

Provväg riksväg 40

3: Vägens jämnhet efter 6 år och asfaltens klimatpåverkan



Jonas Ekblad (NCC Industry)

Peter Gustafsson (PEAB Asfalt)

SBUF 13318

Utveckling av alternativa beläggningkonstruktioner (Förstudie - Etapp 1c)

Förord

Provväg riksväg 40 öppnades för trafik under hösten 2015. Provvägar fordrar tid men efter 6 års trafik finns det resultat att analysera, då främst kring vägytans jämnhet som är det som möter vägens nyttjare. Samtidigt med den tekniska prestandan redovisas även asfaltens klimatpåverkan under byggfasen.

I planerings- och byggnadsfasen var provvägen ett branschgemensamt projekt finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Trafikverket med stöd av företagsresurser. Starkt drivande då var Torsten Nordgren, Trafikverket. Efter byggandet har den viktiga uppföljningen av provvägen främst gjorts av PEAB och NCC gemensamt med stöd av SBUF.

Projektet finns nu redovisat i 4 rapporter varav 3 och 4 analyserar uppföljande mätningar genomförda efter 6 års trafikering:

- Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner (SBUF 12926.)
- Reducerad beläggningstjocklek med alternativa bindemedel (SBUF 13107)
- **Provväg riksväg 40. 3: Vägens jämnhet efter 6 år och asfaltens klimatpåverkan**
- **Provväg riksväg 40. 4: Funktionsrelaterad provning efter 6 år.**

Sammanfattning

Anledningen till provvägens tillblivelse var att prova om det går att radikalt minska asfaltens tjocklek genom att använda bindemedel med högre prestanda jämfört med traditionella sorter. Denna rapport analyserar, jämte vägytans jämnhet, även klimatpåverkan vid byggandet.

Provvägen består av 5 delsträckor där referensen är traditionellt uppbyggd. De 4 övriga har ett asfaltlagers reducerad tjocklek och varierade bindemedel. Vägytemätningar har utförts 2 gånger om året, vår och höst, och omfattat längsgående jämnhet (IRI, International Roughness Index) och spårdjup. För klimatpåverkansberäkningar används Trafikverkets modell *Klimatkalkyl* och asfaltproduktionens påverkan har bestämts genom s.k. miljövarudeklarationer.

Resultaten visar att provvägen har mycket låg skadeutveckling. Det finns inga tecken på att tjockleksreduceringen, 1 lager asfalt borttaget, påverkar vägens jämnhet varken för spårdjup eller IRI. Det finns inga statistiskt säkerställda skillnader mellan provsträckorna, dock visar sträckan med lägre grad av polymermodifiering lägst spårdjupsutveckling. Tjockleksreduktion leder naturligt till lägre klimatpåverkande utsläpp medan ökande grad av polymermodifiering ökar utsläppen.

INNEHÅLL

1. INLEDNING.....	5
2. PROVVÄGEN	5
3. METOD	8
3.1. VÄGENS JÄMNHET.....	8
3.2. KLIMATPÅVERKAN.....	8
4. RESULTAT	10
4.1. STÖRANDE FAKTORER	10
4.1.1. <i>Väggroppens homogenitet.....</i>	<i>10</i>
4.1.2. <i>Lastbilshastighet.....</i>	<i>12</i>
4.1.3. <i>Trafikens körmönster</i>	<i>13</i>
4.2. VÄGENS JÄMNHET.....	15
4.3. KLIMATPÅVERKAN.....	19
5. DISKUSSION	20
REFERENSER	22

1. INLEDNING

Provvägar är viktiga men kräver tålamod. Nu är det dags för en utvärdering av provväg Riksväg 40 som anlades 2015. Vägen är stark och välbyggd så skadeutvecklingen har varit måttlig. Provvägens huvudhypotes är att det går att bygga tunnare asfaltkonstruktioner om man använder bindemedel med högre prestanda d.v.s. som ger asfalt med högre motstånd mot spår- och sprickbildning jämfört med standardasfalt.

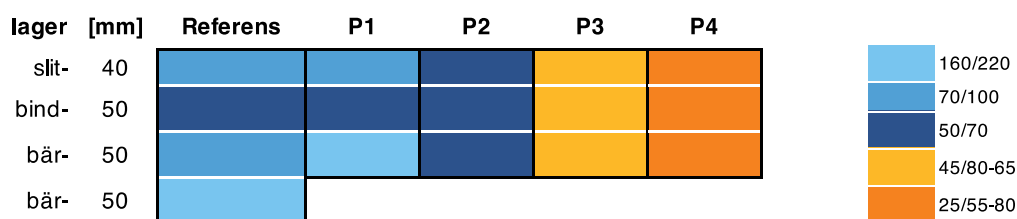
Detta utgör 3:e rapporten i serien om byggande och uppföljning av provväg Riksväg 40. Den 1:a (Gudmarsson, 2015) behandlade framtagande och provning av de bindemedel som sedan användes i det provschema som fastslogs som en del av arbetet. Delrapport 2 (Gudmarsson, 2016) redovisar sedan provning av asfaltmassa och -beläggning från byggandet av provsträckorna. Även fältprovningar rörande provsträckornas bärighet redovisas och analyseras.

Denna rapport sammanställer och analyserar vägytans utveckling under 6 års brukande. I projektet har ett större antal vägytemätningar gjorts, vilka utgör det huvudsakliga dataunderlaget. I en systerrapport till denna redovisas övrig provning genomförd och analyserad inför 6-årsuppföljningen: *Provväg riksväg 40, 4: Funktionsrelaterad provning efter 6 år.*

Utöver vägens tekniska prestanda är det av stor vikt att bestämma beläggnings klimatpåverkan. Att bygga väg är energi- och resurskrävande och det är därför viktigt att jämföra de olika konstruktionerna. Vid en utvärdering av vägprestanda är klimatpåverkan lika avgörande som den tekniska funktionen och i en livscykelanalys är de dessutom kopplade till varandra. Till analysen av vägens jämnhet fogas därför beräkningar av respektive avsnitts klimatpåverkan under byggandefasen.

2. PROVVÄGEN

Provvägens planering med indelning i provsträckor redovisas mer detaljerat i rapport 1 och 2. Som orientering sammanfattas sträckorna även i denna rapport. I figur 1 visas provsträckornas skiftande uppbyggnad och inbördes placering längs provvägen.



Figur 1. Provsträckornas uppbyggnad och bindemedelstyper.

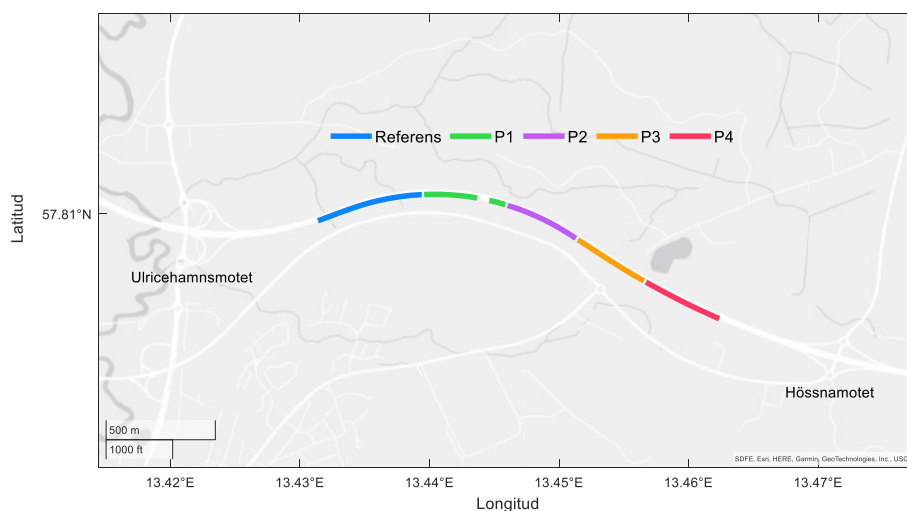
Huvudhypotesen i försöket var att det går att reducera asfalttjocklek genom att använda högpresterande bindemedel med bibehållen prestanda i termer av motstånd

mot permanenta deformationer och sprickbildning. Referens är uppbyggd enligt dimensionering i Trafikverkets dimensioneringsklass 2 d.v.s. enligt specifikationer givna i TRVK (2011) och implementerade i dimensioneringsprogrammet PMS objekt. Överbyggnadsdimensioneringen redovisas utförligt i rapport 1. Materialvalen i Referenskonstruktionen får betraktas som traditionella. För resterande provsträckor reduceras helt enkelt tjockleken genom att 1 lager tas bort: totaltjockleken för provsträckorna är 14 cm jämfört med normalkonstruktionens 19 cm. Provsträckorna P1–P4 kan sedan beskrivas som:

