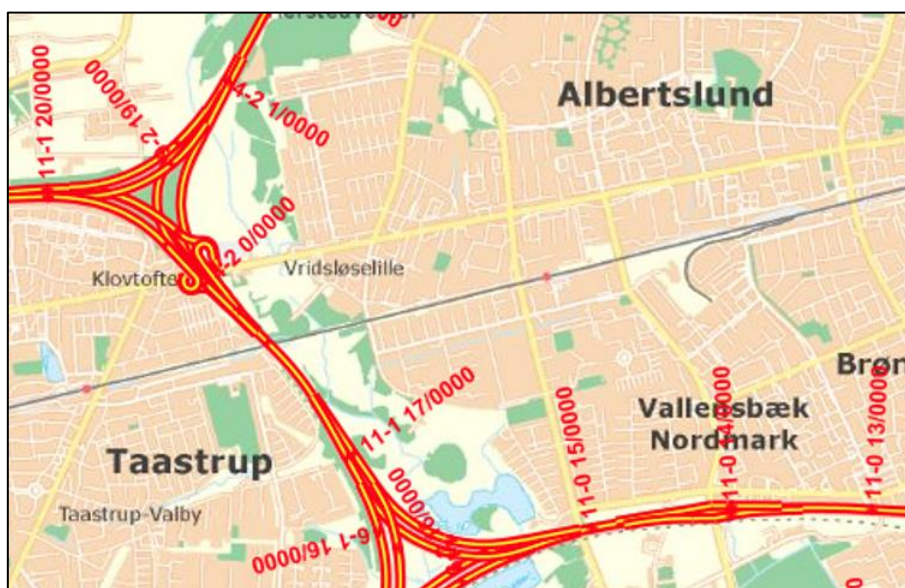
angives denne variabel til nominal modelleringstype og numerisk datatype. På Figur 1 ses fordelingen af vejnumrene på parcellerne hvor en del forekommer meget få gange.



Figur 1: Optælling af forekomster for samme vejnummer.

I de kategorier hvor der er mange forekomster indikerer det at denne vej ikke er blevet brudt op i mindre stykker end hvad der var til at starte med og derved ikke har ændret sin til- og fra-kilometering (beskrives senere i dette afsnit). Det er oplagt at kigge på om der er en sammenhæng mellem antallet af forekomster for Nr og længden af parcellerne i samme kategorier.

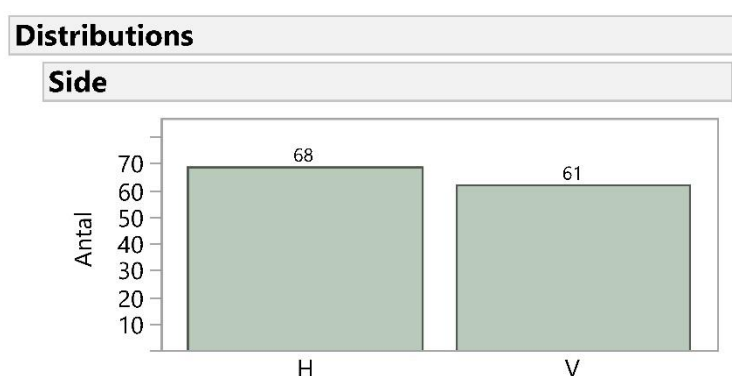
Del: Alle veje er delt op i dele hvor 0 er hovedforløbet af vejen, hernæst kommer vejdel 1 som er en forgrening af vejdel 0 osv. På Billede 4 ses et eksempel på en sådan forgrening. Da vejdelene højere end index 0 ofte bliver repareret samtidigt med hovedforløbet, vejdel 0, benyttes kun vejdel 0 i datasættet (se videre forklaring beskrevet i 4.2 Sortering i data). Del er ligesom Nr en kategorisk variabel og derved angivet som nominal modelleringstype og numerisk datatype.



Billede 4: Et eksempel på en forgrening af vejdelene fra vejman.dk [6].

Side: De fleste veje har et spor til trafikken i begge retninger, herved kan delene igen opdeles i højre og venstre vognbane. Højre og venstre tildeles ved brug af kilometreringen, der kigges i den fortløbende retning hvorved højre side bliver tildelt H, modsat bliver venstre side tildelt V. H og V skiller hvor trafikken i hver retning skiller af en midterhelle.

Side er som de to tidligere variable kategorisk og bliver derfor i JMP angivet som en nominal modelleringstype og karakter som datatype da det bliver angivet som bogstaverne H og V. Figur 2 viser fordelingen af hhv. højre og venstre sider på parcellerne. Til højre på figuren ses en optælling af de to kategorier. Da vejdirektoratets del 0 veje ofte er motorvej vil en stor del af dette datasæt bestå af motorveje der er opdelt i højre og venstre vejside. Hvis ikke der er en midterhelle er der ikke angivet noget i denne variabel.



Figur 2: Optælling af forekomster for Side.

Spør: Nogle veje er blevet opdelt i kørsponsor, eksempelvis en motorvej med 2 spor i hver retning, dette er dog ikke blevet brugt de senere år og der vil derfor ikke være nogle særlige optegnelser af dette. Denne variabel er ikke mulig at sammenligne gennem alle årene, og ses derfor bort fra (som beskrevet i 4.2 Sortering i data).

Fra kmt: På Billede 3 ses et udsnit af et kort hvorpå alle helkilometreringerne er påført og aflæses som tidligere beskrevet. Der er et tal efterfulgt af en streg og dernæst fire tal. De to første tal fortæller kilometer angivelsen. De fire næste tal fortæller meter angivelsen. Kilometer og meter angivelser er kun en stedfæstelse på vejen og kan ikke benyttes til at måle længder, da en kilometer ikke nødvendigvis er 1000 meter. Dette skyldes at vejens forløb ændres over til og for ikke at ændre hele vejens stedfæstelse bliver de enkelte kilometreringer strukket ud eller skubbet sammen. Derfor bruges denne variabel kun til at stedfæste hvilken vej der er tale om gennem projektet, da den ikke kan bruges til andet.

I JMP angives Fra kmt som "ingen" i modelleringstype og "udtryk" i datatype da det er en sammensat variabel. Da den ikke skal bruges til noget specifikt er det derfor ikke nødvendigt at opdele parcellernes helkilometreringer og meterangivelser i to separerede variable.

Til kmt: Til-kilometreringen indikerer hvornår parcellen stopper. Benyttes som tidligere beskrevet Fra kmt. Fra-kilometreringen og til-kilometreringen betegnes kun som stedfæstende og ikke som længde, da antal meter per kilometer ikke er entydig.

Areal, m²: Vejens faktiske areal – ikke målt med målekøretøj. Det bliver målt med enten løbehjul, på ortofoto eller via trigonometriering i frontview billeder.

Denne variabel angives som kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP. Da det er en kontinuert variabel opsummeres den bedst i et boxplot, 2016 vises på Figur 3 til højre. De resterende kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016, der er dog ikke den store variation mellem årene. Der er stor forskel på minimum og maksimum derfor er der brugt et outlier boxplot for at se om nogle af parcellernes areal falder udenfor. I 2016 er der 48 outliers, som svare til 6 %. Det viser at parcellernes arealer er meget forskellige og det er derfor ikke ensbetydende med at de 48 parceller bør frasorteres.

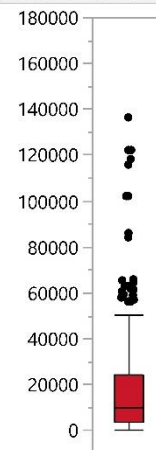
Areal og Længde er begge variable der anslår størrelsen på parcellen. Det er derfor oplagt at undersøge om der er nogen sammenhæng mellem de to variable.

Længde, m: Vejens faktiske længde, hvilket kan være noget andet end vejens stedfæstelse antyder, da kilometreringen i stedfæstelsen kan ændre sig ved udvidelser eller ombygning af vejen.

Denne variabel er ligeledes Areal angivet som kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP. Den opsummeres derfor i et boxplot, 2016 ses på Figur 4 til højre. De resterende kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016, der er dog ikke den store variation mellem årene. Der er stor forskel mellem minimum og maksimum derfor benyttes et outlier boxplot for at se om nogle af parcellernes længde falder udenfor. I 2016 er der 47 outliers, som svare til 6 %. Det viser at parcellernes længde er meget forskellige og det er derfor ikke ensbetydende med at de 47 parceller bør frasorteres.

Slidlag: Det nuværende slidlag. De to mest brugte slidlag er SMA (stone mastic asphalt) og ABS (Asfalt Beton med stålslagge) eller AB (Asfalt beton) med et tilsætningsstof. ABS blev brugt for 15 år siden og vil derfor forekomme på mange af de ældre veje der ikke er blevet renoveret. SMA er en nyere type belægning der holder bedre end ABS, dog er det en smule dyre og derfor fravælges det i nogle tilfælde hvor den ekstra kvalitet ikke er nødvendigt. Tallene foran slidlagstypen fortæller hvor tykt slidlaget er i kg/m².

Areal, m² of 2016

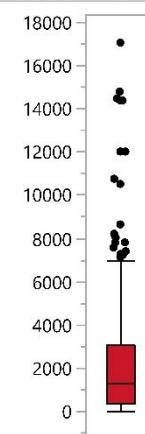


Summary Statistics

Mean	18595,215
Std Dev	22347,609
N	335
Minimum	151
Maximum	136200

Figur 3: Boxplot og opsummering af variabelen Areal for 2016.

Længde, m of 2016



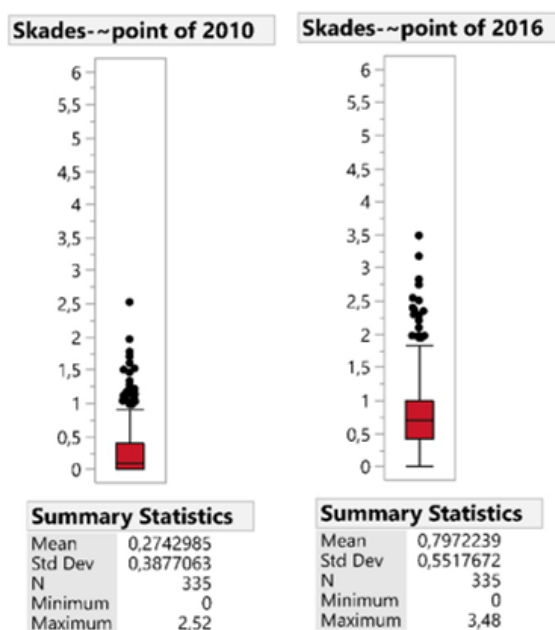
Summary Statistics

Mean	2242,4955
Std Dev	2719,2896
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

Figur 4: Boxplot og opsummering af variabelen Længde for 2016.

udfra hvad der er mest økonomisk fordelagtigt. Skadespointet varierer meget fra 2010 til 2016 som det kan ses på Figur 6. De resterende mellemliggende år kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016. På figuren nedenfor ses hvordan maksimum er faldet 2,3 point på 6 år. Når en parcel har fået et nyt slidlag går der typisk 5 år før parcellen igen bliver tjekket pga. garantiperiode også kaldt ”mangelansvar på belægninger”. Den bør derfor ikke indgå i optimeringsberegningerne.

Skadespoint og Levetid bør have en sammenhæng og det bliver derfor undersøgt i afsnit 4.3 Sammenhæng mellem variable.



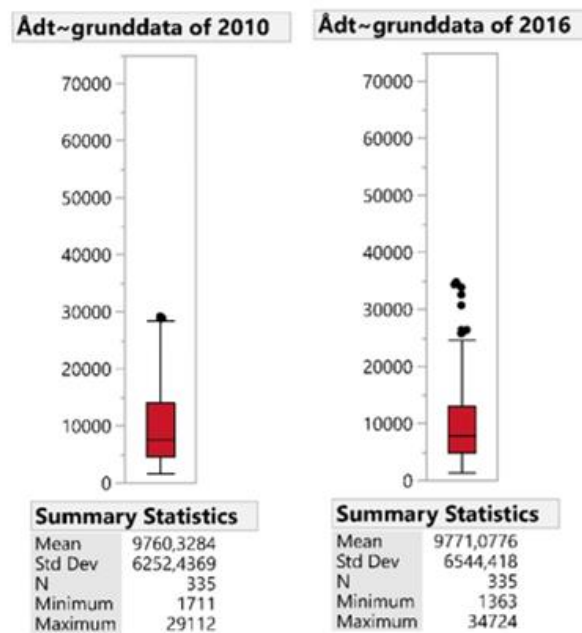
Figur 6: Boxplot og opsummering af variabelen Skadespoint for 2010 og 2016.

SP - bæreevne: Skadespoint bæreevne måles kun hvis der er mistanke om at vejens underliggende lag er beskadiget eller har betydende indflydelse på vejens vurderet rest levetid. Denne variabel vurderes ikke løbende og kun i få tilfælde og benyttes derfor ikke til videre analyser (se uddybende forklaring i afsnit 4.2 Sortering i data).

Ådt - grunddata: Årsdøgn trafik måles over et år og heraf beregnes hvor mange biler per døgn der i gennemsnit på et år køre på den givne parcel. Denne bruges til at beregne brugeromkostninger. Hvis en vej er ujævn er der øgede omkostninger til benzin og reparationer for den enkelte bruger af vejen. Derfor vil ujævne veje med stor Ådt have en stor brugeromkostning og dermed større sandsynlighed for at blive udpeget til slidlags fornyelse.

Ådt angives som kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP og derved benyttes et boxplot til at undersøge variabelen for hvert år. Nedenfor på Figur 7 viser Ådt i 2010 og 2016, hvor der er en tydelig udvikling. Se boxplots og opsummeringer for Ådt af de mellemliggende år i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016. Udviklingen fra 2010 til 2016 viser at

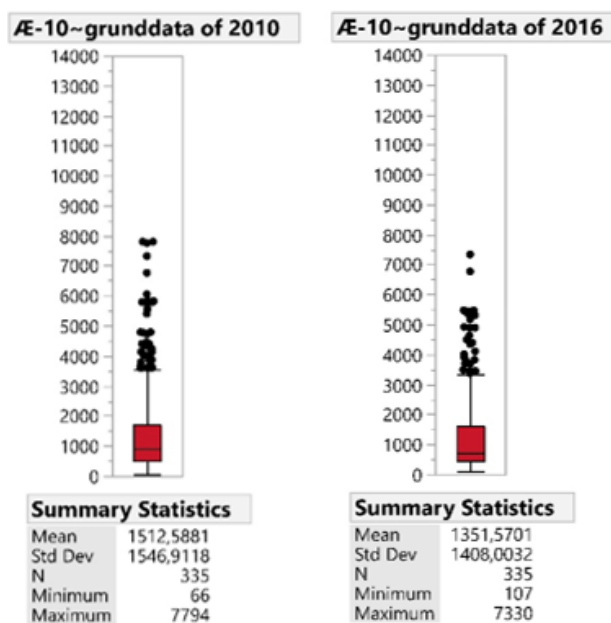
trafikken er blevet mindre på den enkelte parcel på års basis. Dette stemmer ikke overens med statistikbanken [7] der viser at antallet af køretøjer næsten er fordoblet fra 2010 til 2016. En anden forklaring kan være at der er kommet flere veje til der aflaster de tidligere veje, men statistikbanken [8] modbeviser dette igen. En sidste mulighed kunne være at udbygge de allerede eksisterende parceller med flere spor og derved vil de parceller med høj Ådt i 2010 have angivet en vejside. Dette er værd at undersøge om der er en sammenhæng mellem Ådt på >55000 og en tilhørende vejside.



Figur 7: Boxplot og opsummering af variabelen Ådt - grunddata for 2010 og 2016.

Æ-10 - grunddata: Ækvivalent 10-tons akse beskriver hvor meget tung trafik der er på den givne parcel. Hvis der kører mange lastbiler skal vejen kunne holde til mere end hvis det var en personbil. Vejens bæreevnen bestemmes næsten udelukkende af lastbiltrafikken, da der skal ca. 1000 personbiler til at trykke det samme som én lastbil.

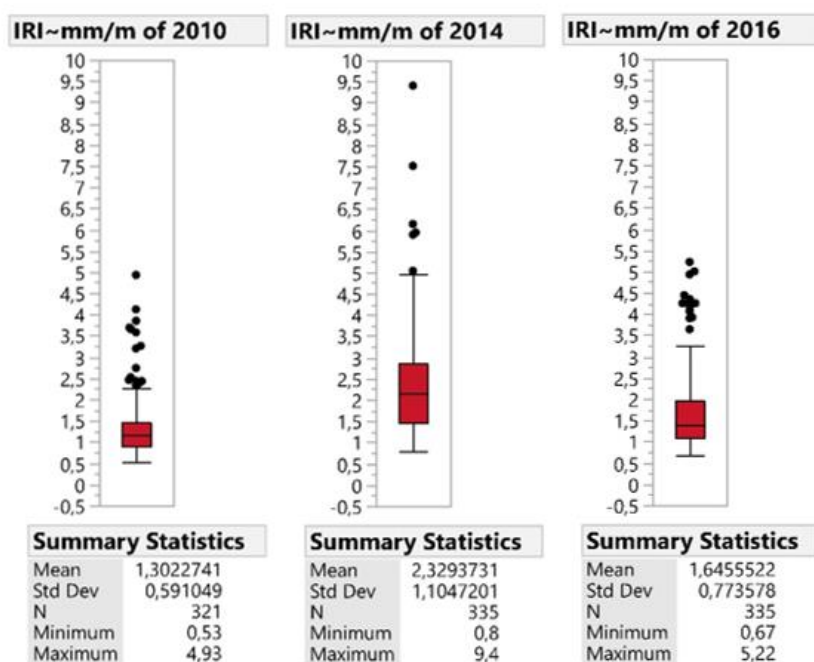
Danne variabel er angivet som kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP. Da modelleringstypen er kontinuert anvendes et boxplot til at opsummere variabelen. På Figur 8 vises Æ-10 for 2010 og 2016, boxplot og opsummering af de mellemliggende år kan findes Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016. I 2010 og 2016 er der 58-60 outliers som er svarende til 7,5 % af det samlede datasæt. Disse outliers ændres over tid og det kan måske kædes sammen med at der er vejarbejde og derved andre veje der belastes mere i en periode. Det kunne være spændende at se om der er en sammenhæng mellem Æ-10 og Ådt der begge er variable der beskriver trafikbelastningen på et vejstykke.



Figur 8: Boxplot og opsummering af variabelen Æ10 - grunddata for 2010 og 2016.

IRI, mm/m: International roughness index beskriver jævnheden på den givne parcel. I Danmark stræbes der efter et index på maksimalt 2 mm/m og gerne under. Jævnheden har indflydelse på kørekomforten, det er eksempelvis ikke komfortabelt at køre på en vej fyldt med huller.

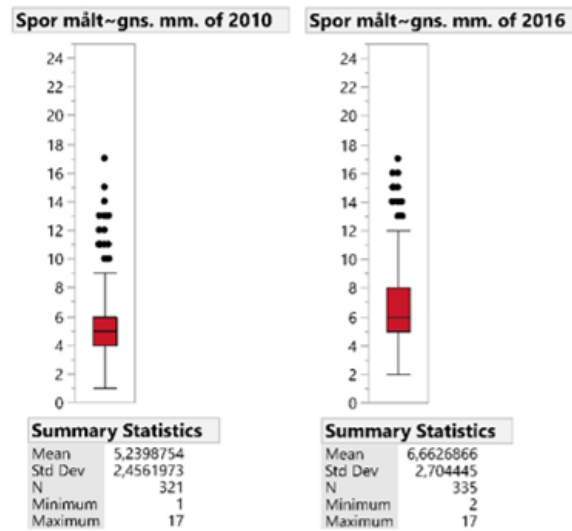
Denne variabel angives som kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP. Der benyttes et boxplot til at overskue hvordan IRI fordeler sig gennem de 7 år. Nedenfor på Figur 9 ses IRI for hhv. 2010, 2014 og 2016, de mellemlæggende år kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016. 2014 falder udenfor de andre år da der er en del parceller med høj IRI-værdi. Vejret kan have en indflydelse på dette, ifølge Danmarks Meteorologiske Institut [9] var vinteren mellem 2013/ 2014 med meget nedbør. Dette kan muligvis have indflydelse på at 2014s middelværdi er højere end det maksimalt ønskede index på 2.



Figur 9: Boxplot og opsummering af variabelen IRI for 2010, 2014 og 2016.

Spor målt, gns. mm: En sporkøring gør det muligt at se hvor meget vejen har deformeret sig i hjulsporene. Ved et spor på gennemsnitligt 15 mm vil slidlaget eller underliggende lag skulle skiftes for at køretøjer ikke skal have risiko for at aquaplane.

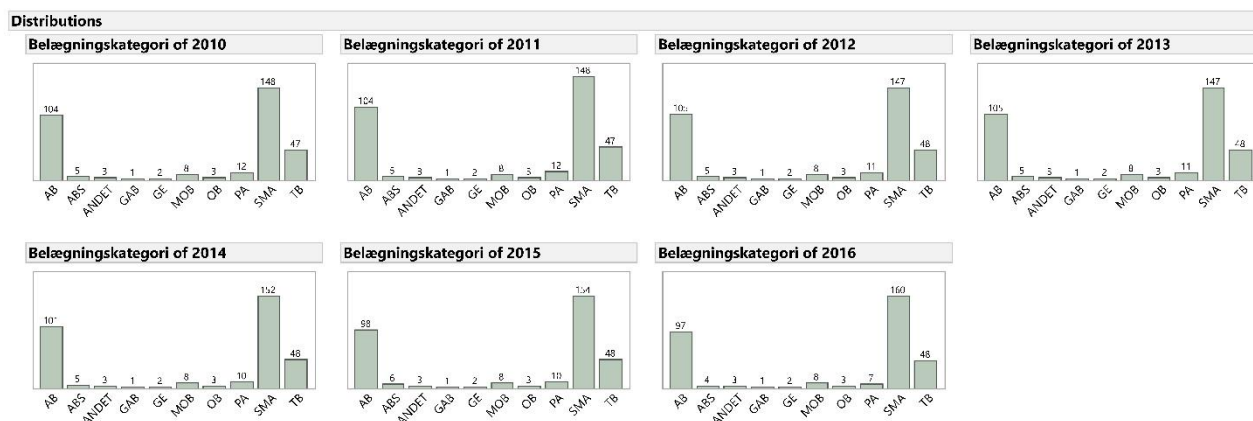
Denne variabel er angivet til kontinuert modelleringstype og numerisk datatype i JMP derfor benyttes et boxplot til at undersøge hvordan variabelen varierer for hvert år. På Figur 10 kan det ses at den ikke varierer meget. Det samme gælder for de mellemliggende år som kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016.



Figur 10: Boxplot og opsummering af variabelen Spor målt for 2010 og 2016.

Belægningskategori: Slidlagstypen der er på den givne parcel. Er tidligere beskrevet under slidlag hvor det er en sammensat variabel.

På Figur 11 nedenfor kan fordelingen af belægningskategorierne ses for hvert år. Som tidligere beskrevet er det AB, ABS og SMA der er de mest brugte belægningstyper som det også fremgår af figuren. Det kunne være spændende at se på om man har brugt en speciel type belægning hvor der er meget trafik. Hvis dette er tilfældet kan der måske være en sammenhæng mellem en kategori i belægningstype og Ådt eller Æ-10.

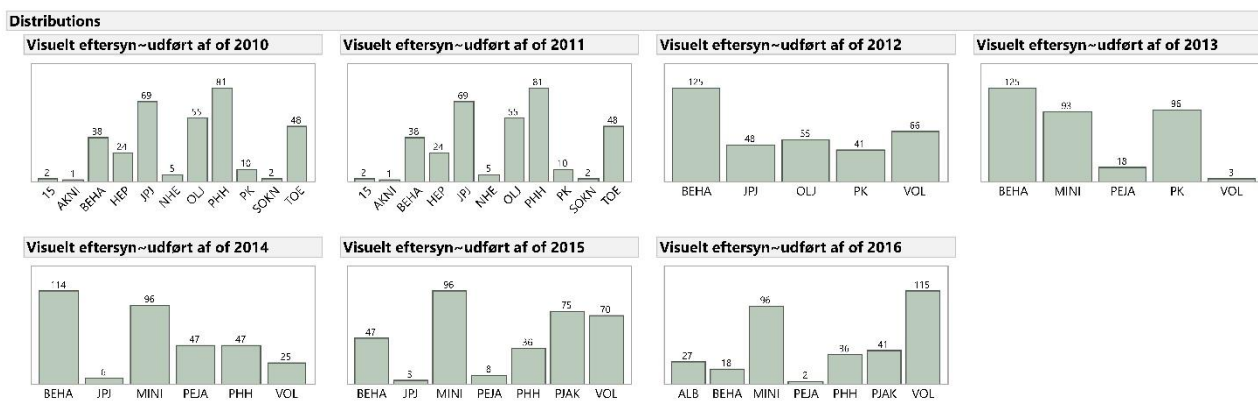


Figur 11: Optælling af de forskellige belægningskategorier.

Dato for visuelt eftersyn: Datoen for hvornår der sidst blev lavet et visuelt eftersyn, de fundne skader kan ses i det tilhørende skades ark.

Visuelt eftersyn udført af: Initialer på hvem der har udført eftersynet. System er en default hvis der ikke er blevet anført noget.

Alle der har udført et visuelt eftersyn fra 2010 til 2016 er listet op nedenfor på Figur 12 efter hvor mange de har lavet for hvert år. Alle er blevet instrueret ligedan i hvordan eftersynet skal udføres og derfor bør der ikke være forskel på hvordan de forskellige har vurderet den enkelte parcel. Der vil derfor ikke være flere undersøgelser hvor denne variabel indgår.



Figur 12: Optælling af de forskellige der har udført det visuelle eftersyn.

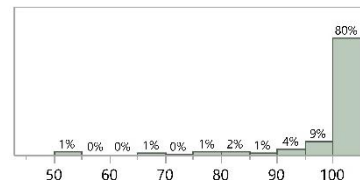
Ådt - måleår: Hvilket årstal årsdøgns trafikken er målt.

Vejnavn: Vejens navn.

Belægning, andel i %: Den anførte belægning er ikke altid 100% det samme over hele strækningen, derfor angives det hvor meget i % der er den angivne belægning. Hvis andelen er under 2/3 kan det begynde at have indflydelse på at vejen nedbrydes uens over parcellen. Parcellen kan derfor senere blive splittet op.

På Figur 13 ses hvordan belægningsandelen er fordelt i procent for 2016, de resterende år fra 2010 kan ses i Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016. Så længe andel er høj vil det ikke have nogen betydende indflydelse på hvordan strækningen nedbrydes over tid.

Belægning~andel i % of 2016



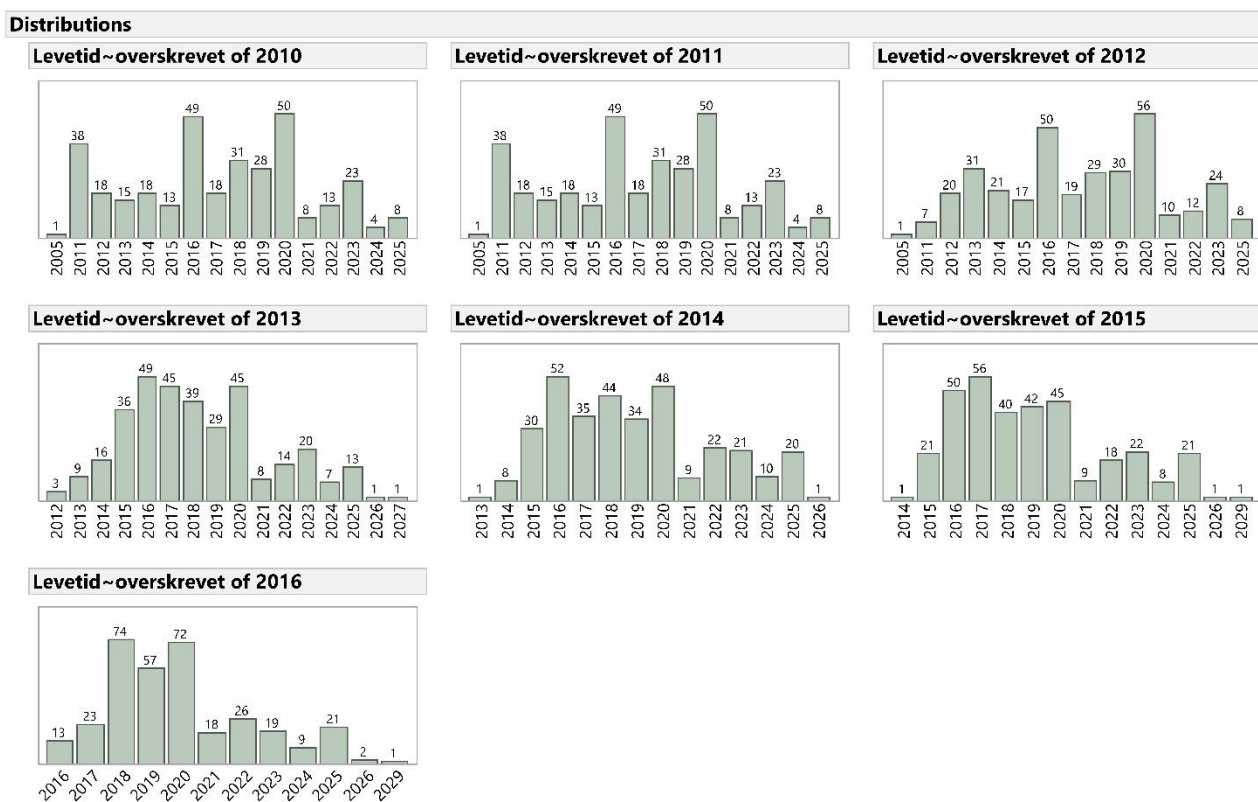
Summary Statistics

Mean	97,483582
Std Dev	8,0599661
N	335
Minimum	50
Maximum	100

Figur 13: Optælling af procent belægningsandel for 2016.

