VTI rapport 1272

Utgivningsår 2026

Data som möjliggörare för kövarning i realtid vid vägarbeten

Viktor Bernhardsson och Ellen Grumert

vti

vti.se/publikationer

VTI rapport 1272

Data som möjliggörare för kövarning i realtid vid vägarbeten

Viktor Bernhardsson

Ellen Grumert

Om inget annat anges är publikationen licensierad enligt CC BY-SA 4.0. Omslaget omfattas inte av licensen.

Unless otherwise stated, the publication is licensed under CC BY-SA 4.0. The cover is not included in the license.

Publikationsuppgifter

Titel

Data som möjliggörare för kövarning i realtid vid vägarbeten

Författare

Viktor Bernhardsson (VTI, https://orcid.org/0000-0003-0767-5169)

Ellen Grumert (VTI, http://orcid.org/0000-0001-5531-0274)

Utgivare

VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut

Serie och nummer

VTI rapport 1272

Utgivningsår

2026

VTI:s diarienummer

2024/0404-8.3

ISSN

0347–6030

DOI

https://doi.org/10.65151/vti960218

Projektnamn

Implementering av kövarning vid vägarbeten. Datas roll i processen

Uppdragsgivare

Trafikverket

Publication information

Title

Data as an enabler for queue warning in real time at roadworks

Author

Viktor Bernhardsson (VTI, https://orcid.org/0000-0003-0767-5169)

Ellen Grumert (VTI, http://orcid.org/0000-0001-5531-0274)

Publisher

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

Publication number

VTI rapport 1272

Published

2026

Registration Number, VTI

2024/04/048.3

ISSN

0347–6030

DOI

https://doi.org/10.65151/vti960218

Project

Implementation of queue warning at roadworks. The role of data in the process

Commissioned by

Swedish Transport Administration

Kort sammanfattning

Drygt en fjärdedel av alla trafikolyckor vid vägarbeten i Sverige är upphinnandeolyckor, ofta till följd av att trafikanter inte uppmärksammar köbildning eller långsamtgående trafik framför sig. För att minska dessa risker införde Trafikverket krav på intelligenta transportsystem (ITS) vid vissa vägarbeten, däribland kövarningssystem i realtid. En effektiv implementering av kövarning förutsätter kunskap om hur trafiken vid vägarbeten påverkas med och utan kövarning.

Syftet med studien har varit att undersöka vilka datakällor som idag finns tillgängliga för att stödja implementering av kövarning vid vägarbeten och hur dessa kan användas för planering, drift och uppföljning. Studien har även identifierat mätmetoder och mått som kan stödja utformning och styrning av kövarningssystem.

Studien kombinerar en genomgång av befintlig kunskap och internationella erfarenheter (state-of-the-art) med analyser av tre svenska vägarbeten där kövarning tillämpats i praktiken: E20 vid Örebro, E22 vid Lund och E6 vid Vellinge. Data från kövarningssystemen och kompletterande trafikdatakällor har analyserats, och dialoger har genomförts med entreprenörer, teknikleverantörer och representanter från Trafikverket.

Resultaten visar att många kövarningssystem idag baseras på hastighetsmätningar från mobildata, vilket möjliggör övervakning av trafiktillstånd över längre vägsträckor utan behov av fast utrustning i vägmiljön. Samtidigt identifierades begränsningar kopplade till datatäckning, transparens och möjligheterna att utvärdera systemens prestanda. För uppföljning och utvärdering framstår därför fasta sensorer eller videobaserade mätningar som lämpliga, medan mobil- och fordonsdata är användbara för aktivering och inaktivering av kövarning eftersom de möjliggör identifiering av köutbredning i realtid.

Studien visar också att systemutformning, skyltplacering och val av aktiveringsgränser i stor utsträckning baseras på erfarenhet snarare än systematiska analyser av trafikdata. Uppföljning och utvärdering av systemen sker dessutom endast i begränsad omfattning. En central rekommendation är därför att genomföra pilotstudier där flera datakällor jämförs parallellt. Detta skulle öka kunskapen om datakvalitet, osäkerheter och användbarhet och därmed skapa bättre förutsättningar för en mer effektiv och kunskapsbaserad implementering av kövarning vid vägarbeten.

Nyckelord

Kövarning, ITS, vägarbete, datakällor, trafiksäkerhet, framkomlighet

Abstract

More than one quarter of all roadwork-related crashes in Sweden are rear-end collisions, often caused by drivers failing to recognize queue formation or slow-moving traffic ahead. To reduce these risks, the Swedish Transport Administration (Trafikverket) introduced requirements for Intelligent Transport Systems (ITS) at certain roadworks, including real-time queue warning systems. Effective implementation of queue warning requires an understanding of how traffic conditions are affected by roadworks with and without queue warning and how available data can support planning, operation, and evaluation.

The aim of this study was to investigate which data sources are currently available to support the implementation of queue warning systems at roadworks and how these data can be used throughout the process. The study also identified measurement methods and performance indicators that can support the design and management of queue warning systems.

The study combines a review of existing knowledge and international experiences with analyses of three Swedish roadwork projects where queue warning systems were implemented in practice: E20 near Örebro, E22 near Lund, and E6 near Vellinge. Data from the queue warning systems and complementary traffic data sources were analysed, and discussions were conducted with contractors, technology providers, and representatives from the Swedish Transport Administration.

The results show that many current queue warning systems are based on speed measurements derived from mobile data, enabling traffic conditions to be monitored over extended road sections without fixed roadside equipment. However, limitations were identified regarding data coverage, transparency, and the ability to evaluate system performance. Fixed sensors and video-based measurements appear most suitable for evaluation purposes, while mobile and vehicle-based data are useful for activating and deactivating queue warning because they enable real-time detection of queue development.

The study also shows that system design, warning sign placement, and activation thresholds are largely based on experience rather than systematic traffic data analyses. A key recommendation is therefore to conduct pilot studies in which multiple data sources are evaluated in parallel to support a more efficient and evidence-based implementation of queue warning systems at roadworks.

Keywords

Queue warning, ITS, roadworks, data sources, traffic safety, traffic efficiency and throughput

Innehållsförteckning

Publikationsuppgifter **4**

Publication information **5**

Kort sammanfattning **6**

Abstract **7**

Förord **10**

1. Introduktion **11**

1.1. Syfte och mål 11
1.2. Metod 11
1.3. Avgränsningar 12
1.4. Rapportstruktur 12

2. Bakgrund **13**

3. State-of-the-art: Befintliga kövarningssystem **14**

3.1. Kövarning i Sverige 14
3.2. Tekniska lösningar 15
3.3. Tidigare dokumenterade utvärderingar av kövarningssystem 16
3.3.1. Fältförsök i Sverige 16
3.3.2. Internationella erfarenheter 17

4. Trafikdata **19**

5. Beskrivning av de tre fallstudieobjekten **21**

5.1. Fallstudieobjekt 1: E20 Örebro 21
5.2. Fallstudieobjekt 2: E22 Lund Norra och Lund Södra 22
5.3. Fallstudieobjekt 3: E6 Vellinge 24
5.4. Huvudsakliga egenskaper för de studerade vägarbetena 26

6. Erfarenheter från de studerade fallstudieobjekten **27**

6.1. Analys av vägarbetsplatserna utifrån data 27
6.1.1. Fallstudieobjekt 1: E20 Örebro 27
6.1.2. E22 Lund 30
6.1.3. E6 Vellinge 33
6.2. Observationer från dialoger med berörda aktörer från fallstudieobjekten 35
6.2.1. Projektering – innan kövarningens aktiva fas 35
6.2.2. Uppföljning - under kövarningens aktiva fas 36
6.2.3. Analys – efter kövarningens aktiva fas 37
6.2.4. Övrigt att notera 37

7. Diskussion **38**

7.1. Metod för uppskattning av kölängd behöver förtydligas 38
7.2. Antalet VMS-vagnar behöver baseras på uppskattad maximal kölängd 38
7.3. Gränsvärdet för när kövarning ska aktiveras behöver anpassas utifrån verkliga data 38
7.4. Val av tilläggstavla bör studeras mer 38
7.5. En ökad tydlighet behövs för vem som är ansvarig för vad 39
7.6. Tydlighet kring nyttan 39

7.7. Efterlevnad, acceptans och kompletterande åtgärder 39
7.8. Uppföljning under och efter projektet 39
7.9. Val av data för analys innan, under och efter vägarbetet 39
7.10. Alternativa tjänster 40
8. Slutsatser 41
9. Fortsatt forskning 43
Referenser 45

Förord

Denna rapport presenterar resultaten från projektet *Implementering av kövarning vid vägarbeten – datas roll i processen*. Projektet har genomförts av Viktor Bernhardsson och Ellen Grumert vid VTI. Till projektet har en referensgrupp varit knuten, bestående av representanter från Trafikverket, Elisabeth Lunman och Johan Fischer, samt från Svenska Branschen för Säkrare Vägar (SBSV), Christer Andersson och Thomas Wuopio. Referensgruppens engagemang och värdefulla synpunkter har bidragit till projektets genomförande och resultat.

En central del av projektet har varit att skapa förståelse för hur kövarning vid vägarbeten används i praktiken idag och vilka möjligheter entreprenörer och andra aktörer har att använda olika typer av datakällor i arbetets olika skeden – före, under och efter implementeringen av kövarningssystem. För att kunna studera dessa frågor har projektet följt tre vägarbetsprojekt där kövarning varit implementerad. Detta har gett värdefulla insikter om vilka data som används i dagens kövarningslösningar och hur dessa data kan bidra till planering, drift och uppföljning.

Vi vill därför rikta ett stort tack till de organisationer och personer som generöst har delat med sig av sina erfarenheter och sin kunskap under projektets gång. Ett särskilt tack riktas till Road Rental genom Fanny Enoksson och Urban Nordengren, Trafikverket genom Stefan Semb, Peab genom Anncatrin Elversson, Tom Nordlindh och Anders Weddig samt Lambertsson genom Martin Allawi.

Projektet har även omfattat analyser av data från NIRA, Google och motorway control system (MCS) för att undersöka hur dessa datakällor kan användas inom kövarning vid vägarbeten. Vi vill tacka Johan Kälvesten, Pontus Jönrup och Johan Petersson på NIRA samt Fredrik Lindblom på Trafikverket för dataleveranser, värdefulla diskussioner och svar på frågor under projektets gång. Googledata har tillhandahållits via deras API (Google LLC, u.å.).

Dessutom har data från kövarningssystemen vid de studerade vägarbetsplatserna tillhandahållits för analyserna. Ett varmt tack riktas till Peter Hammarström på Berlex och Per Lundborg på Ramudden för leverans av data samt för deras hjälp med att besvara frågor och bidra med kunskap om systemens funktion och användning.

Linköping, juli 2026

Ellen Grumert
Projektledare

Granskare/Examiner

Kajsa Weibull, VTI.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Publikationen godkänd för publicering/Publication approved for publication

Jonas Jansson, VTI.

1. Introduktion

Drygt en fjärdedel av alla olyckor vid vägarbeten är upphinnandeolyckor(Liljegren, 2023). Dessa sker ofta i form av kökrockar där den påkörande trafikanten inte uppmärksammat att trafiken framför står stilla eller rör sig långsamt. Underhålls- och investeringsarbeten där trafiken leds om på befintlig väg innebär dessutom framkomlighetsproblem, eftersom ett eller flera körfält kan behöva stängas av. På statliga vägar med hög hastighet medför detta risk för plötsliga köslut och långsamtgående trafik, vilket ytterligare ökar risken för kökrockar. De samhällsekonomiska kostnaderna för försämrad framkomlighet och trafikskador vid vägarbeten kan därför bli betydande, vilket skapar behov av förebyggande åtgärder.

Vid stationära vägarbeten används tillfälliga trafikanordningar för att i god tid varna trafikanter för om det pågående vägarbetet och därigenom minska risken för olyckor och skydda både vägarbetare och trafikanter. Fast utmärkning med reflexfolieskyltar uppfyller gällande krav i föreskrifter och regelverk, men saknar funktionalitet för realtidsbaserade förvarningar som kan anpassa budskapet till aktuella förhållanden i vägarbetsområdet.

År 2020 beslutade Trafikverket att införa ITS-lösningar vid vägarbeten i syfte att förbättra trafiksäkerheten och öka framkomligheten för tredje man genom att tillhandahålla korrekt och tillförlitlig information i realtid, exempelvis vid plötsliga köslut (kövarningssystem). Trots beslutet har införandet av ITS för kövarning hittills varit begränsat. Det råder osäkerhet kring hur implementeringen bör genomföras, och för att uppnå en optimalt anpassad lösning krävs en förhandsanalys av vägarbetsplatsen. Detta innefattar bland annat att uppskatta förväntade kölängder, variationer över dygnet, optimal placering och antal dynamiska förvarningsskyltar, lämpliga hastighetsgränser samt andra parametrar. Dessutom är uppföljning både under och efter vägarbetet viktigt för att samla erfarenheter och förbättra framtida system, men görs idag inte in någon större utsträckning.

Ett sätt att erhålla denna kunskap och planera kövarningens utformning är att använda olika datakällor. Dessa kan hämtas från Trafikverket, entreprenörers egna mätningar samt från fordonsdata. Trafikverket har dessutom utvecklat en ”räknesnurra” för uppskattning av kölängder, vilket kan ge underlag för placering av variabla meddelandeskyltar (VMS) med kövarningssymboler i förhållande till vägarbetets startplats. Verktyget används i begränsad utsträckning, men ambitionen är att det ska nyttjas internt på Trafikverket i framtida projekteringsarbeten där kövarning krävs.

1.1. Syfte och mål

Syftet med denna studie är att presentera en tydlig bild av processen för implementering och användning av kövarning vid vägbareten - från planering till avslut, samt att undersöka vilka typer av data som idag är tillgängliga vid implementering av kövarning vid vägarbeten. Dessa datakällor omfattar datakällor från Trafikverket, entreprenörer och fordonsdata. Projektet behandlar faserna före, under och efter vägarbetet för att visa hur data kan användas i respektive fas.

Målet med studien är att identifiera behovet av data i de olika faserna, samt föreslå mätmetoder och mått som är användbara för att optimera kövarningens utformning och styrning. I de fall där befintliga data idag inte är tillräckliga kommer behovet av ytterligare datainsamling att identifieras.

1.2. Metod

För att uppnå studiens syfte och mål har en översikt över befintliga kövarningssystem tagits fram. Dessutom har tre vägarbeten, där kövarning har tillämpats i svenska trafikförhållanden, följts under projektets genomförande. Genom att studera tre vägarbeten med olika förutsättningar och trafikmiljöer har projektet haft möjlighet att belysa de fördelar, utmaningar och begränsningar som Trafikverket och entreprenörer möter vid implementering av kövarning.

Inom ramen för studien har följande moment genomförts:

1. **Genomgång av befintlig kunskap (state-of-the-art)**
   En översikt har genomförts för att identifiera existerande kövarningssystem vid vägarbeten i Sverige och internationellt, inklusive vilka data som krävs, hur systemen fungerar samt vilka styrstrategier som används (det vill säga hur man definierar kö från data och när man väljer att varna för kö). Nederländerna och USA har valts då dessa länder ligger långt fram i utvecklingen av kövarningssystem vid vägarbeten. Dessutom har en översikt gjort över vilka krav som ställs på kövarningssystem i Sverige idag.
2. **Dialog med bransch och myndigheter**
   Samtal har förts med berörda aktörer för att kartlägga hur processen för kövarning vid vägarbeten ser ut i Sverige i dagsläget. Vidare har studien identifierat vilken data Trafikverket och entreprenörer har tillgång till före och under vägarbeten, samt vilka möjligheter det i dagsläget finns att använda realtidsdata för styrning av kövarning.
3. **Analys av tre vägarbeten i Sverige (härefter benämnda fallstudieobjekt)**
   Tillgängliga data från tre pågående vägarbeten i Örebro, Vellinge och Lund har analyserats för att undersöka vilka möjligheter som funnits för analys, uppföljning och styrning med hjälp av kövarning. Fordonsdata från NIRA har inkluderats som ett komplement till befintliga datakällor för att undersöka potentialen i att använda denna typ av data för kövarningsändamål vid vägarbeten. Urvalet av vägarbeten och berörda entreprenörer har tagits fram i samråd med Svenska Branschen för Säkrare Vägar (SBSV) och Trafikverket.

1.3. Avgränsningar

Studien har utgått från de tre vägarbeten som ingår i studien. De slutsatser som kan dras om datatillgänglighet är därför begränsade till vilka data som faktiskt fanns tillgängliga vid dessa specifika vägarbeten under mätperioden. En mer heltäckande kartläggning av alla potentiella tillgängliga data ligger utanför studiens ramar. Inga extra eller anpassade datainsamlingar har gjorts i denna studie.

Val av metoder och mått har baserats på den data som fanns att tillgå under mätperioderna inom ramen för studien, samt på sådana metoder och mått som är enkla att förstå, tillämpa och beräkna. Det är möjligt att mer avancerade och andra metoder finns tillgängliga, men en fullständig genomgång och analys av dessa omfattas inte inom denna studie.

1.4. Rapportstruktur

Rapporten inleds med en bakgrund till kövarningssystem vid vägarbeten i kapitel 2. Därefter presenteras en genomgång av befintlig kunskap och internationella erfarenheter av kövarningssystem, inklusive gällande krav och tekniska lösningar i kapitel 3.

I kapitel 4 beskrivs de trafikdatakällor som kan användas vid planering, styrning och uppföljning av kövarning. Kapitel 5 presenterar de tre vägarbeten som studerats inom projektet och deras huvudsakliga egenskaper.

