

Införande av fordon med 74-tons bruttovikt och dess inverkan på infrastrukturen - Korrelationsanalys

Effects on road wear caused by the introduction of 74-tonne vehicles
– A correlation analysis



FOTO: LARS ELIASSON



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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts den 24 november 2020 av Björn Kalman, Forskningschef, VTI. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, Skogforsk, granskat och godkänt publikationen för publicering den 4 december 2020.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Den här rapporten ingår i Trafikverkets projekt ”Pilotimplementering av 74 tons fordon och dess inverkan på infrastrukturen”

Projektet utfördes i samarbete med VTI, för att förbättra kunskapsläget för implementering av 74-tonsfordon. Projektet består av 4 rapporter.

Ett stort tack riktas till VTI och Trafikverket för samarbetet i projektet.

Uppsala i december 2020
Mikael Bergqvist, Skogforsk

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
Summary	6
Bakgrund	7
Syfte	8
Material och metoder	9
Testvägar	9
PMSv3(Pavement Management System)	10
SGU:s Jordartskarta	10
Skogsstyrelsen Vattenkarta	10
Fallviktsmätningar VTI	10
Bwim Mätningar	11
Vägytemätningar	12
Provytedata	12
Metod	13
Resultat	15
Korrelation mellan vägförslitning och omgivningsparametrar	15
Beskrivning av omgivningsparametrarna	15
Omgivningsparametrarnas korrelation med undergrunds- och ytmodulen	15
Vägs slitagets korrelation med omgivningsparametrarna	16
Vägs slitagets beroende av andra parametrar i materialet	17
Vägs slitagets förändring efter omklassningen till BK4	18
Diskussion	18
Korrelationsanalyser	19
Slutsatser	21
Referenser	22

Sammanfattning

Trafikverket initierade ett uppdrag till VTI och Skogforsk att undersöka inverkan på infrastrukturen i ett projekt som utfördes under perioden 2017 till 2020. Syftet med studien var att se om det är möjligt att bedöma belagda vägars nedbrytningshastighet genom en statistisk analys av befintliga data från Trafikverket.

Vid planeringen av projektet valde man att utföra studien på två testvägar, dit även de instrumenterade vägsträckorna som analyseras av VTI förlades. Testvägarna skulle vara representativa för svagt byggda vägar och trafikerade med fordon med 74-tons bruttovikt. De testvägar som användes i detta projekt är en delsträcka av väg 373 och en delsträcka av väg 515 i Norrbottens län.

Inför korrelationsanalysen valdes provpunkter ut med ett inbördes avstånd på 100 m. Dessa provpunkter användes sedan vid inhämtningen av data från olika datakällor. Totalt resulterade detta i 784 provpunkter med data från:

- PMSv3 (Trafikverkets system för vägdata)
- Jordartskartor
- Vattenkartor
- Fallviktsmätningar
- Vägytemätningar

Korrelationsanalysen av data är utförd i programvaran SAS. Som mått på nedbrytningen av vägen valdes i första hand spårbildningen som funktion av tid, ÅDT (årsdygnstrafik) samt mark- och markvattenvariabler. I analyserna har förutom jordart och djup till markvattennivån (DTW) även den skattade trafikmängden sedan det senaste belägningsarbetet medtagits. Analysen har begränsats till punkter där DTW är mer än 1 meter. I analyserna har i första hand spår_M17 använts som parameter för att beskriva slitaget. Korrelationen mellan spårbildning och omgivande faktorer är negativ för jordarterna berg och isälvsediment (grus), vilket överensstämde med det förväntade resultatet, det vill säga att förslitningen minskar i torrare områden. Däremot får man en motsatt (och ologisk) korrelation för moränmarken. Lika ologisk är korrelationen mellan slitage och trafik då jordarten är klassificerad som berg. Slitaget bör rimligen inte minska med ökande trafikmängd.

Slutsatsen i denna rapport är att det inte är möjligt att ta fram användbara statistiska modeller av vägslitage utifrån de analyserade dataseten eftersom:

1. Mycket av de data som hämtats från databaser och kartmaterial har en för låg upplösning för att lämpa sig för en analys av vägslitaget.
2. Tillförlitliga och tillräckligt högupplösta data om hur vägterassen är uppbyggd saknas.
3. Då den tunga vindkraftstrafiken på både väg 373 och väg 505 är betydligt större än trafiken med 74-tons virkesfordon blir det omöjligt att avgöra hur mycket av eventuella slitageförändringar som kan hänföras till införandet av 74-tons bruttovikt. Detta försvåras ytterligare av att de maximala axellasterna på vindkraftsfordonen är ca 20 procent högre än för virkesbilarna.

Summary

The Swedish Transport Administration commissioned VTI and Skogforsk to examine the impact of heavier vehicles on infrastructure, in the form of a project carried out 2017-2020. The aim of the study was to investigate the feasibility of assessing the degradation rate of surfaced roads through a statistical analysis of existing data from the Swedish Transport Administration.

The study was carried out on two test roads, which included sections fitted with measuring instruments analysed by VTI. The test roads were chosen as representative of roads with a weak structure, and were tested using vehicles with a gross weight of 74 tonnes. The test roads were sections of road numbers 373 and 515 in the county of Norrbotten in northern Sweden.

Ahead of the correlation analysis, test points were selected at 100-m intervals. Data for these test points was collected from various sources, resulting in a total of 784 test points with data from:

- The PMSv3 tool (Swedish Transport Administration)
- Soil map
- Depth-to-water map
- Falling weight deflectometer measurements
- Road surface measurements

The correlation analysis was carried out in the SAS software. Degradation of the road was mainly measured as rutting in the surface as a function of time, annual average daily traffic (ADT), and soil and groundwater variables. In addition to soil and depth-to-water (DTW) data, the analyses also included the estimated traffic volume since the latest resurfacing. The analysis was limited to points where DTW was greater than 1 m. Rut_M17 was primarily used as a parameter to describe road wear.

