

Indholdsfortegnelse

1	Baggrund	2
2	Sammenfatning	3
3	Forudsætninger	3
3.1	F-kryds	4
3.2	F-kryds med separatreguleret venstresving	6
3.3	Ruderanlæg	8
4	Effekterne af detektorfejl ved normal trafikale belastning	10
4.1	F-kryds	10
4.2	F-kryds med separatreguleret venstresving	12
4.3	Sammenligning - med og uden separatreguleret venstresving	14
4.4	Ruderanlæg	15
5	Effekterne af detektorfejl ved øget trafikale belastning	17
5.1	DanKap-analyse	17
5.2	F-kryds	19
5.3	F-kryds med separatreguleret venstresving	20
5.4	Sammenligning - med og uden separatreguleret venstresving	20
5.5	Ruderanlæg	21
6	Yderligere analyser af separatreguleret venstresving	22
6.1	Øget venstresvingende andel	22
6.2	Ændret faserækkefølge	24
7	Samfundsøkonomiske effekter	26
7.1	Forudsætninger	26
7.2	Resultat	28
8	Perspektivering	29
8.1	Detektering af køretøjer i sekundære tilfartsspor eller "separatregulerede venstresving"	30
8.2	Detektering af køretøjer i primære tilfartsspor	31
8.3	Øvrige forhold	32
9	Bilag	33

Dokumentnr. 1
Version 2.0
Udgivelsesdato 6/5 2011

Udarbejdet MHDL
Kontrolleret BOWN
Godkendt RSAL

1 Baggrund

COWI har tidligere gennemført en analyse for Vejdirektoratet af de trafikale konsekvenser i forbindelse med detektorfejl, og herunder blev sammenlignet effekterne ved forskellige metoder til at håndtere disse fejl. Denne analyse er uddybet i notatet "Effekter af fejldetektering", COWI, 23. december 2009, og denne uddybende analyse tager også udgangspunktet heri. Forudsætningerne bliver opridset indledningsvist.

Tre forskellige krydstyper med forskellige detektorfejl bliver analyseret: F-kryds (firbenet kryds), F-kryds med separatreguleret venstresving og et ru-deranlæg.

I notatet beskrives de samfundsrelaterede effekter, som detektorfejlene medfører i form af forsinkelser og brændstofforbrug. Resultaterne fokuserer både på den *traditionelle* håndtering af detektorfejl og det *nye koncept*. Den traditionelle er, når en detektorfejl medfører fast anmeldelse og fuld forlængelse for den givne retning. Det nye koncept er derimod mere nuanceret og fejlfunktionen afhænger af detektorens placering. Detektorfejl vil ikke kunne medføre både fast anmeldelse og fuld forlængelse. I undersøgelserne er fokus rettet mod de kapacitetsmæssige konsekvenser, men andre aspekter vil også inddrages perifert.

Undersøgelserne foretages i simuleringsprogrammet VISSIM, hvor de forskellige fejltypen imiteres. I alt analyseres følgende scenarier:

- 1 Forskellige fejltypen opstilles og analyseres for hver af de tre krydstyper
- 2 Tilsvarende 1, hvor trafikmængderne og dermed belastningsgraden på hovedretningen øges
- 3 Yderligere analyser af F-krydset med separatreguleret venstresving
 - 3.1 Andelen af venstresvingene i den ene retning øges fra 10 procent til 20 procent
 - 3.2 Fasen for den venstresvingende trafik afvikles før fasen for den øvrige trafik på hovedretningen
- 4 Endeligt vurderes de årlige samfundsrelaterede konsekvenser ændringen af håndteringen af detektorfejl vil have i Vejdirektoratets anlæg.

Notatet afsluttes med en perspektivering, med en mere generel beskrivelse af håndteringen af detektorfejl i trafikstyrede signalanlæg, og af hvilke overvejelser der bør gøres ved fastsættelse af fejlfunktioner.

2 Sammenfatning

Konsekvenser ved normal trafikbelastning

I den normale trafiksituation, svarende til den tidligere analyse, er resultaterne entydige, og de peger på, at man i langt højere grad skal være nuanceret i forhold til de funktioner, der træder i kraft ved detektorfejl. De overordnede resultater viser, at det nye koncept til at håndtere detektorfejl kun i nogen grad påfører trafikanterne gener i form af øgede forsinkelser og øget brændstofforbrug. Modsat vil den traditionelle metode til håndtering af detektorfejl typisk forøge forsinkelsen med 20-40 procent. For ruderanlægget er resultatet ikke så entydigt, da en større detektorbestykning og øgede funktioner komplicerer styringen. Især fejl på kødetektoren i svingbanen medfører store gener. Fejlfunktionen på denne bør optimeres for at minimere de kapacitetsmæssige konsekvenser en sådan fejl vil medføre.

Konsekvenser ved øget trafikbelastning

Belastningsgraden i krydsene med normal trafikbelastning bestemmes i DanKap, hvilket er grundlaget for en justering. Her fastslås, at belastningsgraden i spidstimen oprindeligt er (for F-kryds og F-kryds med separatreguleret venstresving) 40-50 procent. Denne øges for at undersøge konsekvenserne ved detektorfejl i en situation med højere belastning. Ved at øge ÅDT til 20.000 på hovedretningen øges spidstimebelastningen for krydset til 60-75 procent. Analyserne af detektorfejl ved denne trafikmængde gav resultater, der i høj grad lignede den første analyse. Den primære forskel ligger i, at detektorfejl på hovedretningen medfører mindre negative effekter i krydset som helhed, hvorimod de relative konsekvenser for detektorfejl på sideretningen er øget sammenholdt med den oprindelige trafikbelastning.

Følsomhedsanalyse af F-krydset med separatreguleret venstresving

Konsekvensen ved at øge andelen af venstresvingende i krydset med separatreguleret venstresving fra 10 til 20 procent, er begrænsede. Generelt stiger den samlede forsinkelse med 10 procent, da belastningen i faserne for de venstresvingende øges og dermed også er med til at øge ventetiden for de øvrige retninger. Effekterne udebliver, da den venstresvingende trafik både har mulighed for at anmelde og forlænge signalet, uanset hvilken detektorfejl der måtte optræde.

Når den separatregulerede venstresvingende trafik afvikles inden den ligeudkørende trafik i samme retning, svarer mønstret af de effekter detektorfejlene medfører til tidligere analyser. Det er dog værd at bemærke, at den samlede forsinkelse i krydset falder med ca. 3 procent.

De årlige gevinster ved ny håndtering af detektorfejl

Der er som beskrevet væsentlige gevinster at hente for afviklingen af trafikken ved at omlægge den måde, hvorpå detektorfejl håndteres. Fra et samfundsøkonomisk synspunkt vil dette betyde en besparelse på mere end 7.000 kr., alene når man venter 3 dage (serviceniveau a) med at udbedre fejlen. Denne samfundsøkonomiske gevinst er større end de omkostninger, der er forbundet med at udskifte en detektorpole.

3 Forudsætninger

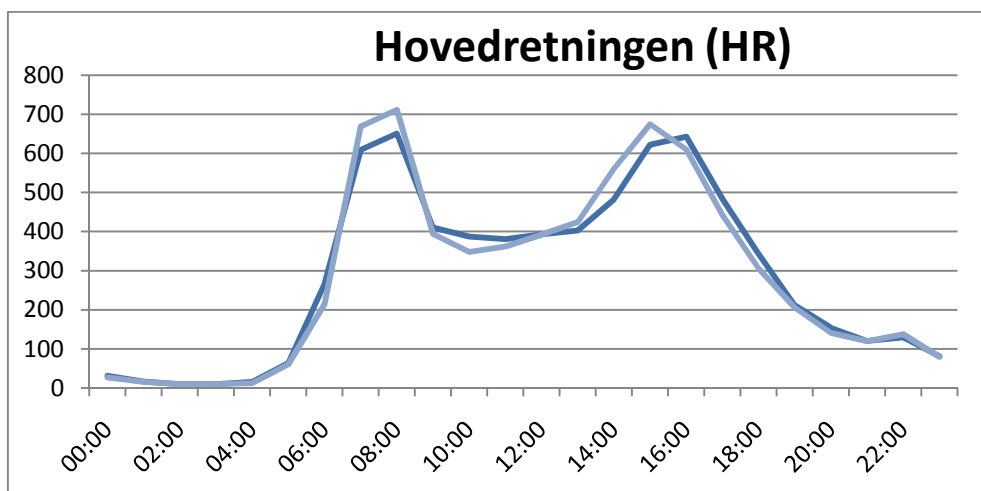
Forudsætningerne er gennemgående for samtlige analyser af de tre scenarier - F-kryds med og uden separatreguleret venstresving og for ruderanlægget. Forudsætningerne for den samfundsøkonomiske analyse er beskrevet separat.

3.1 F-kryds

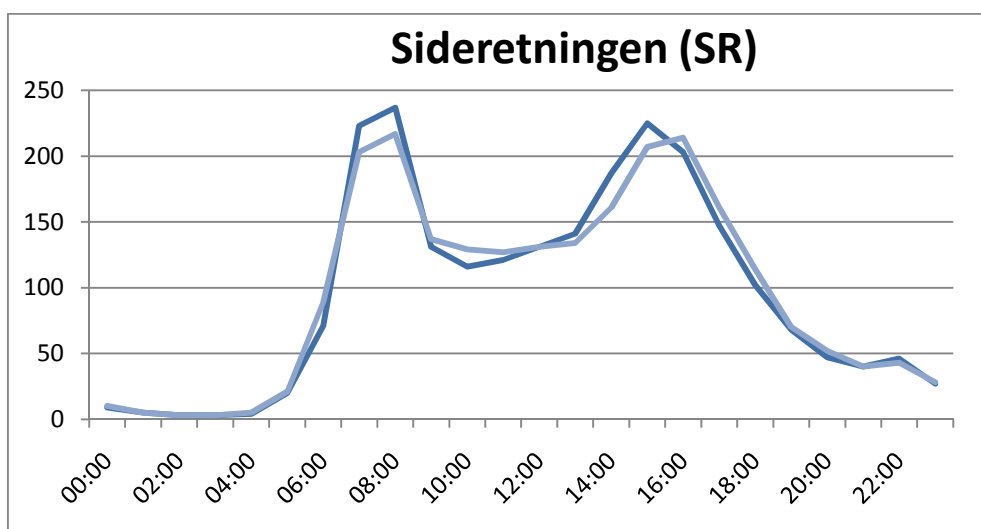
Den anvendte styringsform for F-krydset er rød hvile. Der er fuld kanalisering af hovedretningen og af sideretningen. Der simuleres desuden hverken fodgængere eller cyklister i krydset og den skilte hastighed for hovedretningen igennem krydset er 70 km/t. For sideretningen er den 50 km/t.

3.1.1 Trafikstrømme

ÅDT på hovedretningen er 12.000, hvor variationen hen over døgnet fremgår af Figur 3-1. Trafikstrømmene er næsten identiske i begge retninger. Trafikkens fordeling er ens fra begge retninger; 80 procent bevæger sig lige igennem krydset, og 10 procent svinger hhv. til højre og til venstre.



Figur 3-1 Variation af trafikken i hovedretningen over døgnet. De to grafer viser trafikken fra de to retninger



Figur 3-2 Variation af trafikken i sideretningen over døgnet. De to grafer viser trafikudviklingen for de to retninger

For sideretningen er ÅDT 4.000. Trafikkens fordeling over døgnet fremgår af Figur 3-2, og antages tilsvarende fordelingen for hovedretningen, blot med en tredjedel af trafikmængderne. 40 procent af trafikken svinger, hhv. 20 procent til venstre og 20 procent til højre. 60 procent af trafikanterne kører altså ligeud gennem krydset.

3.1.2 Fejlfunktioner og detektorplacering

I samtlige scenarier analyseres situationen uden detektorfejl. Denne anvendes som reference for de øvrige analyser af detektorfejl. For F-krydset simuleres i alt seks variationer af forskellige fejl. Disse er opridset i Tabel 3-1, hvor også inddelingen af den traditionelle metode samt det nye koncept fremgår.

