

EFFEKT AV MILJÖVÄNLIGA TRANSPORTER



Foto: Söderenergi



Författare:

Roger Nilsson, Skanska Sverige AB, Teknik

2023-02-28

SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

FÖRORD

Föreliggande SBUF-rapport (13427) sammanfattar resultaten från ett branschgemensamt projekt ”Effekt av miljövänliga transporter”.

Sverige har bland de högsta tillåtna fordonsvikter samt fordonslängder i världen. Dessa tunga transporter är bra för klimatet och konkurrenskraften men ökar behovet av bärkraftiga vägar. 2018 infördes en ny bärighetsklass, BK4, för 74 tons fordon. För att kunna upplåta fler vägar till BK4 behöver vägöverbyggnadens strukturella tillstånd värderas och säkerställas för de tyngre och längre fordonen, s.k. HCT-fordon (High Capacity Transport för godstransporter). Dessa fordon har visat sig vara mer effektiva samt bidra till miljövänliga transporter då de minskar utsläpp och klimatpåverkan. Målet är att succesivt öppna upp det strategiska vägnätet utan att öka nedbrytningen.

En väg bryts ner kontinuerligt beroende av främst trafik- och klimatbelastning. Om trafikbelastningen ökar (tex. axellast, antal fordon och axlar mm.) kommer nedbrytningen att ske snabbare.

En allmän uppfattning har varit att nedbrytningen inte blir större om man samtidigt som man höjer bruttovikten även inför fler axlar och därmed inte ökar axelvikten. Denna rapport visar att det inte stämmer för asfaltvägar.

I detta projekt har effekten av miljövänliga transporter på vägöverbyggnaden utvärderats med hjälp av rullande bärighetsmätning (RWD) samt Linear Visco-Elastic (LVE) analys, Effekten av ett HCT-fordon, 98 ton, 34 meter långt med 12 axlar har analyserats med VEROAD.

Ett antal vägar med varierande strukturell uppbyggnad, ålder mm. har mätts för att utvärdera RWD-mätningar samt utrustningens relevans.

Projektet har finansierats av Svenska Byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), Vinnova samt industriparterna.

Projektgruppen vill tacka samtliga för gott samarbete och givande diskussioner och idéer. Författaren önskar tacka styr- och referensgrupp för deras utvecklande arbete.

Slutligen tackas huvudfinansiärerna SBUF och Vinnova.

Roger Nilsson, Skanska Teknik

Stockholm, februari 2023

SAMMANFATTNING

Syftet med projektet har varit att utvärdera effekten av miljövänliga transporter, HCT-fordon med multipla axlar, på olika typer av svenska vägöverbyggnader, genom rullande bärighetsmätning, RWD (Rolling Weight Deflectometer) samt viskoelastisk analys av dessa längre och tyngre fordon med fler axlar.

Sverige har 2018 infört en helt ny bärighetsklass, BK4, som tillåter en maximal bruttovikt på 74 ton på utvalda delar av vägnätet. Denna uppgradering är positiv för näringslivet och samhället i stort men ställer högre krav på väganläggningen. Det finns ett stort tryck på att öppna upp en större del av vägnätet för BK4 samt ytterligare öka total bruttovikt genom längre fordon med fler axlar. Målet är att större delen av det strategiska vägnätet skall kunna öppnas upp för BK4 till 2029 för att erhålla full effekt av HCT-fordon och bidra till att de transportpolitiska målen kan nås.

Ökad andel trafik och tyngre fordon gör att väganläggningen slits hårdare och då krävs mer underhåll samt potentiell förstärkning för att vidmakthålla anläggningens funktion för en ekonomisk hållbar nivå över dess livscykel. Detta har blivit allt viktigare i ljuset av att en stor andel av vägsystemet börjar att nå slutet på sin tekniska livslängd samtidigt som trafikbelastningen ökar och behovet av underhållsåtgärder är större än tillgänglig finansiering.

Kunskap och erfarenheter om effekten av tyngre och längre fordon på vägkroppen är begränsad. Det har dock börjat komma indikationer från Finland att tyngre fordon, 76 ton som introducerades 2013, accelererar nedbrytningen av vägnätet. Ökad trafik påverkar också underhållskostnaderna genom att det är mer komplext att utföra underhållsåtgärder i högtrafikerade miljöer.

I nuvarande nationell plan för Sveriges infrastruktur (2022–2033) har anslagen för Sveriges statliga vägunderhåll minskat med ca 7%. Denna minskning bedöms öka underhållsskulden från ca 24,5 Mdkr till nästan 75 Mdkr fram till 2033. Effekten blir att funktionen på den befintliga transportinfrastrukturen försämras samt potentiellt riskera att senarelägga planen för BK4-vägar.

Om inte infrastrukturen kan säkras för HCT-fordonen kommer en stor del av de positiva fördelarna inte gå att realisera.

Nedan ges en kort sammanfattning av huvudresultaten:

Litteraturöversikt

Sverige har ambitionen att bli världens första fossilfria välfärdsnation. Idag härrör cirka en tredjedel av Sveriges totala växthusgasutsläpp från inrikes transporter. År 2020 uppgick transportsektorns utsläpp till ungefär 15 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Det finns dessutom ett ökande behov av godstransporter på väg som ytterligare kan öka utsläppen av växthusgaser.

För att kunna minska växthusgasutsläppen, samtidigt som välfärden och konkurrenskraften kan utvecklas behöver effekten av dessa tyngre och längre fordon klargöras så att vägkapitalet inte förstörs genom accelererad nedbrytning orsakad av undermålig bärighet. Ovannämnda utmaningar belyser vikten att förstå till vilken grad den ökande belastningen påverkar väggroppens tillstånd och nedbrytning. En bred omställning har påbörjats och innefattar bland annat förnybara bränslen, elektrifiering, digitalisering, längre och tyngre fordon (High Capacity Transport - HCT)

HCT-fordon har visat sig vara miljövänliga då effektivare transporter med lägre klimatpåverkan erhålls. Demoförsök har visat att dessa fordon minskat kostnaden per transporterat ton samt kan öka trafiksäkerheten då antalet fordon på vägen minskar. Hypotesen är att transporterna med HCT-fordon resulterar i hållbarare transporter utifrån såväl klimat, socialt, som ekonomiskt perspektiv.

Försök med HCT-fordon har påvisat att de kan bidra till ökad transporteffektivitet, samt minskad bränsleförbrukning med ca 7–20 procent (enskilda fordon upp mot 40 procent) vilket har inneburit en minskning av CO₂ utsläppen i samma omfattning. Vidare medför övergång till HCT-fordon att antalet fordon på vägarna kan minska med cirka 35 procent. Sannolikt kan detta innebära en ökad trafiksäkerhet (antaget att olycksrisken per fordon är konstant). Dessutom visar studier att transportkostnader kan minska med 5–20 procent. Det finns därför stora klimat och samhällsekonomiska vinster att snabba på införandet av längre och tyngre fordon på det svenska vägnätet. Potentialen för HCT-fordonen ökar ju fler vägar som upplåts för BK4.

Att uppgradera vägnätet för bärighetsklass 4 för tyngre, och mer effektiva fordon ger således stor klimat- och samhällsekonomisk nytta. Analyser av har visat att en uppgradering av hela vägnätet från BK1 till BK4 är samhällsekonomiskt mycket lönsamt (nettonuvärdeskvot är cirka 2,5).

I dagsläget är nästan 60 procent av det strategiska vägnätet för tung trafik upplåtet för BK4/BK4s. Målet är att på sikt öppna upp mot ca 80 procent av

det strategiska vägnätet för BK4 fram till 2029. Utvidgningen av BK4 planeras att göras succesivt utan att öka nedbrytningen av vägarna.

Minskade anslag för vägunderhåll i nuvarande underhållsplan (2022 – 2025) bedöms inte vara tillräckliga för att det ska gå att upprätthålla vägnätets nuvarande tillstånd.

Ökningen av det eftersatta underhållet är allvarligt ur flera perspektiv. Framför allt handlar det om att tillgängligheten försämras, tex lägre hastigheter. Vidare drabbas den svenska tillväxten, då både persontransporter och godstransporter blir lidande. Om inte infrastrukturen kan säkras för HCT-fordonen kommer planerad utvidgning av BK4 vägar att försenas och en stor del av de positiva fördelarna inte gå att realisera.

Detta har ökat behovet på att kunna utvärdera samt analysera väggroppens strukturella bärighet och tillstånd så att potentiellt underhåll och lämpliga förstärkningsåtgärder kan optimeras. Vidare kräver en hållbar uppgradering av BK1 till BK4 en ökad kunskap om vägars bärförmåga och tillstånd samt optimering av underhåll- och förstärkningsbehov av väggroppen så att nedbrytningen inte ökar. Det är därför viktigt att kunna bedöma och sätta in rätt underhållsåtgärder i rätt tid. Detta har blivit allt viktigare i ljuset av att en stor andel av vägsystemet börjar att nå slutet på sin tekniska livslängd samtidigt som trafiklasterna ökar och behovet av underhållsåtgärder är större än tillgänglig finansiering.

För att kunna bibehålla en acceptabel standard på vägnätet kommer omfattande förstärkningsåtgärder och därmed ökade kostnader för stora delar av Sveriges vägnät att erfordras. För att kunna prioritera rätt objekt samt föreslå lämplig förstärkningsåtgärd krävs att man kan karakterisera en vägs strukturella tillstånd och bärighet. Behovet av en objektiv utvärdering av strukturellt tillstånd för ett vägobjekt har ytterligare aktualiserats i och med ökade fordonsvikter och införande av ny bärighetsklass.

Under de senare åren har ett flertal nya metoder för utvärdering av strukturellt tillstånd utvecklats. Det saknas dock en enhetlig metodik för att objektivt värdera det strukturella tillståndet för vägar och gator.

En vägs strukturella tillstånd och bärighet behöver därför karakteriseras för att kunna prioritera rätt objekt samt föreslå lämplig förstärkningsåtgärd.

Vägsystemets funktion påverkas direkt av anläggningens tekniska tillstånd, som i sig påverkas av yttre påfrestningar som exempelvis trafik och väder. När en väganläggning bryts ned försämras dess tekniska tillstånd, och till slut är tillståndet så dåligt att en funktionsbrist uppstår. Det kan exempelvis

röra sig om att vägen är så spårig eller ojämn att det inte går att köra säkert i den hastighet den byggdes för. För att undvika att en funktionsbrist uppstår måste underhåll som förbättrar väganläggningens tillstånd utföras innan tillståndet blivit för dåligt. En grund för att planera underhåll är därför att ha kännedom om vägsystemets tekniska tillstånd, strukturella bärighet och bärförmåga.

Det finns därför ett stort behov av förfinade mät- och analysmetoder som kan komplettera befintliga mätningar för att öka förståelsen av effekten av nya faktorer som tex tyngre och längre fordon, klimatförändringar mm. Genom att erhålla större förståelse av vägsystemets tillstånd på vägnätsnivå kan förfinade prioriteringar samt val av optimerade underhållsåtgärder tas fram.

Rullande bärighetsmätning

Rullande bärighetsmätningar har främst utförts i Sverige men har kompletterats med mätningar utförda i Polen, USA och Norge för att få en omfångsrikare datamängd att analysera.

Resultatet från bärighetsmätningarna visar att RWD-mätningar är ett snabbt och effektivt sätt att värdera bärighet på vägnäts- samt projektnivå. Svagare vägpartier samt bärkraftiga vägar urskiljs tydligt.

De sträckor som uppvisade högst bärighet var betongöverbyggnader i Sverige och i USA samt tjocka asfaltöverbyggnader (A1 i Polen). Betongvägarna uppvisar SCI₃₀₀-värden runt cirka 6–9 µm. RWD-mätningar indikerar att tjocka asfaltöverbyggnader, med en asfalttjocklek runt 270–280 mm, besitter en hög bärighet nästan i paritet med betongöverbyggnader, SCI₃₀₀ för A1 Polen ligger runt cirka 27 µm. Mätningarna visar att det går att utföra asfaltöverbyggnader med hög bärighet (SCI₃₀₀ runt 20–30 µm). Asfaltvägar uppvisar också låga SCI₃₀₀-värden då de ligger på bergunderbyggnad. En stark och stabil undergrund är som vanligt bra för bärigheten.

Den lägsta bärigheten uppmättes på det lågtrafikerade vägnätet för så kallade icke byggda vägar. Lägsta uppmätta medelvärde erhöles för Nösslingevägen med ett SCI₃₀₀-värde på cirka 400 µm. Vidare noterades, inte helt oväntat, att vägöverbyggnader på bergsterrass erhåller höga SCI₃₀₀-värden trots relativt tunna asfalttjocklekar, SCI₃₀₀ ner mot 40 µm.

RWD-mätningarna indikerar att nya överbyggnader dimensionerade enligt PMS-objekt [50] ofta har SCI₃₀₀-värden mellan cirka 50–100 µm.

RWD-mätningarna visar även på en stor variation av SCI_{300} för de mätta vägarna. Om ett gränsvärde på $SCI_{300} > 50 \mu\text{m}$ används är det bara cirka 20 procent av mätta vägar som klarar det kravet. Om gränsvärdet sätts till $100 \mu\text{m}$ uppfyller cirka 55 procent kravet.

Eftersom RWD-mätningar utförs vid olika tidpunkter (år) och temperaturer bör modeller som tar hänsyn till temperaturgradienter i asfaltbeläggningar utvecklas och implementeras i analysystem.

RWD-mätningar genererar stora mängder mätdata som kräver effektiv hantering och lagring. Rent generellt bör bärighetsdata som FWD och RWD införlivas i PMSv4 som många andra mätningar.

Den RWD uppmätta bärigheten kompletterar traditionella tillståndsmätningar, tex FWD, GPR, LCMS etc. så att bättre predikteringar kan erhållas om aktuellt tillstånd i vägöverbyggnaden. Genom att kontinuerligt mäta bärigheten på vägnätets nivå kan svagare partier identifieras så att underlag och prioritering om erforderlig förstärkningsåtgärd för BK4 kan erhållas. Vidare kan eventuella skillnader i bärighet mellan olika mättillfällen identifieras. Stora variationer kan tyda på förändringar i överbyggnaden och/eller undergrunden alternativt dräneringsproblem. En utökad kunskap om tillståndet på vägöverbyggnaden kan bidra till att snabba på och säkerställa en kostnadseffektiv uppgraderingen till BK4.

I Norge pågår RWD-mätningar av deras huvudvägnät kombinerat med GPR-mätningar för att erhålla ett detaljerat underlag för prioriteringar och beslutsunderlag av nödvändiga förstärkningsåtgärder. I Finland pågår en kartläggning av vägnätet med GPR.

RWD-mätningar kombinerat med GPR-mätningar rekommenderas för de svenska vägar som planeras att uppgraderas till BK4.

Mätresultat för IRI, SCI_{300} , D_0 och SCI_{SUB} samt översiktskartor över samtliga mätsträckor är redovisade i bilaga 1. Inga värden har blivit temperaturkalibrerade.

Viskoelastisk tøjningsanalys av HCT-fordon

En viskoelastisk beräkning med VEROAD för en vanlig asfaltöverbyggnad, traditionell Grus Bitumen Överbyggnad (GBÖ) med 160 mm asfalt, 80 mm krossat bärlager samt 420 mm förstärkningslager på ett undergrundmaterial av materialtyp 3B.

Lasten bestod av axellaster på 8 ton fördelat på två däck, kontakttryck 800 kPa. Materialparametrar för asfalten är valda för 20°C och analysen utförd för en hastighet på 50 km/h.

Utförd LVE-analys för ett HCT-fordon med tolv axlar visar att största tvärgående tøjningar (ϵ_{yy}) i underkant asfalt ökar med ca 70%, mellan första och sista fordonsaxeln, på grund av ackumulation av tøjningarna. För tvärgående tøjning (ϵ_{yy}) i överkant asfalt, rakt under hjullasten, är ökningen hela ca 2100%. Effekten av dessa LVE-tøjningar bör utredas vidare.

Beräknad tøjningskurvor efterliknar mätta tøjningskurvor från verkliga vägar. Det är tydligt att alla 12 axlar bidrar till en ackumulation av dragtøjningen i vägens tvärled. Första hjulet ger en maxtøjning på ca 287 $\mu\text{m}/\text{m}$. Vid sista axeln har maxtøjningen ackumulerats till 478 $\mu\text{m}/\text{m}$. Det är en ökning av maximal tøjning på nästan 70%. Om fler tunga fordon kommer efter varandra, genom t.ex. platooning, ökar effekten av ackumulationen av axellasterna.

Motsvarande tøjningar för överbyggnadens överyta genererar dragtøjning i överytan direkt under hjullasten. Denna tøjning är relativt liten för en enstaka singellast. Det kan noteras att även här erhålls en kvarvarande tøjning i tvärled. Denna dragtøjning kan potentiellt bidra till några av de mest observerade skadetyperna, spårutveckling härrörande från deformationer i asfaltmaterialet samt sprickor initierade från vägytan (top-down), i enlighet med COST333 studien. Det bör noteras att denna dragtøjning, rakt under hjullasten, samt rakt under hjullasten på vägytan, inte erhålls från en traditionell linjär elastisk analys.

Det är åter igen tydligt att alla 12 axlar bidrar till en ackumulation av dragtøjningen i vägens tvärled. Första hjulet ger en maxtøjning på ca 15 $\mu\text{m}/\text{m}$. Vid sista axeln har maxtøjningen ackumulerats till 314 $\mu\text{m}/\text{m}$. Det är en ökning av maximal tøjning på nästan 2100%! Om fler tunga fordon kommer efter varandra, genom t.ex. platooning, ökar effekten av ackumulationen av axellasterna.

Den fullständiga effekten av beräknade LVE-tøjningar är inte kända, men kan till viss del förklara de mest observerade skadetyperna enligt COST 333.

En del av dessa effekter finns sannolikt redan inkluderade i den svenska kalibreringen av de olika nedbrytningskriterierna men bör uppdateras för multipla axlar.

Utförda beräkningar visar dock att en förfinad analys av nya fordonstyper med fler axlar samt moderna vägöverbyggnader bör övervägas för analys och värdering av det svenska vägnätet inför uppgradering till BK4.

Det bör noteras att dessa effekter av tids- och temperaturberoende materialegenskaper till viss del beaktas i de empiriska skiftfaktorerna när olika nedbrytningskriterier tas fram och kalibreras. De är dock baserade och kalibrerade för fordonstyper med färre axlar.

Utförd studie visar på potentialen att använda modern RWD-mätning samt förfinade analysmetoder som kan beakta vägmaterialets egenskaper vid värdering av bärighet samt potentiella förstärkningsbehov. Gränsvärden för vad som är bra bärighet avseende HCT-fordon och BK4 vägnät bör utredas vidare.

Resultaten i detta projekt visar att:

Väggkroppar kan effektivt värderas med hjälp av rullande bärighetsmätning, samt analyseras med hjälp av LVE-analys så att den uppmätta bärigheten kan analyseras och värderas.

En förfinad analys av vägöverbyggnader kan leda till en snabbare utvidgning av BK4 vägnätet, utan att öka nedbrytningen, så att full potential av HCT-fordon kan implementeras. Detta kommer bidra till att miljö- och trafiksäkerhetsmålen kan nås snabbare.

Resultaten från detta projekt förväntas öka kunskapen om de faktorer som bidrar till väggkroppens bärighet samt effekten av HCT-fordon. Arbetet förväntas också bidra med kunskapsuppbyggnad för utvecklande av framtida analyshjälpmedel samt funktionskrav att tillämpa i kommande regelverk och kvalitetssystem.

Följande generella slutsatser kan dras:

- HCT-fordon är både miljövänliga och kostnadseffektiva.
- Rullande bärighetsmätning (RWD) är ett mycket bra komplement till befintliga analysmetoder för att värdera en väggkroppens tillstånd.
- RWD-data bidrar och kompletterar befintliga mätningar så att en ökad kunskap och förståelse av tillståndet i väggkroppen kan erhållas.

- RWD mäter deflektionen kontinuerligt med en upplösning ner mot 1 μm .
- Förutom deflektionsdata kan potentiellt ett antal andra tillståndsmätningar utföras samtidigt (IRI, Georadar, sprickdetektering, spårbildning, textur med flera).
- RWD detekterar och särskiljer partier med låg respektive hög bärighet.
- RWD-mätningar behöver ingen avstängning och påverkar inte trafiken då mätningar utförs i ca 80–100 km/h.
- Kunskap erhållen från denna studie kan bidra till en ökad förståelse om mer optimala strukturella åtgärder i tid och rum.
- Resultat av RWD-mätningar.
- LVE-analys kan efterlikna uppmätta töjningsnivåer i vägöverbyggnaden.
- Det finns en stor variation på, SCI_{300} , uppmätta vägsträckor.
- Moderna analysverktyg bör beaktas för djupare analys av vägars bärighet.

Fortsatta mätningar med RWD bör beaktas på vägnätets nivå för att identifiera partier som behöver underhållsåtgärder inför uppgradering till BK4. RWD-mätningar bör kombineras med GPR-mätningar för att erhålla tjockleken på asfalten och överbyggnaden som helhet, samt möjliggöra vidare analys.

Vidare studier rekommenderas för att utveckla metoder som bättre kan beakta temperaturgradient i asfaltmaterial samt fukttinnehåll i obundna material samt i terrassen.

Vidare bör gränsvärden för relevanta bärighetsmått baserade på RWD-mätningar utvecklas.

På längre sikt bör metodik utvecklas för att erhålla viskoelastiska materialegenskaper utifrån TSD-data.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	10
1 INLEDNING	11
1.1 MÅL OCH SYFTE.....	15
1.2 GENOMFÖRANDE OCH AVGRÄNSNINGAR	16
2 TYNGRE OCH LÄNGRE FORDON	18
3 METOD OCH MÄTNINGAR	24
3.1 INLEDNING	24
3.2 BÄRIGHETSKLASSER	24
3.3 PÅKÄNNINGAR I VÄGÖVERBYGGNADEN.....	26
3.4 NEDBRYTNING AV VÄGÖVERBYGGNADER.....	30
4 ANALYS OCH DIMENSIONERING AV ÖVERBYGGNADER	34
4.1 ENKLA BÄRIGHETSMÅTT	40
5 FALLVIKTSMÄTNING OCH RULLANDE BÄRIGHETSMÄTNINGAR	46
5.1 FALLVIKTSMÄTNING (FWD).....	47
5.2 RULLANDE BÄRIGHETSMÄTNING, RWD (RDT/HSD/TSD/RAPTOR).....	48
5.3 JÄMFÖRELSE MELLAN FWD OCH RWD.....	61
6 RESULTAT	64
6.1 LITTERATURÖVERSIKT	64
6.2 RULLANDE BÄRIGHETSMÄTNING	65
6.3 VISKOELASTISK TÖJNINGSANALYS AV HCT-FORDON.....	85
7 SLUTSATSER OCH DISKUSSION	89
REFERENSER	91
BILAGA A	95

1 INLEDNING

Transportpolitikens övergripande mål är att säkerställa en samhälls-ekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgare och näringsliv i hela landet [1]. Transportsystemet ska utvecklas mot det övergripande målet via funktionsmål- och hänsynsmål. Funktionsmålet innebär att transportsystemets utformning och användning ska medverka till att ge alla en grundläggande tillgänglighet och god kvalitet och användbarhet samt bidra till utvecklingskraft i hela landet. Vidare skall transportsystemet vara jämställt. Hänsynsmålet innebär att transportsystemets utformning, funktion och användning ska anpassas till att ingen dödas eller skadas allvarligt, bidra till det övergripande generationsmålet för miljö och miljö kvalitetsmålen nås samt bidra till ökad hälsa. Funktions- och hänsynsmålet är jämbördiga. För att det övergripande målet skall kunna nås behöver funktionsmålet i huvudsak utvecklas inom ramen för hänsynsmålet. Även om de ekonomiska aspekterna normalt har högst prioritet så rankas vanligtvis trafiksäkerhet och miljöaspekter som ekvivalent betydelsefulla. Denna inriktning är tydligt beskriven i Nollvisionen [2] samt i klimatlagen [3].

God väginfrastruktur är en viktig grund i ett lands ekonomiska tillväxt och välbefinnande. Det är helt centralt att Sverige har en väl underhållen infrastruktur med tillräcklig kapacitet och en konkurrensutsatt marknad för transporttjänster. Med många nya industrietableringar om hörnet och ökat transportbehov är fungerande logistik en avgörande pusselbit. För att vidmakthålla vägsystemet på en godtagbar nivå samt kostnadseffektivt sätt krävs förebyggande underhåll samt eventuella förstärkningsåtgärder. Kostnaderna för att vidmakthålla vägsystemets funktion påverkas av en rad faktorer. De två som bedöms ha störst betydelse är utvecklingen av trafikvolym och trafiklast, samt överbyggnadstyp och dess tillståndsutveckling. Under senare år har även klimatrelaterade faktorer fått en allt större betydelse.

Sverige har ambitionen att bli världens första fossilfria välfärdsnation. För att kunna uppnå detta, samtidigt som välfärden och konkurrenskraften kan utvecklas, har flertal färdplaner utarbetats för att minska klimatpåverkan. Idag härrör cirka en tredjedel av Sveriges totala växthusgasutsläpp från inrikes transporter. År 2020 uppgick transportsektorns utsläpp till ungefär 15 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Det finns ett ökande behov av godstransporter på väg vilket medfört större utsläpp av växthusgaser. Målsättningen är att minska klimatpåverkan från inrikes transporter med

70 procent till år 2030 jämfört med 2010, samt att uppnå nettonollutsläpp till 2045 [3].

Det föreligger således en stor utmaning eftersom Sverige är ett avlångt land med betydande basnäring och naturresurser med stora och ökande transportbehov. En bred omställning har påbörjats och innefattar bland annat förnybara bränslen, elektrifiering, digitalisering, längre och tyngre fordon (High Capacity Transport - HCT) [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Ett antal projekt kring tyngre och längre fordonskombinationer har initierats med målsättningen att minska totala utsläppen av koldioxid genom att öka godsvikten och -volymen per fordon samt att minska antalet fordon på vägarna. I olika projekt har det, med föreskrifter och dispenser från myndigheter, körts fordonsförsök med fordonskombinationer som är längre än 25,25 m och tyngre än 60 ton i ordinarie trafik [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Vägtransporter med lastbil har ökat under en lång tid och prognoser pekar på en fortsatt ökning under en överblickbar framtid. Från 2016 till 2040 bedöms godstrafiken (ton) att öka med ca 43 procent [20]. Fram till 2040 väntas biltransporter årligen att öka med ca 1,1 procent och godstransportarbetet med ca 1,6 procent. Vidare har trafiklasterna ökat, både avseende högsta tillåtna totalvikt samt axel- och boggitryck. Högsta tillåtna totalvikt har i Sverige gått från ca 33,5 ton på 50-talet till 37,5 ton på 60-talet. På 90-talet ökade max vikten till 56 och 60 ton. 2015 ökades totalvikten till 64 ton. Från och med 2018 är det tillåtet med en totalvikt upp till 74 ton och max längd på 25,25 meter på ett särskilt utpekad vägnät, bärighetsklass 4, BK4 [21, 22]. I samband med införandet av bärighetsklass 4 delades klassen in i två underklasser. Den ena avser BK4 utan ytterligare restriktioner, medan den andra underklassen, med särskilda villkor, benämns BK4s. Särskilda krav innebär ett krav om att minst 65 procent av släpvagnens eller släpvagnarnas sammanlagda bruttovikt ska belasta axlar försedda med dubbelmonterade hjul.

Sverige tillåter betydligt längre och tyngre fordon än många andra länder. Dessa fordon har potential att minska bränsleförbrukning, växthusutsläpp samt transportkostnader. Försök med HCT-fordon har påvisat att de kan bidra till ökad transporteffektivitet. Studier visar att dieselförbrukningen minskar med ca 7–20 procent (enskilda fordon upp mot 40 procent) vilket har inneburit en minskning av CO₂ utsläppen i samma omfattning. Vidare har antalet fordon minskat med ca 35 procent. Sannolikt har detta inneburit en ökad trafiksäkerhet då antalet tunga fordon minskar (antaget att olycksrisken per fordon är konstant) [6, 23]. Dessutom visar studier att

transportkostnader kan minska med 5–20 procent [6, 9, 16]. Det finns därför stora samhällsvinster att snabba på införandet av längre och tyngre fordon på det svenska vägnätet. Potentialen att minska utsläpp ökar ju fler vägar som upplåts för BK4.

Att uppgradera vägnätet för bärighetsklass 4 för tyngre, och mer effektiva fordon ger således stor klimat- och samhällsekonomisk nytta. Analyser av har visat att en uppgradering av hela vägnätet från BK1 till BK4 är samhällsekonomiskt mycket lönsamt (nettonuvärdeskvot är ca 2,5) [4]. I dagsläget är nästan 60 procent av det strategiska vägnätet för tung trafik upplåtet för BK4/BK4s [24]. Målet är att på sikt öppna upp mot ca 80 procent av det strategiska vägnätet för BK4 fram till 2029. Utvidgningen av BK4 planeras att göras succesivt utan att öka nedbrytningen av vägarna.

I nuvarande underhållsplan för 2022 till 2025 [25] planerar Trafikverket att knappt 60 procent av det strategiska vägnätet med bärighetsklass 1 (BK1) har uppgraderats till BK4. Nyttan med tyngre fordon fördröjs vilket är en barriär för att klara de övergripande transportpolitiska målen (koldioxidmålen samt ökad trafiksäkerhet). För belagda vägar innebär underhållsplanen att fler förebyggande åtgärder behöver senareläggas och att det blir en ökning av avhjälpande underhåll (lappning och lagning). På de lågtrafikerade vägarna, kommer Trafikverket inte att kunna vidtaga åtgärder i samma takt som vägnätet bryts ned, och tillståndet på dessa vägar kommer att försämrans.

Då de finansiella ramarna inte tillåter erforderligt underhåll som ur ett livscykelkostnadsperspektiv borde utföras inom perioden 2022 till 2025 kommer nödvändiga underhållsåtgärder behöva skjutas i framtiden. Om inte ytterligare medel tilldelas i kombination med nya optimerade underhållsstrategier samt prioriterade aktiviteter kommer vägsystemet ytterligare att försämrans och öka det eftersläpande underhållsberget till kommande generationer.

Uteblivet underhåll samt bärighetshöjande åtgärder kommer att medföra en funktionsbrist samt höga kostnader för att upprätthålla vägsystemets funktion över livscykeln. Sammantaget väntas åtgärderna i nuvarande underhållsplan (2022 – 2025) inte vara tillräckliga för att det ska gå att upprätthålla vägnätets nuvarande tillstånd [26].

Nuvarande nationell plan innehåller mindre pengar till underhållsåtgärder för vägar än vad som krävs för att ta bort det eftersatta underhållet. Det ingående eftersatta underhållet beräknas öka från 24,5 till 74,8 (Mdkr i 2021 års priser) fram till 2033 [27]. Detta kommer att leda funktionsnedsättning

av befintliga vägar samt kapitalförstöring, då det kostar mer att återställa en alltför nedgången infrastruktur än att kontinuerligt underhålla densamma.

Ökningen av det eftersatta underhållet är allvarligt ur flera perspektiv. Framför allt handlar det om att tillgängligheten försämras, tex lägre hastigheter. Vidare drabbas den svenska tillväxten, då både persontransporter och godstransporter blir lidande. Vidare riskerar planerad utvidgning av BK4 vägar att försenas

En väggropp i dåligt skick står sämre emot tung trafik, vilket visar sig genom skador längre ner i väggroppen. Det är en kostsam åtgärd att göra om väggroppen i förhållande till att bara byta vägens översta beläggningsslager. Åtgärden lönar sig dock över tid eftersom en förstärkt väggropp medför reducerad nedbrytningstakt av väggroppen. Det är därför viktigt att kunna bedöma och sätta in rätt underhållsåtgärder i rätt tid. Detta har blivit allt viktigare i ljuset av att en stor andel av vägsystemet börjar att nå slutet på sin tekniska livslängd samtidigt som trafiklasterna ökar och behovet av underhållsåtgärder är större än tillgänglig finansiering.

Om inte infrastrukturen kan säkras för HCT-fordonen kommer en stor del av de positiva fördelarna inte gå att realisera.

Trafikverket har under några år ökat andelen total- och funktionsentreprenader där entreprenörerna har fått ökat ansvar att ta fram lämplig teknisk lösning. Vidare har kraven ökat där entreprenören förväntas bedöma tillståndet samt ta över ansvaret för befintlig väggropp vid breddning- samt förstärkningsentreprenader.

Detta har ökat behovet på att kunna utvärdera samt analysera väggroppens strukturella bärighet och tillstånd så att potentiellt underhåll och lämpliga förstärkningsåtgärder kan optimeras. Vidare kräver en hållbar uppgradering av BK1 till BK4 en ökad kunskap om vägars bärförmåga och tillstånd samt optimering av underhåll- och förstärkningsbehov av väggroppen så att nedbrytningen inte ökar.

1.1 Mål och Syfte

Föreliggande projekt syftar till att öka kunskapen om effekten tyngre och längre HCT-fordon har på vägkroppen. Dessa HCT-fordon har visat sig vara miljövänliga då effektivare transporter med lägre klimatpåverkan erhålls. Demoförsök har visat att dessa fordon minskat kostnaden per transporterat ton samt kan öka trafiksäkerheten då antalet fordon på vägen minskar. Hypotesen är att transporterna med HCT-fordon resulterar i hållbarare transporter utifrån såväl klimat, socialt, som ekonomiskt perspektiv. Effekten av dessa tyngre och längre fordon behöver klarläggas så att vägkapitalet inte förstörs genom accelererad nedbrytning orsakad av undermålig bärighet.

Målet är att utvärdera vägöverbyggnader med rullande bärighetsmätning, samt undersöka hur den uppmätta bärigheten kan analyseras och värderas.

En förfinad analys av vägöverbyggnader kan leda till en snabbare utvidgning av BK4 vägnätet, utan att öka nedbrytningen, så att full potential av HCT-fordon kan implementeras. Detta kommer bidra till att miljö- och trafiksäkerhetsmålen kan nås snabbare.

Projektet förväntas öka kunskapen om de faktorer som bidrar till vägkroppens bärighet samt effekten av HCT-fordon. Arbetet förväntas också bidra med kunskapsuppbyggnad för utvecklande av framtida funktionskrav att tillämpa i kommande regelverk och kvalitetssystem.

1.2 Genomförande och Avgränsningar

Projektet har utförts i fyra huvudsteg, presenterande nedan;

	Litteraturöversikt <ul style="list-style-type: none">• HCT-fordon• RWD-mätningar• Analys och nedbrytning av överbyggnader
	Fallstudie - Rullande bärighetsmätning <ul style="list-style-type: none">• Traffic Speed Deflectometer (TSD)• Rapid Pavement Tester (RAPTOR)
	Viskoelastisk analys <ul style="list-style-type: none">• VEROAD• Beräkning av LVE-töjningar för HCT-fordon
	Sammanställning <ul style="list-style-type: none">• Diskussion• Slutsatser

I steg ett har en litteraturöversikt om HCT-fordon samt rullande bärighetsmätning utförts. Vidare har en kortfattad beskrivning av påkänningar, nerbrytning, samt analys och dimensionering av vägöverbyggnader behandlats.

I steg två har en fallstudie med avseende på rullande bärighetsmätning utförts på ca 260 mil svenska vägar. Allt från tunna överbyggnader i det lågtrafikerade vägnätet till bärkraftiga motorvägar har mätts. Vidare har data från Polen, Norge och USA kompletterat de svenska mätningarna för att få ett större omfång av mätdata. Totalt har mätdata motsvarande ca 400 mil analyserats. Projektet har haft ett nära samarbete med Greenwood Engineering och Dynatest som utvecklat RWD-utrustningarna (TSD respektive RAPTOR) [28, 29, 30, 31]. RWD-mätningar har utförts av Road and Bridge Research Institute, IBDiM, från Polen samt av Dynatest och Greenwood Engineering från Danmark.

Mätningar i Sverige har utförts på bärkraftiga betongvägar till tunna överbyggnader i det lågtrafikerade vägnätet för att få en stor variation av mätresultaten. Vidare har RWD-data från mätningar i Norge, Polen och USA används inom projektet för att få en omfångsrikare datamängd att analysera [32, 33, 34]. Under projektets gång har Ramboll förvärvat RAPTOR från

Dynatest. RWD-mätningar har kompletterats med FWD-mätningar på ett antal utvalda vägsträckor där det varit möjligt.

I steg tre har en Linjär Visko-Elastisk-analys (LVE-analys) för ett 98 tons, 34 meter (12 axlar), HCT-fordon med singelhjul genomförts. I LVE-analysen har effekten av succesiva axlar utvärderas och diskuterats. Töjningar i underkant asfalt samt töjningar rakt under de rullande hjulaxlarna har beräknats. LVE-analysen har genomförts med VEROAD (Visco-Elastic ROad Analysis Delft) för att analysera effekten av multipla axlar [35, 36, 37, 38].

Projektet har främst fokuserat på utvärdering av bärighet även om mätutrustningarna har möjlighet att kompletteras med fler sensorer och mätutrustningar så att fler tillståndsparmetrar kan mätas, tex IRI, GPR, LCMS cameras, LiDAR, med flera.

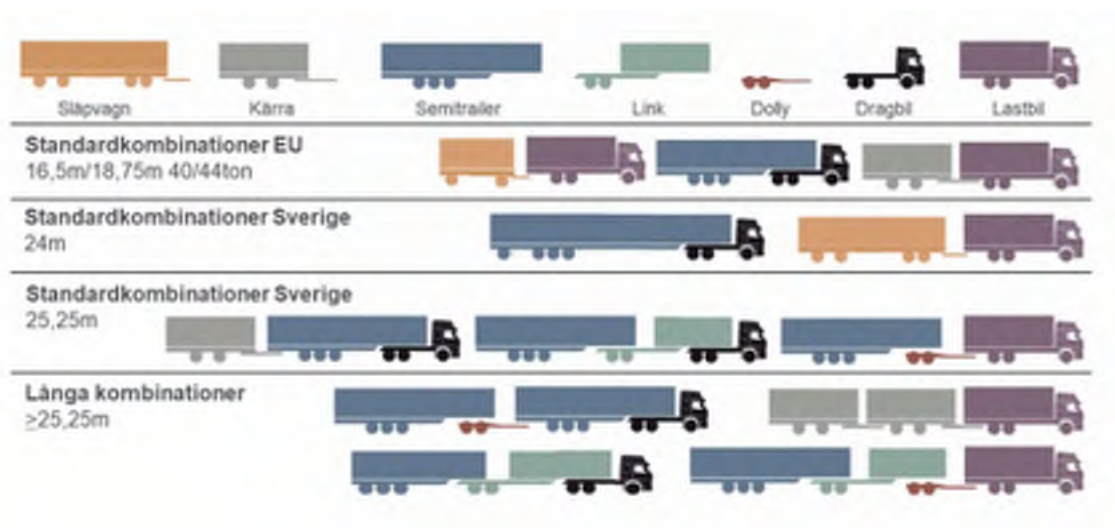
I sista steget har resultat och erfarenheter presenterats.

Erhållna projektresultat samt erfarenheter har diskuterats och presenterats vid ett flertal nationella och internationella branschgemensamma konferenser och seminarier, till exempel; InfraSweden (2018, 2020, 2022), Transportform (2019), KTH (2016–2020), NordFou (2018), NVF (2019), ERPUG (2017, 2019), TUG (2021, 2022), IBDiM (2018–2022), Trafikverket (2022), Statens Vegvesen (2017, 2022). Resultat från projektet har även används vid undervisning på KTH.