A negative correlation was found between rutting and the soil types rock and glacial sediment (gravel), which was the expected result, i.e. that road wear is less in drier areas. However, an opposite (and illogical) correlation was found for moraine soils. Equally illogical is the correlation between road wear and traffic when the soil was classified as rock. Road wear is not expected be reduced as traffic volume increases.

The conclusion is that practical statistical models of road wear cannot be built on the basis of the analysed data set because:

1. The resolution of much of the data retrieved from databases and maps is too low to be of practical use in an analysis of road wear.
2. Reliable data with sufficient resolution on the structure of the subbase is lacking.
3. The heavy traffic transporting wind turbine equipment on both the roads 373 and 505 is much greater than the traffic with 74-tonne vehicles, so it is impossible to determine how much of any change in wear can be attributed to the introduction of a 74-tonne gross weight. The maximum axle loads on the wind turbine equipment vehicles are approximately 20% higher than for the timber trucks, which also makes analysis difficult.

Bakgrund

Under de senaste åren har Trafikverket successivt ökat mängden vägar med bärighetsklass BK4, det vill säga de vägar som har 74 ton som maximal tillåten bruttovikt. Införandet har föregåtts av bland annat två omfattande utredningar som gjorts av myndigheten som svar på regeringsuppdrag (Trafikverket 2014; Trafikverket 2015). Under dessa utredningar såg Trafikverket vissa kunskapsluckor kring de tyngre fordons-tågens påverkan på vägarnas nedbrytning och gav därför Skogforsk i uppdrag att utreda frågan.

Detta projekt tillkom som ett av resultaten från en förstudie som Skogforsk genomfört i nära samarbete med Trafikverket, VTI, Luleå tekniska Universitet (LTU) och WSP. Resultatet av förstudiearbetet presenteras i sin helhet i Skogforsks arbetsrapport 940-2017 – Pilotimplementering av 74-tonsfordon.

Dagens beräkningsmodeller ger liten anledning till oro för ökat vägsitage, men tar inte full hänsyn till placeringen av axelgrupperna. Trafikverket ser vissa risker för klena byggda vägar grundat på effekter som man idag kan se av tung trafik, samt i några fall på studier utförda under andra förutsättningar än de svenska (Karlsson 2015). Därför finns ett behov av en strukturerad utvärdering och validering av de befintliga beräkningsmodellerna på svenska vägar.

En övergång till 74 tons bruttovikt har den positiva effekten att det totala antalet fordon som krävs per transporterad mängd gods minskar, då mer kan lastas på samma ekipage. För att möjliggöra en sammanvägning av positiva och negativa effekter på vägarna av trafik med 74 tons bruttovikt krävs att också de eventuella negativa effekterna kan kvantifieras. När en sådan sammanvägning gjorts kan även samhällsekonomiska effekter med större säkerhet utvärderas. Under förstudiearbetet identifierades ett antal huvudområden som Trafikverket önskar få djupare förståelse för:

1. Hur påverkas den geotekniska konstruktionen på djupet av ökade laster per axelgrupp, det vill säga hur påverkas slitaget som en följd av att införandet av 74-tonsfordon ökar antalet trippelaxelgrupper?
2. Hur påverkas slitaget av det faktum att antalet axlar per tungt fordon ökar vid införandet av högre bruttovikter? Detta kan påverka nedbrytningen kopplat till tidsberoende materialegenskaper, till exempel viskoelasticitet i asfalt och inverkan av vatten i fin- och mellankorniga jordar.

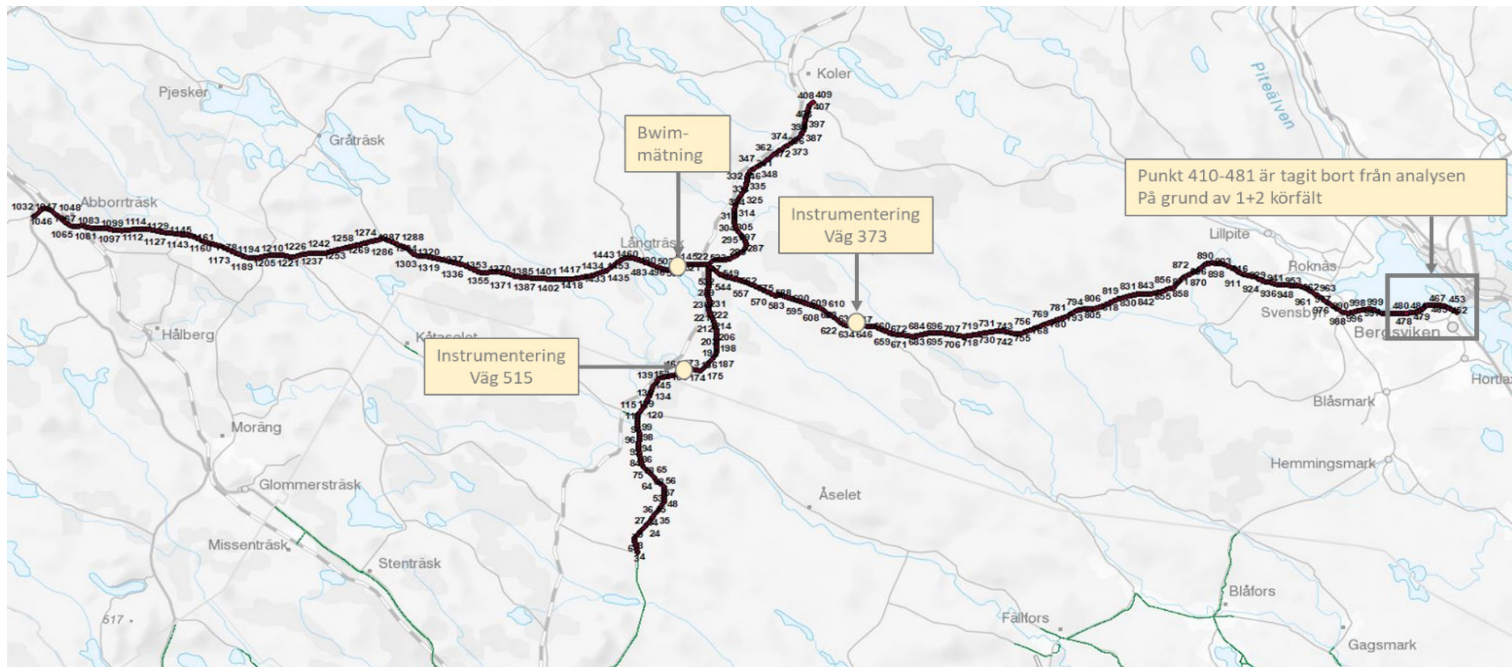
Dessa punkter gäller i första hand för svaga vägar. Det talas ibland om obyggda vägar, det vill säga vägar som tillkommit långt tillbaka i tiden och som gradvis upprustats efter behov. En farhåga är att man vid ytterligare höjningar av bruttovikter ska stöta på problem med vägar som är relativt dåligt byggda, men som hittills har klarat dagens trafik.

