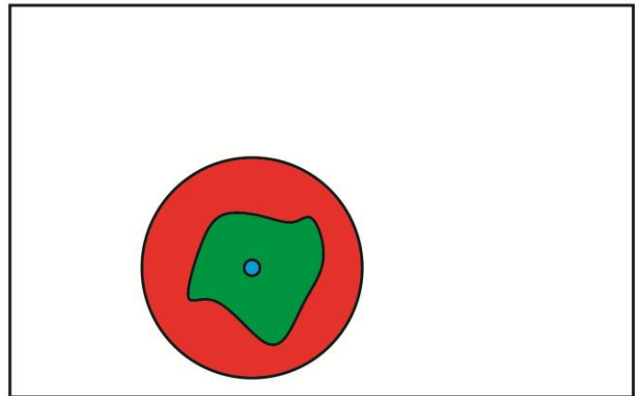
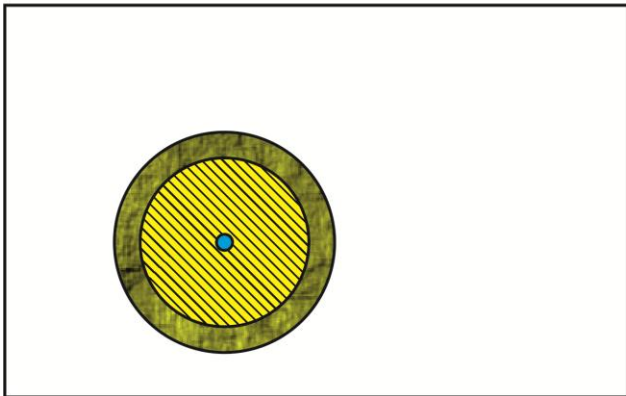
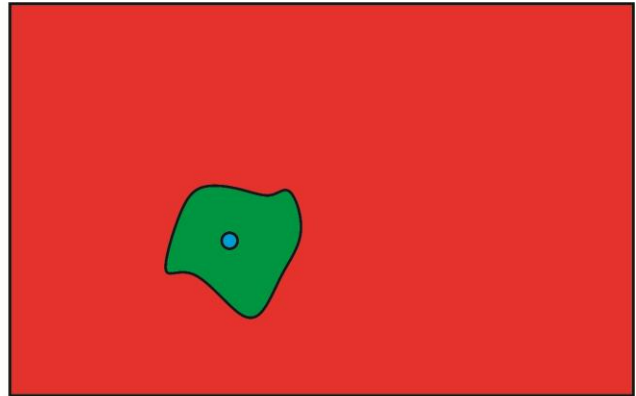
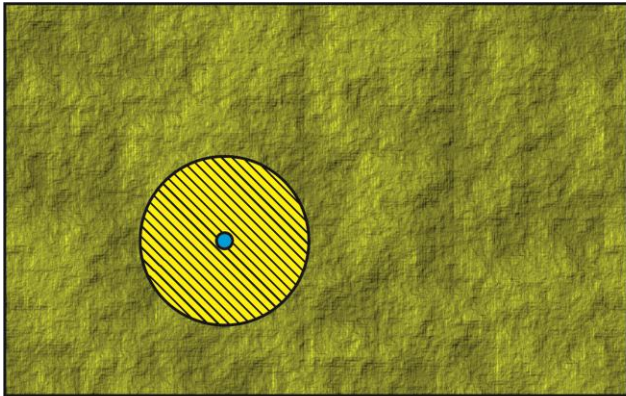


ADAS HORIZON OG STOPSIGT



Skrevet af:

Thomas Uhre Pedersen

Speciale (10 semester): Landinspektør studiet

L-SN, Aalborg Universitet

Marts 2012

Vejledere: Jens Juhl og Jens Peter Cederholm

1 Forord

Denne rapport er skrevet i forbindelse med mit speciale på Aalborg Universitet, hvor jeg igennem de sidste mange år har læst til landinspektør. Valget af projektets tema, er truffet pga. et ønske om at lære noget, som ligger i periferien af hvad der undervises i på landinspektørstudiet, men alligevel efterspørges i de jobstillinger, hvor en landinspektør nævnes som mulige kandidater til stillingen.

Alle henvisninger angives i slutnoter, som kan findes i en liste sidst i rapporten. Mht. litteraturhenvisninger angives, hovedforfatterens navn, den bagvedliggende institution samt titel og årstal. Hvis kun en mindre del af litteraturen findes relevant angives sidenummer. Mht. hjemmesider, så angives foruden adressen (URLen) udelukkende, hvilken institution som står bag. Bilag findes i bilagsafsnit og/eller på den vedlagte CD. På CDen findes desuden den anvendte litteratur i pdf format.

Projektets sammenhæng og indhold omhandler definition af en konkret problemstilling, og på baggrund af denne problemstilling fremsættes en løsningsmetode. Slutteligt efterprøves den fremsatte løsningsmetode. I rapporten opfordres læseren til at bemærke definitioner, som fastsættes undervejs, da disse er vigtige for forståelsen af løsningsforslaget.

Jeg vil ønske læseren god læselyst..

Med venlig hilsen

Thomas Uhre Pedersen, 29-12-2012

Indholdsfortegnelse

1 Forord	2
2 Indledning	5
2.1 Om hastighed, ulykker og oversigtsforhold	6
3 Initierende problembeskrivelse	9
3.1 Menneskeligt bestemte faktorer	10
3.2 Miljøbestemte faktorer	11
3.3 Opsummering og vurdering	11
3.4 Initierende problemformulering	12
4 Eksisterende løsninger	13
4.1 ADAS Sensor Horizon	13
4.2 ADAS Map Horizon	15
4.3 ADAS Hybrider og Samarbejdende systemer	17
4.4 Opsummering og vurdering	19
5 Problemformulering	21
5.1 Stopsigtskort	21
5.2 Undersøgelse af problemløsningens kvalitet	22
6 Konceptbeskrivelse	23
6.1 Procesbeskrivelse vedr. online fase	24
6.1.1 Mapmatching	24
6.1.2 Snap til punkt (til og fra)	26
6.1.3 Bestem hastighed	26
6.1.4 Fremskriv position	26
6.1.5 Find sikker hastighed i stopsigtskortet	27
6.2 Procesforløb vedr. offline fase	27
6.2.1 Lav Id-punkter	28
6.2.1.4 Oversigtsarealer	30
6.2.2 Oversigtsberegninger	31
6.2.2.1 Metoder	32
6.2.3 Klip vejlinjer og find vejender	34
6.2.4 Snap til Id-punkt	34

ADAS Horizon og Stopsigt

Indholdsfortegnelse

6.2.5 Beregn korteste rute	35
6.2.6 Rutelængde til id-punkt.....	36
6.2.7 Beregn hastighed.....	36
7 Komponentbeskrivelse	40
7.1 Positionering.....	40
7.2 Overflademodel	41
7.3 Vejkort	41
8 Udarbejdelse af stopsigtskort.....	43
8.1 Værktøj til automatisk kortproduktion	43
8.1.1 Programmering eller GIS?.....	43
8.1.2 ArcGIS	43
8.2 ArcGIS modeller	44
8.2.1 Klargøring af data	44
8.2.2 Simplificeringer, afgrænsninger og fravalg ift. konceptbeskrivelsen	45
8.2.3 Beskrivelse af rutiner (ArcGIS - Modelbuilder).....	45
9 Vurdering af stopsigtskortet.....	46
9.1 Definition af kontrolområder	46
9.2 Nøjagtighedsvurdering	46
9.2.1 Estimering af spredning.....	47
9.2.2 Plan- og Kotefejl.....	48
9.4 Opsummering og vurdering af resultater	55
9.5 Resulterende data	56
9.6 Vurdering af beregningstid vedr. ArcGIS	56
10 Diskussion	60
11 Konklusion	63
13 Henvisninger	65

2 Indledning

En torsdag i maj 2011 trængte jeg til at slappe lidt af. Det var en dejlig dag med godt vejr, og da vinteren havde været hård og kold trængte jeg til at komme lidt ud og få lidt frisk luft. Så jeg besluttede at køre en tur til Skagen med en kammerat for at nyde en sandwich med laks med dertilhørende cola og softice til dessert. Vejen derop består hovedsageligt af motorvej, så jeg mente ikke at turen derop ville blive noget problem. Desværre viste køreturen sig at gemme på en grim overraskelse.

Vejdirektoratet var på daværende tidspunkt ved at gøre klar til at lægge ny asfalt på strækningen. Men selvom det egentlige vejarbejde ikke var påbegyndt endnu, og hverken vejarbejdere eller deres redskaber var ankommet endnu, så var der opstillet midlertidige kantpæle og antallet af farbare spor på vejen var reduceret fra 2 i hver retning til 1 i hver retning. I den forbindelse var der afsat midlertidig hastighedsbegrænsning på 50 km/t. Der var ikke anden trafik på vejen, og oversigtsforholdene var ganske udmærkede. Da der ikke var nogen umiddelbar risiko forbundet med bilens nuværende, undlod jeg at bremse og nøjes i stedet med at løfte foden lidt fra speederen, og derved gradvist lade bilen tabe farten. I det samme øjeblik kom der pludselig et svagt blink fra en varebil, som holdt parkeret på den anden side af midterrabatten. Til min store ærgrelse viste det sig at være en af politiets fartfælder. ØV!



Figur 1 : Foto fra automatisk trafikkontrol

Da vi et halv times tid senere nåede til Skagen, smagte den lækre sandwich alligevel ikke særlig godt, og det ellers så fine solskinsvejr var blevet skide koldt. Dagen var ødelagt.. Det resterende af dagen blev brugt på at filosofere over, hvilken hastighed bilen var blevet målt til, og hvorfor pokker den fartfælde var parkeret der, hvor der ikke var den mindste grund til at frygte ulykker. Vejen var jo fuldt overskuelig hundredevis af meter foran bilen og flere meter til hver side, der var ingen trafik hverken foran eller bagved og vejtemperaturen lå et godt stykke over 8 grader. Da fotodokumentationen for min forseelse dumpede ned i min postkasse et par uger senere, viste det sig at heldigvis, at jeg kunne nøjes med et klip og en bøde. Nu skulle jeg blot betale bøden, og så behøvede jeg ikke at bekymre mig mere over det. Men episoden havde alligevel sat nogle tanker i gang i mig. Hvorfor havde fartgrænsen været så lavt, når det nu var motorvej? Var der andre steder, hvor fartgrænserne var ligeså lave? og var det virkelig hensigtsmæssigt, at fartgrænserne var sat så lavt? Efter min bedste vurdering havde jeg jo ført bilen på en hensigtsmæssig måde, og ikke været til fare for nogen.

I trafikforskning har der traditionelt været stor fokus på de permanente hastighedsgrænser, som findes i færdselslovens § 42¹, og kun ringe fokus på den hensigtsmæssige kørsel, som kræves i § 41². Dette skyldes sandsynligvis, at det er en subjektiv vurdering, hvorvidt hastigheden skal afpasses til forholdene og derfor er det svært at måle på, og dermed svært at regulere. Ikke desto mindre har jeg i dette projekt valgt at se nærmere på, hvordan hastighedsbegrænsninger fastlægges og om muligt foreslå en måde, hvorpå man kan kvantificere hensigtsmæssig kørsel.

2.1 Om hastighed, ulykker og oversigtsforhold

Mange bilister er af den holdning, at de er i stand til at undgå ulykker selvom de generelt kører hurtigere end hastighedsgrænserne foreskriver. Havarikommissionen for vejtrafikulykker kalder fænomenet for risikoblindhed, som betyder, at bilisten ikke er klar over den risiko, der er forbundet med en bestemt handling. Et lignende fænomen kaldes risikovillighed, som betyder at bilisten kender risikoen, ved en handling, men vælger alligevel at udfører handlingen. Ser man på hastighedsoverskridelser, så dækker disse to udtryk næsten alle tilfælde³. Der er altså kun et ubetydeligt antal bilister, som ikke er klar over at de kører for hurtigt.

Samfundsøkonomisk set ville det alt andet lige være bedre, hvis befolkningen tilbragte mindre tid på transport. En måde, som man kan opnå det på er netop at øge hastigheden på vejene. Desværre har hastigheden vist sig at have stor betydning for antallet af ulykker. Således er de fleste trafikforskere enige om at øget hastighed medfører flere ulykker. Dertil kommer, at de skader som sker ved ulykkerne generelt bliver mere omfattende i takt med øget hastighed⁴. Årsagen til en trafikulykke kan være svært at definere, da en ulykkes opståen ofte afhænger af flere forskellige hændelser på en gang. Hvis man forestiller sig, en ulykke hvor en bilist har forsøgt at overhale en forankørende på tros af dårlig oversigt. Samtidigt nærmer en modkørende bilist sig med for høj fart. Som resultat opstår en ulykke i form af kollision imellem de to biler. Men i ulykkens opståen kræves begge handlinger. Derfor anvendes begrebet ulykkesfaktor i stedet for årsag. I den netop beskrevne ulykke vil ulykkesfaktorerne kunne defineres som; høj hastighed, dårlig oversigt og chancebetonet kørsel. En ulykkesfaktor defineres altså som en faktor, som er medvirkende til at en ulykke opstår, men ikke nødvendigvis den eneste medvirkende faktor. I en ulykke er en ulykkesfaktor dog vigtig nok til, at ulykken ikke ville være sket hvis den uforudsete hændelse ikke var indtruffet⁵.

Hastighed kan have mange betydninger for den måde en bil kan færdes på vejen. Fx kan for høj hastighed i et sving være ulykkesfaktor på den måde at bilen mister vejgreb og skrider ud af kurven. I andre tilfælde kan høj hastighed før en uforudset hændelse mindske den tid som en bilist har til at undgå ulykken. I disse tilfælde virker det logisk, at en selv en bil med høj hastighed kan bringes til standsning før ulykken indtræffer, hvis chaufføren har tilstrækkelig tid til at reagere på hændelsen. Tiden afhænger af den afstand som bilen skal bevæge sig med en given hastighed, men den nødvendige standseafstand, som en bil skal have til rådighed for at undgå en ulykke er forskellig fra situation til situation. Derfor vil den højeste sikre hastighed også være forskellig fra situation. Spørgsmålet er blot, hvor stor er den højeste sikre hastighed i en given situation? For at besvare spørgsmålet tages udgangspunkt i de forventede oversigtsforhold på en given vejstrækning.

Når et nyt stykke vej skal projekteres i Danmark er det en vigtig forudsætning for at vejens forløb kan godkendes, at den tilsigtede trafik har oversynsforhold, som svare til den brug vejen er tiltænkt⁶. Det skal så at sige sikres, at et køretøj på vejen kan nå at standse indenfor den synslængde som føreren heraf har til rådighed. Den nødvendige standselængde ved vejens normerede hastighedsbegrænsning kaldes stopsigt.

Kontrollen af hvorvidt stopsigtlængden overholdes, udføres fx vha. CAD/GIS tegninger, foto-visualisering, og visuel inspektion på stedet. Såfremt vejens forløb eller brug ændres på et senere tidspunkt, skal det som en del af byggetilladelsen igen kontrolleres, hvorvidt stopsigtlængden overholdes under de nye forhold. Det er dog klart, at der er andre faktorer end professionel projekteringen af nye vejstykker, som har indflydelse på vejens udsyn. Vejstrækninger langs skove og markarealer kan fx have mindsket udsyn pga.

vegetationens vækst. Ligeledes kan man forestille sig, at privatpersoner med bolig langs vejen opfører carporte, hække, placere skilte, eller andre fysiske objekter på en måde så vejens udsyn minskes. Etablering af disse kræver som udgangspunkt ikke altid byggetilladelse, og i de tilfælde hvor byggetilladelse er et krav findes der alligevel talrige eksempler på, at bygherren ikke søger om godkendelse hos den rette myndighed før arbejdet iværksættes. I nogle tilfælde opdages det af vejmyndigheden at opdage det, hvis oversigtsforholdene ikke er tilstrækkelige. Men vejmyndigheden opdager ikke altid disse problemer. I disse tilfælde er det op til trafikanter og beboere i området at meddele, hvis de mener at oversigtsforholdene er u hensigtsmæssigt dårlige. Et eksempel på dette er Grundejerforeningen Taarnborg, som har klaget til kommunen over dårlige oversigtsforhold og fået medhold i klagen, hvilket har medført at vejen er blevet udstyret med fortov og pullerter som adskiller fodgængere med den resterende trafik. Et andet eksempel er Odsherred kommune, hvor beboerne har iværksat en underskriftsindsamling for at få forbedret oversigtsforholdene.



Figur 2 : Tv. Oversigtsforbedring vha. fortov, kilde: Grundejerforeningentaarnborg.dk⁷
Th. Oversigtsforhold i Odsherred Kommune, kilde: nordvestnyt.dk⁸

I færdselsloven påbydes motoriseret trafik på lige fod med en række andre forhold, som har betydning for størrelsen af den sikre hastighed, at tage hensyn til oversigtsforholdene. Alle disse forhold udspecificeres i paragraf 41. Den konkrete bestemmelse, som skal sikre at hastigheden holdes på et niveau, som sikre stopsigt defineres som følgende i paragraffens stk. 2, pt. 5:

”Stk. 2. Kørende skal holde en efter forholdene passende lav hastighed:

...

5) foran bakketop eller på andre steder, hvor oversigten er begrænset,”

- Den danske færdselslov, LBK nr. 1320 af 28/11/2010⁹

Med afsæt i problematikken omkring reduceret oversigt i situationer, som ikke kræver godkendelse af offentlige myndigheder vil det være ønskeligt, hvis motoriserede trafikanter har bedre mulighed for at identificerer situationer, hvor de skal være særlige opmærksomme på reduceret stopsigtlængde.

3 Initierende problembeskrivelse

Der tages udgangspunkt i de ulykkesfaktorer, som ofte indtræder samtidigt med for høj hastighed. Havarikommissionen for vejulykker (HVV) har udført en undersøgelse over dødsulykker i 2010, hvor sammenspillet imellem disse undersøges. I undersøgelsen fremgår et antal ulykker, hvor hastigheden i kombination med andre ulykkesfaktorer har været udslagsgivende for ulykkens endelige udfald. De 5 mest betydende af disse ulykkesfaktorer målt på antallet af ulykker er:

- At bilistens reaktion ved en kritisk hændelse har været forkert eller helt fraværende.
- At bilistens opmærksomhed har været rettet bort fra udslagsgivende begivenheder, og bilistens orientering derfor har været mangelfuld.
- Bilisten har udvist chancebetonet kørsel, velvidende at risikoen for at havarer var forhøjet.
- Bilisten har udøvet kørsel i påvirket tilstand
- Vejens udformning og tilstand har ikke været tilstrækkelig til at supportere den givne situation på en sikker vis.

(En mere uddybende definition af ovennævnte kan findes i kildens bilag 2¹⁰)

I samme undersøgelse fremgår det, at der kun er forekommet én eneste ulykke i 2010, hvor hastighed har været eneste ulykkesfaktor. Hastighed alene er altså sjældent nok til at forårsage en dødsulykke. I blandt undersøgelsens resultater er det værd at bemærke, at utilstrækkelig opmærksomhed og orientering er den ulykkesfaktor, som sættes i forbindelse med flest dødsulykker. Det skal her nævnes, at undersøgelsen bygger på 227 dødsulykker, hvilket antages at inkludere samtlige dødsulykker i 2010. Antallet af trafikdræbte i samme år var 255 ved vejdirektoratets endelige opgørelse¹¹.

Antal dødsulykker		Ulykkesfaktor										Skadesfaktor						Kun én faktor	I alt
		Hastighed	Placering forkert	Reaktion manglende/forkert	Opmærksomhed, orientering	Chancebetonet kørsel	Påvirket tilstand	Svækket tilstand	Vej – udformning, tilstand	Vejr, føre og sigt	Køretøj	Manglende sele eller hjelm	Hastighed	Forkert placering i køretøj	Faste genstand, autoværn	Skråninger	Køretøj		
Ulykkesfaktor	Hastighed	0	8	16	40	23	36	1	13	9	10	29	4	1	26	7	3	1	99
	Placering forkert	8	0	0	17	5	6	3	2	1	2	8	9	0	1	0	1	2	32
	Reaktion manglende/forkert	16	0	0	7	8	3	1	4	6	1	10	3	1	7	2	2	1	31
	Opmærksomhed, orientering	40	17	7	21	8	24	6	22	12	5	31	27	0	11	8	0	15	127
	Chancebetonet kørsel	23	5	8	8	0	8	0	3	0	4	9	4	1	11	2	2	0	32
	Påvirket tilstand	36	6	3	24	8	0	0	7	3	3	17	4	0	20	5	1	0	57
	Svækket tilstand	1	3	1	6	0	0	0	1	1	0	2	3	0	1	0	0	0	10
	Vej – udformning, tilstand	13	2	4	22	3	7	1	5	3	6	9	7	0	9	3	2	0	39
	Vejr, føre og sigt	9	1	6	12	0	3	1	3	2	5	9	1	0	5	3	1	1	31
	Køretøj	10	2	1	5	4	3	0	6	5	2	7	1	0	4	3	0	2	24

Figur 3 : Ulykkesfaktorer ift. dødsulykker på de danske veje i 2010, kilde: Doedsulykker_final.pdf¹²

For bedre at forstå kategorierne i tabellen, vil jeg kort argumentere for, hvordan hver enkelt faktor influerer på risikoen for en ulykkes indtræden. I samme ombæring kommer jeg ind på hvordan de enkelte ulykkesfaktorer spiller sammen og i det omfang det er oplagt foreslå en måde, hvorpå ulykkesfaktorens indflydelse kan minimeres. I den sammenhæng opdeles faktorerne i følgende to grupper; menneskeligt bestemte og miljøbestemte faktorer.

3.1 Menneskeligt bestemte faktorer

Størstedelen af de ulykkesfaktorer, som viser sig at have afgørende betydning for de dødsulykker, som HVU har undersøgt i deres undersøgelse fra 2010¹³ skyldes menneskelig fejl. Da en bils hastighed er fastlagt af bilisten, falder ulykkesfaktoren *høj hastighed* også ind under denne kategori. I kategorien findes desuden ulykkesfaktorerne, *Forkert eller manglende reaktion*, *Manglende eller utilstrækkelig opmærksomhed og orientering*, *Chancebetonet kørsel*, og *Påvirket tilstand*. I beskrivelsen af disse, som følger herunder antages det altid er den person, som forårsager ulykken altid er bilist og i overvejende omfang også at ulykken i nogen grad er selvforskyldt.

*Forkert eller manglende reaktion*¹⁴: Denne kategori dækker over de ulykker, hvor en bilist i et forsøg på at undvige en farlig situation har overreageret og derved selv forårsaget ulykken. Kategorien rummer også tilfælde, hvor bilisten har forsømt at udføre en undvigemanøvre, hvorved ulykken kunne have været undgået. Det vurderes som usandsynligt, at bilisten negliger at udføre manøvren med vilje. Mere sandsynligt er det nok, at bilisten pga. stress i en presset situation har truffet en forkert beslutning. For at foreslå en løsning tages udgangspunkt i nøgleordet, stress. Der som bekendt kan mindes ved at stille mere tid til rådighed for bilisten.

*Utilstrækkelig orientering*¹⁴: Ulykker, hvor denne kategori af ulykkesfaktorer finder anvendelse skyldes enten manglende opmærksomhed eller orientering i trafikken. Eksempler på dette er, hvis bilisten pga. træthed eller distraktion handler i uoverensstemmelse med trafiksituationen. Kategorien dækker også over situationer, hvor bilisten ikke opdager andre trafikkanter, og derfor ikke overholder sin vigepligt i vejkryds. Det er klart, at det er vigtigt at orientere sig i trafikken. Men især, hvis en bilist er godt kendt i et område, kan han være fristet til at antage at der ikke kommer nogen fra en bestemt retning, hvis der sjældent gør det. I trafikken er det vigtigt at have opmærksomheden rettet på vejen. Hvis køreturen er lang, kan det derfor være ganske krævende og trættende for bilisten, idet kørslen kræver hans konstante opmærksomhed. Det antages, at den erfarne bilist underbevidst vælger strækninger på vejen, hvor han føler sig sikker. På disse strækninger sænker han sin opmærksomhed for at få et hvil. Det bedste en bilist kan gøre for at minimere denne ulykkesfaktor er at trække ind til siden og tage sig en pause. I enkelte tilfælde vil det sandsynligvis være gavnligt, hvis bilisten informeres når, bilen bevæger sig ind på en vejstrækning med højere risiko.

Chancebetonet kørsel¹⁴:

Denne ulykkesfaktor er kendetegnet ved at bilisten har valgt at udfører en handling, som er af afgørende betydning for ulykkens udfald, velvidende at den er risikabel. Et eksempel på dette er, hvis en bilist vælger at overhale en forankørende på tros af, at der ikke er frit udsyn. For at minimere indflydelsen af denne ulykkesfaktor foreslås mere information, om hvilke situationer som er farlige.

Påvirket tilstand¹⁴:

Denne kategori dækker over ulykker, hvor en bilist pga. alkohol, medicin eller narkotika har forårsaget ulykken. Beruselse påvirker både dømmekraft, reaktionstid, opmærksomheden i negativ retning og derfor vil en ulykke, hvor en involveret har været påvirket også ofte være betinget af disse ulykkesfaktorer. Færdsel i trafikken i påvirket tilstand bør generelt undgås. At forestille sig at påvirket færdsel helt kan undgås er nok desværre utopi. Men pga. ulykkesfaktorens stærke sammenspil med andre nævnte faktorer vil det også være med til at minimere denne ulykkesfaktors virkning, hvis de andre faktorer virkning minimeres.

3.2 Miljøbestemte faktorer

En del af de ulykkesfaktorer, som knyttes sammen med høj hastighed i HVU undersøgelse af dødsulykker i 2010 skydes hverken bilist eller køretøj, men kan i stedet tilskrives det omkringliggende miljø. I blandt de 5 mest betydende ulykkesfaktorer er der dog kun én af disse, som kan tilskrives miljøet som bilisten færdes i, og det er Vejens udformning og tilstand.

Vejens udformning og tilstand¹⁴:

Denne kategori dækker både over den andel ulykkesfaktorer, som kan tilskrives vejens uhensigtsmæssige linjeføring samt vejens vedligeholdelsesmæssige tilstand. Mht. linjeføring dækker dette både, kurver som er skarpere end det anbefales, dårlige oversigtsforhold, og vildledende linjeføring. Mht. vedligeholdelsestilstanden, så dækker dette over huller i vejen, slidt afmærkning, lunger m.fl. Disse ulykkesfaktorer binder sig i høj grad til bestemte steder på vejen. Og derfor kan man forvente, at bilister som er kendte i området ikke i samme grad kommer ud for ulykker, hvor disse ulykkesfaktorer spiller ind.

3.3 Opsummering og vurdering

Det er blevet undersøgt hvilke ulykkesfaktorer, som optræder sammen ulykkesfaktoren *høj hastighed*. Iblandt disse har vi set nærmere på de 5 mest betydningsfulde og foreslået en måde, hvorpå hver enkelt sandsynligvis kunne minimeres. Mht. kørsel i påvirket tilstand fandt HVU dog ikke nogen forslag til reduktion af ulykkesfaktoren bortset fra at lade være med at køre i påvirket tilstand. Man kan dog håbe, at sammenspillet med andre ulykkesfaktorer kan være med til at minimere antallet af ulykker, som delvist sker pga. kørsel i påvirket tilstand. Med hensyn til de 4 andre ulykkesfaktorer har jeg foreslået en individuel måde hvorpå disse kan minimeres. Forslagene hertil er: Mere tid i til at reagere på uforudsete

begivenheder; Bilisten skal informeres når bilen bevæger sig ind på en vejstrækning med høj risiko; Bedre information om risikofyldte steder på vejen; Og bedre kendskab til området man færdes i.

