ARBETSRAPPORT 1206-2024

Effektiva inventerings-verktyg för skogsbilvägar

Maskinstöd för datainsamling och ajourhållning av väginformation: fordonsdata

Daniel Noreland

En skogsbilväg.

Yta för samarbetslogga/loggor

Innehåll

Förord **4**

Summary **5**

Sammanfattning **6**

Bakgrund **7**

Tidigare arbeten **8**

Material och metoder **8**

Väginformationens två hörnpelare **9**

Nyinventeringens utmaningar 9

Uppföljning av förändringar 9

Timmerbilar som datainsamlare **9**

Teknik för CAN-dataloggning 10

Framkomlighetsbedömning 11

Bedömning av framkomlighet utifrån körspår 11

Verifiering av vägdata genom observation av förarbeteende 12

En modell för förarbeteende 13

Rattrörelsemönster som mått på framkomlighet 15

Validering av metoden 19

Tillgänglighetsbedömning 21

Rullmotstånd som mått på ytuppmjukning 21

Uppmätning av rullmotstånd 22

Validering av metoden 23

Övrig nytta av kunskap om rullmotstånd 26

Observerade begränsningar i användning av kördata 26

Framtida utvecklingsarbete **27**

Storskalig validering av rullmotstånd som mått på bärighet 27

Behov av datainfrastruktur: databas för dynamisk väguppföljning 27

Behov av utrustning i fordonen 27

Diskussion **27**

Slutsatser **28**

Referenser **29**

Bilaga **30**

Projektfordonens verksamhetsområden 30

Förarmodell 32
Hastighet mot kurvradie 33
Hastighet mot funktionell vägklass 33
Hastighet mot vägbredd 33
Inverkan av siktsträcka 34

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts juni månad 2024 av
Gert Andersson, programchef. Därefter har Magnus Thor, forskningschef,
granskat och godkänt publikationen för publicering 20 juni 2024.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Att samla in och ajourhålla information om Götalands enskilda vägnät är en angelägen uppgift. Tack vare Södra skogsägarnas forskningsstiftelses finansiering har Skogforsk fått möjlighet att genomföra detta projekt, som inte bara bidragit med ny kunskap, utan även lagt grunden för fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete av intresse för skogsbruket i hela landet.

Jag vill även rikta ett tack till de förare som bidragit till datainsamling och utan vars hjälp projektet inte hade varit möjligt.

Uppsala i maj 2024

Daniel Noreland

Summary

Keeping the forestry road database up to date is crucial in the wake of the major inventory in Götaland 2018-2024. This report presents a number of methods for continuous monitoring of road status, based on data obtained from timber trucks using the forest road network.

- There is a strong association between driving pattern and traversability, which can be used to detect road sections of inferior geometry.
- Surface layers of gravel roads exhibit considerable softening during wet conditions. This effect can be measured using CAN bus signals on heavy vehicles.
- Monitoring of accessibility (and to some extent traversability) depends on accurate geometric description of the road. The altitude information available from the on-board GNSS receiver of vehicles or the National Road Database (NVDB) is currently insufficiently accurate for the methods developed in this project.
- Training data for the developed models are based on current information in NVDB. The results from the road inventory in Götaland should improve the models' predictive power.
- Results from this project are a steppingstone for further work. Two projects have been granted funding and are under way. One of the projects is building on the results from this report, while the other is aimed at improving altitude information in NVDB.

Sammanfattning

Ajourhållning av skogsbrukets vägdatabas är en högangelägen uppgift i kölvattnet av den stora inventeringsinsats som genomfördes i Götaland 2018–2024. Den här rapporten presenterar ett antal metoder för fortlöpande övervakning av vägstandard. Metoderna baseras på data som inhämtas från timmertransportfordon som trafikerar det enskilda vägnätet.

- Det finns ett starkt samband mellan körmönster och framkomlighet, som kan användas för att detektera väglänkar med potentiellt bristfällig framkomlighet.
- Grusvägar uppvisar en påtaglig ytuppmjukning vid väta, och det går att mäta denna effekt utifrån signaler på tunga fordons CAN-buss.
- Tillgänglighetsuppföljning (och i viss mån även dito för framkomlighet) är beroende av noggrann geometrisk beskrivning av vägen. De höjdvärden som finns tillgängliga via fordonens ombordsystem (GNSS) eller från NVDB har idag för låg noggrannhet för de metoder som utvecklats i detta projekt.
- Träningsdata till de utvecklade modellerna grundas på nuvarande information i NVDB. Resultatet från den genomförda väginventeringen bör förbättra modellernas prediktionskraft.
- Resultat från detta projekt utgör språngbräda för fortsatt arbete. Två projekt har fått finansiering och är inledda. Det ena bygger vidare på metoderna från innevarande projekt. Det andra syftar till att förbättra höjdvärdena i NVDB.

Bakgrund

År 2018 inledde Biometria ett femårigt projekt att inventera Götalands enskilda vägnät. Beslutet att finansiera inventeringen fattades av Södra skogsägarna mot bakgrund av att man under en längre tid sett ökade kostnader i samband med transporter på enskild väg. Inventeringens syfte var, förutom att få en detaljerad och korrekt beskrivning av vägnätet, att utifrån en objektiv bedömning sätta fingret på svaga punkter och ge incitament till vägförbättringsåtgärder på det enskilda vägnätet. I samband med inventeringen gjordes en översyn av de detaljerade geometriska kraven på bland annat vändplaner och vändslingor så att de bättre motsvarar den faktiska framkomligheten hos dagens timmerbilar med släp.

Inventeringen, genomförd med manuella metoder där varje väglänk besöktes, fick en budget på runt 25 MSEK och det är knappast troligt att en liknande insats kommer att upprepas inom överskådlig framtid. Det är därför av största vikt att informationen i NVDB hålls aktuell genom löpande uppdateringar.

	GEOMETRISK STANDARD FRAMKOMLIGHET FÖR 24-METERSFORDON			
	Dimensionerande hastighet, normalt km/h			
TILLGÄNGLIGHET	60	40	30	20
Last- och personbilstrafik hela året	1A	2A	3A	
Lastbilstrafik hela året utom vid svår tjällossning. Personbilstrafik hela året.	1B	2B	3B	
Lastbilstrafik hela året utom under tjällossnings- och ihållande regnperioder. Personbilstrafik hela året utom under tjällossningen.		2C	3C	4C
Lastbilstrafik i huvudsak vintertid. Personbilstrafik även sommartid.				4D

Figur 1. Skogsstyrelsens definition av klasserna för geometrisk standard och tillgänglighet. (Källa: Skogskunskap)

Innevarande projekt har finansierats av Södras forskningsstiftelse och har som mål att långsiktigt bidra till upprätthållande och utveckling av väginformationen. Intressenter är virkesköpare, logistikplanerare, transportörer och väghållare. I första hand är väginformation väsentlig för drivningsplanering och planering av vägåtgärder, men nya ersättningsmodeller för transporter är också beroende av korrekt väginformation. Modeller för beräkning av CO_2-utsläpp för miljöredovisning är ett annat exempel på var noggranna vägdata är avgörande för träffsäkerheten i beräkningarna.

Tidigare arbeten

Flera tidigare ansatser har gjorts för att ta fram maskinstöd för bedömning av vägstandard. Det mesta rör belagda vägar, där problemen och utmaningarna delvis skiljer sig från för de enskilda vägarna. I huvudsak behandlas kontinuerlig uppföljning av allmänna vägar för att detektera spårbildning, sprickor och potthål på vägar belagda med asfaltbetong. Metoderna baseras främst på data från markradar och foton tagna från fordon. Bilderna behandlas med olika metoder för datorseende. Fram till millennieskiftet användes i huvudsak klassiska metoder för bildanalys, exempelvis Chambon och Molier (2011). Därefter har många metoder baserade på neurala nätverk och maskininlärning presenterats. Ayman och Fakhr (2023) presenterar en metodöversikt. För en översikt av fjärranalytiska metoder, se exempelvis Schnebele m.fl. (2015).

Närmast relaterat till skogsbrukets framkomlighetsbedömning är olika fjärranalytiska metoder för identifiering av vägars begränsningslinjer utifrån ortofoton (Wang m.fl. 2016). Sådana metoder skulle även kunna appliceras på skogsbilvägar, men funktionen begränsas i många fall av tveksam framkomlighet, då vägytan är skymd av trädkronor.

Mycket mindre finns rapporterat specifikt för bedömning av grusvägar. Egenskaper som har bedömts i den litteratur som finns relateras till både framkomlighet och tillgänglighet. Utifrån fuktighetskartor genererade från satellitdata tar Fjeld m.fl. (2024) fram ett mått på bärighet. Upplösningen i data medger generell bärighetsbedömning på veckobasis över större områden.

Fordonsinsamlade data har använts i olika sammanhang. Projektet BiFi (Bärighetsinformation genom Fordonsintelligens, 2012) tog fram en metod för att detektera ytuppmjukning utifrån vibrationer i fordon som trafikerar vägen. Med 70 procents träffsäkerhet lyckas systemet klassificera vägar i kategorierna låg, mellan respektive hög risk för bristande bärighet under tjällossningsperioden. Aleadelat m.fl. (2018) presenterar en metod där Android-telefoner används för att detektera ojämnheter på grusvägar utifrån uppmätta vibrationer. Hoseini m.fl. (2023) presenterar en metod för automatisk detektion av potthål baserad på foton tagna med bilkamera behandlade med djupinlärning.

Material och metoder

Projektets metoder utgår från CAN-bussdata som samlas in från fordon som normalt trafikerar det enskilda vägnätet i Götaland. Eftersom detta är ett forsknings- och utvecklingsprojekt där syftet är att finna gränserna för vad som är möjligt att åstadkomma med tillgängliga data användes speciell utrustning för datainsamling i form av CAN-bussloggning. Södras åkeri bistod med sju fordon i vilka loggningsenheter av typen Owasys 450 monterades.

De data som spelas in i fordonen kopplas till informationen från Nationella vägdatabasen (NVDB) i ett efterprocesseringssteg. Resultatet är datasekvenser som med sekundupplösning presenterar ett flertal fordonsparametrar, geografisk position samt motsvarande information ur NVDB. Datasekvenserna är indata till de olika matematiska modeller som utvecklats i projektet och implementerats i form av programkod.

Väginformationens två hörnpelare

Insamling av vägdata består av två huvudmoment: nyinventering och ajourhållning. Vid nyinventering samlas information in förutsättningslöst, vilket med de idag använda metoderna innebär manuell inspektion på plats. Ajourhållning syftar till att bibehålla informationens kvalitet trots de förändringar som vägen genomgår under sin livscykel.

Nyinventeringens utmaningar

Med tillräckligt kostnads- och resultateffektiva inventeringsmetoder skulle man kunna tänka sig att nyinventering och ajourhållning sker med samma verktyg. Det ställer krav på att data och modeller är tillräckligt noggranna så att ett i absoluta termer korrekt resultat kan bestämmas. Exempelvis skulle framkomligheten för en med fjärranalys uppmätt vägsträcka kunna beräknas. Problemet är om data är för glesa i rummet, eller endast inhämtas sällan. På ett ortofoto kan vägen skymmas av vegetation, och laserpunktmolnet, som visserligen når ner till markytan, kan ha åtskilliga år på nacken och inte längre spegla verkligheten.