2 TYNGRE OCH LÄNGRE FORDON

Trenden går mot ökat transportbehov samt tyngre och längre fordon. Välutvecklade och kostnadseffektiva logistik- och godstransportsystem ökar konkurrenskraften och utvecklingen för industrin och samhället i stort. Sverige har under lång tid tillåtit betydligt tyngre och längre fordon genom våra internationellt sett stora fordon och dispenstransporter. Under senare år har försök med High Capacity Transports (HCT) visat att dessa tunga och långa transporter är mer effektiva, har mindre miljöpåverkan, och högre säkerhet [5]. Att nyttja HCT-fordon för godstransporter på väg kan minska bränsleförbrukningen med upp till 40 procent för enskilda fordon. Studier har visat att det är samhällsekonomiskt fördelaktigt att införa tyngre och längre fordon [4, 5]. Detta indikerar sammantaget att HCT är hållbart ur såväl miljömässiga, sociala och ekonomiska aspekter.

HCT definieras som fordon som är längre än 25,25 m alt tyngre än 64 ton. Det finns olika standardkombinationer för HCT-fordon. I dessa utgår man antingen från en last- eller dragbil kombinerat med Dolly, Link, Semitrailer, Kärra och Släpvagn i olika kombinationer. I figur 1 och 2 visar exempel med mer detaljerade typfordonskombinationer och mått för dessa.



Figur 1. Exempel på typfordonskombinationer [16].

#	Beskrivning	Fordonskombination	Total längd	GCW
1	6x4 A-dubbel/styckegods/DUO-trailer		32m	74,0t
2	6x4 A-dubbel/container		30m	74,0t
3	6x4 A-dubbel/flis		32m	74,0t
4	6x4 A-dubbel/flis/traileraxelstyrning		32m	74,0t
5	4x2 A-dubbel/styckegods/70t		32m	70,0t*
6	6x4 AB-dubbel/container		30m	74,0t
7	6x4 AB-dubbel/timmer/ETT		30m	74,0t
8	6x4 AB-dubbel/styckegods/tvåaxlig link		34m	74,0t
9	6x4 AB-dubbel/styckegods		34m	74,0t
10	6x4 B-dubbel/container/styrd link/69t		30m	69,0t**
11	6x4 C-dubbel/styckegods/tvåaxliga källror/DUO-källra/6-t		27,3m	64,1t
12	6x4 C-dubbel/styckegods/treaxliga källror/DUO-källra		27,3m	73,2t
13	8x4 C-dubbel/styckegods/treaxliga källror		27,3m	74,0t

*Den antagna framlastningen begränsar bruttovikten på grund av maximalt drivaxeltryck på 11,5 ton

**Den antagna framlastningen begränsar bruttovikten på grund av dragbilens drivaxeltryck på 19 ton

Figur 2. Exempel på typfordonskombinationer över 25,25 meter [16].

Vägslitaget och nedbrytningen av väginfrastrukturen beror på en rad faktorer, exempelvis typ av däck, axel- och däckkonfiguration, hjulbelastning, däckens lufttryck, belastningshastighet, temperatur, vägmateriell och lagertjockleken på vägens överbyggnad. De tyngre HCT-fordonen uppnås främst genom att ekipage förses med fler axlar än vad som tidigare har använts samt att längden ökar. Därmed ökar inte axeltrycket i nämnvärd omfattning. Med axeltryck menas den sammanlagda statiska vikt som hjulen på en hjulaxel för över till vägbanan. En axel med dubbelmontage ger till exempel en lägre påkänning i överbyggnaden i förhållande till ett enkelmonterat supersingeldäck med samma last. Även fordonens uppbyggnad och fjädring har betydelse, bland annat kan luftfjädring minska fordonets dynamiska belastning på vägbanan. [18, 26].

Fordonets axelavstånd och högsta tillåtna vikter som axel-, boggi-, trippelaxeltryck och totalvikt hittar du i registreringsbeviset. Vid jämförelse

mot bruttoviktstabellerna får de sammanlagda tillåtna bruttovikterna för avstånd A och B, som visas i Figur 3, inte vara större än den tillåtna bruttovikten för avståndet C.



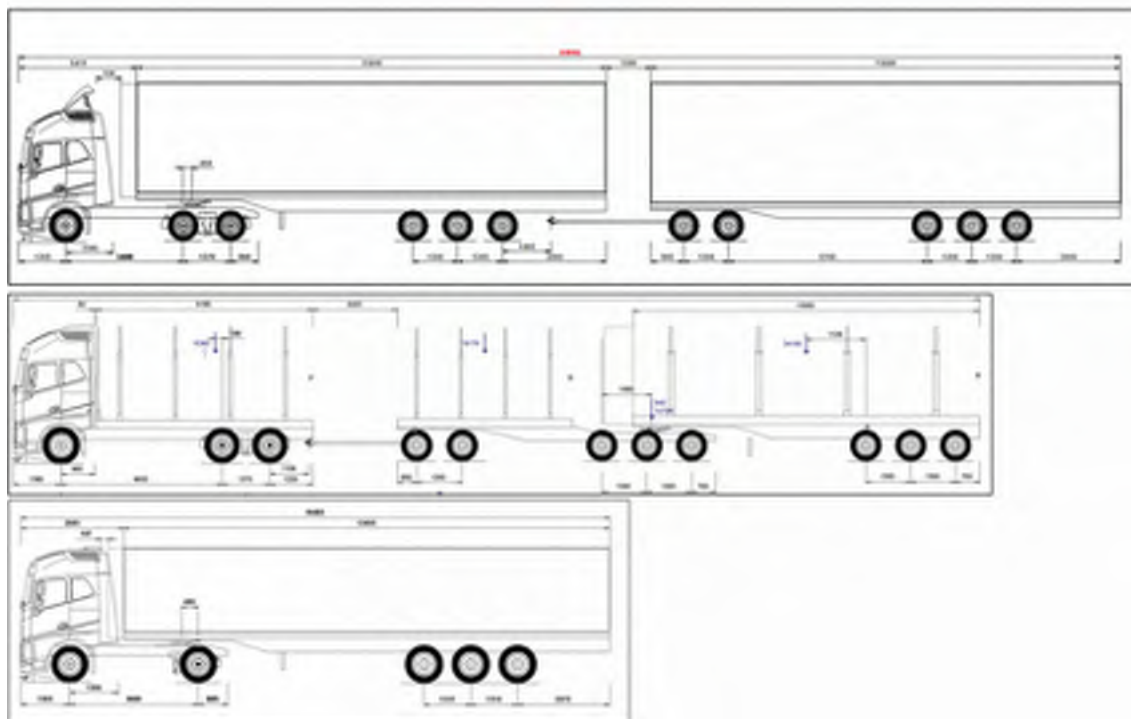
Figur 3. Principskiss över tillåtna bruttovikter [39].

Boggi är när två axlar i ett fordon har ett inbördes avstånd som är mindre än 2,0 meter. Med boggitryck menas den sammanlagda statiska vikt som hjulen i en boggi för över till vägbanan. Trippelaxel är när tre axlar i ett fordon har mindre avstånd än 5,0 meter mellan den första och den tredje axeln. Med trippelaxeltryck menas den sammanlagda statiska vikt som hjulen i en trippelaxel för över till vägbanan, se figur 4.



Figur 4. Principskiss över axelavstånd max boggitryck trippelaxeltryck [39].

Figur 5 ger exempel på två HCT-fordon samt en EU-semitrailer. Den tydliga skillnaden är antal axlar och totala längden. HCT-fordon kan ha mer än dubbelt så många axlar än traditionella tunga fordon.



Figur 5. Jämförelse mellan EU Semitrailer samt två HCT-fordon. [16].

Första bruttoviktstabellen infördes i Sverige 1952 och då var högsta tillåtna fordonsvikt 33,5 ton. Denna totalvikt har alltsedan ökat och sedan 2018 tillåts 74 ton på delar av vägnätet (BK4/BK4s). I tabell 1 finns även inlagt försök med tyngre dispensfordon (inom parentes). I Sverige tillåts således nästan dubbelt så tunga fordon som inom EU. Det finns dock önskemål från svenska industrin att ytterligare höja största tillåtna bruttovikt till över 100 ton samt öka totala fordonslängden. (under 2023 planeras längsta tillåtna fordonslängd öka till ca 34,5 meter). Inom Europa är den generellt högsta tillåtna totalvikt mellan 40 och 44 ton med Finland som undantag. I Finland är tillåtna totallaster upp mot 76 ton sedan 2013.

Tabell 1. Utveckling av tillåtna fordons- och axelvikter samt max längd [5, 11, 16, 18].

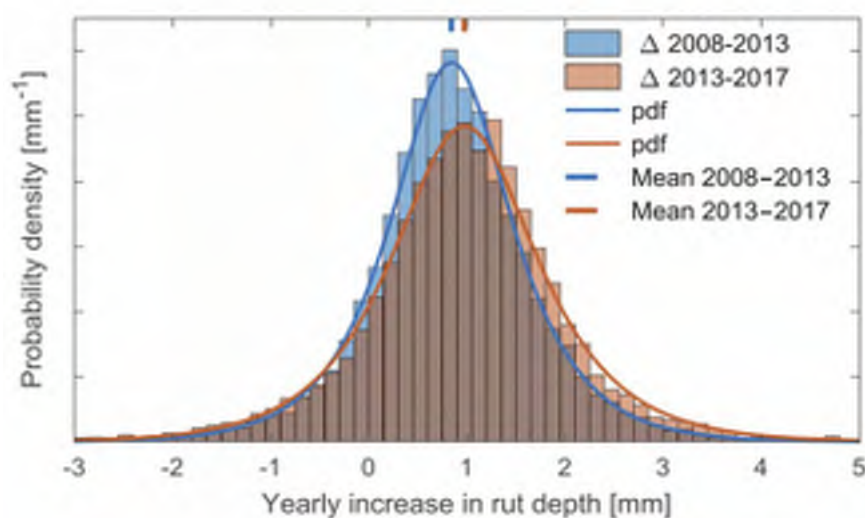
År	Sverige			"Övriga EU"	
	Max längd [m]	Max totalvikt [ton]	Max Axelvikt [ton]	Max längd [m]	Max totalvikt [ton]
1952		33,5			
1968	24	37,5			
1974		51,4			
1975			10		
1985				18	28
1990		56			
1993		60	11,5		
1996	25,25			18,75	40
2009-2019	(34)	(90)			
2013					40/44 (60)
2013					76
2014		(74)			
2015		64			
2016				(33)	(104)
2018		74			
2018		(90)			
2019				34,5	
2020	(34)	(98)			
2023	34,5				

I Finland fortsätter man att vara pådrivande mot allt tyngre transporter, det pågår försök med fordonsvikter på 104 ton med en totallängd på ca 33 meter, Timmerbil ”Jätti” som visas i figur 6 [40]. Timmerbilen har plats för fem virkestravar där 13 axlar fördelar 104 tons totalvikt. Det kan noteras att fordonet framför allt har tvillingmonterade däck för att bättre sprida ut lasten.



Figur 6. Finskt försök med 104 tons timmerbil med 33 meters längd [40].

Effekten av tunga fordon i Finland är jämförelsevis ännu mycket begränsade. Det finns dock observationer på en ökad medbrytning av det finska vägnätet. I en nyligen utförd studie baserad på spårämätningar samt teoretisk modellering av några finska vägar har man kunnat indikera att spårutvecklingen ökat efter 2013 då 76 tons fordon introducerades [41]. Figur 7 visar visuellt en förskjutning mot högre spårbildningshastigheter efter 2013. Trenden med ökad spårtillväxt efter införande av 76 tons fordon är tydlig. Analys av hjulspåren indikerar att de är orsakade av den tunga trafiken. Observerade spårtillväxt har kunnat predikteras med hjälp av traditionella teoretiska modeller.



Figur 7. Skillnad i årlig spårtillväxt före och efter 2013 [41]

Även om långtidsstudier för svenska vägar, efter införande av 74-tons fordon, 2018, inte finns tillgängliga ännu, så talar mycket för att även de svenska vägarna kommer att nedbrytas snabbare av tyngre och längre fordonskombinationer med multipla axlar.

3 METOD OCH MÄTNINGAR

3.1 Inledning

För att utvärdera vägars bärighet har rullande bärighetsmätningar, RWD, utförts på ett antal olika vägtyper. En viskoelastisk analys av ett HCT-fordon (98 ton, 34 meter) har även utförts för att demonstrera effekten av fler succesiva axlar.

Den allmänna uppfattningen har varit att påverkan på vägen inte blir större om man samtidigt som man höjer bruttovikten även inför fler axlar och därmed inte ökar axelvikten [5, 12]. Det stämmer väl för överbyggnader som uppvisar en mer elastisk respons som till exempel betongöverbyggnader. För överbyggnader med mer viskoelastisk respons, tex asfaltöverbyggnader, har antal axlar, avstånd mellan axlar samt belastnings tid (fordonshastighet) samt temperatur en större inverkan på tillståndsutvecklingen.

3.2 Bärighetsklasser

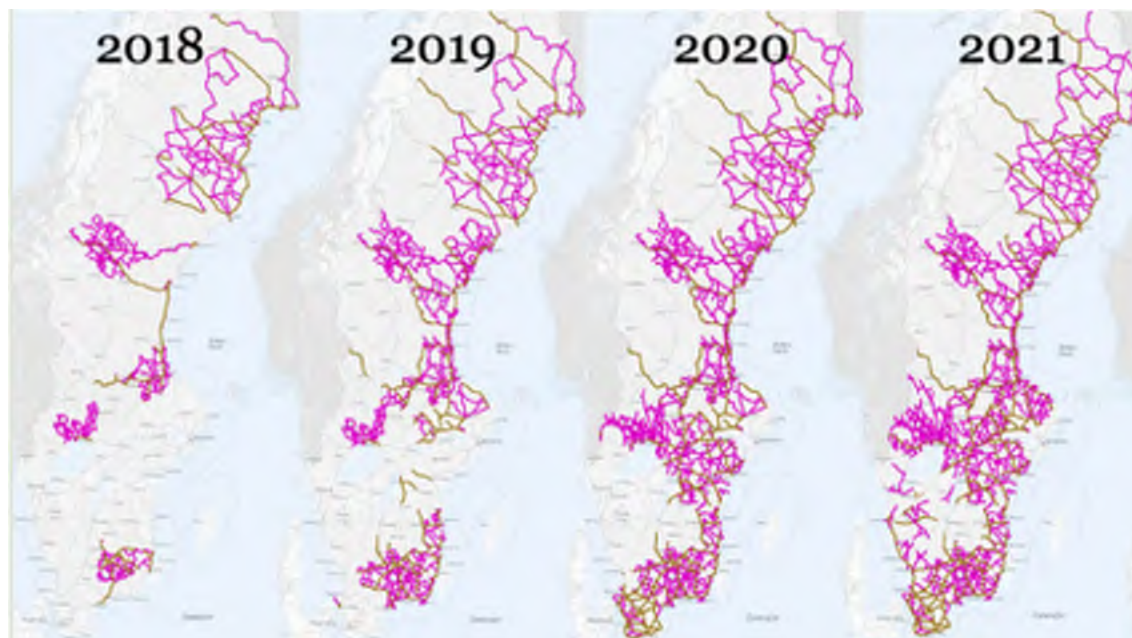
Bärighet används som ett begrepp för hur stor last som kan accepteras med tanke på risk för sprickor eller vägdeformationer. Trafikverket definierar bärighet som högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer [42].

Vägar som inte är enskilda delas in i fyra bärighetsklasser, BK1, BK2, BK3 och BK4. Om inte annat har föreskrivits tillhör en allmän vägbärighetsklass 1 (BK1) och övriga vägar som inte är enskilda bärighetsklass 2 (BK2). Föreskrifter om att en allmän väg eller del av en sådan väg ska tillhöra bärighetsklass 2, 3 eller 4 meddelas av Trafikverket eller, om kommunen är väghållare, av kommunen. Trafikverket får meddela föreskrifter om att förändret av fordon eller fordonståg på väg med bärighetsklass 4 (BK4) ska vara förenade med särskilda villkor (benämns BK4s).

I dagsläget är nästan 60 procent av det strategiska vägnätet upplåtet för bärighetsklass 4, fördelat på 19 procent för BK4 och 29 procent för BK4s. Målsättningen är att upp mot 80 procent skall vara upplåtet till år 2029. Det strategiska vägnätet för tung trafik omfattar ca 6420 mil vilket motsvarar ca

69 procent av Trafikverkets totala BK1 vägnät. Av det totala vägnätet tillhör ca 95 procent BK1.

I figur 8 visas utvecklingen av upplåtet vägnät från 2018 till 2021.



Figur 8. BK4-vägnätets utveckling från 2018 till 2021 [24].

Högsta tillåtna vikter för vägen beror på vägens bärighetsklass och avståndet mellan axlarna. Genom lokala trafikföreskrifter kan en viss väg eller vägsträcka även ha vissa viktbegränsningar. Dessa är då utmärkta med vägmärken. Vilka bruttovikter som medges för respektive bärighetsklass och axelavstånd finns angivna i bruttoviktstabellerna [39]. I tabell 2 ges exempel på olika max tillåten bruttovikt, axel-, boggi- och trippelaxeltryck för respektive bärighetsklass [39]. För ytterligare fordons- och axelkonfigurationer hänvisas till Transportstyrelsen [39]. De generösa maxvikterna är bra för Sveriges transportintensiva industrikonkurrens men kräver bärkraftiga väggroppar samt kostnadseffektiva underhållsåtgärder för att varaktigt vidmakthålla vägsystemets funktion.

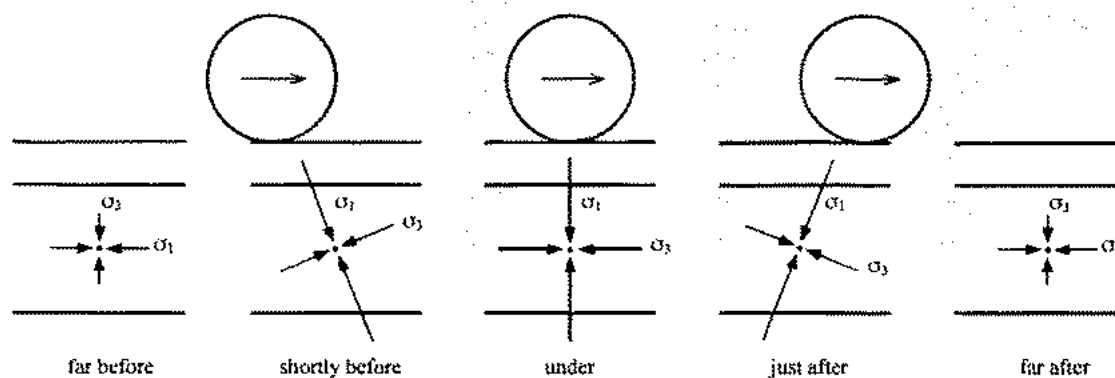
Tabell 2. Max bruttovikt. Max boggitryck Max trippelaxeltryck [39].

		Bärighetsklass			
		BK1	BK2	BK3	BK4
Max Bruttovikt	Max bruttovikt (ton)	64 ton	51,4 ton	37,5 ton	74 ton
	Axel som inte är drivande	10 ton	10 ton	8 ton	10 ton
	Drivande axel	11,5 ton	10 ton	8 ton	11,5 ton
Max boggitryck	Avstånd <1,0 m	11,5 ton	11,5 ton	11,5 ton	11,5 ton
	Avstånd 1,0 – <1,3 m	16 ton	16 ton	12 ton	16 ton
	Avstånd 1,3 – <1,8 m	18 ton	16 ton	12 ton	18 ton
	Avstånd >1,8 m	20 ton	16 ton	12 ton	20 ton
Max trippelaxel- tryck	Avstånd <2.6 m	21 ton	11.5 ton	11.5 ton	21 ton
	Avstånd 2.6 – <4.4 m	24 ton	16 ton	12 ton	24 ton
	Avstånd 4.4 – <4.7 m	25 ton	16 ton	12 ton	25 ton
	Avstånd >4.7 m	26 ton	16 ton	12 ton	26 ton

3.3 Påkänningar i vägöverbyggnaden

När ett fordon passerar över en överbyggnad genereras olika påkänningar (vertikala- och horisontella spänningar samt skjuvspänningar). Under en fordonspassage ändras storlek och riktning av dessa påkänningar över tiden. På grund av detta uppstår en rotation av huvudspänningarna, σ_1 och σ_3 , under hjulpassagen vilket illustreras i figur 9. I underkant asfalt växlar spänningen mellan tryck och drag. Det är viktigt att inse att det uppstår både drag- och tryckspänningar i de bundna lagren. Om tryckspänningen är större än materialet kan klara av uppstår deformationer. På samma sätt

ökar risken för sprickor om höga dragspänningar uppkommer. Största dragspänning uppstår i underkant asfalt ungefär rakt under hjullasten. Vid dimensionering- och förstärkningsanalyser anpassas överbyggnadskonstruktionen och dess material så att påkänningen som hjullasten genererar är lägre än överbyggnaden kan hantera över tid.

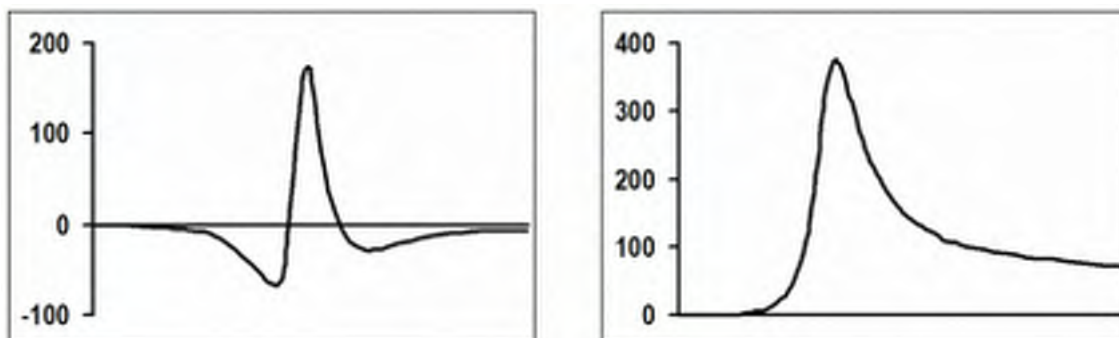


Figur 9. Principskiss över påkänningar i överbyggnad under rörlig hjullast [38]

Vanligtvis beaktas endast effekten av en axel och inte för hela fordons konfigurationen. Eftersom fordonen blir tyngre och längre med fler axlar är det allt viktigare att beakta effekten av de nya HCT-fordonen. Figur 10 visar exempel på uppmätta töjningssignaler i underkant asfaltlagret för en och samma passerande hjullast. Den vänstra töjningssignalen är i längdled (longitudinell) och den högra tvärled (transversell). Hjullasten kommer från vänster och töjningen som mäts i en töjningsgivare i underkant asfalt. När hjulet är långt ifrån töjningsgivaren registreras ingen töjning. Ju närmade hjullasten kommer byggs en trycktöjning upp (negativ töjning) tills den växlar till drag (positiv töjning). Den största dragtöjningen uppstår strax efter hjullasten har passerat töjningsgivaren. Detta kommer från de viskoelastiska egenskaperna hos asfalt. Efter maxvärdet minskar dragtöjningen och övergår tryck för att snabbt återgå till noll. Det finns således inga kvarvarande töjningar i underkant asfaltlagret efter en hjulpassage.

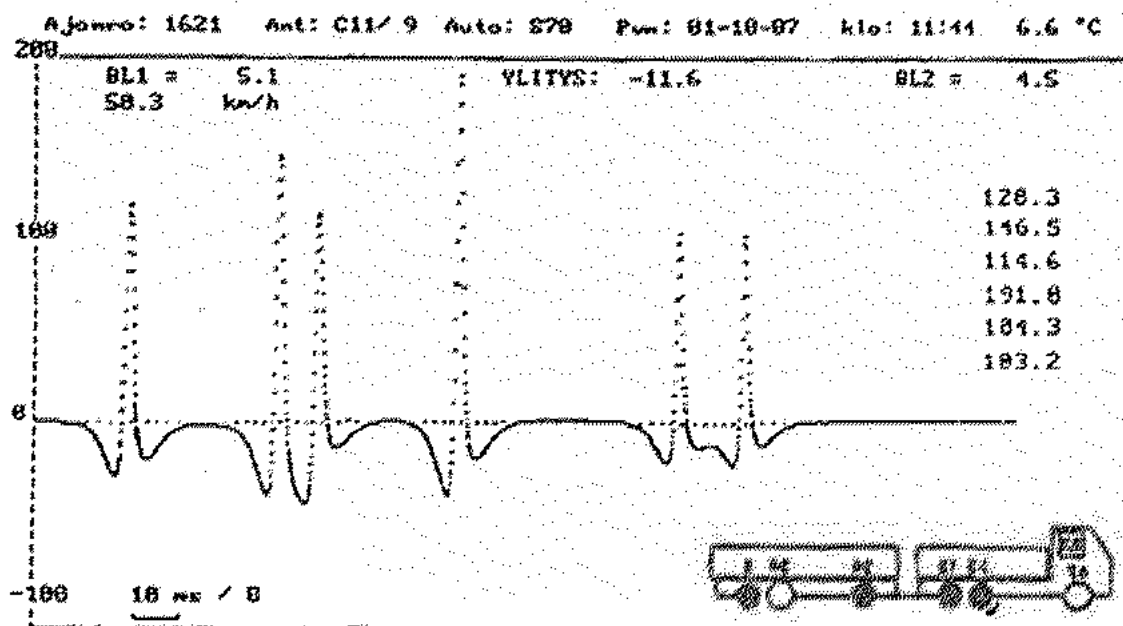
Töjningssignalen i tvärled visas i den högra figuren. Det är tydligt att denna töjning bara är i drag. När hjullasten närmar sig töjningsgivaren ökar dragtöjningen i tvärled. Töjningen når sitt maximum strax efter hjulet passerat töjningsgivaren. Efter maxvärdet minskar dragtöjningen och relaxerar sakta. På grund av asfaltens egenskaper återgår töjningen inte helt till noll utan en liten kvarvarande töjning kvarstår.

Det kan noteras att maxtöjningen är olika i längs- och tvärled. För givet exempel är töjningen i tvärled större. För andra överbyggnadstyper och lastkonfigurationer kan den längsgående töjningen vara större.

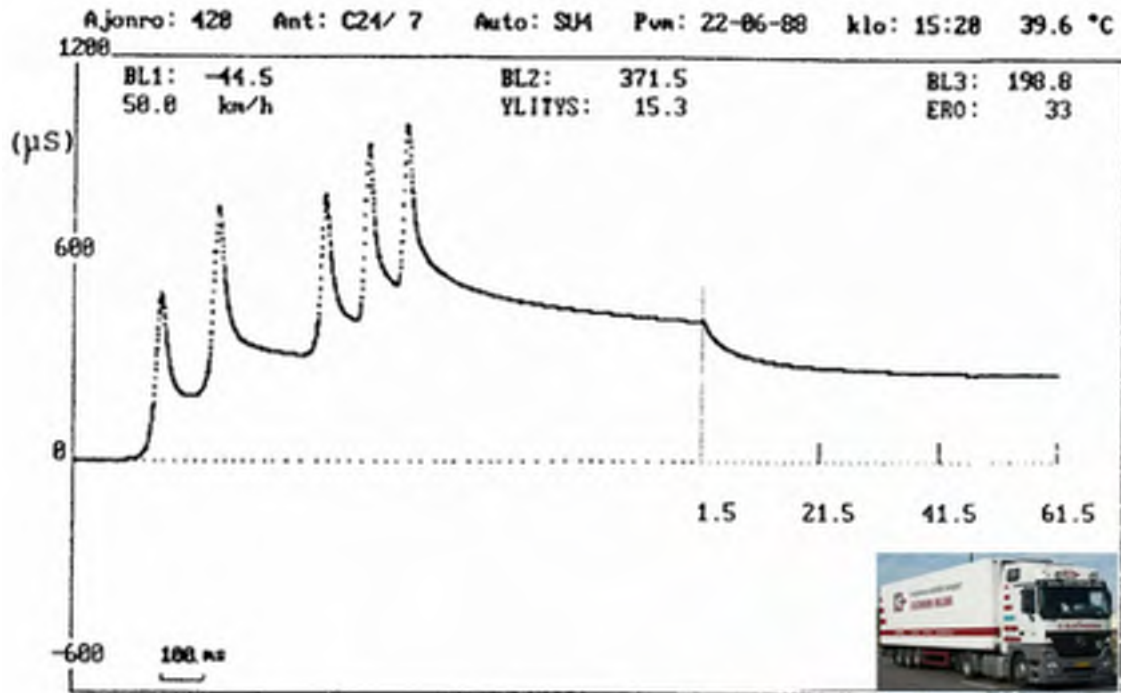


Figur 10. Exempel på uppmätta töjningssignaler för en hjullast [38].

Figur 11 och 12 visar typiska resultat av töjningssignaler i underkant asfalt för en passerad hjullast vid Virttaa testsite i Finland [43]. För töjningar i vägens längdriktning (longitudinal) har efterföljande hjul ingen signifikant inverkan då töjningen alltid går tillbaka till noll efter hjulet passerat vilket illustreras i figur 11. Detta gäller dock inte för töjningen i vägens tvärriktning (transversal). En passerande hjullast genererar en liten kvarstående töjning som relaxerar över tid vilket tydligt kan ses i figur 12. Vid flera succesiva hjul- och axlellaster ackumuleras de tvärgående töjningarna och ökar potentiellt nedbrytningen av vägkroppen.

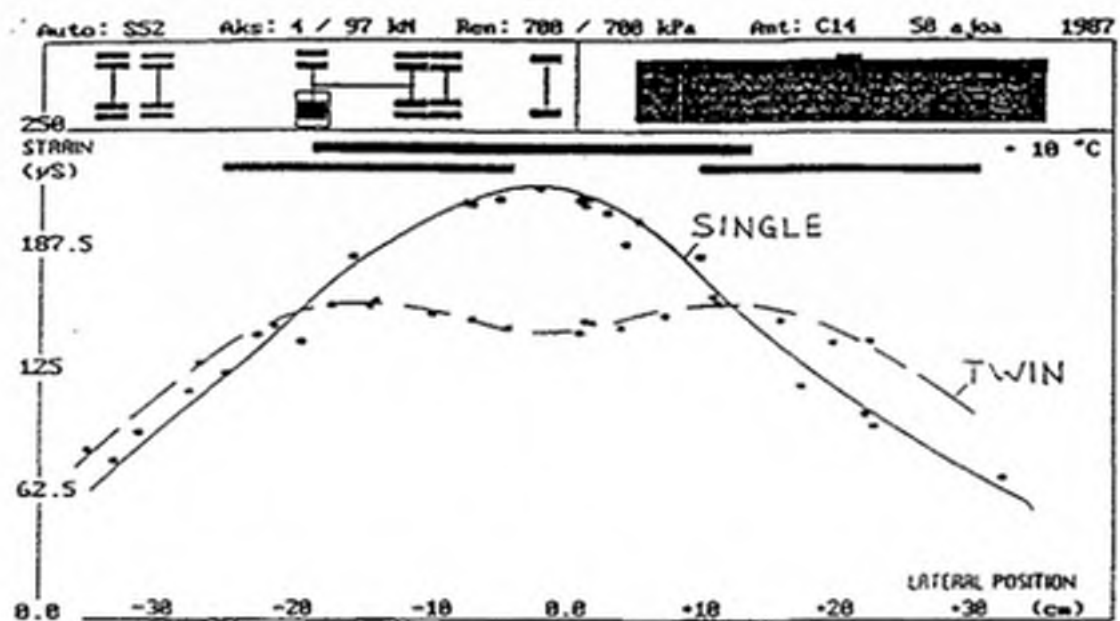


Figur 11. Uppmätta töjningssignaler i längdled [43].



Figur 12. Uppmätta töjningssignaler i tvärled [43].

Mätningar i Virttaa visar även att olika däck och axelkonfigurationer har stor inverkan på den nedbrytande effekten. Figur 13 visar skillnaden på uppmätt töjning för ett singelmonterat däck samt ett parmonterat. Det syns tydligt att det parmonterade däcken sprider lasten över en större yta samt att största töjning är ca 30 procent lägre än för singeldäcket [43]. Ytterligare data från Finland indikerar att breddäck (super single) är ca 1,4 gånger mer aggressiva än parmonterade hjul.

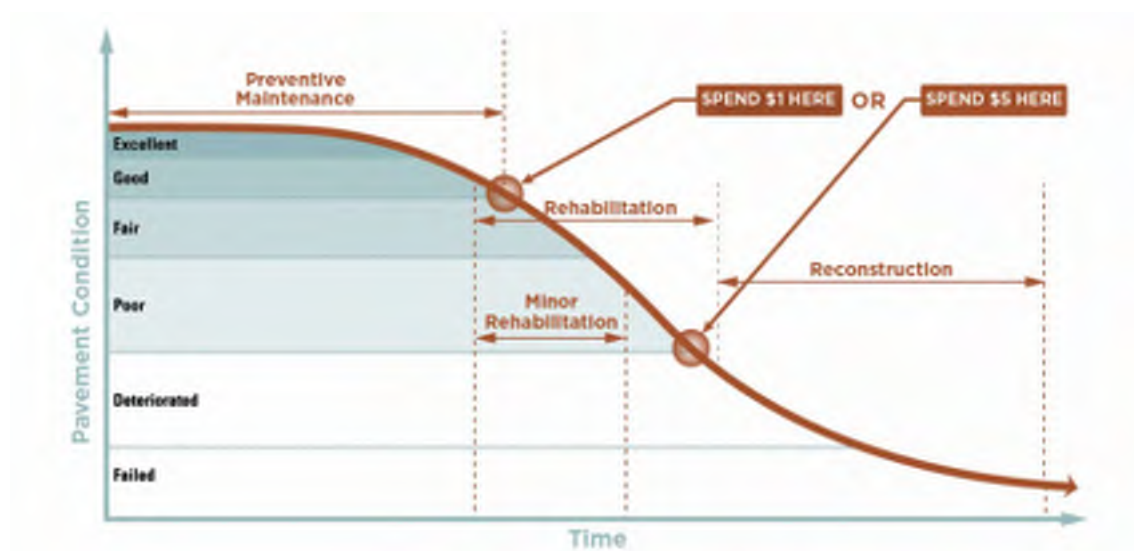


Figur 13. Uppmätta töjningar under par och dubbelmontage [43]

Effekten av hjullaster, axelkonfigurationer, samt fordonskonfigurationer behövs inte bara vid ny- och förstärkningsdimensionering utan även för att utveckla regelverk för den tunga trafiken. Det är därför viktigt att dessa beslut baseras på en gedigen vetenskaplig kunskap. När en vägöverbyggnad skall analyseras är det därför viktigt att använda modeller, laster samt materialegenskaper mm. som kan efterlikna uppmätta påkänningar samt observerad nedbrytning

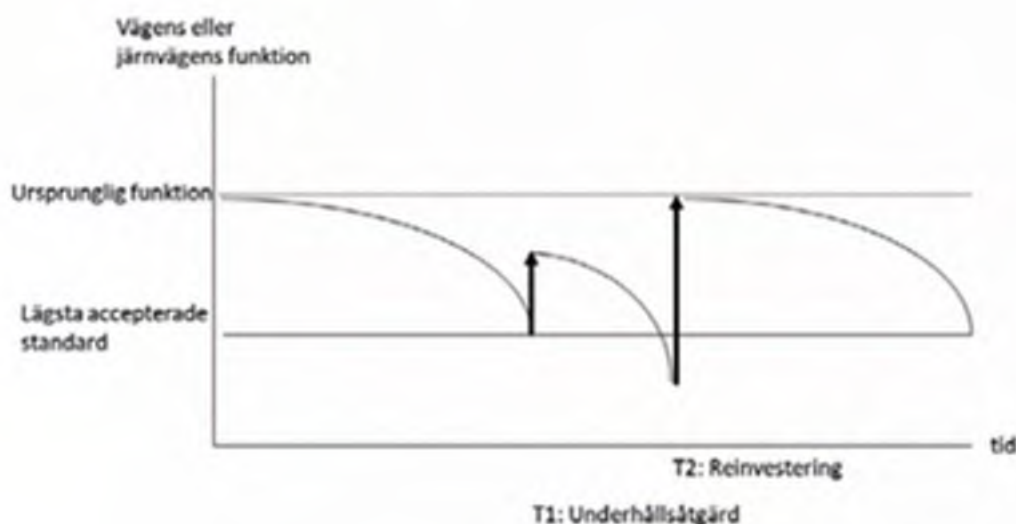
3.4 Nedbrytning av vägöverbyggnader

En väg bryts ner kontinuerligt beroende av främst trafik- och klimatbelastning. Om trafiken ökar (tex. antal, storlek mm.) kommer nedbrytningen att ske snabbare. För att bibehålla önskat tillstånd behöver förebyggande underhåll sättas in i rätt tid. Exempel på underhåll är spricktätning, försegling samt omläggning av slitlager med flera. Om vägen inte underhålls eller anpassas för fler och tyngre laster kommer nedbrytningen att accelerera och skada överbyggnadens lägre lager vilka är mycket kostsamma att åtgärda. Ett kostnadseffektivt underhåll syftar till att rätt åtgärd ska utföras på rätt plats vid rätt tidpunkt under rådande förutsättningar. Förebyggande underhåll har under lång tid varit eftersatt vilket medfört ett ökat underhållsberg. Det är därför viktigt att säkra upp vägarna som skall upplåtas till BK4 [44, 45]. Figur 14a och 14b visar en schematisk tillståndsutveckling för en vägöverbyggnad över tid.



Figur 14a. Konceptuell illustration av vägars tillståndsutveckling [46].

Ett infrastruktursystem bryts ned olika snabbt beroende av bland annat väder, trafik samt kvalitet samt ursprunglig byggnation. Underhållsåtgärder vidtas för att motverka nedbrytningen och förlänga livslängden på infrastruktur-anläggningen. I princip kan avvägningen mellan nedbrytningen och åtgärder beskrivas enligt figur 14b.



Figur 14b. Konceptuell illustration av vägars tillståndsutveckling [27].

En optimal underhållsstrategi över livscykeln innebär ofta att genomföra ett flertal billigare underhållsåtgärder (T1) innan en större reinvestering (T2) görs. Trafikverket definierar det eftersatta underhållet som kostnaden för att få upp infrastrukturens funktion över den lägsta accepterade standarden.

En vägöverbyggnad kan nedbrytas på ett antal olika sätt. Inom ramen för COST333 projektet [47] rangordnade väghållare i Europa de mest frekventa skadetyper som observerats på vägnätet. Resultatet av denna studie redovisas nedan:

- Spårutveckling härrörande från asfalt lager
- Sprickor initierade från vägytan (Top-down)
- Längsgående ojämnheter (IRI)
- Nedsatt friktion (halka)
- Längsgående sprickor i hjulspår
- Sprickor initierade från underkant/asfaltbeläggning (Bottom-up)
- Allmänna ytsprickor
- Stenlossning
- Spårutveckling härrörande från undergrund
- Tjällyftning
- Spårutveckling orsakad av dubbdäck
- Lågtemperatur sprickor

Från studien framkommer att permanenta deformationer i asfaltbeläggningar bedöms vara ett av de största nedbrytningsproblemen såväl i Sverige som i andra länder. Detta kan förklaras med att trafikpåkänningar i vägöverbyggnader har ökat till följd av bland annat ökad trafikintensitet, högre tillåtna axellaster, nya typer av däck, tendens till högre däckstryck, ökad andel spårbunden trafik (smalare körfält), som t.ex. 2+1 vägar, samt ökat användande av breddäck på nyare lastbilar. Vidare har större variationer i väderlek observerats som tex. längre perioder med högre temperaturer vilket sammantaget har påskyndat denna typ av spårbildning.