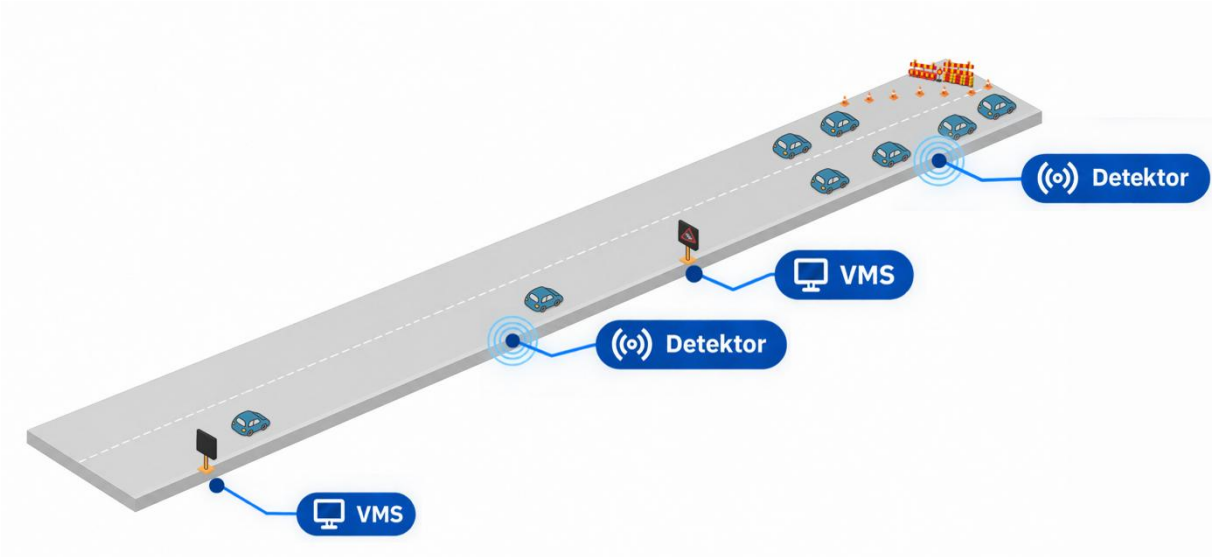
Resultaten från fallstudierna redovisas i kapitel 6. Här analyseras tillgängliga data från kövarningssystemen och kompletterande datakällor, samt erfarenheter från dialoger med entreprenörer, teknikleverantörer och Trafikverket.

I kapitel 7 diskuteras studiens resultat och de viktigaste slutsatserna presenteras. Kapitel 8 innehåller huvudslutsatser och rekommendationer för fortsatt utveckling av kövarningsystem i Sverige och kapitel 9 föreslår framtida forskning inom området.

2. Bakgrund

Kövarningssystem är en teknisk lösning som används för att varna trafikanter om att de närmar sig köbildning, systemen används huvudsakligen för att minska risken för upphinnandeolyckor vid köslut och används vanligtvis i samband med vägarbeten eller andra platser där köer förväntas bildas. Till skillnad från traditionella plåtskyltar som varnar för kö (vägmärke A34) kan ett kövarningssystem aktivera situationsanpassad varning, det vill säga meddelandet visas endast för trafikanterna när det faktiskt är köbildning. Informationsspridning av detta slag ökar medvetenheten om aktuell trafiksituation och ambitionen är att förare anpassar sin körning i samband med att de anländer till kön vilket i sin tur leder till minskad risk för upphinnandeolyckor.

Ett kövarningssystem kan utformas på många olika sätt, men består vanligtvis av detektorer som placeras uppströms vägarbetet eller andra platser där köer förväntas bildas. Detektorerna är vanligtvis anslutna till en central databehandlingsenhet som i sin tur är kopplade till ett varningssystem, exempelvis variabla meddelandeskyltar eller plåtskyltar med blinkande varningsljus. Systemets logik utgår från en analys av detektorernas status (ofta baserat på observerad hastighet) och om kö detekteras (till exempel låg hastighet) visas ett lämpligt varningsmeddelande för ankommande trafikanter. Ett kövarningssystem kan bestå av en eller flera detektorer och skyltar, i Figur 1 illustreras ett exempel på ett kövarningssystem med två variabla meddelandeskyltar som sekventiellt tänds upp om kö detekteras nedströms.(Hallmark, et al., 2020)



Figur 1 Schematisk skiss över ett kövarningssystem, med två detektorer för att observera trafiktillstånd och två variabla meddelandeskyltar (VMS) som tänds upp succesivt om kö detekteras nedströms. (AI-genererad bild genom Microsoft Copilot och ChatGPT)

Genom att öka antalet sensorer kan systemet snabbare identifiera förändringar i trafiksituationen samt förbättra precisionen i uppskattningen av rådande trafikförhållanden. System kan i många fall även kompletteras med information från flera olika datakällor, exempelvis data från fordon (så kallad probedata), vilket möjliggör datainsamling utan behov av fysisk utrustning längs det aktuella vägarbetet.

Från tillämpningar av kövarningssystem i USA (Hallmark, et al., 2020) noteras att detektorer i tätortsmiljö vanligtvis placeras med ett inbördes avstånd på cirka 800 meter och meddelandeskyltar eller motsvarande varningar rekommenderas att placeras ut med ett mellanrum om cirka 1,6 km.

3. State-of-the-art: Befintliga kövarningssystem

Nedan följer en sammanfattning av kunskapsläget för befintliga kövarningssystem. Sammanställningen baseras dels på en överblick över gällande kravställning i Sverige (avsnitt 3.1), dels tillgängliga tekniska lösningar (avsnitt 3.2). Därutöver följer dokumenterade erfarenheter av kövarningssystem både i Sverige och tillsammans med en internationell utblick (avsnitt 3.3).

3.1. Kövarning i Sverige

Sedan 2020 ställer Trafikverket krav på användning av ITS-lösningar vid vägarbeten(Trafikverket, 2020), kraven omfattar förvarning av vägarbeten med lysande VMS, kövarning i realtid samt hastighetspåminnare. Kravställningen för kövarning i realtid vid vägarbeten beskrivs i Trafikverkets tekniska krav för arbete på väg (Trafikverket, 2024). Vid arbeten på vägar med en årsmedeldygnstrafik (ÅDT) som överstiger 10 000 fordon ska kövarning ske i realtid med hjälp av variabla meddelandeskyltar (VMS).

Systemet för kövarning i realtid ska:

- utföras med VMS som visar vägmärke A34 Varning för kö.
- visa vägmärket tillsammans med tilläggstavla T1 Vägsträckans längd eller T2 Avstånd, där avståndet till köslutet uppdateras i realtid när trafikanter behöver varnas för kö.
- visa varningen så länge kövarning är relevant, dock minst en minut efter aktivering.
- ha justerbara parametrar för när kö identifieras och när varningen ska aktiveras.
- när VMS i prismautförande tillämpas ska märket kombineras med två blinkande ljus (SIG 18 Gult) för att påkalla uppmärksamhet om särskilt försiktighet. De blinkande ljusen får endast vara aktiva när kövarningen visas.

Vägmärke A34 Varning för kö ska användas vid risk för köbildning och ska då placeras på båda sidor av vägen eller på båda sidor om berörda körfält i samma färdriktning. Vid arbeten på vägar med ett körfält i färdriktningen som pågår kortare tid än fem dagar behöver märket inte placeras på båda sidor av körbanan. Märket ska placeras på ett sådant avstånd från arbetsområdet att trafikanterna får tillräcklig förvarning innan de når köslutet. Vid behov kan märket behöva upprepas längs den sträcka där kö kan uppstå. Om arbetet bedöms medföra ingen eller endast liten påverkan på trafiken behöver märket inte sättas upp. Ett sådant undantag får dock endast tillämpas efter beställarens godkännande.

För att säkerställa en enhetlig bedömning Trafikverket har tagit fram ett arbetssätt för att utreda om kövarning i realtid ska användas eller ej, arbetssättet är internt och finns inte tillgängligt offentligt. Arbetssättet omfattar i dagsläget enbart vägar med två körfält i färdriktningen där ett av körfälten eller vägrenen stängs av. För andra vägtyper eller mer komplexa trafikmiljöer är metoden inte direkt tillämplig, men behovet av kövarning i realtid ska ändå utredas under projekteringen för att identifiera förutsättningarna.

Arbetssättet bygger på en bedömning som genomförs i sex steg. Först samlas information in om de förutsättningar som påverkar köbildningens uppkomst och utbredning, inklusive typ av åtgärd, trafikmängder och övriga relevanta förhållanden. Beroende på val av åtgärd (chickan, stängda körfält eller avstäng vägren) väljs en tabell som ligger till grund för beräknad kölängd. Kombination av rad och kolumn utifrån ÅDT och trafikmängden under maxtimmen. Tabellen används för att uppskatta den förväntade kölängden och avgöra om kövarning i realtid behövs. Om behov finns ska varningen visas med VMS och placeras så att trafikanterna får tillräcklig framförhållning.

Kövarning i realtid ska inte användas där ett permanent kövarningssystem redan uppfyller behovet, exempelvis Motorway Control System (MCS). Normalt behövs den inte heller på sträckor där köbildning är vanligt förekommande. Undantag kan dock göras om vägarbetet innebär att köslutet riskerar att hamna på en plats med begränsad sikt, exempelvis efter en kurva eller ett backkrön.

3.2. Tekniska lösningar

Det finns flera olika tillverkare och leverantörer som erbjuder system för kövarning. Översiktligt kan dessa system beskrivas som tekniska lösningar som kombinerar detektering av aktuella trafiktillstånd med riktad kommunikation till trafikanterna. Trafikdata samlas in, bearbetas och analyseras i realtid, och när köbildning identifieras informeras trafikanter uppströms om att de närmar sig ett område med nedsatt framkomlighet. Denna kommunikation sker ofta via variabla meddelandeskyltar (VMS), men kan även ske direkt till enskilda trafikanter via exempelvis GPS-enheter eller mobilapplikationer. (Hallmark, et al., 2020)

För detektering av trafiktillstånd används i många system sensorer placerade längs vägen. Exempelvis använder lösningar som tillhandahålls via Saferoad (Saferoad, u.d.) och Nissen(Nissen, 2023) radarsensorer som mäter hastighet och trafikflöden för att identifiera när trafiken blir långsam eller stillastående. När fördefinierade tröskelvärden underskrids skickas information till en central ITS-plattform, varefter trafikanter varnas via VMS-skyltar. Liknande principer återfinns i system från Wanco och Road-Tech Safety Services, där sensorer placeras ut med vissa avstånd och kommunicerar via mobilt bredband eller satellit för att möjliggöra realtidsanalys av trafiken (Hallmark, et al., 2020; Wanco, u.d.). Även mer avancerade sensorer med lång räckvidd används, exempelvis i lösningar från Wavetronix, vilket möjliggör övervakning av längre vägsträckor och tidigare upptäckt av köbildning (Hallmark, et al., 2020).

Utöver traditionella sensorer förekommer system som kombinerar flera datakällor. Exempelvis använder VER-MAC en kombination av portabla sensorer, kameror, väderstationer, Bluetooth och tredjepartsdata från aktörer som Here eller TomTom för att skapa en mer heltäckande bild av trafiksituationen (Hallmark, et al., 2020; VER-MAC, u.d.). På liknande sätt samlar MH Corbin in data om trafikvolym, beläggningsgrad och hastighet via radar och video, men kan även integrera data från befintlig väginfrastruktur. Dessa data analyseras mot fördefinierade tröskelvärden och ligger till grund för aktivering av kövarningssystemet (MH Corbin, u.d.). Det finns även alternativa angreppssätt där fysisk sensorteknik längs vägen inte används, såsom i lösningar från Berlex där systemet enbart baseras på mobildata/GPS för att detektera köbildning (Berlex, u.d.).

Den insamlade datan bearbetas oftast i centrala eller molnbaserade system där algoritmer kontinuerligt analyserar trafiksituationen. Flera aktörer, såsom Wanco och VER-MAC, använder molnbaserade plattformar för att möjliggöra realtidsbedömningar av trafiktillståndet och dynamisk uppdatering av varningssystemen (Hallmark, et al., 2020; Wanco, u.d.). Bedömningarna baseras vanligtvis på tröskelvärden kopplade till hastighet eller trafikstabilitet, och i vissa fall görs även uppskattningar av kölängd och köutbredning för att optimera varningsstrategin.

När ett köläge identifieras aktiveras olika typer av varningar till trafikanter. Den vanligaste lösningen är VMS-skyltar, vilket används brett i system från exempelvis Nissen, Berlex och Mobile VMS (Nissen, 2023; Mobile VMS, 2025). Dessa skyltar kan visa dynamiska och situationsanpassade budskap. I vissa system kompletteras detta med andra typer av varningssignaler, såsom blinkande varningsljus eller taktila lösningar i vägbanan, vilket exempelvis förekommer i system relaterade till arbetszonssäkerhet från Site-Safe (Site-Safe, u.d.). Vidare kan information distribueras via digitala kanaler, exempelvis textmeddelanden, webbaserade plattformar (Hallmark, et al., 2020) eller direkt till uppkopplade fordon via teknik som Dedicated Short-Range Communications (DSRC), vilket möjliggörs i system från bland annat MH Corbin (MH Corbin, u.d.).

Många kövarningssystem är utformade för att vara flexibla och portabla, vilket gör dem särskilt lämpliga vid tillfälliga trafiksituationer såsom vägarbeten. Lösningar från exempelvis VER-MAC, Site-Safe och Street Smart kan snabbt installeras, flyttas och anpassas efter förändrade behov och drivs ofta av solceller (Hallmark, et al., 2020; VER-MAC, u.d.; Site-Safe, u.d.). Denna flexibilitet innebär att systemen kan användas i varierande miljöer under längre tidsperioder.

3.3. Tidigare dokumenterade utvärderingar av kövarningssystem

Baserat på litteratursökningar har dokumenterade erfarenheter av kövarningsprojekt identifierats. Identifierade erfarenheter delas upp på fältförsök i Sverige (delkapitel 3.3.1) och internationella erfarenheter (delkapitel 3.3.2).

3.3.1. Fältförsök i Sverige

Under 2009 genomfördes ett fältförsök i Sverige med ett mobilt kövarningssystem bestående av två variabla meddelandeskyltar (VMS), se Sörensen & Wiklund (2010). Försöket genomfördes på en sträcka av E22 i södergående riktning vid Lund. Den ordinarie hastighetsgränsen på vägen var 110 km/h, men sänktes successivt till 50 km/h i anslutning till vägarbetsområdet. Vägarbetet innebar att ett av körfälten upphörde, vilket medförde att trafiken vävdes samman från två körfält till ett vid arbetsområdet.

Kövarningssystemet baserades på hastighetsmätningar från radarsensorer placerade cirka 400 meter uppströms den punkt där trafiken sammanvävdes till ett körfält. När en hastighet under 50 km/h detekterades aktiverades kövarningssymboler på två VMS-skyltar placerade cirka 1 200 respektive 2 500 meter före sammanvävningspunkten. Varningen avaktiverades när hastigheten åter översteg 65 km/h. Ett exempel på det använda kövarningsmeddelandet visas i Figur 2.

För utvärdering samlades data in med hjälp av slangmätningar i fyra mätsnitt placerade uppströms vägarbetet. Mätsnitten var lokaliserade före, mellan och efter de båda meddelandeskyltarna, vilket möjliggjorde analyser av trafikens utveckling i förhållande till varningssystemet. Mätningar genomfördes under tre dagar utan kövarning och under ytterligare tre dagar med systemet aktiverat.

Studien visade att kövarningssystemet hade en påverkan på trafikanternas hastighetsbeteende under perioder med hög trafikbelastning. Den viktigaste observerade effekten var att hastigheterna blev mer homogena, vilket innebär att skillnaderna mellan långsamma och snabba fordon minskade. Analysen av hastigheternas variationskoefficient visade att spridningen i hastighet reducerades i de flesta av de undersökta mätsnitten uppströms vägarbetsområdet när systemet var i drift. Effekten var särskilt märkbar i de mätsnitt som låg närmast vägarbetet, där hastighetsvariationerna före införandet av systemet var som störst.

Denna minskning av hastighetsspridningen bedömdes ha positiva trafiksäkerhetseffekter. Stora skillnader i hastighet mellan fordon ökar risken för kraftiga inbromsningar, oväntade körmanövrer och upphinnandeolyckor. Genom att förarna i högre grad höll likartade hastigheter minskade behovet av snabba hastighetsförändringar när de närmade sig köslutet vid vägarbetet. Studien drog därför slutsatsen att kövarningssystemet sannolikt bidrog till en säkrare trafikmiljö uppströms arbetsområdet.

Effekterna kunde framför allt observeras under högtrafik, då köbildning och låga hastigheter uppstod tillräckligt ofta för att systemet skulle aktiveras. Under lågtrafikperioderna kunde ingen tydlig förändring påvisas, vilket sannolikt berodde på att trafikförhållandena då redan var relativt stabila och att varningsskyltarna sällan behövde tändas. Resultaten indikerar därmed att systemets nytta främst uppstår i situationer där det finns en reell risk för köbildning och hastighetsstörningar.

Figur 2 Del av mobilt kövarningssystem med LED-skylt på släpvagn som användes vid fältförsöket i Lund, med blinkande varningslampor. Foto: VTI.

3.3.2. Internationella erfarenheter

En internationell utblick visar att tillämpningar av kövarningssystem i vägarbetsområden huvudsakligen har studerats och implementerats som ett svar på återkommande säkerhetsproblem kopplade till köbildning vid körfältsreduktioner och sammanvävningar. Erfarenheterna indikerar att kövarning i första hand fungerar som ett medel för att reducera hastighetsskillnader och därigenom minska risken för upphinnandeolyckor.