3.4 Initierende problemformulering

Det er alment kendt, at der sker ulykker på vejene. Hastigheden får ofte hele skylden for en stor række af disse ulykker. Men hastigheden er ikke eneste faktor, som spiller ind. I det tidligere afsnit blev det vist at en række andre faktorer har ligeså stor indflydelse. I nogle tilfælde endda større betydning end hastigheden. For at minimere antallet af ulykker, som hastigheden får skyld for uden nødvendigvis at sænke hastigheden permanent, er følgende forslag blevet fremsat:

- Bilisten skal have mere tid til at reagere på uforudsete begivenheder
- Bilisten skal informeres når bilen bevæger sig ind på en vejstrækning med høj risiko
- Bilisten skal vide hvor de risikofyldte steder er på vejen
- Bilisten skal have bedre kendskab til vejens forløb i det område han færdes i.

Man kan stille sig selv spørgsmålet *Hvorfor får hastigheden skylden?* Her kan man fristes til at svare, at det er fordi der ikke findes løsninger, som kan tilgodesee de stillede forslag. Men det er ikke nødvendigvis tilfældet.

Hvis problemet defineres som, ***at der forekommer ulykker som kunne være forhindret, hvis en eller flere af de givne forslag var tilgodeset***, så er det muligt at søge efter løsninger på problemet. I søgningen vil jeg fokusere på tekniske løsninger. Ligeledes vil der være lagt større fokus på problematikken vedr. manglende orientering, da dette er den største enkeltstående ulykkesfaktor.

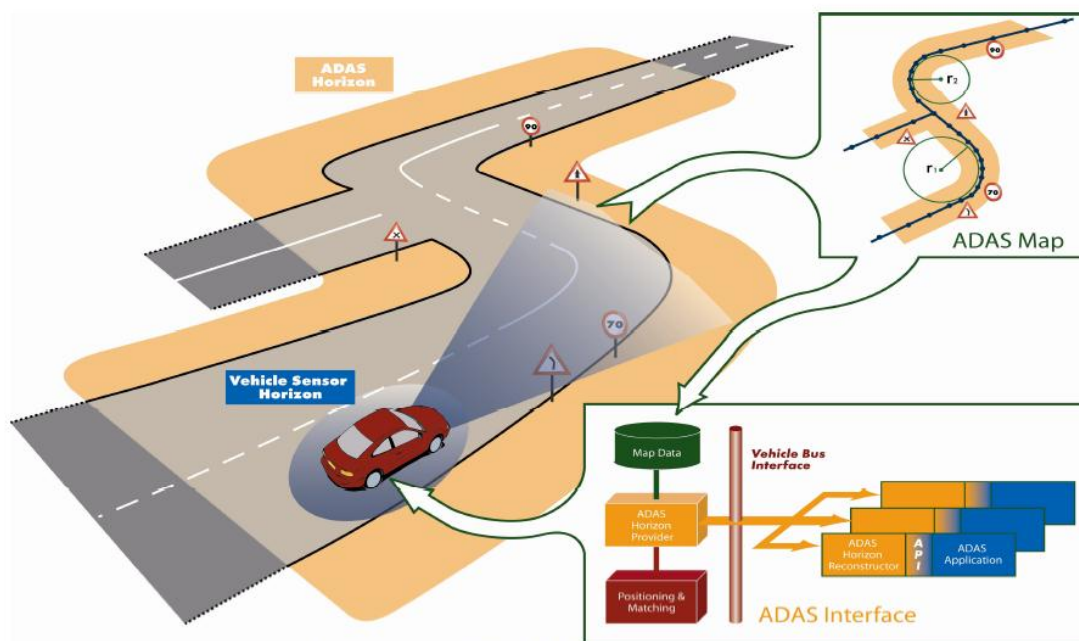
4 Eksisterende løsninger

Tager man højde for alle de faktorer, som spiller ind på problematikken med oversigtsforhold, så kan det kan ikke undre, at problemet ikke er løst. Det er dog interessant at undersøge, hvilke bud der findes på en løsning. Også løsningsforslag på beslægtede problematikker kan være af interesse.

Da det kun er tekniske løsninger, som har interesse i dette projekt kan søgningen efter relevante løsningsforslag afgrænses til søgninger vha. IEEE Xplore, Google, Aalborg Universitetsbibliotek, samt Aalborg Universitets, Vej og trafikafdelingens elektronisk database, som indeholder artikler fra en række konferencer som afdelingens ansatte har deltaget i. Databasen omfatter conferenceartikler fra 1999 og fremefter. Ved søgningen er følgende teknologiske områder identificeret som grundlag for en mulig løsning af problematikken; ADAS Sensor Horizon, ADAS Map Horizon, ADAS Hybrider og Samarbejdende systemer. Disse hører alle ind under hovedkategorien Advanced Driver Assistance Systems (ADAS).

4.1 ADAS Sensor Horizon

ADAS Sensor Horizon er et koncept, som sigter på at give bilister relevant information om det vejforløb foran køretøjet, som ligger udenfor bilistens synsfelt. Dette sker vha. sensorer som er monteret på bilen. Konceptet illustreres ganske udmærket på figuren herunder (Figur 4), hvor det område, som er synlig fra bilens position er markeret med en oval blå ring og en blå kegle foran bilen. Disse sensorer anvender ofte radarbølger, Infrarødt lys, laserlys eller akustiske signaler til at måle på området foran og omkring bilen. Bilisten kan herefter informeres om nærværende farer vha. et lydsignal i kabinen, et billede af vejen foran, eller lign.



Figur 4 : Konceptet bag ADAS Horizon, kilde: ADASIS forum¹⁵

ADAS Sensor Horizon systemer kendes i dag i biler fra mellemklassen og op, hvor systemerne ofte optræder som ekstraudstyr. Det mest kendte system indenfor denne kategori er nok bagsensoren¹⁶, hvor sensorer monteret i bilens kofangere registrere afstanden til objekter bag bilen, og derved kan føreren undgå at

bakke ind i den sten, som gemmer sig udenfor det begrænsede synsfelt som føreren kan se ud af bagruden. I dette tilfælde advares føreren fx vha. en pulserende lyd i kabinen, hvor tiden imellem hver puls afhænger af afstanden til nærmeste objekt.

Andre eksempler på bagudrettede ADAS Sensor Horizon systemer er bagkameraer¹⁷, hvis funktion også er at assistere føreren med at bedømme afstanden til objekter bag bilen. Dette kan ofte være en fordel, hvis bilen skal bakes på plads, som det fx sker ved en parallellparkering. Konceptet bygger på et videokamera, som er monteret på bilens bagende. Billedet fra kameraet stilles herefter til rådighed for føreren vha. en skærm i kabinen. I mange tilfælde er kameraet i stand til at optage vha. infrarødt lys, hvilket også gør det muligt at se området bag bilen, hvis det er mørkt udenfor.

Tilsvarende findes også eksempler på fremadrettede infrarøde kameraer¹⁸, som gør det muligt for bilister at se længere frem på vejen i mørke end det er muligt blot vha. bilens lygter. Samme IR-kameraer kan ligeledes assistere, hvis der er tåge på vejen. Fremadrettede IR-kameraer har ligesom størstedelen af fremadrettede ADAS Horizon systemer ikke opnået samme udbredelse som bagsensorer og -kameraer. Hvilket må forventes at skyldes førerens normale synsfelt dækker dette område. Dertil kommer, at det givet vist ikke er nogen fordel, at føreren skal fjerne synet fra vejen og kigge på en skærm i kabinen for at bruge systemet.

Der findes dog et par teknologier, som i stigende grad har fundet indpas i mange biler. Et af disse er adaptive forlygter¹⁹, hvor bilens forlygter løbende rettes imod vejen foran bilen. Teknologien finder især anvendelse når en bil drejer omkring et sving i mørke. I et højresving drejes forlygternes lyskegle mod højre og svinget, og bilisten kan derfor lettere få øje på cykellisten rundt om hjørnet. Adaptive forlygter findes mindst i to versioner. En hvor retningen af forlygternes lyskegle er kædede sammen med rattets stilling og en anden hvor forlygterne position justeres vha. et fremadrettet kamera.



Figur 5 : Tv. Adaptive Frontlights - Kilde: Seat Automotive²⁰
Th. Night vision system – Kilde: Bosch Group²¹

En anden fremadrettet ADAS teknologi, som har vundet større indpas er kollisions advarsel²², hvor en sensor monteret på bilens kofanger udsender radarbølger og derved måler afstanden til forankørende biler. Denne afstand omregnes til en tidsforskel imellem forankørende og den bil, som radaren er monteret

i. Hvis dette tidsrum bliver mindre end en foruddefineret grænseværdi advares føreren eller bilen bremses automatisk.

ADAS Sensor Horizon systemer behøver ikke nødvendigvis udelukkende at være orienteret om området foran eller bagved bilen. Nogle systemer beskæftiger sig således med områderne ved siden af bilen. Lane Change Assistance²³ er således et system, hvor føreren før et vognbaneskift kan advares om køretøjer i den blinde vinkel vha. sensorer. Andre eksempler på systemer, der er orienteret mod køretøjets sider er Lane Keeping Assistance²⁴ og Road Departure Warning²⁵. Begge har til formål at advare føreren, hvis bilen utilsigtet er ved at forlade dens bane.

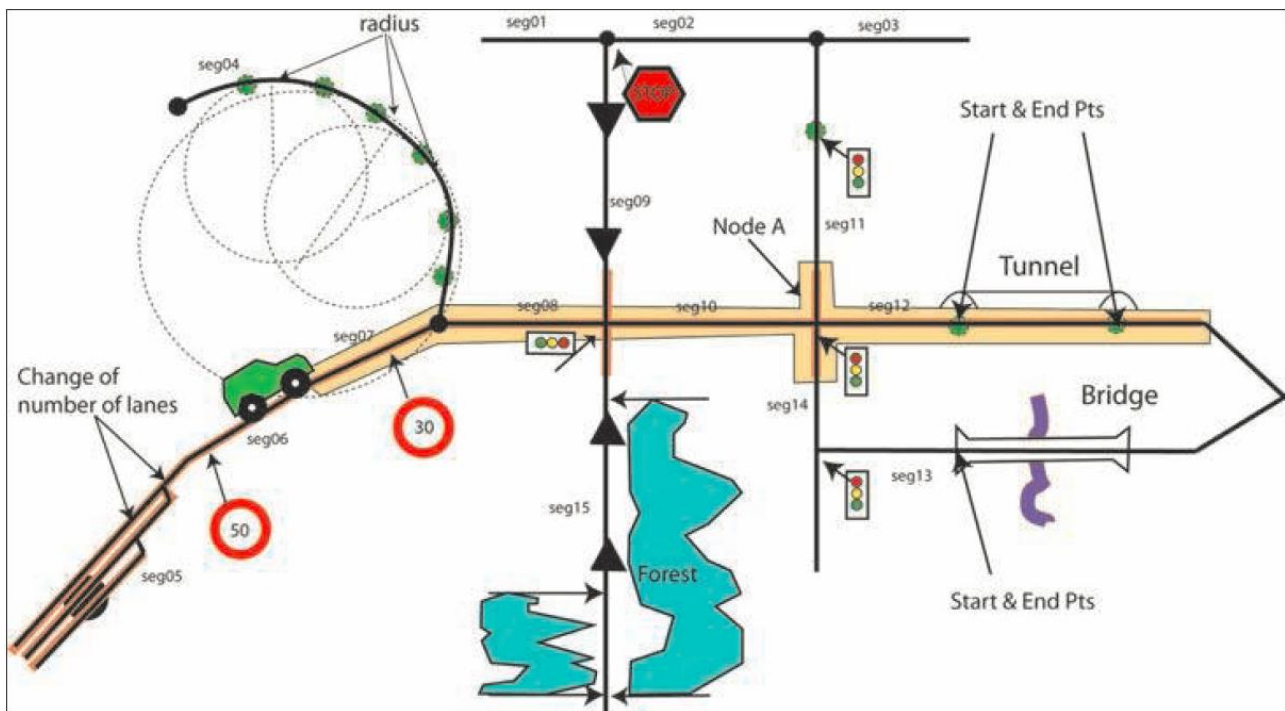
4.2 ADAS Map Horizon

I stil med ADAS Sensor Horizon findes en tilsvarende teknologi, som adskiller sig fra ADAS Sensor Horizon teknologien ved at de områder, som tilføjes til førerens bevidsthed stammer fra et kort over området og ikke fra køretøjsmonterede sensorer. Denne teknologi kaldes ADAS Map Horizon. Konceptet kan ses illustreret på figuren herover (Figur 4), hvor det område, som kan gøres "synlig" for bilisten vha. et ADAS Map Horizon system vises med en orange bufferlinje omkring vejen. I det område, som kaldes ADAS Map horisonten kan bilisten modtage information om vejens forløb og andre statiske forhold. Det er således ikke muligt at informere om trafiksituationen eller andre dynamiske forhold, der kan opstå sporadisk på og omkring vejen. Et ADAS Map Horizon system kan den fordel, at det gør det muligt, at anvende information om vejens forløb, som er skjulte for en sensor. Fx kan man anvende statistiske data i systemets ADAS kort, der ikke kan måles med nogen sensor.

I et ADAS Map Horizon system er det muligt at anvende meget computerintensive funktioner, da det er muligt at udføre store dele af de nødvendige beregninger imens systemet er offline. Resultatet lægges efterfølgende på ADAS kortet. Men ligesom en telefon er afhængig af et telefonnet for at fungere, så er ADAS Map Horizon teknologien afhængig af, at de nødvendige kort findes. I øjeblikket findes en række udbydere af ADAS kort. Bl.a. Navteq og Tomtom. Men kravet om, at en kortudbyder og en bilfabrikant (eller tilbehørsproducent) skal være enige om, hvilke nye funktioner som skal udvikles og samtidig give hinanden hånden på, at de vil fortsætte med at supportere det færdige system er givet vis en faktor, som er medvirkende til at sænke hastigheden hvormed nye ADAS Map Horizon systemer udvikles.

ADAS Horizon og Stopsigt

4 Eksisterende løsninger



Figur 6 : Stiliseret ADAS Map Horizon kort - Kilde: GeoInformatics²⁶

Et eksempel på en ADAS Map Horizon funktionalitet, der er baseret på statistiske data er Accident Hotspot Warning²⁷ (AHW). I dette tilfælde indeholder baggrundskortet information om tidligere ulykker. Derved bliver det muligt at gøre en bilist opmærksom på, at bilen bevæger sig ind i et særligt risikofyldt område før bilen faktisk bevæger sig ind i det risikofyldte område. Selvom det ikke ville kræve store tekniske landevindinger at integrere AHW i et ADAS Map Horizon system, så har det ikke været muligt at finde eksempler på kommerciel anvendelse af AHW i øjeblikket.

Et andet punkt, hvor et ADAS Map Horizon system adskiller sig fra et ADAS Sensor Horizon system er muligheden for at forudsige en handling, som endnu ikke er indtruffet. Det kan fx være i forbindelse med funktionaliteten Enhanced Navigation²⁸, hvor en GPS Navigators vejnetværk foruden en sammenhængende topologi også indeholder information om vejens udstyr. Det kan fx være vejbredder eller højden på tunneler, som gør det muligt for lastbiler med større gods at planlægge en rute, som gør det muligt at køre fra A til B uden at risikere at hænge fast i en tunnel eller lign. Dette eksempel fremgår af figuren herover (Figur 6). Et andet og måske mere kendt eksempel er en funktion, som kan advare om fartkamera o.lign. Denne funktion findes i forvejen i en stor del af de GPS-Navigators, som findes på marked i øjeblikket.

De tidligere nævnte ADAS Map Horizon funktionaliteter har alle været baseret på punktformede data, som systemet på den ene eller anden måde kan advare bilisten om. Men der findes også eksempler på systemer, hvor systemet funktionaliteten hæftes til en linje. Dette anvendes bl.a. i systemer, hvor systemet forslår en hastighed på baggrund af værdier i kortdatabasen. Denne hastighed kan fx være baseret på hastighedsgrænsen, som det er tilfældet med Speed Limit Assistance (SLA)²⁹. SLA kendes også under navnet Intelligent Speed Adaptation (ISA)³⁰. SLA kendes ligesom information om fartkameraer allerede i mange GPS systemer til pt. Andre gange vil den være baseret på en forudgående beregning af ønskværdige kurvehastigheder under givne forhold, som det er tilfældet ved Curve Warning³¹.

4.3 ADAS Hybrider og Samarbejdende systemer

Selvom ADAS Map Horizon og ADAS Sensor Horizon på mange måder minder om hinanden, så er der forskelle. Det er dog svært at afgøre, hvilken af de to, som kan bidrage mest til at højne trafikssikkerheden. Faktisk viser det sig, at de to varianter kan supplere hinanden i et integreret system. Et sådant system kaldes i nogle sammenhænge for et ADAS Hybrid Horizon. Denne form for ADAS system anvender både sensorer og kortdata i sammenspil med det formål at skabe en mere fuldent model af bilens omgivelser, som både indeholder et øjebliksbillede af situationen omkring bilen og historiske data.

Et eksempel på en ADAS Hybrid er *Intersection Assistance*, som i øjeblikket er under udvikling i forbindelse med det EU sponserede *Intersafe-2* projekt³². I dette projekt samarbejder bilproducenterne VW, BMW, Volvo Trucks³³ med sensorleverandører som fx Sick Ag³⁴. De forskellige løsninger, som udvikles under projektet integrerer bl.a. GNSS-navigation, billede-genkendelse vha. kameraer og afstandsmåling vha. laserscannere. I systemet aflæses bilens position med en GPS/GLONASS GNSS løsning. Herefter kontrolleres positionen vha. kameraer i sammenspil med ADAS kortdata. Resultatet er en positionsbestemmelse under 1 meter og en viden om hvorvidt bilen stadig bevæger sig. Hvis bilen befinder sig i en svingbane, og den stadigvæk er i bevægelse aktiveres en laserscanner, som registrerer om der findes biler eller andre objekter, som er i en bevægelse der vil medføre kollision, hvis svinget gennemføres.



Figur 7 : BMW Leftturn Assist (Intersafe-2), Kilde: BMW Group Research³⁵

I Intersafe-2 projektet arbejdes foruden integration af kort og sensordata også med telekommunikation imellem vejens brugere og vejens udstyr. Dvs. at en bil kan modtage informationer fra andre køretøjer på vejen eller fra vejskilte mv. Der findes dog andre projekter, som sigter mere målrettet på kommunikation imellem bilerne på vejene. Her kan bl.a. nævnes Car-2-Car projektet³⁶, som gør det muligt at modtage opdaterede informationer om vejforhold langt foran bilen. Bil til bil Kommunikation kan derfor opfattes som en forlængelse af ADAS Sensor Horizon systemet idet systemet gør brug af andres bilers sensorsystemer. En situation hvor denne teknologi kan finde anvendelse er i det tilfælde, at der er sket en ulykke længere fremme på vejen. Med bil til bil kommunikation bliver den information tilgængelig betydelig

ADAS Horizon og Stopstigt

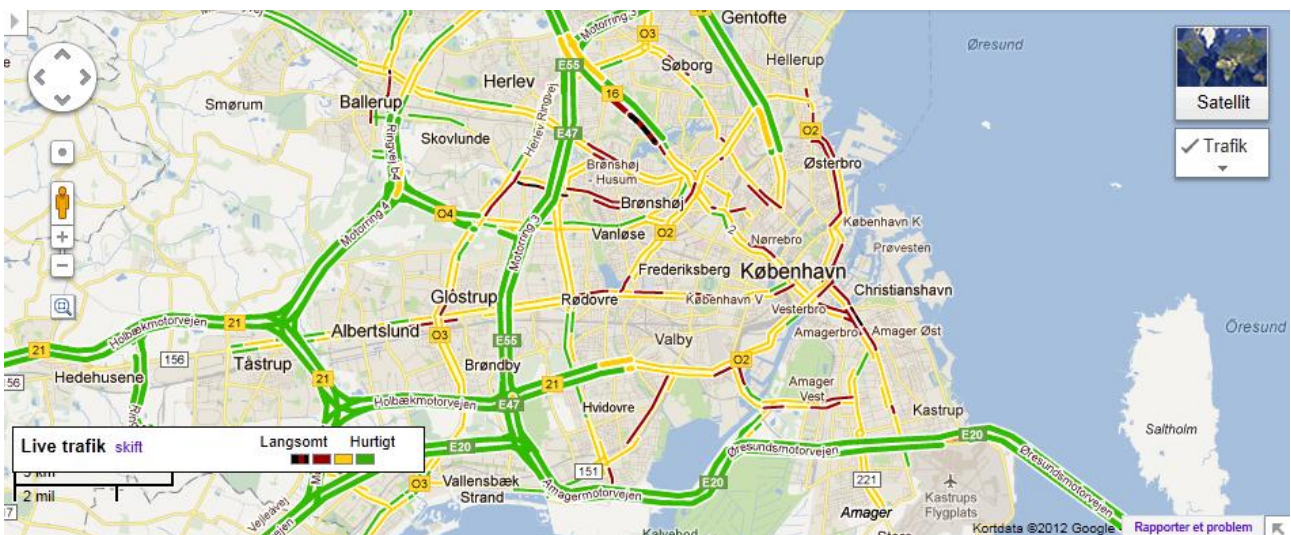
4 Eksisterende løsninger

tidligere end, hvis bilens egne sensorer skulle registrere ulykken. Alt efter hvor tidligt denne information bliver tilgængelig kan farten sænkes i god tid eller en ny rute udenom problemet kan planlægges. Bil til bil kommunikation kan desuden forhindre situationer, hvor en bilist pga. manglende kendskab til andre bilers tilstedeværelse på vejen svinger ud foran en anden bilist.



Figur 8 : Den røde motorcykel gøres opmærksom på den blå bils position og omvendt, Kilde: CAR2CAR Consortium³⁷

Den information som videregives behøver dog ikke nødvendigvis at gå fra bil til bil. En anden måde, hvorpå det kan lade sig gøre at informere bilister om trafiksituationen på vejen er Crowd Sourcing, hvor biler transmitterer deres position og andre erfaringer til en fælles database, som andre biler efterfølgende kan foretage udtræk af. Dette anvendes bl.a. til at registrere og beskrive trængsel i trafikken i Google Maps, som kan ses på figuren herunder (Figur 9). I Googles løsning anvendes GPS modtageren i de mobiltelefoner, som anvender Googles styresystem til mobiltelefoner (Android), som transmitteres til Googles servere³⁸.



Figur 9 : Live visning af trængselssituationen, Kilde: Google Maps³⁹

Med introduktionen af hybridsystemer og samarbejdende systemer, hvor køretøjerne på vejene udveksler information om hinandens position, samt positionen af og forhindringer og risikomomenter på vejene nærmer bilerne sig et stadie, hvor betydningen af en lang række ulykkesfaktorer kan minimeres mere eller mindre automatisk.

4.4 Opsummering og vurdering

I de foregående afsnit har vi set nærmere på en række teknologiske løsninger, som kan gøre det sikrere at færdes i trafikken. Disse løsninger sigter alle på at informere systemets bruger (bilist) om de forhold, som gælder på vejene. I gennemgangen af systemerne har vi set nærmere på systemerne ADAS Sensor Horizon og ADAS Map Horizon, som henholdsvis beskæftiger sig med erkendte og forventede forhindringer på vejen foran det køretøj systemet er installeret i. Desuden har jeg set nærmere på ADAS hybrider, som både anvender sensor og kortdata i ét system. Samtidigt har jeg stiftet bekendtskab med samarbejdende systemer, hvor biler på vejen udveksler sensordata og derved kan forholde sig til de forhindringer, som andre biler har gjort sig. Der foregår stadigvæk udvikling indenfor alle de nævnte teknologiområder. Men indenfor de fleste af områderne er det muligt at finde kommercielle systemer, som anvendes af pendlere og andre bilister i dagligdagen. Her kan bl.a. nævnes bagsensorer og bakkameraer i gruppen ADAS Sensor Horizon systemer, Enhanced Navigation i gruppen ADAS Map Horizon systemer og Googles trængselsinformation i gruppen af samarbejdende systemer. Det har dog ikke været muligt at finde færdigudviklede hybrid systemer, som udelukkende baseres på data fra bilens egne sensorer og et eksisterende ADAS kort.

Ved første tanke virker det som sandsynligt, at de foreslåede tekniske løsninger vil have en positiv effekt på de ulykkesfaktorer, som blev fundet i et tidligere afsnit. Men for god ordens skyld fastlægges det, hvilken af de tekniske løsningsforslag, som egner sig bedst som middel til hver enkelt af de forslag til reduktion af ulykkesfaktorenes betydning, som blev givet i afsnittet, 3.4 Initierende problemformulering.

For den ulykkesfaktor, som kaldes *Forkert eller manglende reaktion* blev der tidligere foreslået at give bilisterne mere tid til at handle i. Ulykkesfaktoren beskæftiger sig ikke nødvendigvis med begivenheder som opstår pga. noget udefra kommende, som fx en fodbold der hopper ud på vejen og et barn i løb efter den. Men det vurderes som mere sandsynligt at den begivenhed, der påbyder en hurtig reaktion er udefra kommende i modsætning til en permanent forhindring, som udelukkende udgør en trussel pga. bilens egen fart. Derved finder en ADAS Map Horizon løsning begrænset anvendelse idet den primært beskæftiger sig med foruddefinerede forhindringer. Ser man i stedet på en ADAS Sensor Horizon løsning vil denne også først kunne reagere på fodbolden, når den bevæger sig ud på vejen. Men da en bilists opmærksomhed typisk fokuseres på kørselsretningens kurs, og derfor først reagere på fodbolden når den er midt på vejen, er det sandsynligt, at en ADAS Sensor Horizon vil virke fornuftigt i dette tilfælde. Ser man i stedet på samarbejdende systemer, så vil denne fremgangsmåde også kunne redde liv. ADAS Hybrid systemer vil ikke nødvendigvis gøre mere gavn end et rent sensorsystem.

De ulykker, som skyldes de ulykkesfaktorer *Manglende eller utilstrækkelig opmærksomhed og orientering* skyldes i overvejende grad at en bilist ikke overholder sin vigepligt pga. træthed. Det blev tidligere foreslået, at dette problem kunne afhjælpes ved at informere bilisten om hvornår bilen bevæger sig ind på særlig risikofyldte vejstrækninger. I den sammenhæng er et Accident Hotspot Warning system oplagt. Et

AHW system er en del af gruppen af ADAS Map Horizon systemer. Men det vurderes at både sensorbaserede, hybrider og samarbejdende løsninger ville have effekt på problemet.

