

Projektrapport DUKAT II

Drift- och Underhållsåtgärders inverkan på Kapacitet och Trafikföring



Version 1.0 2015-12-30



SVEVIA

SBUF 

Innehåll

1 FÖRORD.....	1
2 INLEDNING	3
3 KAPACITET VID DRIFT- OCH UNDERHÅLLSARBETEN	5
3.1 Danmark.....	5
3.2 Nederländerna.....	6
3.3 USA 8	
3.4 Israel 11	
3.5 Storbritannien.....	11
3.6 Slutsats 12	
4 MODELL FÖR ÖVERLEDNING VID DOU PÅ MOTORVÄG	14
5 KALIBRERING OCH VALIDERING AV MODELLANSATS.....	18
5.1 Inledning	18
5.2 Valda platser	18
5.3 Analys 19	
6 BULLERANALYS FÖR VÄGARBETSOMRÅDE	22
6.1 Nuvarande krav för buller.....	22
6.2 Analys av buller	23
7 EMISSIONSANALYS FÖR VÄGARBETSOMRÅDE	24
8 DISKUSSION OCH SLUTSATSER	27
REFERENSER	30

1 Förord

Föreliggande rapport presenterar resultatet av forskningsprojektet ” DUKAT II, Drift- och Underhållsåtgärders inverkan på Kapacitet och Trafikföring”. Under 2014 gjordes ett arbete för att ta fram en modell för beräkning av kapacitet på motorväg i samband med drift- och underhållsåtgärder inom projektet DUKAT I. Den framtagna modellen i DUKAT I för kapacitetsberäkning vid vägarbetsområden innehåller 7 olika parametrar, endast 2 har verifierats under projektets framdrift 2014. Dessa är stängning av vägren samt reduktion av ett körfält. Syftet med forskningsprojektet är att för de 7 redan framtagna korrektionsparametrarna kalibrera och validera ytterligare ett, överledning samt en ny parameter, hastighetsdämpning innan vägarbetsområdet.

Nyttan med modellen är att den ger entreprenörerna möjligheten till att beräkna reduktionen i kapaciteten i samband med DoU-arbeten eller investeringsarbeten då Trafikverket numera ställer krav på framkomlighet under entreprenadtiden i anbuden. Detta ger således entreprenörerna möjlighet att visa att kravet på framkomlighet uppfylls samt redan i planeringsstadium finna mer optimala lösningar vid utformning av trafikanordningar. Kostsamma förändringar av trafikanordningar under arbete pga oförutsedda uppkomna trafiksituationer kan undvikas. I dagsläget kan varken TrV: s eller entreprenörerna verifiera kravet då det inte finns några verktyg eller modeller för beräkning av trafikkapacitet förbi vägarbetsområden.

Entreprenörernas medverkan är viktig för att komplettera kompetensen om vägarbeten med generell kunskap om utformning och praktiskt handhavande av vägarbetsområden. Detta möjliggör ett snabbare och mera effektivt arbete kan utföras för att finna bästa utformning och arbetsätt.

Projektet finansierades av Trafikverket, Svevia och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) inom ramen för verksamhetsnära utveckling.

Projektets arbetsgrupp bestod av följande personer:

Elisabeth Lunman Trafikverket (Projektledare TrV)

Per Strömgren Movea Trafikkonsult AB (Uppdragsledare och huvudkonsult)

Andreas Bäckström Svevia (Projektledare Svevia)

Johan Olstam VTI

Pontus Larsson VTI

Niklas Olofsson KTH

Christoffer Westas Janco WSP Akustik

Projektets referensgrupp bestod av följande personer:

Hawzheen Karim, Trafikverket

Mikael Högberg, Svevia
Johan Lundberg, NCC
Christer Andersson, PEAB
Mikael Berg, Skanska

2 Inledning

Människor i Sverige är i ständig rörelse och i storstadsregionerna är det idag svårt att utföra nödvändiga drift- och underhållsarbeten. De nödvändiga justeringarna av det befintliga vägnätet har en inverkan på trafikflödet och orsakar fördröjning för trafikanter. Detta eftersom kapaciteten minskar för de åtgärdade vägsträckorna i samband med vägarbeten. Vägarbetsområden har en betydande inverkan på framkomligheten då dessa ofta utgör flaskhalsar som resulterar i köer med fördröjningar som följd. Kunskap om vägens kapacitet vid vägarbetsområdet är därför avgörande för trafikplanerare vid planering av drift och underhållsåtgärder. Även om problemen inte är knutna till en specifik vägtyp så är effekten oftast störst på stadsnära motorvägar. Detta projekt har därför avgränsats till motorvägar.

Det finns en stor brist på empirisk forskning om effekten av vägarbetsområden på kapaciteten hos motorvägar. Denna studie försöker fylla en liten lucka genom att sammanställa kunskap om kapacitet på motorväg vid vägarbetsområden och de villkor och variabler som påverkar denna förmåga i verkliga situationer. Målet med denna studie kan dela in i tre olika delmål:

1. uppskatta skillnaden i kapacitet för olika utformningar av vägarbetsområden jämfört med normalsituationen.
2. förklara skillnader i kapacitet genom att analysera situationsspecifika variabler.
3. analysera effekten av externa variabler som påverkar kapaciteten på motorvägar vid olika utformningar av vägarbetsområden.

De utformningar av vägarbetsområden som är de mest frekvent närvarande i Sverige under de senaste åren och därför analyseras i DUKAT-projekten är:

- stängning av vägrenen
- avsmalning av körfälten på motorväg med 2 kf
- avsmalning av körfälten på motorväg med 3 kf
- reduktion av antalet körfält på motorväg med 2 kf
- reduktion av antalet körfält på motorväg med 3 kf
- överledning av trafik till mötande körriktning

Stängning av vägren, avsmalning och reduktion av antalet körfält studeras i DUKAT I och finns redovisade i Strömgren et. al. (2015). Denna rapport redovisar effekter på kapacitet och trafikföring vid överledning (DUKAT II). Vidare så har effekter på buller och emissioner för olika hastighetsgränser förbi ett vägarbete undersökts.

Rapporten är strukturerad så att först ges en sammanställning av en sammanställning av teori och befintliga metoder som finns för att skatta kapacitet i samband med överledning vid drift- och underhållsåtgärder. I kapitel 3 presenteras ett förslag på en

första svensk modell baserat på de internationella erfarenheterna som presenterades i Kapitel 2. Ett första försök till verifiering av den föreslagna modellansatsen presenteras i kapitel 4. Kapitel 5 och 6 presenterar buller- respektive emissionseffekter av olika skyltade hastigheter förbi ett vägarbete. Kapitel 7 avslutar rapporten med slutsatser och behov av fortsatt arbete.

3 Kapacitet vid drift- och underhållsarbeten

I detta kapitel presenteras en sammanställning av svensk och internationell litteratur som behandlar kapacitet vid överledning vid drift- och underhållsarbeten.

Litteraturstudien omfattar nedan angivna sökord. För att genomföra sökningarna har dessa sökord används på svenska, engelska, tyska och franska.

Tabell 3.1 Sökord för litteratursökning

Svenska	Engelska	Tyska	Franska
Flöde	Flow	Fließen	Circulation
Trafik	Traffic	Verkehr	Traffic
Kapacitet	Capacity	Kapazität	Capacité
Underhåll	Maintenance	Wartung	Entretien
Motorväg	Motorway	Autobahn	Autoroute
Överledning	Crossover	-	-

3.1 Danmark

Danmarks motsvarighet till Trafikverket har tagit fram en modell för att beräkna kapaciteten vid drift- och underhållsåtgärder som inkluderar överledning. I modellen beräknas resulterande kapacitet för den aktuella sträckan enligt Ekvation 1 (Vejdirektoratet 2010). Värt att nämna är att den tar hänsyn till flera situationsspecifika variabler, inbakat i "kapaciteten för aktuell sträcka". Det intressanta här är att den tar hänsyn till överledning och har två olika alternativ beroende på hur lång sträckan för överledningen är:

$$N = n \cdot N_{ideal} \cdot b \cdot s \quad (1)$$

Där:

N = kapaciteten för aktuell sträcka.

n = antalet körfält i riktningen.

N_{ideal} = kapaciteten för aktuell sträcka innan vägarbete.

b = korrelationsfaktor för körfältsbredd och sidoavstånd till hinder.

s = korrelationsfaktor för tunga fordon.

I Danmarks nya kapacitetsmanualen (Vejdirektoratet 2015) har ett helt kapitel utvecklats om kapacitet på motorväg i samband med vägarbeten. Studien som ligger till grund för arbetet har redovisats i Greibe (2015).