Uppföljning av förändringar

Finns det datakällor som inhämtas med kortare intervall, samtidigt som informationen har en direkt koppling till de intressanta egenskaperna, kan man följa förändringar över tid för att på så sätt uppskatta avvikelsen från den ursprungliga vägklassningen. En hypotes tidigt i projektet var att man genom att följa upp hur körhastigheten längs väglänkar förändras över tid kan detektera förändringar i form av förändrad sikt genom tillväxt av sly, uppkomst av potthål och så vidare. För att detta ska vara möjligt praktiskt krävs en datainfrastruktur som börjar med fordonets egna signaler och via en central molntjänst genererar bedömningar av väglänkarnas skick. Ingen ny hårdvara skulle egentligen behövas i fordonen, men det skulle krävas mjukvara för att i varje fordon aggregera information om väglänkarna, som sedan skickas via mobildata till molntjänsten. De fleet-managementsystem som finns implementerade skickar data om position och hastighet, men med en upplösning på typiskt en minut, vilket är för grovkornigt i sammanhanget. För att få de stora lastbilstillverkarna intresserade av att utveckla en tjänst av aktuellt slag krävs en marknad stor nog att motivera insatsen ekonomiskt, vilket den nordiska timmerstransportbranschen kanske inte är. I stället behöver tredjepartslösningar övervägas.

Timmerbilar som datainsamlare

De fordon som regelbundet trafikerar det enskilda vägnätet kan potentiellt bidra med mycket information om de vägar de rullar på. I princip skulle man kunna utrusta varje timmerbil med speciella kameror och lasermätare avsedda för vägskanning, men av praktiska och ekonomiska skäl är detta knappast möjligt. I stället valdes att utgå från signaler som redan finns tillgängliga från fordonens sensorer, och vars värden kan läsas av från CAN-buss. Det rör sig om signaler för hastighet, motorvarvtal, motormoment, bromsapplikation och geografisk position.

Teknik för CAN-dataloggning

För projektets genomförande användes loggningsutrustning för CAN-busstrafik, som monterades i sju fordon förmedlade av Södras åkeri. Datatrafiken spelas in löpande, och skickas regelbundet till en molntjänst via mobildatanätverket. Saknas täckning tillfälligt fortsätter dataloggningen tills anslutningen återupprättas. Data som lagrats i molntjänsten hämtas slutligen ner för analys. Totalt loggades över 900 000 körda km.

Loggningsenheterna läser av data via en kontaktlös induktiv givare, vilket eliminerar risken för oavsiktlig påverkan på fordonen. Utöver avläsning av CAN-trafiken har loggningsenheterna egna GNSS-mottagare, som bestämmer den geografiska positionen utifrån satellitnavigeringssystemen GPS, Galileo och GLONASS. Datainsamlingen sker kontinuerligt och med jämna mellanrum skickas data upp till en server via mobildatanätverket. Saknas täckning där fordonet befinner sig fortsätter datalagringen tills förbindelsen återupprättas.

Figur 2. Enhet för loggning av CAN-trafik.

Data levereras i form av rådataströmmar från CAN-trafiken. Ur dessa strömmar identifieras och avkodas intressanta meddelanden enligt specifikationer från standarden J1939, som används för tunga fordon. Informationen översätts i fysikaliskt tolkningsbara signaler för motorvarvtal, hastighet och så vidare med en tidsupplösning på 10 Hz (1 Hz för positionen).

Figur 3. Kabelstammen återfinns under fordonens instrumentpanel, här på en Volvo FH16. CAN-trafiken avläses med hjälp av en induktiv givare, som kan avlyssna meddelanden men inte skicka ut några egna.

Erfarenheten visar att plankoordinaten från loggningsutrustningens GNSS-mottagare har en noggrannhet på en meter i öppen terräng, men i tät skog kan fel på ca tio meter förekomma. GNSS-enheten innehåller, förutom en satellitmottagare, ett system för tröghetsnavigering. Systemen arbetar tillsammans, vilket gör att positionsfelen i enskilda punkter inte är oberoende av varandra. De koordinatspår som registreras kan ligga ”vid sidan” av den verkliga vägen, men har väsentligen rätt form. GNSS-enheten levererar även en signal för höjd över havet, men den är notoriskt inexakt och har även under goda förhållanden ett fel på flera meter.

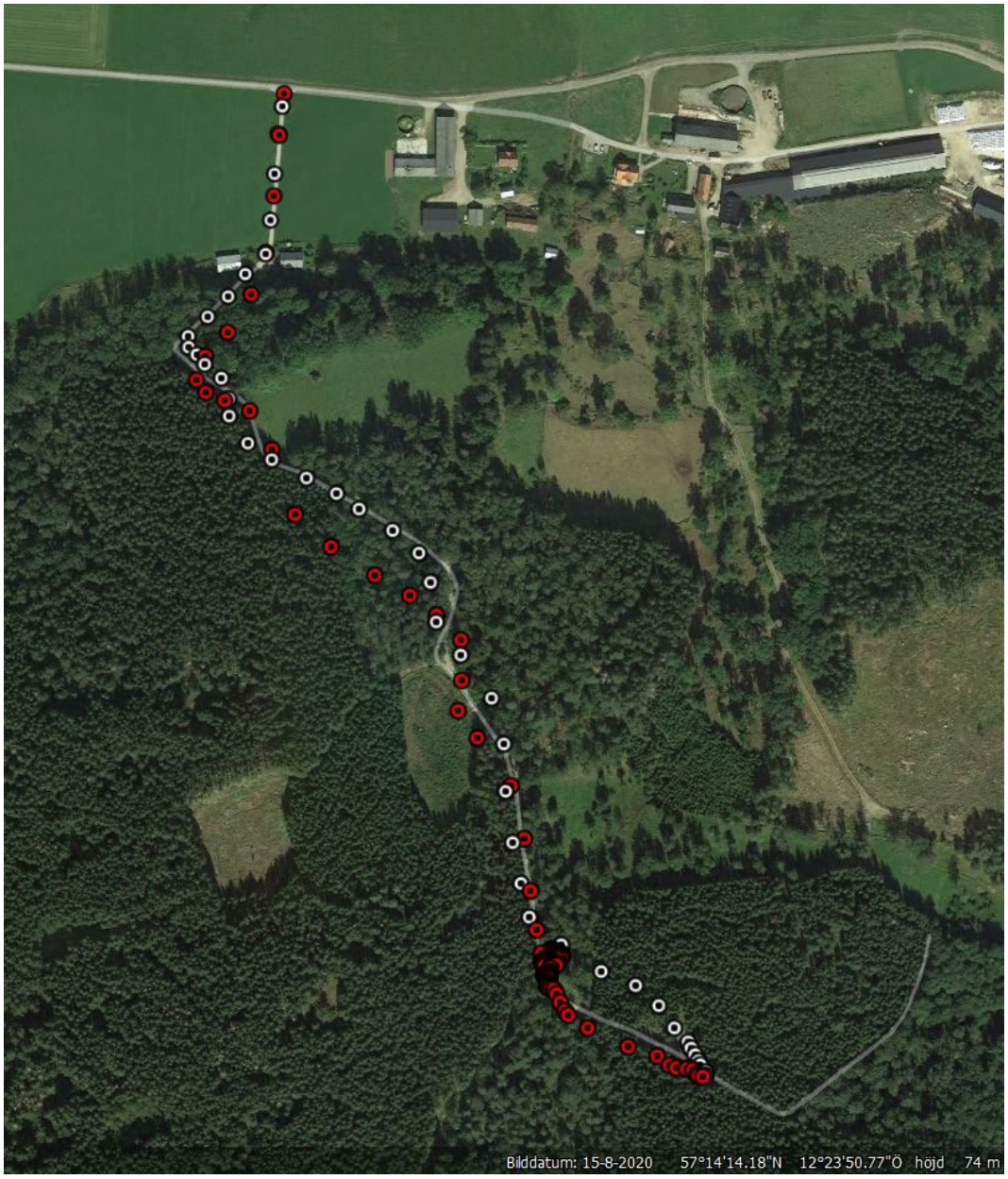
Metoden att samla in data från fordonens CAN-buss via speciell utrustning är inte tänkt som modell för en produktionsutrustning, utan syftar till att undersöka vad som är möjligt att göra med fordonssignaler. En praktiskt användbar utrustning måste sannolikt baseras på redan existerande hårdvara i form av OBD2-donglar för avläsning och mobiltelefoner för databearbetning och kommunikation.

Framkomlighetsbedömning

Här presenteras tre olika principer för bedömning av praktisk framkomlighet. De baseras på observerade körmönster.

Bedömning av framkomlighet utifrån körspår

Efter att ett fordon körts längs en väg kan ett loggat körspår i princip användas för att rekonstruera vägens linjeföring. Detta har visat sig fungera väl i öppen terräng där det är möjligt att med god noggrannhet återskapa vägens krökningsradie i kurvor, cirkulationsplatser och vändplaner. Problem uppstår dock om vägen omges av tät vegetation som hindrar mottagningen av navigationssatelliternas signaler. Figur 4 visar ett loggat körspår från ett fordon som hämtar virke från ett avlägg 5 km sydost om Veddige. De vita punkterna representerar infart, och de röda utfart. Över åkern precis efter avtaget från den allmänna vägen är noggrannheten inom en meter, men så snart fordonet kommer in i skogen sjunker den drastiskt. Som mest är felet uppe i ca 30 m. GNSS-enheten är försedd med ett system för tröghetsnavigering, vilket i princip ska kompensera för tillfälliga signalbortfall. Icke desto mindre syns körspåren gena kraftigt i de snäva kurvorna. Utan ett system för korrektion (RTK) går det alltså inte att använda körspåren för framkomlighetsbedömning på de vägar där detta förmodligen är som mest intressant.



Figur 4. Körspår loggat längs en enskild väg som bitvis omges av tät vegetation.