Syfte

Trafikverket initierade ett uppdrag till VTI och Skogforsk att undersöka inverkan på infrastrukturen i ett projekt som utfördes under perioden 2017 till 2020. Projektet delades in i sex arbetspaket och denna rapport avser delmoment 2, **Anpassning och koordinering av befintliga mätningar**, 3, **Nulägesbeskrivning av studieområdets bärighet** och 5, **Korrelationsanalys**.

Syftet med arbetspaket 5, Korrelationsanalys, var att se om det är möjligt att bedöma vägens nedbrytningshastighet genom en statistisk analys av befintliga data från Trafikverkets databas PMSv3 (Pavement Management System), SGU:s (Sveriges Geologiska Undersökning) jordartskarta, Skogsstyrelsens Vattenkarta samt mätningar med fallviktsmätning och spårdjupsmätningar.

Målet var att se om det finns samband som kan förklara vilka parametrar och vilka parameterkombinationer i datamaterialet som kan prediktera nedbrytningen, samt i kombination med resultat från delmoment 4 (instrumenterad väg) bidra till förståelsen av var man kan hitta vägsträckor som riskerar ökat slitage vid införande av 74-tons bruttovikt.



Figur 1. Karta över testvägarna.

Material och metoder

Vid planeringen av projektet valde man att utföra studien på ett antal testvägar, dit även de instrumenterade vägsträckorna som analyseras av VTI förlades. Testvägarna skulle vara representativa för svagt byggda vägar och trafikerades med fordon med 74-tons bruttovikt.

TESTVÄGAR

De testvägar som användes i projektet är en delsträcka av väg 373 och en delsträcka av väg 515 i Norrbottens län (Figur 1). Dessa två vägar klassades om till BK4 med villkor i juli 2018.

Vägarna valdes ut efter följande kriterier:

- Vägen ska vara klen byggd.
- Närhet till klimatstation.
- På samma vägsträcka som en möjlig placering av BWIM-utrustning (Bridge-Weigh-In-Motion – används av Trafikverket för mätningar av axellaster), allra helst en befintlig mätpunkt.
- Möjlighet till trafikintensitetsmätning med exempelvis slangmätning.
- Längs testvägen ska det finnas vägavsnitt byggda på olika jordarter, där minst ett avsnitt ska vara byggt på siltigt material.

Inför korrelationsanalysen valdes provpunkter ut med 100 m inbördes avstånd. Provpunkterna användes sedan vid inhämtningen av data från de olika datakällorna. Totalt resulterade detta i 1463 provpunkter, efter att sträckan mellan Bergsviken och Svensbyn tagits bort på grund av pågående arbeten och 2+1-väg kvarstod 784 provpunkter där allt data fanns tillgängligt. De datakällor som användes beskrivs i det följande.

PMSV3 (PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM)

PMSv3 är ett av Trafikverkets verktyg för hantering av vägdata på det allmänna vägnätet. Databasen används för att analysera och redovisa data om tillståndet på vägarna. Syftet är att kunna bedöma behov av underhållsåtgärder och utvärdera över tid hur olika åtgärder påverkar exempelvis spårbildning. Systemet bygger på indata från NVDB (Nationella vägdatabasen), mätdata från vägytemätningar och inrapporterade vägåtgärder.

SGU:S JORDARTSKARTA

Jordartskartan visar jordarternas utbredning i eller nära markytan samt förekomsten av block i markytan. Jordarterna indelas efter bildningssätt och kornstorlekssammansättning. Ytliga jordlager med en mäktighet som understiger en halv till en meter samt jordlager på djupet redovisas i vissa fall och även vissa landformer, exempelvis moränbacklandskap, moränryggar och flygsanddyner. Informationen bygger på kartläggning som påbörjades på 1960-talet och pågår än idag. Kartläggningen har under åren utförts med olika metoder. De flesta jordartskartorna har tagits fram genom flygbildstolkning samt fältrekognoscering. Detaljerade kartor (skala 1:50 000/25 000) har tagits fram genom rekognoscering till fots i terrängen, medan man för de översiktliga kartorna genomfört fältrekognoseringen längs vägar. Kartmaterialet finns i olika upplösning, där de studerade testvägarna huvudsakligen finns i ett område med kartor i skala 1:100 000, som flygbildstolkats och fältrekognoserats från väg.

SKOGSSTYRELSENS VATTENKARTA

Skogsstyrelsens vattenkarta bedömer markfuktigheten eller mer korrekt skattat djup till markvattennivån, utifrån en matematisk modell av terrängen och vattnets rörelser i landskapet. Kartorna ger en bra bild av vilka områden där risken för sönderkörning med tunga skogsmaskiner är stor och är ett bra hjälpmedel vid planering av skogliga åtgärder. Värdet som används är DTW (Depth to water) och anger det beräknade värdet på markytans avstånd till markvattennivån. Ett högt värde betyder att marken är torr och ett lågt värde betyder att marken är fuktig. Markfuktigheten redovisas på kartan i olika nyanser av blå färger från blöta till friska-fuktiga områden (0–1 meter till grundvatten). Markfuktigheten är tänkt att användas i skogsmark och därför visas inte markfuktighet i bebyggda eller odlade områden.

