Bristande jämställdhet i moderna fordonssäkerhetssystem

En analys av utsatta passagerargrupper

Kandidatarbete i mekanik och maritima vetenskaper

NOEL ALVRETEN

SAMI JANSSON AL-ANI

AGNES BOMAN

LEONA KRISTENSSON

LINUS WENNBLOM

ABDUL RAHMAN ZOUBI

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

Kandidatarbete 2025

Bristande jämställdhet i moderna fordonssäkerhetssystem

En analys av utsatta passagerargrupper

NOEL ALVRETEN
SAMI JANSSON AL-ANI
AGNES BOMAN
LEONA KRISTENSSON
LINUS WENNBLOM
ABDUL RAHMAN ZOUBI

CHALMERS

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg, Sverige 2025

Bristande jämställdhet i moderna fordonssäkerhetssystem
En analys av utsatta passagerargrupper

NOEL ALVRETEN
SAMI JANSSON AL-ANI
AGNES BOMAN
LEONA KRISTENSSON
LINUS WENNBLOM
ABDUL RAHMAN ZOUBI

© NOEL ALVRETEN
SAMI JANSSON AL-ANI
AGNES BOMAN
LEONA KRISTENSSON
LINUS WENNBLOM
ABDUL RAHMAN ZOUBI, 2025.

Handledare: Jordanka Kovaceva och Jobin John (Division of Vehicle Safety, Mechanics and Maritime Sciences)
Examinator: Mats Svensson (Division of Vehicle Safety, Mechanics and Maritime Sciences)

Kandidatarbete 2025
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telephone +46 31 772 1000

Tryckeri /Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2025

Sammandrag

Denna studie undersöker hur moderna fordonssäkerhetssystem påverkar tre särskilt utsatta passagerargrupper: gravida personer, barn i åldern 0-15 år, och vuxna med varierande längd och vikt. Studien utgår från den amerikanska CISS-databasens kraschdata för åren 2017-2023. Där analyserades totalt 34 514 olyckor med hjälp av statistiska modeller. Bland annat användes logistiska och linjära bayesianska regressioner. Denna rapport analyserar sambandet mellan skador, mätt i MAIS/AIS, och faktorer som kroppsmått, ålder, säkerhetsutrustning och sittposition i bilen.

Resultaten visar att gravida passagerare, särskilt i tredje trimestern, är mer utsatta för allvarliga skador. Detta kan ofta kopplas till felaktigt placerade säkerhetsbälten. Korta gravida kvinnor visar också högre skadegrad. För barn framgår det att risken för skador ökar markant utan bälte, särskilt i framsätet och vid högre hastigheter. Användning av bilbarnstolar visade varierande skyddseffekt, troligen även detta kopplat till felanvändning eller bristande produktstandarder. Analysen visade även att personer med högre vikt eller/kombinerat med extrem längd tenderar att drabbas av mer allvarliga skador.

Slutsatsen är att dagens säkerhetssystem tar bristfällig hänsyn till kroppslig variation, och att förbättrad information om säkerhetsutrustning kan bidra till minskade skaderisker. Studien understryker behovet av mer representiva krocktester och ett inkluderande synsätt inom fordonsutveckling för att uppnå jämlik trafiksäkerhet.

Abstract

This study examines how modern vehicle safety systems affect three particularly vulnerable passenger groups: pregnant individuals, children ages 0-15, and adults with varying height and weight. The analysis is based on crash data from the U.S. CISS-database (2017-2023), comprising 34 514 documented accidents. Using statistical models, including logistic and linear Bayesian regression, the study explores relationships between injury severity, measured by MAIS/AIS, and factors such as anthropometrics, age, use of safety equipment, and seating position.

The findings indicate that pregnant passengers, especially in the third trimester, face higher risk of serious injury, which can be linked to incorrectly positioned seat belts. Shorter pregnant women were also more likely to suffer severe injuries. Among children, the risk of injury increased sharply when seat belts were not used, particularly when seated in the front or involved in high-speed collisions. Child restraints showed inconsistent protective effects, also this most likely due to improper use or lack of standardization. Additionally, individuals with higher body weight or extreme height experienced more severe injuries.

The study concludes that current vehicle safety systems are not adequately designed for bodily diversity. Furthermore, a lack of public knowledge regarding proper use

of safety devices contributes to increased injury risks. These findings highlight the need for more inclusive safety designs and representative crash testing practices in order to promote traffic safety for all people.

Nyckelord: fordonssäkerhet, jämnställdhet, bayesiansk statistik, bayesiansk inferens, gravidsäkerhet, barnsäkerhet, antropometri.
Keywords: vehicle safety, equality, bayesian statistics, bayesian inference, pregnancy safety, child safety, antropometry.

Förord

Denna rapport utgör resultatet av ett kandidatarbete vid institutionen för mekanik och maritima vetenskaper under vårterminen 2025. Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Jordanka Kovaceva och Jobin John, vars kontinuerliga vägledning och stöd hjälpt oss under denna tid.

Vi vill även tacka den andra gruppen, Alice Knutsson, Donya Pourkomeylian, Elin Söderlund, Liam Mayor, Matty Jatta, och Mohammad Nema för fint sammarbete och bra diskussioner under handledningsmöten.

Slutligen vill vi tacka våra familjer och vänner för deras tålamod och stöd under denna period.

Noel Alvreten
Sami Jansson Al-Ani
Agnes Boman
Leona Kristensson
Linus Wennblom
Abdul Rahman Zoubi
Göteborg, Maj 2025

Innehåll

1 Inledning **3**
- 1.1 Tidigare studier . . . 4
  - 1.1.1 Gravida . . . 4
  - 1.1.2 Barn under 16 år . . . 4
  - 1.1.3 Antropometri . . . 5
- 1.2 Syfte . . . 5
- 1.3 Avgränsningar . . . 6

2 Teori **7**

3 Metod **9**
- 3.1 Gravida passagerare . . . 11
  - 3.1.1 Avgränsningar av data . . . 12
- 3.2 Barn under 16 år . . . 12
  - 3.2.1 Avgränsningar av data . . . 13
- 3.3 Antropometri . . . 14
  - 3.3.1 Avgränsningar av data . . . 16

4 Resultat **17**
- 4.1 Gravida passagerare . . . 18
- 4.2 Barn under 16 år . . . 20
- 4.3 Antropometri . . . 24

5 Diskussion **35**
- 5.1 Gravida passagerare . . . 35
- 5.2 Barn under 16 år . . . 36
- 5.3 Antropometri . . . 38

6 Slutsats **41**
- 6.1 Gravida passagerare . . . 41
- 6.2 Barn under 16 år . . . 42
- 6.3 Antropometri . . . 42

Referenser **43**

A Appendix 1 **I**

1
Inledning

Enligt Världshälsoorganisationen (WHO) är trafikolyckor en av de främsta orsakerna till dödsfall och skador för personer i åldrarna 5-29 år [1]. Cirka 1.2 miljoner människor mister livet varje år i en trafikolycka och ytterligare 20-50 miljoner drabbas av andra icke-dödliga skador. WHO menar att dessa olyckor inte bara medför mänskligt lidande utan även ekonomiska förluster som kan motsvara upp till 3% av ett lands bruttonationalprodukt [1].

För att minska skador och dödsfall har fordonsindustrin utvecklat flera säkerhetssystem. Dessa system har historiskt sett utformats och testats med krocktestdockor som representerar en genomsnittlig man, då den kvinnliga krocktestdockan introducerades först officiellt 2022 [2]. Eftersom dessa dockor är utformade efter den genomsnittliga personen speglar den därmed inte den verkliga mångfalden hos befolkningen vilket kan leda till att vissa grupper får sämre skydd vid en olycka [2].

Att säkerställa likvärdigt skydd för alla passagerare vid en kollision är avgörande för att förbättra trafiksäkerheten och minska risken för allvarliga skador [1]. Studier har till exempel visat att kvinnliga förare som använder bilbälte löper 47% högre risk att drabbas av allvarliga skador jämfört med

Den traditionella manliga krocktestdockan är 175 cm lång och väger cirka 77 kg, medan den kvinnliga versionen är 150 cm lång och väger cirka 49 kg [3]. Detta innebär ett BMI på 25,1 respektive 21,8, där 25 klassas som övervikt [4]. Eftersom testerna sällan inkluderar kroppstyper utanför dessa normer utesluts stora delar av befolkningen, då övervikt och fetma är vanligt förekommande [5]. I USA anses till exempel cirka 30,7% av befolkningen vara överviktiga, 42,4% ha obesitas, och 9.2% har sjuklig obesitas, detta visar ännu en gång på skillnaden mellan testförhållandena och verkligheten [5].

Att dagens krocktestdockor inte speglar hela befolkningens kroppstyper kan få allvarliga konsekvenser, särskilt för kvinnor, långa eller korta personer, och de med högt eller lågt BMI. För att skapa säkrare fordon för alla passagerare är det avgörande att säkerhetstester bättre speglar befolkningens variation i kroppsstorlek. Det är inte bara en fråga för ingenjörer och forskare, utan angår även beslutsfattare och samhället i stort [1]. Ett mer inkluderande säkerhetstänk kan på lång sikt bidra till färre trafikrelaterade skador och ett kostnadseffektivt samhälle [1]. Den här studien ska därför undersöka om dagens säkerhetssystem ger ett likvärdigt skydd för tre särskilda passagerargrupper: gravida personer, barn under 16 år, samt personer av

varierande längd och vikt.

1.1 Tidigare studier

1.1.1 Gravida

Traumatiska skador under graviditeten är en riskfaktor för både kvinnan och fostret [6]. Studier har visat att skador vid fordonskollisioner är den vanligaste och mest livshotande traumatiska skadan för gravida [6]. Skador på livmodern drabbar nästan uteslutande gravida passagerare och moderkaksavlossning sker i cirka 20-50% av fallen vid allvarliga bilolyckor, vilket gör det till den vanligaste orsaken till fosterdöd i bilkrascher [7]. Dessa skador beror oftast på bilbältet eller direkt påverkan av ratten eller instumentpanelen [7].

Bilbältets passform är en viktig faktor för gravida kvinnor, särskilt för kortare individer [8]. I senare stadier av graviditeten avviker ofta axelremmen åt höger eller vänster för att undvika att korsa den förstorade magen. Detta kan resultera i att axelremmen istället kommer i kontakt med halsen, vilket kan påverka säkerheten negativt [8]. Lotta Jakobsson, säkerhetsexpert på Volvo Cars, menar att det inte är säkerhetssystemet som är det farliga utan själva kollisionen [9]. Detta för att säkerhetsbältet kopplar passageraren till bilen och krockkuddarna samverkar med bältet vilket hjälper till att fördela krafterna över kroppen. Jakobsson menar att det är mycket viktigt att placera bältet rätt för att få fullt skydd [9].

Det korrekta sättet att placera bältet är genom att midjebältet lyfts in under magen och diagonalbältet går vid sidan av magen, mellan brösten och över axeln [9]. Detta är någonting som inte alla vet. Enligt enkäter som Folksam har skickat ut är det 39% av de gravida passagerarna som använder bältet felaktigt och majoriteten av alla som svarade på enkäten hade inte fått någon information om hur man använder bältet korrekt. På grund av detta har det skapats en marknad för komfortprodukter för gravida passagerare menar Anna Carlsson, forskare på Chalmers industriteknik, inte har några regleringar och har i studier visat sämre resultat vid kollision än om man ej hade använt en sådan produkt [9]. Skadestatistiken för gravida passagerare kan dock ha mycket mörkertal då många olyckor inte rapporteras och tidiga graviditeter ofta är okända vid olyckstillfället [10].

1.1.2 Barn under 16 år

Trafikolyckor är en av de främsta orsakerna till allvarliga skador och dödsfall bland barn över fyra år, trots att bilbarnstolar har utvecklats mer under de senaste åren [11]. En anledning till detta är att bilbarnstolar ofta används på fel sätt, vilket försämrar deras skyddsförmåga [11]. En studie visar att 73% av oerfarna användare och 47% av erfarna användare installerar bilbarnstolar för löst [12]

Studier har visat att huvud- och nackskador är de vanligaste skadorna bland barn och ungdomar i åldern 0-18 år som drabbas av bilolyckor [13]. För barn under 12 år

förekommer även ryggskador, ofta till följd av att kroppen böjs över höft- och/eller axelbältet vid en krock [14]. Detta understryker vikten av korrekt användning av bilens säkerhetsbälte [15]. Enligt forskning löper barn utan bälte i framsätet nio gånger högre risk för allvarliga skador jämför med barn som är bältade [16]. Även barn som sitter i vänstra baksätet utan bälte löper dubbelt så stor risk [16]. För att minska dessa risker rekommenderas barn i åldern 6-12 år att använda en bälteskudde till dess att bilens bälte passar korrekt över kroppen [15].

Samtidigt finns det också kritik mot bälteskuddar. Forskning visar att för barn mellan 0 och 10 år kan bälteskuddar snarare öka risken för skador på nacke och bröstkorg, snarare än att skydda [17]. Det är alltså viktigt att bälteskuddar används på rätt sätt och vid rätt ålder [17]. Även hastigheten inför en kollision har en avgörande roll för utfallet. Detta eftersom den kinetiska energin ökar med kvadraten av hastigheten, följderna vid en krock blir därmed allvarligare ju högre hastigheten är [18].

Barn växer i genomsnitt 2-3 kg och 6-7 cm per år före puberteten [19], vilket gör det viktigt att säkerhetssystem i bilen anpassas efter barnets aktuella längd, vikt, och ålder [20]. Därför menar forskare att lagstiftning kring barns säkerhet i bil bör ses över, för att minska risken för skador och dödsfall [15]

1.1.3 Antropometri

Antropometri är läran om människans kroppsmått [21]. Det finns ett tydligt samband mellan obesitas och en ökad risk för död vid alla typer av fordonskollisioner [22]. Dessa personer med ett kroppsmasseindex (BMI) på 40 eller högre, en kategori som klassas som sjuklig obesitas, har enligt studien 1,5 gånger högre risk att omkomma i en bilolycka jämfört med personer med normalvikt [22].

Studier visar att personer med lägre BMI vid sidokollisioner, utan krockkuddens utlösning, har en högre risk för skador på nedre extremiteter [23]. Dessa personer med lägre BMI har även en mindre risk för att få buk skador [23]. I frontalkollisioner har personer med BMI som räknas som obesitas högre risk för skador på bröstet och nedre extremiteter, medan ledskador är vanligast för kortare kvinnor [24].

Tidigare studier i Storbritannien visar att förare som är 160 cm eller kortare har högre risk för allvarliga huvudskadorskador, skador på nedre extremitet, och bäckenskador [25].

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att analysera kraschdata för att identifiera faktorer som påverkar skadegraden för utvalda passagerargrupper, inklusive gravida, barn, tonåringar samt personer med varierande längd och BMI. Genom denna analys vill studien bidra till en bredare diskussion om jämställdhet och inkluderande ingenjörsdesign inom fordonsindustrin. Förhoppningen är att resultatet kan belysa potenti-

ella brister i nuvarande säkerhetssystem och därmed ligga till grund för framtida förbättringar.

1.3 Avgränsningar

Denna studie baseras på CISS-databasen vilket är insamlad av den statliga myndigheten The National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) i USA som ansvarar för säkerheten på vägarna [26]. Detta innebär att urvalet begränsas till trafikolyckor som inträffat i USA.

Studien tar inte hänsyn till eventuella redan existerande hälsotillstång hos passagerarna, även om sådana faktorer potentiellt kan påverka skadegraden. Denna avgränsing görs för att hålla analysen fokuserad på de variabler som direkt kan kopplas

Vidare avgränsas analysen inom varje delgrupp utifrån en inledande granskning av variabler där urvalet baseras på faktorer som ger relevanta och tydliga resultat. Syftet med avgränsingarna är att möjliggöra en tydligare och mer tillförlitlig analys inom respektiva grupp, i linje med studiens övergripande syfte.

2
Teori

Logistisk regression är en övervakad maskininlärningsalgoritm som används för att förutsäga sannolikheten för ett visst utfall, en händelse, eller en observation [27]. Modellen genererar ett binärt utfall, vanligtvis representerat som ja/nej, 1/0, eller sant/falskt. Som en statistisk klassificeringsmetod analyserar logistisk regression sambandet mellan en uppsättning oberoende variabler och en kategorisk beroende variabel, i syfte att klassificera observationer i olika klasser. Den används ofta för att uppskatta sannolikheten att en individ eller ett objekt tillhör en viss kategori [27].

Den beroende variabeln i en logistisk regressionsmodell antas följa en Bernoullifördelning, vilket innebär att utfallet endast kan att två möjliga värden: 1 för *framgång* och 0 för *misslyckande* [28].

Bayesiansk linjär regression är en övervakad inlärningsalgoritm som bygger på Bayesiansk teori [29]. Den används för att modellera och förutsäga kontinuerliga utfall, som längd eller vikt, baserat på ett antal oberoende variabler [29]. Till skillnad från den frekventiska varianten genererar den bayesianska modellen inte enstaka punktestimat, utan istället sannolikhetsfördelningar över den möjliga parametrarna, vilket ger en mer nyanserad bild av osäkerheten i skattningarna [30].

Den matematiska modellen för linjär regression skrivs vanligtvis som :
$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 .....$
där:

- β_0 är interceptet, det vill säga skärningspunkten med y-axeln
- β_i : representerar regressionskefficienterna, som anger hur starkt respektive x_i påverkar det förväntade utfallet y
- x_i är värdena på de oberoende variablerna

En central del i bayesiansk modellering är användningen av *priors*, det vill säga sannolikhetsfördelningar som uttrycker förhandskunskap eller antaganden om modellens parametrar innan data analyseras. Modellen genererar sedan *posteriorfördelningarna* genom att uppdatera dessa priors med observerad data, vilket ofta sker genom att dra ett stort antal slumpmässiga prover (t.ex 1000) från parameterfördelningarna. För varje prov estimeras ett motsvarande utfall, vilket ger en hel fördelning av möjliga utfall snarare än ett enskilt värde. [30]

Några viktiga begrepp inom bayesiansk regression :

- *mean* : Medelvärdet för parameterns posteriorfördelningar. Ett positivt värde tyder på att variabeln ökar sannolikheten för utfallet.