Studien omfattar 25 olika "case studies" vid kortvariga vägarbeten. Fallen omfattar studier av stängning av 1 av 2 kf, 2 av 3 kf, 2 av 4 kf samt överledning. Modellen är uppbyggd på liknande sett som den som utvecklats inom DUKAT I (se Strömgren et. al. (2015). I modellen beräknas kapaciteten för ett vägarbete $Q_{vägarbete}$ som

$$Q_{vägarbete} = Q_{normal} \cdot C_{kfbredd} \cdot C_{aktivitet} \cdot C_{kfstängning} \cdot C_{överledning} \quad (2)$$

Där:

$Q_{vägarbete}$ = Kapacitet för vägarbetsområdet (pbe/kf/h)

Q_{normal} = Baskapaciteten för ett körfält (pbe/kf/h)

$C_{kfbredd}$ = Korrektion för körfältsbredd

$C_{aktivitet}$ = Korrektion för aktivitet i vägarbetsområdet

$C_{kfstängning}$ = Korrektionsfaktor för stängt körfält

$C_{överledning}$ = Korrektionsfaktor för överledning

Resultatet för deras studie av överledning visar att korrektionsparametern $C_{överledning}$ = 0,95. $C_{kfbredd}$ fick nya värden jämfört med de ansatta i förra versionen Vejdirektoratet (2015). Nu indelas minskning av körfältsbredden i två grupper, normal körfältsbredd (3,50-3,75 m) samt smal körfältsbredd (2,75-3,00 m), vad bredden 3,00-3,50 m ska hänföras till står ej. Möjligtvis faller den in med korrigeringsparametern 0,95 som körfältsbredden 3,25 hade i tidigare version. $C_{aktivitet}$ har två lägen 1,00 när ingen aktivitet råder inom vägarbetsområdet och 0,95 då det är någon slags aktivitet i vägarbetsområdet.

3.2 Nederländerna

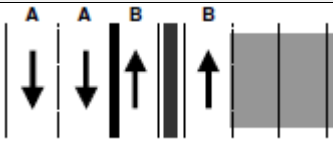
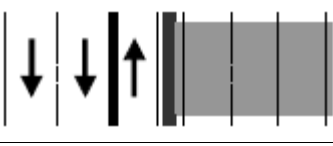



Nederländerna är ett land som ligger i framkant när det kommer till forskning kring motorvägar och även överledningar. Överledning kallas lokalt för Contraflow, vilket även är namnet på en väldigt utförlig rapport i ämnet (Rijkswaterstaat 2000). Rapporten inleds med att presentera olika typer av överledning: 2-0, 4-0 och 3-1. 2-0 är en 2 + 2 väg där trafiken leds över mitträcket så det finns ett körfält i vardera riktningen, kapaciteten beräknas då till ca 1300 fordon/körfält/timme.

4-0 är en stor 4 + 4 väg där man med överledningen behåller två körfält i vardera riktningen på den ena sidan av mitträcket. Då får man upp kapaciteten till 1750 fordon/körfält/timme. Det sker en viss förlust i kapacitet på grund av sidoförflyttningen och de smalare körbanorna.

Den sista typen är 3-1 där man behåller ett körfält i den riktning där arbetet ska ske samtidigt som man smalnar ner de i andra riktningen så man får plats med tre körfält. Det blir en 2+2 väg där ett körfält i ena riktningen överleds till andra sida. Kapaciteten beräknas till ca 1550 fordon/körfält/timme, vilket är något mindre än 4-0 modellen.

Detta beror på att det är svårare att få en jämn ström med fordon i de filer som är separerade av mitträcket.

Tabell 3.2 Mättnadsflöden för motorväg med 3 respektive 4 körfält.

Körfältskonfiguration	Definition	Kapacitet (pbe/h)
	3-1 system - Riktning A kf 1 (Högra körfältet) 3,25 m och kf 2 (Mittenkörfältet) 3,00 m. VR = 90 km/t. - Riktning B kf 1 (Högra körfältet) 3,25 m och kf 2 3,00 m. VR = 90 km/t.	3400 3000
	3-0 system - Riktning A kf 1 3,25 m och kf 2 3,00 m. VR = 90 km/t. - Riktning B kf 1 3,25 m. VR = 90 km/t.	3400 1500
	2-0 system - Riktning A kf 1 3,25 m. VR = 90 km/t. - Riktning B kf 1 3,25 m. VR = 90 km/t.	1500 1500
	4-0 system Riktning A och B: - kf 1 (Högra körfältet) 2,85 m och kf 2 (Vänstra körfältet) 1,95 m. VR = 70 km/t. - kf 1 2,85 m och kf 2 2,35 m. VR = 70 km/t. - kf 1 3,00 m och kf 2 2,50 m. VR = 70 km/t. - kf 1 3,25 m och kf 2 3,00 m. VR = 70 km/t.	2600 2800 3000 3400
	4-2 system - Riktning A kf 1 3,25 m, kf 2 2,80 m och kf 3 2,80 m. VR = 90 km/t. - Riktning B, med barriär mellan kf 2 och 3, kf 1 3,00 m, kf 2 2,80 m och kf 3 2,80 m. VR = 90 km/t.	4500 4300

Anmärkningar och förklaring till tabellen ovan:

- Kapacitetsvärden kan variera beroende på plats och situationer pga. (små) förändringar i vägarbete och miljö, det angivna kapacitetsvärdet har en relativt stor spridning, och antalet tillgängliga mätningar är också begränsat och ibland begränsat dokumenterat.
- De S-kurvor (chikaner) som skall användas vid körfältsförändringarna, bör överensstämma med den Nederländska standarden för trafikanordnings planer, så kallade TA-planer, som finns redovisade i CROW (2012). Genomförs överledning på annat sätt, kommer det att ge en lägre kapacitet än den angivna i ovanstående tabeller.

- Kapaciteten uttrycks i pbe/h (personbilsekvivalenter/h), vilket är baserat på 15 % lastbilar.
- VR står för vägens referenshastighet (vanligen vägens hastighetsgräns) eller enligt de krav som finns för hastighetsgräns vid vägarbete.
- Kapacitetsvärden som redovisas är genomflöde för en entimmesperiod.
- Tidsmässigt kortare vägarbeten, ≤ 1 dag, och intermittenta vägarbeten är avsedda för regelbundet underhåll. Separationen mellan trafik -och arbetsområdet omfattar koner eller markörer och finns i vissa fall inte alls.

3.3 USA

USA har utfört mycket forskning inom området för kapacitet och ligger bakom Highway Capacity Manual 2000 (TRB, 2000) som används flitigt internationellt. Trots detta finns det i denna sparsamt med information om vad som gäller vid överledning. I HCM 2000 står det skrivet under rubriken för långtidsarbetszoner. Där står att kapaciteten för ett körfält närmare sig den nedre gränsen på 1550 fordon/timme. Någon mer information angående överledning i den utgåvan finns inte.

I den uppdaterade HCM (2010) saknas dock denna text. I rapporten framgår dock att man har lyckats samla in mer empirisk data, vilket resulterar i en mer utförlig uppskattning av kapaciteten vid långtidsarbetszoner. Denna uppskattning är betydligt lägre än i tidigare utgåva och trots mer data så står det skrivet att lokal data och erfarenhet är mer tillförlitligt än de värden som ges i HCM.

I en rapport av Pal, R. & Sinha, K. (1996) diskuteras överledning. Rapporten diskuterar när det passar att stänga av körfält och när det är bättre med en överledning. Två punkter som nämndes för överledning är att det ökar den upplevda säkerheten och produktiviteten på en arbetsplats, främst för arbetarna. Rapporten presenterar en modell för att avgöra vilket tillvägagångssätt som lämpar sig för arbetsplatsen, där flödet är en parameter.

En metod för beräkning av kapaciteten för vägarbeten med kort varaktighet på motorväg har tagits fram i Krammes et al (1994). I Krammes et al (1994) beräknas kapaciteten som:

$$C_a = (1600 + I - R) \cdot f_{HV} \cdot N \quad (3)$$

Där:

C_a = justerad kapacitet för genomgående trafik (f/h)

I = korrigeringsfaktor för intensiteten i arbetet, med hänvisning till antalet arbetare på plats, antalet och storleken av arbetsfordon i bruk, och närheten av arbetet till körfältet, värdena för I varierar från -160 till +160 personbilar per timme per körfält (pb/h/kf) och "bör tillämpas på grundval av personliga bedömningar, tilläggas bör att 1600 pb/h/kf) är ett genomsnittsvärde över en mängd olika betingelser.

R = justeringsfaktor för ramper från Highway Capacity Manual innebär: påfartsramper bör placeras minst 1500 fot uppströms från början av vägarbetsområdet; om det inte kan göras bör rampflödet adderas till genomgående flöde, eller kan kapaciteten för vägarbetsområdet minskas med rampflödet (upp till halva kapaciteten av ett körfält, förutsatt att vid mycket högt flöde kommer genomgående flöde och rampflöde att växla).

f_{HV} = justeringsfaktor för lastbilar

N = Antal körfält genom vägarbetsområdet

För vägarbeten med lång varaktighet, är kapacitetsvärden baserade på Dudek (1984) och Dudek et al (1985) och visas i Tabell 3.3.