En konsekvens av detta är att spårbildningen p.g.a. omlagringar i de översta bitumenbundna lagren har observerats. För att motverka ökad risk för spårbildning har asfaltbranschen tagit fram nya produkter till exempel stenrika asfaltbeläggningar med polymermodifierat bitumen (PMB). Ny teknik med inblandning av olika typer av polymerer är under en ständig utveckling för att motverka olika nedbrytningsmekanismer i vägöverbyggnader. Nya typer av breddäck som bedömts vara aggressivare mot vägkroppen har blivit allt vanligare. Långa fordon med en total vikt på upp mot 98 ton har redan dispens på vissa vägar, Sedan 2018 tillåts 74 tons fordon att köra på delar av det strategiska vägnätet för tunga transporter (BK4/BK4s). Nedbrytning av vägen under belastning av olika fordon/fordonskombinationer måste bl.a. beaktas avseende axelkonfiguration, däckstryck, fordons hastighet, sidolägesfördelning etcetera.

Under vissa omständigheter kan tyngre och längre fordon vara gynnsamma ur klimat- och samhällsekonomisk synpunkt. För att kvantifiera effekten av trafikbelastningen och asfaltbeläggningar under olika fältförhållanden behövs praktiskt användbara dimensioneringsmetoder som inte enbart tar hänsyn till antal överfarter av ett standardfordon, utan snarare beräknar skadegraden per fordonens specifika egenskaper, till exempel axellast, axelkonfiguration samt typ av däck. Traditionella dimensioneringsmetoder baseras på linjärelastisk teori och statiska laster. Denna teori kan inte på ett helt tillfredsställande sätt utvärdera påverkande faktorer eller förutsäga de påkänningar som uppkommer i bitumenbundna lager för bland annat uppskattning av permanenta deformationer.

För att differentiera slitaget mellan olika typer av fordon och axelkonfigurationer används ofta den s.k. fjärdepotensregeln, vilken säger att axellasten X orsakar en nedbrytning av vägkroppen $(X/Y)^4$ gånger den nedbrytning som axellasten B ger. Det betyder att en fördubblad axellast ökar nedbrytningen med hela 16 gånger. Vidare ger fjärdepotensregeln indirekt att ingen ytterligare nedbrytning alstras om fler axlar med samma

axellast applicerats. Fjärdepotensregeln utvecklades under AASHO-försöken som genomfördes i USA mellan 1958 och 1960, för dåtidens lastbilar, axel- och hjulkonfigurationer samt begränsat antal överbyggnadstyper och undergrundsmaterial. I dessa försök noterades att exponenten inte var konstant utan varierade mellan 3,6 och 4,6. I senare undersökningar har man funnit att exponenten varierat mellan 1,8 och 8,8 [43]. Det är värt att notera att exponenten varierar beroende på vilken nedbrytningstyp som avses tex, deformationen i asfaltlagren, IRI, top-down cracking m.fl. Vidare beror exponenten på typ av överbyggnad (tex. asfalt, cementstabiliserade lager, betong mm.). Experimentell och teoretisk undersökning har indikerat stora variationer i exponenten. I verkligheten är förhållandet mer komplicerat. Att lägga till extra axlar ökar till exempel fordonets totalvikt, vilket gör det mer skadligt, särskilt för broar, där totalvikten i stället för axelvikten är huvudproblemet. Andra faktorer som spelar in är fordonshastigheten, antal och typ av däck på varje axel, däck- och kontakttryck, vägstandard, utformningen och sammansättningen av själva beläggningen, spårbundenhet, avstånd mellan axlar, viloperioder, klimatförhållanden etc.

I fjärdepotensregeln är det bara axellasten som påverkar nedbrytningen. Detta ställer dels frågor kring möjligheten i att överföra en beräkningsmodell från 1950-talets USA till 2020-talets Sverige, dels lämpligheten att tillämpa en och samma regel på ett geografiskt utspritt och standard- och trafikmässigt heterogent vägnät [5].

Detta ökar kraven och funktionstiderna samt att entreprenören förväntas föreslå lämpliga material och tekniska lösningar samt bedöma tillståndet under funktionstiden samt vid överlämnandet. Under de senaste åren har högre tillåtna totala bruttovikter upp till 74ton samt implementering av nya klimatsmarta material och processer ställt helt nya samt ökat kraven på entreprenören att kunna utvärdera och analysera överbyggnaders strukturella bärighet.

Det saknas en bred kunskap om nedbrytningseffekten av HCT-fordon på svenska vägöverbyggnader. Effekten av dessa tyngre fordon är inte känt. Erfarenheter från Finland visar på kraftigt accelererande nedbrytning av vägnätet. Det finns därför en kunskapslucka om vilken bärighet det svenska vägnätet innehar samt vilken bärighet som krävs för tillåtna 74-tons fordon (BK4) så att en acceptabel vägstandard kan upprätthållas.

Det finns någon enstaka studie som påvisar potentiell ökad nedbrytning på det finska vägnätet efter 2013 då 76 tons fordon introducerades [41].

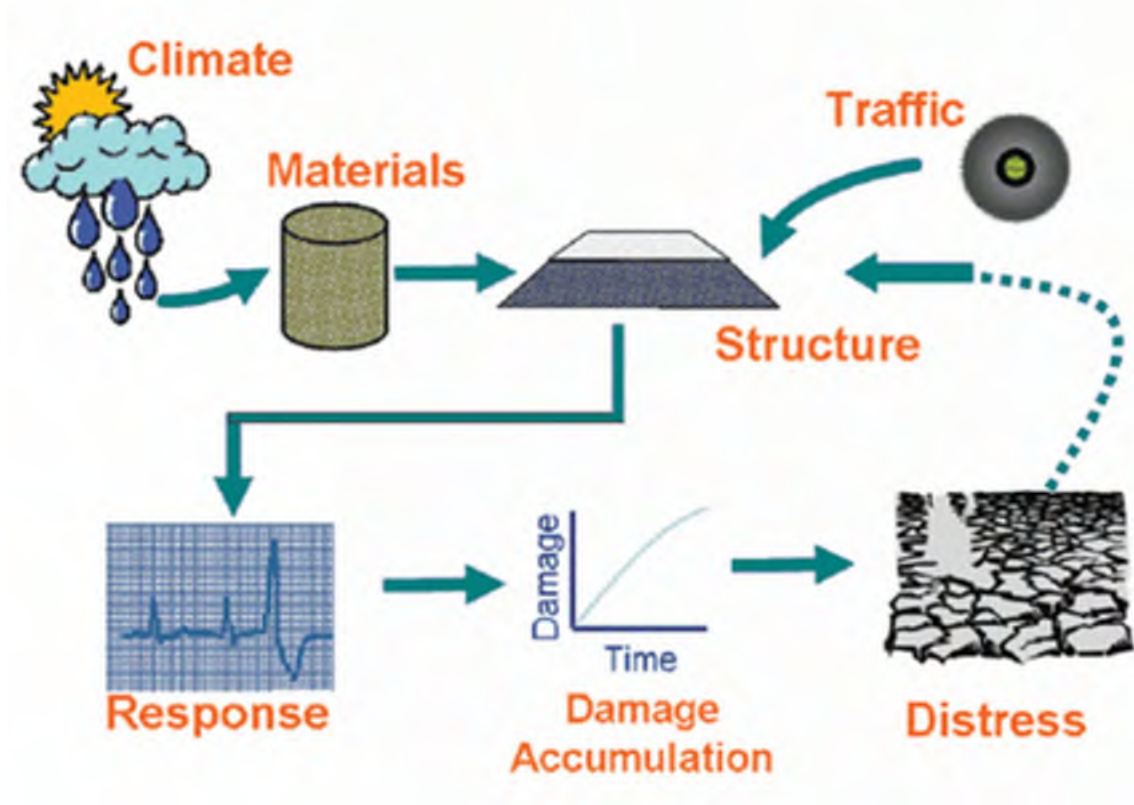
4 ANALYS OCH DIMENSIONERING AV ÖVERBYGGNADER

Att dimensionera en vägöverbyggnad och därefter prediktera den framtida funktionen är ett mycket komplext problem beroende på ett antal påverkande faktorer. Vägen utsätts för varierande trafikpåkänningar (statiska, transienta samt dynamiska laster) samt klimatbelastning. Uppbyggnad av väggroppen är även olika beroende på dess materieluppbyggnad som i sin tur varierar beteende på bland annat undergrunden klimat, trafik och ålder. En asfaltbeläggning uppvisar viskoelastiska och viskoplastiska egenskaper, dvs. materialegenskaperna är både tids- och temperaturberoende. Detta påverkar även de underliggande lagren som ofta är spänningsberoende och känsliga för variationer i vattenkvoten. Undergrunden kan bestå alltifrån fast berg, lera, silt till blandningar eller fyllningar bestående av olika materialtyper. Beaktat alla faktorer samt dess variation som påverkar vägen är modellering av beläggningsrespons och prestanda med hjälp av analysverktyg en mycket komplex uppgift.

Stora delar av det svenska vägnätet byggdes före 1970 och är dimensionerat för dåtidens trafik och laster. Den tekniska livslängden bedöms till mellan 40 och 60 år för de bärande delarna av vägkonstruktionen. Det innebär att allt fler vägar börjar uppnå sin tekniska livslängd även om delar av överbyggnaden förstärks i samband med beläggningsunderhåll. Samtidigt har slitaget på vägarna ökat med antalet fordon samt tyngre transporter. I kombination med ett eftersläpande underhåll är idag många väggroppar till stor del uttjänta och behov av omfattande förstärkningsåtgärder.

Mer trafik och tyngre laster gör att väganläggningen slits hårdare och då krävs mer underhåll och förstärkning för att vidmakthålla dess funktion. Ökad trafik påverkar också underhållskostnaderna genom att det är mer komplext att utföra underhållsåtgärder i högtrafikerade miljöer. Underhåll har därför blivit ett av de mest kritiska, kostsamma och komplexa elementen i att vidmakthålla vägsystemet.

Vid all dimensionering beräknas responsen av olika laster i olika delar av konstruktionen. Dessa spänningar och töjningar jämförs sedan med det aktuella materialets hållfasthet. För att kunna beräkna realistiska påkänningar är det viktigt att kunna beskriva de ingående parametrarnas egenskaper så nära som möjligt. Vidare behöver dessa beräknade påkänningar jämföras med relevant nedbrytning. I figur 15 visar ett principiellt dimensioneringssystem.



Figur 15. Principiellt dimensioneringssystem [48].

Indata i dimensioneringssystemet är klimatdata, materialdata, samt trafikdata. Dessa indata parametrar analyseras för föreslagen överbyggnad (antal lager, material per lager lagertjocklekar mm). Responserna i de mest utsatta delarna beräknas och används i olika nedbrytningskriterier för att uppskatta teknisk livslängd (vanligtvis antal standardaxlar). Observera att det normalt är ett antal miljoner överfarter med en standardaxel som föranleder att överbyggnaden har uppnått ett icke önskvärt gränsvärde eller tillstånd som per definition anger att överbyggnaden nått sin tekniska livslängd och behöver åtgärdas för att återställa dess funktion.

Vägbyggnadsmaterial består till största del av partikulära friktionsmaterial av olika fraktioner. Vanligtvis används krossat bergmaterial men kan även bestå av naturligt material i väglinjen eller återvunnet material. Dessa material har vanligtvis icke linjära samt spänningsberoende egenskaper.

De översta lagren stabiliseras vanligtvis med bitumen eller cement för att klara av högre laster. Material stabiliserade med bitumen (Asfalt) uppvisar icke-linjära-visko-elastisko-plastiska materialegenskaper. Dessa material påverkas av belastningstid samt temperatur. Undergrunden består ofta av den naturliga jorden eller fyllning av något slag. Undergrunden skall klara av att både egenvikten av överbyggnaden samt de dynamiska lasterna från

fordonstrafiken. Undergrunden måste även vara stabil och inte deformeras över tid.

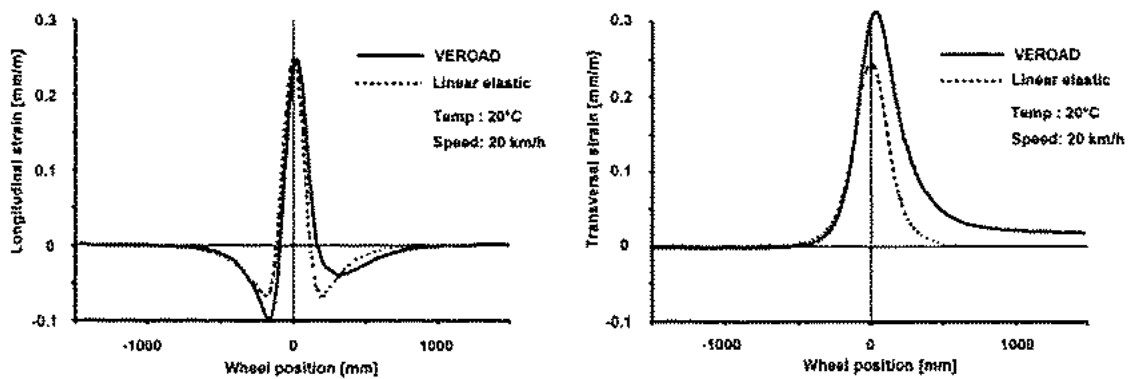
De mest ekonomiska överbyggnadstyperna baseras på att de materialen med bäst materialegenskaper placeras högst uppe i överbyggnaden. Lasten från fordonens rörliga hjullaster förs ner i överbyggnaden i kontaktytan mellan däck och vägöverytan. Olika däck- samt dess axelkonfigurationer påverkas överbyggnadens påkänning. Generellt är smala singel däck mer aggressiva än parmonterade däckkonfigurationer. För överbyggnader med tjocka asfaltlager har fordonens hastighet samt temperatur i asfaltlagren stor inverkan på responsen. Vidare påverkar antal axlar samt dess inbördes avstånd [43].

Varje enskilt fordon bidrar till vägens nedbrytning. En vägöverbyggnad belastas nästan aldrig till brott utan det är ackumulationen av de olika fordonen som bidrar till nedbrytningen. Det är framför allt de tyngre fordonen som orsakar till nedbrytningen. Tyngre fordon genererar betydligt högre påkänningar och snabbare nedbrytning.

De beräknade påkänningarna (spänningar och töjningar) används i olika nedbrytningskriterier som länkar påkänningar och observerad nedbrytning/tillstånd till teknisk livslängd. Det nedbrytningskriterium som ger kortast livslängd är dimensionerande (tex spårutveckling härrörande från asfaltlager och sprickor initierade från vägytan "top-down").

De vanligaste dimensioneringsprogrammen baseras på linjär elastisk teori, tex PMS-Objekt [50].

Figur 16 visar skillnaden mellan en linjärelastisk beräkning (LE) samt en linjär viskoelastisk beräkning (LVE). Det är tydligt att beräknad LE-töjning uppvisar symmetri och är lika stor i alla riktningar (ca 250 microns). För LVE syns ingen symmetri och maxtöjningen är olika i längs- och tvärled. Denna skillnad kommer från asfaltmaterialets viskoelastiska egenskaper (tids- och temperaturberoende).

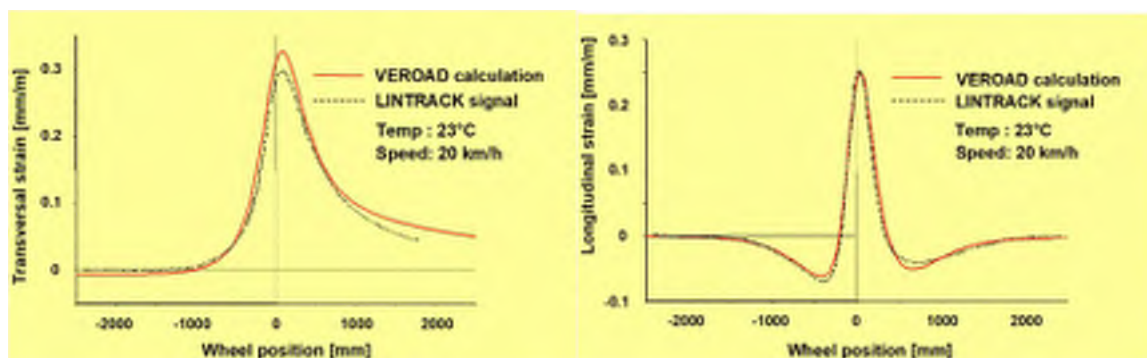


Figur 16. Jämförelse mellan elastisk och viskoelastisk analys [37].

Det kan även noteras att de LVE töjningarna påminner om uppmätta töjningssignaler enligt figur 10, 11, 12.

I ett tidigare SBUF-projekt utvärderades en metod utvecklad vid Delfts Tekniska Universitet i Nederländerna som kan möjliggöra att tillgängliga material utnyttjas på ett effektivare sätt än idag [38]. Metoden baseras på VEROAD, som är ett linjär-viskoelastiskt beräkningsprogram som beaktar både de viskoelastiska egenskaperna hos asfaltmaterial och rörliga hjullaster, möjliggör en funktionell analys av viskoelastiskt/”plastiskt” beteende hos flexibla överbyggnader. Figur 17 visar en jämförelse mellan uppmätta töjningar i längs- och tvärled för en hjullast.

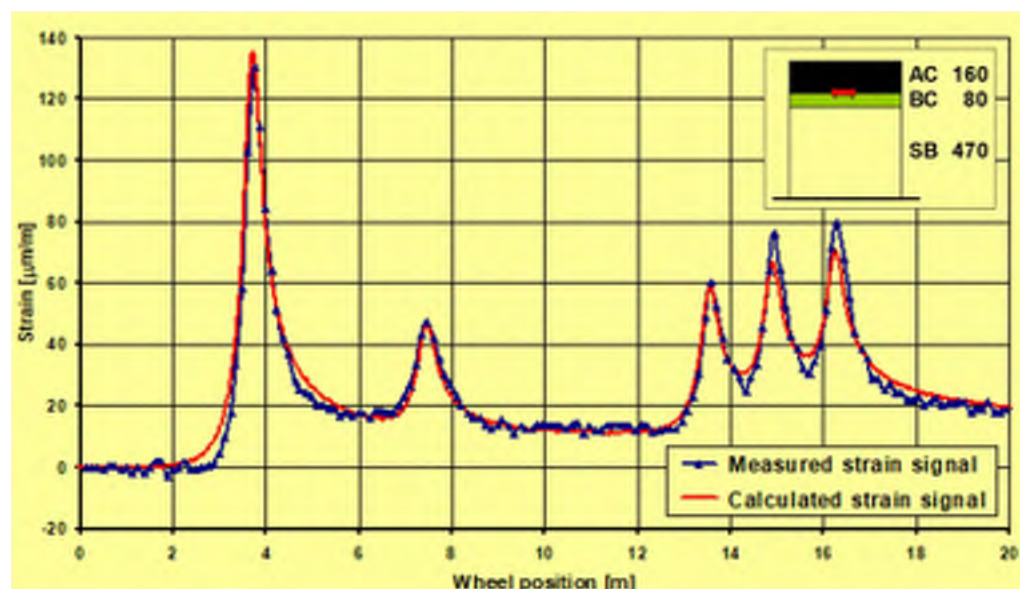
Det syns tydligt att de VEROAD beräknade töjningarna relativt väl överensstämmer med de uppmätta töjningssignalerna. De beräknade töjningarna har ingen symmetri och har olika maxtöjningar i de olika riktningarna. För dessa beräkningar ges att den transversella töjningen i underkant asfalten är störst vilket indikerar att längsgående sprickor i hjulspår är en potentiell nedbrytningstyp. Det bör noteras att de viskoelastiska effekterna är störst vid höga temperaturer i kombination med låga hastigheter.



Figur 17. Jämförelse mellan uppmätt samt viskoelastisk analys [38].

Högre trafikintensitet och högre tillåtna trafikklaster har under senare år lett till ökad nedbrytning av våra vägar. Detta har i sin tur medfört ökade underhållskostnader för att hålla vår vägstandard på en acceptabel nivå. Nedbrytningen, och därmed även underhållskostnaderna, kan reduceras genom bättre anpassning av vägöverbyggnadernas utformning och de ingående materialen till den aktuella belastningen. Detta förutsätter dock en utveckling av noggrannare dimensioneringsmetoder än de som för närvarande tillämpas, vilka traditionellt baseras på linjärelastisk teori och stationära laster.

Figur 18 visar en typisk LVE-beräkning för en EU semi-trailer (se tex figur 5). Den uppmätta töjningskurvan är mätt på E4 "Eket" vid en fordons hastighet på 95 km/t.



Figur 18. Jämförelse mellan uppmätt töjning samt viskoelastisk analys för en semitrailer [38].

Det framgår att en LVE-analys relativt väl kan efterlikna de uppmätta töjningarna i vägens tvärlängd för ett fordon med flera axlar. Ackumuleringen av töjningar på grund av trippelaxeln syns tydligt. Den beräknade töjningen efterliknar väl den uppmätta töjningen, se även figur 12.

Den tidigare studien visade att VEROAD är ett utmärkt hjälpmedel för förbättrad överbyggnadsdimensionering och ökad kunskap om de mekanismer som beskriver en överbyggnads beteende vid trafikbelastning under förutsättning att analysen utförs med relevanta indata.

Föreliggande projekt ”Effekt av Miljövänliga Transporter” kommer att kunna bidra till att minska nuvarande kunskapslucka. Genom ökad kunskapsuppbyggnad inom området kommer vägnätet att kunna uppgraderas snabbare och mer kostnadseffektivt samt med lägre klimatpåverkan. Genom att branschen får ökad kunskap om hur vägar skall uppgraderas för tyngre fordon kommer en konkurrensfördel att erhållas när andra nationer ökar högsta tillåtna fordonsvikt.

För att kunna bibehålla en acceptabel standard på vägnätet kommer omfattande förstärkningsåtgärder och därmed ökade kostnader för stora delar av Sveriges vägnät att erfordras. För att kunna prioritera rätt objekt samt föreslå lämplig förstärkningsåtgärd krävs att man kan karakterisera en vägs strukturella tillstånd och bärighet. Behovet av en objektiv utvärdering av strukturellt tillstånd för ett vägobjekt har ytterligare aktualiserats i och med det ökade fordonsvikter och införande av ny bärighetsklass.

Under de senare åren har ett flertal metoder för utvärdering av strukturellt tillstånd utvecklats. Det saknas dock en enhetlig metodik för att objektivt värdera det strukturella tillståndet för vägar och gator.

Vidare har påkänningar i väg- och gatuöverbyggnader ökat till följd av bland annat ökad trafikintensitet samt högre tillåtna axellaster. Detta har lett till en accelererande nedbrytning av vägnätet. För att kunna bibehålla en acceptabel standard på vägnätet samt dessutom förvalta vårt vägkapital kommer omfattande förstärkningsåtgärder och därmed ökade kostnader för stora delar av Sveriges vägnät att erfordras. Eftersom dessa kostnader kommer att belasta redan begränsade anslag är det viktigt att tillgängliga resurser kan utnyttjas optimalt. En vägs strukturella tillstånd och bärighet behöver därför karakteriseras för att kunna prioritera rätt objekt samt föreslå lämplig förstärkningsåtgärd. Behovet av en objektiv utvärdering av strukturellt tillstånd för ett vägobjekt både före åtgärd, under funktionstiden samt vid överlämnandet har ytterligare aktualiserats i och med det ökade intresset för funktionsentreprenader. En förutsättning för att denna form av upphandling skall fungera är att relevanta metoder för karakterisering av väsentliga funktioner hos överbyggnaden kan mätas och beskrivas. Med väsentliga funktioner avses inte bara trafikantkrav utan även ägarkrav.

Vägsystemets funktion påverkas direkt av anläggningens tekniska tillstånd, som i sig påverkas av yttre påfrestningar som exempelvis väder och trafik. När en väganläggning bryts ned försämras dess tekniska tillstånd, och till slut är tillståndet så dåligt att en funktionsbrist uppstår. Det kan exempelvis röra sig om att vägen är så spårig eller ojämn att det inte går att köra säkert i den hastighet den byggdes för. För att undvika att en funktionsbrist

uppstår måste underhåll som förbättrar väganläggningens tillstånd utföras innan tillståndet blivit för dåligt. En grund för att planera underhåll är därför att ha kännedom om vägsystemets tekniska tillstånd, strukturella bärighet och bärförmåga.

För att kunna kartlägga bärighet och bärförmåga har ett antal bärighetsmått utvecklats. Nedan ges några av de vanligast förekommande begreppen.

4.1 Enkla bärighetsmått

Trafikverket definierar bärighet som högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer [49]. Det finns således inget exakt mått på bärighet enligt Trafikverkets definition.

Det har därför tagits fram ett antal olika metoder och mått för att beskriva bärighet och bärförmåga för en vägkropp. För en översiktlig och snabb uppskattning av det strukturella tillståndet kan vissa representativa parametrar vara lämpliga. Det gemensamma för dessa är att de är enkla att beräkna med hjälp av uppmätta deflektioner.

Nedan ges exempel på 5 vanliga och enkla bärighetsmått som kan beräknas utifrån mätdata [49].

För att bestämma lagerstyvheter utförs en passningsräkning med hjälp av datorprogrammet PMS-objekt [50]. Passningsräkning räknar ut elasticitetsmodulerna (styvheten), för överbyggnaden, obundna lagret samt terrassen (undergrunden). Vad som är bra och dåliga värden beror på flera faktorer, bland annat antal fordon per dygn (ÅDT) och vilken vägtyp som avses. I tabell 3 ges ett exempel på rimliga bärighetsvärden baserade på studerade vägar utan att de behöver förstärkas.

Tabell 3. Intervall för olika bärighetsmått före förstärkning [51].

Bärighetsmått (enhet)	Små vägar	Mellanstora vägar	Stora vägar
<i>Ytmodul (MPa)</i>	220 - 345	350 - 500	500 - 600
<i>Asfaltstövning ($\mu\text{m}/\text{m}$)</i>	380 - 550	200 - 350	150 - 200
<i>SCI₃₀₀ (μm)</i>	280 - 400	125 - 250	75 - 125
<i>Bärighetsindex, BI ()</i>	2 - 3	3,5 - 6,5	5,5 - 8,5
<i>Krökningsradie (m)</i>	70 - 90	100 - 200	250 - 400
<i>Undergrundsmodul (MPa)</i>	50 - 100	25 - 100	40 - 100

Ytmodul

Med ytmodulen beräknas ytans E-modul vid avståndet noll från lasten, dvs. rakt under belastningsytan. Ytmodulen betecknas ofta med, E_0 . Uträkningen utgår från att underlaget är homogent, isotropt och linjärelastiskt med ett enda lager, alltså räknar man med ett medelvärde på E-modulen [49].

Eftersom beräkningen utförs direkt under belastningen påverkas E-modulen av asfalten, obundna lagret samt terrassen. För att bestämma ytmodulen krävs det information om deflektionen (D_0), spänningen (σ_0), tvärkontraktionstalet (ν) samt belastningsplattans radie (r) och styvhet, se Ekvation 1.

$$E_0 = \frac{1000 \cdot \xi \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot r}{D_0} \quad [\text{Ekv 1}]$$

där:

E_0 = Ytmodul [MPa]

$\xi = 2$ för segmenterad platta, $\xi = \frac{\pi}{2}$ för styv belastningsplatta

ν = tvärkontraktionstalet och kan antas vara 0.35

Uppskattad Asfalttöjning

Traditionella utmattningssprickor i asfalten uppkommer från töjningar som bildas i underkant av beläggningen som ett resultat av svag överbyggnad eller på grund av tung trafik. Vid belastning av tung trafik på ytan uppkommer det horisontella trycktöjningar samtidigt som i underkant uppkommer det horisontella dragtöjningar. Horisontella dragtöjningar i underkant av beläggningen är ett mått på risken för utmattningssprickor i underkant av beläggningen. Asfaltstöjningen brukar antas vara en kritisk punkt i vägkonstruktionen. Detta gör att asfaltstöjningen används för livslängdberäkningar. Detta mått kan uppskattas enligt ekvation 2.

$$\varepsilon_\alpha = 37.4 + 0.988 \cdot D_0 - 0.553 \cdot D_{300} - 0.502 \cdot D_{600} \quad [\text{Ekv 2}]$$

där:

ε_α = uppskattad asfalttöjning i underkant beläggning [μ - strain]

Eftersom asfalt är känslig för temperaturförändringar behövs det temperaturkorrigeringsfaktor för att kunna jämföra uträkningarna med andra

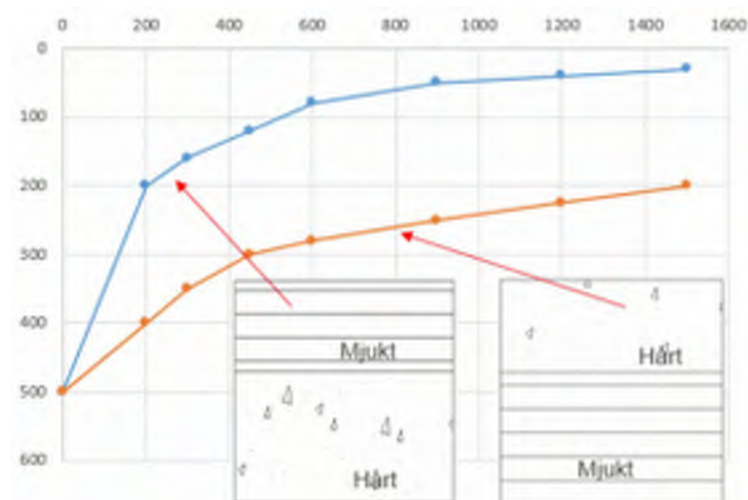
vägar. Om temperaturen är hög på ytan blir asfalten mjuk och om temperaturen är låg blir asfalten styv.

”Surface Curvature Index” – SCI₃₀₀

$$SCI_{300} = D_0 - D_{300}$$

[Ekv 3]

SCI₃₀₀ är ett mått på styvheten av beläggningen. Deflektionen i centrum, D_0 , subtraheras med deflektionen 300 mm ifrån centrum, D_{300} . Med SCI₃₀₀ beskrivs om beläggningen har bra bärighet. Ju lägre värde på SCI₃₀₀ desto bättre bärighet har beläggningen. Om vägen har dålig beläggning sjunker vägen mest under belastningscentrum och man får ett högt värde på SCI₃₀₀. Om vägen har styv beläggning sjunker inte vägen lika mycket under belastningscentrum och värdet på SCI₃₀₀ blir lågt, se figur 19 för illustration av bra och dålig beläggning.



Figur 19. Exempel på SCI₃₀₀ för styv beläggning (orange) samt mjuk (blå).

Bärförmågeindex, BI

Bärförmågeindex, BI, är ett dimensionslöst mått för vägens bärighet. Måttet är objektivt och enkelt att bestämma. Måttet utgår endast från asfaltstövningen men är ett mer pedagogiskt mått eftersom ju högre värde desto bättre bärighet. BI beskriver hur motståndskraftig beläggningen är mot utmattning och kan användas för bedömning av beläggningens tillstånd

före och efter en åtgärd. BI kan tillämpas för alla typer av vägar som har en asfaltslager. BI beräknas enligt ekvation

$$BI = \frac{1000}{\varepsilon_{\alpha}} \quad [\text{Ekv 4}]$$

där:

ε_{α} = uppskattad asfalttöjning i underkantbeläggning [$\mu\text{m/m}$]

Temperaturkorrigering krävs för att jämföra mätningar och värden från sträckor som har mätts vid olika tillfällen med olika temperaturer.

Temperaturkorrigeringen görs vanligtvis om till 10°C och en ny töjning beräknas enligt ekvation 5.

$$\varepsilon_{\alpha,10} = \frac{\varepsilon_{\alpha,T}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{0.0308 \cdot h_1 \cdot D_0}} \quad [\text{Ekv 5}]$$

där:

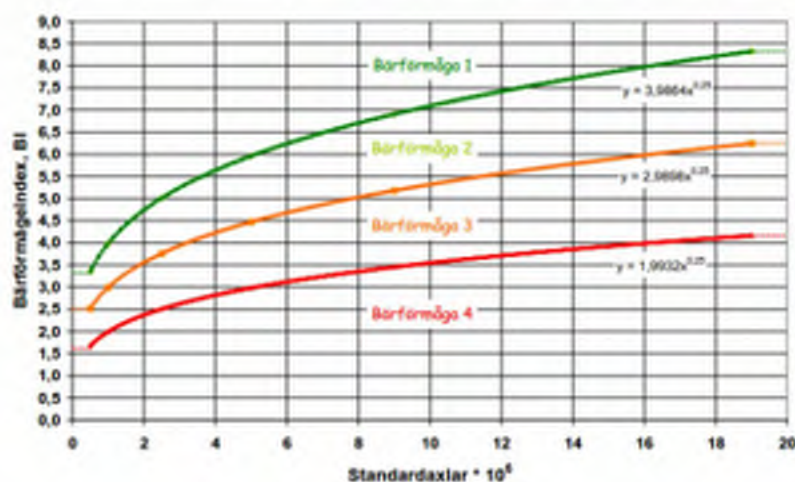
$\varepsilon_{\alpha,10}$ = dragtöjning vid + 10°C [$\mu\text{m/m}$]

$\varepsilon_{\alpha,T}$ = dragtöjning vid mättemperaturen, T [$\mu\text{m/m}$]

T = mätt temperatur [°C]

h_1 = beläggningstjocklek [mm]

Bärförmågan bestäms genom kunskap om antal standardaxlar som beräknas belasta vägen. Figur 20 visar bärförmågeindex med hänsyn till antalet standardaxlar.



Figur 20. Bestämning av bärförmågeklass med hänsyn till dimensionerande antal standardaxlar.

Krökningsradie

Krökningsradien används främst för jämförelse. SCI_{300} och krökningsradien har likadana variabler och är därför beroende av varandra. Krökningsradien används för att beskriva bärigheten på beläggningsytan och räknas ut enligt ekvation 6.

$$R_{300} = \frac{45000}{D_{0*} \left(\frac{D_0}{D_{30}} - 1 \right)} \quad [\text{Ekv 6}]$$

Det finns olika formler och metoder att räkna på undergrundsmodulen men den vanligaste som används i Sverige är Trafikverkets undergrundsmodul för färdigbyggda vägar, se ekvation 7. Undergrundmodulen kan bestämmas med hjälp av geotekniska mätningar såväl som fallviktsmätning.

Vid fallviktsmätning utnyttjas deflektionen på 900 mm ifrån belastningscentrum.

$$Eu = \frac{52000}{D_{300}^{1.5}} \quad [\text{Ekv 7}]$$

Surface Curvature Index Subgrade, SCI_{SUB}

Från TSD-mätningarna erhålls även SCI_{SUB} (Structural Condition Index Subgrade):

$$SCI_{SUB} = D_{900} - D_{1500} \text{ [}\mu\text{m]} \quad [\text{Ekv 8}]$$

I tabell 4 anges några typiska E-moduler för undergrundsmaterial.

Tabell 4. Exempel på typiska E-moduler för olika undergrundsmaterial.

Material	E-modul [MPa]
Organiska jordar	10 – 25
Ler	5 - 1000
Silt	15 – 45
Sand	30 - 100
Grus	75 - 150
Morän	35 – 500

Passningsräkning

För uträkning av passningen krävs kännedom om vissa parametrar. I PMS-objekt delar man upp sin modell i tre lager, bundet lager, obundet lager och undergrund som är i allmänhet terrassen. Längre ner under terrassen antas en styv yta, (berg).

Bundet lager rekommenderas ha en tjocklek som är halva tjockleken av belastningsplattan, oftast 75 mm. Detta gör det enklare för PMS-objekt att räkna ut E-modulen. För tjocklekar under 75 mm antas en realistisk E-modul med hänsyn till temperatur och sprickor. Obundet lager består oftast av bär – och förstärkningslager med eventuellt skyddslager men i PMS-objekt betraktas detta som ett lager.

Undergrunden står på en fast yta, (berg). Fasta ytan beräknas vara styv med E-modulen 1GPa. För att räkna ut hur långt ner berget är används ofta fallviktens mätningar som deflektionen på olika avstånd. Dessa deflektioner plottas i ett inversavstånd, $(1/r)$ – deflektion diagram.

Information om lagertjocklekar och material kan fås genom olika metoder, exempel på några metoder är upptagning och analys av borrhärdar, GRP (georadarpenetration) och seismisk undersökning.

Nuvarande metoder baseras på linjärelastiska modeller men nya modeller som baseras på viskoelastiska materialegenskaper håller på att utvecklas.

I detta projekt har SCI_{300} , D_0 samt SCI_{SUB} analyserats.

5 FALLVIKTSMÄTNING OCH RULLANDE BÄRIGHETSMÄTNINGAR

Karakterisering av en vägkropps strukturella egenskaper spelar stor roll för att bestämma vägens tillstånd och förväntade livslängd. För att följa upp detta har ett antal olika prov- och analysmetoder för utvärdering av strukturellt tillstånd utvecklats:

- Benkelman Beam (1952)
- LaCroix Deflectograph (1957)
- FWD (Late 1960s →)
- Danish Reflectograph (1972→)
- Curviamètre (1972→)
- Rolling Dynamic Deflectometer (1995→)
- RDT (1992-2006)
- HSD/TSD (2003 →)
- TSD (2010 →)
- RAPTOR (2017 →)



Det råder dock en stor osäkerhet om hur dessa metoder bäst skall användas och analyseras. Det saknas därför en enhetlig metod för att objektivt värdera det strukturella tillståndet för vägar och gator.

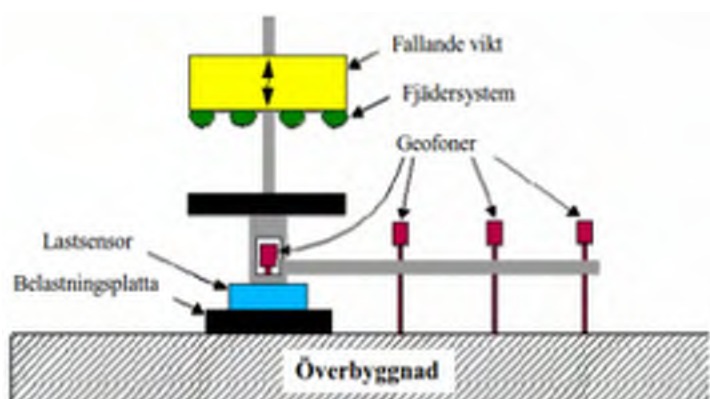
Gemensamt för ovanstående metoder är att de mäter vägytans deflektion för en definierad last. Deflektionen kan mätas statiskt, dynamiskt samt rullande.

Benkelman Beam var den första mätmetoden som utvecklades under 50-talet och utgjordes av en analog mätlocka som mäter deflektionen under en stillastående hjullast. Denna metod förbättrades genom, LaCroix Deflectograph, som kunde utföra mätningar i ca 2–4 km/h. Dessa metoder var en föregångare till Fallviktsmätning (FWD) som är den nu mest använda metoden. Vid FWD släpps en vikt på vägytan samtidigt som deflektionen vid olika avstånd från lasten mäts (se figur 21). I verkligheten är lasten från fordonen rörlig och det är därför bättre att mäta bärigheten under en rullande hjullast. Detta har medfört att intresset för de rullande deflektionsmätningarna ökat i och med att de börjar bli kommersiellt tillgängliga (tex. TSD & RAPTOR). Rullande bärighetsmätning är snabb och kostnadseffektiv metod. På en timme kan man mäta ca 80 km väg eftersom bilen färdas i hög hastighet, (upp till ca 80–100 km/h).

5.1 Fallviktsmätning (FWD)

Fallviktsmätning (FWD) är en statisk/dynamisk test som mäter deflektionen (responsen) när en cirkulär vikt träffar vägytan. Mätningen är en simulering av en tung hjulöverfart genom en dynamisk belastning på ytan, dvs. tunga fordon med viss hastighet. Det som mäts vid belastningen är hastigheten av responsen som man får tillbaka eller deflektionen i belastningspunkten (belastningscentrum). För att få en bra analys av hela sträckan mäts belastningen ett antal mm ifrån belastningscentrum också, på så sätt kan slitlagret och underliggande lagers skick beräknas, se figur 21.

