

AALBORG UNIVERSITET
VEJE OG TRAFIK: KANDIDATSPECIALE



Effektundersøgelse af vejbump
Kandidatspeciale

Forfattere:

Alexander Gejl Kokholm
Kristian Lynge Dahlgaard

Vejleder:

Harry Lahrmann

Juni 2020



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

**10. semester v/ Det Ingeniør-
og Naturvidenskabelige Fakultet**

Byggeri og Anlæg

Thomas Manns Vej 23

9220 Aalborg Øst

www.engineering.aau.dk

Titel:

Effektundersøgelse af vejbump

Semester:

10. semester på Byggeri og Anlæg

Projekttype

Kandidatspeciale

Projektperiode:

3. februar 2020 - 10. juni 2020

Forfattere:

Alexander Gejl Kokholm
Kristian Lyng Dahlgaard

Vejleder:

Harry Lahrmann

Hovedrapport: 52 sider

Appendiks: 11 sider

Afsluttet: 10-06-2020

Synopsis:

I dette projekt foretages en effektundersøgelse af vejbump ud fra lodret acceleration, ryk og hastighed.

Undersøgelsen er foretaget på baggrund af Floating Car Data fra ITS Platform, som indeholder mere end 1,3 mia. data. Under projektet er der hentet data fra 109 bump. Alle bump er placeret i Region Nordjylland.

Vejbumpenes effekt er undersøgt ved at sammenholde overkørselshastighederne med den maksimale lodrette acceleration. Resultatet af undersøgelsen er, at nogle accelerationspåvirkninger varierer bumptyperne imellem, trods ens hastighedsklasser. Trapezbump er fundet til at være særligt problematiske, fordi den lodrette acceleration kun vokser i mindre grad når hastigheden øges. Derudover er modificeret cirkelbump fundet til at være de mest hensigtsmæssige, da den lodrette acceleration stiger mere markant når hastigheden øges.

Ydermere viste undersøgelsen, at de testede vejbump ikke overholder udformningskravene fra Vejregler, og ofte afviger i geometri trods samme type og hastighedsbegrænsning.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Alexander Kokholm og Kristian Dahlgaard fra Veje og Trafik på Aalborg Universitets Institut for Byggeri og Anlæg. Kandidatspecialet omhandler effekten af vej bump, og tager udgangspunkt i en gruppe bump placeret i Region Nordjylland. Der er benyttet Floating Car Data fra forskningsprojektet ITS Platform.

Forudsætningerne for at læse rapporten er et kendskab til vejsektoren herunder emner som big data, Floating Car Data, trafiksanering og statistiske test.

Rapporten er opdelt i to dele bestående af en hovedrapport og et appendiks.

Kilderne i rapporten er opgivet i henhold til Harvard metoden hvilket betyder, at kildehenvisningerne starter med forfatter efterfulgt af et årstal. Ydermere er henvisning til kilder angivet i firkantede parenteser. Litteraturlisten er opstillet med kilderne i alfabetisk orden efter forfatterens fornavn. Figurer uden kilde angivet er fremstillet af projektgruppen.

Under udarbejdelse af rapporten er der anvendt SQL-kodning i programmet PgAdmin. Ydermere er STATA anvendt til statistiske analyser og GIS-programmet QGIS til fremstilling af figurer.

I forbindelse med projektarbejdet rettes en tak til Anne Vingaard Olesen for hjælp til statistiske analyser og Harry Lahrmann for vejledning under projektforsløbet.


Alexander Gejl Kokholm


Kristian Lynge Dahlgaard

Abstract

This study performs an effect study of speed bumps on the basis of vertical acceleration, shock and speed.

The research question is: "What is the correlation between speed and vertical acceleration for different types of speed bumps and are there systematic differences in the acceleration for different types of speed bumps?"

The starting premise of this study was a previous study called "ITS Platform" which contains a large amount (1.3 billion datapoints) of Floating Car Data. Doing the project data from 109 different speed bumps all located in the northern part of Jutland, Denmark were extracted.

The effect of speed bumps were investigated by comparing the peak acceleration and peak shock with the corresponding speed. The result of the thesis is that some accelerations varies within the same type of speed bump even though the speed limit is the same. Trapezoid bumps are found to be especially problematic as the vertical acceleration only increases slightly as the speed increases. This means that the geometri of trapezoid bumps to a certain extend punishes the road users the same regardless of the speed. Furthermore modified speed bumps are found to be the most suitable bumps as the vertical acceleration increases more fittingly as the speed increases.

The study also shows that the investigated speed bumps differed from the geometry requirements from "Vejregler" and that bumps that should be the same often had different geometries.

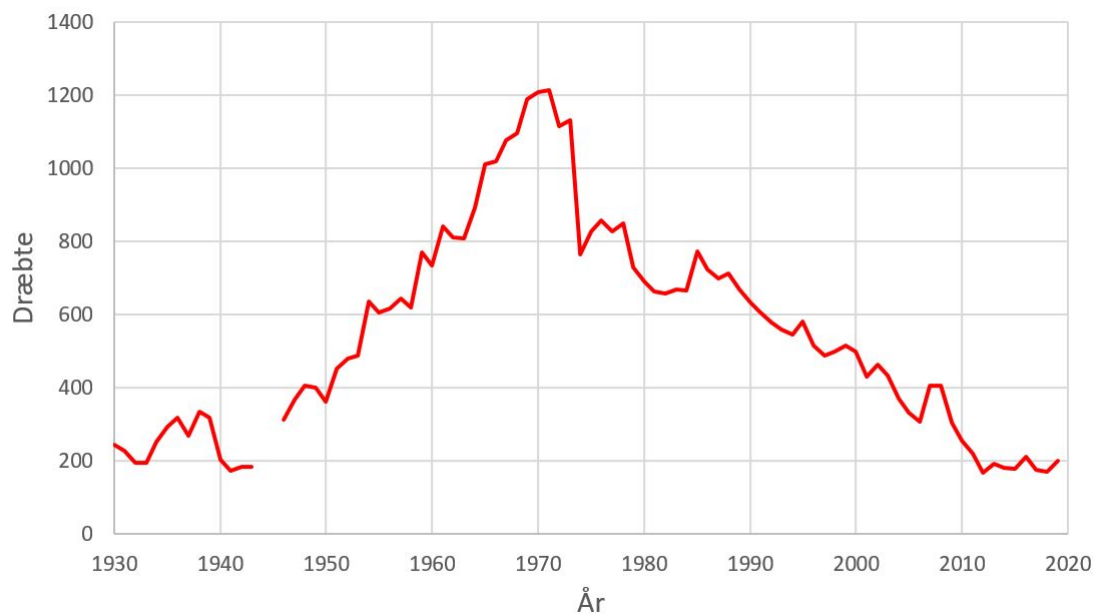
Indholdsfortegnelse

Kapitel 1	Indledning	1
1.1	Hastighedens betydning	2
1.1.1	Potens- og eksponentialmodellen	2
Kapitel 2	Projektbaggrund	4
2.1	Vejbump	4
2.1.1	Funktionskrav	4
2.1.2	Udformning	5
2.2	Undersøgelser med sammenligning af bumptyper	5
2.2.1	Internationale undersøgelser	5
2.2.2	Danske undersøgelser	6
2.2.3	Udformning, g-påvirkning og det ideelle vejbump	7
Kapitel 3	Problembeskrivelse	9
Kapitel 4	Metode	10
4.1	Litteraturstudie	10
4.2	ITS Platform	11
4.2.1	Dataudtræk	12
4.2.2	Validering af data	15
4.3	Opmåling af bump	16
4.4	Databehandling	18
Kapitel 5	Sammenligning af opmålingsmetoder	24
Kapitel 6	Resultater	26
6.1	Acceleration	26
6.2	Ryk	34
6.3	Opmåling	42
Kapitel 7	Diskussion	43
Kapitel 8	Konklusion	49
Litteratur		50
I	Appendiks	53
Appendiks A	Grupperinger - vejbump	54
Appendiks B	Opmåling	55

Indledning

1

I Danmark er antallet af trafikdræbte generelt faldet siden 1971, se figur 1.1. Faldet kan blandt andet tilskrives genindførelsen af hastighedsgrænser i 1973 [Siren et al., 2012] samt lov om brug af sikkerhedsselen i 1976 [Jonassen, 2014]. Indsatsen for en bedre trafiksikkerhed blev styrket i 1988 med Danmarks første nationale handlingsplan for trafiksikkerhed. Handlingsplanen er siden revideret 2 gange, senest i 2013 med handlingsplanen *Hver ulykke er én for meget* med en målsætning om maksimalt 120 trafikdræbte i 2020 [Færdselssikkerhedskommissionen, 2013]. Antallet af trafikdræbte er stagneret siden 2012 med omkring 180 dræbte om året, og målsætningen for 2020 virker derfor urealistisk.



Figur 1.1. Antallet af dræbte i trafikken fra 1930-2019. Data fra årene 1944 og 1945 indgår ikke i figuren grundet manglende politidata [Danmarks Statistik, 2019].

Den nationale handlingsplan tager udgangspunkt i ti fokusområder, hvor det første fokusområde er for høj hastighed. Hastigheden er særligt et problem på landevejene, hvor det vurderes, at 60% af trafikanterne kører mere end hastighedsbegrænsningen tillader. Den øgede hastighed påvirker risikoen for at være involveret i et trafikuheld. [Færdselssikkerhedskommissionen, 2013]

1.1 Hastighedens betydning

Havarikommissionen for vejtrafikulykker foretog i 2013 en dybdeanalyse af 291 alvorlige ulykker, hvor trafikantfaktorer var medvirkende til, at ulykken skete i mere end 99% af tilfældene. Ydermere viste analysen, at for høj hastighed var blandt de hyppigst forekommende ulykkesfaktorer, og var en medvirkende faktor til at ulykken skete i over 42% af tilfældene. [Havarikommissionen for Vejtrafikulykker, 2014] I en lignende undersøgelse af Trafitec fra 2019 blev 92 trafikulykker på motorveje undersøgt. I denne undersøgelse var for høj hastighed en medvirkende faktor til at ulykken skete i 21% af ulykkerne. For høj hastighed var derved den 3. hyppigst forekommende ulykkesfaktor i undersøgelsen. [Buch og Andersson, 2019]

1.1.1 Potens- og eksponentialmodellen

Sammenhængen mellem middelhastighed og antallet af ulykker kan beskrives ved potensmodellen, som blev fremsat af den svenske trafikforsker Göran Nilsson i 1981. Potensmodellen er siden videreudviklet og i 2012 fremsatte Rune Elvik eksponentialmodellen, som ligeledes benyttes til at vurdere effekten af hastighedsreduceringer under hensyntagen til antallet af ulykker i før-perioden, se formel 1.1 [Nielsen og Andersen, 2014].

$$\text{Forventet ulykkestal} = \text{ulykkestal}_{\text{gammel}} \cdot \frac{e^{(\beta \cdot V_{ny})}}{e^{(\beta \cdot V_{\text{gammel}})}} \quad (1.1)$$

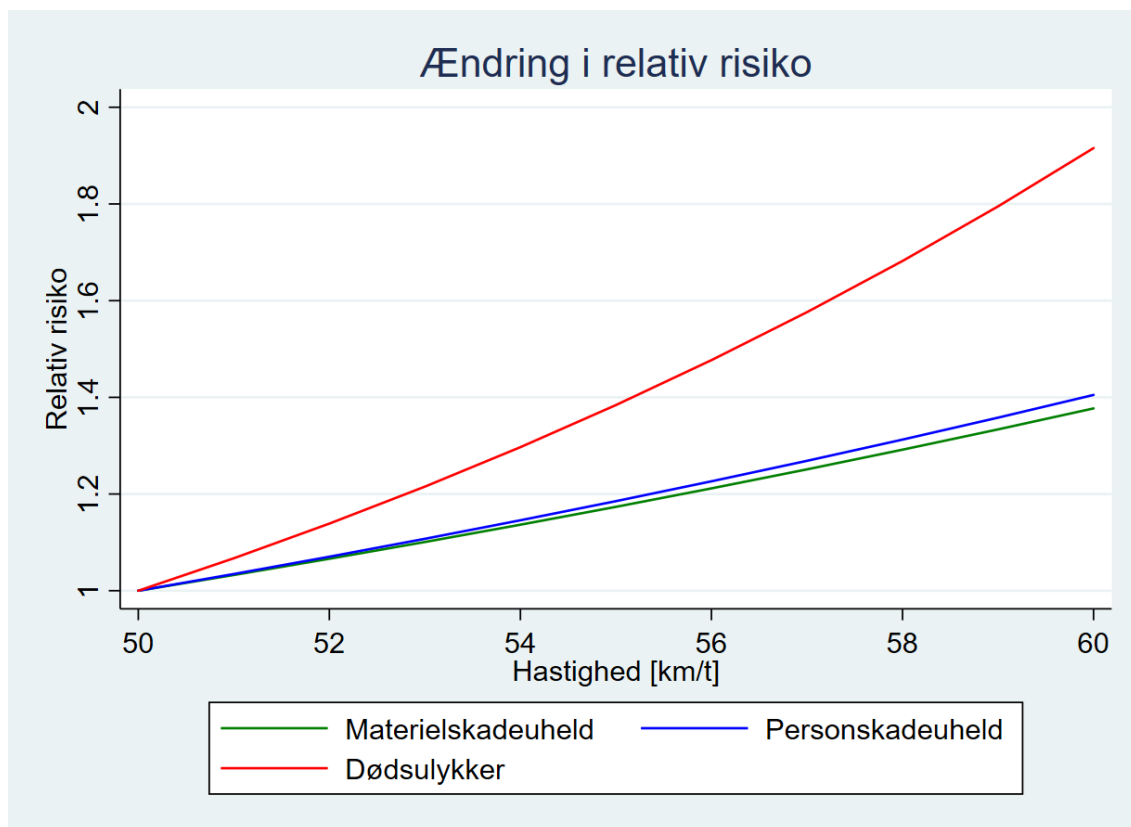
$\text{Forventet ulykkestal}$	Det forventede ulykkestal efter hastighedsændring
$\text{ulykkestal}_{\text{gammel}}$	Det nuværende ulykkestal på strækning
β	Regressionskonstant
V	Hastighed [km/t]

Eksponentialmodellen kan benyttes til at vurdere 5 forskellige typer af uheld. Regressionskonstanten β ændres afhængigt af, hvilken uheldstype der undersøges for, se tabel 1.1.

Uhedsart	β
Alvorlige skader	0,061
Dødsulykker	0,065
Lette skader	0,028
Materielskadeuheld	0,032
Personskadeuheld	0,034

Tabel 1.1. Regressionskonstanter i eksponentialmodellen for hver ulykkesart [Vejdirektoratet, 2015].

Ændringen i relativ risiko for et uheld af typen materielskadeuheld, personskadeuheld og dødsulykke er vist på figur 1.2 med udgangspunkt i eksponentialmodellen ved en hastighed på 50 km/t.



Figur 1.2. Ændringen af den relative risiko for materielskadeuheld, personskadeuheld og dødsulykker, som følge af højere hastighed (udgangspunkt: 50 km/t).

Af figuren fremgår det at risikoen for en dødsulykke er 1,9 gange større ved en hastighed på 60 km/t sammenlignet med 50 km/t. Den relative risiko for personskadeuheld og materielskadeuheld er mindre end for dødsulykker, og ved 60 km/t er risikoen ca. 1,4 gange større end ved 50 km/t.

For at reducere antallet af trafikdræbte, og arbejde frem mod målsætningen i den nationale handlingsplan, er det derfor relevant at arbejde med hastighedsreducerende tiltag. Et af de mest anvendte hastighedsdæmpende tiltag er vejbumper, da de har en lav anlægspris og effektiv virkning [Kjemtrup, 1988]. Vejbumper sikrer, at trafikanter nedsætter hastigheden ved at påføre fartsyndere et fysisk ubehag.

Projektbaggrund 2

2.1 Vejbump

Vejbump blev officielt indført i Danmark i 1978 med cirkulæret om fysiske hastighedsdæmpende foranstaltninger på vejene, hvilket blev indarbejdet i vejreglerne i 1979 [Kjemtrup, 1988]. De første år blev vej bump primært anlagt som trapezbump og anset som en nødløsning i trafiksaneringen. Ydermere måtte vej bump kun benyttes på veje med en hastighedsgrænse op til 30 km/t. I 1991 blev det anbefalet at benytte bump på veje med en hastighedsgrænse op til 50 km/t, og i de efterfølgende år blev der udviklet mange forskellige bumptyper [Lahrmann, 1992].

Årstal for introduktionen af de forskellige typegodkendte bumptyper i Danmark er angivet herunder.

- 1979: Trapezbump [Kjemtrup, 1988].
- 1984: Cirkelbump [Lahrmann, 1992].
- 1991: Kuppelformet bump. [Vejdirektoratet, 1991]
- 2000: Modificeret cirkelbump og modificeret sinusbump [Vejdirektoratet, 2000].
- 2002: Pukkelbump [Vejdirektoratet, 2002].
- 2007: Trapezbump med modificerede ramper, kombibump, pudebump, midlertidigt bump og to præfabrikerede bump [Vejdirektoratet, 2007].
- 2008-2018: 14 Præfabrikerede bump [Vejdirektoratet, 2019]

Udviklingen har resulteret i ni forskellige typegodkendte bumptyper og 16 typegodkendte præfabrikerede bump samt ét midlertidigt bump [Vejdirektoratet, 2019].

2.1.1 Funktionskrav

Funktionskravene er de samme for samtlige bumptyper med undtagelse af pukkelbumpet, som har en mindre påkrævet g-påvirkning. De resterende bump, inklusiv de præfabrikerede, skal være udformet således at:

1. *en fører af en personbil ved passage med den ønskede hastighed, og en fører af et tungt køretøj ved passage med den ønskede hastighed minus 15 km/t udsættes for en lodret acceleration på 0,65-0,75 gange tyngdeaccelerationen G ,*
 2. *den lodrette acceleration er stigende med stigende hastighed.*
- [Transport-, Bygnings- og Boligministeriet, 2019]

Den lodrette acceleration kontrolleres ved overkørsel af vej bumpene med et servoaccelerometer fastspændt på førerens bryst [Vejdirektoratet, 2004].

G-påvirkningen som trafikanterne udsættes for er meget afhængig af bumpets udformning. Små afvigelser i bumpgeometrien, som følge af upræcis udlægning eller deformation kan derfor medføre, at g-påvirkningen ikke lever op til funktionskravene. Ydermere er g-påvirkningen afhængig af mange forskellige parametre herunder bilens vægt, affjedring, dæktryk med flere. [Lahrman, 1999]

2.1.2 Udformning

Udformningen af nyanlagte bump skal kontrolleres umiddelbart efter udførelsen, og kontrollen udføres ved målinger af vejbumpets højde med nedstik for hver 25 cm i to snit parallelt med kørselsretningen. Der accepteres mindre afvigelser fra bumpudformningen angivet i kataloget over typegodkendte bump, såfremt den gennemsnitlige afvigelse holder sig indenfor følgende tolerancegrænse [Vejreglerådet, 2011]:

"For hver bump halvdel (start af bump til centrum af bump) gælder at den gennemsnitlige afvigelse tillagt 2 gange spredningen skal være mindre end eller lig med 15 mm. Udover ovenstående tolerancer må asfaltbumpets maksimale højde på intet sted overstige 105 mm. For sinusbump er den maksimale højde dog 100 mm." [Vejreglerådet, 2011]

Det har ikke været muligt at tilgå undersøgelser der understøtter tolerancekravet, men efter en mailkorrespondance med en kontaktperson fra Vejregler, er projektgruppen blevet informeret om, at det er et tolerancekrav, der er fastlagt i samarbejde med sektoren. Hvis bumpet ikke overholder tolerancegrænsen kan det stadig accepteres, såfremt der udføres kørselsforsøg som kan efter vise, at den lodrette accelerationspåvirkning overholder funktionskravene [Vejreglerådet, 2011].

2.2 Undersøgelser med sammenligning af bumptyper

Bump er en hyppigt anvendt og effektiv hastighedsdæmpende foranstaltning [Werner, 2015]. Der foreligger mange studier, der sammenligner forskellige bumptyper eller forsøger at skabe nye geometrier for derved at opnå ideelle bump.

2.2.1 Internationale undersøgelser

Effekten af hastighedsdæmpende foranstaltninger og deres accept fra borgere er ofte diskuteret i videnskabelige artikler [Zaidel et al., 1992]. Mange artikler beskriver også hastighedsdæmpning med bump, som et særskilt emne, og belyser blandt andet harmfulde påvirkninger, heriblandt øget støj [Rylander og Björkman, 2002] [Behzad et al., 2007], øget vibration [Lee og Kim, 2008] [Watts og Krylov, 2000] og stigning i brændstofforbrug og skadelige gas emissioner [Ahn og Rakha, 2009].

En af de første store evalueringer af bump blev foretaget i 1973 af G. R. Watts. I dette forskningsprojekt blev der arbejdet mod en ny geometri af bump, hvor der blev fundet en sammenhæng mellem acceleration og ubehag. I projektet udarbejdes forbedringer til geometrien af et cirkelbump, og de testede bump medførte en lodret accelerationspåvirkning i et interval mellem 0,6 og 0,9 g. [Watts, 1973]

Senere, omkring 1990'erne, opstod der bekymringer omkring geometrien i de benyttede bump, hvilket ledte til studier, der forsøgte at designe bump, der var optimale for trafikken.

I den forbindelse blev både funktionskravet om lodret acceleration fastlagt [Kjemtrup, 1998], samt nye udformninger der skulle mindske ubehaget ved passage, heriblandt de modificerede cirkel- og sinusbump. Bumpenes geometri blev forsøgt forbedret i en undersøgelse af Maemori og Ando [1997], hvor acceleration- og rykdata blev benyttet som vurderingsparametre. I undersøgelsen udarbejdes en matematisk model med det formål at optimere geometrien af vej bump. Resultatet viste, at bilernes affjedringssystemer har en stor betydning for bumpenes effekt, og det er derfor svært at skabe et bump der er optimalt for alle køretøjer. Ligeledes forsøgte Pedersen [1998] at skabe det optimale bump ved simuleringer. Hans formål var, at trafikanter under hastighedsbegrænsning blev udsat for en lav påvirkning, hvorimod fartsyndere skulle straffes hårdt. Bumpet blev dimensioneret ud fra accelerationsdata og konkluderede, at der kunne foretages markante forbedringer på daværende bumptyper.

Andre studier har konkluderet at cirkelbump sammenlignet med trapezbump giver et mere jævnt hastighedsprofil, og anbefaler derfor at ændre eksisterende trapezbump til cirkelbump [Namee og Witchayangkoon, 2011]. En lignende konklusion er draget af Granlund og Lindström [2003], som fandt at trapezbump gav unødvendig høje ryk. Samme studie diskuterer funktionenskravet på 0,7 g, og påstår at kravet er en grov fejlfortolkning af tidligere studier, samt at funktionskravet giver anledning til for høje accelerations- og rykværdier ved tilladte hastigheder.

En undersøgelse af forskellige bumptyper i Washington D.C. viste, at trods en ens hastighedsbegrænsning på 25 mph (ca. 40 km/t) var der store afvigelser i gennemsnitlig hastighed afhængig af bumptype. Samme undersøgelse fastlagde også, at trafikanter har den samme overkørselshastighed, når der er tale om en serie af bump. [Johnson og Nedzesky, 2004]

Ydermere viste en undersøgelse af Khorshid et al. [2007], at eksisterende anlagte cirkelbump burde modificeres for at eliminere sundhedsmæssige risikoen ved overkørsel. I undersøgelsen konstrueres to nye bumpgeometrier, som resulterede i mindre accelerations- og rykværdier ved overkørsel. Samme undersøgelse viste, at rykket ved overkørsel af bump og de sundhedsmæssige påvirkninger der kan afledes deraf, afhænger af hastighed, bumpgeometri, position i køretøjet og køretøjstype. Nogle af de testede bump gav anledning til ryk, der var større end health risk zone (beskrevet i British Standards og ISO standarderne), og dette var ved hastigheder under hastighedsbegrænsningen [Khorshid et al., 2007]. Dette resultat går igen, og flere studier har fået resultater, der indikerer, at når hastigheden over et bump øges, stiger accelerations- og rykværdierne ligeledes, hvilket medfører en mere ubehagelig overkørsel [Bilgin et al., 2019] [Kokholm og Dahlgaard, 2018].

2.2.2 Danske undersøgelser

I Danmark er der foretaget adskillige evalueringer af bump, dog er antallet af rapporter, der sammenligner forskellige typer af bump minimale. Størstedelen af indeværende danske publikationer om bump evaluerer effekterne af bump samlet, uden at differentiere mellem forskellige geometrier. Typisk indeholder publikationerne en vurdering af den hastighedsreducerende effekt og effekten på trafiksikkerheden. En generel konklusion i publikationerne er, at etablering af bump nedsætter hastigheden samt reducerer antallet af uheld. Nordjyllands Amt evaluerede 15 modificerede sinusbump i perioden 1992-1994

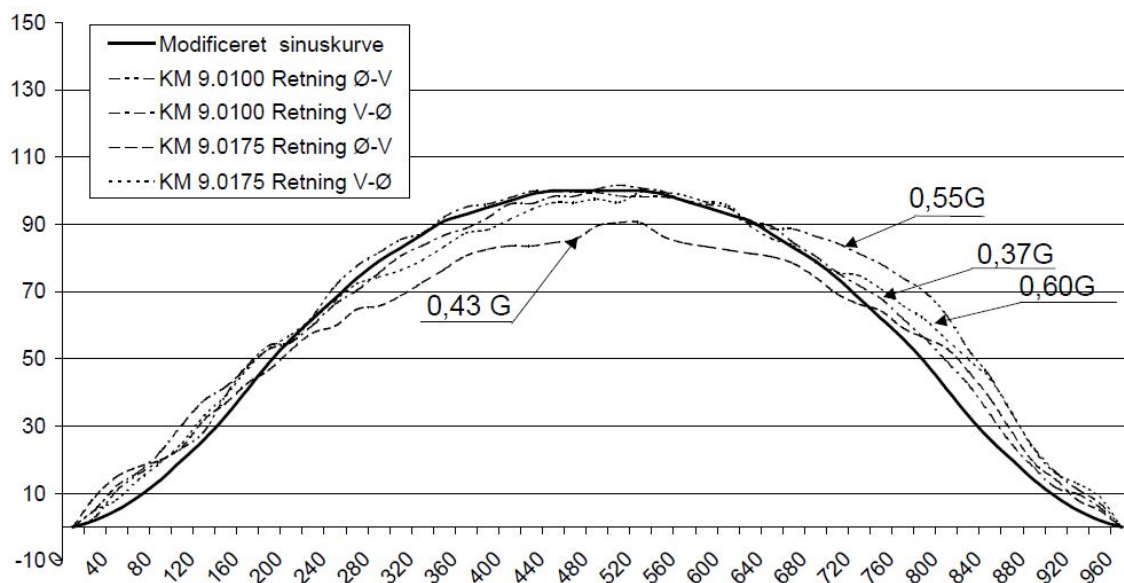
og fandt, at middelhastigheden i gennemsnit blev reduceret med 25% (fra 61 til 46 km/t), og det forventede antal uheld faldt med 45% [Daugberg, 2000]. Der blev foretaget en lignende evaluering af 14 cirkelbump i Fredriksborg Amt, hvor der efter en treårig periode skete en reduktion i middelhastighed på 5-15 km/t svarende til en gennemsnitlig hastighedsreduktion på 16%, og en samlet reduktion i antal uheld på 50% samlet for alle medtagede strækninger [Jensen, 1995]. Sønderjyllands Amt evaluerede i 1990 effekten af 7 cirkelbump. Gennemsnitshastigheden på strækningen faldt fra 65-70 km/t til 36-38 km/t, og effekten af vej bumpene var derved næsten en halvering af hastigheden [Johnsen, 1991].