Verifiering av vägdata genom observation av förarbeteende

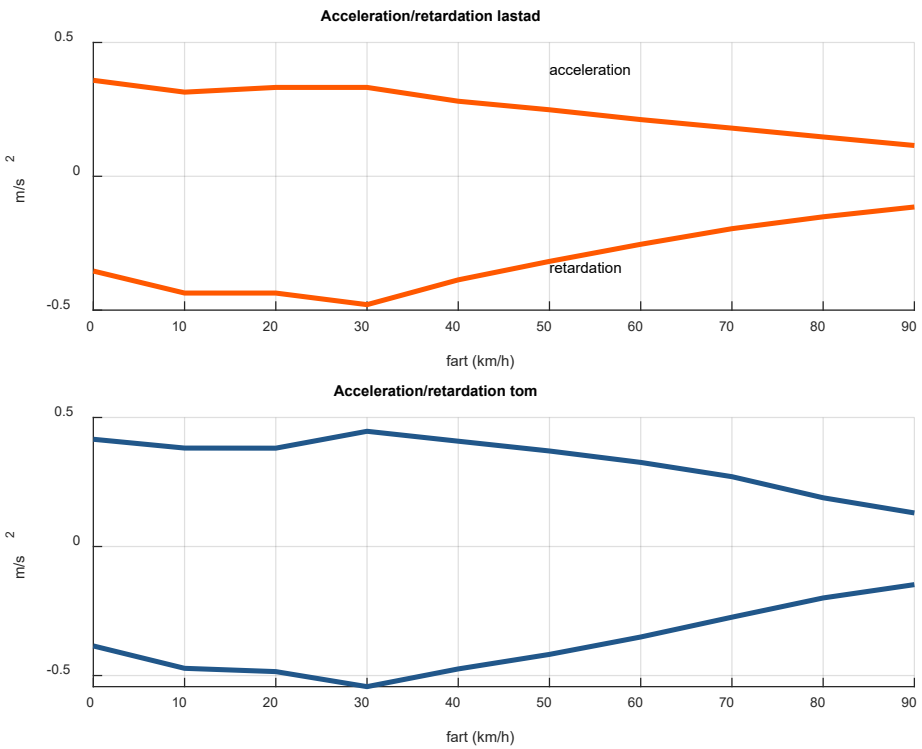
Vägens linjeföring, mötessikt och stoppsikt bestämmer den geometriska standarden, som är ett mått på hur fort ett 24-metersekipage kan framföras på vägen. Skogsstyrelsens Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4 (Skogsstyrelsen, 2011) anger vilka geometriska krav som ställs för att vägen ska hålla de respektive klasserna, men man ska komma ihåg att dessa krav är underlag för en *bedömning* av vilken geometrisk klass som gäller. Ytterst är det hastigheten som fordonen faktiskt håller som bestämmer klassen. Genom att observera fordon som trafikerar vägarna bör man alltså kunna bestämma den faktiska geometriska standarden och på så sätt få ett mått på vägens framkomlighet. Därefter kan kvaliteten på informationen i SNVDB verifieras genom jämförelse med ”verkligheten”.

En modell för förarbeteende

I själva verket är jämförelsen mellan observerat körmönster och registrerad geometrisk standard inte trivial att genomföra. Om fordon regelmässigt framförs med hög fart, säg 60–70 km/h längs en väglänk kan man omedelbart konstatera att standarden är hög. Omvänt gäller dock inte samma logik eftersom det kan finnas andra skäl till låg hastighet än att vägen är dålig. Exempelvis kommer medel- och maxhastigheten på ett kort vägstick som ansluter till en större väg av lätt insedda skäl att vara låg, oavsett hur välbyggd vägen är. Det krävs alltså en bättre modell för den förväntade hastigheten på en väg, än vad som ges enbart av kurvradier och ytjämnhet. Skogforsk har därför tagit fram en modell för förarbeteende, med vars hjälp det går att prediktera hastighetsprofilen för ett timmerfordon som körs längs en väg. Indata till modellen är information om vägen hämtad från den nationella vägdatabasen. Grunden till modellen togs fram i projektet ”Energieffektivisering genom utvecklad modell för transportaffärer” och beskrivs av Noreland (2024). Modellen har utvecklats vidare inom ramen för detta projekt för att spegla förhållanden i Götaland, vilket innebär ett ökat fokus på vägar av funktionell vägklass 8 och 9.

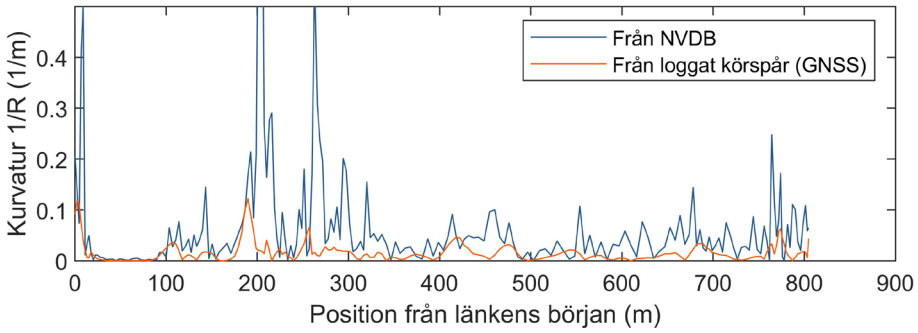
Modellen utgår från att föraren försöker hålla så hög fart det går med hänsyn till komfort och säkerhet. I detta ingår att anpassa farten till kurvor och siktsträcka och att undvika plötsliga inbromsningar eller accelerationer. Tekniska begränsningar i form av motoreffekt i förhållande till bruttovikten och väglutningen är också bestämmande. Utifrån statistiskt bestämda parametrar för hur förare i genomsnitt väljer att accelerera och bromsa in, samt hur farten anpassas till kurvor, löses en kinematisk rörelseekvation för fordonet och får i slutändan en hastighetsprofil för fordonets framfart längs vägen.

I Figur 5 presenteras genomsnittsvärden för hur acceleration och retardation varierar med fordonets hastighet. Kurvorna baseras på statistik från perioderna 1 maj till 30 september 2022 och 2023.

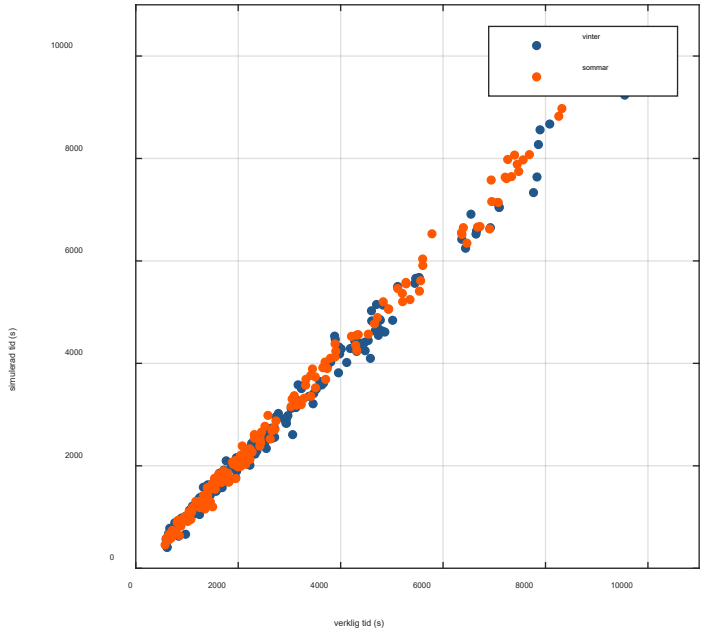


Figur 5. Accelerations- och retardationsmönster sommartid.

Körsimulatorn har validerats genom jämförelse av ett antal slumpvis utvalda rutter av varierande längd. Utifrån resultatet, som visas i Figur 7, framgår att den simulerade totaltiden hamnar inom ca fem procent från den verkliga tiden. Dock utgörs mycket av körningen på allmänna vägar med väginformation av relativt hög noggrannhet. På enskilda vägar är träffsäkerheten sämre beroende på att framför allt data över kurvradien brister. Svårigheten är dubbel i och med att varken uppmätta (se ovan) eller ur NVDB utlästa kurvradier är tillförlitliga. Detta demonstreras av Figur 6, som visar kurvaturen för väglänken i Figur 4 med data från NVDB samt det loggade körspåret. Ett värde på 0,1 motsvarar en kurvradie på 10 m, vilket antyder att databasens värden håller låg noggrannhet. Inte heller beräkningen från det loggade körspåret är tillförlitlig eftersom kurvorna i skogen slätats ut.



Figur 6. Kurvatur på enskild väg från två datakällor.



Figur 7. Simulerad tid jämfört med verklig tid för olika rutter.

Rattrörelsemönster som mått på framkomlighet

Förändringar i rattvinkelutslag under körning bör vara direkt relaterade till vägens geometriska standard. Ju slingrigare en väg är, desto större förändringar av rattutslaget per längdenhet kan man förvänta sig. Denna tanke ligger till grund för en algoritm som bedömer den geometriska standarden för en väglänk utifrån en jämförelse mellan totala variationen i rattvinkel och genomsnittet för länkens funktionella vägklass. Det ska påpekas att stor rattvinkelvariation inte nödvändigtvis beror på stora rattutslag. Små men täta kurskorrektioner beroende på att föraren försöker undvika olika hinder i form av stenar eller vegetation leder också till stor rattvinkelvariation.

Om $\theta(s)$ betecknar rattvinkeln vid läge s längs vägen blir den totala variation (TV) mellan punkterna a och b

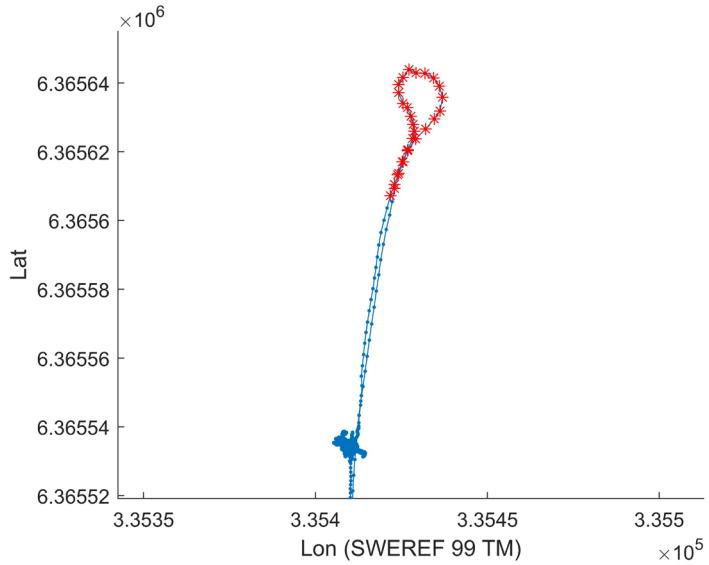
$$\mathrm{TV}_a^b(\theta) = \int_a^b \left|\theta'(s)\right| \mathrm{d}s. \tag{1}$$

Den genomsnittliga ”rattaktiviteten” Ω på sträckan $[a, b]$ kan vi sedan definiera som TV per meter väg, och den beräknas då enligt

$$\Omega(a, b) = \frac{1}{b-a} \int_a^b |\theta'(s)| \mathrm{d}s. \tag{2}$$

Från de tidsdiskreta dataserier som loggas från fordonets CAN-buss, i detta projekt med sekundupplösning, beräknas TV genom att summera beloppet av förändringen i rattutslag mellan varje sampel. Körd sträcka bestämdes genom integration av fordonets egen hastighetsmätarsignal, som mäts på framhjulen (icke drivande).

Stora rattvinkelförändringar uppträder alltid vid vändning på vändskiva. Eftersom vändskivorna framför allt förekommer i slutet av nollvägar, som till största delen är av vägklass 9, infördes en automatisk detektion av vändningsmanövrer så att dessa kan tas bort ur dataunderlaget (Figur 8). Andra datapunkter som tas bort är sådana där fordonet nästan är stillastående eller backar, eftersom detta ofta indikerar manövrer med stora rattrörelser (exempelvis vändning i vändficka) utan att vägens geometriska standard nödvändigtvis är låg.