FALLVIKTSMÄTNINGAR VTI

Fallviktsmätningar på provpunkterna utfördes av VTI den 5 september 2018 för att ge kompletterande indata till analysen. Mätningarna ger deflektionen i vägen, som sedan omvandlades till elasticitetsmoduler för olika djup i vägen. Ytmodul och medelmodul räknades ut enligt TRVMB 114. Formeln för undergrundsmodul är hämtad från VV publikation 2000:29.

Ytmodulen ges av sambandet

$$E_0 = \frac{1000 * f * (1 - v^2) * \sigma_0 * a}{D_0}$$

E_0 = Ytmodul (MPa)

f = 2 för segmenterad belastningsplatta

ν = Poissons tal (0.35)

σ_0 = kontakttryck i centrum av belastningsplattan (MPa)

D_0 = deflektion i centrum av belastningsplattan (μm)

a = belastningsplattans radie (mm)

Formel för medelmodulen är följande:

$$E_r = \frac{1000 * \sigma_0 * a^2 * (1 - \nu^2)}{D_r * r}$$

Medelmodulen enligt ovan beskriver konstruktionens styvhet under ett ekvivalent djup motsvarande avståndet r .

Formeln för undergrundsmodul är

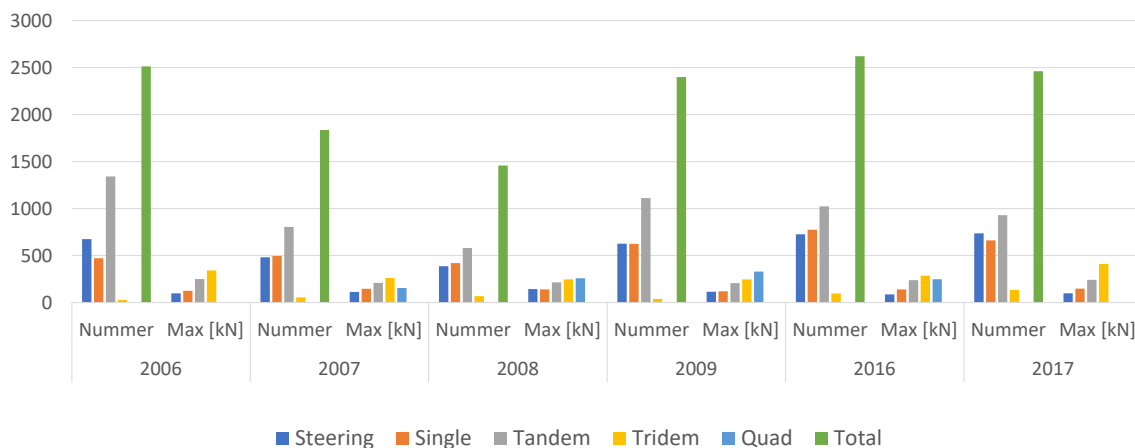
$$E_u = \frac{52000}{D_{900}^{1.5}},$$

där E_u = undergrundens E-modul

D_{900} = deflektionen vid 900 mm från deflektionsplattans centrum.

BWIM-MÄTNINGAR

Uttag från Bwim-mätningar i Långträsk utfördes för att kunna kontrollera årsdygns-trafiken (ÅDT) och antal axlar tungtrafik. Figur 2 nedan visar resultaten för 2006–2009 samt 2016–2017. För åren 2009–2016 fanns inga data att tillgå.



Figur 2. Antal axelöverfarter per år från Bwim-mätningar på väg 373 väster om Långträsk.

VÄGYTEMÄTNINGAR

Vägytemmätningarna ger mått på vägytans jämnhet enligt TRVMB 114 och resultaten redovisas i form av spårbildning, IRI, tvärfall mm. På de utvalda testvägarna har Trafikverket genomfört vägytemmätningar med ca ett års mellanrum. De senaste utfördes 2017-07-09, 2018-06-30 och 2019-06-28.

PROVYTEDATA

Data som användes som beskrivning av provpunkterna var enligt nedanstående tabell:

Tabell 1. Indata till korrelationsanalys.

Attribut	Källa	Värden
Punkt ID	Skapat för analysen	
Vägnr	PMSv3	
Bredd	PMSv3	m
MätMetod	PMSv3	Mätmetod för vägbredd
ReferenslänkID	PMSv3	
Star Avstånd	PMSv3	
Slutavstånd	PMSv3	
Buffer	Skapat för analysen	Bufferzonradie
Jordart	SGU Jordartskarta	Nummerkod, jordart
Jordart Text	SGU Jordartskarta	Text
Kartering	SGU Jordartskarta	Kartnummer jordart
Symbol	SGU Jordartskarta	Nummerkod
Antal pixlar	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Pixelantal i provpunkt
Vatten Mät Area	Skogsstyrelsen Vattenkarta	m ² -yta i mätpunkten
Vatten Mät Min	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Minsta värde i pixel inom testpunkt
Vatten Mät Max	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Högsta värde i pixel inom testpunk
Vatten Mät Spännvidd	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Spännvidd mellan max och min pixelvärde inom provyta
Medel	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Medeltal pixelvärde inom provyta
Median	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Median pixelvärde inom provyta
Standardavvikelse	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Standardavvikelse
Summa	Skogsstyrelsen Vattenkarta	Summa av pixelvärde i provyta
Beläggningsdatum	PMSv3	Datum för senaste beläggning
Beläggningstyp 1	PMSv3	Beläggningstyp
Beläggningstyp 2	PMSv3	Beskriver om en sekundär typ har använts
Tjocklek	PMSv3	Åtgärdens tjocklek, mm
ÅDT Datum	PMSv3	Datum för senaste ÅDT-mätning
ÅDT	PMSv3	Årsdygnstrafik, total
ÅDT Tung	PMSv3	Årsdygnstrafik, tunga fordon
Senaste Vägytemmätning	PMSv3	Datum senaste mätning

Forts. Tabell 1 n.s.