- *sd* : Standardavvikelsen för posteriorfördelningen, vilket är ett mått på osäkerheten i skattningen.
- *hdi* : Ett intervall som innehåller de mest sannolika värdena för parameter. Till exempel innebär $\text{hdi}_{3\%}$-värdet att endast 3% av sannolikhetsmassan ligger under detta värde, medan 97% ligger ovanför.
- *Odds ratio* : Definieras som exponenten av medelvärdet från parameterfördelningen (e^{mean}). Ett odds ratio större än 1 indikerar ökad sannolikhet för utfallet, medan ett värde mindre än 1 indikerar en minskad sannolikhet. Exempelvis innebär ett odds ratio på 2 att sannolikheten för utfallet är dubbelt så stort jämfört med referensnivån.

3
Metod

Denna studie är en kvantitativ och empirisk observationsstudie baserad på befintlig kraschdata från CISS-databasen, som omfattar åren 2017 till 2023. Eftersom analysen sker i efterhand utan påverkan på själva datainsamlingen har studien en retrospektiv karaktär.

Studien delades in i tre delgrupper för att undersöka om skadans allvarlighetsgrad, mätt i Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS), skiljer sig mellan olika passagerare. De tre grupperna som analyserades var:

1. Gravida passagerare
2. Barn under 16 år
3. Passagerare med varierande längd och vikt

Analysen genomfördes med hjälp av programmering i Python. För att genomföra analysen användes flera Python-bibliotek, bland annat Bambi, Altair, Matplotlib, Pandas, Polars, Seaborn, Numpy och Arviz. Dessa verktyg hade olika syften och möjliggjorde skapandet av de matematiska modeller som används för att utföra en detaljerad analys samt för att visualisera data i olika typer av grafer.

Det första steget i processen var att behandla datan. Eftersom informationen om olyckorna, passagerarna, krockkuddarna, barnsätena, däcken m.m var uppdelad i olika tabeller i separata CSV-filer behövde dessa sammanfogas till en stor tabell för att kunna användas i Python. För varje år, från 2017 till 2023, fanns en uppsättning filer som innehöll den beskrivna olycksdata för det aktuella året. Dessa filer sattes ihop till en `DataFrame`, vilket är en stor tabell som samlar all data enligt specifika preferenser som definierades i koden. I denna process valdes de filer ut som innehöll den relevanta informationen för analysen.

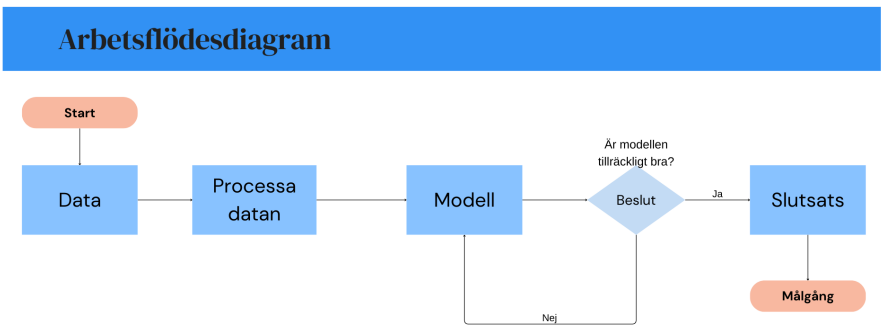
Varje fil hade en gemensam kolumn som hette `CASE_ID`, vilket är ett unikt ID-nummer för varje enskild krock. Denna kolumn användes som nyckel vid sammanslagningen av datan, för att undvika att skapa dubbletter i `DataFramen`. När all data hade satts samman i en stor tabell, kunde olika delgrupper använda den för att sortera ut de specifika fall som rörde deras område.

I tabell 3.1 presenteras de variabler som användes i analysen. Tabellen innehåller information om variablernas ursprungliga beteckningar i CSV-filerna från databasen, en kort beskrivning, eventuell enhet, samt en definition. Observera att vissa variabler kan ha fått nytt namn eller manipulerats i `DataFramen`, i så fall förklaras detta närmare i respektive metodavsnitt.

Variabelnamn	Beskrivning	Enhet	Definition
MAIS	-	-	Den maximala AIS-severiteten, skala 0-6
AIS	-	-	Svårighetsgraden på en kodad skada, skala 1-6
BELTUSE	Bilbälte	-	Anger om bilbältet användes under olyckan.
PARAIRBAG	Krockkudde	-	Tillgång och funktionalitet hos krockkuddar
BAGDEPLOY	Krockkudde	-	Utlösningsstatus av krockkudde
SEX	Kön	-	Kön och om personen är gravid även trimester.
AGE	Ålder	år	Passagerarens ålder.
WEIGHT	Vikt	kg	Passagerarens vikt i kilogram.
HEIGHT	Längd	cm	Passagerarens längd i centimeter.
SEATLOC	Sätesposition	-	Anger position i bilen
CHILDSEATUSE	Bilbarnsstol	-	Anger om bilbarnstol har använts
BODYCAT	Bilkategori	-	Karosstyp
MODELYR	Årsmodell	år	Tillverkningsåret enligt tillverkaren
MANCOLL	Kollisionstyp	-	Kollisionssättet.
DVSPEED	Krockhastighet	km/h	Hastigheten vid den allvarligaste kollisionen.
DVTOTAL	Krockhastighet	km/h	Hastigheten vid den allvarligaste kollisionen.
BODYREGION	Skadad kroppsdel	-	Misstänkt kroppsområde som kontaktades.

Tabell 3.1: Variabler i CISS-databasen

Arbetsflödet för projektet illustreras i figur 3.1. Först hanterades datan genom att sammanfoga information från samtliga år till en gemensam `DataFrame`. Därefter valdes relevant data ut, irrelevanta poster filtrerades bort och bearbetning genomfördes utan att påverka originalfilerna. När datan hade processats färdigt användes den som underlag för att skapa logistiska regressionsmodeller. Dessa modeller analyserades och utvärderades för att undersöka om de genererade meningsfulla resultat.



Figur 3.1: Arbetsflödesdiagram: beskriver det tänkta arbetsflödet för projektet

Arbetsflödet var iterativt, vilket möjliggjorde justeringar av modellerna för att förbättra resultaten. När modellerna bedömdes vara tillräckligt stabila och informativa

drogs slutsatser utifrån dem. Under hela processen användes GitHub som versionshanteringsverktyg. Även om arbetsflödet i stort följdes, uppstod situationer där datan behövdes bearbetas på nytt eller läsas in igen till följd av fel i de inledande stegen.

3.1 Gravida passagerare

För att analysera gravida passagerare i datasetet inleddes arbetet med att identifiera dem. Detta genomfördes med hjälp av Python-biblioteken Polars och Pandas, vilket möjliggjorde skapandet och bearbetningen av en `DataFrame`. I kolumnen `SEX` angavs kön med siffran 1 för män och 2 för kvinnor. Graviditet specificerades med siffrorna 3, 4, 5, och 6, vilket motsvarade första, andra, tredje samt okänd trimester. Varje trimester motsvarar cirka tre månader [31].

En ny kolumn, `TRIMESTER`, skapades för att tydligt ange vilken trimester den gravida individen befann sig i vid kraschen. Värden 3, 4, och 5 omkodades till `Trimester 1`, `Trimester 2`, och `Trimester 3`, medan värdet 6 `okänd trimester` uteslöts på grund av att det endast förekom i 12 fall och inte bedömdes som relevant för analysens syfte. Eftersom datasetet innehöll ett stort antal icke-gravida individer, inklusive män, förekom många tomma värden i kolumnen `TRIMESTER`. Samtliga rader utan värde i denna kolumn togs bort för att enbart inkludera gravida passagerare i analysen.

För att möjliggöra logistisk regression skapades en binär utfallsvariabel `Y`, baserad på skadeskalan `MAIS`. Värden lika med eller över 3 kategoriserades som `allvarligt skadad`, medan värden under 3 kategoriserades som `mildrigt skadad`. Det antogs att skalan var linjär, vilket möjliggjorde en delning kring mittpunkten.

Efter identifiering av gravida passagerare genomfördes en initial beskrivande analys. Tårtdiagram genererades för att visualisera andelen passagerare i respektivt trimester, samt andelen fall per `MAIS`-värde inom varje trimester. Därefter konstruerades två värmekartor som visade fördelningen av skador på olika kroppsdelar. Den ena använde orginalvariabeln `MAIS`, medan den andra byggde på den binära variabeln `Y`.

För att undersöka vilka variabler som kunde ha påverkan på skadans allvarlighetsgrad identifierades ett antal relevanta variabler: `BELTUSE`, `PARAIRBAG`, `SEATLOCATION`, `BODYPARTS`, `MODELYR`, `BODYCAT`, `MANCOLL`, `BMI`, `HEIGHT`, och `AGE`. Dessa variabler kategoriserades på ett liknande sätt som `MAIS` för att minska spridningen och underlätta tolkningen. Till exempel grupperades `MODELYR`, `AGE`, och `BMI` i intervaller om 10 eller 5 enheter. Variabeln `HEIGHT` delades in i kategorierna `Kort` (140-170 cm) och `Lång` (171-200 cm). Värden i variablerna `BELTUSE` och `PARAIRBAG` omkodades till `true` eller `false` och `PARAIRBAG` döptes om till `AIRBAG`.

Histogram genererades för varje nämnd variabel, vilket möjliggjorde en visuell jämförelse av skadenivåer mellan olika grupper. Dessa analyser låg till grund för vilka

variabler som inkluderades i de efterföljande logistiska regressionsmodellerna.

Logistisk regression användes för att undersöka sambandet mellan skadeutfall och de utvalda variablerna. Den första modellen jämförde `Y` mot trimester, i syfte att avgöra om graviditetsstadiet i sig hade inverkan på skadegraden. Därefter testades separata modeller för varje enskild variabel: säkerhetsbälte (`BELTUSE`), krockkudde (`AIRBAG`), längd (`HEIGHT_BI`), och frontalkollision (`MANCOLL`). Slutligen byggdes en fullständig modell som inkluderade samtliga relevanta variabler.

Totalt skapades sju olika logistiska regressionsmodeller. Ett försök gjordes även att inkludera både gravida och icke-gravida passagerare i en modell för att undersöka om graviditet i sig påverkade skaderisken. Detta visade sig inte vara genomförbart med tillgänglig data då antalet fall skiljde sig stort mellan kategorierna.

För att visualisera förändringen i skadeutfall över trimestrarna användes en spaghettiplot, där särskilt fokus låg på användning av säkerhetsbälte och krockkudde. Samband mellan variablernas effektstorlek visualiserades dessutom med hjälp av ett skogsdiagram. Försök att visa samband med hjälp av låddiagram genomfördes också, men på grund av fel i programmeringen visade dessa inte korrekt information och uteslöts därför från den slutliga rapporten.

3.1.1 Avgränsningar av data

Studien fokuserar enbart på gravida passagerare, vilket innebär att män och icke-gravida kvinnor exkluderades från analysen. Ett initialt övervägande var att konstruera en logistisk regressionsmodell för att jämföra gravida och icke-gravida kvinnor, i syfte att undersöka om graviditet i sig påverkade skadegraden. Detta visade sig dock inte vara genomförbart då antalet icke-gravida kvinnor i datasetet var mycket större än antalet gravida, vilket medförde obalans i datan och begränsade möjligheterna att bygga en stabil modell med de verktyg som användes i denna studie.

Det är även viktigt att notera att datasetet innehöll ett begränsat antal gravida passagerare, vilket innebar att vissa variabler antingen saknades helt för denna grupp eller förekom i så få fall att resultaten inte skulle vara statistiskt tillförlitliga. Av den anledningen exkluderades variabler kopplade till krockhastighet (`DVTOTAL`), fordonstyp (`BODYCAT`), och bilens årsmodell (`MODELYR`). Även ålder (`AGE`) uteslöts från vidare analys då åldersspannet bland de gravida passagerarna var mycket begränsat.

3.2 Barn under 16 år

För att analysera barns skador i trafikolyckor skapades en databehandlingsprocess för passagerare under 16 år. Python-biblioteket `Polars` användes för effektiv bearbetning av den omfattande CISS-databasen från år 2017 till 2023.

Data från passagerare under 16 år bearbetades och kategoriserades för statistisk analys. Åldersdata (`AGE`) delades in i grupperna 0–3 år, 4–6 år, 7–9 år, 10–12 år

och 13–15 år. Kön (`SEX`) kodades som *Male* och *Female*, medan odefinierade värden filtrerades bort.

Användning av säkerhetssystem (`restraint_type`) kategoriserades i tre huvudgrupper: standardbälte (*Belt Only*), bilbarnstol med bälte (*Belt with Child Seat*) samt ingen bältesanvändning (*No Belt*). Sittposition i fordonet (`SEATLOC`) klassificerades som framsäte och baksäte. Krockkuddeaktivering (`airbag_status`) registrerades som utlöst (*Deployed*), ej utlöst (*Not Deployed*) eller ingen krockkudde (*No Airbag*). Hastighetsdata (`DVTOTAL`) delades in i tre kategorier (0–30, 31–60 och 61+ km/h) för analys av hastighetseffekter på skadegraden.

För att identifiera mönster i data och visualisera samband mellan olika faktorer skapades flera olika typer av grafiska representationer. Histogram användes som primär visualiseringsmetod för att analysera fördelningen av skador över olika kategorier. Dessa kompletterades med värmekartor för att visa skadefördelning på olika sittplatser samt skogsdiagram för att åskådliggöra samband mellan variablernas effektstorlek. Efter den inledande visuella analysen utvecklades sedan flera logistiska regressionsmodeller för att systematiskt undersöka hur demografiska faktorer, säkerhetssystem, krockkuddar och kollisionshastighet påverkar risken för allvarliga skador. För tillämpning av logistisk regression skapades en binär utfallsvariabel `severe` utifrån `MAIS`-Skalan. Passagerare med `MAIS`-värden på minst 3 klassificerades i kategorin `allvarligt skadad` (1), medan individer med lägre värden placerades i kategorin `mildrigt skadad` (0). Följande fyra modeller utgjorde grunden för analysen:

Modell	**Formel**
Demografisk modell	`allvarlig_skada ~ AGE + SEX`
Bältesmodell	`allvarlig_skada ~ AGE + restraint_type`
Krockkuddemodell	`allvarlig_skada ~ AGE + airbag_status`
Hastighetsmodell	`allvarlig_skada ~ DVTOTAL + airbag_status`

Tabell 3.2: Logistiska regressionsmodeller för barns trafikskador

Vid jämförelse av modellerna blev det tydligt att enkla additiva modeller inte fullt ut kunde beskriva de komplexa sambanden mellan säkerhetssystem och olika situationsfaktorer. Detta ledde till utvecklingen av en fullständig interaktionsmodell.

$$\begin{aligned}\log \frac{p(\texttt{allvarlig skada} = 1)}{1 - p(\texttt{allvarlig skada} = 1)} &= \beta_0 + \beta_1\, \texttt{AGE}_s + \beta_2\, \texttt{restraint_type} \\ &+ \beta_3\, (\texttt{AGE}_s \times \texttt{restraint_type}) + \beta_4\, \texttt{DVTOTAL} + \beta_5\, (\texttt{DVTOTAL} \times \texttt{restraint_type}) \\ &+ \beta_6\, \texttt{SEATLOC} + \beta_7\, (\texttt{SEATLOC} \times \texttt{restraint_type}) + \beta_8\, \texttt{airbag_status}. \quad (3.1)\end{aligned}$$

3.2.1 Avgränsningar av data

Studiens fokus riktas mot barn i åldrarna 0-15 år, vilket utesluter äldre passagerare. Denna avgränsning grundar sig i ett specifikt intresse för barns unika skademönster

och säkerhetsbehov i fordon, men också eftersom personer från 16 års ålder i många amerikanska delstater har tillstånd att köra bil [32]. Detta kan nämligen påverka effekterna kring både förar-airbag och kraschförhållanden. Viktigt att notera är att datan som användes hade flera begränsningar, särskilt för vissa åldersgrupper och specifika fordonsmodeller.

För vissa variabler som kollisionshastighet (`DVTOTAL`) saknades data i många fall, vilket begränsade antalet observationer i vissa analyser. Dessutom går det inte att länka krockkuddarnas status till specifika individer i fordonet, alltså om krockkudden utlöstes eller ej. Detta försvårar analysen av hur krockkuddar påverkar specifika bilbarnstolar och sätespositioner. Även variabelkombinationer som krockkuddar och användning av säkerhetsbälte hade ibland begränsad täckning, vilket påverkade möjligheten att analysera vissa interaktionseffekter.

Ett annat problem är att alla bilbarnstolar generaliserats till en enda variabel, trots att barnkuddar och barnstolar avsedda för spädbarn ger olika skyddseffekter och påverkar säkerheten på skilda sätt. Resultatet skulle visats tydligare och mer läsbart med ålderskategoriseringar; modelleringen har dock inte kunnat ta del av kategoriseringar i åldersspannet eftersom detta leder till felberäkningar av kategorier. Trots dessa olika begränsningar innehöll CISS-databasen ändå tillräckligt med information för att genomföra en meningsfull analys av de faktorer som påverkar barns säkerhet i trafikolyckor.