Komponenterna som är typiska för att mäta bärigheten med fallvikt är bland annat ett kontrollsystem, lastvikt och platta, hydrauliskt system och geofoner (sensorer). Dessa komponenter kan monteras på ett fordon eller lastvagn.



Figur 21. Exempel på fallviktsmätning [52].

FWD är idag den vanligaste metoden för att mäta vägkroppens strukturella egenskaper, dvs bärigheten på färdiga vägar. Fallviktsmätning används för alla vägunderlag i Sverige. Fallviktsmätning ger nyttig information om vägens skick, dvs. vägens bärighet i förhållande till trafikmängden. Dessa mätdata kan analyseras för att sedan bestämma vilka åtgärder som behöver göras. Förutom information om vägöverbyggnaden ger fallviktsmätning information om terrassen. Terrassmätningar jämförs sedan med överbyggnadsmätningar för att få information om hela konstruktionen för att kunna dra säkrare slutsatser i beslutsprocessen.

Vid test av färdiga vägar ska normalt belastning på 50 kN användas med en avvikelse på ± 5 procent, denna last motsvarar en standardaxel på 100 kN fördelat över två hjul. Vid terrassmätningar kan man välja andra belastningar från 10 kN till 90 kN. Bärkraftiga vägar som tex betongvägar

bör testas så att deformationerna inte blir för små. En rekommendation är att använda belastningar över 70 kN. Pålastningstiden som definieras av den sammanlagda tid under vilken kraften först ökar från 5 procent upp till sin maximala storlek, dels sjunker ned till 95 procent av detta värde, ska vara minst 10 ms (millisekunder) [51].

På färdiga vägar ska en belastningsplatta på 300 mm i diameter användas för att representera bredden på hjulet på bästa sätt. Denna platta bör ha ett gummiunderlag med tjockleken 5 mm. Gummiunderlägget ska kunna ge god klisterbarhet med vägen så att den inte rör sig, räfflade gummiunderlägg rekommenderas. Segmenterade plattor formar sig efter vägens ojämnheter och erbjuder en jämn lastfördelning eftersom plattan består oftast av två eller fyra delar som tillsammans bildar en cirkulär platta.

Fallviktsmetoden är en bra men långsam metod eftersom det tar tid att analysera data. Även mätningen tar tid, en mätpunkt tar ungefär en minut. Under gynnsamma förhållanden kan ca 3 km väg mätas per timme, om intervallet mellan varje mätning är 50 m. En nackdel med fallviktsmätningar är att vid mätning så är man ibland stänga av gatan och sätta upp skyltar för alternativa vägar. När man mäter bör fordonet vara helt stilla för att sedan sänka plattan och till sist släppa vikten för att mäta bärigheten. I verkligheten är lasten från fordonen rörlig. Tidigare forskning har även visat att främst asfaltens viskoelastiska egenskaper är beroende av både belastningstid och temperatur. Det är därför bättre att mäta bärigheten under en rullande hjullast.

En annan fördel är att man inte behöver störa trafikanterna eller ha personal på vägen vilket alltid innebär en ökad arbetsmiljörisk. Rullande bärighetsmätning sker i hastigheter upp mot 80–100 km/h vilket innebär minimala trafikantstörningar samt förbättrad arbetsmiljö eftersom ingen personal behöver exponeras för trafik. En annan fördel är att bärigheten mäts över hela sträckan och inte bara i några enstaka punkter. I dagsläget erhålls liknande mätdata som för FWD-mätningar.

5.2 Rullande bärighetsmätning, RWD (RDT/HSD/TSD/RAPTOR)

Idén med rullande bärighetsmätning, RWD (Rolling Weight Deflectometer) har funnits länge. Det började på 70-talet i Danmark (Danish Reflectograph), när de första utrustningarna kunde mäta i en hastighet på ca 2–8 km/h

vilket är långsamt jämfört med dagens utrustningar som kan mäta i upp till 80-100km/h.

Utrustningar som mäter deflektionen under ett rullande fördonslast har succesivt utvecklats och förfinats vartefter kraftigare analysverktyg, datorer, sensorer och olika lasersystem blivit tillgängliga. Från början av 2000-talet har en snabb utveckling av rullande bärighetsmätningar skett och sedan 2010 blev kommersiella utrustningar tillgängliga, TSD, som utvecklats av Greenwood Engineering [28]. Dynatest lanserade RAPTOR 2018 [29] som 2020 förvärvades av Ramboll [31].

Kunskap om rullande bärighetsmätningar är relativt begränsad för svenska förhållanden och metoden är fortfarande under utveckling. Denna kunskapsbrist försvårar bredare implementering av tekniken. Det finns därför ett stort behov och potential för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området för både beställare, konsulter och entreprenörer. Det finns därför behov och potential för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området för branschens aktörer, genom att öka tillgången till mer potentiella mätmetoder och förfinade analyshjälpmiddel för att bredda förståelsen för bärigheten i en väggkropp. På sikt bidrar detta till en kunskapsuppbyggnad i hela branschen angående verifiering av vägars bärighet. Genom att kunna identifiera svagare partier i tid kan optimerade drift- och underhållsarbeten planeras och sättas in i rätt tid.

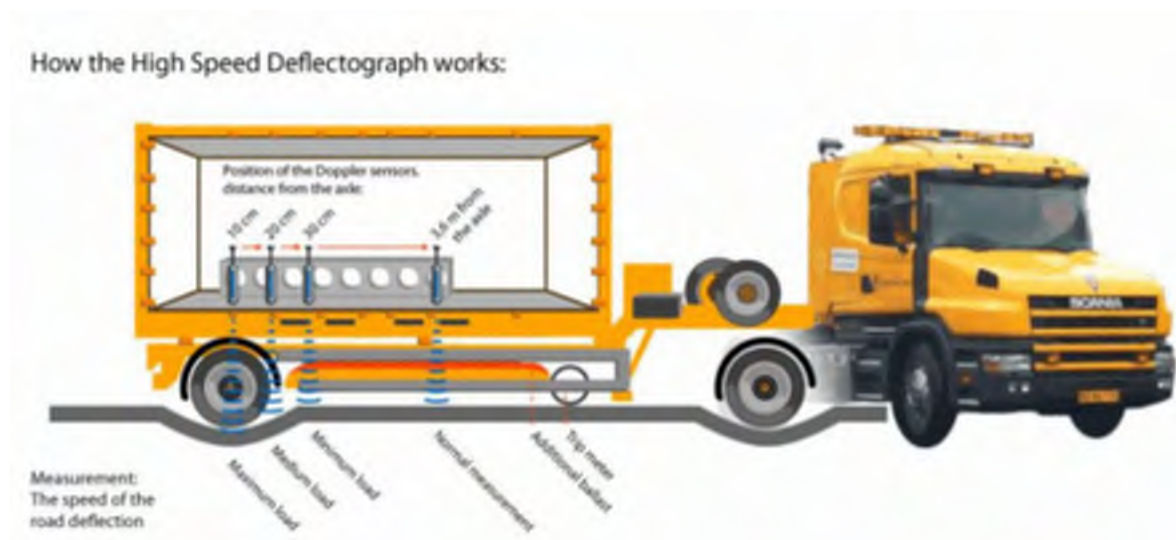
Laser Road Deflection Tester (Laser RDT)

I början av 1990-talet utvecklade VTI på uppdrag av Vägverket en rullande bärighetsmätare, Laser Road Deflection Tester (Laser RDT). Mätningar med denna första prototyp visade att det är möjligt att med hjälp av avståndsmätande lasrar mäta nedböjningen bakom bakhjulen på en tung lastbil rörelse. Denna utrustning var mycket modern och så långt före sin tid att bland annat dåvarande datorkapacitet inte räckte till för nödvändiga analyser. Behovet då var samma som nu, dvs. att få tillgång till bättre och noggrannare bärighetsmätningar. RDT-projektet lades tyvärr ner 2006.

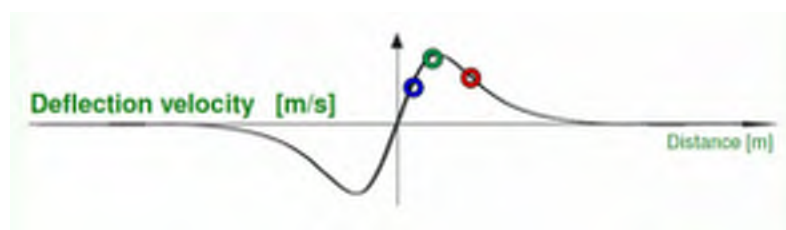
Danska HSD/TSD

Danska HSD/TSD fordonet är en lastbil med en trailer som har en singel axel på 10 ton (100KN) som är standard i Danmark. Eftersom 10 tons axellaster används även i Sverige kan metodiken tillämpas i Sverige. HSD/TSD

använder dopplersensorer för att mäta deflektionen som uppstår av axellasten. Dessa lasrar är placerade enligt figur 22 och fungerar som geofoner. Sensorerna mäter vertikala hastigheten av deflektionen under det högra hjulet, se figur 23. Mätningarna är kontinuerliga deflektionsmätningar.



Figur 22. Danska HSD / TSD

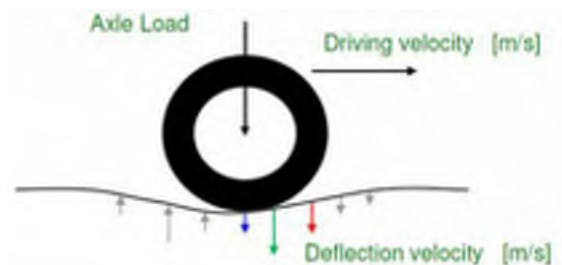


Figur 23. Diagram av mätt deflektionshastigheten [53]

De första resultaten som fås ut av HSD/TSD är information om lutningarna längs med vägen, (slopes). Dessa lutningar definierar hur vägytan ser ut. Horisontella lutningar (värdet noll), indikerar en hård yta. Helt vertikala lutningar indikerar att vägen är sprucken eller skadad. Genom att ha kunskap om dessa lutningar kan vägen bedömas för sprickbildning eller deformationer. Dessa lutningar räknas slutligen om till deflektioner vid olika avstånd från centrum. Analys av bärigheten görs med hjälp av deflektions data och lutningar samt olika bärighetsmått (D_0 , SCI_{300} , SCI_{SUB} m.fl.)

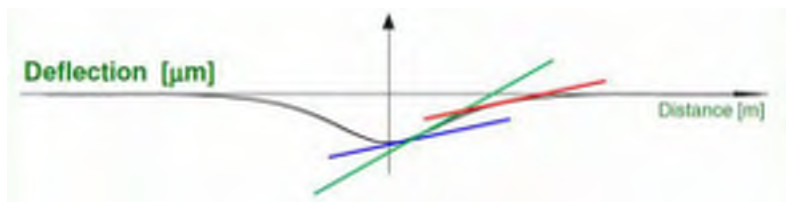
Dopplersensorerna mäter framför allt deflektionshastigheten i stället för förskjutningen av ytan. Principen är det att man mäter direkt under däck

och ett antal millimeter framför. Figur 24 visar deflektionshastigheten under ett rullande hjul.



Figur 24. Princip av deflektionshastighet [54]

Deflektionshastigheten redovisas i diagram för bättre förståelse, se figur 23. Deflektionslutningen bestäms av deflektionshastigheten dividerad med körhastigheten. Eftersom lutningen på deflektionen, se figur 25, är derivatan av förskjutningen kan förskjutningen bestämmas. Detta innebär att deflektioner på olika avstånd från lasten kan beräknas.



Figur 25. Deflektionen, tangent av lutningen [53]

Traffic Speed Deflektometer TSD

Traffic Speed Deflektometer utrustning (TSD) är en vidareutveckling av HSD/TSD (som presenterades ovan). Den senaste versionen av TSD som utvecklats av Greenwood har systemet kompletterats med bakom axellasten (det belastade hjulet), se figur 26. Detta möjliggör att viskoelastiska egenskaper hos överbyggnaden mäts och kan analyseras. Denna utrustning förväntas att ge betydligt djupare kunskap om vägars inneboende bärighet. På grund av unika egenskaper verkar TSD vara mycket effektiva vid utvärdering av bärighet på vägnätsnivå, särskilt vid snabb och exakt identifiering av svaga partier/avsnitt av vägar. Tack vare mycket hög effektivitet kan TSD täcka stora vägnät, så informationen om bärighet för hela nätet är alltid uppdaterad.

TSD mäter små deflektioner i storleksordningen 1 mm som svar på den 10 ton lastade semitraileraxeln. Dopplersensorerna mäter det reflekterade laserljusets frekvensförskjutning enligt beläggningsnedsjunkningshastighet. Sensorerna är monterade på en stel balk, som visas i figur 27, så att sensorerna rör sig tillsammans. Tröghetssensorer är monterade på balken för att övervaka dess rörelser. En doppleraser mäter hastigheten i ljusstrålens riktning. Det finns även lastsensorer som mäter axellasten. Det finns ett inbyggt kontrollsystem som medför att om någon av sensorerna mäter värden utanför specificerade gränser så erhålls inget mätvärde. Exempel kan vara mätningar på våt körbana, lägre eller högre hjullast orsakad av dynamiska effekter, vindeffekter som påverkar lastdistributionen (tex. pitch/roll).

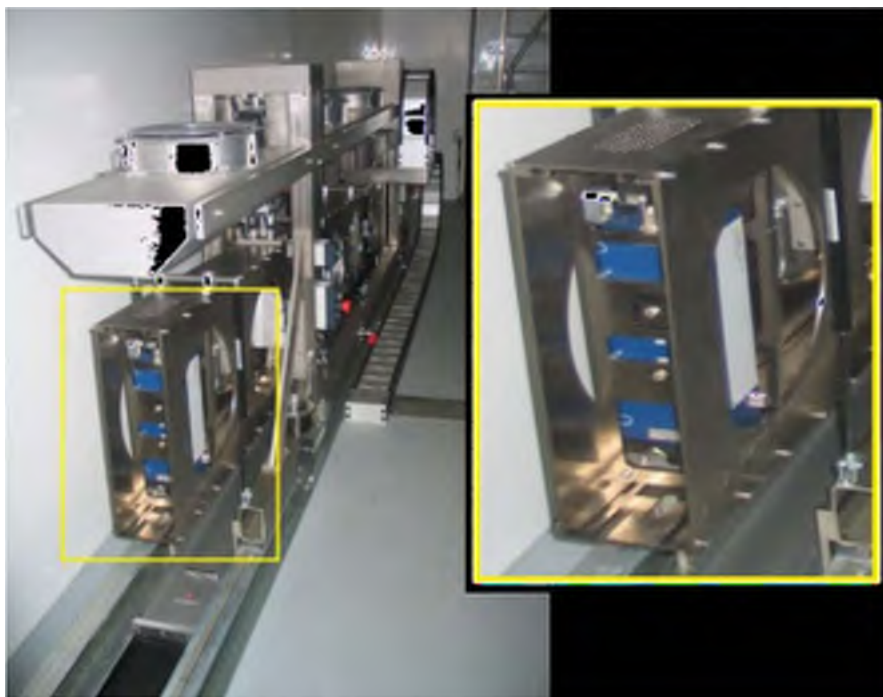
TSD-mätningar är snabbare än traditionella metoder för bärighetsanalyser. Detta leder till mindre kostnader för samma arbete. Beroende på vilket underlag mätningarna görs kan fordonet färdas i relativt höga hastigheter. På släta underlag kan TSD köras i 80–100 km/h och ändå ge signifikanta mätresultat, men det är ovanligt med hastigheter över 90 km/h. Vanlig hastighet är ca 80 km/h för att få så homogena resultat som möjligt. Minsta hastighet är begränsad till 40 km/h, vid lägre hastigheter kan resultaten bli mindre noggranna.

Det är viktigt att temperaturen i lastvagnen (släpet) kan hållas konstant för att erbjuda optimal komfort för både personal och lasersensorer oavsett temperatur på utsidan. Då mätningen sker utan personal ute på vägen som exponeras för trafik är metoden mycket säker. TSD kan kombineras med andra mätinstrument för att få annan information som krävs till efterbearbetningen, tex IRI, GPR, Lidar, LCMS cameras etc.

Den polska TSD maskinen är i dagsläget en av den mest uppdaterade/avancerade RWD-utrustningarna, enligt Greenwood. Utförda mätningar i projektet har framför allt utförts med denna utrustning. I figurerna nedan, 26–29, visas utseendet av lastbilen, lasrarna och hur det ser ut när lasrarna är aktiva.



Figur 26. Polska TSD utrustningen.



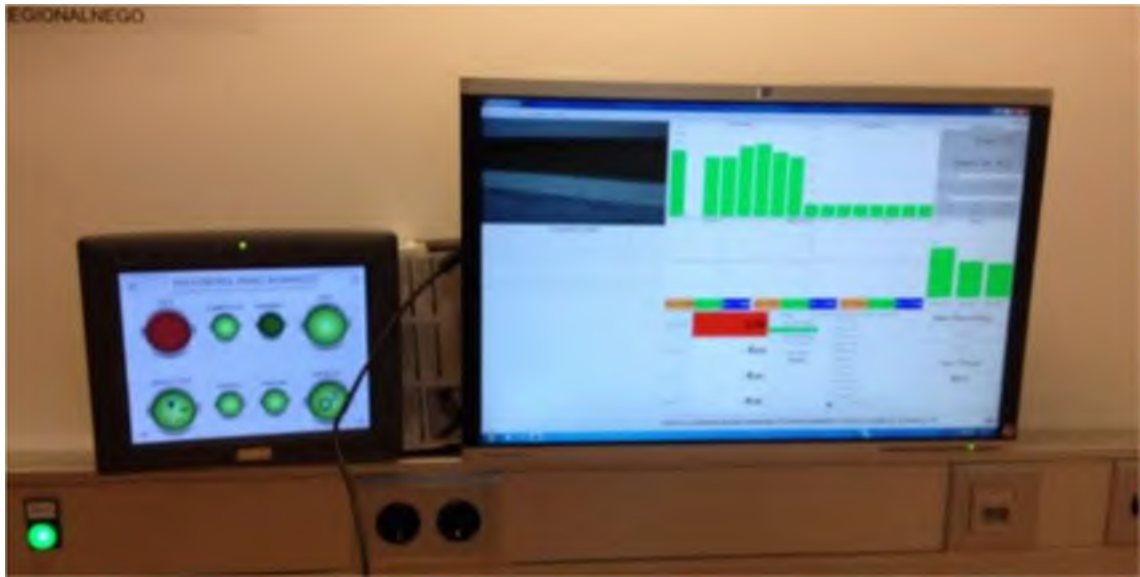
Figur 27. Illustration av mätutrustning i den tempererade lastvagnen.



Figur 28. Illustration av de aktiva lasrarna.

Innan mätningen påbörjas kalibreras utrustningen. Detta görs på två sätt. Först kalibrering utan ballast. Det innebär att man kör över en betongväg för att här kan den vertikala deflektionshastigheten försummas eftersom deflektionerna är väldigt små. Lasrarnas visar värden på deflektioner som är noll därmed kan laservinklarna kalibreras. Sedan gör man en geometrisk kalibrering. Detta innebär att lastbilen körs på en väg med varierande jämnhet, när de vertikala lutningarna och den horisontella längden beräknats kan vinklarna korrigeras till referenslasern.

Utrustningen som tidigare nämnts finns i lastvagnen och består av sex stycken lasrar som är kopplade till lastbilen där det kan kontrolleras av operatören. Operatören kan välja vad som ska mätas. Personal som krävs för att sköta fordonet är en förare och en TSD operatör. Under mättiden får ingen vara närvarande i lastvagnen eftersom temperaturen måste hållas konstant. Uppmätt data gör det möjligt att uppskatta deflektionen kontinuerligt. Datainsamlingen kan därefter bearbetas i särskilda program. Figur 29 visar mätutrustningen som finns inne i lastvagnen och vid passagerarsidan i själva lastbilen. Denna utrustning kontrolleras vid passagerarsidan när lastbilen gör mätningar.



Figur 29. Datorskärmar inne i TSD-lastvagnen.

Inom ramen för detta projekt har olika vägar i Sverige mätts med en TSD-utrustning av Polska IBDiM.

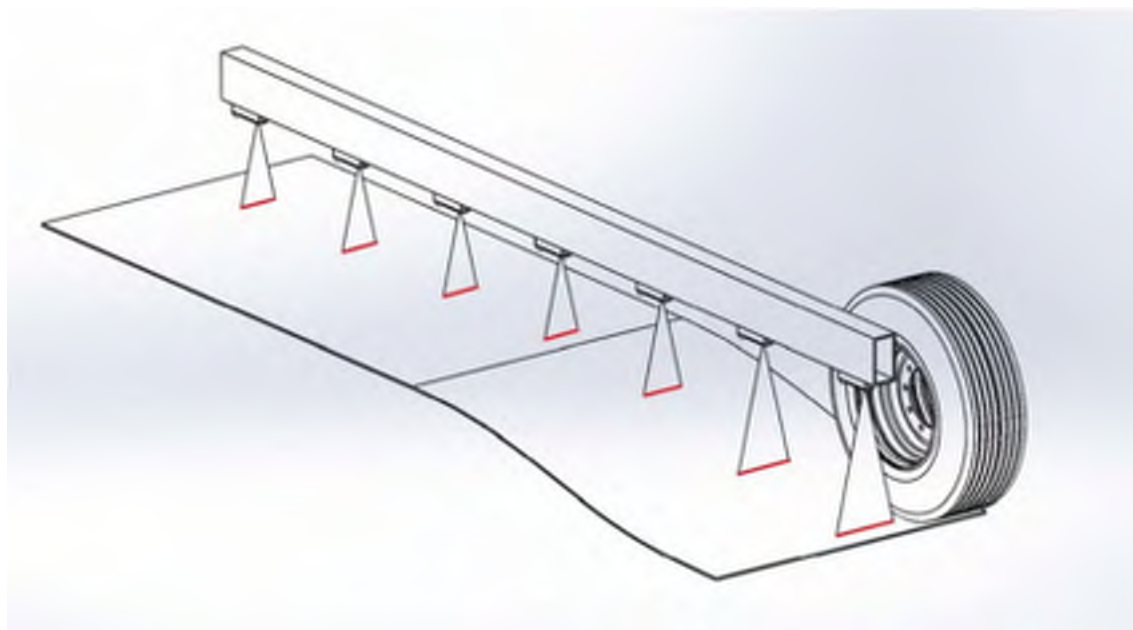
Rullande bärighetsmätning (RAPTOR)



Figur 30. RAPTOR vid mätningar i Sverige.

Sedan 2011 har Dynatest utvecklat en ny modern RWD-rutrustning kallad RAPTOR (Rapid Pavement Tester), se figur 30. Dynatest lanserade RAPTOR 2018. Under 2020 förvärvade Ramböll RAPTOR.

Principen för RAPTOR är liknade den för TSD även om olika lösningar skiljer dem åt. När TSD använder dopplerlaser använder RAPTOR linjelasrar, se figur 31.



Figur 31. Principskiss över linjelasrar hos RAPTOR.

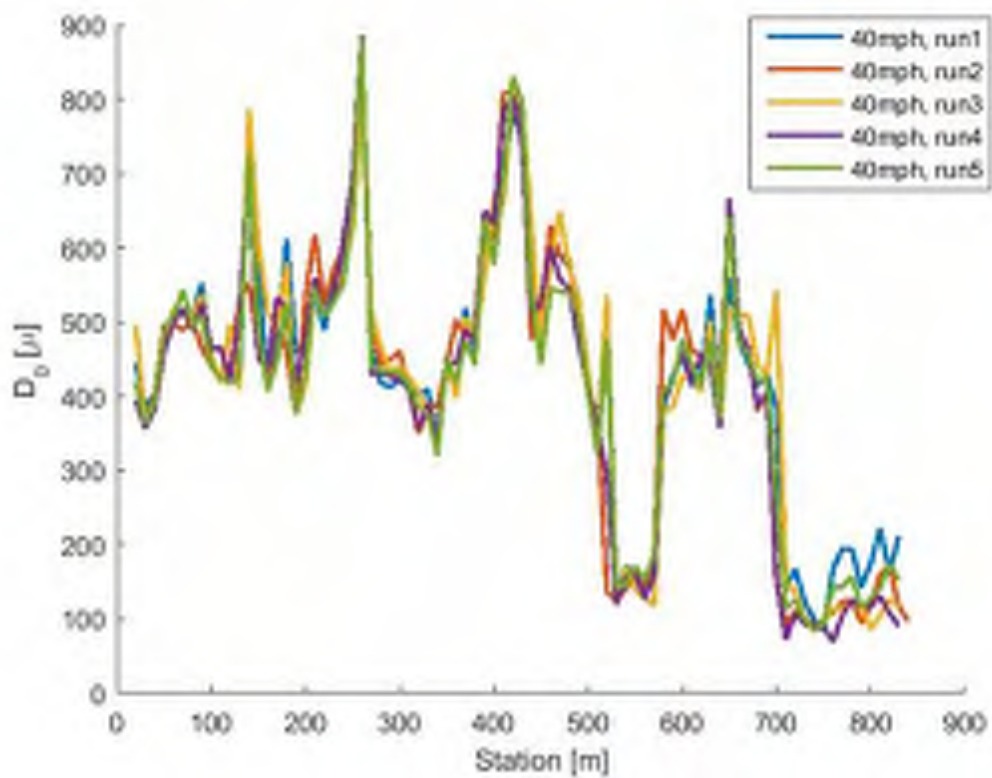
Mätning kan utföras mellan 2 och 100 km/h. Höjden på utrustningen är ca 3,35 meter. Bredden är 2,5 meter och längden 9,5 meter. Axellasten kan varieras mellan 6 och 10 ton [32].

Inom ramen för detta projekt har en mätning med RAPTOR utförts på Rv40.



Figur 32. RAPTOR mätutrustning.

Nedan ges exempel på RWD-mätningar (TSD och RAPTOR), Figur 33 till 39.



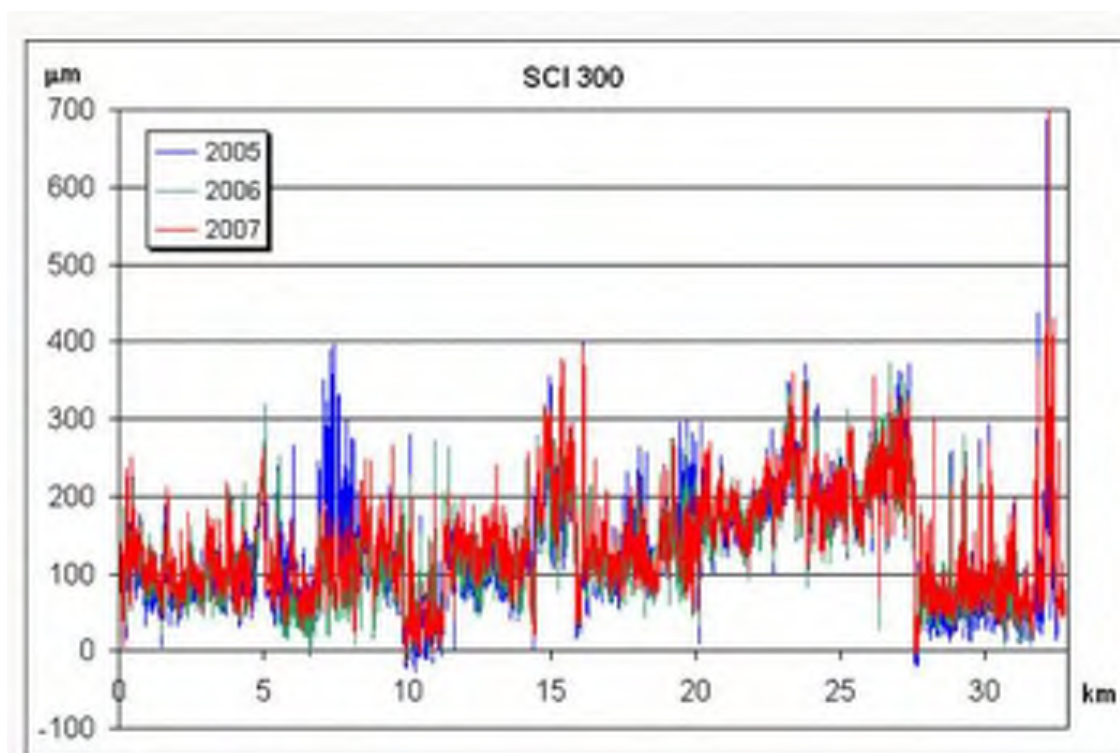
Figur 33. Exempel på repeterbarhet RAPTOR [32].

Figur 33 visar ett exempel på god repeterbarhet som uppnås med RDW.

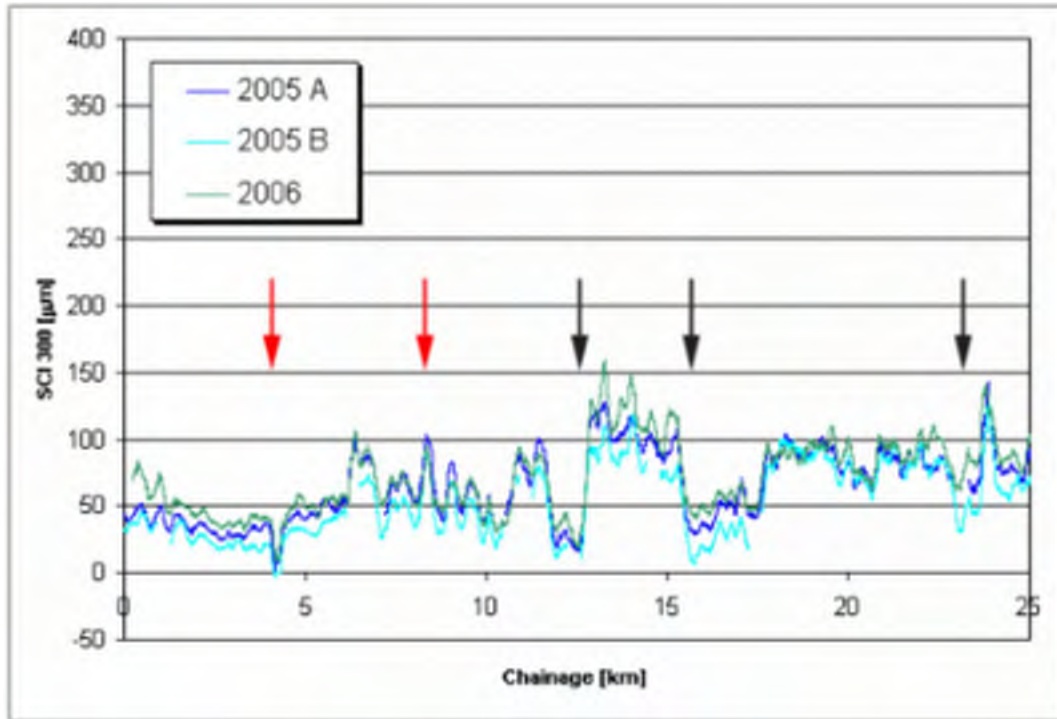
Under 2005 och 2006 mättes det statliga danska vägnätet, ca 3300 km, med TSD under 10 dagar respektive år, två mätningar gjordes 2005 och en 2006.

Figur 34 visar resultat från mätningar 2005, 2006 och 2007. Det kan observeras att någon typ av belägningsåtgärd är utförd mellan 2005 och 2006 (ökad bärighet) vid sektion km7. SCI_{300} sjönk från ca 400 till 200 μm . Detta är ett bra exempel på hur RWD kan användas för att identifiera svaga vägpartier och hur lämplig åtgärd kan återställa erforderlig bärighet.

Figur 35 visar tre linjer, data från juni 2005 är blått, data från juli 2005 är ljusblått och data från september 2006 är grön. Grafen visar bra repeterbarhet, de små skillnaderna kan bero på temperaturvariationer mellan mätningarna [28].

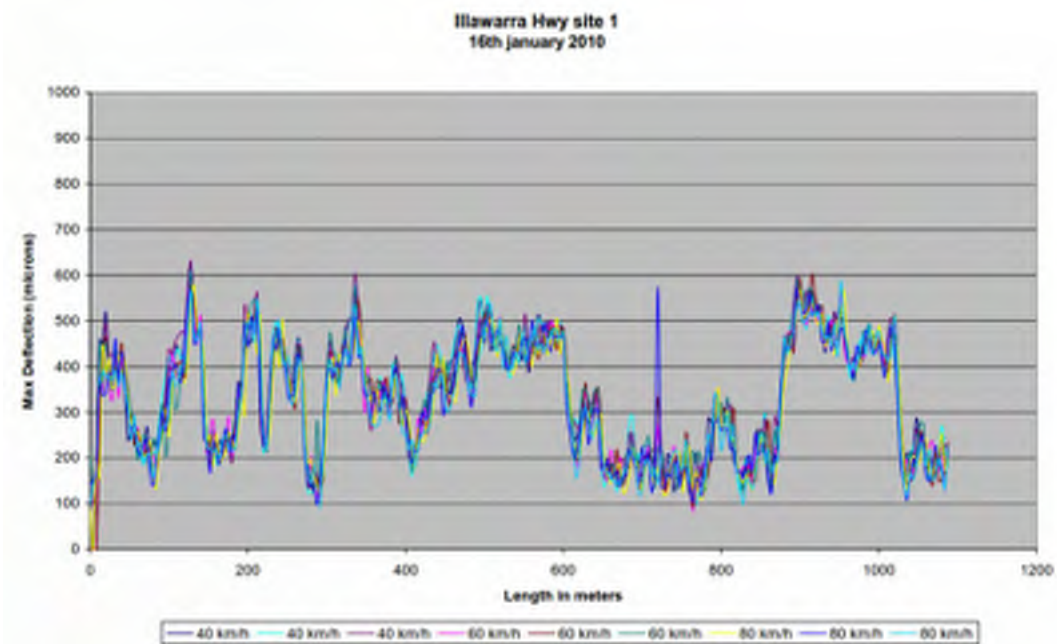


Figur 34. TSD mätningar över tid [28].



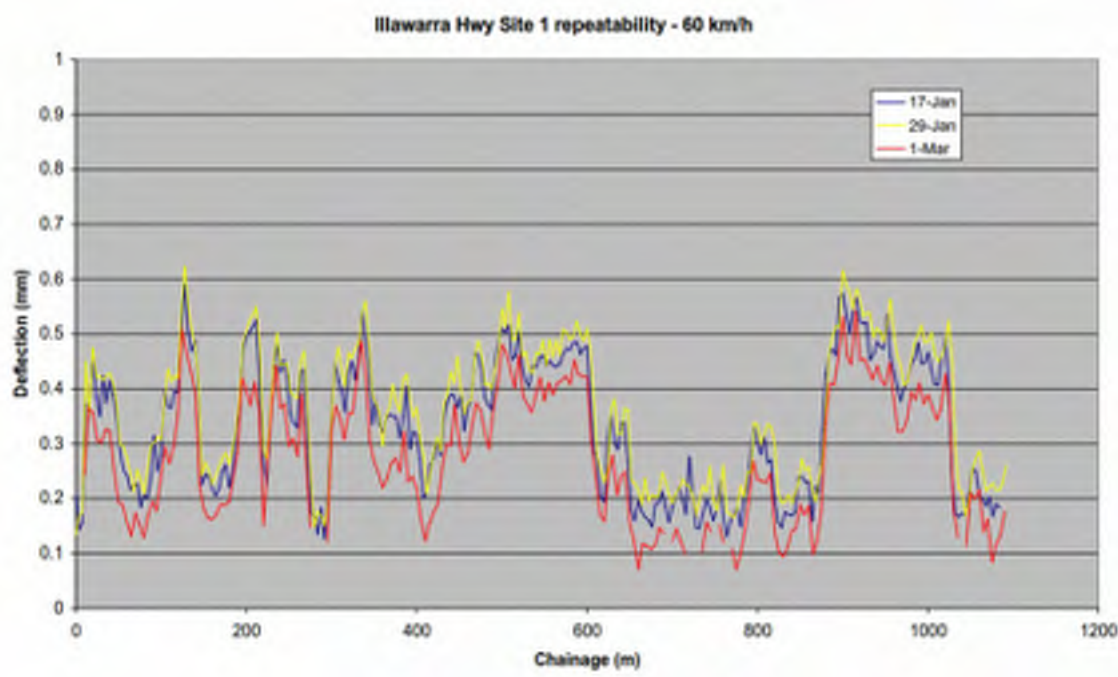
Figur 35. Exempel på danska mätningar 2005 och 2006 [28].

I Australien har mätningar gjorts med TSD och där ville man visa hur de mätresultaten skiljer sig vid olika hastigheter. På en och samma sträcka gjordes nio mätningar med tre olika hastigheter (40/60/80 km/h), detta illustreras i figur 36. Nämnvärt är att skillnaden inte är så stor mellan dessa mätningar [53].



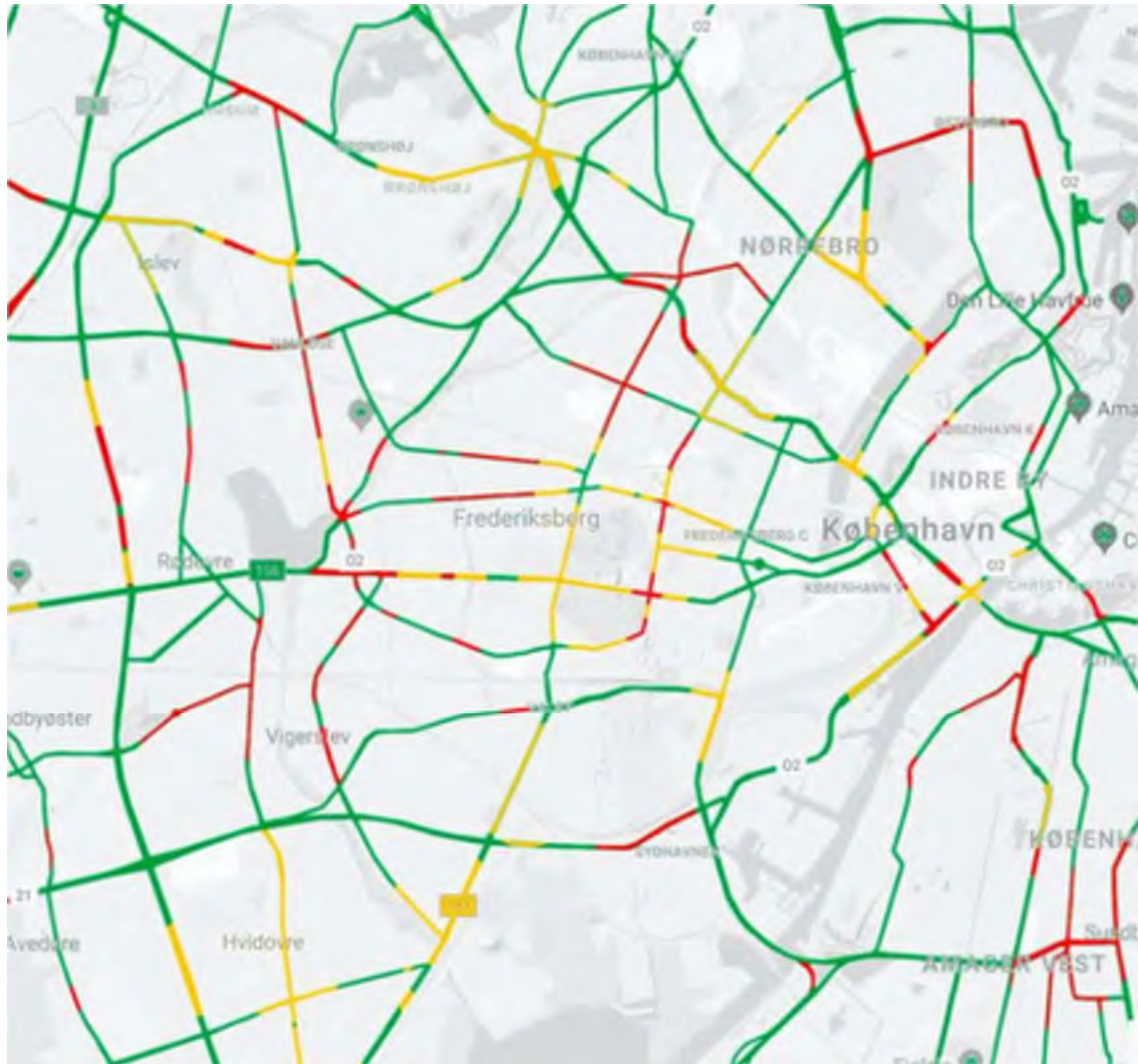
Figur 36. Exempel på 9 mätningar på samma sträcka [53].