Forts. Tabell 1. Indata till korrelationsanalys.

Attribut	Källa	Värden
Tvärfall	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Vattenarea	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Backighet	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
IRI Höger	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
IRI Vänster	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Megatextur Höger	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Megatextur Vänster	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Kantdjup	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår Area	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår Avstånd	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår B Höger	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår B Höger	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår M 17	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår M 15	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår 17 Höger	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Spår 17 Vänster	PMSv3	Se VTI rapport 718, 2011
Ytmodul	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D200	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D300	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D450	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D600	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D900	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Modul D1200	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa
Undergrundsmodul	VTI Fallviktsmätning	Resultat Elasticitetsmodul Mpa

Provpunkterna beskrivs med ovanstående faktorer som används i korrelationsanalysen för att se samband med spårbildning.

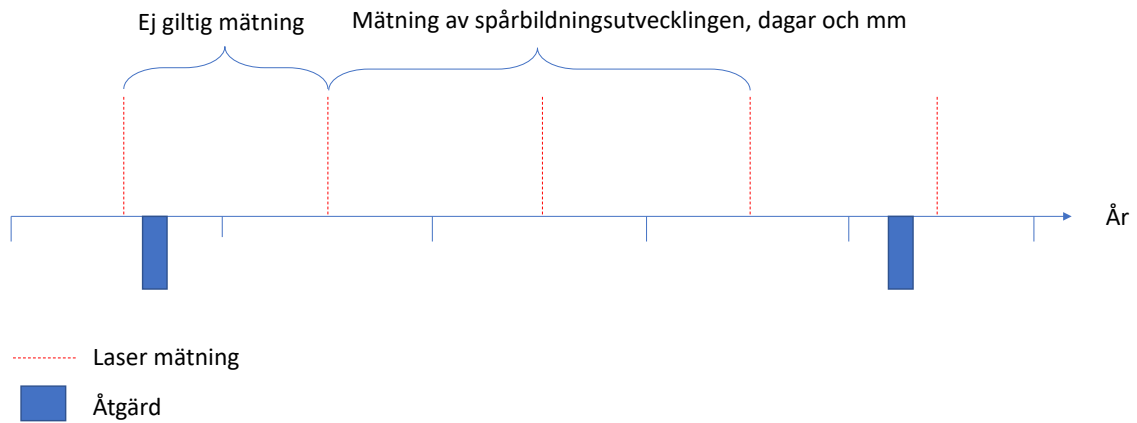
METOD

Korrelationsanalysen av data är utförd i programvaran SAS.

Som mått på nedbrytningen i vägen valdes att studera hur spårbildningen varierar med tid och ÅDT. Syftet var att ta fram en statistisk modell för hur fort nedbrytning sker beroende på:

- beläggningstyp
- beläggningstjocklek
- jordart (jordarten antas representera undergrunden i vägen)
- markvattennivå
- elasticitetsmodul

Data som används för att beskriva spårdjupet kommer från lasermätningar från ett antal historiska mätningar, men även från mätningar 2017, 2018 och 2019. För att kunna avgöra nedbrytningshastigheten används skillnaden mellan två vägytemätningar, som inte störs av en vägåtgärd (Figur 3).



Figur 3. Skiss över hur vägytemätningar för spårbildning väljs ut.

Nedbrytningshastigheten räknades ut enligt följande formel:

$$mm/överfart = \frac{Spår_2 - Spår_1}{ÅDT * tid}$$

$Spår_1$ = första mätningen av spårdjup redovisat i mm

$Spår_2$ = andra mätningen av spårdjup redovisat i mm

ÅDT = årsdygnstrafik

Tid = antal dygn mellan spårdjupsmätning 1 och 2

Resultatet kommer främst att visa nedbrytningen med 60–64 tons virkesfordon eftersom dessa dominerat till antalet historiskt, men med hjälp av resultatet från arbetspaket 4, Instrumenterade vägar, kan möjligen en skattning ske för att avgöra om BK4-fordon medför ökat eller minskat slitage på vägen.

Resultat

KORRELATION MELLAN VÄGFÖRSLITNING OCH OMGIVNINGSPARAMETRAR

I uppgiften ingick att göra en analys av korrelationer och samband mellan vägförslitning och de omgivningsparametrar (jordart och skattat djup till mark-vattennivån-DTW) som används i skogsbruket för att skatta spårbildning. I förstone kan detta verka som en relativt enkel analys, till dess att man inser att vägens design och dimensionering till stor del beror på samma omgivningsparametrar samt trafikmängden, vald vägstandard och vald beläggning. Dessutom är flera av parametrarna diskreta klassvariabler där parametervärdena inte har någon given relation till varandra. Av dessa anledningar har analyserna begränsats till ett snävare utfallsrum, vilket anges för var och en av de presenterade analyserna.

BESKRIVNING AV OMGIVNINGSPARAMETRARNA

Uppgifter om jordart har tagits från jordartskartan. I det undersökta området förekommer nio klasser av jordart (Berg, Isälvsediment, Isälvsediment (grus), Isälvsediment (sand), Morän, Torv, Torv tidvis under vatten, Vatten samt Oklassat). I alla analyser av vägslitage har punkter som klassats som Torv, Torv tidvis under vatten, Vatten, samt Oklassat tagits bort därför att de sannolikt är kopplade till att en annan vägbyggnadsteknik än för mineraljordarna valts. Av klasserna som tagits bort är bara Torv vanligt förekommande. Dessutom har klasserna Isälvsediment och Isälvsediment (sand) tagits bort på grund av att antalet datapunkter i dessa klasser varit för litet.

Det skattade djupet till markvattennivån (DTW) är en kontinuerlig variabel som beror på topografin och beräknas med hjälp av den digitala terrängmodellen. I ett flertal fall har slitageanalysen begränsats till de fall då DTW är större än 1 meter, eftersom en markvattenyta närmare markytan än 1 meter kommer att påverka hur vägen anläggs.