Rambøll foretog i 2013 målinger af hastighed, geometri og g-påvirkning over 63 bump. Undersøgelsen inkluderede tre forskellige typer af bump henholdsvis cirkel-, modifieret cirkel- og modifieret sinusbump, og der blev differentieret mellem tre hastighedsklasser henholdsvis 30, 40 og 50 km/t. Ved 30 km/t blev der indsamlet data fra cirkel- og modificerede cirkelbump, og resultaterne viste, at både den gennemsnitlige hastighed og 85%-hastighedsfraktilen var højere ved de modificerede cirkelbump end cirkelbumpene. Trods en højere gennemsnitlig hastighed og højere 85%-hastighedsfraktil gav de modificerede cirkelbump anledning til lavere g-påvirkninger, hvilket tyder på, at kontrakturen i de modificerede cirkelbump har en effekt. Ved 40 km/t blev der ligeledes indsamlet data fra cirkel- og modificerede cirkelbump. Dataene resulterede ikke i signifikante forskelle mellem hverken gennemsnitlig hastighed, 85%-hastighedsfraktil eller g-påvirkning. Ydermere blev der undersøgt modificerede sinusbump ved 50 km/t. Resultatet herfra viste en større gennemsnitlig g-påvirkning, end de tidligere beskrevne bump, men bliver ikke sammenholdt med andre bumptyper. Den højere g-påvirkning vurderes derfor værende resultatet af en højere hastighedsbegrænsning, og kan ikke direkte sammenlignes med de andre bumptyper, grundet forskellen i hastighedsklasse. [Rambøll, 2013]

2.2.3 Udformning, g-påvirkning og det ideelle vej bump

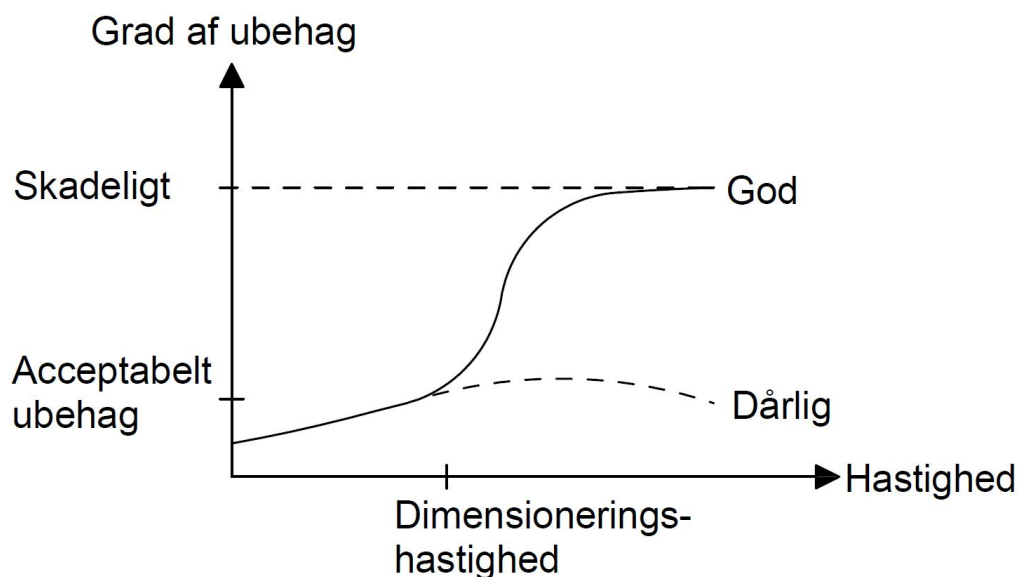
Sammenhængen mellem geometri og g-påvirkning er ligeledes undersøgt i en diskussion af Lahrman [1999]. Undersøgelsen fandt at små afvigelser i geometrien kan medføre store ændringer i g-påvirkningen. I undersøgelsen er g-påvirkningen ved overkørsel af to bump målt og sammenholdt med bumpenes geometri. Resultatet af undersøgelsen fremgår af figur 2.1.

Af figuren fremgår det, at g-påvirkningen varierer fra 0,37 g til 0,60 g trods relativt ensartede bumpudformninger. Dette illustrerer nødvendigheden af en præcis bumpetablering og efterfølgende vedligehold, hvis bumpene skal overholde funktionskravet.



Figur 2.1. Typegodkendt bump og geometrien fra fire opmålinger, suppleret med g-påvirkning. [Lahrman, 1999]

Trods en præcis bumpudlægning som overholder både udformningskravene og funktionskravene, argumenteres der i en artikel af Lahrman og Mathiasen [1992] for, at bumpene kan forbedres yderligere. I artiklen fremsættes en teori om det ideelle vej bump, som er beskrevet ved en sammenhæng mellem passagehastighed og ubehag. Ubehaget er et udtryk for den subjektive følelse trafikanten får ved passage af et vej bump, og kan f.eks. tolkes ved lodret acceleration eller ryk. I artiklen beskrives det ideelle vej bump som et bump der medfører et minimalt ubehag når trafikanten passerer bumpet med den tilladte hastighed eller mindre, men samtidigt medfører et stort ubehag hvis trafikanten passerer bumpet med for høj hastighed. Det store ubehag skal imidlertid ikke være så stort at det giver anledning til skader. Sammenhængen mellem hastighed og ubehag fremgår af figur 2.2.



Figur 2.2. Ideelle sammenhæng mellem hastighed og ubehag for vej bump. Kurveforløb for et godt og et dårligt vej bump indtegnet. [Lahrman og Mathiasen, 1992]

Problembeskrivelse 3

Forskellige bumptyper giver anledning til forskellige fysiske påvirkninger på trafikanten, herunder forskellige accelerationer og ryk, trods et fælles funktionsskrav på maksimalt 0.75 g. Ydermere har afvigelser i bumpgeometri, som følge af upræcis udlægning eller deformation, stor indflydelse på de fysiske påvirkninger trafikanten udsættes for.

I dette projekt undersøges og sammenlignes forskellige bumptyper i henhold til den lodrette acceleration og det lodrette ryk som overkørsel af bumpene medfører. Bumpene opdeles i homogene grupper, for herigennem at skabe modeller som kan beskrive sammenhængen mellem acceleration og hastighed samt ryk og hastighed. Modellerne har til formål at klarlægge, om de forskellige bumptyper afviger fra hinanden i forhold til fysisk påvirkning. Hvis dette er tilfældet, vurderes det hvilke bumptyper der har den mest hensigtsmæssige effekt. Grupperne er opstillet ud fra bumpenes type, hastighedsklasse og fysiske påvirkning. Ydermere vurderes bumpene i henhold til udformningskravene.

I projektet arbejdes der ud fra en problemformulering som lyder:

Hvordan er sammenhængen mellem passagehastighed og lodret acceleration for de forskellige bumptyper, og er der systematiske forskelle i bumptypernes accelerationspåvirkning?

Undersøgelsen er afgrænset til fire forskellige bumptyper: cirkelbump, modificerede cirkelbump, trapezbump og sinusbump. Flere af bumptyperne er underinddelt i kategorier ud fra dimensioneringshastighed med grupperinger af bump til 30 km/t, 40 km/t og 50 km/t.

Metode 4

I dette kapitel beskrives den fremgangsmåde der er anvendt til at indsamle og analysere data under projektet.

4.1 Litteraturstudie

Der er udarbejdet et systematisk litteraturstudie omhandlende bump. Studiet indeholder både danske og udenlandske undersøgelser og dækker årene 1973 til 2019. I studiet er der lagt særlig vægt på litteratur, der sammenligner forskellige bumptyper eller vurderer effekten af bump. For at begrænse litteraturstudiet til de mest relevante publikationer er der opstillet en række kriterier, som publikationerne skal overholde for at blive medtaget. Kriterierne er som følger:

- Skrevet på dansk, norsk eller engelsk.
- Omhandle vejbumpenes effekt eller sammenligne forskellige typer af bump.

Der er anvendt flere databaser til at finde publikationer der tilsvarede kriterierne. De primære databaser til udenlandske undersøgelser har været ScienceDirect, TRID og ASCE, mens de danske undersøgelser primært er fundet i Dansk Vejtidskrifts artikelarkiv. Ydermere er Google Scholar anvendt til at tilgå både danske og udenlandske publikationer. Det er skønnet, at størstedelen af relevante publikationer kan findes herigennem.

Under litteraturstudiet er der anvendt flere forskellige søgeord, heriblandt: speed bump, speed hump, road hump, speed calming, vertical speed calming, comparison, type med flere. For at udvide og specificere søgningen er der anvendt boolske operationer, som "OR" og "AND". Ved udvidelse af søgning er der anvendt "OR", især i udenlandske søgninger, hvor bump kan have flere forskellige navne. Et eksempel på en søgning er: "speed bump" OR "speed hump" OR "speed calming" OR "vertical speed calming". "AND" er benyttet til at specificere søgningerne, f.eks. "speed hump" OR "speed bump" AND "comparison". Der er foretaget adskillige søgninger i hver database, med forskellige boolske operationer, for derved at få udtømt så meget som muligt. Ydermere er der anvendt trunkering, særligt højretrunkering, hvorved det sikres at alle mulige endelser på ordene medtages.

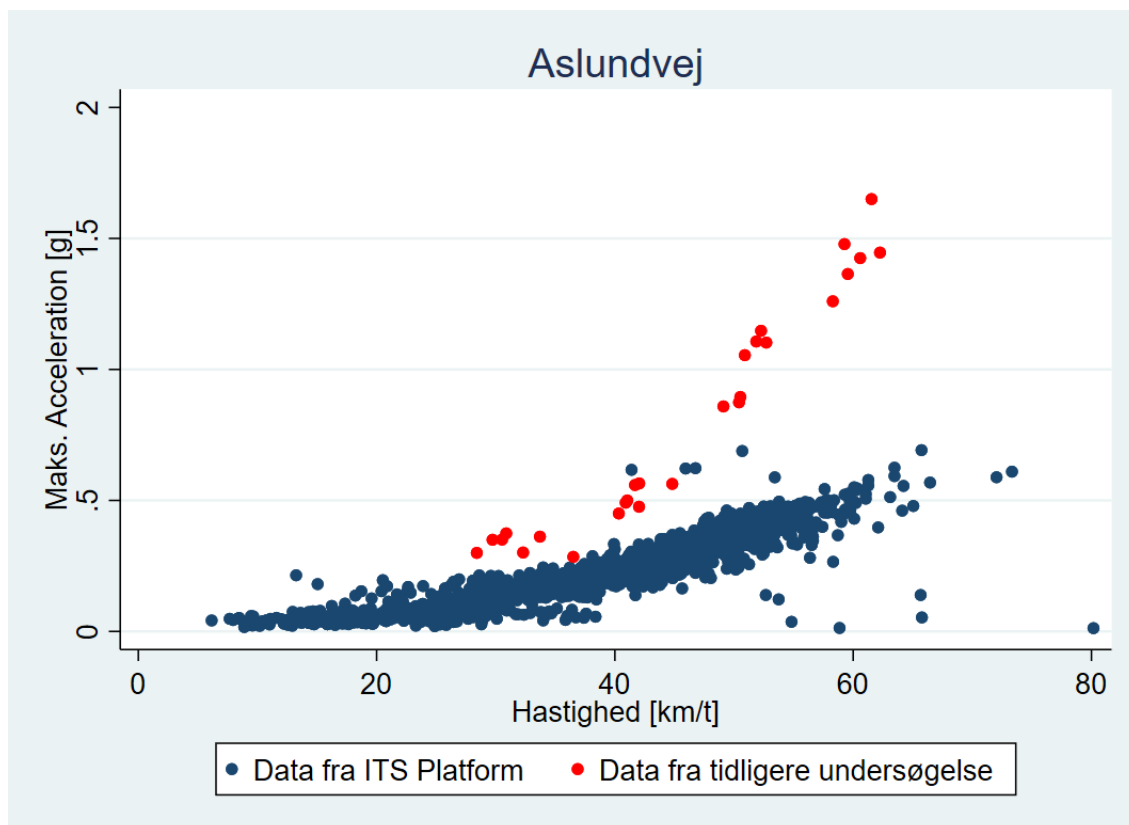
Ud fra ovenstående søgeteknikker er der fundet en stor mængde litteratur, og disse er efterfølgende sorteret ud fra deres overskrift og abstract, hvor irrelevante publikationer er frasortet. Efter sorteringen er tilbageværende materiale gennemgået for referencer, hvorved flere nye publikationer er fundet. Denne teknik kaldes kædesøgning, og var med til at bekræfte, at litteraturen var tæt på udtømt, da flere af kilderne gik igen i publikationerne.

4.2 ITS Platform

Det er valgt at anvende data fra ITS Platform i dette projekt, da det derved er muligt at foretage et storskala studie. ITS Platform er en IT-plattform udviklet for at danne rammerne for udvikling af fremtidige intelligente transportsystemer. ITS Platform var hovedsageligt bygget op af to dele hhv. en OBU og et serversystem. OBUen var en mobil enhed der var installeret i alle testkøretøjer. OBUen var opbygget af flere applikationer, og indsamlede løbende informationer om bilens position, acceleration og ryk. Positionsdataen er benyttet til at bestemme bilernes hastighed. Acceleration er målt i tre retninger og er efterfølgende benyttet til at beregne rykket i de tre retninger. ITS Platform indeholder også en række oplysninger om bilerne og bilernes ejere. Herunder bilens mærke, model og brændstoftype. [Tøfting et al., 2010] [Tøfting, 2014]

GPS-informationer blev logget med en frekvens på 1 Hz, hvorimod detaljeringsgraden på accelerometeret var højere med en frekvens på 10 Hz. Herved er det muligt at danne relativt præcise accelerationsforløb ved overkørsel af bump. OBUen loggede og sendte løbende data til serversystemet, hvor de indsamlede data kunne behandles. OBUerne blev installeret i 431 køretøjer mellem maj og september 2012, og data blev logget frem til december 2014. Der foreligger hermed en stor mængde Floating Car Data (FCD), og der er i alt indsamlet 1,3 milliarder rådata.

Data fra ITS Platform har ikke været ideelt, da de loggede accelerationer konsekvent var meget lave i forhold til funktionskravene. I et tidligere projekt, foretaget af samme projektgruppe, blev der foretaget målinger med et sædeaccelerometer, som var designet til at måle helkrobsvibrationer på personer i køretøjer. Ydermere målte sædeaccelerometeret mere præcist end accelerometerne benyttet under ITS Platform. På figur 4.1 fremgår målinger foretaget over samme bump på Aslundsvej for både sædeaccelerometeret og accelerometeret benyttet under ITS Platform.



Figur 4.1. Illustration af accelerationsmålinger fra ITS Platform samt et tidligere projekt. De blå prikker indikerer ITS Platform og de røde prikker er fra det tidligere projekt.

Af figuren fremgår det, at der er markante forskelle på accelerationerne målt med forskellige accelerometere. Det vurderes herved, at ITS Platform resulterer i misvisende accelerationer, da præcisionen på sædeaccelerometeret var betydeligt højere. Dette medfører en væsentlig svaghed i datakvaliteten fra ITS Platform. Styrken ved ITS Platform er derimod, at mængden af data er meget stor, og det vurderes, trods en lav datakvalitet, at forskellene i dataene stadig kan analyseres. Dette betyder, at selvom dataene er misvisende sammenlignet med andre studier, kan forskelle mellem forskellige bumptyper stadig identificeres.

4.2.1 Dataudtræk

Data fra ITS Platform er tilgået via SQL-kodning. Det er valgt udelukkende at udtrække data fra nordjyske strækninger, hvor bump relevante for undersøgelsen er identificeret. Der er identificeret 109 bump fordelt på fire forskellige bumptyper og tre forskellige hastighedsklasser. Bumpenes placering er fundet gennem en undersøgelse lavet på Aalborg Universitet for ca. 5 år siden. I undersøgelsen udpegede studentermedhjælpere vejrum i Nordjylland ud fra ortofotos. Bumpplaceringerne blev derefter registreret på et kort, som nu anvendes i dette projekt. Kortet indeholder kun informationer om hvor bumpene er placeret, men ikke nogen oplysninger om type eller hastighedsklasse. Derfor er bumpene i første omgang undersøgt i Google Streetview for derved, at opnå et skøn af bumptypen og hastighedsklassen. Efterfølgende er bumpene undersøgt ved en inspektion, hvor bumpene ligeledes blev opmålt for at fastlægge bumptypen. Efter identificering af bumpene foretages

et dataudtræk fra ITS Platform for hvert enkelt bump. Dette gennemføres ved at opstille et polygon på et GIS-kort, som begrænser datamængden i ITS Platform til det specifikke område for bumpet. Et eksempel på en sådan polygon fremgår af figur 4.2. Polygonerne er opstillet med en længde på 30-50 meter til hver side af bumpene. I enkelte tilfælde er afstanden mellem bumpene under 60 meter, hvilket medfører at længden på polygonerne er reduceret således de ikke overlapper hinanden.



Figur 4.2. Illustration af et polygon til udtræk af data fra ITS Platform.

Parametrene som er udtrukket er afgrænset ud fra koordinaterne, således der kun er hentet data placeret i de optegnede polygoner. Samtlige parametre er angivet med én måling per sekund, og derved kan udviklingen i hastighed, maksimal lodret acceleration eller maksimal lodret ryk beskrives for hver enkelt tur som passerer gennem polygonen.

Foruden hastighed, maks. acceleration og maks. ryk, er der også hentet registreringer af andre parametre. De andre parametre, herunder point-ID, box-ID og timestamp, er benyttet i databehandlingen til at sortere, kontrollere og validere data. En oversigt over alle de parametre som er hentet fra ITS Platform fremgår af tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hentet indenfor polygonerne. Alle datafelterne er registreret med en frekvens på 1 måling per sekund.

Datafelt	Beskrivelse
point_id	Unikt punkt-ID til hvert datapunkt.
box_id	Bilens/OBUens ID-nummer.
group_id	Tur-ID. Datapunkter registreret under den samme tur, har ens tur-ID.
org_timestamp	Dato og klokkeslæt.
speed	Hastighed (m/s).
mm_geometry	UTM geometri, benyttes til at afgrænse dataudtræk til polygonernes areal.
az_max	Max acceleration i z-retningen (m/s^2).
az_min	Min acceleration i z-retningen (m/s^2).
rz_max	Max ryk i z-retningen (m/s^3).
rz_min	Min ryk i z-retningen (m/s^3).

Antallet af datapunkter for et enkelt vejbump (en enkelt polygon), varierer afhængigt af antallet af overkørsler og størrelsen på det tegnede polygon. Datamængden for de 109 forskellige bump varierer mellem 200 og 32000 rækker per bump.

Et udsnit af data hentet for et bump fremgår af figur 4.3. Udsnittet indeholder tre forskellige boksID/biler og fire forskellige groupID/ture. For hvert sekundt er der registreret hastighed, maks. og min. acceleration samt maks. og min. ryk. Kriterierne for frasortering af fejlmålinger er præsenteret i det efterfølgende afsnit.

	point_id [PK] bigint	box_id integer	group_id integer	org_timestamp timestamp without time zone	speed numeric	mm_geom geometry	az_max numeric	az_min numeric	rz_max numeric	rz_min numeric
1	48611981	71	69	2012-05-05 08:23:44	14.41	0101000020E6100000594C6C	-16.236	-16.579	1.079	-1.447
2	48611983	71	69	2012-05-05 08:23:45	14.55	0101000020E61000006DAAEF	-16.139	-16.555	3.838	-3.488
3	48611985	71	69	2012-05-05 08:23:46	14.59	0101000020E610000004E78C	-16.246	-16.645	1.75	-2.304
4	48611987	71	69	2012-05-05 08:23:47	14.7	0101000020E6100000DC12B9	-16.203	-16.596	2.697	-3.543
5	48611989	71	69	2012-05-05 08:23:48	14.8	0101000020E6100000F52D73	-16.244	-16.621	1.788	-3.139
6	48611991	71	69	2012-05-05 08:23:49	14.51	0101000020E61000000E492D	-15.913	-16.854	5.077	-6.353
7	48611993	71	69	2012-05-05 08:23:50	13.85	0101000020E61000009A0B5C	-16.178	-19.54	1.682	-16.261
8	48611995	71	69	2012-05-05 08:23:51	13.29	0101000020E6100000558671	-10.972	-22.346	57.476	-61.592
9	51242136	49	6	2012-05-27 20:01:47	14.43	0101000020E61000004815C5	-9.103	-9.498	2.732	-2.206
10	51242137	49	6	2012-05-27 20:01:48	14.49	0101000020E610000062307F	-9.135	-9.588	2.743	-2.741
11	51242139	49	6	2012-05-27 20:01:49	14.09	0101000020E6100000F3AFES	-9.282	-9.581	2.278	-2.089
12	51242141	49	6	2012-05-27 20:01:50	13.53	0101000020E6100000BAA46A	-9.177	-9.552	1.836	-2.701
13	51242143	49	6	2012-05-27 20:01:51	12.93	0101000020E6100000F2406A	-9.23	-9.49	2.605	-1.567
14	51242146	49	6	2012-05-27 20:01:52	12.29	0101000020E61000001AA6B6	-9.195	-9.563	2.224	-1.749
15	51242148	49	6	2012-05-27 20:01:53	11.77	0101000020E6100000F5A10E	-9.233	-9.656	3.836	-2.362
16	51242149	49	6	2012-05-27 20:01:54	11.12	0101000020E61000004145D5	-6.505	-11.615	26.119	-15.981
17	51242151	49	6	2012-05-27 20:01:55	10.78	0101000020E6100000836E2F	-7.435	-12.86	23.142	-21.834
18	55855195	49	115	2012-06-14 11:56:19	16.93	0101000020E61000008FDE7C	-8.939	-9.295	3.834	-2.371
19	55855197	49	115	2012-06-14 11:56:20	17.08	0101000020E61000001D8EAF	-8.84	-9.338	2.246	-2.843
20	55855199	49	115	2012-06-14 11:56:21	16.74	0101000020E61000006A4E5E	-8.99	-9.448	2.636	-2.8
21	55855201	49	115	2012-06-14 11:56:22	16.09	0101000020E61000006AA51C	-8.987	-9.398	3.559	-2.891
22	55855203	49	115	2012-06-14 11:56:23	15.52	0101000020E61000001D93C5	-8.904	-9.379	2.564	-2.489
23	55855205	49	115	2012-06-14 11:56:24	14.89	0101000020E61000004128EF	-9.015	-9.466	3.165	-3.133
24	55855207	49	115	2012-06-14 11:56:25	14.33	0101000020E61000001497E3	-4.036	-14.474	37.676	-47.773
25	59586939	159	47	2012-06-22 16:52:43	14.26	0101000020E61000000DE36E	-9.345	-9.917	1.66	-3.867
26	59586940	159	47	2012-06-22 16:52:44	13.79	0101000020E610000056B60F	-9.346	-10.025	5.709	-4.313

Figur 4.3. Udsnit af data fra ITS Platform.

Efter udtræk af data kan data indsættes i GIS-programmet igen til validering af det opbyggede polygon. Et eksempel på dette fremgår af figur 4.4.



Figur 4.4. Illustration af polygon med datapunkter fra ITS Platform.

4.2.2 Validering af data

OBUen blev kalibreret i juni 2013 for at sikre, at accelerationsmålingerne passede i x-, y- og z-retningen. Data indsamlet før dette tidspunkt er derfor ikke retvisende for den lodrette accelerationspåvirkning. Det tilhørende ryk i z-retningen, som er beregnet ud fra accelerationen, er derfor heller ikke troværdigt i perioden før juni 2013.

Trods kalibrering af OBUen indeholder ITS Platform stadig tydelige fejlmålinger. Disse fejlmålinger kommer til udtryk gennem konstante accelerationsmålinger og rykmålinger under en hel tur. Når dataen viser, at passagen af et vejbump er sket uden påvirkning på den lodrette acceleration eller det lodrette ryk, ekskluderes denne tur fra undersøgelsen.

Hver enkelt tur over et vejbump er identificeret gennem et tur ID, som er unikt for hver tur. Det er vurderet at der mindst bør være tre målinger af maks. acceleration for hvert tur ID, for at sikre at der er samlet tilstrækkeligt antal målinger fra hver bil som passerer over bumpet. Registrering af mindst tre målinger betyder, at trafikanter skal passere gennem et polygon på 60 m med en middelhastighed på mere end 72 km/t for at blive ekskluderet. Dette kriterie er opstillet for at frasortere enkeltstående målinger.

På baggrund af overstående overvejelser er der opstillet fire kriterier for, hvornår accelerationsdata og rykdata medtages i den videre analyse:

- Dataen er indsamlet efter juni 2013.
- Forskellen mellem den største lodrette acceleration og den mindste lodrette acceleration med samme tilhørende tur ID må ikke være nul.
- Forskellen mellem det største lodrette ryk og det mindste lodrette ryk med samme tilhørende tur ID må ikke være nul.
- Dataudtrækket indeholder mere end tre punkter fra samme tur ID.

De overstående kriterier har til formål at frasortere fejlmålinger. Frasorteringen har medført at datamængden, talt som antal unikke tur ID, er reduceret med mellem 51% og 77% afhængigt af vej bump. Langt størstedelen af reduktionen skyldes det første kriterie, da en stor del af dataen er indsamlet før juni 2013. Dataindsamlingen foregik i perioden 2012 til 2014, det er derfor realistisk, at ca. halvdelen af målingerne er registreret før juni 2013.

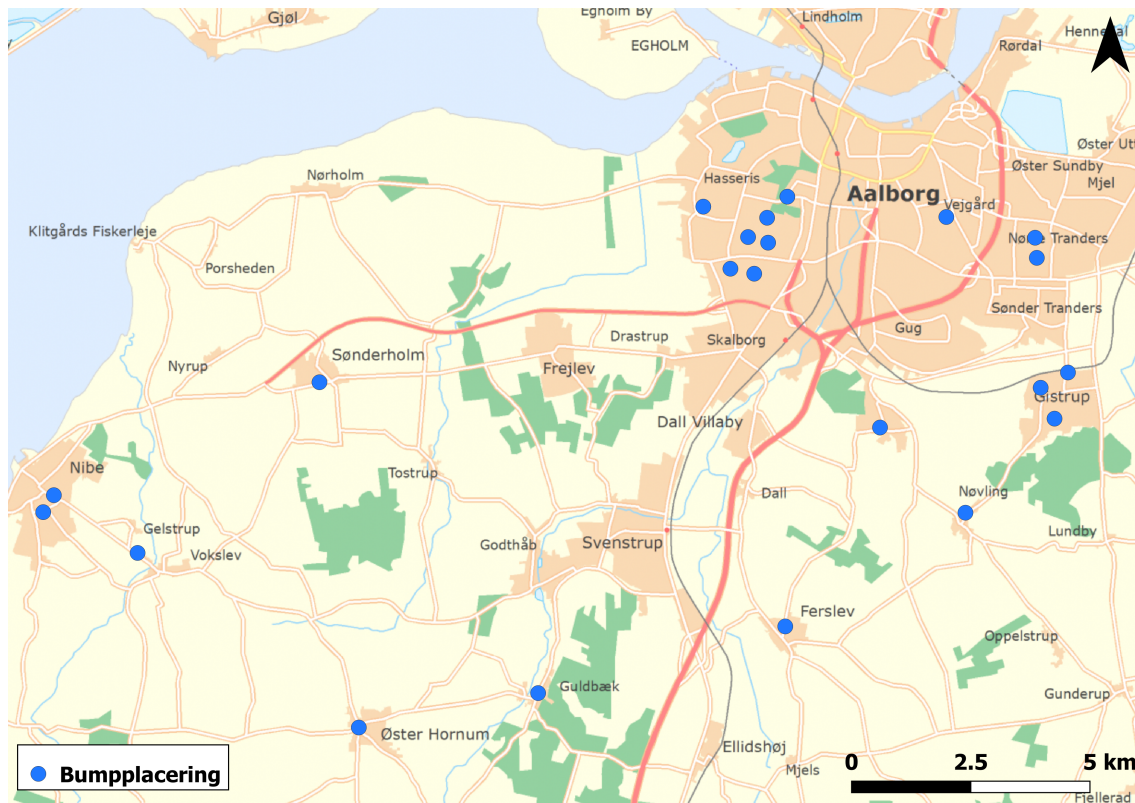
Valideringen af data har medført at antallet af bump medtaget i undersøgelsen er reduceret fra 109 til 98. Dette skyldes et utilstrækkeligt antal overkørsler eller stærkt afvigende accelerationsmålinger sammenlignet med de resterende bump på samme vej.