Beroende på årstid och temperatur i luften kan styvheten i marken ändras. Mätningar av kvalitetskontroll som gjordes i Australien visar att i januari var markstyvheten sämre än i mars då temperaturen minskat. I Australien är årstiderna motsatta Sveriges därför minskningen av temperaturen. I figur 37a visas resultatet, man kan notera att formen på linjerna är likadana men med lite nivåskillnader och detta beror på att det är olika temperaturer på vägytan/asfalten [53].



Figur 37a. Exempel på mätningar vid olika temperaturer [53].

Dessa mätningar indikerar vikten av att beakta temperaturskillnader och gradienter vid mättillfällena. Detta är speciellt viktigt när jämförelser mellan mätningar utförda under olika år och årstider.



Figur 37b. Exempel på mätningar vid olika temperaturer [28].

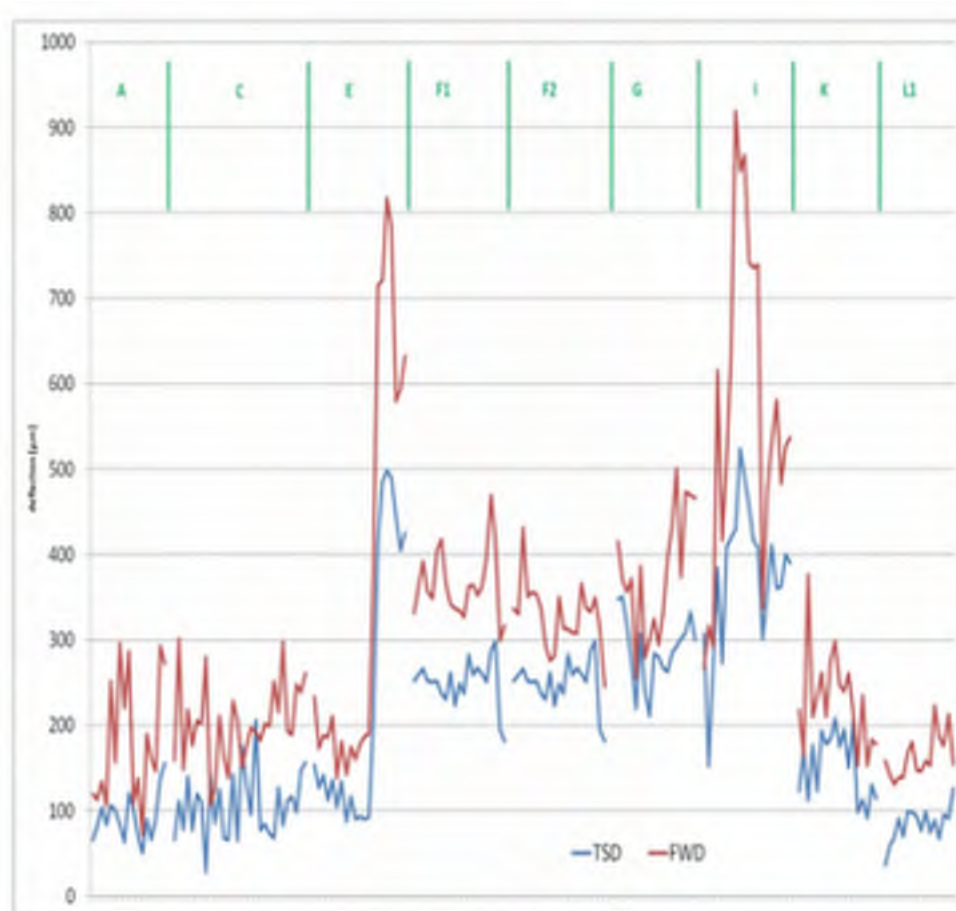
Figur 37b ger ett exempel på hur mätdata översiktligt kan presenteras för att prioritera och planera underhållsåtgärder för vägnätet [28]. Grön färg indikerar god bärighet och röd låg bärighet. Med denna typ av information som beslutsunderlag är det möjligt att optimera och utföra rätt åtgärd vid rätt tidpunkt.

5.3 Jämförelse mellan FWD och RWD

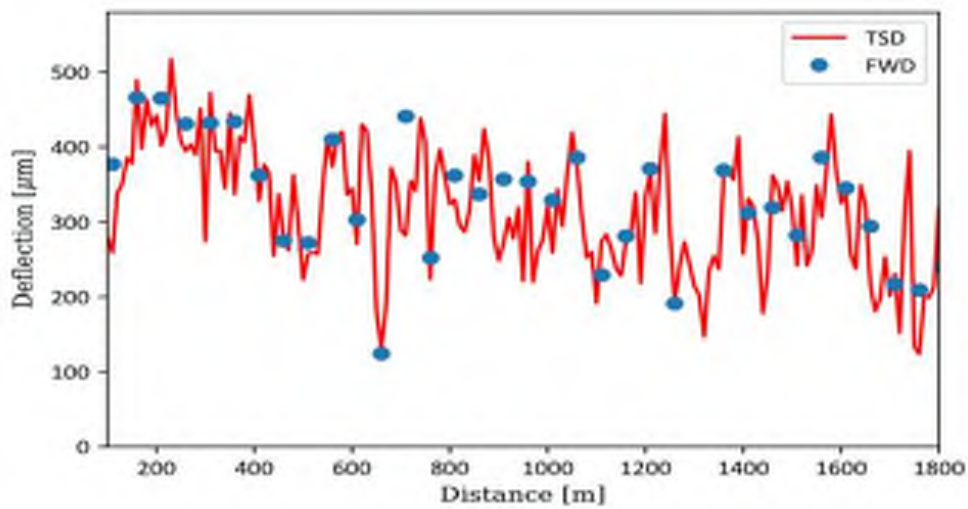
Under årens lopp har många jämförelser utförts mellan FWD och RWD mätningar, metoderna för jämförelsestudier var alla olika men alla syftade till att svara samma fråga, dvs "erhålls samma strukturella information av de två metoderna?" Först och främst är det viktigt att titta på skillnaderna mellan de två principerna: FWD-testet utförs stationärt med intervaller

skräddarsydda för antingen projekt eller nätverksnivå, vanligtvis mellan 50 och 200 meters intervall. FWD är för närvarande den metod med längst historia för strukturell utvärdering och därför den mest använda anordning för bärighetsundersökningar, detta trots de uppenbara nackdelarna, särskilt för nätverk nivåbedömning. RWD-mätningar sker under en rullande hjullast.

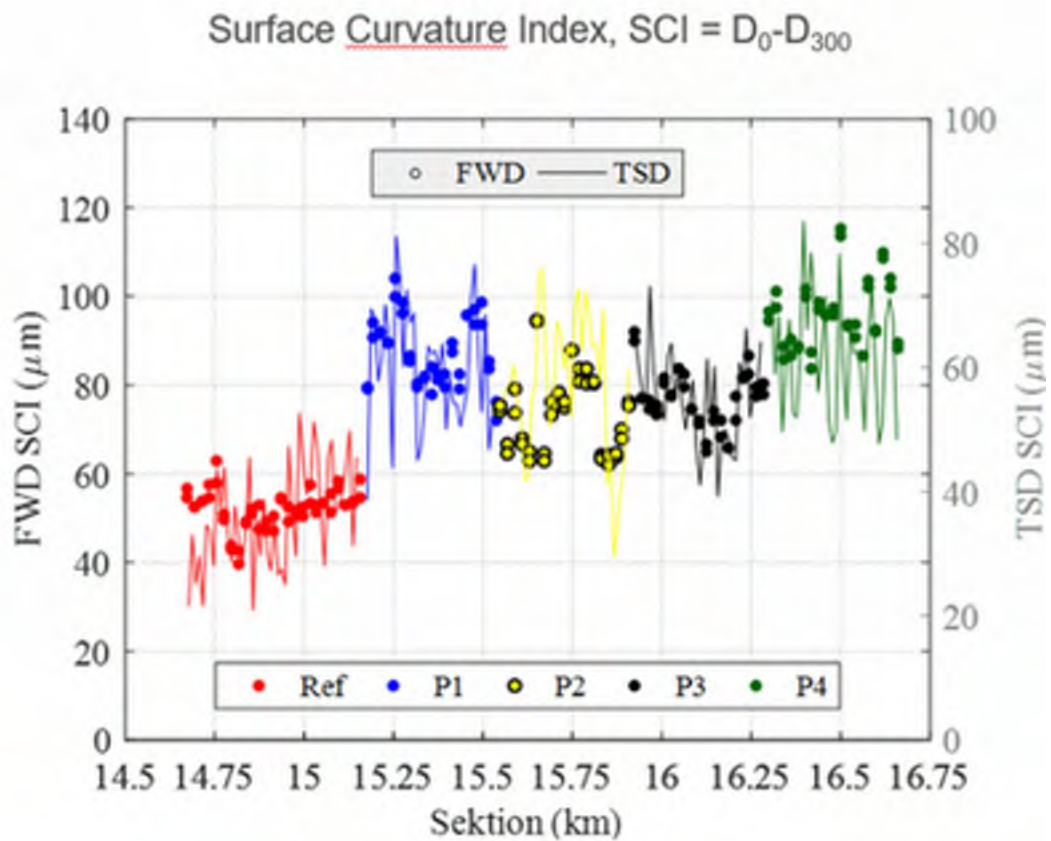
RWD mätningar har jämförts med FWD mätningar över en lång sträcka för att fastställa hur RWD överensstämmer med andra metoder. Resultatet visade att RWD visar bra korrelation till FWD, se figur 38–39.



Figur 38. Exempel på jämförelse mellan TSD och FWD mätning [53].



Figur 39. Jämförelse mellan TSD och FWD [28].



Figur 40. Jämförelse mellan TSD och FWD [54].

Det är tydligt att RWD-data och FWD-data ger liknade resultat när enkla bärighetsmått, enligt kap. 4.1, jämförs.

6 RESULTAT

6.1 Litteraturöversikt

HCT-Fordon

Sverige har en lång tradition av längre och tyngre fordon i förhållande till andra länder. I Sverige har sedan 2006 ett antal initiativ startats för att testa och utveckla längre och tyngre fordon, s.k. HCT-fordon (High Capacity Transport). Syftet har varit att led i försöken att sänka kostnader och minska CO₂-utsläpp genom effektivare landsvägstransporter. 2018 infördes en ny bärighetsklass som tillåter maximala fordonsvikter upp till 74 ton.

Längre och tyngre fordon har potential att minska bränsleförbrukning, växthusutsläpp samt transportkostnader. Försök med HCT-fordon har påvisat att de kan bidra till ökad transporteffektivitet. Studier visar att dieselförbrukningen minskar med ca 7–20 procent (enskilda fordon upp mot 40 procent) vilket innebär en minskning av CO₂ utsläppen i samma omfattning. Vidare har antalet fordon minskar med ca 35 procent. I och med en minskning av antalet tunga fordon antas en ökad trafiksäkerhet (antaget att olycksrisken per fordon är konstant). Dessutom visar studier att transportkostnader kan minska med 5–20 procent. Det har även visats att det finns stora samhällsvinster att snabba på införandet av längre och tyngre fordon på det svenska vägnätet. Potentialen att minska utsläpp ökar ju fler vägar som upplåts för BK4.

Det är allmänt känt att vägöverbyggnader framför allt bryts ner av trafik och klimatlast. Om påkänningen i vägen blir större än vad överbyggnaden och materialen kan klarar av går vägen till brott. Vägen bryts även ner fortlöpande för varje fordonspassage. Antalet laster och dess storlek påverkar nedbrytningshastigheten. Även om forskning har visat på effekten av hastighet, temperatur och frekvens på lasten så antas vanligtvis att fler axlar med samma last inte påverkar vägens nedbrytning [11, 12, 26]. Detta är möjligen en bra approximation för betongvägar men inte för tjockare asfaltöverbyggnader och HCT-fordon med multipla hjul- och axellaster i kombination med höga temperaturer och långsamtgående fordon.

För att inte öka nedbrytningen och minska de positiva egenskaperna med HCT-fordon bör vägnätet analyseras så att svagare partier kan identifieras och potentiellt förstärkas för tyngre och längre fordon.

6.2 Rullande bärighetsmätning

Rullande bärighetsmätning (RWD) är en teknik som succesivt förfinats sedan 70-talet och nu finns det ett antal olika mätutrustningar tillgängliga på marknaden som tidigare beskrivits i kap 5.2. Gemensamt för dessa utrustningar är att de mäter deflektionen under en rullande hjullast. Kunskapen om rullande bärighetsmätningar är relativt begränsad för svenska förhållanden vilket försvårat en bredare implementering av tekniken. Det finns därför behov och potential för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området för branschens aktörer. Genom att öka tillgången till mer potentiella mätmetoder och förfinade analyshjälpmiddel erhålls en bredare kunskap och bedömning av bärigheten i en vägkropp. Detta möjliggör identifikation av svagare partier i tid och man kan därmed optimera drift- och underhållsåtgärder så att dessa kan planeras och sättas in vid rätt tidpunkt.

Inom ramen för föreliggande arbete har rullande bärighetsmätningar genomförts för att utvärdera RWD och samtidigt få en holistisk bild över bärigheten för en variation av mätta överbyggnadstyper.

6.2.1 Lokalisering av genomförda bärighetsmätningar - fallstudier

Totalt har ca 400 mil analyserats för ett antal olika vägsträckor som översiktligt redovisas i tabell 5. Mätresultat och översiktskartor över mätsträckorna är redovisade i bilaga 1. Mätningar har främst utförts i Sverige men RWD-data har kompletterats med mätningar utförda i Polen, USA och Norge för att få en omfångsrikare datamängd att analysera.

Tabell 5. Utförda mätningar och analyser av rullande bärighetsmätningar (RWD).

1	E22	K1	S	Tollarp-Fogdarp	57	111	K1	N/S	111 Viken (N/S)
2	Väg 17	K1	V	Fogdarp-Landskrona	58	111	K1	S	111 Viken (S)
3	E6	K1	N	Landskrona-Tpl Kropp	59	Rv60	K1	N	Tpl Mjökby-Askersund
4	E4	K1	N	Lagan-Värnamo	60	Rv60	K1	N	Askersund-Tpl Brändåsen (E20)
5	E4	K1	N	Värnamo-Tpl Stigamo	61	E20	K1	N	Tpl Brändåsen (E20)-Örebro
6	E4	K1	N	Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern	62	240	K1	N	Molkom/Uvanå (N)
7	E4	K1	N	TPL Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum	63	ÖSV	K1	S	Uvanå/Geihersholm (S)
8	E4	K1	S	TPL Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)	64	245/246	K1	S	245/246 Hofors (S)
9	E4	K1	S	Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)	65	Rv62	K1	N	Rv62
10	Rv 40	K1	V	Ulricehamn-Hössnamotet	66	E45	K1	S	Rv62/E45 Torsby
11	Rv 40	K1	V	Hössnamotet-Kyllaredsmotet (norr om)	67	ÖSV	K1	S	Gräsmarksvägen Torsby-Sunne (S)
12	Rv 40	K1	Ö	Kyllaredsmotet (norr om)-Dalsjöförsmotet	68	241	K1	Ö	Sunne-Munkfors
13	Rv 40	K1	Ö	Dalsjöförsmotet-Hössnamotet	69	E18	K1	Ö	E18 Karlstad (Ö)
14	Rv 40	K1	V	Hössnamotet-Ulricehamnsmotet	70	E18	K1	V	E18 Karlstad (V)
15	Rv 40	K1	Ö	Ulricehamnsmotet-Rasta	71	E18	K1	Ö	E18 Karlstad (förbifart)
16	Rv 40	K1	Ö/S	Ulricehamn Rasta-Tpl Råslätt (söder om)	72	E18	K1	Ö	E18 Karlstad (Ö)
17	E4	K1	N	TPL Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)	73	E18	K1	Ö	E18 Kristinehamn (Ö)
18	E4	K1	N	Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra	74	E18	K1	V	E18 Hallstahammar (Ö)
19	Rv 50	K1	N	Tpl Mjölby Västra-Motala Centrum	75	E18	K1	Ö	Västerås-Sagån (Ö)
20	Rv 50	K1	S	Motala Centrum-Tpl Mjölby Västra	76	E18	K1	V	Sagån-Västerås (V)
21	E4	K1	N	Tpl Mjölby Västra-Linköping (norr om)	77	Rv 55/56	K1	S	Rv56 Katrineholm (K1S)
22	E4	K1	N	Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats	78	Rv 55/56	K1	N	Rv56 Katrineholm (K1N)
23	E4	K1	N	Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping	79	Rv 55/56	K1	S	Rv56 Katrineholm (K2S)
24	Rv 55/56	K1	N	Tpl Lodbj-Strängsjö	80	E4	K1	S	E4 Norrköping-Mjölby (S)
25	Rv 55/56	K1	N	Strängsjö-Katrineholm	81	E4	K1	S	E4 Gränna (S)
26	Rv 55/56	K1	S	Katrineholm-Jansberg	82	E4/Rv40	K1	S/V	Jönköping-Strängsered (V)
27	Rv 52	K1	N	Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp	83	Rv40	K1	V	Rv40 (V)
28	Rv 52	K1	N	Rude/Baggetorp-Vretsta	84	Rv40	K1	Ö	Rv40 (Ö)
29	E20	K1	S	Anderstorp-Tpl Brodderud	85	Rv40	K1	Ö	Rv40 (K1Ö)
30	E20	K1	S	Anderstorp-Hova (söder om)	86	Rv40	K1	Ö	Rv40 (K2Ö)
31	E20	K1	N	Hova (söder om)-Anderstorp	87	Rv40	K1	Ö	Rv40-Raptor (Ö)
32	E20	K1	N	Anderstorp-Tpl Vretstorp	88	A1	K1	N	Torun-Gdansk
33	E20	K1	N	Tpl Vretstorp-Tpl Munkatorp	88	A1	K2	N	Torun-Gdansk
34	E18	K1	N	Tpl Munkatorp-Tpl Arboga	88	A1	K1	S	Gdansk-Torun
35	E20	K1	Ö	Arboga Östra Broleden-Tpl Marielund	88	A1	K2	S	Gdansk-Torun
36	E20	K1	Ö	Tpl Marielund-Tpl Härad	89	I66	K1	Ö	US 29 Lee Hwy Centerville-I495
37	E20	K1	V	Tpl Härad-Tpl Marielund	89	I66	K2	Ö	US 29 Lee Hwy Centerville-I495
38	E20	K1	V	Tpl Marielund-Arboga Östra Broleden	89	I66	K3	Ö	US 29 Lee Hwy Centerville-I495
39	E18	K1	Ö	Tpl Västjädra-Tpl 140	89	I66	K4	Ö	US 29 Lee Hwy Centerville-I495
40	E18	K1	V	Tpl 140-Tpl Västjädra	89	I66	K1	V	I495-US 29 Lee Hwy Centerville
41	Rv 55	K1	N	Enköping (Listena)- Tpl 188	89	I66	K2	V	I495-US 29 Lee Hwy Centerville
42	E4	K1	S	Tpl 188-Tpl Brunnby	89	I66	K3	V	I495-US 29 Lee Hwy Centerville
43	E4	K1	N	Tpl Brunnby-Sävasta	89	I66	K4	V	I495-US 29 Lee Hwy Centerville
44	E4	K1	S	Sävasta-Tpl 188 (Söder om)	90	Rv4	K1	S	Lygna-Reinsvoll
45	240	K1	N	Molkom-Hagfors	91	Rv4	K1	S	Lygna-Hunddalen
46	Rv 62	K1	N	Hagfors-Björby	92	Fv512	K1	N	Nerskogvejjen-North
47	E45	K1	S	Björby-Torsby	-	PL	K1	N	Poland Highway
48	Rv 61	K1	N	Finneback-Arvika (norr om)	-	PL	K1	N	Poland Highway
49	Rv 61	K1	N	Arvika (norr om)-Åtmotfors	-	PL	K1	N	Poland Highway
50	E6	K1	S	Tanumshede (S)	-	PL	K1	N	Poland Provincial road (New)
51	E6	K1	N	Tanumshede (N)	-	PL	K1	N	Poland Provincial road (New)
52	E6	K1	S	Munkedal (S)	-	PL	K1	N	Poland Provincial
53	E6	K1	S	Stenungsund (S)	-	PL	K1	N	Poland Provincial
54	ÖSV	K1	N	Nösslinge (N)	-	PL	K1	N	National Road
55	ÖSV	K1	S	Nösslinge (S)	-	PL	K1	N	National Road
56	ÖSV	K1	N	Nösslinge (N)	-	PL	K1	N	Service Road

I Sverige har totalt 86 enskilda mätningar genomförts under tidsperioden 2015 - 2020 där relevant mätdata erhållits. Mätsträckorna har bestått av vägar med betong- respektive asfaltöverbyggnad med varierande ålder och trafikbelastning. Några mätningar har utelämnats då dessa inte gett några resultat pga. bristande förhållanden vid mättillfället, så som, våt vägbanan, låga temperaturer, dynamiska effekter mm. De svenska mätningarna genomfördes av IBDiM (Polskt forskningsinstitut) med deras TSD-utrustning (se figur 26). En kompletterande mätning, mätning nr 87, utfördes i Sverige på Rv40, 2017. Mätningen genomfördes av Dynastest med deras RAPTOR-utrustning (se figur 30).

Mätsträckornas längd varierar mellan ca 260 m till ca 86 km. Medellängden för mätta sträckor har varit ca 3 km och genomfördes på olika vägtyper enligt nedan:

- Europavägar; E4, E6, E18, E20, E22 och E45
- Riksvägar; Rv17, Rv 40, Rv 50, Rv 52, Rv 55/56, Rv 61 och Rv 62
- Landsvägar; 111, 240, 241, 245/246
- Övriga småvägar (ÖSV); Nösslingevägen, Uvanå/Geiersholm, Gräsmarksvägen

Mätsträckorna har valts utifrån vägtyp och trafikbelastning för att få en så generell översiktssbild av variationen mellan vägtypernas strukturella tillstånd. Vägsektioner som innefattades i fallstudien har varierande bärighetsklass.

I Polen genomfördes mätningar på A1 (Gdansk-Torun, 2 körfält i vardera riktningen) 2013 och 2022. Mätningarna genomfördes av IBDiM med samma utrustning som används vid mätningarna i Sverige. A1 är en ca 151 km lång motorväg som projekterades och byggdes av ett konsortium, GTC, Gdansk Transport Company, som ett Public Private Partnership projekt, PPP. Motorvägen öppnades för trafik 2008. GTC skall driva och förvalta motorvägen till 2039.

I USA har mätningar genomförts på I66 (US 29 Lee Hwy Centerville-I495, alla 6 körfält) 2016 av Greenwood. I studien innefattas även 3 mättillfällen som är genomförda i Norge. Mätningarna utfördes 2017 av Dynatest med RAPTOR-utrustningen.

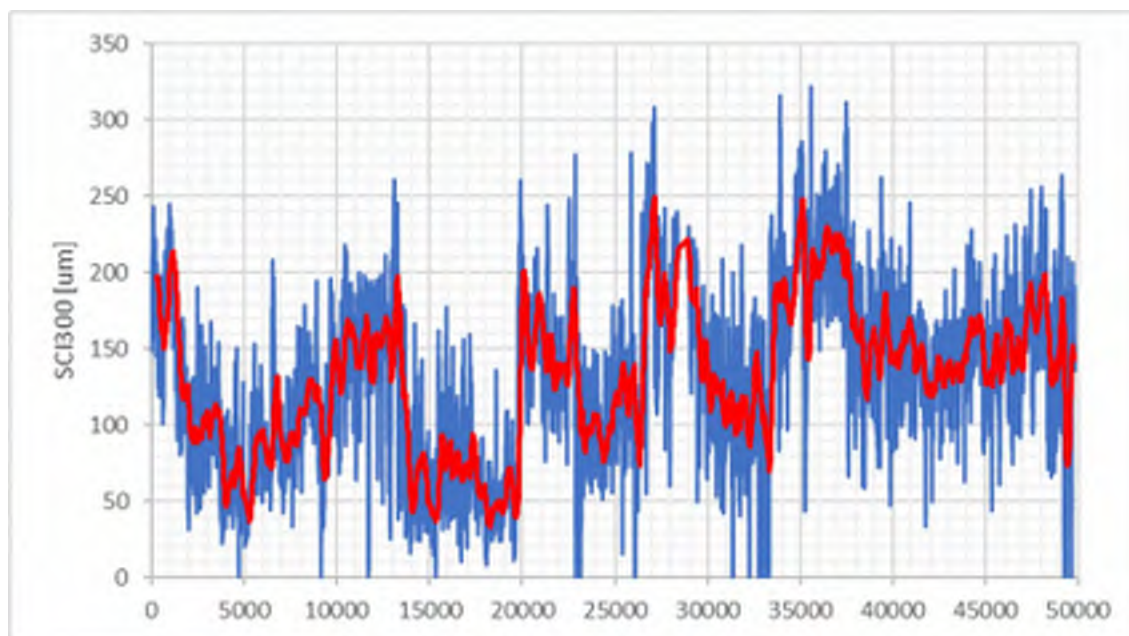
6.2.2 Mätresultat från genomförda bärighetsmätningar - fallstudier

Vid rullande bärighetsmätning erhålls ett hundratal olika mätparametrar från de olika lasrarna, givarna och sensorerna. Dessa bearbetas och analyseras för att erhålla deflektioner vid olika avstånd före och efter hjulasten (tex. D_0 , D_{200} , D_{300} , D_{450} , D_{600} , D_{900} , D_{1200} samt D_{1500}). Utifrån dessa parametrar kan ett antal olika bärighetsmått beräknas tex SCI_{200} , SCI_{300} , D_0 , SCI_{SUB} . Surface Curvature Index, SCI, är ett mått som normalt används för att bedöma en överbyggnads strukturella tillstånd. Beroende på vilket SCI som avses kan överbyggnadens övre eller lägre delar bedömas. Med SCI_{300} indikeras bärigheten i överbyggnadens övre delar (beläggningen). SCI_{300} beräknas genom att deflektionen i centrum, D_0 , subtraheras med deflektionen 300 mm ifrån centrum, D_{300} . Ju lägre värde på SCI_{300} desto bättre bärighet har övre delen av överbyggnaden (beläggningen). Om vägen har en beläggning med reducerad lastspredande egenskaper sjunker vägen mest under belastningscentrum och man får ett högt värde på SCI_{300} . Om vägen har styv beläggning sjunker inte vägen lika mycket under belastningscentrum och värdet på SCI_{300} blir lägre. SCI_{SUB} (Structural Condition Index Subgrade) används för att bedöma en överbyggnads strukturella tillstånd i de lägre delarna (undergrund). SCI_{SUB} beräknas genom att subtraheras deflektionen D_{900} , med deflektionen D_{1500} (se kap 4 för mer information). Förutom olika bärighetsmått har vid mätningarna som är genomförda inom föreliggande studie erhållits mätdata på längsgående jämnhet IRI (International Roughness Index). Låga IRI-värden är att föredra då det bidrar till ökad trafiksäkerhet, körkomfort, samt lägre dynamiska laster, lägre bränsleförbrukning, färre fordonsslitage mm. Vidare erhålls ett foto för varje mät-punkt så att vägytan visuellt kan studeras tillsammans med mätresultaten.

I bilaga 1 redovisas bärighetsresultat (SCI_{300} , D_0 och SCI_{SUB}) från samtliga mätsträckor där resultat erhållits. Inga värden har blivit temperaturkalibrerade. Den blåa eller gröna linjen indikerar uppmätta värden per 10:e meter. Den röda linjen avser glidande medelvärde. I figur 41, 43–45, 50, 56 samt 57 ges exempel på typiska mätresultat för SCI_{300} för Europavägar samt lågtrafikerade vägar. I figur 42, 46–49 samt 51–55 ges exempel på fotografiska bilder som erhålls på vägytan för varje mätpunkt var 10:e meter.

Figur 41 visar mätresultat från ca 50 kilometer av E4:an i norrgående riktning (K1) förbi Jönköping. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 16°C i luften och ca 14°C på vägytan. Uppmätta värden indikerar en typisk variation i bärighet längs med sträckan. Detta beror sannolikt på en kombination av olika faktorer, t.ex. att överbyggnaden är byggd vid olika tidpunkter, olika utförande och material, skilda undergrundsmaterial, samt att underhåll och förstärkning varierar över sträckan. Det kan noteras att för

de lägre homogena sträckorna ligger medelvärdet för SCI_{300} runt ca $60 \mu\text{m}$ och för de högre runt $150 \mu\text{m}$. Medelvärdet för hela sträckan ligger på ca $130 \mu\text{m}$. Enstaka värden över 300 kan noteras. Figur 42 visar en bild av sektion ca $17/000$ där SCI_{300} är ca $70 \mu\text{m}$.

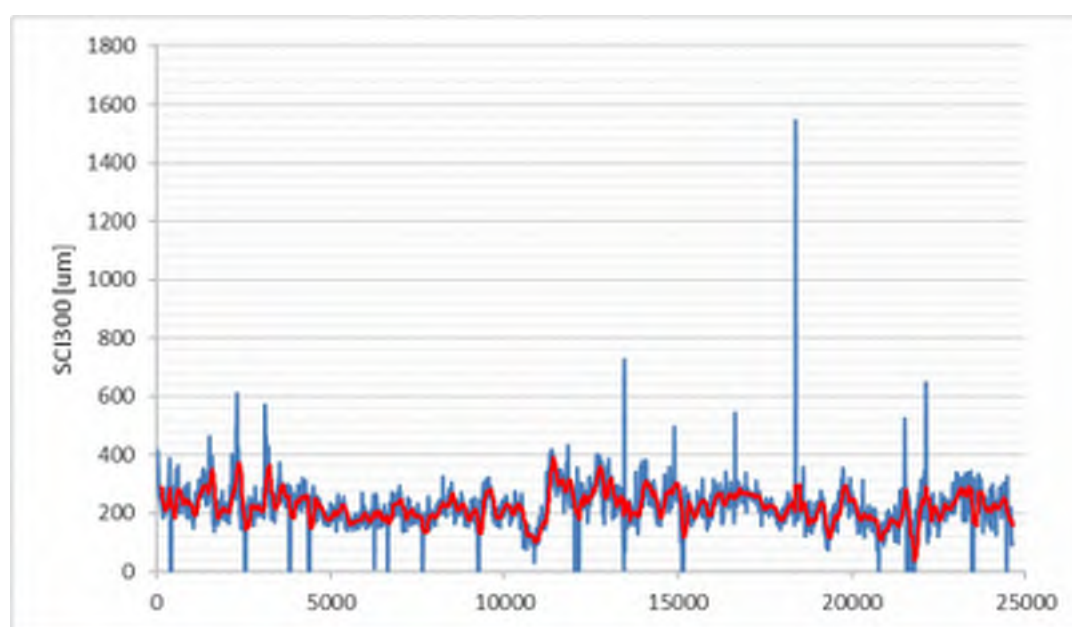


Figur 41. Exempel på uppmätta SCI_{300} värden för E4:an, K1, norrgående riktning förbi Jönköping (TPL Vaggeryd – TPL Gränna). Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.



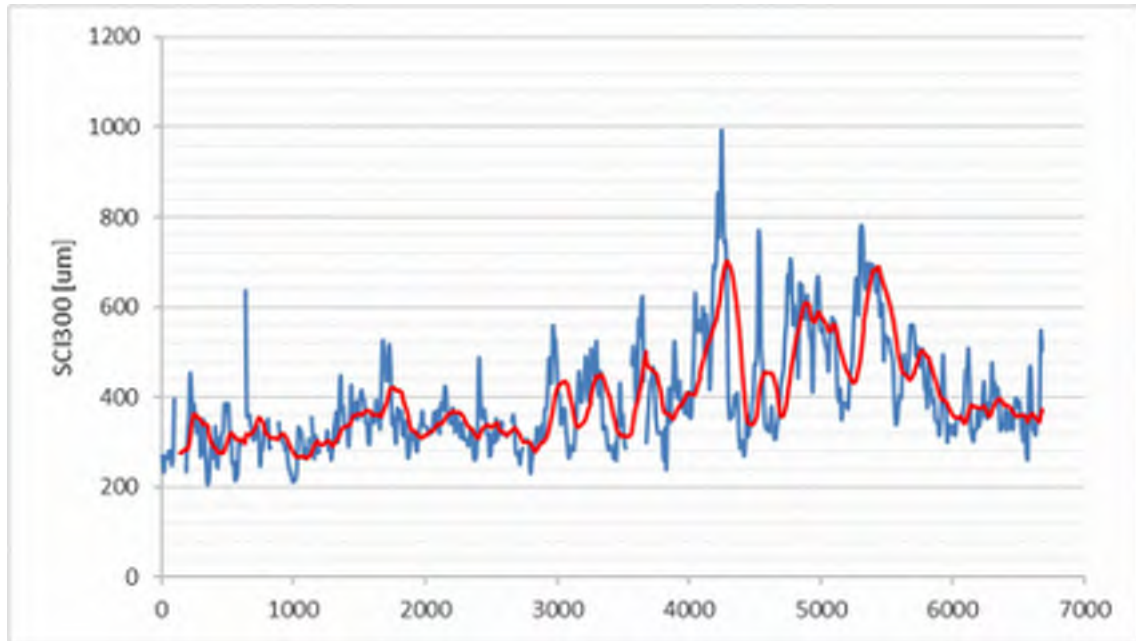
Figur 42. Foto sektion ca $17/000$ för E4:an, K1, norrgående riktning förbi Jönköping (TPL Vaggeryd – TPL Gränna), $SCI_{300} \approx 70 \mu\text{m}$.

I figur 43 visas ca 25 kilometer av Uvanå/Geihersholm i södergående riktning. Denna väg kan antas representera en del av det lågtrafikerade vägnätet med låg bärighet. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 1,5°C i luften och ca 0,2°C på vägytan. De låga temperaturerna vid mättillfället innebär att uppmätta värden med största sannolikhet överskattar bärigheten än vid ca 10–15°C (dvs lägre SCI₃₀₀ värden). Uppmätta värden indikerar relativt liten variation i bärighet längs med sträckan. Medelvärdet för hela sträckan ligger på ca 223 µm. Enstaka värden mellan 400 och 1550 µm kan noteras. Det bör noteras att delar av överbyggnaden sannolikt är frusna samt att asfalten har högre styvhet vid låga temperaturer. Detta innebär att bärigheten sannolikt är betydligt lägre om mätningen utförts vid tex 15°C. Hur som helst, mätresultaten visar på att vägen har en relativt låg bärighet trots den låga temperaturen.



Figur 43. Exempel på uppmätta SCI₃₀₀ värden för Uvanå/Geihersholm (S). Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

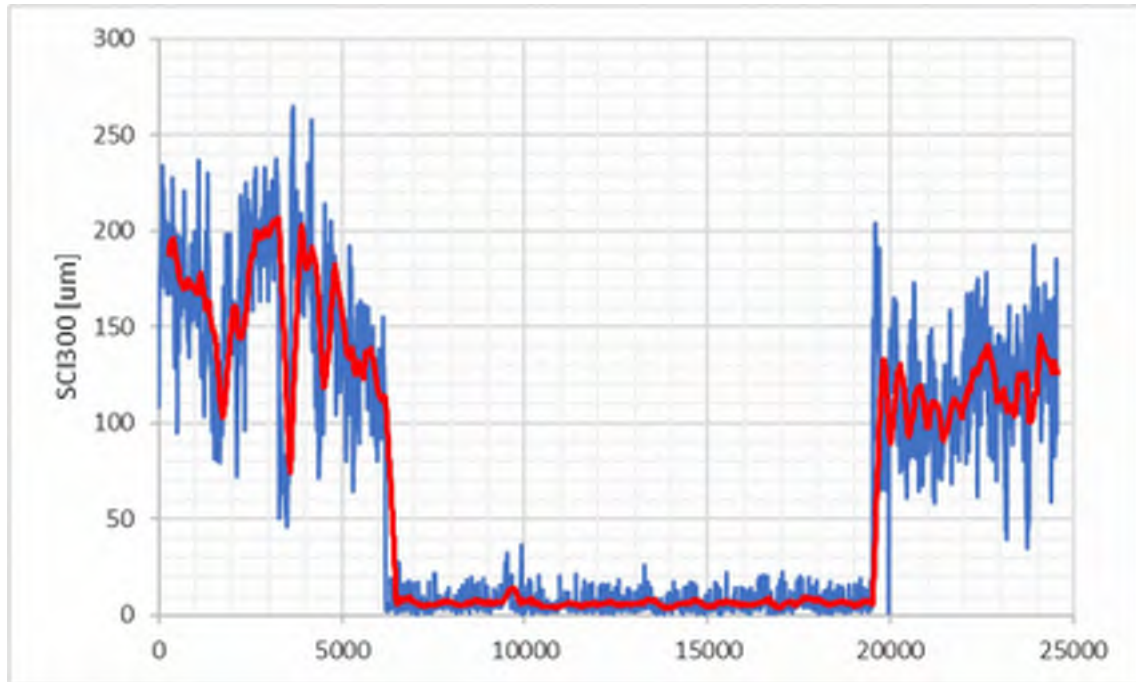
I figur 44 visar ca 7 kilometer av Nösslingevägen i södergående riktning. Även denna väg kan antas representera det lågtrafikerade vägnätet. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 14°C i luften och ca 13°C på vägytan. Uppmätta värden indikerar relativt stor variation i bärighet längs med sträckan (mellan ca 200 och 1000 µm) med ett medelvärde för hela sträckan på ca 398 µm. En homogen sträcka med ett medelvärde på ca 327 µm kan noteras. Denna del av vägen åtgärdades 2015 genom djupstabilisering. Enstaka värden mellan 600 och 1000 har uppmätts på sträckan. Resultaten indikerar en väg med en mycket låg bärighet.



Figur 44. Exempel på uppmätta SCI_{300} värden för Nösslingevägen. Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

Figur 45, 50, 56 samt 57 redovisar SCI_{300} för asfalt- och betongvägar med mycket låga värden som indikerar om mycket bra bärighet.

I figur 45 visar ca 25 kilometer av E20, K1, i östgående riktning. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 14°C i luften och ca 13°C på vägytan. Uppmätta värden indikerar relativt stor variation i bärighet längs med sträckan där tre distinkta partier kan urskiljas. Den mittersta partiet avser en betongöverbyggnad som har ett medelvärde, SCI_{300} , på ca $6\ \mu\text{m}$. Hitom och bortom betongvägen ligger asfaltöverbyggnader vilka har medelvärden på ca 165 respektive $117\ \mu\text{m}$. Enstaka värden över $200\ \mu\text{m}$ kan noteras. Bärigheten på betongdelen av vägen är mycket hög och homogen.



Figur 45. Exempel på uppmätta SCI_{300} värden för E20, K1, östergående riktning (TPL Marielund – TPL Härad). Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

Figur 46 till 49 visar bilder från fyra sektioner (ca 3/000, 12/500, 19/500 samt 21/000). Asfaltöverbyggnaden vid sektion ca 3/000 har ett SCI_{300} som är ca 200 μm . Betongöverbyggnaden vid sektion ca 12/500 har ett SCI_{300} som är ca 6 μm . Asfaltöverbyggnaden vid sektion ca 3/000 har ett SCI_{300} som är ca 200 μm . Asfaltöverbyggnaden vid sektion ca 21/000 har ett SCI_{300} som är ca 105 μm . Figur 48 visar skarv mellan betongöverbyggnaden samt asfaltöverbyggnaden, sektion ca 19/500. Det kan även noteras att K1:an på betongöverbyggnaden är överlagd med ett asfaltlager samt att inga reflektionssprickor kan observeras på dessa bilder.