Chancebetonet kørsel minder i nogen grad om ulykkesfaktoren *Manglende eller utilstrækkelig opmærksomhed og orientering*, idet begge ulykkestyper typisk skyldes, at en bilist ikke overholder sin vigepligt. Der er dog forskel på bilistens hensigt. Det forslag til en løsning, som tidligere blev givet var at informere bilisten om risikofyldte steder på vejen. Derfor kan man fristes til at anbefale samme teknologiske løsning på problemet til begge ulykkesfaktorer. Men med den nuværende viden om de teknologiske muligheder er det tydeligt, at et samarbejdende system vil være den bedste løsning på problemet. Det samarbejdende system ville nemlig i begrænset grad give bilisten mulighed for at se omkring hjørner, og på forhånd vide om en modkørende bil nærmede sig. Hvilket system, som er bedst egnet af afhænger dog af situationen. En sensorbaseret løsning ville fungere fint, hvis det chancebetonede aspekt lå i at køre for hurtigt i mørke eller lign. Men i det tilfælde, hvor det chancebetonede aspekt ligger i hurtig kørsel igennem sving og kryds vil et system baseret på et ADAS Map Horizon eller et hybrid system være udmærket.

Ift. den ulykkesfaktor, som hedder *Vejens udformning og tilstand* er det klart, at den bedste løsning ville være et system, som anvender et ADAS kort. Dette kan være enten et ADAS Map Horizon eller et hybridt system. Det er dog tvivlsomt, hvorvidt et ADAS Hybrid Horizon system vil fungere bedre end et ADAS Map Horizon system. En sensorløsning vil kun i sjældne tilfælde være gavnligt ift. denne ulykkesfaktor. Begrundelsen ligger i at sensoren ikke ville tilføre noget, som det menneskelige øje ikke er i stand til at opdage selv. Da et samarbejdende system har muligheden for at informere bilsten om vejforhold, som er udenfor blistens synslængde, er det ikke utænkeligt, at et samarbejdende system også vil virke i denne situation.

5 Problemformulering

I tidligere afsnit gives en række muligheder og udfordringer, som alle vil kunne forbedre trafiksikkerheden på danske veje uden nødvendigvis at sænke hastigheden. Desværre er det ikke muligt at behandle alle de foreslåede ADAS varianter i dette projekt. Derfor er en afgrænsning nødvendig.

Min indledende begrundelse for at starte på dette projekt var min irritation over at have fået en fartbøde. Samtidig har det vist sig, at hastighed og manglende opmærksomhed på vejen er nogle af de ulykkesfaktorer, som ofte bidrager til flest ulykker. Desuden optræder de to ulykkesfaktorer ofte i de samme ulykker. Netop fordi sammenspillet imellem disse to er så tæt forekommer det mig, at det vil være oplagt at anvende begge i samme system. Problematikken behandles i nogen grad af ADAS Sensor Horizon systemer i forvejen. Men det har ikke været muligt at finde systemer indenfor kategorien ADAS Map Horizon, som forholder sig til den valgte kombination af ulykkesfaktorer. Derfor er det besluttet selv at udvikle et system, som netop indarbejder ovenfor nævnte kombination. Formålet vil være at udpege særlige problemstillinger, som man kan forvente at løbe ind i, hvis et kommercielt system ønskes udviklet. Det er afgørende for projektets gennemførelse, at problematikken gøres mere konkret. Derfor er det valgt især at øge bilisternes opmærksomhedsniveau specifikt ift. områder med dårlig oversigtsforhold.

Den valgte kombination af ulykkesfaktorer kan integreres i et ADAS Map Horizon system, hvis kortet indeholder hastigheder, som er udtrykkes vha. oversigtsforholdene. Hastigheden kan således bestemmes, så den netop er tilstrækkelig til at kunne standse bilen indenfor synsområdet. Hvis standselængden ved en given hastighed netop er indenfor det synlige område hedder det, at bilisten har stopsigt. Derfor kan vi meget passende kalde kortet for et stopsigtskort. Systemet som kortet skal virke med, vil have funktionen at advare bilisten, hvis han på et givet tidspunkt ikke har stopsigt. Den tilsigtede funktionalitet kan derfor passende kaldes stopsigtsadvarsel eller Stopsight Warning (SW).

I en stor del af de ulykker, som Havarikommissionen for vejulykker (HVU) har undersøgt i 2010 fremgår det, at et stort antal af de ulykker, som opstår pga. manglende opmærksomhed, orientering og dårlige oversigtsforhold opstår i vejkryds. Derfor skal det sikres, at systemet også vil kunne bidrage til at øge opmærksomheden på dårlige oversigtsforhold i forbindelse med vejkryds.

5.1 Stopsigtskort

Formålet med projektet er at identificere, hvilke problemstillinger man kan forvente at skulle håndtere, hvis et fuldt funktionelt stopsigts-system skal udvikles. For at udfylde formålet defineres projektets mål som:

At udvikle et brugbart stopsigtskort, som i sammenspil med et dertil rettet system kan advare en bilist, hvis hans nuværende hastighed er højere end hans synslængde tillader.

I projektet skal det desuden søges at beskrive alle betydelige faktorer, som kræves for at udvikle et funktionelt system. Derfor vil der blive udarbejdet et testprogram, som illustrerer hvordan systemet vil kunne virke. I testprogrammet vil alle parametre ikke blive indarbejdet direkte, hvilket øger chancen for at nå alle beregningstrin i stedet for at fordybe sig i en enkelt beregningsrutine.

De involverede synslængdeberegninger, som er en grundsten i udarbejdelsen af et stopsigtskort er ganske krævende mht. nødvendige processorkraft. Derfor skal det tilstræbes, at størstedelen af de nødvendige beregninger udføres på forhånd og resultatet gemmes i kortet. Herved minimeres specifikationskravene til den processor, som skal befinde sig i bilen.

I den løsning som beskrives i projektet søges det at finde en løsning, som henvender sig til personbiler under normalt forekommende kørselsforhold. Lastbiler, traktorer mv. vil derfor ikke bliver behandlet direkte. Men det forventes at en løsning, som fungerer på personbiler umiddelbart let vil kunne konverteres til brug i andre køretøjstyper.

5.2 Undersøgelse af problemløsningens kvalitet

I løbet af projektet forventes det at opdage en række problemstillinger udelukkende vha. den tankevirksomhed, som indledende er med til at definere hvordan systemet skal fungere. Andre problemstillinger opdages ikke i denne proces. Men en del af disse opdages ved efterprøvning af systemet.

En problemstilling som nødvendigvis har en stor betydning for et system, som arbejder med trafiksikkerhed er resultaternes nøjagtighed. I et kortprodukt defineres resultatets sikkerhed som nøjagtighed. Derfor skal det påvises, hvordan unøjagtigheder i input data påvirker de resulterende output data. Dvs. hvorledes påvirker en plan- eller kote fejl den hastighed, som systemet angiver som sikker.

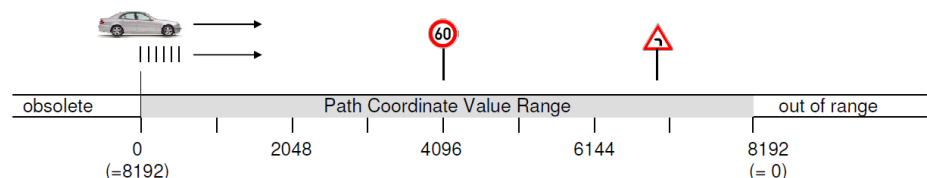
En anden faktor, som sættes i forbindelse med problemløsningens kvalitet er, hvorvidt systemet fungerer under alle forhold. Eller om der kan findes områder i kortet, hvor systemet ikke fungerer efter hensigten. Det kan fx være steder, hvor hastigheder beregnes forkert eller lign.

6 Konceptbeskrivelse

Som svar på problemstillingen foreslås et ADAS Horizon system. Hvordan et sådant system kan opbygges, og hvilke komponenter som kræves for, at systemet kan virke, beskrives i dette afsnit.

Et ADAS Map Horizon system kan konceptuelt opdeles i følgende fire elementer⁴⁰: En digitalt kortdatabase, en positioneringsenhed, et kortudtræk, og en specialiseret funktionsenhed. Indholdet af hvert element beskrives som følgende:

- Digital kortdatabase:** Det digitale kortgrundlag, som i udstrækning og funktion dækker alle de behov for statiske geografiske informationer, som kræves til navigation og den ønskede ADAS funktionalitet. Et eksempel på ADAS funktionalitet kan fx være kurveradier, som finder anvendelse i *Road Departure Warning* systemer.
- Positioneringsenhed:** Køretøjets positioneringsenhed er en realtime sensor, som forsyner systemet med information om køretøjets position i det digitale kortmateriale. I praksis er positioneringsenheden ofte en GNSS modtager, men andre former for positionering kan også anvendes. Fx kan positioneringsenheden kombinere information fra en GNSS enhed med map matching rutiner eller en Inertial measuring unit (IMU), som begge kan forbedre positionen. Positioneringsenheden kan i nogle tilfælde også levere forskellige andre parametre, som kan afledes af positionen. Dette kan fx være kørselsretning, acceleration og hastighed. Positioneringsenheden er den eneste nødvendige aktive sensor i et ADAS Map Horizon system.
- Kortudtræk:** Når systemet er i drift er det klart, at nærliggende vejstrækninger er mere relevant end fjernereliggende vejstrækninger. Derfor dannes et kortudtræk svarende til det område, der vurderes som relevant i et givet tidspunkt. Kortudtrækket kan sammenlignes med skærbilledet på en GPS navigator, som kun udgør en lille del af kortdatabase. Kortudtrækkets udstrækning vælges så det til enhver tid viser en passende vejstrækning foran køretøjet. Størrelsen af kortudtrækket baseres på et gæt på hvor bilens vil befinde sig i løbet af et nærmere fastlagt tidsrum. En konceptuel illustration af et kortudtræk til brug i et ADAS Map Horizon system baseret på hastighedsskilte kan ses på figuren herunder (Figur 10).



Figur 10 : Illustration af et 1 dimensionalt kortudtræk,
Kilde : Ford Research & Advanced Engineering m.fl.⁴¹

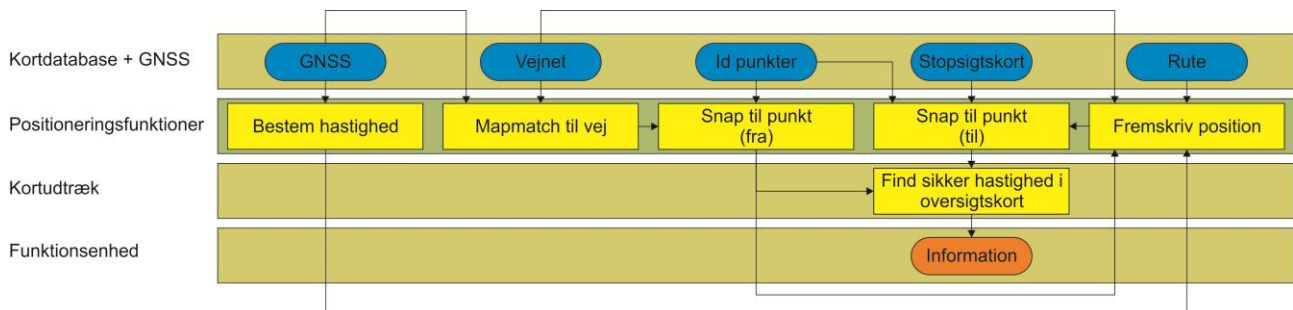
Funktionsenhed: I princippet kan man godt forestille sig et ADAS Map Horizon, hvis eneste funktion er at vise bilisten et kort. I praksis vil systemet ofte være i stand til at foretage konkrete handlinger, der tager højde for de situationer som køretøjet vil møde indenfor kort tid. Hvis den samlede hensigt er at advare føreren om dårlige oversigtsforhold kan funktionens handling fx være at afspille et auditivt advarselssignal.

Da fokusområdet i dette projekt er at udvikle selve stopsigtskortet er det valgt at opdele den videre beskrivelse af systemet i en offline fase og en online fase. Offline fasen defineres som det arbejde, som ligger til grund for at systemet kan fungere. Online fasen defineres som systemets funktion under drift.

6.1 Procesbeskrivelse vedr. online fase

I det foregående afsnit blev den generelle opbygning af et ADAS Map Horizon system beskrevet. Dette gør det muligt at forstå hvilke overordnede funktioner, som findes i et sådant system. Disse kan alle opdeles yderligere, hvis man bevæger sig ned på et dybere plan.

Det komplette system kan beskrives som en række processer, der i sammenspil med hinanden gør det muligt at advare føreren af en bil, hvis bilens hastighed er højere end stopsigtslængden tillader. På figuren herunder (Figur 11) illustreres sammenhængen imellem forskellige dele i systemet. På figuren ses procesrækkefølgen i et omfang, som er tilstrækkeligt til at forstå, hvordan systemet fungerer under drift. Hvis systemet vurderer, at bilen bevæger sig for hurtigt er resultatet en advarsel til bilisten om at sænke farten.



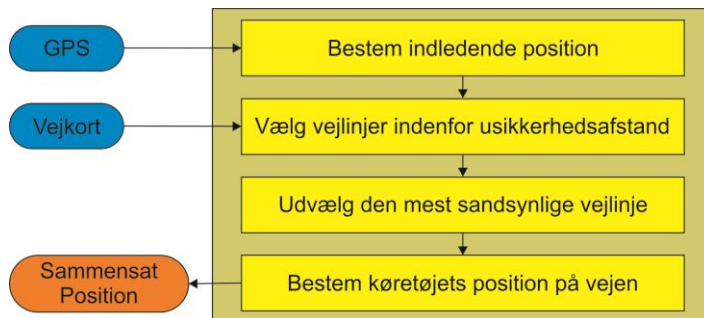
Figur 11 : Konceptskitse drift

På figuren (Figur 11) ses en række input (blå), et output (orange) og enkelte processer (gule). Under funktion vil data bevæge sig i pilens retning. På figuren beskrives følgende 6 processer; Mapmatch til vej, Snap til punkt (til), Bestem hastighed, Fremskriv position, snap til punkt (til) og Find sikker hastighed i stopsigtskort. De enkelte processer beskrives i detaljer i de følgende afsnit.

6.1.1 Mapmatching

I alle ADAS Map Horizon systemer er det nødvendigt at kende den nuværende position. Det er også tilfældet i dette system. Man kan forestille sig flere måder at bestemme positionen på. Men en variant af et GNSS system er den mest oplagte. Det GNSS system man kan forestille sig i et ADAS system vil af hensyn til systemets kostpris være et simpelt system, som hverken anvendes differentiell eller fase måling.

I situationer hvor nøjagtigheden er lav kan det umiddelbart udgøre et problem, hvis bilens position ikke befinder sig på vejen. For at undgå dette kan man anvende en Map matching algoritme. Map matching gør det muligt at sikre, at bilen altid positioneres på vejen, og anvendes i forvejen i de fleste GNSS navigators til biler. Funktionen af et map matching system kan beskrives vha. 4 procestrin, som det illustreres på figuren herunder (Figur 12).



Figur 12 : Koncept - Map matching

1. Bestem indledende position

Den indledende position bestemmes vha. GNSS. Denne position ligger sandsynligvis ved siden af vejen. Afstanden til vejen afhænger af positionens nøjagtighed og varierer ift. antal af satellitter og den geometri, som findes imellem dem.

2. Vælg vejlinjer indenfor usikkerhedsafstand

I et GNSS system er det muligt at give et kvalificeret bud på den nuværende nøjagtighed. Dette gæt på en forventet nøjagtighed baseres på antallet af fundne satellitter, og forskellige udtryk for satellitgeometrien eller og atmosfæren påvirkninger som fx PDOP, HDOP, SBAS mv. Den forventede nøjagtighed beskriver en konfidensellipse, som angiver sandsynlige positioner. Dvs. at det vejsegment, som bilen i virkeligheden befinder sig på vil være indenfor konfidensellipsen. Ofte vil det dog være nødvendigt at skalere konfidensellipsens størrelse med en faktor 2-3 stykker for at sikre, at det korrekte vejsegment er indenfor den beskrevne ellipse, indenfor ellipsen vil der typisk være flere end et vejsegment.

3. Udvælg den mest sandsynlige vejlinje

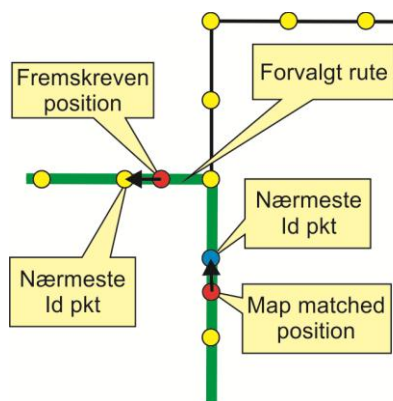
I det foregående procestrin blev en række vejsegmenter valgt. Formålet med det nuværende procestrin er derfor at sortere i de valgte vejsegmenter og forsøge at udpege et enkelt vejsegment, som bilen befinder sig på. For at udvælge det mest sandsynlige vejsegment indenfor konfidensellipsen gøres en række betragtninger omkring bevægelsesretning, afstand, og vejens topologi. Dvs. at retningen af de valgte vejsegmenter sammenholdes med bilens bevægelsesretning. Mht. afstand, så vurderes afstanden fra bilens estimerede position til de valgte vejsegmenter. Desuden antages det, at bilen ikke forlader vejen på noget tidspunkt. Herved kan vejsegmenter, som ikke umiddelbart er forbundet med bilens sidst kendte matchede position, udelukkes. Det bemærkes dog at fremgangsmåden ikke er nogen garanti for at det korrekte vejsegment udvælges. Især kan der opstå problemer, hvis der findes parallelle vejsegmenter med kort afstand imellem hinanden, som det fx er tilfældet ved veje med flere spor i hver retning. Her vil det være nødvendigt at anvende en kombination af IMU, GNSS og evt. også mapmatching.

4. Bestem køretøjets position på vejen

I dette trin projiceres den indledende position ind på det valgte vejsegment. Den projicerede position, som også kaldes den matchede position kan altså findes på det sted på den udvalgte vejlinje, hvor afstanden til den indledende position er mindst.

6.1.2 Snap til punkt (til og fra)

I drift fungerer ADAS Map Horizon systemet vha. tabelopslag i en tabel, som angiver hvilken hastighed det er sikkert at køre. Tabellen rummer dog kun information om en række identificerbare punkter på vejen. Disse kaldes Id punkter. For at kunne anvende tabellen må man derfor vide, hvilke af disse id punkter man er interesseret i. Under drift anvendes en fremskreven position, som er ekstrapoleret med baggrund i den nuværende rute og hastighed. Men da en matchet position fra GNSS kun sjældent vil befinde sig i et id punkt er det valgt i stedet at vælge det nærmeste id punkt, og bruge dets id til opslag i tabellen. Det samme gælder for den fremskrevne position. Princippet kan ses på figuren herunder (Figur 13).



Figur 13 : Koncept fremskreven position og tabelopslag

Denne metode medfører tydeligvis en fejl på den afstand, som beregnes imellem to id punkter. Fejlens størrelse i hvert punkt kan højst være 2,5 meter. Betydningen for afstanden imellem disse to punkter kan beregnes til: $\sqrt{2,5^2 + 2,5^2} = 3,5 \text{ m}$ (3σ). Dvs. at fejls spredning er 1,2 m (1σ). Beregningen fungerer med baggrund i en antagelse af, at fejlen i hvert punkt er normalfordelt. Antagelsen holder ikke stik, men det beregningen giver alligevel et indtryk af fejls størrelse. Da afstandsfejlen sammenlagt højst kan være 5 meter kan man sikre sig imod beregning af rutelængder, som er længere end synslængden ved konsekvent at fratrække 5 meter fra ruten afstanden.

6.1.3 Bestem hastighed

For at kunne afgøre om bilen kører hurtigere end det kan anbefales under de givne oversigtsforhold, må man nødvendigvis kende den nuværende hastighed. Denne kan bestemmes vha. GNSS modtageren, som det illustreres på koncept-figuren (Figur 11). En anden mulighed er vha. bilens speedometer, som kan gøres ganske præcis vha. kalibrering. Men hvis det ønskes at undgå nødvendigheden af kalibrering kan hastigheden fra GNSS ligeledes gøres meget nøjagtig vha. doppler måling eller i sammenhæng med en IMU.

6.1.4 Fremskriv position

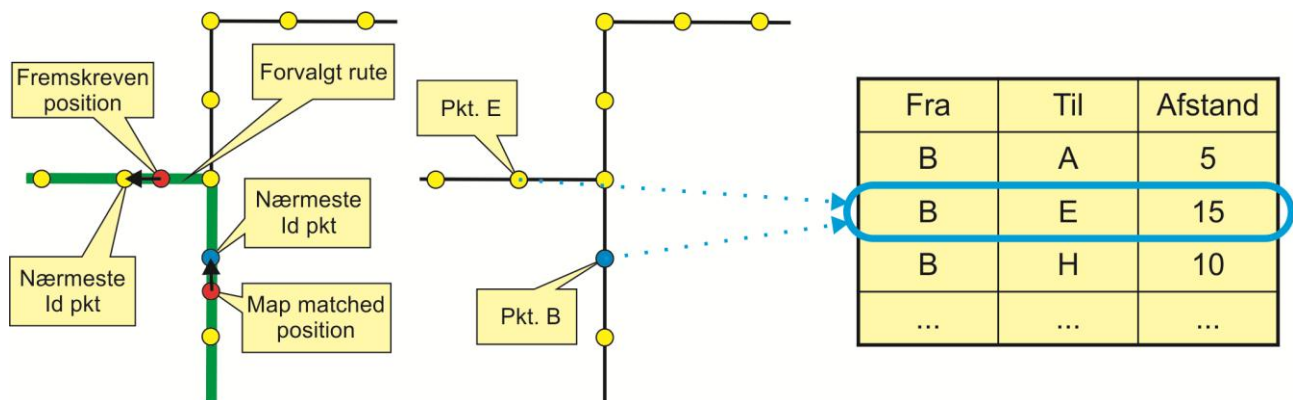
Med udgangspunkt i den map matchede position og den nuværende hastighed kan den fremtidige position beregnes. Den afstand som bilens position fremskrives med svare til standselængden ved nuværende hastighed. Standselængden er summen af reaktionslængde og bremselængde⁴².

$$\text{Standselængde} = \text{Reaktionslængde} + \text{Bremselængde}$$

For at kunne fremskrive den nuværende position kræves også kendskab til, hvilken rute det kan forventes at bilen vil bevæge sig ned af. Der findes realtime metoder til at komme med kvalificerede bud på den mest sandsynlige rute. Disse kan fx være baseret på betragtninger om hastigheder igennem sving, tidlige besøgte destinationer mv⁴³. En mere simpel måde at tilgå problematikken på er at lade ruten være defineret igennem bilens GPS navigator. Dette vil dog kræve, at bilisten indtaster en rute på forhånd. Begge disse metoder er mulige, men mht. prioritering af tidsforbruget i dette projekt er det valgt ikke at komme nærmere ind på fremskrivningen af positionen. I de tilfælde hvor det er nødvendigt at referere til den fremskrevne position vil det blot blive antaget at bilisten har indtastet en rute på forhånd.

6.1.5 Find sikker hastighed i stopsigtskortet

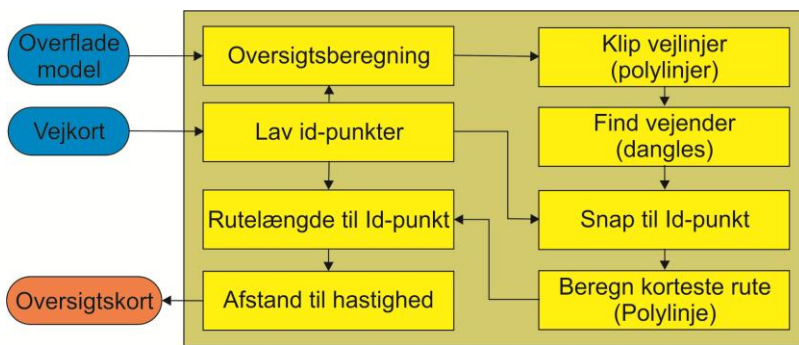
Når systemet skal finde frem til en sikker hastighed sker det ved tabelopslag. Tabellen knyttes til stopsigtskortet, men fremgår ikke visuelt af kortet på samme niveau som vejsegmenterne. Dog kræves selve kortet til lave opslag i tabellen, idet køretøjets nuværende og fremskrevne position angiver hvilke id punkter man skal slå op i tabellen. Se figuren (Figur 14)



Figur 14 : Anvendelse af id-punkter til tabelopslag

6.2 Procesforløb vedr. offline fase

I det tidligere afsnit (6.1 Procesbeskrivelse vedr. online fase), anvendes et stopsigtskort vha. et dertil rettet system til at advare en bilist, hvis han kører for hurtigt. For at dette kan fungerer som det er beskrevet kan man opstille en række krav til det. Fx er det vigtigt, at kortet indeholder information om hastigheder, og kan anvendes som opslagsværk vha. id-punkter på den måde, som det er beskrevet. En måde som stopsigtskortet kan udarbejdes på ses illustreret på figuren herunder (Figur 15). På figuren ses selve processen, hvor stopsigtskortet er skabt vha. en overflademodel og et vejkort. Denne kan opdeles i følgende ni delprocesser; Lav id-punkter, Oversigtsberegning, Klip vejlinjer, Find vejender, Snap til Id-punkt, Beregn korteste rute, Rutelængde til Id-punkt, og Afstand til hastighed.



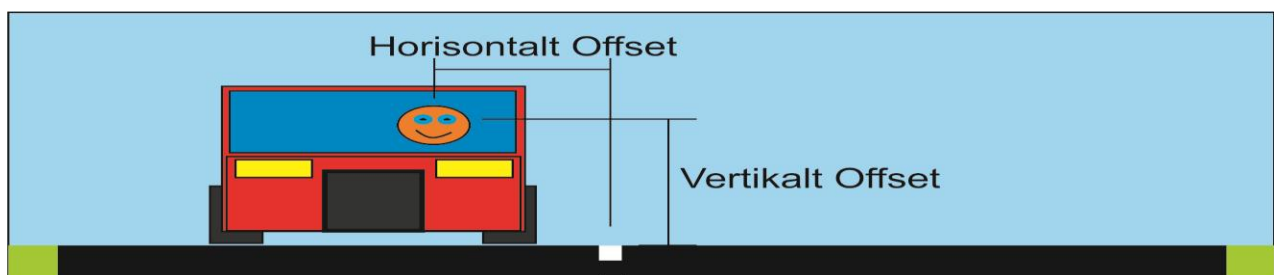
Figur 15 : Koncept synslængdeberegning

I figuren herover (Figur 15) illustreres input med blå objekter, processer illustreres med gult, og output illustreres med orange. Dataflowet imellem disse illustreres med pile imellem objekterne. Delprocesserne vil blive beskrevet i nærmere detalje i de følgende afsnit.

6.2.1 Lav Id-punkter

Da stopsigtskortet skal kunne anvendes om udgangspunkt for en række tabelopslag er det vigtigt, at kortet indarbejder brug af Id-punkter. Disse kræves bl.a. i forbindelse oversigtsvurderingen (Viewshed-analyse). Et Id-punkts funktion er at angive et bestemt sted på kortet entydigt. Derfor har hvert Id-punkt en unik værdi, som kan genfindes i en tabel. Id-punkterne bør desuden befinde sig på steder, hvor bilistens øjne kan tænkes at befinde sig ved kørsel på vejene.