Levetid - overskrevet: Levetid beskriver hvornår der forventes at slidlaget skal skiftes. Efter de første 5 år vil man typisk begynde at kigge på hvor hurtigt den nedbrydes, der vil derfor ikke være nogle data hvis slidlaget er under 5 år gammelt. Årstallet for hvornår slidlaget estimeres til at skulle skiftes kan godt ændre sig over tid og dette vil blive en stor del af den første del af analysen.

Denne variabel er angivet som nominal modelleringstype og numerisk datatype i JMP. Denne variabel er meget interessant for videre undersøgelser, da det er den hele optimeringsprocessen bygger ud fra, hvornår bør en given parcel få et nyt slidlag. På Figur 14 nedenfor ses fordelingen af levetiden for 2010 til 2016, og den varierer rigtig meget fra år til år. En parcel kan få forlænget sin levetid hvis den bliver repareret/ lappet eller hvis man planlægger et større vejarbejde der gør at slidlaget eller måske hele vejen alligevel vil blive skiftet. Levetiden vurderes ikke indenfor de første år pga. garanti (som tidligere beskrevet) derved kan den springe når der efter ca. 5 år vil blive lavet en vurdering. Variablen er som sagt en vurdering af vejens samlede tilstand og indeholder derfor et sammensurium af overfladeskader og andre visuelle defekter på vejen. Parameteren vil blive analyseret nærmere senere i rapporten.



Figur 14: Optælling af levetiden for 2010-2016.

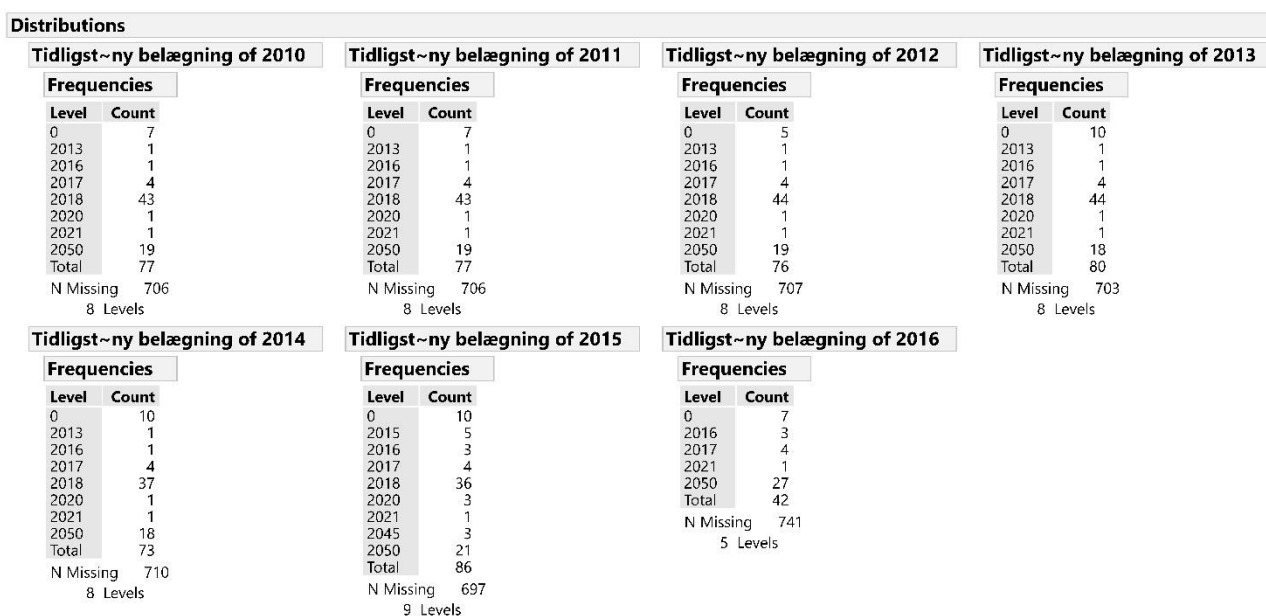
Æ-10 - måleår: Årstallet for hvornår parcellen er målt for ækvivalent 10-tons akse. Dette vil være samme årstal som Ådt, da det er samme metode der benyttes til denne type målinger.

IRI - måleår: Årstallet for hvornår IRI data er indsamlet.

Sporkøring - måleår: Årstal for hvornår sporkøringen er lavet. Dette årstal er ofte det samme som IRI måleår da disse to bliver målt samtidig.

Tidligst ny belægning: Benyttes til at fortælle hvis der er planer om anden renovering af vejen. Hvis eksempelvis en vej skal udvides eller der skal graves ny kloakering i vejen, skal der ikke lægges nyt slidlag inden dette arbejde er overstået. Derfor vil en belægning ikke kunne få nyt slidlag før datoen for "tidligst ny belægning".

Denne variabel er angivet som nominal modelleringstype og numerisk datatype i JMP en optælling er derfor en god ide for denne variabel. På Figur 15 ses optællingen af hvornår der tidligst bør lægges ny belægning på en parcel for 2010 til 2016. Mange parceller har ikke nogen værdi angivet for denne variabel og derved er der ingen indflydelse på levetiden ud over den der er vurderet ved eftersynet. Det kan senere være en ide at fjerne de parceller hvor der er en værdi for denne variabel da det netop har indflydelse på levetiden.



Figur 15: Optælling af hvor mange og hvornår der tidligst skal lægges ny belægning.

Distrikt: I de tidlige data filer benyttes tal for hvert distrikt, men senere hen navne fordi der gør det mere overskueligt. Denne variabel er ikke vigtig, da vejene bliver stedfæstet på de fem tidligere nævnte variabler.

4.2 Sortering i data

Alle de variabler der er indsamlet for hver parcel, for hvert givent år er ikke brugbare i alle sammenhænge. Det gør processen mere overskuelig hvis disse fra sorteres hurtigt. Variablerne vejnavn og distrikt fjernes da dette kan findes ud fra vejnummeret. Efterfølgende fra sorteres de mindre veje. De mindre veje som eksempelvis motorvejstilkørsler bliver renoveret samtidig med hovedvejsforløbet da det bedst kan betale sig. De eneste vejdele der kigges på vil derfor være dem med index 0. Efterfølgende kan det ses at alle optegnelser af variabelen spor er blanke og denne variabel er derfor heller ikke relevant for analysen af datasættet.

SP-bæreevne vurderes kun i særlige tilfælde hvor man kan have mistanke om de underliggende lag er beskadiget og har indflydelse på vejens levetid. Dog er det ikke en variabel der bliver vurderet løbende og den bliver derfor fjernet da der ikke er noget sammenligningsgrundlag.

For at kunne sammenligne parcellerne direkte er de nødt til at være ens gennem alle årene fra 2010 til 2016. Løbende har personalet der har udført det visuelle eftersyn ændret i de store parceller og gjort dem mindre hvis han/hun vurderede at vejen ikke blev nedbrudt på samme måde hen over hele parcellen. Gennem de 7 år er der derfor kommet flere og flere parceller, nogle er dog forblevet det samme og det er dem der vil blive brugt i analysen. For at fra sortere de parceller der ikke kan vurderes direkte fra 2010 til 2016 skal følgende variabler være ens for et givent datasæt: Nr, side, fra kmt og til kmt.

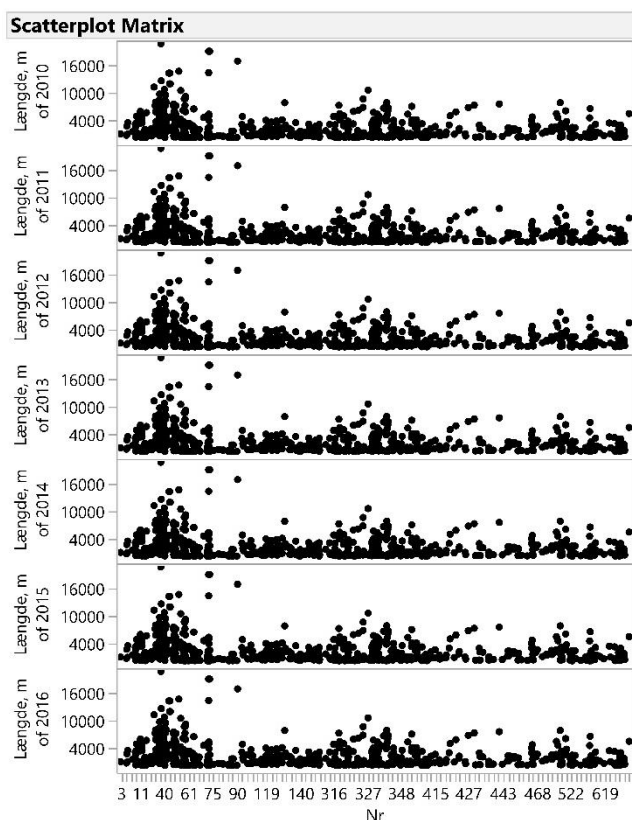
I JMP benyttes JOIN-funktionen til at samle et datasæt der er sammenligneligt fra 2010 til 2016. For at kunne have tidsserier for hver parcel der ikke pludselig springer fordi den får nyt slidlag fjerner jeg de parceller fra det samlede datasæt som i 2016 blev indført til at have et nye slidlag før 2010 hvor tidsserien starter.

Det samlede datasæt efter sorteringen indeholder i alt 783 forskellige parceller som kan ses i den vedlagte zip-fil, *dataset_samlet.jmp*.

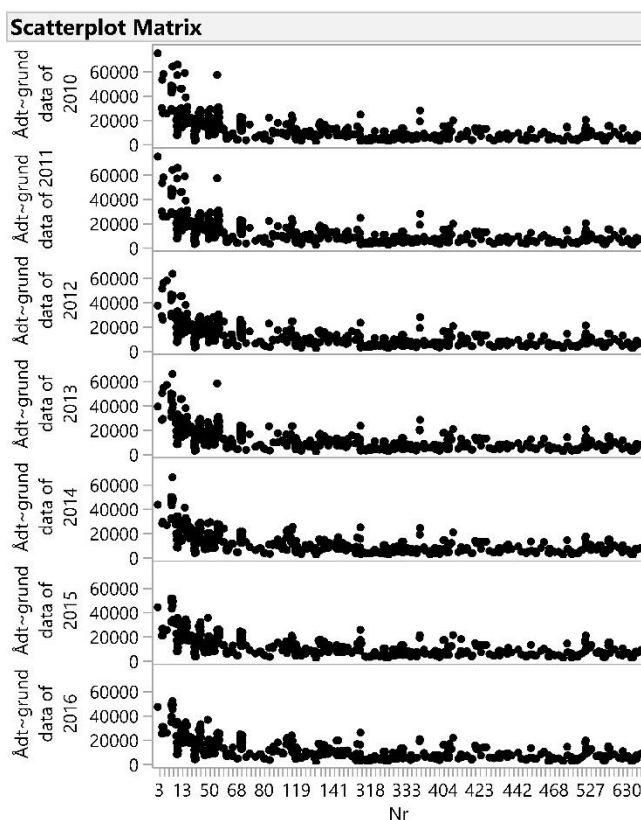
4.3 Sammenhæng mellem variable

Sammenhængene som i afsnit 4.1 Variabelliste blev fundet interessante, vil i dette afsnit blive kigget nærmere på en ad gangen. Sammenhængene bliver afbilledet med scatterplots. De kategoriske variable er knap så gode at afbillede på denne måde, men den smule der kan komme ud af det er bedre end ingenting.

På Figur 17 ses et scatterplot mellem variabelen Nr og Længde. Scatterplottet viser at der ikke åbenlyst er en sammenhæng mellem en vejs nummer og dens længde. Det kan ses på figuren at vejene med lavere vejnummer har en tendens til at blive delt op i længere parceller end dem med højere vejnummer.



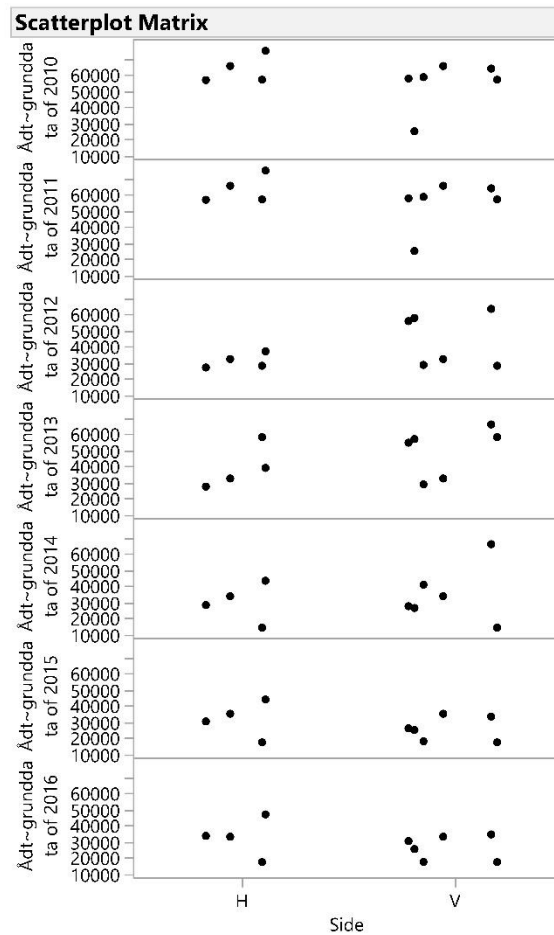
Figur 17: Scatterplot af Nr og Længde



Figur 16: Scatterplot af Nr og Ådt-grunddata

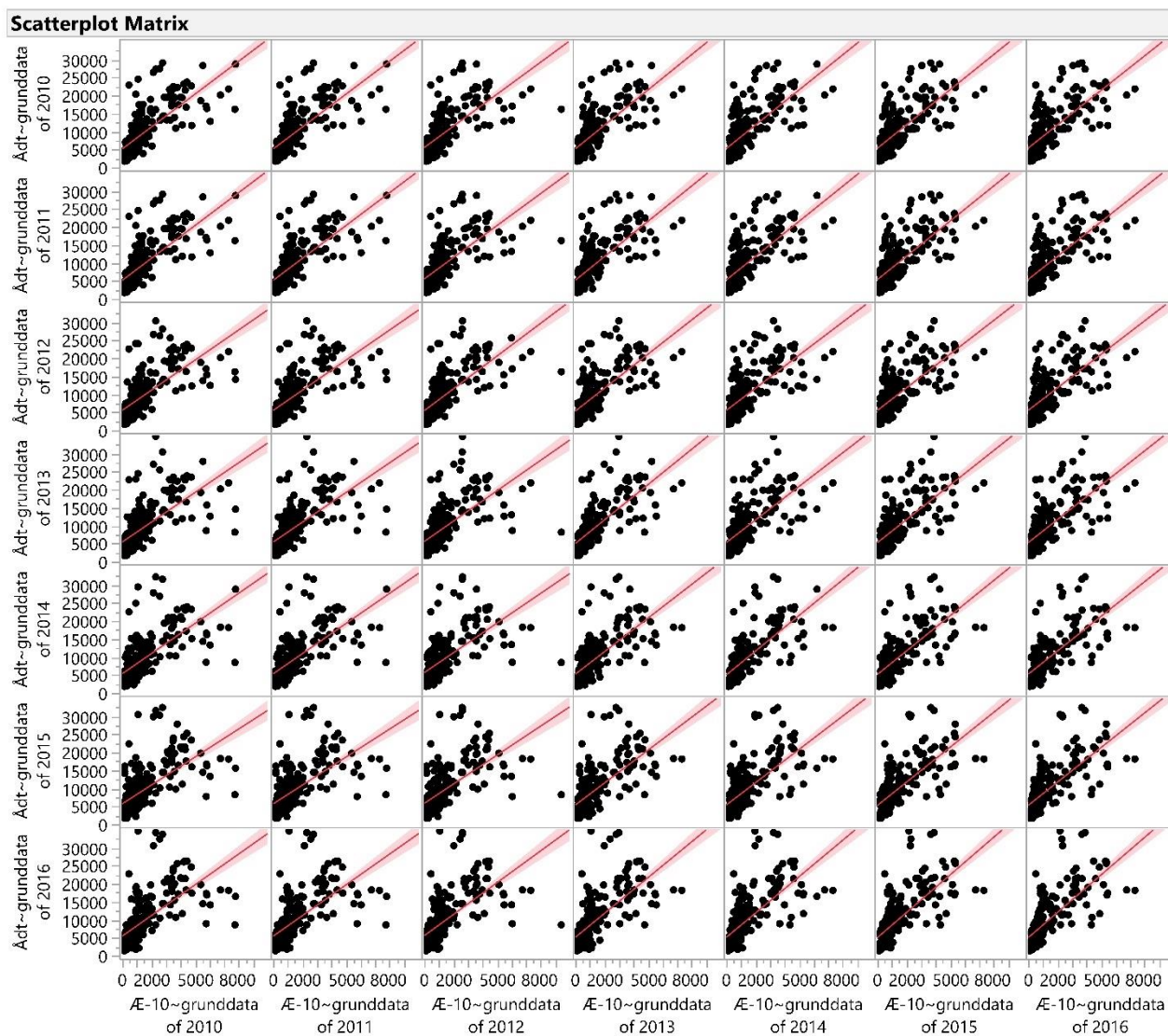
På Figur 16 ses et scatterplot mellem variabelen Nr og Ådt-grunddata. Inden scatterplottet blev lavet blev der antaget at der ikke var nogen sammenhæng. Scatterplottet viser at der ikke åbenlyst er en sammenhæng mellem en vejs nummer og årsdøgnstrafik. Det ser dog ud til at vejene med lave vejnumre har en tendens til at have en større årsdøgnstrafik.

I afsnit 4.1 Variabelliste så man at Ådt havde nogle outliers der var en del udenfor disse bliver nu undersøgt nærmere. På Figur 18 ses et scatterplot over 35 parceller som alle i løbet af de 7 år havde en årssdøgnstrafik over 55000 mindst et år. Alle de 35 parceller havde en vejside angivet. Det er altså veje der er opdelt eksempelvis en motorvej. Det giver derfor mening at der er en sammenhæng mellem en høj årssdøgnstrafik og vejens størrelse eller sikkerhed.



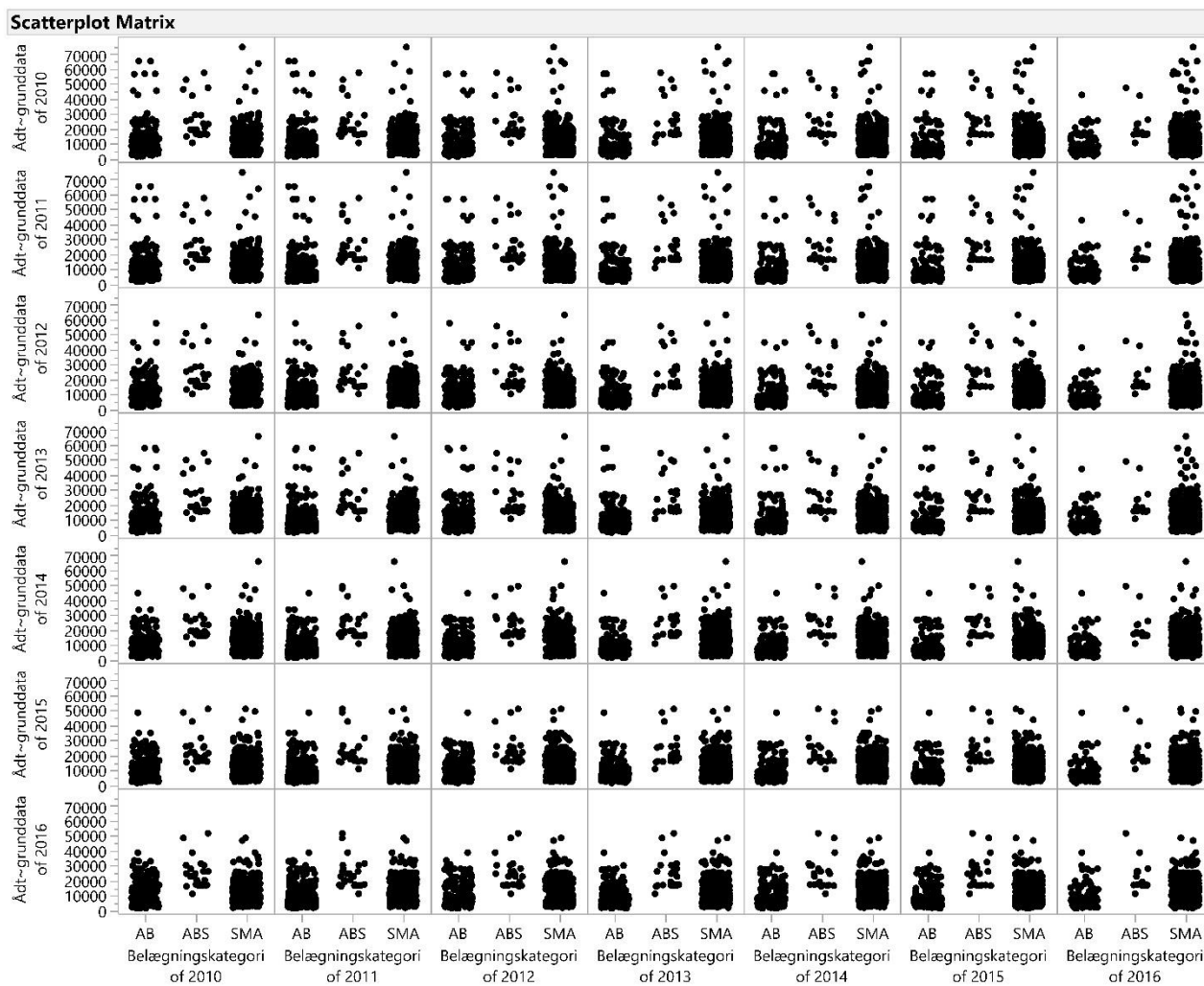
Figur 18: Scatterplot af Side og Ådt-grunddata.

Årsdøgnstraffik og ækvivalent 10-tons akse er begge variabler der beskriver hvor meget en parcel bliver brugt. Der bør derfor være en sammenhæng på en eller anden måde de to variabler imellem. På Figur 19 ses et scatterplot for Ådt grunddata og Æ10 grunddata for hvert af de 7 år. Det ses tydeligt på scatterplottet at der er en form for sammenhæng mellem de to variabler. Når Æ-10 vokser, vokser Ådt også. Da de i bund og grund beskriver det samme var det også at forvente de havde denne sammenhæng.



Figur 19: Scatterplot af Ådt grunddata og Æ-10 grunddata.

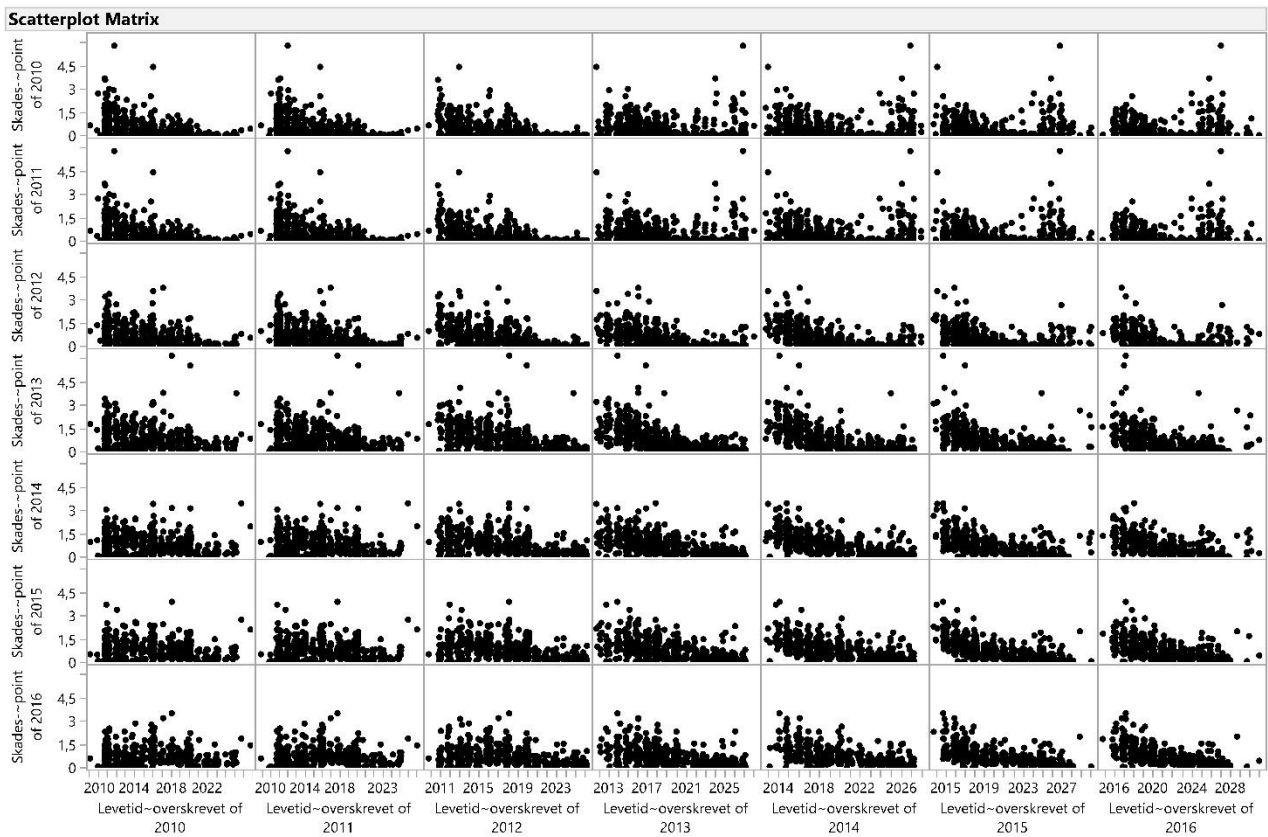
De tre største kategorier er også de 3 mest brugte former for belægning. Disse 3 kategorier undersøges for at have en sammenhæng med Ådt og Æ-10. Det undersøges for at se om trafikbelastningen har indflydelse på hvilken belægningstype der bliver valgt. På Figur 20 ses et scatterplot af Ådt og de 3 belægningskategorier, AB, ABS og SMA. På figuren ser det ud til at der er en tendens til at vælge ABS fremfor AB og SMA når trafikbelastningen er høj. Der er dog ikke en skarp opdeling og der er derfor sikkert flere parametre der spiller ind i valget af belægningstype.



Figur 20: Scatterplot af de 3 største/ mest normale belægningskategorier og Ådt grunddata.

Tidligere er der vist at der er en sammenhæng mellem Ådt og Æ-10. Et scatterplot mellem de 3 belægningskategorier og Æ-10 ser ikke ret meget anderledes ud og kan findes i Bilag B: Scatterplot af Belægningskategori og Æ-10.

Levetid og skadespoint er begge variabler der indikere hvornår vejen bør repareres. Levetiden anslår hvornår der bør lægges et nyt slidlag, mens skadespoint angiver vejens tilstand nuværende. Derved bør et lavt skadespoint give en lang levetid. På Figur 21 ses et scatterplot af levetiden og skadespointet. Det ser ud til der er en lille sammenhæng, men ikke så markant som forventet. Denne sammenhæng lægger op til at skulle undersøges mere og vil derfor være hovedspørgsmålet i analysen for at se hvilken sammenhæng der er mellem de to variable.



Figur 21: Scatterplot af Skadespoint og Levetid

5 Analyse af data fra 2010 til 2016

I dette afsnit vil der blive lagt vægt på at analysere levetiden og skadespointet. Levetiden og skadespointet er to af de parametre der har indflydelse på de økonomiske optimeringsberegningerne. Optimeringerne benyttes til at bevare vejkapitalen på den billigste måde og dermed, på lang sigt, sikre bedst mulige veje for pengene. Jeg vil i analyserne undersøge om den nuværende metode til at bestemme skadespoint og levetid er retvisende til at forudsige 4 års budgettering eller helt op til 10 år for optimeringerne.