Tabell 3.3 Kapacitetsvärden för vägarbeten utförda under lång tid (Dudek et al 1985)

Antal körfält	Antal öppna körfält	Antal fallstudier	Medelkapacitet (fordon/h/kf)	Variation i kapacitet (fordon/h/kf)
3	2	7	1 860	1 780 – 2 060
2	1	3	1 550	

The Highway Capacity Manual ger också följande forskningsbaserade (Krammes et al 1994, Dudek et al 1984) vägledning: Om trafiken passerar över till körfälten som normalt används av motsatt färdriktning, är kapaciteten nära 1550 (fordon/h/kf). Om ingen överledning sker minskningen till ett körfält med vävning, vilket vanligen ger ett högre kapacitetsvärde, som i genomsnitt kan vara cirka 1750 (fordon/h/kf).

Enligt Dudek et al (1985) blir det kapacitetsminskningar som en följd av minskningar av körfältsbredd på motorväg vid vägarbetsplatser. För trafik med personbilar ökar tidluckan med cirka 10 procent när man går från 3,35 m bredd till 3,2 m eller 3.0 m bredd och med ytterligare 6 procent om bredden reduceras till 2,75 m bredd." Översatt till kapacitet ger detta en minskning på 9 respektive 14 procent.

McCoy and Pesti (2004) utförde en studie om minskning av antalet körfält genom vävning. Den visar att en sen vävning vid vägarbetsplatsen var att föredra vid en belastningsgrad > 1 , men vid låg belastningsgrad ska en tidig vävning ske.

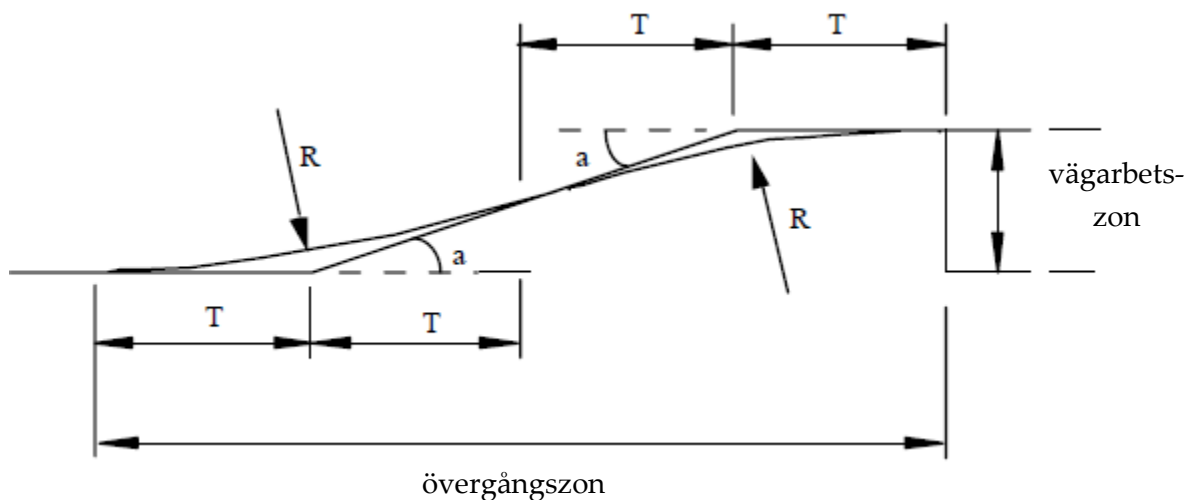
Även om McCoy och Pesti inte utförde fälttest är konceptet utvärderat i flera andra studier. Dessa inkluderar tester i Kansas, Smart Work Zone Deployment Initiative, och i Maryland och Minnesota. Resultat från dessa studier indikerade en minskning av körlängder och trafikkonflikter om metoden appliceras.

I en rapport från FHWA (Tsyganov et al 2003) har längder för övergången mellan överledningens inledning och slut tagits fram, se Tabell 3.4.

Tabell 3.4 Minimilängd för inledningen av överledningen för önskvärd hastighet. (Tsyganov et al 1997)

Fart innan vägarbetet (km/h)	Hastighet i vägarbetsområdet (km/h)							
	110	100	90	80	70	60	50	40
	Minsta längd av övergångszonen (m), se Figur 3.1 nedan.							
120	34	100	430					
110		29	91	309				
100			29	49	116	438		
90				24	44	308	384	
80					21	39	90	329

Ur ett trafikantperspektiv, kan övergångszonen uppfattas av förare som två kontrakurvor.



Figur 3.1. Utformningen av inledningen på överledningen. (Tsyganov et al 1997)

Minsta längd på överledningens övergångszon fastställs med bakgrund av den önskvärda hastighetsreduktionen. Denna har omräknats i enlighet med kraven på minimiradier. Tsyganov et al (1997) presenterar också en jämförelse av resultatet, fastställt på grundval av minskningen på önskvärd hastighet och rekommenderad radie i övergångszonen. Slutligen beräknades motsvarande övergångslängder, se Tabell 3.5 (Tsyganov et al 1997).

Tabell 3.5. Minimilängd för överången för önskvärd hastighet. (Tsyganov et al 1997)

Fart innan vägarbetet (km/h)	Bredd på offset (m)	Fart i vägarbetsområdet (km/h)				
		110	100	90	80	70
		Minsta längd inledningen av överledningen (m)				
120	7,5	87	87	215		
	3,75	62	62	215		
	3,5	59	59	215		
110	7,5		78	78	155	
	3,75		55	55	155	
	3,5		53	53	155	
100	7,5			67	67	67
	3,75			48	48	58
	3,5			46	46	58
90	7,5				62	62
	3,75				44	44
	3,5				42	42

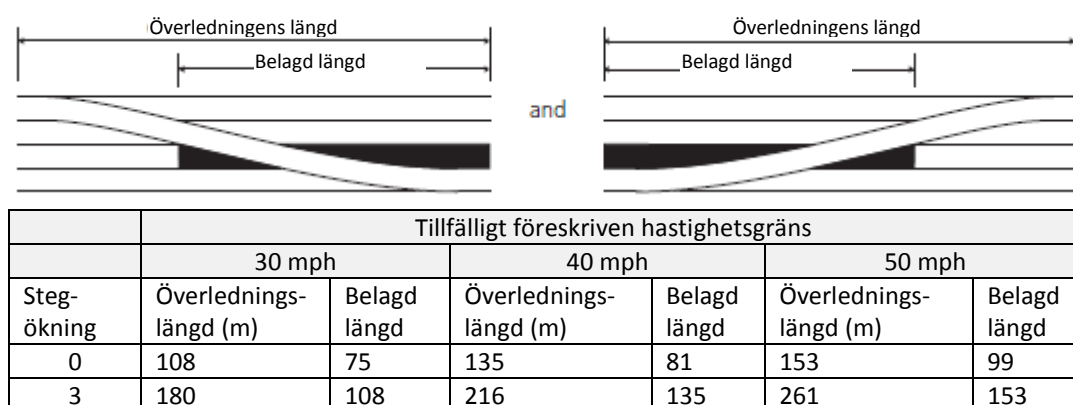
3.4 Israel

Vid en studie utförd av Polus A. & Shwartzman Y. (1999) konstaterades det att utformningen av vägarbetsområdet är av stor vikt. De utförde mätningar vid tre olika vägarbeten, ett där två av tre körfält var avstängda i en riktning, där polis assisterade, för att se effekter på hastighet och flöde och det tredje var just ett avsnitt på en 2 + 2 väg där en överledning skedde i ena riktningen så endast ett körfält fanns i vardera riktningen. På grund av den relativt lilla omfattningen på undersökningen vill de inte sätta ett värde på kapacitetsreduceringen utan konstaterar bara att antalet öppna körfält, vart vägen är belägen och om det förekommer en överledning eller ej är relevant för kapaciteten.

3.5 Storbritannien

För Storbritannien finns en hel del information när det gäller effekter av överledning. Framförallt är det två dokument, Traffic Signs Manual (Highway Agency, 2009) och Design Manual for Roads and Bridges (DMRB, 2003). TSM (2009) är ett nationellt styrdokument som behandlar vägvisning, markering och hur man hanterar de situationer som uppstår i samband med drift och underhåll på motorvägar. Kapitel 8, avsnitt 1: Design, moment D6.5 behandlar mer generellt hur en överledning ska utformas (Highway Agency 2009).

Generellt gäller att en mjuk s-kurva ska uppnås för att underlätta för trafiken. Vidare skrivs att överledningen måste designas så att hastigheten anpassas till arbetsområdets gällande hastighet. Speciellt vinkelförändringen i körfältet när det leds över till motsatt sida är viktigt, men hänsyn måste även tas för sidofriktion, eventuella hinder och hur överledningen kan tänkas återanvändas i framtiden med mera. I TSM finns det tabeller som visar hur lång överledningen ska vara, se figur nedan. Dessa siffror är tagna från DMRB (2003).