Flera studier (Hallmark, et al., 2020; Waldman, et al., 2020; Chitturi, et al., 2020) indikerar att kövarningssystem har positiv effekt på trafiksäkerhet. Hallmark, et al. (2020) har sammanställt ett antal tillämpningar, vilka visar olycksreduktioner i intervallet 22–66 % samt minskningar av incidenter med upp till 66 %. Samtidigt finns studier (Varhelyi, et al., 2019) som visar att de olyckor som inträffade vid vägarbeten med kövarning var mindre allvarliga än olyckor vid vägarbeten där kövarning inte hade tillämpats. Det framhålls dock att variationen är betydande och att resultaten påverkas av såväl systemutformning som trafikförhållanden.

Erfarenheter från tillämpningar visar att kövarningssystem är särskilt lämpade i vägarbetsområden med frekventa körfältsavstängningar (det vill säga en reduktion av antalet körfält), stora hastighetsskillnader och hög förväntad olycksrisk. Nyttorna som identifierats omfattar minskad olycksrisk, fördröjd uppkomst av trängsel samt jämnare hastigheter, vilket i sin tur kan bidra till lägre emissioner (Schroeder, et al., 2021). Dessa nyttor uppstår genom att kövarningssystemet minskar hastighetsvariationer, kraftiga inbromsningar, antalet tvingade körfältsbyten och oönskat beteende. Observationer gör också gällande att systemen ökar avstånd mellan fordonen och förbättrar förarnas medvetenhet om kommande köbildning (Hallmark, et al., 2020). Samtidigt betonas vikten av god synbarhet för systemen, konsekvent skyltning och i möjligaste mån automatiserad drift (Schroeder, et al., 2021). Begränsningar utgörs bland annat av att trafikanter ignorerar budskapet från systemet samt att installation försvåras i trånga miljöer, som exempelvis arbetszoner på broar. Systemet kan också upplevas som administrativt belastande och kräver både tid och kostnader för installation samt utbildning av personal (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine., 2022).

Längs Interstate 80 i Nebraska i USA utvärderades fyra olika system för kövarning, studien visade att samtliga system fungerade tekniskt tillförlitligt, med en felfrekvens mellan 0,7 % och 2,3 % (Zhao & Rilett, 2023). När varningsmeddelanden om köbildning var aktiverade observerades en minskning av medelhastigheten med 6–11 km/h på vägsektioner belägna nedströms meddelandeskyltarna. Detta innebär en cirka 47 % större hastighetsreduktion jämfört med motsvarande situationer utan kövarning.

Resultaten indikerar att kövarningar har en signifikant hastighetsdämpande effekt vid anslutning till köslut. Vidare framkommer att denna effekt inte är tillfällig, utan kvarstod över hela den studerade sträckan.

Ett mer operativt angreppssätt har testats i Indiana (Sakhare, et al., 2023) genom användning av kövarningsfordon (TMA-fordon utrustade med VMS för kövarning). Resultaten visade att kraftiga inbromsningar minskade med cirka 80 % när dessa fordon användes jämfört med situationer utan kövarning. Hastighetsdata indikerade dessutom att trafikanter började sänka farten successivt redan 450–600 meter uppströms varningen. Samtidigt har försöken lyft fram nya risker, eftersom förarna av kövarningsfordonen utsätts för ökad exponering i samband med att fordonen används för att övriga trafikanter.

I sammanhang där körfält reduceras har kövarning ofta kombinerats med strategier för sen sammanvävning. Studier från Michigan och Missouri (Savolainen, et al., 2024) visar att sen sammanvävning enligt blixtlåsprincipen kan bidra till ett effektivare kapacitetsutnyttjande vid högre trafikvolymer, men att utfallet är starkt beroende av förarbeteende och ställer stora krav på hur sammanvävningen kommuniceras till trafikanterna. Genomförda fältförsök visar att användning av portabla dynamiska meddelandeskyltar som tydligt illustrerar hur och var sammanvävning ska ske, ökade andelen förare som stannade kvar i det körfält som upphör jämfört med situationer utan aktiv information. Noterbart är att strategin för sen sammanvävning framförallt anses som ett effektivt verktyg vid hög trafikefterfrågan, vid låg belastning noterades ingen förbättring i framkomlighet jämfört med tidig vävning(Savolainen, et al., 2024). Samtidigt visar en simuleringsstudie av Bouaziz, et al. (2025) att rekommendation om tidigt filbyte kan vara mycket effektivt vid låg trafikbelastning, men inte bör användas vid hög belastning då de kan förvärra trafikläget.

Samma studie (Savolainen, et al., 2024) poängterar också att skyltar med både text och grafik som symboliserade sammanvävningen föredrogs av trafikanterna framför skyltar med enbart grafiska meddelanden. Undersökningar visar att lämplig placering av dynamiska meddelandeskyltar med budskap om att använda båda körfälten, är cirka 1,5 km uppströms avsmalningen. En kompletterande skylt nära sammanfogningspunkten kan användas för att ange var körfältsbytet bör ske. Samtidigt konstaterades att förare generellt föredrar tidig sammanvävning och att detta beteende i praktiken kan vara svårt att förändra fullt ut.

Parallellt pågår försök med mer experimentella lösningar, såsom drönarbaserade kövarningssystem. Preliminära studier av Malveaux, et al. (2020) visar att drönare kan användas för att mäta fordonens hastighet och detektera köslut, men forskningen befinner sig ännu i ett tidigt skede och resultaten är i huvudsak demonstrationsbaserade. Det pågår också arbete baserade på trafiksimuleringsmodeller för att förbättra och effektivisera tillämpningen av kövarningssystem. I en artikel av Zhao, et al. (2022) presenteras en metod för att kalibrera och validera mikrosimuleringsmodeller för att analysera kövarningssystem baserat på empiriska data. Metoden omfattar modelluppbyggnad, simulering av varningsmeddelanden samt kalibrering och validering mot uppmätta restider. Resultaten visar hög noggrannhet och att modellerna kan användas som beslutsstöd, exempelvis för att optimera placering av skyltar, gränsvärden för aktivering och avstånd mellan detektorer.

4. Trafikdata

När det gäller trafikdata vid kövarning handlar det främst om att få tillgång till trafikdata i realtid för att mäta det aktuella trafiktillståndet och därigenom skapa ett underlag för när kövarning bör aktiveras respektive inaktiveras. Dessutom behövs trafikdata i form av historiska data både i planeringsfasen för att utforma en optimal styrstrategi i form av skyltarnas placering och antal, men också som utvärdering i efterhand (och gärna under tiden) för att förstå hur effektiv metoden är och om den aktuella strategin eventuellt behöver justeras för att nyttan av tekniken ska maximeras.

När det gäller data för att estimera aktuellt trafiktillstånd finns flera olika datakällor som kan användas, dels traditionella mätmetoder som exempelvis radar eller pneumatiska slangar. Detta är beprövade metoder där mätutrustningen placeras i vägmiljön och mäter ett begränsat vägavsnitt med hög precision och täckningsgrad. Dessa mätningar är dock begränsade till korta vägavsnitt och är förhållandevis oflexibla eftersom de kräver manuell hantering på plats för att flyttas eller för att mätsträckan ska kunna utökas. På vissa platser finns fasta mätpunkter som mäter trafiken kontinuerligt under årets alla dagar (exempelvis Trafikverkets helårsmätningar, motorway control system (MCS) med dynamiska skyltar i Stockholm, Göteborg och Lund). Dessa kan nyttjas även för tillfälliga lösningar såsom kövarning vid vägarbeten.

Därutöver finns metoder i form av trafikdata från GPS-enheter, mobildata eller uppkopplade fordon. Dessa datakällor täcker betydligt längre sträckor och erbjuder också hög flexibilitet eftersom mätsträckor kan anpassas och justeras efter önskemål via digitala verktyg och kräver ingen manuell hantering av personal ute i vägmiljön. Begränsningar förekommer istället i form av att data inte observerar alla enskilda fordon utan begränsas till ett mindre urval vilket skapar osäkerhet i skattningar av aktuellt trafiktillstånd. Dessutom förekommer osäkerheter i eventuell efterbearbetning och aggregering eftersom transparensen bland dessa datakällor och vilka metoder de tillämpar är inte alltid är så hög.

De flesta datakällor kan generera relevant data både för realtidsmätningar som indata till kövarningssystemet och historiska data för planering och uppföljning. Dock finns vissa begränsningar eftersom alla datakällor inte levererar trafikmässiga egenskaper som behövs för utvärdering (exempelvis trafikflöde). För kövarningsalgoritmerna behövs huvudsakligen hastighetsobservationer eftersom varningen vanligtvis triggas utifrån om medelhastigheten sjunker eller överstiger ett viss förutbestämt gränsvärde. Om data om exempelvis trafikflöde finns tillgänglig kan även andra mått användas, även om detta i praktiken inte görs idag. Ett exempel är trafiktäthet (densitet), som har visat sig vara ett mer stabilt mått än hastighet i närheten av kapacitetssammanbrott och vid bestämning av sammanbrottsgränsen (Papageorgiou, et al., 2008).

Leverantörer som TomTom, Google maps, Inrix och NIRA erbjuder alla tjänster där data kan levereras som realtidsinformation och historiska observationer. Samtliga tjänster tillhandahåller observationer över aktuellt trafiktillstånd i form av hastigheter och restider i realtid som kan användas som underlag till styralgoritmer för kövarningssystem. Leverantörer från TomTom och Inrix erbjuder också trafikflödesdata även om dessa är estimerade och inte faktiskt antal uppmätta fordon.

Kövarningssystem använder vanligtvis sensorer som placeras i vägmiljön för att mäta det aktuella trafiktillståndet och identifiera eventuell köbildning. Samtidigt pågår utvecklingen av alternativa datakällor för ködetektering, där utvärderingar har gett värdefulla insikter om mätsystemens möjligheter och begränsningar.

I en studie från Iowa (Day, et al., 2024) jämfördes prestandan i kövarningssystem baserade på tre olika datakällor: sensorsystem i vägmiljön, segmentbaserade data och data från uppkopplade fordon. Segmentbaserade data utgör aggregerade mått för definierade vägsträckor, medan data från uppkopplade fordon baseras på observationer från individuella fordon som delar information om exempelvis position och hastighet. Jämförelsen visade att segmentbaserade data ofta har hög täckning men sämre prestanda vad gäller fördröjning samt förekomst av missade och falska varningar, men variationer förekommer beroende på segmentens längd. Data från uppkopplade fordon uppvisade bättre tidsmässig precision och färre missade varningar, men var samtidigt begränsad i täckning (särskilt under

lågtrafik). Sensorer i vägmiljön kan registrera en stor andel av trafiken och ger därmed tillförlitliga mätningar av faktiska förhållanden där de är placerade. Enligt Day (2024) begränsas sensorerna dock av att de endast täcker begränsade vägsträckor och kräver ofta manuell hantering för installation i vägmiljön.

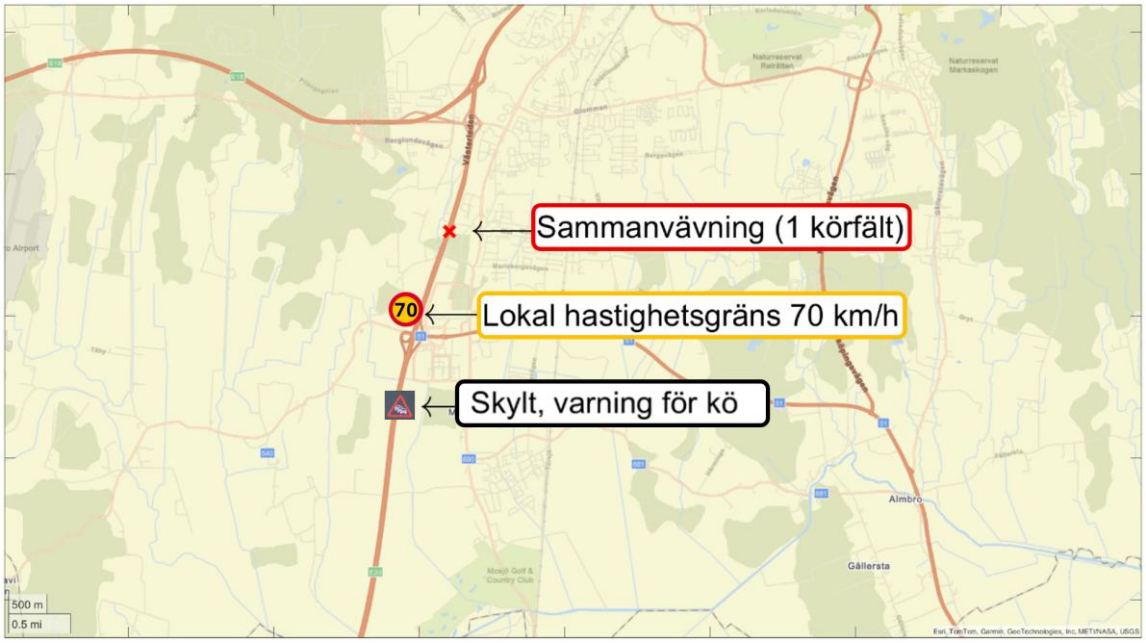
5. Beskrivning av de tre fallstudieobjekten

I detta kapitel beskrivs de tre fallstudieobjekt som ingick i projektet, i samtliga tre fall användes kövarningssystem i realtid med detektering av trafiktillstånd och varning till ankommande trafikanter genom variabla meddelandeskyltar. Urvalet av vägarbeten genomfördes i dialog med branschen. De tre aktuella vägarbetena valdes främst eftersom de genomfördes under den period då projektet pågick. Användningen av kövarningssystem vid vägarbeten är fortfarande relativt begränsad, vilket innebar att antalet möjliga studieobjekt var få.

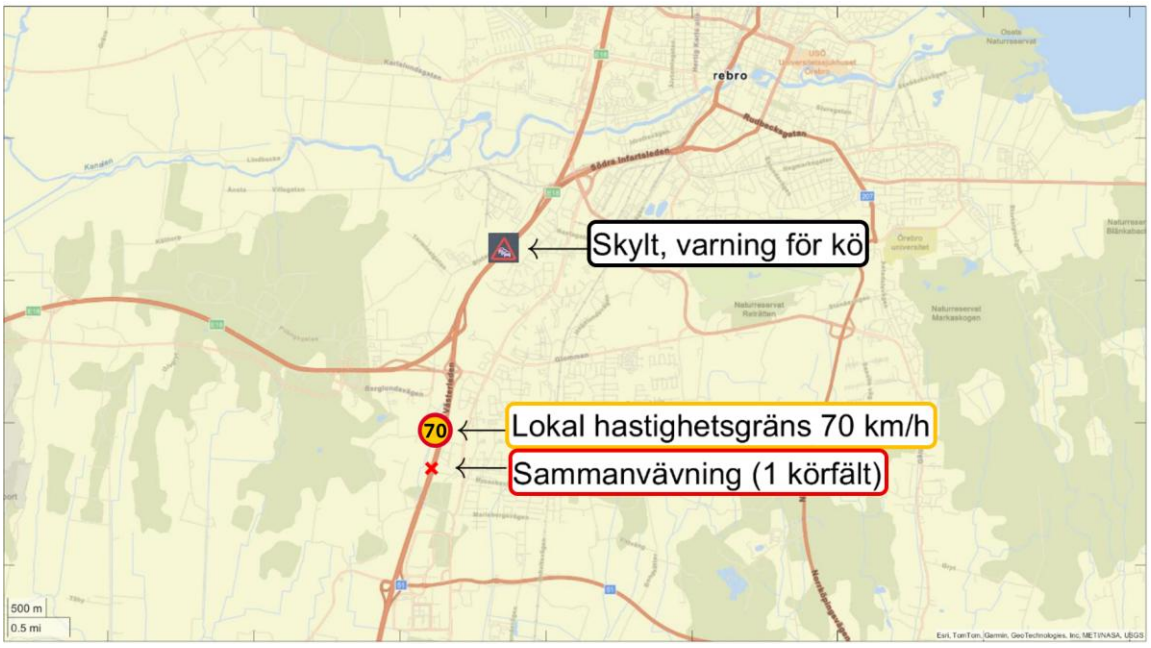
5.1. Fallstudieobjekt 1: E20 Örebro

I samband med att ett körfält stängdes av under byggnationen infördes kövarning i realtid. Tekniken tillhandahölls av Berlex och systemet bestod av en variabel meddelandeskylt (VMS) i vardera färdriktningen. Enligt kravspecifikationen skulle VMS-vagnarna placeras cirka 1 500 meter före vägarbetsområdet, i praktiken placerades dock skyltarna på betydligt längre avstånd. I södergående riktning sattes VMS-skyltarna upp cirka 3 100 meter före sammanvävningen vid vägarbetet, medan de i norrgående riktning placerades cirka 2 400 meter före sammanvävningen. Placeringarna baserades på en bedömning av vad som ansågs vara lämpliga lägen utifrån de lokala förutsättningarna.

I båda riktningar var den ordinarie hastighetsgränsen 110 km/h fram till trafikplats Marieberg (tpl 110) och därefter 90 km/h. Under ombyggnationen infördes en tillfällig hastighetsbegränsning på 70 km/h genom vägarbetsområdet. Figur *3* och Figur 4 visar placeringen av VMS och var den lokala hastighetsbegränsningen började vid vägarbetet.



Figur 3 *Placering av kövarningsskyltar och lokala hastighetsbegränsningar i norrgående riktning i samband med vägarbetet vid Örebro på E20 under våren 2025.*



Figur 4 Placering av kövarningsskyltar och lokala hastighetsbegränsningar i södergående riktning i samband med vägarbetet vid Örebro på E20 under våren 2025.