4.3 Opmåling af bump

I Asfaltbump (AAB) fremgår det, at entreprenøren skal kontrollere bumpene umiddelbart efter udførelse. Der skal foretages kontrolmåling pr. 25 cm i 2 snit parallelt med kørselsretningen i hver vognbane. Ydermere skal målingen foretages minimum 2 m ud på vejen på hver side af bumpet. Asfaltbump (AAB) angiver flere metoder hvorpå kontrolmålingen kan foretages, heriblandt nedstik fra en snor udspændt parallelt med vejens længdeprofil. [Vejreglerådet, 2011]

Der er foretaget opmålinger af nogle af de inkluderede bump. Opmålingerne er begrænset til et bump på hver vej, hertil ligger en antagelse om at udformningen er tilnærmelsesvist ens, såfremt bumpene er anlagt på samme vej, er af samme type, har samme trafikbelastning og er anlagt på samme tidspunkt. Dette har ført til opmåling af 22 vej bump. Hertil bør det bemærkes, at opmålingerne er foretaget i 2020, altså cirka 6 år efter kørselsforsøget endte. Der er derfor en risiko for, at bumpene er deformeret yderligere siden kørselsforsøget. Opmålingerne er foretaget med et nivelleringsapparat samt et målebånd. Nivelleringsapparatet er benyttet med nedstik for hver 10. centimeter, hvorved bumpenes overfladeforløb beskrives meget præcist. Opmålingerne er begrænset til en linje langs bumpet i kørselsretningen, foretaget i et af køresporene. Opmålingerne med nivelleringsapparatet tager ikke højde for kote-ændringer, og medførte at opmålingerne af vej bump placeret på bakker er korrigeret efterfølgende.

Placeringen af de 22 opmålte bump er angivet på figur 4.5.



Figur 4.5. Placering af de 22 opmålte bump.

Opmålingerne er benyttet til at klassificere bumpene. Resultatet af målingerne samt klassifikationen af bumpene fremgår i bilag B.

Klassificeringen af bumpene er foretaget 3-delt. Udgangspunktet var at fastlægge hastighedsklassen, hvilket er bestemt ud fra hastighedsbegrænsningen på den pågældende strækning. Efterfølgende er der foretaget en visuel inspektion, hvor det vurderes hvorvidt bumpet er anlagt før 2012. Derefter er geometrien fastlagt ved en opmåling. Opmålingen sammenlignes med dimensioneringskurverne fra Vejregler for derved at kategorisere hver enkelt bumptype.

I forlængelse af opmålingerne med nivelleringsapparatet er der foretaget opmålinger med "spandemetoden". Opmålingerne er udført med en tommestok, en murersnor hvorpå hver 10ende cm er markeret samt to spande med sand. Murersnoren fastspændes mellem spandene, hvorefter afstanden fra snoren til bumpet kan måles. Ved at subtrahere afstanden fra snoren til bumpet fra afstanden mellem snoren og vejoverfladen kan bumphøjden bestemmes.

Under opmåling med spandemetoden er det vigtigt, at snoren holdes stram samt at tommestokken ved opmåling holdes lodret.

Spandemetoden er benyttet til opmåling af 12 bump, og er medtaget i dette projekt for at foretage en sammenligning af nivelleringsapparatet, som landinspektører benytter, og spandemetoden, som er et meget billigere alternativ.

4.4 Databehandling

Databehandlingen er opdelt i tre overordnede dele. Første del er korrigerende og transformering af accelerationsdata til g-kraft. Anden del er kombinationen af data fra forskellige bump placeret på samme vejstrækning. Tredje del er opstilling af grupperinger, hvor bump af samme type og med samme hastighedsklasser kombineres til samlede modeller.

Datakorrigering og transformation til g-kraft

Størstedelen af accelerationsmålingerne registreret i ITS Platformen er angivet som negative accelerationer. Det faktiske nulpunkt, svarende til at bilen ikke påvirkes af nogen lodret acceleration, er derfor estimeret ud fra gennemsnittet af de maksimale lodrette accelerationer og de minimale lodrette accelerationer, se tabel 4.2.

Middel maks. acceleration	Middel min. acceleration	Middel maks. og min.
-9.26 m/s ²	-10.12 m/s ²	-9.69 m/s ²

Tabel 4.2. Gennemsnit af maks. og min. acceleration for de 16 cirkelbump 30 km/t medtaget i undersøgelsen.

Gennemsnittet af accelerationsmålingerne varierer for hvert dataudtræk, men det vurderes at nulpunktet for lodret acceleration er 9,82 m/s², svarende til tyngdeaccelerationen g. Samtlige accelerationsmålinger er derfor korrigeret i forhold til nulpunktet 9,82 m/s², for at bestemme den faktiske accelerationspåvirkning, se formel 4.1.

$$\text{Korrigeret acceleration} = \text{acceleration} + 9,82 \text{ m/s}^2 \quad (4.1)$$

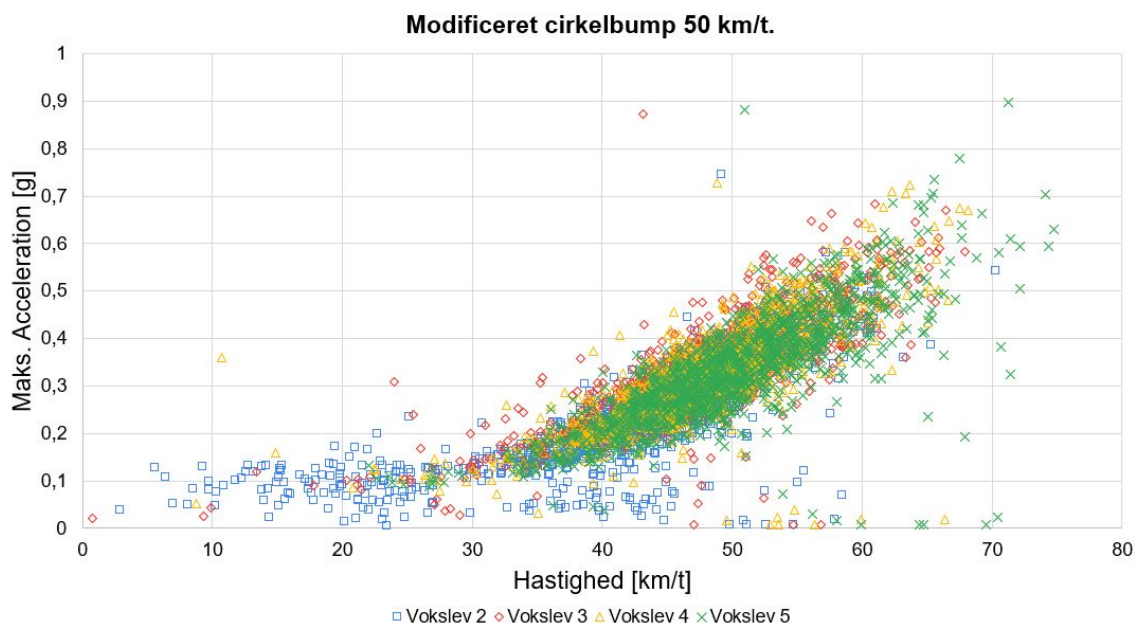
Denne accelerationspåvirkning er herefter omregnet til g-kraft, se formel 4.2.

$$g = \frac{\text{Korrigeret acceleration}}{9,82 \text{ m/s}^2} \quad (4.2)$$

G-påvirkningen, beregnet ved ovenstående metode, er anvendt for alle accelerationsdata benyttet under projektet.

Kombination af data

Data fra vej bump på samme vej med samme hastighedsklasse er kombineret til ét datasæt. Kombinationen er valideret gennem en vurdering af scatterplots af hastighed og acceleration. Et scatterplot af fire modificerede cirkelbump 50 km/t placeret på samme vej fremgår af figur 4.6. Hvert enkelt bump er angivet med en unik farve og form.



Figur 4.6. Scatterplot for fire modificerede cirkelbump 50 km/t placeret i Vokslev.

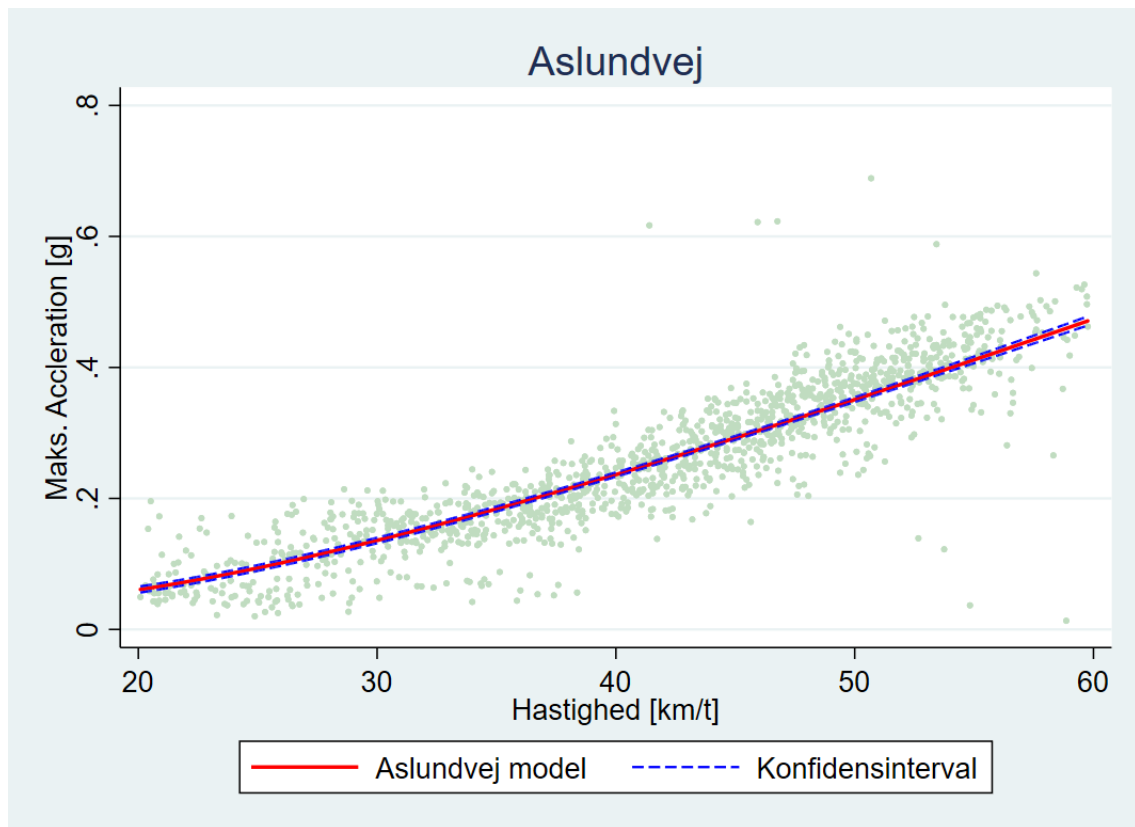
Ud fra disse scatterplots, samt tendenslinjer for hvert enkelt bump, vurderes det om data kan kombineres. I ovenstående eksempel accepteres kombinationen af data fra de fire modificerede cirkelbump i Vokslev.

Gruppering

Udtræk fra ITS Platform er efterfølgende behandlet med henblik på at gruppere vejbumpe af samme type og med samme hastighedsklassifikation, men placeret på forskellige veje. Formålet er at opstille homogene grupper, og efterfølgende sammenligne grupperne på tværs af bumptyper.

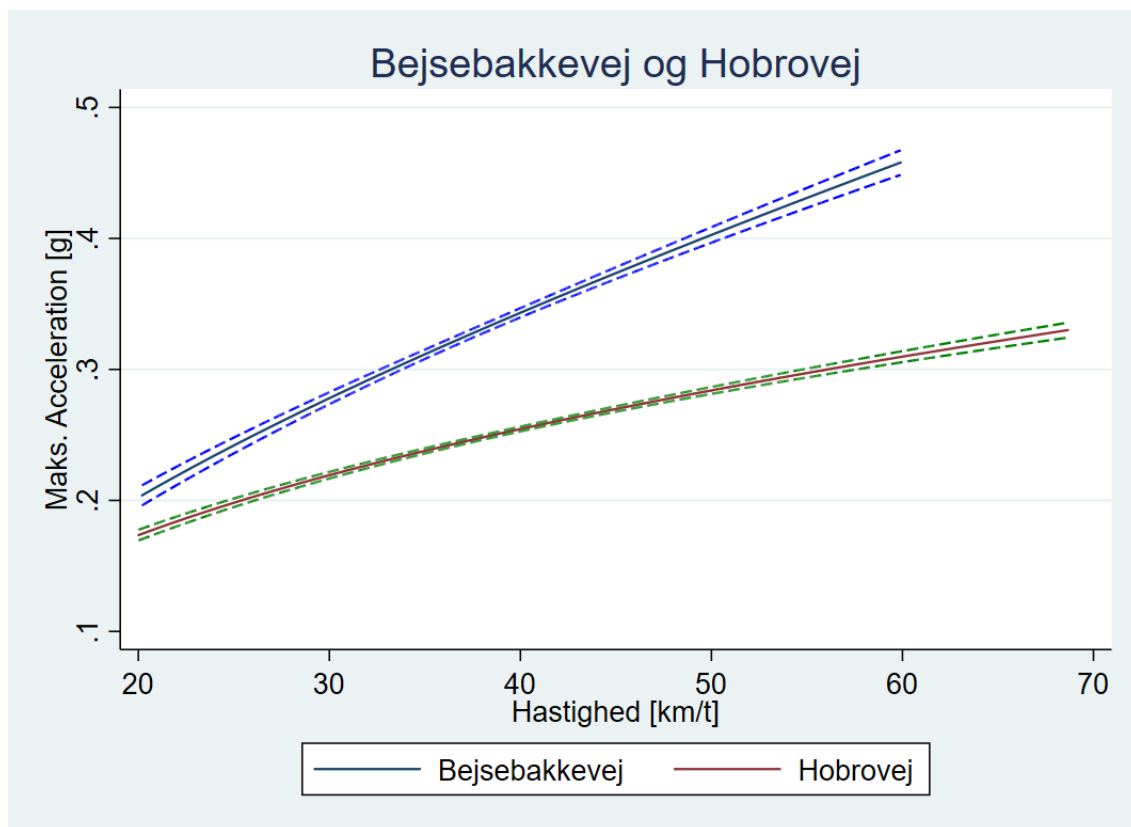
Før grupperingen er data fra hvert enkelt bump analyseret. Analysen har til formål at finde forklarende variabler til at beskrive udviklingen i hhv. lodret acceleration og ryk bedst muligt. De forklarende variabler som er fundet til, at have betydning for den lodrette acceleration er hastigheden og i nogle tilfælde den naturlige logaritme til hastigheden ($\ln(\text{hastighed})$).

Sammenhængen mellem lodret acceleration, hastighed og $\ln(\text{hastighed})$ er herefter bestemt ved en multipel regression. Et eksempel herpå er angivet på figur 4.7.

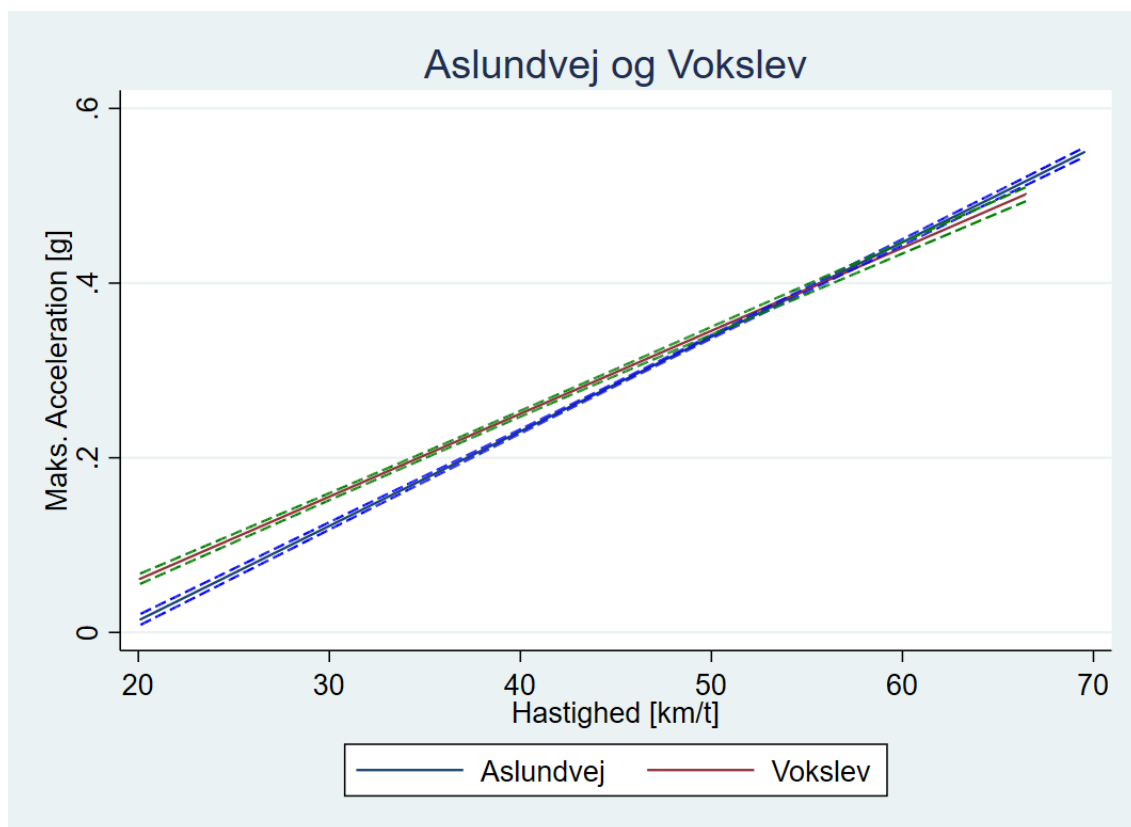


Figur 4.7. Scatterplot for Aslundvej, model og konfidensinterval med forklarende variabler hastighed og $\ln(\text{hastighed})$.

For at sammenligne de forskellige bump er hældningskoefficienterne, i første omgang, undersøgt ved en Walds test, med en hypotese om ens hældningskoefficienter for de to modeller. Herved undersøges det om hældningerne er statistisk signifikant forskellige. Et eksempel på hhv. uens hældninger og ens hældninger fremgår af figur 4.8 og 4.9.



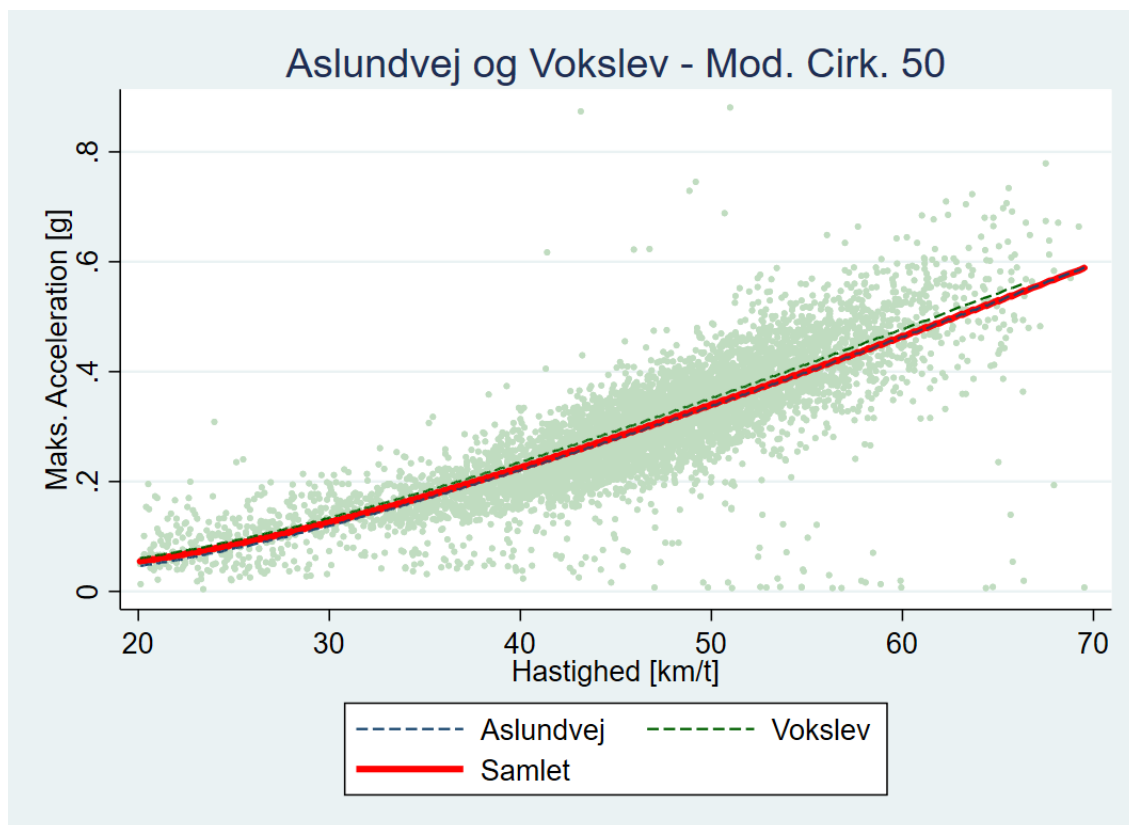
Figur 4.8. Model for Bejsebakkevej og Hobrovej som har statistisk signifikant uens hældning.



Figur 4.9. Model for Aslundvej og Vokslev som har statistisk signifikant ens hældning.

På figur 4.8 er hældningerne ikke statistisk signifikant ens ($p < 0,0001$), og derfor sammensættes bumpene ikke til en samlet model. På figur 4.9 er hældninger statistisk signifikant ens ($p = 0,46$), og derfor accepteres hypotesen om ens hældning. Før linjerne kombineres til en samlet model vurderes afstanden mellem de to linjer.

Afstanden vurderes ved at indsætte eksempelvis 30 km/t i forskrifterne fundet for hvert bump. Hvis afstanden mellem linjerne er teknisk insignifikant, sættes de to modeller sammen. Et eksempel på en sammensat model, af to forskellige vej bump, fremgår af figur 4.10, hvor Aslundvej og Vokslev er samlet i en model.

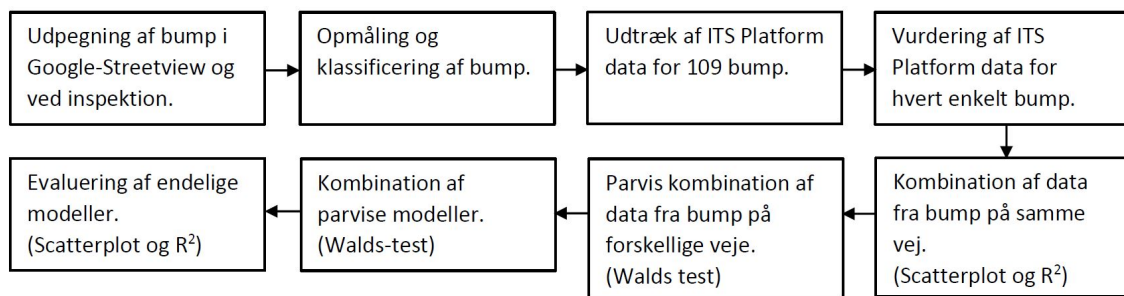


Figur 4.10. Modeller og scatterplots for Aslundvej og Vokslev samt den sammensatte model gældende for begge vej bump.

På ovenstående figur er hypotesen om ens hældninger accepteret, derfor er hældningerne på kurverne ens. Afstanden mellem linjerne er 0,014 g, hvilket er en statistisk signifikant afstand ($p < 0,001$). Afstanden på 0,014 g er imidlertid så lille, sammenlignet med de g-påvirkninger som modellerne beskriver, at afstanden vurderes teknisk insignifikant. De to modeller sammensættes derfor til én samlet model.

Efter der er opstillet modeller for flere par af bumpene, undersøges det om nogle af modellerne kan kombineres. Herved opstilles modeller som kan beskrive mere end to bump.

Metoden som er benyttet til at opbygge modellerne er visualiseret på figur 4.11.



Figur 4.11. Fremgangsmåde for gruppering og modelopbygning.

Det har ikke været muligt at gruppere alle bumpene for hvert enkelt bumptype, fordi sammenhængen mellem lodret acceleration, hastighed og $\ln(\text{hastighed})$ i nogle tilfælde varierer for meget, trods ens bumptype og hastighedsklasse. Databehandlingen har derfor resulteret i 14 grupperinger fordelt på de ni forskellige bumptyper og hastighedsklasser. Der er ikke foretaget kombination af data på tværs af bumptyper eller hastighedsklasser. Dette betyder at hver af de 14 modeller kun beskriver lodret acceleration eller ryk for en enkelt bumptype og en enkelt hastighedsklasse.

De endelige grupperinger fremgår af tabel 4.3.

Tabel 4.3. Analyse af accelerationsdata for de 14 forskellige grupperinger.

Bumptype	Datapunkter	Middel	Spredning	Median	SE
Cirk. 30,a (9 bump)	420	0.2136	0.0903	0.2137	0.0044
Cirk. 30,b (6 bump)	288	0.2616	0.1473	0.2464	0.0087
Cirk. 40 (26 bump)	19186	0.2457	0.1251	0.2449	0.0009
Cirk. 50,a (6 bump)	6429	0.2765	0.1152	0.2731	0.0014
Cirk. 50,b (8 bump)	12018	0.2457	0.0877	0.237	0.0008
Cirk. 50,c (1 bump)	862	0.1811	0.0815	0.1721	0.0028
Modi. Cirk. 30,a (8 bump)	142	0.2013	0.1061	0.192	0.0089
Modi. Cirk. 30,b (3 bump)	633	0.2377	0.1382	0.2548	0.0055
Modi. Cirk. 40 (7 bump)	4667	0.3555	0.1229	0.3608	0.0018
Modi. Cirk. 50 (6 bump)	6479	0.2885	0.1243	0.2912	0.0015
Sinus 30 (3 bump)	3116	0.2631	0.1053	0.2619	0.0019
Trapez 40 (7 bump)	630	0.2619	0.0841	0.2607	0.0034
Trapez 50,a (5 bump)	1272	0.3258	0.0845	0.3246	0.0024
Trapez 50,b (3 bump)	4562	0.2498	0.0713	0.2456	0.0011

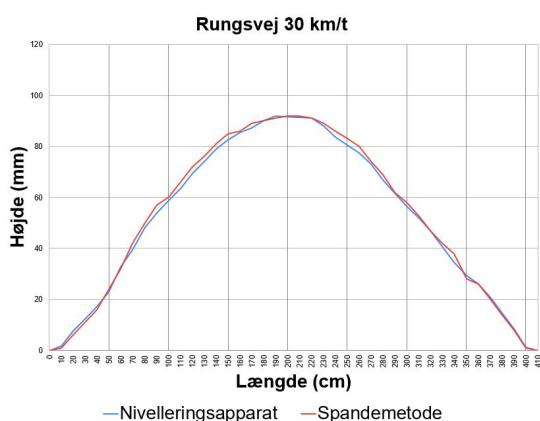
Af tabellen fremgår det at der er stor forskel i antallet af datapunkter for hver gruppe, og antallet afviger mellem 142 og 19186 datapunkter. Middelværdierne og medianerne ligger rimelig tæt på hinanden for hvert enkelt model. Middelværdierne, i modsætning til medianerne, er stærkt påvirket af outliers og derfor tolkes de nærtliggende værdier som et udtryk for at antallet af outliers ikke er problematisk stort. For modellerne er spredningen generelt omkring en halv gange middelværdien eller mindre. Dette vurderes som en relativt stor spredning. Standard fejlen(SE) er relativ lille for alle modellerne. Dette er udtryk for en passende model.