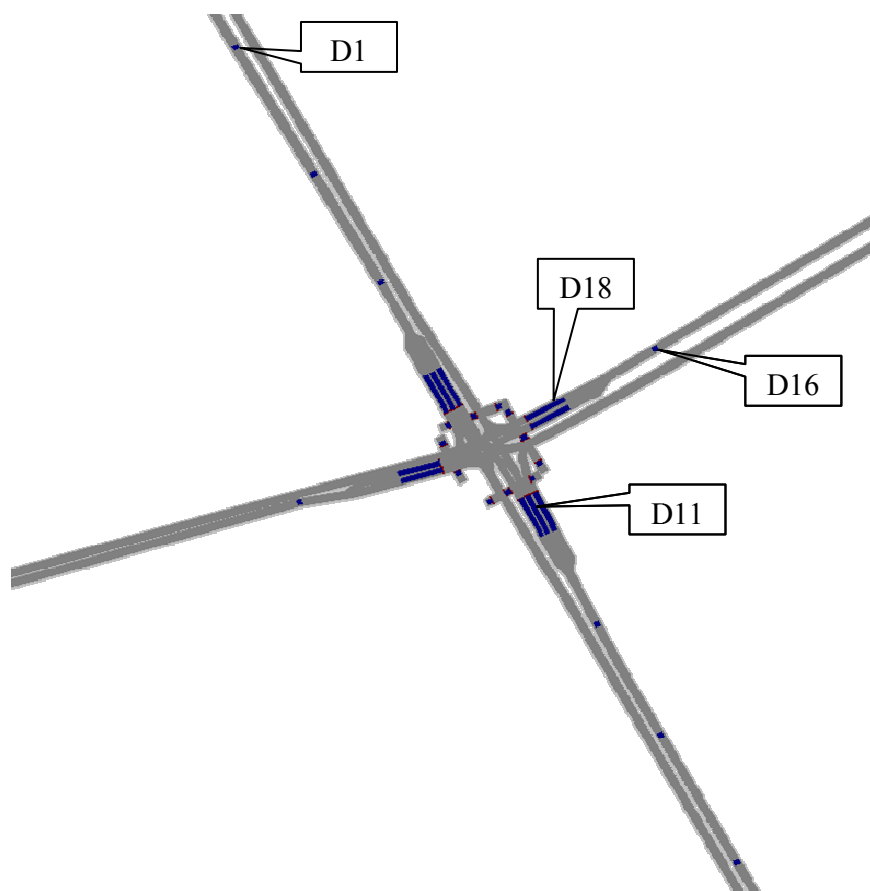
Tabel 3-1 Funktion ved detektorfejl i standardkrydset

	Detektor	Funktion ved detektorfejl
Traditionel	Hovedretningen (HR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
	Sideretningen (SR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
Nyt koncept	D1 (HR, 200 m)	Detektoren udkobles
	D11 (HR, 1-21 m)	Fast anmeldelse
	D16 (SR, 70 m)	Detektoren udkobles
	D18 (SR, 1-21 m)	Fast anmeldelse

HR = hovedretning, SR = sideretning

De to første scenarier dækker over den traditionelle metode til at håndtere detektorfejl. Her både anmelder og forlænger en fejlramt detektor. Nederst i tabellen fremgår den alternative metode til at håndtere detektorfejl. Dette eksemplificeres ved udvalgte detektorer både på side- og hovedretningen. Funktionen af fejl afhænger af detektorens placering og vil enten udkoble eller anmelde fast.

D1 og D11 er spoler i hovedretningen, hhv. langt fra stoplinjen (200 m) og ved stoplinjen. Placeringen fremgår af Figur 3-3. Tilsvarende gælder for sideretningen, hvor D16 er placeret længst fra stoplinjen og D18 er stoplinjedektoren. Da krydset er symmetrisk, vil fejl på tilsvarende spole på modstående tilfart have samme effekt på afviklingen.



Figur 3-3 Spoleplacering i standardkrydset

3.1.3 Signalstyring

For F-krydset er den maksimale omløbstid 68 sekunder fordelt på to faser, hhv. for hoved- og sideretningen. For hovedretningen er der både en 2. og en 3. forlængelsesperiode og den maksimale grøntid er 34 sekunder. For sideretningen er der alene en 2. forlængelsesperiode og grøntiden kan i alt blive 20 sekunder.

3.2 F-kryds med separatreguleret venstresving

De trafikale forudsætninger for F-krydset med separatreguleret venstresving er tilsvarende det almindelige F-kryds. Forskellen optræder i signalstyringen, og der vil være flere variationer af detektorfejl.

3.2.1 Fejlfunktioner og detektorplacering

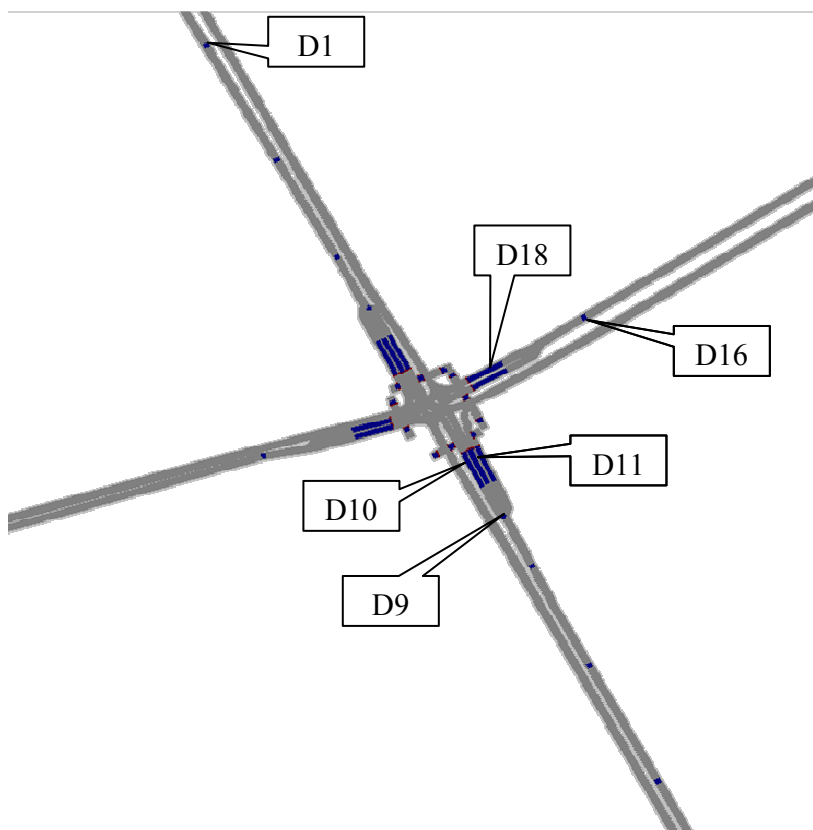
Foruden basissituationen analyseres ni scenarier. De seks detektorfejl er gengangere fra ovenfor, men signalstyringen er ny og effekterne derfor også anderledes. De forskellige scenarier fremgår af Tabel 3-2. Her betegner SV separatreguleret venstresving.

Tabel 3-2 Forskellige scenarier med fejlfremte detektorer

	Detektor	Funktion ved detektorfejl
Traditionel	Hovedretningen (HR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
	Sideretningen (SR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
	Separatreguleret vestresving (SV)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
Nyt koncept	D1 (HR, 200 m)	Detektoren udkobles
	D11 (HR, 1-21 m)	Fast anmeldelse
	D16 (SR, 70 m)	Detektoren udkobles
	D18 (SR, 1-21 m)	Fast anmeldelse
	D9 (SV, 40 m)	Detektoren udkobles
	D10 (SV, 1-21 m)	Fast anmeldelse

HR = hovedretning, SR = sideretning, SV = separatreguleret venstresving

Spolerne er placeret som for standardkrydset og ses i Figur 3-4. Derudover er D9 og D10 også medtaget i analysen. Disse er placeret i venstresvingsbanen for hovedretningen.



Figur 3-4 Spoleplaceringen i standardkrydset.

3.2.2 Signalstyring

For F-krydset med separatreguleret venstresving er den maksimale omløbstid 90 sekunder fordelt på tre faser, hhv. for hoved- og sideretningen og for de ven-

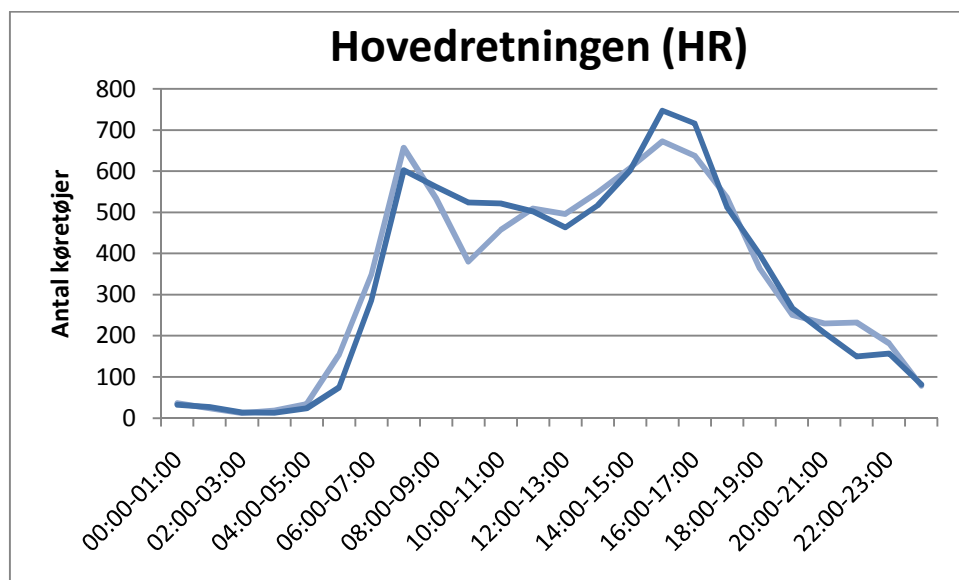
stresvingende på hovedretningen. For hovedretningen er der både en 2. og en 3. forlængelsesperiode og den maksimale grøntid er bevaret i forhold til F-krydset, nemlig 34 sekunder. I venstresvingsfasen er der alene 2. forlængelsesperiode og fasen har en maksimal grøntid på 16 sekunder. Fasen for sideretningen er også tilsvarende det almindelige F-kryds og kan maksimalt være 20 sekunder. Ved anmeldelse af alle faser afvikles hovedretningen først, efterfulgt af svingfasen og endeligt afvikles sideretningen.

3.3 Ruderanlæg

For ruderanlægget er den overordnede styringsform også rød hvile. Der er link mellem de to kryds for at sikre, at de to kryds er koordineret. Hverken fodgængere eller cyklister simuleres.

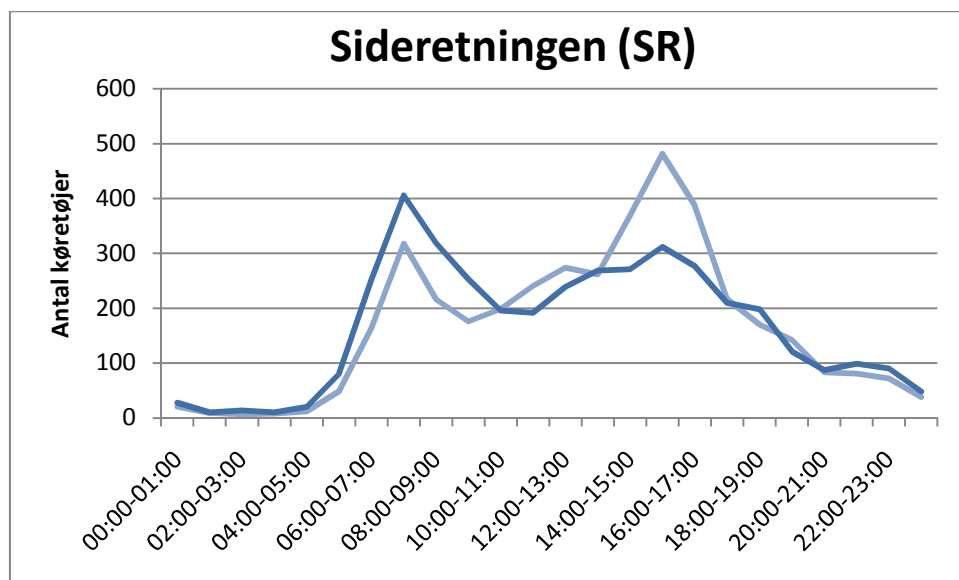
3.3.1 Trafikstrømme

Den skilte hastighed er 70 km/t for hovedretningen. ÅDT er 16.800 (imellem de to kryds), hvor variationen hen over døgnet fremgår af Figur 3-5. Af figuren fremgår det også, at trafikens variation hen over døgnet ikke er identisk fra begge retninger. Det er fordelingen fra begge sider derimod. 15 procent af trafikken drejer til højre i det førstkomende kryds, 30 procent svinger til venstre i det andet kryds, og 55 procent fortsætter ligeud igennem begge rampekryds.



Figur 3-5 Døgnvariationen for hovedretningen ved ruderanlægget. De to grafer viser trafikken i hver sin retning

For ramperne er ÅDT 4.000. Sidevejstrafikkens variation hen over døgnet ses af Figur 3-6. Fra begge ramper svinger 60 procent til højre og 40 procent svinger til venstre.



Figur 3-6 Døgnvariationen for sideretningen ved ruderanlægget. De to grafer viser trafikken i hver sin retning.

3.3.2 Fejlfunktioner og detektorplacering

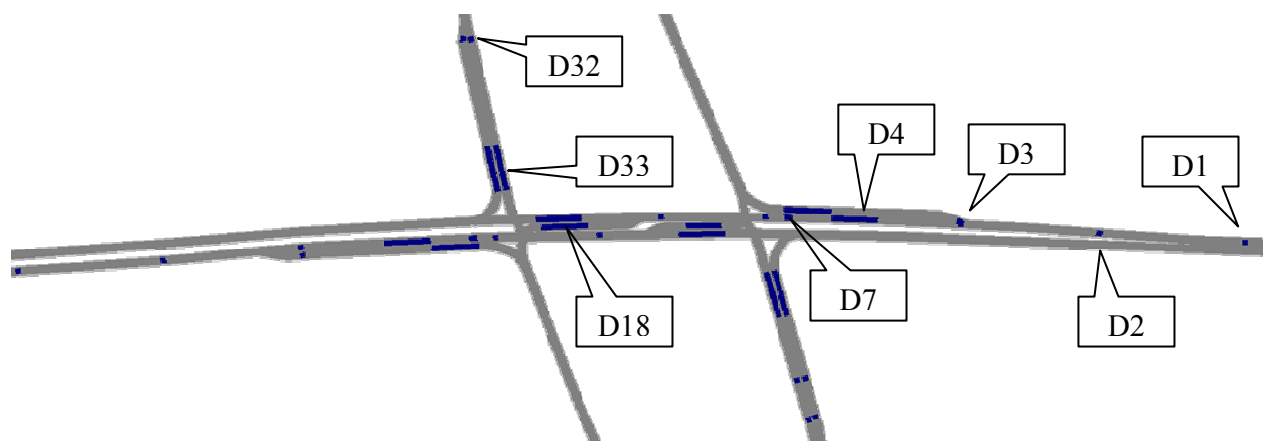
I alt analyseres 11 scenarier - heraf er et basissituationen. Hvert scenarie består af en given detektorfejl. De fremgår samlet af Tabel 3-3 herunder.