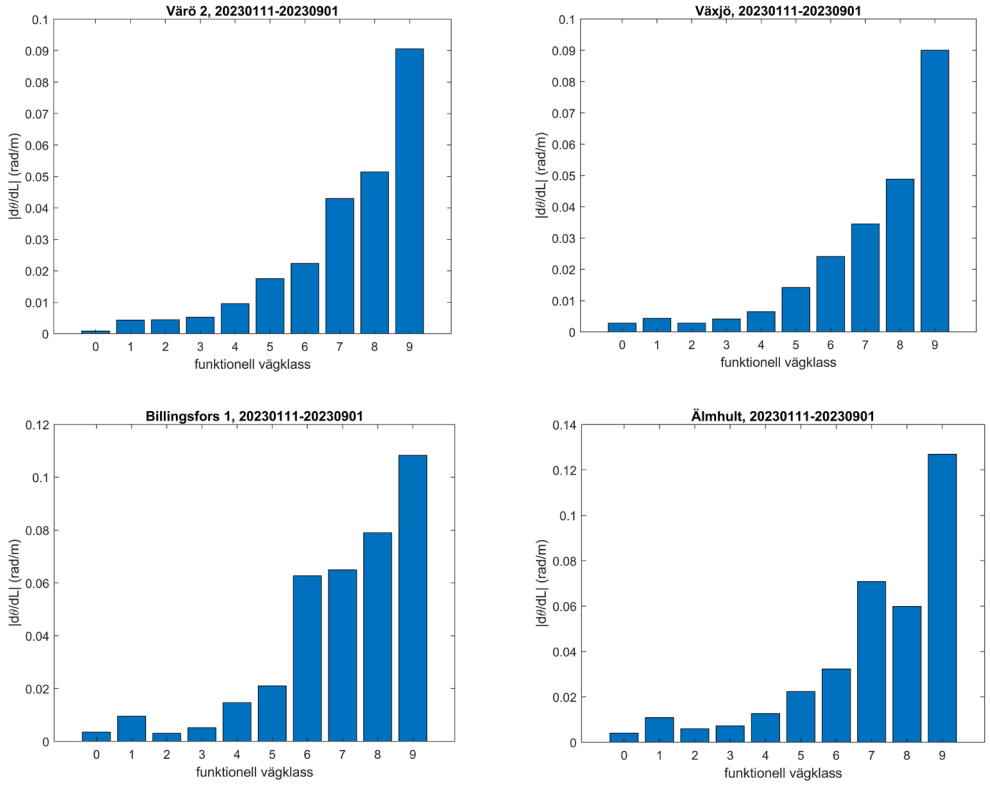
Figur 8. Automatiskt identifierad vändning på vändplan (röda stjärnor). ”Trasslet” längst ner i diagrammet kommer från felvisningar i lägeskoordinater som uppstår då fordonet står stilla för lastning av virke.

Sammantaget togs följande data bort:

- Fart < 4 km/h
- backväxel ilagd,
- fordonet framförs på eller i nära anslutning till vändplan.

Försök gjordes även att separera dataunderlaget efter dagsljusförhållanden, men ingen signifikant skillnad mellan dag respektive natt kunde konstateras.

Referensvärden för bedömning av geometrisk standard bestämdes genom att beräkna den genomsnittliga TV per meter för samtliga vägklasser 0–9. Användbara indata registrerades från fyra av projektfordonen, med början i januari 2023. Resultat från analysen presenteras i Figur 9, som visar statistik från två Scania (övre raden) och två Volvo (nedre raden). Trots att Scania-bilarna har olika hemorter och rör sig i olika områden är värdena mycket lika varandra, speciellt på de intressanta vägklasserna 8 och 9. Detta visar att det är relevant att koppla styraktivitet till funktionell vägklass. För de två Volvo-bilarna uppvisar histogrammen ett mer oregelbundet utseende. Till viss del kan detta antas bero på ett mindre statistiskt underlag för vissa av vägklasserna. Exempelvis registrerades för Billingsfors 1 endast 15 km på vägklass 6.

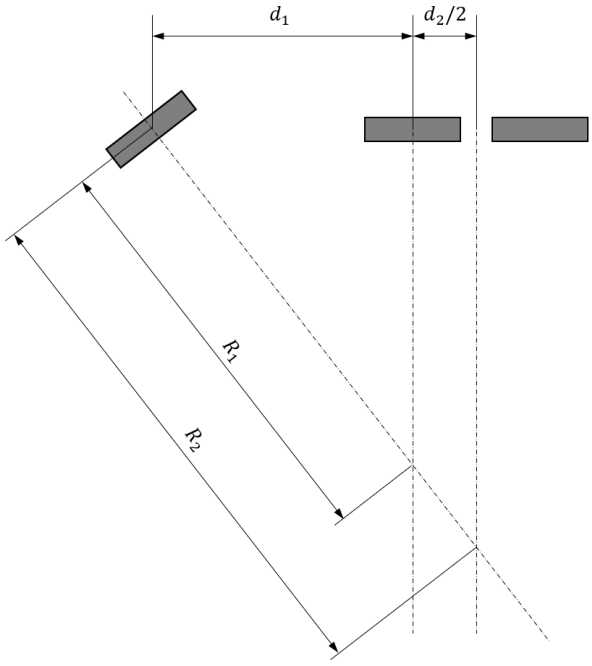


Figur 9. Genomsnittlig rattvinkelvariation på de olika funktionella vägklasserna.

Det går inte att direkt jämföra värden mellan olika lastbilsmodeller eftersom utväxlingen i styrväxeln kan vara olika. Även bilarnas axelavstånd påverkar vilket styrutslag som krävs för en viss svängradie. Med hänvisning till Figur 10, där bilen för enkelhets skull representeras av en så kallad ”cykelmodell”, ser man att kvoten mellan svängradierna för samma styrutslag med lyft respektive sänkt sista axel ges av

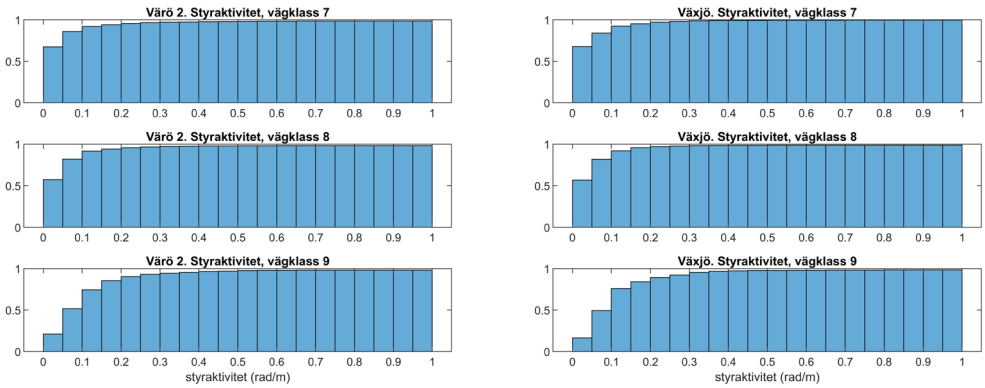
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{d_1 + d_2/2}{d_1},$$

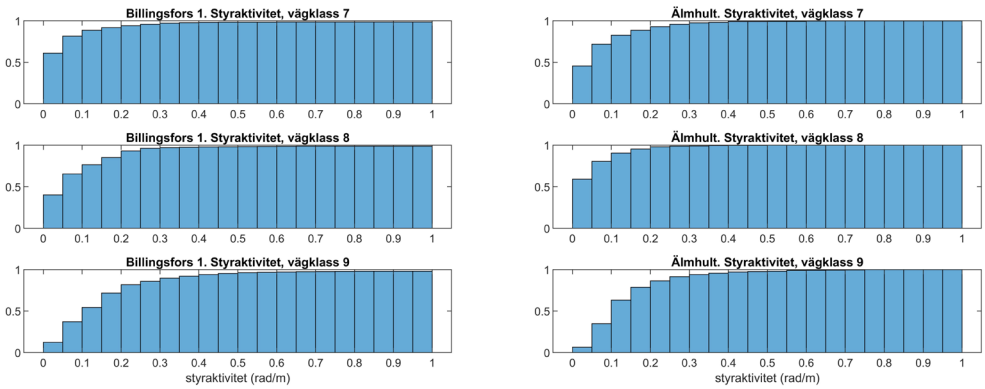
där d_1 och d_2 är avstånden mellan axlar 1–2 respektive 2–3. Typiska värden är 4550 mm för d_1 och 1350 mm för d_2, vilket ger R_2/R_1 = 1,15. För att använda resultat från detta projekt för automatisk detektering av dålig framkomlighet bör man alltså i princip kompensera för aktuella axelavstånd och i förekommande fall lyftbar axel på boggin. Felet som uppträder om man inte gör det kan bli runt 20 procent (på grund av annat avstånd mellan axel 1 och 2 eller om fordonet har trippelaxel), vilket kan spela roll för ”gränsfall” men kanske inte är avgörande på det stora hela.



Figur 10. Enkel modell av styrgeometrin för treaxlig bil med lyftbar sista axel. I denna ”cykelmodell” representerar hjulen den verkliga bilens axelmittpunkter. Det antas att boggins neutralpunkt ligger mitt i axelgruppen när båda axlar är i marken.

Kärnfrågan är vid vilken nivå på styraktivitet som en väglänk ska flaggas som bristfällig. Det finns inget absolut svar på den frågan, utan man får definiera en nivå utifrån vad som är normalt, till exempel för den aktuella funktionella vägklassen. Väglänkar där styraktiviteten överstiger tröskelvärdet betraktas som potentiellt undermåliga. De genomsnittliga styraktiviteterna på de respektive vägklasserna ger en fingervisning om hur de förhåller sig till varandra, men räcker inte för att definiera tröskelvärdena. I stället kan man titta på kumulativa histogram över rattvinkelvariationen och bestämma ett gränsvärde för vad som ska anses acceptabelt. Histogrammen visar hur stor andel av väglänkarna där aktiviteten uppgår till högst det på x-axeln avsatta värdet. Definierar man exempelvis de 10 procent av väglänkarna som har högst variation som undermåliga, kan man utläsa att detta på vägklass 9 sker vid en variation på 0,25 rad/m för de två Scania-fordonen (Värö 2 och Växjö). För Volvo (Billingsfors 1 och Älmhult) är motsvarande värde 0,30 rad/m.





Figur 11. Kumulativ fördelning för styraktivitet på de tre högsta vägklasserna 7–9.

Validering av metoden

För att utvärdera metoden undersöktes rattvinkelvariationen väglänksvis för fordonet Värö 2 under tio dagar i början av maj 2023. Om man från det enskilda vägnätet väljer ut väglänkar med en variation på högst 0,05 rad/m finner man 208 länkar, varav 63 angavs vara av vägklass 7, 139 av vägklass 8 och 6 av vägklass 9. Samtliga av dessa väglänkar kan utifrån en kartinspektion bedömas ha god framkomlighet.

Figur 12. Typexempel på väglänkar med god framkomlighet. Den genomsnittliga rattvinkelvariationen är här högst 0,05 rad/m.

Väljer man att titta på väglänkar med en rattvinkelvariation större än 0,25 rad/m finner man för samma period 14 stycken. Av dessa kan alla utom tre uteslutas då de motsvarar

manövrering på industriplaner eller virkesupplag. Av de tre länkar som kvarstod (se Figur 13) är två uppenbart bristfälliga framkomlighetsmässigt.