Bilistens øjnes placering kan beskrives vha. et vertikalt og et horisontalt offset, som det illustreres på figuren herunder (Figur 16). Offsettet defineres her ift. vejmidten, men man kan også forestille sig at det skulle være ift. vejkannten. Ved en sammenligning imellem de to er vejmidten dog bedst defineret, hvorfor denne er bedst egnet. For at fastlægge størrelsesordenen af de to offset tages udgangspunkt i en række gældende vejnormer og hæfter, som udgives af vejdirektoratet. Disse hæfter udgør vejsektorens anbefalinger for god praksis i forbindelse med projekteringsarbejde på og omkring vejen. Hæfterne dækker både over anbefalinger og lovbestemmelser. Vejnormerne beskriver ikke hvordan den egentlige kontrol af synslængden skal udføres, men blot hvorfra og hvortil der skal være klart udsyn. Men vha. vejnormerne er det muligt at bestemme observatørens position, som udtryk af et horisontalt og et vertikalt offset ift. vejmidten.



Figur 16 : Placering af bilistens øjne ift. vejmidten

Id punkter anvendes enten til at definere positionen af en mulig forhindring på vejen eller bilistens øjne. For at skelne imellem de to situationer anvendes betegnelsen tilsynspunkt og arbejds punkt. Hvis punktet

angiver bilistens øjnes placering bruges udtrykket arbejds punkt, og hvis id punktet anvendes til at beskrive positionen af en genstand på vejen anvendes udtrykket tilsyns punkt.

6.2.1.1 Punktafstand

Det er hensigten, at det færdige stopsigtskort skal indeholde værdier langs alle veje på kortet. Disse placeres i en afstand imellem hinanden, som sikre at de skiftende oversigtsforhold langs en vejstrækning kan beskrives tilstrækkelig flydende. Hvis punkterne ligger med for stort mellemrum ville det i praksis betyde, at der vil være steder på kortet, hvor oversigtsforholdene i et punkt er god, men næste punkt langs vejen er oversigtsforholdene dårlige. Fx kan man forestille sig et punkt, som har 200 meters frit synslængde frem, men efter blot en meters kørsel snappes til et id. punkt, som i virkeligheden ligger 180 meter væk, hvilket kan medfører, at synslængden springer fra 200 til 20 meter over en kørt strækning på 1 meter.. For at forstå dette opfordres læseren til at tage et kig på figurene; Figur 13 og Figur 22.

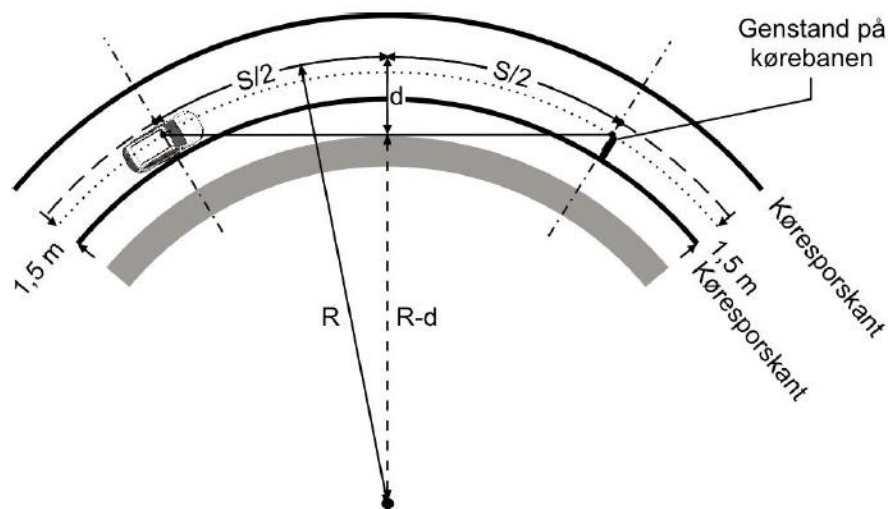
Den valgte punktafstand sættes til 5 meter, hvilket ikke nødvendigvis er tilstrækkelig til at sikre optimal drift i en brugssituation. Men i valget ligger også vurdering af den nødvendige processortid, som kræves for at udfører beregninger på flere punkter. 5 meter antages derfor at være et godt kompromis imellem det optimale antal punkter ved hurtig kørsel og ved langsom kørsel.

6.2.1.2 Horisontalt offset

Det er ikke altid uden betydning for oversigtsforholdene, hvor på vejen man befinder sig. En normal bilist befinder sig i førersædet på en alm. personbil i størstedelen af den tid han bruger på vejen. I forhold til kørselsretningen befinder hans øjne sig altså til højre for midterlinjen. I vejnormerne defineres hans øjnes placering dog ift. den inderste kørebanekant, som det ses på figuren (Figur 17) herunder.

Alle veje har dog ikke den samme bredde. I stedet er de inddelt i vejklasser, hvor bredden fx kan være 6, 8, 10 eller 12 meter. Men det er min erfaring, at en bilist oftere vil placere sig ift. vejens midte end til kørebanens ydre kant. Derfor vil det være mere realistisk, at anvende vejmidten til at bestemme bilistens position på vejen. Det kan fx være med anvendelse af en fast afstand imellem vejmidte og bilist på 1,5 meter. Denne fremgangsmåde har desuden den fordel, at vejmidten generelt kan forventes at være bedre defineret i praksis end kørebanekanten.

En vej rummer ofte en kørebane, som er tiltænkt kørsel i begge retninger på samme tid. Hvis der skal tages højde for dette vil det kræve at man placere id-punkter på begge sider af vejmidten. Men det vil koste en del arbejdstid, og da det er uden betydning for selve beregningerne af oversigtsforholdene om man kører den ene eller den anden retning på vejen er det valgt at nedprioritere horisontale offset i projektet. I stedet er det valgt at antage at bilistens øjne befinder sig lige over vejmidten. Dette har den fordel, at de samme id-punkt kan anvendes ved kørsel i begge retninger på vejen.



Figur 17 : Horizontalt offset, Kilde: vejreglerådet⁴⁴

6.2.1.3 Vertikalt offset

I vejnormerne angives også nogle standardværdier for hvor høje man kan forvente, at objekter er. Det har betydning for, hvor let det er at se objektet på afstand. Før disse kan anvendes må man dog først gøre det klart, om man udelukkende ønsker at kunne se et andet køretøj eller om man også ønsker at kunne se en mindre genstand på størrelse med en fodbold eller lign. Når valget er truffet kan nedenstående værdier⁴⁵ anvendes.

Bilistens øjenhøjde:	1,00 m
Køretøjshøjde:	1,00 m
Genstandshøjde:	0,15 m

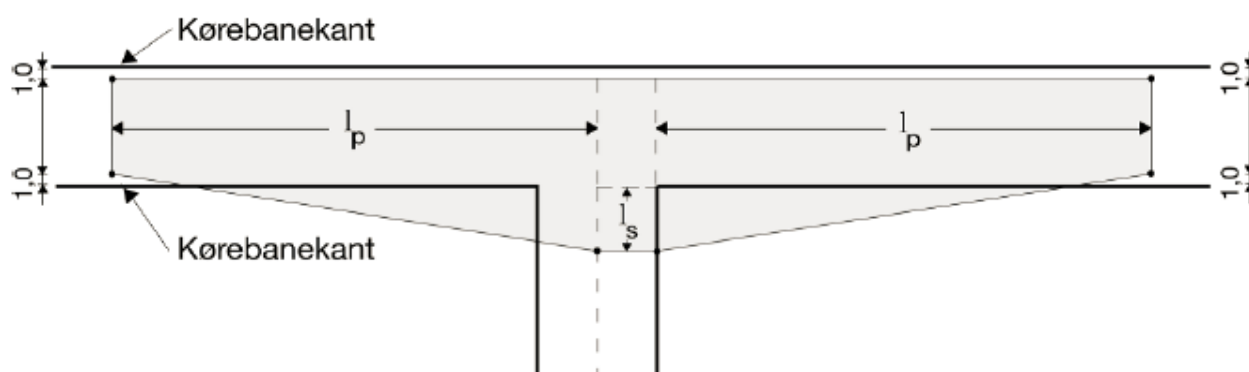
En af de ulykkesfaktorer, som blev gennemgået tidligere var *forkert reaktion* fra en bilist. Denne reaktion antages i nogle tilfælde at stamme fra en undvigemanøvre, hvor en bilist har forsøgt at undvige en fodbold eller et dyr på vejen og i forsøget er han kørt ind i noget andet. For også at tage højde for denne situation i projektet besluttes det, at en bilist skal kunne se genstande på vejen og ikke bare andre personbiler.

6.2.1.4 Oversigtsarealer

I de førnævnte vejnormer forholder man sig særlig kritisk til oversigtsforhold i kryds. I dette projekt spiller denne problematik også en særlig rolle, derfor er det interessant at undersøge, hvordan oversigtsarealer i kryds bør behandles jf. vejnormerne.

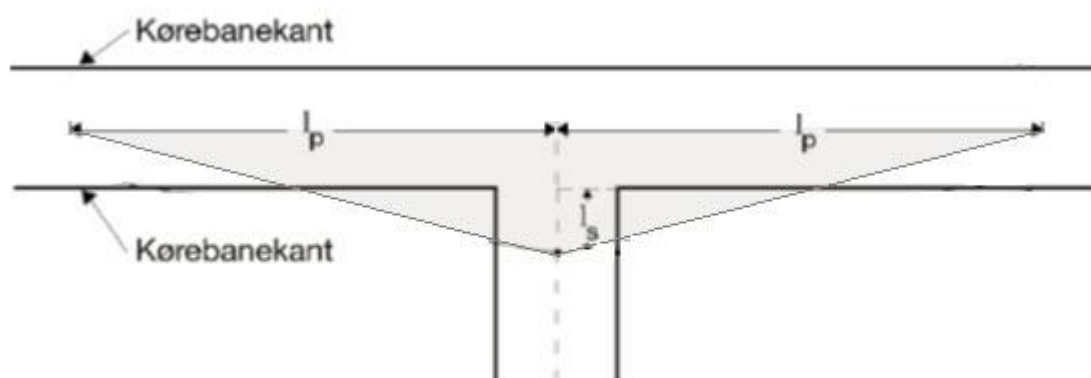
I vejnormerne, anvendes et begreb, som kaldes oversigtsareal. Dette kan forklares vha. figuren (Figur 18). Et oversigtsareal defineres som et areal, hvor der er frit udsyn over hele arealet. Arealet defineres vha. en afstand til selve krydset. I denne afstand skal det være hele vejens bredde med undtagelse af 1 meter i hver side være synlig. Afstandene afhænger af den hastighed, som er tiltænkt på vejene omkring krydset. Dvs. at afstandene stiger i takt med hastigheden. Oversigtsarealerne har til formål, at sikre at en bilist, som holder for ubetinget vigepligt har tilstrækkeligt oversyn over den vej, som bilisten ønsker at køre ud på før bilen sættes i bevægelse. Samtidig ønskes det at sikre at biler, som kører på vejens hovedstrækning kan se om

der holder en bil på sidevejen. Derfor er de definerende afstande forskellige afhængige af om afstanden beregnes langs hovedvejen eller langs en sidevej.



Figur 18 : Oversigtsareal i T-Kryds jf. vejnorm, Kilde: Vejreglerådet⁴⁶

Hvis man ser bort fra kravet om at kunne se hele vejens bredde på nær 1 meter i begge sider, og udelukkende medtager afstandene l_p og l_s , så er det muligt at tage højde for forskellige oversigtsarealer med den anvendte metode. Herved ændres oversigtsarealets form og størrelse. Se figuren herunder (Figur 19). I praksis vil oversigtsarealets størrelse dog indirekte blive påvirket i kraft af at den billineare interpolation, som finder sted under bestemmelse af terrænkoten i forbindelse med oversigtsberegningerne.



Figur 19 : Oversigtsarealer mht. krydstype, Kilde: Vejreglerådet⁴⁷

Det bemærkes, at det kort, som skal fungere som grundlag for systemet indeholder information om oversigtsforhold ift. sideveje. Hvis det ønskes at inddrage vurderingen af disse vil det kunne ske i driftsfasen. Så for at implementere denne funktion kræves udelukkende en videreudvikling af systemets driftsfase. Men da driftsfasen kun behandles i begrænset omfang i dette projekt vil oversigtsarealerne ikke blive berørt yderligere i dette projekt.

6.2.2 Oversigtsberegninger

Den mest simple måde at vurdere oversigtsforhold på er nok, at stille sig et sted på vejen og forsøge af få øje på en genstand man har placeret et andet sted på vejen. Denne måde er dog både tidskrævende og

upraktisk idet den bl.a. ville kræve, at vejen lukkes midlertidigt. Derfor kan man overveje om man kan finde andre metoder at udføre undersøgelsen på. Og det viser sig, at der findes flere alternativer.

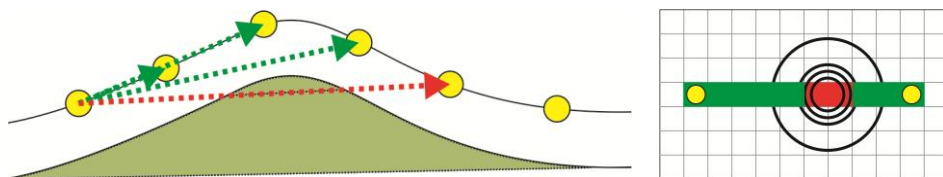
6.2.2.1 Metoder

Det er lykkedes at finde på et antal metoder, hvorpå oversigtslængder kan vurderes. De fundne metoder kan inddeles i følgende 3 kategorier, som knytter sig til enten; Raster overflader, TIN overflader eller manuel inspektion. For at beregne synslængder kræves som minimum kendskab til terrænhøjde og observatørens position. Terrænhøjden kan findes i en landsdækkende terrænmodel, og observatørens position defineres af de id-punkter som er beregnet langs vejmidten.

Raster overflader

I denne kategori foregår synslængdekontrollen ved at trække en linje fra et arbejds punkt til et tilsynspunkt. Hvis punktet er synligt, så er linjens kote højere end koten af det terræn den passerer hen over. Rastersammenligning kan ske på baggrund af en enkelt syns linje (Line Of Sight) eller flere syns linjer, som tilsammen udgør en synsflade (Viewshed).

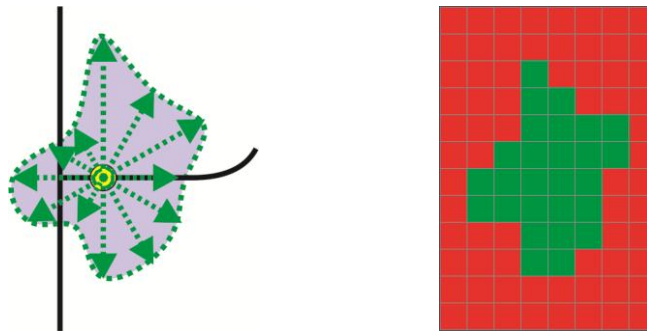
Line Of Sight (LOS): I en LOS beregning på baggrund af en rasteroverflade, tegnes først en linje fra et arbejds punkt til et tilsynspunkt. Da linjen tegnes i det samme rastergrid som rasteroverfladen vil en pixel på linjen svare til en pixel på overfladen. Eneste forskel imellem de to pixels er det digitale tal, som angiver pixelkoten. Hvis det ene punkt ikke er synligt fra det andet behøves blot en pixel langs linjen, hvor rasteroverfladens kote er højere end syns linjens kote. Resultatet af en LOS beregning illustreres ofte vha. en linje, hvor farven angiver om tilsynspunktet er synligt fra arbejds punktet. Et eksempel kan ses på figuren herunder (Figur 20), hvor gule punkter illustrer id punkter, grønne pile indikere frit udsyn idet pilens kote over hele strækningen er over terrænets kote. Røde pile indikerer blokkeret udsyn idet pilens kote mindst et punkt langs hele strækningen er mindre end terrænets kote.



Figur 20 : Line Of Sight, Tv: Fra siden, Th: I rasterformat

Viewshed:

En LOS beregning, som beskrevet ovenfor kan udføres successivt omkring et punkt på en måde, hvor syns linjerne tilsammen kommer til at danne en flade. Dette kaldes en Viewshed analyse. Resultatet af en viewshed analyse er en rasteroverflade, hvor synlighed eller ej angives vha. en farve (se figuren herunder, Figur 21). En viewshed analyse i sin simpleste form vil således være en cirkel. I andre tilfælde udføres analysen kun i en bestemt vinkel omkring et punkt. Derfor vil resultatet være formet som en pizzaslice. Idet det også er muligt at begrænse den afstand fra punktet syns linjerne roteres omkring kan cirkelns radius begrænses.



Figur 21 : Rasteroverflade før og efter viewshed analyse. Glå farve illustrerer viewshedpolygonen, som indikere det område, som er synlig fra arbejdspunktet i midten. Veje illustreres med sorte linjer. Rød farve illustrere at punktet ikke er synligt fra arbejdspunktet.

Ved anvendelse af en viewshed analyse bør man dog være opmærksom på, at metoden giver en række fejl, hvis analysen udføres på et område, som ikke er dækket af rasterfladen. I det tilfælde opstår en fejl kaldet *Edge Effect*⁴⁸. I det tilfælde opfatter analysen kanten af rasteroverfladen, som en mur man ikke kan se igennem.

TIN overflader

Triangular Irregular Network (TIN) er en dataform, som også kan anvendes til oversigtsberegninger. Denne dataform er defineret som parametriske flader, og kan derfor behandles på baggrund af fladernes matematiske forskrift.

Line Of Sight (LOS): Ønsker man at anvende LOS beregninger, som beskrevet under rasterberegninger, men samtidig ønsker at anvende en TIN overflade. Så kan det også lade sig gøre⁴⁹. Metoden kræver blot, at man først beregner fladens kote i en række punkter langs synslinjen. Herefter kan koterne sammenlignes på samme måde, som det sker ved anvendelse af et rasterdatalag. (se Figur 20)

Skæringsberegning: Ved skæringsberegning sættes synslinjens ligning lig med ligningerne for de individuelle trekantede overflader, som linjen passerer over. I den forbindelse er det vigtigt, at kun skæringer indenfor trekanternes plankoordinater medfører blokade af synslinjen. En TIN overflade består dog af mange trekantede flader, og derfor kan skæringsberegninger være ganske tidskrævende.

Ved inspektion

Som det tidligere er blevet nævnt, så kan synligheden af et objekt også kontrolleres ved at efterprøve det. Det er dog uhensigtsmæssigt, idet det er meget tidskrævende. Men hvis man ikke skulle bruge ekstra tid på det, ville det dog være en anden sag. Her kan man overveje Crowdsourcing, hvor man gør brug af sensorer, som allerede er på området.

ADAS Sensor: Man kan forestille sig, at et ADAS Sensor system kan anvendes til at registre oversigtsforholdene på de steder hvor et køretøj med systemet bevæger sig. En ulempe ved denne fremgangsmåde er dog, at et ADAS sensor system både registre permanente og bevægelige objekter. De bevægelige objekter vil ikke nødvendigvis blokkere for oversigten næste gang en bil kommer forbi stedet. Derfor er det

nødvendigt at rense data for at undgå dette problem. En måde at gøre det på er, at sammenligne flere opmålinger af det samme område og kun gemme objekter, som går igen fra opmåling til opmåling.

Google Streetview: I stedet for at anvende ny opmåling af oversigtsforholdene vil det i mange henseende være en fordel, hvis opmålingerne allerede er foretaget. En mulighed kunne fx være at anvende Google Streetview, som findes langs de fleste veje. Google streetview har ligesom en ADAS Sensor crowdsourcings løsning den ulempe, at bevægelige objekter er besværlige at udelukke fra opmålingen. I en løsning baseret på Googles streetview består opmålingen af billeder, som derfor først skal igennem en processortung billedbehandling for at kunne afgøre hvor langt man kan se frem fra stedet.

6.2.2.2 Valg af metode

På baggrund af de fordele og ulemper, som er fundet under gennemgangen af de forskellige måder at foretage synslængdeberegninger på, er det valgt at arbejde videre med en viewshed analyse baseret på et rasterdatasæt.

Det er valgt at anvende et rasterdata da de involverede beregninger er mindre krævende end det ellers ville være tilfældet. Hvis valget af beregningsmetode skal udvælges efter samme kriterier vil valget falde på LOS. Men det er valgt at anvende viewshed metoden i stedet. Valget er truffet på baggrund af personlig interesse og mistro over forskellen imellem de to metoder mht. tidforbruget. Det vil være ønskværdigt, at sammenligne tidsforbruget imellem de to metoder direkte. Men pga. problemer med implementeringen af det programmel, som udfører viewshedanalysen har der desværre ikke været tid til en konkret sammenligning baseret på praktiske forhold.

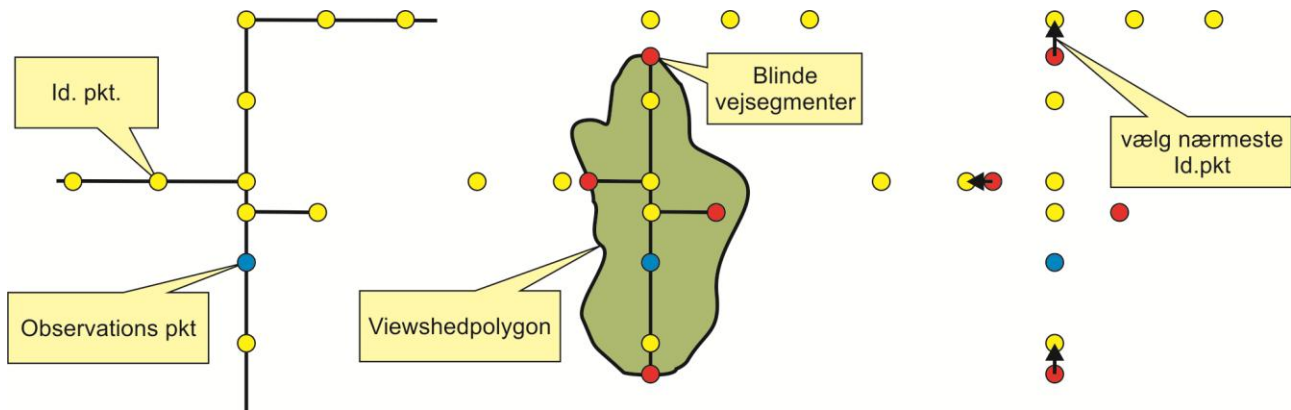
6.2.3 Klip vejlinjer og find vejender

Det næste trin jf. afsnit 6.2 *Procesforløb vedr. offline fase* er at anvende viewshedpolygonen som klippeværktøj på vejkortet. Herved opnås et afgrænset vejkort, som viser hvilke områder af vejen, der er synlige fra netop et valgt arbejds punkt. Det afgrænsede vejkort kan senere anvendes til at beregne, hvor langt frem på vejen den er synlig. Se figuren herunder (Figur 22).

På baggrund af det afgrænsede vejkort vil alle tilsynspunkter nu kunne defineres som et blindt vejstykke. Derved bliver det mulig at advare bilisten, hvis han kører for hurtigt ift. hans synslængde, og hvis han kører for hurtigt ift. vejens længde. I stedet for at klippe et stykke af vejkortet ud kan man også beregne skæringspunkter med viewshedpolygonen og vejen direkte. Men i så fald vil der ikke blive beregnet afstande til tilsynspunkter på blinde veje, hvis vejen stopper indenfor viewshedpolygonen. Princippet kan ses på figuren herunder (Figur 22).

6.2.4 Snap til Id-punkt

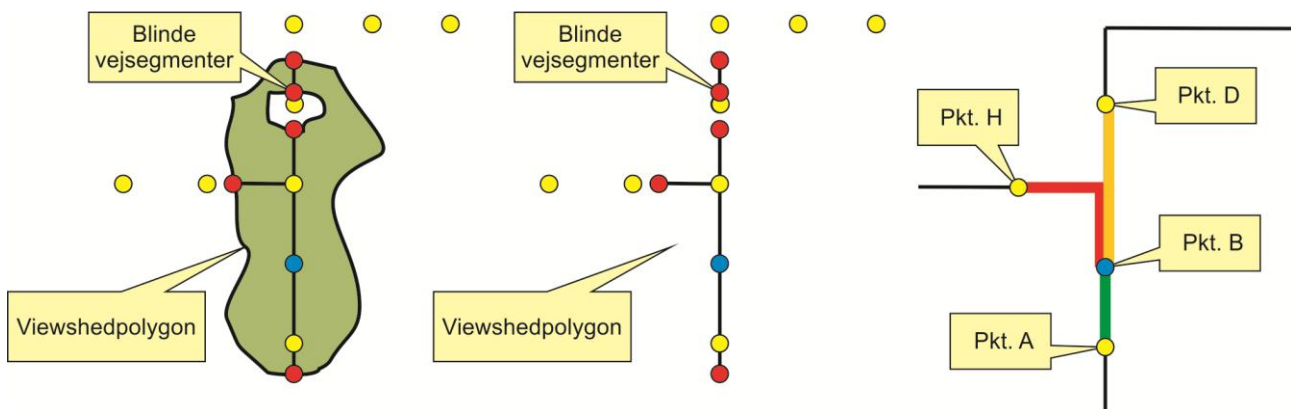
Efter at være blevet klippet med viewshedpolygonen ligger vejenderne ikke samme sted, som de eksisterende id-punkter. Det er hensigten at benytte id-punkterne som nøgle til tabelopslag. Derfor er det nødvendigt at skabe sammenhæng imellem id-punkterne og vejenderne. Dette gøres vha. funktionen snap. Id-punktet danner efterfølgende ramme for beregningen af synslængden. Samme ide anvendes i det tilfælde bilens position skal placeres på stopsigtskortet. Princippet kan ses på figuren herunder (Figur 22).



Figur 22 : Valg af nærmeste id punkt.

6.2.5 Beregn korteste rute

Med kendskab til observatørens placering og vejenderne, som definerer de fjerneste synlige punkter på vejen, kan man finde frem til afstanden imellem disse. Da veje ofte bedst kan beskrives som en kurve vil det ikke være korrekt at beregne afstanden imellem to punkter langs en fugleflugtslinje. I stedet må afstanden imellem to punkter beregnes langs vejen. Dette kan ses på figuren herunder (Figur 24).



Figur 23 : Hul i Viewshedpolygonen pga. dal eller lignende i terrænet

Ved beregning af synsafstanden bør man være opmærksom på, at viewshedpolygonen kan have huller, som betyder at mindre områder på vejen ikke er synligt, selvom vejen er synlig længere fremme. Derved oprettes flere blinde vejsegmenter langs den samme rute og ligeså mange tilsynspunkter. Men det er kun det nærmeste af disse udvalgte tilsynspunkter langs hver rute, som er interessant ift. det valgte arbejds punkt (Figur 23, Pkt B).