3.3 Antropometri

Innan analysen påbörjades förbehandlades datan med hjälp av Polars och Pandas, där variabler från CISS-databasen användes för att specificera filtreringen. Endast personer som var 16 år eller äldre inkluderades, baserat på variabeln `AGE` som anger individens ålder. Gravida personer exkluderades eftersom graviditet har en betydande inverkan på både vikt och BMI. För detta användes variabeln `SEX`, där värdena 3, 4, 5, och 6 indikerar graviditet. Alla observationer med okänd eller ogiltiga värden i de använda variablerna togs också bort.

Analysen inleddes med att visualisera längd- och viktfördelningarna separat för män och kvinnor med hjälp av histogram. Könsfördelningen i datasetet illustrerades med hjälp av ett tårtdiagram. För att undersöka hur skadenivån, `MAIS`, varierar i relation till längd och vikt användes värmekartor. I inledningen av modelleringsfasen konstruerades enkla linjära regressionsmodeller för att undersöka hur enskilda variabler var och en relaterar till kroppsvikt. Dessa modeller syftade främst till att ge en grundläggande förståelse för variablernas individuella påverkan.

Exempel på sådana modeller:

$Vikt = F(\texttt{HEIGHT})$, $Vikt = F(\texttt{AGE})$, $Vikt = F(\texttt{SEX})$, $Vikt = F(\texttt{MAIS})$

Även om dessa enkla modeller gav viss insikt i variablernas betydelse, visade det sig vara otillräckliga för att på ett tillförlitligt sätt förutsäga vikt. Därför togs nästa

steg i form av att utveckla mer komplexa modeller som kunde hantera flera variabler samtidigt. Flera kombinationer av predikatorer testades i syfte att identifiera modeller med stabilitet och god prediktiv förmåga. Det beslutades att två slutliga modeller skulle konstrueras, en generell och en mer specifikt inriktad modell.

Den första modellen utformades för att estimera vikt oberoende av skadetyp och är därmed avsedd för generellt bruk. Efter testning av olika variabelkonfigurationer fastställdes följande uppsättning:

- HEIGHT
- AGE
- MAIS
- SEX
- MAIS:SEX (Interaktionsterm, hur skadegraden förhåller sig till kön)
- PARAIRBAG
- DVTOTAL

Formeln för modellen lyder enligt följande:
$\texttt{WEIGHT} = \beta_0 + \beta_1\texttt{HEIGHT} + \beta_2\texttt{AGE} + \beta_3\texttt{MAIS} + \beta_4\texttt{SEX} + \beta_5\texttt{DVTOTAL} + \beta_6\texttt{PARAIRBAG} + \beta_7(\texttt{MAIS} * \texttt{SEX})$

Längd, ålder, och kön utgör en god bas för viktprediktion. Skadegraden (MAIS) inkluderades eftersom kroppsvikt kan påverka hur allvarligt en individ skadas vid en kollision. För att undersöka om sambandet mellan skadegrad och vikt skiljer sig åt mellan könen lades även en interaktionsterm mellan MAIS och kön till. Variabeln DVTOTAL, som speglar kollisionshastighet, ansågs relevant då hastigheten kan ha ett samband med skadornas omfattning. PARAIRBAG inkluderades för att representera om krockkudden utlöstes, vilket kan påverka skadebilden och därmed ha indirekt koppling till vikt.

Den andra modellen utvecklades med syfte att estimera vikt för individer som drabbats av skador mot huvud och/eller ansikte. För att modellen skulle vara så träffsäker som möjligt inom detta specifika område tränades den enbart på data där sådana skador förekom. Den slutgiltiga variabeluppsättningen var:

- HEIGHT
- AGE
- AIS
- SEX
- AIS:SEX (Interaktionsterm, hur skadegraden förhåller sig till kön)
- DVTOTAL

Formeln för denna modell lyder enligt följande :
$\texttt{WEIGHT} = \beta_0 + \beta_1\texttt{HEIGHT} + \beta_1\texttt{AGE} + \beta_2\texttt{AIS} + \beta_3\texttt{DVTOTAL} + \beta_4\texttt{SEX} + \beta_5(\texttt{AIS} * \texttt{SEX})$

Precis som i den generella modellen användes längd, ålder, och kön som basvariabler. Här ersattes MAIS med AIS för att fokusera på skadegraden specifikt relaterad till huvud och ansikte. Även här inkluderades en interaktionsterm för att undersöka om

skadegraden påverkar vikten olika beroende på kön. `DVTOTAL` användes även i denna modell för att representera kollisionsdynamikens inverkan.

För att bedöma hur väl modellerna stämde överens med verklig data användes *Posterior Predictive Checks* (PPC), vilket innebär att den viktfördelning som modellerna genererar jämförs med faktisk vikt i datamaterialet. Den generella modellen jämfördes med hela datamängden, medan den nischade modellen endast utvärderades mot individer med huvud-/ansiktsskador.

3.3.1 Avgränsningar av data

Ålderspannet har i denna del av studien begränsats till över 16 års ålder då dessa personer får köra bil i USA [32]. Studien kommer dessutom att begränsas till icke gravida individer för att hålla bibehålla fokus på syftet. Ena modellen är gjord för att undersöka en specifik typ av skada, vilket valdes till huvudskador då dessa var mest förekommande. Extra hänsyn togs inte till en specifik kollisionstyp .

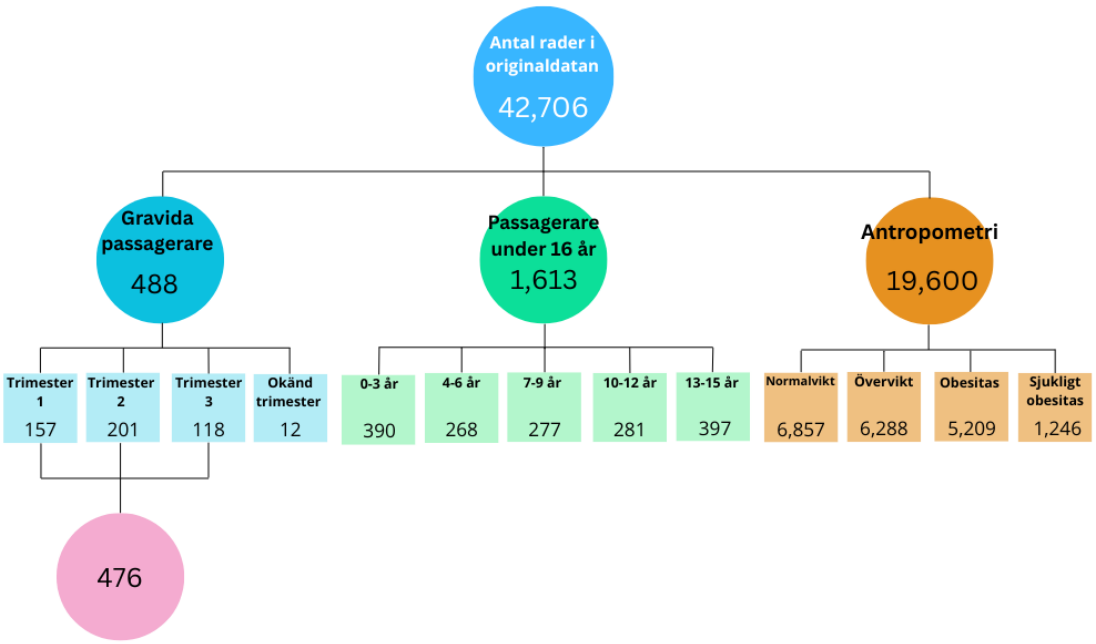
4

Resultat

Den analyserade datan omfattar trafikolyckor som inträffade mellan åren 2017 och 2023, med totalt 42 706 rapporterade fall. Majoriteten av de inblandade, 29 902 personer, satt i förarsätet vid olyckstillfället. 7 272 befann sig på främre passagerarsätet, medan 4966 satt i säten på andra raden. Endast 305 personer färdades i säten på tredje raden eller längre bak.

I 21 926 av olyckorna utlöstes krockkudden, och säkerhetsbälte användes av 25 785 personer. Den vanligaste typen av olycka var kollision från sidan vilket förekom i 17 550 fall.

I diagrammet 4.1 kan man se en visualisering av hur mycket data varje delanalys använt.



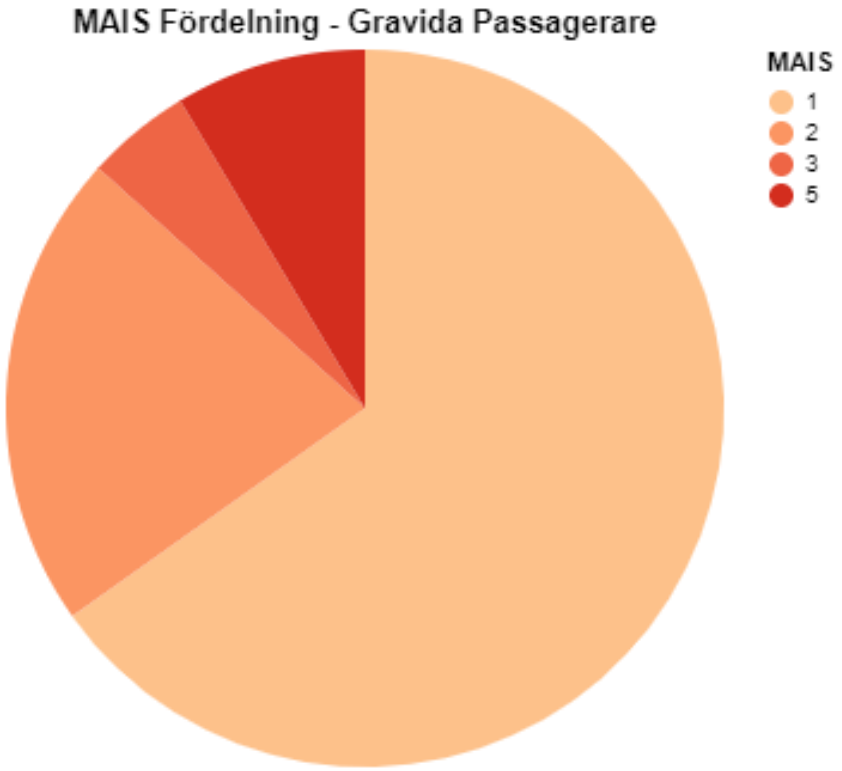
Figur 4.1: Diagram: Visualisering av antal fall för varje delstudie

4.1 Gravida passagerare

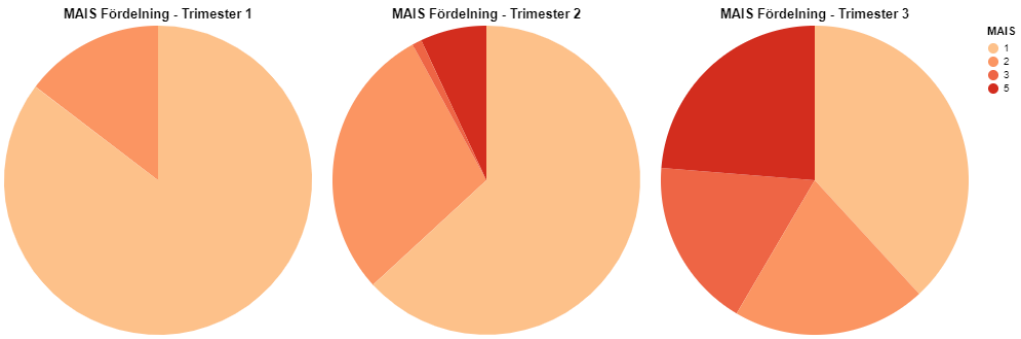
Datan innehöll 488 gravida passagerare. Medelåldern hos dessa individer var 26,5 år. Deras medellängd var 162,5 cm och medelvikten 78 kg. Av dessa 488 gravida passagerare befann sig 157 i första trimestern, vilket motsvarar 32,2%, 201 i andra trimestern (41,2%), och 118 i tredje trimestern (24,2%). Resterande 12 personer hade en okänd trimester.

De vanligaste positionerna i bilen var förarsätet, där 71% av de gravida satt, samt det främre passagerarsätet med 28%. Säkerhetsbältet användes av 80% av gravida passagerarna och i 66% av kollisionerna utlöstes krockkudden. Den vanligaste typen av kollision var från sidan, vilket inträffade i 75% av fallen. Den mest skadade kroppsdelen var knäna, men dessa skador hade oftast ett MAIS-värde under 3.

MAIS-fördelningen för samtliga gravida passagerare visas i figur 4.2. Det framgår att MAIS 1 är det mest förekommande värdet, vilket motsvarar lindriga skador. Totalt 318 fall hade ett MAIS-värde på 1. För att undersöka skillnader mellan trimestrarna kan man se figur 4.3. Här syns att fördelningen skiljer sig mest i tredje trimestern, där antalet fall med MAIS 1, 2, 3 och 5 är mer jämnt fördelat. I trimester 3 kan man även se att antalet fall med högre MAIS-grad är fler, jämfört med trimester 2 och trimester 1. För fler detaljerade histogram och värmediagram, se Appendix A.

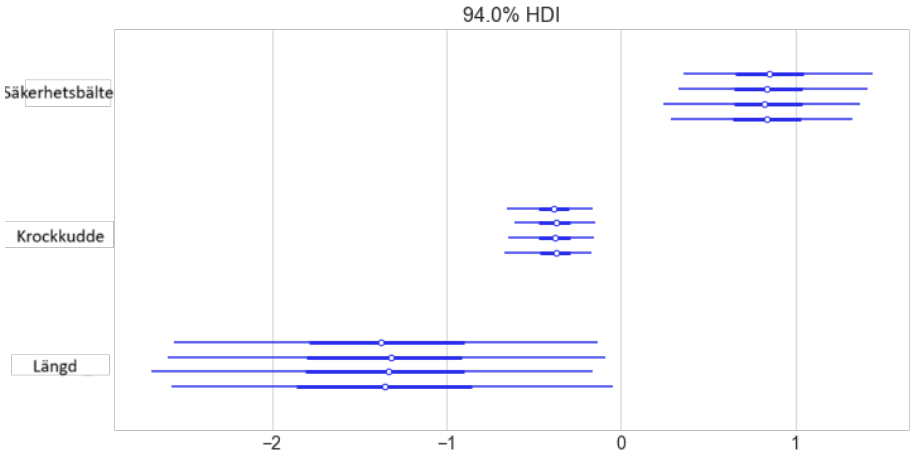


Figur 4.2: Cirkeldiagram: distribution av MAIS-värden 1-6 för gravida



Figur 4.3: Cirkeldiagram: distribution av MAIS-värden 1-6 per trimester

Skogsdiagrammet i figur 4.4 visar hur olika variabler påverkar sannolikheten för ett högt MAIS-värde. I detta sammanhang representerar positiva värden en ökad risk, medan negativa värden indikerar en minska risk. Resultaten visar att avsaknad av säkerhetsbälte (BELTUSE) har en genomgående positivt intervall, vilket innebär en trovärdig koppling till en högre risk för allvarliga skador. Utlösning av krockkudden (PARAIRBAG) visar istället en tydlig negativ effekt, vilket tyder på en minskad risk för höga MAIS-nivåer. När det gäller längd (HEIGHT_BI) visar modellen att kortare individer löper större risk för högre skadenivåer, medan längre individer har en lägre sannolikhet att drabbas av allvarliga skador. Även om effekten är negativ och trovärdig, är osäkerheten i skattningen något större här, vilket syns i det bredare intervallet.



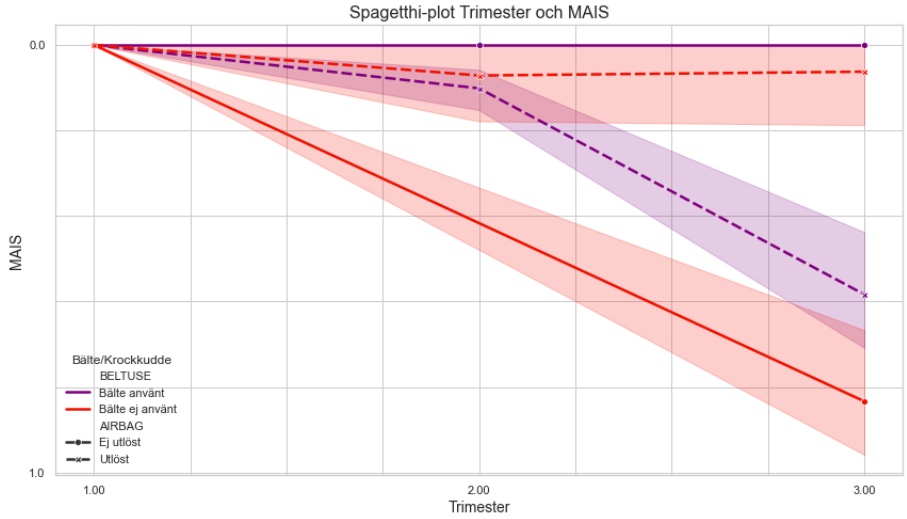
Figur 4.4: Skogsdiagram: bältesanvändning, utlöst krockkudde, längd på passagerare

Tabell 4.1 sammanfattar resultaten från den Bayesianska logistiska regressionsmodellen som tidigare visualiserades i skogsdiagrammet. Enligt modellens *Odds Ratio*-skattningar har personer som inte använder säkerhetsbälte ungefär 2.3 gånger högre sannolikhet att drabbas av allvarliga skador jämfört med dem som använder bälte. Modellen visar också att risken för allvarlig skada minskar med cirka 32% om krockkudden lösts ut, jämfört med om den inte har aktiverats. Dessutom framgår det att långa individer har cirka 75% lägre sannolikhet att skadas allvarligt jämfört med den korta referensgruppen.

	mean	sd	hdi_3%	hdi_97%	Odds Ratio
Intercept	-1.365	0.247	-1.854	-0.917	0.255
BELTUSE[Bälte ej använt]	0.835	0.292	0.279	1.368	2.305
PARAIRBAG	-0.388	0.133	-0.649	-0.163	0.678
HEIGHT_BI[Lång]	-1.403	0.670	-2.635	-0.174	0.246

Tabell 4.1: Översikt : Modell med bältesanvändning, krockkudde och kroppslängd

Figur 4.5 visar sambanden mellan bältesanvändning, utlöst krockkudde, och MAIS uppdelat i allvarligt skadad (1) och mildrigt skadad (0), över de tre trimestrarna i en Spaghettiplot. Resultaten visar att sannolikheten för att bli allvarligt skadad ökar gradvis för varje trimester hos passagerare som varken använt bilbälte eller haft en utlöst krockkudde (heldragen röd linje). Den visar även att sannolikheten för att bli allvarligt skadad ökar drastiskt i specifikt tredje trimestern hos de passagerare som använt bilbälte och haft en utlöst krockkudde (streckad lila linje). Varken kombinationen av använt bilbälte och ej utlöst krockkudde (heldragen lila linje), eller kombinationen av ej använt bilbälte och utlöst krockkudde (streckad röd linje) visar någon tydlig påverkan på skadegraden.