Figur 46. Foto sektion ca 3/000, för E20, K1, östergående riktning (TPL Marielund – TPL Härad), $SCI_{300} \approx 200 \mu\text{m}$.



Figur 47. Foto sektion ca 12/500 för E20, K1, östergående riktning (TPL Marielund – TPL Härad), $SCI_{300} \approx 6 \mu\text{m}$.

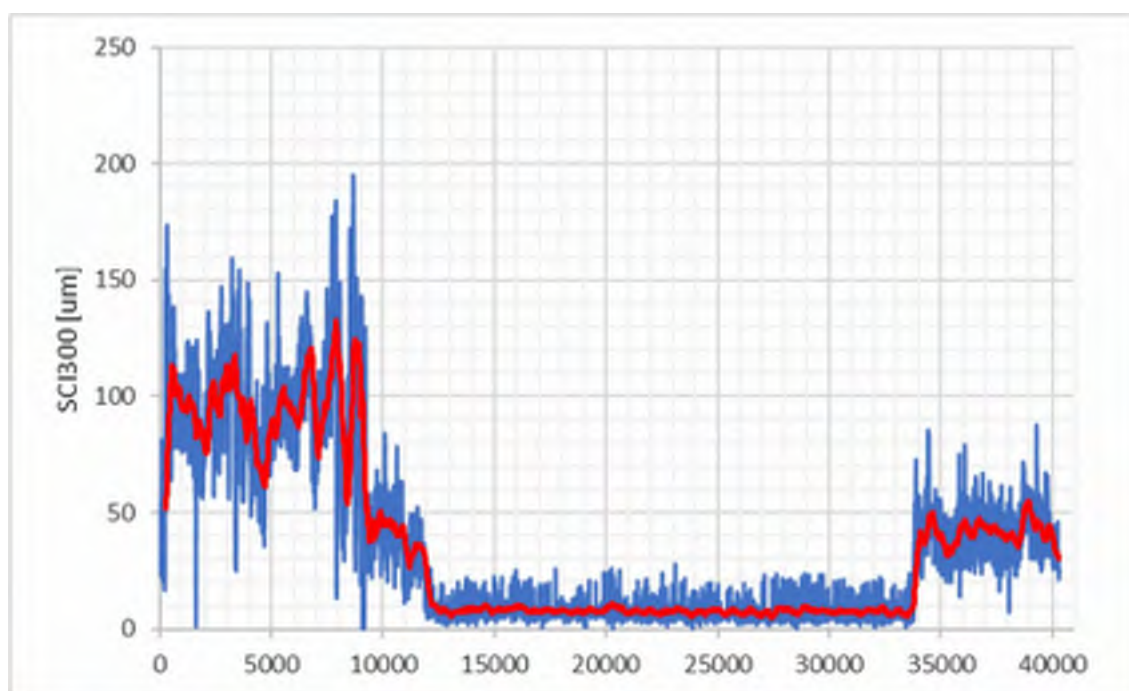


Figur 48. Foto sektion ca 19/500 för E20, K1, östergående riktning (TPL Marielund – TPL Härad), skarv mellan betong och asfalt.



Figur 49. Foto sektion ca 21/000 för E20, K1, östergående riktning (TPL Marielund – TPL Härad), $SCI_{300} \approx 105 \mu m$.

I figur 50 visas ca 40 kilometer av E4:an förbi Uppsala, K1, i östgående riktning. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 13°C i luften och ca 10°C på vägytan. Även på denna sträcka finns ett parti med en betongväg med betydligt lägre värde på SCI₃₀₀. Betongvägen har ett medelvärde, SCI₃₀₀, på ca 8 µm. Hitom och bortom betongvägen ligger asfaltöverbyggnader vilka har medelvärden på ca 95 respektive 41 µm. Det lägre värdet för asfaltöverbyggnaden avser den nybyggda delen som anlades samtidigt som betongvägen. Enstaka värden över 150 µm kan noteras. Bärigheten på betongvägen samt den nybyggda asfaltöverbyggnaden mycket god och homogen.



Figur 50. Exempel på uppmätta SCI₃₀₀ värden för E4:an förbi Uppsala, K1. Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

Figur 51 till 55 visar bilder från fyra sektioner från E4:an förbi Uppsala (ca 3/000, 11/860, 23/000, 33/750 samt 37/000). Asfaltöverbyggnaden vid sektion ca 3/000 har ett SCI₃₀₀ på ca 110 µm. Betongöverbyggnaden vid sektion ca 23/000 har ett värde på ca 8 µm. Asfaltöverbyggnaden vid sektion ca 37/000 har ett värde som är ca 45 µm. Figur 52 och 54 visar skarven mellan betong- samt asfaltöverbyggnaden, sektion ca 11/860 samt 33/750. Det kan även noteras att K1:an på betongöverbyggnaden, första delen, är överlagd med ett asfaltlager. I figur 54 syns den ursprungliga betongöverytan i K1:an. Vidare kan reflektionssprickor urskiljas på asfaltlagret i figur 53, samt att inga reflektionssprickor kan observeras på dessa bilder.



Figur 51. Foto sektion ca 3/000 för E4:an norrgående riktning förbi Uppsala, $SCI_{300} \approx 110 \mu\text{m}$.



Figur 52. Foto sektion ca 11/860 för E4:an norrgående riktning förbi Uppsala, skarv mellan asfalt och betong.



Figur 53. Foto sektion ca 23/000 för E4:an norrgående riktning förbi Uppsala, $SCI_{300} \approx 8 \mu\text{m}$.



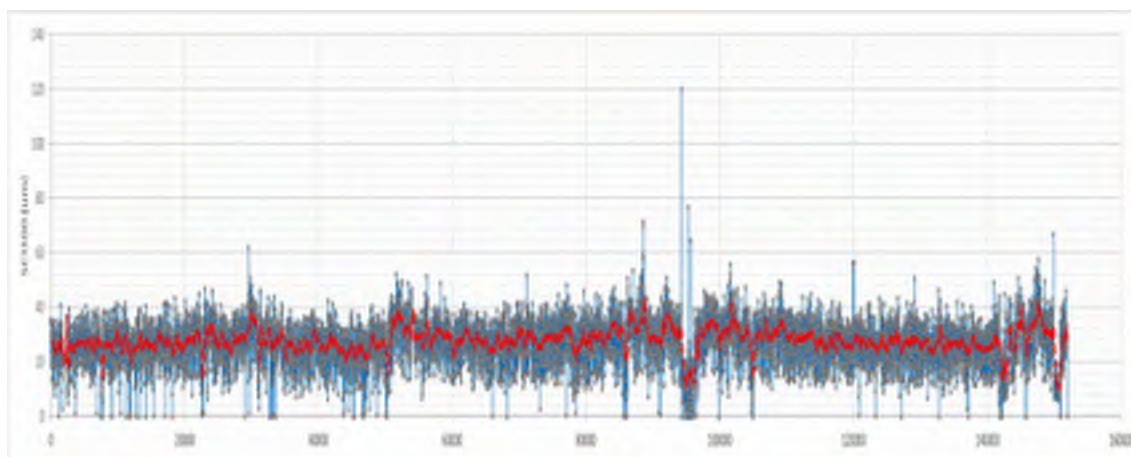
Figur 54. Foto sektion ca 33/750 för E4:an norrgående riktning förbi Uppsala, skarv mellan betong och asfalt.



Figur 55. Foto sektion ca 37/000 för E4:an norrgående riktning förbi Uppsala, $SCI_{300} \approx 45 \mu m$.

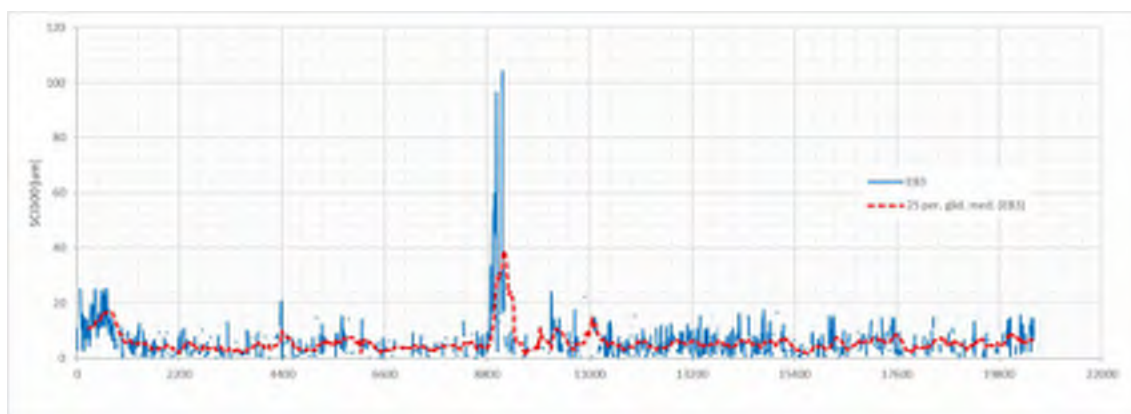
I figur 54 och 55 kan det noteras att översta asfaltlagret har åtgärdats i hjulspåren.

I figur 56 redovisar ca 151 kilometer av A1:an i Polen i södergående riktning (K1). Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 16°C i luften och ca 17°C på vägytan. Hela vägen är byggd med samma överbyggnad (27 cm asfalt) vilket indikeras av relativt liten variation av SCI_{300} . A1 sträckan har ett medelvärde, SCI_{300} , på ca 27 μm . Enstaka värden över 50 μm kan noteras. Hela denna vägsträcka av asfalt uppvisar mycket hög och homogen bärighet. De lägre SCI_{300} värdena vid sektion km 9/500 härrör från en bro.



Figur 56. Exempel på uppmätta SCI_{300} värden för A1 i Polen, K1, södergående riktning. Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

I figur 57 redovisar ca 21 kilometer av I66 i USA i södergående riktning, K1. Medeltemperaturen vid mättillfället var ca 10°C i luften och ca 8°C på vägytan. I66 är ursprungligen en betongväg med ca 35 cm betongtjocklek där några partier har överlagats med asfalt. I66 sträckan har ett medelvärde, SCI_{300} , på ca 6 μm . Enstaka värden över 100 μm kan noteras. Ett parti med lägre bärighet (SCI_{300} ca 100 μm) kan noteras. Denna vägsträcka har överlag en mycket god bärighet. Partier med lägre bärighet kan dock identifieras.

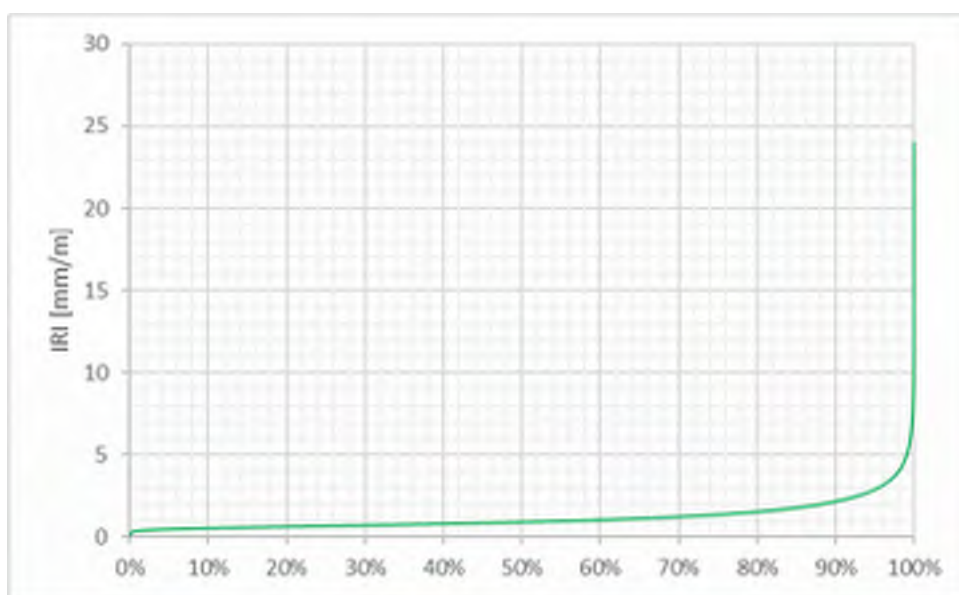


Figur 57. Exempel på uppmätta SCI_{300} värden för I66 i USA, K3, östlig riktning. Det blåa strecket visar enskilda mätvärden och det röda är medelvärde för ett antal kringliggande mätpunkter.

I bilaga 1 finns samtliga mätvärden för IRI, SCI_{300} , D_0 samt SCI_{SUB} presenterade. Totalt uppvisar utförda analyser av RWD-data (IRI, SCI_{300} , D_0 och SCI_{SUB}) en stor variation av bärförmåga samt långsgående jämnhet för mätta vägar i Sverige (ca 230,000 enskilda mätpunkter). I figur 58 till 61 är

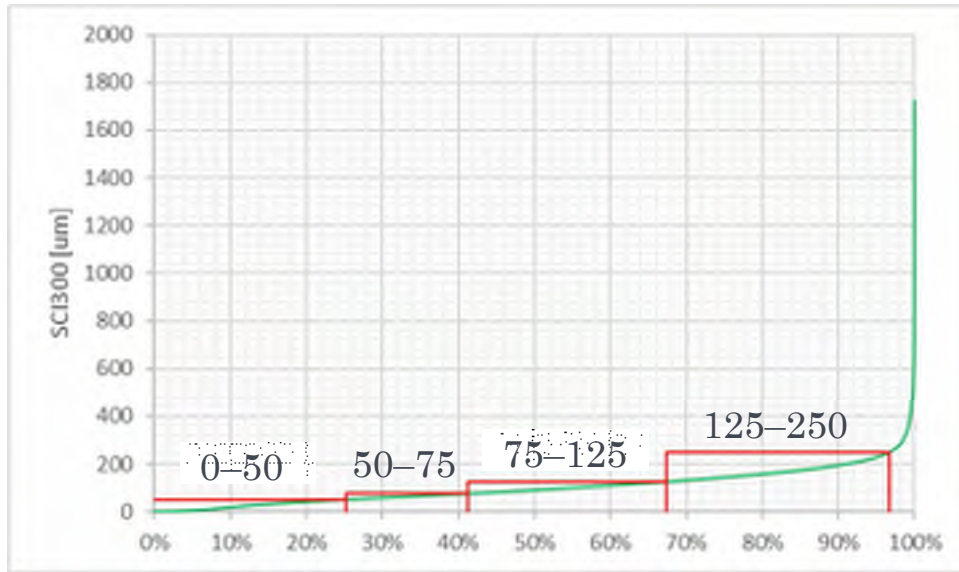
samtliga mätpunkter för IRI, SCI_{300} , D_0 samt SCI_{SUB} presenterade i frekvensdiagram.

En sammanställning av samtliga mätvärden kopplat till längsgående jämnhet IRI visas i figur 58. Uppmätta sträckor visar på relativt låga IRI-värden, en helt jämna väg har $IRI \approx 0$. Cirka 55 procent av alla mätpunkter ligger under 1.0, och ca 88 procent ligger under 2.0. Det är bara ca 5 procent som har ett värde över 3.0 samt 2 procent över 4.0.



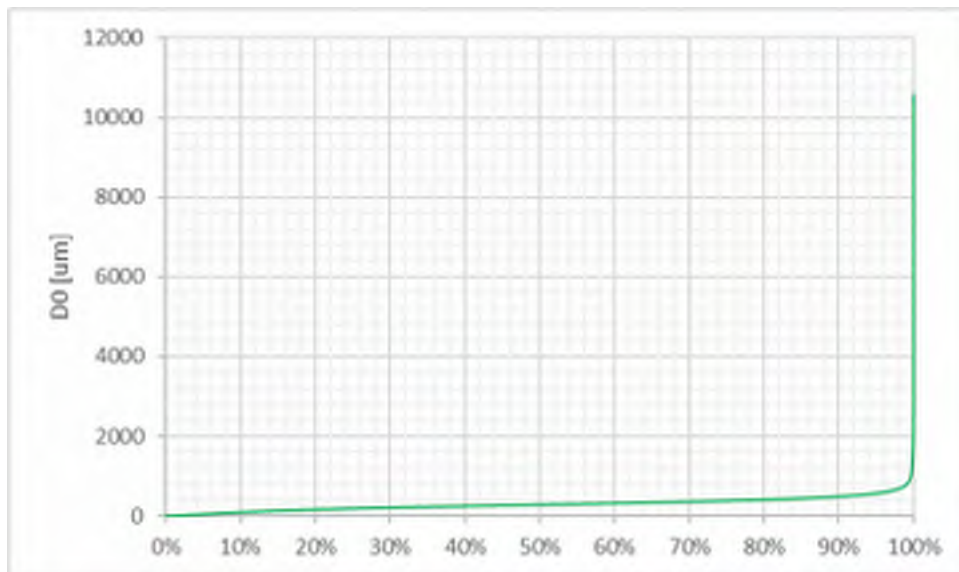
Figur 58. Uppmätta IRI-värden för samtliga vägsträckor.

I figur 59 ges fördelningen av alla SCI_{300} mätvärden. Lågt SCI_{300} -värde indikerar hög bärighet. I figuren har gränsvärden enligt tabell 3 markerats. Vidare har ett gränsvärde ($SCI_{300} < 50 \mu\text{m}$) inkluderats för att indikera mycket bärkraftiga vägar. Enligt denna indelning ligger cirka 25 procent av alla mätvärden, SCI_{300} , under $50 \mu\text{m}$, ca 41 procent under $75 \mu\text{m}$, och 67 procent under $125 \mu\text{m}$ samt 96 procent under $250 \mu\text{m}$. Då merparten av uppmätta vägar tillhör Europavägarna är det förvånansvärt hög andel som har ett SCI_{300} -värde över $75 \mu\text{m}$, ca 59 procent. Detta indikerar att en stor del av de analyserade vägarna inte hade den bärighet som kunde förväntas och att det därmed finns en underhållsskuld.



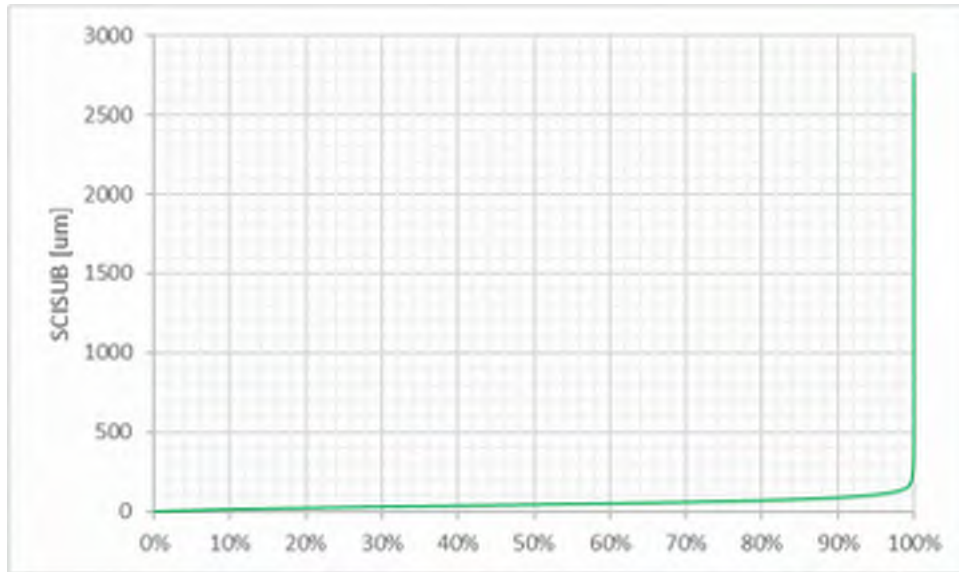
Figur 59. Uppmätta SCI₃₀₀-värden för samtliga vägsträckor.

I figur 60 ges fördelningen av alla D₀ mätvärden. Ett högt värde indikerar stor nedsjunkning och låg bärighet. Eftersom även SCI₃₀₀ baseras på D₀ uppvisar de liknande trend.



Figur 60. Uppmätta D₀-värden för samtliga vägsträckor.

I figur 61 redovisas alla SCI_{SUB}-värden. SCI_{SUB} är ett mått som beskriver bärigheten lite lägre ner i väggroppen (undergrunden). Ett lågt värde indikerar hög bärighet.

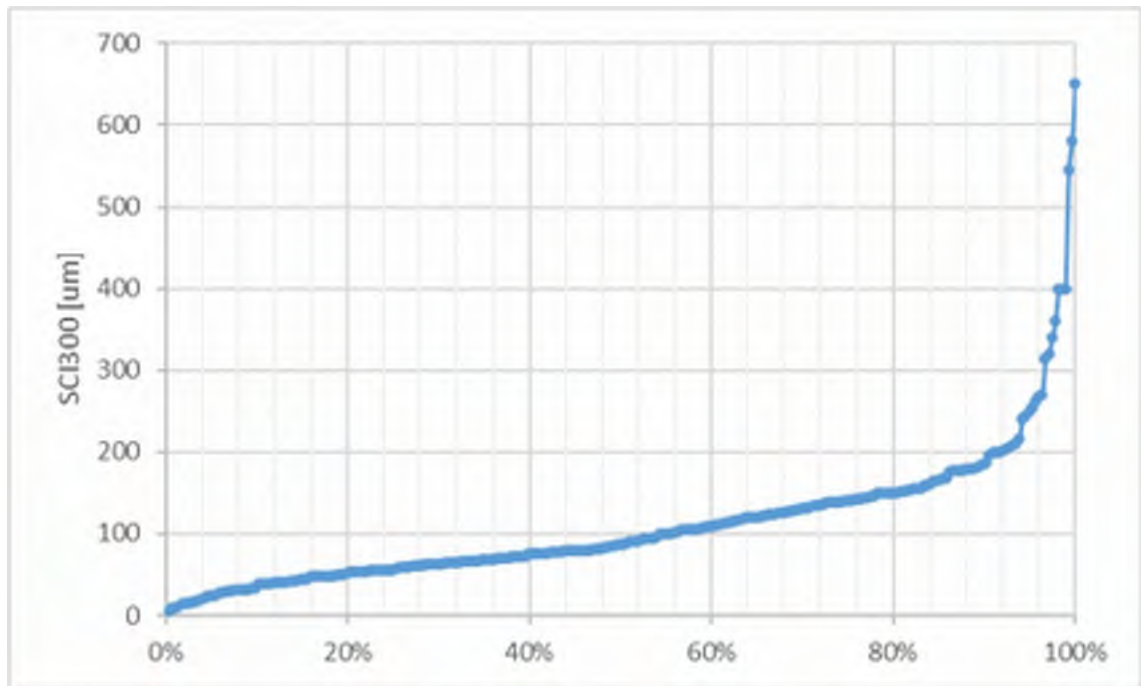


Figur 61. Uppmätta SCISUB-värden för samtliga vägsträckor.

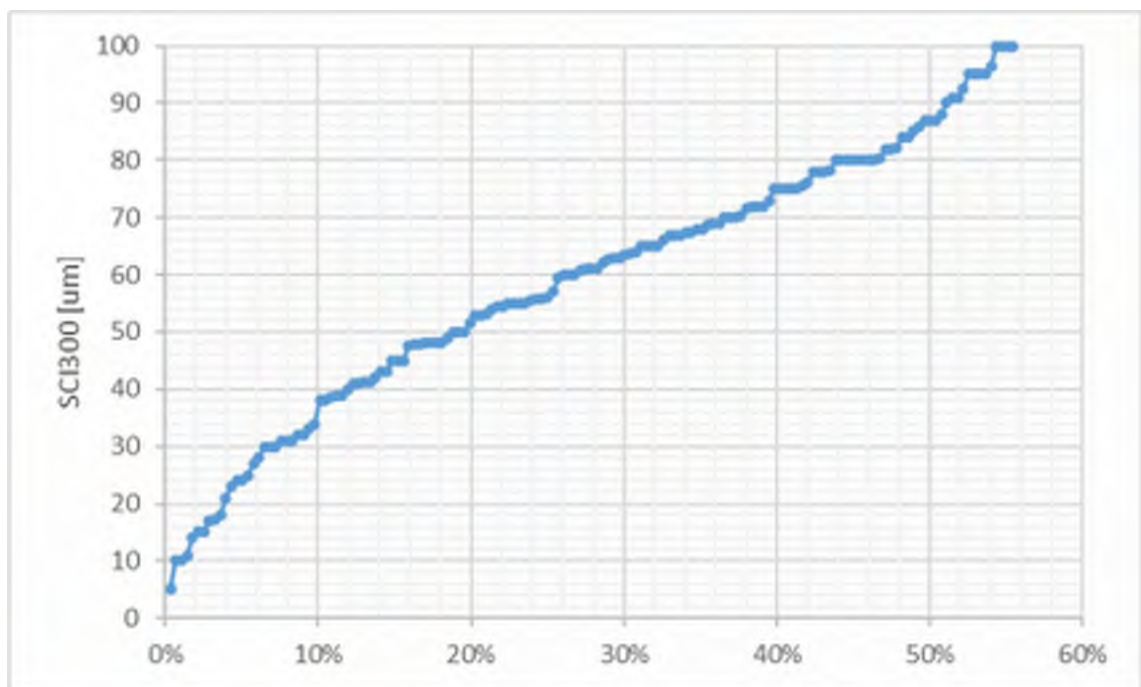
Det kan noteras att ca 25 procent av SCISUB-värdena ligger under 26, ca 50 procent under 43 µm, ca 75 procent under 64 µm samt ca 90 procent under 87 µm. Uppmätta värden är relativt låga och indikerar att bärigheten i de nedre delarna är relativt god även om det förekommer lokala partier med mycket låg bärighet. Vid en holistisk jämförelse mellan SCI₃₀₀ och SCISUB framgår att bärigheten generellt är god i undergrunden och att de strukturella problemen framför ligger allt högre upp i väggkroppen.

I figur 62 ges fördelningen av homogena sektioner av alla mätsträckor. Lågt SCI₃₀₀-värde indikerar högre bärighet. Enligt figuren ligger cirka 20 procent av alla mätvärden, SCI₃₀₀, under 50 µm, cirka 55 procent under 100 µm, cirka 80 procent under 150 µm samt ca 92 procent under 250 µm.

Dessa mätresultat indikerar på stort behov av förstärkningsåtgärder för att klara av effekten av multipla axellaster. Figur 62 visar homogena sträckor med SCI₃₀₀ värden under 100 µm.



Figur 62. Sammanställning av homogena sträckor.



Figur 63. Sammanställning av homogena sträckor, $SCI_{300} < 100 \mu m$.

Tabell 6 redovisar medelvärden för mätta vägsträckor baserade på vägkategori.

Tabell 6. Sammanställning av mätdata per vägkategori.

	Temp Road [°C]	Temp Air [°C]	IRI [m/km]	SCI300 [µm]	D0 [µm]	SCISUB [µm]
Europavägar Betong						
E4	10,40	12,44	0,99	9,02	196,34	21,98
E4	10,41	12,77	0,89	7,79	129,25	19,79
E4	10,54	12,29	1,01	8,44	85,64	13,33
E20	13,51	14,34	0,85	6,42	174,26	17,89
E20	14,63	14,82	0,97	5,80	165,86	19,83
Medel:	11,90	13,33	0,94	7,49	150,27	18,56
Europavägar Asfalt						
E4	13,10	14,08	0,93	117,91	291,09	37,64
E6	20,06	17,47	1,03	65,85	219,22	38,61
E18	8,72	10,28	1,10	62,23	245,66	53,71
E20	13,01	13,78	0,92	93,83	241,95	41,74
E22	13,16	14,58	0,96	106,35	246,03	21,11
E45	6,03	7,16	1,83	127,79	395,22	66,16
Medel:	12,35	12,89	1,13	95,66	273,20	43,16
Riksvägar						
Rv17	14,91	14,71	1,21	140,15	347,22	37,18
Rv40	12,05	13,28	0,82	69,40	265,52	39,58
Rv50	11,73	12,52	1,14	83,59	268,64	45,77
Rv52	15,79	16,52	1,36	120,38	323,42	49,36
Rv55/56	14,92	15,43	1,10	86,44	245,75	34,57
Rv61	10,32	12,42	1,46	100,29	289,85	41,76
Rv62	4,33	4,92	2,02	162,02	409,99	73,61
Medel:	12,01	12,83	1,30	108,90	307,20	45,98
Länsvägar						
111	18,48	15,95	1,03	87,65	279,90	47,68
240	2,14	3,82	1,86	126,58	311,90	44,38
241	8,43	9,38	2,83	146,73	473,14	80,81
245/246	0,29	1,16	1,72	55,50	147,61	26,91
Medel:	9,68	9,72	1,90	120,32	354,98	57,63
Övriga småvägar						
Nöslingevägen	13,05	14,41	1,82	401,64	860,25	116,47
Uvanå/Geihersholm	0,23	1,49	1,68	222,87	322,40	9,89
Gräsmarksvägen	7,81	8,24	2,31	171,47	417,46	57,81
Medel:	7,03	8,05	1,93	265,33	533,37	61,39

I tabell 6 indikeras att betongöverbyggnader uppvisar lägsta SCI₃₀₀ värden (medel cirka 7,5 µm. För Europavägarna ligger medelvärdet runt 96 µm och för riksvägarna runt 109 µm. Länsvägarna har ett medelvärde runt 120 och för övriga små vägar ligger medelvärdet för SCI₃₀₀ på cirka 165 µm.

Det bör noteras att redovisade värden endast skall ses som indikativa då ingen temperaturkorrigering har genomförts.

Mätdata för samtliga analyserade sträckor finns redovisade i Bilaga A.

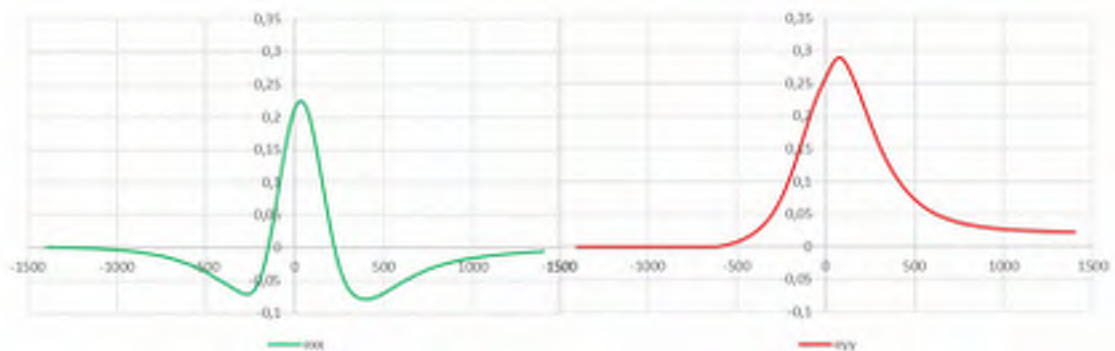
6.3 Viskoelastisk töjningsanalys av HCT-fordon

En viskoelastisk analys innebär att asfaltmaterialens temperatur- samt tidsberoende egenskaper kan beaktas.

En viskoelastisk beräkning med VEROAD för en vanlig asfaltöverbyggnad redovisas i figur 64, 65, 67, 68 Överbyggnaden som analyserades antogs vara en traditionell Grus Bitumen Överbyggnad (GBÖ) med 160 mm asfalt, 80 mm krossat bärlager samt 420 mm förstärkningslager på ett undergrundmaterial av materialtyp 3B.

Lasten bestod av ett en axellast på 8 ton fördelat på två däck, kontaktryck 800 kPa. Materialparametrar för asfalten är valda för 20°C och analysen utförd för en hastighet på 50 km/h.

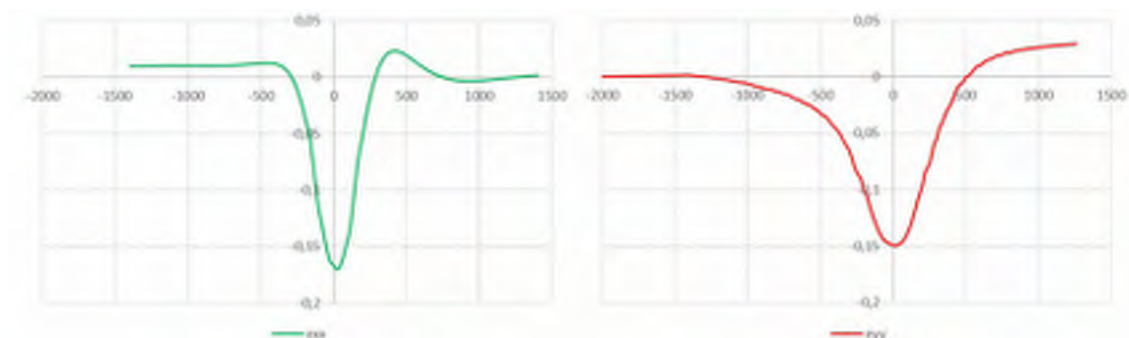
I figur 53 redovisas beräknad töjningssignal i vägens längd- och tvärled. Påkänningen av en hjullast resulterar i en töjning, underkant asfalt, i vägenslängdled (ϵ_{xx}), samt vägens tvärled (ϵ_{yy}) som påminner om uppmätta töjningssignaler, enligt figur 10. Maxtöjningen i tvärled är något större jämfört med maxtöjning i längdled. Maxtöjningen i tvärled är ca 28% större. Det kan även noteras att det finns en kvarvarande permanenttöjning i tvärled som beror på materialets viskoelastiska natur.



Figur 64. Beräknade töjningar i underkantbeläggning (160 mm asfalt).

Motsvarande töjningar för överbyggnadens överyta, direkt under hjullasten, ges i figur 65. Det är tydligt att det genereras dragtöjning i överytan direkt under hjullasten. Denna töjning är relativt liten för en enstaka singellast. Det kan noteras att även här erhålls en kvarvarande töjning i tvärled. Denna dragtöjning kan potentiellt bidra till några av de mest observerade skadetyperna, spårutveckling härrörande från deformationer i asfaltmaterialet samt sprickor initierade från vägytan (top-down), i enlighet med COST333 studien [47]. Det bör noteras att denna dragtöjning, rakt

under hjullasten, samt rakt under hjullasten på vägytan, inte erhålls från en traditionell linjär elastisk analys.



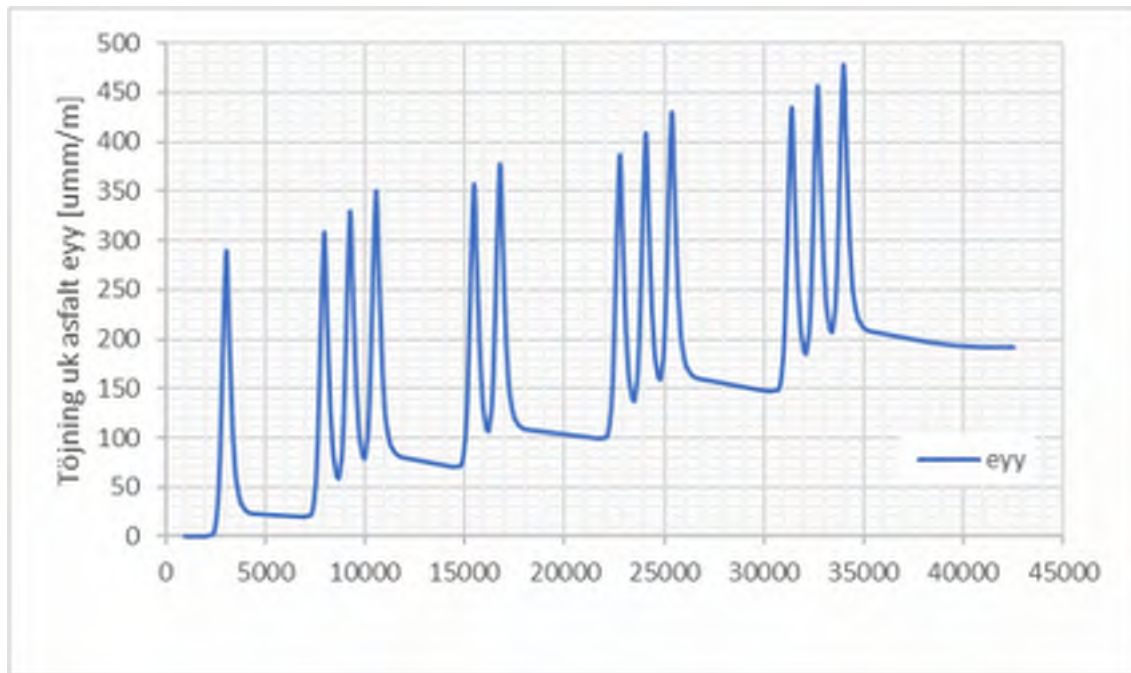
Figur 65. Beräknade töjningar i överkantbeläggning (ϵ_{xx} , ϵ_{yy}).

För att visa på effekten av fordon med flera axellaster har en LVE-analys med VEROAD utförts för ett tolvaxligt HCT-fordon, enligt figur 66. Analyserat fordon finns även avbildat på rapportens framsida. Avstånd mellan axlar är antagna utifrån tillgängliga data från karakteristiska HCT-fordon. Jämn fördelning av last mellan axlar och däck antas i analysen.



Figur 66. Tolvaxligt HCT-fordon med en tillåten bruttovikt om 98 ton, längd 34 meter [efter 9].

Figur 67 visar beräknad töjningskurva, underkant asfalt, $z = -160$ mm, för tvärgående töjning (ϵ_{yy}) för analyserat HCT-fordon. Töjningskurva skall tolkas som att fordonet kommer från vänster och första signalen härrör från första axeln i dragbilen. Det är tydligt att alla 12 axlar bidrar till en ackumulation av dragtöjningen i vägens tvärled. Första hjulet ger en maxtöjning på ca $287 \mu\text{m/m}$. Vid sista axeln har maxtöjningen ackumulerats till $478 \mu\text{m/m}$. Det är en ökning av maximal töjning på nästan 70%. Om fler tunga fordon kommer efter varandra, genom t.ex. platooning, ökar effekten av ackumulationen av axellasterna.

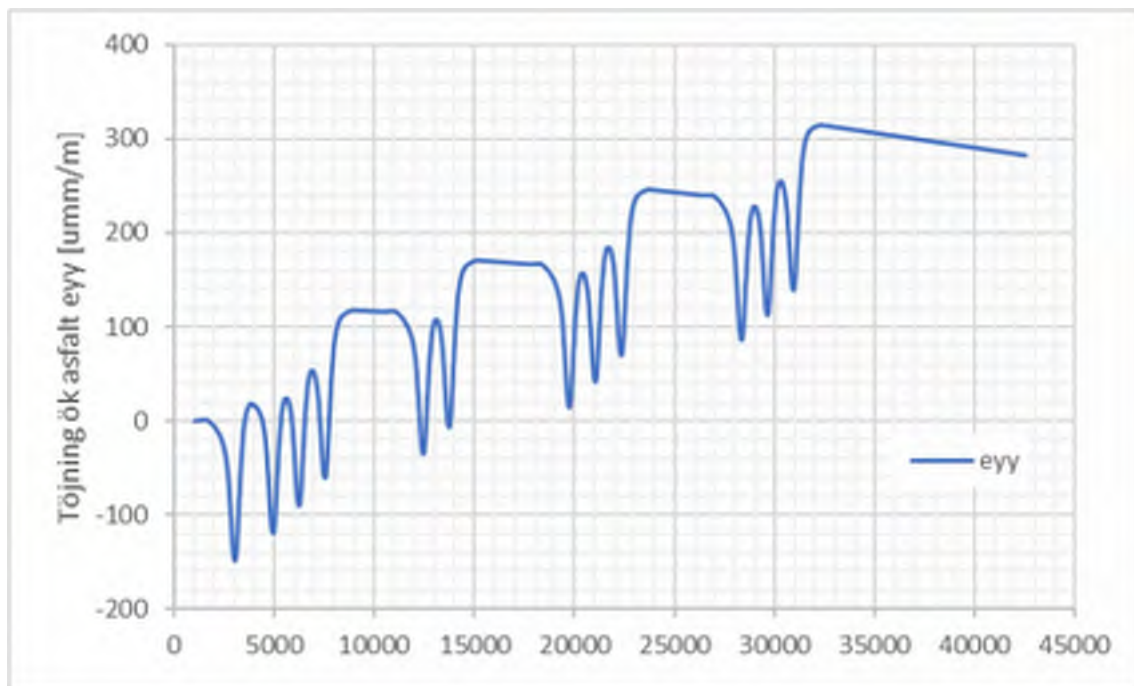


Figur 67. Beräknad transient töjning (ϵ_{yy}) i underkant asfalt ($z = -160$ mm).