- P1** Traditionell uppbyggnad med reducerad tjocklek (-5 cm)
- P2** Hårdare penetrationsbitumen (-5 cm)
- P3** Modifierat bindemedel (PMB) (-5 cm)
- P4** Högmodifierat bindemedel (PMB) (-5 cm).

Provschemat kan sägas omfatta 2 fältexperiment: (1) effekten av reducerad total asfalttjocklek och (2) effekt av olika typer och grad av modifieringar från den s.k. traditionella lösningen.

Provsträckorna byggdes på riksväg 40 strax öster om Ulricehamn i östgående K1 enligt figur 2.



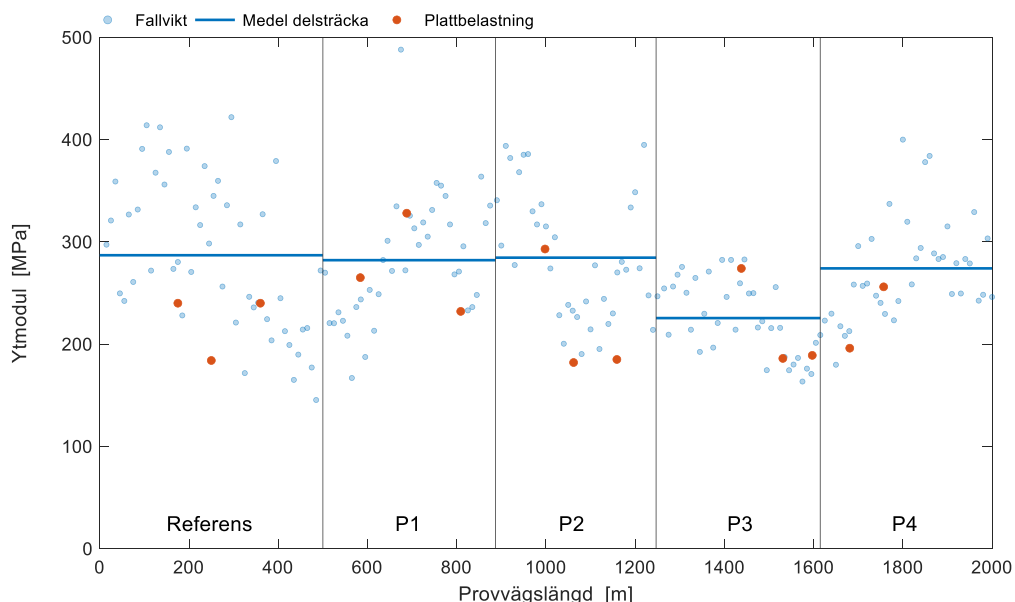
Figur 2. Provsträckor öster om Ulricehamn, östgående K1.

Referenssträckans längd är 500 m medan övriga är kring 375 m. En mindre del av P1 (55 m) har utgått efter bränslespill och efterföljande lagning 2016. Trafikmängden 2019 var 5 700 fordon/dygn (ÅDT, årsmedeldygnstrafik) varav 17 % tunga fordon¹. Vägen är klassad i bärighetsklass 4 (BK4) sedan 1:a november 2021.

Fältförsök innebär en rad faktorer som inte är lätta att kontrollera eller i vissa fall ens mäta. Det är då önskvärt att de kan anses konstanta över provsträckan eller

¹ <https://vtf.trafikverket.se/SeTrafikinformation#>

variera inom snäva intervall. Avsikten med provvägen var att undersöka skillnader i asfaltsegenskaper varför resten av väggroppen bör vara lik längs sträckningen. För att kontrollera detta genomfördes bärighetsmätningar under byggandet. Bärighet på obundet bärlager mättes på 2 sätt: statisk plattbelastning och tung fallvikt (Falling Weight Deflectometer, FWD). Båda har sin teoretiska grund i Boussinesqs lösning av spänningsfördelningen under en punktlast på en s.k. oändlig halvrymd (Boussinesq, 1885). Med oändlig halvrymd menas att strukturen begränsas av en yta i en dimension; de övriga två är oändliga. Båda metoderna definierar en rad mått men i det här fallet används konstruktionens motstånd mot deformation, vilket kallas ytmodul vid fallviktsmätning och deformationsmodul vid plattbelastning. Vid beräkningen av modulerna får man ansätta Poissons tal (tvärkontraktionstalet). Plattbelastning använder Poissons tal 0,5 medan det är vanligt att använda 0,35 vid fallviktsberäkningar. För jämförelse räknas i den här rapporten fallviktsmätningarna om med samma Poissons tal som plattbelastningen (0,5). Skillnaden mellan mätmetoderna är belastningshastigheten där plattbelastningen påför lasten långsamt och fallvikten mycket snabbt. Normalt räknar man inte med att obundna material har tidsberoende egenskaper men i praktiken har det visat sig att snabba belastningar skiljer från statiska; den teoretiska beräkningsmodellen gör ingen skillnad mellan provningsmetoderna men i praktiken kan de skilja. Modulerna har nu beräknats på samma sätt och resultat från provvägen sammanfattas i figur 3. Mätningarna är kvantitativt jämförbara men det som är av störst intresse är inte nivåerna i sig utan eventuella variationer längs provvägen.



Figur 3. Ytmodul mätt på obundet bärlager för fallviktsmätningar och statisk plattbelastning (Poissons tal 0,5).

Visuellt är det inte omedelbart lätt att se några systematiska skillnader eller tendenser. Plattbelastningen visar inga signifikanta skillnader mellan

provsträckorna, eventuella skillnader kan bero på slumpfel². Gör vi samma analys för fallviktmätningarna är P3 signifikant något lägre än övriga som inte går att skilja. Det är viktigt att poängtera att trots att P3 visar något lägre nivåer för fallviktmätningarna, syns inte samma mönster för plattbelastningsresultat, och samtliga mätningar indikerar höga bärighetsnivåer. Med viss försiktighet kan provvägen anses ha mycket bärig väggkropp och är tämligen likartad över sträckningen. Medelvärde för deformationsmodulen (E_{v2}) för plattbelastningen var 230 MPa. Motsvarande ytmodul för fallviktmätningen var 270 MPa.

En annan faktor det är omöjligt att kontrollera är trafikmängd men provvägen är placerad mellan 2 trafikplatser varför trafikmängden kan anses konstant.

Vidare är provvägen placerad i en uppförsbacke vilket kan påverka resultaten på 2 sätt: hastighetsvariationer för den tunga trafiken och förändrade spänningsförhållande i anliggningsytan mellan däck asphalt, uppförsbacke ger framförallt ökad skjuvning. Lastbilarnas hastighet har mätts och redovisas i avsnitt 4.1.1. Den ökade skjuvkraften orsakad av lutningen är hyggligt konstant över sträckningen även om lutningen sjunker något svagt mot slutet (sträcka P4).