Vid båda platserna användes vändöglor för att placera skyltarna, eftersom Berlex system enbart använder mobildata/GPS så användes inga sensorer i vägmiljön för att samla in data om trafiktillståndet. För aktivering av kövarningssymbol användes gränsvärden om 50 km/h vid för systemen i båda riktningar. Kövarningssymbolen kompletterades också med blinkande ljus ovanför skylten för att ytterligare förstärka signalen, se Figur 5. Även en tilläggstavla användes för att visa avstånd till kö i intervallet 0-3 km i södergående och 0-2 km i norrgående riktning.

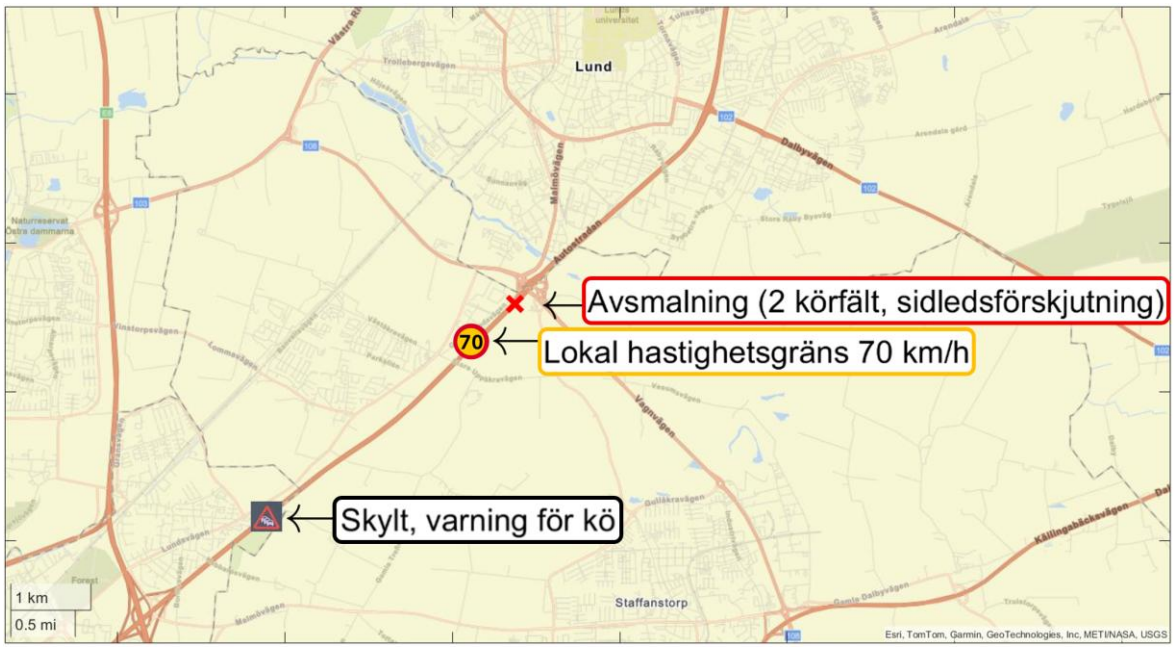
Figur 5 Placering av VMS-skyltar i södergående riktning vid vägarbetet i Örebro. (Foto: Viktor Bernhardsson, AI-bearbetad för upplösning och färgåtergivning med ChatGPT.)

5.2. Fallstudieobjekt 2: E22 Lund Norra och Lund Södra

På E22 genom Lund användes ett kövarningssystem i samband med ombyggnaden av trafikplats Lund södra, där den anslutande väg 108 breddades till 2+2 körfält. Projektet omfattade även arbeten på broarna i området samt anläggandet av ett dagvattenmagasin. Kövarningssystemet var i drift från mitten av 2025 till efter sommaren 2026.

Den aktuella vägsträckan är en motorväg med två körfält i vardera riktningen och en hastighetsgräns på 110 km/h. För att varna trafikanter om köbildning användes totalt tre variabla meddelandeskyltar (VMS), varav två placerades i södergående riktning och en i norrgående riktning.

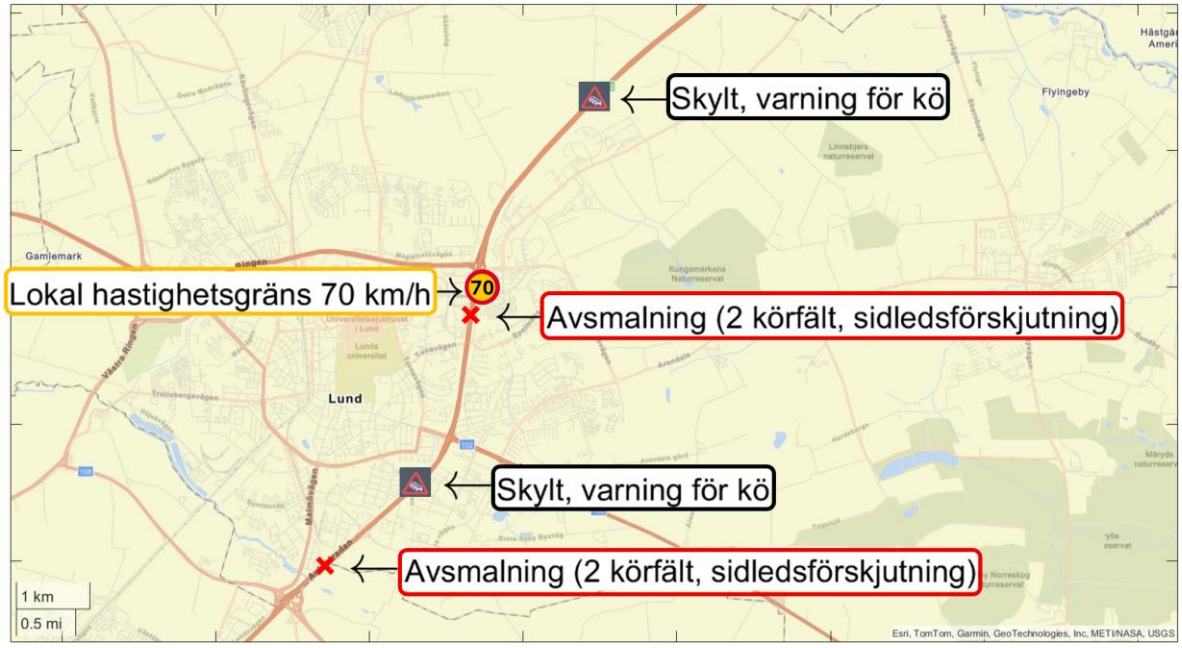
Figur 6 visar placeringen av VMS-skylten i norrgående riktning i förhållande till arbetsområdet. I detta fall utgjordes trafikpåverkan av en avsmalning och sidledsförskjutning av körfälten i samband med vägarbetet, utan att antalet körfält reducerades. VMS-skylten var placerad cirka 4 km före avsmalningen.



Figur 6 Placering av kövarningssystem lokala hastighetsbegränsningar i norrgående riktning vid vägarbetet på E22 förbi Lund.

I södergående riktning placerades två VMS skyltar för aktivering av kövarning vid behov. Den första placerades innan trafiken ankom till Trafikplats Lund Norra, där byggnationen av ett dagvattenmagasin föranledde avsmalningen. VMS skylten placerades 3,5 km uppströms avsmalningen, och precis som för norrgående trafik var båda körfälten öppna men vägen smalnades av och det medförde en sidledsförskjutning i samband med avsmalningen (se Figur 7).

För den andra platsen placerades en VMS ca 1,7 km uppströms avsmalningen vid ombyggnationen av Trafikplats Lund Södra. Återigen var båda körfälten öppna men avsmalning och sidledsförskjutning användes på platsen (se Figur 7). I samband med arbetet reducerades hastighetsgränsen till 70 km/h mellan Lund Norra och Lund Södra i båda riktningar.



Figur 7 Placering av kövarningssystem och lokala hastighetsbegränsningar i södergående riktning vid vägarbetet på E22 förbi Lund.

Vid båda platserna vid Lund Södra placerades VMS-skyltarna vid portaler, se exempel i Figur 8. I likhet med fallstudieobjekt 1 på E20 vid Örebro användes kövarningssystem från Berlex, system baseras på mobildata/GPS så inga sensorer användes i vägmiljön för att samla in data om trafiktillståndet. Gränsvärdet för användes för aktivering av kövarningssymbol var 60 km/h vid samtliga tre platser, motivet för att tillämpa detta gränsvärde var att det inom projektet bedömdes vara mest lämpligt utifrån de lokala förutsättningarna på respektive plats.

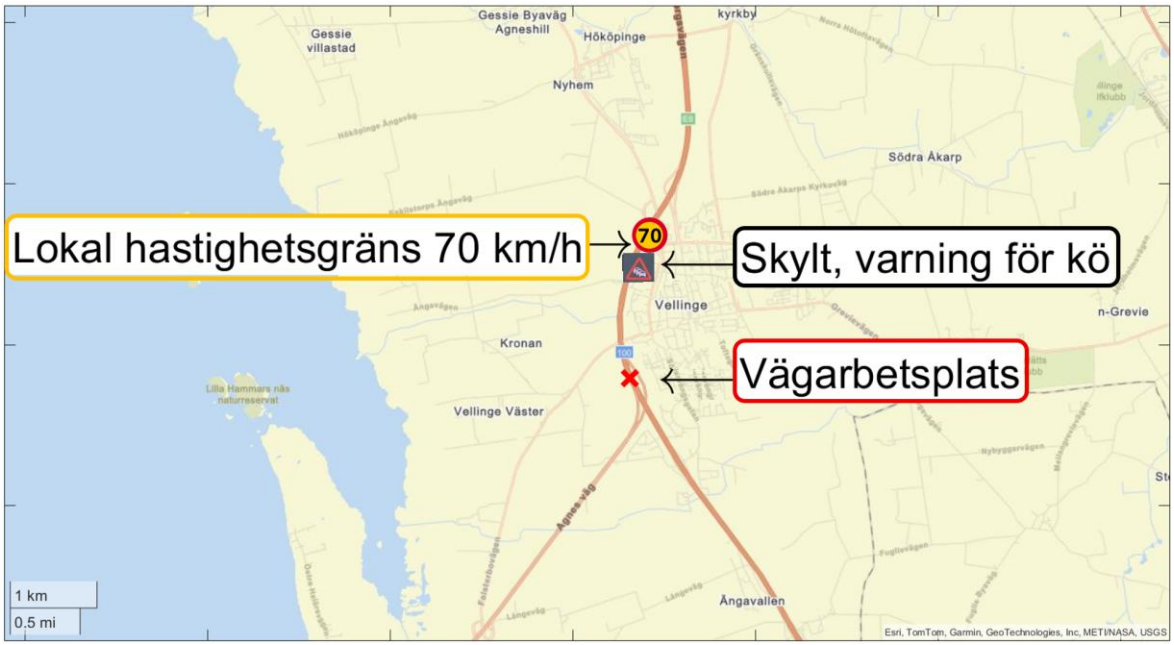
Figur 8 Placering av VMS-skyltar i södergående riktning vid vägarbetet i Lund trafikplats Lund Södra, notera att det på tilläggstavlan står 1.2 km (Foto: Viktor Bernhardsson, AI-bearbetad för upplösning och färgåtergivning med ChatGPT.)

5.3. Fallstudieobjekt 3: E6 Vellinge

På E6 vid trafikplats Vellinge södra (trafikplats 8) genomfördes en ombyggnation av avfartsrampen i södergående riktning till en parallellavfart. Den aktuella vägsträckan är en motorväg med två körfält i vardera riktningen och en ordinarie hastighetsgräns på 110 km/h. Syftet med åtgärden var att förbättra

både trafiksäkerheten och framkomligheten på sträckan, såväl för trafiken på E6 som för anslutande trafik på väg 100. Ombyggnationen innebar att avfarten breddades och förlängdes för att skapa bättre förutsättningar för av- och påfartstrafiken.

Ombyggnationen omfattade enbart trafiken i södergående riktning, varför försöket enbart använde kövarning i ena riktningen. En VMS skylt placerades 1,2 km innan arbetet vid avfart Vellinge södra, skylten placerades strax efter påfarten från trafikplats 10 (så även trafikanter från påfarten kunde se meddelandet). Arbetet pågick under september till och med oktober 2025 och under tiden för arbetet var båda körfälten på E6 öppna för trafik, alltså ingen reducering i antal körfält. Se Figur 9 för placering av VMS i förhållande till vägarbetet.



Figur 9 Placering av kövarningssystem och lokala hastighetsbegränsningar i södergående riktning vid vägarbetet på E6 förbi Vellinge.

Kövarning fanns inte med i kravspecifikationen utan projektet valde själva att inkludera det på grund av att man under ombyggnationen använde sig av en kort och knixig tillfällig påfart som förväntades skapa köproblematik och trafiksäkerhetsrisker. Hastighetsgränsen skyltades tillfälligt ned till 70 km/h förbi arbetsplatsen, den reducerade hastighetsgränsen börjar gälla redan vid VMS-skylten för kövarning. Tekniken som användes för kövarning levererades av TrafficFleet som använde probedata (GPS/mobil-data) för att detektera kö (inga fasta sensorer längs vägen). Data som användes var hastighetsobservationer och, om hastigheten sjönk under 70 km/h visades kövarningsymbolen på VMS tillsammans med tilläggstavla 0–1 km. Under slutet av arbetet användes också ytterligare en tilläggstavla som visade avstånd till kö.

5.4. Huvudsakliga egenskaper för de studerade vägarbetena

I Tabell 1 sammanställs egenskaper från samtliga tre fallstudieobjekt.

Tabell 1. Generella egenskaper från samtliga tre fallstudieobjekt, baserad på information från fallstudieobjekten.

Plats	**Avstånd mellan kövarning och vägarbetet**	**Hastighetsnedsättning vid vägarbetet (ordinarie hastighetsgräns)**	**Gränsvärde för kövarning (hastighet)**	**Tilläggstavla (vägsträckans längd)**	**Datakälla**
E20 Örebro norrgående	2 400 m	70 km/h (100 km/h)	50 km/h	T1 (2 km)	GPS/mobil-data
E20 Örebro södergående	3 100 m	70 km/h (100 km/h)	50 km/h	T1 (3 km)	GPS/mobil-data
E22 Lund norrgående	4 000 m	70 km/h (110 km/h)	60 km/ h	T1 (4 km)	GPS/mobil-data
E22 Lund södergående Lund Norra	3 500 m	70 km/h (110 km/h)	60 km/h	T1 (4 km)	GPS/mobil-data
E22 Lund södergående Lund Södra	1 700 m	70 km/h (110 km/h)	60 km/h	T1 (2 km)	GPS/mobil-data
E6 Vellinge södergående	1 200 m	70 km/h (110 km/h)	70 km/h	T1 (1 km)[1]	GPS/mobil-data

[1] Även T2 (Distans) användes under 5 dagar som tillägg till T1.

6. Erfarenheter från de studerade fallstudieobjekten

Detta kapitel baseras på resultat från dialoger med berörda aktörer, såsom entreprenörer och väghållare, som varit involverade i ett eller flera av de vägarbeten som studerats inom studien. Underlaget omfattar även analyser av de dokument, verktyg och datakällor som funnits tillgängliga inom ramen för studien.

Utöver den data som tillhandahölls från respektive vägarbetsplats har även data från NIRA Dynamics analyserats vid de tre vägarbetena. Dessutom har trafikdata från Google Maps via Directions API som tillhandahålls inom Google Maps Platform (Google LLC, u.å.) samlats in för att ytterligare komplettera jämförelsen. Trafikdata baseras på Googles trafikmodeller och historiska respektive aktuella trafikförhållanden. Syftet har varit att utvärdera hur denna typ av fordonsdata kan komplettera befintliga datakällor och bidra till förbättrad förståelse och övervakning av trafiksituationen vid vägarbeten, samt eventuellt för styrning av när kövarningen ska aktiveras.

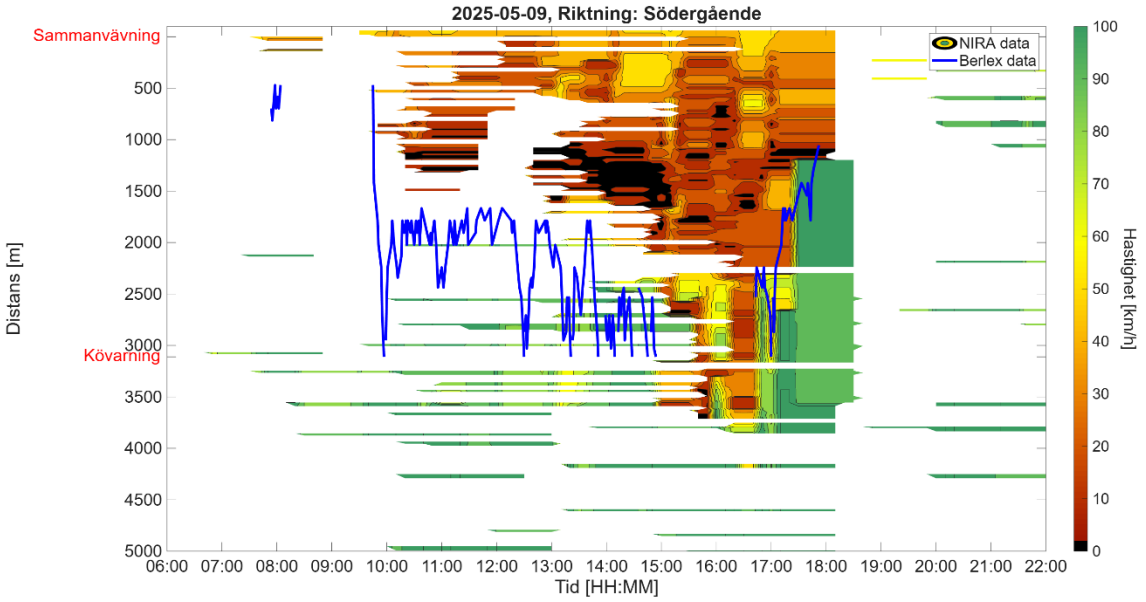
6.1. Analys av vägarbetsplatserna utifrån data

I delkapitlen nedan presenteras resultaten från de tre fallstudier som analyserats inom ramen för projektet.