5.1 Gruppering af data

Levetiden vurderes bedst ved at dele datasættet op i 2: dem der i 2016 har et slidlag før 2010 og dem der i 2016 har et slidlag 2010 og senere. Dette gør at man i analyserne ikke skal tage hensyn til at et nyt slidlag gør at levetiden bør stige drastisk. Der kigges kun på da dataset som har et slidlag der er fra før 2010. Dette subset findes ved at lave en ny variabel der kun indeholder årstallet fra variabelen Slidlag - udført (2016). Det nye subset består af 452 parceller og kaldes subset_før2010, filen kan findes i den tilhørende zip fil med data.

Nogle af parcellerne har ikke komplette tidsserier af levetiden eller skadespointet, disse fra sorteres. Variablen "Tidligst ny belægning" har indflydelse på levetiden fjernes de parceller hvor denne er angivet. Dette giver et datasæt bestående af 335 parceller.

For at kunne vurdere om det har været vejret der har forværret en parcel mere end normalt antaget er subsættet nødt til at blive vurderet ud fra hvor mange gange en parcels levetid er faldet eller steget. Der tilføjes derfor en ny kolonne, som beregner hvor mange gange en parcels levetid stiger og en tilsvarende ny kolonne der beregner hvor mange gange en parcels levetid falder. Det samme gælder for skadespointet, hvor der også bliver lavet to tilsvarende kolonner.

5.2 Visualisering af skadespoint og levetid

For at undersøge skadespoint og levetids sammenhæng mere detaljeret opstilles tidsserierne for hhv. skadespoint og levetid for at se hvordan de udvikler sig. Nedenfor vil 3 tilfælde blive gennemgået. De tre tilfælde viser et godt billede af hvordan størstedelen af tidsserierne viser sig at se ud. Alle tidsserierne kan findes i Bilag C: Analyse skadespoint og levetid. Tidsserierne er opdelt efter antal gange skadespointet stiger og falder. Før tidsserierne er relevante at kigge på bliver der opstillet hvilke forventninger der er i forskellige situationer:

Tre mulige udfald af levetidens udvikling:

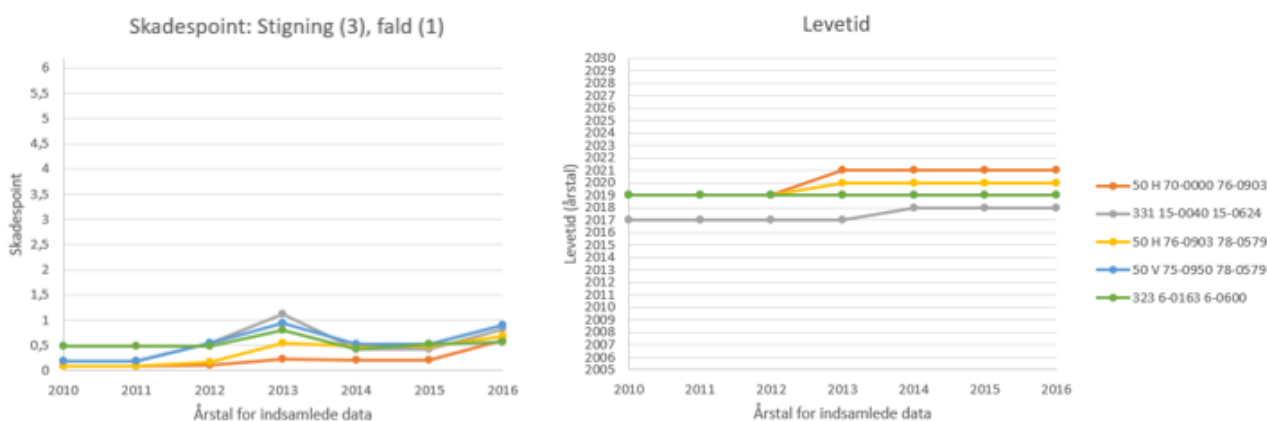
- Levetiden forbliver det samme: Parcellen vurderes som forventet for hvert år.
- Levetiden stiger: Parcellen vurderes bedre end forventet for hvert år.
- Levetiden falder: Parcellen vurderes dårligere end forventet for hvert år.

I forhold til skadespoint er der fire mulige udfald der påvirker levetiden:

- Skadespointet stiger som forventet: Levetiden bør forblive det samme.
- Skadespointet stiger mere end forventet: Levetiden bør forringes.
- Skadespointet falder som forventet (efter reparationer): Levetiden bør forblive det samme eller falde til det tidligere forventede.
- Skadespointet falder mere end forventet (efter reparationer): Levetiden bør øges.

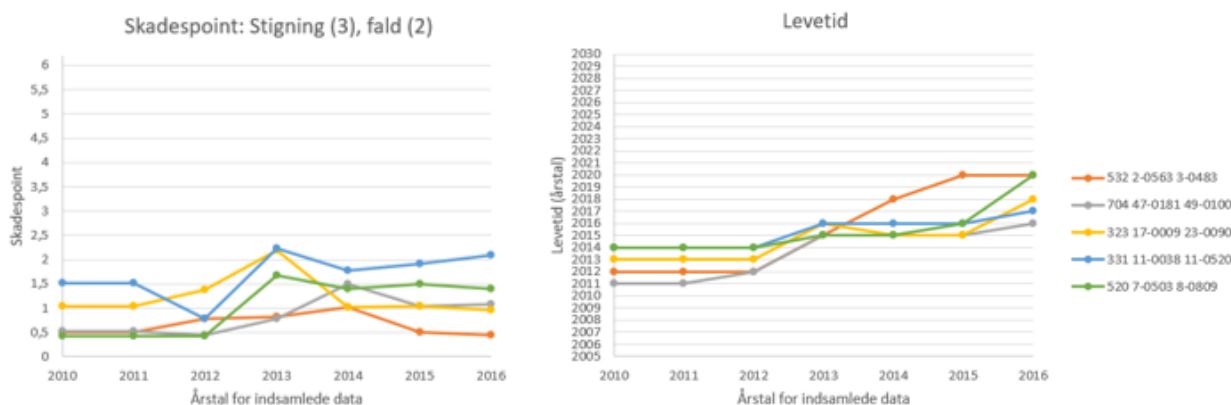
Som udgangspunkt antages det at skadespointet stiger en smule for næsten hvert år pga. slid.

Tidsserien på Figur 22 viser et eksempel på at skadespointet stiger, falder og stiger igen. Levetiden skulle gerne følge efter. Levetiden burde derfor efter forventningerne forblive det samme eller forringes i takt med at skadespointet stiger. I dette tilfælde stiger levetiden og det er altså ikke som forventet.



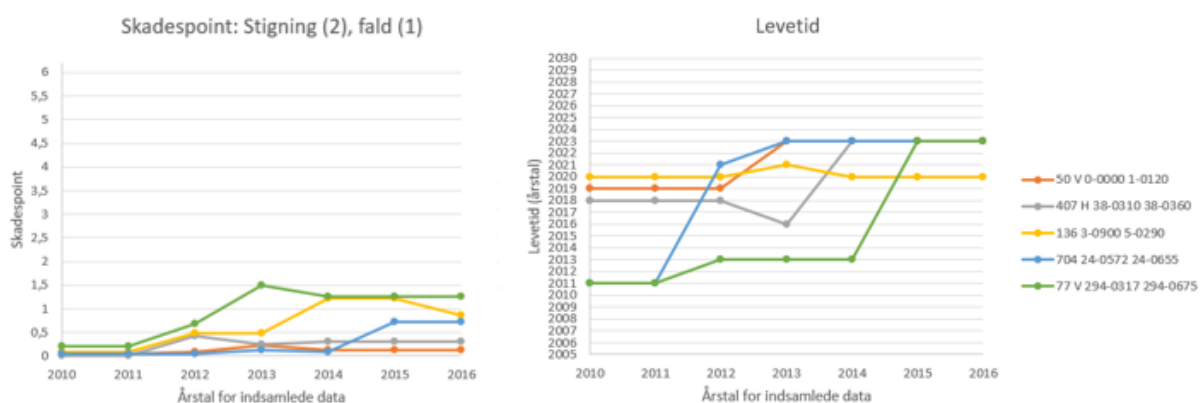
Figur 22: Tidsserie af skadespoint og levetid.

På Figur 23 ses endnu en eksempel på 5 tidsserier af skadespointet og levetiden. Skadespointene stiger og falder lidt henover årene, men det underlige ved dette er at levetiden løbende stiger især fra 2010 til 2016 sker der en stor stigning for alle de 5 parceller. Dette kan være et problem når budgetterne skal lægges. Hvis man ikke kan regnes med hvornår parcellerne forventes at skulle have et nyt slidlag vil budgetterne være upræcise. En del af tidsserierne har denne tendens og dette er derfor ikke bare et enkeltstående tilfælde. Faktisk er der ikke en eneste der har den modsatte tendens.



Figur 23: Tidsserie af skadespoint og levetid.

Det sidste eksempel ses på Figur 24 som viser hvordan levetiden pludselig kan springe 10 år uden store ændringer i skadespointet. Der sker uforudsigelige tidsforløb på flere af parcellerne og det gør det derfor også svært at kunne lægge et budget for 4 år frem når der sker så mange ændringer. Endnu værre bliver det at optimeringen kigger 10 år ud i fremtiden for at se hvad der bedst kan betale sig, at lappe et hul eller vente og lægge et nyt slidlag.



Figur 24: Tidsserie af skadespoint og levetid.

Så længe skadespointet kun bruges til at vise hvordan en vejs tilstand er det enkelte år er der ingen fare. Dog begynder det at blive farligt når man bruger skadespointet til at forudsige ting i

fremtiden, da det er en meget uforudsigelig variabel, som egentlig forventelig var forudsigelig til et hvis punkt.

Levetiden og skadespointet kan være svær at overskue overfor hinanden på den måde det er opstillet ind til videre og derfor laves en McNemar's test for at se hvor meget de to variable fortæller om hinanden.

5.3 McNemar's test

Testen bliver lavet for hvert år i mellem så det er muligt at se om der er år der falder uden for de andre. Til sidst laves en test for skadespoint og levetid fra 2010 og 2016 så man kan se hvordan det fra start til slut har påvirket hinanden.

Testen laves ikke på 2010-2011 da både levetid og skadespoint falder eller forbliver det samme i samtlige parceller. Derved bliver $(b + c) < 10$ og testen kan ikke bruges. Alle testresultaterne kan ses i Bilag D: McNemar's test resultater.

Nedenfor ses en tabel med resultaterne fra McNemar's test af udviklingen fra 2010 til 2016. Som i afsnit 5.2 Visualisering af skadespoint og levetid viser resultatet her at kun 4 parcellers levetid og skadespoint falder. Det er heller ikke overraskende at når levetiden stiger så stiger 85% skadespointene også dette viste den forrige undersøgelse også.

		Skadespoint		
Antal		Stiger	Falder/ uændret	Total
Kolonne %				
Række %				
Levetid	Stiger	212	35	247
		71,62	89,74	
		85,83	14,17	
Levetid	Falder/ uændret	84	4	88
		28,38	10,26	
		95,45	4,55	
Total		296	39	335

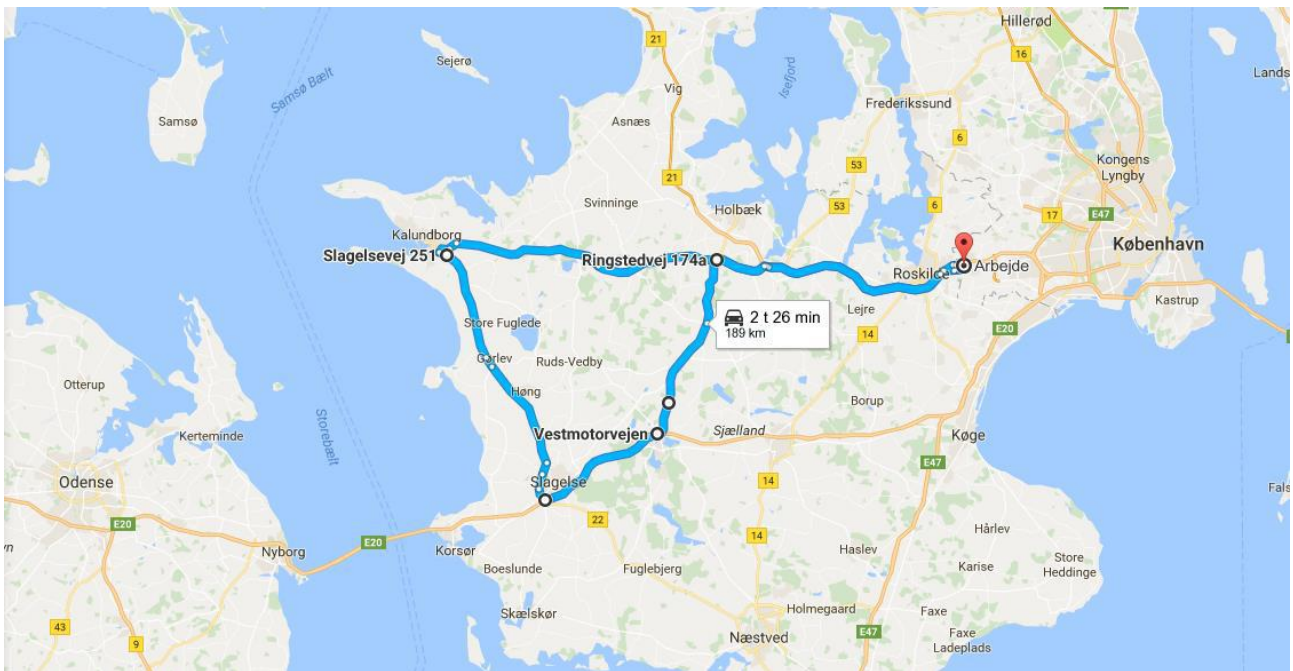
Tabel 1: McNemar's test for 2010-2016.

$$\chi^2 = 20,18 , p - værdi < 0,0001$$

p-værdien udtrykker at der er basis for at afkaste nulhypotesen ifølge tabel 3.1 i Introduction to Statistic at DTU [2]. Sandsynligheden for at levetiden stiger og skadespointen falder/ uændret er derfor ikke i nærheden af sandsynligheden for at skadespointet stiger og levetiden falder/ uændret. Disse to muligheder er dog ikke det relevante i denne tabel. Det relevante er at største delen af parcellernes levetid stiger, hvilket er et problem at den overhovedet ændres.

6 Datarapport for nye målekøretøjers indsamlede data

En test kørsel af to andre køretøjer er lavet på en strækning svarende til den som er vist på Billede 5. Nærmere forklaring omkring teststrækningen findes i den vedlagte fil *Test sections.pdf*. På teststrækning blev der indsamlet data om Sporkøring, Revner og stentab. Det eneste data der er klar til at blive undersøgt nærmere er Sporkøring og derfor vil denne opgave kun omhandle de indsamlede data af sporkøringen.



Billede 5: Teststrækning for nye målekøretøjer.

Test strækningen er blevet gennemført af tre forskellige køretøjer. Vejdirektoratet (DRD), Rijkswaterstaat (RWS) og Dynatest (DYNA) har brugt hver deres teknologi til opmåling af sporkøringen. Da de har brugt hver deres køretøj er outputtet heller ikke ens, det er derfor her en udfordring at gøre dem sammenlignelige. Datasættet der er blevet udleveret til denne opgave er forarbejdet og det vil derfor ikke kræve så meget arbejde videre for at kunne sammenligne dem.

6.1 Variabelliste

En del af variablerne i datasættet er allerede beskrevet i afsnit 4.1 Variabelliste de vil derfor ikke blive gentaget her. Der er tilføjet tre nye variable, en for hver af de nye målinger tilhørende hver deres køretøj. Der følgende tre variable opfanger det samme, men gør det bare på tre forskellige måder.

Sporkøring RSW: Denne variabel indeholder resultaterne som Rijkswaterstaat har indsamlet under testkørslen. RSW bruger en opløsning på 4000 i tværsnittet som bliver formidlet ned til et billede af vejen pr. 1 mm.

Sporkøring DYNA: Denne variabel indeholder resultaterne som Dynatest har indsamlet under testkørslen. Dynatest indsamler data pr. 10 cm i længden som formidles til 20 punkter i tværgående retning. Dernæst regnes et middeltal for hver 10 meter.

Sporkøring DRD: Denne variabel indeholder resultaterne som Vejdirektoratet har indsamlet under testkørslen. Vejdirektoratet bruger en opløsning på 1240 i tværretningen som bliver formidlet til 40 punkter for at fjerne outliers.

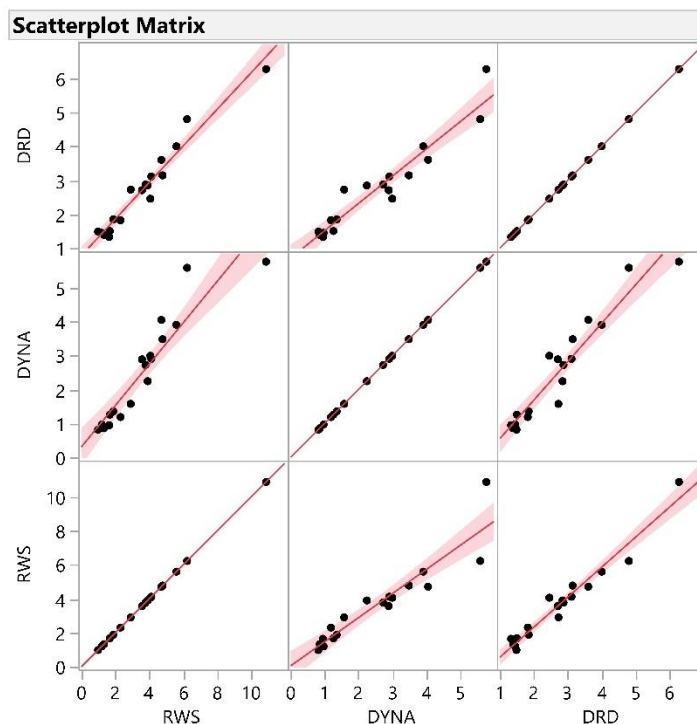
De rå data er opstillet henover strækningerne overfor hinanden og bliver på den måde opsummeret og sammenlignet i Bilag E: Sporkøring sammenligning.

6.2 Sortering i data

Datasættet består af 36 parceller, men ikke alle datasæt er kompletter og der er derfor nødt til at blive sorteret 18 parceller fra. De resterende 18 parceller benyttes fremover til undersøgelser og analyser. Det er et lille datasæt, men om ikke så dækker det 26,6 km vejstrækning.

6.3 Sammenhæng mellem køretøjer

De tre variable bør have en form for sammenhæng da de måler det samme, dog på hver sin måde. Scatterplottet på Figur 25 viser at der er en sammenhæng mellem alle variablerne. Figuren viser også at der er en bedre sammenhæng mellem Vejdirektoratets- og Rijkswaterstaats data end Dynatests data. Dette til trods for at opsummeringerne i Bilag E: Sporkøring sammenligning viser at Rijkswaterstaats data virker til at have en tendens til at være højere end de to andre. Måske dette vil komme til syne i analysen?



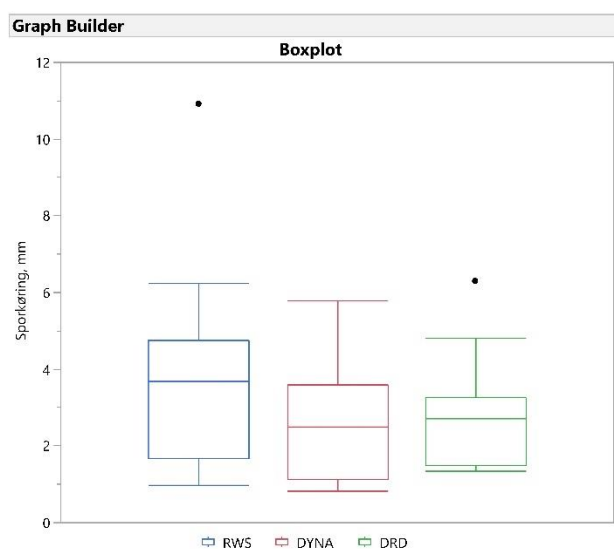
Figur 25: Scatterplot af RWS-, DYNA- og DRD's sporkøringsdata.

7 Analyse af nye målekøretøjers data for sporkøring

I dette afsnit vil der blive lagt vægt på at analysere hvordan fordelingen af de forskellige køretøjers data udarter sig indenfor sporkøring. Dette gøres med henblik på at se hvordan de forskellige indsamlingsmetoder kan benyttes i fremtiden. Som udgangspunkt antages det at alle køretøjers data er korrekte, med forskellig præcision grundet indsamlingsmetoderne. Det efterfølgende udtræk af de helt rå data kan også have en indflydelse på hvordan det nuværende data ser ud da hvert firma har brugt hver sin foretrækkende metode.

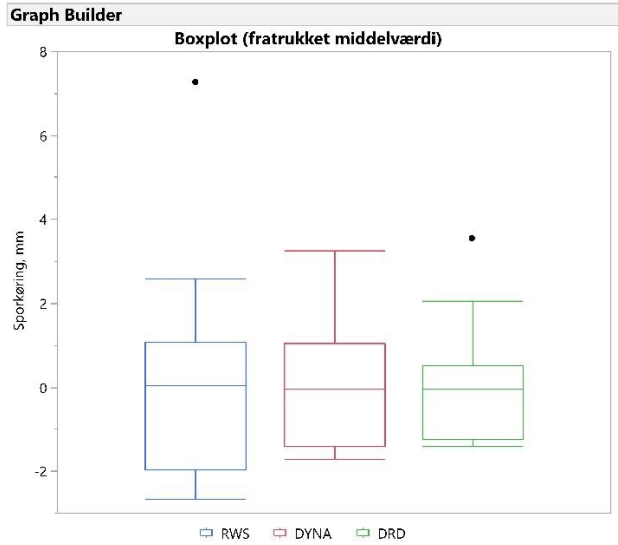
7.1 Visualisering af middelværdi forskel

For at gøre datasættene sammenlignelige visualiseres de som boxplots i samme graf vha. "Graph Builder" i JMP. På Figur 26 ses udgangspunktet og hvor det tydeligt kan være svært at se præcis hvad forskellene er. Det eneste der er værd at bemærke er at DRD har en outlier på trods af de havde taget højde for det i deres indsamling af data.

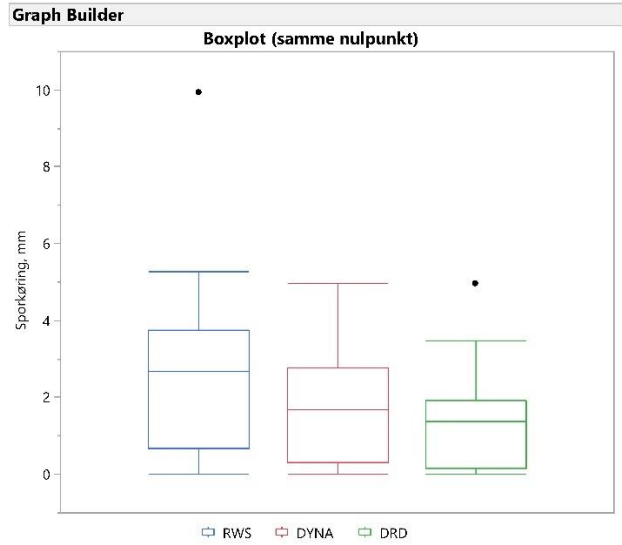


Figur 26: Boxplot af sporkøringerne.

På Figur 27 og 28 er værdierne blevet rykket så de er mere sammenlignelige. Den første figur viser at RWS varierer meget i forhold til de to andre især er en del af deres data lavere end de to andres. På den anden figur ser man igen at RWS spænder mere bredt hvilket også gør at middelværdien er markant højere end hos de to andre. DRD har et forholdsvist kompakt dataset hvor der ikke er særligt store variationer. DYNA er en mellemtung mellem de to.



Figur 27: Boxplot for sporkøring med fratrukket middelværdi.



Figur 28: Boxplot for sporkøring med samme nulpunkt.

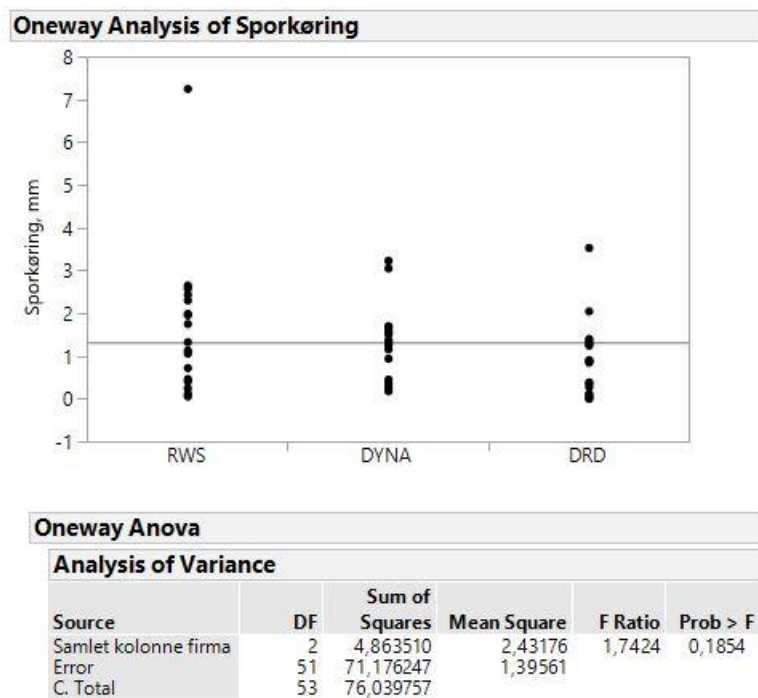
I forhold til de strækningsserier der er lavet i Bilag E: Sporkøring sammenligning viser det igen at RWS's data har en tendens til at være højere end de to andre.

7.2 Levene's test

Levene's test viser lidt det samme som Figur 27, med datapunkter i stedet for boxplots, udfaldet er derfor meget lig det samme. Ved at bruge testen fås et svar på om nulhypotesen skal forkastes eller ej.

$$H_0 : \sigma_{RWS}^2 = \sigma_{DYNA}^2 = \sigma_{DRD}^2$$

På Figur 29 ses test resultaterne fra Levene's test i JMP. Resultaterne viser en p-værdi lig 0,185. Med et signifikans niveau på 5% vil denne hypotese derfor ikke kunne forkastes. Det er dog vigtigt at se på at datasættet kun består af 18 parceller der tilsammen strækker sig over 26,6 km hvilken ikke er en særlig stor del af statsvejnettet. For en mere nøjagtighed bør der derfor være en større andel af statsvejnettet der er med i datasættet. Dette tænker jeg har været intentionen da teststrækningen var 200 km lang.



Figur 29: Resultat af Levene's test fra JMP.

8 Konklusion

I dette projekt er der blevet undersøgt to forskellige datasæt hvor hhv. levetiden og sporkøring har været omdrejningspunktet for analyserne. Forud for analyserne var en del arbejde med beskrivelse af variabler og hvordan de opførte sig i forhold til hinanden. Det første til en videre undersøgelse af levetiden og skadespointet i forhold til hinanden. Ved at opstille tidsserier for hver variabel blev der konkluderet at levetidens først antagende værdi havde en tendens til at stige løbende. Dette var ikke et enkeltstående tilfælde, som i en McNemar's test blev vist at gælde næsten 75% af de samlede test data.

Senere hen i projektforløbet blev der udleveret nyt data på sporkøring fra en testkørsel på ca. 200 km. Teststrækningen blev kørt af tre forskellige køretøjer der målte sporkøringen på hver sin måde. Dette resulterede i at de indsamlede data skulle undersøges for hvilken forskel de forskellige metoder gav. For at gøre sammenligningen mere overskuelig blev der brugt boxplots hvor middelværdien skubbede dem til først at have samme middelværdi og dernæst at have samme minimum. Resultaterne fra boxplotsne viste at Rijkswaterstaat og Vejdirektoratets indsamlede værdier var længst fra hinanden, mens Dynatests resultater lå mellem de to. For at tjekke om variansen af de tre målekøretøjers kan antages at være ens blev der lavet en Levene's test. Udfra testen blev det konkluderet at nulhypotesen ikke skulle afkastes. Derved blev der vist at antagelsen om ens varianser af de tre målekøretøjer er ens.