Bumpene, som er inkluderet i hver enkelt gruppe, er angivet i tabel A.1 på side 54 i bilag.

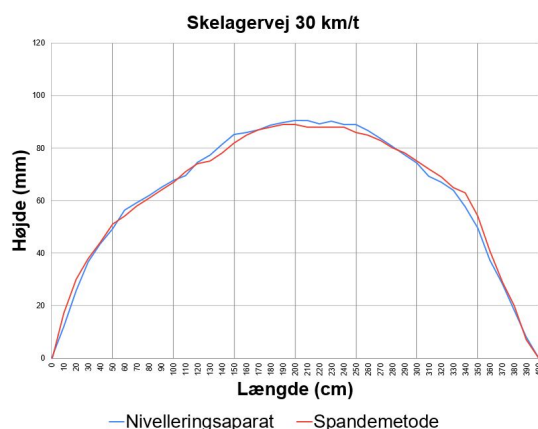
Sammenligning af opmålingsmetoder

5

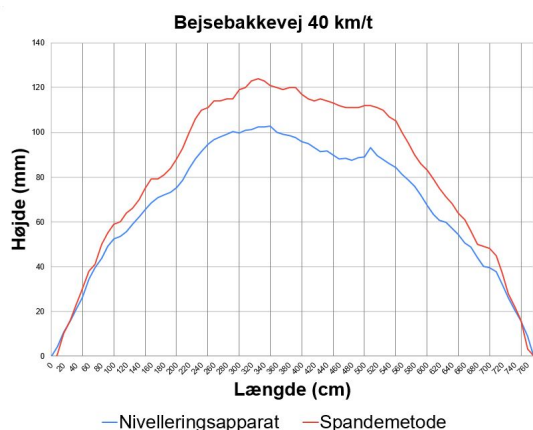
I dette kapitel foretages en sammenligning af de to benyttede opmålingsmetoder. Der er foretaget opmålinger med spandemetoden af 12 bump, som allerede var opmålt med nivelleringsapparatet. På figur 5.1 og 5.2 ses det, at opmålingerne med spandemetoden og nivelleringsapparatet næsten er identiske, men for opmålingerne på figur 5.3 og 5.4 ligger spandemetoden væsentligt højere end nivelleringsapparatet. På figur 5.3 og 5.4 er det værd at bemærke, at målingerne foretaget ved spandemetoden er forskudt i forhold til nivelleringsapparatet, men at de stadig følger den samme form. De resterende sammenligninger af målemetoder kan findes i bilag B på side 55.



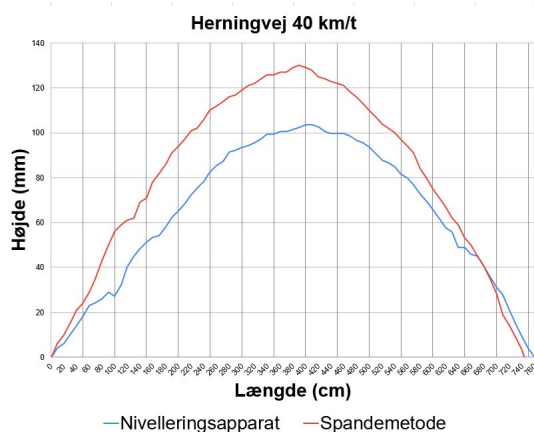
Figur 5.1. Rungsvej (30 km/t).



Figur 5.2. Skelagervej (30 km/t).



Figur 5.3. Bejsebakkevej (40 km/t).



Figur 5.4. Herningvej (40 km/t).

Det vurderes at præcisionen af nivelleringsapparatet er bedre end ved spandemetoden. Derfor er der taget udgangspunkt i opmålingerne foretaget med nivelleringsapparatet.

Ved sammenligning af opmålingerne er det fundet at målemetoderne er statistisk signifikant ens ved 9 af de 12 opmålte bump. Dog er Ferslev 40 tæt på at blive statistisk insignifikant. Resultaterne af sammenligning af de to målemetoder fremgår af tabel 5.1.

Tabel 5.1. Udvalgte resultater fra F-test for test af ens varians samt uparret t-test med ens/uens varians.

Bump	Middelværdi Nivillering	Middelværdi Spand	F-test	T-test	Forskelle i målemetoder
Golfparken 30	42,28	41,97	p=0,47	p=0,61	nej
Kronen 30	51,32	47,12	p=0,38	p=0,60	nej
Mester Eriks Vej 30	50,33	51,45	p=0,37	p=0,85	nej
Rungsvej 30	51,31	52,10	p=0,44	p=0,91	nej
Skelagervej 30	62,35	62,43	p=0,41	p=0,99	nej
Zentavej 30	49,50	51,37	p=0,43	p=0,77	nej
Bejsebakkevej 40	67,44	80,33	p=0,02	p=0,02	ja
Ferslev 40	63,01	71,83	p=0,45	p=0,08	nej
Herningvej 40	62,95	80,03	p=0,03	p=0,00	ja
Nøvlingvej 40	62,58	79,96	p=0,41	p=0,01	ja
Knuden 50	51,32	54,58	p=0,30	p=0,68	nej
Poulstrupvej 50	60,77	64,38	p=0,37	p=0,47	nej

På baggrund af sammenligningen af målemetoder, vurderes det at spandemetoden godt kan benyttes som alternativ til nivelleringsapparatet. Målingerne foretaget ved spandemetoden er generelt lidt højere end for nivelleringsapparatet, men ved størstedelen af målingerne er denne forskel statistisk insignifikant. Der har været tre tilfælde, hvor forskellen mellem opmålingsmetoderne er statistisk signifikant henholdsvis Bejsebakkevej, Herningvej og Nøvlingvej.

Resultater 6

De 98 vejbumper som er medtaget i undersøgelsen er grupperet ud fra sammenhængen mellem acceleration og hastighed samt $\ln(\text{hastighed})$. Dette har resulteret i 14 grupperinger. Grupperingerne kan benyttes til at beskrive bumptypernes effekt på den lodrette acceleration eller det lodrette ryk ved forskellige hastigheder. Men modellernes lodrette acceleration kan ikke benyttes til, at vurdere bumpene i henhold til funktionskravene grundet usikker kalibrering i ITS Platform.

For at sammenligne de forskellige bumptyper og danne betragtninger om de fysiske påvirkninger bumpene medfører, opstilles en oversigtstabel over hhv. acceleration- og rykmodeller, hvorefter både hastighedsklasserne og bumptyper vurderes særskilt.

6.1 Acceleration

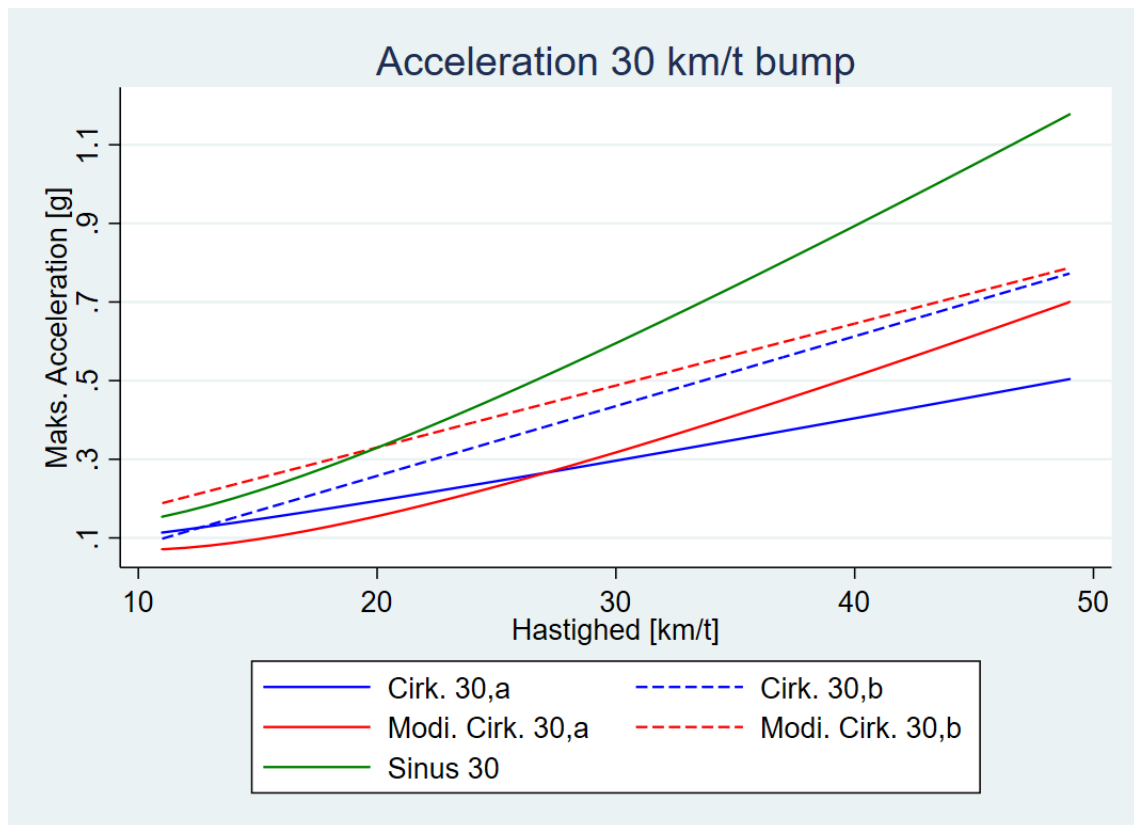
Modellerne opstillet med variablerne acceleration, hastighed og $\ln(\text{hastighed})$ for hver gruppering fremgår af tabel 6.1.

Tabel 6.1. Accelerationsmodel og tilhørende forklaringsgrad for hver af de 14 grupperinger.

Bumtype og gruppenavn	Skæring	Hastighed	$\ln(\text{hastighed})$	R ²
Cirk. 30,a (9 bump)	0.0942541	0.012148	-0.047689	0.5041
Cirk. 30,b (6 bump)	-0.0972275	0.0177514	—	0.6038
Cirk. 40 (26 bump)	0.1085391	0.0120179	-0.0779149	0.5906
Cirk. 50,a (6 bump)	0.1657417	0.0139537	-0.1135756	0.5754
Cirk. 50,b (8 bump)	0.3448261	0.0109871	-0.1602979	0.458
Cirk. 50,c (1 bump)	0.2702535	0.0081698	-0.1103636	0.3241
Modi. Cirk. 30,a (8 bump)	0.4101457	0.0269817	-0.2652353	0.5271
Modi. Cirk. 30,b (3 bump)	0.0149816	0.0157553	—	0.6351
Modi. Cirk. 40 (7 bump)	0.5061721	0.0199402	-0.2612486	0.6334
Modi. Cirk. 50 (6 bump)	0.4292117	0.0167491	-0.2369737	0.7242
Modi. Sinus 30 (3 bump)	0.3971683	0.0377217	-0.2744831	0.3866
Trapez 40 (7 bump)	0.0570855	0.0070234	—	0.5077
Trapez 50,a (5 bump)	0.0761139	0.0066294	—	0.4638
Trapez 50,b (3 bump)	0.1060607	0.0036305	—	0.2418

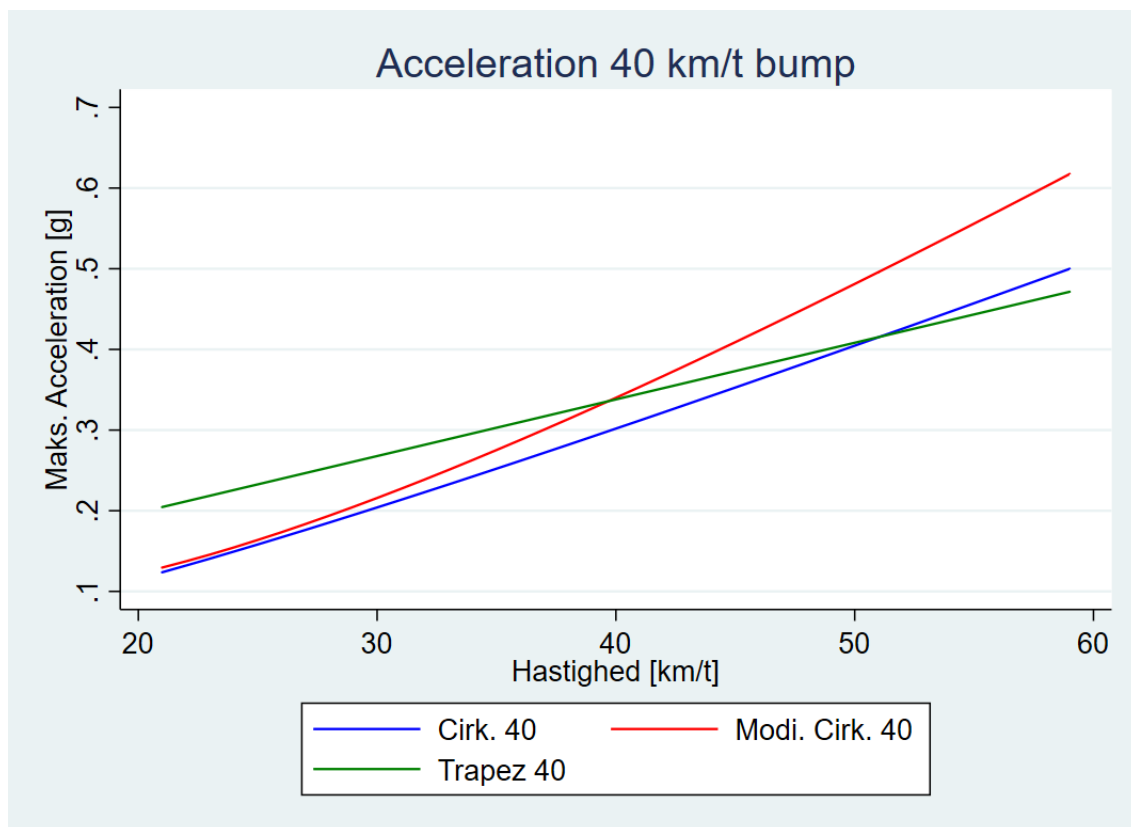
Forklaringsgraden (R^2) på accelerationmodellerne varierer, hvor modellerne for cirkelbump 50c og trapezbump 50b er særligt lave. De resterende modeller vurderes til at have en rimelig forklaringsgrad. Ydermere fremgår det, at $\ln(\text{hastighed})$ er en forklarende variabel i ni ud af 14 tilfælde. Derudover bemærkes det, at hældningskoefficienterne(hastighed) for trapezbump er meget lave i forhold til de øvrige modeller.

Opdelt på hastighedsklasse



Figur 6.1. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 30 km/t.

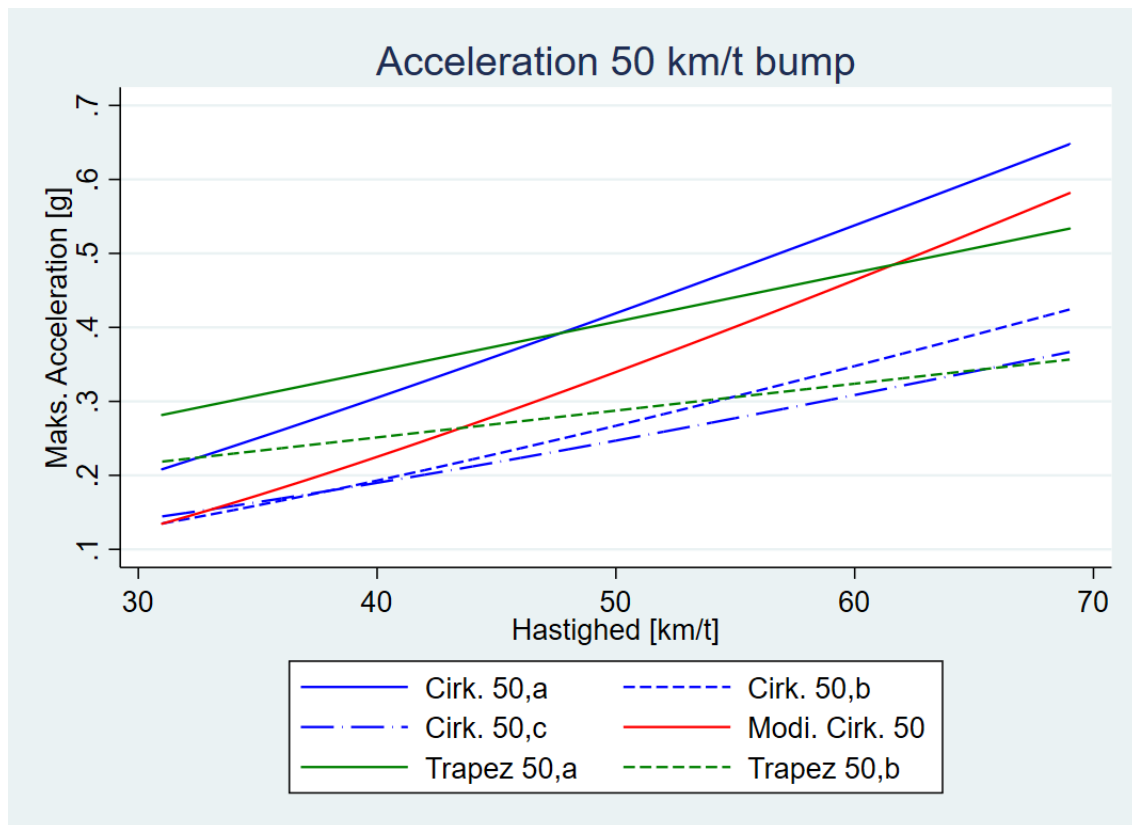
Det fremgår af figur 6.1, at modellerne for cirkelbump og modificeret cirkelbump ligger i det samme spektrum, og ved 50 km/t ligger begge bumptyper mellem ca. 0,5 og 0,8 g. Ved 30 km/t er det sinusbump der resulterer i de højeste g-påvirkninger. Sinusbump er næsten konstant højere end de resterende bump ved alle hastigheder, og ved 50 km/t opnås g-påvirkninger på ca. 1,2 g. Udviklingen i lodret acceleration er mest markant for sinus 30 og modificeret cirkelbump a ved høje hastigheder.



Figur 6.2. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 40 km/t.

Af figur 6.2 fremgår sammenhængen mellem hastighed og acceleration for de tre grupperinger af 40 km/t bump. Der er opstillet tre grupper: en for cirkelbump, modificeret cirkelbump og en for trapezbump. Af grafen fremgår det, at cirkelbumpet har den laveste lodrette accelerationspåvirkning når hastigheden er mellem 20 og 50 km/t, udviklingen i acceleration er lineær. Trapezbumpet har den højeste accelerationspåvirkning ved 20 km/t, men ændringen i acceleration er lille og trapezbumpet har derfor den mindste accelerationspåvirkning ved 60 km/t.

Det modificerede cirkelbump har en lav accelerationspåvirkning ved 20 km/t, men stiger til 0,6 ved 60 km/t. Accelerationsforløbet for det modificerede cirkelbump, vurderes mest hensigtsmæssigt af de tre bumptyper.



Figur 6.3. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne bump i hastighedsklassen 50 km/t.

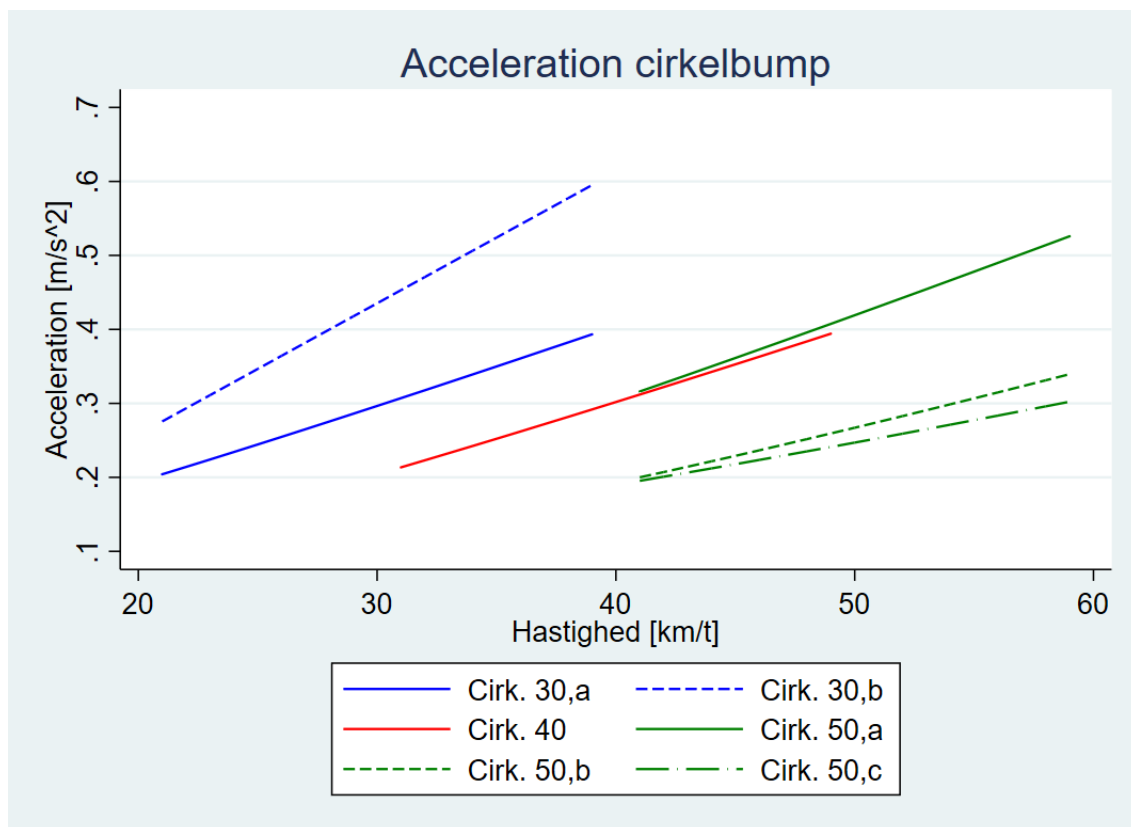
Der er opstillet 6 grupperinger af 50 km/t bump. Modellerne for hver gruppe fremgår af figur 6.3. Accelerationspåvirkningerne målt ved cirkelbumpene, angivet med blå farve, afviger fra hinanden. Cirkelbump 50a har en kraftig stigning i acceleration, sammenlignet med de andre cirkelbump. Cirkelbump 50b og 50c ligger relativt tæt på hinanden, men ændringen i lodret acceleration er størst for cirkelbump b.

Det modificerede cirkelbump har tilnærmelsesvist den samme udvikling i acceleration som cirkelbump 50a. Modellen for det modificerede cirkelbump er forskudt ca. 0,1 g under modellen for cirkelbump 50a.

De to grupper af trapezbump har de højeste accelerationspåvirkninger ved en hastighed på 30 km/t. De to modeller for trapezbumpene afviger dog i både skæring og hældning. Modellen for trapezbump 50a har den største ændring i accelerationspåvirkning af de to trapezbump, når hastigheden øges. Trapezbump 50b har en næsten uændret accelerationspåvirkning, fra ca. 0.2 g ved 30 km/t til ca. 0.35 g ved 70 km/t.

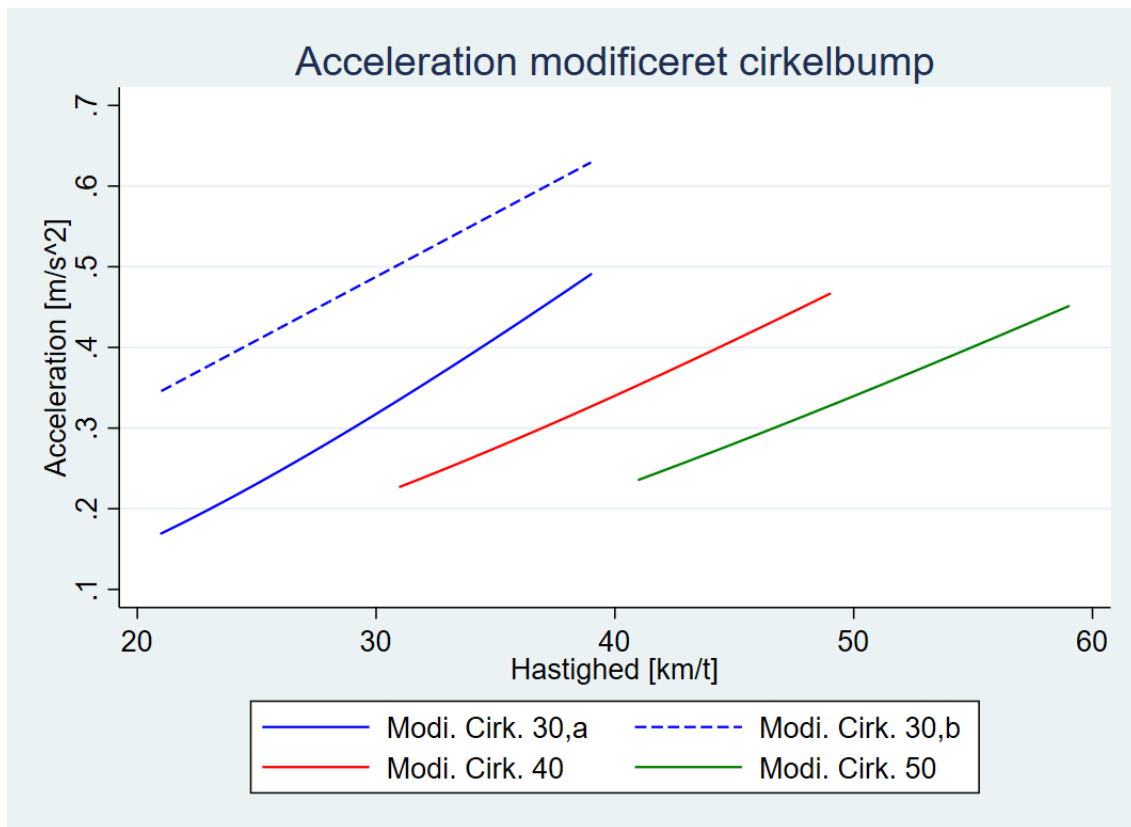
Opdelt på bumptype

Accelerationen er ligeledes opdelt på de fire bumptyper som er medtaget i undersøgelsen: Cirkelbump, modificeret cirkelbump, trapezbump og sinusbump. Graferne for hver model er begrænset til 10 km/t under og over bumpenes dimensioneringshastighed. Ideelt burde graferne for hver hastighedsklasse være ens, men forskudt på x-aksen. Dette vil være et udtryk for at accelerationens påvirkning er den samme for alle bumpene når de passerer med den tilhørende dimensioneringshastighed.