Tabel 3-3 Forskellige scenarier med fejlramte detektorer

	Detektor	Funktion ved detektorfejl
Traditionel	Hovedretningen (HR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
	Sideretningen (SR)	Fast anmeldelse og fuld forlængelse
Nyt koncept	D1 (HR, 200 m)	Detektoren udkobles
	D2 (HR, 135 m)	Detektoren udkobles
	D3 (HR, 80 m)	Fuld forlængelse
	D4 (HR, 20-40 m)	Fast anmeldelse
	D7 (HR, 1-4 m)	Fast anmeldelse
	D18 (HR, 1-21 m)	Fast anmeldelse
	D32 (SR, 70 m)	Detektoren udkobles
	D33 (SR, 1-21 m)	Fast anmeldelse

HR = hovedretning, SR = sideretning

Spolernes placering fremgår af Figur 3-7. Da krydset er symmetrisk, vil fejl på de udpegede spoler være identiske med fejl på den tilsvarende spole på modstående tilfart.



Figur 3-7 Spoleplacering i ruderanlægget

3.3.3 Signalstyring

For ruderanlægget er der som udgangspunkt kun to faser men i tilfældet af kø i venstresvingssporet mellem de to kryds (mod ramperne) kan en tredje fase indkobles hvor den venstresvingende trafik afvikles. Den maksimale omløbstid for ruderanlægget bliver derved 95 sekunder. For hovedretningen er der både en 2. og en 3. forlængelsesperiode. Den maksimale grøntid er 33 sekunder. Ved kø i venstresvingsbanen kan signalerne på broarealet forlænges 30 sekunder. Fasen for sideretningen kan maksimalt forlænges til 19 sekunder.

4 Effekterne af detektorfejl ved normal trafikal belastning

Simuleringerne beskrevet i notatet fra 2009 er gentaget og udgangspunktet er de eksisterende VISSIM-modeller. Siden 2009 er modellerne såvel som styringen blevet modificeret. Mere væsentligt er det dog, at resultaterne er mere detaljerede, da data for hver enkelt svingbevægelse udtages. Dette skal være med til at underbygge og forklare de overordnede resultater for det enkelte kryds.

4.1 F-kryds

Effekterne af detektorfejl er først og fremmest undersøgt i et traditionelt F-kryds. Hvert scenarie er den samlede forsinkelse og brændstofforbruget evalueret. Resultaterne for krydset som helhed fremgår af Tabel 4-1. Brændstofforbruget er beregnet ud fra tre komponenter: brændstof anvendt ved kørsel uden forsinkelse, ved kørsel med forsinkelse og ved stop. Beregningen er meget grov, da den beror på akkumulerede tal, og skal primært anvendes til at give et overordnet fingerpraj om konsekvenserne.

De angivne værdier i tabellen viser en væsentlig forskel på effekterne ved den traditionelle håndtering af detektorfejl (fast anmeldelse og fuld forlængelse) og det nye koncept. Især detektorfejl i sideretningen, der håndteres traditionelt har en markant negativ påvirkning på trafikafviklingen i krydset.

Tabel 4-1 Resultater for detektorfejl i standardkrydset.

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		39,6	1.364	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	48,79	1.389	9,2	25,5	23 %	2 %
	Detektorfejl i SR	54,59	1.405	15,0	41,6	38 %	3 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	39,31	1.363	-0,3	-0,8	-1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	40,22	1.365	0,6	1,7	2 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	40,2	1.365	0,6	1,7	2 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	41,21	1.368	1,6	4,4	4 %	0 %

Ved at håndtere detektorfejl på den nye måde vil fejl på D18 (stoplinjedetektor på sideretningen) have de største negative effekter for trafikken. Dette skyldes at en fejl medfører en fast anmeldelse af sideretningen, hvilket især vil genere de største trafikstrømme i krydset (hovedretningen). Generelt vil den nye metode være med til at reducere de negative effekter for trafikanterne til et minimum. Trafikafviklingen vil altså blive væsentligt forbedret ved at anvende det nye koncept.

Tabel 4-2 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i standardkrydset opdelt på svingbevægelser.

[timer pr. døgn]		Basis	Traditionel		Nyt koncept			
			HR	SR	D1	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	1,4	1,6	2,3	1,5	1,4	1,4	1,5
	Højre	0,8	0,9	1,4	0,8	0,8	0,7	0,8
	Ligeud	8,3	9,6	14,9	9,2	8,2	8,1	9,1
	Samlet	10,5	12,2	18,6	11,4	10,4	10,2	11,4
HR syd	Højre	0,8	0,9	1,4	0,7	0,8	0,7	0,8
	Venstre	1,3	1,5	2,2	1,3	1,3	1,3	1,4
	Ligeud	8,3	9,6	14,9	8,2	8,1	8,1	9,0
	Samlet	10,4	12,1	18,5	10,2	10,2	10,1	11,2
SR vest	Ligeud	5,5	7,3	5,1	5,2	5,8	5,6	5,5
	Højre	1,8	2,4	1,7	1,7	1,9	1,8	1,8
	Venstre	2,0	2,6	1,9	1,9	2,1	2,0	2,0
	Samlet	9,3	12,3	8,7	8,8	9,8	9,4	9,2
SR Øst	Ligeud	5,6	7,3	5,2	5,3	5,9	6,3	5,6
	Venstre	2,1	2,6	1,9	1,9	2,2	2,3	2,0
	Højre	1,8	2,4	1,7	1,7	1,9	2,0	1,8
	Samlet	9,4	12,3	8,8	8,9	9,9	10,6	9,4
Total for krydset		39,6	48,8	54,6	39,3	40,2	40,2	41,2

Resultaterne kan detaljeres yderligere ved at betragte forsinkelserne opdelt på hver enkelt svingbevægelse. Disse tal fremgår af Tabel 4-2 og **Error! Not a valid bookmark self-reference.**, hhv. for den samlede forsinkelse (opgjort i timer pr. døgn) og for den relative afvigelse fra basissituationen. Forsinkelserne er desuden summeret for hver retning såvel som for hele krydset (summerne for hele krydset svarer til tallene i Tabel 4-1). Af tabellerne ses bl.a., at den samlede reduktionen af forsinkelsen ved fejl på detektor D1 skyldes reduktioner af forsinkelsen for de tre retningerne, hvor der ikke er fejlramte detektorer. Det er også en væsentlig iagttagelse, at den traditionelle håndtering fejl medfører en øget forsinkelse for samtlige retninger når der er fejl på en spole i hovedretningen.

Tabel 4-3 Den relative ændring af forsinkelserne som følge af detektorfejl i standardkrydset, opdelt på svingbevægelser.

		Traditionel		Nyt koncept			
		HR	SR	D1	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	16 %	65 %	6 %	-1 %	-3 %	5 %
	Højre	16 %	78 %	5 %	-1 %	-5 %	5 %
	Ligeud	16 %	79 %	10 %	-2 %	-3 %	9 %
	Samlet	16 %	77 %	9 %	-2 %	-3 %	9 %
HR syd	Højre	21 %	83 %	-3 %	-1 %	-5 %	8 %
	Venstre	17 %	70 %	0 %	-1 %	-2 %	5 %
	Ligeud	16 %	79 %	-2 %	-2 %	-3 %	9 %
	Samlet	17 %	78 %	-2 %	-2 %	-3 %	8 %
SR vest	Ligeud	32 %	-7 %	-6 %	6 %	1 %	-1 %
	Højre	34 %	-6 %	-5 %	6 %	1 %	0 %
	Venstre	31 %	-5 %	-6 %	5 %	1 %	-1 %
	Samlet	32 %	-7 %	-6 %	6 %	1 %	-1 %
SR Øst	Ligeud	31 %	-7 %	-5 %	5 %	13 %	0 %
	Venstre	28 %	-6 %	-6 %	5 %	11 %	-2 %
	Højre	32 %	-5 %	-6 %	4 %	11 %	0 %
	Samlet	30 %	-6 %	-5 %	5 %	12 %	0 %
Total for krydset		23 %	38 %	-1 %	2 %	2 %	4 %

4.2 F-kryds med separatreguleret venstresving

I F-krydset med separatreguleret venstresving medtages flere detektorer i analysen, da detektorfejl i venstresvingssporet også vil være relevante. De overordnede resultater for krydset i Tabel 4-4. Igen er der en klar tendens til, at den traditionelle håndtering af detektorfejl har væsentligt større negative effekter på trafikafviklingen end den nye metode. Den relative effekt ved fejl i hoved- og sideretningen er dog ikke så omfattende som for standardkrydset. Den kvantitative forskel er dog større. Fejl i venstresvingssporet (SV) medfører de største negative effekter. Situationen med den nye metode til håndtering af detektorfejl er meget tilsvarende F-krydset uden separatreguleret venstresving. Detektorfejl i D10 har dog en stor negativ effekt på afviklingen af trafikken, hvilket skyldes, at venstresvingsfasen indkobles unødigt.

Tabel 4-4 Resultater for detektorfejl i standardkrydset med separatreguleret venstresving

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		67,4	1.441	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	78,7	1.472	11,4	31,5	17 %	2 %
	Detektorfejl i SR	85,1	1.490	17,8	49,3	26 %	3 %
	Detektorfejl i SV	97,2	1.523	29,8	82,7	44 %	6 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	66,8	1.439	-0,6	-1,6	-1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	67,8	1.442	0,5	1,3	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	68,0	1.442	0,6	1,6	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	69,0	1.445	1,6	4,4	2 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D9 (40 m)	67,3	1.440	-0,1	-0,2	0 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D10 (1-21 m)	74,0	1.459	6,7	18,5	10 %	1 %

Tabel 4-5 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i standardkrydset med separatreguleret venstresving opdelt på svingbevægelser

		Basis	Traditionel			Nyt koncept					
[timer pr. døgn]			HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	4,8	5,8	5,8	4,3	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9
	Højre	1,4	1,6	2,2	2,5	1,5	1,4	1,6	1,4	1,4	1,4
	Ligeud	14,9	16,6	22,5	24,9	15,9	14,8	17,0	14,9	14,7	15,6
	Samlet	21,1	24,0	30,5	31,6	22,0	21,1	23,5	21,0	20,9	22,0
HR syd	Højre	1,4	1,6	2,3	2,5	1,4	1,4	1,6	1,4	1,4	1,5
	Venstre	5,0	5,8	5,9	4,4	4,9	5,2	5,0	4,9	5,0	5,1
	Ligeud	15,0	16,6	22,7	25,0	14,8	14,9	17,0	15,0	14,7	15,6
	Samlet	21,4	24,0	30,9	32,0	21,1	21,6	23,6	21,3	21,0	22,2
SR vest	Ligeud	7,3	9,1	7,0	9,9	7,0	7,2	8,0	7,5	7,3	7,3
	Højre	2,4	2,9	2,3	3,2	2,2	2,3	2,6	2,4	2,4	2,4
	Venstre	2,7	3,3	2,6	3,6	2,5	2,6	2,9	2,7	2,7	2,7
	Samlet	12,3	15,2	11,9	16,8	11,7	12,2	13,4	12,7	12,4	12,3
SR Øst	Ligeud	7,4	9,1	7,0	10,0	7,1	7,3	8,0	7,6	8,1	7,4
	Venstre	2,7	3,4	2,6	3,7	2,6	2,7	2,9	2,8	3,0	2,7
	Højre	2,4	3,0	2,3	3,2	2,3	2,4	2,6	2,4	2,6	2,4
	Samlet	12,5	15,4	11,9	16,9	12,0	12,4	13,5	12,9	13,7	12,5
Total for krydset		67,4	78,7	85,1	97,2	66,8	67,3	74,0	67,8	68,0	68,9

Tabel 4-6 Den relative ændring af forsinkelserne som følge af detektorfejl i standardkrydset med separatreguleret venstresving, opdelt på svingbevægelser

		Traditionel			Nyt koncept					
		HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	20 %	20 %	-12 %	-3 %	0 %	0 %	-2 %	0 %	2 %
	Højre	15 %	58 %	78 %	5 %	0 %	14 %	0 %	-2 %	4 %
	Ligeud	11 %	50 %	66 %	6 %	-1 %	14 %	0 %	-2 %	5 %
	Samlet	13 %	44 %	49 %	4 %	0 %	11 %	-1 %	-1 %	4 %
HR syd	Højre	13 %	59 %	77 %	-2 %	-1 %	15 %	-1 %	-2 %	4 %
	Venstre	16 %	18 %	-12 %	-3 %	3 %	-1 %	-2 %	-1 %	1 %
	Ligeud	11 %	51 %	67 %	-1 %	0 %	14 %	0 %	-2 %	5 %
	Samlet	12 %	44 %	49 %	-2 %	1 %	10 %	-1 %	-2 %	4 %
SR vest	Ligeud	25 %	-4 %	37 %	-4 %	0 %	10 %	3 %	1 %	0 %
	Højre	23 %	-3 %	34 %	-6 %	-1 %	9 %	3 %	0 %	-1 %
	Venstre	23 %	-2 %	36 %	-4 %	-1 %	8 %	3 %	2 %	1 %
	Samlet	24 %	-3 %	36 %	-5 %	-1 %	9 %	3 %	1 %	0 %
SR Øst	Ligeud	23 %	-5 %	35 %	-4 %	-1 %	8 %	3 %	10 %	0 %
	Venstre	24 %	-3 %	36 %	-4 %	0 %	9 %	3 %	10 %	-1 %
	Højre	24 %	-4 %	36 %	-3 %	0 %	9 %	3 %	9 %	0 %
	Samlet	24 %	-4 %	35 %	-4 %	0 %	8 %	3 %	9 %	0 %
Total for krydset		17 %	26 %	44 %	-1 %	0 %	10 %	1 %	1 %	2 %

Af Tabel 4-5 og Tabel 4-6 fremgår forsinkelserne opdelt på svingbevægelserne, hvilket underbygger resultaterne fra den samlede tabel. Her er det værd at bemærke, at effekterne for fejl i både SR og SV ved den traditionelle fejlhåndtering reducerer forsinkelserne for retningen, hvor fejl i HR forværrer situationen for alle retninger. Heraf ses det også, at fejl i SV især påvirker trafikafviklingen i hovedretningen negativt.