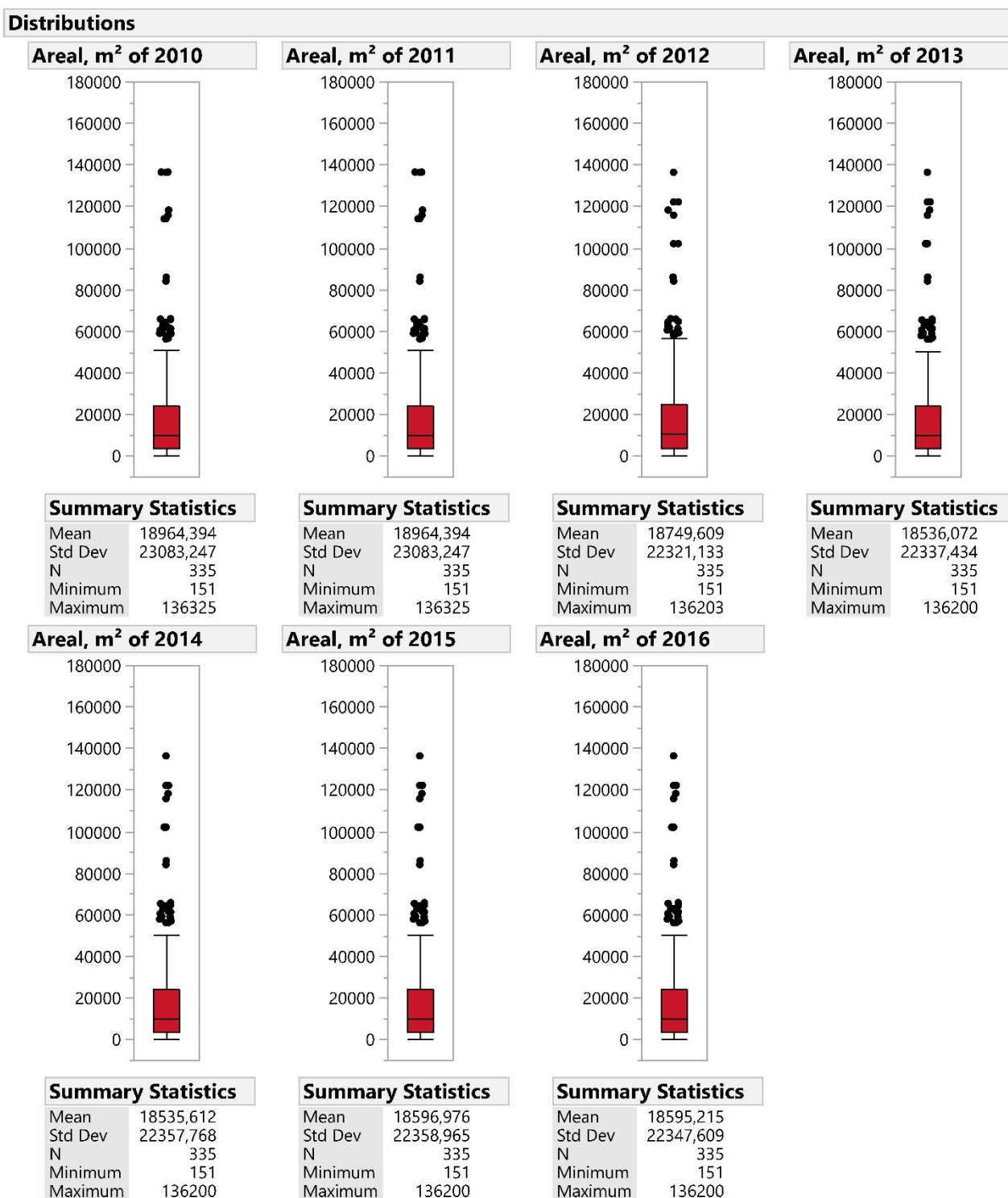
Efter sorteringen af datasættet fra testkørslen for sporkøring bestod datasættet af parceller med den samlede længde på 26,6 km. Resultatet af Levene's test bør derfor laves udfra et datasæt der indeholder mere end blot 26,6 km, da dette kun er en lille del af det samlede statsvejnet. Før dette bliver lavet skal man være påpasselig med konklusionen på analysen af de tre målekøretøjers data.

9 Litteratur

- [1] SAS Institute Inc., *Understanding Modeling Types*. http://www.jmp.com/support/help/Understanding_Modeling_Types.shtml (hentet d. 28. december 2017).
- [2] Michael Havbro Faber, Per B. Brockhoff, Jan K. Møller, Elisabeth W. Andersen, Peder Bache og Lasse E. Christiansen, *Introduction to Statistics at DTU - Spring 2017*. Kursusmateriale til kursus 02402, Danmarks Tekniske Universitet, foråret 2017.
- [3] John Uebersax, *McNemar Tests of Marginal Homogeneity*. <http://john-uebersax.com/stat/mcnemar.htm> (hentet 5. januar 2018)
- [4] Milliken and Johnson, *Analysis of Messy Data - Volume 1: Designed Experiments, Chapter 2.3 Tests for Homogeneity of Variance*. Chapman & Hall, 1992.
- [5] Niels Dujardin, "Notat", *Målemetoder, anvendelse af data, optimeringsværktøjer og deres anvendelse*. Vejdirektoratet 27. juni 2013.
- [6] Vejdirektoratet, *vejman.dk kortvisning*. <https://www.vejman.vd.dk/mui/index.jsp?on=drift> (hentet 21. december 2017, kræver login)
- [7] Danmarks Statistik, *Priser og forbrug, BIL5*. <http://www.statistikbanken.dk> (hentet 3. januar 2018)
- [8] Danmarks Statistik, *Geografi, miljø og energi, VEJ11*. <http://www.statistikbanken.dk> (hentet 3. januar 2018)
- [9] Danmarks Meteorologiske Institut, *Vejret i Danmark - vinteren 2013-2014*. <https://www.dmi.dk/vejr/arkiver/maanedsaesonaar/201401/vejret-i-danmark-vinteren-2013-2014/> (hentet 3. januar 2018)

Bilag A: Supplerende fordelingsanalyser af VRL 2010-2016

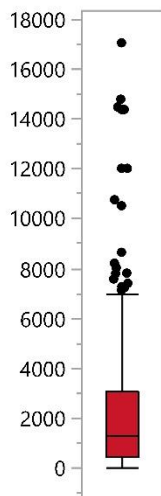
Dette bilag indeholder de fulde opsummeringer, samt alle tilhørende plots for de variabler hvor det ikke blev fundet nødvendigt at vise alle årenes fordelinger fra afsnit 4.1 Variabelliste.



Figur 30: Boxplot og opsummering af variabelen Areal for 2010-2016.

Distributions

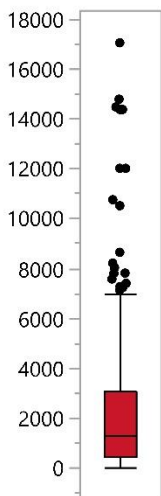
Længde, m of 2010



Summary Statistics

Mean	2247,9045
Std Dev	2716,7056
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

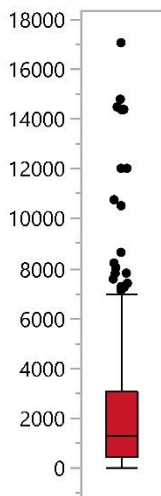
Længde, m of 2011



Summary Statistics

Mean	2247,9045
Std Dev	2716,7056
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

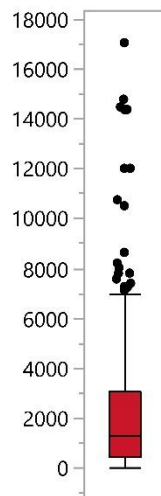
Længde, m of 2012



Summary Statistics

Mean	2247,9045
Std Dev	2716,7056
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

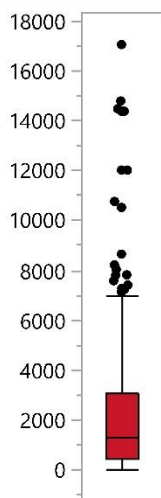
Længde, m of 2013



Summary Statistics

Mean	2247,9015
Std Dev	2716,6989
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

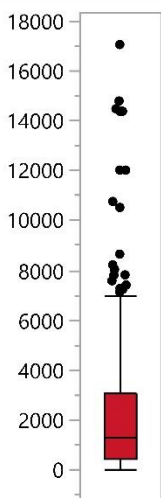
Længde, m of 2014



Summary Statistics

Mean	2247,9015
Std Dev	2716,6989
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

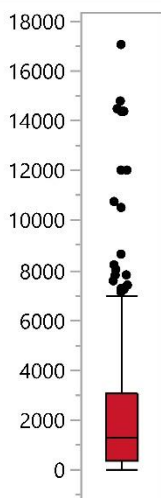
Længde, m of 2015



Summary Statistics

Mean	2247,9015
Std Dev	2716,6989
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

Længde, m of 2016



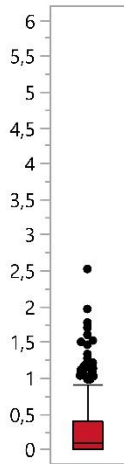
Summary Statistics

Mean	2242,4955
Std Dev	2719,2896
N	335
Minimum	23
Maximum	17025

Figur 31: Boxplot og opsummering af variabelen Længde for 2010-2016.

Distributions

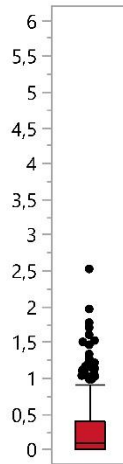
Skades--point of 2010



Summary Statistics

Mean	0,2742985
Std Dev	0,3877063
N	335
Minimum	0
Maximum	2,52

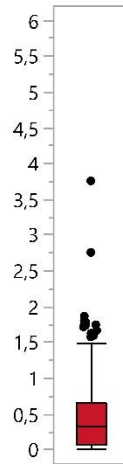
Skades--point of 2011



Summary Statistics

Mean	0,2742985
Std Dev	0,3877063
N	335
Minimum	0
Maximum	2,52

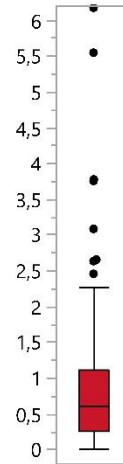
Skades--point of 2012



Summary Statistics

Mean	0,4472836
Std Dev	0,4836935
N	335
Minimum	0
Maximum	3,75

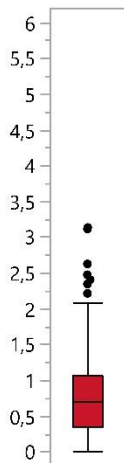
Skades--point of 2013



Summary Statistics

Mean	0,7957015
Std Dev	0,7385473
N	335
Minimum	0,01
Maximum	6,17

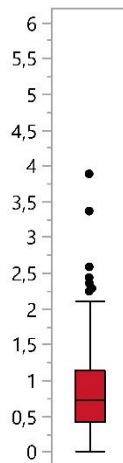
Skades--point of 2014



Summary Statistics

Mean	0,7639403
Std Dev	0,5385671
N	335
Minimum	0
Maximum	3,13

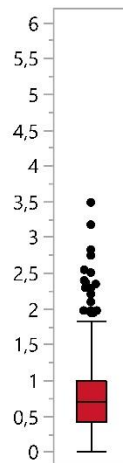
Skades--point of 2015



Summary Statistics

Mean	0,8224776
Std Dev	0,5606712
N	335
Minimum	0
Maximum	3,88

Skades--point of 2016



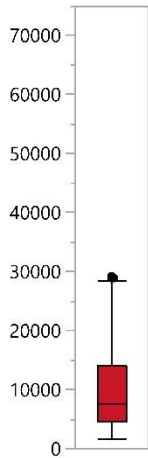
Summary Statistics

Mean	0,7972239
Std Dev	0,5517672
N	335
Minimum	0
Maximum	3,48

Figur 32: Boxplot og opsummering af variabelen Skadespoint for 2010-2016.

Distributions

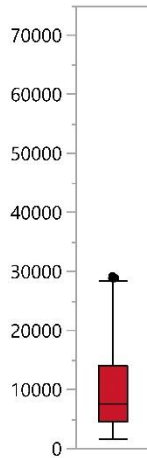
Ådt~grunddata of 2010



Summary Statistics

Mean	9760,3284
Std Dev	6252,4369
N	335
Minimum	1711
Maximum	29112

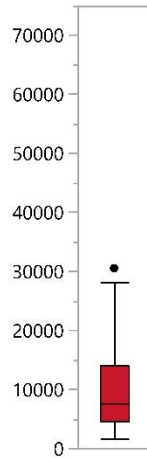
Ådt~grunddata of 2011



Summary Statistics

Mean	9760,3284
Std Dev	6252,4369
N	335
Minimum	1711
Maximum	29112

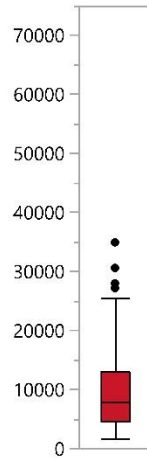
Ådt~grunddata of 2012



Summary Statistics

Mean	9754,994
Std Dev	6211,3107
N	335
Minimum	1595
Maximum	30446

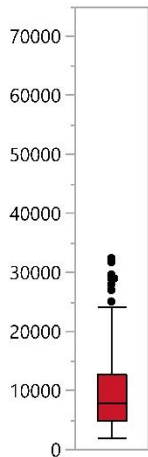
Ådt~grunddata of 2013



Summary Statistics

Mean	9613,2627
Std Dev	6168,7839
N	335
Minimum	1639
Maximum	34824

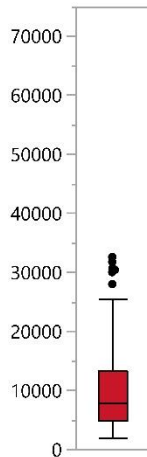
Ådt~grunddata of 2014



Summary Statistics

Mean	9585,6597
Std Dev	6154,6752
N	335
Minimum	1825
Maximum	32314

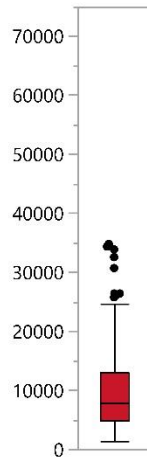
Ådt~grunddata of 2015



Summary Statistics

Mean	9654,409
Std Dev	6115,194
N	335
Minimum	1762
Maximum	32513

Ådt~grunddata of 2016



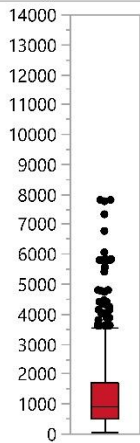
Summary Statistics

Mean	9771,0776
Std Dev	6544,418
N	335
Minimum	1363
Maximum	34724

Figur 33: : Boxplot og opsummering af variabelen Ådt grunddata for 2010-2016.

Distributions

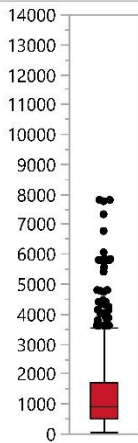
Æ-10~grunddata of 2010



Summary Statistics

Mean	1512,5881
Std Dev	1546,9118
N	335
Minimum	66
Maximum	7794

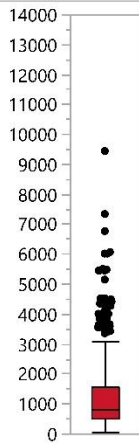
Æ-10~grunddata of 2011



Summary Statistics

Mean	1512,5881
Std Dev	1546,9118
N	335
Minimum	66
Maximum	7794

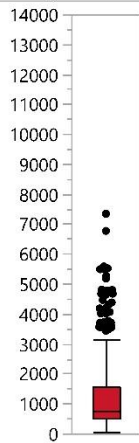
Æ-10~grunddata of 2012



Summary Statistics

Mean	1421,9851
Std Dev	1477,6934
N	335
Minimum	62
Maximum	9425

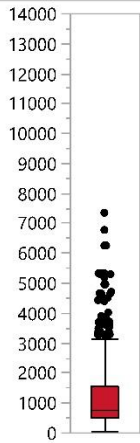
Æ-10~grunddata of 2013



Summary Statistics

Mean	1399,791
Std Dev	1404,5101
N	335
Minimum	67
Maximum	7330

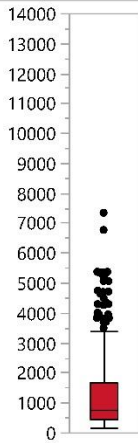
Æ-10~grunddata of 2014



Summary Statistics

Mean	1380,394
Std Dev	1398,5129
N	335
Minimum	67
Maximum	7330

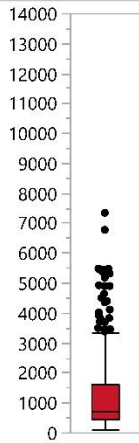
Æ-10~grunddata of 2015



Summary Statistics

Mean	1359,4866
Std Dev	1390,7452
N	335
Minimum	127
Maximum	7330

Æ-10~grunddata of 2016



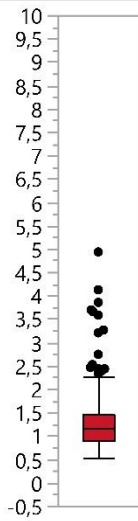
Summary Statistics

Mean	1351,5701
Std Dev	1408,0032
N	335
Minimum	107
Maximum	7330

Figur 34: Boxplot og opsummering af variabelen Æ-10 grunddata for 2010-2016.

Distributions

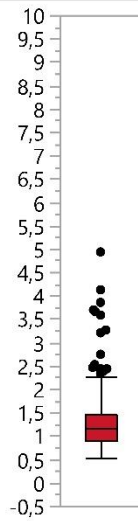
IRI~mm/m of 2010



Summary Statistics

Mean	1,3022741
Std Dev	0,591049
N	321
Minimum	0,53
Maximum	4,93

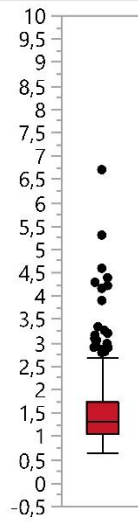
IRI~mm/m of 2011



Summary Statistics

Mean	1,3022741
Std Dev	0,591049
N	321
Minimum	0,53
Maximum	4,93

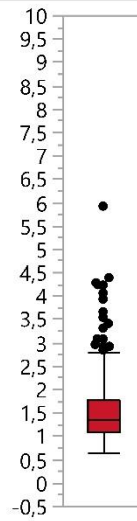
IRI~mm/m of 2012



Summary Statistics

Mean	1,5638671
Std Dev	0,7574576
N	331
Minimum	0,63
Maximum	6,69

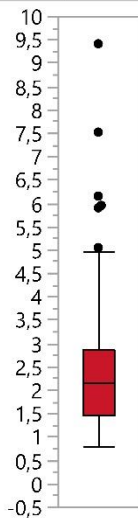
IRI~mm/m of 2013



Summary Statistics

Mean	1,5614925
Std Dev	0,7197252
N	335
Minimum	0,64
Maximum	5,91

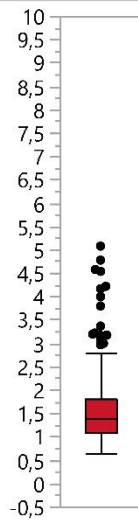
IRI~mm/m of 2014



Summary Statistics

Mean	2,3293731
Std Dev	1,1047201
N	335
Minimum	0,8
Maximum	9,4

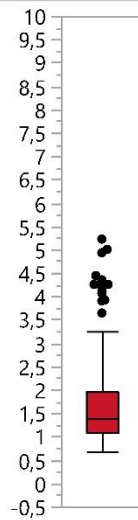
IRI~mm/m of 2015



Summary Statistics

Mean	1,5751642
Std Dev	0,7022252
N	335
Minimum	0,64
Maximum	5,07

IRI~mm/m of 2016



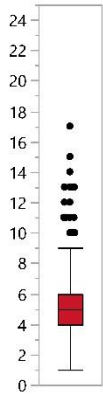
Summary Statistics

Mean	1,6455522
Std Dev	0,773578
N	335
Minimum	0,67
Maximum	5,22

Figur 35: Boxplot og opsummering af variabelen IRI for 2010-2016.

Distributions

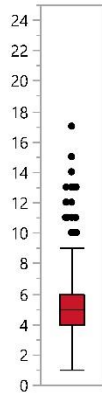
Spor målt~gns. mm. of 2010



Summary Statistics

Mean	5,2398754
Std Dev	2,4561973
N	321
Minimum	1
Maximum	17

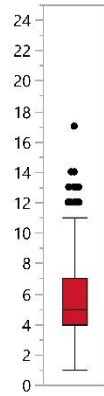
Spor målt~gns. mm. of 2011



Summary Statistics

Mean	5,2398754
Std Dev	2,4561973
N	321
Minimum	1
Maximum	17

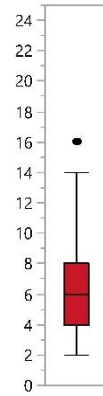
Spor målt~gns. mm. of 2012



Summary Statistics

Mean	5,8298507
Std Dev	2,6203382
N	335
Minimum	1
Maximum	17

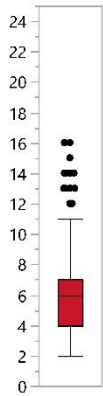
Spor målt~gns. mm. of 2013



Summary Statistics

Mean	6,2268657
Std Dev	2,6314304
N	335
Minimum	2
Maximum	16

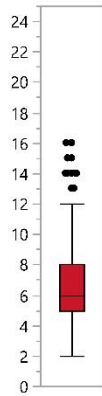
Spor målt~gns. mm. of 2014



Summary Statistics

Mean	6,0208955
Std Dev	2,5762932
N	335
Minimum	2
Maximum	16

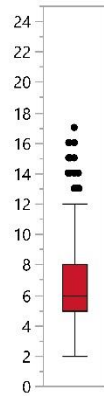
Spor målt~gns. mm. of 2015



Summary Statistics

Mean	6,5535168
Std Dev	2,6967451
N	327
Minimum	2
Maximum	16

Spor målt~gns. mm. of 2016



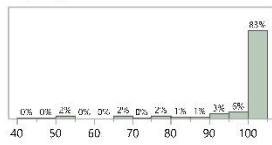
Summary Statistics

Mean	6,6626866
Std Dev	2,704445
N	335
Minimum	2
Maximum	17

Figur 36: Boxplot og opsummering af variabelen Sporkøring for 2010-2016.

Distributions

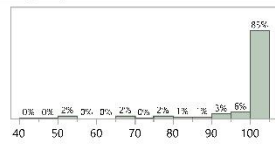
Belægning-andel i % of 2010



Summary Statistics

Mean	96,960961
Std Dev	9,8431207
N	333
Minimum	42
Maximum	100

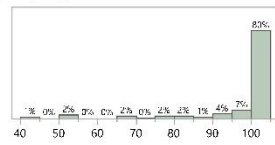
Belægning-andel i % of 2011



Summary Statistics

Mean	96,960961
Std Dev	9,8431207
N	333
Minimum	42
Maximum	100

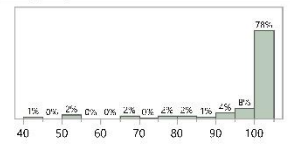
Belægning-andel i % of 2012



Summary Statistics

Mean	96,600601
Std Dev	10,314319
N	333
Minimum	42
Maximum	100

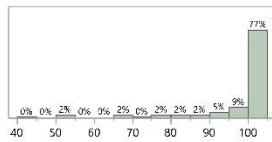
Belægning-andel i % of 2013



Summary Statistics

Mean	96,540541
Std Dev	10,311811
N	333
Minimum	42
Maximum	100

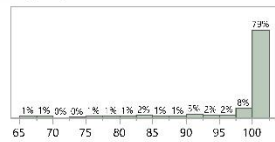
Belægning-andel i % of 2014



Summary Statistics

Mean	96,723724
Std Dev	9,5609306
N	333
Minimum	42
Maximum	100

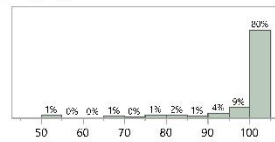
Belægning-andel i % of 2015



Summary Statistics

Mean	97,954955
Std Dev	5,9739203
N	333
Minimum	66
Maximum	100

Belægning-andel i % of 2016



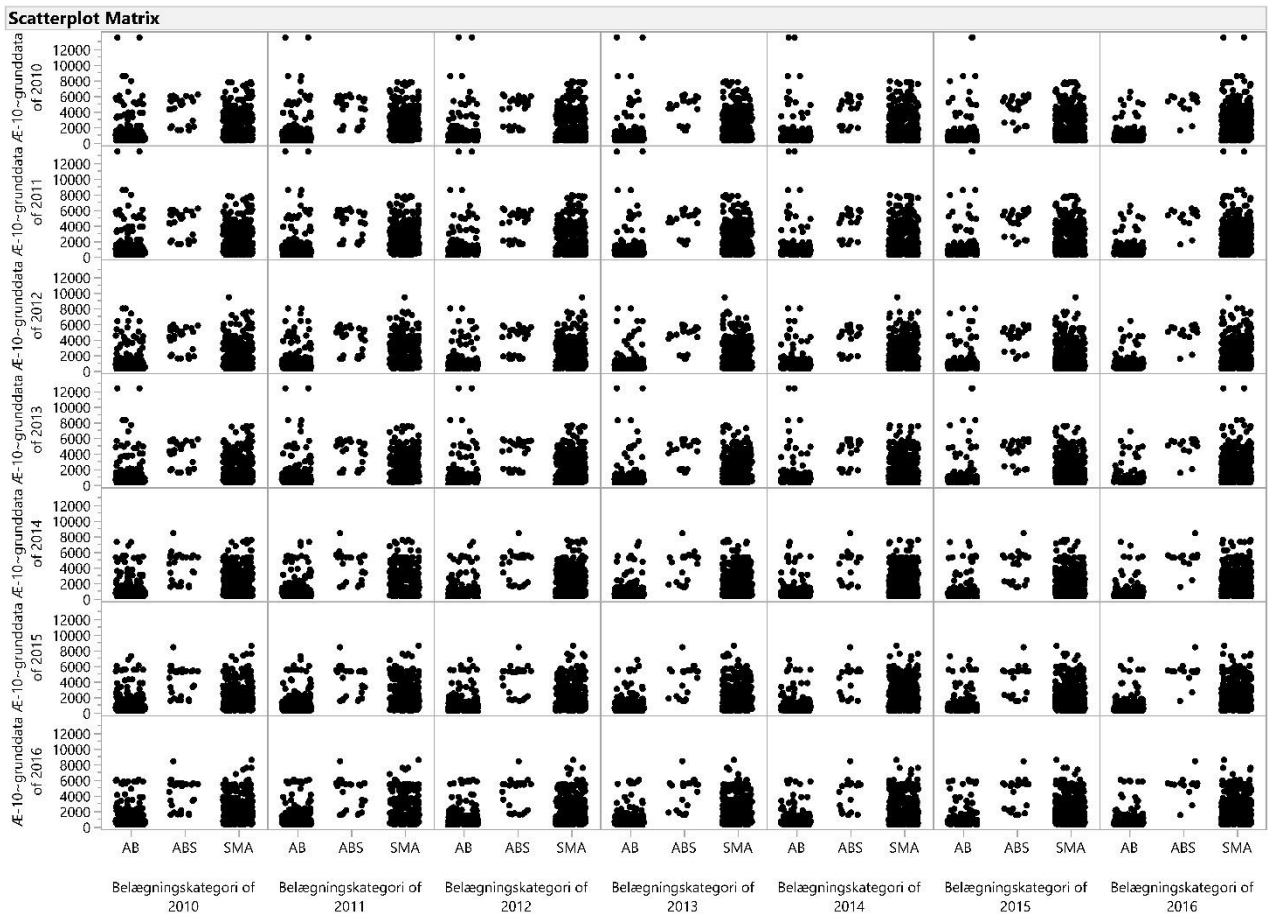
Summary Statistics

Mean	97,483582
Std Dev	8,0599661
N	335
Minimum	50
Maximum	100

Figur 37: Opsummering af variabelen Belægning andel i % for 2010-2016.