Figur 13. Två väglänkar med en rattvinkelvariation på mer än 0,25 rad/m. Båda länkarna är omgivna av tät vegetation, som reducerar signalstyrkan för satellitnavigatorn med dålig noggrannhet hos koordinatpunkterna som konsekvens. Det påverkar dock inte noggrannheten i rattvinkelvariationen per längd, då den senare beräknas med data från fordonets trippmätare. I den vänstra bilden har länken besökts sex gånger. Varje passage visas med tre koordinatpunkter som definierar startpunkt, mittpunkt och slutpunkt.

Den tredje länken visas i Figur 14 och är exempel på när metoden kan ge ett missvisande resultat. Länken är inte uppenbart problematisk, men den är kort och föregås av en skarp sväng, vilket leder till ett högt värde på rattvinkelvariation per meter.

Figur 14. Exempel på väglänk som förmodligen felaktigt signalerats som svårframkomlig. Vändslingan ingick inte i underlaget, men är i sig så snäv att den borde undersökas närmare.

Sammanfattningsvis blir antalet signalerade länkar några stycken per vecka om gränsen sätts vid 0,25 rad/m. Flera av dem kan automatiskt filtreras bort (för att de ligger i anslutning till någon av mottagningsplatserna eller liknande) och de som kvarstår är med stor sannolikhet problematiska på ett eller annat sätt. Ett lägre tröskelvärde fångar fler problematiska länkar men ger samtidigt upphov till fler felaktiga signaler.

Tillgänglighetsbedömning

Av intervjuer gjorda med Biometrias inventerare från Götalandsinventeringen framgick att bärigheten över lag betraktas som ett mindre problem än framkomligheten. Det hindrar inte att kunskap om vägytans kondition bör följas upp över tid för att detektera potentiella problem på enskilda vägar och för att följa den storskaliga utvecklingen över tid.

Bärigheten är notoriskt svårbedömd eftersom den till stor del styrs av faktorer som är dolda under vägytan. Olika metoder baserade på fjärranalys har föreslagits (Fjeld m.fl. 2024) men de har gemensamt att träffsäkerheten att ganska låg. I det här projektet har fokus framför allt varit på användning av fordonsinsamlade data.

Rullmotstånd som mått på ytuppmjukning

Bärigheten är i grunden ett mått på när vägen kan trafikeras utan oacceptabel spårbildning. Utan att gå in på innebörden av ”acceptabel” kan man konstatera att spårbildning är synonymt med plastisk deformation av vägen, som i sin tur i hög grad är kopplat till rullmotstånd. Även om rullmotståndet innehåller komponenter relaterade till kontakten mellan däcket och slitlagret samt däckspecifika egenskaper kan det antas att en stor del av skillnaden i rullmotstånd mellan två grusvägar kan hänföras till bärigheten. Från dessa antaganden formulerades två hypoteser:

1. Det finns ett direkt samband mellan rullmotstånd och bärighet.
2. Vägens väderleksrespons i termer av rullmotstånd avgör vägklass (A–D).

Hypotes 1 är ett starkare antagande som förutsätter att man, oavsett däcktyp och andra tekniska förutsättningar, kan mäta rullmotståndet tillräckligt noggrant, och utifrån resultatet uppskatta bärigheten vid tillfället. Hypotes 2 utgår från relativa förändringar på en och samma väg men mätt vid olika tidpunkter.

Tabell 1. Använda beteckningar för rullmotståndsberäkning.

Symbol	Storhet	Typiskt värde	Enhet
P	Effekt	0–450	kW
C_r	Rullmotståndskoefficient	0,005–0,04	-
C_d	Luftmotståndskoefficient	0,8	-
F_{rr}	Rullmotstånd	1–5 kN	N
A	Frontarea	10,4	m^2
N	Normalkraft	*	N
m	Fordonets massa	17–74 ton	kg
m_{rot}	Roterande massa	1400	kg

$m_{\text{eff}} = m + m_{\text{rot}}$	Effektiv massa	*	kg
v	Fart	*	ms^{-1}
a	Acceleration	*	ms^{-2}
ρ	Luftens densitet	1,2	kgm^{-3}
ϑ	Temperatur	*	$^{\circ}$ C
g	Jordaccelerationen	9,82	ms^{-2}
z	Höjdvärde	*	m
α	Vägbanans längslutning	*	-
t	Tid	*	s
τ	Vridmoment		Nm
RPM	Motorvarvtal		varv min^{-1}

Uppmätning av rullmotstånd

I J1939-protokollet, vilken är den industristandard som specificerar de signaler som kommuniceras via CAN-bussen på tunga fordon, finns ingen signal för rullmotstånd. Däremot finns signaler för motorvarvtal, vridmoment och bränsleflöde. Den effekt som motorn utvecklar går till att accelerera fordonet, vinna höjd i backar samt att övervinna rull- och luftmotstånd. Dessutom tillkommer icke-försumbara friktionsförluster av olika art i drivlinan. Med beteckningar enligt Tabell 1 gäller för den mekaniska effekten P att

$$P = m_{eff}av + mgv\sin\alpha + C_r mgv + C_d A\frac{\rho v^3}{2}.$$

Genom att jämföra den mekaniska effekt

$$P_m = \tau\frac{\pi}{30}\cdot \text{RPM},$$

som motorn utvecklar på ingående axel till växellådan kan man efter avdrag för friktionsförluster i växellådan bestämma C_r. Alternativt kan man använda signalen för drivmedelsflöde för att beräkna den utvecklade motoreffekten, men då måste man kompensera för interna friktionsförluster även i motorn (vilket det finns signaler för enligt J1939) samt använda en modell för motorns termiska verkningsgrad. Båda varianterna testades i projektet, med ungefär likvärdiga resultat. För att beräkningen ska ge ett relevant resultat måste man begränsa sig till tillfällen då drivlinan är inkopplad och bromsarna inte aktiveras (man kan tänka sig motorbromsning med negativt motormoment, men huvudbromsarna får inte vara aktiva eftersom de ger upphov till ett okänt moment).

Genom att följa upp hur rullmotståndet, som mäts upp enligt ovan, svarar på väderleksförändringar får man en indikation på vägens tillgänglighetsklass. Enkelt uttryckt gäller att liten variation svarar mot bra dränering (klass A/B) och stor variation svarar mot sämre dränering (klass C/D).

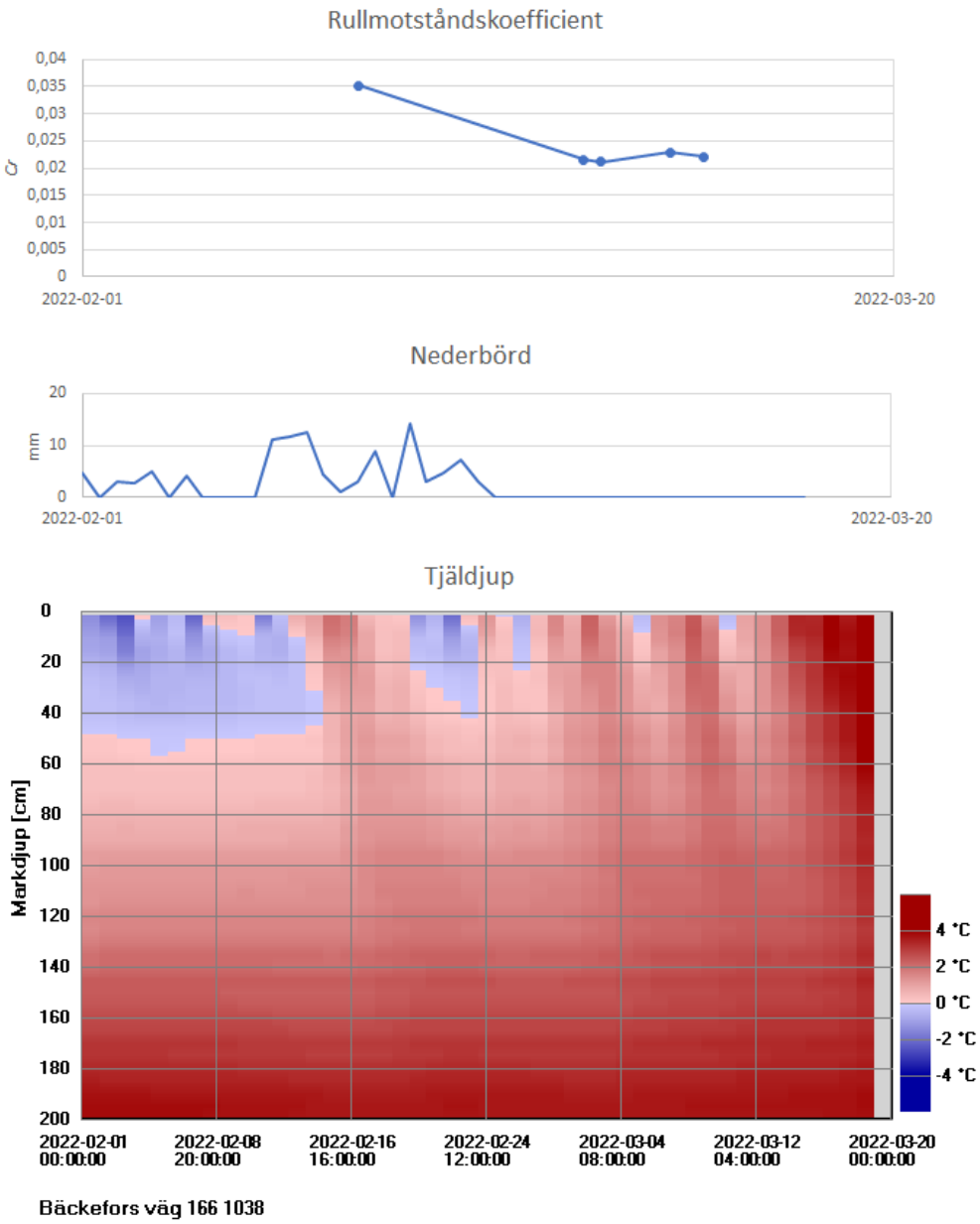
Givetvis måste man hålla reda på om system för variabelt däcktryck (CTI) används, eftersom rullmotståndet är starkt beroende av däcktrycket. Inget av projektfordonen var utrustat med CTI.

Validering av metoden

Som demonstration av metoden undersöktes variationen av uppmätt rullmotstånd på en 7 km lång enskild väg mellan Ödskölt och Dals Långed (Figur 15) några veckor runt månadsskiftet februari–mars 2022. Vägen har driftbidrag och tillgänglighetsklass B, vilket innebär att den är av hög standard och alltså – i jämförelse med sämre vägar – kan förväntas reagera förhållandevis lite på väderleksförhållanden.