6.1.1. Fallstudieobjekt 1: E20 Örebro

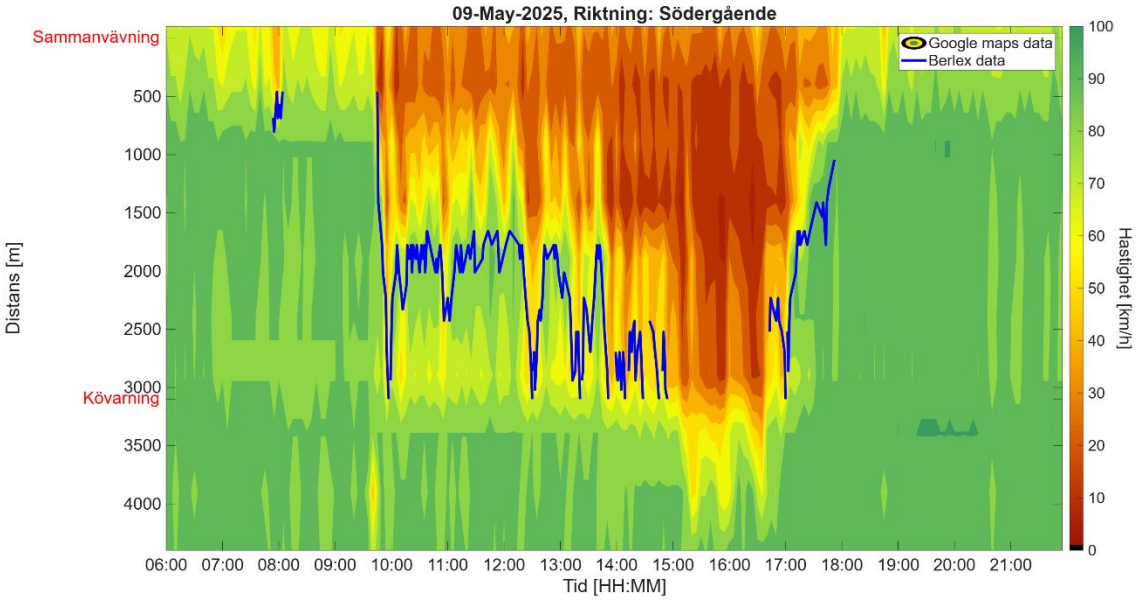
Från fallstudieobjektet i Örebro samlades data in via NIRA Dynamics som en del av denna studie, vilket möjliggjorde data baserat på observationer från enskilda fordon längs den aktuella sträckan som tillägg till befintliga data. Data aggregerades till tio minuters upplösning över segment om 25 meter, där den senaste fordonspassagen användes som observation (det vill säga inte ett medelvärde för tiominutersperioden). Om ingen ny observation registreras ligger segmentets tillstånd kvar i upp till 60 minuter.

I Figur 10 illustreras hastighetsobservationer från NIRA tillsammans med det estimerade köslutet från kövarningssystemet, tillhandahållet av Berlex. Figuren visar att köutbredningen i rum-tidsdiagrammet i relativt hög grad överensstämmer med det estimerade köslutet. Samtidigt framgår det tydligt att fordonsdatan har begränsad täckning och att observationer saknas under delar av dygnet, särskilt under lågtrafik. Det bör också påpekas att detta är ett begränsat dataset från NIRA och att samtliga bilmärken som potentiellt kan bidra med data inte ingick i detta dataset (endast en fjärdedel av den uppkopplade flottan NIRA hade tillgång till bidrog med data, varför täckningen potentiellt sett underskattades).



Figur 10 Rum-tidsdiagram som visar köutbredning vid vägarbetet vid Örebro baserat på data från NIRA, södergående riktning den 9/5-2025. På x-axeln visas tid på dygnet och på y-axeln visas avstånd från sammanvävningen. Den blåa linjen visar Berlex skattning av köslutet, när kön växer förbi kövarningen inaktiveras skylten varför skattat köslut då saknas. Vita fält indikerar att data saknas för den aktuella vägsträckan och tidsperioden.

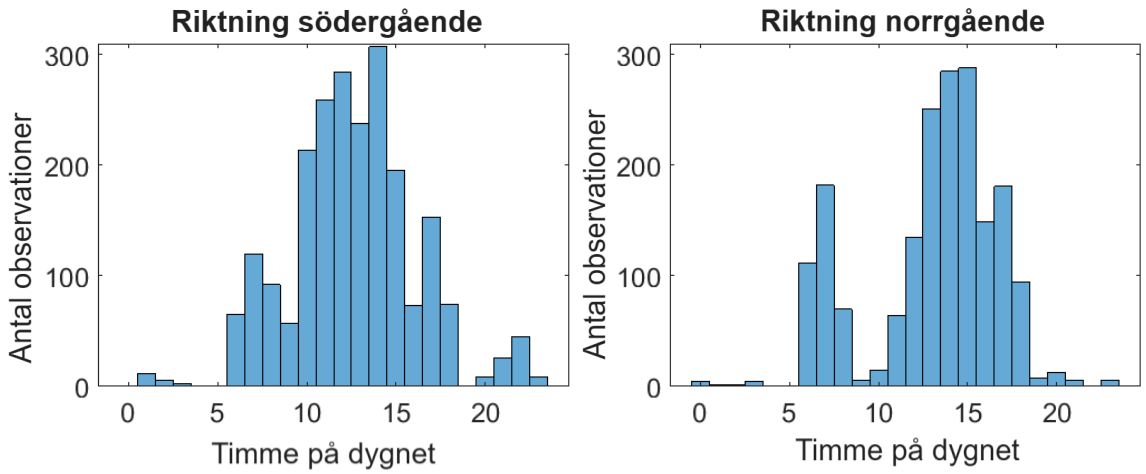
Som jämförelse hämtades även trafikdata från Google Maps via Directions API(Google LLC, 2025). Data samlades in via API-anrop under den studerade perioden och samplades med fem minuters upplösning och aggregerades över segment om 500 meter. Google-data tillsammans med det estimerade köslutet från kövarningssystemet visas i Figur 11. Överensstämmelsen mellan det estimerade köslutet och det observerade trafiktillståndet är till synes god, systemet är konfigurerat att aktivera kövarning när hastigheten understiger 50 km/h. Täckningen i Google-data framstår som tillfredställande, men samtidigt är segmentlängden 500 meter (jämfört med 25 meter i NIRA-data), vilket ger en lägre upplösning. Det saknas dessutom information om hur data beräknas, inklusive penetrationsgrad (det vill säga hur många fordon som har bidragit till hastighetsskattningarna) och eventuella historiska viktningar.



Figur 11 Rum-tidsdiagram som visar köutbredning i södergående riktning den 9/5-2025, baserat på Google maps data. På x-axeln visas tid på dygnet och på y-axeln visas avstånd från sammanvävningen och där syns också platsen för där skylten med kövarning är placerad (3100 meter uppström sammanvävningen). Den blåa linjen visar Berlex skattning av köslutet, när kön växer förbi kövarningen inaktiveras skylten varför skattat köslut då saknas.

Vid några tillfällen observerades att kön propagerade förbi kövarningsskylten. Detta indikerar att det hade varit fördelaktigt att använda flera skyltar i sekvens för att uppnå avsedd effekt och möjliggöra varning till trafikanter längre uppströms om köslutet. Ett exempel ges i Figur 11, där det tydligt framgår att kön sträcker sig mer än 3 km från sammanvävningen och att köslutet passerar VMS-vagnen med kövarning under eftermiddagens högtrafik (cirka kl. 15:00–16:45).

Data från kövarningssystemet möjliggjorde även analys av ytterligare indikatorer. Exempelvis var systemet i norrgående riktning aktivt under 25 % av den tid det var installerat på sträckan, och den genomsnittliga kölängden uppgick till 1,5 km när kö detekterades. Motsvarande värden för södergående riktning var 29 % respektive 1,8 km. Av Figur 12 framgår att systemet i huvudsak varit aktivt under eftermiddagarna. Det analyserade underlaget omfattar totalt 14 dagar i maj 2025.

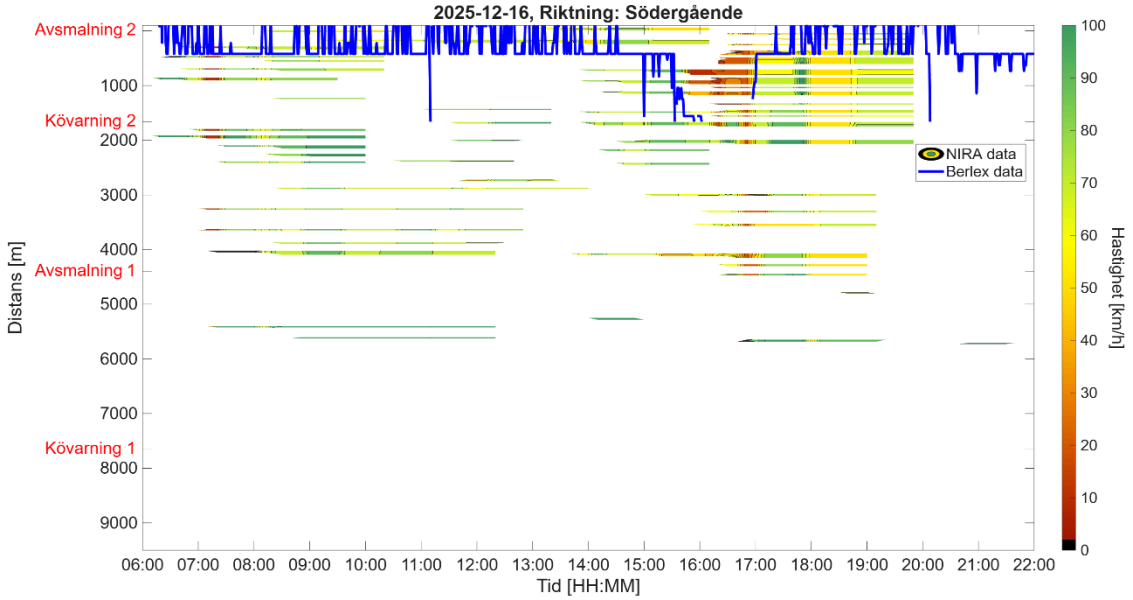


Figur 12 Histogram som visar antal observationer för aktivering av kövarning under dygnets timmar.

En iakttagelse från platsbesöket var att många fordon enbart köade i det högra körfältet, vilket medförde att köutbredningen blev betydligt mer omfattande än om båda körfälten hade utnyttjats för magasinering av fordon. Den ojämna fördelningen av köuppbyggnaden mellan körfälten resulterade i att kön delvis propagerade förbi nästa trafikplats, vilket skapade komplexa vävningssituationer och ytterligare förvärrade trängseln. Ett mer balanserat utnyttjande av båda körfälten skulle kunna minska den totala kölängden och därigenom bidra till att förebygga att köer sträcker sig förbi uppströms av- och påfartsramper. Spridningen i hastighet förväntas samtidigt öka, eftersom endast ett fåtal fordon nyttjar det vänstra körfältet. Detta möjliggör för dessa fordon att hålla en avsevärt högre hastighet jämfört med fordonen som befinner sig i kö i det högra körfältet. En ökad hastighetsspridning har generellt en negativ inverkan på trafiksäkerheten. Inom projektet genomfördes emellertid ingen datainsamling av trafiktillstånd på körfältsnivå, varför en vidare analys av detta fenomen inte har varit möjlig.

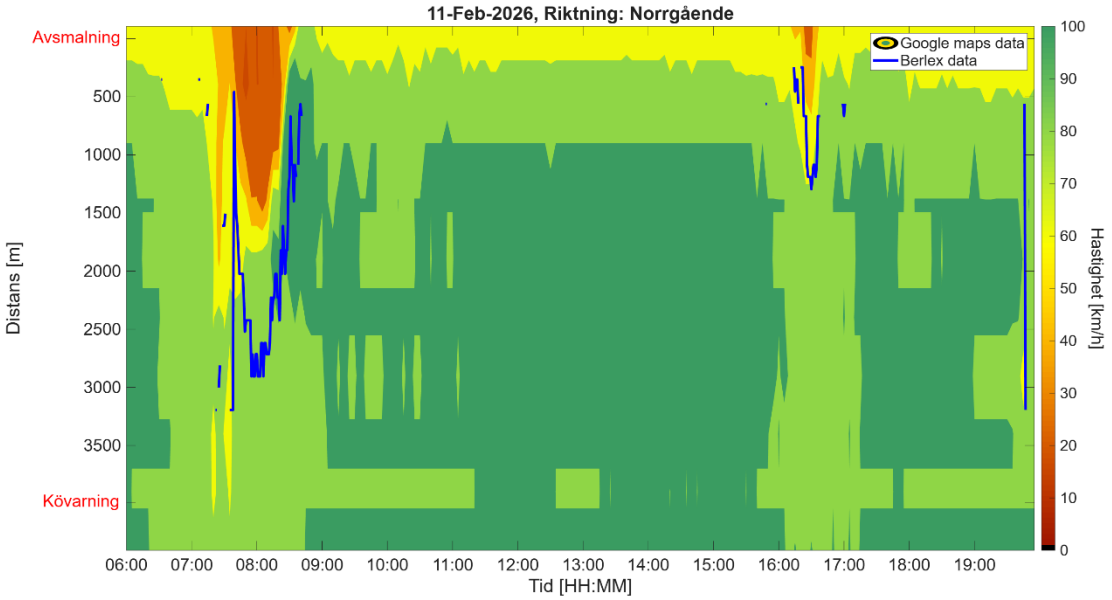
6.1.2. E22 Lund

För fallstudieobjektet vid Lund samlades data in genom NIRA och Google LLC (2026) utöver den data som fanns tillgängliga via vägarbetsprojektet. Även här samlades Google data in via API-anrop under den studerade perioden och samplades med fem minuters upplösning och aggregerades över segment om 500 meter. Data som redan fanns tillgängliga från vägarbetet var data från kövarningssystemet som tillhandahölls av Berlex. I Figur 13 illustreras ett exempel på data från NIRA tillsammans med estimerat köslut från kövarningssystemet. Utifrån data detekteras kö vid rimliga tidpunkter, även om dataunderlaget från NIRA återigen är begränsat av kända anledningar.



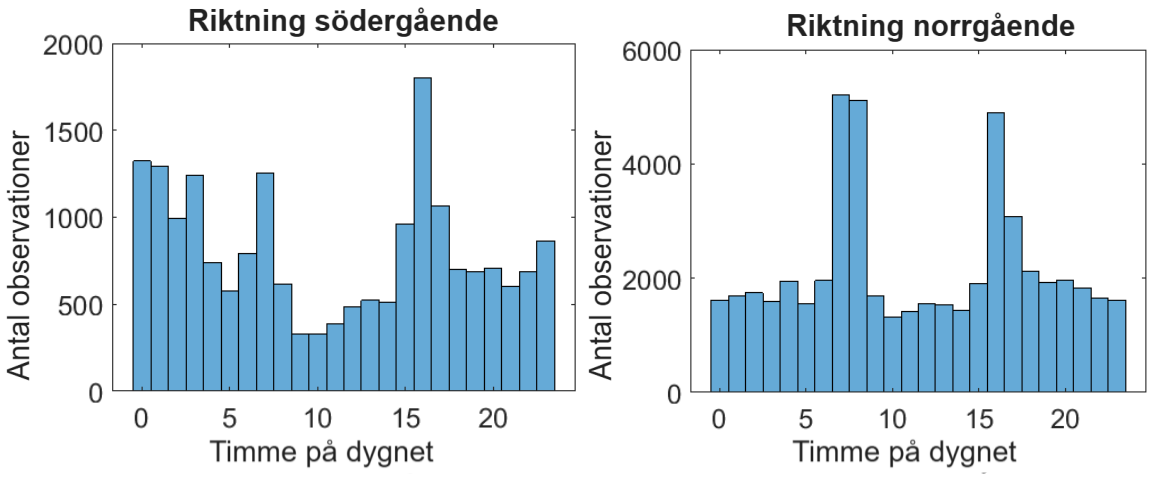
Figur 13 Rum-tidsdiagram som visar köutbredning vid vägarbetet i Lund baserat på data från NIRA, södergående riktning den 16/12-2025. På x-axeln visas tid på dygnet och på y-axeln visas avstånd från den andra avsmalningen vid trafikplats Lund Södra. Den blåa linjen visar Berlex skattning av köslutet, när kön växer förbi kövarningen inaktiveras skylten varför skattat köslut då saknas.

Som komplement till övriga datakällor användes även Google-data för att öka förståelsen. I Figur 14 illustreras sambandet mellan trafikdata från Google(Google LLC, 2026) och det estimerade köslutet från kövarningssystemet i Lund. Notera att figuren avser norrgående riktning och en annan dag än den som redovisas i Figur 13. Syftet är att exemplifiera utdata, inte att jämföra olika datakällor. I detta fall framträder en något annorlunda bild jämfört med tidigare observationer från liknande figurer. Det estimerade köslutet överensstämmer inte fullt ut med data från kövarningssystemet. Detta kan sannolikt förklaras av att underliggande data är baserad på olika information samt skillnader i aggregering, både i tid och rum.