OMGIVNINGSPARAMETRARNAS KORRELATION MED UNDERGRUNDS- OCH YTMODULEN

Separata analyser har gjorts för varje jordart, och i tabell 1 presenteras korrelationen mellan DTW och undergrunds- och ytmodulerna per jordart. I samtliga fall finns en korrelation mellan DTW och elasticitetsmodulerna, men särskilt för Torv och Morän är korrelationen mellan DTW och undergrundsmodulen liten. Då man gör analysen för data där markvattennivån ligger djupare än 1 meter, ökar korrelationen mellan DTW och undergrundsmodulen till 0,168 för Morän. Detta är väntat, då man kan förutsätta att arbetet med terrassering och dränering skett på ett annat sätt i blöta områden än i torra. Oavsett jordart så är korrelationen mellan DTW och ytmodulen större än mellan DTW och undergrundsmodulen, vilket är lite förvånande då undergrundsmodulen, bortsett för jordarten berg, borde påverkas mer av markfuktigheten i omkringliggande terräng.

Tabell 2. Korrelationer mellan djupet till markvattennivån och undergrunds- och ytmodulen.

Jordart		Ytmodul	Undergrundsmodul D900
Is, grus	Korrelationskoefficient	0,55835	0,46767
	p-värde	<,0001	<,0001
Torv	Korrelationskoefficient	0,18944	0,06049
	p-värde	<,0001	0,0398
Morän	Korrelationskoefficient	0,09075	0,03807
	p-värde	<,0001	0,0011
Berg	Korrelationskoefficient	0,53246	0,21415
	p-värde	<,0001	0,021

VÄGSLITAGETS KORRELATION MED OMGIVNINGSPARAMETRARNA

I analyserna har förutom jordart och djup till markvattennivån även den skattade trafikmängden sedan det senaste beläggningsarbetet medtagits. Analysen har begränsats till punkter där DTW är mer än 1 meter. I analyserna har, huvudsakligen, spår M17 använts som parameter för att beskriva slitaget. Korrelationen är negativ för jordarterna Berg och Isälvs sediment (grus) vilket överensstämmer med det förväntade resultatet, det vill säga att förslitningen minskar i torrare områden. Däremot får man en motsatt och ologisk korrelation för moränmarken, det vill säga slitaget minskar med ökande markfukt. Lika ologisk är korrelationen mellan slitage och trafik då jordarten är klassificerad som Berg; slitaget kan logiskt sett inte minska med ökande trafikmängd.

Tabell 3. Korrelationer mellan vägsitage (spår M17) och djupet till markvattennivån samt trafikmängd sedan sista beläggning.

		DTW	Trafik
Is, grus	Korrelationskoefficient	0,557	0,199
	p-värde	<,0001	0,055
Morän	Korrelationskoefficient	0,070	0,018
	p-värde	<,0001	0,226
Berg	Korrelationskoefficient	0,249	-0,492
	p-värde	0,033	<0,001

Då man försöker använda dessa parametrar för att modellera vägsitage finner man att förklaringsgraden blir obefintlig för moränen (0,4 procent) och mycket låg för Isälvs sediment (Grus) (15,5 procent) samt Berg (24,2 procent), och att huvuddelen av den förklarade variationen ges av trafikmängden. Om man lägger till undergrunds- och ytmodulerna i analysmodellen förbättras förklaringsgraden något, men inte så mycket att modellen kan påstås ge en bra skattning av slitaget. Från detta kan man dra slutsatsen att vägsitage endast till en mindre del beror på de inkluderade omgivningsparametrarna.

VÄGSLITAGETS BEROENDE AV ANDRA PARAMETRAR I MATERIALET

Då det övergripande vägslitage endast till en mycket liten del beror på omgivningsparametrarna har viss modellering skett av korrelationen mellan vägslitage och omgivningsparametrar för beläggningstyperna *ABT* och *ABT; AG; Armering*. I dessa analyser har även ett antal andra variabler från datasetet (Tabell 3) använts. Som framgår av tabell 4 kunde ÅDT-värdena och vägbredden uteslutas från analyserna på grund av att de inte varierade i materialet. Detta medför också att antalet dagar sedan senaste beläggning fungerar bra för att skatta trafikmängden i modellerna eftersom ÅDT inte varierar. Dessutom utesluter samvariationen mellan ÅDT och ÅDT tung att båda trafikmängdsmåtten används i en och samma modell. Även om det finns ett antal parametrar som är korrelerade med spårbildningen (Tabell 5), blir det nedslående resultatet av denna analys att man för moränmark inte förmår att presentera en modell för vägslitage (uttryckt i form av Spår M17 eller IRI) som förklarar mer än 8–10 procent av variationen i materialet.

Tabell 4. Beskrivning av några parametrar för vägsektioner med beläggningstyperna *ABT* och *ABT; AG; Armering*.

	ABT			ABT; AG; Armering		
	Medelvärde	Minimum	Maximum	Medelvärde	Minimum	Maximum
Spår M17	3,4	0,0	13,1	3,8	0,6	13,6
Ytmodul	534,3	303,1	890,2	500,5	354,4	703,3
Undergrundsmodul D900	110,8	16,4	741,9	102,8	22,7	287,3
BREDD	6,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5
DTW	1,6	0,3	4,4	1,6	0,7	6,5
ÅDT	631	631	631	631	631	631
ÅDT tung	144	144	144	144	144	144
Trafik	567 880	194 979	882 769	580 662	194 979	882 769
Trafik tung	129 595	44 496	201 456	132 512	44 496	201 456

Tabell 5. Korrelationer mellan spårbildningen och ett antal omgivnings- och vägparametrar för beläggningstyperna *ABT* och *ABT; AG; Armering* på moränmark.