Figur 68. Visar motsvarande beräknad töjningskurva för tvärgående töjning (ϵ_{yy}) för analyserat HCT-fordon rakt under hjullasten på vägytan ($z = 0$).

Fordonet kommer från vänster och första signalen härrör från första axeln i dragbilen. Det är tydligt att alla 12 axlar bidrar till en ackumulation av dragtöjningen i vägens tvärled. Första hjulet ger en maxtöjning på ca $15 \mu\text{m}/\text{m}$. Vid sista axeln har maxtöjningen ackumulerats till $314 \mu\text{m}/\text{m}$. Det är en ökning av maximal töjning på nästan 2100%! Om fler tunga fordon kommer efter varandra, genom t.ex. platooning, ökar effekten av ackumulationen av axellasterna.

Det bör noteras att dessa effekter av tids- och temperaturberoende materialegenskaper till viss del beaktas i de empiriska skiftfaktorerna när olika nedbrytningskriterier tas fram och kalibreras. De är dock baserade och kalibrerade för fordonstyper med färre axlar.



Figur 68. Beräknad transient töjning (ϵ_{yy}) i överkant asfalt ($z = 0$ mm)

Den fullständiga effekten av beräknade LVE-töjningar är inte kända, men kan till viss del förklara de mest observerade skadetyperna enligt COST 333 [47]. En del av dessa effekter finns sannolikt redan inkluderade i den svenska kalibreringen av de olika nedbrytningskriterierna.

Denna analys visar dock att en förfinad analys av nya fordonstyper med fler axlar samt moderna vägöverbyggnader bör övervägas för analys och värdering av det svenska vägnätet inför uppgradering till BK4.

De senaste RWD-utrustningarna har utrustats med ytterligare sensorer (lasrar) för att även mäta deflektionen bakom den belastade axeln. Detta möjliggör att LVE-analyser kan utföras för mätdatan [55]. På sikt kan detta innebära att tex viskoelastiska materialegenskaper för asfalten direkt kan uppskattas och erhållas från RWD-data.

7 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Det övergripande syftet med projektet har varit att studera vilken effekt miljövänliga transporter, HCT-fordon, har på vägkroppen samt hur större delar av det strategiska vägnätet kan upplåtas för BK4 utan att öka nedbrytningen och underhållsskulden.

Bärighet hos befintliga vägar har analyserats med rullande bärighetsmätning (RWD). Totalt har ca 400 mil väg analyserats. Analys av påkänningar orsakade av ett HCT-fordon, 98 ton och 34 meter har utförts med VEROAD för att tydliggöra effekten av multipla axlar på en flexibel överbyggnad (asfaltöverbyggnad).

Resultatet från bärighetsmätningarna visar att RWD-mätningar är ett snabbt och effektivt sätt att värdera bärighet på vägnäts- samt projektnivå. Svagare vägpartier samt bärkraftiga vägar urskiljs tydligt. De sträckor som uppvisade högst bärighet var betongöverbyggnader i Sverige och i USA samt tjocka asfaltöverbyggnader (A1 i Polen). Betongvägarna uppvisar SCI₃₀₀-värden runt ca. 6–8 µm. RWD-mätningar indikerar att tjocka asfaltöverbyggnader, med en asfalttjocklek runt 270–280 mm, besitter en hög bärighet nästan i paritet med betongöverbyggnader, SCI₃₀₀ för A1 Polen ligger runt ca. 27 µm. Den lägsta bärigheten uppmättes på det lågtrafikerade vägnätet för så kallade icke byggda vägar. Lägsta uppmätta medelvärde erhöles för Nösslingevägen med ett SCI₃₀₀-värde på ca. 400 µm. Vidare noterades, inte helt oväntat, att vägöverbyggnader på bergsterrass erhåller höga SCI₃₀₀-värden trots relativt tunna asfalttjocklekar, SCI₃₀₀ ner mot 40 µm. RWD-mätningarna indikerar att nya överbyggnader dimensionerade enligt PMS-objekt [50] ofta har SCI₃₀₀-värden mellan ca 50–100 µm.

RWD-mätningarna visar även på en stor variation av SCI₃₀₀ för de mätta vägarna. Om ett gränsvärde på SCI₃₀₀ >50 µm används är det bara ca 20 av mätta vägar som klarar det kravet. Om gränsvärdet sätts till 100 klarar ca 55 kravet.

Inte helt överraskande uppvisar betongvägar högst bärighet (SCI₃₀₀ runt 6-9 µm). Det går dock att utföra asfaltöverbyggnader med hög bärighet (SCI₃₀₀ runt 20–30 µm). Asfaltvägar uppvisar också låga SCI₃₀₀-värden då de ligger på bergunderbyggnad. En stark och stabil undergrund är som vanligt bra för bärigheten.

Eftersom RWD-mätningar utförs vid olika tidpunkter (år) och temperaturer bör modeller som tar hänsyn till temperaturgradienter i asfaltbeläggningar utvecklas och implementeras i analysystem.

RWD-mätningar genererar stora mängder mätdata som kräver effektiv hantering och lagring. Rent generellt bör bärighetsdata som FWD och RWD införlivas i PMSv4 som många andra mätningar.

Den RWD uppmätta bärigheten kompletterar traditionella tillståndsmätningar, tex FDW, GPR, LCMS etc. så att bättre predikteringar kan erhållas om aktuellt tillstånd i vägöverbyggnaden. Genom att kontinuerligt mäta bärigheten på vägnätets nivå kan svagare partier identifieras så att underlag och prioritering om erforderlig förstärkningsåtgärd för BK4 kan erhållas. Vidare kan eventuella skillnader i bärighet mellan olika mättillfällen identifieras. Stora variationer kan tyda på förändringar i överbyggnaden och/eller undergrunden alternativt dräneringsproblem. En utökad kunskap om tillståndet på vägöverbyggnaden kan bidra till att snabba på och säkerställa en kostnadseffektiv uppgraderingen till BK4.

I Norge pågår RWD-mätningar av deras huvudvägnät samt GPR-mätningar för att erhålla ett detaljerat underlag för prioriteringar och beslutsunderlag av nödvändiga förstärkningsåtgärder. I Finland pågår en kortläggning av vägnätet med GPR.

RWD-mätningar kombinerat med GPR-mätningar rekommenderas för de svenska vägar som planeras att uppgraderas till BK4.

Utförd LVE-analys för ett HCT-fordon med tolv axlar visar att största tvärgående töjningar (ϵ_{yy}) i underkant asfalt ökar med ca 70%, mellan första och sista fordonsaxeln, på grund av ackumulation av töjningarna. För tvärgående töjning (ϵ_{yy}) i överkant asfalt, rakt under hjullasten, är ökningen hela ca 2100%. Effekten av dessa LVE-töjningar bör utredas vidare.

Utförd studie visar på potentialen att använda modern RWD-mätning samt förfinade analysmetoder som kan beakta vägmaterialets egenskaper vid värdering av bärighet samt potentiella förstärkningsbehov. Gränsvärden för vad som är bra bärighet avseende HCT-fordon och BK4 vägnät bör utredas vidare.

Slutligen visar utförd studie att det finns tillgängliga mätmetoder och analys-hjälpmiddel för en effektiv värdering av det befintliga vägnätet så att lämpliga förstärkningsåtgärder kan prioriteras så att fler vägar kan upplåtas snabbare till BK4 utan att öka nedbrytningen samt öka underhållsskulden.

REFERENSER

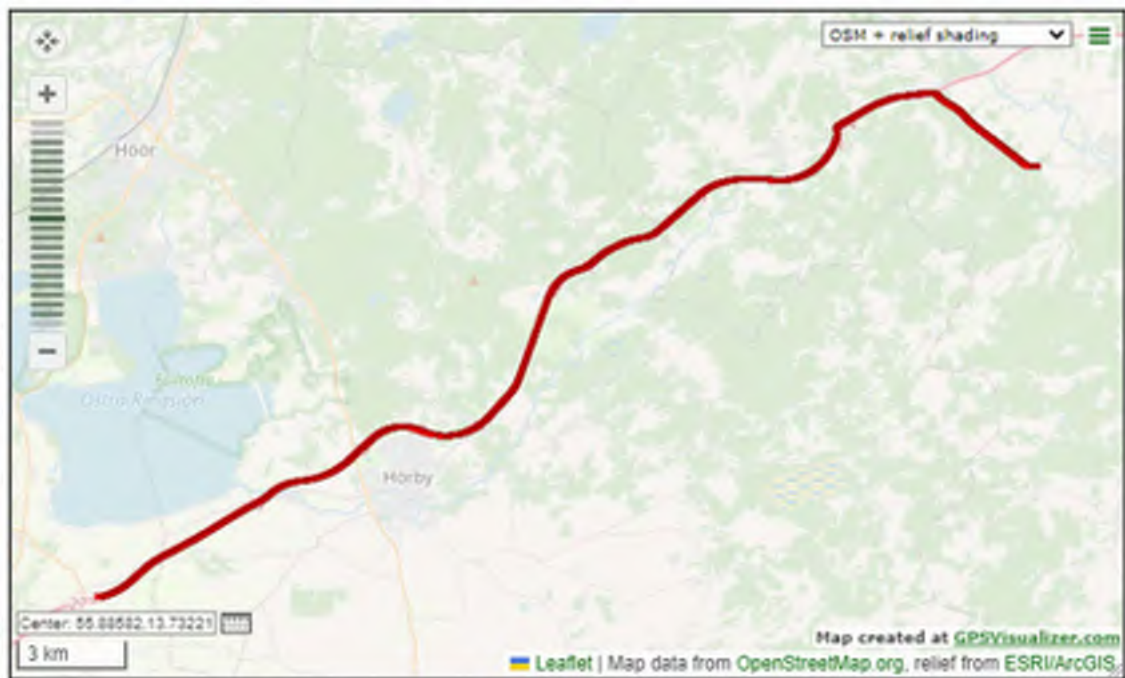
- 1 Regeringskansliet (2022a). Mål för transporter och infrastruktur, <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>.
- 2 Nollvisionen, Transportstyrelsen, 1997, <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/statistik/olycksstatistik/statistik-over-vagtrafikolyckor/nollvisionen/>.
- 3 Klimatlagen, Naturvårdsverket, 2018, <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>.
- 4 Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Åkerinäringen, 2019.
- 5 Vierth, I., et. al., ”Långa och tunga lastbilars effekter på transportsystemet – Redovisning av regeringsuppdrag”, VTI rapport 605, 2008, [Långa och tunga lastbilars effekter på transportsystemet. Redovisning av regeringsuppdrag.pdf \(diva-portal.org\)](#).
- 6 Löfroth, C., Svensson, G., ”ETT-Modulsystem för Skogstransporter - En trave till (ETT)och större travar (ST)”, Skogforsk, 2010.
- 7 Fogdestam, N., Löfroth, C., ”ETT-demo 2011–2013: Slutrapport, demonstration av ETT- och ST-fordon”, Skogforsk, 2015.
- 8 Cider, L., ”Volvo, ETT modulsystem för Skogstransporter, steg 5”, Effektiva och uppkopplade transportsystem, FFI, 2015.
- 9 Enström, J., et.al., ”Slutrapport ETTdemoFlis – Final Report ETT-demo Wood Chips”, Skogforsk, 2021.
- 10 Rapport om tyngre och längre fordonståg på det allmänna vägnätet, Transportstyrelsen 2014 (TSV 2014/1419).
- 11 Rapport Regeringsuppdrag Fördjupande analyser av att tillåta tyngre fordon på det allmänna vägnätet, Trafikverket (TRV 2015/40563).
- 12 Rapport Tyngre Fordon på det allmänna vägnätet-rapportering av regeringsuppdrag, Trafikverket (TRV 2014/30751).
- 13 Rapport Längre lastbilar på det svenska vägnätet - för mer hållbara transporter, Trafikverket (TRV 2018/97110).
- 14 Kravspecifikation för intelligent tillträdeskontroll 74 ton.
- 15 Asp, T., CLOSER, HCT, <https://closer.lindholmen.se/high-capacity-transport-hct>.
- 16 Fröjd, N., Pettersson, E., Larsson, L., ”Svenska HCT typfordonskombinationer utvärderade mot år 2020 gällande regelverk för BK4”, NVF, 2021, https://nvfnorden.org/wp-content/uploads/2021/04/2021-04-15_Svenska_HCT_Typfordon.pdf.

- 17 Saxton, B., "Tunga fordon i urbana miljöer – en kartläggning", Trafikanalys, Rapport 2017:23.
- 18 Teiber, A., Bark, P., «Energieffektiva transporter av massgods i stora tätortsområden och storstäder», TFK Rapport 2016:3.
- 19 Skogforsk, HCT, <https://www.skogforsk.se/sok/#query=hct&page=1>.
- 20 Trafikverket Basprognos, "Prognos för godstransporter 2040- Trafikverkets Basprognoser 2020", Trafikverket, 2020.
- 21 Rapport Statliga vägar som Trafikverket kan upplåta för en ny bärighetsklass 4, Trafikverket (TRV 2016/87239).
- 22 Regeringsuppdrag Implementering av bärighetsklass 4, Trafikverket (TRV 2020/44448).
- 23 Djupstudieanalys av olyckor med tunga lastbilar – Effekter av åtgärder för en säker tung trafik, Trafikverket (TRV 2008/136).
- 24 Skogforsk, Kunskapsbanken, <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2022/utvecklingen-av-bk4-vagnatet-och-bk4-fordon-konfigurerade-for-bk4/>.
- 25 Trafikverkets underhållsplan för åren 2022–2025, Trafikverket (TRV 2022/10331).
- 26 Karlsson, R., Konsekvenser av olika däckskonfigurationer för tunga fordon inverkan på vägnätet, Trafikverket (TRV 2016/22392)
- 27 Nyström, J., "Regeringens fördubbling av det eftersatta underhållet", Svenskt Näringsliv, 2022.
- 28 TSD, Greenwood, <https://greenwood.dk/road/tsd/>.
- 29 Stonecliffe-Jones, M., "Introduction to the Dynatest RAPTOR Rolling Wheel Deflectometer", ERPUG, Copenhagen 2017, <http://www.erpug.org/media/files/Introduction%20to%20the%20Dynatest%20RAPTOR.PDF>
- 30 RAPTOR Dynatest, Rapid Pavement Tester (Dynatest RAPTOR), Presentations material, 2018-2019.
- 31 RAPTOR, Ramboll, <https://rst.ramboll.com/matning>
- 32 Dynatest, Presentation of measurements at Statens Vegvesen, Trondheim, 2019, Norge.
- 33 Gdansk Transport Company S.A., TSD measurement on A1 Motorway, Poland.
- 34 Infrastructure Development, Measurements on I66, Alexandria, USA.
- 35 Hopman, P.C., "VEROAD: A Viscoelastic Multilayer Computer Program", Transportation Research Record, 1996.

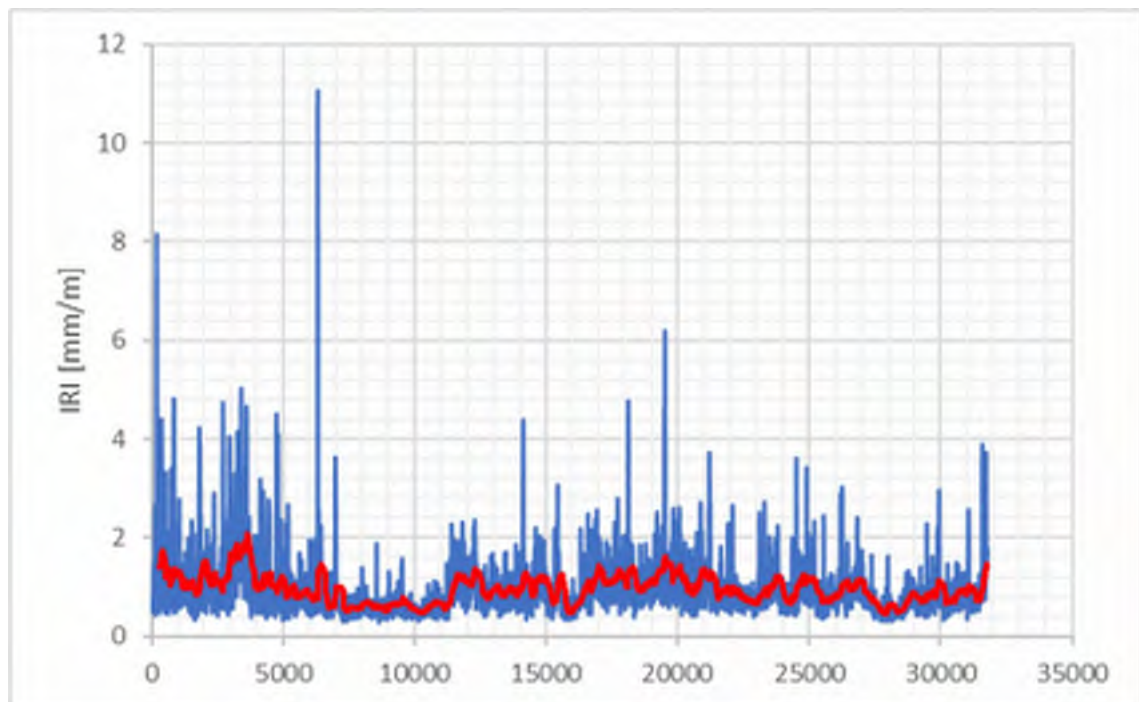
- 36 Nilsson, R., Oost, I., Hopman, P. C., “Viscoelastic Analysis of Full-Scale Pavements: Validation of VEROAD”, Transportation Research Record, 1996.
- 37 Hopman P.C., Nilsson R. and Pronk A. C., ”Theory, validation and application of the viscoelastic multi-layer program, VEROAD”. Eighth International Conference on Asphalt Pavements (ISAP) Seattle 1997, vol. 1 pp. 693-705.
- 38 Nilsson, R., “Viskoelastisk pavement analys using VEROAD”, SBUF Informerar Nr 99:49 samt Nr 01:29, Slutrapport 09056, 2001.
- 39 Mått- vikt- och lastbestämmelser för fordon och fordonståg, Transportstyrelsen, [Mått- vikt- och lastbestämmelser för fordon och fordonståg - Transportstyrelsen.](#)
- 40 104 ton timmerbil, ”Jätti”, <https://www.skogforsk.se/nyheter/2016/skogforsk-testar-finska-jattelastbilen/>.
- 41 Ekblad, J., et.al.,” Impact on rutting from introduction of increased axle loads in Finland”, International Journal of Pavement Engineering, 2020.
- 42 TRVK Väg, Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion, TRV 2011:072 TDOK 2011:264, 2011.
- 43 Huhtala, M., “The effect of wheel loads on pavements”, Road Transport Technology-4, University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, 1995.
- 44 Vidmakthållande. Underlagsrapport till Nationell plan för transportsystemet 2018–2029, Trafikverket (TRV 2017/32405).
- 45 Eklöf, K., ”Långsiktiga effekter av ett underfinansierat vägunderhåll”, Salbo, 2021.
- 46 Snyder & Associates, <https://www.snyder-associates.com/optimize-roadway-network-pavement-management-system/>.
- 47 COST 333: “Development of new bituminous pavement design method”, © European Union, 2000.
- 48 M-E Design Flowchart (After FHWA), 2002.
- 49 TRVMB 114, Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, TRV 2012:051, https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11016/RelatedFiles/2012_051_TRVMB_114_bearbetning_av_deflektionsmatdata_erhallna_vid_provbelastning_av_vag_med_FWD_apparat.pdf.
- 50 PMS-Objekt 5.0, Trafikverket, 2022, <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>
- 51 Boo E. & Karlsson E., Utvärdering av olika bärighetsmått, examensarbete på LTH, 2005.

- 52 TRVMB 112, Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat, 2012, https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11015/RelatedFiles/2012_050_trymb_112_deflektionsmatning_vid_provbelastning_med_fallviktsapparat.pdf.
- 53 ARRB, 24th ARRB conference, 2010. Continuous bearing capacity profile of 18,000 km, Australian road network in 5 months.
- 54 Jansson, L., “Utveckling av alternativa beläggningskonstruktioner (Förstudie - Etapp 1c)”, SBUF 13318, 2023.
- 55 Arokia, M., Haakonsson, M., “Visco-Elastic Back Calculation on Demand: A new is here”, ERPUG, Edinburgh 2022, http://www.erpug.org/media/files/forelasningar_2022/13_221013_ERPUG_2022.pdf