Figur 14 Rum-tidsdiagram som visar köutbredning i norrgående riktning den 11/2-2026, baserat på Google maps data. På x-axeln visas tid på dygnet och på y-axeln visas avstånd från avsmalningen vid trafikplats Lund Södra och där syns också platsen för där skylten med kövarning är placerad (4000 meter uppström sammanvävningen). Den blåa linjen visar Berlex skattning av köslutet.

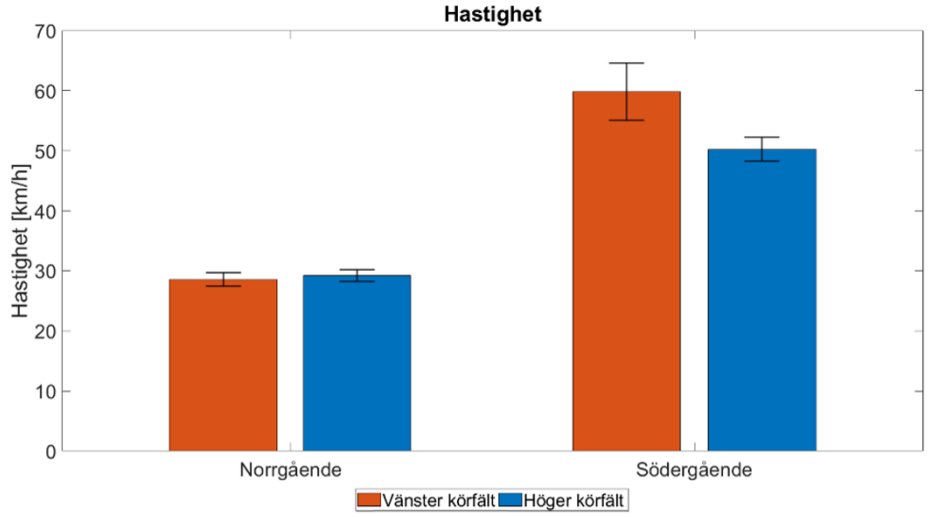
Övergripande data från kövarningssystemet vid Lund indikerar att systemet i norrgående riktning var aktivt vid 21 % av drifttiden och att den genomsnittliga kön var 1,1 km (baserat på data från 171 dagar mellan oktober 2025 och mars 2026). För södergående riktning var systemet aktivt 7 % av tiden och genomsnittlig kö var 1,0 km för system 1 vid Lund Norra (baserat på data från 143 dagar), för systemet vid Lund södra erhölls ett mindre dataset om 29 dagar varav systemet var aktivt under princip hela tidsperioden (december 2025 till januari 2026 med undantag för några dagar när data saknades). Den genomsnittliga kön skattades till drygt 1,0 km. Från Figur 15 blir det också tydligt att systemet har varit mest aktivt under peak-perioderna morgon och eftermiddagsrusningen (särksilt i norrgående riktning).



Figur 15 Histogram som visar antal observationer för aktivering av kövarning under dygnets timmar, norrgående samt södergående vid trafikplats Lund Norra.

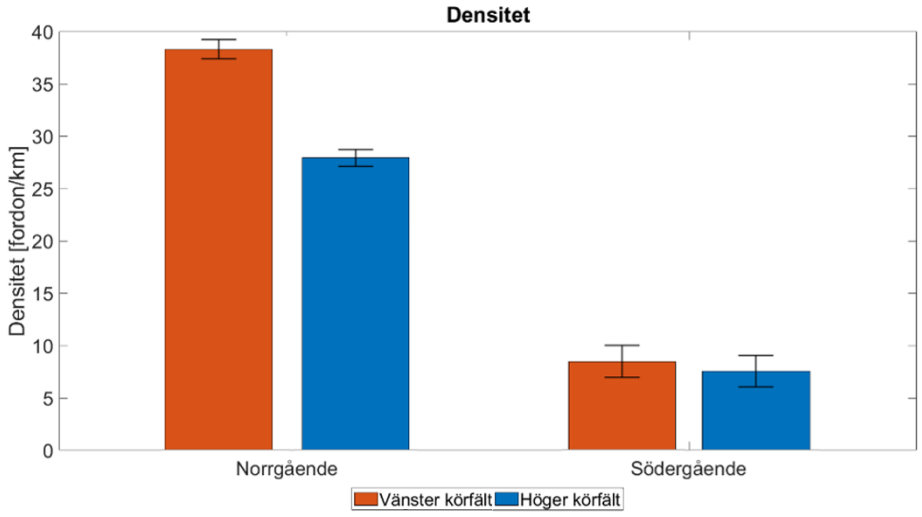
Vid platsbesöket i Lund observerades inte samma tydliga koncentration av trafiken till det högra körfältet som vid vägarbetet i Örebro. I stället utnyttjades båda körfälten i stor utsträckning även vid köbildning. En tydlig skillnad var dessutom att köbildningen i Lund var mindre omfattande, vilket sannolikt beror på att avsmalningen inte skapade en lika begränsande flaskhals eftersom båda körfälten kunde hållas öppna.

Utöver de tidigare beskrivna datakällorna fanns även fasta mätstationer installerade längs sträckan inom ramen för ett Motorway Control System (MCS). Systemet registrerar enskilda fordonspassager vid specifika mätplatser, så kallade punktmätningar, och genererar trafikdata i form av hastighet och flöde uppdelat per körfält. I det dataunderlag som användes i studien var observationerna aggregerade till minutnivå och tillgängliga från två mätplatser. Den ena mätplatsen var lokaliserad i södergående riktning vid trafikplats Lund Norra, cirka 2 km nedströms det första kövarningssystemet (vid avståndsmarkering 5 500 meter i Figur 12). Den andra mätplatsen var placerad i norrgående riktning, cirka 1 km nedströms kövarningssystemet (vid avståndsmarkering 3 000 meter i Figur 13). I båda fallen var mätplatsen placerad mellan avsmalningen och kövarningssystemet, vilket möjliggjorde en analys av hur kövarningsmeddelandet eventuellt påverkade trafikanternas beteende innan de ankom till köslutet. Dataunderlaget omfattade 50 dygn från december 2025 till januari 2026. De observerade trafikdata under tidsperioder när hastigheten för mätpunkten låg under gränsvärdet för aktivering av kövarning redovisas i Figur 16 och Figur 17.



Figur 16 Genomsnittlig hastighet vid tillstånd för aktivering av kövarningssystemet (hastighet mindre än 60 km/h), med tillhörande skattat 95 % konfidensintervall.

Utifrån de mätdata som redovisas i Figur 16 framgår att trafikbelastningen i norrgående riktning har varit betydligt högre än i södergående riktning. Detta återspeglas i den lägre genomsnittliga hastigheten för den norrgående trafiken. Bilden bekräftas även av densitetsmätningarna längs sträckan, som visar att densiteten genomgående är högre i norrgående riktning (se Figur 17).



Figur 17 Genomsnittlig densitet vid tillstånd för aktivering av kövarningssystemet (hastighet mindre än 60 km/h), med tillhörande skattat 95 % konfidensintervall.

Enligt Figur 17 är densiteten i vänster körfält tydligt högre än i höger körfält, vilket indikerar en högre trafikbelastning och större trängsel i det vänstra körfältet. En möjlig förklaring är att det högra körfältet trafikeras av en större andel tunga fordon, vilka kräver mer plats och således minskar antalet fordonsobservationer jämfört med vänster körfält. Om ett beläggningsmått (occupancy) hade använts i stället för densitet är det därför sannolikt att skillnaderna mellan körfälten hade framstått som mindre eller varit obefintliga.

Analysen visar vidare att både hastighet och densitet är relativt jämnt fördelade mellan de två körfälten. Detta tyder på att trafikflödet och därmed utnyttjandegraden är förhållandevis jämnt fördelade mellan körfälten. Resultatet skiljer sig därmed från de observationer som gjordes vid vägarbetet på E20 utanför Örebro, där köbildningen i huvudsak koncentrerades till det högra körfältet. En avgörande skillnad i detta sammanhang är att det inte förekommer någon körfältsreducering vid vägarbetet på E22 vid Lund, utan båda körfälten är genomgående öppna genom hela vägarbetsplatsen vilket inte skapar samma beteende.

En konsistensbedömning av data visar också att de observerade trafikmönstren överensstämmer med vad som kan förväntas under perioder med hög trafikintensitet. Aktiveringar av kövarningssystemet sammanfaller exempelvis med låga hastigheter i MCS-data, och situationer där köslutet propagerar tillbaka till MCS-detektorerna kan tydligt kopplas till perioder med nedsatt framkomlighet.

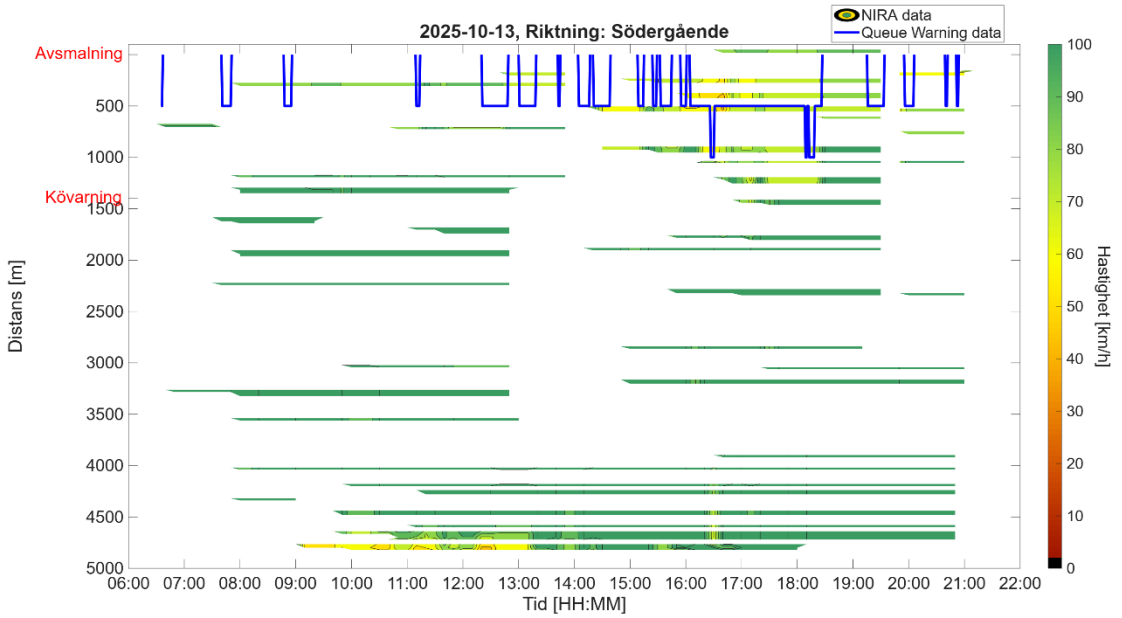
En preliminär analys genomfördes för att undersöka om kövarningssystemet påverkade hastighetsspridningen. Analysen baserades på variationskoefficienten (CV) för hastighetsdata från MCS-systemet, metoden valdes i enighet med tidigare genomföra analyser av kövarning av Sörensen & Wiklund (2010) eftersom liknande asymmetriska mönster identifierades i datasetet. Analysen baserades på en jämförelse av trafikförhållandena under de tio minuter som föregick aktiveringen av kövarningen med trafikförhållandena efter aktivering, men innan köslutet hade nått MCS-mätplatsen.

Resultaten visade en lägre variationskoefficient under perioder med aktiv kövarning jämfört med perioden före aktivering, både i norrgående och södergående riktning. I norrgående riktning minskade variationskoefficienten från 13,57 till 11,95 ($\Delta CV = -0{,}0163$), medan den i södergående riktning minskade från 12,25 till 11,21 ($\Delta CV = -0{,}0105$). Bootstrapanalyser visade att skillnaderna var statistiskt säkerställda på 95-procentsnivån. Resultaten indikerar således att kövarningssystemet bidrog till en minskad hastighetsspridning och därmed en mer homogen hastighetsfördelning. Detta tyder på att systemet kan bidra till en jämnare trafikrytm under instabila trafiktillstånd. Däremot var resultaten avseende ankomsthastigheterna inte entydiga. Sammantaget gav analyserna inget stöd för att aktiv kövarning ledde till lägre medelhastigheter, i norrgående riktning observerades istället en mindre ökning av medelhastigheten.

Det är samtidigt viktigt att betona att analysen baseras på ett begränsat underlag och därför bör betraktas som preliminär. För att möjliggöra en mer robust utvärdering krävs en tydlig före- och efterstudie där trafiksituationer med aktiv kövarning jämförs med motsvarande situationer utan kövarning under likartade förhållanden. Ett sådant upplägg skulle ge bättre förutsättningar att isolera kövarningssystemets effekter och kvantifiera dess påverkan på trafikanternas hastighetsbeteende. Resultaten från den preliminära analysen bör därför främst ses som en indikation på att kövarningssystemet kan bidra till minskad hastighetsvariation, snarare än som ett slutgiltigt mått på systemets effekt.

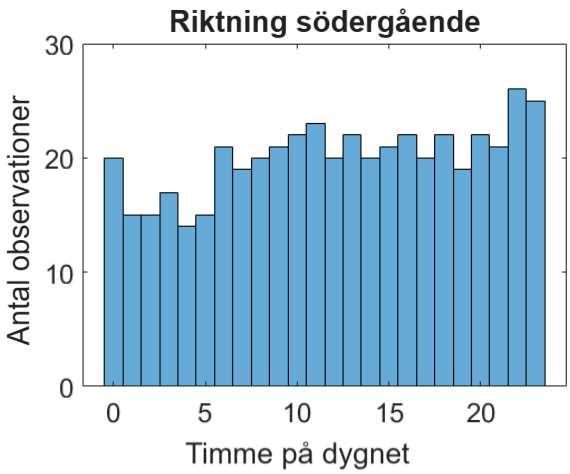
6.1.3. E6 Vellinge

Vid fallstudieobjektet på E6 vid Vellinge samlades data enbart in från NIRA och kövarningssystemet. Med utgångspunkt i data som presenteras i Figur 18 kan ett exempel på trafiksituationen vid trafikplatsen illustreras. Även om datamängden från NIRA i detta fall är relativt begränsad framstår aktiveringsperioderna som rimliga utifrån tillgängliga observationer.



Figur 18 Rumtid-diagram som visar köutbredning vid vägarbetet i Vellinge baserat på data från NIRA, södergående riktning den 13/10-2025. På x-axeln visas tid på dygnet och på y-axeln visas avstånd från avsmalningen vid trafikplats Vellinge Södra. Den blåa linjen visar skattning av köslutet från kövarningssystemet.

Baserat på data från kövarningssystemet kunde även aktiveringsperioder för kövarning identifieras. Dataunderlaget omfattar totalt 21 dagar under perioden september–oktober 2025. I Figur 19 visas de tidsperioder då kövarningen var aktiv på sträckan. Enligt data är perioderna då systemet är aktivt relativt jämnt fördelade över dygnets timmar. En möjlig förklaring är att hastighetsnedsättningen till 70 km/h började gälla redan vid kövarningsskylten, samtidigt som gränsvärdet för aktivering av kövarning också var satt till 70 km/h. Det innebär att kövarning kunde aktiveras redan när trafikanterna följde den skyltade hastigheten genom arbetsområdet, vilket inte nödvändigtvis indikerar faktisk köbildning.

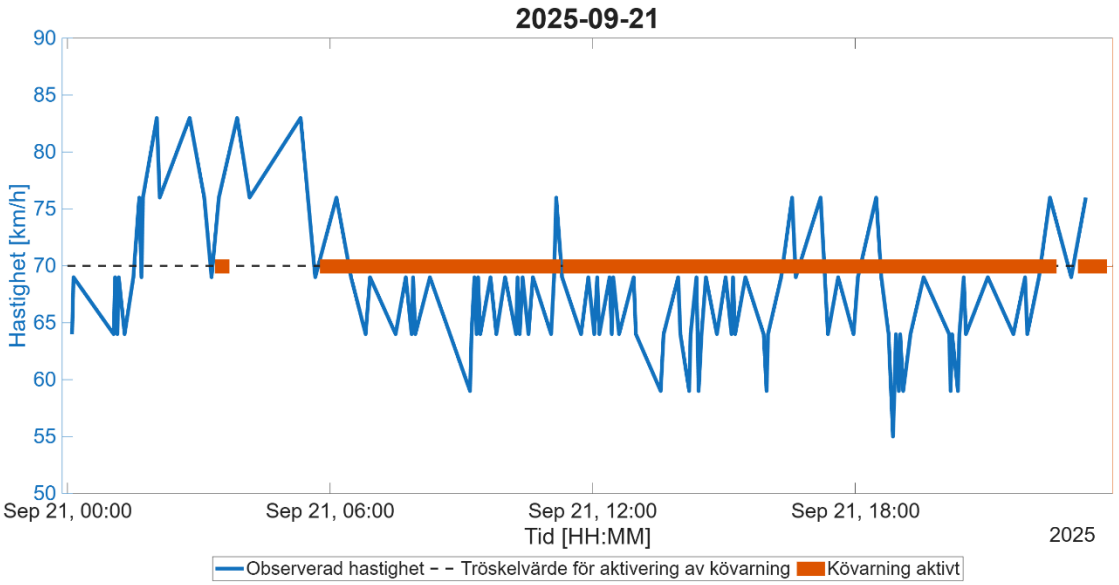


Figur 19 Histogram som visar antal observationer för aktivering av kövarning under dygnets timmar.

Detta exemplifieras ytterligare i Figur 20 där hastighetsdata för ett dygn från en delsträcka i anslutning till avfartsrampen vid trafikplats Vellinge Norra illustreras, data i form av hastighetsobservationer levererades från kövarningssystemet. Enligt data är kövarning aktivt under större delen av dygnets timmar och observerad hastighet ligger konstant kring 70 km/h. Enligt data från NIRA är detta inte någon dag med

större trängsel utan trafiksituationen kan troligen ses som ett exempel på att trafikanterna anpassar sin hastighet förbi vägarbetet utifrån gällande hastighetsgräns.