Figur 3.2. Parametrar för längden på en överledning (Highway Agency 2009).

Termen "stegökning" används för att beskriva negativa parametrar på platsen. Om följande parametrar är kända och har mindre värde än de angivna, då används stegökning 0.

- Negativ skevning mindre än 2,5 %
- Ingen beläggningsrygg vid övergången som överstiger 5 %

Om information av ovan angivna parametrar inte är tillgänglig, rekommenderas att stegökning 3 användas. Dessa värden är giltiga om:

- Negativ skevning mindre än 7 %
- Ingen beläggningsrygg vid övergången som överstiger 10 %

DMRB (2003) är ett faktablad där all information om hur en överledning ska se ut finns. Dokumentet är på 25 sidor och behandlar allt från planering inför arbetet, hur geometrin ska vara och diverse andra goda tips (Dessa tips behandlas ej vidare i rapporten eftersom de inte har fokus på kapacitet).

3.6 Slutsats

Slutsatsen av litteraturstudien är att det finns utformningsråd/regler om hur överledningar ska utformas för att uppnå bäst resultat. Danmark har gjort en empirisk studie liknande den som redovisas i denna rapport och kommit fram till resultatet 0,95 som kapacitetskorrektionsparametern för överledning.

4 Modell för överledning vid DoU på motorväg

Framtagande av korrelationsfaktorn för överledning, $f_{\text{öl}}$ innefattar en modellansats samt en hypotesprövning. Då ett flertal av parametrarna som diskuterats inledningsvis i rapporten finns med som egna faktorer i befintliga modeller ligger fokus på att hitta kärnan i det som påverkar kapaciteten vid överledning.

Överledning skiljer sig från normal avstängning då rörelsen i sidled blir större. Denna rörelse i sidled samt lastbilsandelen kommer i stor grad att påverka hur stor kapaciteten är. Sidledsrörelsen i sin tur beror på hur brett och långt övergångsområdet utformas. Bredden på vägen kan antas vara likvärdig som vid annat vägarbete och konstant varpå den enda (fysiska faktorn) som påverkar kapaciteten är längden. Till detta så tillkommer så klart lastbilsandelen då dessa längre fordon får det desto svårare att passera snittet. Av föregående resonemang har följande modell ansatts

$$f_{\text{öl}} = 1 - (\alpha * f_{HV} + \beta * L + \gamma * \frac{S}{L}) \quad (4)$$

Där:

$f_{\text{öl}}$ = korrigeringsparameter för överledning

f_{HV} = andel lastbilar

L = längd på överledningen (m)

S = sidoförflyttnings storlek vid överledningen (m)

α, β, γ = regressionsparameter

För att se om det finns ett samband mellan överledningens längd och dess kapacitet vore det önskvärt att undersöka följande hypotes angående överledningens längd:

H0 = Längden på överledningen påverkar kapaciteten hos anläggningen.

H1 = Längden på överledningen påverkar inte kapaciteten hos anläggningen.

Tyvärr visade det sig att det inte finns så många konfigurationer för överledning för vilka empiriska studier skulle kunna genomföras. Detta medförde att hypotesen inte kunde besvaras inom ramen för projektet och frågeställningen kvarstår obesvarad. Det var dock möjligt att undersöka vilken kapacitetsreduktion som en överledning innebär mer generellt.

Modellen som ska verifieras och eventuellt justeras i fråga om överledning, $f_{\text{öl}}$, är den från DUKAT I framtagna modellen (Strömgren et. al., 2015), se ekvation 5 nedan.

$$q_{DoU}^i = f_{vr} \cdot f_{\text{öl}} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot f_t \cdot q_{rev} \quad (5)$$

Där:

q_{rev} = kapacitet (fordon/t) eller brytpunktsflöde (fordon/t)

f_{vr} = korrigeringsparameter för avstängd vägren enligt Tabell 4.2

$f_{\text{öl}}$ = korrigeringsparameter överledning enligt Tabell 4.2

f_{rkf} = korrigeringsparameter reduktion av antal körfält enligt Tabell 4.2

f_{p50} = korrigeringsparameter pendlingstrafik enligt Tabell 4.2

f_l = korrigeringsparameter för längd på arbetsområdet enligt Tabell 4.2

f_{kfb} = korrigeringsparameter för körfältsbredd enligt Tabell 4.3

f_t = korrigeringsparameter för vägarbetstyp enligt Tabell 4.4

q_{DoU}^i beräknas för respektive kvarvarande körfält i , det stängda körfältet räknas ej med alls. Vid beräkning av den reducerade kapaciteten för avstängd vägren ska f_{vr} bara användas för höger körfält och inte för övriga körfält (se kommentar i kolumnen Användning i Tabell 3.2). Summering av de aktiva körfälten görs enligt Ekvation 6.

$$q_{DoU} = \sum_{i=1}^n q_{DoU}^i \quad (6)$$

Kapaciteten korrigeras först för andel tung trafik, uppdelat på lastbil utan släp samt lastbil med släp. Resultatet fås i antal personbilssekvivalenter, se ekvation 7.

$$F_{pe} = \frac{\alpha}{1 + p_{LBn} \cdot (P_{ekvLBn} - 1) + p_{Lps} \cdot (P_{ekvLps} - 1)} \quad (7)$$

Där:

F_{pe} = faktor för omräkning av trafikflödet till personbilsenheter

p_{LBn} = andel lastbilar utan släp och buss

p_{Lps} = andel lastbilar med släp

$pb_{ekv,LBn}$ = personbilssekvivalenten för lastbilar utan släp och buss enligt Tabell 4.1

$pb_{ekv,Lps}$ = personbilssekvivalenten för lastbilar med släp enligt Tabell 4.1

$\alpha = 0,975$ för siktklass 1 och $0,94$ för siktklass 2 (för definition av siktklasser se Trafikverket (2014a))

Tabell 4.1 Värden för $pb_{ekv,LBn}$ och $pb_{ekv,Lps}$ beroende på lutning

Lutning (%)	$pb_{ekv,LBn}$	$pb_{ekv,Lps}$
< 3	1,3	1,7
3-4	2,0	2,6
> 4	2,6	3,4

Därefter bestäms q_{rev} enligt ekvation 8.

$$q_{rev} = \frac{q}{F_{pe}} \quad (8)$$

Där:

q = flöde enligt brytpunktstabell (fordon/t) i Trafikverket (2014b)

Tabell 4.2 Korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet.

Korrigeringsparameter	Korrektionsfaktor	Användning
Grundkapacitet	1.0	-
Avstängd vägren (f_{vr})	0.8 (0.9 i kombination med andra åtgärder)	Reducera närliggande kf
Överledning ($f_{öl}$)	0.95	Reducera hela sektionens kapacitet
Reduktion av antalet kf (f_{rkf})	0.95	Reducera hela sektionens kapacitet
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	0.90	Reducera hela sektionens kapacitet
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	0.95	Reducera hela sektionens kapacitet

Reduktion för pendlingstrafik bör inte användas vid vägarbetsområden med varaktighet kortare än 1-2 veckor. Med pendlingstrafik avses förmiddagar och eftermiddagar, övrig tid inklusive helger avser inte pendlingstrafik.

I Tabell 4.2 är samtliga korrigeringsparametrar hämtade från den Tyska handledningen (BASt, 2011) förutom f_{vr} som är framräknad ur de Nederländska riktlinjerna (Rijkswaterstaat, 2011) samt f_l som kommer från de danska riktlinjerna (Vejdirektoratet, 2010).

I Tabell 4.3 som avser korrektion för körfältsbredd används parametervärdena från den danska kapacitetsmanualen (Vejdirektoratet, 2010), vilka är baserade på mätningar vid olika vägarbetsområden.

Tabell 4.3 Korrektionsfaktor för genomsnittlig körfältsbredd, f_{kfb} , på motorvägssträckning med vägarbete från den Danska kapacitetsmanualen.

Motorväg	Körfältsbredd (m)				
	≥ 3,50	3,25	3,00	2,75	2,50
Korrektionsfaktor f_{kfb}	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80

Korrektionsparametern för typ av vägarbete består av en uppsättning olika vägarbetstyper som ger olika påverkan på kapaciteten. Denna parameter är inte kalibrerad och validerad. Vid mer komplicerade trafikanordningar kan det ifrågasättas om denna parameter ska användas. Exempelvis när en överledning sker är all koncentration på själva överledning och en kraftig hastighetsreduktion uppnås med denna samtidigt som kapaciteten minskar. Detta kan jämföras med när körfältsbredden minskas 25 cm och arbete sker utanför själva vägen men fångar uppmärksamheten och i sin tur ger en hastighetsreduktion och kapacitet minskar.

Tabell 4.4 Korrektionsfaktor för vägarbetstyp, f_t , på motorvägssträckning med vägarbete från OkDOT (Lindly & Clark, 2004).