Figur 4.5: Spaghettiplot: MAIS för vardera trimester med bältesanvändning och utlöst krockkudde

4.2 Barn under 16 år

Datan innehöll totalt 1613 barn i åldrarna 0–15 år. Enligt tabell 4.2 var åldersfördelningen relativt jämn. De yngsta (0–3 år) och äldsta (13–15 år) grupperna utgjorde dock något större andelar med 24,2% respektive 24,6% av studiepopulationen. Totalt identifierades 34 allvarliga skador, vilket motsvarade 2,11% av samtliga barn.

Tabell 4.2 visade att förekomsten av allvarliga skador varierade mellan åldersgrupperna. Högst andel noterades i gruppen 13–15 år (3,02%), följt av grupperna 10–12

år (2,49%) och 0–3 år (2,31%). Lägst andel allvarliga skador förekom i åldersgrupperna 7–9 år (1,08%) och 4–6 år (1,12%).

Vid analys av bältesanvändning framträdde tydliga åldersmönster. Tabell 4.3 visade att användningen av bilbarnstol dominerade bland de yngsta barnen (77,9% i gruppen 0–3 år), men avtog successivt med stigande ålder. Det äldsta barnet som använde bilbarnstol var 9 år gammalt.

Andelen barn som färdades helt utan bälte varierade mellan åldersgrupperna. De högsta andelarna återfanns i grupperna 0–3 år (18,5%) och 13–15 år (15,4%), medan den lägsta andelen noterades i gruppen 7–9 år (4,3%).

Ett anmärkningsvärt fynd från tabell 4.3 var övergången från bilbarnstol till standardbälte som skedde i åldersgruppen 7–9 år, där användningen av standardbälte mer än fördubblades jämfört med föregående åldersgrupp (från 17,2% till 66,4%). Denna åldersgrupp uppvisade samtidigt den lägsta andelen barn utan bälte (4,3%) och en av de lägsta andelarna allvarliga skador (1,08%).

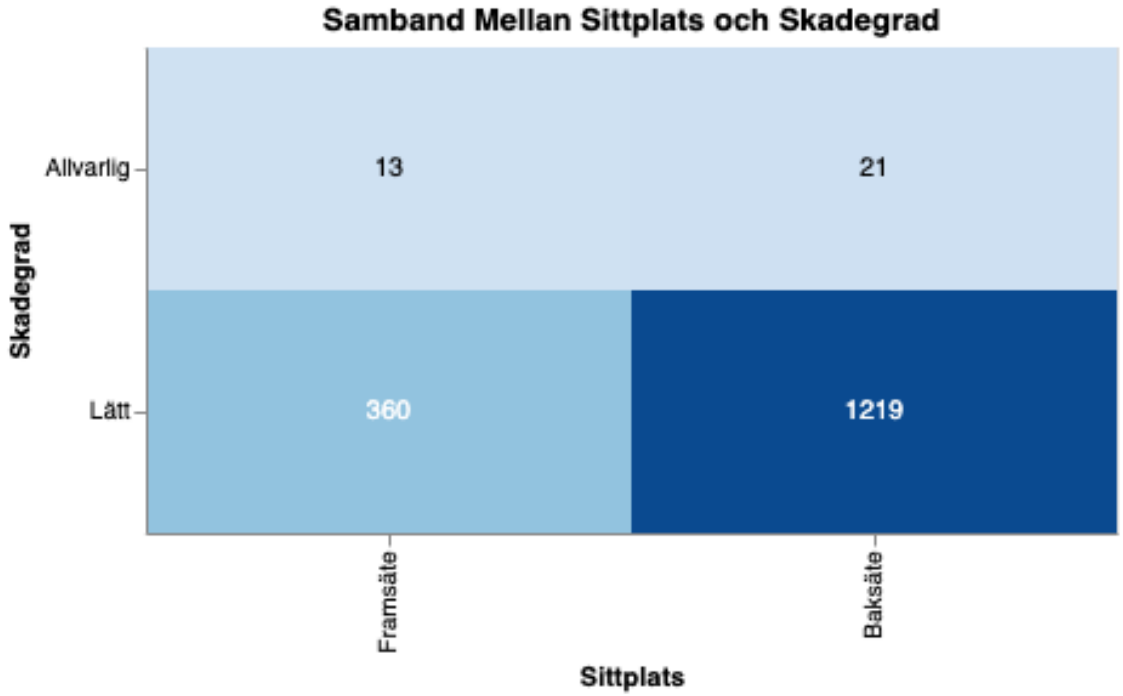
Åldersgrupp	**Antal**	**Procent**	**Allvarliga skador**	**Procent inom grupp**
0–3 år	390	24,2%	9	2,31%
4–6 år	268	16,6%	3	1,12%
7–9 år	277	17,2%	3	1,08%
10–12 år	281	17,4%	7	2,49%
13–15 år	397	24,6%	12	3,02%
Totalt	1613	100,0%	34	2,11%

Tabell 4.2: Åldersfördelning och allvarliga skador

Åldersgrupp	**Endast bälte**		**Bälte med barnstol**		**Inget bälte**	
	Antal	%	Antal	%	Antal	%
0–3 år	14	3,6%	304	77,9%	72	18,5%
4–6 år	46	17,2%	184	68,7%	38	14,2%
7–9 år	184	66,4%	81	29,2%	12	4,3%
10–12 år	255	90,7%	0	0,0%	26	9,3%
13–15 år	336	84,6%	0	0,0%	61	15,4%
Totalt	835	51,8%	569	35,3%	209	13,0%

Tabell 4.3: Användning av olika bältestyper per åldersgrupp

Vid analys av sambandet mellan sittplats och skadegrad framkom att andelen allvarliga skador varierade med barnets placering i fordonet (Figur 4.6). Detta observerade mönster undersöks vidare i de modellbaserade analyserna som följer.



Figur 4.6: Sambandet mellan sittplats och skadegrad.

Tabell 4.4 presenterar resultaten från en bayesiansk logistisk regressionsmodell som analyserade prediktorer för allvarliga skador hos barn. Den matematiska formuleringen beskrivs i detalj i metoddelen (3.1). Mean-värdena anger effektstorlek och riktning, medan HDI-värdena visar osäkerhetsintervallet för respektive parameter.

Regressionsmodellen identifierade hastighet som den mest avgörande faktorn för allvarliga skador, vilket återspeglas i de höga koefficienterna för både medelhastighet och hög hastighet. HDI-intervallen för dessa parametrar ligger helt över noll, vilket indikerar stark statistisk tillförlitlighet.

Modellen påvisade även flera viktiga interaktionseffekter. Särskilt anmärkningsvärd är interaktionen mellan ålder och avsaknad av bälte, vilket tyder på att risken för allvarliga skador ökar markant med stigande ålder för barn som färdas utan bälte. Detta kontrasterar mot barn med standardbälte eller bilbarnstol, där ålder har en betydligt svagare eller till och med skyddande effekt.

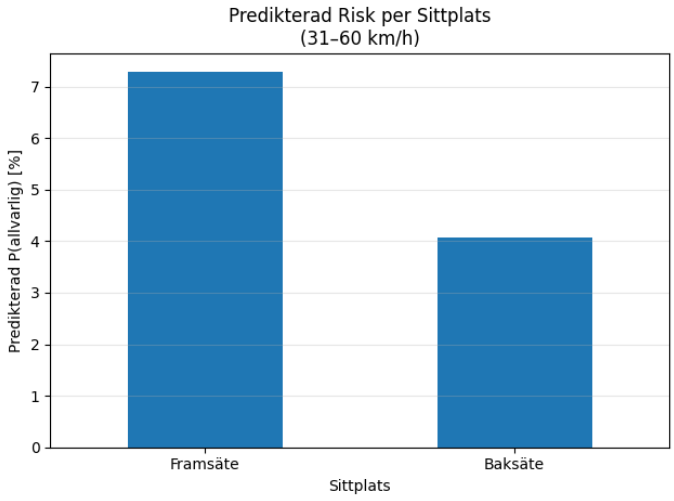
Sittposition hade en mindre men ändå märkbar inverkan, där placering i baksätet visade en tendens till minskad skaderisk. HDI-intervallet för denna parameter inkluderar dock noll, vilket antyder viss statistisk osäkerhet.

Ett oväntat fynd i modellen rör krockkuddar, där odetonerade krockkuddar associerades med minskad skaderisk. Detta till synes paradoxala resultat förklaras av att krockkuddar endast utlöses vid kraftigare kollisioner. Krockkuddsstatus fungerar därmed snarare som en indirekt indikator på kollisionens allvarlighetsgrad än som en skyddsfaktor i sig.

Prediktor	mean	sd	hdi_3%	hdi_97%	Odds Ratio
Intercept	-3.885	0.496	-4.832	-2.994	0.021
AGE_s	-0.328	0.379	-1.024	0.408	0.720
restraint_type[Belt with Child Seat]	-0.220	0.780	-1.655	1.273	0.803
restraint_type[No Belt]	0.745	0.617	-0.439	1.882	2.106
AGE_s:type[Belt with Child Seat]	0.214	0.667	-1.067	1.448	1.239
AGE_s:type[No Belt]	1.156	0.513	0.259	2.177	3.177
DV_cat[31–60]	1.347	0.441	0.536	2.188	3.846
DV_cat[61+]	3.052	0.572	2.012	4.169	21.161
DV_cat:type[31–60, Belt with Child Seat]	0.633	0.621	-0.499	1.806	1.883
DV_cat:type[31–60, No Belt]	-0.084	0.632	-1.286	1.108	0.919
DV_cat:type[61+, Belt with Child Seat]	0.143	0.773	-1.329	1.579	1.154
DV_cat:type[61+, No Belt]	0.371	0.873	-1.295	2.023	1.449
seat_position[Second Row]	-0.613	0.464	-1.533	0.198	0.542
seat_position:type[2nd Row, Belt w/ Child]	-0.142	0.778	-1.571	1.299	0.868
seat_position:type[2nd Row, No Belt]	-0.658	0.633	-1.840	0.540	0.518
airbag_status[Not Deployed]	-1.032	0.511	-2.041	-0.124	0.356

Tabell 4.4: Resultat från den fullständiga interaktionsmodellen

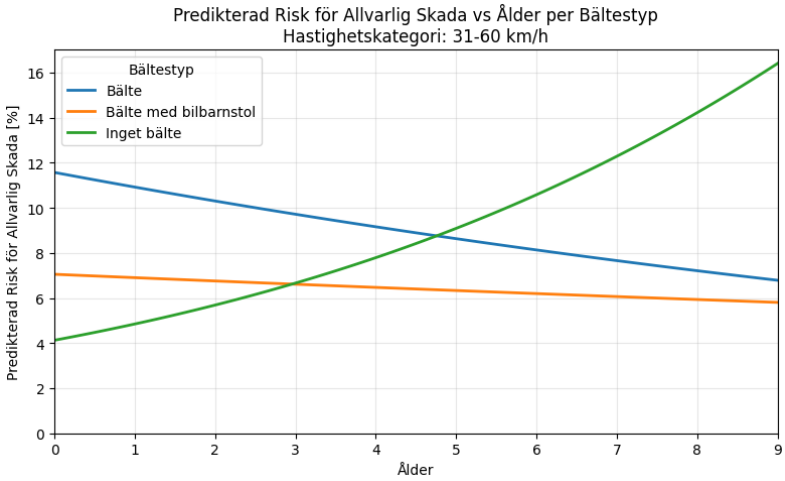
Figurerna 4.7–4.9 visualiserar hur olika faktorer påverkar risken för allvarliga skador hos barn i trafikolyckor, baserat på modellens koefficienter. I figur 4.7 framgår att barn i framsätet löper betydligt högre risk (7,2%) för allvarliga skador jämfört med barn i baksätet (4,1%) vid kollisioner i medelhastighet, vilket motsvarar en riskreduktion på 43% för barn som färdas i baksätet.



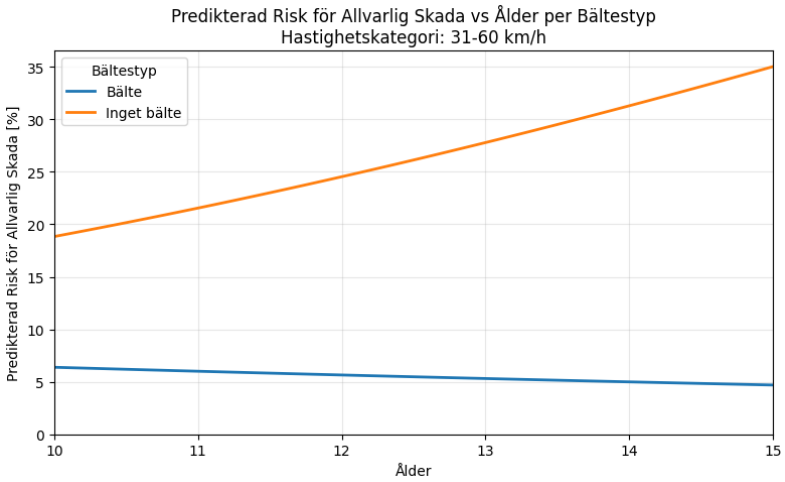
Figur 4.7: Predikterad risk för allvarliga skador per sittplats vid kollisioner i medelhastighet (31–60 km/h).

Riskens variation med ålder och bältestyp illustreras i figur 4.8 för yngre barn (0–9 år) och figur 4.9 för äldre barn (10–15 år). För yngre barn utan bälte ökar risken markant med stigande ålder från 4% vid 0 år till 16% vid 9 år, medan risken för barn med standardbälte eller bilbarnstol istället minskar med åldern. Särskilt intressant är att kurvorna för standardbälte och inget bälte korsar varandra .

Ännu mer påtagliga blir skillnaderna för äldre barn. Medan barn med standardbälte bibehåller en relativt låg och svagt minskande risk (6–4%) genom tonåren, stiger risken för obältade barn dramatiskt från 19% vid 10 års ålder till över 35% vid 15 år. Vid 15 års ålder är risken för allvarliga skador cirka 8,5 gånger högre för tonåringar utan bälte jämfört med jämnåriga som använder standardbälte.



Figur 4.8: Predikterad risk för allvarliga skador i relation till ålder och bältestyp för barn 0–9 år vid kollisioner i medelhastighet (31–60 km/h).



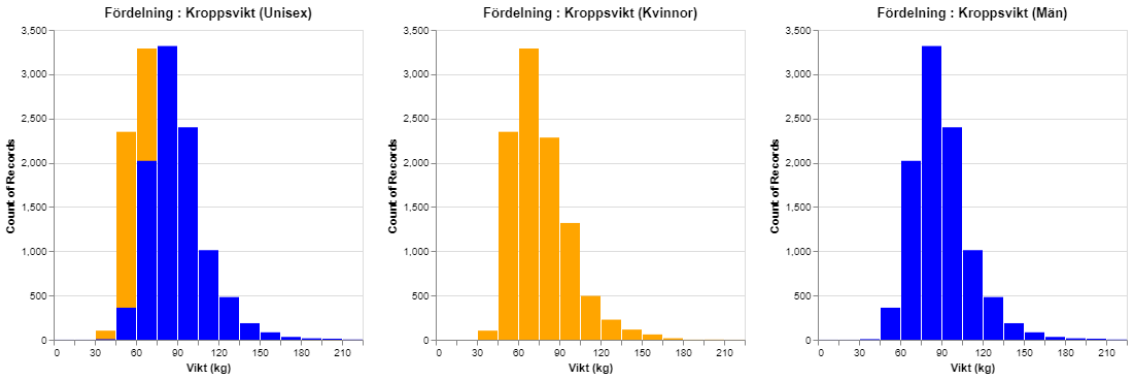
Figur 4.9: Predikterad risk för allvarliga skador i relation till ålder och bältestyp för barn 10–15 år vid kollisioner i medelhastighet (31–60 km/h).