Detta belyser svårigheten i att ansätta ett lämpligt gränsvärde för kö. I praktiken finns ett behov av att fånga in samtliga situationer där köbildning uppstår för att snabbt kunna informera ankommande trafikanter. Samtidigt riskerar alltför strikta gränsvärden att generera varningar som i praktiken utgör falsklarm. En vidare analys som även beaktar andra trafiktekniska mått, såsom flöde, densitet och tidsluckor mellan fordon, kan bidra till en mer träffsäker beskrivning av den faktiska trafiksituationen.



Figur 20 Hastighetsdata från sektionen närmast vägarbetet tillsammans med data över aktivering av VSL och tröskelvärde för aktivering.

Inget platsbesök genomfördes under byggnationen, varför inga manuella observationer kring köutbredning eller utnyttjande av körfält kan kommenteras för detta fallstudieobjekt.

6.2. Observationer från dialoger med berörda aktörer från fallstudieobjekten

Nedan visas resultaten från de dialoger som har hafts med berörda entreprenörer, väghållare och aktörer av tillhandahållande av teknik som har gjorts för de tre fallstudieobjekten. Endast övergripande slutsatser har noterats för de tre faserna som ingår (projektering, aktiv fas, analysfas efter avveckling).

6.2.1. Projektering – innan kövarningens aktiva fas

Från dialogerna noterades följande relaterat till projekteringsfasen.

Kravspecifikation

Vid samtliga vägarbetsplatser som har studerats har kravet varit att en VMS ska finnas på plats i riktningen för vägarbetet och då båda riktningarna påverkas en i varje riktning. Samtliga vägarbeten har därför valt att använda endast en VMS på grund av de merkostnader som fler VMS-vagnar innebär och då kravet endast har varit en VMS har det ansetts tillräckligt. För ett av vägarbetena har man valt att ha en extra VMS i ena riktningen då man har ett magasin uppströms om vägarbetet och en chikan och en lokal sänkning av hastigheten. Det vill säga kövarningsystemen på denna sträcka varnar för två olika trafiksituationer som båda relaterar till vägarbetet.

Val av teknisk lösning

De tre vägarbeten som har studerats använder alla en lösning som bygger på data från en extern leverantör (Google, Tomtom, etc.). Det är enbart hastighet som har används som indata till styrningen och det innebär att kövarningssymbolen aktiveras när den uppmätta hastigheten hamnar under ett förutbestämt gränsvärde. Gränsvärdet baseras på hastighetsgränsen på vägen och vad som anses rimligt utifrån observationer av när köbildning sker på platsen för vägarbetet. Gränsvärdet anges ofta i kravspecifikationen och kravställaren har då vanligtvis gjort en sofistikerad gissning av vad som anses rimligt utan hänsyn till data.

Som tillägg till vägmärket varning för kö så används även en tilläggstavla för att ange var kön befinner sig. Alla vägarbetsplatser i studien använde T1, det vill säga en tilläggstavla som säger att det är varning för kö inom ett visst intervall, till exempel 0–1 km. Det är även möjligt att använda T2 som istället anger hur långt det är till köslutet. Anledningen till att det är T1 och inte T2 som används är att det är detta som har kravställts i kravspecifikationen.

Val av placering för kövarning

VMS-vagnarna har placerats ca. 1,2–4 kilometer från vägarbetsområdet beroende på vägarbetsplats. VMS-vagnarna har placerats utifrån kravställt avstånd, samt i vissa fall anpassats utifrån var det är lämpligt att ställa vagnarna utifrån befintlig infrastruktur och/eller de faktiska trafikförhållandena och köuppbygganden utifrån visuell inspektion. I Örebro har man till exempel valt att använda vändöglor för uppställning och dessutom är VMS-vagnarna placerade längre från vägarbetet än vad som har kravställts 3100 och 2400 meter. I Vellinge tog man även hänsyn till påfartflödet innan vägarbetsområdet och placerade VMS-vagnen så att även påfartstrafiken hade möjlighet att se varningen. Tillgänglighet av skyltarna vid exempelvis behov av service är också aspekter som nämnts som viktiga vid placering av skyltarna. Vid arbetet på E22 vid Lund placerades två av de tre VMS'erna i närheten av befintliga portaler längs vägen, vilket eventuellt underlättat elförsörjningen av skyltarna

Vid alla vägarbetsplatser har positionen valts utifrån vad som är lämpligt och möjligt given befintlig infrastruktur och utifrån kvalificerade gissningar baserat på erfarenhet om hur långt kön kommer sträcka sig. Man har ofta upplevt det som svårbedömt att avgöra positionen utifrån en uppskattning av kölängd. Historiska data, simuleringar eller liknande verktyg har inte tillämpats för att uppskatta kölängden eller bestämma lämplig position av kövarningsskyltar.

6.2.2. Uppföljning - under kövarningens aktiva fas

Uppföljning vid vägarbeten sker idag inte in någon större utsträckning och i så fall slumpmässigt och när någon i projektet åker ut och inspekterar.

Vid de projekt som har studerats så har man i vissa fall valt att göra ändringar efter visuell inspektion via platsbesök. I Lund har man valt att justera positionen efter hand då man efter visuell bedömning av trafikflödet insåg att placeringen inte blev bra, det vill säga kövarningen hamnade precis vid starten av problemområdet och kön sträckte sig ofta betydligt längre uppströms än placeringen för kövarning.

Uppföljning av systemets funktionalitet kan ske med hjälp av leverantören av systemet. Det är också ofta de som har expertkunskap om hur systemet fungerar, hur data kan plockas ut och analyseras osv. Under fältförsöket på E6 vid Vellinge följde entreprenören upp systemets funktion cirka tre gånger per dag genom att kontrollera att det var aktivt och fungerade som avsett. Det är däremot inte möjligt att jämföra aktiveringar gentemot verklig trafik utan enbart uppmätt trafik med data från extern leverantör.

Det är möjligt att kalibrera gränsvärdet för när kö detekteras under projektets aktiva fas, men det har inte gjorts i dessa projekt och kräver då systematisk uppföljning.

6.2.3. Analys – efter kövarningens aktiva fas

I de vägarbeten som studien innefattar har det vid tidpunkten för denna rapport inte gjorts några efterföljande analyser av effekten av kövarning på grund av att projektet i de flesta fall fortfarande är aktiva eller nyligen avslutade. Vanligtvis görs inte analyser av data för att följa upp hur systemen presterade. Däremot görs lärdomar mer adhoc och kunskap finns hos enskilda personer och leverantörer av system om hur man bäst bör använda kövarning.

6.2.4. Övrigt att notera

Batteribyte och underhåll som kräver att någon åker ut till systemet i vägarbetsmiljön nämns som en viktig arbetsmiljöfråga kopplat till trafiksäkerheten för arbetare på vägen. Tekniska system i vägmiljön kan potentiellt kräva mer frekventa platsbesök.

7. Diskussion

Baserat på resultaten från fallstudierna, genomförda analyser och dialoger med berörda aktörer diskuteras här studiens centrala iakttagelser, implikationer och slutsatser.

7.1. Metod för uppskattning av kölängd behöver förtydligas

Man bedömer det idag svårt att utifrån enbart historisk trafikefterfrågan, ÅrsDygnsTrafik (ÅDT) avgöra hur lång köutbredningen kommer bli. Önskvärt hade varit om man kunde göra mätningar någon månad och analysera detta.

Trafikverket har tagit fram ett arbetssätt för att förenkla uppskattning av kölängd utifrån ÅDT och utformning för vägarbetsplatsen. Arbetssättet bygger på en tabellstruktur och det är där möjligt att slå upp hur långa köerna kommer bli givet att man vet hur vägarbetet påverkar infrastrukturen och ÅDT. I dagsläget finns endast fallet då ett körfält stängs av på grund av vägarbetet vid två-körfältsväg. Ytterligare fall behöver läggas till för att komplettera detta. Detta arbetssätt är tänkt att underlätta kravställningen för beställaren, det vill säga det är endast ett internt arbetssätt.

7.2. Antalet VMS-vagnar behöver baseras på uppskattad maximal kölängd

För att ge bra effekt bör kövarning upprepas med tätt intervall och tändas endast då kö rör sig inom området till nästa kövarningsskylt. Det blir en kostnadsfråga och nyttan med systemet behöver då vara tydlig. Idag har man svårt att se fördelarna med fler VMS-vagnar. Rekommendationer från Trafikverket är att kövarning bör upprepas var 500de meter och så långt som kön som max uppskattas sträcka sig. Har man flera VMS-vagnar efter varandra kan man varna trafikanterna mer frekvent och inte så långt innan köslut och man kan potentiellt få en bättre efterlevnad och acceptans av systemet. Man har även möjlighet att släcka kövarningen om kön sträcker sig förbi en specifikt VMS-vagn och istället tända en längre uppströms. Detta bör studeras mer.

7.3. Gränsvärdet för när kövarning ska aktiveras behöver anpassas utifrån verkliga data

Valet av gränsvärde är av stor betydelse. De instabila trafiktillstånd som observerades i fallstudien vid Vellinge illustrerar de utmaningar som finns i att fastställa en lämplig tröskelnivå. Gränsvärdet behöver vara tillräckligt högt för att kövarningen ska vara reaktiv och kunna varna i tid, men samtidigt inte så högt att varningar utlöses utan att någon faktisk kösituation uppstår. En alltför hög hastighetströskel riskerar att generera falsklarm, vilket på sikt kan minska trafikanternas förtroende för systemet. Data i form av flöde, densitet eller avstånd mellan fordon kan vara andra lämpliga indikatorer som förbättrar algoritmerna och förbättrar tillförlitligheten så att aktivering sker när det verkligen är kö. Detta bör undersökas mer för att ta fram förfinade rekommendationer på lämpliga gränsvärden.

7.4. Val av tilläggstavla bör studeras mer

Idag används framför allt T1, men denna ger ett ganska oexakt avstånd till kön då man får kövarningen. Om man i stället använder T2 är det möjligt att ange hur långt det är till köslutet och det gör då att trafikanten kan bedöma hur långt fram den har en kö att vänta och därmed skulle potentiellt efterlevnaden och nyttan med systemet kunna bli större. Dock krävs att man kan uppskatta kölängden relativt exakt med den datakälla man använder för att aktivera systemet. Det vill säga det räcker inte med en sensor som mäter på ett ställe, utan flera sensorer, alternativt datakällor som kan täcka längre sträckor såsom Google, Tomtom eller fordonsdata, behövs istället.

7.5. En ökad tydlighet behövs för vem som är ansvarig för vad

Det är viktigt att avgöra vem som har ansvar för vad, vad är väghållarens roll och vad är entreprenörens roll. I vissa fall har det i upphandling och i de krav som ställs angetts att entreprenören har ansvaret att avgöra om kövarning behövs eller inte och då man ofta ser det som en framkomlighetsfråga så väljs kövarning bort. Då väghållaren har ansvar för trafiksäkerhet på sina vägar behöver man kunna kravställa på ett bra sätt som är förståeligt för entreprenören. I de krav som formulerades 2020 så valde man att inte ha så tydliga krav för att möjliggöra för enskilda projekt att själva avgöra vad som var rimligt. Detta har dock resulterat i en otydlighet om vem som bär ansvar för vad och det görs dessutom olika i olika projekt. Därför rekommenderas ökad tydlighet i de riktlinjer som ges till kravställare om hur kraven bör ställas, för att de i nästa steg ska kunna precisera kraven i en detaljnivå som medför att entreprenören inte ser otydligheter i vad de behöver leverera.

7.6. Tydlighet kring nyttan

Kostnaden för att införa kövarning är ofta stor, och blir större ju fler VMS-vagnar som behövs. Det är därför mycket viktigt att kunna visa på nyttan med systemen – hur förbättras trafiksäkerheten både för trafikanter och de som arbetar på vägen. Entreprenören har ansvar för sina anställdas arbetsmiljö och det lyfts som viktigt att också ta hänsyn till denna aspekt då man väljer om kövarning ska användas eller inte. Man lyfter till exempel att batteribyten och underhåll på VMS-vagnar kan medföra ökade risker för arbetarna på vägen. Det rekommenderas därför att visa på nyttan av kövarning genom att studera praktiska användarfall där mätningar görs både för arbeten med och utan kövarning.

7.7. Efterlevnad, acceptans och kompletterande åtgärder

Efterlevnad och acceptans av kövarningssystem hos trafikanterna är viktigt för att kunna påverka beteenden. Kövarningens syfte behöver därför vara tydligt, till exempel hur vill man att trafikanten ska agera då man använder kövarning – mer uppmärksamt, eller ska man också sänka hastigheten. Om en hastighetsförändring också efterfrågas så bör man också fundera kring om andra åtgärder såsom hastighetsdämpande åtgärder bör ingå. Även här krävs studier och uppföljning av hur trafikanterna anpassar sitt beteende givet att de får en kövarning.

7.8. Uppföljning under och efter projektet

Idag sker ingen eller endast adhoc uppföljning av hur kövarningssystemet presterar under vägarbetets aktiva fas och efter avslut. Genom att mer systematiskt följa upp prestationen under och efter vägarbetet är det möjligt att kalibrera kövarningen så den fungerar optimalt under vägarbetets aktiva fas (justera placering av VMS-vagnar, trimma in gränsvärde för när varning för kö ska visas, etc.) och dessutom är det möjligt att dokumentera erfarenheter och samla på sig erfarenheter för att förbättra kövarningen vid nästa vägarbete. Detta kräver att datainsamling görs systematiskt och att kompetens kring analys av data finns. Detta är något som varken finns eller är prioriterat hos entreprenörer och ansvarsfrågan för uppföljningsarbete, samt nyttan bör därför undersökas. Bör ansvaret till exempel ligga hos dem som tillhandahåller systemet eller hos väghållaren, snarare än de som utför det praktiska arbetet på vägen?

7.9. Val av data för analys innan, under och efter vägarbetet

Idag är ingen eller få data tillgängliga för analys innan, under och efter vägarbetet, i alla fall inte utanför projektet. Det behövs ett arbete för att utvärdera vilken eller vilka typer av datakällor som är lämpliga för att möjliggöra analys, samt utvärdera vilka osäkerheter som finns med de olika datakällorna. Data från uppkopplade fordon utgör en värdefull källa för att på ett detaljerat sätt följa upp trafiksituationen, analysera trafikantbeteenden och identifiera återkommande mönster. Datakällan är fortfarande relativt ny och dess fulla potential är ännu inte helt utforskad, men kunskapen om dess användningsområden och praktiska tillämpningar utvecklas kontinuerligt. En vanlig invändning mot denna typ av data är den

begränsade penetrationsgraden. Detta bedöms dock bli ett allt mindre problem i takt med att fordonsflottan förnyas och andelen uppkopplade fordon ökar. Som exempel användes i denna studie data från NIRA, där hastighetsdata vid tidpunkten befann sig i ett tidigt skede av produktutvecklingen. Endast omkring en fjärdedel av den uppkopplade fordonsflottan NIRA hade tillgång till bidrog då med data. I takt med den fortsatta produktutvecklingen och en ökad anslutningsgrad förväntas dock data från uppkopplade fordon få ett betydligt större värde och användningsområde.

En typ av lättillgänglig data som redan finns tillgänglig i dag är MCS-data. Dessa data kan användas för före- och efterstudier för att exempelvis analysera förändringar i medelhastighet och hastighetsvariation vid användning av kövarning, vilket illustrerades i fallstudien i Lund. Det är även möjligt att i efterhand få tillgång till data, förutsatt att relevanta tidsintervall för före- och efterperioderna kan specificeras. En begränsning är dock att MCS-data endast täcker en mindre del av det svenska vägnätet.

7.10. Alternativa tjänster

Samtidigt som de tekniska lösningar som studerats inom projektets fältförsök vidareutvecklas och mognar, sker en utveckling av tjänster som möjliggör att trafikinformation kan förmedlas direkt till föraren i fordonet. System som Road Works Warning (Strömgren & Lundberg, 2024) har som syfte att varna föraren om kommande vägarbeten och därigenom öka situationsmedvetenheten. Samtidigt erbjuder navigations- och mobilitetstjänster, såsom exempelvis Google Maps och Waze (Hallmark, et al., 2020) , information om trafikstörningar, köer och vägarbeten i realtid. Dessa tjänster har därmed potential att delvis ersätta eller komplettera traditionella kövarningssystem genom att förmedla motsvarande information direkt till trafikanterna.

8. Slutsatser

Dokumenterade erfarenheter från tidigare tillämpningar visar att kövarningssystem är särskilt lämpliga i vägarbetsområden som präglas av frekventa körfältsavstängningar, stora hastighetsskillnader och förhöjd olycksrisk. Systemen kan bidra till minskad olycksrisk, jämnare hastighetsfördelningar och fördröjd köbildning, vilket även kan ge positiva effekter i form av minskade utsläpp. I litteraturen har man bland annat observerat minskade hastighetsvariationer, färre kraftiga inbromsningar och tvingade körfältsbyten samt en ökad medvetenhet hos trafikanterna om kommande köer. För att systemen ska fungera effektivt krävs god sikt till skyltningen, tydlig och lättolkad information samt, i möjligaste mån, automatiserad drift. Samtidigt finns ett antal begränsningar. Trafikanter kan välja att ignorera eller inte följa den information som ges, och installationen kan vara utmanande i trånga eller komplexa vägarbetsområden. Dessutom medför systemen kostnader för installation, drift och underhåll samt behov av utbildning och tillsyn. Eftersom tillsyn och underhåll ofta måste utföras i eller i anslutning till trafikerad vägmiljö kan detta även innebära arbetsmiljörisker för berörd personal.