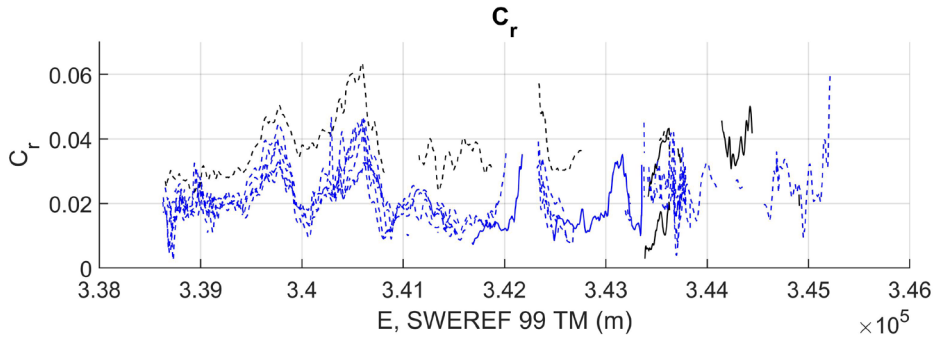
Figur 15. En längre grusvägssträckning som följts upp utifrån sitt rullmotstånd. Den studerade sektionen ligger mellan avtaget från RV 172 i Ödskölt, och korsningen i Dals Långed. (Gul linje markerar tomkörning, röd lastat fordon.)

I Figur 16 visas genomsnittet för det uppmätta värdet på rullmotståndskoefficienten längs vägsektionen vid fem olika tidpunkter. SMHI:s närmaste väderstation ligger i Bäckefors, där Trafikverket även har en tjäldjupsmätare. Det första värdet är från 17 februari och ligger på 0,035. Det är ett ganska högt värde (på en asfaltsväg är 0,006 normalt), och jämför vi med väderleksvariationerna finner vi att det utöver sannolikt rådande tjällossning även har regnat kraftigt dagarna före mättillfället. En vecka in i mars är tjällossningen förmodligen (tjälstaven fångar inte lokala variationer) avslutad och det har rått uppehållsväder i över en vecka. Rullmotståndskoefficienten har nu minskat till strax över 0,02.



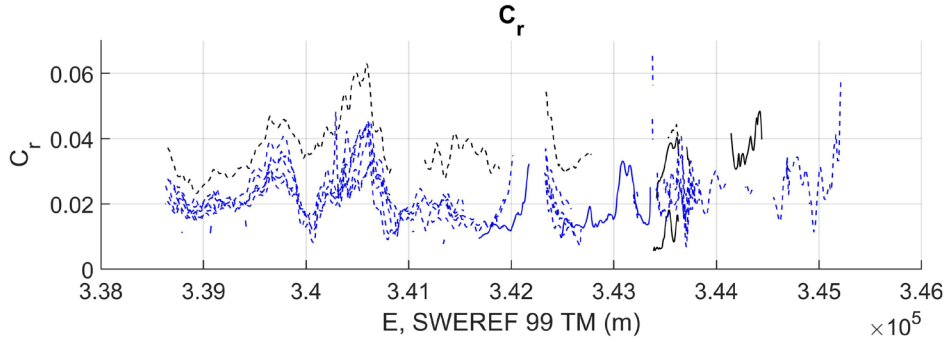
Figur 16. Variation i rullmotstånd, nederbörd och tjälförhållanden.

Beräkningen av C_r är känslig för fel i lutningsvärdet. Speciellt på korta vägsektioner kan ett enskilt beräknat värde vara oanvändbart om inte höjdvärdena håller hög noggrannhet. I Figur 17 visas det löpande värdet på C_r uppmätt på vägen nära Ödskölt under ett flertal passager. De gap som syns i kurvorna motsvarar perioder då fordonet bromsade. Som synes ligger kurvan från tjällossningsperioden med ett par korta undantag högre än kurvorna från i mars, men variationerna är mycket stora. Nästan alla passager skedde i samma riktning, och det är troligt att fel i höjdvärdena påverkar dessa variationer. Fel i bruttovikt får också ett direkt genomslag på det beräknade värdet. De flesta passager skedde dock med olastat fordon, då osäkerheten är låg.



Figur 17. Uppmätt värde på rullmotstånd längs en 7 km lång enskild väg nära Ödskölt. Svart kurva är från 17 februari och de blåa kurvorna är från mars. Streckad kurva anger olastat fordon, och heldragen kurva anger lastat.

Den undersökta vägsträckningen mellan Ödskölt och Dals Långed är, för att vara en enskild väg, ovanligt väl beskriven i NVDB – faktiskt bättre än många statliga vägar. Om höjdvärden från Nationella höjdmodellen och Nationella laserskanningen i stället används blir resultatet som i Figur 18. Skillnaden jämfört med Figur 17 är i detta fall marginell, men förstärker möjligen i någon mån skillnaden mellan torr och fuktig väg.



Figur 18. Rullmotståndsmätningen upprepad med höjdvärden från Nationella laserskanningen. Svart kurva är från 17 februari och de blåa kurvorna är från mars. Streckad kurva anger olastat fordon, och heldragen kurva anger lastat.

Även om det absoluta värdet är behäftat med stora fel kan det, som visades ovan, gå att studera förändringar över tid, förutsatt att lutningsvärdet är någorlunda rätt. Demonstrationen ska nog betraktas som ett exempel på det, även om värdena både är rimliga och har acceptabel repeterbarhet. Då ska man ha i åtanke att den behandlade sektionen var lång, vilket ger en utjämnande effekt på medelvärdet trots att variationen mellan olika avsnitt är hög. Den stora variationen kan mycket väl spegla verkliga skillnader längs vägen, men den begränsade noggrannheten på tillgängliga höjdvärden spelar potentiellt en stor roll.

Det bör påpekas att data samlats in under normal körning som skedde helt utan anpassning för de efterföljande beräkningarna. Hade föraren avsiktligt hållit jämn fart skulle det förbättra förutsättningarna för rullmotståndsmätning. Med ett jämnare motorvarvtal minskar inverkan av dynamiska effekter på det avlästa motormomentet, vilket borde öka noggrannheten i det beräknade momentanvärdet på rullmotståndet.

Övrig nytta av kunskap om rullmotstånd

Rullmotstånd står för den enskilt största posten när det gäller energianvändning hos timmerfordon. Detta gäller i synnerhet på grusvägar. Om vi betraktar en väg där rullmotståndet under torr väderlek är 0,015, men under regn stiger till 0,03 finner vi att denna skillnad medför en *ökning* av bränsleförbrukningen på 60 l/100 km för ett fullastat timmerfordon. Uppskattningen beräknas från sambandet att den rullmotståndsberoende delen av förbrukningen C_{r100} per 100 km ges av

$$C_{r100} = 100\,000\,\frac{F_R mg}{\eta E}.$$

Här är F_r rullmotståndskoefficienten, m ekipagets massa (64 000 kg), g jordaccelerationen (9,82 m/s²) och E energitätheten i diesel (35 MJ/l). Verkningsgraden η varierar med driftsförhållanden, men ett genomsnitt på 0,45 är inte en pessimistisk skattning för de flesta tunga fordon med dieselmotor.

Hur detta ska bedömas måste ställas i relation till andra kostnader och energitjuvar för väghållningen, men informationen bör finnas med när man diskuterar vägen ur ett livscykelperspektiv. För ett vägstick på 500 m står det ökade rullmotståndet i exemplet ovan för 0,4 l drivmedel per tur- och returresa, vilket kanske är försumbart (runt 20 öre/m³ fub) för transportören, men det åtföljs samtidigt av åtgärder mot uppkommen spårbildning. Högt rullmotstånd är kopplat till bestående deformationer av vägytan. På en längre väg med mycket trafik kan skillnaderna mellan låg och hög standard vara betydande för både transportörer och väghållare.

Observerade begränsningar i användning av kördata

Metoden att logga körhastighet på väglänkar och jämföra med tidigare observerat eller simulerat körbeteende skulle kunna lanseras idag utifrån existerande data. De beräkningar som krävs för att simulera en hastighetsprofil är inte tyngre än att de med lätthet skulle kunna göras i en mobilapplikation. När det gäller bestämningen av rullmotstånd är situationen en annan. Som nämnt är kännedom om vägens lutning fundamental för att det ska gå att separera ut rullmotståndet från andra krafter som verkar på fordonet, och idag saknas tillförlitlig höjdinformation i NVDB. Detta gäller generellt, men läget är särskilt uttalat på det enskilda vägnätet. Vår bedömning är att det idag inte är fruktbart att försöka följa rullmotståndsförändringar på det sätt som presenteras i rapporten utgående från höjddata i NVDB. Även om metoden visat sig fungera skulle antalet felaktiga signaler om ytuppmjukning bli stort. De rön som gjorts i detta projekt (och i ett tidigare om timmertransporternas energieffektivitet) låg till grund för ett under hösten 2023 initierat projekt syftande till att bestämma bättre höjdvärden i NVDB. Projektet, som finansieras av Trafikverket, behandlar det allmänna så väl som det enskilda vägnätet och förväntas ge den noggrannhet som krävs för de metoder som presenteras i innevarande rapport.

Framtida utvecklingsarbete

Storskalig validering av rullmotstånd som mått på bärighet

Demonstrationen av rullmotståndsmätningarna gjordes på en ovanligt väldokumenterad vägsträckning. För att metoden ska bli användbar praktiskt behövs statistiskt underlag från ett stort antal manuellt klassificerade vägar under varierande väderleksförhållanden. En storskalig och automatiserad uppföljning kopplad till nederbördsinformation är därför nödvändig, men en sådan måste anstå tills tillförlitliga höjdvärden finns tillgängliga. Arbete med att ta fram sådan förbättrad information pågår för närvarande.

Behov av datainfrastruktur: databas för dynamisk väguppföljning

Oavsett vilken typ av kontinuerligt registrerade data som används är det nödvändigt med någon form av central funktion för löpande inrapportering av data, klassificering och tillhandahållande av processad information. Data om hastighetsprofil, rattrörelsemönster och beräknat rullmotstånd rapporteras in på länknivå till en server, som beräknar ett glidande medelvärde för karaktäristiska storheter utifrån ett antal fordonsöverfarter. För vägar som trafikeras ofta (exempelvis stomvägar) blir dataunderlaget stort och medelvärdesbildning kan göras för flera i tid närliggande överfarter. Den statistiska signifikansen blir hög och antalet falska signaler om bristande vägstandard litet. För vägar som trafikeras mer sällan blir signifikansen låg vilket kan föranleda vidare manuell undersökning. Till databasen kopplas förslagsvis ett gränssnitt där resultat av de automatiska analyserna presenteras på lämpligt sätt för olika aktörer.

Behov av utrustning i fordonen

Loggning av hastighetsprofil kan i princip göras med en mobiltelefon. Beroende på hårdvaruegenskaper, telefonens placering i fordonet och vegetationstätheten varierar dock noggrannheten i positionssignalen.

Beräkning av rullmotstånd och rattrörelser förutsätter avläsning av CAN-trafiken, vilket kräver en anslutning till fordonet av en CAN-bussläsare. Anslutningen bör kunna göras via fordonets OBD2-uttag och det existerar på marknaden billiga blåtandsdonglar för detta ändamål.

Diskussion

Under arbetet i detta projekt och vid diskussioner i arbetsgrupper, som behandlar en eventuell väginventering i resten av riket, har frågor angående tolkningen av klassningskriterierna uppkommit. Enligt Skogsstyrelsens anvisningar ska tillgänglighet bedömas utifrån vägens tekniska uppbyggnad, medan inventeringen i Götaland snarare har bedömt vägens faktiska bärighet. Det föreligger en avgörande principiell skillnad mellan dessa båda synsätt, och båda har sina för- respektive nackdelar. I framtiden behöver beslut fattas om vilket synsätt som ska gälla, men det finns skäl till att överväga registrering av båda typer av information, vilket det idag inte finns stöd för i vägdatabaserna. Nyttan skulle vara att ge stöd både vid planering för trafik med hänsyn till väder och säsong, och vid planering av vägunderhåll och upprustning.