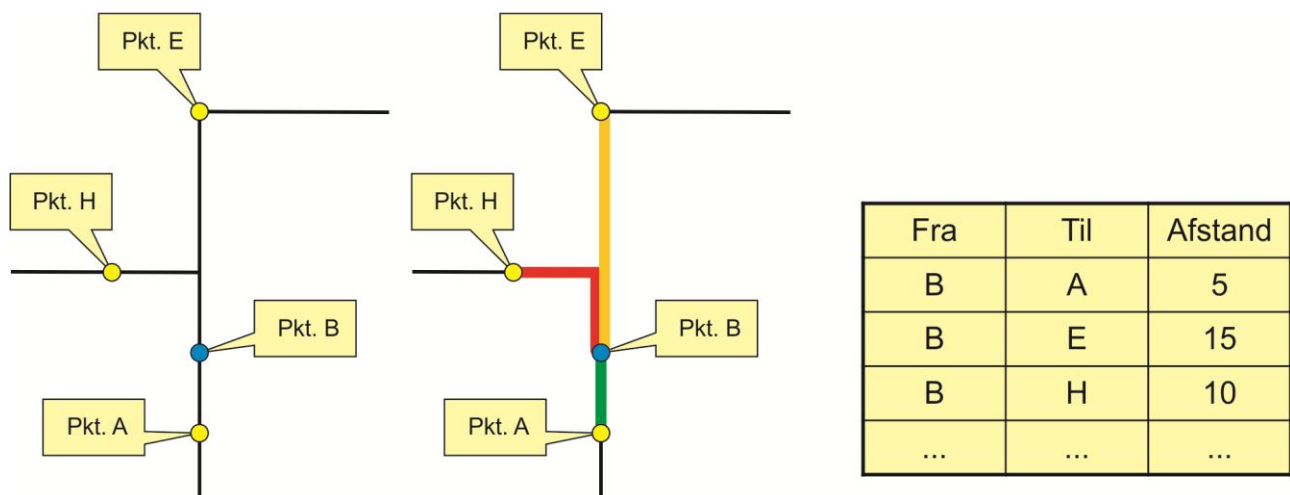
For at finde frem til de nærmeste blinde vejsegmenter (tilsynspunkter) anvendes en ruteberegning metode, hvor de tilsynspunkter som repræsenterer de blinde vejsegmenter både indgår som destinationspunkter og ruteblokering på skift.

I praksis udføres ruteberegningen et tilsynspunkt af gangen. Dette tilsynspunkt anvendes som destinationspunkt i ruteberegningen og alle andre tilsynspunkter anvendes som vejblokering. Derved vil det kun være muligt at beregne en rute til et tilsynspunkt, hvis det er nærmeste tilsynspunkt langs den pågældende rute. Se figuren herover (Figur 23). Denne måde at beregne ruter på tager nødvendigvis

længere tid end, hvis man på forhånd vidste hvilke punkter der kan beregnes rute til. Men det er ikke lykket at finde en metode, som kan tilfredsstille dette ønske. Derfor er førnævnte metode eneste mulighed. Og da metoden efter endt beregningstid kommer frem til det ønskede resultat er det valgt ikke at bruge mere tid på at lede efter en bedre løsning på denne del af problematikken.

6.2.6 Rutelængde til id-punkt

Det ses på figuren herunder (Figur 24), at der kan opstå ruter til mere end et tilsynspunkt i retning foran bilen. Det sker nødvendigvis, hvis der befinder sig et vejkryds foran bilen. Ligeledes kan der findes flere ruter til tilsynspunkter bag bilen. Hvis man anvender et vejnet, der skelner imellem kørselsretninger kan man udelukke tilsynspunkter, som ligger bag bilen. Men tilbage er der stadigvæk 2 tilsynspunkter at vælge imellem jf. figuren (Figur 24). Afstanden fra arbejds punktet til de 2 tilsynspunkter kan let variere meget. Derfor er det nødvendigt at kunne skelne imellem punkterne. For at gøre det muligt tillægges arbejds punktet en værdi for hvert tilsynspunkt, som senere kan findes frem under systemets driftsfase vha. den nuværende position og en forudsagt fremtidig position. Dvs. at hvert id punkt efterfølgende rummer en værdi, som identificerer punktet selv, og en række værdier for de tilsynspunkter som er synlige fra punktet.



Figur 24 : Bestemmelse af synsafstand langs vejen. Bilen vises med blå prik, vejen med sort, id punkter med gult og en rute langs vejen med rød, orange og grøn linje.

6.2.7 Beregn hastighed

Den hastighed som medfører stopsigt afhænger af synslængden i en bestemt position. Derfor kan man opstille en funktion, hvor synslængden gives ved nuværende position. Samtidig vil dette udtryk være lig med standselængden givet ved nuværende hastighed.

$$\text{Synslængde}(\text{position}) = \text{Standselængde}(\text{hastighed})$$

Funktionen Synslængde(Position) angiver den synslængde, som kan findes vha. viewshed analysen. Standselængde(Hastighed) kan bestemmes vha. en formel. Det viser sig dog, at der er flere måder at opstille denne formel på. Selv med udgangspunkt i lovbestemte kilder er der forskel. Enten kan man tage udgangspunkt i bilernes lovpligtige formåen eller man kan tage udgangspunkt i de regler, som gælder for

vejenes udformning. Begge metoder definerer standselængde som summen af bremselængde og reaktionslængde, men beregner bremselængden og reaktionslængden forskelligt.

Forudsætninger for geometrisk udformning:

Vejsektoren har lovhjemmel⁵⁰ til at definere retningsregler for hvordan vejkryds i det åbne land skal defineres. Retningsreglerne findes i en række vejnormer, hvor *Forudsætninger for geometrisk udformning*⁵¹ er en af disse. Vejnormen foreskriver hvordan man skal beregne standselængde i forbindelse med etablering af nye vejkryds i det åbne land og i byen. Det er værd at bemærke, at der er forskel imellem reglerne i byen og på landet. I dette projekt tages udgangspunkt i reglerne for landzone. Men det viser sig at største forskel imellem de to regelsæt er regelsættenes juridiske status. I byen kan reglerne betegnes som faste regler, hvorimod de samme regler kun anvendes som vejledning i landzone. I vejnormen gives følgende formler for bremselængde og for reaktionslængde:

$$\text{Reaktionslængde} = \frac{(V_0 + 20) \times T_r}{3,6}$$

$$\text{Bremselængde} = \frac{(V_0 + V_{\text{Tillæg}})^2}{2 \times g \times (\mu_{\text{brems}} + s) \times 3,6^2}$$

I disse formler angiver V_0 den ønskede hastighed [km/t], $V_{\text{Tillæg}}$ er et sikkerhedstillæg til hastigheden [km/t], g er tyngdeaccelerationen [m/s^2], μ_{brems} er en bremsefriktionskoefficient [enhedsløs], s er vejstrækningens længdegradient [$^\circ/\text{oo}$], og T_r er reaktionstiden [s].

Detailforskrifter for køretøjer:

Færdselsstyrelsen er igennem færdselsloven bemyndiget til at udgive et regelsæt, som finder anvendelse ved periodisk syn af køretøjer. Regelsættet kaldes *detailforskrifter for køretøjer*⁵², og i det kan bl.a. findes en grænse for hvor kraftigt en bil som minimum skal være i stand til at bremse. Det antages, at størstedelen af bilerne på vejene er synede. Derfor kan denne grænse betragtes som et godt udgangspunkt for at beregne en sikker hastighed på vejene. Det bør desuden bemærkes, at langt de fleste biler er i stand til bremse betydeligt kraftigere end de minimumskrav som angives i detailforskrifterne såfremt det sker på tør vej⁵³.

I *detailforskrifter for køretøjer* beskrives bremseevnen for flere typer køretøjer. F_x angives deceleration for en alm. bil [Personbil M1] til $5,8 \text{ m/s}^2$. Denne værdi kan anvendes til at opstille et udtryk for hastighed udtrykt gennem standselængden vha. et almindelige formelsæt for hastighed og acceleration fra en fysikbog⁵⁴.

$$x_{fr} = x_{ir} + v_x \times t$$

$$v_{xf}^2 = v_x^2 + 2a_x(x_{fs} - x_{is})$$

I overfor nævnte formler betegner x_{ir} og x_{fr} positionen før og efter reaktionstid [m], t angiver reaktionstiden [sek], v_x er hastigheden under konstant hastighed [m/s], v_{xf} er hastighed efter nedbremsning [m/s], a_x angiver accelerationen [m/s^2], og x_{is} og x_{fs} angiver positionen før og efter acceleration [m]. Alle udtryk i ovennævnte formler angives i standard SI grundenheder.

I beregningen af sikker hastighed ved en given synslængde sættes hastigheden efter reaktionstiden lig med hastigheden ved nedbremsnings begyndelse. Ligeledes sættes positionen efter reaktionstiden lig med hastigheden før acceleration, og standselængden defineres som forskellen imellem x_{ir} og x_{fs} .

Valg af metode

I det forrige afsnit blev to metoder til beregning af en hastighed beskrevet. Begge kan principielt anvendes til beregning af en sikker hastighed i forbindelse med udfærdigelsen af et ADAS kort. Derfor kan valget imellem disse være svært.

Metoden som dikteres af vejnormen *forudsætninger for geometrisk udformning* er beregnet til at sikre stopsigt på en vej. En vej skal tilgodes alle former for trafik, som kan forekomme på vejen. Derfor må definitionerne i vejnormen nødvendigvis være dimensioneret ift. den langsomt reagerende bilist i den bil med de dårligste bremses, der kan forventes at optræde på vejen. Et eksempel på dette kan være en lastbil med en træt chauffør. I et ADAS kort er det ikke nødvendigt at dimensionere efter laveste fællesnævner, da det vil være muligt at have et kort i bilen, der er beregnet med specifikationer, der svare til en bestemt type bil.

Ser vi i stedet på den metode, som udspringer af *detailforskrifter for køretøjer*, så er denne metode ikke beregnet til at vurdere oversigtsforhold på. Metoden har dog den fordel, at den henvender sig mere specifikt mod en enkelt form for køretøj, og kan derfor antages at give et mere retvisende indtryk af den højest opnåelige sikre hastighed under givne oversigtsforhold.

Valget imellem de to metoder kompliceres yderligere af det faktum, at resultatet fra den ene metode adskiller sig betydeligt fra resultatet af den anden metode. Med antagelse af at kørsel foregår ned af bakke, og en bremsefriktionskoefficient svarende til en hastighed imellem 50-90 km/t og standselængden sættes til 440 m kan der beregnes en sikker hastighed på 129 km/t ved brug af metoden fra *forudsætninger for geometrisk udformning*, men med brug af metoden baseret på *detailforskrifter for køretøjer* angives den sikre hastighed under samme forhold til 210 km/t. Dvs. en forskel på 81 km/t. Selv hvis det undlades at anvende sikkerhedstillægget i metoden fra vejnormen er der stadigvæk en forskel på 61 km/t. Det har været overvejet om denne fejl skyldes en fejl i den måde den ene metode anvendes på. Derfor er der udarbejdet et Script i Matlab som kan udfører beregning med begge metoder⁵⁵. Resultaterne fra beregning vha. scriptet er efterfølgende blevet holdt op imod tabelværdier⁵⁶, og der har ikke været grund til at tvivle på scriptets resultater. Det konkluderes derfor at forskellen imellem de to metoder bedst kan forklares med hensyntagen til langsomt reagerende bilister i biler med dårlige bremses i metoden fra vejnormen.

Den hastighed som beregnes vha. vejnormens metode ligger tætteste op af de gældende hastighedsgrænser på vejene. Derfor er denne metode bedst egnet til at vurdere hastighedsgrænserne, hvilket var den oprindelige hensigt med dette projekt. Derfor vælges det at anvende denne metode i det videre arbejde med ADAS kortet. I beregningerne sættes reaktionstiden til 2,5 sekunder, hvilket svare til den forventelige reaktionstid i kryds⁵⁷, hvor størstedelen af ulykker sker. Samtidigt bemærkes det at 2,5 sekunder generelt er højere reaktionstid end andre steder. Bremsefriktionskoefficienten varierer ganske lidt efter hvilken hastighed bilen bevæger sig med. I projektet anvendes en bremsekoefficient, som svare til en hastighed på 50-90 km/t. Vejens længdegradient sættes til -0.05, hvilket svare til kørsel ned af en rimelig stejl bakke efter danske forhold.

ADAS Horizon og Stopsigt

6 Konceptbeskrivelse

Med den valgte metode og de angivne parametre opstilles følgende formel vha. matlab⁵⁸:

$$V = \frac{1032993 \times \sqrt{\frac{62500 \times L_{standse}}{1032993} + \frac{625}{1296}}}{31250} - \frac{214777}{5000}$$

I ovennævnte formel angiver $L_{standse}$ standselængden [m] og V angiver den tilsvarende hastighed [km/t]

7 Komponentbeskrivelse

I det øjeblik man bevæger sig fra teori til praksis bliver det nødvendigt at se nærmere på de komponenter som kortet opbygges af. Det skal altså afklares, hvilken form for GNSS løsning man ønsker at anvende og hvilken overflademodel og vejmodel.

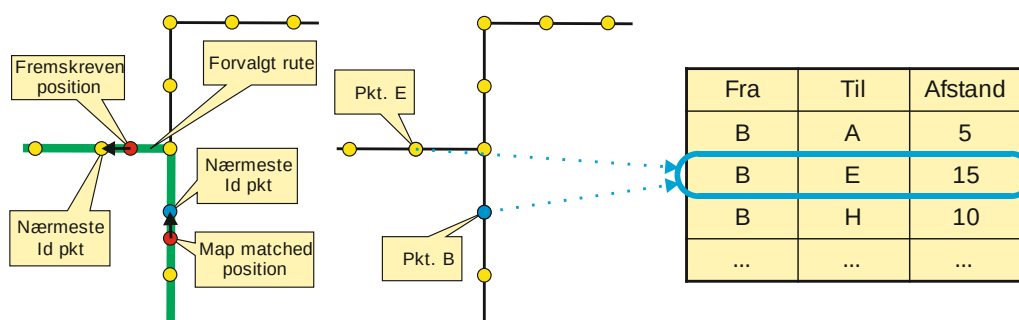
7.1 Positionering

Det er nødvendigt at kende et sandsynligt bud på bilens fremtidige position, når det ønskes at advare føreren om risikofyldte begivenheder. For at kunne give et realistisk bud på køretøjets fremtidige position må køretøjets nuværende position og hastighed være kendt. I størstedelen af den litteratur, som omhandler beslægtede teknologier anvendes GPS som positioneringsmetode^{59, 60}. Her har GPS vist sig at fungere udmærket til formålet. Derfor vil der også blive anvendt et GNSS i dette projekt. Man kan dog overveje om man ønsker at anvende alm. kode GPS uden forbedringer eller om man vil benytte sig af en mere avanceret udgave.

Alm. kode GPS har den ulempe, at det ikke er særlig præcist. Fx har en række undersøgelser vist at nøjagtigheden i 3d (1σ) ligger omkring 30 meter i gennemsnit⁶¹ uden brug af SBAS eller differentiel GNSS. Dette er tilstrækkeligt i nogle tilfælde, men såfremt man ønsker at placere køretøjet i den korrekte bane på et vejstykke er det ikke tilstrækkeligt. Hvis systemet skal kunne skelne imellem forskellige kørebaner vil det dog være hensigtsmæssigt, at anvende en IMU i kombination med GNSS systemet. Især i større byer, skove og bjergområder vil kombinationen med IMU være fordelagtigt, da nøjagtigheden af GNSS kan forventes at falde ganske betydeligt i disse områder. Hvis man befinder sig under åben himmel kan nøjagtigheden af et moderne GNSS system forventes at ligge omkring 3-5 meter⁶². Dette gør sig gældende i systemer, som anvender kodemåling, hvis nøjagtighed er blevet forbedret vha. en atmosfæremodel (SBAS).

En nøjagtighed på 5 meter er heller ikke nok til at kunne vælge en kørebane, hvis der er flere af dem ved siden af hinanden. Hvis det ønskes at højne nøjagtigheden yderligere kan fase GPS overvejes, men i praksis udelukkes denne løsning dog pga. udstyrets kostpris. Map Matching kan bidrage til at gøre systemet mere robust overfor fejlagtige positionering, hvilket er en afgørende egenskab i et sådant system⁶³.

Mapmatching er dog heller ikke tilstrækkeligt til at vælge imellem to parallelle kørebaner. For at vælge imellem kørebaner kan det overvejes at anvende en IMU i kombination med GNSS enheden. Det bemærkes yderligere, at GNSS positionen ikke forbedres i vejens længderetning vha. map matching. Derfor vil der stadigvæk være en betydelig fejl i vejens længderetning.



Figur 25 : Flytning til nærmeste Id-punkt

Det skal her bemærkes, at den matchede position efterfølgende flyttes til nærmeste id-punkt for at gøre det muligt for systemet at bestemme den sikre hastighed ved tabelopslag. I denne proces introduceres en fejl på op til 2,5 meter på afstanden.

7.2 Overflademodel

For at sikre optimal funktionalitet opstilles en række krav og ønsker til overflademodellen. Disse tjener som udgangspunkt til at sikre, at den rigtige overflademodel vælges til brug i systemet. På baggrund af disse er det valgt at anvende Danmarks Højdemodel (DHM) fra KMS. I udvælgelsen har også Danmarks Digitale Højdemodel (DDH) fra Cowi været overvejet.

Overflademodellen skal inkludere punkter på både terræn og andre permanente objekter. Træer og bygninger kan i lige høj grad som terrænet bidrage til dårlige oversigtsforhold. Derfor er det ønskeligt, at disse inddrages i overflademodellen. Både DHM og DDH findes i versioner, som indeholder disse objekter.

Punkttætheden skal være tilstrækkelig høj til at træer og andre overflader, hvis udstrækning i planet ikke nødvendigvis strækker sig over mange meter kan være et problem, hvis ikke punkttætheden af overflademodellen er tilstrækkelig høj. Derfor tilstræbes det, at denne har en punkttæthed som er bedre end 1 pkt. pr. m^2 , hvilket tilfredsstilles af begge højdemodeller. På dette punkt er der ikke nogen bemærkelsesværdig forskel imellem de to overflademodeller da begge har en punkttæthed omkring 0,5 pkt. pr. m^2 . I dette projekt ønskes det at anvende en af de to modeller i det rasterformat, som er tilgængeligt på Aalborg Universitet. Disse to har en grid-størrelse på henholdsvis 2,6 og 4 m^2 , hvor den mindste grid-størrelse findes i overflademodellen fra DHM^{64, 65}. Derfor vælges det at anvende overflademodellen fra DHM i dette projekt.

I udvælgelsen af overflademodellen har det også spillet en rolle, at denne kan fås i en udgave som er nogenlunde samtidig med det vejkort, som også anvendes i projektet. Hvis opmålingstidspunktet adskiller sig markant fra hinanden risikerer man, at en ny vej er blevet anlagt på et sted, hvor det tidligere var en skov. Dette vil give en fejl idet overfladeberegningerne beregner synsafstanden fra et punkt langs vejen til et sted på overfladen. Men på det sted, hvor der nu er vej angiver overflademodellen en skov. Derfor vil den beregnede synslængde være mindre end det er tilfældet i virkeligheden. Den anvendte overflademodel er opmålt i 2009 og det samme er gældende for vejkortet.

Nøjagtighed af overflademodellen afhænger af hvilket objekt, som beskrives. Men man kan generelt gå ud fra at de fleste plane punkter i overflademodellen vil være definerede med en nøjagtighed, som er bedre end 1 meter i planet og 0,1 meter i koten⁶⁶.

7.3 Vejkort

De geodata som anvendes i det samlede system må nødvendigvis kunne fungere med hinanden efter den hensigt de er tiltænkt. For at sikre at der er sammenhæng imellem vejkort, overflademodel og GNSS positioner må hver af disse derfor overholde nogle krav til den enkelte del. På baggrund af en vurdering af disse krav er det valgt at anvende vejlinjerne fra Fælles objekttyper (FOT).

I FOTs vejllinjetema findes objekttypen vejmidte, som angiver grænsen imellem to kørebaner. Denne er egnet til brug af definition af bilstens øjnes placering (id-punkterne). Desuden er topologien bag FOTs

vejmidter forberedt på brug i forbindelse med ruteanalyse mv. Dvs. at sammenhængende linjer er forbundet med et knudepunkt⁶⁷.

Det har ikke været muligt at opstille specifikke nøjagtighedskrav til vejkortet. Men det vurderes at FOT vejmidterne er af tilstrækkelig høj nøjagtighed til at kunne bruges. Dette understøttes af en undersøgelse foretaget af en projektgruppe under FOT Danmark hvor det konkluderes, at FOTs vejmidter er egnede til ruteanalyser⁶⁸. FOTs vejmidter stammer fra forskellige opmålinger, og kan derfor ikke forventes at have samme nøjagtighed over alt. I byen vil nøjagtigheden være høj, og en del lavere på landet. Generelt kan man dog forvente at nøjagtigheden er bedre end 1 meter på vejmidter, da disse er godt definerede⁶⁹. Men da man ikke tillader splines og kurver i FOT data må man også tage hensyn til pilehøjden i sving mv. Pilehøjden må maksimalt være 2 meter i plan og 1 meter i kote⁷⁰. Under forudsætning af, at disse fejl er normalfordelte kan nøjagtigheden i planet derfor angives til: $\sqrt{1^2 + 2^2} = 2,2 \text{ m } (1\sigma)$. I koten vil nøjagtigheden kunne forventes at ligge i størrelsesordenen: $\sqrt{1^2 + 1^2} = 1,4 \text{ m } (1\sigma)$

Oprindelig består vejmidterne blot af en række polylinjer, som hænger sammen. For at gøre det muligt at beregne afstande vha. FOTs vejmidter er det nødvendigt at omformatere det dataformat, som de leveres i. Derfor må et særligt rute-netværk først opbygges på baggrund af vejlinjerne. Jeg vil ikke komme nærmere ind på dette i projektet, men henviser til den dokumentation, som kan findes igennem ArcGIS udvidelsen network analyst⁷¹.

8 Udarbejdelse af stopsigtskort

Før arbejdet med selve programmeringen foretaget er det hensigtsmæssigt at overveje hvilke værktøjer man ønsker at anvende. Derudover har det vist sig at være hensigtsmæssigt at forberede de data, som skal anvendes før et sæt automatiserede rutiner anvendes på dem. Desuden har det været nødvendigt at foretage en række simplificeringer af den beskrevne problematik for at kunne håndtere emnet i praksis. Disse emner behandles i de følgende afsnit.

8.1 Værktøj til automatisk kortproduktion

Med konceptet og den nødvendige input bag ADAS kortet klarlagt rettes fokus på den praktiske udvikling af systemet. Dette tjener samtidig til at identificere yderligere problemstillinger i forbindelse med konstruktion og brug af et ADAS Map Horizon system. En ting man bør overveje, er valget af hvilket værktøj man ønsker at anvende til at udarbejde stopsigtskortet.

8.1.1 Programmering eller GIS?

Umiddelbart kan man vælge imellem to værktøjer, når man skal udarbejde et ADAS kort. Det ene er programmering i et skrevet sprog som fx Matlab. Den anden fremgangsmåde er at anvende et almindeligt GIS program. For at kunne vælge imellem disse to værktøjer har følgende betragtninger indledningsvist været anvendt.

- | | |
|----------------|--|
| Skrevet sprog: | Anvendes et skrevet sprog vil det medfører et relativt stort fokus på at importere de nødvendige datatyper. Det skrevne sprog er generelt meget alsidigt, så selvom der kun findes få funktioner, som er skabt til brug i forbindelse med kortproduktion, så kan meget kan lade sig gøre, og det vil være relativt hurtigt at udarbejde nye funktioner. |
| GIS: | GIS programmer sigter direkte på at anvendelse sammen med geodata. Derfor indeholder de en bred vifte af standardfunktioner, som kan anvendes i dette projekt. Ved anvendelse af et GIS må det forventes, at man kan spare en del tid ved at bruge disse standardfunktioner. Et GIS kan derimod vise sig at være svær at anvende, hvis de nødvendige funktioner ikke findes i programmet som standard. GIS programmer kan dog rumme en programmeringsdel, som gør det muligt at oprette nye funktioner, hvis det kræves. |

Fra starten har det været undersøgt, at en række nøglefunktioner i opbygningen af et ADAS kort findes i et GIS. Dvs. at funktionerne ruteberegning og viewshed-analyse findes som standard i et GIS. Det forventes derfor, at brugen af et GIS kan øge fokus på selve opgaveløsningen. Derfor er det valgt at anvende et GIS program i dette projekt. Desuden er det en god måde at lære lidt mere om brug af GIS programmer. På Aalborg Universitet anvendes GIS programmet ArcGIS.

8.1.2 ArcGIS

Esri producere GIS programmet ArcGIS, som i øjeblikket er i version 10. Programmet anvendes i vid udstrækning af offentlige instanser mv. og ArcGIS er i stand til at arbejde med vejnetværk, synlighedsanalyser mv. Dertil kommer at ArcGIS giver mulighed for simpel programmering sideløbende med programmets normale funktioner. Fx er det muligt at programmere sine egne funktioner vha.

programmeringssproget Python eller VB script. Desuden findes en metode til udarbejdelse af makro lignende rutiner, som kaldes Modelbuilder.

I programmering taler man om et visuelt programmeringssprog (VPL)⁷² hvis programmeringen udføres ved at tegne forbindelser imellem funktioner. I ArcGIS er det muligt at anvende denne form for programmering til at automatisere en række af funktioner vha. Modelbuilder.

8.2 ArcGIS modeller

Ofte skaber det bedre forståelse for et koncept, når det observeres i virkeligheden. Derfor beskrives metoden bag opbygningen af ADAS kortet herunder i en mere praktisk tilgang, som forklarer hvordan de rutiner (programmer), som er opbygget i ArcGIS fungerer. I denne sammenhæng er det desuden værd at gøre opmærksom på de forskelle, som muligvis viser sig i gennemgangen. Det viser sig ikke overraskende, at der er en forskel imellem den metode oprindeligt var tiltænkt, og den metode som kunne udføres i praksis. Især den begrænsede viden om ArcGIS har været en faktor i denne sammenhæng. De rutiner som er udarbejdet i projektet, samt resulterende data er vedlagt denne rapport på den medfølgende CD. Disse kan findes i det anvendte .tbx format, billedformat (.jpg) og i pythonscript (.py) under bilags mappen på CDen.

8.2.1 Klargøring af data

Der udvikles et systemet, som automatisk kan oprette det ønskede ADAS stopsigtskort. Før den automatiserede del af systemet kan fungere skal de ønskede input dog først klargøres. Dette gøres manuelt. Det ønskes at data skal klargøres i højeste mulig grad. Således kan arbejdsmængden i løkker involverede i den automatiske del af kortproduktionen minimeres. Dette kan fx være en if eller *while* løkke, som ønskes minimeret. Klargøringen involvere følgende opgaver:

- Overflademodellen består oprindeligt af en række flader, som hver især dækker over et kvadrat på 10x10 km. For at begrænse det område, som arbejdes med i dette projekt og samtidig sikre, at der er tilstrækkelig data til at kunne levere et repræsentativt udsnit af de forhold som gør sig gældende i Danmark er det valgt at lave en mosaik af 2 af disse kvadrater⁷³. Herved dækkes både by og landzone.
- Det vej kort, som er tilgængeligt igennem Aalborg Universitet indeholder foruden vejmidter på vejene også vejmidter på stier og vejkanter. Vejkortet dækker ligeledes over hele Danmark. For at begrænse mængden af data som skal processeres fjernes information om stimidter og vejkanter. Desuden beskæres kortet, så vejkortet kun dækker Aalborg kommune.
- De linjer som definerer vejmidterne i de oprindelige data kan ikke anvendes direkte til at beregne ruter efter. Derfor må de først konverteres til et format, som er optimeret til ruteberegning.
- Langs vejlinjerne oprettes en række id-punkter. Disse oprettet med en afstand af minimum 5 meter vha. de knudepunkter, som nettet består af. I id-punkternes attribut tabel oprettes et felt, som angiver id-punkternes højde over terræn. Dvs. en højde, hvis punktet skal anvendes som tilsynspunkt og en anden højde, hvis punktet skal anvendes som arbejds punkt. For at begrænse den mængde arbejde, som skal udgøres under hver viewshedanalyse sættes en afstand fra hvert arbejds punkt, hvorfra viewshed analysen maksimalt skal beregnes fra. Denne radius sættes til 450 m, hvilket svare til standselængden ved 130km/t.