De data som uteslutande användes för aktivering av kövarning i de tre fallstudieobjekten i denna studie vara mobildata, det vill säga inga fasta installationer av mätutrustning krävdes. Det finns dock ett antal datakällor som kan användas både för styrning av kövarningen, och för uppföljning av hur systemet presterar. Några av dessa undersöktes i fallstudieobjekten och ytterligare datakällor identifierades i state-of-the-art. Befintliga datakällor samt den mått summeras i Tabell 2.

Tabell 2. Översikt över befintliga datakällor som idag nämns i samband med kövarning.

Datakälla		Relevanta mått med avseende på kövarning					
	Tid för passage	**Flöde**	**Hastighet**	**Densitet**	**Restid**	**Kölängd**	**Körfältspecifik info**
Fasta sensorer (slang, radar, etc.)	X	X	X	X[2]	-	Kräver multipla sensorer	Beror på mätteknik
Mobildata	-	-	X[3]	-	X		-
Fordonsdata (probedata)	X	-	X		X	Delvis	Delvis

Dock kommer de olika datakällorna med olika för och nackdelar vilka summeras i Tabell 3.

[2] Beräknat från flöde och densitet eller baserat på beläggning per detektor

[3] Endast aggregerade hastighetsmått

Tabell 3. För och nackdelar med olika datakällor för aktivering och uppföljning av kövarning.

Datakälla	Fördel	Nackdel
Fasta sensorer	- Stor insyn i mätmetod - 100 % täckning av fordon - Kan mäta flöde - Oftast tillgång till körfältsspecifika data	- Begränsad utbredning i rummet och multipla sensorer krävs för uppskattning av köutbredning. - Kräver fysisk installation och underhåll
Mobildata	- Tillgänglig och oftast inte alltför kostsam mätmetod - Ingen fysisk installation - Möjlighet att mäta köutbredning utan begränsningar till specifika mätområden	- Ingen insyn i hur stor andel fordon som bidrar till måtten - Ingen insyn i hur måtten beräknas. - Ingen möjlighet att få tillgång till flödesdata - Ingen körfältsspecifik info
Fordonsdata (så kallad probedata)	- Möjlighet att mäta köutbredning utan begränsningar till specifika mätområden	- Än så länge relativt låg penetrationsgrad - Vid lågtrafik är datatillgången begränsad, dock ej lika relevant då köbildning är ovanlig. - Ingen möjlighet att få tillgång till flödesdata

Ytterligare innovativa datakällor kan i vissa fall vara relevanta att använda, särskilt för studier under avgränsade tidsperioder. Dessa metoder kan dock vara både kostsamma och tidskrävande, framför allt när det gäller datainsamling och databearbetning. Två exempel på sådana datakällor är videosensorer längs vägen och drönarbaserade mätningar. Båda metoderna kräver videobearbetning för att relevanta trafikmått ska kunna extraheras, vilket ofta medför högre kostnader än de tidigare beskrivna metoderna. Samtidigt erbjuder dessa datakällor betydande fördelar när det gäller detaljnivån på data. De möjliggör en detaljerad analys av fordonsrörelser inom hela mätområdet, med fullständig fordonstäckning och körfältsspecifik information. Eftersom data för styrning av kövarning ofta endast behövs på aggregerad nivå kan dessa metoder dock i många fall betraktas som mer avancerade än vad syftet kräver.

När det gäller olika datakällors tillämpningsområden kan vissa anses vara särskilt lämpade för aktivering och inaktivering av kövarningssystem. Framför allt gäller detta datakällor som möjliggör mätningar över längre vägsträckor och därmed kan användas för att beskriva köutbredning, exempelvis mobildata och fordonsdata. Dessa datakällor har dock vissa begränsningar. De saknar möjlighet till direkta flödesmätningar och representerar endast ett urval av de fordon som befinner sig i trafiken. Därmed är de mindre lämpliga för uppföljning och analys av systemets prestation. En ytterligare begränsning är att densitet inte kan skattas direkt från dessa datakällor. Ett möjligt alternativ är att använda tidsluckor från fordonsdata för att indirekt uppskatta densiteten. En sådan skattning är dock förknippad med osäkerheter eftersom datamängden endast utgör ett stickprov av det totala trafikflödet.

Slutsatsen är att uppföljning och utvärdering av kövarningssystemets prestation främst bör baseras på data från fasta sensorer eller video- och drönarmätningar, eftersom dessa datakällor ger full täckning av fordonspassagerna och möjliggör en transparent och spårbar analys. För aktivering och inaktivering av kövarning framstår däremot mobildata och fordonsdata som fördelaktiga alternativ, eftersom de möjliggör övervakning av köutbredning över större geografiska områden.

En huvudrekommendation från projektet är att genomföra en pilotstudie där flera datakällor jämförs parallellt. Minst en av datakällorna bör vara väl kontrollerad med kända mätmetoder, mätfel och osäkerheter, så att den kan användas som referens vid utvärdering av övriga datakällor. Syftet är att kvantifiera osäkerheter, identifiera styrkor och svagheter hos olika datakällor samt skapa en bättre förståelse för deras användbarhet i kövarningssystem. Särskilt viktigt är att undersöka hur datakällor med begränsad insyn i insamlings- och bearbetningsprocessen, exempelvis mobildata, presterar i praktiska tillämpningar.

9. Fortsatt forskning

Utöver huvudrekommendationen från denna studie – att genomföra en pilotstudie för att jämföra olika datakällors styrkor, svagheter och osäkerheter – identifieras ett antal närliggande och relevanta forskningsområden för fortsatt utveckling av kövarningssystem.

Genomförda studier visar att kövarningssystem kan vara effektiva för att förbättra trafiksäkerheten och minska risken för körelaterade olyckor. Effekten är beroende av systemets utformning och kräver i många fall anpassning till de lokala förutsättningarna. Exempel på viktiga utformningsfrågor är antalet VMS-skyltar som behövs, deras placering, var och hur trafikmätningar bör ske, vilka gränsvärden som ska användas för att detektera köbildning samt hur information om köslutet bör kommuniceras till trafikanterna. Dessa aspekter bör studeras både genom trafiksimulering och genom fältförsök. Simuleringsstudier erbjuder möjlighet att analysera ett stort antal scenarier på ett kostnadseffektivt sätt utan att begränsas av gällande regelverk och praktiska förutsättningar. Därmed är simulering användbart för att undersöka om befintliga riktlinjer och regelverk bör anpassas för att optimera kövarningssystemens funktion. Simuleringar bygger dock på antaganden om trafikanternas beteende och behöver därför kompletteras med fältstudier för att verifiera resultaten samt för att undersöka trafikanternas och vägarbetarnas faktiska beteenden och upplevelser. Ett konkret exempel att studera i fältförsök är hur antalet VMS-skyltar påverkar systemets effektivitet. I flera av de studerade fallstudieobjekten har det observerats att köer kan växa förbi den punkt där kövarningen visas. I sådana situationer riskerar varningen att förlora sin funktion om inte ytterligare skyltar används för att successivt flytta varningspunkten uppströms. Datainsamling från trafikmiljöer med respektive utan aktivt kövarningssystem skulle skapa bättre förutsättningar för att utvärdera systemets nytta och möjliggöra en tydligare isolering av dess effekter under svenska förhållanden.

Ett annat viktigt forskningsområde rör körfältsutnyttjande i anslutning till vägarbeten. Ojämnt utnyttjande av tillgängliga körfält kan leda till stora hastighetsskillnader mellan körfälten, vilket i sin tur kan bidra till försämrad trafiksäkerhet. Samtidigt riskerar köerna att bli längre än nödvändigt, vilket kan leda till att ramper och korsningspunkter blockeras. För att bättre förstå dessa processer och kunna utvärdera olika styrstrategier behövs studier baserade på data på körfältsnivå.

Tidigare fältförsök har visat att kombinationer av kövarning och strategier för sammanvävning kan vara effektiva för att motverka långa köer i enskilda körfält, se till exempel studien i Michigan och Missouri (Savolainen, et al., 2024). Särskilt strategier för sen sammanvävning har visat goda resultat vid hög trafikefterfrågan, medan effekterna är begränsade vid lägre trafikbelastning. Samtidigt har en simuleringsstudie av Bouaziz, et al. (2025) visat att rekommendationer om tidiga filbyten kan vara fördelaktiga vid låg belastning men riskerar att försämra trafikförhållandena när efterfrågan är hög. Detta indikerar att den mest lämpliga strategin är beroende av den aktuella trafiksituationen. Mot denna bakgrund vore det intressant att studera hur kövarning kan kombineras med kompletterande budskap (till exempel via tilläggstavlor eller fordonskommunikation) som uppmuntrar trafikanter att utnyttja båda körfälten fram till avsmalningen, vilket enligt Algomaiah & Li (2021) kan minska köutbredningen och förbättra framkomligheten. Ett möjligt upplägg för framtida studier är att kombinera kövarning med budskap av typen *"Vid kö – använd båda körfälten"* följt av en senare VMS med instruktionen *"Väv samman här"*. En jämförelse mellan situationer med och utan sådana budskap skulle kunna ge värdefull kunskap om deras effekt på trafiksäkerhet, framkomlighet och köutbredning.

Slutligen finns behov av att studera användningen av TMA-fordon utrustade med kövarningssystem. En tidigare studie av Sakhare (2023) har visat att sådana lösningar kan minska förekomsten av kraftiga inbromsningar och bidra till en mer successiv hastighetsanpassning jämfört med situationer utan kövarning. Samtidigt har arbetsmiljörisker identifierats, då förare i kövarningsfordonen exponeras för risker från övrig trafik. I Sverige är kövarning i första hand avsedd för vägarbeten med längre varaktighet, men TMA-fordon med integrerad kövarning skulle potentiellt kunna användas även vid kortvariga eller tillfälliga arbeten för att minska risken för kökrockar. På sikt skulle sådan information även kunna distribueras direkt till uppkopplade fordon, vilket skulle möjliggöra att kövarningar presenteras i fordonets gränssnitt eller förarstödssystem. Det finns därför behov av forskning kring när, hur och under vilka

förutsättningar sådana lösningar bör användas i svenska vägarbetsmiljöer, samt vilka trafiksäkerhetsmässiga och arbetsmiljömässiga konsekvenser de medför.

Referenser

Algomaiah, M., & Li, Z. (2021). Exploring work zone late merge strategies with and without enabling connected vehicles technologies. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 9*, 100316. https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100316

Berlex. (u.å.). *Kövarning VMS*. Hämtad 5 februari 2025 från https://www.berlex.se/sv/page/kovarnings-vms

Bouaziz, I., Chalhoub, G., Bhattacharyya, K., & Laharotte, P.-A. (2025). Simulation-based impact assessment of C-ITS services: Application to road works warning use case. In *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2025)* (pp. 1-7). Oslo, Norge. https://doi.org/10.1109/VTC2025-Spring65109.2025.11174674

Chitturi, M. V., Bremer, W., & Noyce, D. A. (2020). *Development of a low-cost work zone queue warning system*. Institute for Transportation, Iowa State University, Ames, IA. https://swzdi.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2020/02/low-cost_wz_queue_warning_system_dev_w_cvr.pdf

Day, C. M., Okaidjah, D., & Knickerbocker, S. (2024). *Usefulness and reliability of probe data when alerting work zone message signs*. Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, IA. https://ctre.iastate.edu/wp-content/uploads/2024/10/usefulness_and_reliability_of_probe_data_wz_message_signs_t2.pdf

Google LLC. (2025). *Google Maps Platform Directions API*. Data hämtad via API-anrop under perioden 2025-05-06 till 2025-05-09.

Google LLC. (2026). *Google Maps Platform Directions API*. Data hämtad via API-anrop under perioden 2026-02-10 till 2026-02-17.

Google LLC. (u.å.). *Google Maps Platform Directions API Documentation*. Hämtad juli 2026 från https://developers.google.com/maps/documentation/directions

Hallmark, S., Sharma, A., Lawton, B., Basulto-Elias, G., Bilek, A., Oneyear, N., & Litteral, T. (2020). *Assessing driver behavior at back of queues: Implications for queue warning system in work zones*. Institute for Transportation, Iowa State University, Ames, IA. https://ctre.iastate.edu/wp-content/uploads/2020/07/wz_back_of_queue_driver_behavior_assessment_t2.pdf

Liljegren, E. (2023). *Trafikolyckor vid vägarbeten 2003–2021*. Rapport 2023:037. Trafikverket, Borlänge. https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1740925/FULLTEXT01.pdf

Malveaux, C., de Queiroz, M., Li, X., Hassan, H., & He, Z. (2020). *Real-time work zone traffic management via unmanned air vehicles*. Transportation Consortium of South-Central States (Tran-SET), Louisiana State University, Baton Rouge, LA. https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&context=transet_pubs

MH Corbin. (u.å.). *Queue Detection*. Hämtad 8 juni 2026 från https://mhcorbin.com/Solutions/Queue-Detection

Mobile VMS. (u.å.). *Queue Detection System*. Hämtad 2 juni 2025 från https://www.mobilevms.co.uk/queue-detection/

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). Guide to Alternative Technologies for Preventing and Mitigating Vehicle Intrusions into Highway Work Zones. The National Academies Press, Washington, DC. https://doi.org/10.17226/26625

Nissen. (2023). *Mobile Congestion Warning*. Nissen Germany. Hämtad 3 februari 2025 från https://nissen-germany.com

Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., & Papamichail, I. (2008). Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2047*(1), 37-48. https://doi.org/10.3141/2047-05

Saferoad. (u.å.). *Varning för kö – Saferoads digitala kövarningssystem*. Hämtad 3 februari 2025 från https://www.saferoad.se/kovarningssystem/

Sakhare, R. S., Mahlberg, J., Mathew, J. K., Desai, J., Li, H., & Bullock, D. M. (2022). *Impacts to traffic behaviour from queue warning truck: Current pilot project*. FHWA/IN/JTRP-2022/26. Joint Transportation Research Program, Purdue University, West Lafayette, IN. https://doi.org/10.5703/1288284317448

Savolainen, P. T., Gates, T. J., Brown, H., Edara, P. K., Sun, C., Gupta, G., Mohammadpour, M., Qing, Z., & Chang, D. Y. (2024). *Improving the effectiveness of zipper merge lane control in freeway work zones*. TPF-5(438). Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/80869

Schroeder, B., Warchol, S., Laffey, S., Grosso, R., Rowe, G., Pate, A., Boyapati, R. K., & Sanchez-Badillo, A. (2021). *Work zone intelligent transportation systems: Technology supplement*. FHWA-HOP-21-021. Federal Highway Administration Office of Operations. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/66606

Site-Safe. (u.å.). *Innovative End-of-Queue Warning System*. Hämtad 5 februari 2025 från https://sitesafeonline.com/innovative-end-of-queue-warning-system/

Strömgren, P., & Lundberg, J. (2024). *Projektrapport RWW – Road Work Warning*. Projekt SBUF 14189. Movea, Stockholm.

Sörensen, G., & Wiklund, M. (2010). *Åtgärder för att minska hastighet förbi vägarbetsplatser: Utvärdering baserad på tre fältförsök*. VTI rapport 698. VTI, Linköping. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:670574/FULLTEXT01.pdf

Trafikverket. (2020). *Beslut avseende ITS vid vägarbete*. Trafikverket. https://kravkompetens.com/wp-content/uploads/2022/01/beslut-avseende-its-vid-vagarbete.pdf

Trafikverket. (2024). *TRVK Apv Trafikverkets tekniska krav för Arbete på väg*. TDOK 2012:86, version 5. Trafikverket, Borlänge. https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=323434bc-25af-413c-989c-4816b48b0f27

Várhelyi, A., Strnad, B., Develtere, A., Temmerman, P., & Daniels, S. (2019*). Road Safety Management at Work Zones – Final Report*. Rapport D3.2. Conference of European Directors of Roads (CEDR). https://www.researchgate.net/publication/339000911_Road_Safety_Management_at_Work_Zones_-_Final_report

Ver-Mac. (u.å.). *Queue Warning System*. Hämtad 5 februari 2025 från https://www.ver-mac.com/en/smart-work-zones/applications/queue-warning-system/

Waldman, B., Freitas, J., Stamp, A., & Karimi, N. (2020). I-25 South Gap Queue Warning System Evaluation. CDOT-2020-17. Colorado Department of Transportation, Applied Research & Innovations Branch. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/88621

Wanco. (u.å.). *Wanco Queue Detection and Warning System*. Hämtad 5 februari 2025 från https://www.wanco.com/wp-content/uploads/2023/02/brochure_WancoITSQueueDetectionSystem.pdf

Zhao, L., Rilett, L., & Haque, M. (2022). Calibration and validation methodology for simulation models of intelligent work zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2676*(5), 500-513. https://doi.org/10.1177/03611981221082591

Zhao, L., & Rilett, L. R. (2023). Verification and efficacy of automated queue detection systems on interstate intelligent work zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2677*(2), 696-711. https://doi.org/10.1177/03611981221108155

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är Sveriges oberoende institut för tillämpad transportforskning. På uppdrag av regeringen bedriver vi forskning och utveckling som möter samhällets verkliga behov och bidrar till ett effektivt, säkert och hållbart transportsystem.

Vår forskning omfattar alla trafikslag och spänner från människa, fordon och infrastruktur till planering, ekonomi och styrmedel. I en tvärvetenskaplig organisation kombinerar vi spetskompetens med systembredd och avancerade forskningsmiljöer. Med en unik forskningsinfrastruktur tar vi fram oberoende beslutsunderlag som används som inom såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI samverkar nära med akademi, myndigheter och näringsliv. Vi är cirka 250 medarbetare med verksamhet i Linköping, Stockholm, Göteborg, Lund och Skellefteå.

vti