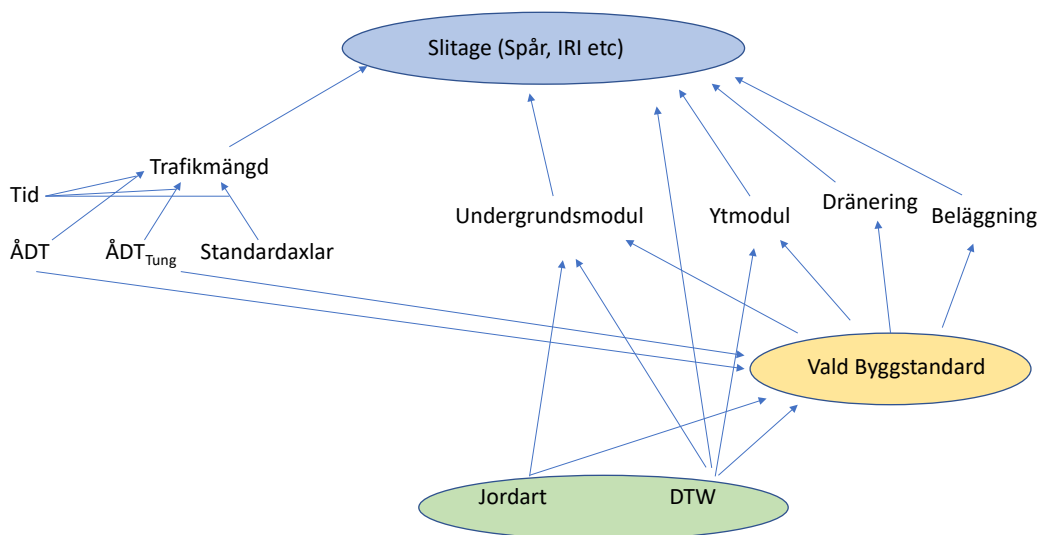
Beläggning	ABT		ABT; AG; Armering	
	Spår M17 Korrelations- koefficient	P	Spår M17 Korrelations- koefficient	P
Ytmodul	-0,18965	<,0001	-0,11268	<,0001
Undergrundsmodul D900	-0,10415	<,0001	0,05964	0,0086
DTW	-0,0027	0,917	0,1148	<,0001
Trafik	0,2706	<,0001	0,1298	<,0001
Trafik Tung	0,2706	<,0001	0,1298	<,0001

VÄGSLITAGETS FÖRÄNDRING EFTER OMKLASSNINGEN TILL BK4

Givet de låga korrelationerna mellan slitaget och omgivningsfaktorerna, samt de osäkerheter som finns i skattningen av trafikmängd på de valda vägarna, går det inte att dra några slutsatser om huruvida slitaget förändrats efter omklassningen till BK4 och om det i så fall beror på 74-tonsfordonen, förändringar i trafikmängd eller tung vindkraftstrafik.

Diskussion

Det finns signifikanta korrelationer mellan vägsitage (uttryckt som spår M17, vattenarea eller IRI) och omgivningsparametrarna Jordart och Djup till markvattenytan (DTW). Däremot kan inte dessa korrelationer användas till att modellera vägsitage, då huvuddelen av variationerna förklaras av antingen byggtekniska parametrar eller slumpmässig variation. Som framgår av figur 1 så har Jordart och DTW i huvudsak en indirekt påverkan på slitaget, och eftersom de även påverkar hur man väljer att bygga vägen blir det svårt att i efterhand säga hur slitaget påverkas om man inte har information om de tidigare gjorda valen.



Figur 4. Ett exempel på påverkande faktorer på vägsitage.

Baserat på det använda materialet kan konstateras att jordartskartan inte har en tillräcklig upplösning i det aktuella området, exempelvis finns ingen uppdelning av moränen beroende på om den är fin- eller grovkornig, för att man skall kunna förvänta sig att den ska kunna användas för att förklara vägsitage. DTW-kartorna ger viss information, men det är uppenbart att vägbyggnationen har anpassats efter hur fuktig marken är, vilket ger en samvariation som är svår att utreda med det befintliga materialet.

Det finns en stor osäkerhet rörande trafikmängden under analysperioden eftersom det är liten variation i ÅDT-värden för vägsträckor som har liknande beläggning och ÅDT-värdena inte har uppdaterats med någon större frekvens, vilket gör att den temporala variationen är liten. Dessutom kompliceras saken av bygget av Markbygdens vindkraftspark, som lett till en avsevärd ökning av den tunga trafiken på delar av det studerade vägnätet utan att detta återspeglas i en ökning av trafikmängden som den beskrivs av par-

ametrarna ÅDT och ÅDT-tung. Sett till de beräknade trafikmängderna (Ramböll 2012, Tabell 6) medför vindkraftsparken avsevärd trafikökning på väg 373 öster om korsningen i Långträsk och väg 515 norr om Långträsk. Till detta kommer att en del av den tunga trafiken sker med fordon med en bruttovikt som är lika med eller större än 115 ton och 12 tons axellast.

Då den beräknade vindkraftstrafiken är betydligt större än den trafik med 74-tons virkesfordon som passerar de studerade vägarna, och axellasterna på vindkraftsfordonen är 20 procent högre än på virkesbilarna, blir det omöjligt att avgöra hur mycket av slitageförändringarna som kan hänföras till införandet av 74-tons bruttovikt och vad som är en effekt av den temporära trafiken orsakad av bygget av vindkraftsparken.

Tabell 6. Befintliga och beräknade nya trafikmängder under byggandet av Markbygdens vindkraftpark (Ramböll 2012).

Väg nr	ÅDT	ÅDT tung	Andel tung	År	Ny ÅDT	Ny ÅDT tung	Andel tung
515	80	25	31	2007	323	243	75
373	800	140	18	2009	1339	539	40

KORRELATIONSANALYSER

Korrelationer är inte enkla att hitta då många av de parametrar som beskriver vägen ger en beskrivning av ett medelvärde eller ett målvärde för delsträckor längs vägen, exempelvis är ÅDT-värdet bestämt för delsträckor av vägen. Det är alltså inte ett faktiskt värde på egenskapen i den punkt där data om vägslitage och terrängparametrar samlats in. Detta innebär att många till synes logiska kombinationer av vägparametrar inte kan användas i analysen, då dessa parametrar längs långa sträckor inte varierar inbördes. Exempelvis har alla 6 m breda delar av 373:an ett ÅDT på 631, ÅDT tung på 144 och 36 mm beläggningstjocklek. Huvuddelen av 373:an har 6,5 m bredd, varav ungefär 4/10 har ett ÅDT på 631/144 och 40 mm beläggning. Resterande 6/10 har 1 mm beläggning (=data saknas?), ett ÅDT mellan 494 och 509 och ett ÅDT tung på 112–117. Denna starka samvariation gör att man kan (men inte borde kunna?) använda vägbredd som en proxy för beläggning, ÅDT, ÅDT tung, etc. i analyserna och att det inte är lämpligt att använda flera av dessa parametrar i samma analys på grund av att de är så hårt korrelerade.