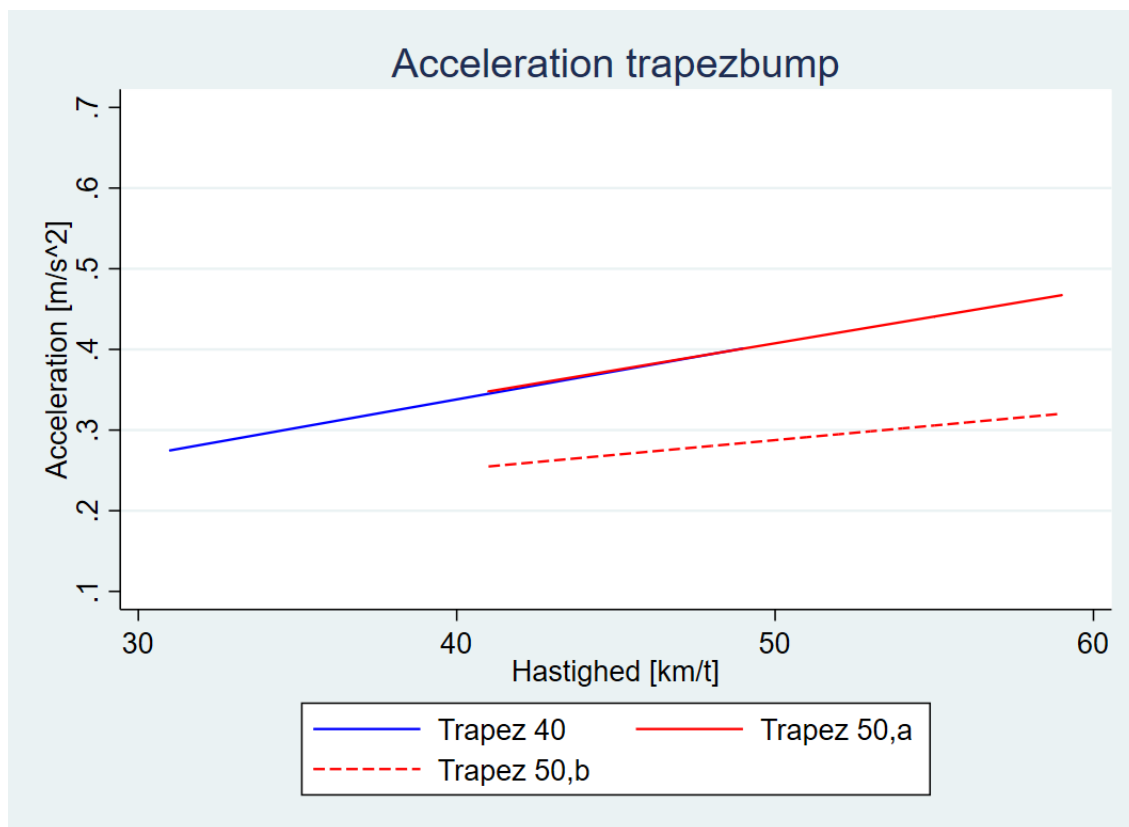
Figur 6.4. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af cirkelbump.

Modellerne for cirkelbumpene fremgår af figur 6.4. Med undtagelse af modellerne for cirk. 30,b og Cirk. 50,a ligger modellerne som forventet. De er ensartede men forskudt på x-aksen i forhold til bumpenes hastighedsklasser. Model cirk. 30,b ligger højere end de resterende modeller, og medfører relativt store accelerationspåvirkninger ved en passagehastighed på 30 km/t. Model cirk. 50,a medfører ligeledes en høj accelerationspåvirkning. Modellen ligger i umiddelbar forlængelse af modellen for Cirk. 40 og har derfor tilnærmelsesvist den samme accelerationspåvirkning. Dette kan være et udtryk for, at bumpene som model cirk. 50,a bygger på, er udformet uhensigtsmæssigt.



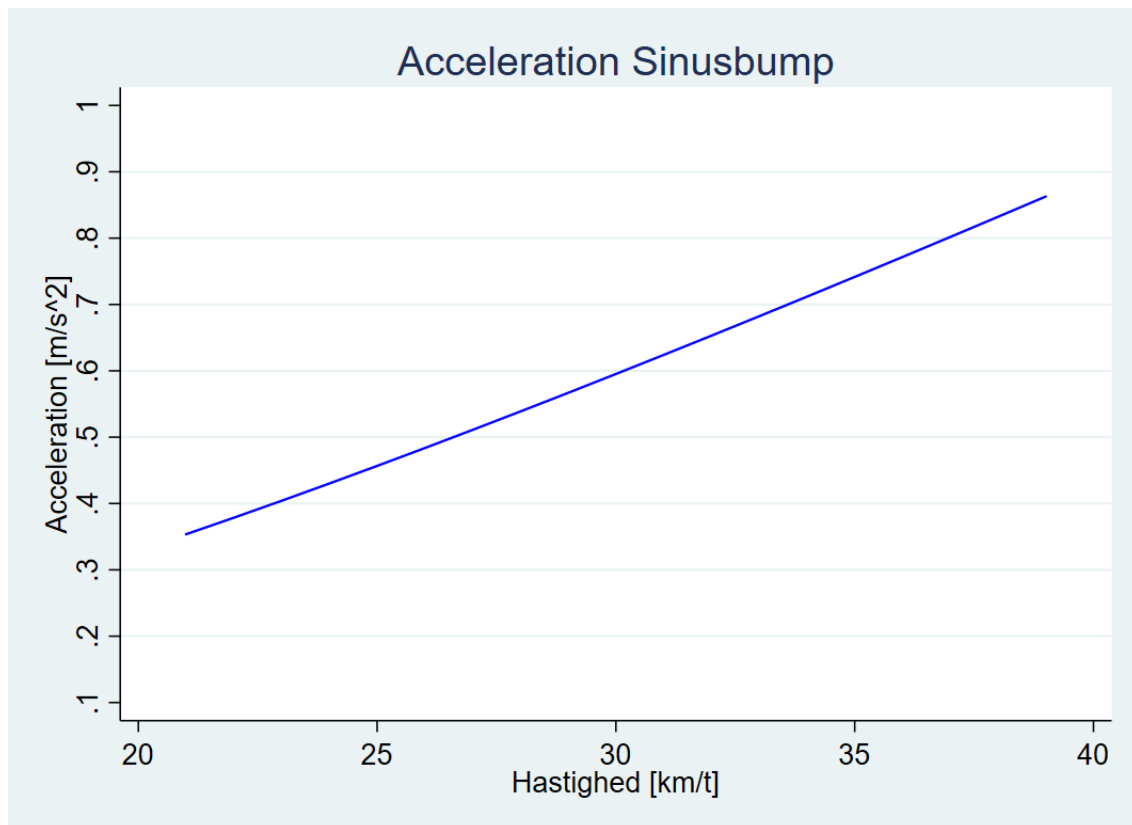
Figur 6.5. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af modificerede cirkelbump.

Modellerne for de modificerede cirkelbump ligger, med undtagelsen af en enkelt model, som forventet. Model Modi. Cirk. 30,b medfører en større accelerationspåvirkning end de resterende modificerede cirkelbump. Accelerationspåvirkningen ligner til forveksling påvirkning fra Cirk. 30,a.



Figur 6.6. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af trapezbump.

Accelerationen målt ved trapezbumpene giver anledning til undren, se figur 6.6. Udviklingen i acceleration for trapezbump 50,a og trapezbump 40 er tilnærmelsesvist den samme. Ydermere er forklaringsgraden (R^2) til modellen for trapezbump 50,b kun 0,2, hvilket er udtryk for at modellen, kun i begrænset omfang, beskriver målingerne foretaget på bumpet. Figur 6.6 antyder at accelerationspåvirkningen som følge af ændring af hastigheden, er den samme uafhængigt af hastighedsklasse. Hvilket kan være udtryk for, at udformningen af trapezbump ikke afviger, trods forskellige hastighedsklasser. Af opmålingerne, angivet i bilag B på side 55 på figur B.18 og B.19, ses det at udformningen på de to trapezbump er meget ensartede, hvilket kan forklare de ens accelerationspåvirkninger. Foruden en næsten uændret accelerationspåvirkning trods forskellige hastighedsklasser, har de tre modeller for trapezbump også en lav hældning. Dette er udtryk for at hastighedsændringer kun i mindre grad har indflydelse på accelerationspåvirkningen.



Figur 6.7. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingen af sinusbump.

Der er kun medtaget tre sinusbump i undersøgelsen, som alle er i hastighedsklassen 30 km/t. Dette har resulteret i, at der kun er opstillet en model for sinusbump. Ændringen i acceleration, som følge af ændret hastighed, er kraftig for sinusbump sammenlignet med de andre bumptyper. Af figur 6.7 ses det at accelerationen er ca. 0,35 g ved 22 km/t og ca. 0,85 g ved 38 km/t. Accelerationspåvirkningen for sinusbump er de største fundet i undersøgelsen.

Opsamling på accelerationsmodeller

Opdelingen ud fra bumptype viser, at der er forskel på den g-påvirkning som passage af bumpene medfører, afhængigt af bumptypen. Ydermere afviger accelerationspåvirkningerne også indenfor samme bumptype og hastighedsklasse.

Opdelingen på hastighedsklasse viser at det generelt er cirkelbumpene som medfører de laveste accelerationspåvirkninger, dette resultat varierer dog. Accelerationspåvirkningen fra de modificerede cirkelbump ligner cirkelbumpene, men de medfører generelt lidt større accelerationspåvirkninger. De tre grupperinger af trapezbump har en mindre ændring i accelerationspåvirkning end de andre bump. Dette er udtryk for at accelerationspåvirkningen ikke vokser kraftigt når hastigheden tiltager. Sinusbumpene er fundet til at have den største accelerationspåvirkning. Accelerationspåvirkningen fra sinusbumpet starter lavt og stiger derefter kraftigt når hastigheden øges.

6.2 Ryk

Modellerne opstillet med variablerne ryk, hastighed og $\ln(\text{hastighed})$ for hver gruppering fremgår af tabel 6.2.

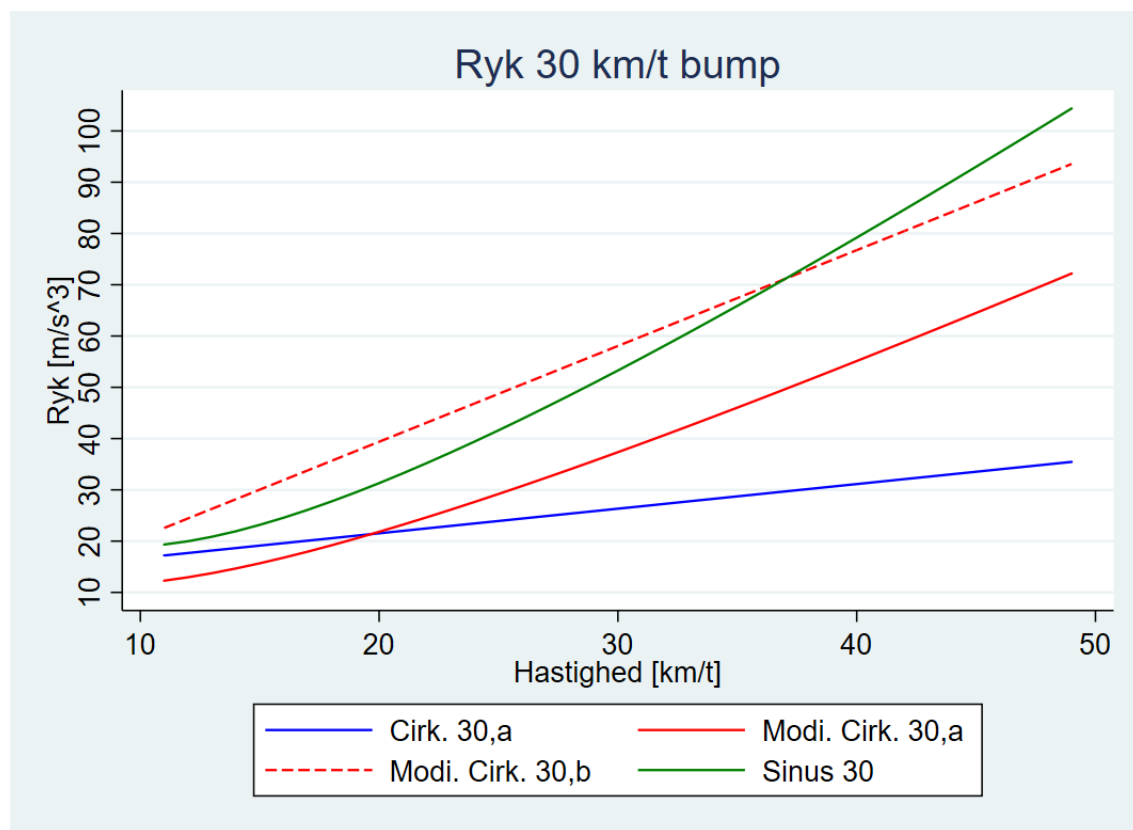
Tabel 6.2. Rykmodel og tilhørende forklaringsgrad for 13 af de 14 grupperinger.

Bumptype og gruppenavn	Intercept	Hastighed	$\ln(\text{hastighed})$	R ²
Cirk. 30,a (9 bump)	11.9207	0.4802641	—	0.1093
Cirk. 30,b (6 bump)	—	—	—	—
Cirk. 40 (26 bump)	9.04592	0.8890156	-3.826891	0.3809
Cirk. 50,a (6 bump)	-8.138377	0.4107593	6.062276	0.2513
Cirk. 50,b (8 bump)	18.20344	0.6721738	-6.446614	0.2845
Cirk. 50,c (1 bump)	18.93468	0.6965614	-5.886658	0.3806
Modi. Cirk. 30,a (8 bump)	32.43853	2.326521	-19.07741	0.4891
Modi. Cirk. 30,b (3 bump)	2.014902	1.868296	—	0.616
Modi. Cirk. 40 (7 bump)	40.73979	1.236159	-15.78766	0.2632
Modi. Cirk. 50 (6 bump)	36.77491	1.258544	-17.59488	0.4401
Modi. Sinus 30 (3 bump)	60.52358	3.554597	-33.48255	0.3074
Trapez 40 (7 bump)	6.94679	0.7198024	—	0.3182
Trapez 50,a (5 bump)	9.968611	0.7738898	—	0.3105
Trapez 50,b (3 bump)	-44.58329	-0.2233471	23.44901	0.1931

Forklaringsgraden (R^2) varierer for hvert bump, og generelt er rykmodellernes forklaringsgrad lavere end forklaringsgraderne for accelerationsmodellerne. Særligt er forklaringsgraden for cirkelbump 30a og trapez 50b lave. Det bemærkes, at cirkelbump 30b er forkastet, da der ikke kan findes en signifikant sammenhæng mellem ryk og hastighed i modellen. Ydermere fremgår det, at $\ln(\text{hastighed})$ er en forklarende variabel i ni ud af 14 tilfælde, hvilket også var tilfældet i accelerationsmodellerne.

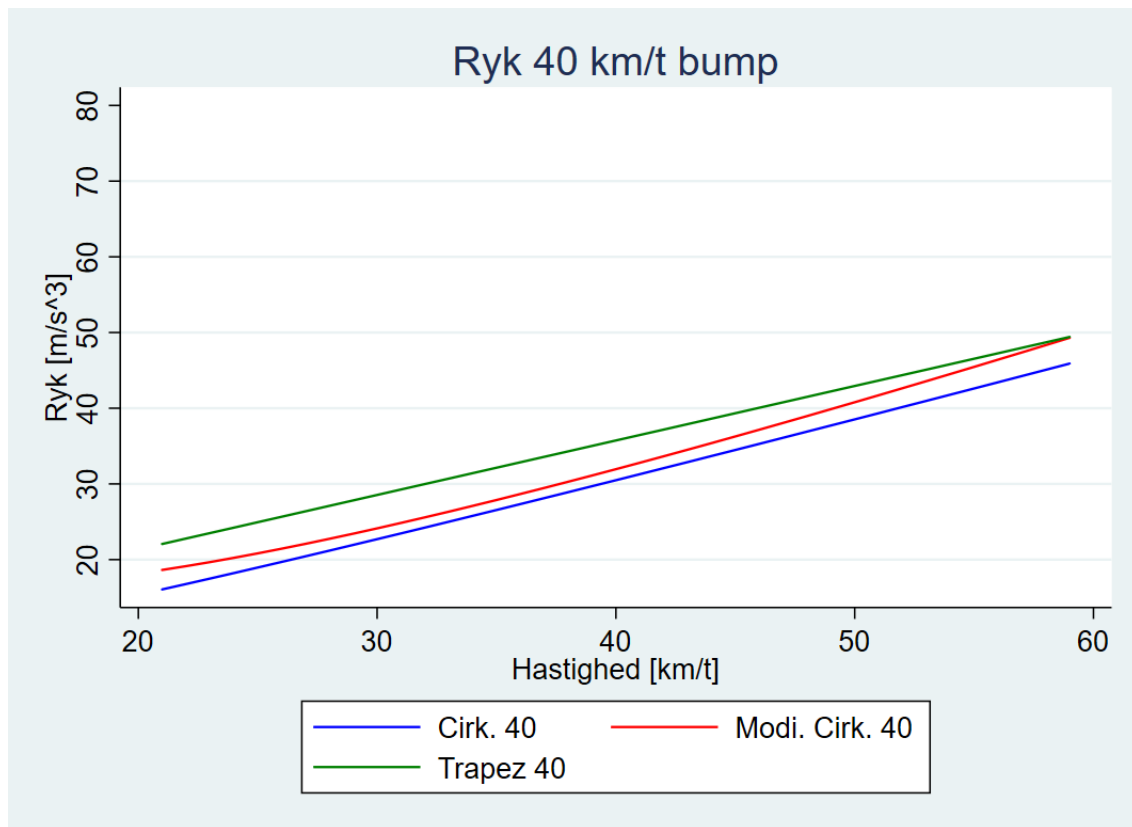
Opdelt på hastighedsklasse

Bumpene opdeles på hastighedsklasse for, at undersøge hvorvidt der er sammenhænge mellem rykværdierne og hastighedsklasserne.



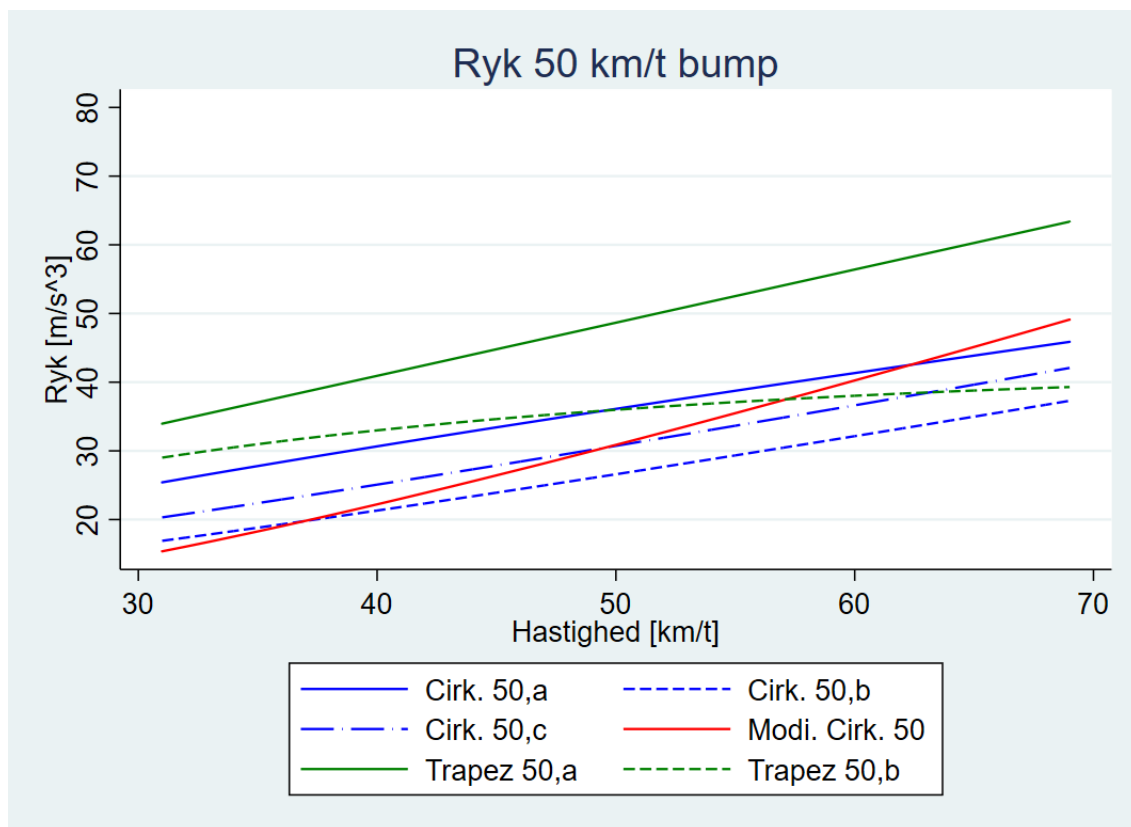
Figur 6.8. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 30 km/t.

Af figur 6.8 fremgår det, at modifieret cirkelbump 30a, 30b og sinusbump 30 ligger inde for det samme spektrum, hvorimod cirkelbump 30a adskiller sig ved, at resultere i markant lavere værdier end de resterende bump. Cirkelbump 30a opnår ca. en fordobling i ryk fra 10-50 km/t, hvorimod de andre tre stiger mellem 400-1700%. Cirkelbump 30a og modifieret cirkelbump 30b er begge lineære modeller, hvorimod modifieret cirkelbump 30a og sinusbump 30 er eksponentialmodeller. Det bemærkes at trods modifieret cirkelbump 30a og 30b er af samme bumptype, er der forskellige forklarende variabler, hvor modifieret cirkelbump 30a inkluderer $\ln(\text{hastighed})$ i modellen.



Figur 6.9. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 40 km/t.

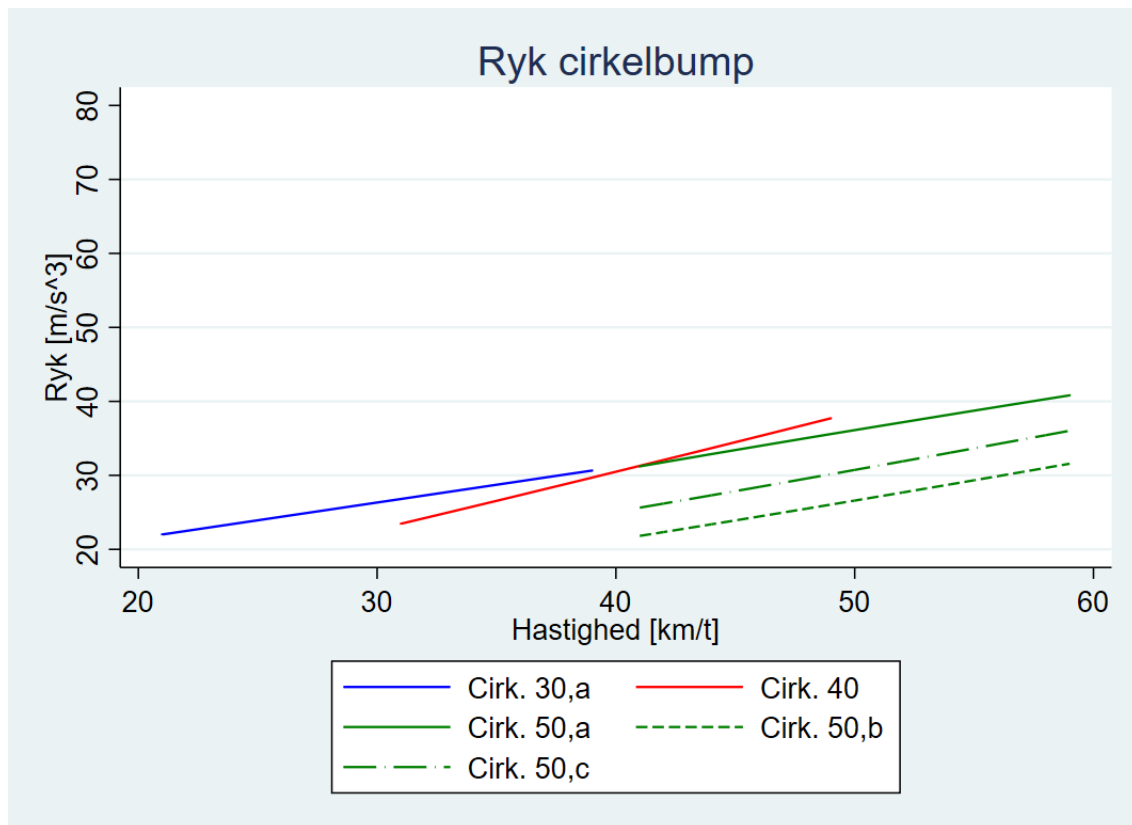
Det fremgår af figur 6.9, at modellerne for cirkelbump 40, modificeret cirkelbump 40 og trapezbump 40 ligger i det samme spektrum. Trapezbumpet er beskrevet ved en lineær model, og resulterer konsekvent i højere rykværdier end de andre bump, som er beskrevet med eksponentialmodeller. Ved ca. 20 km/t ligger bumpene mellem 17-22 m/s³ og ved 60 km/t ligger de mellem 46-49 m/s³.



Figur 6.10. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 50 km/t.

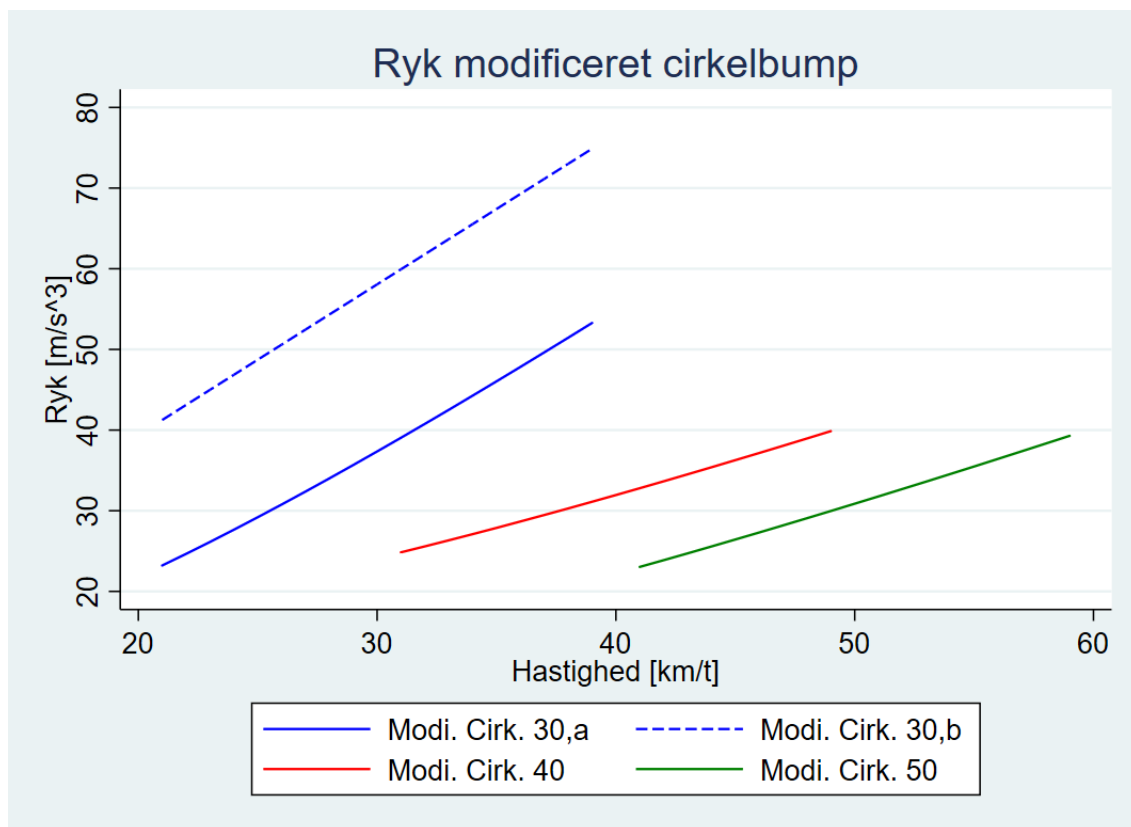
Trapezbump 50a resulterer i de højeste værdier, og startpunktet er ca. lig med cirkelbump 50b's slutpunkt. Med undtagelse af trapezbump 50a ligger bumpene nogenlunde ens. Særligt findes trapezbump 50b interessant, da den har et toppunkt ved ca. 50 km/t og grafen viser, at ryk-værdierne nærmest stagnerer. Den største stigning i ryk findes ved modificeret cirkelbump 50, som har en stigning på ca. 230%.