- I dette projekt kræves kun et par eksempler på at metoden virker, derfor er det valgt kun at udfører beregninger på en række små områder i Nordjylland. Derfor oprettes et par af disse områder. Disse defineres som cirkulære områder. Og det er kun indenfor disse områder, der udvælges arbejds punkter.

8.2.2 Simplificeringer, afgrænsninger og fravalg ift. konceptbeskrivelsen

Det har vist sig at være mere besværligt at udarbejde løsningen i ArcGIS end det har været forventet. Derfor er det valgt at udfører beregningerne på en måde, som adskiller sig fra den måde som oprindeligt var tiltænkt, og som er beskrevet i tidligere afsnit (6 Konceptbeskrivelse). Dette gøres bl.a. for at minimere den tid som kræves for at programmere de nødvendige rutiner i ArcGIS og for at minimere den tid det tager at udføre programmerne.

- Det var tiltænkt, at der skulle benyttes tabelopslag til at henvis til id-punkter med det formål at begrænse den mængde data som ADAS kortet fylder. Det er lykket at finde en måde man manuelt kan slå op i disse tabeller, men det er ikke lykket at gøre det automatisk. Hvilket er nødvendigt for at beregne en rute fra et id-punkt til et andet. Derfor er det valgt at gemme et nyt id punkt for hvert tilsynspunkt. Efterfølgende gemmes selve ruterne som polylinjer. Dette kræver ekstra diskplads og medfører længere beregningstid, men ændrer ikke på nøjagtigheden af kortet. Ligeledes gør denne beslutning det muligt at illustrere systemets tiltænkte funktion uden behov for et program, som kan simulere systemets driftsfase.
- Resultatet af viewshed analysen er et rasterkort, hvilket var forventet. Men det viser sig, at selvom man definere en grænse for hvor langt væk viewshed-analysen skal udføres, så skrives en raster på størrelse med overflademodellens raster. Det tager tid, så derfor klippes først et begrænset område ud af overflademodellen. Herefter udføres viewshed analysen på det begrænsede område. Se figuren herunder (Figur 35).

8.2.3 Beskrivelse af rutiner (ArcGIS - Modelbuilder)

Efter klargøring af de nødvendige data kræves kun 3 rutiner for at udfører de ønskede beregninger. En rutine defineres som hele modellen (=programmet), som er opbygget af processer. Processerne er i den sammenhæng indbyggende funktioner i ArcGIS. De 3 rutiner kan findes i bilag⁷⁴. Disse tre rutiner kaldes henholdsvis CalcView, CalcRoute og CalcSpeed og kan findes i bilagsmappen på den vedlagte CD. Ved brug af Arcgis kan de findes i toolbox-filen i samme mappe.

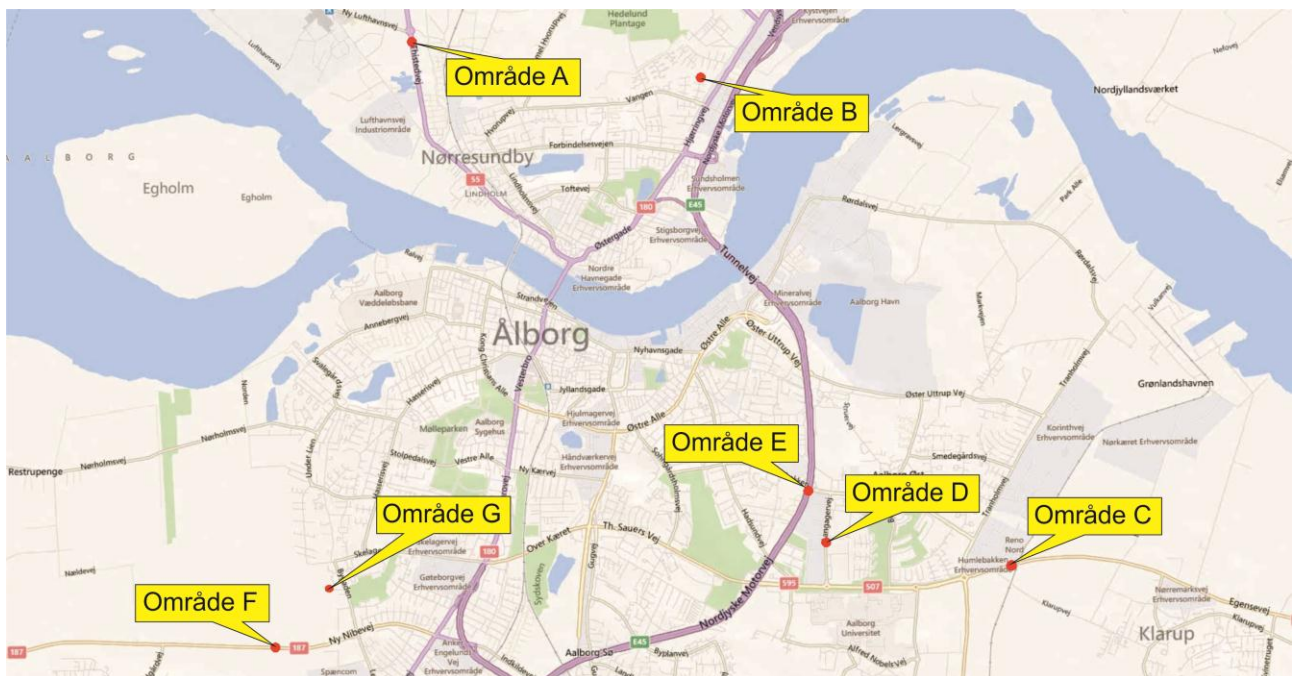
Antallet af rutiner bestemmes af det antal opgaver, som kræver brug af løkker. Brugen af løkker har været nødvendige for at skifte imellem punkter, som man ønsker at udfører viewshed analysen på. Derudover har det været nødvendigt at anvende løkker til at bestemme ruter fra et arbejds punkt til de tilsynspunkter hvor viewshedpolygonen krydser vejen. Den første rutine som udføres, kaldes CalcView. Denne arbejder groft set med oversigtsforholdene. Den anden rutine, som udføres, kaldes CalcRoute. Denne arbejder med bestemmelse af ruter og afstande heraf. Sidst udføres rutinen CalcSpeed, som beregner sikre hastigheder på baggrund af ruteafstanden. Den sidste rutine anvender ikke løkker, men udføres særskilt for at minimere det antal processer, som udføres i forrige rutine (CalcRoute).

9 Vurdering af stopsigtskortet

Det er lykket at udarbejde en metode, som kan fremarbejde et stopsigtskort, som umiddelbart vurderes at opfylde de kriterier, som er specificeret tidligere i denne rapport. Men for at kunne vurdere metoden må det først undersøges, hvorvidt stopsigtskortet virker på den måde det var tiltænkt. Derfor vil det i de følgende afsnit blive undersøgt hvor nøjagtigt kortet er. På basis af denne undersøgelses identificeres en række tilfælde, hvor kortet har problemer med at løse de tiltænkte opgaver. Dette gøres med udgangspunkt i en række kontrolområder. Efterfølgende kommenteres de beregningsrutiner, som er programmeret i Arcgis (Modelbuilder).

9.1 Definition af kontrolområder

I undersøgelsen af nøjagtighed og den øvrige vurdering af stopsigtskortet anvendes en række områder, som er placeret i Aalborg kommune. Placeringen og navngivning af disse kan ses på figuren herunder (Figur 26).



Figur 26 : Oversigts kort over kontrolområder – Kilde: Baggrundskort (Bing)⁷⁵

Med områderne ønskes det bl.a. at undersøge stopsigtskortets funktion på lige vej, i kryds og steder hvor forskellen imellem det omkringliggende terræn og vejen er relativt højt. Derfor er de udvalgt, så der mindst er et område som kan vise kortets funktion på den type vej, som efterspørges.

9.2 Nøjagtighedsvurdering

Da nøjagtigheden af stopsigtskortet er afgørende for om brugeren kan stole på ADAS systemet er det vigtigt at kende nøjagtigheden før systemet sættes i brug. Der findes flere måder man kan estimere nøjagtigheden af en række observationer.

På studiet til landinspektør introduceres de studerende bl.a. for metoderne fejlforplantning, testnet og Monte carlo simulation. Hvilken af disse metoder, som anvendes afhænger af situationen man ønsker at evaluere. Fx anvendes fejlforplantning, hvis situationen ikke involverer overbestemmelser og man kan

opstille en ligning, som viser sammenhængen imellem de involverede fejl. Hvis situationen involverer overbestemmelser, men i øvrigt er godt beskrevet anvendes testnet. Hvis situationen derimod involverer overbestemmelser og de parametre, som man ønsker at vurdere nøjagtigheden af, ikke kan beskrives direkte kan man anvende Monte carlo. I det tilfælde som jeg arbejder med i dette projekt er en Monte carlo simulation den mest egnede metode af førnævnte. Men for at en Monte carlo simulation skal fungere efter hensigten kræves et stort antal simulationer. En simulation i dette projekt kan tage flere timer, derfor er det ikke en mulighed. I stedet vælges det at lave en stikprøvekontrol på udvalgte steder. Stikprøvekontrollen involverer en version, hvor kortet anvendes som det er. Denne holdes op imod en version, hvor kortet er beregnet med fiktive fejl. Størrelsen af de fiktive fejl sættes til 1σ . Dette betyder dog ikke at man kan forvente at de fejl som vil optræde i stopsigtskortet også definere kortets fejlstørrelse ved 1σ . Dog giver metoden et indtryk af ADAS kortets nøjagtighed ift. den nøjagtighed som de involverede input har.

I nøjagtighedsundersøgelserne beregnes følgende 3 versioner af stopsigtskortet:

- Stopsigtskort, uden ændringer⁷⁶.
- Stopsigtskort, hvor den anvendte overflademodel har fået fratrasket 4 m i koten⁷⁷.
- Stopsigtskort, hvor den anvendte overflademodel har fået fratrasket 3 m i nordlig retning⁷⁸.

I de beregninger, som ligger til grund for stopsigtskortet anvendes en interpoleret kote⁷⁹. Derfor forventes den indbyrdes præcision imellem vejkort og overflademodel at have mindre betydning end det ellers ville være tilfældet. Indtil det er undersøgt er det dog kun en formodning. Derfor er det interessant at undersøge, hvilken indflydelse en fejl i koten vil spille ift. den hastighed som stopsigtskortet angiver.

9.2.1 Estimering af spredning

For at kunne give et bud på hvor store spredningerne er på input i forbindelse med kortets fremstilling anvendes fejlforplantning på de værdier man kan finde i tabeller, specifikationer mv. som svare til hver af de 4 fejlkilder; Introduceret afstandsfejl, GPS, Overflademodel, og vejkort.

I opbygningen af stopsigtskortet introduceres en afstandsfejl op til 2,5 meter ved registrering af skæring med viewshedpolygonen. En fejl i samme størrelsesorden introduceres ved bestemmelse af positionen med GPS. Med antagelse af at begge disse fejl er normalfordelte vil den samlede afstandsfejl være:

$\sqrt{2,5^2 + 2,5^2} = 3,5 \text{ m } (3\sigma)$. Dvs. at fejlens spredning er $1,2 \text{ m } (1\sigma)$. I praksis har denne fejl dog kun meget lille indflydelse på koten. Derfor er det valgt at se bort fra denne fejl i estimeringen af kotefejlen.

Den valgte GNSS løsning, som baseres på kode GNSS, som er forbedret vha. SBAS har en nøjagtighed i 2d (RMS $\sim 1\sigma$) omkring 3-5 meter⁸⁰. Antager man at fejlen i koten er dobbelt så stor som i en vandret retning og fejlen i nordlig og sydlig retning er lige store kan spredningen i nordlig retning beregnes til: $1,6 \text{ m } (1\sigma)$ og spredningen i koten beregnes til $3,2 \text{ m } (1\sigma)$. Beregningen af disse spredninger baseres på følgende:

$$5 = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2}, \text{ hvor } 2\sigma_E = \sigma_Z$$

Nøjagtighed af overflademodellen afhænger i stor grad af hvilket objekt, som angives. Men man kan generelt gå ud fra at de fleste plane objekter vil være definerede med en nøjagtighed, som er bedre end 0,1 meter i koten og 1 meter i planet⁸¹.

Generelt kan man forvente, at nøjagtigheden er bedre end 1 meter på vejmidter, da disse er godt definerede⁸². Men da man ikke tillader splines og kurver i FOT data må man også tage hensyn til pilehøjden i sving mv. Pilehøjden må maksimalt være 2 meter i plan og 1 meter i kote⁸³. Under forudsætning af, at disse fejl er normalfordelte kan nøjagtigheden derfor angives til: $\sqrt{1^2 + 1^2} = 1,4 \text{ m}$ (1σ kote). I planet kan nøjagtigheden beregnes til: $\sqrt{2^2 + 1^2} = 2,2 \text{ m}$ (1σ plan).

Hvis alle de nævnte fejl virker i samme retning kan kotefejls størrelse bestemmes. Således kan man hvis man medtager kotefejlen mht. GNSS position, overflademodel, samt vejopmåling og pilhøjde bestemme kotenøjagtigheden til:

$$\sqrt{3,2^2 + 0,1^2 + 1,4^2} = 3,5 \text{ m}$$

Indregnes nøjagtigheden i planet for den introducerede afstandsfejl, GNSS position, overflademodel, vejopmåling og pilhøjde kan nøjagtigheden af stopsigtskortet bestemmes til:

$$\sqrt{1,2^2 + 1,6^2 + 1^2 + 2,2^2} = 3,2 \text{ m}$$

9.2.2 Plan- og Kote fejl

Det ønskes at vurdere hvilken indflydelse som en fejl på input har på den hastighed som stopsigtskortet angiver som sikker. For at gøre det sammenlignes to beregninger af stopsigtskortet. Den ene anvender en overflademodel, hvor koten er uændret. Den anden anvender en overflademodel, hvor koten er flyttet 3,5 meter (~4 m) ned, hvilket svarer til den estimerede spredning på koten af alle input. Tilsvarende udføres beregninger, hvor overflademodellen er flyttet 3,2 meter (~3 m) i nordlig retning.

Det forventes at den resulterende spredning på stopsigtskortets værdier er ganske lille idet terrænhøjden vedr. oversigtsberegningerne estimeres vha. bilinear interpolation. Det er dog stadigvæk interessant at undersøge om denne formodning holder. Derfor beregnes en række statistiske nøgleværdier for hvert område. Disse beregnes både i situationen, hvor koten er uændret (kaldes basis). Tilsvarende findes en situation hvor koten er ændret (kaldet Ændret kote) og en situation, hvor plankoordinaten er ændret (kaldet Ændret plankoordinat). Ændringerne i plan og kote svarer til den beregnede spredning.

Ved sammenligning af værdierne i tabellerne i de følgende afsnit fremgår det at der ikke er forskellen imellem stopsigtskortet med basiskote og versionen med ændret kote, hvilket også var forventet. Det skal dog bemærkes, at spredningerne som angives i tabellerne herover angiver spredningen på den anbefalede hastighed, og derfor kan de ikke sammenlignes direkte med spredningen på koten. I gennemgangen af områderne vil der være fokus på basisudgaven, og de versioner med ændret kote eller plankoordinat indgår kun i det omfang de nævnes.

9.2.2.1 Område A

I område A er 27 arbejds punkter placeret i et kryds imellem en hovedvej og en nedlagt vej. Den nedlagte vej fremtræder som vej i vej kortet hvilket betyder, at der også beregnes stopsigtslængder på trods af, at vejen i stort omfang anvendes som mark på nuværende tidspunkt. Ser man på figuren herunder (Figur 27) ses det, at synslængderne fra arbejds punkterne bevæger sig i østlig (mark), sydlig (hovedvej) og vestlig retning (mark). Men ikke i nordlig retning, hvilket kan undre idet denne retning følger hovedvejen frem mod en rundkørsel og oversigtsforholdene frem mod rundkørselen i virkeligheden er udmærket. Grunden

ADAS Horizon og Stopsigt

9 Vurdering af stopsigtskortet

til, at synslængden ikke er længere i nordlig retning er uvis, men et bud på en mulig årsag kan være at en bil ikke er blevet fjernet fra overflademodellen.



Figur 27 : Nedlagte veje og begrænset synsafstand frem mod kryds (område A)
Tv. Ortofoto – Kilde: www.bing.com/maps, Th. Streetview – Kilde: maps.google.com

Sammenlignes de sikre hastigheder, som er beregnet for område A fremgår det, at disse varierer ganske kraftigt. Hastigheder og andre statistiske værdier ses i tabellen herunder (Tabel 1). Dette må forventes på vejstrækninger som forgrener sig. Men i dette tilfælde er variationen større end den burde være. Maksimalværdien er 131 km/t, hvilket er den højeste mulige hastighed når viewshedpolygonen begrænses til 450 m. Til sammenligning er laveste hastighed -15 m, som i praksis betyder at noget er for tæt på og brugeren af systemet (bilisten) skal bakke. I værste tilfælde burde bilisten opfordres til at standse. Men grundet sikkerhedstillæget i den formel, som anvendes til at beregne stopsigthastigheder bliver resultatet en negativ hastighed når stopsigtslængden er kort. Af tabellen fremgår det også, at middelhastigheden er 8,7, hvilket betyder at de beregnede stopsigtslængder fra størstedelen af stopsigtpunkter er relativt lav, og kun ganske få er i overensstemmelse med den lovgivne hastighedsgrænse i området på 80 km/t.

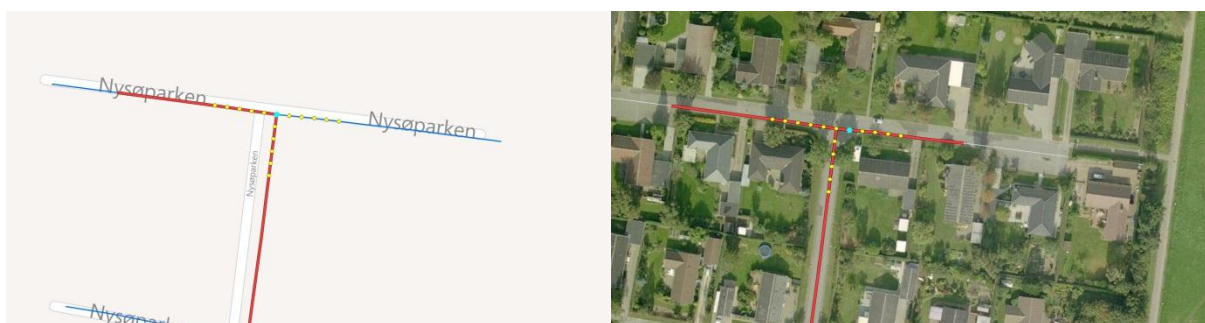
	Område A		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	27	27	27
Antal ruter	61	61	65
Minimum hastighed	-15	-15	-15
Maksimum hastighed	131	131	131
Middel hastighed	8,7	8,7	24,8
Spredning	31,8	31,8	55,2

Tabel 1 : Statistiske nøgle værdier vedr. område A

Ser man på stopsigtskortet, som er beregnet på baggrund af en overflademodel med ændret plankoordinat, så ses det at både antallet af ruter og middelhastigheden øges. Det var forventet, at middelhastigheden ville blive lavere idet den ændrede plankoordinat burde medføre flere synslængdeblokkeringer. I dette tilfælde har det vist sig, at den ændrede stopsigtslængdeberegning primært har gjort oversigtsforholdene til den nedlagte vej bedre. Idet de beregnede stopsigtslængder i nordlig retning ikke er blevet forbedret trækkes middelhastigheden ned.

9.2.2.2 Område B

Ved visuel inspektion af resultatet fra Område B, som er et lukket vejområde på en villavej beregnes middelhastigheden til 31 km/t, hvilket lyder som en fornuftig hastighed i et sådant område. Hastigheden varierer dog også ganske meget. Hvilket også fremgår af tabellen herunder (Tabel 2). Men da der er et kryds og veje af forskellig længde er det forventeligt. Det kan dog undre, at synslængderne standser før vejens ende når man ser på tværvejen i bunden af vejområdet. Afstanden fra nærmeste arbejds punkt til vejenderne er omkring 50 m, hvilket det burde være muligt at se frem på vejen i virkeligheden.



Figur 28 : Fejl vedr. flere id punkter i vejkryds (Område B)

En anden ting, som kan undre er det faktum, at der kun er blevet beregnet en rute mod vest fra det arbejds punkt som ligger i vejkrydset i bunden af vejen. Ser man på figuren herover tv. (Figur 28), hvor der kun vises ruter fra arbejds punktet i krydset ses det at der også burde være beregnet en rute mod øst. Ser man i stedet på figuren th., hvor der kun vises ruter beregnet fra arbejds punktet øst for krydset, så er der her beregnet ruter mod den østlige vejende.

En mulig forklaring på dette kan være, at ruteberegningen til blinde veje ikke fungere som den burde. Dette kan muligvis hænge sammen med det faktum, at der vil findes flere id-punkter i et vejkryds, som det der vises på figuren. Id-punkter er nemlig oprettet for hvert linjestykke. Derfor vil der findes et id-punkt i krydset som stammer fra forbindelsesvejen, og et id-punkt, som stammer fra tværvejen. I ruteberegningen anvendes en GIS-funktion kaldet *select by location*, som man kan antage har valgt det forkerte af arbejds punkterne i krydset. Hvis dette er grunden til problemet vil det være i overensstemmelse med det faktum, at problemet ikke optræder i alle kryds.

	Område B		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	18	18	18
Antal ruter	64	64	69
Minimum hastighed	-2	-2	-5
Maksimum hastighed	77	77	82
Middel hastighed	31,0	31,0	32,5
Spredning	21,4	21,4	24,7

Tabel 2 : Statistiske nøgleværdier vedr. område B

Mht. fejlen, hvor der ikke beregnes stopsigtslængder fra arbejds punkterne i krydset, så findes denne fejl også i den version af stopsigtskortet, som er beregnet med en ændret plankoordinat. Generelt ses dog en forskel på denne version og de andre to. Middelhastigheden er mod forventning øget ganske lidt samtidig

med at det har været muligt at beregne flere ruter, hvilket heller ikke var forventet. Det vurderes umiddelbart, at den minimale indflydelse af den ændrede plankoordinat skyldes, at størstedelen af vejen er orienteret i nord/sydlig retning. Dette ses i sammenhæng med at plankoordinaten udelukkende er flyttet i nordlig retning.

9.2.2.3 Område C

Område C ligger på en lige vej øst for Aalborg. I området findes 10 arbejds punkter, og fra disse beregnes 35 ruter, hvilket er i overensstemmelse med en beregning i begge retninger og at vejen i den ene retning deler sig i to. Vejens middelhastighed ligger på 71 km/t, hvilket er under den lovbestemte hastighedsgrænse i området. Men ligesom i de tidligere nævnte område A og B, så findes også en stor variation i hastighederne i Område C. Da området udelukkende består af en lige vej med godt oversyn er der grund til at undres over denne variation. Det viser sig, at der findes enkelte steder i stopsigtskortet for området, hvor synslængden er beregnet til et par meter trods gode oversigtsforhold i virkeligheden. Se figuren herunder (Figur 29)



Figur 29 : Illustration af nøjagtighed/definitionssfejl ved Egensevej ca. 2 km øst for Aalborg (Område C).

Tv. Ortofoto – Kilde: www.bing.com/maps, Th. Streetview – Kilde: maps.google.com

Vejkortet og overflademodel skal overholde en tilpas høj nøjagtighed. Ellers risikerer man at ruter beregnes til eller fra punkter i rabatten, hvor der ofte er placerede vejtræer, buske, tekniskure mv. Muligvis kan den uhensigtsmæssigt korte synslængde skyldes høj vegetation langs vejen, som påvirker synslængderne. I den sammenhæng kan det tænkes at den anvendte billineare interpolation af overfladekoten også spiller ind. På figuren herover er der ingen træer at se i det område, som fejlen optræder. Dog ses relativt højt ukrudt vokse i rabatten. Det kan også overvejes, om den korte ruteafstand skyldes, at der har været en bil på vejen på det tidspunkt overflademodellen blev optaget. At dømme efter specifikationerne burde overflademodellen dog være rensat for biler⁸⁴.

	Område C		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	11	11	11
Antal ruter	35	35	17
Minimum hastighed	-14	-14	-14
Maksimum hastighed	131	131	44
Middel hastighed	71,1	71,1	21,3
Spredning	51,9	51,9	19,1

Tabel 3 : Statistiske nøgleværdier vedr. område C

I område C har den ændrede plankoordinat haft den indflydelse på stopsigtskortet, som var forventet. Indflydelsens af den ændrede plankoordinat afhænger af vejens orientering og antallet af forgreninger indenfor synsområdet. Den primære vej i Område C er orienteret vinkelret ift. planfejlen, og rummer derudover også et par forgreninger på vejen et stykke fra arbejds punkterne. Det viser sig da også, at forventningerne mht. ruteantal og middelhastighed sænkes, hvilket fremgår af tabellen herover (Tabel 3).

9.2.2.4 Område D

Område D er placeret midt på Langagervej, som er en vej med byzone, der forbinder et industrikvarter med resten af verden. Den lovlige hastighedsgrænse på denne vej er 60 km/t. Men vejen har gode oversigtsforhold i virkeligheden, hvilket også fremgår af figuren herunder (Figur 30).



Figur 30 : Uoverensstemmelse imellem oversigtsberegning og virkelige forhold midt på Langager vej i Aalborg Ø (Område D), Tv. Ortofoto – kilde: www.bing.com/maps, Th. Streetview – Kilde: maps.google.com

I område D beregnes stopsigtsafstandene vha. 10 arbejds punkter, og da der ikke er sideveje eller forgreninger i det område, som er synligt fra arbejds punkterne kan det forventes, at det resulterer i 20 ruter. Det ses i tabellen herunder (Tabel 4), at der netop er 20 ruter. Antallet af ruter er altså i overensstemmelse med forventningerne. Den beregnede middelhastighed er 16 km/t, hvilket ikke svarer til de hastigheder som vejen tillader i virkeligheden. Hvorfor synslængderne ikke bliver beregnet længere vides ikke. Men det har været overvejet, om der har været noget i overflademodellen, som har givet skyld til problemet. Men efter visuel inspektion af overflademodellens raster har der ikke været grund til at tvivle på overflademodellens kvalitet. Det bemærkes dog, at der befinder sig små træer langs vejen.