4.3 Antropometri

I den analyserade datan ingick totalt 19 600 individer. Den genomsnittliga vikten var 82.4 kg och medellängden 170.5 cm, vilket motsvarar ett genomsnittligt BMI på 28.3, detta klassificeras som övervikt. Totalt hade 2388 personer (12,2%) ett

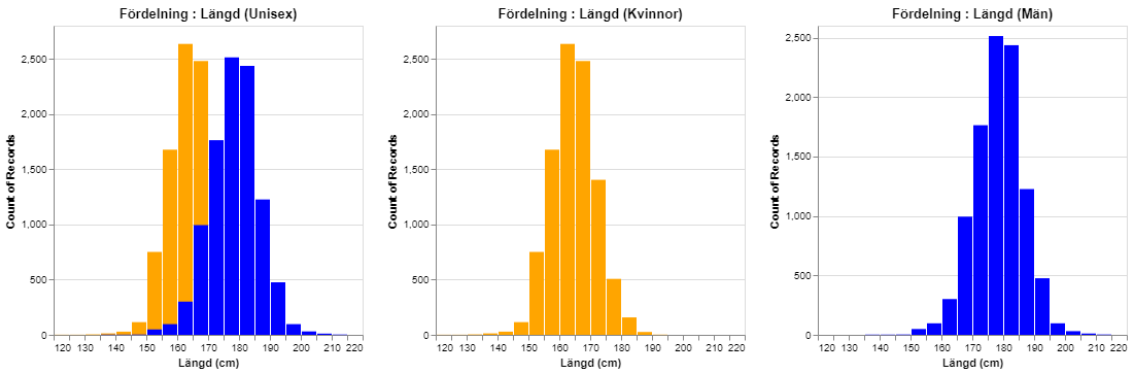
MAIS-värde på nivå 3 eller högre, vilket indikerar allvarliga skador. Bland personerna var 6288 överviktiga, 5209 hade obesitas och 1246 klassades som sjukligt obesitas.

Viktfördelningen för personerna i den aktuella datan visas i figur 4.10. Männen har en genomsnittssvikt på 89 kg, medan kvinnornas snitt ligger på cirka 76 kg. För båda könen är standardavvikelsen 21 kg, vilket visar på en relativt stor spridning i vikt inom grupperna.



Figur 4.10: Viktfördelningar

Som visas i figur 4.11 har längdfördelningen två tydliga toppar, där den kvinnliga fördelningen (gul) är förskjuten åt vänster jämfört med den manliga. Detta bekräftar att män i genomsnitt är längre än kvinnor. Den genomsnittliga längden för män är cirka 177.5 cm, medan kvinnor i genomsnitt är omkring 163.5 cm långa. Standardavvikelsen är 7.36 cm för män och 8.19 cm för kvinnor, vilket visar en något större variation bland kvinnorna.

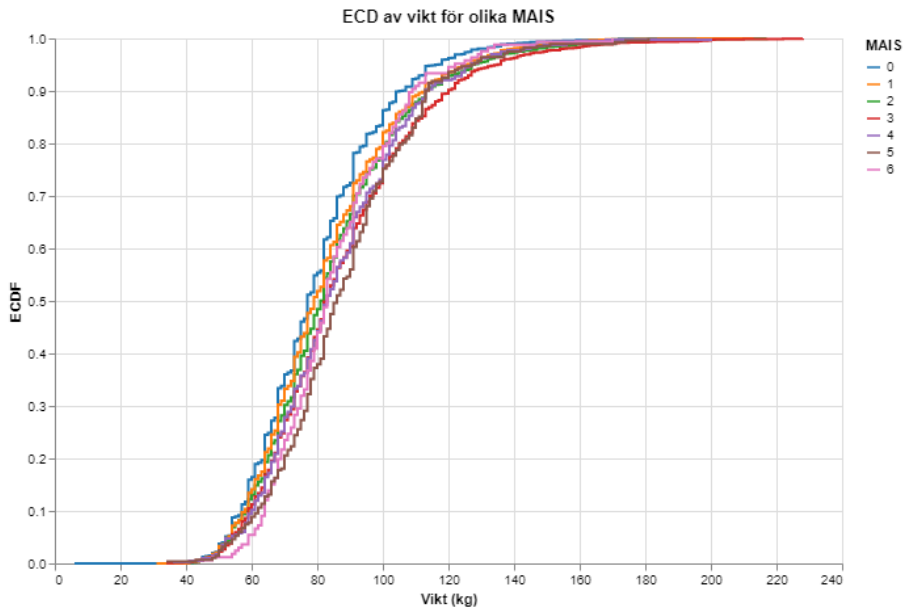


Figur 4.11: Längdfördelningar

Figur 4.12 visar att könsfördelningen i datasetet är in princip 50/50 men något fler män i datasetet. Det exakta antalet män är 9932 och 9668 kvinnor.

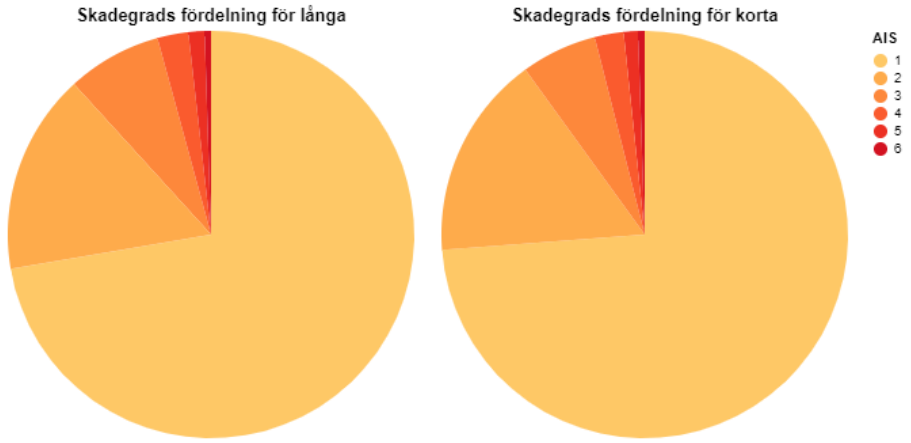
Figur 4.12: Könsfördelning

I figur 4.13, som visar en *Empirisk Kumulativ Fördelningsgraf* (ECD) för vikt uppdelad efter olika MAIS-nivåer, framträder ett tydligt mönster. Den blå linjen, som representerar individer med MAIS = 0, ligger längst till vänster, vilket tyder på att personer som inte skadas ofta väger mindre än de som får skador. Det går också att se en trend där vikten ökar i takt med att skadegraden stiger.



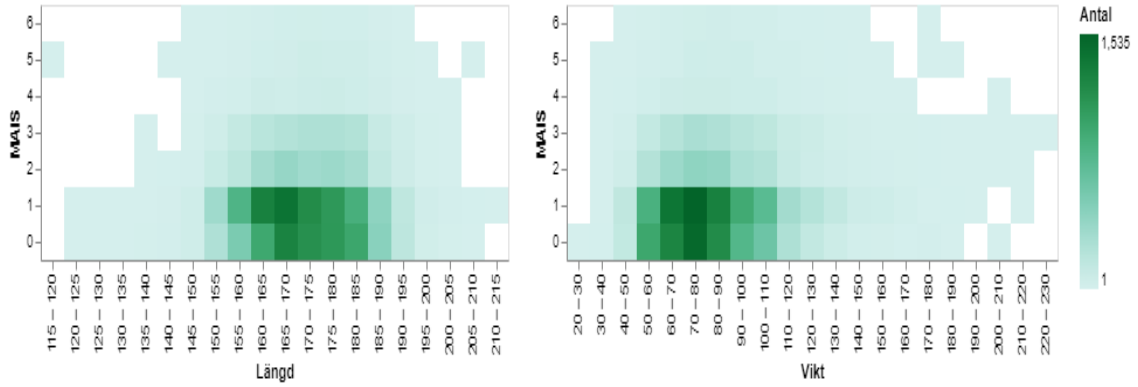
Figur 4.13: Empirisk kumulativ fördelning av vikt för olika MAIS

Tårtdiagrammen i figur 4.14 visar att högre AIS-nivåer för huvudskador är vanligare bland längre individer, 175 cm och över. Resultatet tyder på att det finns ett samband mellan kroppslängd och allvarlighetsgraden för huvud-/ansiktsskador.



Figur 4.14: Två cirkeldiagram som visar fördelningen av AIS för korta och långa personer

Värmekartorna i figur 4.15 visar att majoriteten är oskadade eller har en skada på MAIS-nivå 1. Det framgår också att längre personer oftare drabbas av skador på nivå 3. När det gäller vikt indikerar kartan att individer med högre kroppsvikt löper en större risk att råka ut för allvarliga skador, MAIS 3 och över.



Figur 4.15: Värmekartor som visar fördelningen av MAIS beroende på längd och vikt

Modellen för ospecificerad skador tillämpades, och tabell 4.5 visar hur de olika variablerna relaterar till kroppsvikt. Nedan följer en sammanfattning av de mest relevanta observationerna från modellens resultat:

- Längd har låg varians och hela *hdi* ligger på den positiva sidan. Det gör det sannolikt att längd har en positiv effekt på kroppsvikten, och eftersom *hdi* inte korsar noll är variabeln statistiskt signifikant.
- Ålder har en något mindre påverkan på kroppsvikten än längd, men även här är variansen låg och *hdi* helt positivt. Detta tyder på att ålder också är en statistiskt signifikant faktor.
- För MAIS-nivåerna 1-5 är resultaten relativt tillförlitliga, med mestadels positiva *hdi*. Ett undantag är MAIS = 4, där intervallet korsar noll, vilket gör det

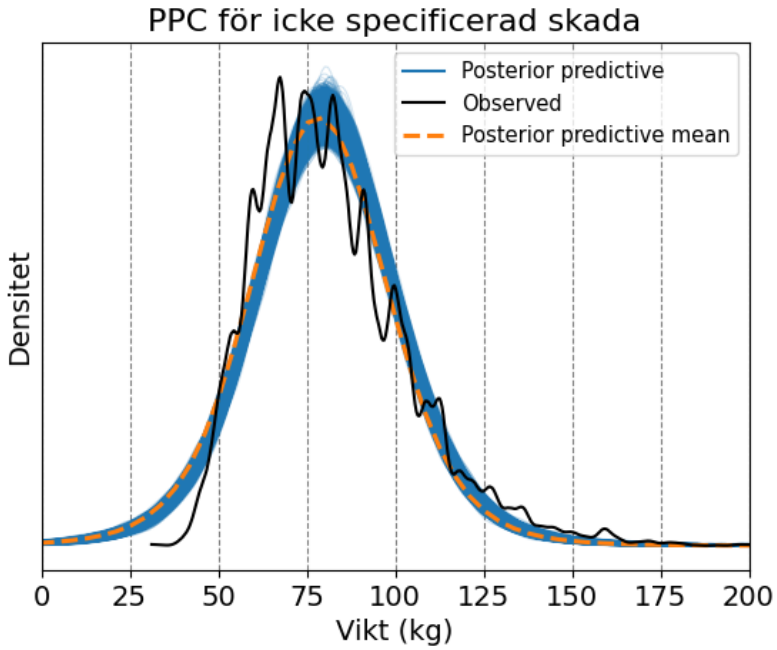
svårare att dra säkra slutsatser. MAIS = 6 är den minst statistiskt signifikanta, eftersom hdi korsar noll i större utsträckning.

- När det gäller interaktionen mellan kön och MAIS-nivåer under 5 visar modellen att vikt har ett starkare samband med skadegraden hos kvinnor än hos män. *hdi* korsar inte noll för de flesta nivåer (förutom MAIS = 4) och lutar överlag mot en positiv effekt. Variansen är dock relativt hög, vilket innebär att man bör vara försiktig med att dra alltför precisa slutsatser om effektens storlek.
- DVTOTAL har en svag negativ effekt på kroppsvikten, men *hdi* är helt negativt, vilket ger resultatet relativt hög tillförlitlighet.
- För PARAIRBAG är effekten osäker. *hdi* korsar noll och resultatet lutar inte tydligt åt något håll, vilket tyder på låg statistisk signifikans.

	mean	sd	hdi_3%	hdi_97%
sigma	15.288	0.200	14.913	15.666
nu	5.014	0.269	4.537	5.549
Intercept	78.600	0.514	77.635	79.552
center(HEIGHT)	0.873	0.025	0.825	0.919
center(AGE)	0.128	0.010	0.109	0.146
MAIS[1]	3.097	0.633	1.936	4.318
MAIS[2]	2.439	0.947	0.651	4.218
MAIS[3]	5.433	1.121	3.394	7.597
MAIS[4]	2.111	2.116	-1.821	6.154
MAIS[5]	6.702	2.372	2.385	11.242
MAIS[6]	-1.357	3.357	-7.823	4.789
SEX[2]	-3.551	0.712	-4.865	-2.195
MAIS:SEX[1, 2]	1.982	0.857	0.429	3.649
MAIS:SEX[2, 2]	3.592	1.274	1.273	6.053
MAIS:SEX[3, 2]	3.895	1.603	1.029	7.089
MAIS:SEX[4, 2]	5.367	3.302	-1.035	11.427
MAIS:SEX[5, 2]	-0.209	4.331	-8.373	7.844
MAIS:SEX[6, 2]	5.627	6.628	-6.649	18.236
center(DVTOTAL)	-0.053	0.014	-0.080	-0.027
PARAIRBAG[2]	0.223	0.423	-0.568	1.020

Tabell 4.5: Översikt : Modell för ospecificerad skada

Utifrån PPC-plottens utseende i figur 4.16 framgår det att både de blåa segmenten och den orangea linjen fångar den övergripande strukturen i den verkliga datan, som representeras av den svarta linjen. Modellens förmåga att göra tillförlitliga skattningar är dock begränsad för vikter under cirka 70 kg, där överlappet mellan den simulerade och observerade datan är mycket litet. För vikter över ungefär 70 kg förbättras modellens prestanda avsevärt, då de simulerade värdena överlappar i högre grad med den faktiska datan. Detta tyder på att modellen är mer pålitlig i det högre viktintervallet.

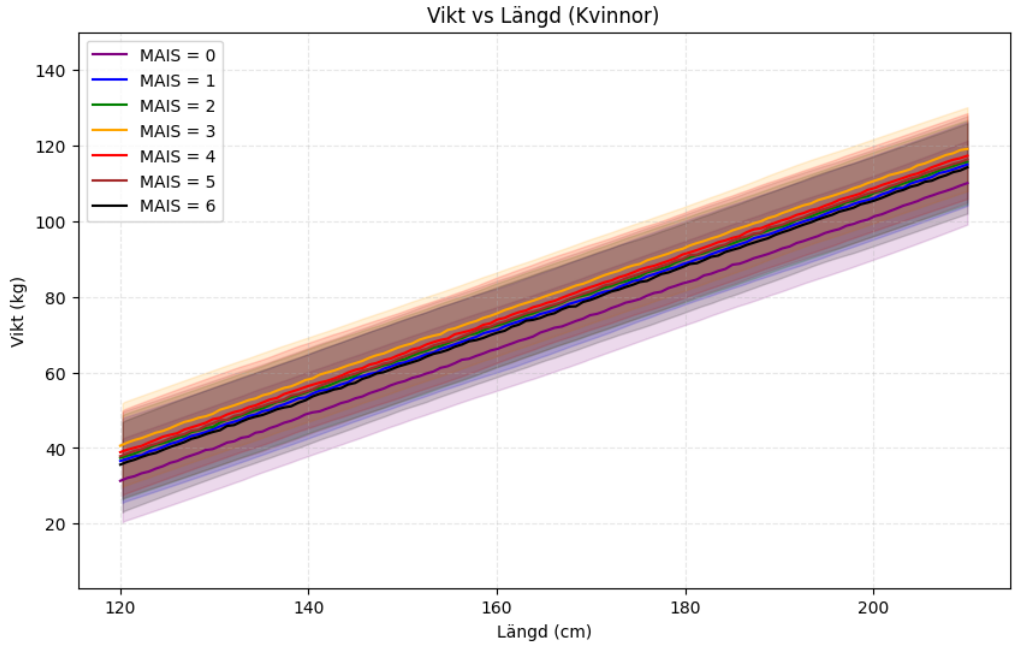


Figur 4.16: Posterior predictive check plot : icke specificerad skada

Eftersom modellens estimeringar stämmer förhållandevis väl överens med den observerade datan för vikter över 70 kg, går det att dra mer välgrundade slutsatser inom detta viktintervall.För personer som väger mindre än 70 kg är modellens träffsäkerhet däremot mer begränsad. De skattningar som modellen gjort, och som presenteras i tabell 4.5, kan tolkas på följande sätt:

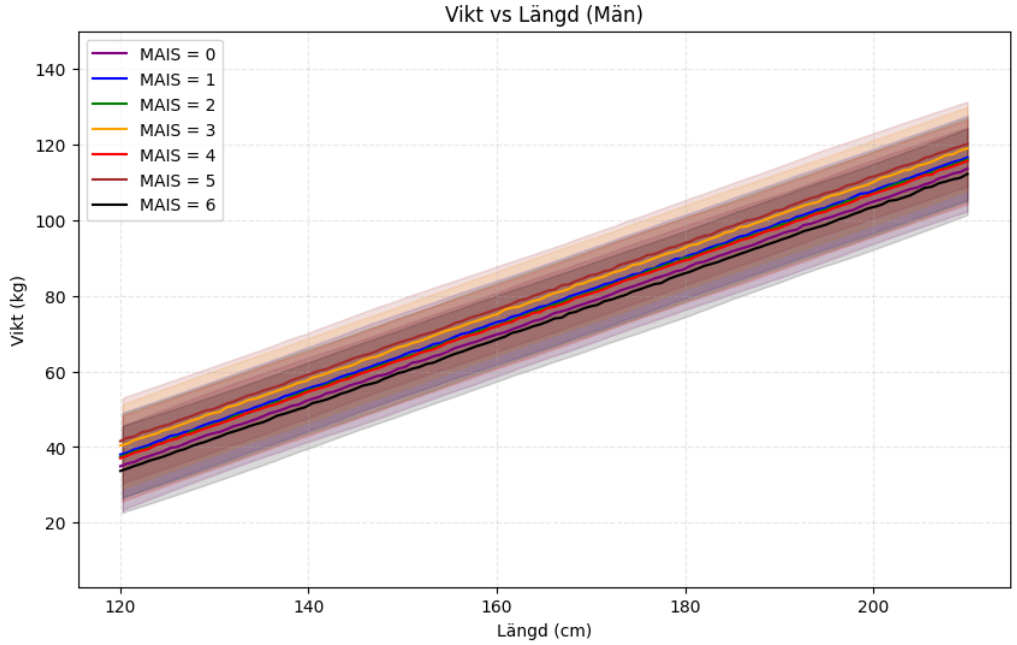
- Vikten ökar i genomsnitt med $0.873kg$ per centimeter i kroppslängd.
- Varje ökat levnadsår är kopplat till en genomsnittlig ökning i vikt med $0.128kg$.
- Individer med MAIS-värden > 0 tenderar att väga mer än de utan skador. Resultaten för MAIS $= 4$ och MAIS $= 6$ är dock mindre statistikt signifikanta jämfört med övriga nivåer.
- Kvinnor väger i genomsnitt $3.551kg$ mindre än män, givet samma längd och andra faktorer.
- Överlag tycks sambandet mellan vikt och skadegrad (MAIS) vara starkare för kvinnor, särskilt för nivåer< 5.
- För varje ökning med 1 km/h i krockhastighet (DVTOTAL) minskar vikten med i snitt $0.053kg$. Eftersom DVTOTAL varierar från 0 till 200 km/h, innebär det att en person i ett fordon med DVTOTAL $= 200$ förväntas väga omkring 10.6 kg mindre än någon i ett fordon med DVTOTAL $= 0$.
- Modellens estimering visar att en ej utlöst krockkudde (PARAIRBAG) har ett svagt positivt samband med vikt, men denna koppling är inte statistiskt signifikant.