Opdelt på bumptype



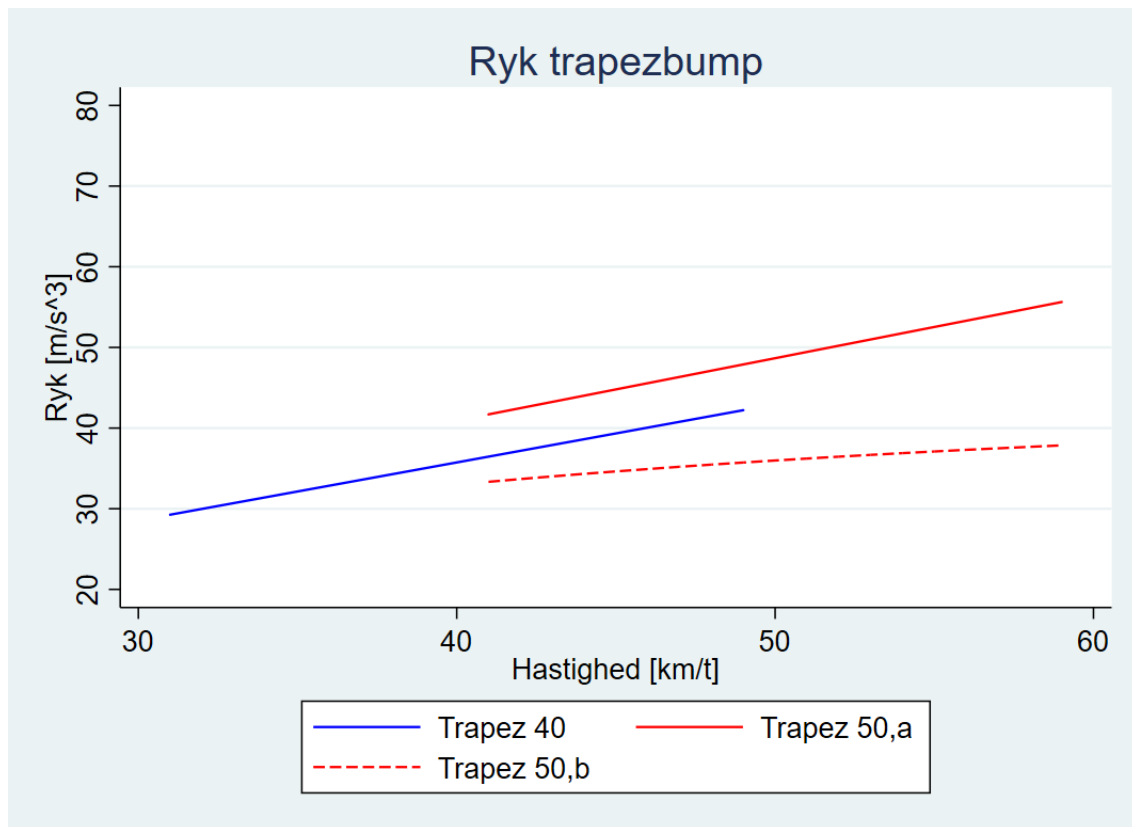
Figur 6.11. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af cirkelbump.

Det ses af figur 6.11, at alle cirkelbump ligger indenfor det samme spektrum, men forskudt i forhold til hastigheden. Cirkelbump 30a er den eneste model der har en lineær sammenhæng. Den største stigning findes ved cirkelbump 40, men generelt for alle bump er der ikke store forskelle i rykpåvirkningen ved stigende hastighed.



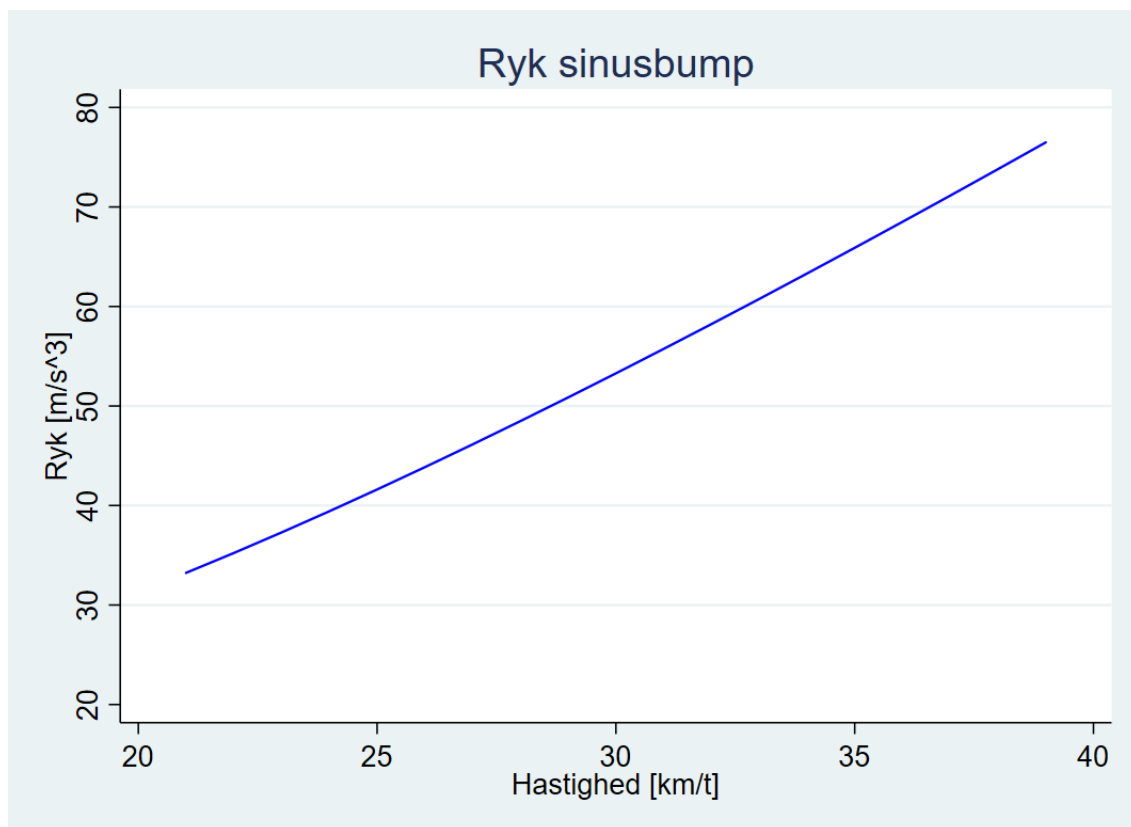
Figur 6.12. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af modificerede cirkelbump.

Det fremgår af figur 6.12, at de modificerede cirkelbump afviger fra hinanden. Modificeret cirkelbump 30b, som er den eneste lineære model, resulterer i de markant højeste værdier, og starter højere end modificeret cirkelbump 40 og 50 slutter. Modificeret cirkelbump 40 og 50 følger omtrent hinanden forskudt i forhold til hastighed. Modificeret cirkelbump 30a stiger kraftigt i rykpåvirkning, men starter lavt ligesom modificeret cirkelbump 40 og 50.



Figur 6.13. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingerne af trapezbump.

Af figur 6.13 ses det, at trapezbumpene generelt har en marginal stigning i ryk når hastigheden forøges. Trapez 50a resulterer i de højeste værdier og den største stigning. Ydermere er trapezbump 50a konsekvent højere end trapez 50b. Det bemærkes også, at trapez 50b får en mindre gradvis stigning i ryk når hastigheden stiger. Trapezbump 50b er det eneste bump, der ikke følger en lineær model.



Figur 6.14. Rykpåvirkning som funktion af hastigheden, for grupperingen af sinusbump.

Det fremgår af figur 6.14, at stigningen i ryk ved sinusbumpet er mere markant end de tidligere beskrevne bump. Rykket er ca. 35 m/s^3 ved 22 km/t og ca. 78 m/s^3 ved 38 km/t . Dette bump resulterer derfor i de største rykværdier fundet i undersøgelsen.

Opsamling på rykmodellerne

Trapezbumpene til 40 km/t og 50 km/t giver anledning til de største ryk værdier ved lave hastigheder. Ændringen i ryk når hastigheden øges, er generelt mindre for trapezbumpet end de andre bumptyper. Særligt trapezbump 50b er fundet til at have en u hensigtsmæssig rykpåvirkning, som flader ud når hastigheden er omkring 40 km/t . Dette betyder at rykpåvirkningen er stortset uændret hvis bumpet passeres med 40 km/t eller 60 km/t .

Rykpåvirkningen for de modificerede cirkelbump starter lavt men vokser kraftigt når hastigheden øges. Stigningen i rykpåvirkning er kun overgået af sinusbumpene. Påvirkningen fra cirkelbumpene ligner de modificerede cirkelbump, men rykpåvirkningen er generelt lidt større ved lave hastigheder og den stiger mindre kraftigt.

6.3 Opmåling

De vej bump som er opmålt under projektet med nivelleringsapparatet er kontrolleret i henhold til udformningskravene. Resultaterne af denne kontrol fremgår af tabel 6.3.

Vej bump	Højde (maks. 105 mm)	Kontrol per halvdel (maks. 15 mm)	Overholder kravet
Bejsebakkevej	103	9/9	Ja
Golfparken	79	26/93	Nej
Guldbækparken	102	11/39	Nej
Herningvej	104	28/51	Nej
Hobrovej	91	13/56	Nej
Knuden	92	-	-
Kronen	102	-	Ikke typegodkendt
Mester Eriks vej	88	43/50	
Nibevej	111	16/16	Nej
Nøvlingvej	116	51/21	Nej
Poulstrupvej (40km/t)	97	8/47	Nej
Poulstrupvej (50km/t)	95	9/60	Nej
Rungsvej	92	24/23	Nej
Skelagervej	91	14/9	Ja
Svenstrupvej	94	22/21	Nej
Valmuevangen	85	34/23	Nej
Zentavej	87	26/32	Nej

Tabel 6.3. Kontrol af de opmålte bump i henhold til udformningskravene. Bumpet på Knuden er ikke sammenholdt med kravene, grundet en stærkt afvigende længde. De fem trapezbump er ikke medtaget.

Af tabellen fremgår det, at kun to af de 17 kontrollerede bump overholder udformningskravene. Størstedelen af bumpene overholder kravet om en maksimal højde på 105 mm. Men ikke kravet om en middel afvigelse adderet med to gange spredningen på under 15 mm for hver bump halvdel.

De store afvigelser i bumpgeometrier har gjort det besværligt, at klassificere de forskellige bumptyper. Ydermere er der tilfælde hvor vejene som bumpene er placeret på, har en anden hastighedsbegrænsning end bumpene er udformet til. I disse tilfælde er det valgt at fastholde bumpene i den hastighedsklasse som det er tilladt at færdes på vejen med.

Diskussion 7

Opmåling af bump

Der er kun foretaget én måling på hvert bump. Målingen er foretaget i yderste kørespor ca. en halv meter fra kantstenen. Der kan være stor forskel i geometrien afhængig af hvor på bumpet målingen er foretaget. For at opnå et helt præcist billede af bumpenes geometri skal der derfor foretages flere målinger på hvert bump. Muligheden for at danne 3D modeller af bumpene ud fra billeder, blev derfor overvejet forud for opmålingerne. Denne løsning vurderes mere tidskrævene og antallet af opmålte bump ville derved blive mindre. Ydermere er 3D modellerne svære at sammenligne bumpene imellem.

Opmålingerne foretaget i projektet, er ikke understøttet af flere målinger i forskellige snit på hvert bump. Det er valgt, at begrænse antallet af målinger til én linje over hvert bump, fordi geometrien i køresporet vurderes mest relevant i forhold til den fysiske påvirkning som trafikanterne oplever.

Ydermere er det antaget at bump på samme vej har samme udformning, og der er derfor kun målt et enkelt vej bump på hvor vej. Antagelsen bygger i dette projekt på, at bump udført på samme tidspunkt, på samme vej og med samme trafikmængde har den samme udformning og deformation. For at teste denne antagelse kunne der være foretaget to målinger på samme vej til sammenligning, hvorefter det kunne vurderes hvorvidt der var tale om en ens geometri eller ej.

Medtagne bump

Udvælgelsen af bump er foretaget med henblik på, at vælge bump af forskellig type og med forskellige hastighedsklasser. Denne udvælgelse er problematiseret, da data i ITS Platform er indsamlet fra år 2012 til 2015. Bumpene skal derfor være anlagt før denne periode og der må ikke være foretaget reparationer på bumpene sidenhen. Ydermere er udvælgelsen begrænset til bump, som ikke skønnes at være deformeret betydeligt. Vurderingen af hvorvidt bumpene er anlagt før 2012, om de er repareret siden og om de er deformeret betydeligt, bygger på et skøn foretaget af projektgruppen. Det er valgt fordi det ikke har været muligt at indsamle tilstrækkelige informationer om bumpenes udlægning og vedligehold.

Udvælgelsen af bump blev foretaget ud fra en undersøgelse lavet på Aalborg Universitet for ca. 5 år siden, men undersøgelsen indeholdte kun informationer om bumpenes placering og derfor ikke oplysninger om type eller hastighedsklasse. Dette har svækket variationen af bumptyper. Et større antal af hver bumptype havde givet et større datagrundlag, hvilket kunne understøtte resultaterne yderligere. Dette har været særligt problematisk for antallet af sinusbump og trapezbump med hastighedsklasse 30 km/t, hvor antallet af strækninger er begrænset.

Kombination af data og gruppering

Kombinationen af data fra bump placeret på samme vej, medfører at forklaringsgraden på modellerne i de fleste tilfælde ændres, sandsynligvis til det mindre. Trods relative ens bump, vil den fysiske påvirkning på trafikanterne variere. Kombinationen medfører derfor en usikkerhed i projektet. Usikkerheden er håndteret ved, at sikre at data som kombineres, har sammenlignelig påvirkning på den lodrette acceleration.

De efterfølgende grupperinger, med bump fra forskellige veje, indeholder ligeledes bump med forskellige accelerationspåvirkninger. For at sikre at grupperingerne, og modellerne opstillet herudfra, er rimelige er der anvendt statistiske test. Dette har sikret at grupperingerne kun er opstillet, når data er tilstrækkelig ens.

Kalibrering af lodret acceleration

Den lodrette acceleration logget under ITS Platform er næsten udelukkende bestående af negative værdier, svarende til en konstant deceleration. For at behandle dataen er tyngdeacceleration ($9,82 \text{ m/s}^2$) adderet til alle accelerationsværdier. Dette skyldtes, at gennemsnitsværdien af maksimal lodret acceleration og minimal lodret acceleration ligger tæt på tyngdeaccelerationen med en værdi på $-9,69 \text{ m/s}^2$. Accelerationerne adderet med tyngdeacceleration er derfor vurderet som det bedste bud på et nulpunkt, svarende til at trafikanten ikke påvirkes af nogen lodret acceleration når accelerationspåvirkningen er logget til $-9,82 \text{ m/s}^2$.

Denne kalibrering kunne være foretaget på flere forskellige måder, f.eks. ved at kigge på bumpene særskilt og tage de enkelte gennemsnitsværdier for hvert bump. Ydermere kunne det være fravalgt at foretage en kalibrering, og have analyseret de negative værdier.

Den valgte metode har medført, at accelerationsmålingerne generelt ligger under det funktionskrav som er givet for vej bump. Dette kan skyldes at bumpene alle medfører accelerationer under det tilladte, men det vurderes mere sandsynligt at kalibreringen ikke har resulteret i de faktiske accelerationspåvirkninger. Denne usikkerhed medfører at accelerationspåvirkningerne ikke kan benyttes til, at vurdere bumpene i forhold til funktionskravene, men derimod kun til at sammenligne de forskellige bump medtaget i undersøgelsen.

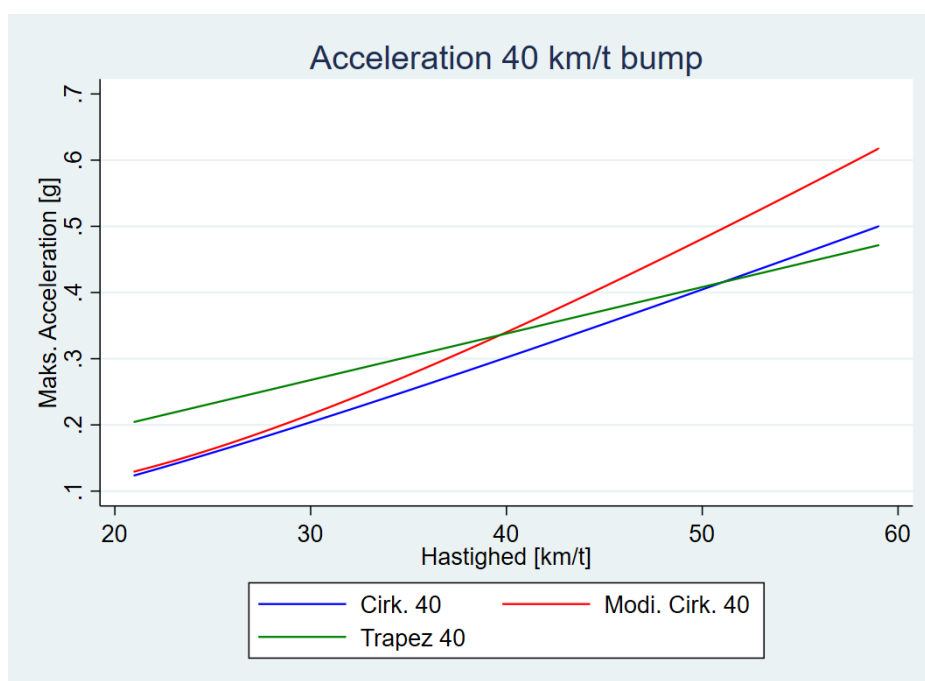
ITS Platform data

Det er valgt, at benytte data fra ITS Platform, men undersøgelsen viste, at det var nødvendigt at kassere ca. halvdelen af de indsamlede data, da OBU'en installeret i testkøretøjerne skulle kalibreres midt i ITS Platform projektet. Det kan derfor diskuteres hvorvidt datagrundlaget er ideelt. Det blev valgt at fastholde ITS Platform, da datamængden var meget stor. Selv når halvdelen af dataene kasseres er der stadig ca. 650 mio. rådata. Herved er der stadig en stor mængde data i hvert enkelt udtræk, hvilket vurderes tilstrækkeligt til at beskrive accelerations- og rykpåvirkning på bumpene.

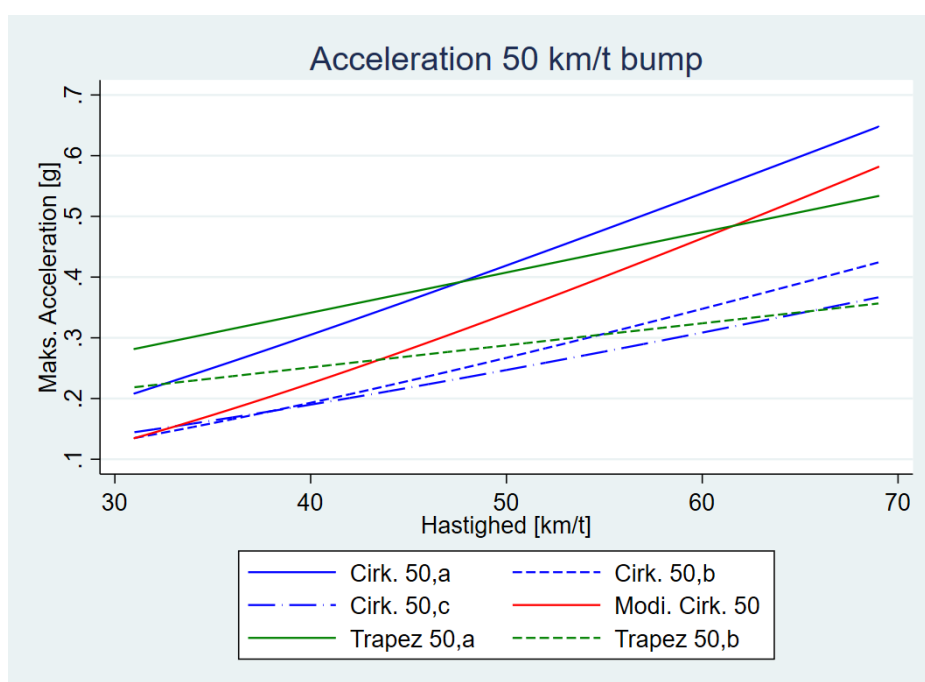
Trapezbump og modificerede cirkelbump

Trapezbumpet vurderes til at have den mindst hensigtsmæssige virkning, af de undersøgte bumptyper. På figur 7.1 og 7.2 ses det at ændringen i lodret acceleration ved stigende hastighed, er mindst for trapezbumpene. Dette betyder at den lodrette acceleration ikke ændres markant, trods øget hastighed. På samme figurer ses det, at de modificerede cirkelbump har en bedre effekt, hvor bumpene medfører en større ændring i lodret

acceleration når hastigheden øges.



Figur 7.1. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne af bump i hastighedsklassen 40 km/t.



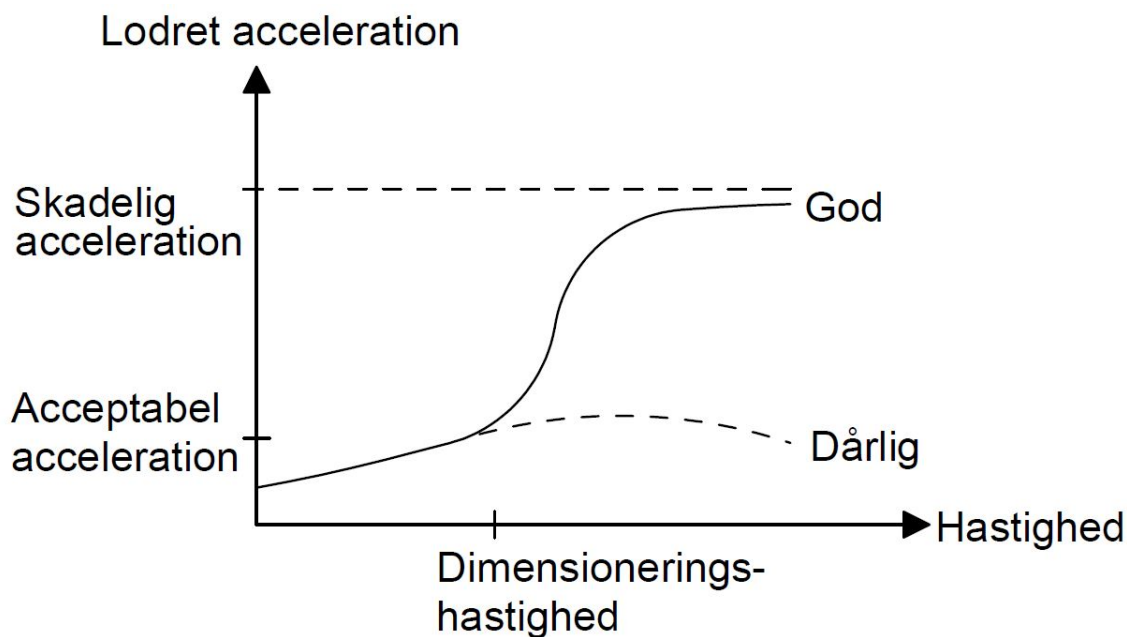
Figur 7.2. Accelerationspåvirkning som funktion af hastigheden, for alle grupperingerne bump i hastighedsklassen 50 km/t.

Maksimal lodret acceleration eller maksimalt lodret ryk

I projektet er der benyttet to forskellige parametre, til at vurdere den fysiske påvirkning som passage af bumpene medfører. Den første, lodret acceleration, er fundet til at have den bedste sammenhæng med hastigheden. Accelerationen vokser når hastigheden øges, og forklaringsgraden på modellerne for acceleration er større end for ryk. Det vurderes derfor at accelerationen er den parametre som bedst kan benyttes til, at vurdere bumpenes effekt på trafikanterne. Dette stemmer overens med funktionskravene, som ligeledes er opstillet ud fra lodret acceleration.

Det ideelle vej bump

De sammenhænge som er fundet mellem hastighed og lodret acceleration følger alle en lineær eller tilnærmelsesvist lineær kurve. Dette er fundet til at være de kurver som beskriver sammenhængene bedst, men det er ikke den ideelle sammenhæng. Et ideelt vej bump skal medføre en lav lodret accelerationspåvirkning ved hastigheder under det tilladte, mens hastigheder over det tilladte bør resultere i store lodrette accelerationer, men stadig uden at skade trafikanterne. Denne idealkurve for et vej bump er angivet på figur 7.3.



Figur 7.3. Idealkurve for vej bump, beskrevet ud fra lodret acceleration og hastighed. [Lahrmann og Mathiasen, 1992]

Bumpene undersøgt i dette projekt følger ikke idealkurven, men følger derimod en kurve som vokser mere jævnt når hastigheden vokser.

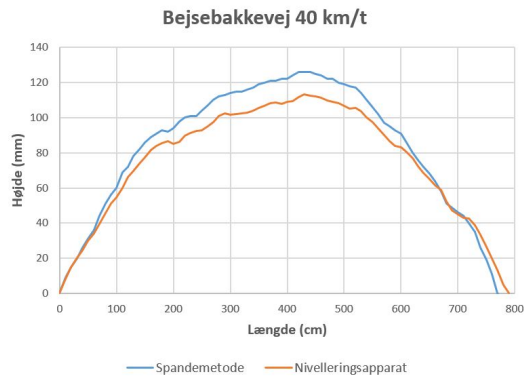
Det er svært at dimensionere bump, der følger idealkurven, da graden af acceleration skal vokse momentant. I litteraturstudiet blev det forklaret, hvordan flere tidligere undersøgelser forsøgte at skabe et ideelt vej bump, men undersøgelserne konkluderede ofte, at adskillige parametre, som var svære at opstille et generelt udtryk for, har indflydelse på de fysiske påvirkninger, heriblandt bilernes affjedring. Det vurderes derfor, at idealkurven mere bør opfattes teoretisk, og at det ved de nuværende typegodkendte bump ikke er muligt at opnå denne kurve.

Forskelle i modellerne

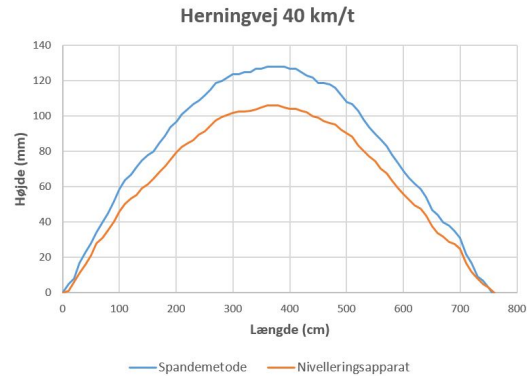
Der er samlet blevet opstillet 14 forskellige modeller der beskriver bumpene. Disse modeller dækker over både bumpstype og hastighedsklasse. Modellerne er udelukkende sammensat ud fra sammenhængen mellem acceleration og hastighed samt ryk og hastighed. Trods bump er af samme type og i samme hastighedsklasse er det ikke ensbetydende med at de er beskrevet i den samme model. Dette kan skyldes flere parametre. Opmålingen af bump viste, at der var stor forskel i bumpgeometrierne, selv ved bump der burde være ens. Dette kan skyldes flere ting f.eks. at bumpene er deformeret eller at udlægning af bumpet ikke er gjort korrekt. Særligt vurderes bump højden at have stor indflydelse på de accelerations- og rykværdier der opstår ved overkørsel. Derudover kan det have betydning for accelerations- og rykpåvirkningen, hvilken bil som kører over bumpene. Som beskrevet tidligere har bilernes vægt, affjedring, dæktryk mm. også betydning. Det vurderes dog, at det store antal af biler i undersøgelsen er med til, at minimere denne fejlkilde.