I figur 2 är det tydligt att den första delen av provsträckan ligger i en högerkurva som sedan övergår i en raksträcka. Detta påverkar trafikens sidledes fördelning och därmed även spårdjupets fördelning. Koncentrerad spårbunden trafik ger djupare spår och därmed högre uppmätt spårdjup. En bedömning av denne effekt redovisas i avsnitt 4.1.3

Sammanfattningsvis kan det sägas att provvägen är bärighetsmässigt mycket stark och homogen längs hela sträckningen, samtidigt som det finns skillnader som till delar går att mäta och som behöver beaktas i resultatanalysen.

3. METOD

3.1. VÄGENS JÄMNHET

Denna rapport behandlar vägens geometriska jämnhet i längs- och tvärled och mätningarna har utförts enligt Trafikverkets metod(er) för objektmätningar. Dessa mätningar omfattar en rad mätstorheter men i denna uppföljning studeras längsgående jämnhet som IRI (International Roughness Index) och spårdjup för tvärgående. För spårdjup redovisas mätningar med 2,6 m mätbredd. Grunddata är på 1 m-nivå. Mätschemat har varje år minst omfattat 1 mätning på våren och 1 på hösten. Vissa år har det förekommit fler mätningar och även dessa inkluderas i delar av uppföljningen. Mätningarna har, vid de flesta tillfällena, även inkluderat K2 och motsvarande körfält i västgående riktning dvs. vägens alla 4 fält vid samma läge som provsträckan.

² Envägs ANOVA med provsträcka som oberoende faktor.

3.2. KLIMATPÅVERKAN

Miljöprestanda och miljöpåverkan är viktiga för all tillverkning och inte minst för asfaltbeläggningar som är energikrävande och använder fossila resurser. Det finns ett flertal sätt att bedöma och beräkna varors och processers miljöpåverkan. En grundförutsättning är att modeller, metoder och antaganden redovisas transparent och förståeligt. I större vägbyggnadsentreprenader använder Trafikverket sedan 2015 *Klimatkalkyl*³ för klimatpåverkansberäkningar och denna har succesivt förts in i upphandlingar och används i dag regelmässigt. Modellen är baserad på metodik för livscykelanalys enligt ISO 14040:2006. En viktig del av redovisningen i Klimatkalkyl utgörs av s.k. miljövarudeklarationer (EPD, Environmental Product Declaration). Miljövarudeklarationer används i dag regelmässigt av Trafikverket i såväl underhålls- som investeringsentreprenader och det finns etablerade standarder kring framtagandet (EN 2012, 2019).

Miljövarudeklarationer omfattar en livscykelanalys av produktens olika faser. Den övergripande delningen av livscykelanalysen är: (A) byggande, (B) användning och slutligen (C) utskrotning (avveckling, end-of-life). Miljövarudeklarationen kan även kompletteras med verkan bortom livscykeln d.v.s. efter utskrotning (D). Klimatpåverkan under byggandet (A) delas in i delmoduler enligt figur 4.



Figur 4. Delmoduler i en miljövarudeklaration för byggandefasen.

Analysen i den här rapporten omfattar byggandet, fas A, delat i modulerna A1–A5. Beräkningarna har utförts med tredjepartscertifierad process för miljövarudeklarationer. Undantaget från processen är den slutliga tredjepartsgranskningen och publiceringen av de fullständiga miljövarudeklarationerna. Resultatet avseende utsläpp av koldioxidkvivalenter (CO₂eq) redovisas i denna rapport.

Massatyper och sammansättning är tidigare givna i rapport 2. Miljövarudeklarationer för de modifierade bindemedlen är bestämda baserat på PEAB:s miljövarudeklaration (PEAB, 2021). De viktigaste villkoren för LCA-beräkningen i övrigt är:

- biobränsle för torktrumma
- stenmaterial finns vid asfaltverket
- kvalitetssten i slitlager, transportavstånd 20 km
- stenmaterial är krossat i eldriven anläggning

³ <https://klimatkalkyl-pub.ea.trafikverket.se/Klimatkalkyl/>

- transportavstånd från asfaltverk 50 km
- utläggning av 3 lager.

Beräkningarna är sedan utförda i Klimatkalkyl med standardvärden för transport och utläggning. Klimatpåverkan redovisas som total mängd koldioxidekvivalenter (CO₂eq) per yta färdig asfaltkonstruktion (kg/m²).

4. RESULTAT

I de statistiska analyserna är nollhypotesen (H_0) i samtliga fall att ingen skillnad mellan medelvärden föreligger. Vald signifikansnivån (α) är 5 % dvs. vi förkastar nollhypotesen om $p < 0,05$ och konstaterar att det föreligger skillnad. De använda statistiska metoderna är variansanalys (ANOVA) och linjär regression.

4.1. STÖRANDE FAKTORER

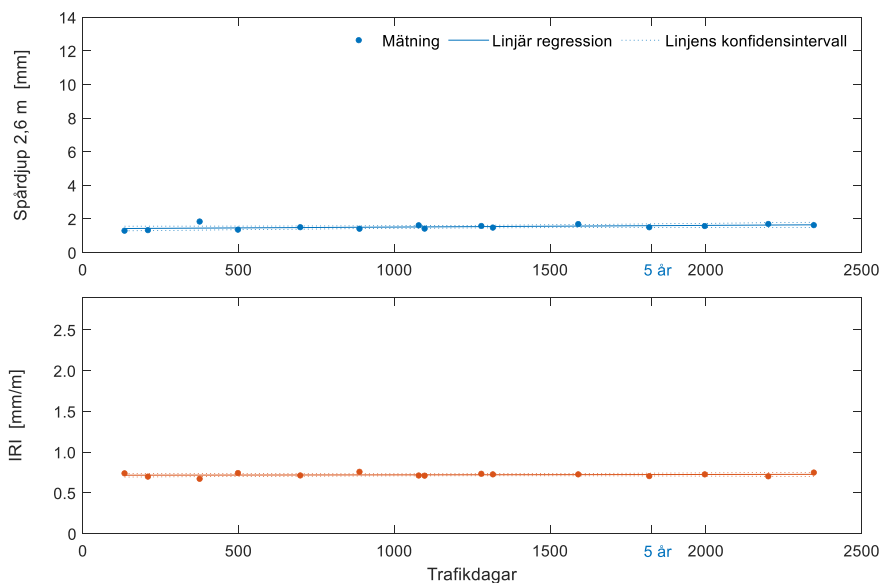
Som tidigare nämnt finns det en rad faktorer fältförsöket inte kan kontrollera. En del kan anses konstanta över sträckan, andra kan mätas. I detta avsnitt redovisas för bedömning av vägkroppens bärighet och homogenitet samt trafikens hastighet och körmönster.

4.1.1. VÄGKROPPENS HOMOGENITET

Vägkroppens homogenitet bedöms genom att analysera längsgående jämnhet i K1 samt mätningarna i K2. Till detta fogas även de bärighetsmätningar som utfördes på obundet lager när vägen byggdes och som redovisades i avsnitt 2 ovan.