Nivå	Typ av arbete	Påverkansgrad	Korrektionsfaktor f_t
1	“Lättast” (t.ex. räckesreparation)	0	1
2	“Lätt” (t.ex. lagning av potthål)	20	0,97
3	“Medel” (t.ex. åtgärder i mittremsa)	40	0,94
4	“Svårt” (t.ex. vägmarkeringsåtgärd)	60	0,91
5	“Mycket svårt” (t.ex. beläggningsarbete)	80	0,88
6	“Svårast” (t.ex. broreparation)	100	0,84

Korrektionsparametern, $f_{\text{öl}}$, har idag en defaultsättning utifrån Tyska studier (BAST, 2011). Eftersom den första modellen (ekvation 3) inte var möjlig att kalibrera på grund av brist på empiriskt material så ansattes en enklare modell. Modellen som ansatts beror av två delar i överledningen, själva överledningen i sig själv samt en eventuell hastighetsdämpning innan överledning, f_{hd} . Där f_{hd} är korrektion för hastighetsdämpning i form av exempelvis chikan innan överledning.

Den nya modellen med hastighetsdämpning blir således enligt Ekvation 9.

$$q_{DOU}^i = f_{vr} \cdot f_{\text{öl}} \cdot f_{hd} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot f_t \cdot q_{rev} \quad (9)$$

Där:

q_{rev} = kapacitet (fordon/t) eller brytpunktsflöde (fordon/t)

f_{vr} = korrigeringsparameter för avstängd vägren

$f_{\text{öl}}$ = korrigeringsparameter överledning enligt

f_{hd} = korrektion för hastighetsdämpning i form av exempelvis chikan innan överledning

f_{rkf} = korrigeringsparameter reduktion av antal körfält

f_{p50} = korrigeringsparameter pendlingstrafik

f_l = korrigeringsparameter för längd på arbetsområdet

f_{kfb} = korrigeringsparameter för körfältsbredd

f_t = korrigeringsparameter för vägarbetstyp

5 Kalibrering och validering av modellansats

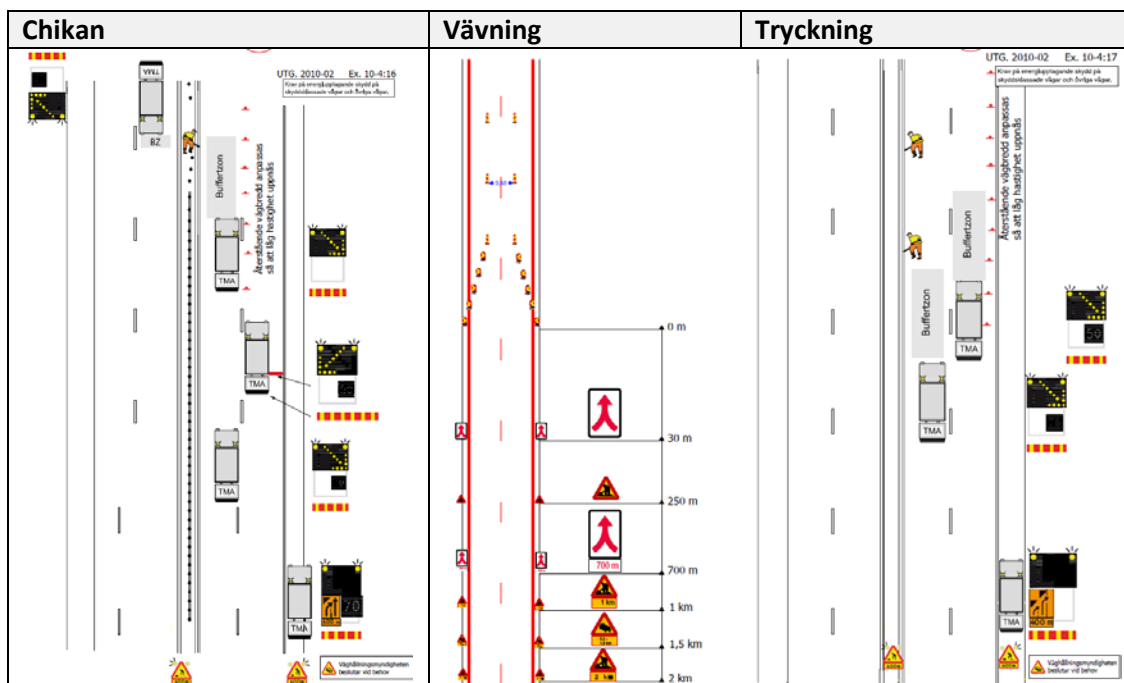
5.1 Inledning

Kalibrering och validering av den ansatta modellen för överledning i kapitel 3 görs genom att använda mätdata där överledning skett samt med olika kombinationer av hastighetsdämpning innan överledning startar. Även mätning där överledning inte skett görs. Totalt har fem olika platser studerats, Varla på E6 söder om Göteborg, Rotebro på E4 Norr Stockholm samt Stäket och Kallhäll på E18 Nordväst om Stockholm.

5.2 Valda platser

Efter att ha studerat de fem olika platserna efter idog filmning insågs att överbelastning under lite längre perioder endast fanns i Varla och i Rotebro, varför dessa platser valdes ut för att representera det empiriska materialet. Två konfigurationer med två olika typer av överledning samt en utan överledning men med tre olika hastighetsdämpande åtgärder innan vägarbete startar.

Vägarbetet i Varla utförs för att byta trumma under E6. Arbetet kommer att ske i två etapper för att minimera intrånget på E6. Körfältskonfigurationerna som används är en överledning med minskat antal körfält från 2 till 1 samt exakt samma konfiguration men utan överledning. Vid överledningen har en hastighetsreduktion skapats genom att ha en chikan i inledningen av överledningen. Vid de tre fallen som har studerats i Varla utan överledning har tre olika hastighetsdämpningar provats, chikan, vävning och tryckning, se figur nedan.



Figur 5.1. Exempel på chikan, tryckning och vävning som hastighetsdämpning innan överledning.

Vid den aktuella tidpunkten för insamlandet av data skedde ingen förvarning innan de kom fram till punkten för hastighetsdämpningen och reduktion av antalet körfält.

Vägarbetet i Rotebro sker för att färdigställa en ny bro. Här har endast en konfiguration mätts, överledning med minskat antal körfält från 3 till 2. Ingen hastighetsdämpande åtgärd har inlett överledningen.

De olika konfigurationerna kan sammanfattas enligt Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Data för de olika mätplatserna.

Konfiguration	Tidpunkt	Grundkapacitet (pbe/h)
Överledning + Chikan	Varla 150721–150723	1880
Vävning	Varla em. 150908	1880
Tryckning	Varla fm. 150909	1880
Chikan	Varla fm. 150910	1880
Överledning	Rotebro 150707–150709	3900

5.3 Analys

För studien har använts videoteknik eftersom det ej finns några andra mätsystem på platsen. Videoupptagning har skett under maxtimmarna under sammanlagt 6 dagar i Varla samt 3 dagar i Rotebro.

Analysen av videoupptagningen skedde manuellt genom att räkna antalet passerade fordon på minutnivå. Fordonen delades in i personbil och lastbil. Den gjorda analysen utgjorde sålunda genomflödet per tidsenhet, se Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Analyserade data för mätplatserna.

Nr.	Konfiguration	Mätt kapacitet (pbe/h)	Std. Avv. (pbe/h)	Lb-andel
1	Överledning + Chikan	1251	25	0,094
2	Vävning	1304	19	0,227
3	Tryckning	1221	27	0,284
4	Chikan	1309	18	0,178
5	Överledning	3256	131	0,043

Grundhypotesen var att korrektionsfaktorn för överledning är korrekt. Detta gjorde att Rotebro studerades först för att se om korrektionsfaktorn 0,95 stämde. Det visade sig att så var fallet, vilket underlättade beräkningen för resterande fall. De två konfigurationerna 1 och 4 är direkt jämförbara med den skillnaden att nr. 1 har en överledning lagts in. f_{hd} började beräknas för konfiguration 2-4 och har beräknats utifrån den grundkapacitet som finns i Tabell 5.1. Slutligen gjordes beräkningen för konfiguration 1, denna ska då stämma utifrån de validerade/beräknade

korrektionsfaktorerna i konfiguration 2-5. I Tabell 5.3 har de olika korrektionerna lagts in för de 5 olika konfigurationerna, där i samtliga fall vägren saknas, körfältsbredden är 3,5 m samt ett körfält är borttaget. Typ av vägarbete är inte använt enligt det resonemang som har förts i kapitel 3. Eftersom det empiriska underlaget består av fem olika konfigurationer och 2 olika platser.

Tabell 5.3 Framtagna korrektionsparametrar.