Med udgangspunkt i de beskrevne konsekvenser vil den ny metode til håndtering af detektorfejl medføre væsentligt færre gener for trafikanterne og også sikre, at afviklingen ikke forværres i tilfælde af detektorfejl.

4.3 Sammenligning - med og uden separatreguleret venstresving

Ved at betragte de to ovenstående situationer er det muligt at aflede nogle resultater, der ikke er i direkte relation til undersøgelsen af detektorfejl. Når de to krydstyper sammenlignes, fremgår en klar forskel på effekterne. I basis uden fejllramte detektorer er forsinkelsen og brændstofforbruget langt større, når venstresvinget separatreguleres. Benzinforsøget er 77 liter større pr. hverdagsdøgn, svarende til knap 17.000 liter på et år. Dette fremgår af Tabel 4-7. Heraf kan det også udledes, at forsinkelsen øges med 6.000 timer hvis man overgår til en styring med separatreguleret venstresving.

Tabel 4-7 Sammenligning af situationen med og uden separatreguleret venstresving

	Basis		Separatreguleret venstresving	
	Forsinkelse pr. døgn [t]	Benzinforbrug pr. døgn [l]	Forsinkelse pr. døgn [t]	Benzinforbrug pr. døgn [l]
Basis m. rød-hvile	39,6	1.364	67,4	1.441

4.4 Ruderanlæg

Effekterne af detektorfejl evalueres også for ruderanlægget. Hver enkelt detektorfejl simuleres, hvilket giver resultaterne i Tabel 4-8. Den traditionelle metode til at håndtere detektorfejl medfører atter væsentlige gener i form af øget forsinkelse og øget brændstofforbrug. I tabellen er det værd at bemærke, at det ikke er den traditionelle metode, der medfører de største negative effekter. Det er derimod fejl på D18. Denne detektor anvendes til at aktivere venstresvingsfasen for trafikken til motorvejsramperne. Kapacitetsmæssigt bør alternative metoder til at håndtere den fejltype undersøges. Også fejl på D3 medfører store negative gener, hvilket skyldes, at denne forlænger fuldt ved fejlmelding. Denne fejltype kan også håndteres anderledes for at minimere de negative konsekvenser, hvilket er diskuteret i det afsluttende kapitel. De resterende resultater er af samme størrelsesorden som tidligere. Selvom fejl på D2 ikke medfører trafikale gener, vil der være nogle trafikikkerhedsmæssige risici ved at udkoble denne. Intervaltiden for D1 vil da ikke være tilstrækkelig og alene medvirke til, at trafikanten kommer tættere på stoplinjen inden nedlukning af signalet sker.

Tabel 4-8 Resultater for detektorfejl i ruderanlægget

	Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstofforbrug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %		
			Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof	
Basis m. rød hvile	99,0	1.752	-	-	-	-	
Traditionel	Detektorfejl i HR	105,7	1.771	6,7	18,6	7 %	1 %
	Detektorfejl i SR	119,5	1.809	20,5	56,8	21 %	3 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	98,5	1.751	-0,5	-1,4	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D2 (135 m)	98,3	1.750	-0,7	-2,0	-1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D3 (80 m)	105,6	1.770	6,6	18,3	7 %	1 %
	Detektorfejl i HR - D4 (1-21 m)	99,4	1.753	0,4	1,2	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D7 (1-4 m)	99,6	1.754	0,6	1,6	1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D18 (1-21 m)	126,6	1.829	27,6	76,5	28 %	4 %
	Detektorfejl i SR D32 (70 m)	96,7	1.745	-2,3	-6,5	-2 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D33 (1-21 m)	99,0	1.752	0,0	0,0	0 %	0 %

Tabel 4-9 og

Tabel 4-10 viser ændringerne ved de forskellige detektorfejl for hver enkelt svingbevægelse.

Tabel 4-9 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i rudieranlægget opdelt på svingbevægelser

		Traditionel		Nyt koncept								
[timer pr. døgn]	Basis	HR	SR	D1	D2	D3	D4	D7	D18	D32	D33	
HR nord	Venstre	14,2	14,8	18,6	14,2	14,0	14,8	14,0	14,1	18,5	13,2	14,4
	Højre	2,0	2,1	2,7	2,0	1,9	2,1	2,0	2,0	3,3	1,8	2,0
	Ligeud	10,4	10,8	13,3	10,4	10,4	10,8	10,4	10,4	12,1	9,8	10,6
	Samlet	26,6	27,6	34,6	26,5	26,3	27,6	26,4	26,5	33,9	24,7	26,9
HR syd	Højre	14,1	14,5	18,5	14,3	14,4	14,6	14,2	14,1	18,4	13,1	14,3
	Venstre	10,3	10,6	13,1	10,4	10,4	10,6	10,4	10,3	12,1	9,7	10,3
	Ligeud	2,0	2,1	2,8	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	3,4	1,8	2,0
	Samlet	26,5	27,3	34,4	26,7	27,0	27,3	26,6	26,4	33,9	24,6	26,7
SR vest	Ligeud	11,0	12,3	11,2	10,8	10,8	12,3	11,1	11,2	14,9	10,9	11,0
	Højre	12,7	13,6	14,6	12,5	12,5	13,6	12,8	12,8	15,1	12,2	12,5
	Samlet	23,7	25,9	25,8	23,4	23,2	25,9	23,9	24,0	30,0	23,2	23,5
SR Øst	Ligeud	12,1	13,4	14,3	12,0	11,9	13,4	12,3	12,3	14,8	12,7	11,9
	Venstre	10,0	11,5	10,3	9,9	9,9	11,5	10,2	10,3	14,0	11,5	9,9
	Samlet	22,2	24,9	24,6	21,9	21,8	24,8	22,5	22,6	28,8	24,1	21,9
Total for krydset		99,0	105,7	119,5	98,5	98,3	105,6	99,4	99,6	126,6	96,7	99,0

Tabel 4-10 Den relative ændring af forsinkelserne som følge af detektorfejl i rudieranlægget, opdelt på svingbevægelser

		Traditionel		Nyt koncept							
		HR	SR	D1	D2	D3	D4	D7	D18	D32	D33
HR nord	Venstre	4 %	31 %	0 %	-1 %	4 %	-1 %	0 %	30 %	-7 %	1 %
	Højre	5 %	38 %	-2 %	-3 %	5 %	-2 %	0 %	68 %	-11 %	-1 %
	Ligeud	4 %	28 %	0 %	0 %	3 %	0 %	0 %	16 %	-6 %	2 %
	Samlet	4 %	30 %	0 %	-1 %	4 %	-1 %	0 %	28 %	-7 %	1 %
HR syd	Højre	3 %	31 %	1 %	2 %	3 %	0 %	0 %	30 %	-7 %	1 %
	Venstre	2 %	27 %	1 %	1 %	3 %	1 %	0 %	17 %	-6 %	0 %
	Ligeud	5 %	39 %	1 %	4 %	5 %	-1 %	0 %	69 %	-9 %	1 %
	Samlet	3 %	30 %	1 %	2 %	3 %	0 %	0 %	28 %	-7 %	1 %
SR vest	Ligeud	12 %	2 %	-2 %	-2 %	11 %	1 %	2 %	35 %	-1 %	0 %
	Højre	7 %	15 %	-1 %	-2 %	7 %	1 %	1 %	19 %	-4 %	-1 %
	Samlet	9 %	9 %	-1 %	-2 %	9 %	1 %	1 %	26 %	-2 %	-1 %
SR Øst	Ligeud	10 %	18 %	-1 %	-2 %	10 %	1 %	2 %	22 %	4 %	-2 %
	Venstre	15 %	3 %	-2 %	-2 %	14 %	2 %	2 %	39 %	14 %	-1 %
	Samlet	12 %	11 %	-1 %	-2 %	12 %	2 %	2 %	30 %	9 %	-1 %
Total for krydset		7 %	21 %	0 %	-1 %	7 %	0 %	1 %	28 %	-2 %	0 %

Af tabellerne ses, at den traditionelle metode til at håndtere detektorfejl medfører negative effekter for samtlige trafikanter (i de tidligere analyser var det alene fejl i hovedretningen, der forårsagede dette). Det samme gør sig i øvrigt gældende for fejl på D18, der i tilfælde af fast anmeldelse indkobler fasen for afvikling af venstresvingere på broen.

Generelt viser den nye metode til at håndtere detektorfejl sig igen overlegen med henblik på afviklingen af trafikken. Fejl på enkelte detektorer har dog en væsentligt negativ effekt (D3 og D18).

5 Effekterne af detektorfejl ved øget trafikal belastning

I de følgende scenarier betragtes en situation hvor trafikmængderne øges. Udgangspunktet for denne ændring er den nuværende trafikale belastning. Denne estimeres ved at anvende analyseværktøjet DanKap. Formålet er at klargøre den eksisterende belastning af krydset og på baggrund af denne bestemme, hvor meget trafikmængderne på hovedretningen skal øges. Formålet med analysen er at vurdere, hvorledes de trafikale effekter af detektorfejl vil være under forhold med en større belastning.

5.1 DanKap-analyse

Med udgangspunkt i de eksisterende trafikmængder er der foretaget en DanKap-analyse af belastningsgraden. Det er vigtigt at pointere, at dette er et groft estimat af belastningsgraderne før og efter ændringen af trafikmængderne.

5.1.1 Forudsætninger

DanKap kan som udgangspunkt kun anvendes til at vurdere kapaciteten i signalanlæg med fast omløbstid. Til denne analyse betragtes omløb, hvor DanKap bestemmer omløbstiden såvel som grøntiden, så længe at disse ikke overstiger maksimumstiderne i signalanlæggene. Dette gøres for at afspejle en trafiktilpasset situation mest muligt. Reelt vil analysen stadig være baseret på et tidsstyret anlæg. Kapacitetsbetragtning i DanKap fortæller ikke noget signifikant omkring den egentlige belastningsgrad, da DanKap ikke tager hensyn til variable grøntider og forsøger at ensarte belastningsgraden for de forskellige retninger. Dette betyder eksempelvis, at grøntiden for sideretningen minimeres mest muligt (da trafikken ikke er stor herfra), hvilket er med til at øge belastningsgraden fra denne retning, sammenlignet med en situation hvor grøntiden er længere.

Analyse foretages kun for spidstimen, hvor belastningen er størst. Denne er bestemt til at være morgenmyldretiden fra 8:00 til 9:00. Analysen foretages desuden alene for standard F-krydset og F-krydset med separatreguleret venstresving.

5.1.2 Resultater

Når DanKap bestemmer omløbstiden såvel som grøntiden, fordeles kapaciteten nogenlunde ligeligt mellem de forskellige tilfarter. Belastningen beskrives både for hver enkelt tilfart og for krydset samlet set. Belastningsgraden er vægtet i forhold til antallet af køretøjer i de enkelte svingbevægelser. Resultatet fremgår af Tabel 5-1. De bagvedliggende resultater fra DanKap ses i *Bilag 1 - Output fra DanKap*.

Tabel 5-1 Den eksisterende belastningsgrad i de enkelte tilfarter i spidstimen, såvel som for hele krydset for det almindelige F-kryds og F-krydset med separatreguleret venstresving

	<i>F-kryds</i>	<i>Separatreguleret venstresving</i>
HR nord	39 %	49 %
HR syd	42 %	54 %
SR vest	41 %	55 %
SR øst	44 %	51 %
Samlet	41 %	52 %

Den eksisterende belastningsgrad for krydset er altså omkring 40 procent (og lige over 50 procent for scenariet med det separatregulerede venstresving). Denne skal forøges gennem en stigning af trafikmængderne på hovedretningen. Her er ÅDT i dag 12.000. Denne mængde øges til 20.000 køretøjer. Der antages, at denne forøgelse sker jævnt over hele døgnet, hvorfor al timetraфик øges med 67 procent.

Belastningsgraderne efter denne stigning af trafikken (i spidstimen) fremgår af Tabel 5-2 herunder. Belastningsgraderne er forøget til ca. 60 procent for F-krydset og ca. 75 procent for F-krydset med separatreguleret venstresving.

Tabel 5-2 Den nye belastningsgrad i de enkelte tilfarter i spidstimen, såvel som for hele krydset for det almindelige F-kryds og F-krydset med separatreguleret venstresving

	<i>F-kryds</i>	<i>Separatreguleret venstresving</i>
HR nord	59 %	81 %
HR syd	63 %	82 %
SR vest	59 %	63 %
SR øst	64 %	58 %
Samlet	61 %	76 %

Hvis Dankap selv bestemmer grøntiderne for det separatregulerede venstresving, overskrides hovedretningens maksimumstid og derved også den samlede omløbstid. Derfor anvendes Dankap til at bestemme grøntiden på sideretnin-

gerne ud fra en maksimal omløbstid på 90 sekunder. Disse grøntider anvendes så, hvor hovedretningens grøntid tilpasses den maksimale grøntid, og omløbstiden justeres efter behovet for sideretningerne. Dette er selvfølgelig en tilnærmelse, da behovet er beregnet ud fra en omløbstid på 90 sekunder.