Mätningen i K2 genomfördes främst för att bedöma om det finns någon påverkan utöver trafikens. Huruvida t.ex. klimat och vattenrörelser i terrass och obundna lager har påverkat vägkroppen och eventuell homogenitet över provsträckan. De kan även användas för att skatta trafikmängden i K1 då vi känner summan genom trafikräkningarna. Årliga medelvärden för provvägens jämnhet i K2 visas i figur 5. Axlarna i denna figur, och senare figurer, är skalade efter Trafikverkets underhållsstandard för vägklassen (hastighet och trafikmängd).⁴

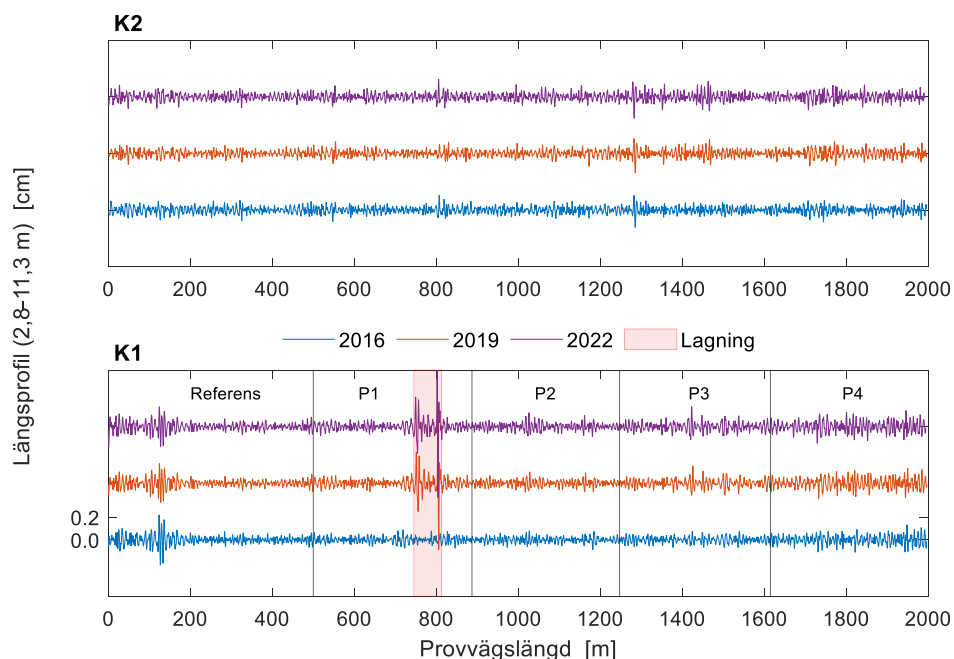
⁴ <https://pmsv4.trafikverket.se/about-underhallsstandard>.



Figur 5. Jämnhet i östgående K2 under försöksperioden: årliga medelvärden för hela provvägen (2 km) samt konfidensintervall för medelvärden (95 % säkerhet).

Det är tydligt för båda måtten att K2 längs provsträckan är närmast helt opåverkad. Ingen av linjerna lutning är statistiskt signifikant och passningarna har snäva konfidensintervall. Betraktar vi mätningarna som grupper är standardavvikelsen för spår djupsmätningarna 0,15 mm och för IRI 0,02 mm/m ($n = 15$). K2 i västgående riktning är i stort sett identisk.

Ett annat sätt att undersöka vägens eventuella förändring är att studera längsprofiler. Vägytemätbilar bestämmer längsprofiler i ett mycket brett våglängdsområde, från ungefär 2 mm till 100 m. I detta fall används en bestämning av vägytans höjd som ett medelvärde över varje 5 cm. Denna längsprofil filtreras sedan så den endast innehåller våglängder mellan 2,8–11,3 m, vilket är våglängder som relativt starkt påverkar IRI-bestämningen (längsgående jämnhet). Vår mätningarna för åren 2016, 2019 och 2022 sammanställs i Figur 6 för båda körfälten längs provvägen.



Figur 6. Våglängdsfiltrerad längsprofil, våglängder 2,8–11,3 m, för K1 och K2 vid tre mättillfällen på våren respektive år, profilerna är separerade längs y-axeln för tydlighet.

För K2 är det visuellt tydligt att i stort sett ingenting har hänt under de första 6 åren, vilket var tydligt redan i den tidigare analysen. De filtrerade längsprofilerna är närmast helt oförändrade. De mindre fluktuationer som finns fanns redan direkt efter läggningen. IRI-medelvärdet för K2 är 0,76 mm/m vilket motsvarar en relativt jämn väg (jämför IRI-utvecklingen i figur 5).

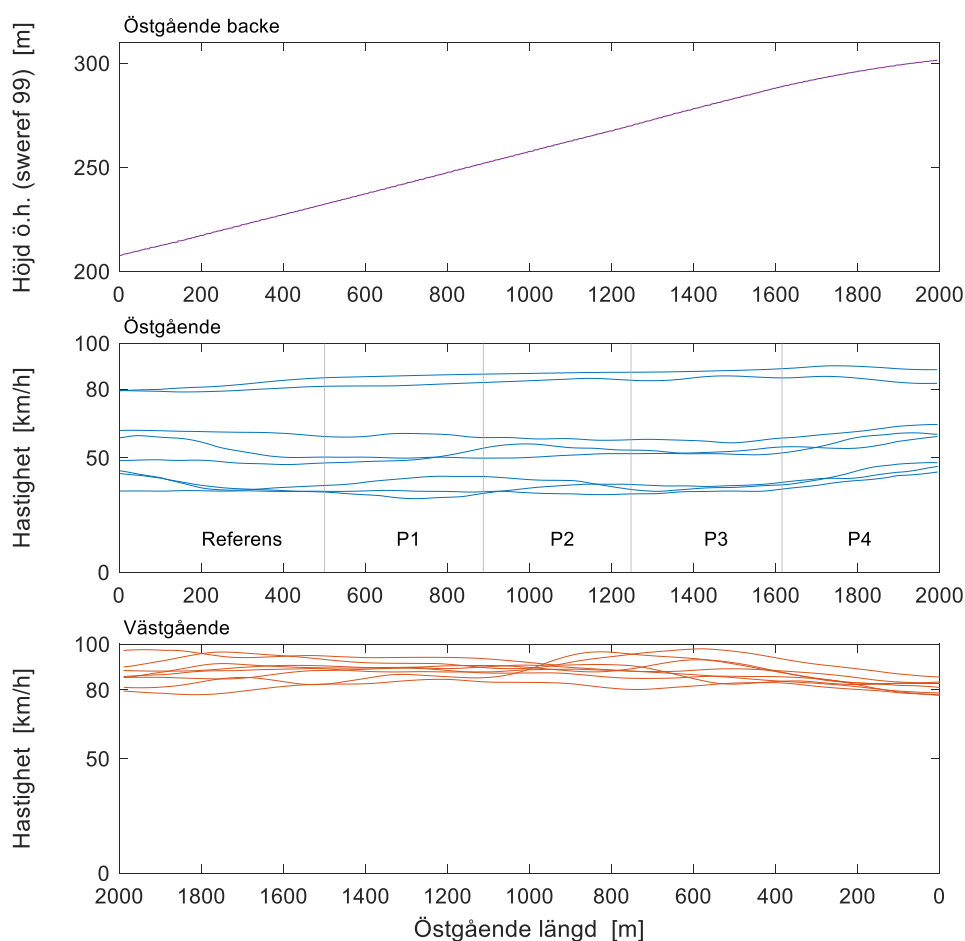
K1 är även den relativt oförändrad. Den större skillnad som är synlig är den undantagna delen efter bränslespillet 2016; lagningen har gett 2 skarvar och en relativt kort läggning. Denna del är alltså undantagen analysen. För P3 och P4 kan man svagt skönja ökade ojämnheter men i praktiken måttliga framförallt P3 som ökat med 0,06 mm/m under perioden vilket går att mäta men inte uppleva i termer av åkkomfort. P4 var redan direkt efter nyläggning något mer ojämn, kring 0,1 mm/m högre än övriga och har ökat ungefär lika mycket under perioden. Det är främst den östligaste halvan av P4 som visar ökande ojämnheter. Som vi kan se senare (figur 9) har denna del dock mycket låg spårbildning.

Sammanfattningsvis, avseende väggroppen, finns det ingen anledning att tro att den förändrats på något avgörande sätt eller orsakat skillnader mellan provsträckorna; provvägen kan betraktas som fortsatt homogen över hela sträckningen. Det går dock att se små skillnader för sträcka P4 men då samtliga ojämnheter, såväl IRI som spårdjup är på jämförelsevis låga nivåer (se avsnitt 4.2), är det svårt att i nuläget dra några definitiva slutsatser: det finns skillnader men de är i sammanhanget små. Till detta kommer att de bärighetsmätningar som har gjorts (tung fallvikt, FWD) och

som redovisas i systerrapporten⁵ till denna, inte är lätta att tolka och inte tydligt indikerar något starkt avvikande.