Kontrol af målemetoder

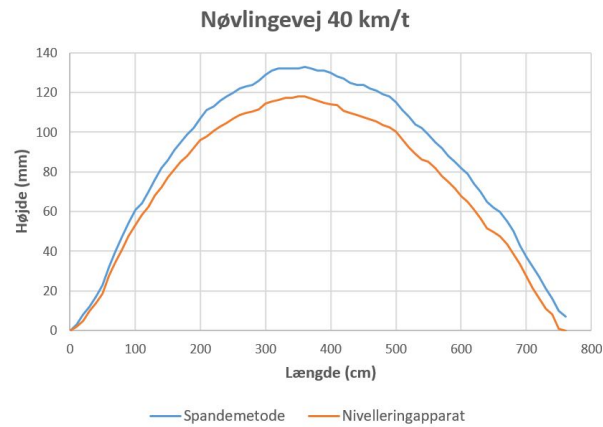
I sammenligning af målemetoder blev det fundet, at spandemetoden og nivelleringsapparatet var statistisk signifikant ens i ni ud af 12 tilfælde, mens der i de tre resterende tilfælde var en afvigelse i højden på næsten 2 cm. Årsagen til afvigelsen har ikke været mulig at identificere ud fra de indsamlede data, og det er derfor undersøgt om der er tale om fejlmålinger. Der er foretaget nye opmålinger af de 3 bump med afvigelser, hvor både spandemetoden og nivelleringsapparatet er benyttet. Målingerne er foretaget i det samme snit over bumpet med begge metoder. Resultatet af målingerne fremgår af figur 7.4, 7.5 og 7.6.



Figur 7.4. Bejsebakkevej (40 km/t).



Figur 7.5. Herningvej (40 km/t).



Figur 7.6. Nøvlingevej (40 km/t).

Det ses, at alle 3 bump forsat har den samme afvigelse som de tidligere opmålinger, hvor spandemetoden resulterer i ca. 2 cm højere bump. Da opmålingerne har samme afvigelse ved flere målinger vurderes det, at der er forskelle i målemetoderne. Det har ikke været muligt at fastligge årsagen.

Konklusion 8

Projektets udgangspunkt var at undersøge sammenhængen mellem passagehastighed og lodret acceleration samt identificere systematiske forskelle i bumptypernes accelerationspåvirkning.

Undersøgelsen har vist, at der er forskelle i accelerationspåvirkningerne for de forskellige bumptyper. Ved hjælp af statistiske test er der sammensat modeller for bump af samme type og hastighedsklasse. Disse modeller blev efterfølgende sammenlignet med hinanden for derved at identificere forskelle.

Ved at sammenligne de forskellige modeller er det fundet, at trapezbumpene har den mindst hensigtsmæssige effekt, da den lodrette acceleration ikke ændres markant når hastigheden øges. Derudover er det fundet, at modificeret cirkelbump har den bedste effekt, da disse bump medfører en større ændring i lodret acceleration når hastigheden øges.

Herudfra konkluderes det, at anlægning af trapezbump bør minimeres, da det fysiske ubehag trafikanter udsættes for ikke ændres betydeligt når hastigheden øges. Dette betyder at fartsyndere vil blive påvirket af den samme lodrette acceleration som trafikanter der overholder hastighedsbegrænsningen. Derudover kan det konkluderes, at nye bump bør anlægges med kontrakurver, hvilket er tilfældet i de modificerede bump. Af de typegodkendte vejrum er disse bump de mest hensigtsmæssige, da de fysiske påvirkninger stiger markant når hastigheden øges.

Ydermere er det ved opmåling af de testede vejrum fundet, at størstedelen af bumpene ikke overholder udformningskravene fra Vejregler samt at bump af samme type og hastighedsklasse ofte har geometriske afvigelser fra hinanden. Det kan derfor konkluderes, at anlægningsmetoderne benyttet i dag giver anledning til fejl i geometrierne.

Litteratur

- Ahn og Rakha, 2009.** Kyoungcho Ahn og Hesham Rakha. *A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(6), 411–424, 2009.
- Behzad et al., 2007.** M. Behzad, M. Hodaei og I. Alimohammadi. *Experimental and numerical investigation of the effect of a speed bump on car noise emission level*. Applied Acoustics, (11), 2007.
- Bilgin et al., 2019.** Ertugrul Bilgin, Abdullah Hilmi Lav og Abdulgazi Gedik. *An approach for the determination of optimal speed hump/table profiles by field test and simulation stage*. Sustainable Cities and Society, 51, 2019.
- Buch og Andersson, 2019.** Thomas Buch og Puk Andersson. *Dybdeanalyse af trafikulykkes hændelsesforløb*. Trafitec, 2019.
- Danmarks Statistik, 2019.** Danmarks Statistik. *Tilskadekomne og dræbte i færdselsuheld*. Statistikbanken.dk, 2019. Tabel Uheld 1, Uheldk1 og Uheld 13.
- Daugberg, 2000.** Pernelle Daugberg. *Bump forbedrer trafiksikkerhed i byerne*. Dansk Vejtidskrift, (11), 44–45, 2000.
- Færdselssikkerhedskommissionen, 2013.** Færdselssikkerhedskommissionen. *Hver ulykke er én for meget*. 2013. ISBN: 978-87-996468-0-7.
- Granlund og Lindström, 2003.** Johan Granlund og Frederik Lindström. *Design of a shock-free hump*. Tenth International Congress of Sound and Vibration, 2003.
- Havarikommissionen for Vejtrafikulykker, 2014.** Havarikommissionen for Vejtrafikulykker. *Hvorfor sker trafikulykkerne?* 2014. ISBN: 978-87-91458-34-7.
- Jensen, 1995.** Svend Jensen. *Fartdæmpning med cirkelbump i Frederiksborg Amt*. Dansk Vejtidskrift, (6/7), 22–23, 1995.
- Johnsen, 1991.** Bent Johnsen. *Hastigheden dæmpet effektivt med cirkelbump*. 1991.
- Johnson og Nedzesky, 2004.** Larry H. Johnson og A.J. Nedzesky. *A Comparative Study of Speed Humps, Speed Slots and Speed Cushions*. 2004.
- Jonassen, 2014.** Niels Jonassen. *Sikkerhedssele*. Den Store Danske, Gyldendal, 2014. <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=158924>.
- Khorshid et al., 2007.** E. Khorshid, F. Alkalby og H. Kamal. *Measurement of whole-body vibration exposure from speed control humps*. Journal of Sound and Vibration, 304(3-5), 640–659, 2007.

- Kjemtrup, 1988.** Kenneth Kjemtrup. *Fartdæmpning med bump*. Dansk Vejtidskrift, (2), 32–37, 1988.
- Kjemtrup, 1998.** Kenneth Kjemtrup. *Baggrund for indførelse af regler for udformning af bump*. Dansk Vejtidskrift, (8), 24–25, 1998.
- Kokholm og Dahlgaard, 2018.** Alexander Kokholm og Kristian Dahlgaard. *Vejbump - Acceleration og Bump*. Trafik og Veje, (11), 46–48, 2018.
- Lahrmann, 1992.** Harry Lahrmann. *Trafiksærnering/fartdæmpning - hvor står vi?* Dansk Vejtidskrift, (6/7), 6–9, 1992.
- Lahrmann, 1999.** Harry Lahrmann. *Bumpudformning - en diskussion af Trafikministeriets cirkulære af 1. Juli 1997*. 1999.
- Lahrmann og Mathiasen, 1992.** Harry Lahrmann og Per Mathiasen. *Bumpudformning*. 1992.
- Lee og Kim, 2008.** Tae Keun Lee og Byoung Sam Kim. *Vibration analysis of automobile tire due to bump impact*. Applied Acoustics, 69(16), 473–478, 2008.
- Maemori og Ando, 1997.** Kenichi Maemori og Shinji Ando. *Alternate Optimization of Speed Control Hump for Automobiles and Automobile Suspension*. JSME International Journal, 40(1), 17–24, 1997.
- Namee og Witchayangkoon, 2011.** Sanya Namee og Boonsap Witchayangkoon. *Crossroads Vertical Speed Control Devices: Suggestion from Observation*. International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences and Technologies, 2011.
- Nielsen og Andersen, 2014.** Katrine Nielsen og Camilla Andersen. *Skal potensmodellen lægges på hylden?* Trafikdage, 2014. ISSN: 1603-9696.
- Pedersen, 1998.** Niels L. Pedersen. *Shape Optimization of a Vehicle Speed Control Bump*. Journal of Structural Mechanics, 26(3), 319–342, 1998.
- Rambøll, 2013.** Rambøll. *Hastighedsmålinger over bump*. Vejregler - Viden og dokumentation, 2013. Notat til Vejdirektoratet.
- Rylander og Björkman, 2002.** R. Rylander og M. Björkman. *Road Traffic Noise Influenced by Road Bumps*. Journal of Sound and Vibration, 250(1), 157–159, 2002.
- Siren et al., 2012.** Anu Siren, Claus Sørensen og Iben Vinsteen. *Vejhastighedens politiske historie*. Danish Journal of Transportation Research - Dansk tidskrift for transportforskning., 2012. Trafikdage. ISSN 1603-9696.
- Transport-, Bygnings- og Boligministeriet, 2019.** Transport-, Bygnings- og Boligministeriet. *Bekendtgørelse om vej bump og andre hastighedsdæmpende foranstaltninger*. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=209449>, 2019. set d. 10-02-2020.

- Tøfting, 2014.** Svend Tøfting. *IT-plattform for udvikling af intelligent trafik*. Slideshow, 2014. <https://www.yumpu.com/da/document/read/19999288/it-plattform-for-udvikling-af-intelligent-trafik>.
- Tøfting et al., 2010.** Svend Tøfting, Harry Lahrmann, Brian Jørgensen og Thomas Jensen. *ITS Platform – ny IT-plattform for udvikling af intelligent trafik*. Trafik og Veje, pages 38–39, 2010.
- Vejdirektoratet, 2004.** Vejdirektoratet. *Måling af G-påvirkning ved passage af vejbump*. Vejregler, 2004.
- Vejdirektoratet, 2015.** Vejdirektoratet. *Trafiksikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse*. 2015. ISBN: 978-87-93184-69-5.
- Vejdirektoratet, 1991.** Vejdirektoratet. *Byernes trafikarealer hæfte 7 - Fartdæmpere*. 1991.
- Vejdirektoratet, 2000.** Vejdirektoratet. *Byernes trafikarealer - Hæfte 7 - Fartdæmpere*. 2000.
- Vejdirektoratet, 2002.** Vejdirektoratet. *Katalog over typegodkendte bump*. 2002. ISBN: 87-7923-386-4.
- Vejdirektoratet, 2007.** Vejdirektoratet. *Katalog over typegodkendte bump*. 2007. ISBN: 978-87-7060-068-2.
- Vejdirektoratet, 2019.** Vejdirektoratet. *Katalog over typegodkendte bump*. 2019. EAN: 9788793394711.
- Vejregelrådet, 2011.** Vejregelrådet. *Asfaltbump*. Vejregler, 2011. Udbudsforskrift inkl. AAB.
- Watts, 1973.** G.R. Watts. *Road Humps for the control of Vehicle Speeds*. Transportation and Road Research Laboratory, 1973.
- Watts og Krylov, 2000.** G.R. Watts og V.V. Krylov. *Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions*. Applied Acoustics, 59(3), 221–236, 2000.
- Werner, 2015.** Tanisha Werner. *Do Speed Humps Help Reduce Vehicular Speeds, Volumes, and Motorist Accidents?* Master's thesis, San Jose State University, 2015.
- Zaidel et al., 1992.** D. Zaidel, A.S. Hakkert og A.H. Pistiner. *The Use of Road Humps for Moderate Speeds on Urban Streets*. Accident Analysis and Prevention, 24(1), 45–56, 1992.

Del I

Appendiks

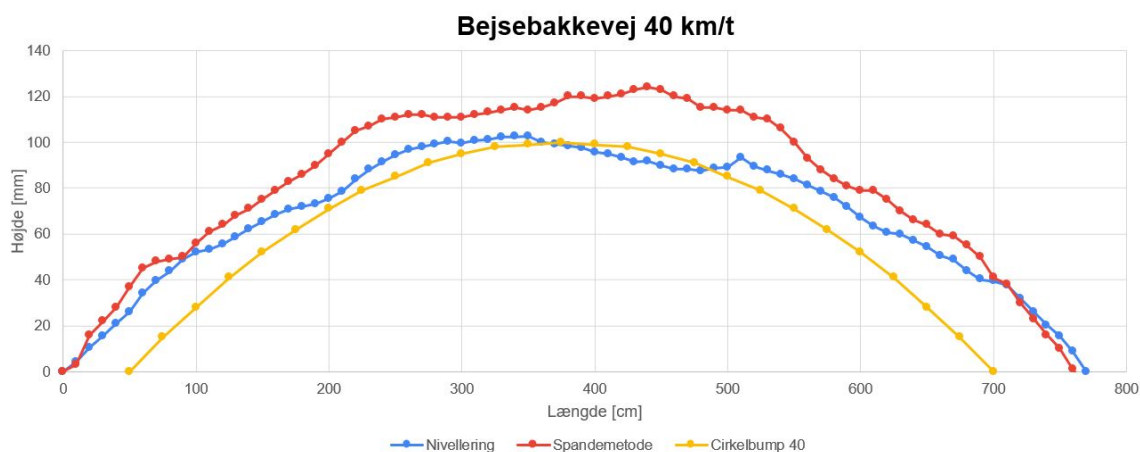
Grupperinger - vej bump



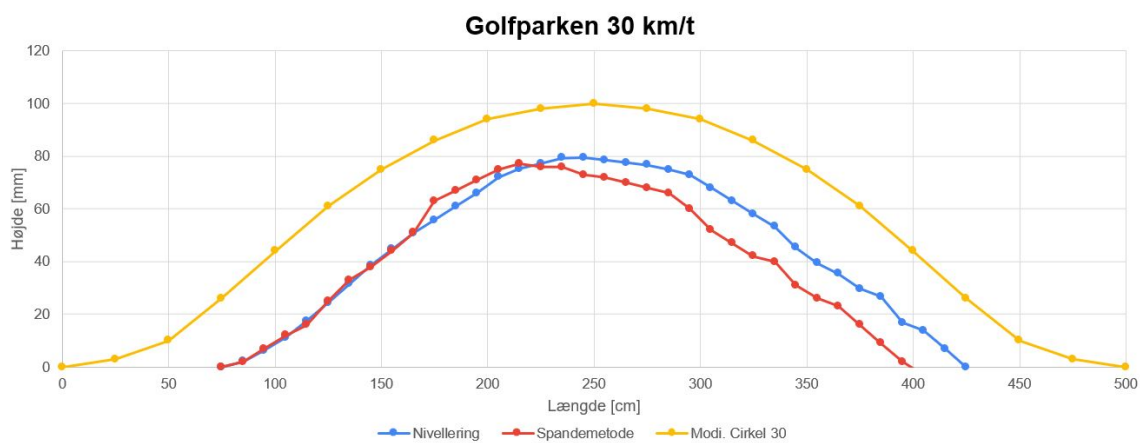
Tabel A.1. Oversigt over de 14 endelige grupper. Antal bump og datapunkter angivet for hver gruppe, samt placering af medtagne bump.

Bumptype og gruppenavn	Vej (antal bump), by	Datapunkter
Cirk. 30,a (9 bump)	Mester Eriks Vej (9), Aalborg	420
Cirk. 30,b (6 bump)	Skelagervej(4), Aalborg Zentavej(2), Gistrup	288
Cirk. 40 (26 bump)	Ferslev Byvej (6), Ferslev Herningvej (6), Aalborg Rævedalsvej (3), Ferslev Nibevej (4) , Sønderholm Poulstrupvej (3), Ferslev Bejsebakkevej (4), Aalborg	19186
Cirk. 50,a (6 bump)	Poulstrupvej (2), Visse Engkildevej (3), Visse Vissevej (1), Visse	6429
Cirk. 50,b (8 bump)	Svenstrupvej(2), Frejlev Guldbækvej (6), Guldbæk	12018
Cirk. 50,c (1 bump)	Øster Hornumvej (1), Guldbæk	862
Modi. Cirk. 30,a (8 bump)	Valmuevangen (3), Nibe Birkealle (2), Nibe Dalvej (3), Nibe	142
Modi. Cirk. 30,b (3 bump)	Golfparken (3), Aalborg	633
Modi. Cirk. 40 (7 bump)	Braadalvej (1), Nøvling Oppelstrupvej (1), Nøvling Nøvlingvej (5), Nøvling	4667
Modi. Cirk. 50 (6 bump)	Aslundvej (1), Vester Hassing Hobrovej (4), Vokslev	6479
Sinus 30 (3 bump)	Kronen (3), Gistrup	3116
Trapez 40 (7 bump)	Herningvej (3), Aalborg Sorthøj (4), Aalborg	630
Trapez 50,a (5 bump)	Bejsebakkevej (4), Aalborg Nordtoft (1), Aalborg	1272
Trapez 50,b (3 bump)	Hobrovej (3), Nibe	4562

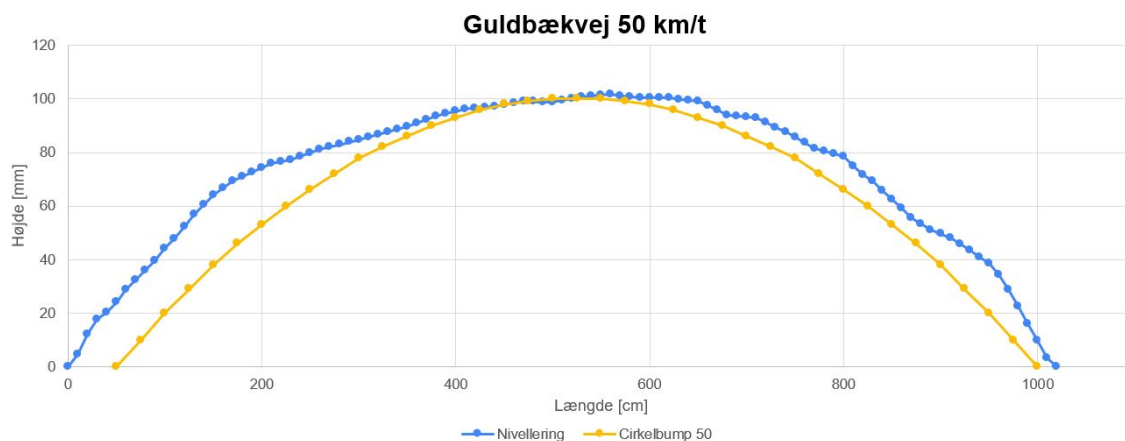
Opmåling B



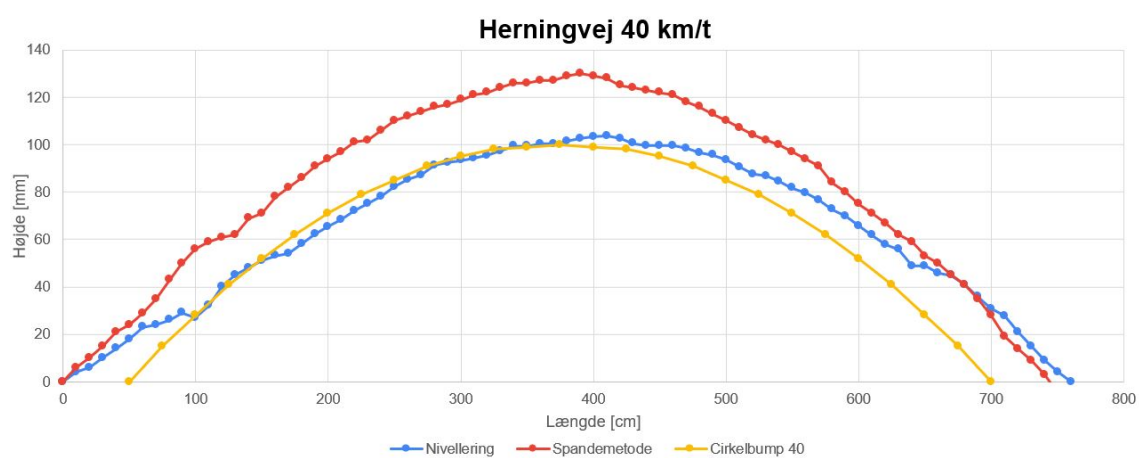
Figur B.1. Bejsebakkevej i Aalborg 40 km/t.



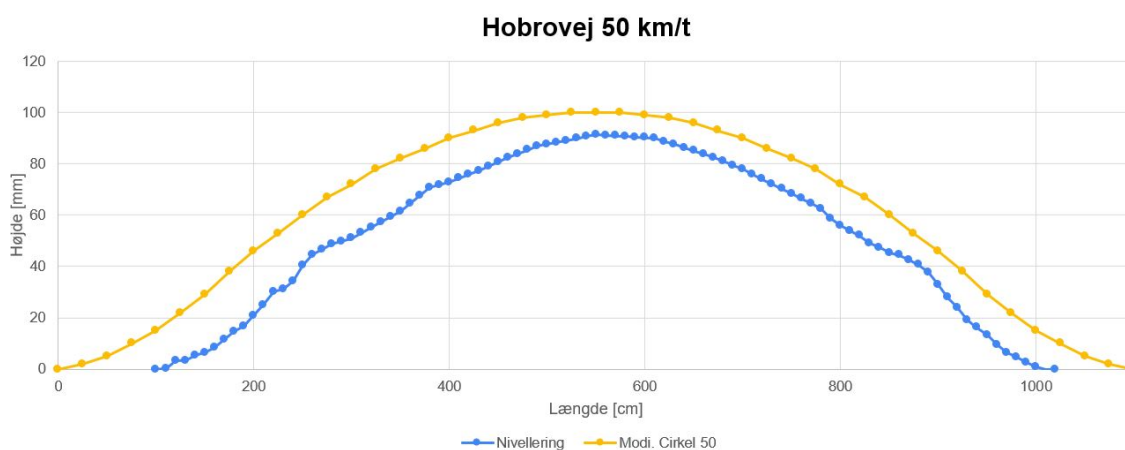
Figur B.2. Golfparken i Aalborg 30 km/t.



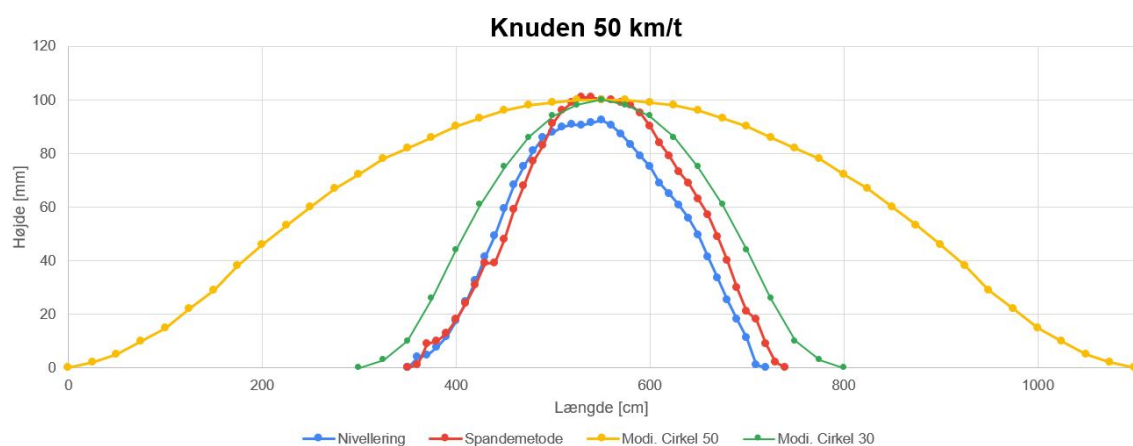
Figur B.3. Guldbækvej i Guldbæk 50 km/t.



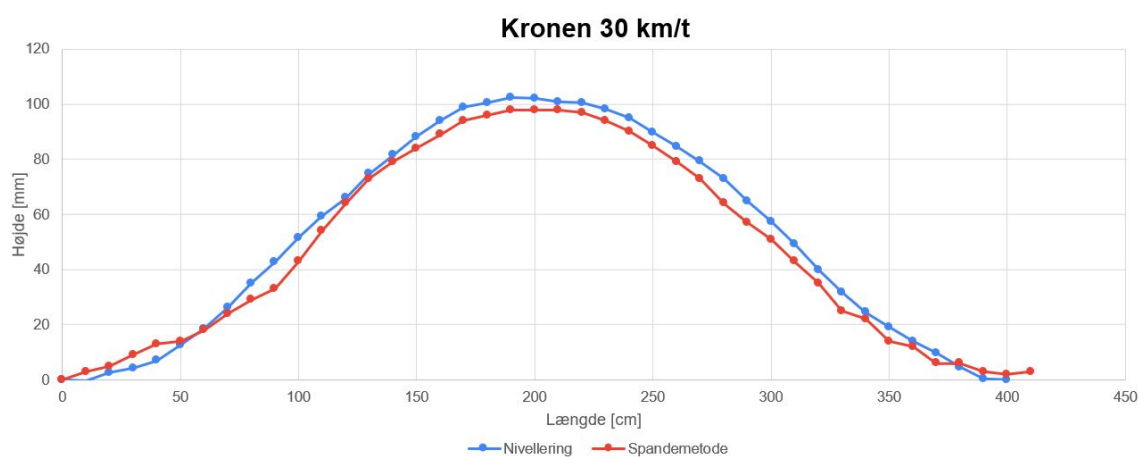
Figur B.4. Herningvej i Aalborg 40 km/t.



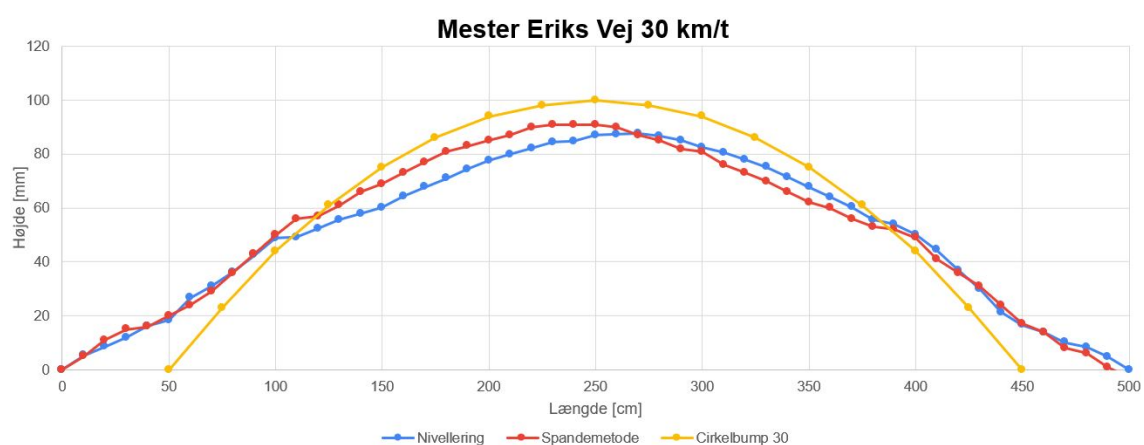
Figur B.5. Hobrovej i Vokslev 50 km/t.