HDI-plottens utseende i figur 4.17 visar hur vikt förhåller sig till längd och skadegrad (MAIS) för kvinnor. Generellt sett väger skadade individer mer än oskadda. Det syns även ett mönster där MAIS-nivåer är kopplade till högre vikt, med undantag för MAIS $= 3$ och MAIS $= 6$, som avviker något från det övriga sambandet.



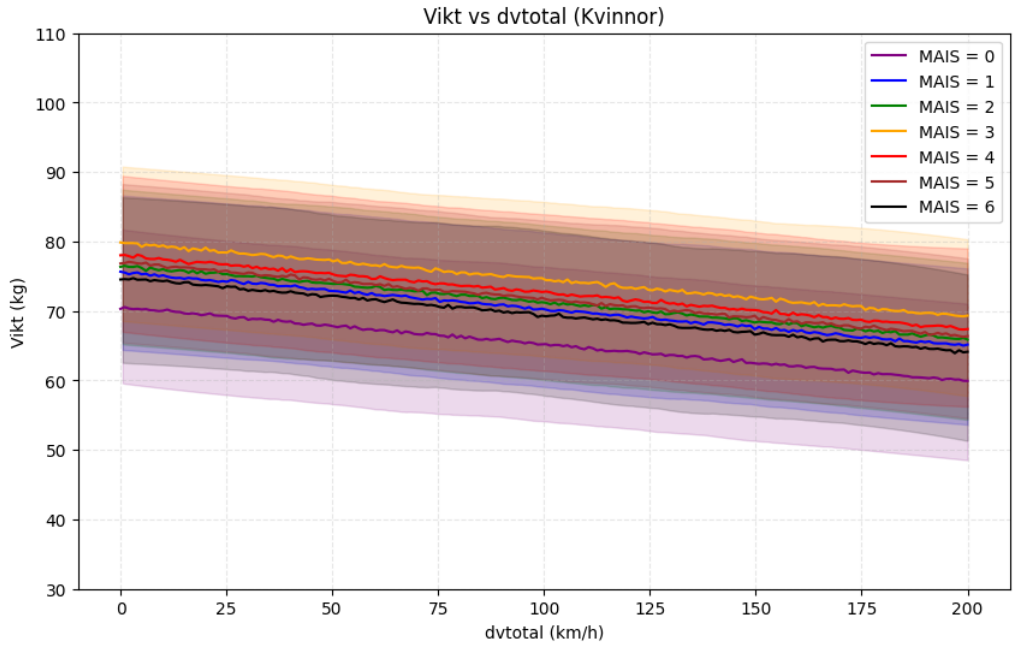
Figur 4.17: High density interval plot : Vikt vs Längd för kvinnor. (Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)

I motsvarande HDI-plot för män i figur 4.18 syns samma generella mönster där skadade individer tenderar att väga mer än oskadda, med undantag för MAIS = 6. Eftersom resultatet för denna nivå inte är statistiskt signifikant, går det dock inte att dra några säkra slutsatser. Till skillnad från kvinnorna framträder inget tydligt samband mellan högre MAIS-nivåer och ökad kroppsvikt hos män.

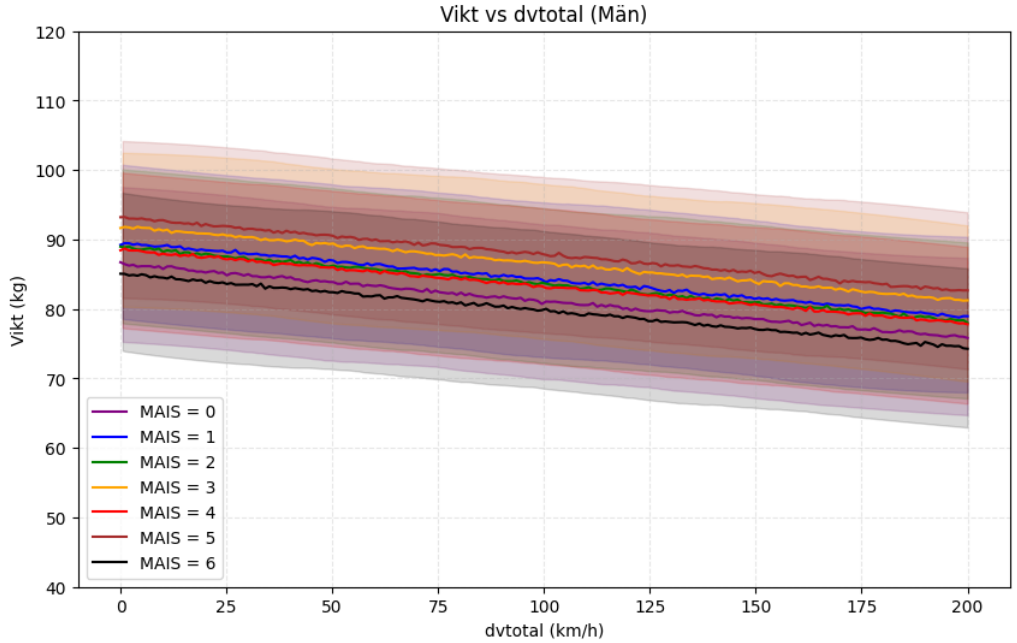


Figur 4.18: High density interval plot : Vikt vs Längd för män. (Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)

HDI-plottarna i figur 4.19 och figur 4.20 visar sambandet mellan vikt och krockhastighet (DVTOTAL) för en genomsnittlig kvinna respektive man. I båda figurerna inkluderades även skadegrad (MAIS-nivåer), vilket gör det möjligt att undersöka hur detta förhållande varierar beroende på skadans allvarlighetsgrad.



Figur 4.19: High density interval plot : Vikt vs DVTOTAL för Kvinnor.(Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)



Figur 4.20: High density interval plot : Vikt vs DVTOTAL för män. (Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)

Efter att modellen för huvud- och ansiktskador tillämpades, sammanställdes resultaten i tabell 4.6. Flera observationer kan göras kring modellens estimeringar och deras tillförlitlighet:

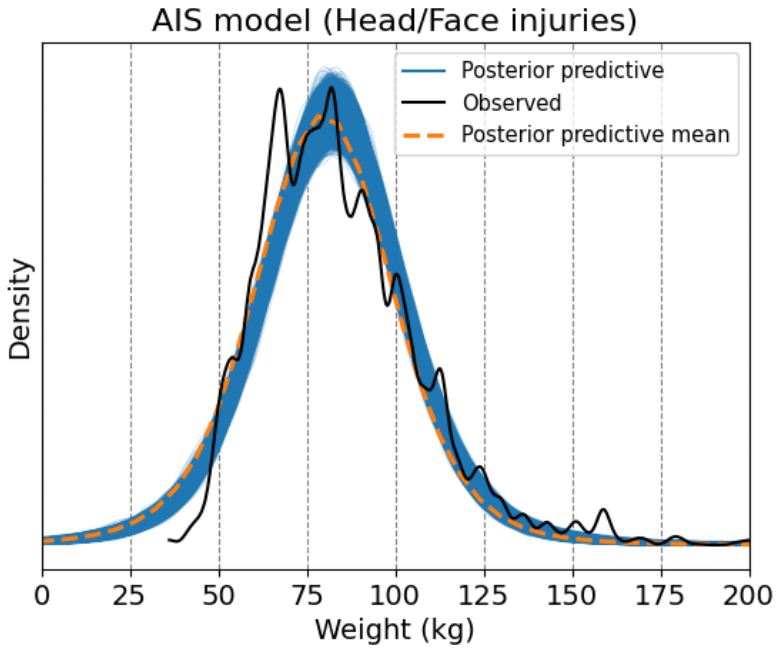
- Längd har låg varians, och hela *hdi* ligger på den positiva sidan. Det tyder på att längd har en statistisk signigfikant och positiv koppling till vikt, vilket är i linje med den tidigare modellen.
- Ålder uppvisar ett liknande mönster: låg varians och en helt positiv *hdi*, vilket gör även denna variabel statistiskt signifikant med hög sannolikhet.
- AIS-nivåerna visar ett mer osäkert samband med vikt. Även om kopplingen generellt lutar åt det negativa hållet, korsar *hdi* noll för samtliga värden, vilket gör dessa resultat mindre pålitliga. Till skillnad från resultaten för MAIS i den tidigare modellen går det inte att dra lika tydliga slutsatser om sambandet mellan vikt och AIS men den ger trots det en potentiell svag inblick i hur detta förhållandet möjligtvis kan se ut.
- När det gäller interaktionen mellan kön och AIS syns det inte heller något tydligt mönster, förutom för AIS =6. Denna nivå sticker ut med en starkt positiv koppling till vikt för kvinnor, och *hdi* korsar inte noll. Även om detta kan tyda på ett verkligt samband, är effekten ovanligt stark jämför med övriga nivåer, vilket gör det motiverat att undersöka denna interaktion närmare.
- DVTOTAL uppvisar en likande effekt som i den tidigare modellen: sambandet med vikt är negativ, och hdi ligger helt under noll. Detta gör variabeln relativt pålitlig även i denna modell.

	mean	sd	hdi_3%	hdi_97%
sigma	15.676	0.242	15.225	16.137
nu	4.438	0.249	3.985	4.911
Intercept	81.980	0.393	81.242	82.712
center(HEIGHT)	0.935	0.031	0.878	0.993
center(AGE)	0.087	0.012	0.064	0.110
AIS[2]	1.391	0.851	-0.182	3.043
AIS[3]	0.429	1.323	-2.082	2.874
AIS[4]	-1.799	1.927	-5.407	1.829
AIS[5]	-2.662	2.239	-6.894	1.494
AIS[6]	-6.826	4.073	-14.485	0.851
SEX[2]	-0.534	0.700	-1.867	0.764
AIS:SEX[2, 2]	-0.013	1.315	-2.537	2.416
AIS:SEX[3, 2]	3.136	2.215	-0.922	7.393
AIS:SEX[4, 2]	1.715	3.398	-4.552	8.150
AIS:SEX[5, 2]	-1.484	4.986	-11.045	7.665
AIS:SEX[6, 2]	31.023	9.419	12.872	48.404
center(DVTOTAL)	-0.025	0.011	-0.045	-0.005

Tabell 4.6: Översikt : Modell för huvud/ansikts skador

PPC-plotten i figur 4.21 visar att modellens estimeringar stämmer väl överens med den observerade datan. Likt den tidigare modellen har även denna viss svårighet

att estimera vikter under cirka 70 kg, där modellens prediktioner börjar avvika mer från verkligheten. Däremot är överensstämmelsen mycket god för vikter över 70 kg, vilket tyder på att modellen har en god förmåga att förutsäga vikt i det intervallet.

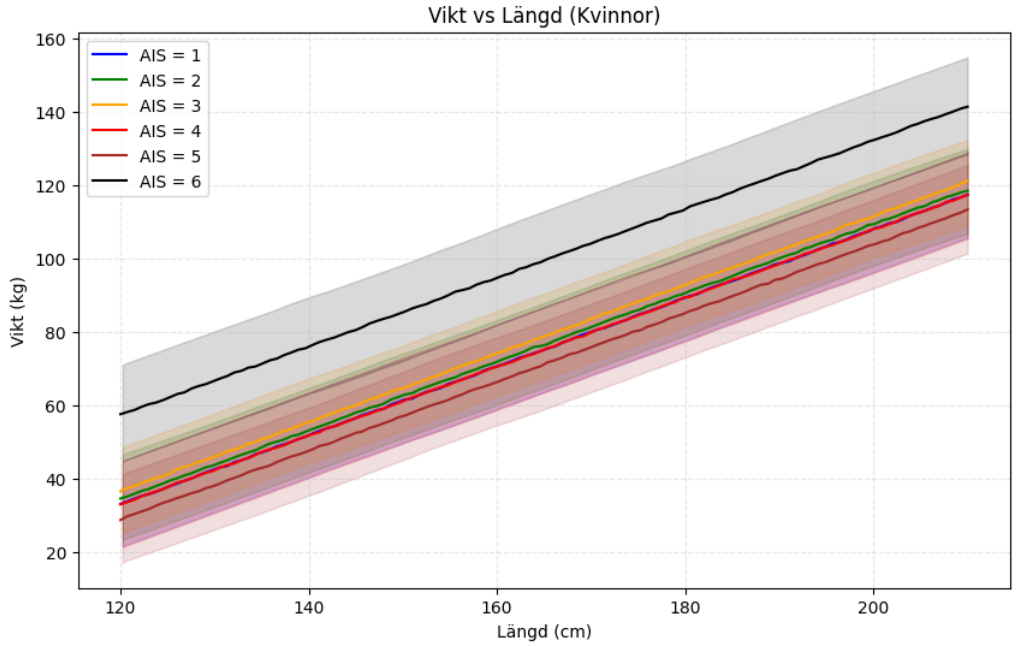


Figur 4.21: PPC plot : Huvud/ansikts skada

Eftersom modellen uppvisar god överensstämmelse med den verkliga datan enligt PPC-plotten kan resultaten i tabell 4.6 tolkas med relativt hög tillförlitlighet. De huvudsakliga observationerna från modellen är följande:

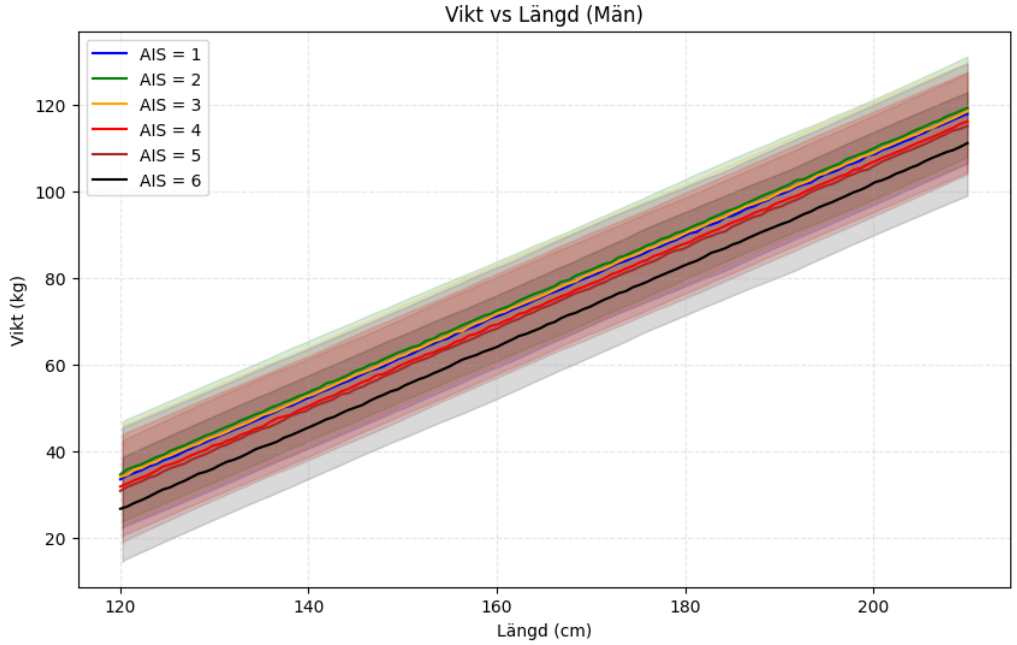
- Vikten ökar i genomsnitt med $0.935kg$ per centimeter kroppslängd
- För varje levnadsår ökar vikten i genomsnitt med $0.087kg$
- AIS-nivåerna visar ett svagt och osäkert negativt samband med vikt. Eftersom *hdi* för samtliga AIS-värden korsar noll vilket gör den mindre statistiskt signifikant. Kan dock potentiellt ge svagare inblickar
- Interaktionstermen mellan AIS och kön visar inga tydliga skillnader mellan män och kvinnor för de flesta AIS-nivåer, med undantag AIS = 6, där sambandet mellan vikt och skadenivå verkar vara starkare för kvinnor. Denna effekt sticker dock ut kraftigt jämför med övriga resultat, vilket gör att den bör tolkas med försiktighet och undersökas vidare innan några säkra slutsatser kan dras.
- Vikten minskar i genomsnitt med $0.025kg$ per km/h i takt med att krockhastigheten (DVTOTAL) ökar.

HDI-plotten för kvinnor i figur 4.22 illustrerar modellens estimerade samband mellan vikt och längd för olika AIS. Som tidigare nämnt uppstår inget övergripande mönster mellan vikt och AIS för kvinnor men de extrema estimeringarna för AIS = 6 framgår tydligt.