	Område D		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	10	10	10
Antal ruter	20	20	20
Minimum hastighed	-14	-14	-9
Maksimum hastighed	36	36	38
Middel hastighed	16,4	16,4	17,9
Spredning	13,2	13,2	13,6

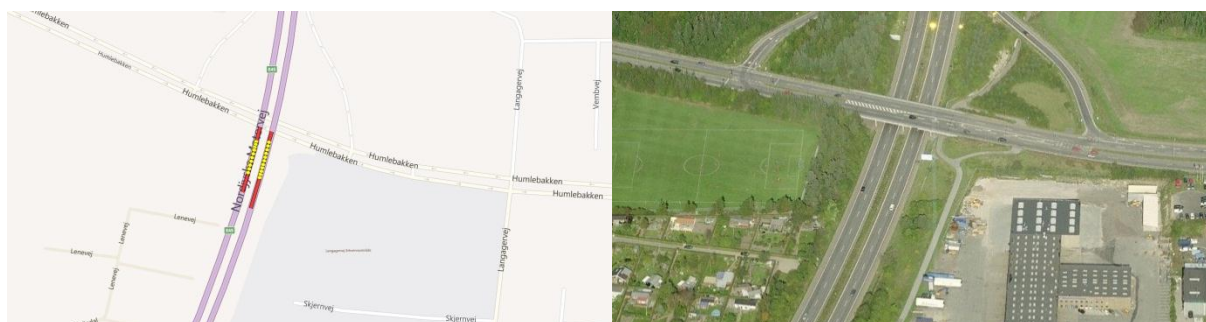
Tabel 4 : Statistiske nøgle værdier vedr. område D

Den primære vej i område D er i nord/sydlig retning. Derfor vil den forventede indflydelse af en planændring være minimal. Dette er også tilfældet, når værdierne fra de to stopsigtskort sammenlignes. Samtidigt forventes det dog ikke at stopsigtslængden bliver længere ved introduktion af en planfejl. Men

størrelsesordenen er relativt lille og må ses i forbindelse med at flytningen af overflademodellen sker i samme retning som vejen i området.

9.2.2.5 Område E

Overflademodellen er opmålt fra fly, derfor opstår et problem ved tunneler. I modellen fremstår en tunnel som en brat væg. Derfor vil den beregnede synsafstand være for kort nær tunnelen. I nogle tilfælde kan man muligvis løse problemet ved at bruge en overflademodel, hvor broer og tunneler er fjernede. Men så kunne man frygte, at der opstod problemer med stopsigtslængdeberegningen på den vej, som krydser over broen jf. figuren herunder (Figur 31).



Figur 31 : Illustration af stopsigtskort ved motorvejsbro hvor Humlebakken krydser motorvej E45 i Aalborg (Område E)
Kilde: Baggrundskort, [www.bing.com/ maps](http://www.bing.com/maps)

I nogle tilfælde vil problemet kunne løses ved at fjerne det område, som vejfladen dækker fra overflademodellen og derefter interpolere en højde. Men det vil give problemer andre steder på kortet. Derfor er det undladt at anvende denne løsningside. Betragter man de hastigheder, som er beregnede i området ses det at den højeste hastighed er 25 km/t, hvilket ikke er i overensstemmelse med at området befinder sig på en motorvej. Se tabellen herunder (Tabel 5). I tabellen fremgår det dog, at spredningen langs vejen er ganske lav, hvilket er i overensstemmelse med at motorvejen er lige. Desuden er en lav spredning tegn på at der ikke er synslængdeblokkeringer imellem arbejds punkterne.

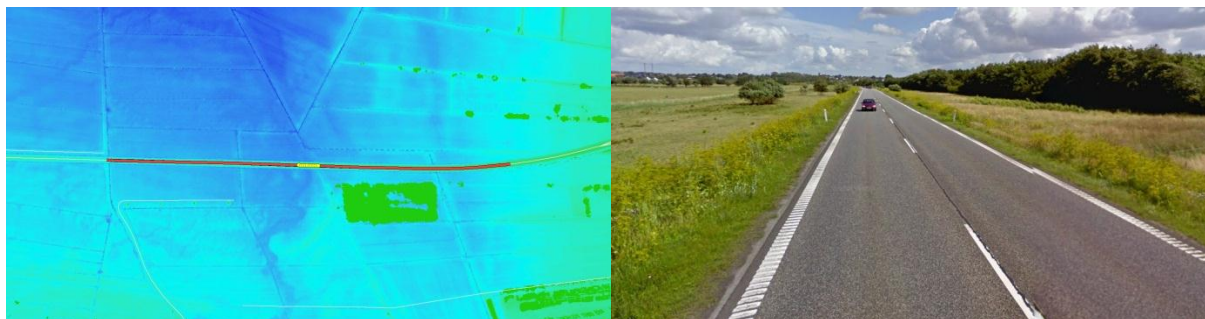
	Område E		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	21	21	21
Antal ruter	42	42	42
Minimum hastighed	-16	-16	-16
Maksimum hastighed	25	25	25
Middel hastighed	4,1	4,1	4,9
Spredning	11,7	11,7	11,4

Tabel 5 : Statistiske nøgle værdier vedr. område E

Sammenlignes stopsigtskortene, som er beregnet med en uændret overflademodel kontra en overflademodel med ændret plankoordinat så ses det, at forskellene imellem disse to er minimale. Dette var forventet idet vejen er orienteret i samme retning, som den introducerede planfejl.

9.2.2.6 Område F

Ser man på figuren herunder (Figur 32), så ser man at område F beskriver en lige vej med begrænset højdevariation langs vejen.



Figur 32 : God oversigt langs lige vej på Nibevej ca. 1 km vest for Aalborg V. (Område F),
Tv. DSM – kilde: KMS (DHM DSM), Th. Streetview – Kilde: maps.google.com

På en lige vej, hvor der ikke er betydelig beplantning langs vejen kan man forvente, at oversigtsberegningerne som udføres i dette projekt vil angive den sikre hastighed til 131 km/t, som er højeste mulige hastighed. Da alle arbejds punkterne ligger midt på sådan en strækning, hvor der er mere end 450 m med klart oversigt i begge retninger i virkeligheden må det forventes at alle ruter angives med samme hastighed. I dette tilfælde viser disse forventninger at holde stik.

	Område F		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	10	10	10
Antal ruter	20	20	20
Minimum hastighed	131	131	131
Maksimum hastighed	131	131	131
Middel hastighed	131	131	131
Spredning	0	0	0

Tabel 6 : Statistiske nøgle værdier vedr. område F

Område F er orienteret i øst/vestlig retning. Derfor forventes en ændret northing i overflademodellen at have særlig betydning i dette område. Dette har dog ikke vist sig at være tilfældet. Grunden hertil er sandsynligvis at terrænet er relativt fladt omkring vejen i området. At der kan beregnes det samme antal ruter i alle versioner af stopsigtskortet i dette område var forventet, idet der ikke findes forgreninger på vejen i område F.

9.2.2.7 Område G

Oprindeligt har det ikke været hensigten af den ADAS funktionalitet, som var tiltænkt udviklet i dette projekt skulle tage højde for blinde veje. Men det har vist sig at metoden uden betydelig ekstra indsats kan fungere med blinde veje på samme måde, som de resterende stopsigtslængder i stopsigtskortet med de nuværende beregninger. Det er dog interessant at undersøge om metoden fungerer i praksis på dette område. Derfor er område G fastlagt så der bør være beregnet oversigtslængder til vejenden, idet området befinder sig på en tilnærmelsesvis bar mark.



Figur 33 : Standseafstand vedr. område G, Tv. DSM (grøn farve har højere kote end blå), Th. Ortofoto af samme område. – Kilde: www.bing.com/maps

For at afgøre om der beregnes stopsigtslængder behøver man blot at se nærmere på antallet af arbejds punkter og sammenligne med det antal ruter, som beregnes. Da alle stopsigtslængder ligger på samme vejstrækning og der ikke findes sideveje eller forgreninger på vejstykket bør antallet af ruter være dobbelt så stort som antallet af ruter. Hvis man ser på tabellen herunder (Tabel 7) kan man se at det ikke er tilfældet. Antallet af arbejds punkter er lig antallet af ruter. Derfor kan det konkluderes at der ikke er beregnet ruter til vejenden.

	Område G		
	Basis	Ændret kote	Ændret plankoordinat
Antal arbejds punkter	10	10	10
Antal ruter	10	10	10
Minimum hastighed	-5	-5	-14
Maksimum hastighed	18	18	18
Middel hastighed	6,2	6,2	4,3
Spredning	7,8	7,8	9,8

Tabel 7 : Statistiske nøgle værdier vedr. område G

I område G har forventningerne med at middelhastigheden beregnes lavere, hvis stopsigtskortet beregnes på baggrund af en overflademodel med ændret northing koordinat. Forskellen imellem de to versioner er ganske lille, hvilket dog også var forventet idet terrænet er relativt plant i området.

9.4 Opsummering og vurdering af resultater

Det har vist sig, at stopsigtskortet ikke opfører sig på den måde det var tiltænkt i alle tilfælde. Dette var bl.a. synligt på spredningerne vedr. kørsel på lige vej, som blev gennemgået i tidligere afsnit. Ved visuel inspektion af, hvordan de beregnede ruter fremstår på et kort har det derudover været muligt at udpege en række andre områder, hvor kortet fungerer optimalt og andre hvor det ikke gør.

I størstedelen af de beskrevne områder har det været muligt at finde forskellige fejl. De fundne fejl har bl.a. været, at der beregnes for korte stopsigtslængder i nogle områder hvor oversigtsforholdene burde være i top. En anden fejl viser sig ved, at der ikke beregnes stopsigtslængder til blinde vejender indenfor viewshedpolygonen. Der findes dog enkelte områder, hvor stopsigtskortets vejledende sikre hastigheder er i overensstemmelse med forventningerne. Dette gør sig gældende for område F, som er et pragt eksempel på hvordan stopsigtskortet bør fungerer på en lige vej med optimale oversigtsforhold.

I sammenligningen af de tre versioner af stopsigtskortet, har det vist sig at der ikke er nogen forskel imellem stopsigtskortet beregnet på baggrund af en overflademodel uden ændringer og stopsigtskortet med ændret kote. Dette var forventet. Mht. det stopsigtskort, hvor overflademodellens plankoordinat er ændret var det forventet at finde tydelige forskelle imellem de resulterende stopsigtshastigheder. Men det har kun været tilfældet i en ca. halvdelen af de undersøgte områder.

Derfor kan det umiddelbart konkluderes at stopsigtskortet er følsomt ift. plannøjagtigheden. Den absolutte kotenøjagtigheden er derimod af mindre indflydelse. Det må dog forventes, at stopsigtskortet er ganske følsomt ift. overflademodellens nabonøjagtighed i koten.

9.5 Resulterende data

Der er beregnet stopsigtskort for de nævnte kontrolområder. Stopsigtskortet findes i en version, hvor det er beregnet på baggrund af uændrede data, og en version, hvor overflademodellens kote er ændret og en hvor overflademodellens plankoordinater er ændrede. De forskellige versioner af stopsigtskortet kan findes i bilag⁸⁵.

9.6 Vurdering af beregningstid vedr. ArcGIS

Den valgte løsning med at anvende ArcGIS har ikke været uden problemer. Især har enkelte processer vist sig at være meget langsomme. Dette gælder bl.a. for processerne; Merge, Viewshed og Snap. Det lader til at størstedelen af disse problemer skyldes langsom adgang til data.

Fx har min computer med en Intel Core i7 M 640 2,66 Ghz processor, 4 Gb RAM og 64 Gb ledig plads på harddisken, som kører Windows 7 brugt ca. 2 timer på at finde de synlige områder på vejen fra 107 arbejds punkter. Dette er uafhængigt af om hvilken version af stopsigtskortet som beregnes. Planfejl eller ej. Ved ruteberegning blev der beregnet 252 eller 244 ruter fra disse, afhængigt af om overflademodellen var påført en planfejl eller ej. Ruteberegningens tidsforbrug varierer en del ift. hvilken overflademodel, som anvendes. Men i de to beregninger har det sammenlagte tidsforbrug været henholdsvis 10 eller 15 timer i alt. Forskellen imellem de to beregninger viser hvor meget beregningstiden varierer ift. det område, som beregningen udføres i. Det er værd at bemærke, at selve ruteberegningen bruger ca. 4/5 dele af den sammenlagte tid, og oversigtsberegningerne kun bruger ca. 1/5 af tiden. En del af grunden til den øgede arbejdstid ved ruteberegningen i forhold til oversigtsberegningerne er, at hver viewshed skærer vejen på flere steder. Derved kræves fx 10 ruteberegninger fra et arbejds punkt, selvom det viser sig kun at være muligt at bestemme 2 ruter til tilsynspunkterne. En sammenligning af tidsforbruget vedr. de to beregninger kan ses i tabellen herunder (Tabel 8).

ADAS Horizon og Stopsigt

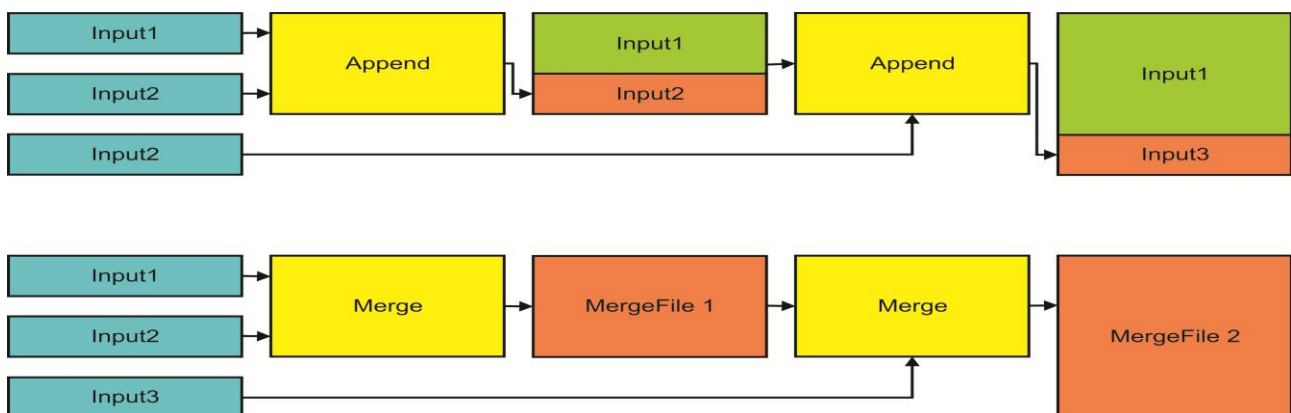
9 Vurdering af stopsigtskortet

	Beregning 1 (basis)	Beregning 2 (ændret plankoordinat)
Arbejdspunkter [antal]	107	107
Rute [antal]	252	244
Tidsforbrug i alt [t]	Ca. 10	Ca. 15
Beregningshastighed [Rute/t]	25,2	17

Tabel 8 : Tidsforbrug vedr. beregninger

Det er ikke lykket at finde en hensigtsmæssig måde at implementere brugen af tabelopslag vha. id-punkterne. Derfor er det valgt at gennemføre nogle beregningerne uden brug af tabelopslag. I stedet gemmes både tilsynspunkter og ruter i objektform. Dette har ikke nogen betydning for de beregnede længder, men det forventes at have en indflydelse på beregningstiden.

Det er dog lykket mig at finde metoder, hvor man kan udføre nogle af disse opgaver med reduceret tidsforbrug. For de opgaver, som det oprindeligt var ønsket at bruge funktionen merge til kan man i stedet bruge append funktionen. Herved mimeres nødvendigheden af at skrive til disken, da det herved kun er nødvendigt at skrive de nye data til disken i modsætning til merge, som hver gang funktionen udføres læser alle data ind i hukommelsen, og derefter skriver en ny "fil" oveni den gamle fil. Udføres merge i forbindelse med gentagne beregninger øges mængden af data, som skal håndteres i hver ny beregning hver gang processen gennemløbes. Derved øges den tid, som kræves til opgaven også. Dette kan ses illustreret på figuren herunder (Figur 34).



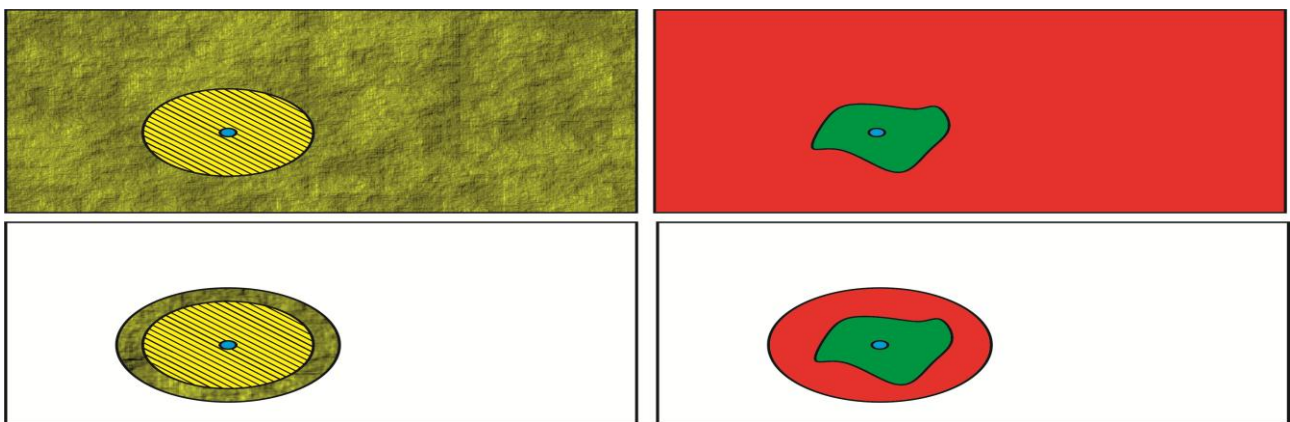
Figur 34 : Illustration af Merge og Append funktioner. Blå kasser viser input, gule kasser illustrerer en proces, grønne kasser viser den del af en datafil, som ikke har ændret sig siden sidste tilføjelse af input, og røde kasser viser den del af en datafil, som er ændret ift. sidste tilføjelse af input.

Enten merge eller append er næsten uundværlige, hvis man ønsker at anvende løkker i beregningerne. Derfor har det været forsøgt at undgå brug af løkker i de rutiner, som er blevet opbygget i Arcgis. Generelt er brugen af løkker uønskeligt i de fleste programmeringssprog, hvis det kan undgås. Men i Arcgis ønsker man i særdeleshed at undgå det. De gentagne beregninger, som fx kan være en *While* løkke kan nemlig ikke udføres som en afgrænset del af rutinen. I stedet køres hele rutinen hver gang en ny beregning køres. Det er klart, at man let kommer til at køre flere rutiner end det er nødvendigt på den måde, og dermed bruger mere tid på beregningerne end det er nødvendigt. Det medfører også, at man ikke kan bruge mere end en løkke pr. model. Ønsker man at anvende flere løkker i en rutine må man derfor nødvendigvis opsplitte rutinen i mindre delrutiner.

ADAS Horizon og Stopsigt

9 Vurdering af stopsigtskortet

Mht. viewshed har det vist sig, at selvom man definerer en grænse for, hvor langt væk synligheden af overflademodellen skal evalueres, så skriver funktionen stadigvæk en ny rasterfil på størrelse med den oprindelige overflademodells raster. Dvs. at hvis man anvender en overflademodel, som dækker hele Danmark, men kun ønsker at bestemme synligheden af et område i en afstand af 450 meter fra et enkelt punkt i Aalborg, så returneres en rasterfil på størrelse med Danmark, selvom selve analysen kun udføres i den angivne afstand fra punktet. Dette princip kan ses på figuren herunder (Figur 35). Det siger sig selv, at det tager tid at skrive en fil på den størrelse selvom alle pixels, som er længere væk end 450 meter har samme værdi. En måde, man kan minimere dette tidsforbrug er at beskære overflademodellen hver gang man ønsker at udføre oversigtsberegningerne. Herved udføres viewshed-analysen kun på den beskårede overflademodel. Selvom denne fremgangsmåde indfører ekstra processer til rutinen har det vist sig at kunne minimere tidsforbruget betydeligt.



Figur 35 : Illustration af viewshed klip, Blåt punkt illustrerer et punkt, hvorom det ønskes at lave en viewshed analyse. Et gul cirkel illustrerer et område man ønsker at lave viewshed i. Rød farve illustrerer en del af et raster, som man ikke kan se fra punktet, og grøn farve illustrerer et område som er synligt. Øverst viewshed uden brug af klip, Nederst med brug af klip.

Det er ikke lykkedes at finde en metode, som kan minimere den tid, der bruges på snap funktionen. Men da denne proces lader til at bruge samme mængde tid hver gang den udføres kan det overvejes om det tidsforbrug, som kræves for at ændre programmet er det værd. I forsøg på at minimere det tidsforbrug, som enkelte processer kræver, har det nemlig vist sig at dette ofte medføre nye problemer og fejl. Et eksempel på dette er et forsøg på at minimere den mængde tid, som bruges til at gemme på tilsynspunkter i forbindelse med blinde vejsegmenter.

I en tidlig version blev selve skæringspunkterne imellem vejmidten og viewshedpolygonen gemt i stedet for at anvende blinde vejsegmenter. Men for at minimere tidsforbruget ift. skrivning og læsning af disken blev det i stedet besluttet at gemme en reference til et Id-punkt, som det er beskrevet i tidligere afsnit (6.2.4 Snap til Id-punkt) i stedet. Dette medførte en række fejl i de efterfølgende rutiner, som bl.a. skyldes ændrede datatyper og inkompatibilitet imellem disse og de processer som tidligere havde fungeret fint. Arcgis giver ikke mulighed for at ændre en datatype i en tabel når tabellen er oprettet i forvejen. Derfor er det nødvendigt at gå tilbage i tiden og ændre på de processer som oprindeligt oprettede tabellen. Men når det er gjort, så medfører det ofte flere kompatibilitetsproblemer, som så igen skal rettes tidligere i processen. Dvs. at hver gang man ønsker at ændre på en mindre detalje i det sæt rutiner, som skal oprette ADAS kortet i reglen skal begynde forfra. Efter at have brugt en del tid på at finde en automatisk måde at

anvende tabelopslag uden held blev det opgivet.. I stedet blev det valgt at gå tilbage til at gemme et nyt objekt, hver gang objektet anvendes i stedet for blot at henvise til dem.

Et andet problem, som opstår når man ændre på den måde systemet virker er, at de forskellige rutiner i Arcgis ikke nødvendigvis anvender samme logik, når man skal refererer til et objekt. Nogle rutiner anvendes således udelukkende VB-skript, andre kun Python og nogle fungerer med begge. Endvidere varierer den måde man skal referer til objekter ift. om der anvendes shape (.shp) filer, personlige geodatabaser (.mdb), fil geodatabaser (.gdb) m.fl.

10 Diskussion

I dette projekt har den grundlæggende metode fungeret efter devisen; Byg, efterprøv og beskriv. Dvs. at der først udvikles en ide til, hvordan et ADAS system med fokus på stopsigtslængder kan opbygges. Herefter efterprøves ideen, og til sidst kommenteres resultaterne. I dette afsnit vil resultaterne således blive diskuteret og der vil blive fremsat forslag til hvordan et nyt projekt kan opbygges for at opnå et bedre resultat. Dette afsnit er derfor opdelt i to dele. Den ene del omfatter de håndfaste resultater, som er opnåede i løbet af projektet. Den anden del omfatter en vurdering af de valg, som er truffet undervejs.

Konkrete resultater

Der er beregnet tre versioner af stopsigtskortet. Et uden ændringer, et hvor den anvendte overflademodel har været flyttet 4 m i koten, og et hvor overflademodellen har været flyttet 3 meter i planet. Disse tre stopsigtskort er blevet sammenlignet på 7 områder i Aalborg kommune. I denne sammenligning blev der fundet uoverensstemmelser i alle på nær område F. Uoverensstemmelserne kan opdeles i følgende 3 grupper:

- Korte stopsigtslængder på kortet ift. virkelige oversigtsforhold i området
- Manglende ruteberegning i nogle vejkryds
- Blinde vejsegmenter indenfor viewshed-polygon anvendes ikke i ruteberegning

Det er ikke lykkedes at bevise sammenhængen mellem en specifik årsag og de overstående uoverensstemmelser. Men en række mulige årsager kan overvejes. Disse gennemgås nu. Det faktum, at de beregnede stopsigtslængder er kortere end de burde være, kan skyldes fejl i oversigtsberegningerne eller i ruteberegningerne. Ser man på oversigtsberegningerne kan man overveje om fejlen kan stamme fra en unøjagtighed i et af de involverede kortprodukter, så er det usandsynligt, at det kan skyldes en kotefejl. Det har nemlig vist sig, at stopsigtskortet ikke er påvirket af ensidige fejl i forskellen imellem overflademodel og vejkort. At fejlen skulle skyldes en dårlig nabonøjagtighed er ligeledes usandsynligt idet overflademodellen er specificeret til 0,1 meters absolut nøjagtighed i koten og vejkort er specificeret til 0,4 meter i koten. En mulig grund til fejlen kan være en unøjagtighed i plankoordinaten. Men stopsigtslængderne er også for korte på lige veje, hvor manuel inspektion har vist, at der ikke er objekter i overflademodel langs vejlinjen. I nogle tilfælde kan man overveje, om der findes restfejl i overflademodellen fra trafik på opmålingstidspunktet. Det har dog heller ikke været muligt at eftervise forskelle i overflademodellen som kun kan skyldes restfejl fra trafik. Iblandt de årsager som har været vurderet som en mulig grund til fejlen har den mest sandsynlige været den billineare interpolation, som bestemmer vejens kote og dermed har afgørende betydning for viewshed-analysen. Det er velkendt at en bilinear interpolation bestemmer koten af et punkt på baggrund af eksisterende datapunkter i nærheden af punktet selv. Her kan man forestille sig at de datapunkter, som interpolationen anvender koten fra ligger tilpas langt væk fra tilsynspunktet til at et af datapunkterne befinder sig i rabatten og ikke på selve vejen. Herved er der risiko for, at et af disse datapunkter er beliggende betydeligt højere end det id-punkt, som skal bestemmes på vejen. Hvis det er tilfældet vil der opstå en fejl, som på mange måder minder om de korte stopsigtslængder som beregnes. Interpolationen burde dog ikke anvende datapunkter, som er længere væk end 1 pixel afstand. Da en pixel i overflademodellen er 1,6 x 1,6 m er sandsynligheden for at fejlen skyldes den anvendte interpolation dog

lille. Men interpolationen udføres som en integreret del af Arcgis. Derfor er det uvist hvordan interpolationen fungerer i dette tilfælde.

En sidste mulig årsag som har været overvejet, som skyld til de korte stopsigtslængder, er anvendelsen af id-punkternes attribut tabel til at angive højden over terræn. Hvert id-punkt anvender et offset på 0,15 m hvis det fungerer som tilsynspunkt og 1 m, hvis det fungerer som arbejds punkt. Under undersøgelsen af de mulige årsager til de korte stopsigtslængder er der opstået tvivl om, den anvendte proces i Arcgis medregner det offset, som skal anvendes på tilsynspunktet for at opnå det korrekte resultat. Den dokumentation⁸⁶ som findes på nettet på Esri's egen hjemmeside beskriver, at metoden kan anvende et offset på tilsynspunkterne der er definerede i attribut tabellen, som det er sket ved alle id-punkter. Men i den rutine, som jeg selv har skrevet tilføres processen kun et arbejds punkt og ikke nogen information om tilsynspunkter. Det er derfor meget usandsynligt at oversigtsberegningerne virker efter hensigten mht. offset af tilsynspunkterne. I retrospekt er det en dum fejl, som der desværre ikke er tid til at rette. Men med den viden om viewshed jeg har i øjeblikket tror jeg ikke længere, at funktionen kan anvendes til at udføre oversigtsberegningerne i forbindelse med dette projekt. Viewshed værktøjet i Arcgis vil nemlig forsøge at anvende alle input punkter, som tilsynspunkter og arbejds punkter. I processen vil viewshedværktøjet ikke være i stand til at skelne imellem synlighed fra et punkt og synlighed fra et andet punkt. Under alle omstændigheder, så vil det kræve gennemgribende omskrivning af de udarbejdede rutiner, hvis oversigtsberegningen skal inkludere de vertikale offset, som det oprindeligt var hensigten at det skulle.