4.1.2. LASTBILSHASTIGHET

Provsträckan är placerad i en uppførsbacke med en lutning kring 5 %, något avflackande mot slutet av provsträcka P4. För att få en bild av lastbilstrafikens hastighetsmönster genomfördes en rad mätningar i samband med den avslutande vägytemätningen 2022. Vägytemätbilen följde 8 slumpmässiga lastbilar i vardera riktningen på konstant avstånd bakom fordonen. Dessa mätningar sammanfattas i figur 7 som visar vägytemätbilens hastighet över provsträckan och motsvarande del i västgående riktning. I figuren visas även provsträckans höjdprofil.



Figur 7. Höjdprofil för provsträckan samt hastighet för 8 lastbilar i vardera riktningen.

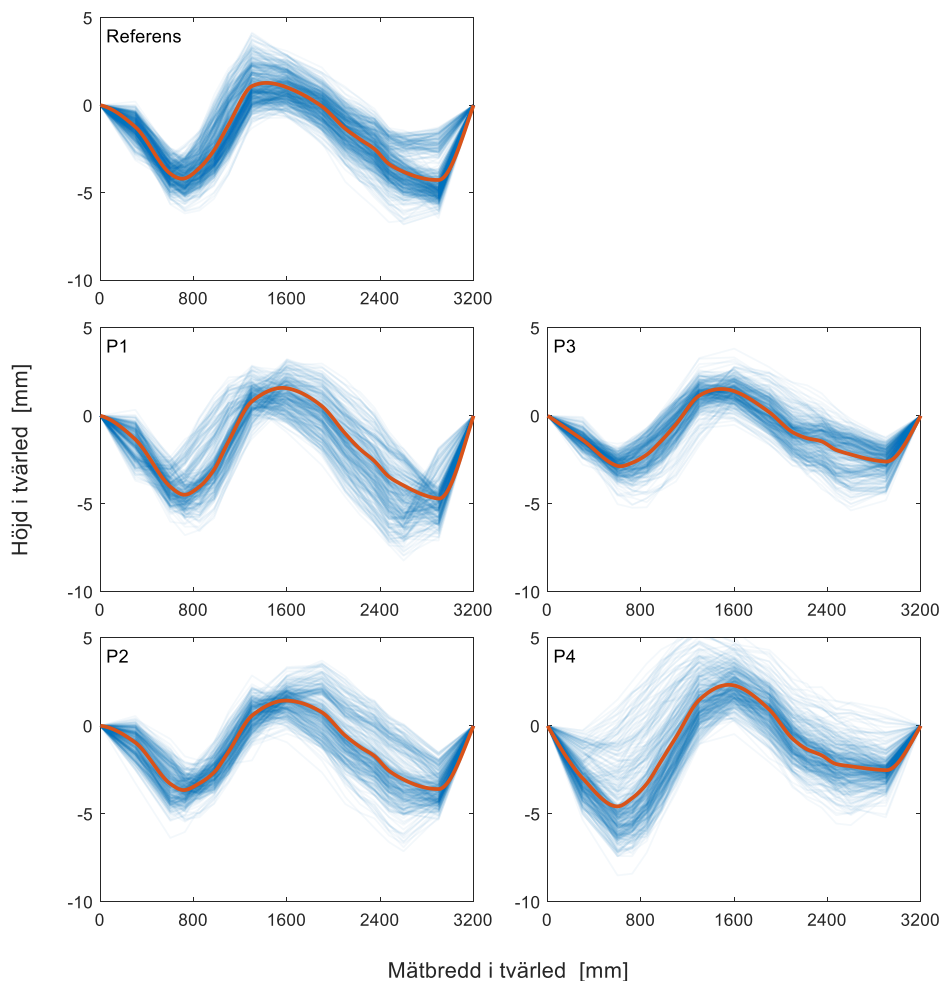
Höjdprofilen visar att vägen stiger knappt 100 m över 2 km, något flackare mot slutet. Man kan tydligt notera att hastigheterna i uppførsbacken (östgående) varierar tämligen mycket men att för de enskilda fordonen är hastigheten närmast konstant över hela provvägen. De fluktuationer som är synliga beror förmodligen främst på

⁵ Provväg riksväg 40, 4: Funktionsrelaterad provning efter 6 år.

svårigheten att hålla konstant avstånd då vägytemätbilens hastighetsmätning i sig är mycket noggrann och högupplöst i längsled. Medelhastigheten över provvägen var 55 km/h. Då det förefaller som fordonen faller i 2 grupper är medelhastigheten något osäker då antalet mätta lastbilar var begränsat. Hastigheten i de 2 grupperna var drygt 80 km/h i den snabbare gruppen och i ca 45 km/h i den långsammare. Västgående trafik var mer samlad kring dryga 85 km/h.

4.1.3. TRAFIKENS KÖRMÖNSTER

Trafikens sidledes körmönster påverkar spårbildningen. Kanaliserad trafik ger smalare och djupare spår medan mer utbredd trafik ger flackare och grundare spår. Det kan ofta vara så att omständigheterna, linjeföring, räckten m.m., gör att fordonen i större utsträckning följer en sida och då blir spåren djupare på den sidan. Skillnader i axelbredder, främst mellan person- och lastbilar, ger upphov till större variationer i det andra spåret som då blir bredare och grundare. Ett sätt att indirekt bedöma körmönster är att studera uppmätta tvärprofiler. I figur 8 visas alla tvärprofiler (medel över 1 m) från den avslutande mätningen 2022 delade efter provsträcka. Även medeltvärprofilen för varje provsträcka finns inlagd.



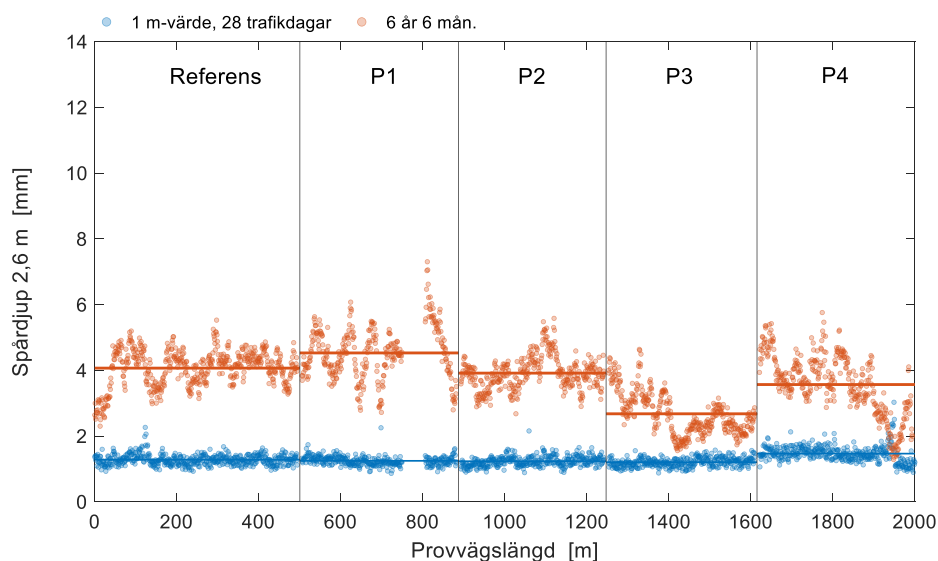
Figur 8. Nolljusterade tvärprofiler för respektive provsträcka: 1 m-profiler och sträckans medelvärde (full mätbredd 3,2 m).