Figur 4.22: HDI plot av vikt för kvinnor. (Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)

I HDI-visualiseirngen för män i figur 4.23 går det att se sambandet mellan vikt och längd samt det negativa kopplingen mellan vikt och AIS som modellen estimerat. Ett polariserande resultat i jämförelse med MAIS som kan vara aktuellt att undersöka ytterliggare.



Figur 4.23: HDI plot av vikt för män. (Övriga variabler är fasta och sattes till snittet av respektive variabel för könet i fråga)

5
Diskussion

Syftet med denna studie var att undersöka hur individfaktorer som längd, vikt, ålder och graviditet påverkar utfallet vid trafikolyckor, med särskilt fokus på hur moderna fordonssystem samverkar med dessa faktorer. Resultaten pekar på att dagens säkerhetssystem inte nödvändigtvis är optimerade för hela befolkningen, vilket väcker frågor kring jämlikhet och inkludering i ingenjörsdesign.

I det följande diskuteras varje delämne separat för att tydliggöra hur varje grupp på egen hand påverkar skadeutfallet. Diskussionen väger även in tidigare forskning, metodologiska överväganden och studiens begränsningar. Avslutningsvis lyfts övergripande reflektioner kring framtida forskningsbehov och potentiella förbättringsområden i fordonsutveckling.

5.1 Gravida passagerare

Analysen visar att gravida passagerare i trafiken är en utsatt grupp vilket överensstämmer med tidigare forskning som påvisar att traumatiska skador vid fordonskollisioner är den mest livshotande formen av trauma under graviditeten [6]. En intressant observation av resultatet är att den vanligaste kroppsdelen som skadas hos gravida passagerare i studien är knäna. Dessa skador är i de flesta fall lindriga med ett MAIS-värde mindre än 3, men kan ändå ha betydelse för gravida då även mindre påverkan kan leda till komplikationer. Skador på nedre delen av kroppen är även i tidigare studier kopplade till kontakt med inredningen i bilen, som instrumentpanel eller ratt [7].

När vi undersöker skillnader mellan trimestrarna framgår det tydligt att skadorna tenderar att bli mer allvarliga i tredje trimestern (figur 4.3). Här är fördelningen mellan MAIS 1-5 jämnare än i första och andra trimestern. Detta kan kopplas till den ökade komplexitet som uppstår när magen växer och påverkar hur bältet placeras. Som tidigare forskning har visat [8] leder den förändrade kroppen ofta till att axelremmen inte ligger korrekt, utan istället hamnar på sidan eller över halsen. Detta kan påverka hur kraften fördelas vid en kollision och leda till mer allvarliga skador, något som våra resultat tyder på.

I tredje trimestern ser vi att kombinationen av bälte och krockkudde är kopplade till högre MAIS värden (figur 4.5), vilket kan tyda på att säkerhetssystemen inte är optimalt anpassat för långt gången graviditet, eller att de används felaktigt. Folk-

sam har i en enkät visat att 39% av gravida använder säkerhetsbältet fel och att majoriteten saknar information om hur det ska användas korrekt [9]. Bältesanvändning har däremot när man inte analyserar varje trimester var för sig, visat sig vara kopplad till en lägre risk för ett högt MAIS värde (figur 4.4). Detta överensstämmer med det Lotta Jakobsson vid Volvo Cars har poängterat att bältet i sig inte är farligt, det är avgörande för skyddet, men att korrekt placering är helt nödvändigt för att uppnå full effekt [9]. Detta tyder på att det inte är säkerhetssystemet i sig som brister, utan hur det har använts. Vår analys visar även att krockkuddens utlösning har en skyddande effekt, då den är kopplad till lägre risk för allvarliga skador (figur 4.4).

Resultatet (figur 4.5) visar att avsaknad av både säkerhetsbälte och krockkudde är förknippad med en linjär ökning i risken för allvarlig skada i takt med att graviditeten fortskrider. Denna risk är högre jämfört med situationer där båda säkerhetssystemen har använts. Detta tyder på att säkerhetsbälte och krockkudde har en skyddande effekt vid kollisioner, då de motverkar passagerarens framåtrörelse och därmed minskar risken för att den gravida personen slår i ratten eller instrumentpanelen. Det bekräftar säkerhetsexperters syn på att bälte och krockkudde samverkar för att fördela kraften vid en kollision [9].

Vi ser även att längd påverkar risken för allvarliga skador, kortare gravida kvinnor har en högre sannolikhet för höga MAIS värden, medan längre kvinnor har en lägre risk (figur 4.4). Detta är i linje med tidigare forskning som visar att säkerhetssystem, inklusive bälten och krockkuddar, inte alltid är designade för kortare kroppar, vilket kan påverka både komfort och skydd [8].

Det är också viktigt att lyfta datans begränsningar, då databaserna saknar mycket information om längd, vikt, typ av krock osv. Detta limiterar datan och många fall räknas därför inte med på grund av den bristande informationen. En konsekvens av detta skulle kunna vara att resultatet inte är helt pålitligt eftersom den förlorade datan kan ha innehållit information som antingen förstärker eller säger emot det resultat vi fick. Datan har också generellt väldigt få fall med gravida passagerare och en andel av fallen har okänd trimester, vilket ytterligare försvårar att kunna dra tydliga slutsatser om graviditetsstadiets effekt. Dessutom finns det risk för mörkertal, då tidiga graviditeter ofta inte är kända vid olyckstillfället [10], vilket gör att det faktiska antalet gravida som skadats kan vara högre än vad statistiken visar.

Sammanfattningsvis bekräftar våra resultatet mycket av det som tidigare forskning har lyft fram, men det understryker också behovet av förbättrad information till gravida passagerare, särskilt kring korrekt bältesanvändning. Resultaten belyser även behovet av att vidareutveckla säkerhetssystemen för att bättre skydda gravida, särskilt kortväxta individer och kvinnor i tredje trimestern.

5.2 Barn under 16 år

Resultaten på modellerna tyder på att det finns ett stort antal faktorer, både kontextuella och individuella, som spelar en betydande roll för skaderisken för barn och

tonåringar. Något som syns i resultatet är att krockkuddar inte är en orsak till ökad skada, trots att allvarliga skador är kopplade till utlösning av krockkudde.

Ett tydligt resultat i figur 4.8 är hur risken för allvarlig skada utan bälte ökar med åldern. Detta kan förklaras av tidigare studier [19] där barnens snabba tillväxt innan puberteten bidrar till en ökad rörelseenergi. Denna ökning ger en negativ effekt när inget skydd används, vilket leder till att äldre barn och tonåringar har större risk att bli allvarligt skadade. Dessutom visar studier att barn som inte använder säkerhetsbälte utsätts för nio gånger större risk för allvarliga skador om de sitter i framsätet, och två gånger större risk om de sitter i vänstra baksätet, jämfört med om de hade använt bälte [16]

Resultatet visar att bilbarnstolar inte har en tydlig skyddseffekt mot skador. Detta kan se motsägande ut, men det kan finnas ett antal orsaker till detta resultat. Genom arbetet i modellen har man inte tagit hänsyn till specifikationer kring produktmodellen för bilbarnstol. Eftersom bilbarnstolar inte skiljdes mellan bälteskuddar och barnstolar för spädbarn, framåtlutade eller bakåtlutade, går det inte med säkerhet att dra slutsatser kring deras individuella effektivitet. Tidigare studier [12] har även visat att en stor del av både erfarna användare, samt nybörjare till bilbarnstolar hanterar dem på fel sätt vilket skapar ytterligare en utmaning med att mäta systemens säkerhet. Studier [20] visade även att alla olika modeller på bilbarnstolar bidrar till olika skyddsfaktorer, som i sin tur påverkas av barnens ålder, vikt, höjd, och placering. Genom att ej ta detta i beaktning kan det ha lett till en generaliserad bild av bilbarnstolars roll i resultatet, där regressionen inkluderar alla typer av bilbarnstolar. Trots detta resultat visar den statistiska modellen en obetydlig skillnad i säkerhet mellan bilbarnstolar med bälte, och endast bälte. Detta visar även på samma sak som tidigare studier [17] som menar att bälteskuddar snarare ökar risken för skador än att minska risken.

Placering i baksätet visade lägre skaderisk i figur 4.7. Den visar även att risken för allvarliga skador nästan är dubbelt så hög i framsätet, vilket visar på samma sak som tidigare studier [20] har sagt, att barn ska sitta i baksätet, detta då krockkudden kan bidra negativt istället för positivt hos barn.

Andra viktiga variabler är bland annat krockkudden, vilket kan ses i tabell 4.4. Krockkudden fungerade som indirekt indikator för olyckans allvar. Att kudden inte utlöstes minskade risken för allvarliga skador, vilket tyder på att dessa olyckor generellt är mindre allvarliga. Den enskilt starkaste riskfaktorn var krockhastigheten, där effekten vid 31–60 km/h redan var tydlig, men vid hastigheter över 60 km/h blev den markant. Detta överensstämmer även med tidigare studier [18] som säger att den kinetiska energin vid bilkrascher bildas kvadratiskt med fordonets hastighet.

Administrationen för trafiksäkerhet i USA rekommenderar ett användande av bälteskudde upp till 12 års ålder [20], men endast upp till nio års ålder var dokumenterat i datan. Detta kan ha skapat ett resultat som saknar viss information då det ej var möjligt att analysera effekten av bälteskuddar för barn mellan 10 och 12 år. Att

informationen inte fanns dokumenterat i datan kan vara ett resultat av att ingen över nio års ålder använde en bälteskudde, vilket tyder på att människor inte alltid följer officiella rekommendationer.

Iakttagelserna i resultatet tyder på säkerhetsbrister kring utrustning avsedda för barn. Det är även viktigt att poängtera hur resultatet kan ha påverkats av förarnas egna vanor och ansvarstagande kring säkerheten för barn. Även här skapas en svårighet med att tydligt tolka resultatet, då det kan tyda på kunskapsbrister kring säkerhetssystem gentemot effekten av korrekt installerade bilbarnstolar, vilket kan bidra till att användningen av bilbarnstolar för barn blir farligare än användningen utan [17].

5.3 Antropometri

Att medellängden på personerna i datan är 170.5 cm är logiskt då medellängden för män i USA är 69 inches vilket är 175 cm [33]. På grund av att datan har nästan lika många män och kvinnor enligt 4.12 borde den vara kortare än medellängden för män. Procentuellt är 32.1% av personerna i datan övervikt, 26.6% har fetma och 6.4% har sjuklig obesitas. Detta överensstämmer i vissa delar med hur det ser ut i USA idag då det är 30.7% överviktiga, och 9.2% sjuklig obesitas, men skiljer sig åt i de som har obesitas (42.4%) [5].

Resultaten av modellen som visas i tabell 4.5 visar att ett samband mellan kroppsvikt och skadenivå, vilket överensstämmer med tidigare forskning [22]. Det framgår att de skadade personerna i genomsnitt väger mer än de oskadda. Modell (tabell 4.6) är kopplingen mellan vikt och skadenivå inte lika pålitlig vilket gör det svårt att dra en slutsats.

Modellerna som visas i tabell 4.5 och tabell 4.6 visar också ett tydligt samband mellan längd och vikt, vilket är väntat och överensstämmer med verkligheten. Det är också den starkaste prediktor för vikt i båda modellerna. Ett visst samband mellan vikt och ålder identifierades också, men detta var svagare än sambandet med längd.

Den ökade andelen allvarligt skadade bland längre individer kan sannolikt förklaras av sambandet mellan vikt och längd. Eftersom längd är starkt kopplad till vikt, finns det en risk att längd felaktigt framstår som en direkt riskfaktor för skada, när det i själva verket är kroppsvikten som driver sambandet. Enligt [25] personer som är 160 cm eller kortare har en högre risk för allvarligare huvudskador vilket inte stämmer överens med resultat från figur 4.14. Det kan bero på att det är en hyfsat gammal studie. Skillnaden kan även vara p.g.a att studien är gjord från data i Storbritannien medan denna studie är baserad på data från USA.

Eftersom modell (tabell 4.5) inte inkluderar oskadda personer, är det inte möjligt att jämföra dessa med skadade, till skillnad från modell (tabell 4.5). Därför kan vi i modellen (tabell 4.6) endast analysera sambandet mellan vikt och olika nivåer av

skada, AIS-nivåer.

Kön visade inte något tydligt samband med vikt i modellerna, även om sambandet var något starkare i modell (tabell 4.5). En oväntad upptäckt var att skillnaden i vikt mellan män och kvinnor enligt modellerna till stor del kunde förklaras av längd. Detta väcker frågor kring datakvaliteten och vad som mäts. Vikt och längd är relevanta variabler i denna typ av studie, men den fångar inte kroppens sammansättning. Variabler som muskelmassa och kroppsfett saknas och viktvariabeln i sig speglar inte kroppskonstitutionen tillräckligt väl. Denna brist försvårar också jämförelser mellan könen, eftersom män och kvinnor kan ha olika kroppssammansättningar.

Modellerna har ej beaktat kollisionstyp eller kollisionsvinkel, detta för att skapa en mer översiktlig modell av hur vikt och längd påverkar skadegrad. Detta är dock en begränsning, då olika typer av kollisioner har varierande krockdynamik, vilket kan vara relevant att ta hänsyn till när antropometrins koppling till skadegrad undersöks. En mer detaljerad analys av kollisionstyper hade möjligen kunnat identifiera specifika scenarier där antropometriska faktorer har störst betydelse. Detsamma gäller fordonstyp, som inte heller inkluderades i analyserna, vilket kan ha begränsat resultatens bredd.

Dataunderlaget för vissa skadegrader, särskilt MAIS = 6, var begränsat. Det innebär att estimering för denna grupp kan vara mer osäker och uppvisa stor varians. I många fall korsade *hdi*-intervallet noll, vilket ytterligare förstärker osäkerheten. För att undvika överanpassning valdes ett urval från den större datamängden med fler instanser av MAIS = 6, men detta påverkade modellens prestanda. En möjlig förbättring hade varit att justera samplingsstrategin för att inkludera fler fall från underrepresenterade skadegrader, samtidigt som risken för överanpassning hanteras.

PPC-plottarna för modellerna (figur 4.16 och figur 4.21) visar skillnader i modellernas prestanda. Den mer specialiserade modellen för huvud- och ansiktsskador visade bättre överensstämmelse med de observerade data än den generella modellen. Detta tyder på att mer fokuserade modeller kan ge bättre estimering av viktens betydelse. En möjlig väg framåt vore därför att bygga ytterligare specialiserade modeller för olika skadetyper, även om detta kräver ytterligare undersökningar för att fastställa prestanda om det verkligen skulle ge förbättrad prestanda.

6

Slutsats

Fordonssäkerhetssystem baseras idag på standardiserade kroppsmodeller som inte representerar den mänskliga mångfalden, vilket skapar en systematisk säkerhetsbrist för avvikande grupper. Studien identifierar återkommande mönster för hur antropometriska faktorer påverkar skadeutfall vid trafikolyckor, oavsett om det gäller kroppsvikt, graviditet eller ålder. Det grundläggande problemet är inte säkerhetstekniken i sig, utan snarare att utveckling och testning utgår från begränsad representation av kroppstyper.

Undersökningen visar att skillnader i kroppsstorlek korrelerar med skadeutfall, där interaktionen mellan säkerhetsutrustning och olika kroppstyper skapar oförutsedda riskfaktorer. Resultaten belyser även att bristande kunskap om korrekt användning av säkerhetsutrustning förvärrar situationen för flera sårbara grupper, vilket är särskilt tydligt för gravida kvinnor och barn.

För att bemöta dessa utmaningar krävs en omfattande förändring inom fordonssäkerhetsutveckling. Istället för att optimera system för en genomsnittlig referensmodell behövs ett dynamiskt tillvägagångssätt som inkluderar hela spektrumet av mänskliga kroppstyper och tillstånd. Detta innefattar utökade testkriterier, anpassningsbara säkerhetslösningar samt förbättrad utbildning kring korrekt användning.

Studien visar vikten av att integrera både tekniska och beteendemässiga faktorer i säkerhetsarbetet. Genom att inkludera större antropometrisk variation i utvecklingsprocessen kan fordonsäkerheten förbättras för alla passagerare.

6.1 Gravida passagerare

Gravida passagerare utgör en särskilt sårbar grupp i trafiken, där både kvinnan och fostret riskerar allvarliga skador vid en kollision. Vår analys visar att skador oftast är lindriga, men att allvarlighetsgraden ökar i takt med graviditetens progression, särskilt under tredje trimestern. Resultaten indikerar att säkerhetsutrustning som säkerhetsbälte och krockkudde inte alltid ger det skydd som avses, vilket i flera fall kan förklaras av felaktig användning eller/och bristande anpassning till gravida kroppar.

Kopplingen mellan kort kroppslängd och ökad skaderisk pekar på att dagens säkerhetssystem inte är tillräckligt inkluderande. Dessutom bekräftar resultaten tidigare

uppgifter om felanvändning av säkerhetsbälte bland gravida, vilket ökar behovet av riktad information och utbildning.

Eftersom gravida passagerare inte är inkluderade i samma utsträckning i framtagningen av säkerhetssystemen är resultatet inte förvånande att denna grupp har en högre risk att skadas av just utrustningen i bilen. För att minska riskerna för gravida i trafiken behövs mer forskning, men även konkreta åtgärder. Bättre designade säkerhetssystem, tydliga riktlinjer för korrekt bältesanvändning och ökad medvetenhet bland gravida själva samt vårdpersonal som kan sprida informationen. Det bör även bli standard att använda den gravida test-docka som finns i alla tester för att kunna öka säkerheten i bilar för just denna grupp.