Bilag B: Scatterplot af Belægningskategori og Æ-10

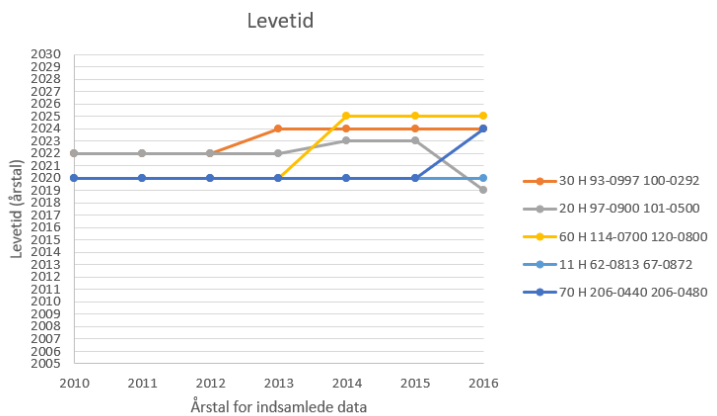
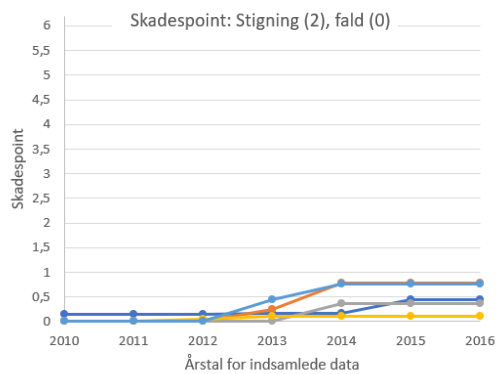
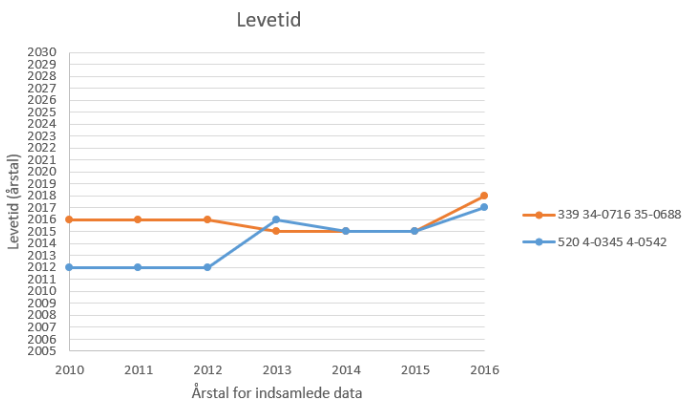
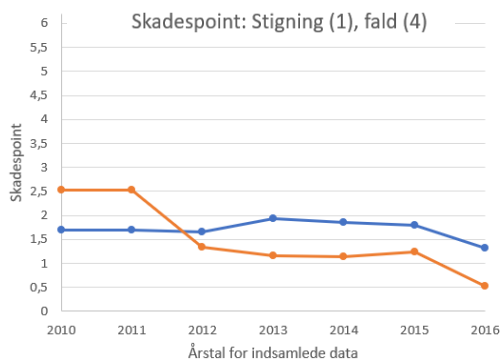
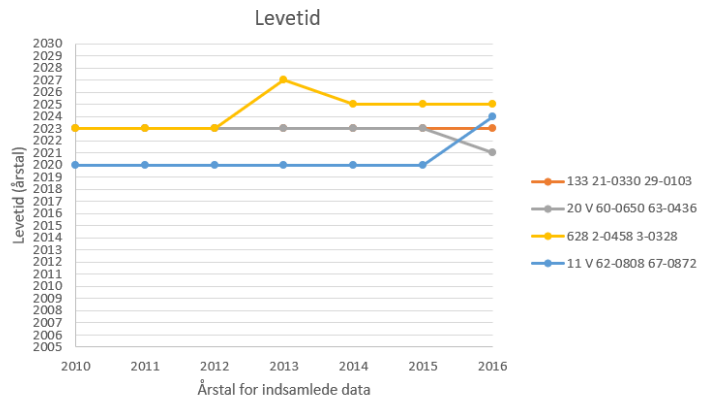
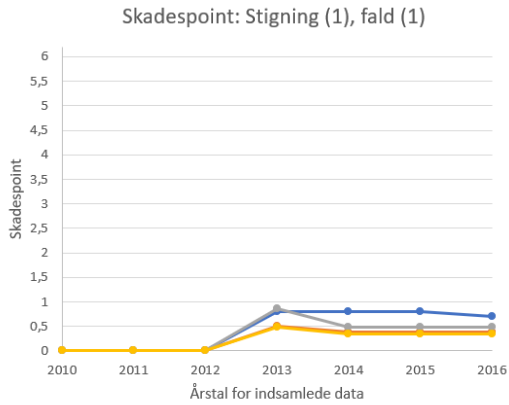
Dette bilag indeholder scatterplot matrixen for Belægningskategori og Æ-10 grunddata, som blev refereret til i afsnit 4.3 Sammenhæng mellem variable.

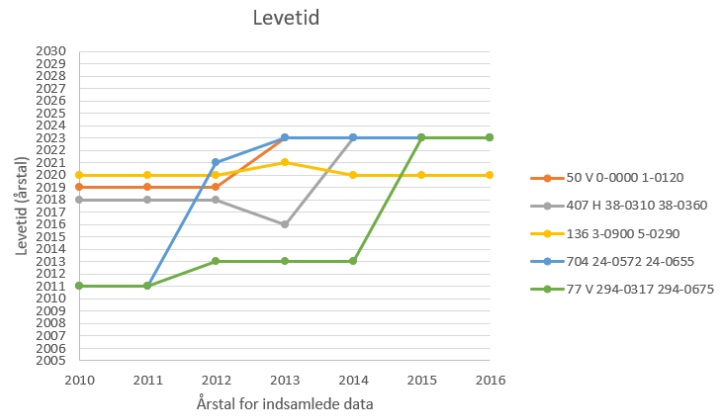
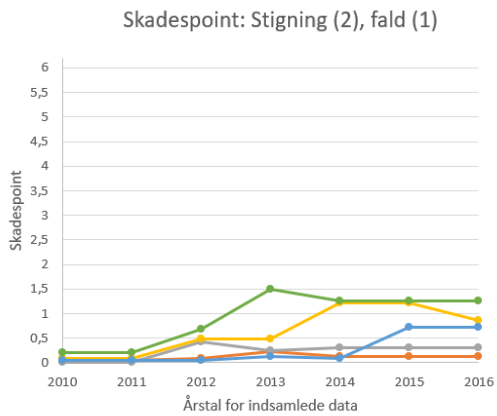
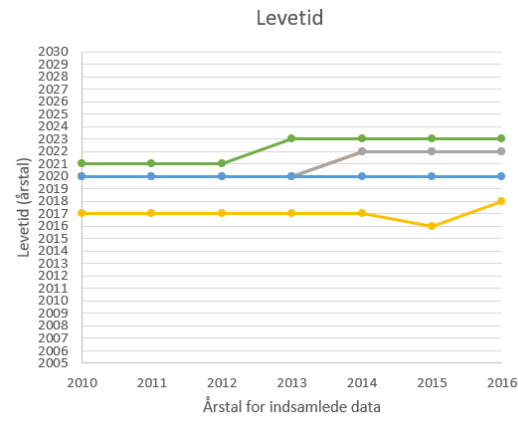
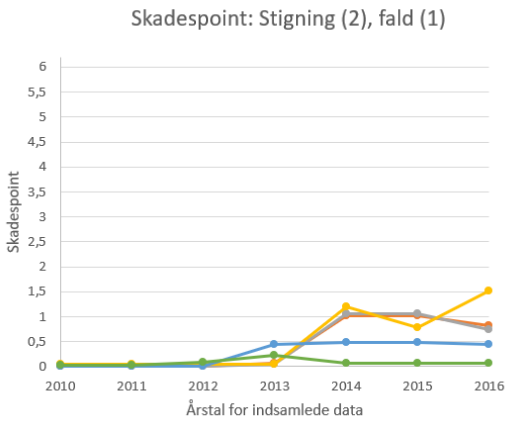
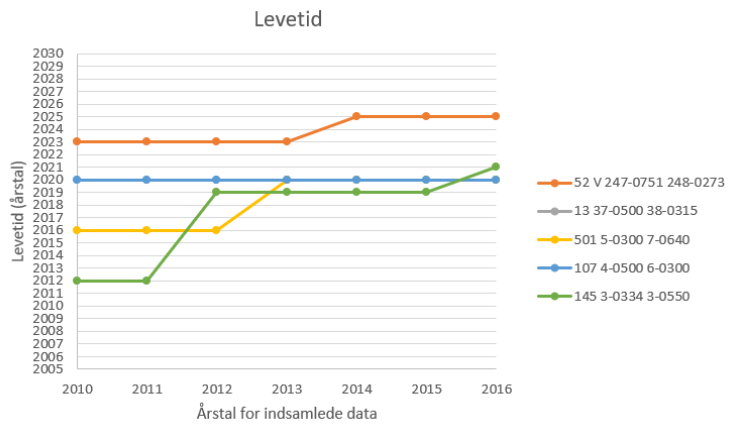
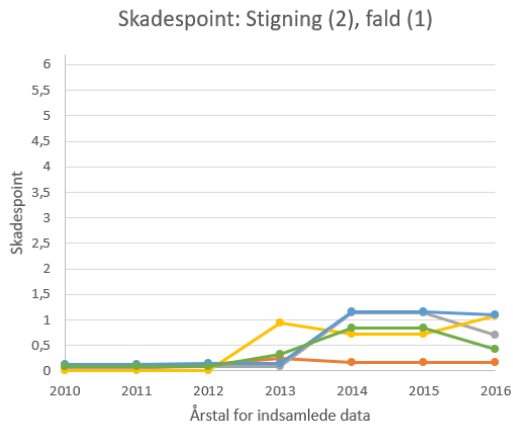
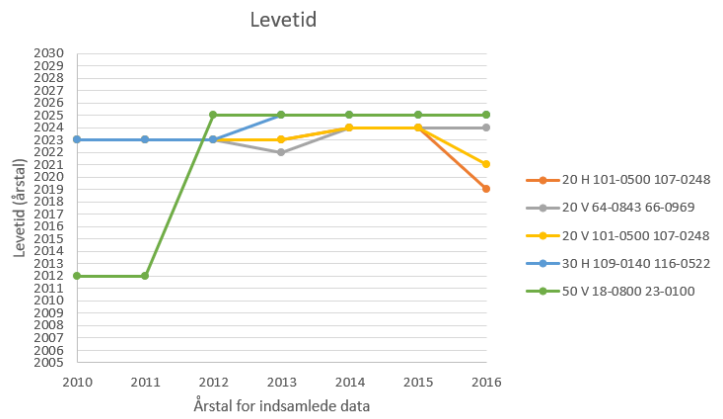
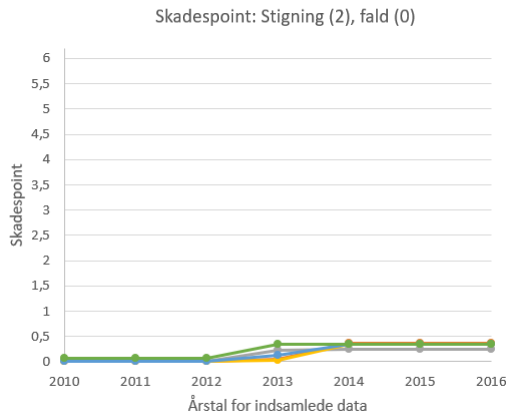


Figur 38: Scatterplot af Belægningskategori (AB, ABS, SMA) og Æ-10 grunddata for 2010-2016.

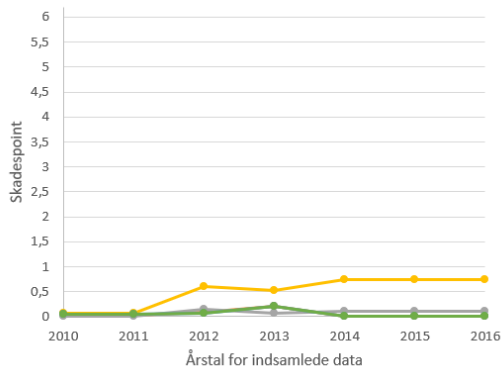
Bilag C: Analyse skadespoint og levetid

Dette bilag indeholder samtlige tidsserier af skadespoint og levetid.

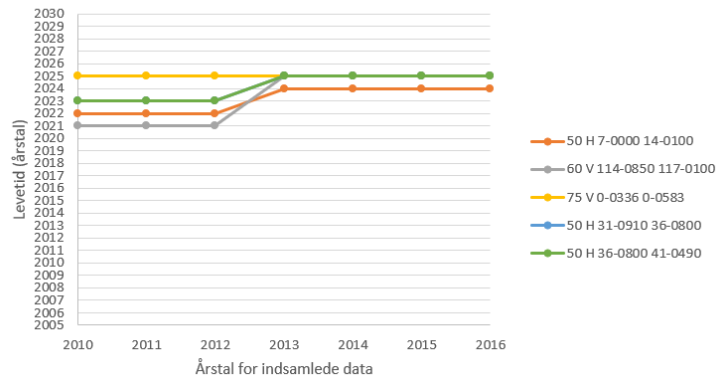




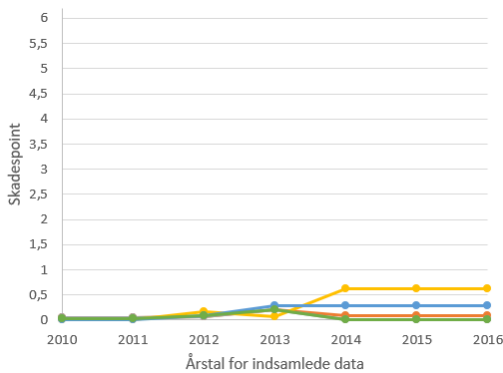
Skadespoint: Stigning (2), fald (1)



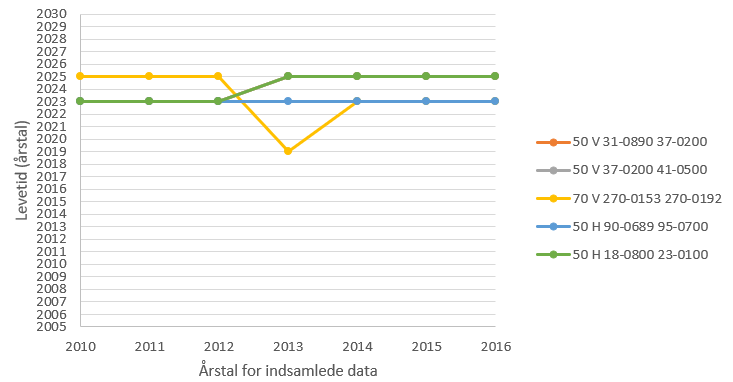
Levetid



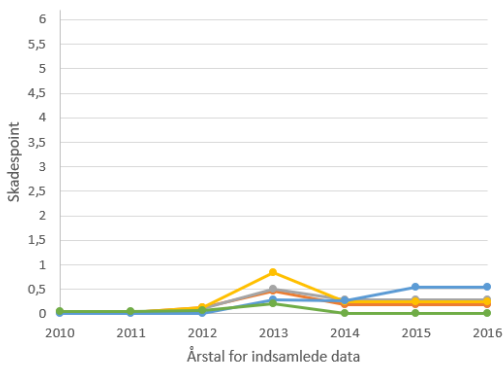
Skadespoint: Stigning (2), fald (1)



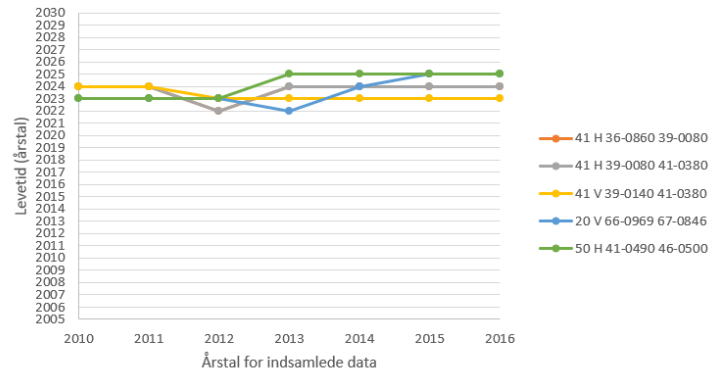
Levetid



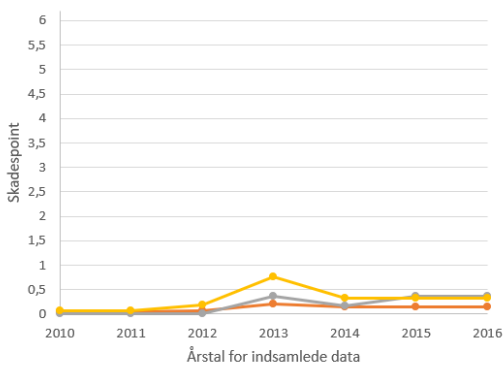
Skadespoint: Stigning (2), fald (1)



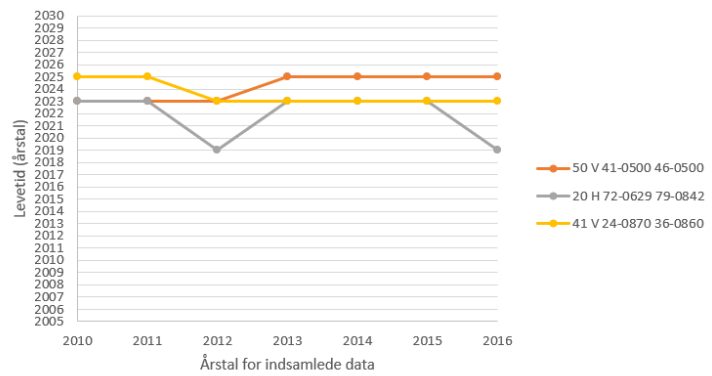
Levetid



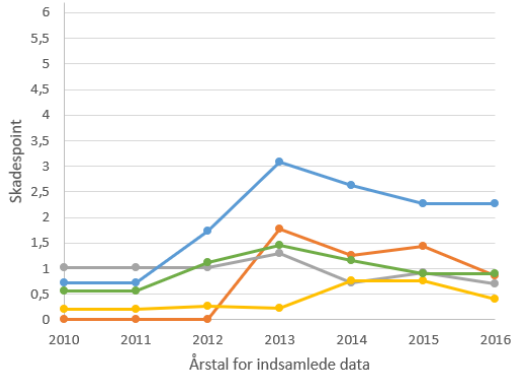
Skadespoint: Stigning (2), fald (1)



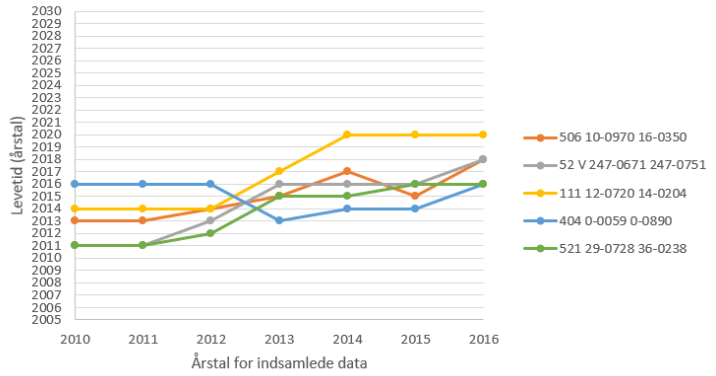
Levetid



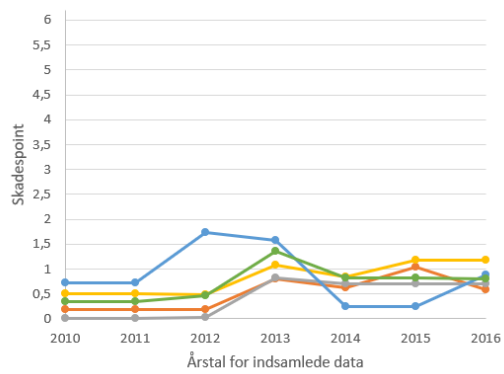
Skadespoint: Stigning (2), fald (2)



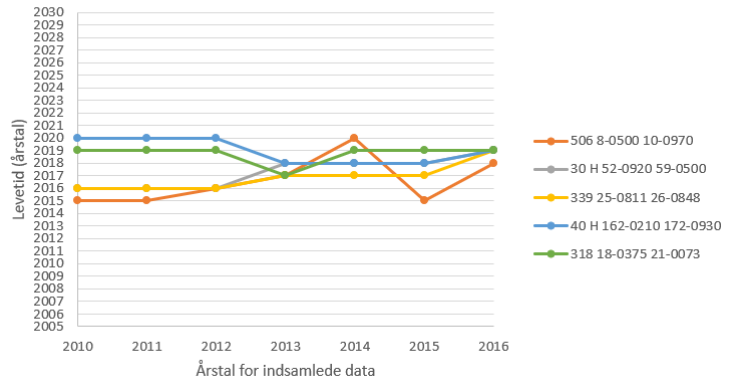
Levetid



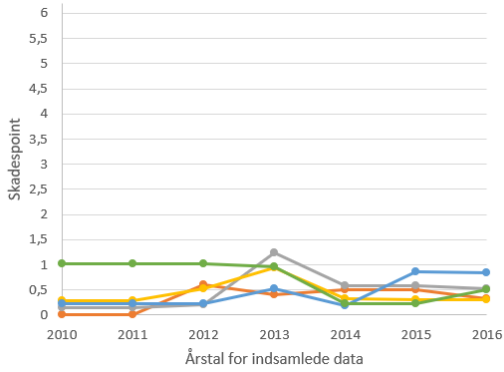
Skadespoint: Stigning (2), fald (2)



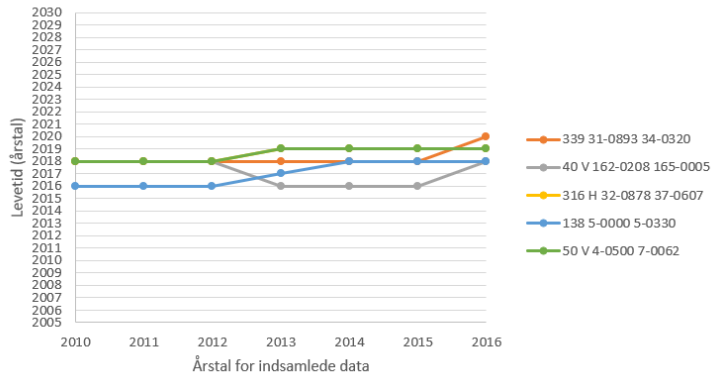
Levetid



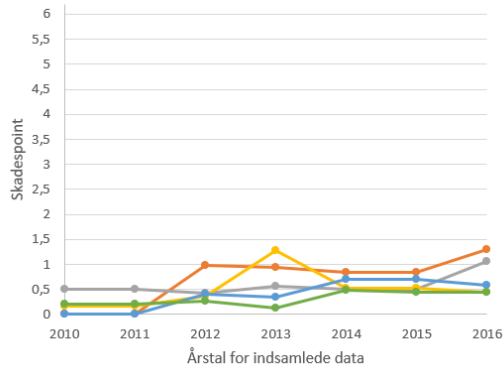
Skadespoint: Stigning (2), fald (2)



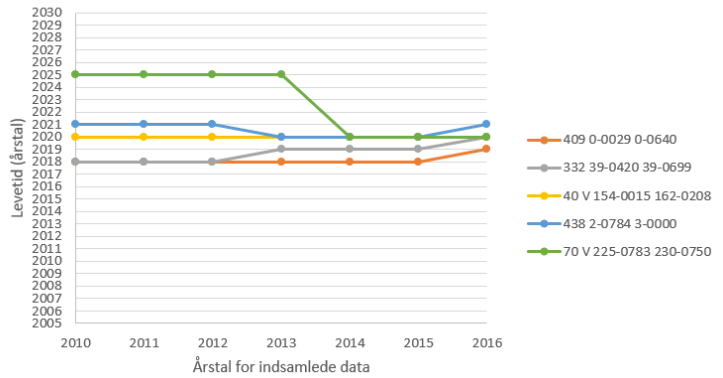
Levetid



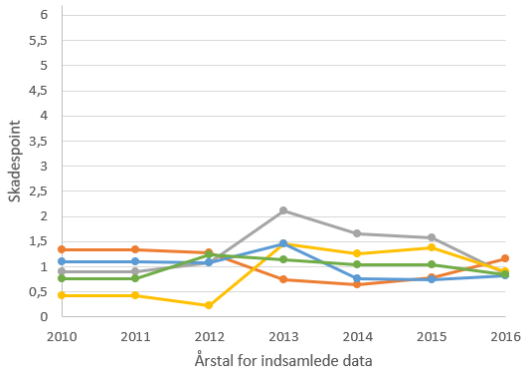
Skadespoint: Stigning (2), fald (2)



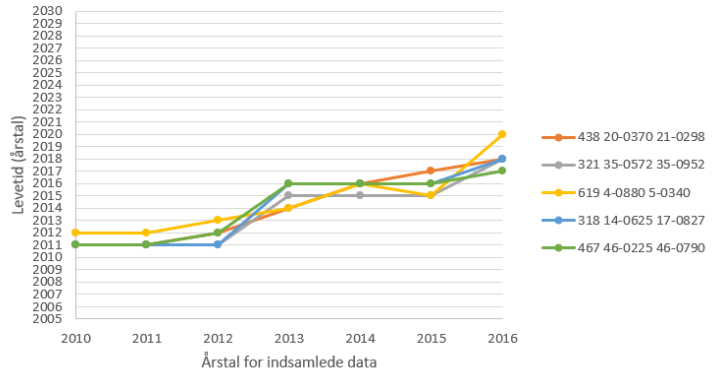
Levetid



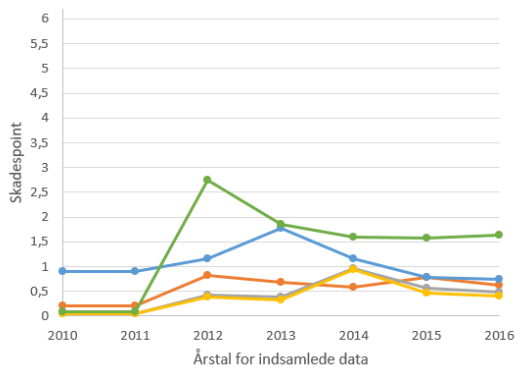
Skadespoint: Stigning (2), fald (3)



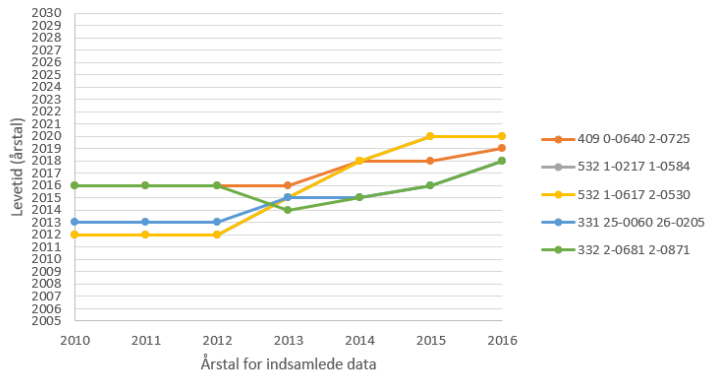
Levetid



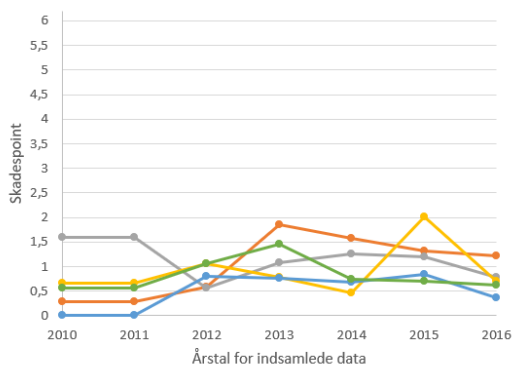
Skadespoint: Stigning (2), fald (3)



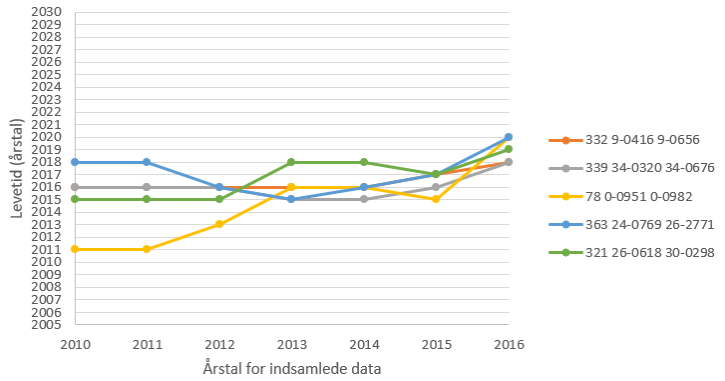
Levetid



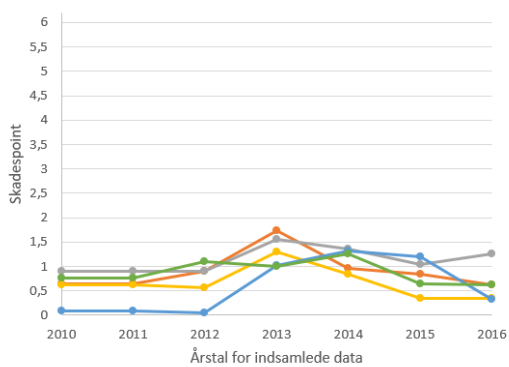
Skadespoint: Stigning (2), fald (3)