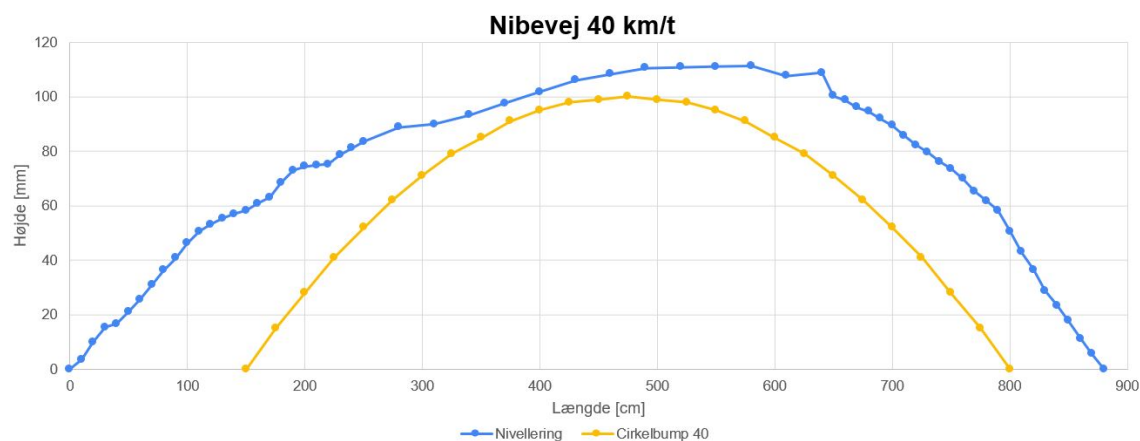
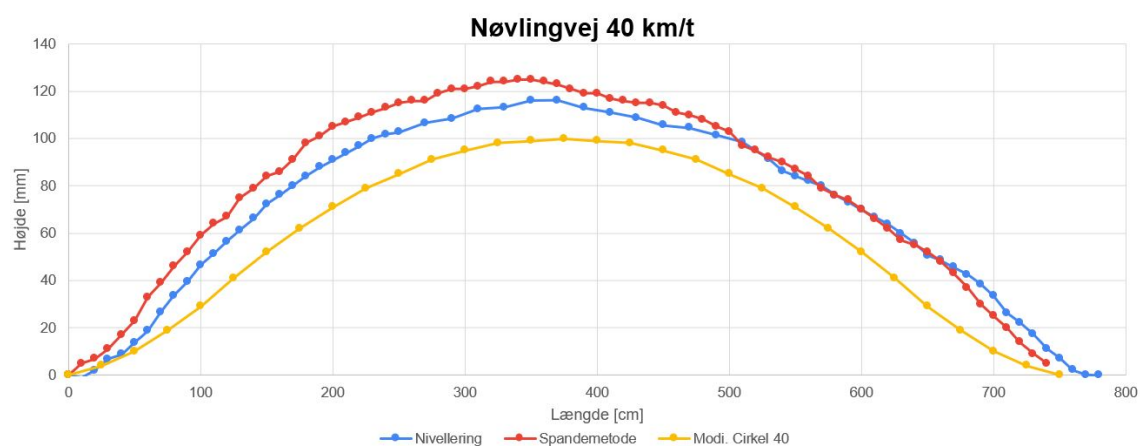
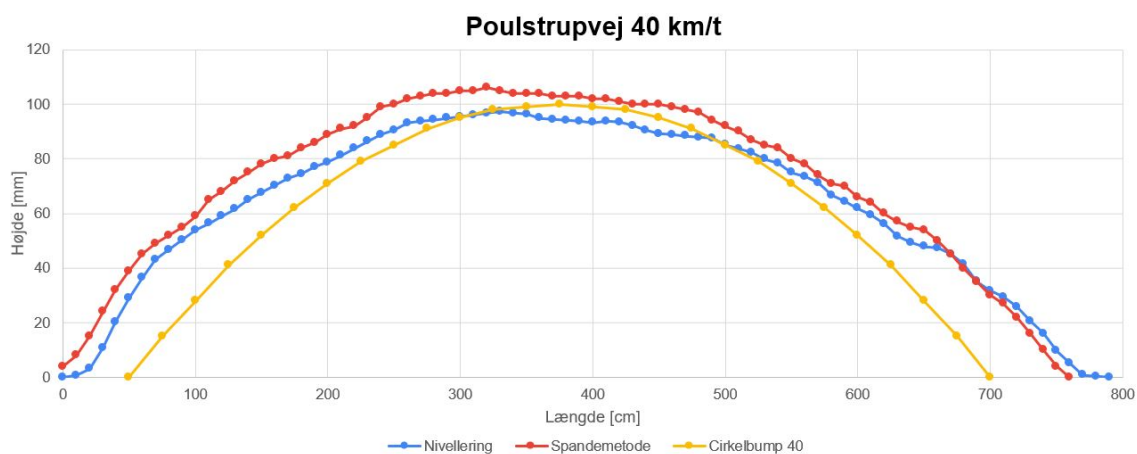
Figur B.6. Knuden i Gistrup 50 km/t. Klassificeret som 50 km/t bump, grundet hastighedsbegrænsningen på vejen. Udformningskravet for 30 km/t modi. cirkelbump er indteget på figuren. Knuden er ikke benyttet i nogen model.

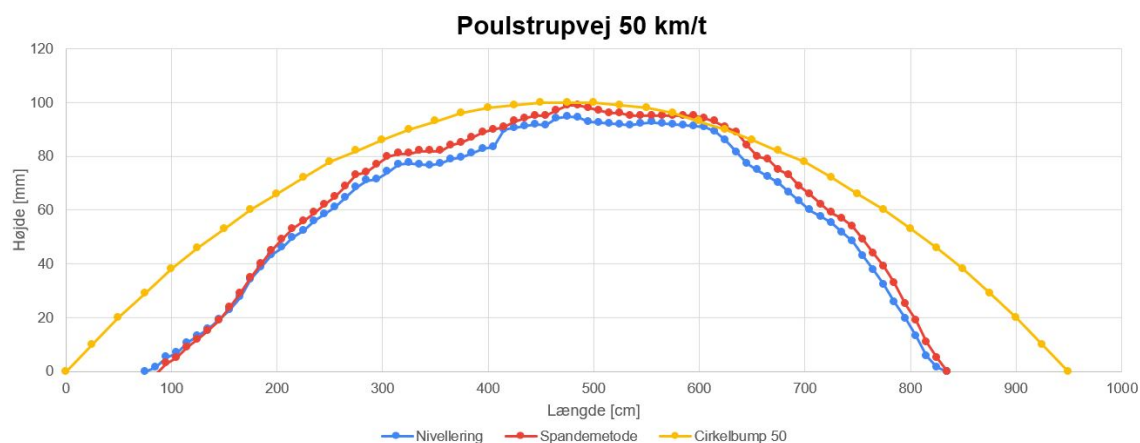


Figur B.7. Kronen i Gistrup 30 km/t.

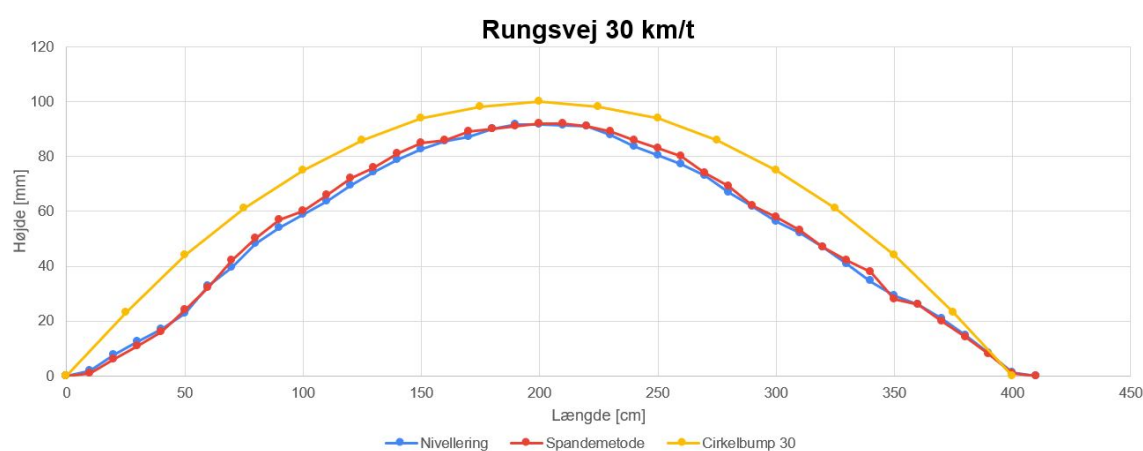


Figur B.8. Mester Eriks Vej i Aalborg 30 km/t.

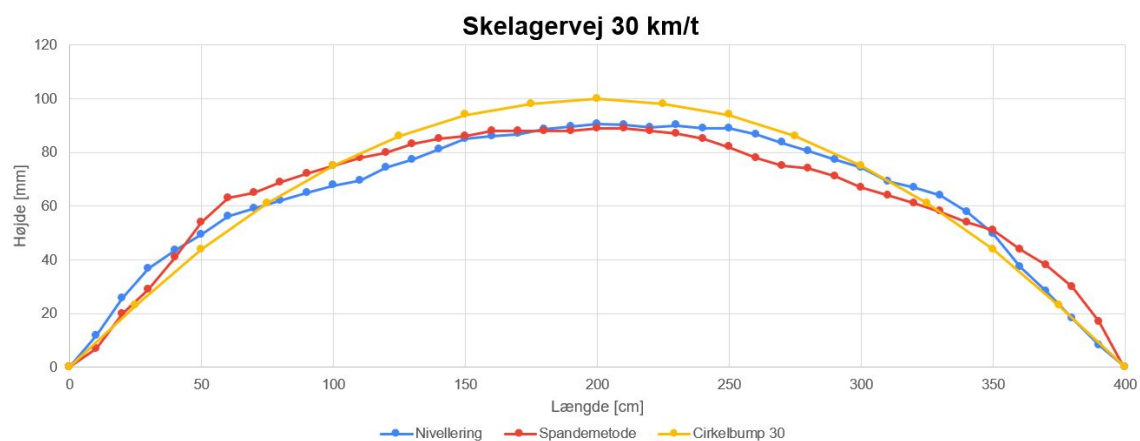
*Figur B.9.* Nibevej i Sønderholm 40 km/t.*Figur B.10.* Nøvlingvej i Nøvling 40 km/t.*Figur B.11.* Poulstrupvej i Ferslev 40 km/t.



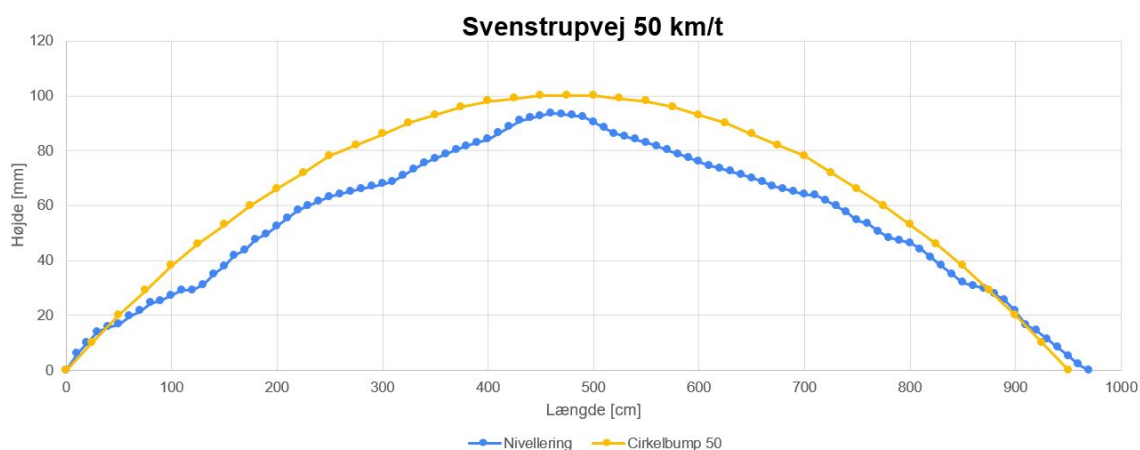
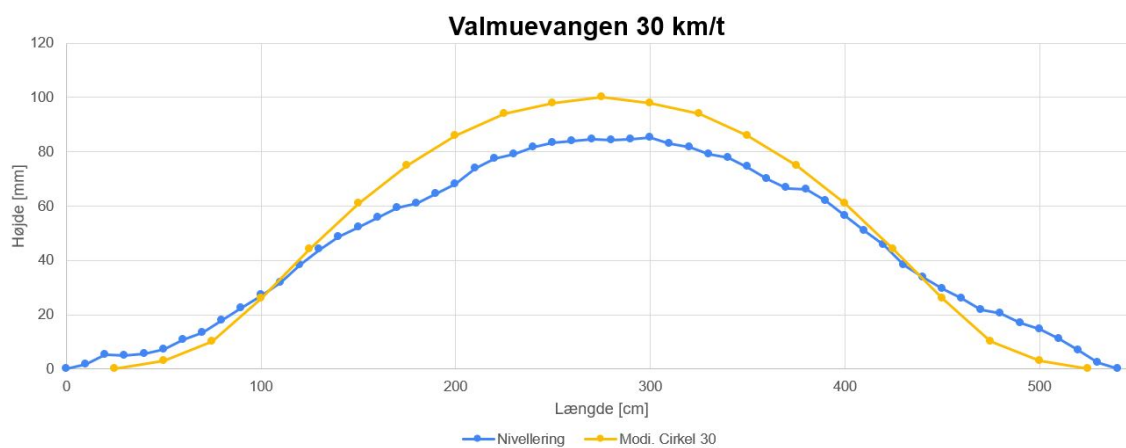
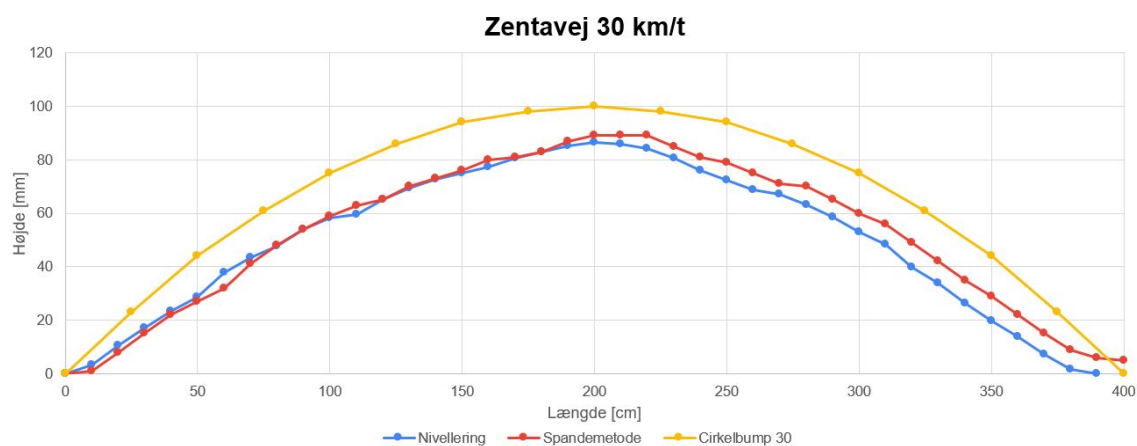
Figur B.12. Poulstrupvej i Visse 50 km/t.

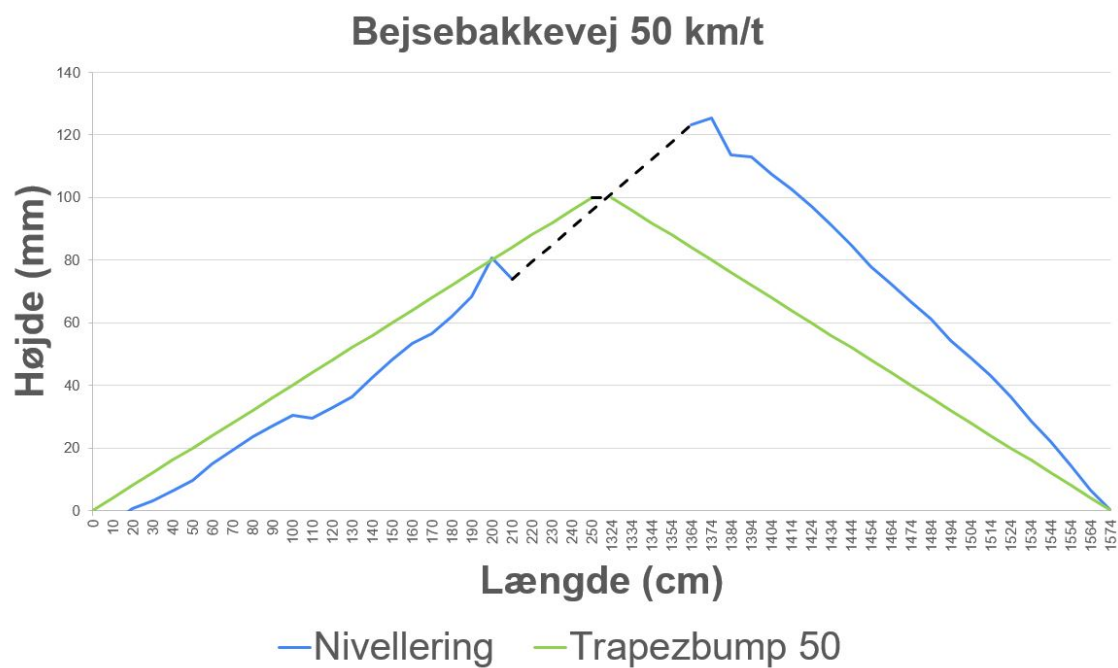


Figur B.13. Rungsvej i Aalborg 30 km/t. Ikke benyttet i nogen model.

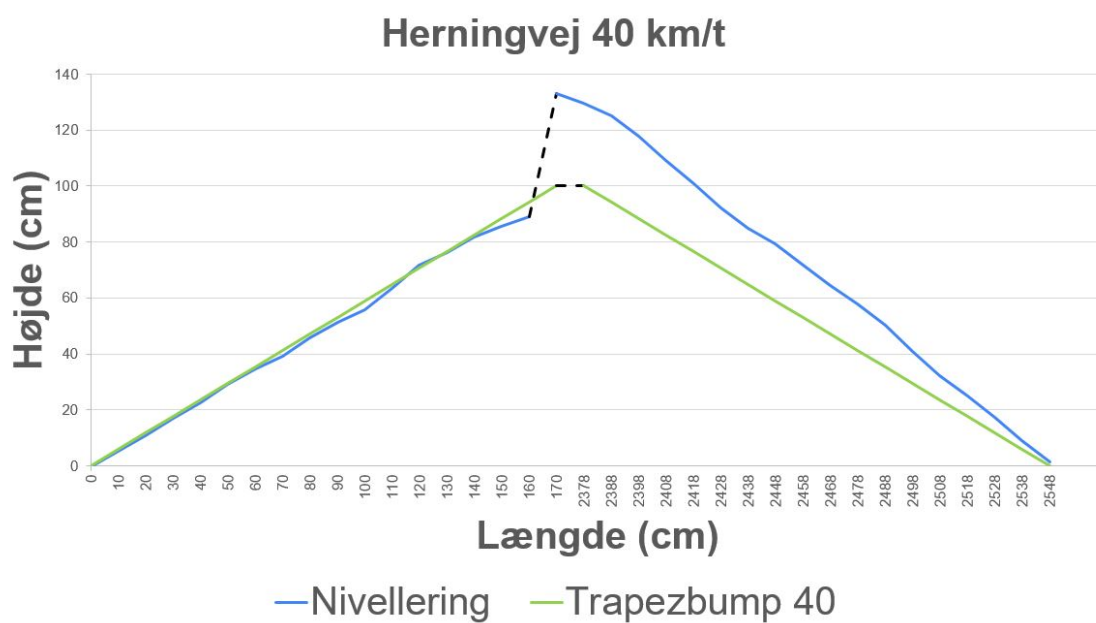


Figur B.14. Skelagervej i Aalborg 30 km/t.

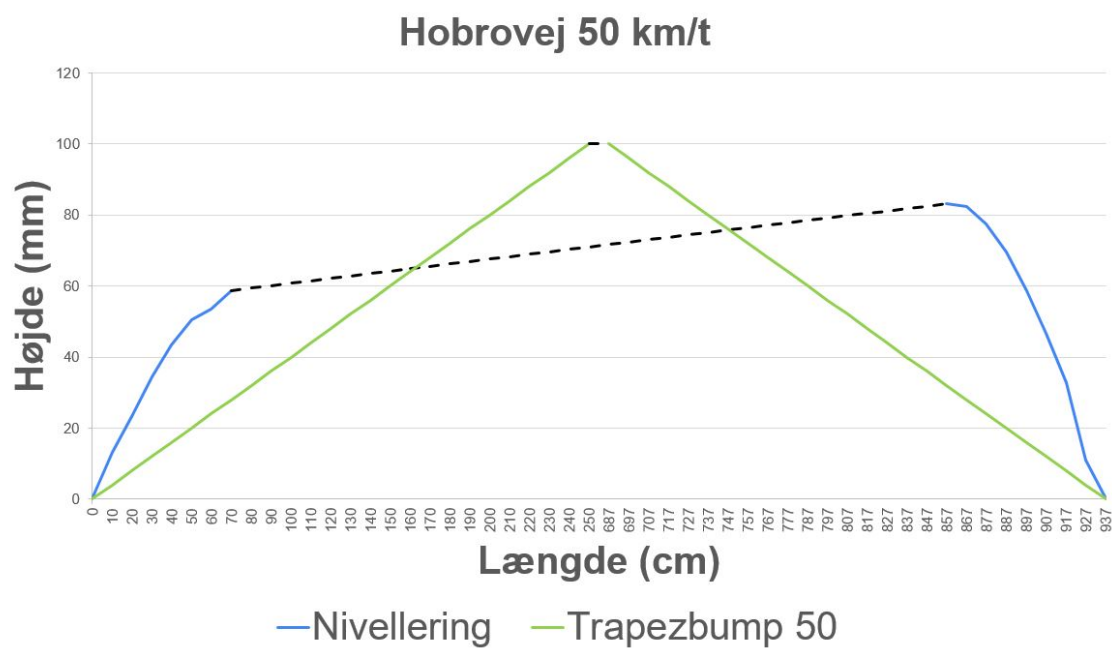
*Figur B.15.* Svenstrupvej i Frejlev 50 km/t.*Figur B.16.* Valmuevengen i Nibe 30 km/t.*Figur B.17.* Zentavej i Gistrup 30 km/t.



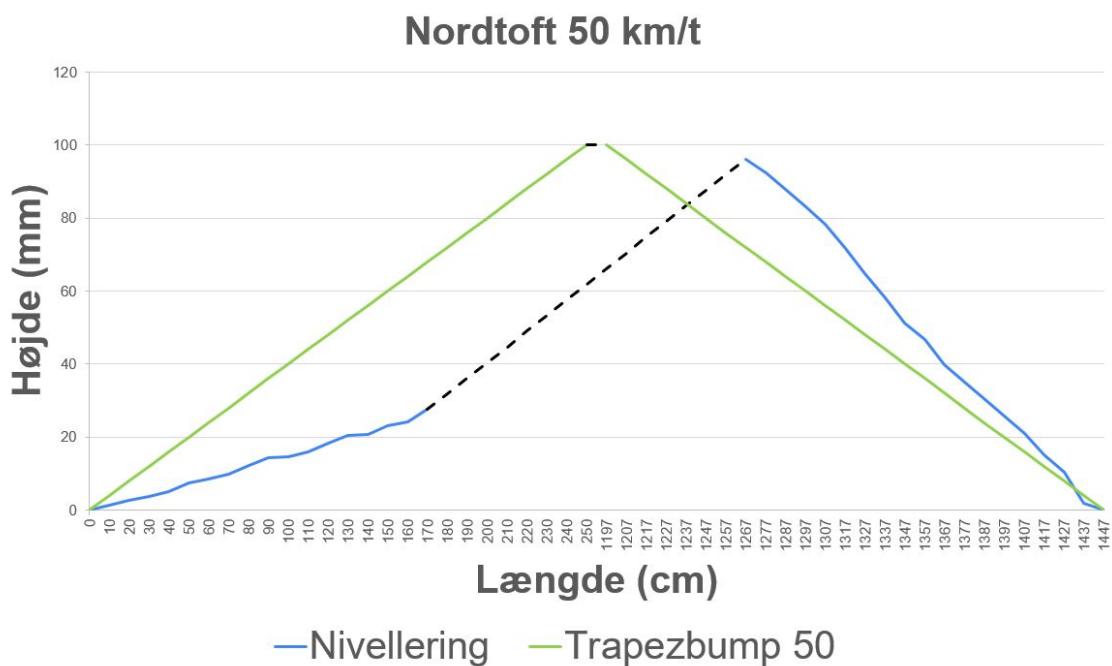
Figur B.18. Bejsebakkevej i Aalborg 50 km/t.



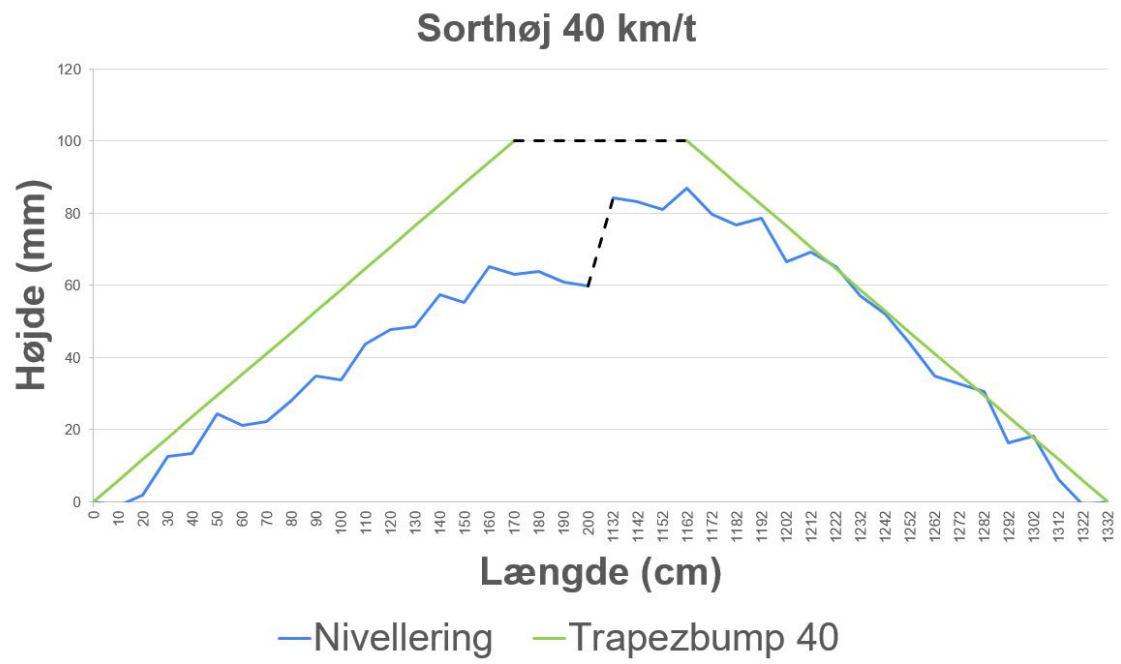
Figur B.19. Herningvej i Aalborg 40 km/t.



Figur B.20. Hobrovej i Nibe 50 km/t.



Figur B.21. Nordtoft i Aalborg 50 km/t.



Figur B.22. Sorthøj i Aalborg 40 km/t.