Spårbildningen verkar variera över sträckan, vilket indikerar skiljande körmönster. Detta påverkar spårdjupsmätningarna då värdet ger maximalt spår djup över tvärprofilen. Överlag verkar det som trafiken går från att vara svagt kanaliserad till höger, främst Referens och P1, till att vara mer koncentrerad till vänster på P4. Provsträckorna P2 och P3 är mer neutralt balanserade. Det bör påpekas att det är mycket måttlig spårbildning, vilket gör mätningarna något brusiga. Uppmätt spårbottenavstånd är kring drygt 2 m längs hela provvägen, vilket starkt tyder på att spåren orsakas av lastbilstrafik (Trv, 2012). Även för detta mått är det värt att notera att spåret överlag är lågt vilket gör måttet svårbestämt. På motsvarande delar i västgående K1 är variationen mindre tydlig och spår djupet är något lägre.

Sammanfattningsvis indikerar mätningen av tvärprofiler att körmönstret varierar något över provvägen, från svagt höger till mer kanaliserat till vänster. Det är svårt att kvantifiera inverkan men det är värt att beakta vid analysen av delsträckornas spårdjupsutveckling.

4.2. VÄGENS JÄMNHET

Den huvudsakliga analysen av provsträckornas prestanda baseras på spår djup. Övriga mätningar kompletterar och breddar analysen. Figur 9 visar provvägens förändrade spår djup under hela analysperioden: 1:a mätningen jämförs med den sista. I figuren visas 1 m-värden över hela provvägen samt varje delsträckas beräknade medelvärde.



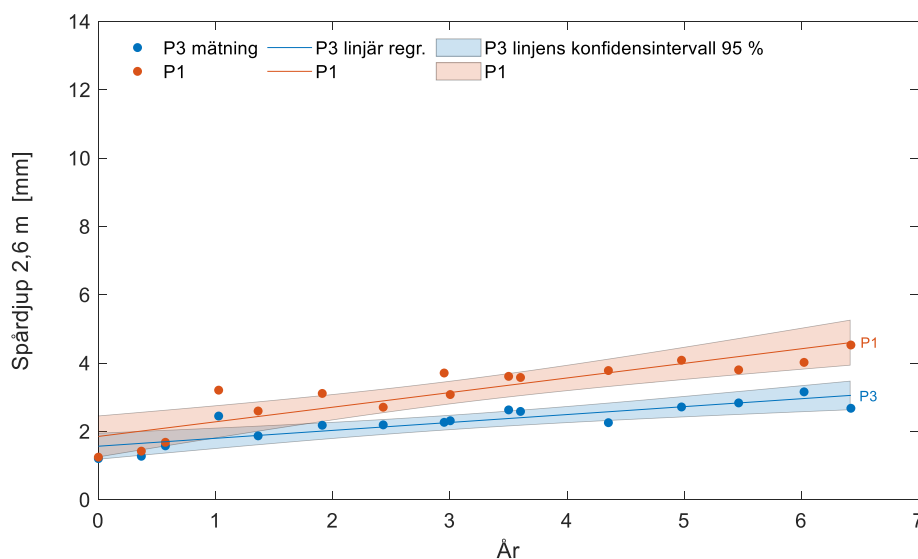
Figur 9. Spårdjup längs provvägen, första (2015) och sista (2022) mätningen; heldragna streck indikerar respektive provsträckas medelvärde (punkter är 1 m-värden).

1 m-värden innehåller en del mätbrus varför man normalt medelvärdesbildar över längre sträckor, typiskt 20 m. I det här fallet används respektive delsträckas medelvärde. Man kan dock se att spridningen inom provsträckor kan vara betydande, främst kanske P3. Vid trafiköppning var spåret i P4 något lite högre än för övriga sträckor.

Under perioden har vägytan mätts sammanlagt 16 gånger: varje höst och vår samt några gånger däremellan. Mätdata utgörs av respektive provsträckas medelvärde vid varje mättillfälle. Tiden mellan mätningar mäts i dagar men uttrycks för enkelhets skull i år. Samtliga mätningar och provsträckor passas sedan genom linjär regression enligt:

$$y = \alpha_i + \beta_i \cdot \text{years} + \epsilon \quad 1$$

där *years* är tid (i grundenheten dagar), *i* är de olika provsträckorna, α och β bestäms genom linjär regression och ϵ är felterm. Mätningar och passade linjer visas i figur 10 för de sträckor med högst respektive lägst spårdjupsutveckling.



Figur 10. Årliga medelspårdjup med linjär regression för provsträckor med högst (P1) respektive lägst spårdjupsutvecklingen (P3).

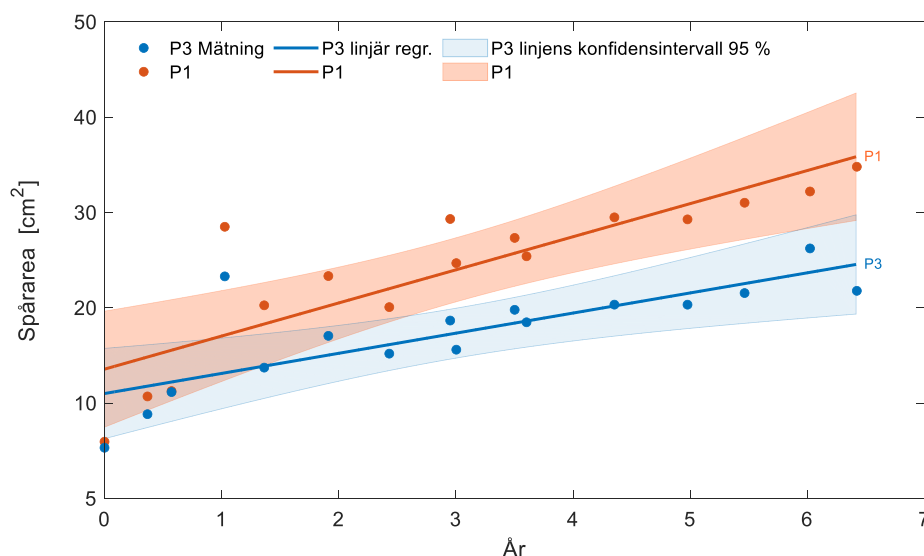
Övriga sträckor ligger nära P1 så det är generellt P3 som avviker något. Jämför vi bara dessa 2 har P1 högre spårdjupsutveckling än P3. Inkluderas alla provsträckor i en fullständig analys enligt försökets statistiska modell given i ekvation 1, är dock skillnaderna mellan provsträckorna inte signifikanta, de kan bero på slumpfel, även då skillnaden mellan P1 och P3. Den årliga spårdjupsutvecklingen för alla provsträckor sammanställs i tabell 1.

Tabell 1. Årlig spårdjupsökning för respektive provsträcka (linjär regression, 5 % total signifikansnivå justerad enligt Bonferroni)

Provsträcka	Årlig ökning [mm/a]	Konfidensintervall [mm/a]
Referens	0,41	± 0,13
P1	0,43	± 0,18
P2	0,33	± 0,18
P3	0,23	± 0,18
P4	0,32	± 0,18

Osäkerheten, given som konfidensintervall, är synbarligen relativt hög men det beror till stor del på de låga nivåerna; i absoluta tal är spridningen måttlig. Resultaten i tabell 1 ger ingen tydlig skillnad mellan provsträckorna även om P3 har lägst spårbildning.

Ett sätt att i någon mån justera för körmönster är att i stället för maximalt spår djup, beräkna spårarea för tvärprofilen. Tanken är att det alltid blir lika mycket spår av varje fordon men att de, beroende på körmönster och fordonskonfiguration, uppkommer på olika ställen längs tvärprofilen. Och spår djupet är sedan summan av dessa inkrementella ökningarna d.v.s. vi har alltid lika mycket spår det är bara skillnad i hur de fördelas. Genom att bestämma spårarean får vi då ett mått på denna totalmängd spår. Detta är en förenkling och spår mekanismerna samverkar säkerligen förstärkande och förminskande. Spårarean bestäms genom att integrera ytan under den trådmodell som används för bestämning av spår djup. Beräkningarna och linjepassningar för de provsträckor med högst respektive lägst spårarea (samma P1 och P3 som tidigare) visas i figur 11.