Især hovedretningen er hårdt belastet i F-krydset med separatreguleret venstresving. Den egentlige belastning vil højst sandsynlig være højere, da trafikanter fra sideretning vil kunne forlænge signalet, på trods af, at det afviklingsmæssige behov (set over en hel time) ikke er til stedet. Dette vil få konsekvenser for hovedretningen. Hvis blot maksimumstiderne indføres i DanKap, overstiger hovedretningens belastningsgrad 100 procent.

5.2 F-kryds

Forudsætningerne for denne analyse er uændret i forhold til tidligere, bortset fra at trafikmængderne er forøget. Som tidligere analyseres effekterne som de forskellige detektorfejl medfører for F-krydset. Den samlede opgørelse fremgår af Tabel 5-3 herunder.

Tabel 5-3 Resultater for detektorfejl i standardkrydset ved øgede trafikmængder på hovedretningen

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		70,9	2.113	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	77,0	2.130	6,1	17,0	9 %	1 %
	Detektorfejl i SR	110,4	2.223	39,5	109,6	56 %	5 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	70,7	2.113	-0,2	-0,6	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	71,2	2.114	0,3	0,7	0 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	70,5	2.112	-0,4	-1,2	-1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	72,9	2.119	2,0	5,7	3 %	0 %

Det er væsentligt at bemærke, at den øgede trafik medfører, at detektorfejl i hovedretningen har en mindre negativ effekt på krydset sammenlignet med en situation med mindre trafikmængder. Dette er ganske forudsigeligt. Detektorfejl på sideretningen vil derimod have en større (både relativ og kvantitativ) negativ effekt på den samlede forsinkelse såvel som brændstofforbrug i krydset. Dette indikerer også at trafikbelastningen er stor (antal køretøjer og forsinkelse er ikke proportionalt).

Den nye metode til at håndtere detektorfejl er stadig robust, da de negative effekter er forsvindende små ved fejl, bortset fra stoplinjedetektoren i sideretningen, da denne medfører konstant anmeldelse.

Resultaterne opdelt på svingbevægelserne fremgår af *Bilag 2 - Resultater fra VISSIM-analysen opdelt på svingbevægelserne* og tendenserne er de samme som tidligere observeret, hvorfor de ikke er medtaget i selve notatet.

5.3 F-kryds med separatreguleret venstresving

Samme trafikforøgelse blev også analyseret for scenariet med det separatregulerede venstresving. De overordnede resultater fremgår af Tabel 5-4. Også i dette tilfælde er det klart, at den traditionelle metode til at håndtere detektorfejl på forårsager relativt større gener ved fejl i venstresvinget eller på sideretningen end ved mindre trafik på hovedretningen. I disse tilfælde sker der en markant stigning af både forsinkelsen og brændstofforbruget. Den nye metode til at håndtere detektorfejl viser sig igen at være robust. Der vil faktisk i nogle tilfælde være tale om et fald, da en reduktion af sideretningernes mulighed for forlængelse vil tilgodese hovedretningen, hvor der er størst trafikmængder.

Tabel 5-4 Resultater for detektorfejl i standardkrydset med separatreguleret venstresving

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		150,2	2.333	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	157,1	2.352	6,9	19,1	5 %	1 %
	Detektorfejl i SR	231,7	2.543	81,5	210,9	54 %	9 %
	Detektorfejl i SV	244,4	2.574	94,2	241,6	63 %	10 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	149,5	2.331	-0,6	-1,7	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	150,2	2.333	0,1	0,2	0 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	146,9	2.324	-3,3	-8,6	-2 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	149,5	2.331	-0,6	-1,4	0 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D9 (40 m)	148,2	2.327	-2,0	-5,2	-1 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D10 (1-21 m)	153,6	2.342	3,4	9,9	2 %	0 %

Resultaterne opdelt på svingbevægelserne fremgår af *Bilag 2 - Resultater fra VISSIM-analysen opdelt på svingbevægelserne*.

5.4 Sammenligning - med og uden separatreguleret venstresving

Som tidligere er det igen muligt at sammenligne brændstofforbruget og forsinkelsen. Dette data fremgår af Tabel 5-5. Igen er det tydeligt, at disse enheder er større for krydset med separatreguleret venstresving. Tallene viser også at den relative ændring af forsinkelsen som følge af en vækst i trafikmængderne er større for netop dette kryds. Forklaringen er at belastningen stiger, og sammenhængen med trafikmængderne ikke er lineær.

Tabel 5-5 Sammenligning af situationen med og uden separatreguleret venstresving

	Basis		Separatreguleret venstresving	
	Forsinkelse pr. døgn [t]	Benzinforbrug pr. døgn [l]	Forsinkelse pr. døgn [t]	Benzinforbrug pr. døgn [l]
Basis m. rød-hvile	39,6	1.364	67,4	1.441
Basis m. rød-hvile (øget trafik)	70,9	2.113	150,2	2.333

5.5 Ruderanlæg

Endeligt betragtes ruderanlægget endnu en gang. Kapaciteten for dette kryds er ikke evalueret i DanKap og trafikinputtet på hovedretningen er blot blevet opskrevet med 67 procent.

Resultaterne for denne simulering fremgår af Tabel 5-6 herunder. Det er forsinkelsen og brændstofforbruget der analyseres. Den relative stigning af forsinkelsen overstiger den relative stigning af trafikken. Faktisk er den relativ ændring af forsinkelsen næsten 3 gange så stor som den trafikale vækst. Dette skyldes, at stigningen har medført en væsentlig belastning af ruderanlægget, hvorfor forsinkelsen er steget eksplosivt. Dette indikerer også, at belastningen i ruderanlægget er større end for de to andre krydstyper.

Tabel 5-6 Resultater for detektorfejl i ruderanlægget

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstofforbrug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød hvile		274,8	2.895	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	278,8	2.906	4,0	10,5	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR	330,0	3.035	55,2	139,3	20 %	5 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	274,1	2.894	-0,7	-1,6	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D2 (135 m)	274,5	2.894	-0,3	-1,2	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D3 (80 m)	277,4	2.903	2,5	7,7	1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D4 (1-21 m)	276,0	2.899	1,2	3,8	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D7 (1-4 m)	275,9	2.899	1,0	3,4	0 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D18 (1-21 m)	290,2	2.939	15,4	43,5	6 %	2 %
	Detektorfejl i SR D32 (70 m)	264,0	2.871	-10,8	-24,4	-4 %	-1 %
	Detektorfejl i SR - D33 (1-21 m)	274,0	2.895	-0,8	-0,7	0 %	0 %

Overordnet set er det samme mønster gældende for ruderanlægget som for F-krydsene. Fejl i sideretningen ved den traditionelle metode til at håndtere fejlene medfører store gener for afviklingen, hvorimod detektorfejl i hovedretningen har en væsentlig mindre effekt på rejsetider og brændstofforbrug. Ved den nye metode til håndtering af detektorfejl er det primært fejl på kødetekteringsspolen, D18, der medfører væsentlige gener. Fejl på spolerne i sideretning er sågar medvirkende til en reduktion af de totale forsinkelser såvel som brændstofforbruget. Disse resultater underbygges også af forsinkelserne opdelt på svingbevægelserne. Dette data er at finde i *Bilag 2 - Resultater fra VISSIM-analysen opdelt på svingbevægelserne*. Denne robusthed kan dog være på bekostning af trafikikkerheden, hvilket diskuteres sidst i notatet.

6 Yderligere analyser af separatreguleret venstresving

Yderligere analyser er foretaget af F-krydset med separatreguleret venstresving for i større detaljeringsgrad at klarlægge betydningen af detektorfejl kryds af denne type. Dette gøres dels ved at ændre svingandelene (venstresvingende) og dels ved at ændre på den foretrukne faserækkefølge.

6.1 Øget venstresvingende andel

F-krydset med separatreguleret venstresving analyseres med henblik på at vurdere følsomheden ved ændring af svingandelen. Andelen af venstresvingende øges fra 10 procent til 20 procent. Dette er med udgangspunkt i de oprindelige trafikmængder.

Formålet med denne delanalyse er at vurdere robustheden af den nye metode til at håndtere detektorfejl overfor en situation, hvor venstresvingensbanen belastes forskelligt. Hver enkel svingbevægelse evalueres separat for at få en mere detaljeret indsigt i de ændringer der sker.

Resultaterne for simuleringen fremgår af Tabel 6-1. Heraf er det først og fremmest værd at bemærke, at de samlede effekter i basissituationen er steget med 10 procent som følge af ændringen af trafikens fordeling. Dette skyldes dels en større belastning af venstresvinget, og dels en generelt øget forsinkelse for de resterende tilfarter som følge af denne belastning.

Ud over at færre kører ligeud (og dermed en mindre forsinkelse) er der ingen effekter af at svingandelen er øget til 20 procent fra syd. Ændringen har ingen større betydning for trafikafviklingen sammenholdt med den initiale svingfordeling.

Tabel 6-2 og Tabel 6-3 viser forsinkelserne opdelt på svingbevægelserne og den relative ændring i forhold til basis. Heller ikke her er der sket nogle væsentlige ændringer som følge af en øget andel venstresvingende trafik. Dette er dels et udtryk for at belastningen i venstresvinget ikke overstiger kapaciteten, da den ekstra trafik kan afvikles uden at genere den ligeudkørende trafik.

Tabel 6-1 Resultater for detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		74,1	1.462	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	85,8	1.494	11,7	32,5	16 %	2 %
	Detektorfejl i SR	91,5	1.510	17,4	48,3	24 %	3 %
	Detektorfejl i SV	98,3	1.529	24,2	67,0	33 %	5 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	73,5	1.460	-0,6	-1,7	-1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	74,6	1.463	0,6	1,5	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	74,4	1.463	0,3	0,8	0 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	75,8	1.467	1,7	4,8	2 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D9 (40 m)	73,9	1.461	-0,2	-0,5	0 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D10 (1-21 m)	77,6	1.471	3,5	9,7	5 %	1 %

Tabel 6-2 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving opdelt på svingbevægelser

		Basis	Traditionel			Nyt koncept					
[timer pr. døgn]			HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	4,8	5,6	5,8	4,3	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	5,0
	Højre	1,5	1,7	2,3	2,4	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,6
	Ligeud	16,0	17,8	23,6	24,9	17,0	15,9	17,1	16,0	15,7	16,9
	Samlet	22,4	25,1	31,6	31,6	23,3	22,2	23,5	22,2	21,9	23,4
HR syd	Højre	1,6	1,8	2,4	2,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6
	Venstre	10,3	12,0	12,3	9,0	10,1	10,6	10,5	10,3	10,3	10,5
	Ligeud	13,9	15,5	20,7	21,5	13,8	13,9	14,8	13,9	13,7	14,7
	Samlet	25,9	29,2	35,3	33,0	25,4	26,0	27,0	25,7	25,5	26,8
SR vest	Ligeud	7,6	9,3	7,2	10,0	7,3	7,6	8,0	7,9	7,6	7,6
	Højre	2,4	3,0	2,3	3,2	2,3	2,4	2,6	2,5	2,5	2,5
	Venstre	2,8	3,4	2,6	3,6	2,6	2,8	2,9	2,9	2,8	2,7
	Samlet	12,8	15,7	12,2	16,7	12,3	12,8	13,5	13,3	12,9	12,8
SR Øst	Ligeud	7,7	9,3	7,3	10,0	7,4	7,6	8,0	7,9	8,3	7,6
	Venstre	2,8	3,4	2,7	3,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,1	2,8
	Højre	2,5	3,0	2,4	3,2	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,5
	Samlet	13,0	15,8	12,4	16,8	12,5	12,9	13,5	13,4	14,1	12,9
Total for krydset		74,1	85,8	91,5	98,2	73,4	73,9	77,6	74,6	74,4	75,8

Tabel 6-3 Den relative ændring af forsinkelserne som følge af detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving, opdelt på svingbevægelser trafik, SV

		Traditionel			Nyt koncept					
		HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	17 %	19 %	-11 %	-3 %	0 %	0 %	-1 %	-1 %	3 %
	Højre	15 %	52 %	63 %	4 %	-2 %	6 %	0 %	-2 %	4 %
	Ligeud	11 %	47 %	55 %	6 %	-1 %	7 %	0 %	-2 %	5 %
	Samlet	12 %	41 %	41 %	4 %	-1 %	5 %	-1 %	-2 %	5 %
HR syd	Højre	12 %	51 %	58 %	-3 %	-1 %	5 %	-1 %	-2 %	3 %
	Venstre	15 %	19 %	-13 %	-3 %	2 %	2 %	-1 %	-1 %	2 %
	Ligeud	11 %	48 %	55 %	-1 %	0 %	6 %	0 %	-2 %	5 %
	Samlet	13 %	37 %	28 %	-2 %	1 %	4 %	-1 %	-1 %	4 %
SR vest	Ligeud	22 %	-5 %	31 %	-4 %	-1 %	5 %	3 %	0 %	-1 %
	Højre	24 %	-5 %	30 %	-4 %	0 %	6 %	4 %	1 %	0 %
	Venstre	21 %	-5 %	30 %	-5 %	-1 %	3 %	3 %	1 %	-2 %
	Samlet	22 %	-5 %	30 %	-4 %	-1 %	5 %	3 %	0 %	-1 %
SR Øst	Ligeud	21 %	-5 %	29 %	-4 %	-1 %	4 %	3 %	8 %	-1 %
	Venstre	20 %	-4 %	29 %	-4 %	-1 %	3 %	3 %	9 %	-1 %
	Højre	23 %	-4 %	30 %	-4 %	0 %	4 %	3 %	9 %	-1 %
	Samlet	21 %	-5 %	30 %	-4 %	-1 %	4 %	3 %	8 %	-1 %
Total for krydset		16 %	24 %	33 %	-1 %	0 %	5 %	1 %	0 %	2 %

6.2 Ændret faserækkefølge

Endelig ændres faserækkefølgen, så den venstresvingende trafik på hovedretningen afvikles før den øvrige trafik på hovedretningen frem for bagefter. Igen anvendes de oprindelige trafikmængder og rutevalg.