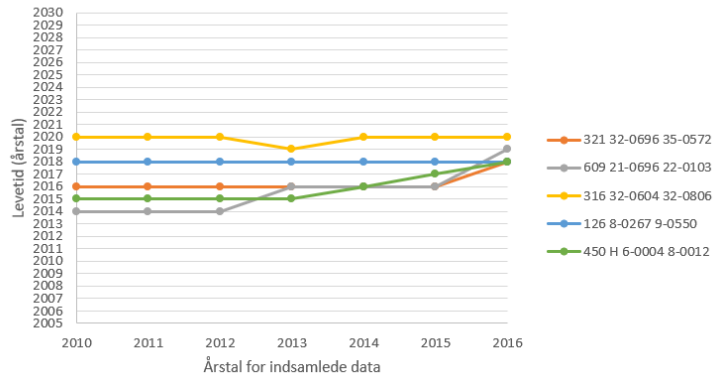
Levetid



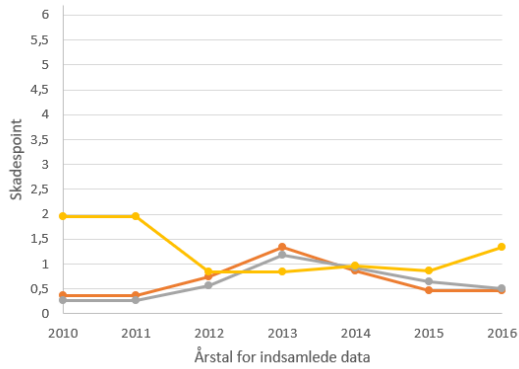
Skadespoint: Stigning (2), fald (3)



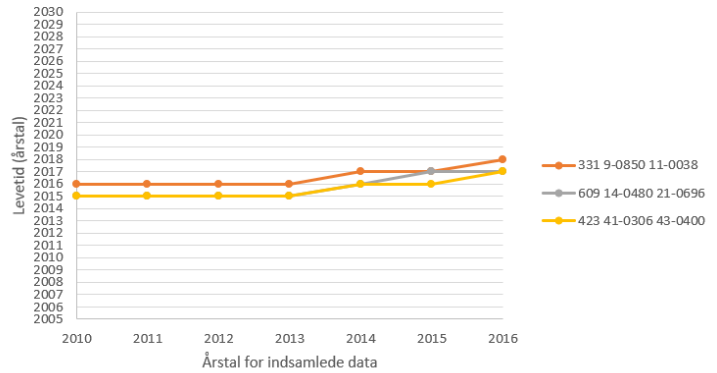
Levetid



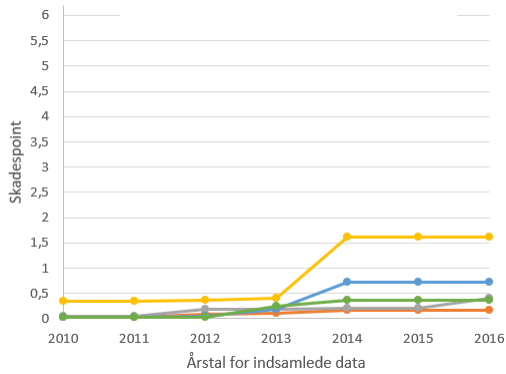
Skadespoint: Stigning (2), fald (3)



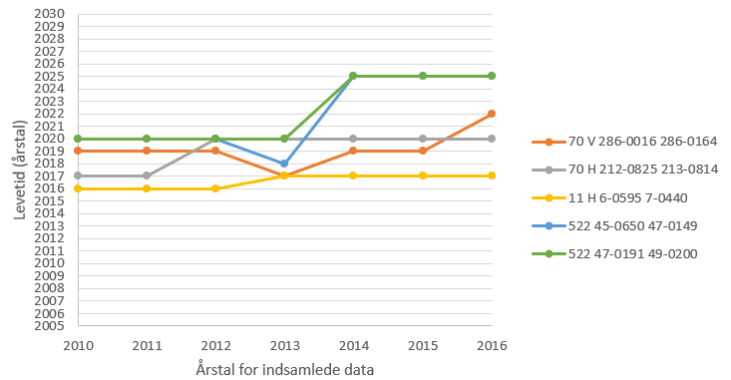
Levetid



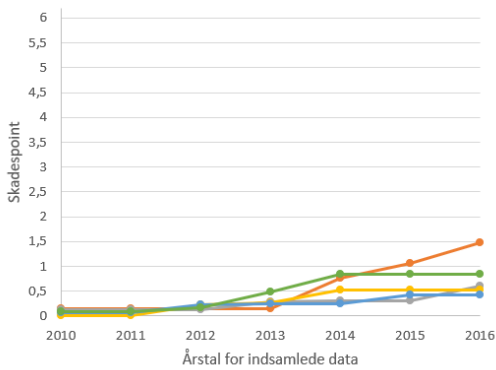
Skadespoint: Stigning (3), fald (0)



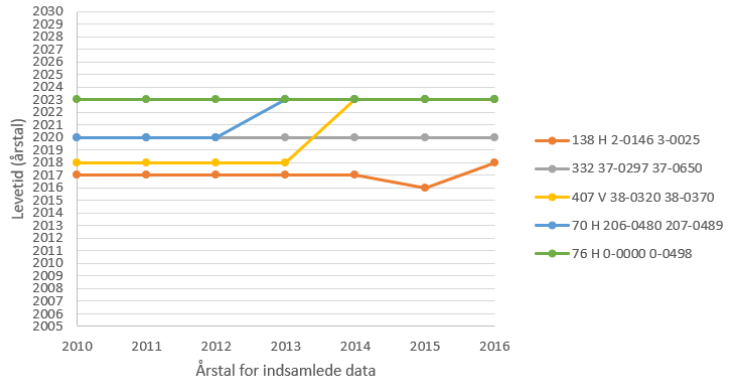
Levetid



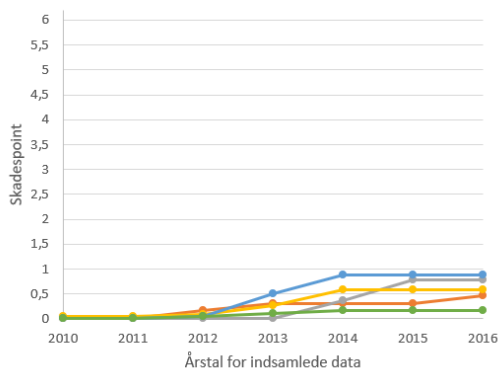
Skadespoint: Stigning (3), fald (0)



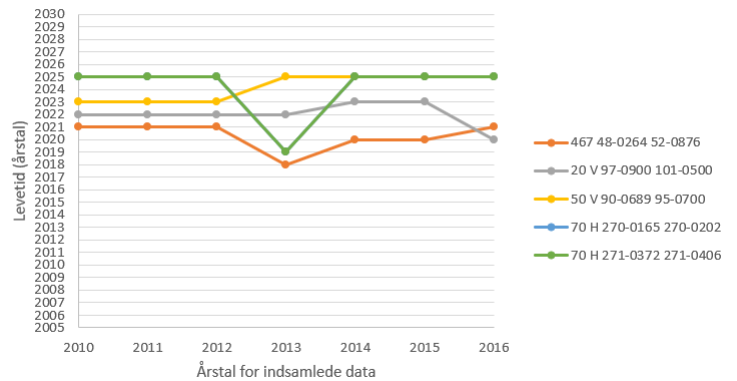
Levetid

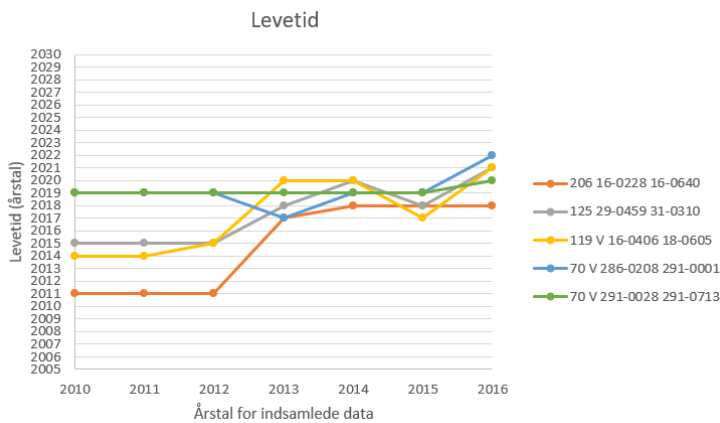
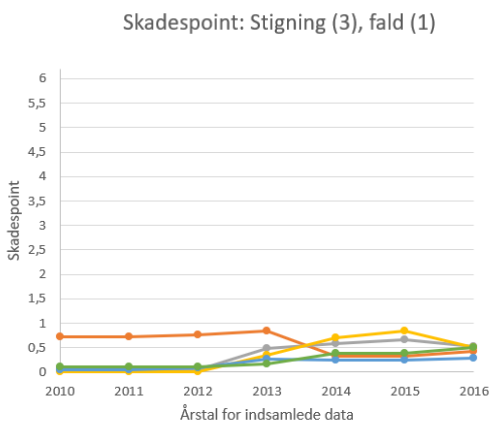
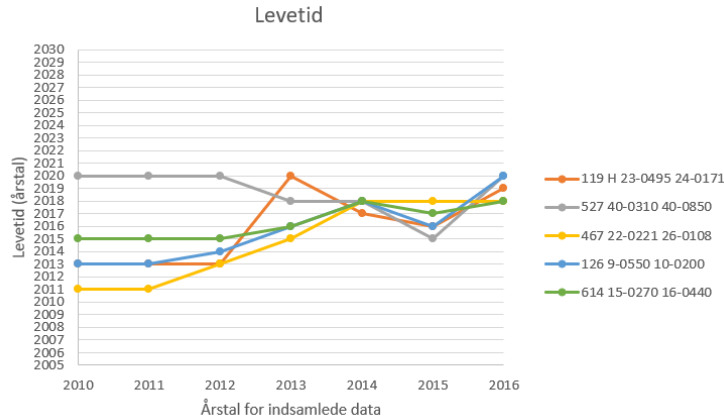
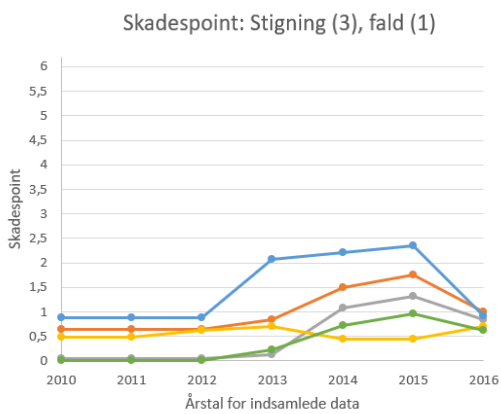
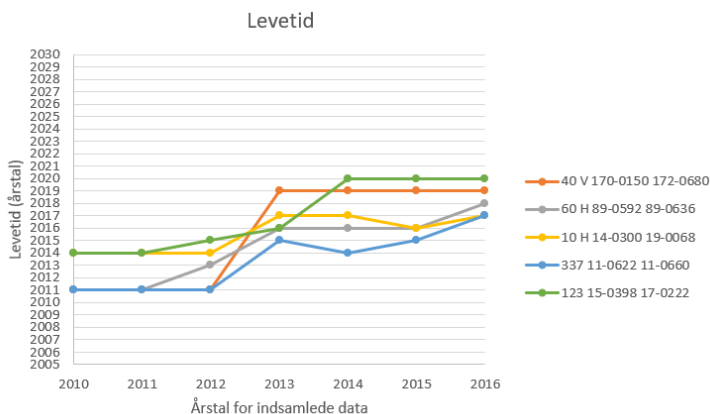
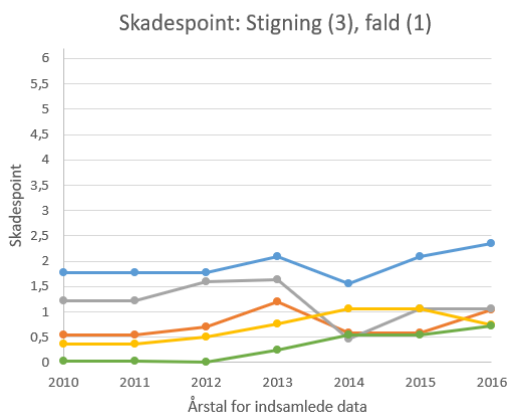
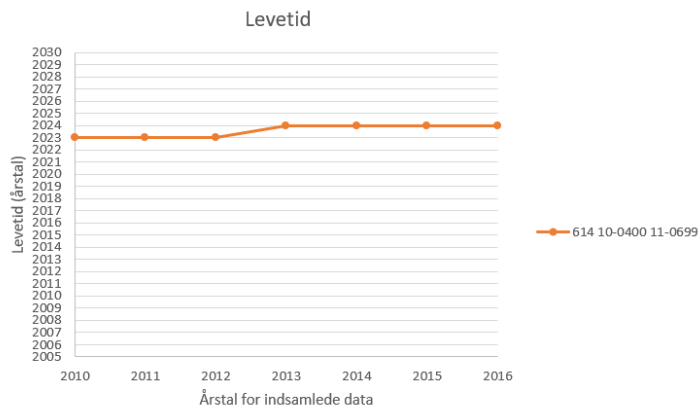
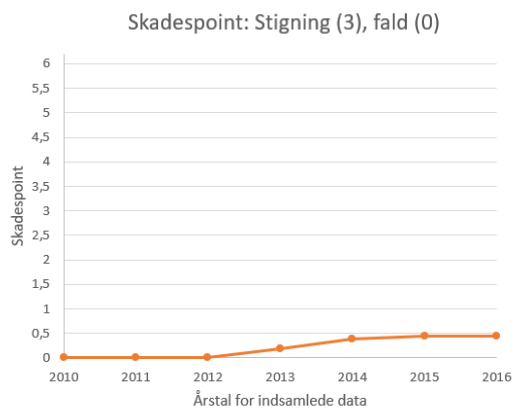


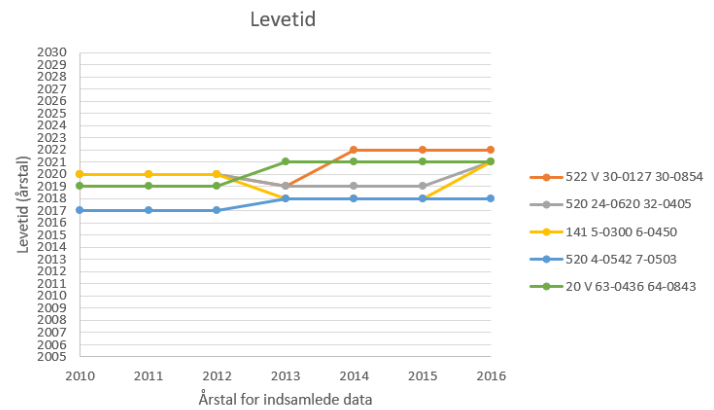
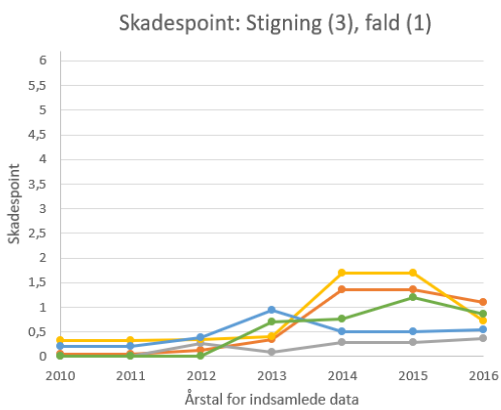
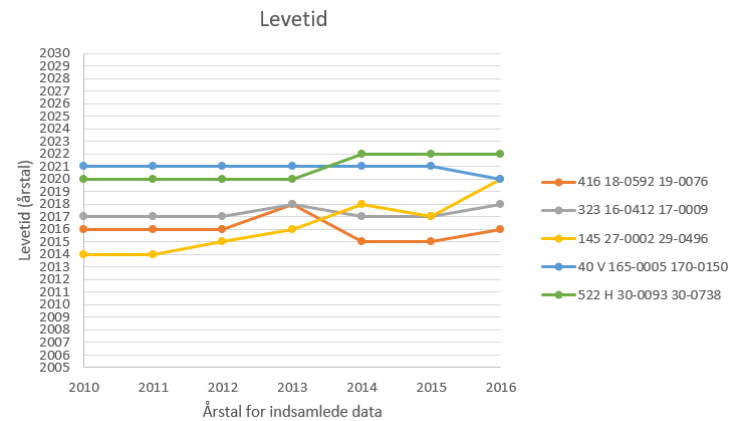
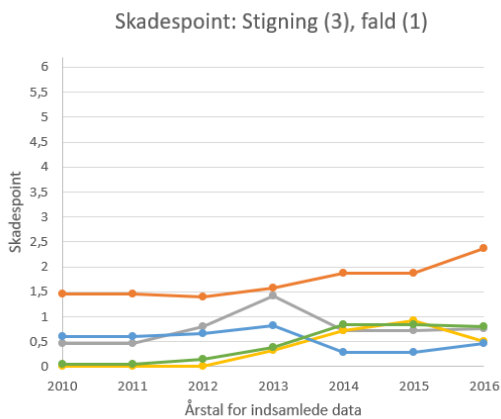
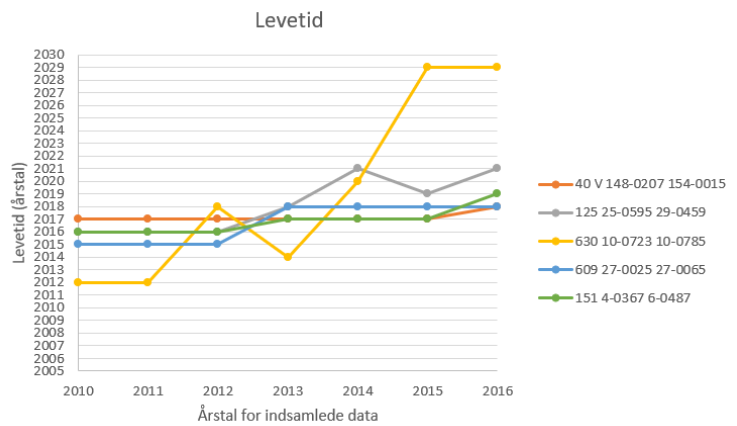
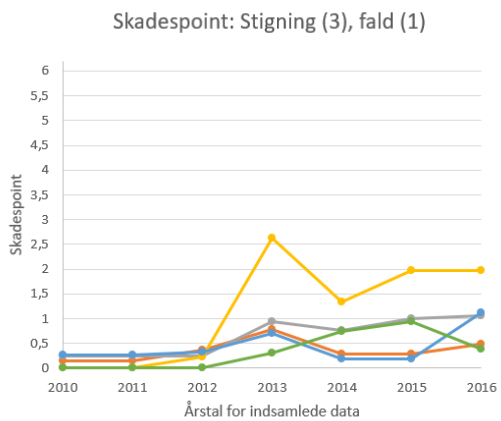
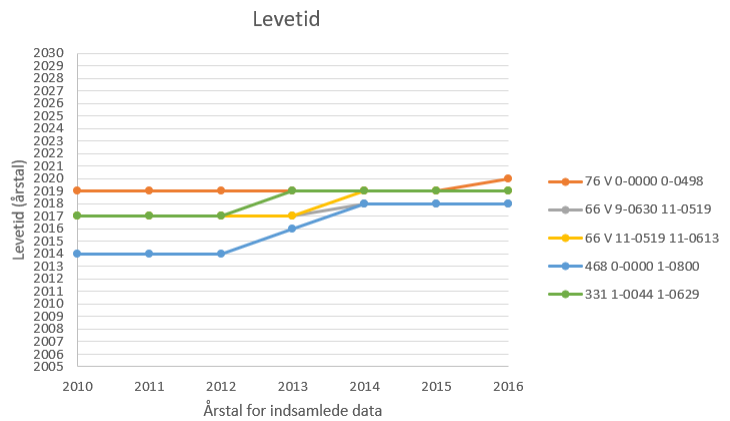
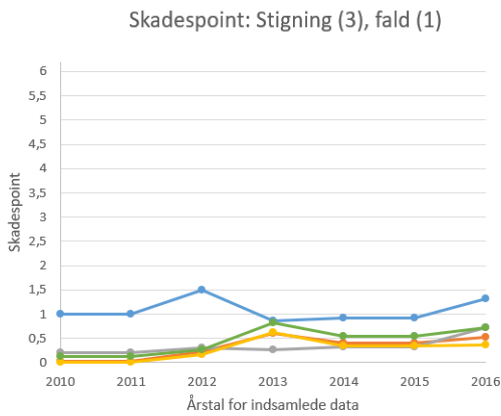
Skadespoint: Stigning (3), fald (0)

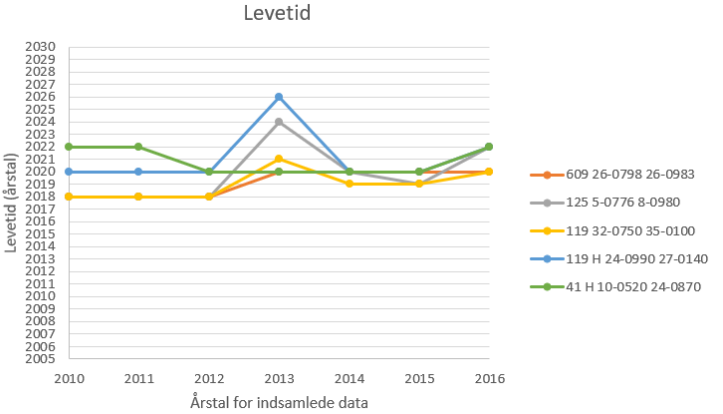
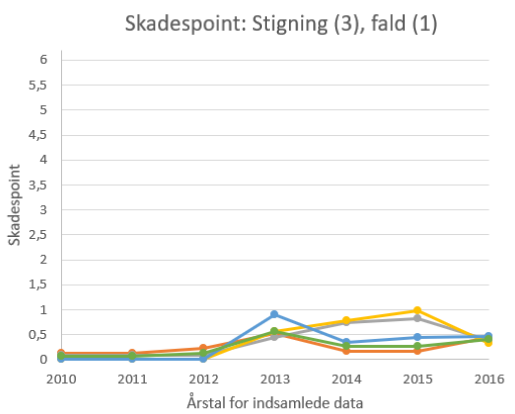
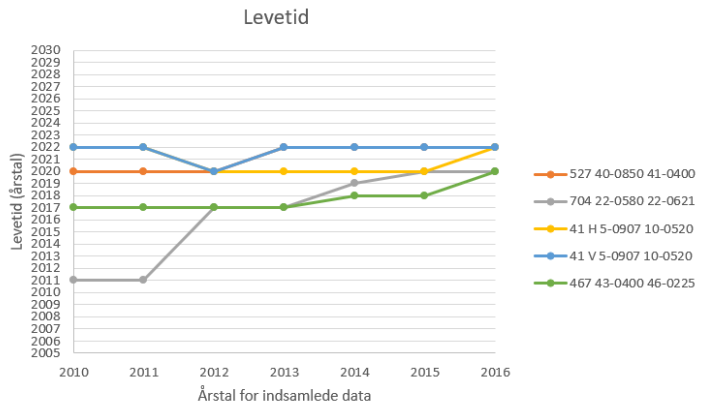
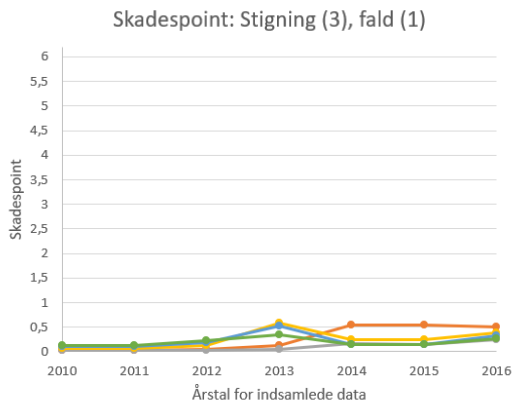
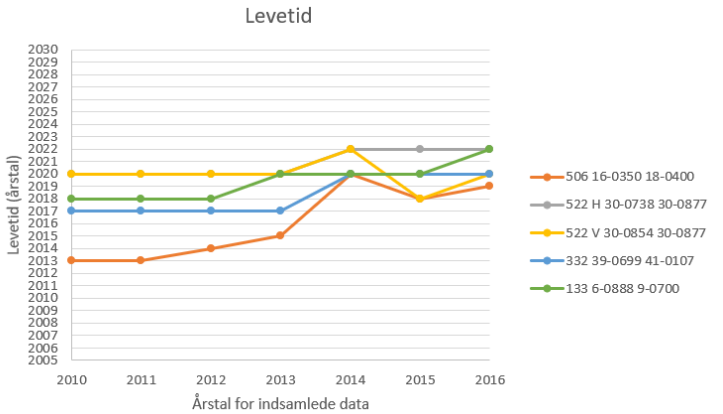
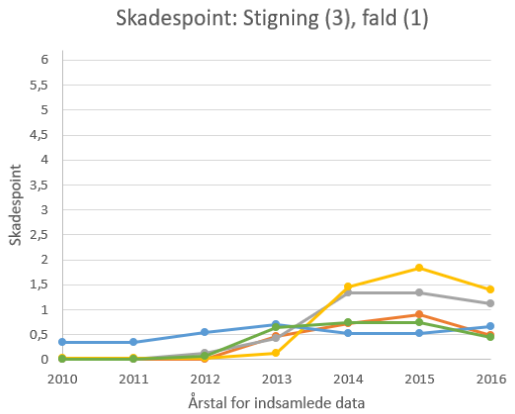
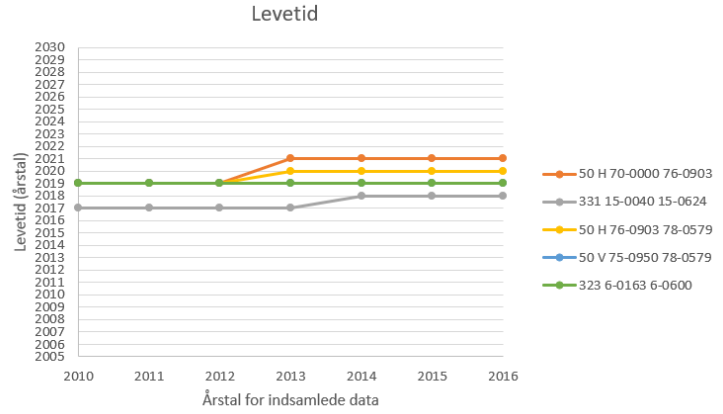
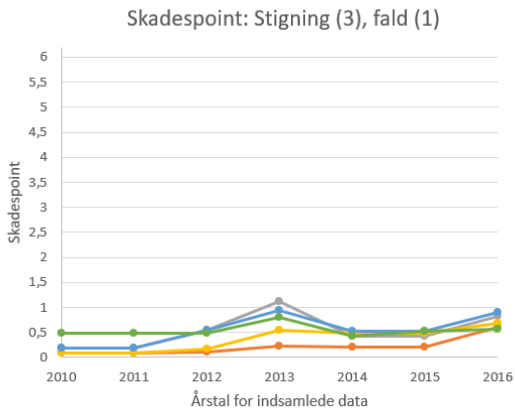


Levetid

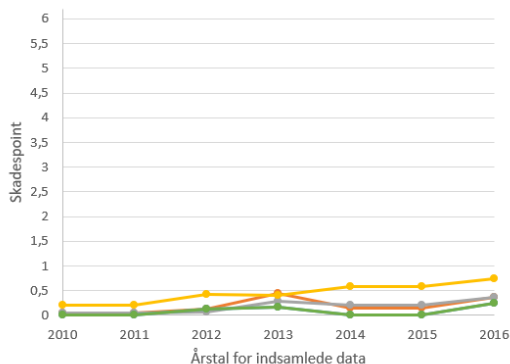




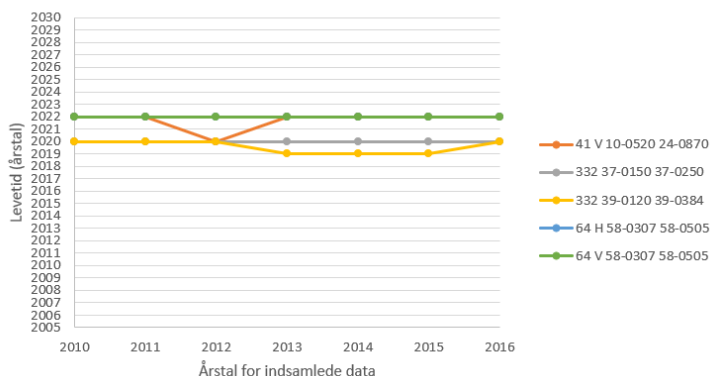




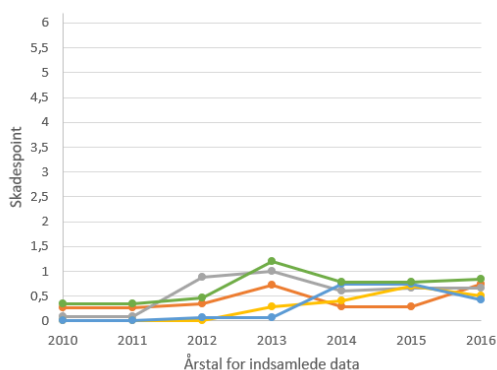
Skadespoint: Stigning (3), fald (1)