Förarmodellens resultat ger en ganska grov indikation på att något brister hos en vägsträcka, och det kan vara svårt att ”från skrivbordet” avgöra den egentliga orsaken till att farten är lägre än förväntat. En avgörande faktor för körmönstret är vägens ytskick. Om vägytan uppvisar potthål, tvättbrädsmönster eller andra ojämnheter har det enligt all erfarenhet en påverkan på körhastigheten. Projektets förarmodell skulle kunna ta hänsyn till data om vägens tillstånd i form av ytjämnhet, men någon sådan information finns inte lagrad i NVDB eller SNVDB och ingår lika lite som data om dikesröjning i de vedertagna definitionerna för framkomlighet och tillgänglighet. De senare innefattar statiska vägegenskaper, medan information relaterad till underhållet är av mer flyktig natur. Underhållsstatus är dock rimligen av intresse i samband med exempelvis virkestransporter. Tät vegetation nära vägen är en vanlig orsak till fordonsskador. Uppkomst av ojämnheter kan vidare både orsakas av och påskynda bärighetsförsämringar. I synnerhet det löpande underhållet skulle därför vara betjänt av aktuell tillståndsinformation och metoder föreslagna i innevarande projekt skulle kunna bidra till datainsamlingen för detta.

Även om det inte går att definitivt avgöra orsaken, kan indikation på att någon brist föreligger utgöra underlag för att skilja ut väglänkar som kräver noggrannare undersökning, från dem som inte uppvisar någon brist. På så vis går det att koncentrera mänsklig arbetstid till de objekt som kräver översyn.

Slutsatser

Det här projektet har visat att datainsamling från fordon har potential för uppföljning av vägstandard. Naturliga begränsningar i metoderna är att de kräver att fordonen besöker vägarna, vilket sker med olika frekvens, beroende på funktionell vägklass. Höjdvärden med den kvalitet som krävs för bestämning av rullmotstånd saknas idag i NVDB.

Erfarenheterna har bidragit till inledande av ett projekt finansierat av Trafikverket, vars syfte är att förbättra den geometriska beskrivningen av vägnätets samtliga väglänkar.

Referenser

Ayman, H., & Fakhr, M. W. 2023. Recent computer vision applications for pavement distress and condition assessment. Automation in Construction, 146, 104664.

Chambon, S., & Moliard, J. M. 2011. Automatic road pavement assessment with image processing: Review and comparison. International Journal of Geophysics, 2011.

Fjeld, D., Persson, M., Fransson, J. E., Bjerketvedt, J., & Bråthen, M. 2024. Modelling forest road trafficability with satellite-based soil moisture variables. International Journal of Forest Engineering, 35(1), 93–104.

Gunnarsson, S., Hallgren, P., Christoffersson, P. 2010. Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4. Skogsstyrelsen, 2011.

Hoseini, M., Puliti, S., Hoffmann, S., & Astrup, R. 2023. Pothole detection in the woods: a deep learning approach for forest road surface monitoring with dashcams. International Journal of Forest Engineering, 1–10.

Noreland, D. 2024. Semi-empirical model for timber truck speed profile and fuel consumption. International Journal of Forest Engineering, 1–12.

Schnebele, E., Tanyu, B. F., Cervone, G., & Waters, N. 2015. Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. European Transport Research Review, 7, 1–19.

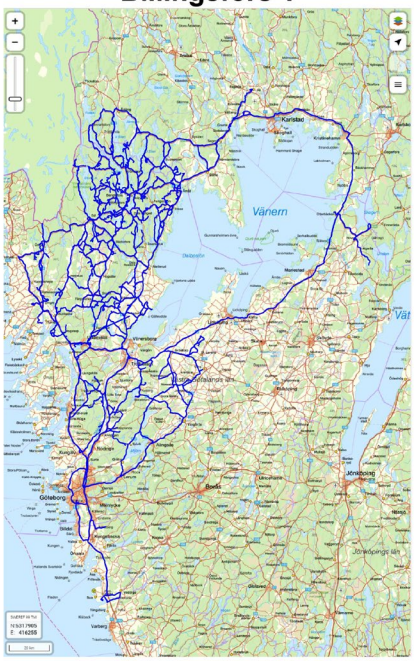
Wang, W., Yang, N., Zhang, Y., Wang, F., Cao, T., & Eklund, P. 2016. A review of road extraction from remote sensing images. Journal of traffic and transportation engineering (english edition), 3(3), 271–282.

Bilaga

Projektfordonens verksamhetsområden

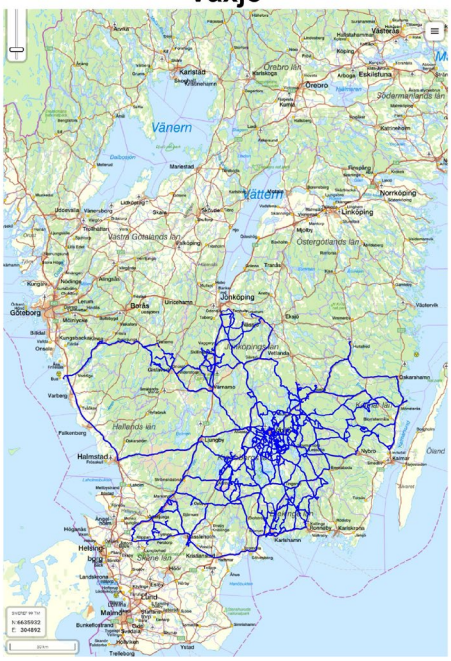
Kartorna nedan visar i vilka områden de sju projektfordonen rörde sig under datainsamlingen.

Billingsfors 1

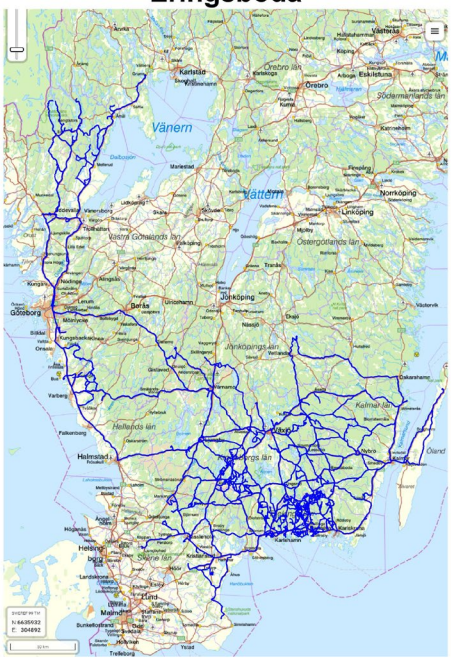


Billingsfors 2

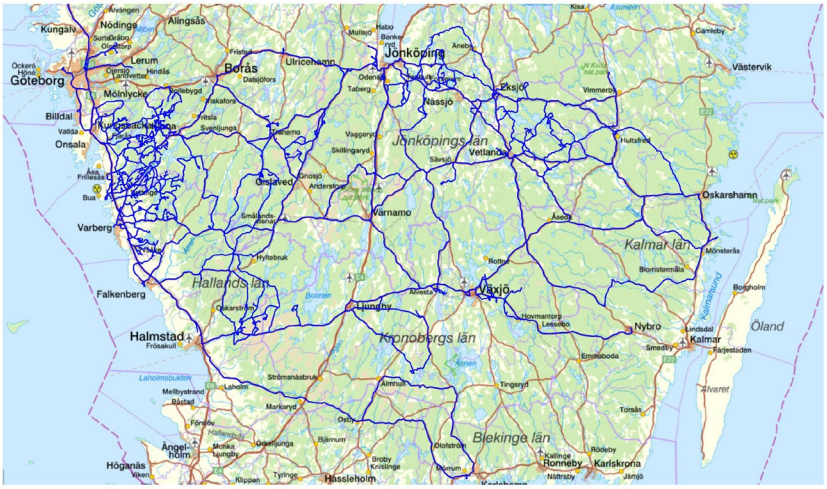
Växjö



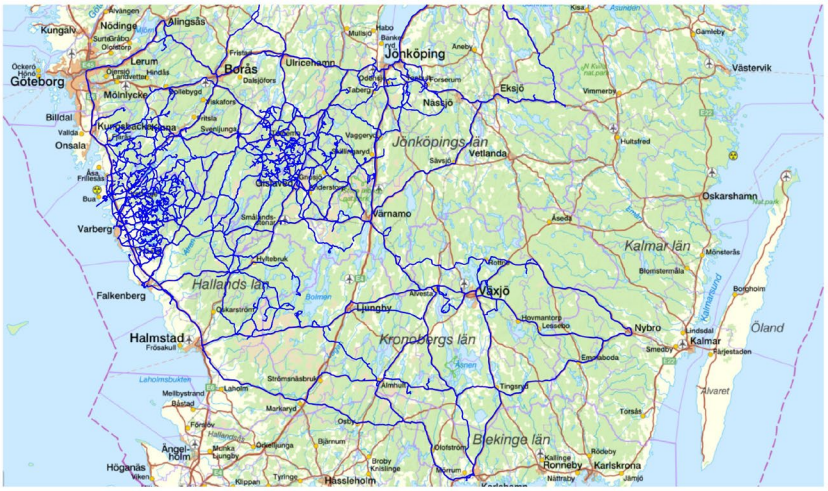
Eringsboda



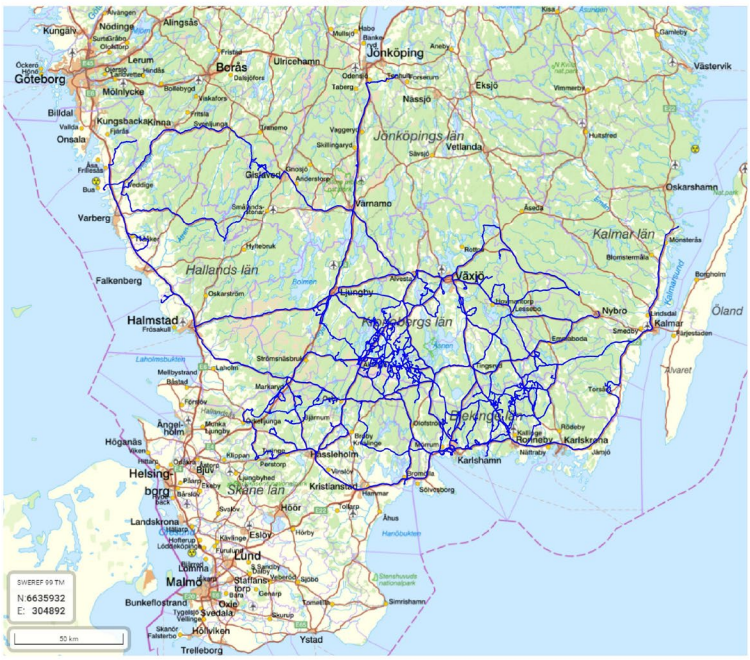
Värö 1



Värö 2



Älmhult



Förarmodell

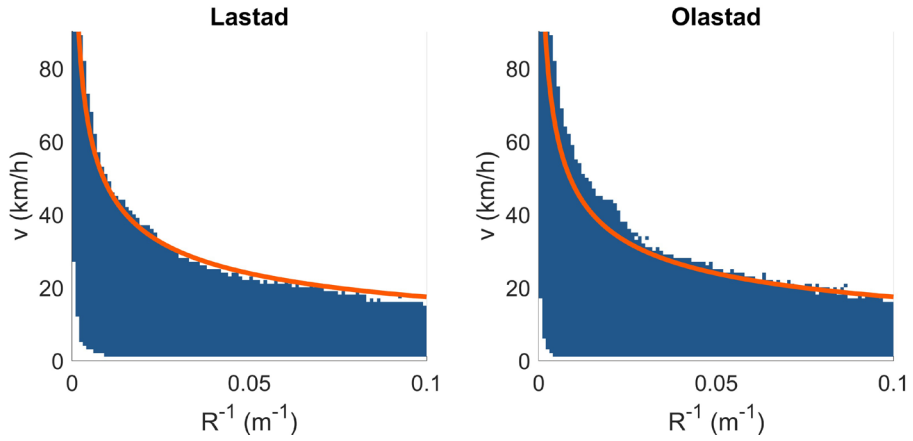
Förarmodellen innehåller olika parametrar för vilken hastighet som går att hålla under givna förutsättningar. Här följer resultat från den statistiska uppföljningen av Södras sju bilar som deltog i projektet. Sammanlagt loggades 900 000 körda km under perioden 2022–2023.