Tabel 6-4 Resultater for detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving

		Forsinkelse pr. døgn [timer]	Brændstoffor- brug pr. døgn [l]	Forskel		Ændring %	
				Forsinkelse	Brændstof	Forsinkelse	Brændstof
Basis m. rød-hvile		65,6	1.436	-	-	-	-
Traditionel	Detektorfejl i HR	76,7	1.467	11,2	30,9	17 %	2 %
	Detektorfejl i SR	83,2	1.485	17,7	49,0	27 %	3 %
	Detektorfejl i SV	94,7	1.517	29,1	80,8	44 %	6 %
Nyt koncept	Detektorfejl i HR - D1 (200 m)	64,8	1.434	-0,7	-2,1	-1 %	0 %
	Detektorfejl i HR - D11 (1-21 m)	66,0	1.437	0,4	1,0	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D16 (70 m)	66,0	1.437	0,4	1,1	1 %	0 %
	Detektorfejl i SR - D18 (1-21 m)	67,0	1.440	1,4	3,9	2 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D9 (40 m)	65,6	1.436	0,0	0,0	0 %	0 %
	Detektorfejl i SV - D10 (1-21 m)	72,0	1.453	6,4	17,7	10 %	1 %

Tabel 6-4 viser resultaterne for simuleringen af de forskellige detektorfejl. Sammenlignet med den traditionelle måde, hvor venstresvingsfasen afvikles efter de ligeudkørende, ses en mindre reduktion af effekterne i situationen uden fejl. Ved at afvikle venstresvinget inden er forsinkelsen 65,6 timer pr. døgn mod 67,4 timer pr. døgn når de venstresvingende afvikles efter de ligeudkørende (ca. 3 procent). Denne reduktion skyldes at vilkårene for de venstresvingende forværres, da de ikke længere opstøver mens den ligeudkørende trafik afvikles. Dette medfører en kortere grøntid for venstresvingsfasen, hvilket de resterende faser drager fordel af.

Ved at betragte Tabel 6-5 og Tabel 6-6 ses forsinkelserne opdelt på svingbevægelser.

Tabel 6-5 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving opdelt på svingbevægelser

[timer pr. døgn]		Basis	Traditionel			Nyt koncept					
			HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	5,2	5,9	6,3	4,5	5,0	5,2	5,0	5,2	5,2	5,4
	Højre	1,3	1,5	2,1	2,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,4
	Ligeud	14,1	15,9	21,5	23,8	15,0	14,0	16,2	13,9	13,7	14,6
	Samlet	20,6	23,3	29,8	30,6	21,4	20,6	22,7	20,4	20,2	21,3
HR syd	Højre	1,4	1,6	2,2	2,5	1,3	1,4	1,6	1,4	1,3	1,4
	Venstre	5,4	6,0	6,5	4,6	5,2	5,4	5,1	5,3	5,3	5,4
	Ligeud	14,3	16,0	21,7	24,1	14,0	14,3	16,2	14,2	14,0	14,7
	Samlet	21,1	23,5	30,4	31,2	20,6	21,1	22,9	21,0	20,7	21,6
SR vest	Ligeud	7,0	8,9	6,7	9,8	6,8	7,0	7,8	7,2	7,1	7,0
	Højre	2,3	2,9	2,2	3,1	2,2	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3
	Venstre	2,6	3,2	2,5	3,5	2,5	2,6	2,8	2,7	2,6	2,6
	Samlet	11,9	14,9	11,5	16,4	11,4	11,9	13,2	12,3	12,0	12,0
SR Øst	Ligeud	7,1	8,8	6,9	9,7	6,8	7,1	7,8	7,3	7,7	7,2
	Venstre	2,6	3,2	2,5	3,6	2,5	2,6	2,9	2,7	2,9	2,6
	Højre	2,3	2,9	2,2	3,2	2,2	2,3	2,5	2,3	2,5	2,3
	Samlet	12,0	14,9	11,6	16,5	11,5	12,0	13,2	12,3	13,1	12,1
Total for krydset		65,6	76,7	83,2	94,7	64,8	65,6	72,0	66,0	66,0	67,0

Tabel 6-6 Den relative ændring af forsinkelserne som følge af detektorfejl i krydset med separatreguleret venstresving, opdelt på svingbevægelser trafik, SV

		Traditionel			Nyt koncept					
		HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	14 %	21 %	-14 %	-3 %	0 %	-4 %	0 %	0 %	3 %
	Højre	14 %	55 %	77 %	4 %	-1 %	13 %	-1 %	-3 %	1 %
	Ligeud	13 %	53 %	69 %	6 %	0 %	15 %	-1 %	-2 %	4 %
	Samlet	13 %	45 %	49 %	4 %	0 %	10 %	-1 %	-2 %	3 %
HR syd	Højre	14 %	58 %	79 %	-4 %	-1 %	14 %	1 %	-3 %	2 %
	Venstre	12 %	21 %	-14 %	-3 %	2 %	-5 %	0 %	-1 %	2 %
	Ligeud	11 %	51 %	68 %	-2 %	0 %	13 %	-1 %	-2 %	3 %
	Samlet	12 %	44 %	48 %	-2 %	0 %	9 %	-1 %	-2 %	3 %
SR vest	Ligeud	26 %	-4 %	39 %	-4 %	0 %	11 %	3 %	0 %	0 %
	Højre	27 %	-3 %	38 %	-4 %	0 %	12 %	4 %	1 %	1 %
	Venstre	23 %	-4 %	34 %	-5 %	0 %	9 %	3 %	1 %	0 %
	Samlet	25 %	-4 %	38 %	-4 %	0 %	10 %	3 %	1 %	0 %
SR Øst	Ligeud	24 %	-3 %	37 %	-4 %	0 %	10 %	3 %	9 %	1 %
	Venstre	22 %	-5 %	35 %	-5 %	0 %	9 %	2 %	9 %	0 %
	Højre	28 %	-2 %	41 %	-4 %	0 %	11 %	3 %	12 %	2 %
	Samlet	24 %	-4 %	37 %	-4 %	0 %	10 %	2 %	9 %	1 %
Total for krydset		17 %	27 %	44 %	-1 %	0 %	10 %	1 %	1 %	2 %

7 Samfundsøkonomiske effekter

Ved at ændre den metode, hvorpå detektorfejl håndteres, har analyserne vist at der er nogle klare tidsmæssige gevinster. I dette afsnit omsættes disse til monetære enheder og perspektiveres til omfanget af fejlramte detektorer Vejdirektoratet har på sine anlæg

7.1 Forudsætninger

For at kunne gennemføre denne økonomiske beregning er det nødvendigt med en række antagelser og forudsætninger. Der er først og fremmest nogle samfundsøkonomiske forudsætninger og en række antagelser omkring spolefejl, detektorplacering o. lign.

7.1.1 Samfundsøkonomiske forudsætninger

Først og fremmest er der det økonomiske fundament for beregningerne mht. enhedspriser, trafikalt split mv. Dette tager udgangspunkt de officielle retningslinjer i Transportministeriets "Manual for samfundsøkonomisk analyse" (TRM 2003) og de Transportøkonomiske Enhedspriser v1.3, juli 2010 (TRØK). På baggrund heraf er den samfundsøkonomiske værdi af reduceret brændstofforbrug samt tidsforbrug beregnet. Der er detaljeret på personbiler, varebiler og lastbiler. For personbiler er tidsværdien baseret på det gennemsnitlige turformål

fra TRØK. For lastbiler og varebiler inkluderer tidsværdien både værdien for køretøjet og for lasten. Den gennemsnitlige last er baseret på detaljeret viden fra COWIs undersøgelse af den danske lastbilpark (projekt for Vejdirektoratet om de økonomiske konsekvenser ved ændret tilladt totaltvægt). Fordeling af trafikarbejde er baseret på Danmarks Statistiks fordeling.

For brændstof er der beregnet skatteforvridningstab som følge af ændringer i afgifter og afgiftskorrekationer.

Der er ikke medtaget den samfundsøkonomiske værdi af mindre forurening som følge af mindre brændstofforbrug.

Ved en sammenligning med omkostninger til hurtigere udbedring af detektorfejl, skal der tillægges 20 procent i skatteforvridningstillæg til omkostningerne forbundet med udbedringen, for at sammenligningsgrundlaget er samfundsøkonomisk korrekt.

7.1.2 Antagelser

På baggrund af et dataudtræk over detektorfejl i 40 af Vejdirektoratets anlæg har det været muligt at estimere sandsynligheden for forskellige grupperede detektorfejl. Ud af de 40 anlæg var der fejl på i alt 11 af disse. På flere af disse anlæg var der flere fejlramte detektorer, og 35 i alt (i løbet af en 3 måneders periode). Disse fejl var kategoriseret i forskellige størrelser og afstande. Disse samt det totale antal fejl i hver kategori fremgår af Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Fordelingen af detektorfejl inddelt i de forskellige kategorier

Højfølsomme små tæt på	3m før stoplinje	Store < 85m	Små < 85m	Alle > 85 m
3	11	12	2	7
9 %	31 %	34 %	6 %	20 %

Efterfølgende er disse kategorier inddelt efter funktion ved fejl når det nye koncept anvendes. Denne inddeling fremgår af Tabel 7-2.

Tabel 7-2 Inddeling af de forskellige detektorfejl i relation til funktionen ved fejl når det nye koncept indføres

Fejlfunktion	Definition	Andel
Fast anmeldelse	Højfølsomme små tæt på 3m før stoplinje	40 %
Udkobling	Store < 85m Alle > 85 m	54 %
Forlængelse	Små < 85m	6 %

Tallene i tabellen siger alene noget omkring sandsynligheden for de forskellige fejlfunktioner *når* der er sket en fejl. Eksempelvis er der 40 procent sandsynlighed for at funktionen vil være fast anmeldelse i tilfælde af fejl på en detektor.

Datagrundlaget siger intet omkring antallet af detektorer på de udvalgte anlæg, om detektoren er placeret i hoved- eller sideretningen, eller hvilke krydstype detektoren er en del af. Med udgangspunkt i det simulerede F-kryds er forholdet mellem antallet af detektorer på hoved- og sideretningen estimeret til at være 2:1. Desuden bygges beregningen på antagelsen, at 35 procent af alle kryds er separatreguleret og en tredjedel af stoplinjedetektorerne (der anmelder) i disse kryds er placeret i venstresvingsbane på hovedretningen.

Undersøgelserne er udarbejdet for forskellige antagelser omkring udbedringstiden. Der er fire forskellige niveauer relateret hertil. De fremgår af Tabel 7-3 herunder.

Tabel 7-3 De forskellige niveauer for udbedring af detektorfejl

Beskrivelse	dage
a) Udbedret efter maksimalt 3 arbejdsdage (tidligere kvalitetsniveau 1)	3
b) Udbedret efter maksimalt 8 arbejdsdage (nuværende kvalitetsniveau 1 pga. skærpede krav til godkendelse af vejarbejdsafmærkning)	8
c) Udbedret efter maksimalt 15 arbejdsdage (kvalitetsniveau 2)	15
d) Udbedret efter gennemsnitligt 2½ måned (4 kolde vinter måneder + afvikling af ”puklen”)	76

Endeligt har COWI foretaget antagelser for at perspektivere omkostningerne ved én type fejl til et gennemsnitligt kryds pr. år. Dette beror på antagelsen omkring i alt 35 fejl i 40 kryds på en 3 måneders periode.

7.2 Resultat

På baggrund af de beskrevne forudsætninger og antagelser, er effekterne som detektorfejlene medfører sammenlignet en situation med normal drift, blevet omregnet til monetære enheder.

Omkostningerne er først beregnet for hver enkelt analyseret detektorfejl, hvorefter disse er grundlaget for at beregne den gennemsnitlige omkostning for hver af de tre forskellige fejlfunktioner (fast anmeldelse, udkobling og forlængelse). Denne beregning tager højde for at nogle detektorer er placeret i sideretningen eller i et F-kryds. Endeligt er det så muligt at anvende fordelingen vist i Tabel 7-2 til at beregne omkostningerne ved en gennemsnitlig fejl. Disse omkostninger for den traditionelle metode til at håndtere detektorfejl, og for det nye koncept, fremgår af Tabel 7-4. Ud fra omkostningerne er det muligt at fastslå gevinsten ved at håndtere detektorfejl ved det nye koncept frem for det traditionelle. Omkostningerne ses for de forskellige serviceniveauer. Af tabellen ses også omkostningerne for ét gennemsnitligt anlæg pr. år, og gevinsten er igen medtaget. Her er det gennemsnitlige antal fejl pr. anlæg estimeret til 3,5.

Tabel 7-4 De samfundsøkonomiske omkostninger ved håndtering af detektorfejl på den traditionelle måde samt det nye koncept. Omkostninger fremgår både pr. gennemsnitlig fejl og pr. gennemsnitlige signalanlæg pr. år.