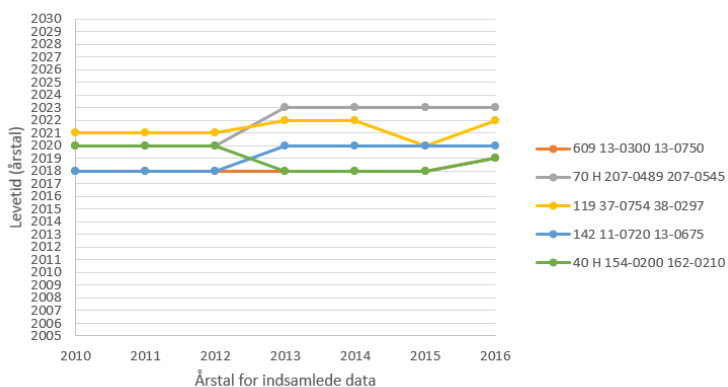
Levetid



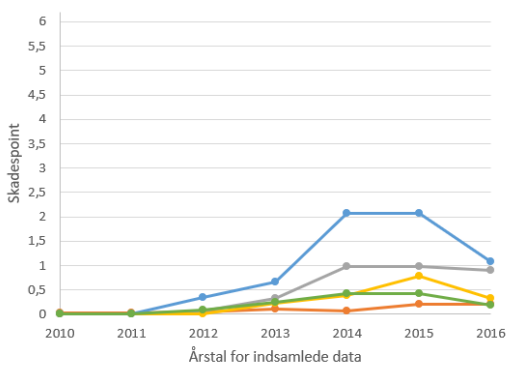
Skadespoint: Stigning (3), fald (1)



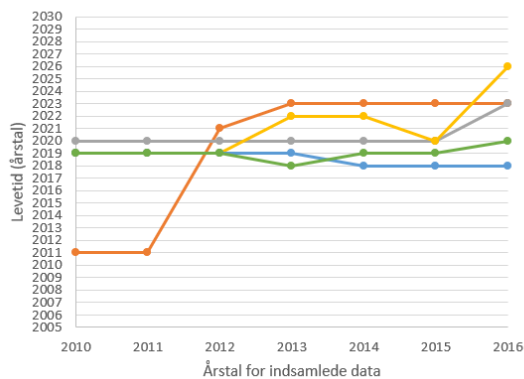
Levetid



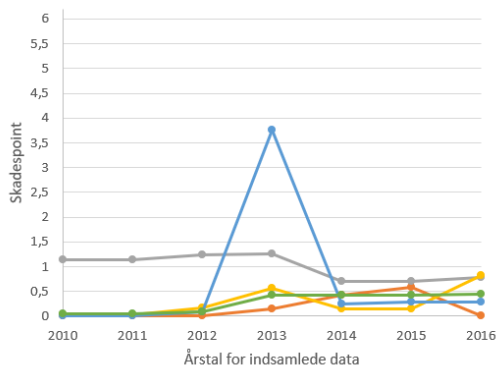
Skadespoint: Stigning (3), fald (1)



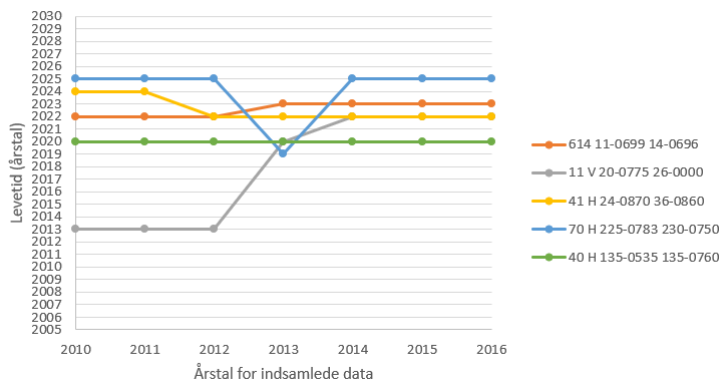
Levetid

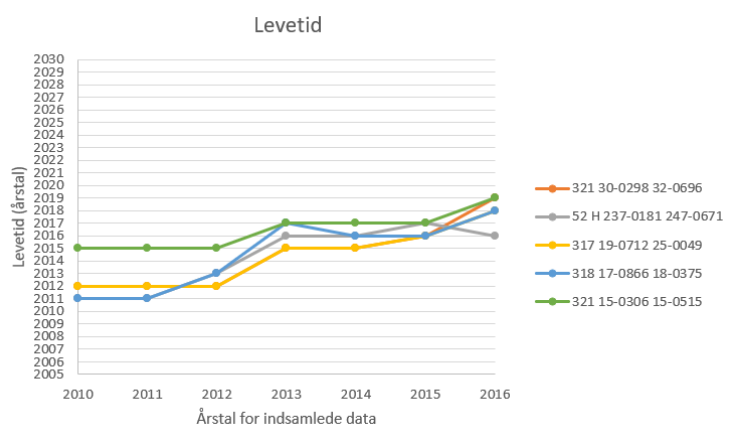
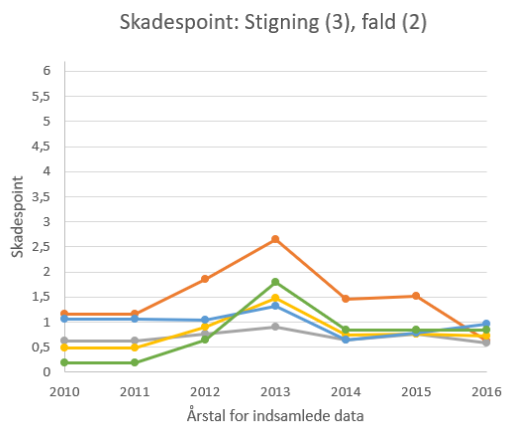
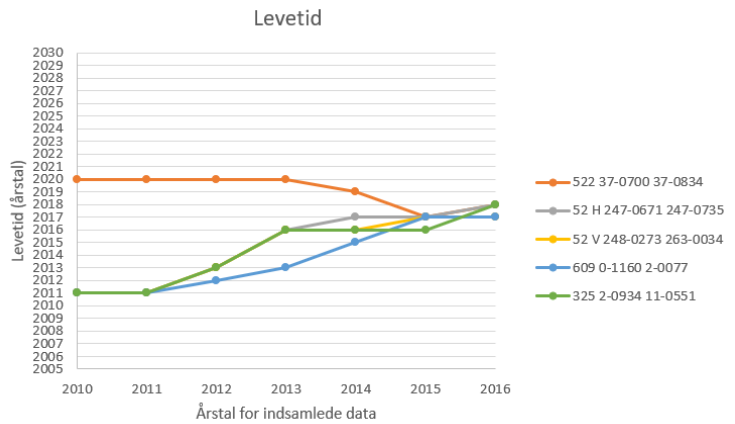
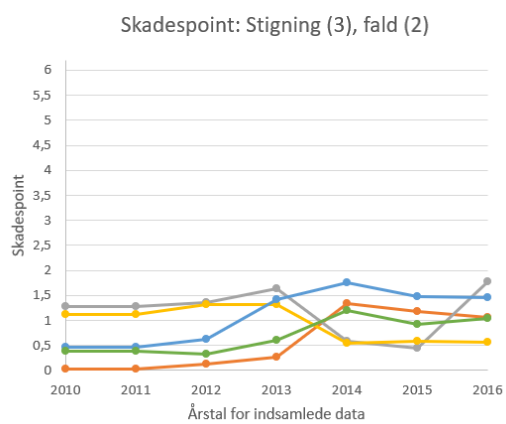
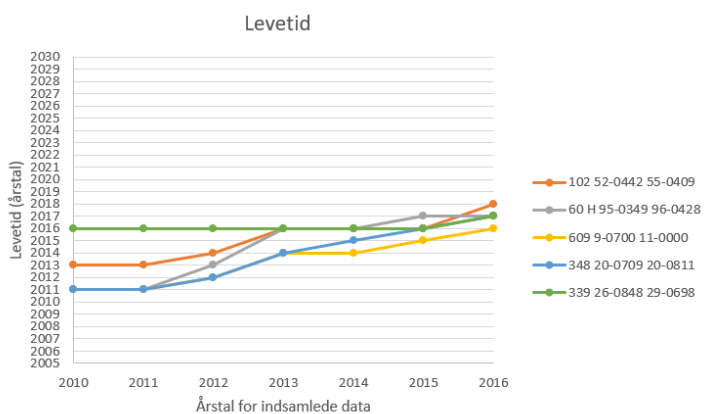
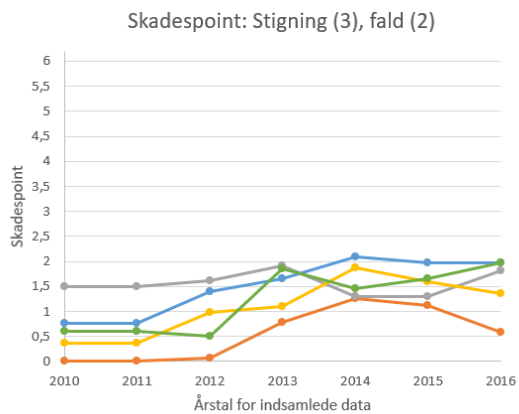
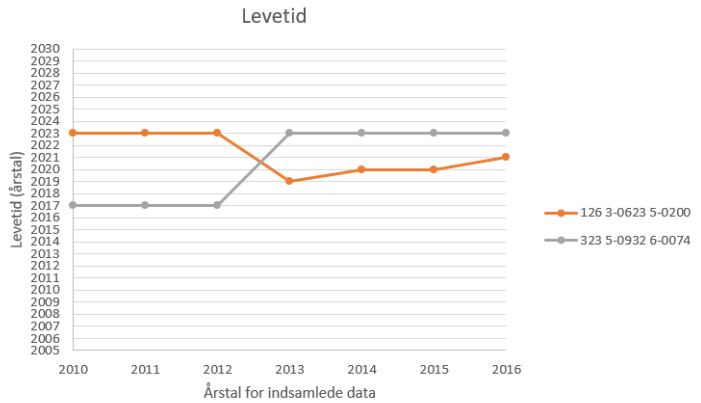
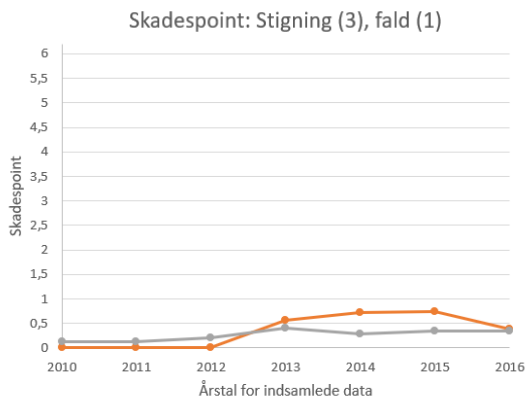


Skadespoint: Stigning (3), fald (1)

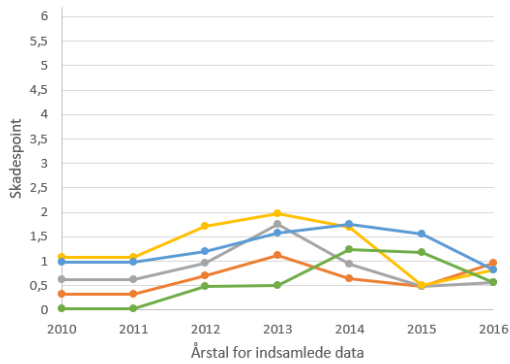


Levetid

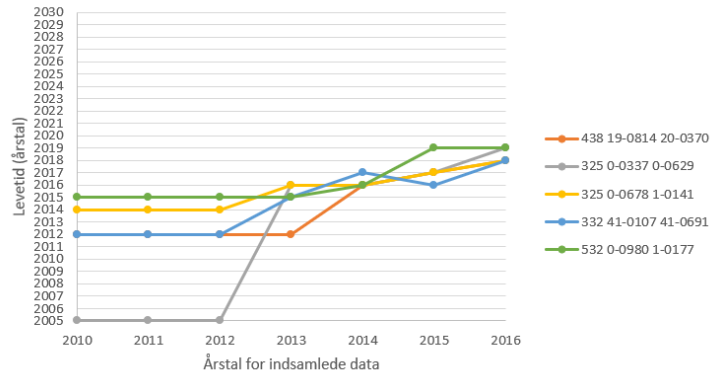




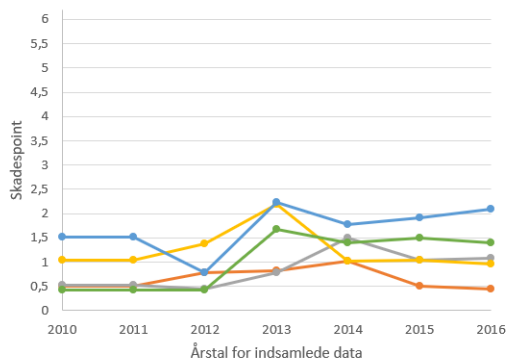
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



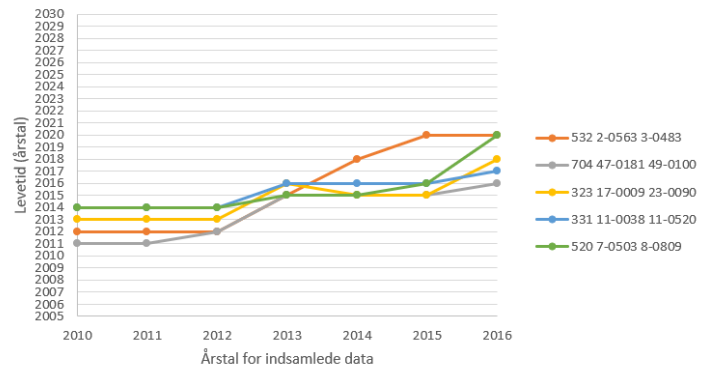
Levetid



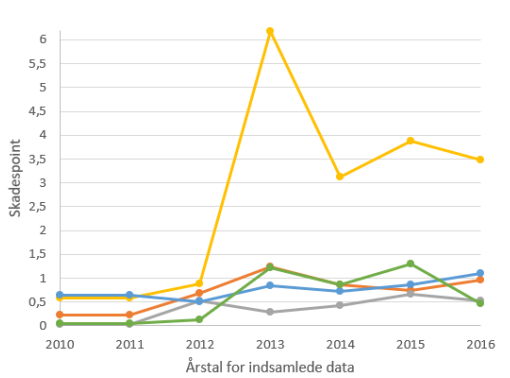
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



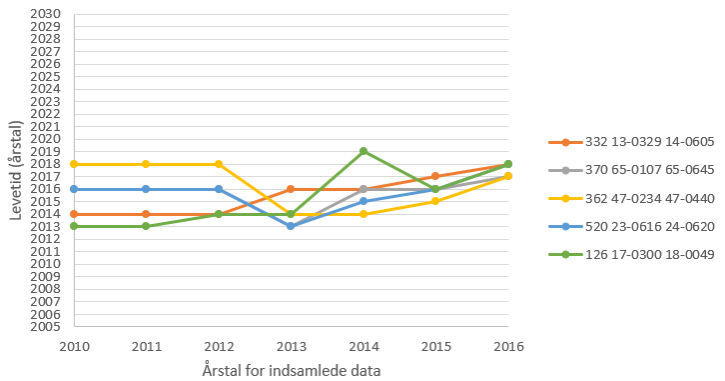
Levetid



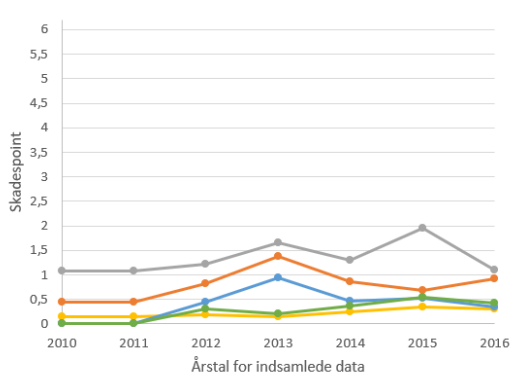
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



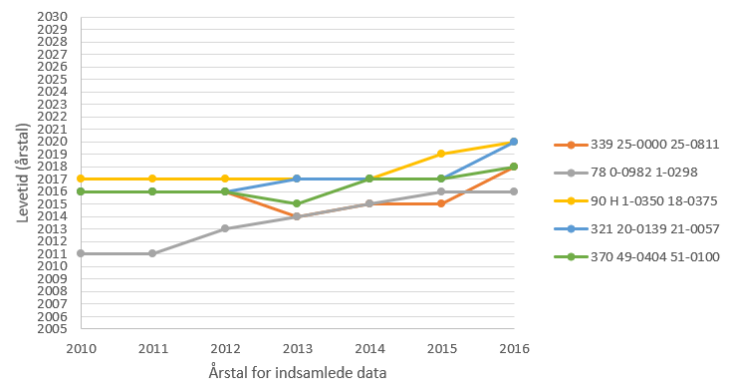
Levetid



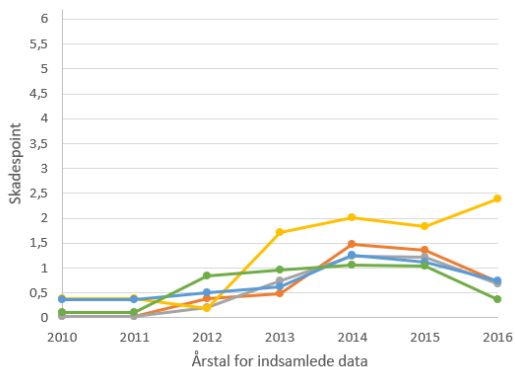
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



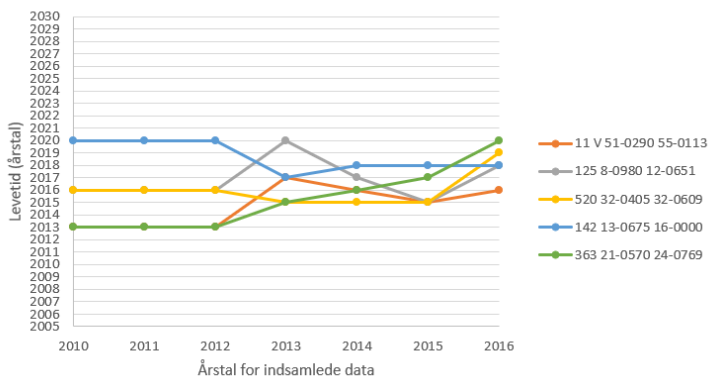
Levetid



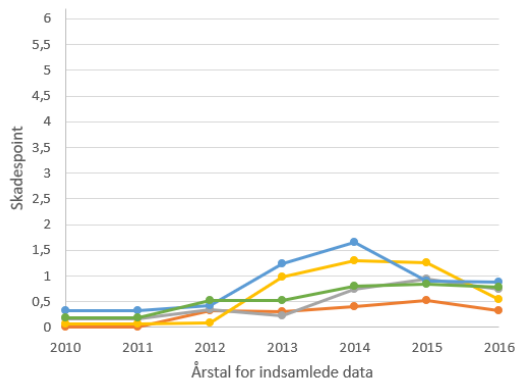
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



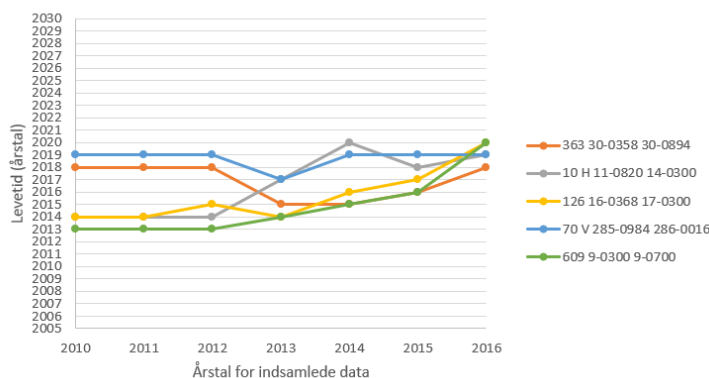
Levetid



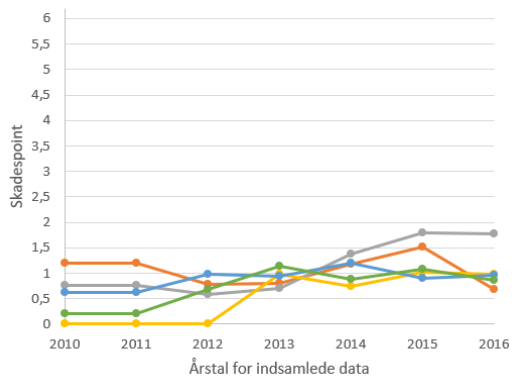
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



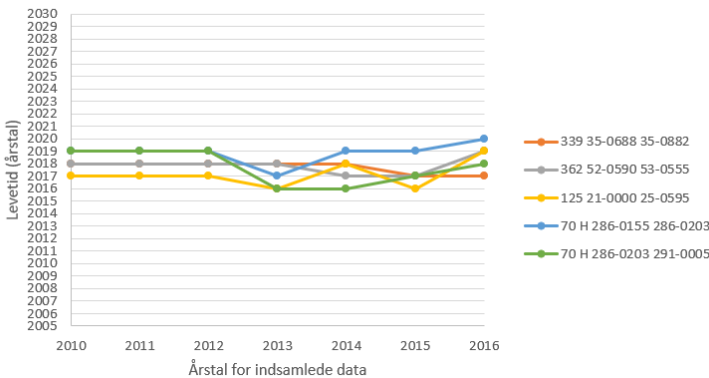
Levetid



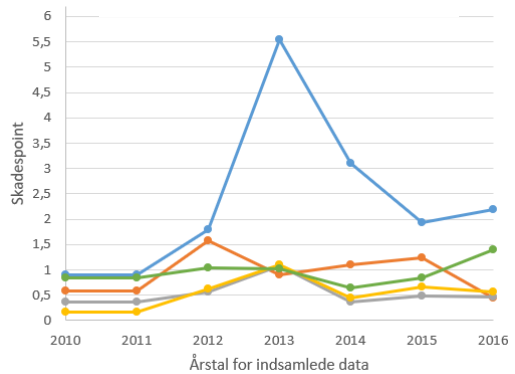
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



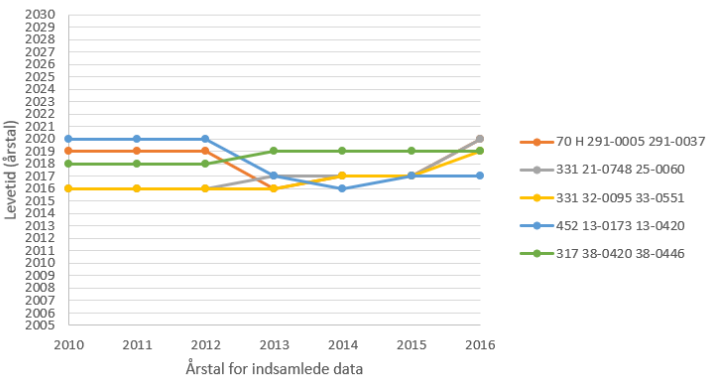
Levetid



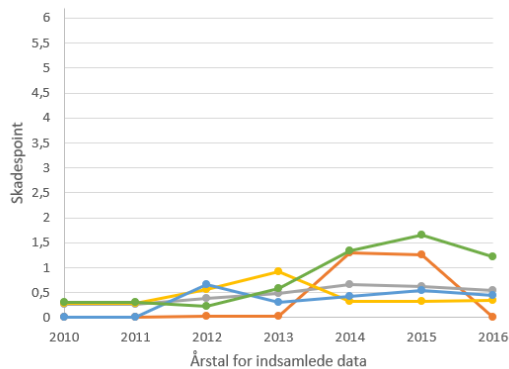
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



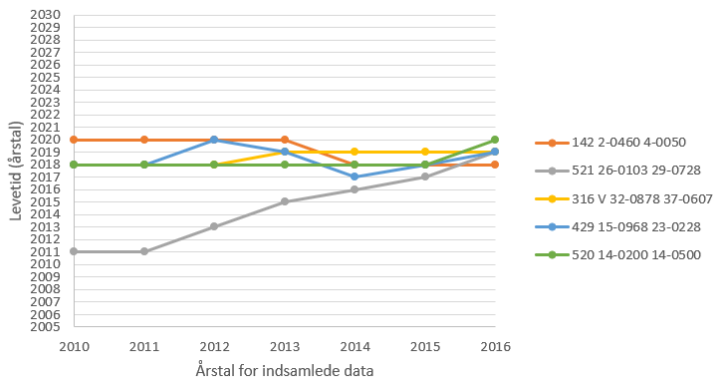
Levetid



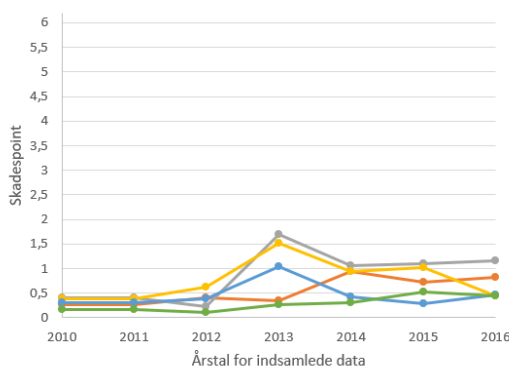
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



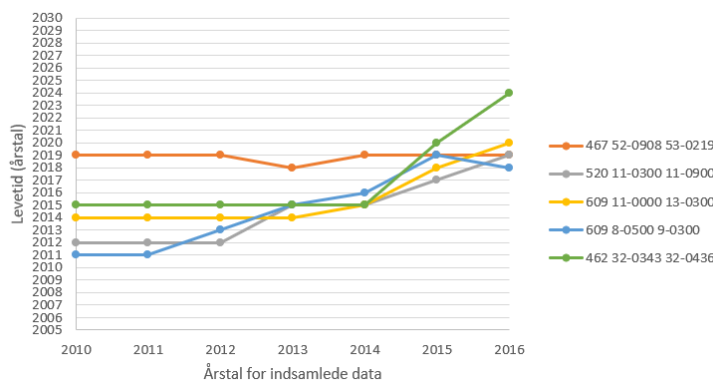
Levetid



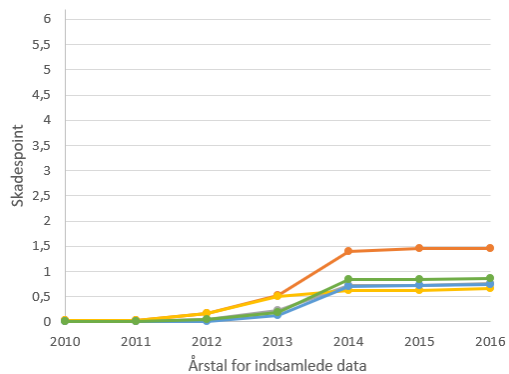
Skadespoint: Stigning (3), fald (2)



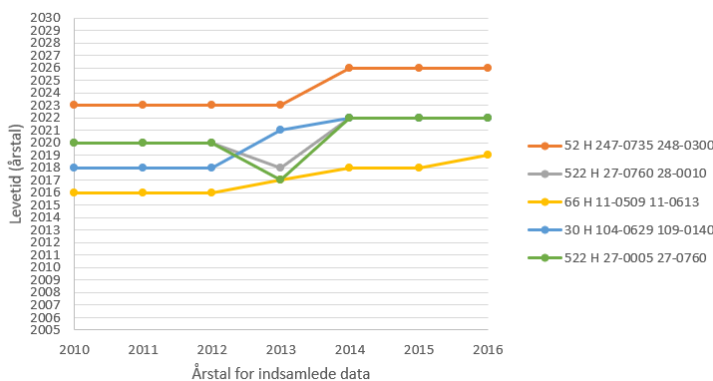
Levetid



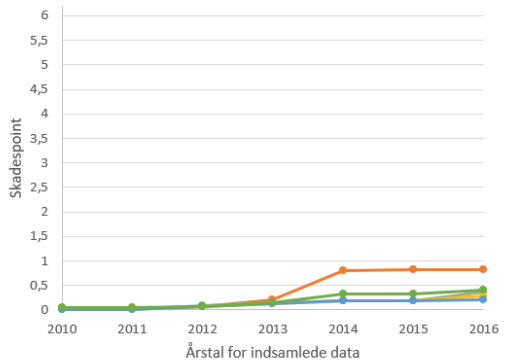
Skadespoint: Stigning (4), fald (0)