En anden fejl som er blevet eftervist i gennemgangen af de beregnede stopsigtskort er de manglende ruteberegninger fra nogle knudepunkter i kryds. Den konkrete årsag til denne fejl kan ikke bestemmes på nuværende tidspunkt. Men der er fundet to mulige bud på hvad årsagen kan være. Den grund kan være, at et højt antal id-punkter i vejkryds på en eller anden måde påvirker ruteberegningerne. Dette vurderes som en sandsynlig grund idet vejkryds netop er et af de steder, hvor der findes flere punkter på samme sted. Det kan også forekomme langs lige veje, hvis disse er opdelt i flere *multipart lines* og ikke bare et sammenhængende sæt *multipart lines*. Hvis antallet af id-punkter i et punkt er skyld i fejlen vil det være forholdsvist let at rette den idet man blot skal sikre sig at id-punkterne ikke overlapper hinanden. Dette kan fx gøres vha. en GIS-funktionen dissolve. Hvis fejlen ikke skyldes de overlappende id-punkter kan det tænkes at fejlen skyldes at blinde vejender indenfor viewshedpolygonen ikke tages med i beregningen, som det er hensigten at de skal. Det er en mulighed idet, fejlen kun er set et sted hvor den retning som ikke der ikke er beregnet stopsigtslængde for er en blind vej indenfor en afstand, som muligvis ligger indenfor viewshedpolygonen.

Den sidste fejl, som er identificeret iblandt de stikprøvekontroller af stopsigtskortets funktion som er udført, er at det ikke lader til at der udføres ruteberegninger og dermed heller ikke stopsigtslængder til blinde vejsegmenter, som ligger indenfor viewshedpolygonen. Det kan undre, at fejlen opstår idet stopsigtslængderne til blinde vejsegmenter indenfor polygonen beregnes på samme måde, som andre vejsegmenter. Valget af den anvendte metode er netop truffet for at undgå denne fejl. Dvs. metoden, hvor man først klipper et stykke af vej kortet ud vha. viewshedpolygonen, og derefter beregner ruter til det udklippede vej kortets endestykker. At metoden netop var udvalgt til at undgå denne fejl, men fejlen alligevel opstår leder mig til at tro, at fejlen ikke skyldes metoden. Men i stedet at metoden ikke er blevet implementeret korrekt i den rutine, som er udarbejdet i Arcgis.

Vurdering af de valg som er truffet undervejs

Den metode, som anvendes i projektet sigter mere på at udføre et projekt og derefter erkende de fejl man har begået i løbet af projektet. Derved kan man efterfølgende rette fejlene og udføre projektet igen med ændrede forudsætninger og opnå et bedre resultat. Grundprincippet kaldes iteration og anbefales bl.a. af enkelte forskere indenfor projektstyrning på Aalborg universitet. Metoden har den fordel, at det umiddelbart er lettere at arbejde med et projekt, hvis man blot koncentrerer sig om at nå et stykke af vejen, end det er at arbejde på at finde en optimal løsning. Iteration fungerer dog kun hvis man udfører processen, som i dette tilfælde er hele projektet efterfølgende gange. Det er der desværre ikke tid til indenfor de rammer, der er til rådighed. Men det kan være interessant at overveje, hvilke parametre som bør ændres i næste iteration, såfremt en sådan kommer på tale. Netop denne ændring kan betragtes som frugten af en enkelt iteration.

Hvis projektet skulle gøres om, så vil jeg først og fremmest fokusere på at forbedre de beregninger som ligger til grund for oversigtsberegningerne. I dette projekt har det vist sig, at en viewshed analyse ikke er det rette valg i den situation. Vigtigst er det, at det vertikale offset på tilsynspunkter ikke kan anvendes. Men også det høje tidsforbrug spiller en rolle. Det har nemlig vist sig, at viewshed-analysen både tager længere tid end en Line Of Sight beregning (LOS) og medfører flere besværlige og uproduktive ruteberegninger senere hen. I stedet for at anvende en Viewshed analyse vil jeg i stedet forsøge at anvende en række LOS beregninger. Grundprincippet i den metode, som er beskrevet i dette projekt, hvor et kort anvendes sammen med tabelopslag baseret på id-punkter ville jeg dog holde fast i. Men såfremt et nyt projekt skulle gennemføres med samme indhold ville jeg sandsynligvis forsøge at få tabelopslagene til at virke automatisk, hvilket fejlede i dette projekt. Men med den viden jeg har om Arcgis nu er chancen for at det lykkes større end før.

Om jeg ville anvendes Arcgis eller forsøge at skrive alle funktioner fra grunden af er uvist. Men sandsynligvis ville jeg fortsætte med Arcgis, selvom programmet har været årsag til stor fortvivlelse i dette projekt. Især har det været besværligt at rette i de rutiner, som man allerede har skrevet. I retrospekt kan man sige, at problemet opstår pga. dårlig eller mangelfuld projektstyrning. Men for at opnå det overblik, som kræves for kunne styre et projekt af denne art kræves efter min vurdering først og fremmest kendskab til de nødvendige rutiner i ArcGIS. Den nødvendige kendskab til disse kan opnås gennem undervisning eller blot ved at arbejde med de enkelte rutiner.

11 Konklusion

I den tidlige del af projektet blev det fastlagt, hvad formålet med projektet var og hvilke mål som ønskes opnået med projektet. Formålet blev fastlagt til; at identificere en række nøgleproblematikker, som man vil løbe ind i, hvis et fuldt funktionelt stopsigtskort skal tages i brug.

I projektet er jeg løbet ind i en række problemer, som er tæt forbundet med opgavens tema. Dette omhandler bl.a. definition af oversigtsarealer, forskellige metoder man kan beregne oversigtsafstande på, og stillingtagen til hvilke regler, som kan anvendes for at beregne en sikker hastighed vha. stopsigtsafstanden. Desuden har jeg arbejdet med, hvordan et ADAS Map Horizon system kan opbygges for at skabe sammenhæng imellem de data som bevæger sig rundt i systemet.

Det er valgt at forsøge at afdække temaspecifikke nøgleproblematikker ved at udarbejde et stopsigtskort i praksis. For at gøre dette muligt har jeg anvendt Arcgis fra Esri. Denne beslutning har vist sig at være problematisk idet mit kendskab til programmet fra begyndelsen ikke har været særlig stort. Men at anvende et GIS program er en brugbar måde at udarbejde et stopsigtskort. Der er brugt uhensigtsmæssigt meget tid på at lære programmets funktioner bedre at kende. Men anvendelse af et GIS er en metode, som kan anvendes til produktion af et stopsigtskort. Derfor vurderes problemer som kan opstå ved brug af funktionerne i ArcGIS som en del af problematikken ift. produktion af stopsigtskortet.

De overfor nævnte forhold taget i betragtning vurderes projektets formål umiddelbart at være opfyldt.

Det er på nuværende tidspunkt klart at langt fra alle nøgleproblematikker i.f.t. produktion og anvendelse af et stopsigtskort er blevet defineret i projektet. Det har dog aldrig været målet at udpege alle nøgleproblematikkerne. Men på baggrund af de fejl og mangler med hensyn til kortets nøjagtighed og fuldstændighed, som er fundet i projektet er det muligt at arbejde videre med projektet. Især en undersøgelse af hvorvidt den billineare interpolation af terræn og vejhøjde bidrager til de korte stopsigtslængder vil være interessant at se nærmere på. Også en undersøgelse af hvorvidt antallet af arbejds punkter i et vej kryds har betydning for de manglende stopsigtslængder vil være interessant at undersøge nærmere.

For at garantere, at projektets formål blev opfyldt er der tidligt i projektet blevet defineret et konkret mål med projektet. Dette mål tjener til at sikre, at der arbejdes hen mod den brede forståelse af et ADAS Map Horizon system med implementering af et stopsigtskort, som formålet sigter på. Således blev projektets mål defineret som:

”At udvikle et brugbart stopsigtskort, som i sammenspil med et dertil rettet system kan advare en bilist, hvis hans nuværende hastighed er højere end hans synslængde tillader”

I gennem projektarbejdet har jeg fundet på en måde, hvorpå man kan opnå projektets mål. Og hvis projektets mål opdeles i mindre delmål er størstedelen af disse også blevet opfyldt. Det opnåede resultat i forhold til enkelte delmål er dog ikke af overbevisende kvalitet. Især kan der drages tvivl om den del af målet, som siger at stopsigtskortet skal være brugbart, er opfyldt. Stopsigtskortet har nemlig vist sig at rumme en del fejl og mangler, som ikke vil kunne accepteres i en kommerciel situation. Stopsigtskortet angiver i en række tilfælde fejl en stopsigtslængde, som er meget lavere end det der kan observeres i virkeligheden. I andre tilfælde forsømmer de udviklede rutiner helt at angive stopsigtslængder i en retning i forbindelse med vej kryds. Disse fejl og mangler må nødvendigvis udbedres, hvis stopsigtskortet skal kunne

anvendes kommercielt. Med det sagt, så har projektet vist, at det er muligt at beregne et stopsigtskort på den beskrevne metode.

Desværre har der ikke været tid til at gå i dybden med driftsdelen af det beskrevne ADAS system. Derfor kan det ikke garanteres, at stopsigtskortet vil kunne bruges til i praksis. Men umiddelbart er der ikke fundet nogen grund til at tvivle på, at den oprindelige ide bag systemet vil virke i praksis. I projektet er det søgt at eftervise ideen bag ADAS stopsigtskortet. Ideen inkluderer brugen af id-punkter for at minimere de nødvendige datamængder, som kræves under produktion og brug af stopsigtskortet. Men det har ikke været muligt at eftervise denne ide i praksis pga. problemer med Arcgis. Hvis det besluttet at arbejde videre med driftsfasen af ADAS systemet bør det derfor undersøges, hvorvidt det er muligt at indarbejde særlige oversigtsarealer nær vejkryds, som tilgodeser de særlige regler som findes her.

Det stopsigtskort som er udviklet i projektet indeholder hastigheder som potentielt kan anvendes til at advare en bilist om, at hans hastighed er for høj. Dette var et delmål, som anses for at være opfyldt på trods af, at de beregnede hastigheder ikke lader til at være korrekte.

Det kendskab jeg har haft til det anvendte værktøj, Arcgis har ikke været tilstrækkelig i starten af projektet. Mit kendskab til programmet er dog øget i løbet af projektet. Men kendskabet til processerne har ikke nået et niveau, som har gjort det muligt at udfylde projektets mål på tilfredsstillende vis. Ser man i stedet på projektet som et læringsprojekt, hvor det er underordnet om projektets mål nås og blot prioritere den tillærte kunnen, så står projektet i et andet lys.

Vælger man at betragte projektet som et læringsprojekt vurderes det dog, at der er brugt for meget tid på at skrive rapport, rette rapport og skrive rapport igen fremfor at arbejde med de nødvendige rutiner, og derigennem opnå den nødvendige viden om disse. I projektets forløb vurderer jeg umiddelbart at jeg skulle have brugt mere tid på at skrive programmer i Arcgis i starten og mere tid på at skrive rapport i slutningen af projektet.

13 Henvisninger

Listen herunder rummer samtlige henvisninger, som er foretaget i rapporten. Lidt utraditionelt er det valgt ikke at gøre forskel på litteratur, hjemmesider og bilag. Bilag findes både i bilagsafsnittet i denne rapport og på den vedlagte CD. Litteratur er udelukkende vedlagt i elektronisk form på CDen.

- ¹ *Lovbekendtgørelse af færdselslov* som udgivet af folketinget, dato: 24/10/2011
Litteratur: Bekendtgørelse af færdselslov, LBK nr 1047 af 24/10/2011
- ² *Lovbekendtgørelse af færdselslov* som udgivet af folketinget, dato: 24/10/2011
Litteratur: Bekendtgørelse af færdselslov, LBK nr 1047 af 24/10/2011
- ³ *Hvorfor sker trafikulykkerne? - Faktorer i 207 trafikulykker undersøgt af HVU*, udgivet af Havarikommissionen for vejtrafikulykker i 2010.
Litteratur: Tværanalyse_HVUdec09.pdf s7-8
- ⁴ *Hvorfor sker trafikulykkerne? - Faktorer i 207 trafikulykker undersøgt af HVU*, udgivet af Havarikommissionen for vejtrafikulykker i 2010.
Litteratur: Tværanalyse_HVUdec09.pdf s7
- ⁵ *Ulykkes-, skades- og bagved-liggende faktorer*, udgivet af Havarikommissionen for vejtrafikulykker
Litteratur: Uhelds_og_skadesfaktorer_110816.pdf s1
- ⁶ *Byernes trafikarealer - Hæfte 2 –Traceringselementer*, udgives af vejdirektoratet i 2000
Litteratur: vd-Trafikarealer by. Traceringselementer.pdf, afsnit: 4.4.1 Etablering s17
- ⁷ Interesses hjemmeside for Grundejerforeningen Taarnborg
Hjemmeside: www.Grundejerforeningentaarnborg.dk
- ⁸ Online lokalavis, som fokuserer på vestsjælland
Hjemmeside: www.nordvestnyt.dk
- ⁹ *Lovbekendtgørelse af færdselslov* som udgivet af folketinget, dato: 24/10/2011
Litteratur: Bekendtgørelse af færdselslov, LBK nr 1047 af 24/10/2011
- ¹⁰ *Årsrapport – Dødsulykker 2010*, Udgivet af vejdirektoratet i 2011
Litteratur: Doedsulykker_final.pdf s.56
- ¹¹ *Trafikuheld 2010*, publiceret af vejsektoren.dk i 2011
Litteratur: <http://www.vejsektoren.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=123687>
- ¹² *Årsrapport – Dødsulykker 2010*, Udgivet af vejdirektoratet i 2011
Litteratur: Doedsulykker_final.pdf
- ¹³ *Årsrapport – Dødsulykker 2010*, Udgivet af vejdirektoratet i 2011
Litteratur: Doedsulykker_final.pdf
- ¹⁴ *Årsrapport – Dødsulykker 2010*, Udgivet af vejdirektoratet i 2011
Litteratur: Doedsulykker_final.pdf, s56
- ¹⁵ *ADASIS PROTOCOL FOR ADVANCED IN-VEHICLE APPLICATIONS*, skrevet af Christian Ress fra Ford Research & Advanced Engineering, 52078 Aachen, Germany på vejne af ADASIS forum
Litteratur: ADASI PROTOCOL FOR ADVANCED IN-VEHICLE APPLICATIONS.pdf, s3
- ¹⁶ *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet I 2005 af ARTECH HOUSE
Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s122
- ¹⁷ *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet I 2005 af ARTECH HOUSE
Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s104, s122
- ¹⁸ *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet I 2005 af ARTECH HOUSE
Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s123
- ¹⁹ *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet I 2005 af ARTECH HOUSE
Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s125
- ²⁰ Bilproducenten, Seat Automotive's officielle hjemmeside
Hjemmeside: <http://www.seat.co.uk/content/uk/brand/en/models/altea/highlights.html>
- ²¹ Elektronikproducenten Bosch Groups officielle hjemmeside
http://rb-kwin.bosch.com/en/safety_comfort/driving_comfort/driverassistancesystems/nightvision/index.html
- ²² *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet I 2005 af ARTECH HOUSE

- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s135
- 23 *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet i 2005 af ARTECH HOUSE
- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s113
- 24 *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet i 2005 af ARTECH HOUSE
- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s109
- 25 *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, skrevet af Richard Bishop og udgivet i 2005 af ARTECH HOUSE
- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends.pdf, s98
- 26 Artikel fra fagmagasinet GeoInformatics septemberudgave 2009
- Litteratur: ADAS and 3D-Road Map Databases.pdf
- 27 *A MAP BASED ACCIDENT HOT SPOT WARNING APPLICATION*, skrevet af Christoph Hecht fra TRANSVER GmbH i 2005.
- Litteratur: A Map based Accident Hot Spot Warning Application.pdf
- 28 ProNAV, Producent af navigationsudstyr med det professionelle marked for øje.
- Hjemmeside: <http://www.pronav.co.uk/>
- 29 *Intelligent Speed Adaptation in Company Vehicles*, Skrevet af N. Aggerholm i forbindelse med 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Litteratur: Intelligent_Speed_Adaptation_in_Company_Vehicles.pdf
- 30 *Intelligent Speed Adaptation in Company Vehicles*, Skrevet af N. Aggerholm i forbindelse med 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends, s195-199
- 31 *Intelligent Speed Adaptation in Company Vehicles*, Skrevet af N. Aggerholm i forbindelse med 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Litteratur: Intelligent Vehicle Technology and Trends, s106-109
- 32 *About INTERSAFE-2*, hjemmeside om Intersafe-2 projektet. Skrevet i 2011
- Hjemmeside: <http://www.intersafe-2.eu/public/>
- 33 Fagmagasin omhandlende udstyr til automobilindustrien.
- Hjemmeside: <http://www.automotiveit.com/bmw-vw-show-how-to-avoid-accidents-at-intersections/news/id-002838>
- 34 *Safe intersections*, Skrevet af Dr. Kay Fürstenberg i forbindelse med Intersafe-2 projektet i 2011
- Litteratur: INTERSAFE-2_en.pdf
- 35 Bilproducenten BMW's presseafdelings hjemmeside
- Hjemmeside: www.press.bmwgroup.com
- 36 *Knowledge is Life*, Projekthjemmeside for CAR2CAR projektet
- Hjemmeside: <http://www.car-to-car.org/index.php?id=46>
- 37 *Knowledge is Life*, Projekthjemmeside for CAR2CAR projektet
- Hjemmeside: <http://www.car-to-car.org/index.php?id=170>
- 38 Google inc. Blogindlæg om af indsamling trafikdata
- Hjemmeside: <http://googledkpress.blogspot.com/2011/07/planlg-reisen-med-dansk-trafikdata-i.html>
- 39 Søgemaskinen Googles online kort
- Hjemmeside: <http://maps.google.dk/>
- 40 *Architectures of Map-Supported ADAS*, Skrevet af Sinisa Durekovic et al. fra NAVTEQ i 2011
- Otto-Volger-Str. 1, 65843 Sulzbach, Germany
- Litteratur: Architectures of Map-Supported ADAS.pdf, s1
- 41 *ADASIS PROTOCOL FOR ADVANCED IN-VEHICLE APPLICATIONS*, skrevet af Christian Röss fra Ford Research & Advanced Engineering m.fl., 52078 Aachen, Germany på vejne af ADASIS forum
- Litteratur: ADASIS PROTOCOL FOR ADVANCED IN-VEHICLE APPLICATIONS.pdf
- 42 *TRAFIKAREALER, LAND - Hæfte 1 -Forudsætninger for den geometriske udformning*, udgives af vejdirektoratet i 2008
- Litteratur: F_Forudsætninger - geometrisk udformning.pdf – afsnit 6.3.1 s50
- 43 *Traffic Advisories Based on Route Prediction*, Skrevet af Kari Torkkola et al. fra Motorola, Intelligent Systems Lab
- Litteratur: Traffic Advisories Based on Route Prediction.pdf, s2
- 44 *TRAFIKAREALER, LAND - HÆFTE 2 – Tracering*, udgivet af vejreglerådet i 2008
- Litteratur: F_H2 0_Tracering.pdf

- ⁴⁵ TRAFIKAREALER, LAND - Hæfte 1 -Forudsætninger for den geometriske udformning, udgives af vejdirektoratet i 2008
Litteratur: F_Forudsætninger - geometrisk udformning.pdf, s49
- ⁴⁶ TRAFIKAREALER, LAND - HÆFTE 4.0 - Planlægning af vejkryds, publiceret af vejreglerådet for vejdirektoratet i 2008
Litteratur: F_Planlægning af vejkryds.pdf
- ⁴⁷ TRAFIKAREALER, LAND - HÆFTE 4.0 - Planlægning af vejkryds, publiceret af vejreglerådet for vejdirektoratet i 2008
Litteratur: F_Planlægning af vejkryds.pdf
- ⁴⁸ Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes, Skrevet af Pieter Martijn van Leusen I 2002
Litteratur: Pattern To Process.pdf, s108
- ⁴⁹ Efficient Line-of-Sight Algorithms for Real Terrain Data, skrevet af Roberto de Beauclair Seixas et al. for IMPA – Instituto de Matemática Pura e Aplicada I 1997
Litteratur: Efficient Line-of-Sight Algorithms for Real Terrain Data.pdf
- ⁵⁰ Cirkulære om vejregler for vejkryds i åbent land, Udgivet af Ministeriet for offentlige arbejder i 1983
Litteratur: Cirkulære om vejregler for vejkryds i åbent land.pdf
- ⁵¹ TRAFIKAREALER, LAND - Hæfte 1 -Forudsætninger for den geometriske udformning, udgives af vejdirektoratet i 2008
Litteratur: F_Forudsætninger - geometrisk udformning.pdf
- ⁵² Bekendtgørelse om detailforskrifter for køretøjers indretning og udstyr, udgivet af færdselsstyrelsen i 2011
Litteratur: Detailforskrifter for køretøjer.pdf
- ⁵³ 130 km/t på motorveje - Konsekvenser af ændret hastighedsgrænse, skrevet af Bent Andersen et al og udgivet af Dansk transportforskning i 2002
Litteratur: 130 kmt på motorveje (bremselængde).pdf, s22
- ⁵⁴ Litteratur: Physics.for.Scientists.and.Engineers.7E.Serway.Jewett.pdf, formel 2.6 s26, formel 2.17 s34.
- ⁵⁵ Bilag: hastighed_begge.m
- ⁵⁶ Litteratur: 130 kmt på motorveje (bremselængde).pdf, s22 - figur 2
Litteratur: F_Forudsætninger - geometrisk udformning.pdf, s54 – figur 6.4
- ⁵⁷ Litteratur: VRA-Z0-V1-002_Vejkryds-i-aabent-land_(081006_HCD).pdf, s71
- ⁵⁸ Bilag: Hastighed_begge.m
- ⁵⁹ Assessing the Potential of Predictive Control for Hybrid Vehicle Powertrains Using Stochastic Dynamic Programming, Skrevet af Lars Johannesson et al. I 2007 til fagbladet IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS
Litteratur: Assessing the Potential of Predictive Control for Hybrid Vehicle Powertrains Using Stochastic Dynamic Programming.pdf
- ⁶⁰ Determining opportunities for overtaking assistance Combined efforts of a user needs survey and an interaction model, skrevet af Maura Houtenbos et al. fra Delft universitet i 2005
Litteratur: Determining opportunities for overtaking assistance Combined efforts of a user needs survey and an interaction model.pdf
- ⁶¹ A Comparison of Accuracy Using a GPS and a Low-Cost DGPS, Skrevet af Mladen Matosevic et al. i 2006
Litteratur: A Comparison of Accuracy Using GPS and a Low-Cost DGPS.pdf
- ⁶² Datablad indholdende specifikationer for Trimble Juno GPS modtager, udgivet af Trimble i 2011
Litteratur: 022501-279_Juno Series_DS_0212_MGIS_HR_nc.pdf, s2
- ⁶³ Explicit use of road topography for model predictive cruise control in heavy trucks, skrevet af Erik Hellstrøm Fra Linköpings universitet i 2005
Litteratur: Explicit use of road topography for model predictive cruise control.pdf, s63
- ⁶⁴ COWI når nye højder - DDH® – Danmarks Digi tale Højdemodel dokumenterer højderne i Danmark, udgivet af COWI i 2006.
Litteratur: B021-1417-DDH_Low.pdf, s7
- ⁶⁵ P R O D U K T S P E C I F I K A T I O N - Danmarks Højdemodel, DHM/Overflade, Udgivet af KMS i 2009
Litteratur: DK_DHM_Overflade_Januar_2011.pdf, s7
- ⁶⁶ P R O D U K T S P E C I F I K A T I O N - Danmarks Højdemodel, DHM/Overflade, Udgivet af KMS i 2009

- Litteratur: DK_DHM_Overflade_Januar_2011.pdf, s6
- 67 *FOT Specifikation FOT 4.1.* Udgives af FOT Danmark Fællesoffentligt Geografisk Administration i 2010
Litteratur: FOT4.1+alt_dk.pdf, s12
- 68 *FOT -vejmidte rapport*, udgivet af FOT Danmark i 2001
Litteratur: FOT_vejrapportering.pdf, s3
- 69 *Kortstandarder hos KortCenter.dk*, udgivet af kortcenter.dk i 2009
Litteratur: kortstandarder_FOT.pdf, s3
- 70 *FOT Specifikation FOT 4.1.* Udgives af FOT Danmark Fællesoffentligt Geografisk Administration i 2010
Litteratur: FOT4.1+alt_dk.pdf s85
- 71 Produktbeskrivelse af Network Analyst, publiceret af ESRI.
Hjemmeside: <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/index.html>
- 72 Produktbeskrivelse af Microsoft VPL, publiceret af Microsoft i 2012.
Hjemmeside: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb483088.aspx>
- 73 Oversigtskort til identifikation af rastergrid, KMS.
Litteratur: DK_10KM_GRID.pdf
- 74 Bilag: CalcToolbox/CalcView, CalcView.jpg, CalcView.py
Bilag: CalcToolbox/CalcRoute, CalcRoute.jpg, CalcRoute.py
Bilag: CalcToolbox/CalcSpeed, CalcSpeed.jpg, CalcSpeed.py
- 75 Online kort fra Bing
Hjemmeside: www.bing.com/maps
- 76 Stopsigtskort uden ændringer
Bilag: Path_Merge_Basis.shp
- 77 Stopsigtskort med indflydelse af flytning af overflademodellens kote
Path_Merge_Edit.shp
- 78 Stopsigtskort med indflydelse af flytning af overflademodellens northing koordinat
Path_Merge_Shift.shp
- 79 Beskrivelse af Viewshed funktionen i ArcGIS, publiceret af ESRI
Hjemmeside: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000v8000000.htm>
- 80 Datablad indholdende specifikationer for Trimble Juno GPS modtager, udgivet af Trimble i 2011
Litteratur: 022501-279_Juno Series_DS_0212_MGIS_HR_nc.pdf, s2
- 81 *P R O D U K T S P E C I F I K A T I O N - Danmarks Højdemodel, DHM/Overflade*, Udgivet af KMS i 2009
Litteratur: DK_DHM_Overflade_Januar_2011.pdf, s6
- 82 *Kortstandarder hos KortCenter.dk*, udgivet af kortcenter.dk i 2009
Litteratur: kortstandarder_FOT.pdf, s3
- 83 *FOT Specifikation FOT 4.1.* Udgives af FOT Danmark Fællesoffentligt Geografisk Administration i 2010
Litteratur: FOT4.1+alt_dk.pdf, s85
- 84 *P R O D U K T S P E C I F I K A T I O N - Danmarks Højdemodel, DHM/Overflade*, Udgivet af KMS i 2009
Litteratur: DK_DHM_Overflade_Januar_2011.pdf, s4
- 85 Bilag: Uændret : Path_Merge_Basis.shp,
Bilag: Kote ændret : Path_Merge_Edit.shp
Bilag: Plankordinat ændret : Path_Merge_Shift.shp
- 86 Dokumentation af Viewshed og Observer points i ArcGIS
Hjemmeside: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000v8000000.htm>