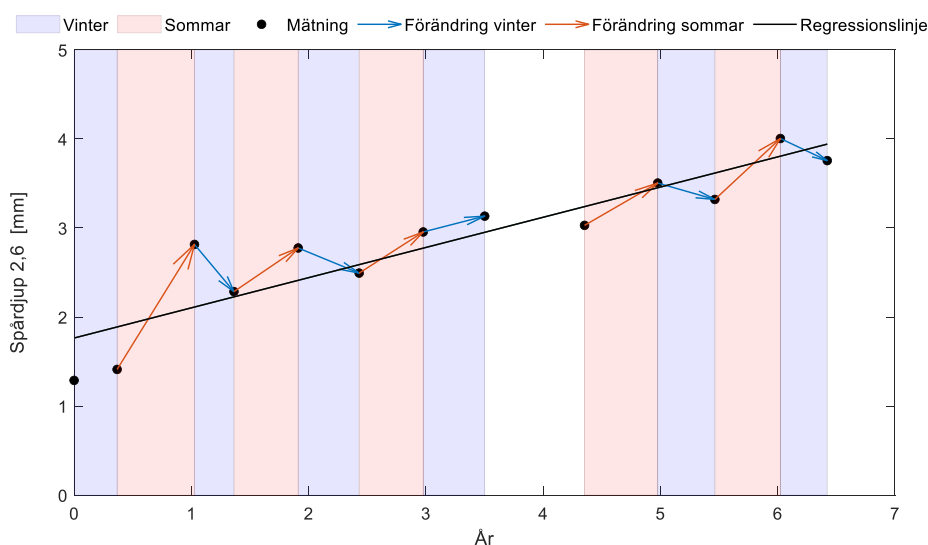


Figur 11. Årlig medelspårarea med linjär regression för provsträckor med högst (P1) respektive lägst spårarea (P3).

Visuellt kan man se att spridningen är större och därmed ökar osäkerheten i bestämningen. Den statistiska analysen enligt ekvation 1 visar inga signifikanta skillnader mellan provsträckorna. Man kan dock försiktigt notera att rangordningen mellan sträckorna är densamma men, återigen, spridningen är avsevärt större så de skillnaderna kan bero på slumpfel. Övriga sträckor ligger under men samlade kring P1.

Det är inte direkt tydligt i Figur 10 men vid en närmare betraktelse verkar det finnas ett säsonsberoende för spår djupsutvecklingen, det finns ett mönster mellan höst- och vårmätning vilket i sin tur betyder att det verkar finnas en skillnad mellan spårbildning under vinter jämfört med sommar. Det är rimligt att tro att spårbildning under vintern orsakas av dubb slitage och under sommaren av den tunga trafiken.

För att tydliggöra detta visar figur 12 vår- och höstmätningarna samtidigt med säsongsförändringar. I figuren undantas den 1:a mätningen då den inte har någon trafikpåverkan utan bestämmer bara utläggningens jämnhet och sedan finns det en tappad höstmätning år 4.



Figur 12. Årliga medelspårddjup för hela provvägen delat efter säsong: sommar respektive vinter.

Spårddjupet ökar under samtliga somrar medan det sjunker under alla vintrar utom år 3. Det är inte sannolikt att det bara är mätbrus då det finns ett generellt mönster. Det är också så att ingen av de övriga samtidiga mätningarna i östgående K2 (jämte provvägen) och västgående K1 och K2 har detta mönster. Det är generellt låga spårddjup men precisionen i övriga mätningar är avsevärt högre än de säsongsförändringar som är synliga i figur 12. För att bedöma denna effekt adderar vi en säsongsfaktor till den tidigare modellen (ekv. 1):

$$y = \alpha_i + \beta_i \cdot years + \gamma \cdot season + \epsilon \quad 2$$

i är provsträckor (5 st.), $season$ är effekt av sommar eller vinter och ϵ är felterm, α , β och γ är statistiska koefficienter som bestäms genom linjär regression av samtliga mätningar av hela säsonger (se figur 12). Alla provsträckor visar samma mönster av sjunkande spårddjup under vintersäsongen men med något skiljande magnitud. Generellt sjunker spårddjupet med ungefär 0,4 mm under vintrarna. Mönstret är likartat över observationsperioden med undantaget 3 års-vintern.

Fältförsöket försöker i huvudsak studera inverkan av tung trafik så för analysen av spårddjup innebär det att det är främst sommarspårddjupet som är av intresse. Efter att ha konstaterat att det finns ett årstidsmönster försöker vi separera säsongerna och summera dem enskilt. Vinterspårddjup definieras som skillnaden

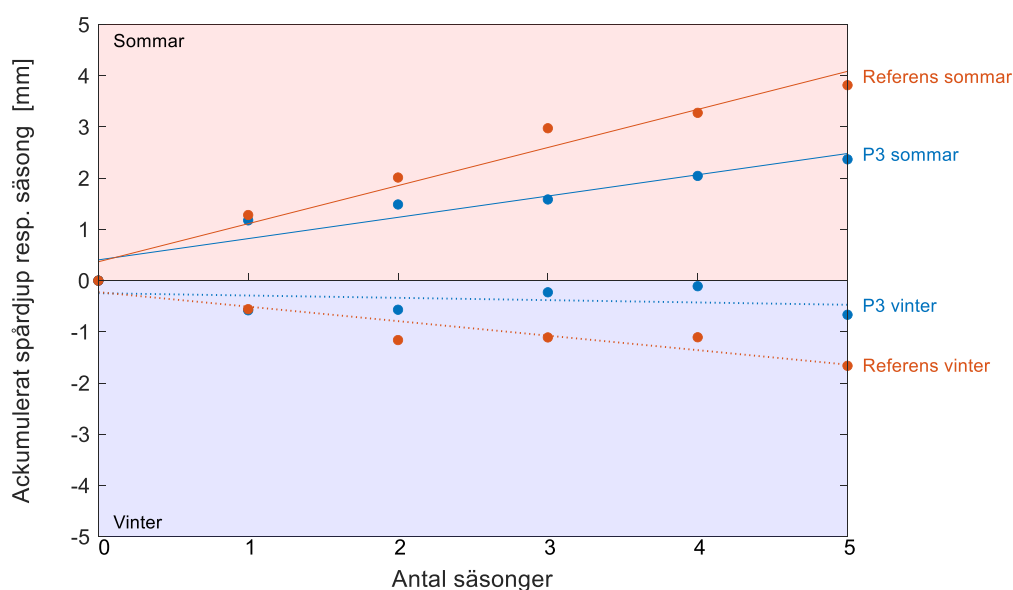
mellan en vårmätning och mätningen hösten innan och sommarspårbyggning är skillnaden mellan höst- och vårmätning enligt:

$$\Delta y_{\text{winter}_i} = y_{\text{spring}_{i+1}} - y_{\text{fall}_i}$$

3

$$\Delta y_{\text{summer}_i} = y_{\text{fall}_i} - y_{\text{spring}_i}$$

De separerade säsongerna sammanfattas i figur 13 genom att ackumulera sommar och vinter delat: sommar innebär alla sommar adderade efter varandra och motsvarande för vintrar. Tidsskalningen i figuren är alltså inte jämförbar med den årsvisa redovisningen i tidigare figurer. Figuren visar de sträckor med störst och minst säsongsskillnader.