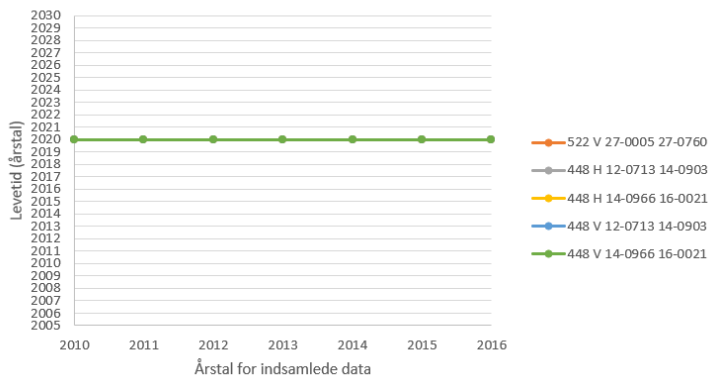
Levetid



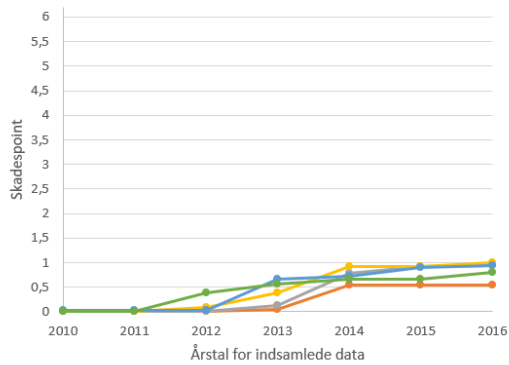
Skadespoint: Stigning (4), fald (0)



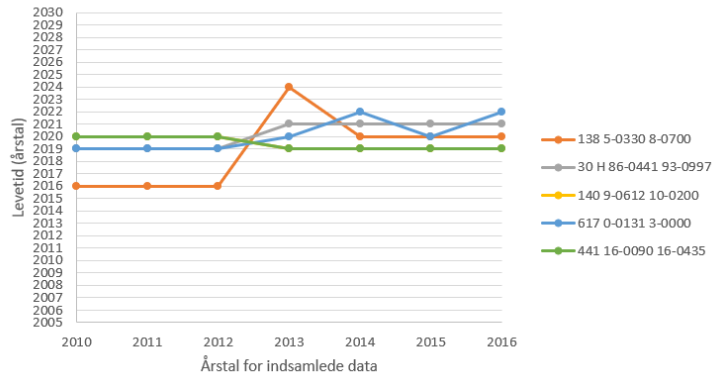
Levetid



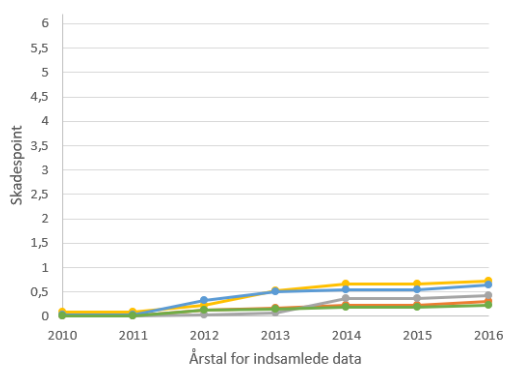
Skadespoint: Stigning (4), fald (0)



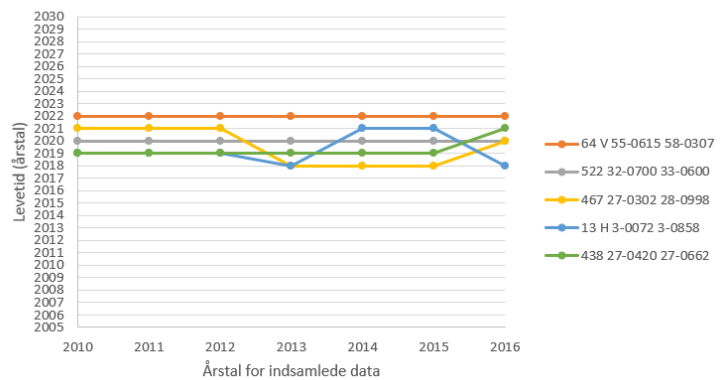
Levetid



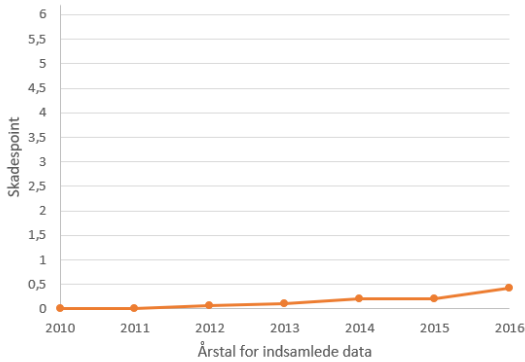
Skadespoint: Stigning (4), fald (0)



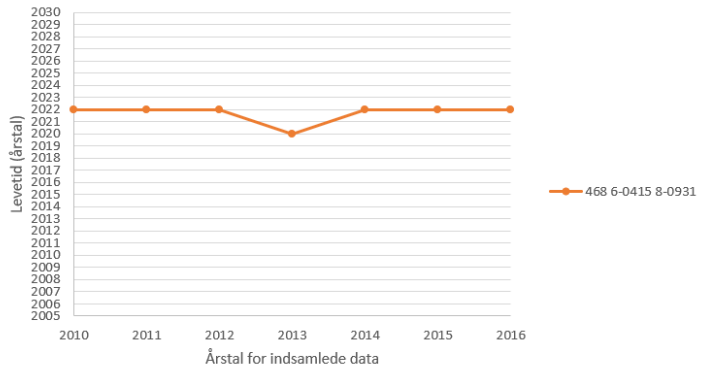
Levetid



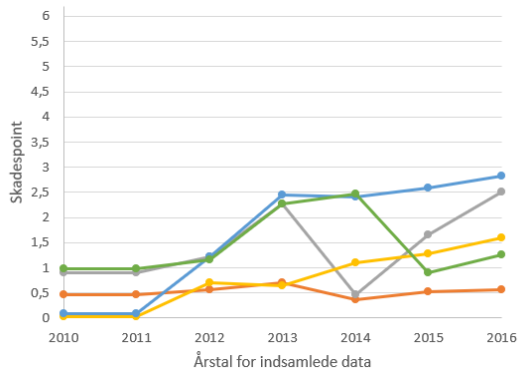
Skadespoint: Stigning (4), fald (0)



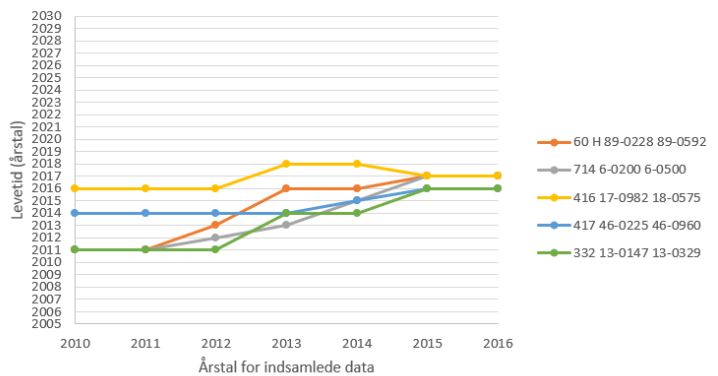
Levetid



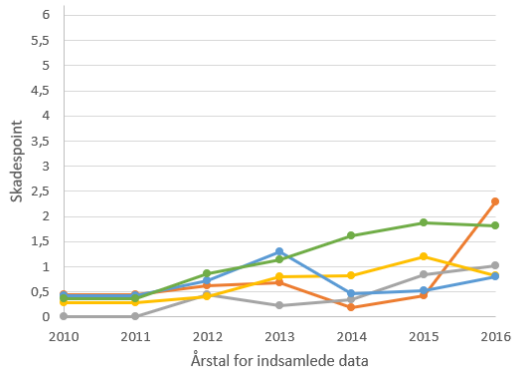
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



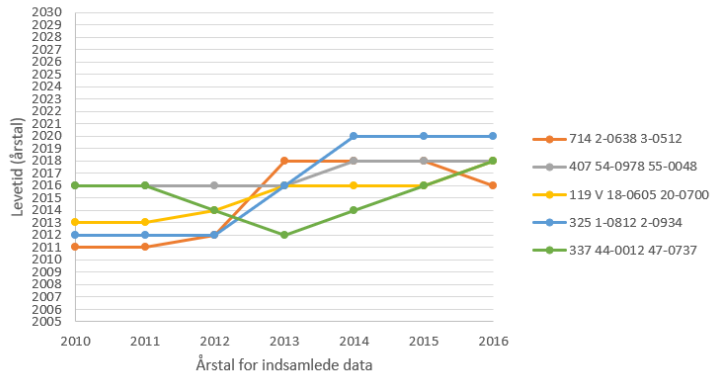
Levetid



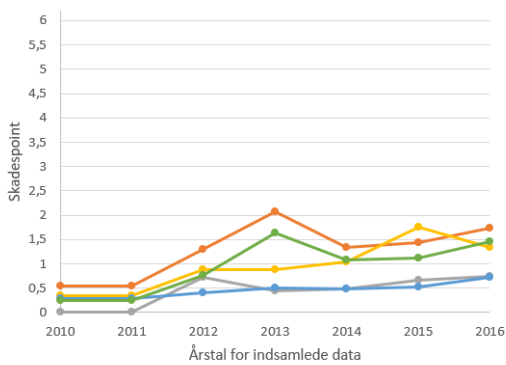
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



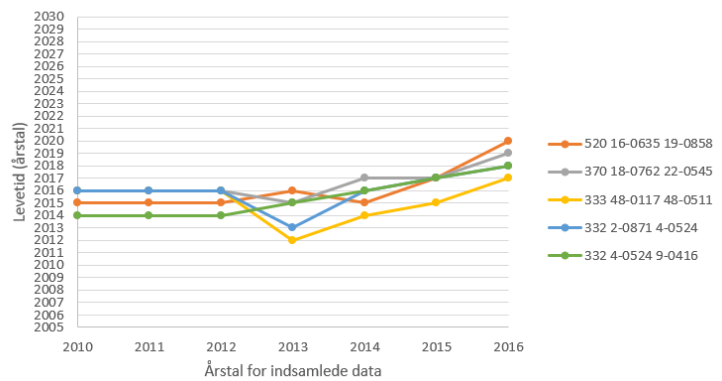
Levetid



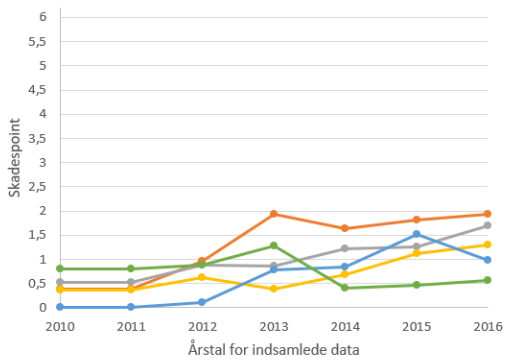
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



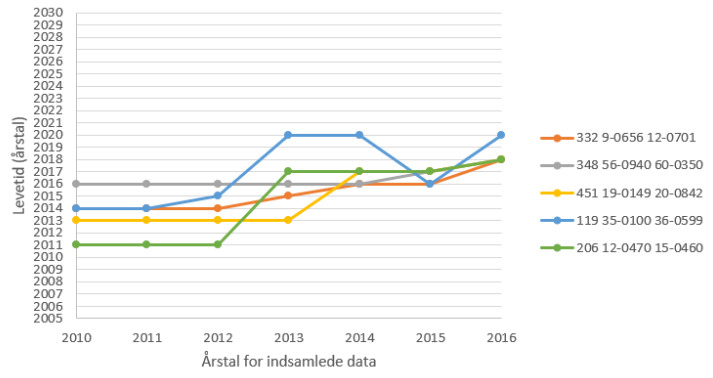
Levetid



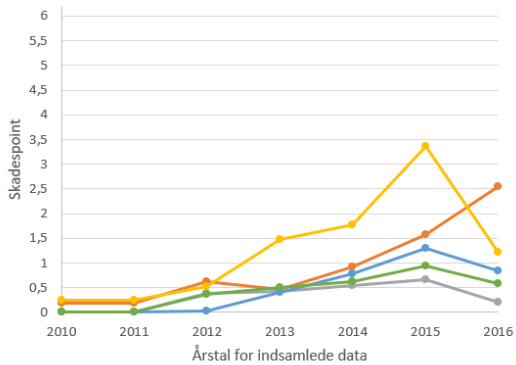
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



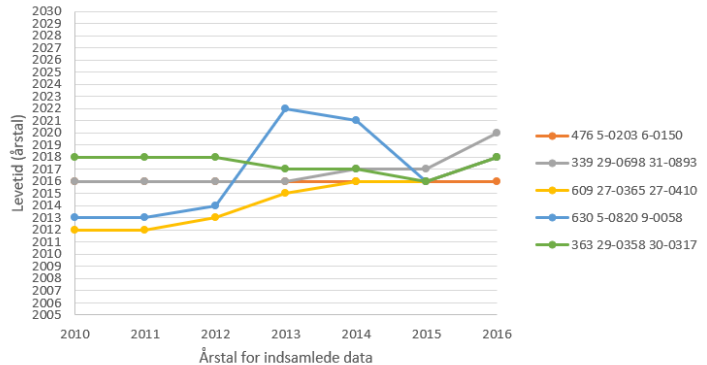
Levetid

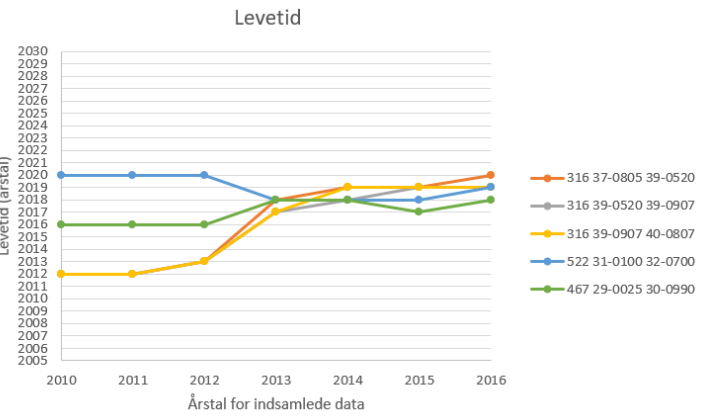
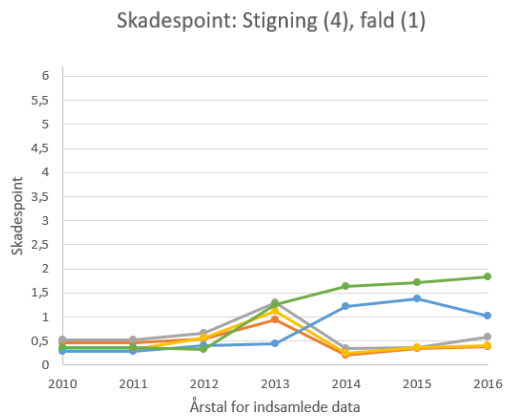
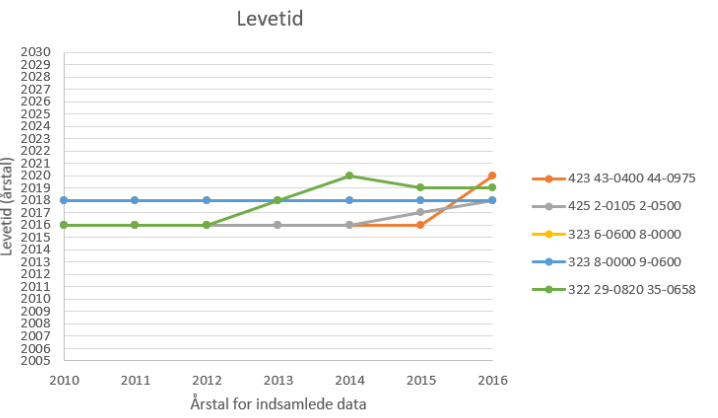
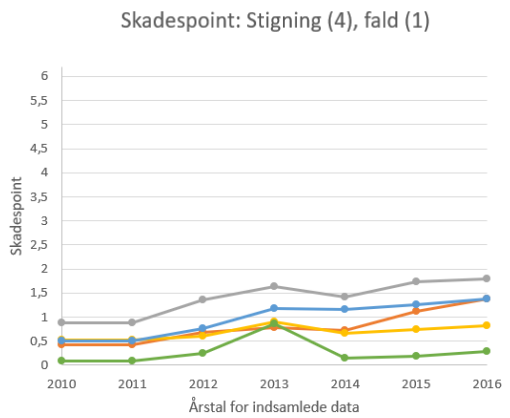
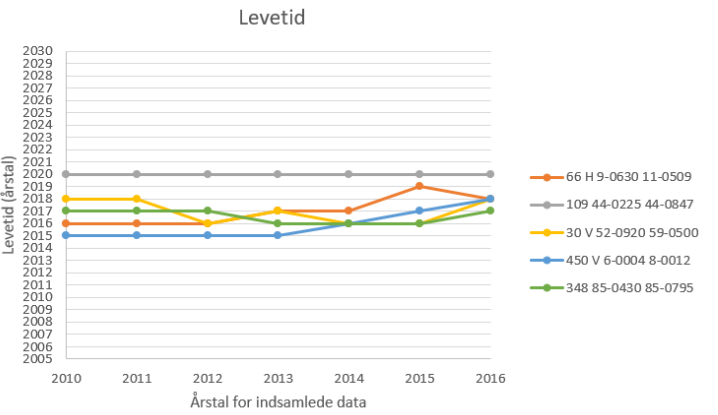
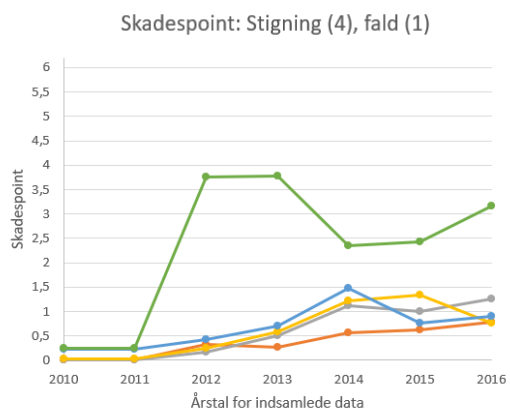
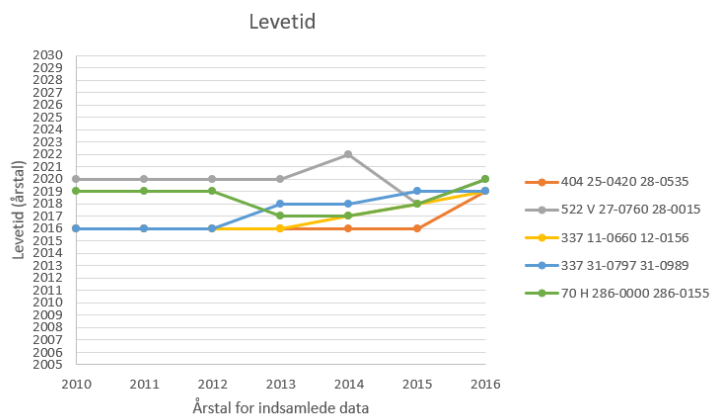
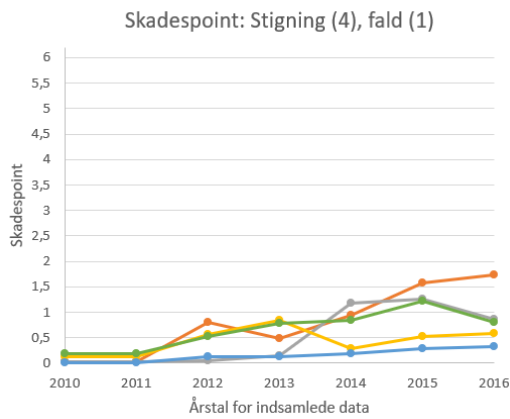


Skadespoint: Stigning (4), fald (1)

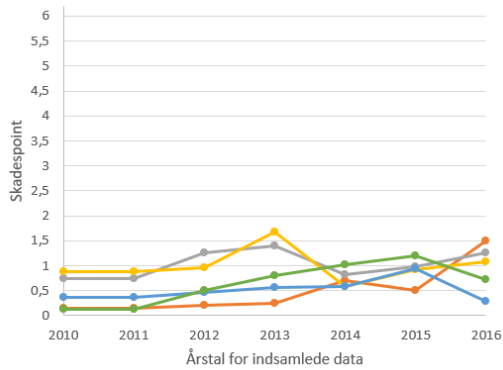


Levetid

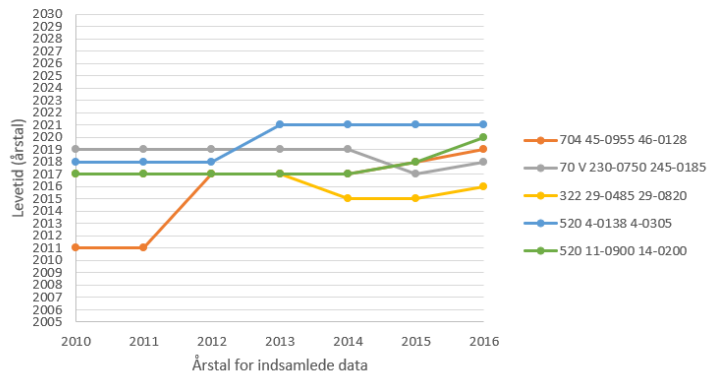




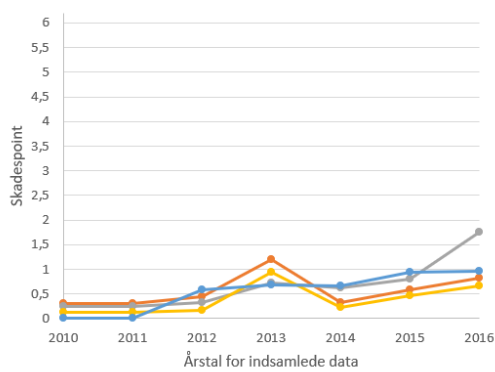
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



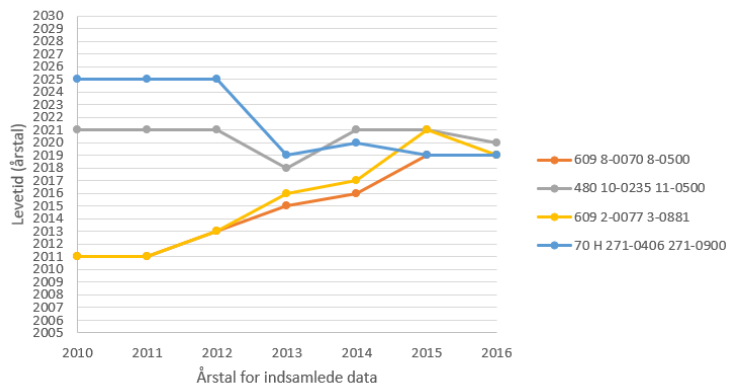
Levetid



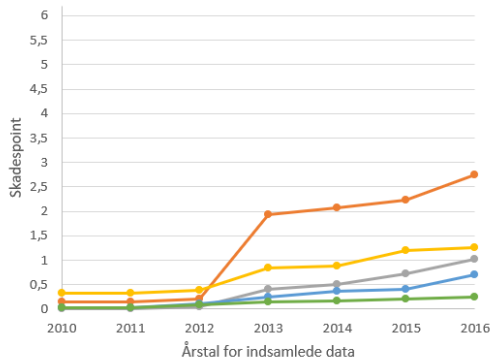
Skadespoint: Stigning (4), fald (1)



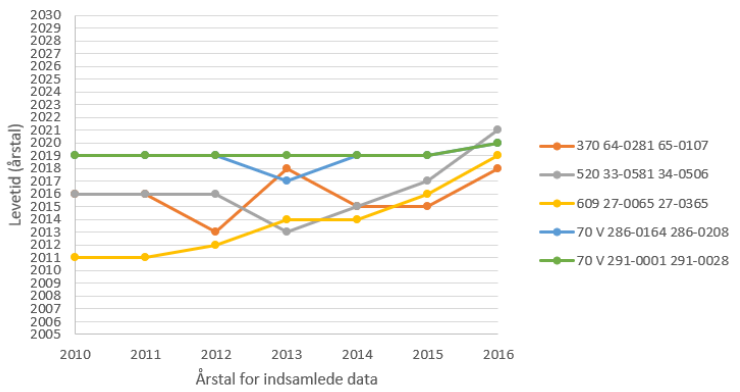
Levetid



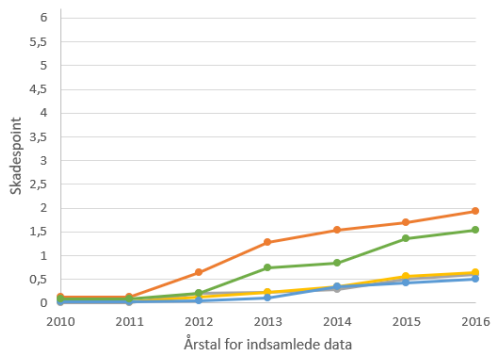
Skadespoint: Stigning (5), fald (0)



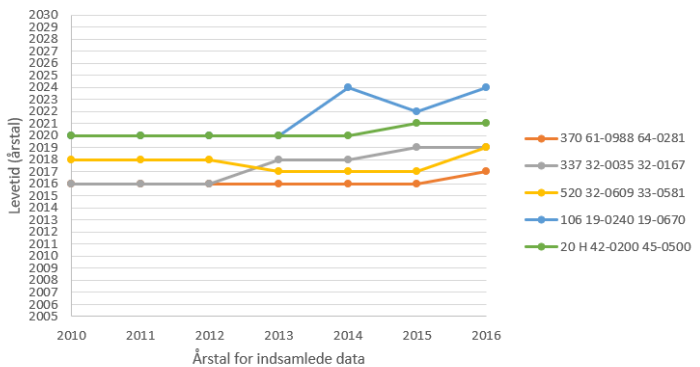
Levetid



Skadespoint: Stigning (5), fald (0)



Levetid



Bilag D: McNemar's test resultater

Dette bilag indeholder McNemar's testresultater som blev undersøgt i afsnit 5.3 McNemar's test.

		Skadespoint		
		Stiger	Falder/ uændret	Total
Levetid	Antal			
	Kolonne %			
	Række %			
	Stiger	37 14,68 68,52	17 20,48 31,48	54
Falder/ uændret	215 85,32 76,51	66 79,52 23,49	281	
Total	252	83	335	

Tabel 2: McNemar's test for 2011-2012.

$$\chi^2 = 168,98, p - \text{værdi} < 0,001$$

		Skadespoint		
		Stiger	Falder/ uændret	Total
Levetid	Antal			
	Kolonne %			
	Række %			
	Stiger	141 49,82 89,81	16 30,77 10,19	157
Falder/ uændret	142 50,18 79,78	36 69,23 20,22	178	
Total	283	52	335	

Tabel 3: McNemar's test for 2012-2013.

$$\chi^2 = 100,48, p - \text{værdi} < 0,001$$

Skadespoint

Levetid	Antal	Stiger	Falder/ uændret	Total
	Kolonne %			
	Række %			
Stiger	72	53	125	
	41,86	32,52		
	57,60	42,40		
Falder/ uændret	100	110	210	
	58,14	67,48		
	47,62	52,38		
Total	172	163	335	

Tabel 4: McNemar's test for 2013-2014.

$$\chi^2 = 14,44, p - \text{værdi} = 0,0001$$

Skadespoint

Levetid	Antal	Stiger	Falder/ uændret	Total
	Kolonne %			
	Række %			
Stiger	43	29	72	
	29,45	15,34		
	59,72	40,28		
Falder/ uændret	103	160	263	
	70,55	84,66		
	39,16	60,84		
Total	146	189	335	

Tabel 5: McNemar's test for 2014-2015.

$$\chi^2 = 41,48, p - \text{værdi} < 0,0001$$

Skadespoint

Levetid	Antal	Stiger	Falder/ uændret	Total
	Kolonne %			
	Række %			
Stiger	73	95	168	
	48,99	51,08		
	43,45	56,55		
Falder/ uændret	76	91	167	
	51,01	48,92		
	45,51	54,49		
Total	149	186	335	

Tabel 6: McNemar's test for 2015-2016.

$$\chi^2 = 2,11, p - \text{værdi} = 0,1462$$

Bilag E: Sporkøring sammenligning

Dette bilag indeholder strækningsserier for sporkøring indsamlet ved testkørslen.