6.2 Barn under 16 år

Resultatet visar hur barn och ungas fordonssäkerhet behöver appliceras dynamiskt och anpassas efter deras behov. Undersökningen visar att barn och ungas skaderisk i trafiken påverkas av en kombination av biologiska faktorer och tekniska begränsningar. Ålder har en särskilt tydlig koppling till skaderisk, där risken ökar för äldre barn utan bälte. Detta visar på ett samband som förstärks av ökad kroppsmassa och rörelseenergi vid kollision. Samtidigt medför framsätet nästan dubbelt så hög skaderisk som baksätet, vilket tydliggör hur säkerhetssystem utvecklade för vuxna inte omsluter barns fysiologi.

Bilbarnstolar visade inte på en entydigt skyddande effekt i modellen. Det kan dock inte med säkerhet tolkas som att de är ineffektiva i sig, utan snarare som en följd av att bilbarnstolar av olika typer, åldersgrupper och användningssätt analyserats som en homogen kategori. Att såväl erfarna som oerfarna användare ofta installerar bilbarnstolar fel tyder på att kunskapsbrist och felanvändning är centrala faktorer som kan underminera skyddet.

Resultaten belyser därmed ett strukturellt problem i dagens fordonssäkerhetssystem, där utrustning och testning fortfarande i stor utsträckning inte testas på ungdomliga kroppstyper. Barns kroppsstorlek, position i bilen och utvecklingsstadium varierar kraftigt, och är därför särskilt problematisk. För att minska barns skaderisk i trafiken krävs därför en mer inkluderande säkerhetsutveckling där testkriterier breddas för barn, systemens design individualiseras, och kunskapen hos vårdnadshavare förstärks.

6.3 Antropometri

Resultatet visar att längd har en stark koppling till vikt vilket stämmer väl överens med hur det ser ut i praktiken. Modellerna påvisade även att det fanns ett positivt samband mellan vikt och ålder men detta samband skiljde sig mellan de två mer komplexa modellerna då ålder tycks ha en svagare koppling till vikt för huvud-/ansiktsskador. En ytterligare konkret koppling visade sig vara mellan dvtotal och

vikten då denna variabel i båda modellerna hade ett tydligt negativt samband med vikt.

Undersökningen hade dragit stor nytta av att inkludera aspekter som kroppskomposition vilket begränsade förmågan att verkligen undersöka skillnaden mellan olika kroppstyper samt män och kvinnor. Trots denna svaghet gick det att få fram informativa samband, exempelvis att det visade sig att skadade individer vägde mer än de som inte skadat sig generellt sett och att personer väger mer i takt med att skadegraden ökar. Detta samband framgick dock inte modellen som använde AIS då variablen inte inkluderar oskadda personer, men det som gick att se är att vikten inte tycks öka i takt på samma sätt med AIS som för MAIS då AIS för huvud- och/eller ansiktsskador tycktes ha en negativ korrelation med vikt dvs att vikten minskade i takt med att skadegraden ökade, detta samband framgick tydligast för männen. Resultaten antyde också på att MAIS potentiellt har en starkare koppling till vikt för kvinnor än för män men vidare undersökning hade krävts för mer konkreta slutsatser gällande det.

Resultaten överlag lyfter fram vikten av att designa och testa säkerheten i bilar utefter en bredare mängd antropometriska attribut, istället för att basera bedömning av säkerhet på krockdockor som är designade efter en genomsnittlig person. Resultatet illustrerar även vikten av att undersöka olika skadetyper var för sig då detta samband kan skiljas drastiskt som i fallet med AIS och MAIS då ett ökande AIS värde tycktes ha en negativ korrelation till vikt samtidigt som ett ökande MAIS hade en positiv korrelation till vikt, dock är AIS effekt på vikt mindre statistiskt signifikant än MAIS. Den övergripande slutsatsen som går att dra utifrån detta är att generella tester av fordonsäkerhet för passagerare för med sig en risk att missa dessa potentiella nyanserna som möjligtvis kan leda till att individer som inte faller inom snitten blir extra utsatta ur ett fordonsäkerhets perspektiv.

Litteratur

[1] World Health Organization. *Road traffic injuries*. eng. URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries (hämtad 2025-02-18).

[2] NDTV. *World's First Female Crash Test Dummy Designed By Swedish Engineer*. eng. URL: https://www.ndtv.com/world-news/worlds-first-female-crash-test-dummy-designed-by-swedish-engineer-4407027 (hämtad 2025-02-18).

[3] National Highway Traffic Safety Administration. *NHTSA's Crash Test Dummies*. Available online. URL: https://www.nhtsa.gov/nhtsas-crash-test-dummies (hämtad 2025-02-27).

[4] National Heart, Lung, and Blood Institute. *Calculate Your BMI - Metric BMI Calculator*. Available online. URL: https://www.nhlbi.nih.gov/health/educational/lose_wt/BMI/bmi-m.htm (hämtad 2025-02-27).

[5] National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. *Overweight & Obesity Statistics*. Available online. URL: https://www.niddk.nih.gov/health-information/health-statistics/overweight-obesity (hämtad 2025-02-27).

[6] P. Petrone m. fl. *Traumatic injuries to the pregnant patient: a critical literature review*. [Åtkomstdatum: 31 Mar 2025]. Juni 2019. DOI: 10.1007/s00068-017-0839-x. URL: https://doi.org/10.1007/s00068-017-0839-x.

[7] S. Duma. *Pregnant Occupant Biomechanics: Advances in Automobile Safety Research*. SAE International, 2011.

[8] M. Hitosugi m. fl. "Shorter pregnant women restrained in the rear seat of a car are at risk for serious neck injuries: Biomechanical analysis using a pregnant crash test dummy". I: *Forensic Sci. Int.* 291 (okt. 2018). [Åtkomstdatum: 31 Mar 2025], s. 133–137. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.08.033. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073818306662.

[9] NTF Väst och SAFER. *Bältesanvändning för gravida – hur rätt information kan rädda liv*. Seminariepresentation. 2025-04-29.

[10] C. J. Vladutiu och H. B. Weiss. "Motor vehicle safety during pregnancy". I: *Am J Lifestyle Med* 6.3 (2012). [Åtkomstdatum: 31 mars 2025], s. 241–249. DOI: 10.1177/1559827611421304. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3662299/.

[11] Dennis R. Durbin och Benjamin D. Hoffman. "Child Passenger Safety". I: *Pediatrics* 142.5 (2018). [Åtkomstdatum: 31 Mar 2025], e20182460. DOI: 10.1542/

peds.2018-2460. URL: https://publications.aap.org/pediatrics/article/142/5/e20182460/38530/Child-Passenger-Safety.

[12] Yi-Fang D. Tsai och Michael Perel. *Drivers' Mistakes When Installing Child Seats*. Tekn. rapport. NHTSA, 2009.

[13] Bridget Lang Findlay m. fl. "Children after motor vehicle crashes: Restraint utilization and injury severity". I: *Journal of Pediatric Surgery* 54.7 (2019). [Åtkomstdatum: 31 Mar 2025], s. 1411–1415. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2018.10.046. URL: https://www.jpedsurg.org/article/S0022-3468(18)30669-9/abstract.

[14] Mark R. Zonfrillo m. fl. "Motor Vehicle Crash–Related Injury Causation Scenarios for Spinal Injuries in Restrained Children and Adolescents". I: *Traffic Injury Prevention* 15.sup1 (2014). [Åtkomstdatum: 31 Mar 2025], S49–S55. DOI: 10.1080/15389588.2014.934959. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4841261/.

[15] B. A. West m. fl. "Belt fit for children in vehicle seats with and without belt-positioning boosters". I: *Traffic Injury Prevention* 23.8 (nov. 2022), s. 488–493. DOI: 10.1080/15389588.2022.2112676. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15389588.2022.2112676.

[16] Stephen I Halman m. fl. "Are seat belt restraints as effective in school age children as in adults? A prospective crash study". I: *The BMJ* (maj 2002). DOI: 10.1136/bmj.324.7346.1123. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC107902/.

[17] Xiaoguang Ma m. fl. "Effectiveness of Booster Seats Compared With No Restraint or Seat Belt Alone for Crash Injury Prevention". I: *Academic Emergency Medicine* 20.9 (sept. 2013), s. 880–887. DOI: 10.1111/acem.12204. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/acem.12204.

[18] Traffic Safety Data och Analysis Group. *Speed and Crash Risk*. Tekn. rapport. International Transport Forum, 2018.

[19] Mary L. Gavin. *Growth and Your 6- to 12-Year-Old*. https://kidshealth.org/en/parents/growth-6-12.html. [Åtkomstdatum: 01-Maj-2025]. 2019.

[20] National Highway Traffic Safety Administration. *Car Seats and Booster Seats*. https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/car-seats-and-booster-seats. Accessed: May 2, 2025. 2025.

[21] Svenska Akademien. *antropometri*. https://www.saob.se/artikel/?unik=A_1757-0242.lDp9. [Online]. Accessed: May 12, 2025. 2025.

[22] J. Bellal m. fl. "Obesity and trauma mortality: Sizing up the risks in motor vehicle crashes". I: *Obesity Research and Clinical Practice* 11.1 (jan. 2017), s. 72–78. DOI: 10.1016/j.orcp.2016.03.003. URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84961226828&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2C%22Traffic+Accident%22%2Ct%2C%22Anthropometry%22%2Ct&s=TITLE-ABS-KEY%28obesity+AND+crash%29&sessionSearchId=df15c6508a57d4d28085a4e2daec7df7&relpos=28.

[23] C. Pal m. fl. "Effect of weight, height and BMI on injury outcome in side impact crashes without airbag deployment". I: *Accident Analysis Prevention* 72 (nov. 2014), s. 193–209. DOI: 10.1016/j.aap.2014.06.020.

[24] J. Hu m. fl. *Effects of body shape on restraint effectiveness: A parametric study using human body models*. Åtkomstdatum: 12-05-2025. 2017. URL: https://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Hu_2017_IRCOBI_body_shape_effects.pdf.

[25] R. Welsh, A. Morris och L. Clift. "The effect of height on injury outcome for drivers of European passenger cars". I: *Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine* 47 (2003), s. 401–416.

[26] National Highway Traffic Safety Administration. *About NHTSA*. https://www.nhtsa.gov/about-nhtsa. Åtkomstdatum: 02-05-2015. 2025.

[27] Vikas Kanade. *What Is Logistic Regression? Equation, Assumptions, Types, and Best Practices*. https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-logistic-regression/. Åtkomstdatum: 02-05-2025. April 2022.

[28] Eric W. Weisstein. *Bernoulli Distribution*. https://mathworld.wolfram.com/BernoulliDistribution.html. Åtkomstdatum: 02-05-2025. n.d.

[29] Very Normal. *Explaining linear regression | VNT #13*. https://www.youtube.com/watch?v=14mkCpJ7tKs. Åtkomstdatum: 13-05-2025. Okt. 2024.

[30] Very Normal. *The better way to do statistics | Bayesian 1*. https://www.youtube.com/watch?v=3jP4H0kjtng. Åtkomstdatum: 13-05-2025. April 2024.

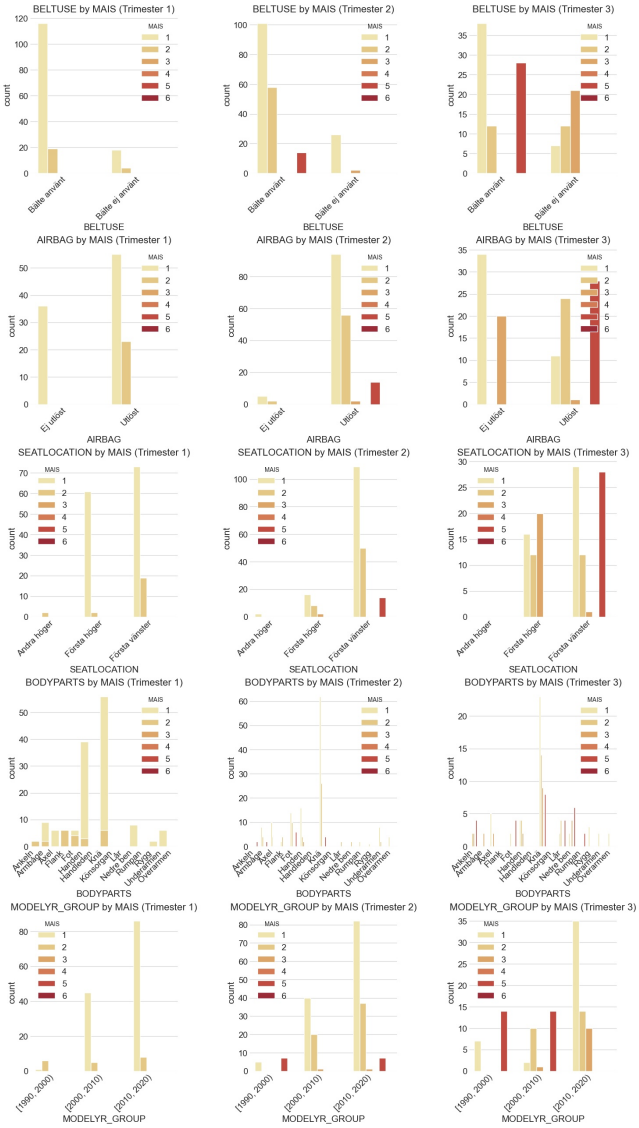
[31] BB Stockholm. *Fjärde trimestern*. https://www.bbstockholm.se/kunskapsbank/fjarde-trimestern. Publiserad: 13 Jan. 2025. [Åtkomstdatum: 07-Apr-2025]. Jan. 2025.

[32] Riksförbundet M Sverige. *M Sveriges information om körkort i USA*. https://msverige.se/resa-med-bil/bila-utomlands/bila-i-usa-och-kanada/korkortsregler-i-usa/. [Åtkomstdatum: 07-04-2025].

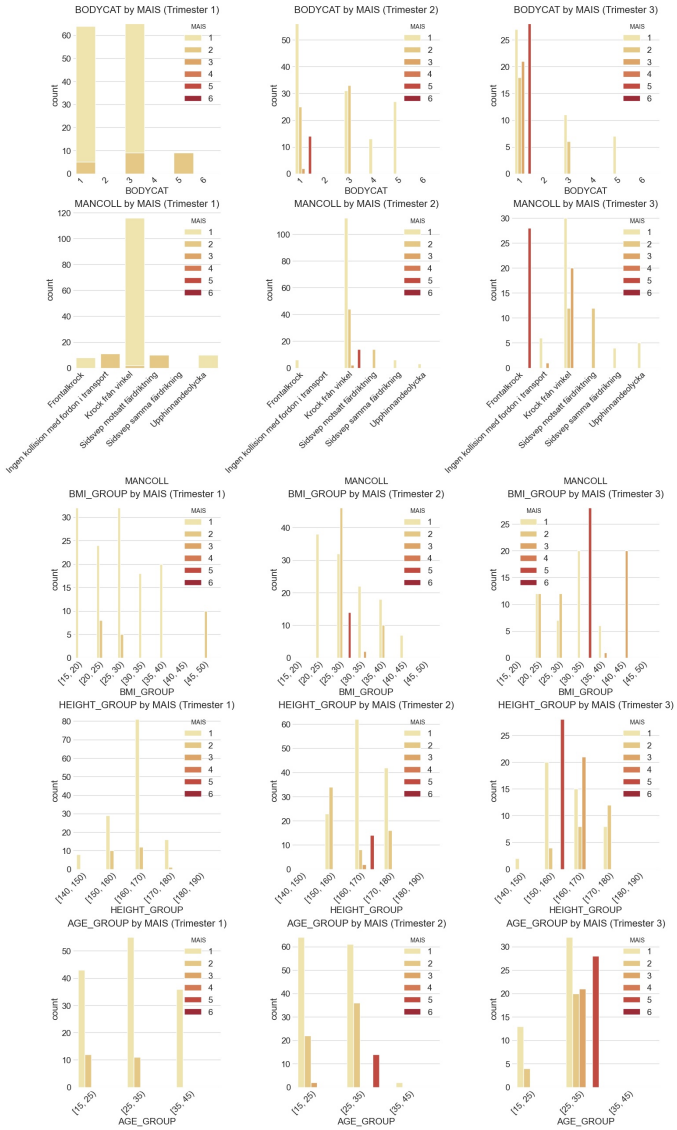
[33] Centers for Disease Control and Prevention. *Body Measurements: National Center for Health Statistics*. Åtkomstdatum: 2025-05-04. 2021. URL: https://www.cdc.gov/nchs/fastats/body-measurements.htm.

A

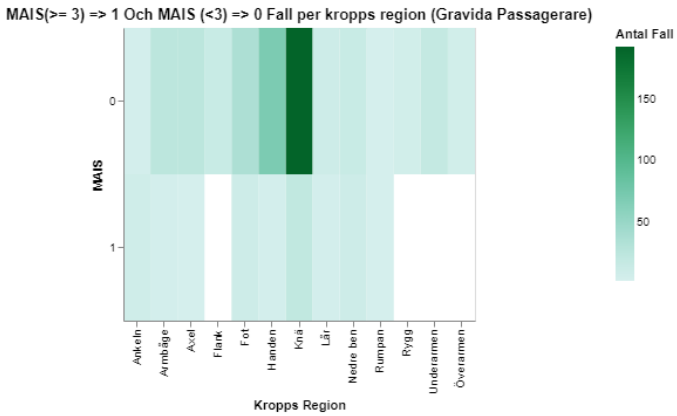
Appendix 1



Figur A.1: Histogram för MAIS och bältesanvändning, utlöst krockkudde, sittplats i bilen, skadad kroppsdel samt årsmodell på bilen för vardera trimester



Figur A.2: Histogram för MAIS och typ av bil, typ av kollision, BMI, längd samt ålder för vardera trimester



Figur A.3: Heatmap: låg/hög MAIS och skada per kroppsdel, antal fall

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se

CHALMERS