Konfiguration	Korr vägren f_{vr}	Korr körfältsbredd f_{kfb}	Korr reducerat antal körfält f_{rkf}	Korr hastighetsdämpning f_{hd}	Korr överledning $f_{öl}$
Överledning + Chikan	0,9	1	0,95	0,82	0,95
Vävning	0,9	1	0,95	0,82	1
Tryckning	0,9	1	0,95	0,76	1
Chikan	0,9	1	0,95	0,82	1
Överledning	0,9	1	0,95	1	0,95

Slutligen görs en beräkning av kapaciteten med de framtagna korrektionsparametrarna i Tabell 5.3.

Tabell 5.4 Jämförelse av uppmätt kapacitet och beräknad kapacitet.

Konfiguration	Mätt kap. (pbe/h)	Ber. Kap. (pbe/h)
Överledning + Chikan	1251	1252
Vävning	1305	1318
Tryckning	1221	1222
Chikan	1309	1318
Överledning	3256	3344

Jämförelsen mellan uppmätt kapacitet och beräknad kapacitet för de fem olika fallen visar på en god överensstämmelse, för att se om det rent statistiskt förhåller sig så görs en beräkning av konfidensintervallet för respektive konfiguration, se Tabell 5.5.

Tabell 4.5 Konfidensintervall samt jämförelse av korrektion för modell respektive empiri.

Konfiguration	Konfidensintervall (pbe/h)	Korrektion modell	Korrektion empiri
Överledning + Chikan	1238-1266	0,33	0,33-0,34
Vävning	1288-1348	0,35	0,34-0,35
Tryckning	1179-1265	0,32	0,31-0,34
Chikan	1290-1346	0,35	0,34-0,36
Överledning	3261-3427	0,54	0,54-0,57

Resultatet visar att korrektionsfaktorn $f_{öl}$ står sig väl vad gäller överledning och den kompletterande faktorn f_{hd} ger ett bra estimat för hastighetsdämpning. Därmed har

ytterligare två korrektionsfaktorer verifierats för modellen. En ny parametertabell för hastighetsdämpning blir enligt Tabell 5.6.

Tabell 5.6 *Parametertabell för hastighetsdämpning med tre olika metoder.*

Typ av hastighetsdämpning	Korrektionsfaktor f_{hd}
Chikan	0,82
Tryckning	0,76
Vävning	0,82

Hastighetsdämpningen kan användas vid såväl förekomst vid överledning men också där endast en hastighetsdämpning vid vägarbetsområdet föreligger.

6 Bulleranalys för vägarbetsområde

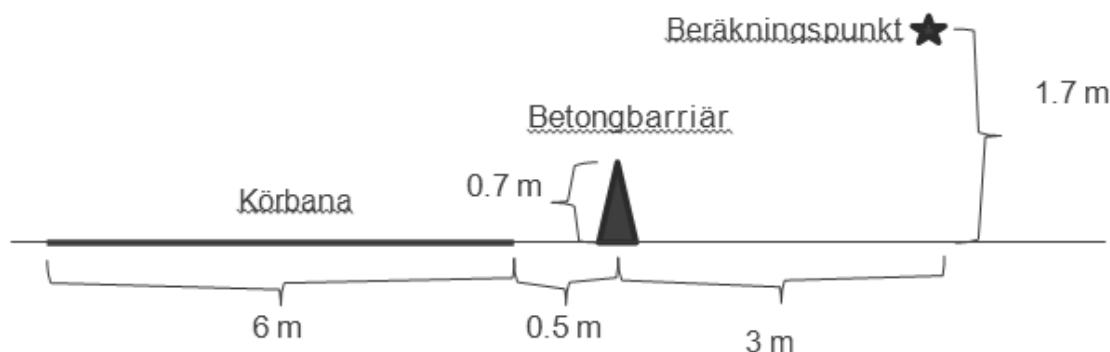
Utredningen syftar till att analysera effekten på bullernivån av en höjd hastighetsgräns från 70 km/h till 80 km/h vid vägarbetsområden. Utredningen avser vägarbetarens arbetsmiljö vid vägarbetsområden.

Ljudnivån i beräkningspunkten beräknas för fyra olika fall:

- Utan betongbarriär. Hastighet 70 km/h.
- Med betongbarriär. Hastighet 70 km/h.
- Utan betongbarriär. Hastighet 80 km/h.
- Med betongbarriär. Hastighet 80 km/h.

För samtliga fall passerar 20 000 fordon per dygn varav 10 % är tunga fordon.

I Figur 6.1 nedan redovisas de geometriska förhållanden som ligger som grund för beräkningarna.



Figur 6.1. Beskrivning av förutsättningen för analysen.

6.1 Nuvarande krav för buller

Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller AFS 2005:16 3 § gäller insats- och gränsvärden enligt Tabell 6.1.

Tabell 6.1 Insats- och gränsvärden för buller enligt AFS 2005:163 §.

	Undre insatsvärde	Övre insatsvärde	Gränsvärde
Daglig bullerexponeringsnivå $L_{AE,8h}$ [dB]	80	85	85
Maximal ljudtrycksnivå L_{pAFmax} [dB]	-	115	115
Impulstoppvärde L_{pCpeak} [dB]	135	135	135

Vid tillämpning av insatsvärdena skall hänsyn inte tas till eventuell användning av hörselskydd. Vid tillämpning av gränsvärdena skall, i de fall arbetstagarna bär hörselskydd, hänsyn tas till dämpningen hos dessa när bullerexponeringen bestäms.

6.2 Analys av buller

Beräkning av ekvivalent och maximal ljudnivå har utförts enligt den nordiska beräkningsmodellen för vägtrafikbuller (Naturvårdverket 1996) mha. beräkningsprogrammet Buller väg II version 1.2.5. Vald beräkningsmodell används vid bedömning av trafikbullernivåer vid exempelvis bostäder och bedöms vara den bäst lämpad även i aktuellt fall. Det bör dock konstateras att modellen är avsedd för större avstånd mellan väg och mottagare. Dämpningen på grund av skärmar kan överskattas då avståndet mellan väg och skärm eller mellan skärm och mottagare är mindre än 10 m.

Väg och betongbarriär förutsätts vara raka och oändligt långa. Marken förutsätts vara platt och akustiskt hård.

Beräknad ekvivalentnivån avser den dygnsekvivalenta ljudnivån för ett dygn med 20 000 fordonspassager, vilket motsvarar ekvivalentnivån under en timma då 833 fordon passerar.

Redovisad maximal ljudnivå avser den som statistiskt sett överskrids av 5 % av alla tunga fordon.

Den dagliga bullerexponeringsnivån, L_{8h} , beräknas enligt Ekvation 10 (AFS 2015:16).

$$L_{AEX,8h} = L_{pAeq,Te} + 10\log(T_e/T_0) \quad (10)$$

Där:

$L_{pAeq,Te}$ = energiekvivalent medelvärde av en varierande A-vägd ljudtrycksnivå under en given tidsperiod T_e . Anges i enheten dB. (Exempel på skrivsätt: $L_{pAe,4} = 85$ dB, om exponeringstiden är 4 timmar).

T_e = den dagliga exponeringstiden uttryckt i timmar

$T_0 = 8$ timmar

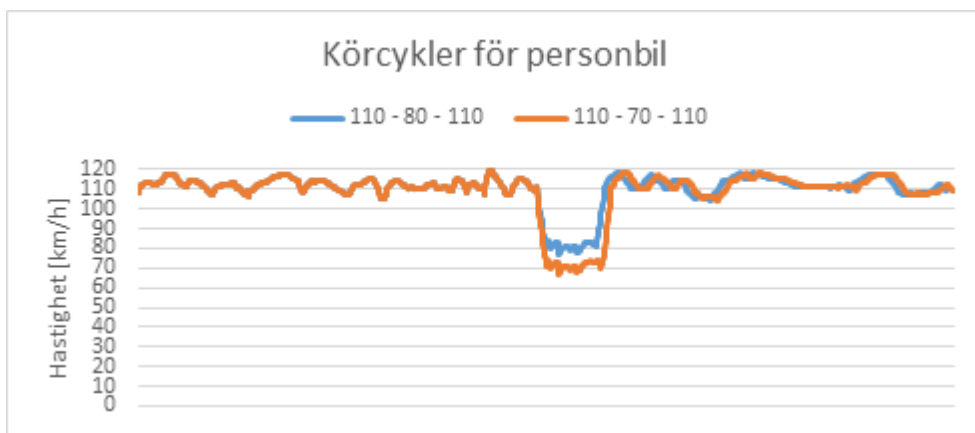
Då $T_e = T_0 = 8$ timmar blir $L_{8h} = L_{pAeq,Te}$. Redovisade värden förutsätter att $T_e = 8$ timmar.

Tabell 6.2 Resultat av beräkningarna för buller vid 70 km/h respektive 80 km/h.