	3 dage (a)	8 dage (b)	15 dage (c)	2½ måned (d)
<i>Samlet gevinst pr. gennemsnitlig fejl</i>				
Traditionel	-8.263	-22.034	-41.314	-209.323
Nyt koncept	-651	-1.736	-3.255	-16.491
Gevinst ved nyt koncept	7.612	20.298	38.059	192.832
<i>Samlet gevinst pr. gennemsnitlig anlæg pr. år</i>				
Traditionel	-28.920	-77.119	-144.598	-732.632
Nyt koncept	-2.278	-6.076	-11.392	-57.719
Gevinst ved nyt koncept	26.641	71.043	133.206	674.912

Af tabellen er det tydeligt at se at der generelt er store omkostninger ved ikke at udbedre detektorfejl. Dog er omkostningerne, ganske som ventet, markant større, når detektorfejl håndteres på den traditionelle måde. Derved er der væsentlige gevinster ved at ændre den måde, hvorpå detektorfejl håndteres. Selv med det højeste serviceniveau er der en væsentlig gevinst ved at anvende det nye koncept. Gevinsten overstiger faktisk de omkostninger, der er forbundet med at udskifte en detektorspole. Når disse tal perspektiveres til en gennemsnitligt anlæg, er gevinsten endnu større. Heraf fremgår det dog også, at de samfundsøkonomiske omkostninger, som det nye koncept medfører, også har en væsentligt størrelse, hvorfor det altid vil være relevant at udbedre detektorfejl, også ud fra et samfundsøkonomisk synspunkt. Hertil vil udbedringen også forbedre både komforten trafikanterne oplever i krydset såvel som sikkerheden.

8 Perspektivering

Resultaterne af nærværende analyser viser klart, at der vil være store gevinster ved at omlægge den metode, hvorpå detektorfejl håndteres i dag. Her er det udbredt, at en fejlramt detektor både anmelder og forlænger signalet til den maksimale grøntid. Disse effekter opnås ved at indføre nogle mere nuancerede fejl-funktioner, der er særdeles effektive set fra et kapacitetsmæssigt perspektiv. Der findes alternative fremgangsmåder til at gribe situationen med fejlramte detektorer an, hvor det er nødvendigt at forholde sig til en situation, hvor der er sket fejl på mere end én detektor.

En metode til at begrænse konsekvenserne i forbindelse med detektorfejl i trafikstyrede signalanlæg gennemgås i de følgende afsnit. Metoden er baseret på fejlstyret funktionsvalg, hvor detektorer, der ikke er væsentlige for kapacitet og sikkerhed, kan udgå ved fejl, og hvor fejl på de ”vigtige” detektorer, medfører en ændret funktion for andre.

8.1 Detektering af køretøjer i sekundære tilfartsspor eller "separatregulerede venstresving"

Hvad enten det drejer sig om "rød-hvile" anlæg eller anlæg med "grøn-hvile" i hovedretningen (præference), så tilrettelægges spolebestykningen i den sekundære tilfart eller i det separatregulerede venstresving, typisk ud fra samme funktionskrav. Detektorplaceringen og intervaltiderne er nøje afstemt hinanden og fejl bør derfor tilpasse styringen herefter for at minimere genere.

På en typisk sekundær tilfart er der spoler omkring stoplinjen, der skal sikre en ensartet afslutningen af grønt og forlænge grønt ved køkørsel. Dette kan eksempelvis være en 20 meter spole med højsensitivt hoved. Denne løsning fravælges imidlertid ofte i dag, på grund af hensynet til driftsikkerheden. Alternativt placeres en MC-følsom tilstedeværelsesspole ved stoplinjen (anmelder køretøjer, som ankommer under rødt) og en tilstedeværelsesspole på 15-25 meter. Udover detektorerne omkring stoplinjen etableres også en MC-følsom passage-detektor i en afstand på 50-70 meter fra stoplinjen. Denne detektors funktion er dels at anmelde ankommende køretøjer under rødt, og dels at forlænge grønt. I "rød-hvile"-anlæg anvendes detektoren desuden til at tilpasse indkoblingen af grønt.

Ved detektorfejl kan følgende "default"-indstillinger defineres, afhængig af hvilke detektorer som fejler:

Fejltilstand	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3
D1 (0-2,5)	Fejl			Fejl	Fejl		Fejl
D2 (5-25)		Fejl		Fejl		Fejl	Fejl
D3 (60)			Fejl		Fejl	Fejl	Fejl

- 1a D1 udgår og D2 "overtager" anmeldelsen under rødt. D2 gives hukommelse, således at en anmeldelse fra et køretøj, som har passeret spolen under rødt, huskes.
- 1b D2 udgår og D1 tillægges intervaltid eller D3 "tæller" under rødt (tillæg til variabelt minimumsgrønt).
- 1c D3 udgår.
- 2a D1 og D2 udgår. Der gives fast anmeldelse af minimumsgrønt og D3 "tæller" under rødt (tillæg til variabelt minimumsgrønt).
- 2b D1 og D3 udgår og der gives fast anmeldelse af minimumsgrønt.
- 2c D2 og D3 udgår. D1 tillægges intervaltid.
- 3 Der gives fast anmeldelse af maksimalt grønt (fast anmeldelse af minimums grønt samt fuld forlængelse). Den maksimale grøntid kan eventuelt tilpasses det aktuelle trafikniveau, ved brug af tidsstyret programindkobling.

8.2 Detektering af køretøjer i primære tilfartsspor

I modsætning til præferenceanlæg skal trafikanter i et rød hvile anlæg på primærretningen anmeldes for at få grønt. Dette medfører også at spolebestykningen varierer afhængigt af styringen. I primærretningen i præferenceanlæg kan detektorbestykningen begrænses til passagedetektorer til forlængelse grøntiden og eventuelt tilstedeværelsesdetektorer. I begge typer anlæg kan detektorer til prioritering af eksempelvis lastbiler, busser og udrykningskøretøjer anvendes. Ved detektorfejl kan disse ofte udkobles uden at det vil få sikkerheds- eller kapacitetsmæssige konsekvenser. I rød-hvile anlæg etableres ofte en passagespole i en stoplinjeafstand på 180-200 meter (ved en skiltet hastighed på 70 km/t). Denne detektor kan udover at forlænge grønt, også give en præanmeldelse under rødt for at sikre en prioritering af primærretningen. Denne detektor vil i tilfælde af fejl også kunne udkobles, uden at det vil få sikkerheds- eller kapacitetsmæssige konsekvenser, men vil også udelukkende være et spørgsmål om komfort.

I det efterfølgende gennemgås forskellige kombinationer af detektorfejl i primær retningen for de øvrige detektorer. For overskuelighedens skyld, er den højsensitive stoplinjedetektor, som ofte etableres i kombination med 20 meter spolen (rød-hvile anlæg), udeladt i nedenstående skema.

Ved detektorfejl kan følgende "default"-indstillinger defineres, afhængig af hvilke detektorer som fejler:

Fejltilstand	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3
D1 (5-25)	Fejl			Fejl	Fejl		Fejl
D2 (60)		Fejl		Fejl		Fejl	Fejl
D3 (110)			Fejl		Fejl	Fejl	Fejl

- 1a D1 udgår og D3 "tæller" under rødt (tillæg til variabelt minimumsgrønt).
- 1b D2 udgår og intervaltiden på D3 øges og en eventuel fratidsudmåling annulleres og tillægges 2 forlængelsesperiode.
- 1c D3 udgår. Ved et rød-hvile anlæg, overtager D2 anmeldelsen af minimumsgrønt.
- 2a D1 og D2 udgår. D3 "tæller" under rødt (tillæg til variabelt minimumsgrønt). intervaltiden på D3 øges og en eventuel fratidsudmåling annulleres og tillægges 2 forlængelsesperiode.
- 2b D1 og D3 udgår. D2 "tæller" under rødt (tillæg til variabelt minimumsgrønt). Ved et rød-hvile anlæg, overtager D2 anmeldelsen af minimumsgrønt.
- 2c D2 og D3 udgår. Der gives en fast anmeldelse af minimumsgrønt.

- 3 Fast anmeldelse af maksimalt grønt (fast anmeldelse af minimums grønt samt fuld forlængelse). Den maksimale grøntid kan eventuelt tilpasses det aktuelle trafikniveau, ved brug af tidsstyret programindkobling.

8.3 Øvrige forhold

8.3.1 Detektering af cyklister

Udover de ovenfor nævnte detektorer kan der blandt andet være detektorer til anmeldelse og eventuelt forlængelse af grønt for cyklister. Hvis antallet af cyklister er beskedent, kan det overvejes, helt at lade disse detektorer udgå ved fejl. Eventuelt kan der opsættes trykknop-anlæg, som et supplement til spoledetekteringen. Hvis mængden af cyklister periodevis er betydelig, bør der i dette tidsrum, gives en fast anmeldelse af maksimalt grønt ved detektorfejl. Længden af den maksimale grøntid kan eventuelt tilpasses det aktuelle trafikniveau, ved brug af tidsstyret programindkobling.

8.3.2 Gensidigt forlængende detektorer

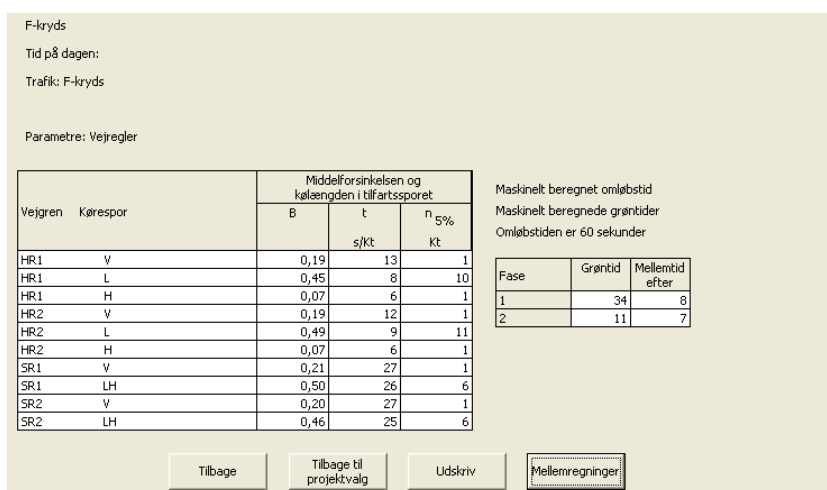
Ofte anvendes gensidigt forlængelse af "ikke konfliktende" hovedsignalgrupper. Eksempelvis vil A1- og A2-retningen i primærretningen, forlænge hinanden gensidigt. I sådanne tilfælde vil specielt afslutningen af grønt ikke kunne forventes, at ske på en måde, der sikrer en adskillelse af trafikanterne i den enkelte tilfart. I overensstemmelse med dele af det svenske LHOVRA-princip, tilrettelægges intervallerne af passagedetektorerne placeret eksempelvis 60 meter og 110 meter fra stoplinjen (disse afstande kan variere lidt afhængig af detektorindstillinger, den skilte hastighed mv.), således at risikoen for bagendekollisionsuheld, i forbindelse med signalkift, mindskes. Som følge heraf vurderes de sikkerhedsmæssige konsekvenser i forbindelse med udkobling af en af disse detektorer, som beskrevet ovenfor (afsnit 8.2 - fejltilstand 2 og 3), da også at være beskedne. Dette bør dog belyses nærmere, eventuelt ved en mere detaljeret række af simuleringer.

9 Bilag

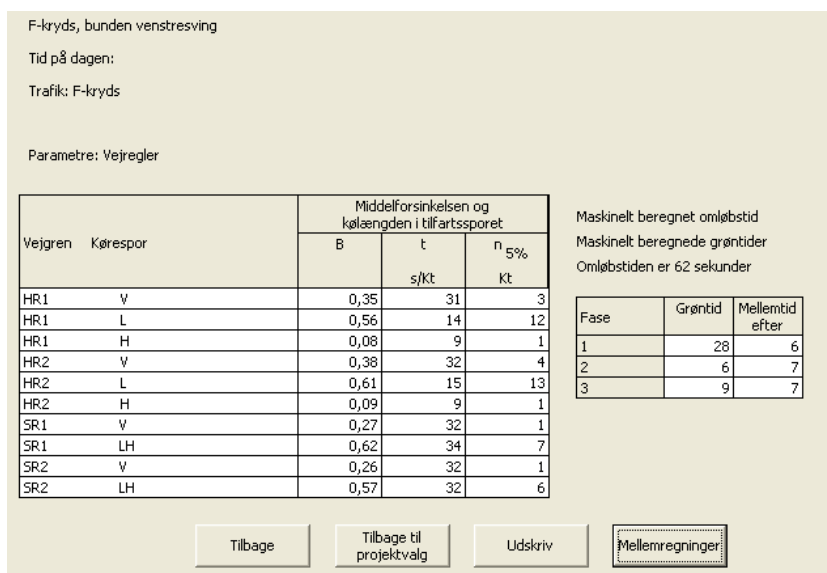
Bilag 1 - Output fra DanKap

I dette bilag foreligger screen dumps fra DanKap, der viser belastningsgraden i de forskellige situationer (kun for standardkrydset og krydset med separatreguleret venstresving). Billedteksten forklarer hvad der vises.