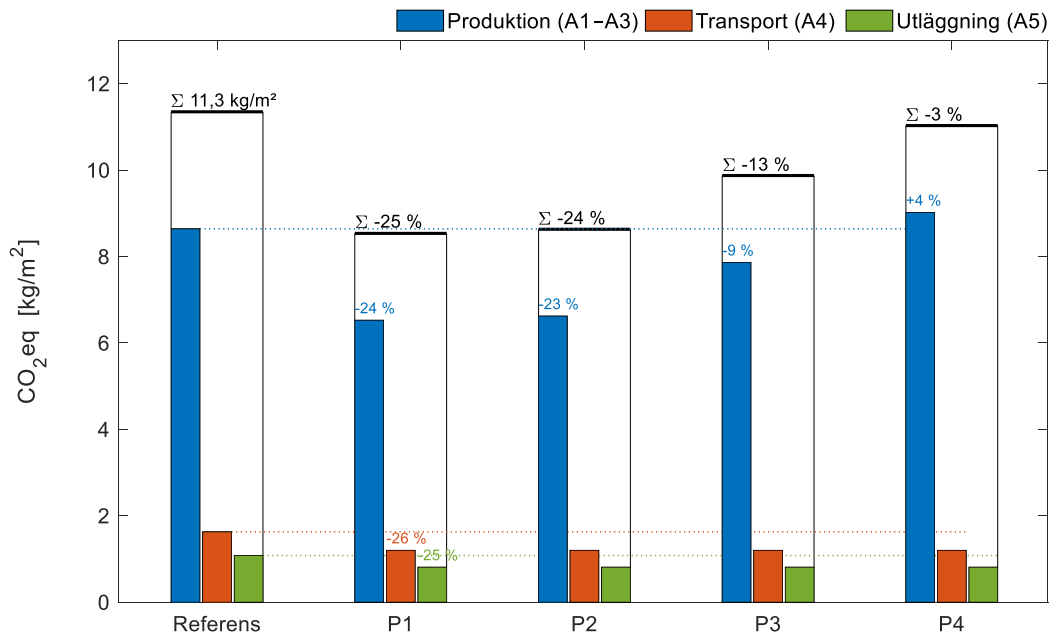


Figur 13. Årliga medelspårddjup för hela provvägen delat efter säsong: sommar respektive vinter.

Generellt är vintersänkningarna signifikanta med undantag för P3. De övriga går inte att skilja utan ligger samlade kring Referens vinter. Samtliga sommarökningar är signifikanta, spårddjupet ökar under sommarperioden: Referens visar högst ökning och P3 lägst men skillnaden går inte att skilja på 95 % konfidensnivå utan kan bero på slumpfel. Sommarspårutvecklingen för P3 är kring 0,4 mm/sommar medan övriga ligger samlade kring 0,7 mm/sommar.

4.3. KLIMATPÅVERKAN

De olika provsträckornas klimatpåverkan vid byggandet bestämdes i Trafikverkets Klimatkalkyl och resultaten sammanfattas i figur 14. Utsläppen av växthusgaser ges i enheten kg CO₂eq per m² beläggningsyta. Resultaten är givna som totalsummor men, inom varje stapel, även delat efter produktionsmoment: produktion av asfaltmassa (A1–A3), transport (A4) och utläggning (A5).



Figur 14. Klimatpåverkan från asfaltslager för respektive provsträcka beräknat i Trafikverkets Klimatkalkyl.

Sträckan med störst utsläpp av växthusgaser är Referens tätt följd av P4 (högmodifierat bindemedel). För Referens beror det på den större totalmängden asfalt medan för P4 orsakas de högre utsläppen av det högmodifierade bindemedlet. De reducerade asfaltmängderna för P1–P4 gör att utsläppen sjunker i alla faser och de största absoluta sänkningarna sker i tillverkningen. Sträckorna P1 och P2 med penetrationsbitumen har lägst utsläpp. Emissionerna ökar sedan med ökad modifieringsgrad. De minst klimatbelastande alternativen är att lägga tunnare beläggning med penetrationsbitumen.

5. DISKUSSION

Det är inte helt lätt att dra definitiva slutsatser från de mätningar som gjorts: dels är det generellt låga skadenivåer, dels finns det små skillnader mellan provsträckorna vilka försvårar tolkningen.

Analys av vägens bärighet vid byggandet (avsnitt 2) och uppföljningen av längsprofiler (avsnitt 4.1.1) indikerar stabil och homogen vägkropp. Vägen byggdes med hög och jämn bärighet och den har inte starkt förändrats under uppföljningens 6 år. Det finns alltså goda förutsättningar att undersöka de olika beläggningens funktion.

Sträckan med modifierat bindemedel (P3) visar lägst spårdjupsutveckling men vid en bredare analys finns det flera faktorer som komplicerar bilden, främst körmönster och sommar/vinter-spårbildning. Tvärprofilerna var mer neutrala för P3, vilket i sig kan ge lägre maximala spårdjup, givet samma mängd trafik. Vidare var säsongvariationen, spårbildning sommar respektive vinter, minst på denna delsträcka. Det är mycket möjligt, kanske t.o.m. troligt, att körmönster och

sommar/vinter-variationer är kopplade. Körmönster för de olika fordonskategorierna, person- och lastbilar påverkar tvärprofilerna och därmed spårdjupsbestämningen. Då spårnivåerna är låga kan även små förskjutningar ge mätbara effekter. Sammantaget gör det den tolkade analysen av resultaten mer otydlig: P3 visar lägst spårdjupsutveckling, dock inte statistiskt signifikant, men det är samtidigt den sträcka som visar störst avvikelser mot övriga provsträckor. Det är svårt att skatta effekten av eller orsaken till de säsongsskillnader vi ser och som skiljer något mellan provsträckorna. Samtidigt som det är värt att notera att alla spårdjupsmätningar visar låga nivåer.

Mätningarna av spårdjup tyder på att det spårdjup vi mäter främst orsakas av tung trafik. Spårbottnavståndet är kring 2 m över hela provsträckan. Vår/höst-mätningar visar dessutom att spårdjupet endast ökar under sommarperioden. Skada orsakad av den tunga trafiken är det hela försöket var utformat för att fånga. Bindemedelsegenskaper påverkar främst permanenta deformationer medan dubbdäcksslitage från personbilar till övervägande del styrs av stenmaterialkvalitet.

Baserat på undersökningar redovisade i denna rapport kan följande slutsatser dras:

- provvägen är välbyggd med hög teknisk prestanda d.v.s. den visar mycket låg skadeutveckling under uppföljningsperioden
- det finns inga tecken på att tjockleksreduceringen, 1 lager asfalt (5 cm) borttaget, påverkar vägens jämnhet varken spårdjup eller IRI
- tjockleksreduktion leder naturligt till lägre klimatpåverkande utsläpp medan ökande grad av polymermodifiering ökar utsläppen
- sträckan med lägre grad av polymermodifiering visar lägst spårdjupsutveckling, dock inte statistiskt signifikant vid en sammantagen analys av samtliga provsträckor.

Avslutningsvis vill vi säga att 6 år är en tämligen kort tid i vägsammanhang. Det finns ytterligare nedbrytningsmekanismer som sprickbildning och bristande beständighet, som inte kunnat studeras i denna undersökning då de normalt uppträder i än längre tidsperspektiv.

REFERENSER

- Boussinesq, M.J. 1885. *Application des potentials a l' etude de l'. equilibre et du mouvement des solides elastiques*. Gauthier-Villars, Paris.
- EN. 2012 (2019). *Miljödeklarationer - Produktspecifika regler*. SS-EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021. SIS, Svenska institutet för standarder.
- Gudmarsson, A. 2015. *Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner, Etapp 1a*. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, projekt 12926.
- Gudmarsson, A. 2016. *Reducerad beläggningstjocklek med alternativa bindemedel*. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, projekt 13107.
- ISO 14040:2006 (SS-EN ISO 14040:2006). *Miljöledning–Livscykelanalys–Principer och struktur*. Svenska institutet för standarder, SIS.
- PEAB. 2021. *Miljövarudeklaration–EPD. Polymer modifierat bitumen, PMB*. EPD International AB (www.environdec.com).
- Try. 2012. *Underhållsstandard belagd väg 2011*. Publikationsnummer 2012:074. Trafikverket, Borlänge.