	70 km/h	80 km/h
Utan betongbarriär	$L_{AEX,8h}$ 74 / L_{AFmax} 88 [dB]	$L_{AEX,8h}$ 76 / L_{AFmax} 89 [dB]
Med betongbarriär	$L_{AEX,8h}$ 73 / L_{AFmax} 87 [dB]	$L_{AEX,8h}$ 75 / L_{AFmax} 87 [dB]

7 Emissionsanalys för vägarbetsområde

För att bestämma det eventuella emissionstillskottet vid en hastighetsförändring av den här typen användes "The Handbook Emission Factors for Road Transport" HBEFA (Hausberger et. al., 2010) för att ta fram sex olika körcykler. Handboken (HBEFA) ger emissionsfaktorer för alla aktuella fordonskategorier (personbilar, lastbilar utan släp, bussar, lastbilar med släp och motorcyklar), var och en indelade i olika kategorier, till ett brett utbud av trafiksituationer. Emissionsfaktorer för alla reglerad och de viktigaste icke-reglerade föroreningar samt bränsleförbrukning och CO₂ ingår. Detta då det, i och med att maxhastigheterna för de tre fordonen är olika¹, uppstod två fall per respektive fordon, se Figur 7.1.



Figur 7.1 Körcyklernas utseende för fallet personbil. Sträckan för vägomledningen är satt till 2 km.

När körcyklerna väl var framtagna kunde simulering för de olika scenariona göras med hjälp av PHEM² (Hausberger, 2010). Körningarna gav resultat för bränsleåtgången enligt Tabell 7.1-7.3. Tabellerna är uppdelade enligt standarderna för europeiska utsläppsnormer som definierar acceptabla gränser för avgasutsläpp av nya fordon som säljs i EU-länderna. Utsläppsnormerna definieras i en rad EU-direktiv och iscensätter det gradvisa införandet av allt striktare normer. Dessa är betecknade från Euro 0 som infördes 1988 till Euro 6 som infördes 2013.

Tabell 7.1 Ökning av bränsleförbrukning som uppstår om en personbil håller 80 km/h istället för 70 km/h. Översta raden i tabellen är en personbil som drivs på bensin, och den undre är en som drivs på diesel.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
-0,30 %	-0,08 %	-0,15 %	-0,24 %	-0,45 %	-0,39 %	-0,69 %
-0,12 %	-0,15 %	-0,33 %	-0,11 %	-0,77 %	-0,78 %	-0,84 %

¹ 80 km/h för lastbil med släp, 90 km/h för lastbil utan släp och 110 km/h för personbil.

² Passenger Car and Heavy Duty Emission Model

Tabell 7.2 Ökning av bränsleförbrukning som uppstår om en lastbil med släp håller 80 km/h istället för 70 km/h.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
-1,29 %	-1,13 %	-1,17 %	-0,67 %	-1,07 %	-1,07 %	-0,89 %

Tabell 7.3 Ökning av bränsleförbrukning som uppstår om en lastbil utan släp håller 80 km/h istället för 70 km/h.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
-0,59 %	-0,46 %	-0,47 %	-0,36 %	-0,60 %	-0,60 %	-0,53 %

För emissionerna av NOx gav körningarna resultatet enligt Tabell 7.4-7.6.

Tabell 7.4 Emissionstillskottet av NOx som uppstår om en personbil håller 80 km/h istället för 70 km/h. Översta raden i tabellen är en personbil som drivs på bensin, och den undre är en som drivs på diesel.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
0,31 %	1,24 %	-1,69 %	-1,93 %	-0,50 %	0,36 %	1,35 %
-0,24 %	-0,23 %	-0,35 %	-0,16 %	-0,96 %	-0,97 %	-3,27 %

Tabell 7.5 Emissionstillskottet av NOx som uppstår om en lastbil med släp håller 80 km/h istället för 70 km/h.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
-1,17 %	-0,66 %	-0,69 %	-2,20 %	-0,27 %	-0,21 %	1,69 %

Tabell 7.6 Emissionstillskottet av NOx som uppstår om en lastbil utan släp håller 80 km/h istället för 70 km/h.

Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
-0,53 %	-0,43 %	-0,54 %	-1,50 %	0,12 %	-1,92 %	0,46 %

Genom att ta hänsyn till hur stor andel respektive fordonstyp representerar av den totala fordonsflottan för år 2015, erhålls Tabell 7.7.

Tabell 7.7 Sammanvägning av alla emissioner baserat utifrån data om fordonsflottan³. Förklaring: PB – Personbil, LBU – Lastbil utan släp och LBS – Lastbil med släp.

Sammanvägning av FC				Sammanvägning av NOx			
PB (b)	PB (d)	LBU	LBS	PB (b)	PB (d)	LBU	LBS
-0,36 %	-0,76 %	-0,54 %	-0,98 %	-0,60 %	-1,02 %	-1,10 %	-0,22 %

³ Data om fordonsflottans sammansättning är tagen från HBEFA (Hausberger, 2010).

Ovanstående tabeller ger således resultatet att den höjda hastighetsgränsen inte skulle leda till ett emissionstillskott; utan i själva verket sker en minskning av emissioner. Storleken på den procentuella minskningen är lite missvisande då den övriga körningen (den som inte görs i överledningens syfte) är inräknad i beräkningarna, se återigen Figur 7.1.

Hade fokus enbart legat på överledningen så hade de relativa skillnaderna varit större.

Varför sker då en minskning av emissioner? Genom att undersöka rena simuleringar i PHEM syns att om accelerationen blir tillräckligt liten (bortom vad som är realistiskt), så kan man göra en emissionsvinst för de lägre EURO-klasserna (< EURO 4). Samma sak kan inte sägas om de högre EURO-klasserna, då de enligt PHEM är bränsleoptimerade för en högre cruisinghastighet än 70 km/h

8 Diskussion och slutsatser

Resultaten från litteraturstudien är inte speciellt omfattande. Några få studier har hittats som omfattar den aktuella frågeställningen. Dessa har dock den omvända ansatsen att ta fram en så optimal utformning som möjligt vid överledning. Finns någon enstaka liknande studie, men den omfattar bara en konfiguration och presenterar inte något exakt svar på kapacitetsreduktionen vid överledning.

Vid försöket i Göteborg (Varla) uppmättes genomströmningen i fyra olika typfall under 6 dagar. Även kapaciteten beräknades utifrån normalförhållanden på platsen. Resultatet blev att den empiriskt beräknade kapacitetsreduktionen stämmer väl överens med den ansatta reduktionen på 0,95 vid överledning. Till detta läggs en ny parameter i form av hastighetsdämpande åtgärd. Korrektionsparameter har tagits fram för tre olika varianter, chikan, vävning och tryckning. Detta gör att modellen kan användas generellt för de olika konfigurationerna. Den nya modellen med hastighetsdämpning blir således enligt Ekvation 11.

$$q_{DoU}^i = f_{vr} \cdot f_{öl} \cdot f_{hd} \cdot f_{rkf} \cdot f_{p50} \cdot f_l \cdot f_{kfb} \cdot f_t \cdot q_{rev} \quad (11)$$

Där:

q_{rev} = kapacitet (fordon/t) eller brytpunktsflöde (fordon/t)

f_{vr} = korrigeringsparameter för avstängd vägren

$f_{öl}$ = korrigeringsparameter överledning

f_{hd} = korrektion för hastighetsdämpning i form av exempelvis chikan innan överledning

f_{rkf} = korrigeringsparameter reduktion av antal körfält

f_{p50} = korrigeringsparameter pendlingstrafik

f_l = korrigeringsparameter för längd på arbetsområdet

f_{kfb} = korrigeringsparameter för körfältsbredd

f_t = korrigeringsparameter för vägarbetstyp

Resultatet från bulleranalysen ger att med en förändrad hastighetsgräns från 70 km/h till 80 km/h ökar den dagliga bullerexponeringsnivå med ca 2 dB och den maximala ljudtrycksnivån är i princip oförändrad. Betongbarriären dämpar ljudet med ca 1 dBA i aktuell beräkningspunkt 3 m från betongbarriär, 1,7 m över mark. Med tanke på att beräkningsmodellen troligtvis överskattar skärmverkan så har betongbarriären förmodligen inte någon större bullerdämpande effekt.

Med de förutsättningar som har använts i analysen klaras Arbetsmiljöverkets insats- och gränsvärden oavsett om hastigheten är 70 km/h eller 80 km/h respektive om betongbarriär är på plats eller ej.

Resultatet från emissionsanalysen är att den höjda hastighetsgränsen inte skulle leda till ett emissionstillskott; utan i själva verket en minskning av emissioner.

Efter delprojektet DUKAT II har fyra av åtta parametrar för motorväg validerats, se Tabell 8.1.