Observera att maxhastigheterna inte beskriver genomsnitt, utan den praktiskt högsta möjliga hastigheten med avseende på den observerade faktorn. Genomsnitten kommer som regel att vara avsevärt lägre eftersom andra begränsande faktorer normalt spelar in.

Som högsta observerade hastighet för en viss oberoende variabel (exempelvis funktionell vägklass) räknas den hastighet över vilken förekommer mindre än 1/1000 av alla observationer för det aktuella värdet på den oberoende variabeln. I de fall den oberoende variabeln är kontinuerlig (kurvradie, vägbredd osv.) har en indelning i intervall gjorts.

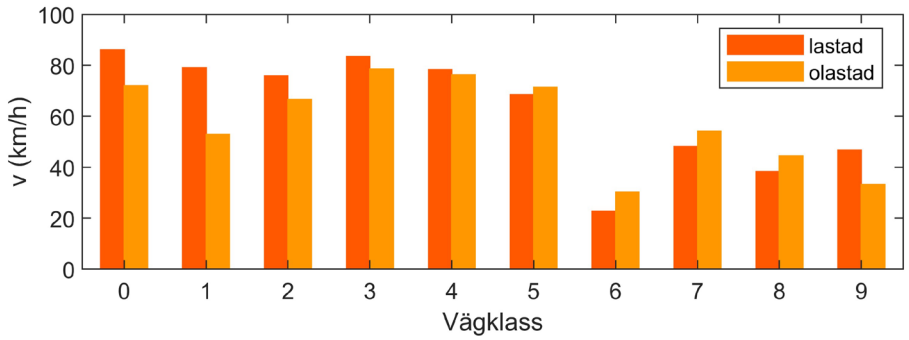
Hastighet mot kurvradie

Figur A visar maximal fart vid olika krökningar hos vägen. I graferna presenteras även en kurva beräknad enligt en formel använd av Trafikverket.



Figur A. Maximal fart för olika krökningar.

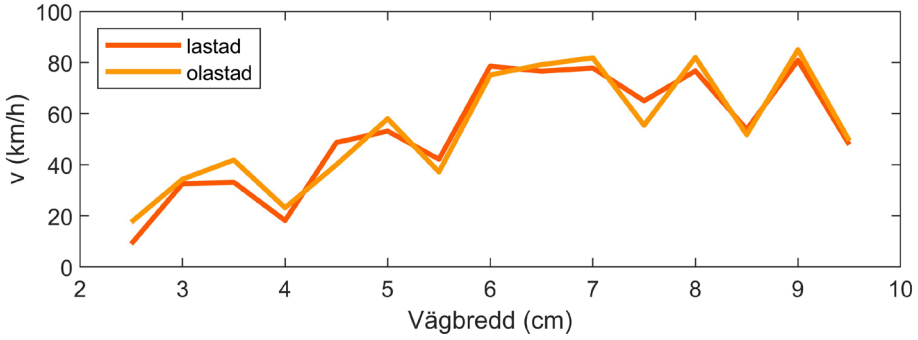
Hastighet mot funktionell vägklass



Figur B. Maxfart för olika värden på funktionell vägklass.

Hastighet mot vägbredd

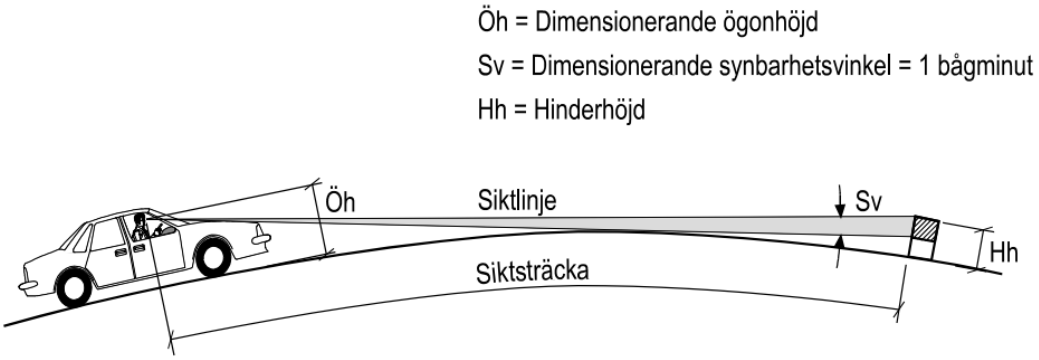
Vägbreddens inverkan på maxhastigheten redovisas i Figur C. Här bör noteras att informationen om vägbredd är osäker. Vid bredderna 4,0 m och 5,5 m uppträder ganska kraftiga dalar i kurvorna. De beror sannolikt på att saknade eller osäkra värden skönsmässigt har skattats i vägdatabasen.



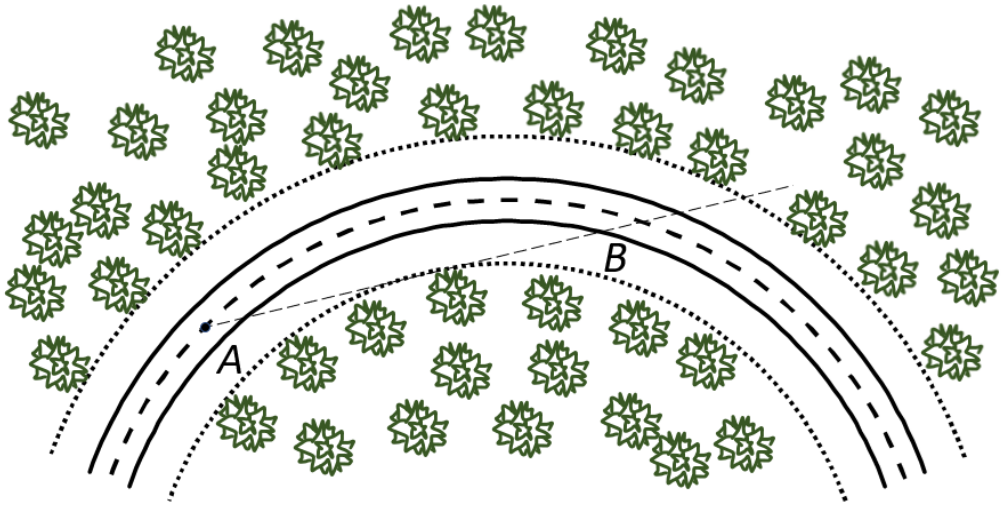
Figur C. Maxfart för olika vägbredder.

Inverkan av siktsträcka

Siktsträcka definieras i modellen som det största avstånd inom vilket alla punkter på vägbanan är synliga från förarens blickpunkt i enlighet med Figur D, Figur E och Figur F. Den dimensionerande ögonhöjden (Öh) antogs ligga 2,0 m över marken. På enskilda vägar av låg standard kan tänkbara hinder, som kräver att man stannar, bestå av håligheter (exempelvis bortspolade vägtrummor). Hinderhöjden (Hh) har därför satts till 0. Ingen hänsyn till synbarhetsvinkel har satts, då det antas att hinder så stora att de kan innebära problem alltid är synliga för en person med normal syn.



Figur D. Siktsträcka enligt Trafikverkets definitioner. (Trafikverket, 2015).

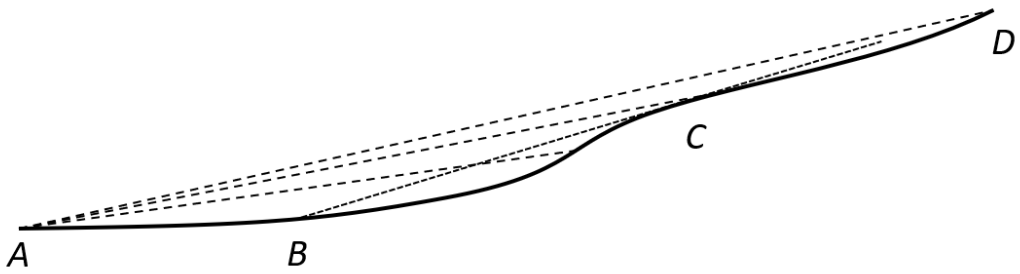


Figur E. Siktsträcka vid plankurva. Siktsträckan är här lika med avståndet från siktpunkten A till punkt B.

Vid plankurvor begränsas sikten av vägbredden och avståndet mellan vägkant och vegetation (Figur E). Vegetationens täthet och tid på året påverkar sikten, så modellerna måste användas med det i åtanke. Det antogs att sikten under växtperioden effektivt begränsas vid förekomst av vegetation nära vägen. Nominella avståndet från vägkant till vegetation antogs vara 8 m på vägklass 7, 6 m på vägklass 8 och 4 m på vägklass 7, och det är mot denna norm som resultaten i rapporten beräknats.

Vidare kan snövallar begränsa sikten, men detta har inte beaktats i projektets simuleringsmodell.

Vertikalkurvor påverkar siktsträckan i princip på samma sätt som plankurvor. Ibland förekommer så kallade siktsvackor, vilket är sektioner av vägen som är skymda på grund av vägens höjdvariationer. I Figur F är hela vägen mellan A och D synlig från punkter belägna mellan A och B. Vid B blir sträckan mellan C och D plötsligt osynlig för föraren, vilket i förarmodellen leder till att föraren sänker farten.



Figur F. Siktsträcka vid olika vertikalkurvor, som ger upphov till en siktsvacka.

Beräkningen av siktsträcka utgår från en geometrisk beskrivning av vägens mittlinje i plan och höjdled, information om vägbredd samt det fria rummet. Beräkningen görs i varje punkt längs vägen i ett förprocesseringssteg och resultatet utgör indata till förarmodellen.