Basissituationen

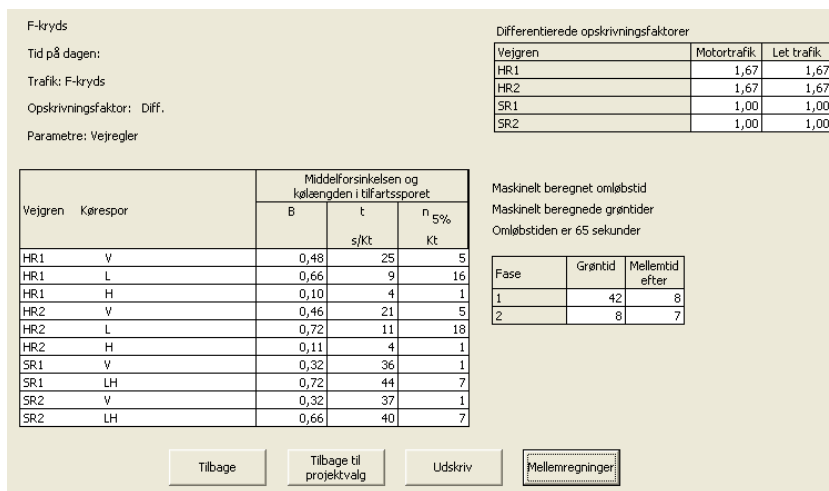


Figur 9-1 Resultat af DanKap-analyse for standard F-kryds i basissituationen

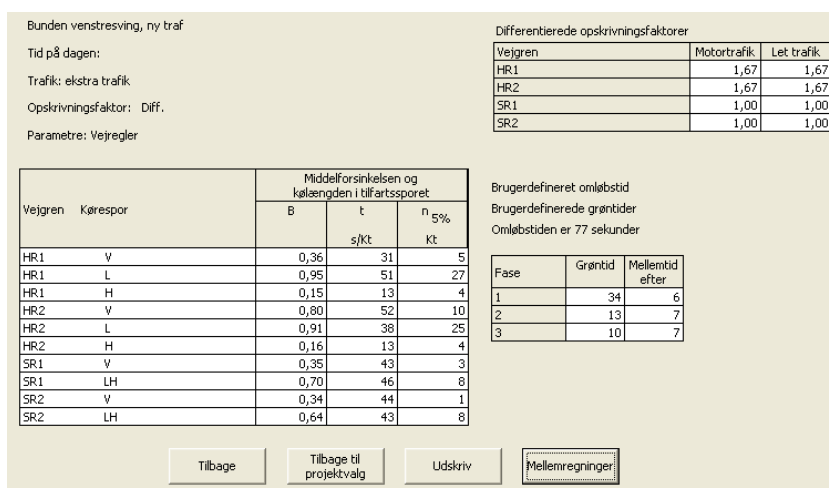


Figur 9-2 Resultat af DanKap-analyse for F-kryds med separatreguleret venstresving i basissituationen

Øgede trafikmængder på hovedretningen



Figur 9-3 Resultat af DanKap-analyse for standard F-kryds efter ÅDT på hovedstrækningen er øget til 20.000



Figur 9-4 Resultat af DanKap-analyse for F-kryds med separatreguleret venstresving efter ÅDT på hovedstrækningen er øget til 20.000

Bilag 2 - Resultater fra VISSIM-analysen opdelt på svingbevægelserne

I dette bilag foreligger tabeller der viser forsinkelserne for en række scenarier opdelt op svingbevægelser. Også den relative ændring fremgår. Indholdet af hver enkel tabel fremgår af teksten.

Standard F-kryds

Tabel 9-1 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i standardkrydset opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT øget til 20.000

[timer pr. døgn]		Basis	Traditionel		Nyt koncept			
			HR	SR	D1	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	4,2	4,4	6,7	4,2	4,1	4,0	4,3
	Højre	1,7	1,8	3,2	1,7	1,7	1,6	1,8
	Ligeud	18,6	19,7	33,2	19,0	18,4	18,0	19,7
	Samlet	24,4	25,9	43,2	24,9	24,2	23,6	25,7
HR syd	Højre	1,8	2,0	3,8	1,8	1,8	1,8	1,9
	Venstre	3,9	4,1	6,7	3,9	3,9	3,8	4,0
	Ligeud	19,2	20,4	36,7	19,0	19,0	18,4	20,1
	Samlet	24,9	26,5	47,2	24,7	24,8	23,9	26,1
SR vest	Ligeud	6,4	7,3	5,9	6,2	6,6	6,4	6,3
	Højre	2,1	2,4	1,9	2,0	2,1	2,1	2,0
	Venstre	2,3	2,6	2,2	2,3	2,4	2,3	2,3
	Samlet	10,8	12,3	10,0	10,5	11,1	10,8	10,5
SR Øst	Ligeud	6,4	7,3	5,9	6,2	6,6	7,1	6,3
	Venstre	2,4	2,6	2,2	2,3	2,4	2,6	2,3
	Højre	2,1	2,4	1,9	2,0	2,1	2,3	2,0
	Samlet	10,8	12,3	10,1	10,6	11,1	12,1	10,6
Total for krydset		70,9	77,0	110,4	70,7	71,2	70,5	72,9

Tabel 9-2 Den relative ændring af forsinkelserne for detektorfejl i standardkrydset opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT er øget til 20.000

		Traditionel		Nyt koncept			
		HR	SR	D1	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	6 %	61 %	1 %	0 %	-3 %	3 %
	Højre	7 %	92 %	2 %	0 %	-4 %	5 %
	Ligeud	6 %	79 %	3 %	-1 %	-3 %	6 %
	Samlet	6 %	77 %	2 %	-1 %	-3 %	5 %
HR syd	Højre	7 %	107 %	-2 %	-1 %	-5 %	3 %
	Venstre	6 %	70 %	0 %	0 %	-3 %	3 %
	Ligeud	6 %	92 %	-1 %	-1 %	-4 %	5 %
	Samlet	6 %	89 %	-1 %	-1 %	-4 %	5 %
SR vest	Ligeud	14 %	-8 %	-3 %	3 %	1 %	-2 %
	Højre	15 %	-6 %	-2 %	3 %	0 %	-2 %
	Venstre	13 %	-6 %	-2 %	2 %	0 %	-3 %
	Samlet	14 %	-7 %	-2 %	3 %	1 %	-2 %
SR Øst	Ligeud	14 %	-7 %	-2 %	3 %	11 %	-2 %
	Venstre	12 %	-7 %	-2 %	2 %	12 %	-2 %
	Højre	15 %	-6 %	-1 %	3 %	12 %	-2 %
	Samlet	14 %	-7 %	-2 %	3 %	12 %	-2 %
Total for krydset		9 %	56 %	0 %	0 %	-1 %	3 %

F-kryds med separatreguleret venstresving

Tabel 9-3 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i F-krydset med separatreguleret venstresving opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT er øget til 20.000

[timer pr. døgn]		Basis	Traditionel			Nyt koncept					
			HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	9,6	10,2	13,0	10,8	9,6	9,5	9,5	9,5	9,4	9,6
	Højre	4,2	4,4	8,2	8,7	4,2	4,1	4,3	4,2	4,0	4,1
	Ligeud	40,9	42,4	74,1	78,0	41,6	40,0	42,2	41,0	39,6	40,8
	Samlet	54,7	57,0	95,3	97,5	55,3	53,6	56,0	54,7	53,1	54,5
HR syd	Højre	5,5	5,6	9,7	10,2	5,4	5,4	5,6	5,4	5,2	5,4
	Venstre	10,6	11,2	14,2	12,0	10,5	10,8	10,6	10,6	10,4	10,6
	Ligeud	50,3	51,5	84,9	88,2	49,6	49,4	51,3	50,0	47,9	50,0
	Samlet	66,4	68,3	108,8	110,5	65,5	65,6	67,5	66,1	63,5	66,0
SR vest	Ligeud	8,6	9,4	8,1	10,8	8,4	8,5	8,9	8,7	8,6	8,5
	Højre	2,8	3,0	2,7	3,5	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8
	Venstre	3,1	3,4	3,0	3,9	3,1	3,1	3,2	3,2	3,1	3,1
	Samlet	14,5	15,8	13,8	18,2	14,3	14,5	14,9	14,7	14,5	14,4
SR Øst	Ligeud	8,6	9,3	8,1	10,7	8,5	8,6	8,9	8,7	9,3	8,7
	Venstre	3,2	3,4	3,0	4,0	3,1	3,2	3,2	3,2	3,4	3,1
	Højre	2,8	3,1	2,6	3,6	2,7	2,8	2,9	2,8	3,0	2,8
	Samlet	14,5	15,9	13,8	18,3	14,4	14,5	15,0	14,7	15,8	14,6
Total for krydset		150,2	157,1	231,7	244,4	149,5	148,2	153,5	150,2	146,9	149,5

Tabel 9-4 Den relative ændring af forsinkelserne for detektorfejl i F-krydset med separatreguleret venstresving opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT er øget til 20.000

		Traditionel			Nyt koncept					
		HR	SR	SV	D1	D9	D10	D11	D16	D18
HR nord	Venstre	7 %	35 %	12 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-2 %	0 %
	Højre	5 %	97 %	108 %	1 %	-3 %	3 %	0 %	-3 %	-1 %
	Ligeud	4 %	81 %	91 %	2 %	-2 %	3 %	0 %	-3 %	0 %
	Samlet	4 %	74 %	78 %	1 %	-2 %	3 %	0 %	-3 %	0 %
HR syd	Højre	2 %	77 %	86 %	-1 %	-2 %	1 %	-1 %	-6 %	-1 %
	Venstre	6 %	34 %	13 %	-1 %	2 %	0 %	-1 %	-2 %	0 %
	Ligeud	2 %	69 %	75 %	-1 %	-2 %	2 %	-1 %	-5 %	-1 %
	Samlet	3 %	64 %	66 %	-1 %	-1 %	2 %	-1 %	-4 %	-1 %
SR vest	Ligeud	9 %	-5 %	25 %	-2 %	-1 %	3 %	2 %	0 %	-1 %
	Højre	9 %	-5 %	26 %	-1 %	0 %	2 %	1 %	0 %	-1 %
	Venstre	9 %	-5 %	24 %	-1 %	0 %	3 %	1 %	0 %	-1 %
	Samlet	9 %	-5 %	25 %	-2 %	-1 %	3 %	1 %	0 %	-1 %
SR Øst	Ligeud	9 %	-5 %	26 %	-1 %	0 %	4 %	2 %	9 %	1 %
	Venstre	9 %	-5 %	25 %	-1 %	0 %	2 %	1 %	8 %	-1 %
	Højre	11 %	-5 %	28 %	-1 %	-1 %	4 %	2 %	9 %	1 %
	Samlet	9 %	-5 %	26 %	-1 %	0 %	4 %	1 %	9 %	1 %
Total for krydset		5 %	54 %	63 %	0 %	-1 %	2 %	0 %	-2 %	0 %

Ruderanlæg

Tabel 9-5 Forsinkelserne i timer pr. døgn for detektorfejl i ruderanlægget opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT er øget til 20.000

[timer pr. døgn]		Basis	Traditionel		Nyt koncept							
			HR	SR	D1	D2	D3	D4	D7	D18	D32	D33
HR nord	Venstre	58,3	59,0	71,6	58,2	58,2	58,4	58,6	58,5	61,7	55,2	58,6
	Højre	9,9	10,0	12,7	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	11,0	9,2	9,9
	Ligeud	43,3	43,6	51,6	43,2	43,2	43,3	43,5	43,4	44,4	41,1	43,2
	Samlet	111,4	112,6	135,9	111,2	111,3	111,6	112,0	111,9	117,0	105,5	111,7
HR syd	Højre	51,5	51,7	65,3	51,3	51,5	51,5	51,5	51,5	54,5	48,2	51,4
	Venstre	40,7	40,8	49,2	40,5	40,7	40,7	40,8	40,7	41,6	38,4	40,4
	Ligeud	9,6	9,6	12,8	9,6	9,7	9,7	9,6	9,6	10,7	8,8	9,5
	Samlet	101,8	102,2	127,3	101,4	101,9	101,8	101,9	101,8	106,8	95,4	101,3
SR vest	Ligeud	15,8	16,5	16,4	15,8	15,8	16,5	16,0	16,0	17,3	15,8	15,7
	Højre	15,8	16,2	17,8	15,8	15,7	16,2	15,9	15,9	16,7	15,5	15,7
	Samlet	31,6	32,8	34,2	31,6	31,6	32,7	31,9	31,9	34,0	31,3	31,4
SR Øst	Ligeud	15,4	15,9	17,5	15,3	15,3	15,9	15,4	15,5	16,2	15,8	15,1
	Venstre	14,6	15,4	15,2	14,6	14,5	15,3	14,8	14,8	16,2	16,0	14,5
	Samlet	30,0	31,3	32,7	29,9	29,8	31,2	30,2	30,2	32,4	31,9	29,6
Total for krydset		274,8	278,8	330,0	274,1	274,5	277,4	276,0	275,9	290,2	264,0	274,0

Tabel 9-6 Den relative ændring af forsinkelserne for detektorfejl i ruderanlægget opdelt på svingbevægelser, hvor ÅDT er øget til 20.000

		Traditionel		Nyt koncept							
		HR	SR	D1	D2	D3	D4	D7	D18	D32	D33
HR nord	Venstre	1 %	23 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	6 %	-5 %	1 %
	Højre	1 %	28 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	11 %	-7 %	0 %
	Ligeud	1 %	19 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	-5 %	0 %
	Samlet	1 %	22 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	5 %	-5 %	0 %
HR syd	Højre	0 %	27 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	6 %	-6 %	0 %
	Venstre	0 %	21 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	-6 %	-1 %
	Ligeud	0 %	33 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	11 %	-9 %	-1 %
	Samlet	0 %	25 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %	-6 %	0 %
SR vest	Ligeud	5 %	3 %	0 %	0 %	4 %	1 %	1 %	9 %	0 %	-1 %
	Højre	3 %	13 %	0 %	0 %	3 %	1 %	1 %	6 %	-2 %	-1 %
	Samlet	4 %	8 %	0 %	0 %	3 %	1 %	1 %	8 %	-1 %	-1 %
SR Øst	Ligeud	3 %	14 %	-1 %	0 %	3 %	0 %	1 %	6 %	3 %	-2 %
	Venstre	5 %	4 %	0 %	-1 %	5 %	1 %	1 %	10 %	10 %	-1 %
	Samlet	4 %	9 %	0 %	-1 %	4 %	1 %	1 %	8 %	6 %	-1 %
Total for krydset		1 %	20 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	6 %	-4 %	0 %