Tabell 8.1 *Korrigeringsparametrar för motorväg vid olika utformning av vägarbetsområdet.*

Korrigeringsparameter	Bedömd kvalitet
Avstängd vägren (f_{vr})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Överledning ($f_{öl}$)	Mycket god (Efter utförd validering.)
Reduktion av antalet kf (f_{rkf})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Hastighetsdämpning (f_{hd})	Mycket god (Efter utförd validering.)
Pendlingstrafik < 50 % (f_{p50})	God (Flera studier som ger resultat i samma storleksordning.)
Längd vägarbete > 2000 m (f_l)	Medelgod (Endast Dansk referens.)
Körfältsbredd (f_{kfb})	Medelgod (Endast Dansk referens.)
Typ av vägarbete (f_t)	Låg (Huvudsakligen taget från GB och USA, vilka har en mycket mer generös utformning av mittremsor och vägrenar etc. Utfallet ser sannolikt annorlunda ut i Sverige.)

De olika konfigurationer eller reduktionsparametrarna som ännu inte är verifierade bör dock löpande studeras för att kalibrera och förbättra modellen. Detta kan göras antingen via de MCS-portaler som finns på just den delen av vägnätet eller med en enkel videoupptagning som sedan används för att beräkna flöden. Utifrån Tabell 5.1 bedöms längd och bredd på vägarbetsområdet men även typ av arbete och avskärmning av vägarbetsområdet vara de fyra mest viktiga återstående parametrarna som bör kalibreras och valideras.

Längden och bredden på vägarbetsområdet baseras idag endast på de Danska råden, dessa har antagits vara mest adekvata för att det är ett nordiskt grannland. De Danska råden för längd på vägarbetsområdet skiljer sig dock åt från studier gjorda på andra platser i världen, som visar på motsatta effekter. Av denna anledning skulle det vara av vikt att studera denna parameter. Bredd på körfälten är en viktig parameter och ger en stor reduktion vid riktigt smala körfältsbredder, därför är det av vikt att denna parameter är så korrekt som möjlig.

De olika typerna av vägarbete är, enligt de Brittiska och Amerikanska riktlinjerna, av stor betydelse, dock är det troligt att de inte har samma ordning eller storlek pga. att utformningen av väganläggningen ser olika ut jämfört med Sverige. Därför bör en genomgång av dessa göras och fältmätningar utföras för att rangordna dem rätt. Därefter bör en kalibrering och validering ske.

En parameter som enligt litteraturstudien har stora effekter är avskärmning av vägarbetsområde, som i vissa studier gett så mycket som 10 % ökad kapacitet. För att

kvantifiera denna korrigeringsparameter för svenska förhållanden ska en före- och efterstudie ske på ett antal vägarbetsobjekt under 2016.

En annan frågeställning som behöver studeras utförligare är hur användandet av olika vägarbetskonfigurationer bör se ut samt vilka krav som bör ställas beroende på flödesnivå. Detta skulle kunna tas fram baserat på Calmar-beräkningar (Strömgren 2015) kompletterat med fördröjningskostnad och kostnad för olika utformningar av vägarbetsområden.

En ytterligare viktig del är att studera vägarbetsområden på 2+1-vägar, som påverkas betydligt vid vägarbeten.

Referenser

- Al-Kaisy, A., Hall, F. (2003). Guidelines for Estimating Capacity at Freeway Reconstruction Zones, *Journal of Transportation Engineering*, Volume 129, Issue 5, pp 572-577.
- Al-Kaisy, A., Zhou, M., & Hall, F. (2000). New Insights into Freeway Capacity at Work Zones: An Empirical Case Study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, volume 1710, 154-160.
- BAST (2011), *Ausführungshinweise zum Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen*. Bundesanstalt für Straßenwesen. Version Maj 2011.
- Dixon, K., Hummer, J., & Lorscheider, A. (1996). Capacity for North Carolina Freeway Work Zones. *Journal of the Transportation Research Board*, volume 1529, 27-34.
- DMRB (2003). *DESIGN MANUAL FOR ROADS AND BRIDGES*, Vol. 8, Sec 4, Part 6. TA 92/03 Crossover and changeover design. The Highways Agency. Storbritannien.
- Dudek, C. L., Richards, S. H., and Buffington, J. L. (1985), "Improvements and New Concepts for Traffic Control in Work Zones, Vol. I: Four Lane Divided Highways." Report FHWA-RD-85-034, Federal Highway Administration, Washington, DC (1985)
- Dudek, C. L. (1984), "Notes on Work Zone Capacity and Level of Service." Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, TX (1984).
- Furda, D. & Saffarian, B. (2013). *Work Zone's Capacity Estimation and Investigation of Potential of Dynamic Merge Systems*. Linköpings Universitet.
- Greibe, P. (2015). *Kapacitet på motorveje, Kapacitet vid kortvarige afspærringer og forskellige sporkonfigurationer*. Version 24 Augusti. Trafitec Scion-DTU.
- Hausberger, R. L. (2010) *User guide for the model PHEM*. TU Graz, Österrike.
- Hausberger S., Rexeis M., Zallinger M., och Luz R. (2010), *HBEFA 3.1: Hot emission factors (PC, LCV, HDV)*
- Highway Agency (2009), *Traffic Signs Manual, Traffic Safety Measures and Signs for Road Works and Temporary Situations, Part 1: Design*, 2nd edition. Department of Transportation. Storbritannien.

- Homan, T. (2012). Freeway Work Zone Capacity: Empirical Research on Work Zone Capacity in the Netherlands. Master Thesis, Universiteit Twente.
- Jian, Z., Qingxia, L., Liande, Zhong., Jun, X., & Rongui, Z. (2013), Model of Work Zone Capacity of Reconstructed Expressway. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Volume 96, pp 210 – 217.
- Karim, A. & Adeli, H (2003). Radial Basis Function Neural Network for Work Zone Capacity and Queue Estimation. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*. Sept/Okt 2003.
- Kim, T., Lovell, D., & Paracha, J. (2001). A New Methodology to Estimate Capacity for Freeway Work Zones. University of Maryland. Paper No. 01-0566.
- Krammes, R. A. and Lopez, G. O. (1994), "Updated Capacity Values for Short Term Freeway Work Zone Lane Closures." TRR 1442, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC (1994) pp. 49-56.
- McCoy, P. T., & Pesti, G. (2004), Dynamic Late Merge Control Concept for Work Zones on Rural Freeways. Lincoln: Federal Highway Administration.
- Naturvårdsverket (1996). Vägtrafikbuller, Naturvårdsverket rapport 4653.
- Pal, R. & Sinha, K. (1996). Evaluation of Crossover and Partial Lane Closure Strategies for Interstate Work Zones in Indiana. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, volume 1529, 10-18.
- Polus A. & Shwartzman Y. (1999). Flow Characteristics at Freeway Work Zones and Increased Deterrent Zones. *Journal of the Transportation Research Board*, volume 1657, 18-23.
- Rijkswaterstaat (2011), Contraflow, uitvoering groot onderhoud op autosnelwegen met twee rijbanen en twee rijstroken. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 8/12 – 2000.
- Strömgren, P. (2015) Calibration and validation of a Swedish space-time analytical model. Presented at 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. Published in *Transportation Research Procedia* 6 (2015) 158 – 171.
- Strömgren, P., Olstam, J., Wennström, J., Moussa, A. och Lang, J. (2015), Projektrapport DUKAT, version 1.0. Per Strömgren Movea Trafikkonsult AB.

- Trafikverket (2015a), <http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/E18-trafikplats-Kockbacka/>
- Trafikverket (2015b), vägtrafikflödeskartan,
<http://vtf.trafikverket.se/SeTrafikinformation#>
- Trafikverket (2014a), TRVMB, Kapacitet och framkomlighetseffekter, TRV 2013:64343.
http://www.trafikverket.se/contentassets/18ab6d1957f04fa49039b11998c7c016/trvmb_kapacitet_och_framkomlighetseffekter.pdf
- Trafikverket (2014b), Effektsamband för transportsystemet, Bygg om eller bygg nytt, Kapitel 4 Tillgänglighet. Version 2014-04-01.
- Trafikverket (2011), Påverkansgrader och anmälan av TA-planer, hemsida,
<http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Arbete-pa-vag/FIFA---Forbatttrad-infomation-for-arbete-pa-vag/Paverkansgrader/>.
- TRB (2000), Highway Capacity Manual, 4th edition. Transport Research Board.
- TRB (2010), Highway Capacity Manual, 5th edition. Transport Research Board.
- Tsyganov, A., Machemehl, R., & Harrison, R. (2003), COMPLEX WORK ZONE SAFETY, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin 3208 Red River, Suite 200 Austin, TX 78705-2650.
- Tsyganov, A. R., Herman, R., Harrison, R. (1997), "Assessment of Traffic Safety in Zones of Road Works" Research report, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Austin, USA, 1997, p.397.
- Vejdirektoratet (2015). Trafikteknik. Håndbog for Kapacitet og serviceniveau. Vejdirektoratet-Vejreglerådet September 2015.
- Vejdirektoratet (2010). Vejregel. Trafikteknik. KAPACITET OG SERVICENIVEA. Vejdirektoratet. Sept 2010.
- Weng, J., Meng, Q. (2013). Estimating capacity and traffic delay in work zones: An overview. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China.