Då responsvariablerna är skevt fördelade och alltid är större än eller lika med noll har det varit nödvändigt att göra en logaritmisk transformation av responsen innan analys. De samband som man kan finna har ofta en låg förklaringsgrad, se resultatdelen eller följande exempel:

För de delar av väg 373 som är byggda på moränmark är sambandet mellan vattenarea och påverkande parametrar litet. Modellen i tabell 7 ger en förklaringsgrad på 12,6 procent och innehåller enbart parametrarna DTW och vägbredd, det vill säga trafikmängden har inte fallit ut som en signifikant påverkande parameter. Detta beror på den starka korrelationen mellan vägbredd och ÅDT.

Tabell 7. Anovatabell för sambandet mellan log (Vattenarea) och de parametrar som visade sig ha en signifikant effekt på log (Vattenarea).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
DTW	1	13,37	13,38	49,74	<,0001
VÄGBREDD	1	5,39	5,39	20,05	<,0001

Förklaringsgrad 12,6 procent

För variabeln Spårdjup M15 (Tabell 8) är förklaringsgraden lägre, 4,5 procent, men de påverkande parametrarna känns mer logiska. Samma sak gäller för analysen av IRI (Tabell 9). Ingen av dessa modeller kan användas för att på ett relevant sätt skatta vägslitaget uttryckt som Vattenarea, Spårdjup eller IRI. Dessutom är inte sambanden tillräckligt tillförlitliga för att användas ens på den närliggande väg 515. De variabler som faller ut som signifikanta på väg 373 behöver inte nödvändigtvis vara detta på väg 515, utan där kan helt andra parametrar falla ut som signifikanta. Motsvarande modeller för väg 515 har dock inte någon bättre förklaringsgrad än de för väg 373. Den slutsats som går att dra är att både jordartskartorna och mycket av vägdata har alldeles för låg upplösning för att välfungerade och logiska statistiska modeller ska kunna tas fram från materialet.

Tabell 8. Anovatabell för sambandet mellan log (Spår M15) och de parametrar som visade sig ha en signifikant effekt på log (Spår M15).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Ytmodul	1	24,50	24,50	95,54	<,0001
UndergrundsmodulD900	1	7,48	7,48	29,18	<,0001
DTW	1	2,01	2,01	7,85	0,0051
Trafikmängd sedan åtgärd	1	14,81	14,81	57,74	<,0001

Förklaringsgrad 4,5 procent

Tabell 9. Anovatabell för sambandet mellan log (IRI) och de parametrar som visade sig ha en signifikant effekt på log (IRI).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Ytmodul	1	0,30	0,30	1,84	0,1747
UndergrundsmodulD900	1	10,38	10,38	64,10	<,0001
DTW	1	0,17	0,17	1,07	0,3007
Trafikmängd sedan åtgärd	1	2,19	2,19	13,52	0,0002

Förklaringsgrad 4,1 procent

I tidiga analyser i projektet hittades högre förklaringsgrader, men de var för sedimentmarker och då de förekommer främst i den östligaste delen av 373:an föll mycket av dessa data bort när området öst om Svensbyn togs bort från analysen. Detta område är också vältrafikerat vilket ledde till en ökad kontrast i trafikmängden i analyserna. I det kvarvarande området är bristen på kontraster i många av de parametrar som hämtas från databaserna för liten för att meningsfulla samband skall gå att hitta.

Slutsatser

Det är inte möjligt att ta fram logiska statistiska modeller av vägslitage från de analyserade dataseten eftersom:

1. Mycket av de data som hämtats från databaser och kartmaterial har för låg upplösning för att lämpa sig för en analys av vägslitage.
2. Tillförlitliga och tillräckligt högupplösta data om hur vägterassen är uppbyggd saknas.
3. Då den beräknade tunga vindkraftstrafiken är betydligt större än trafiken med 74-tons virkesfordon blir det omöjligt att avgöra hur mycket av slitageförändringarna som kan hänföras till införandet av 74-tons bruttovikt.
4. Bedömningen av hur mycket av slitageförändringarna som kan hänföras till införandet av 74-tons bruttovikt försvåras ytterligare av att de maximala axellasterna på vindkraftsfordonen är 20 procent högre än för ett 74-tons-ekipage. Om fjärdepotensregeln kan antas gälla motsvarar dessa extra 20 procent en fördubbling av nedbrytningen från en axel.

Referenser

- Enström, J., Asmoarp, V., Bergkvist, M. & Davidsson, A. 2017. Förstudie för projektet – Pilotimplementering av 74 ton. Arbetsrapport nr. 935-2017. Skogforsk.
- Karlsson R. 2015. Underlagsrapport – Konsekvenser av 74 ton på vägöverbyggnader, geokonstruktioner och vägutrustning. Trafikverket. Ärendenummer: TRV 2015/40563. Version: 1.0.
- Ramböll 2012. Bärighetsutredning i Piteå Markbygd. Ramböll.
- Sjögren, L. & Lundberg, T. 2011. VTI rapport 718. Svenska vägtillståndsmått då, nu och i morgon: del 2: nu - år 2005-2009.
- Trafikverket, VVMB 114 – Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, äldre utgåva VV-publikation 2000:29, 2000.
- Trafikverket, TRVMB 114 – Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat TRV 2012:051, 2012.
- Trafikverket, Användarmanual PMSV3 – Information om belagda vägar version 3.9.