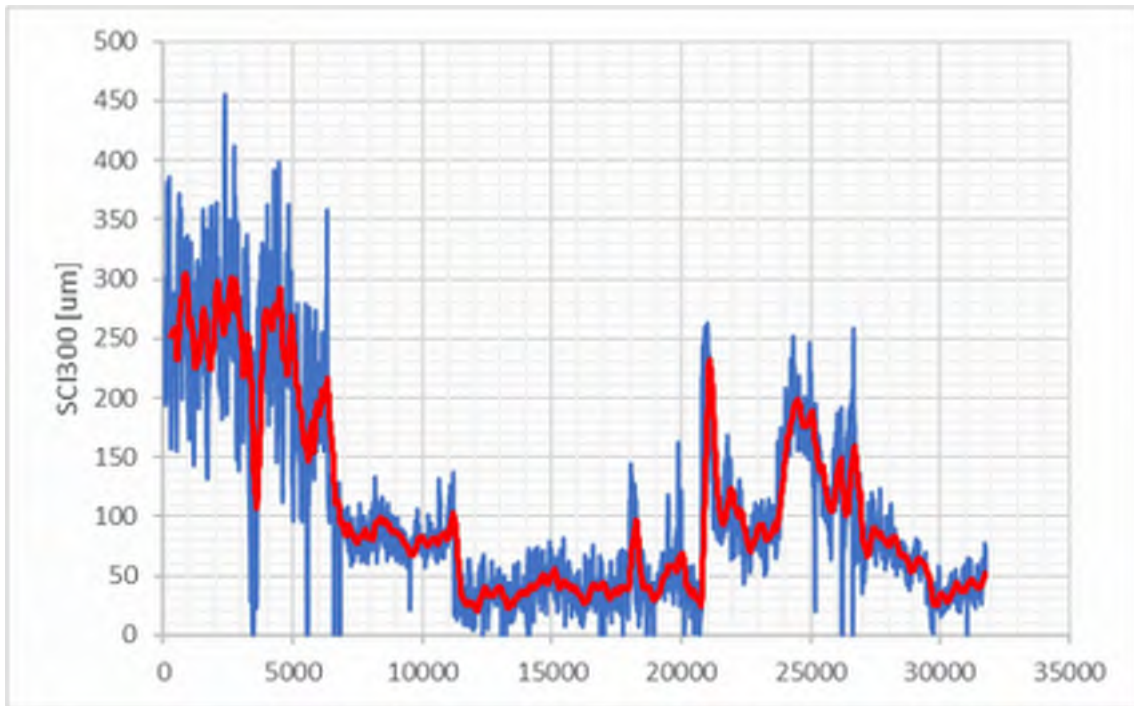
BILAGA A



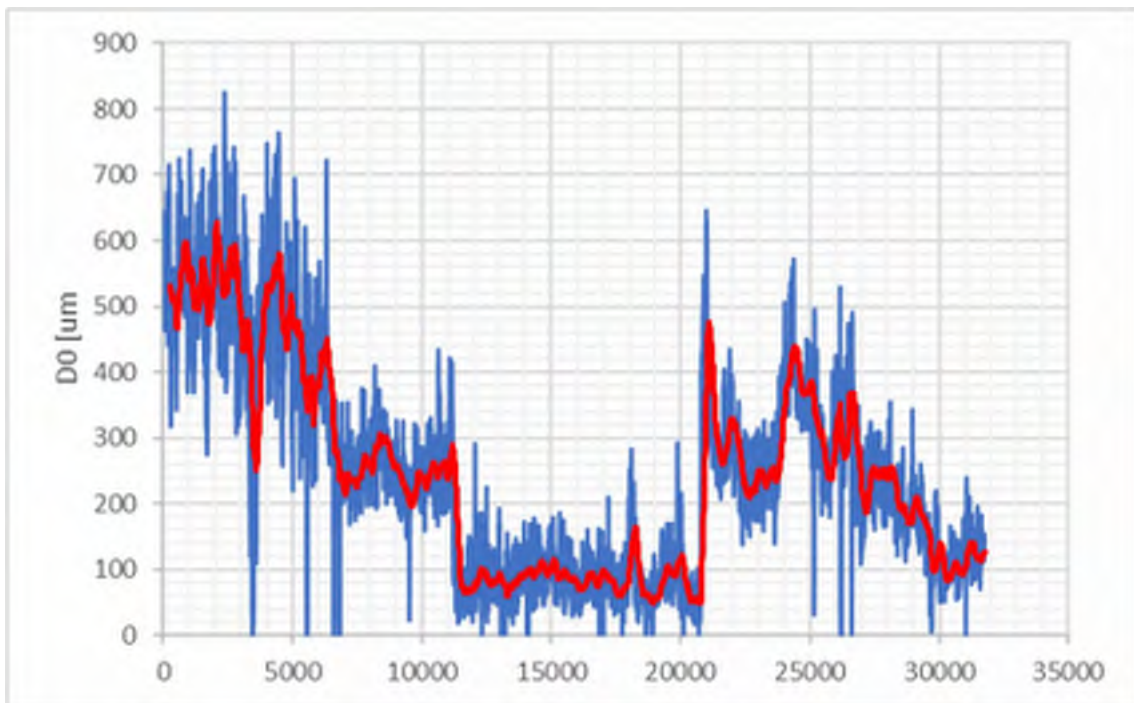
1, E22, Tollarp-Fogdarp



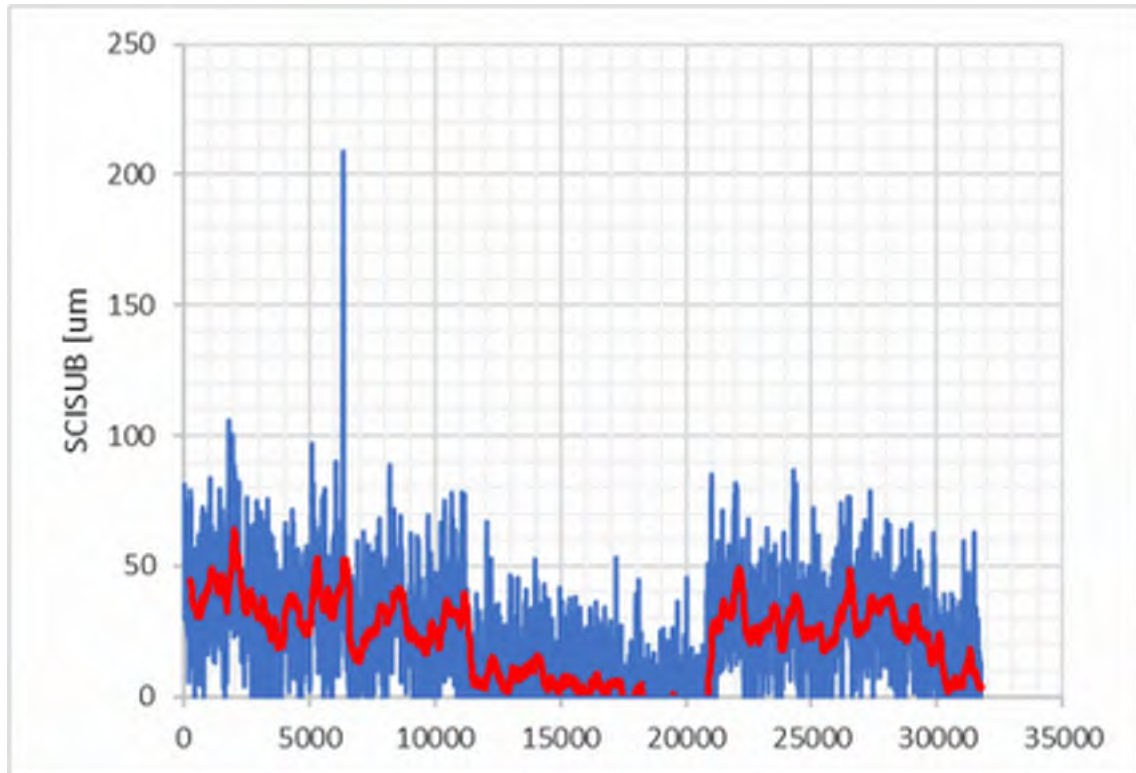
1, E22, Tollarp-Fogdarp



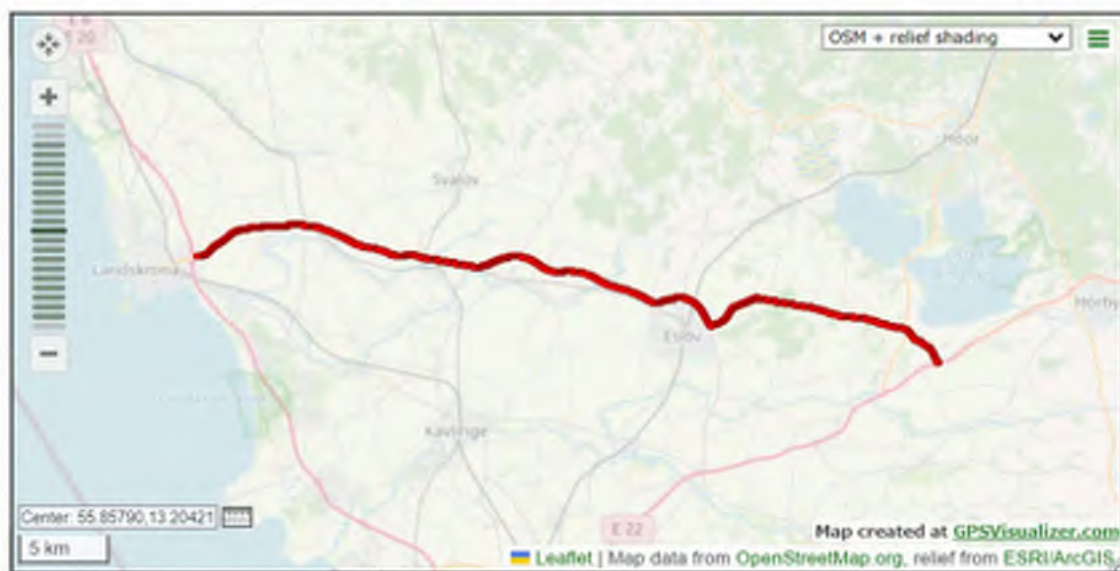
1, E22, Tollarp-Fogdarp



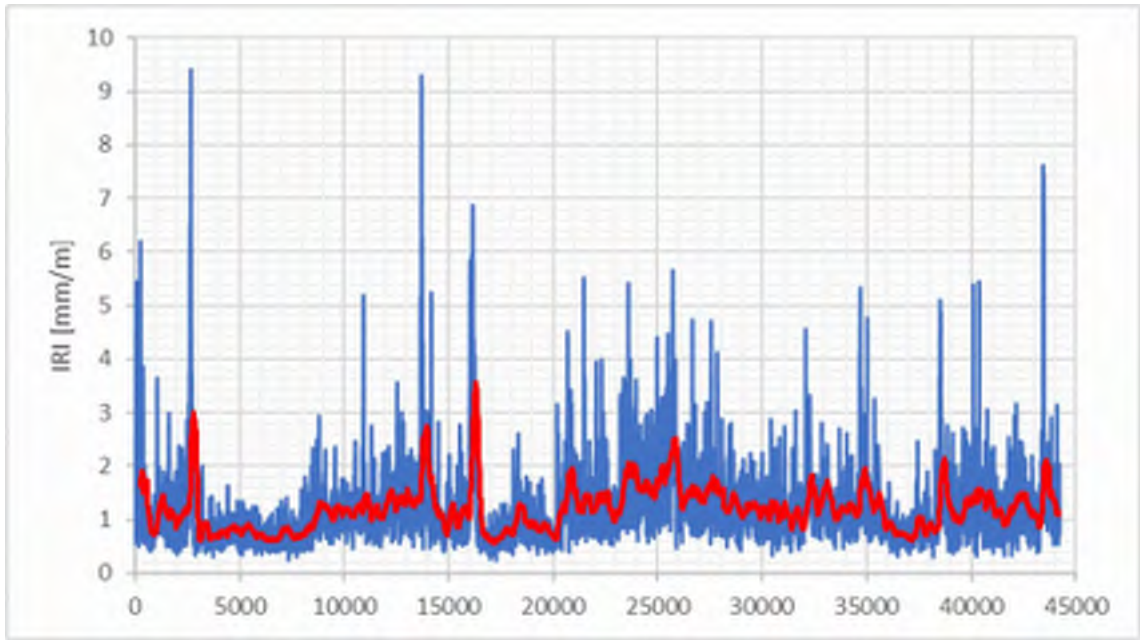
1, E22, Tollarp-Fogdarp



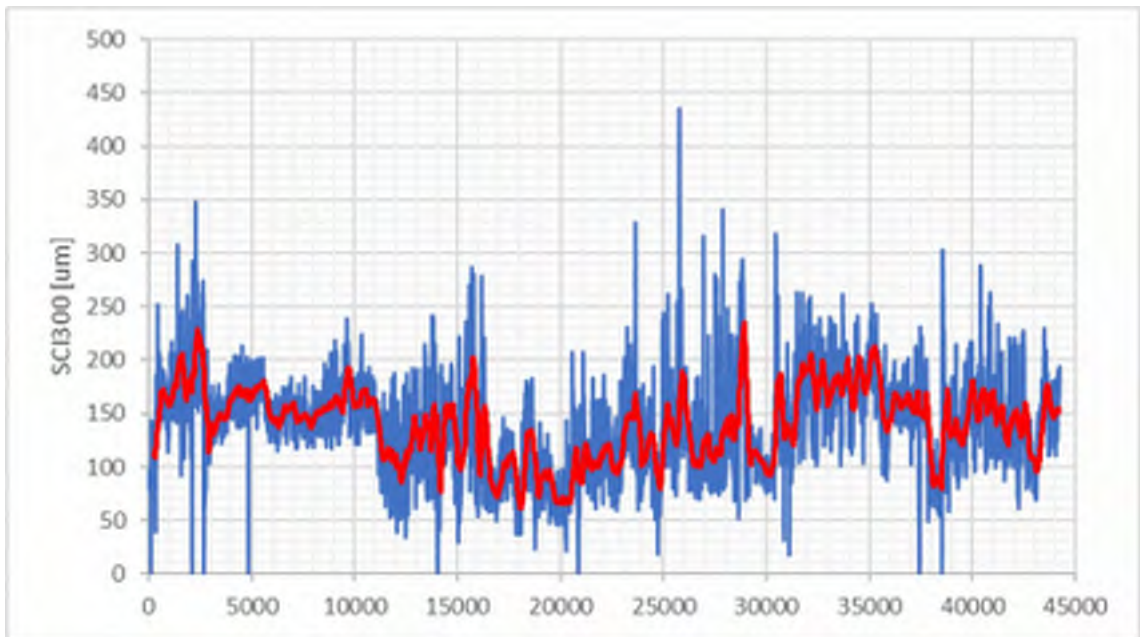
1, E22, Tollarp-Fogdarp



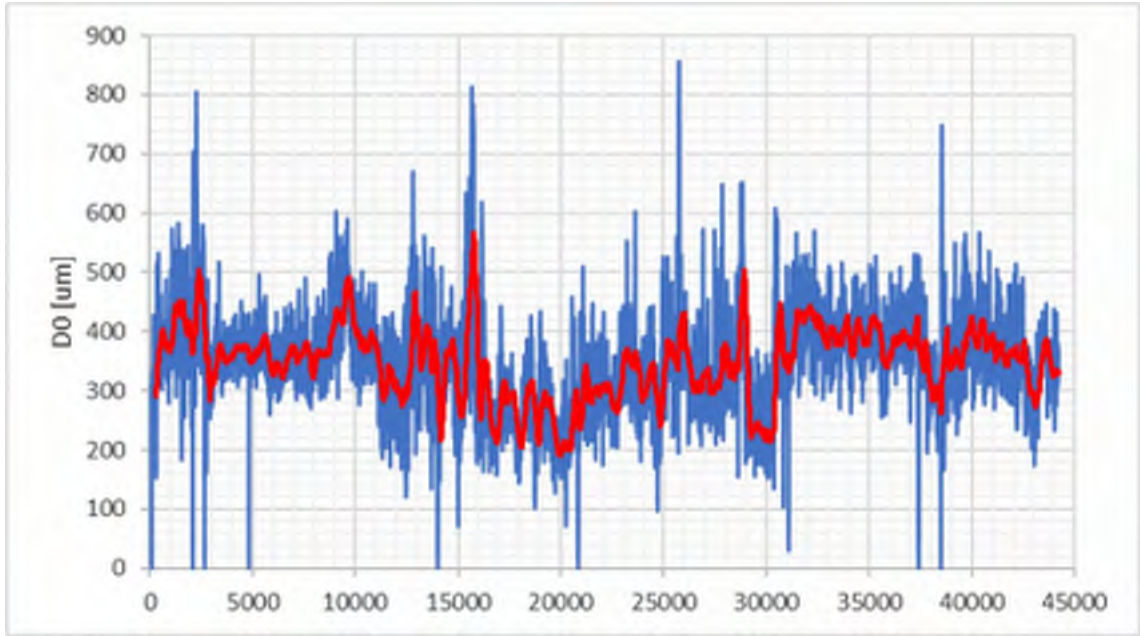
2, Rv17, Fogdarp-Landskrona



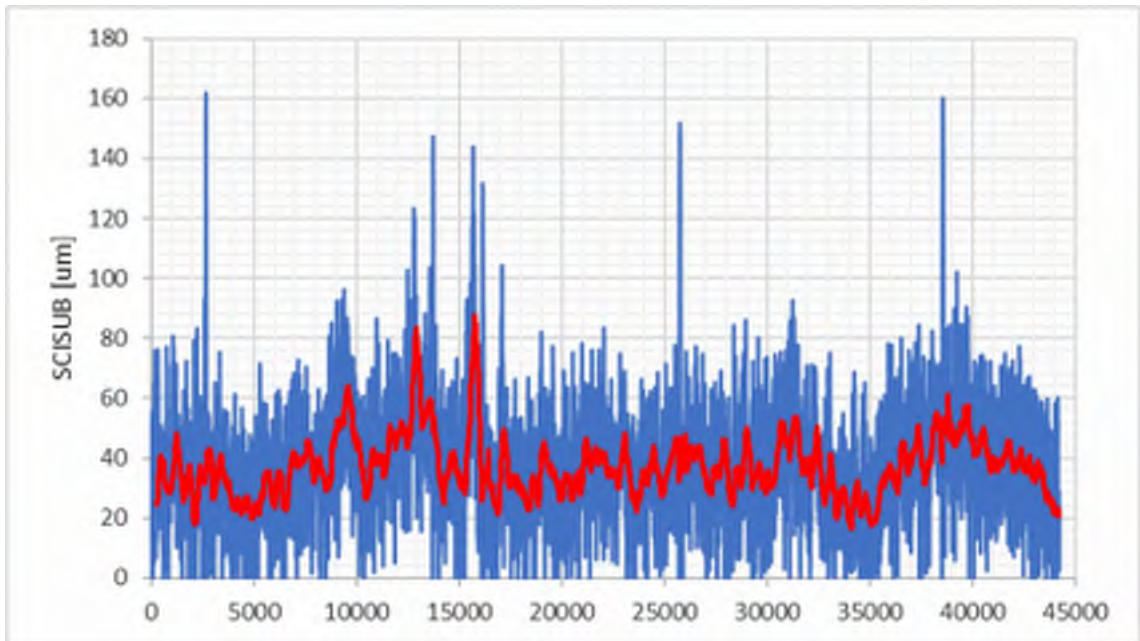
2, Rv17, Fogdarp-Landskrona



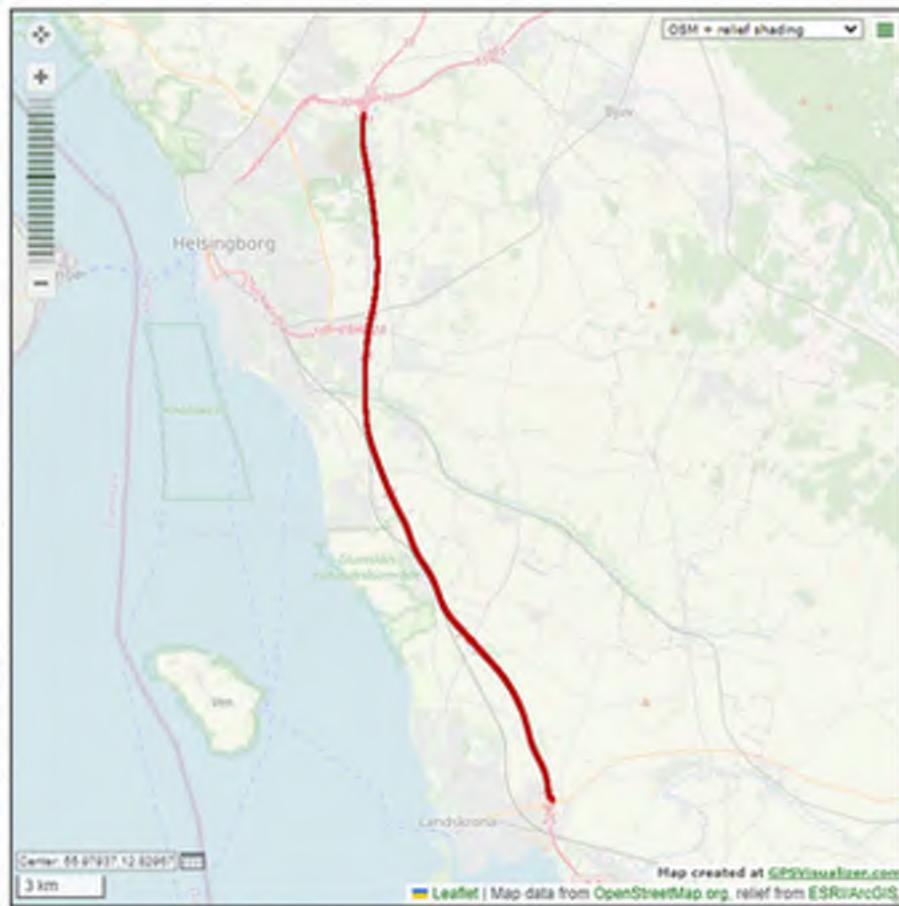
2, Rv17, Fogdarp-Landskrona



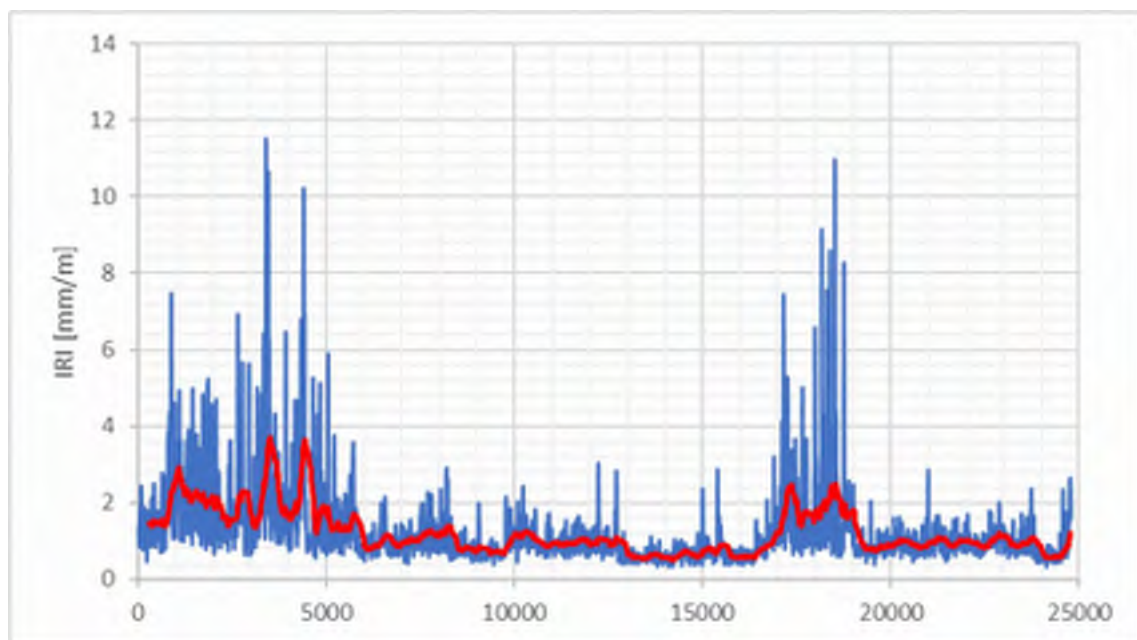
2, Rv17, Fogdarp-Landskrona



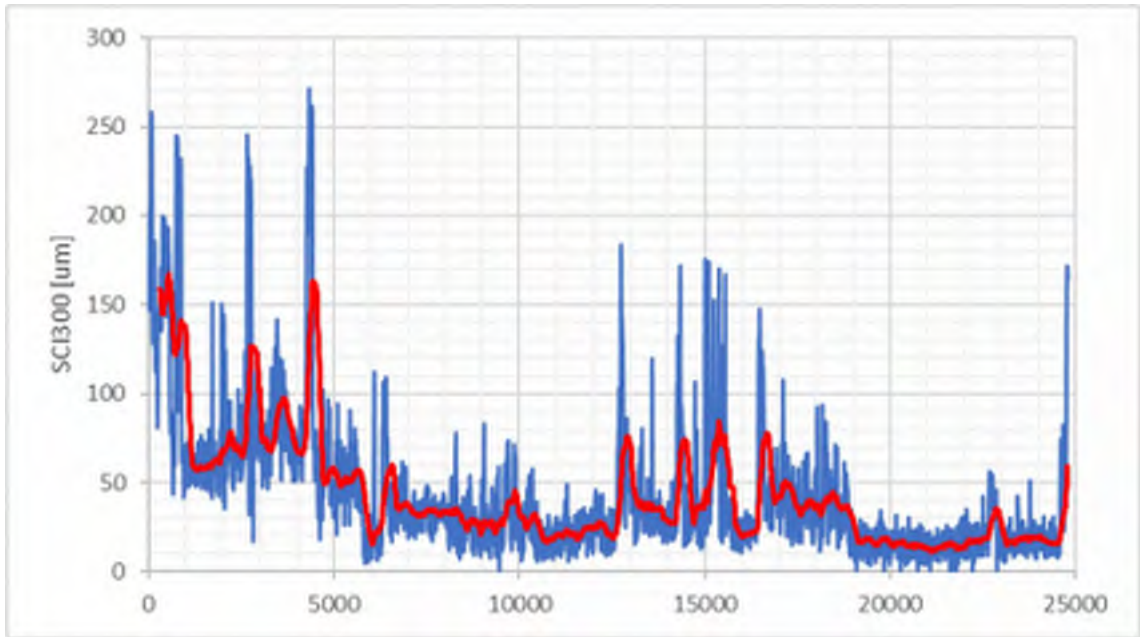
2, Rv17, Fogdarp-Landskrona



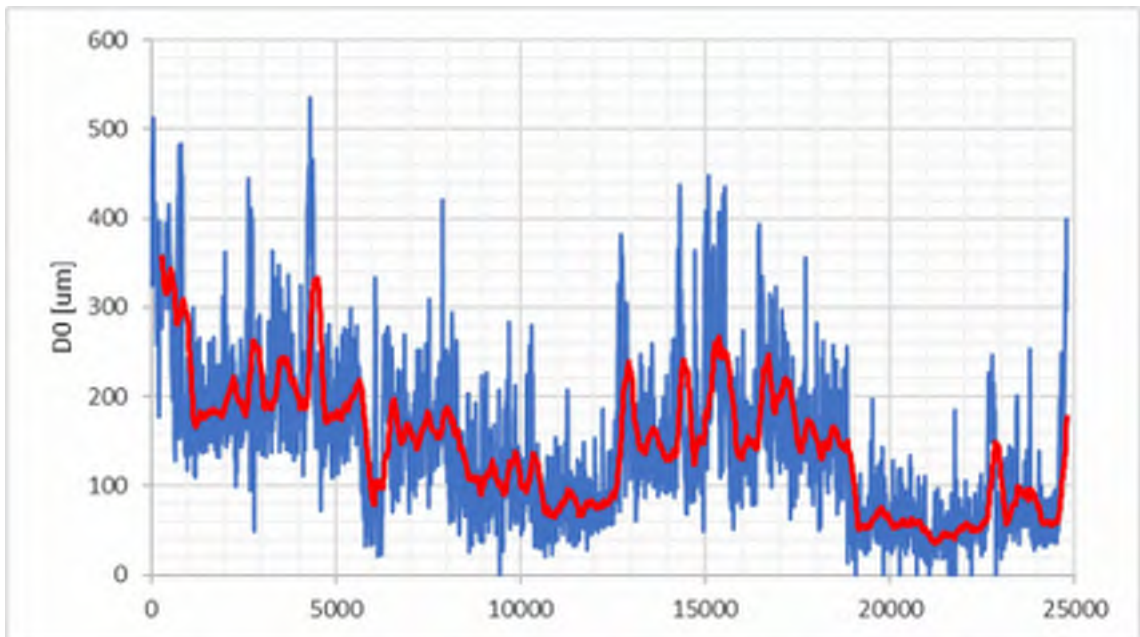
3, E6, Landskrona-Tpl Kropp



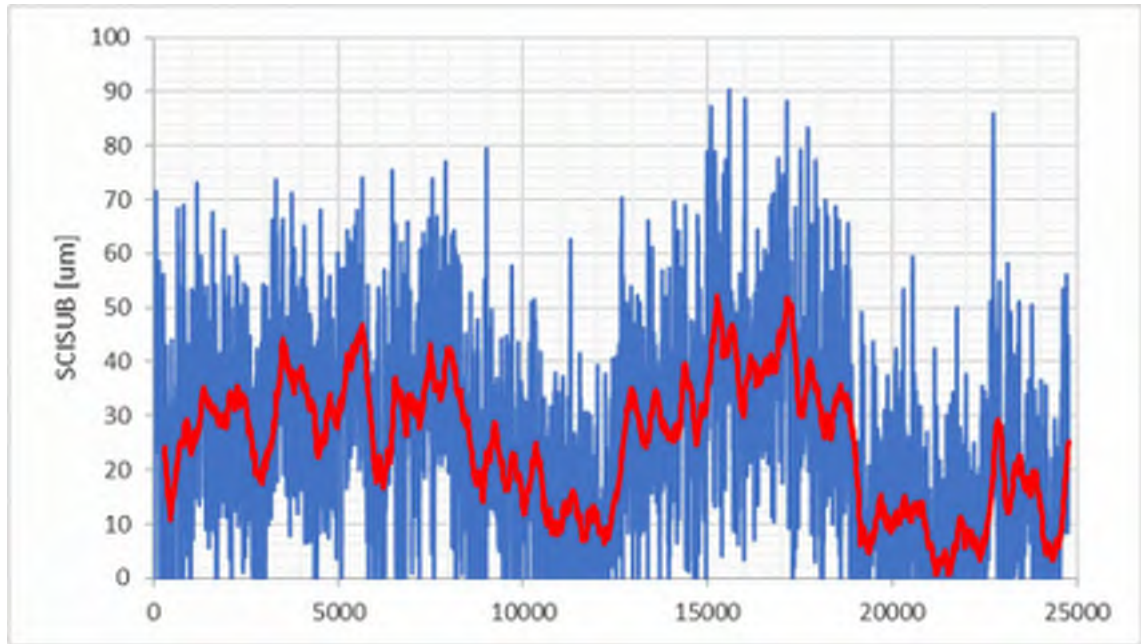
3, E6, Landskrona-Tpl Kropp



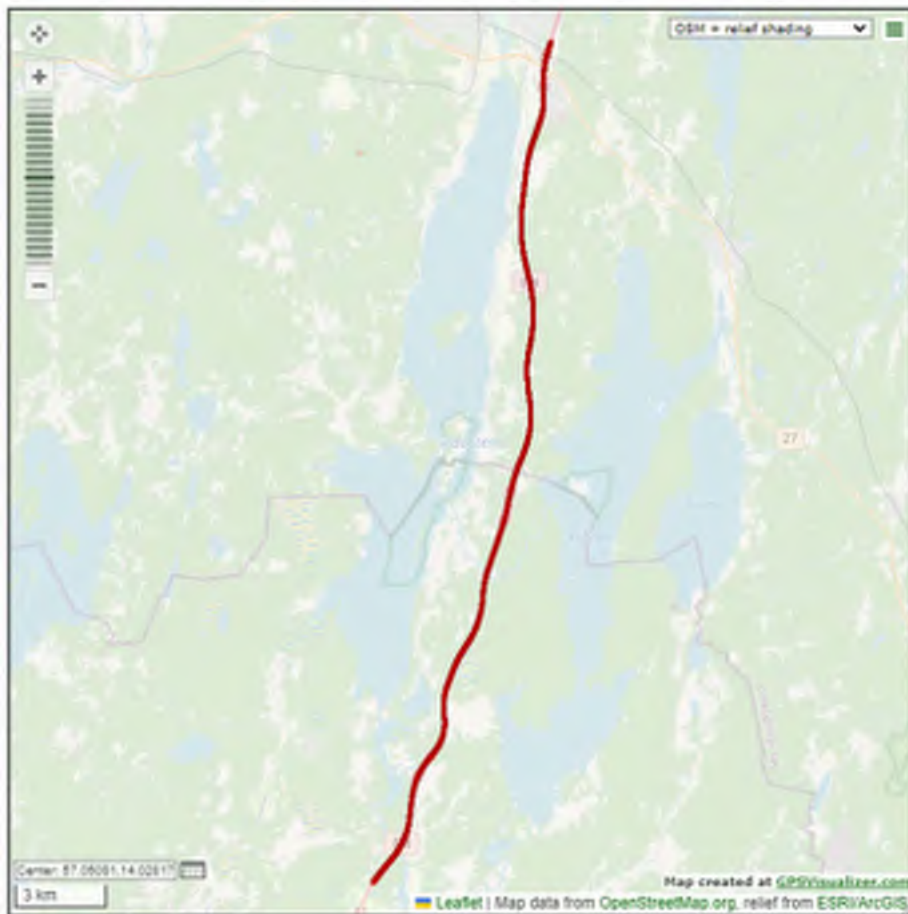
3, E6, Landskrona-Tpl Kropp



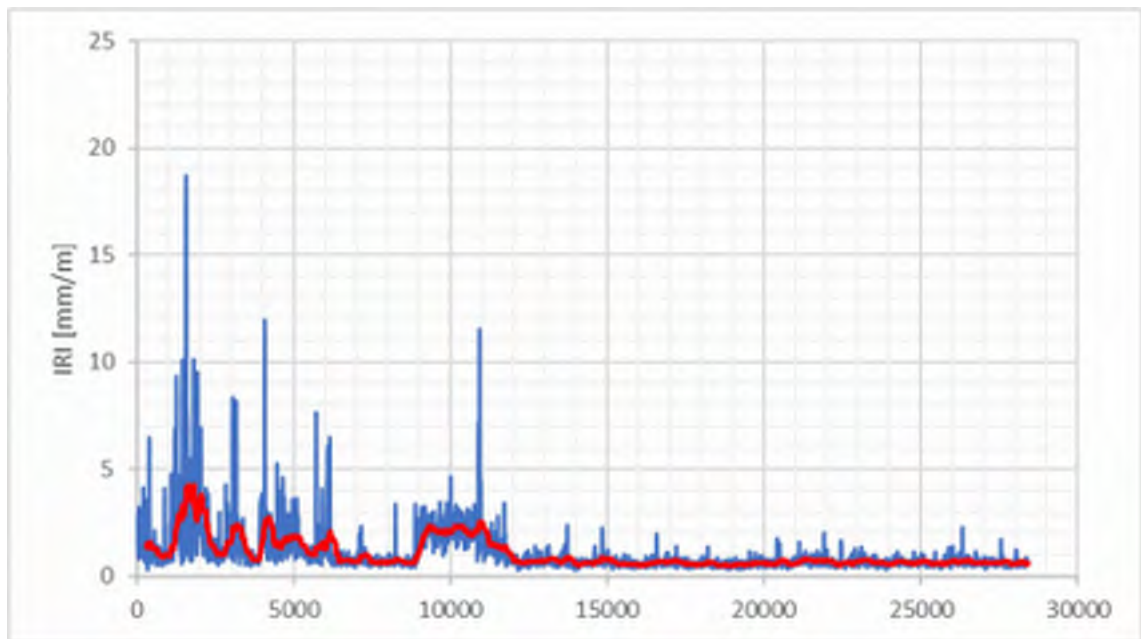
3, E6, Landskrona-Tpl Kropp



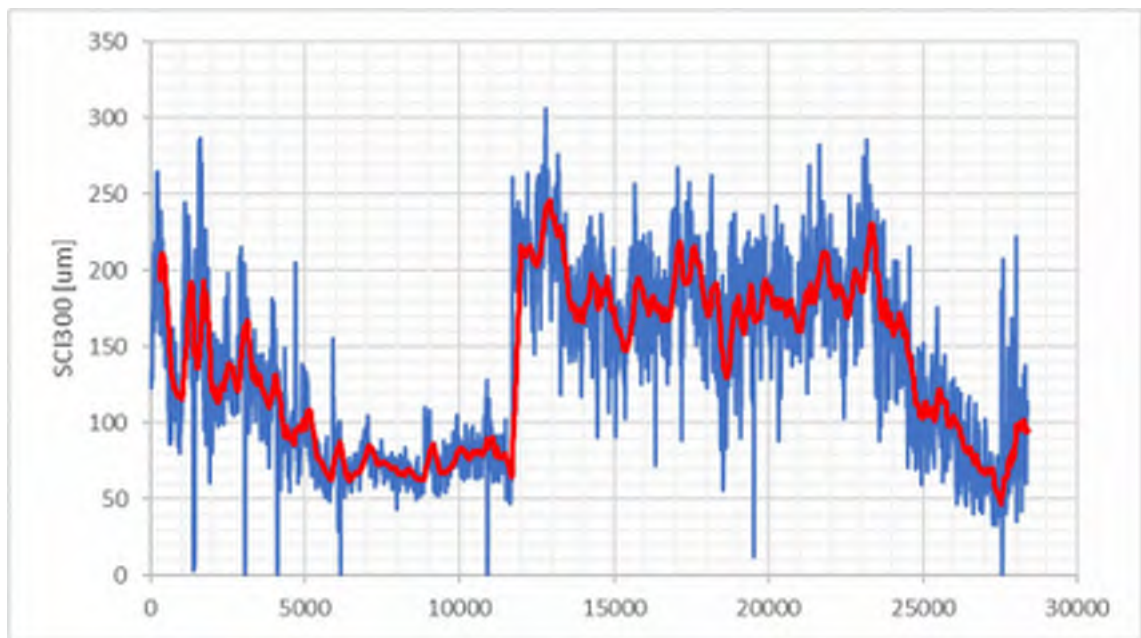
3, E6, Landskrona-Tpl Kropp



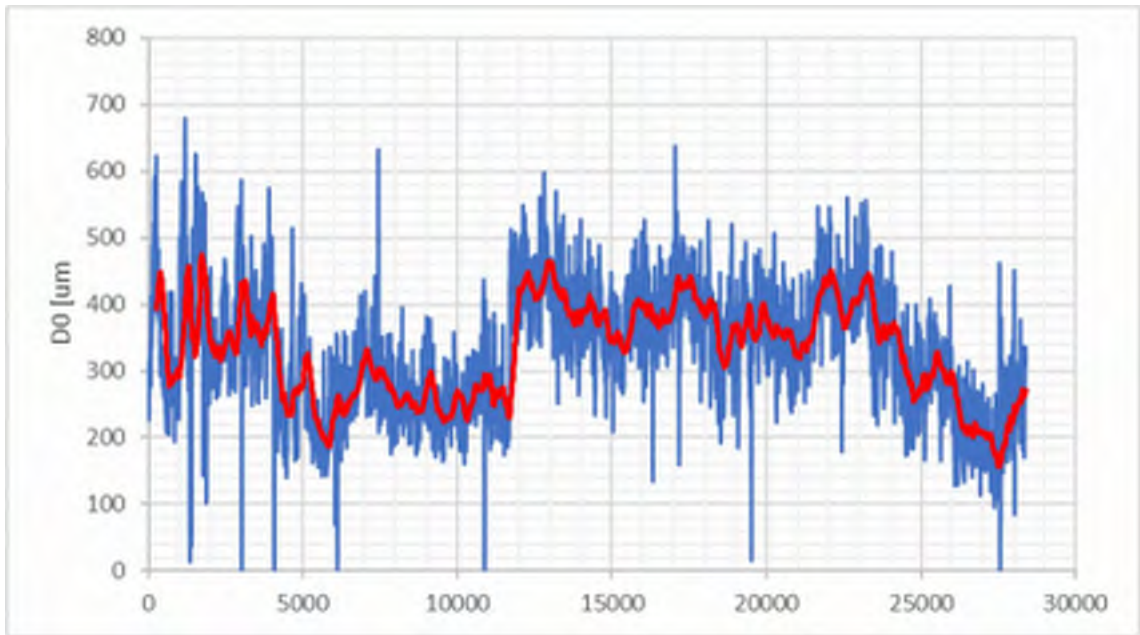
4, E4, Lagan-Värnamo



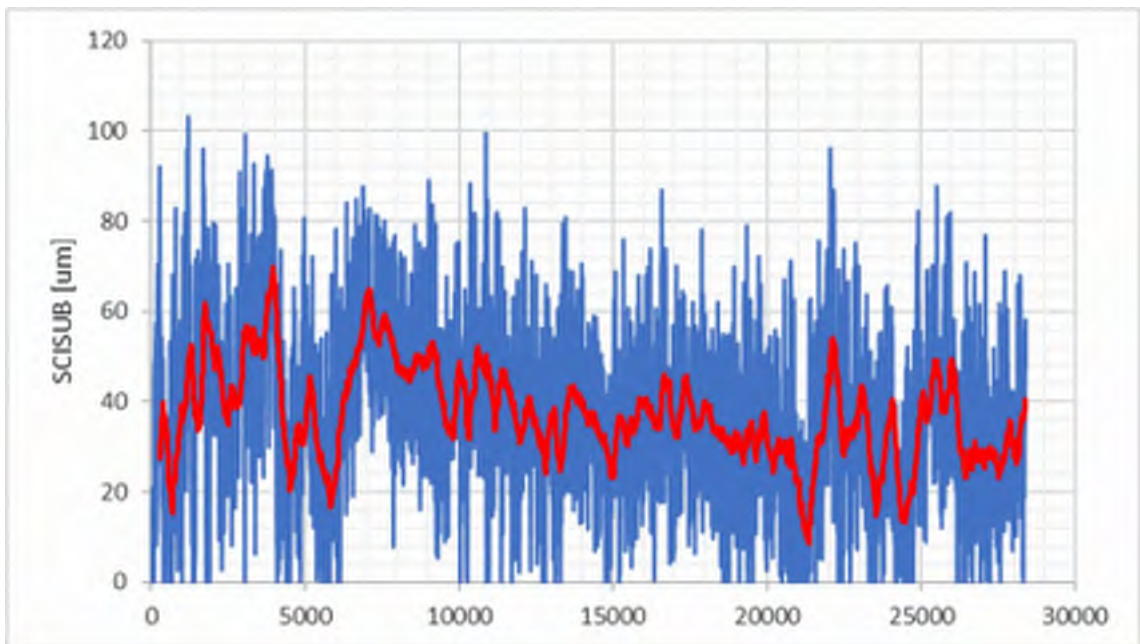
4, E4, Lagan-Värnamo



4, E4, Lagan-Värnamo



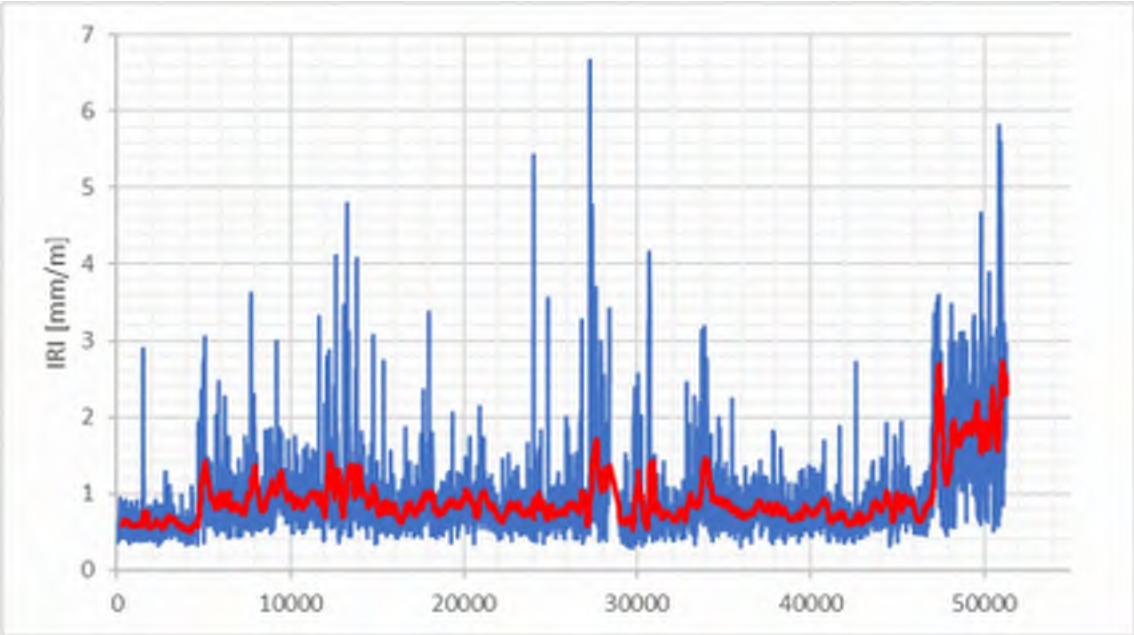
4, E4, Lagan-Värnamo



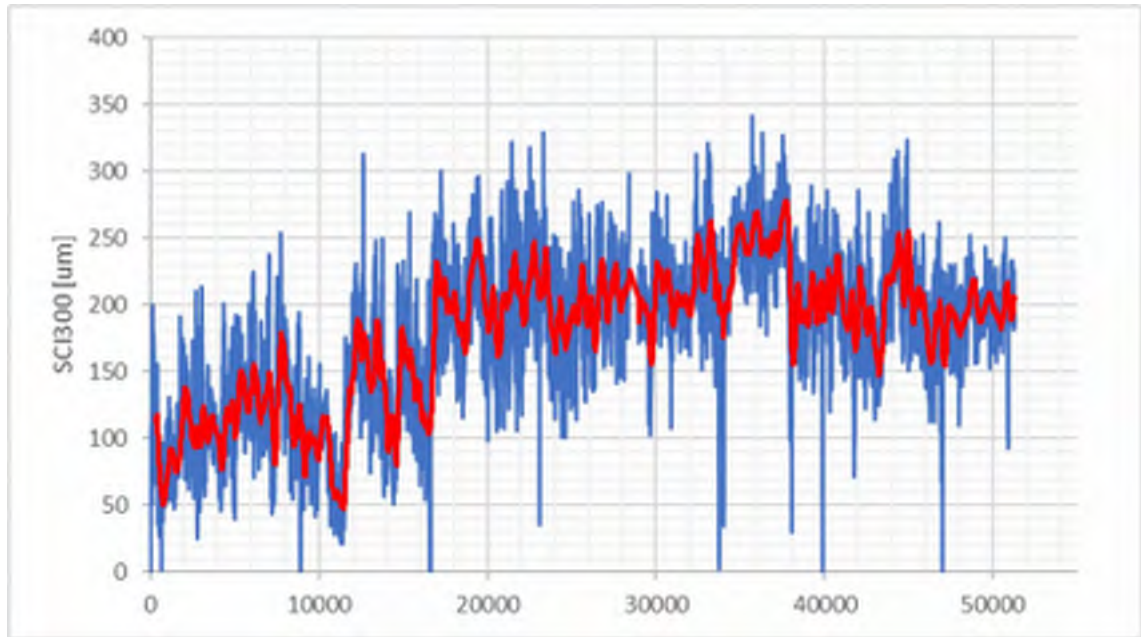
4, E4, Lagan-Värnamo



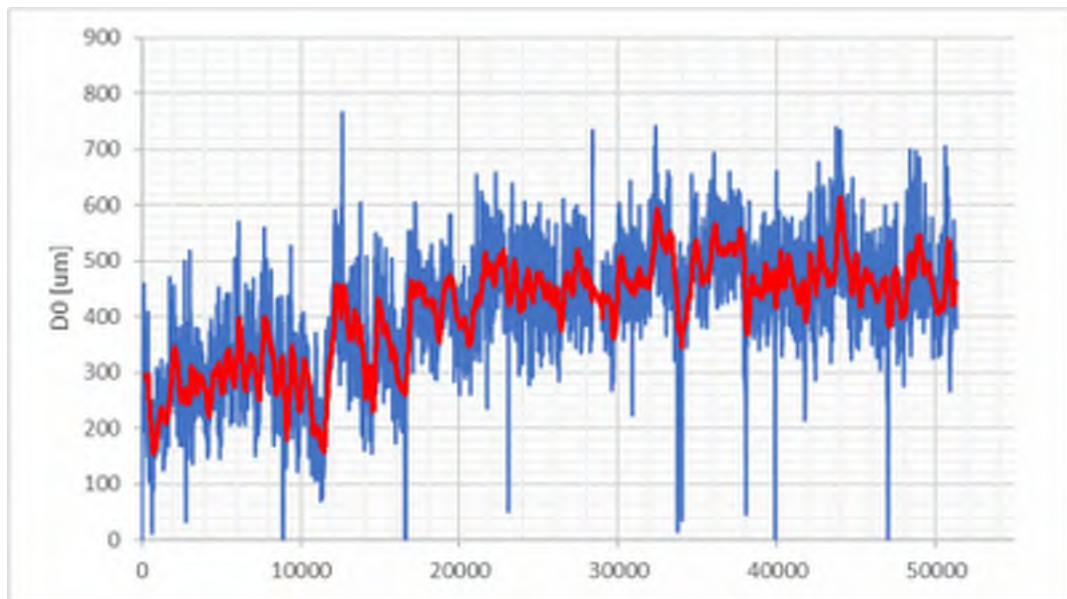
5, E4, Värnamo-Tpl Stigamo



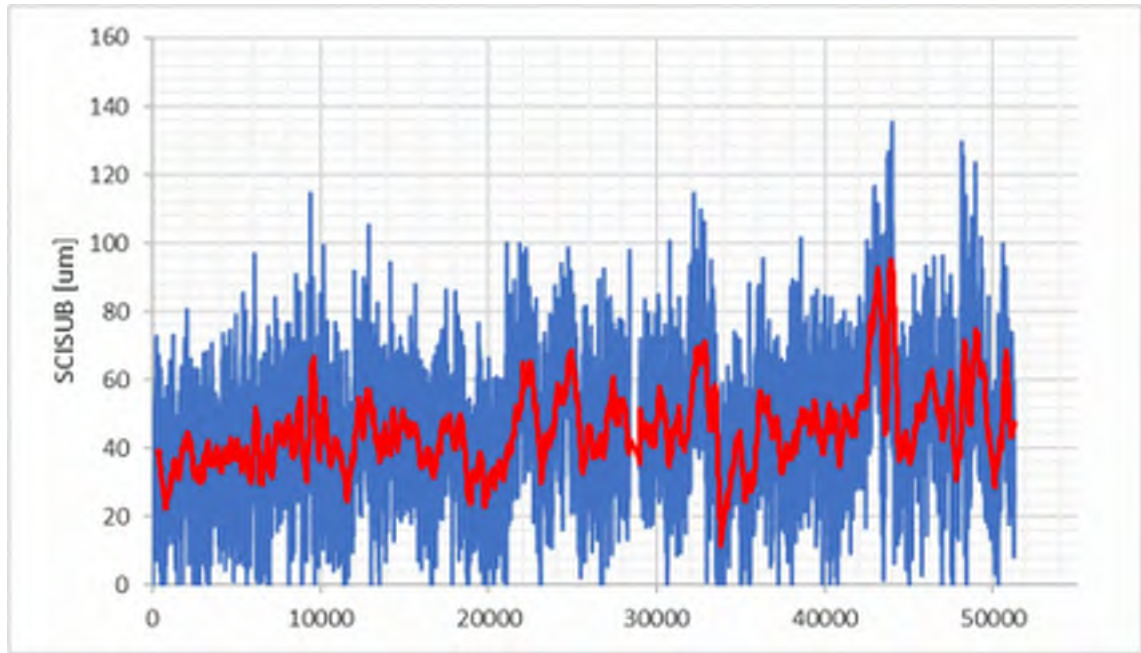
5, E4, Värnamo-Tpl Stigamo



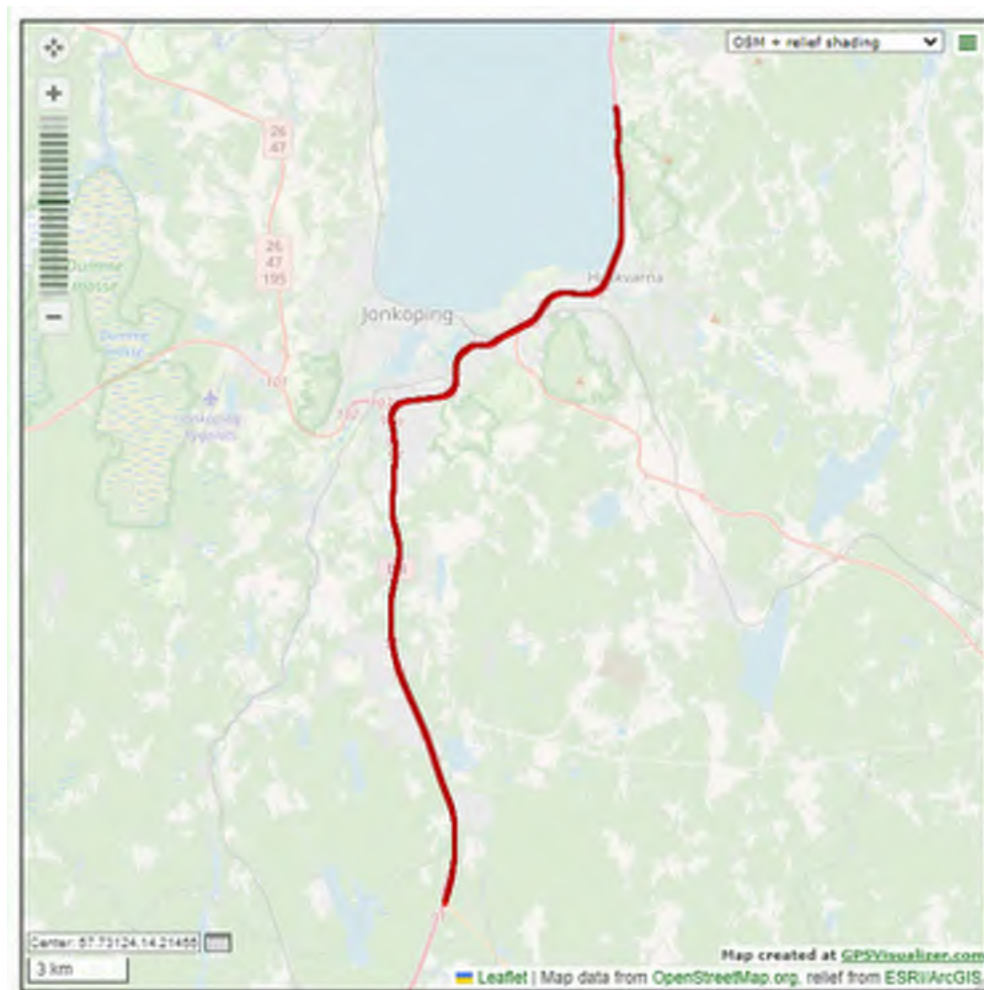
5, E4, Värnamo-Tpl Stigamo



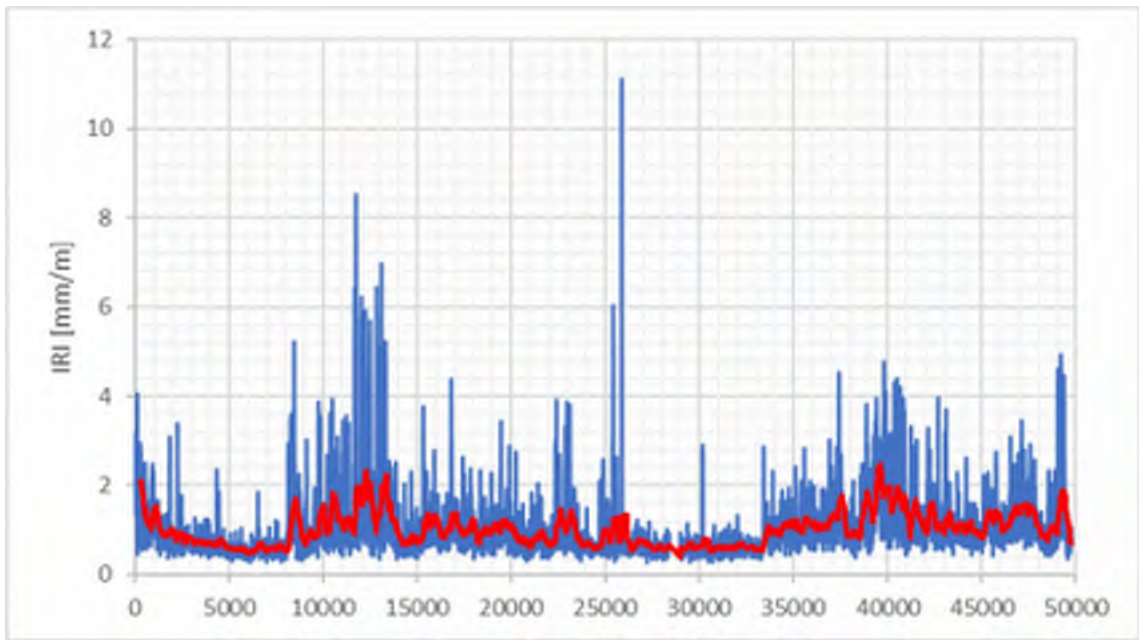
5, E4, Värnamo-Tpl Stigamo



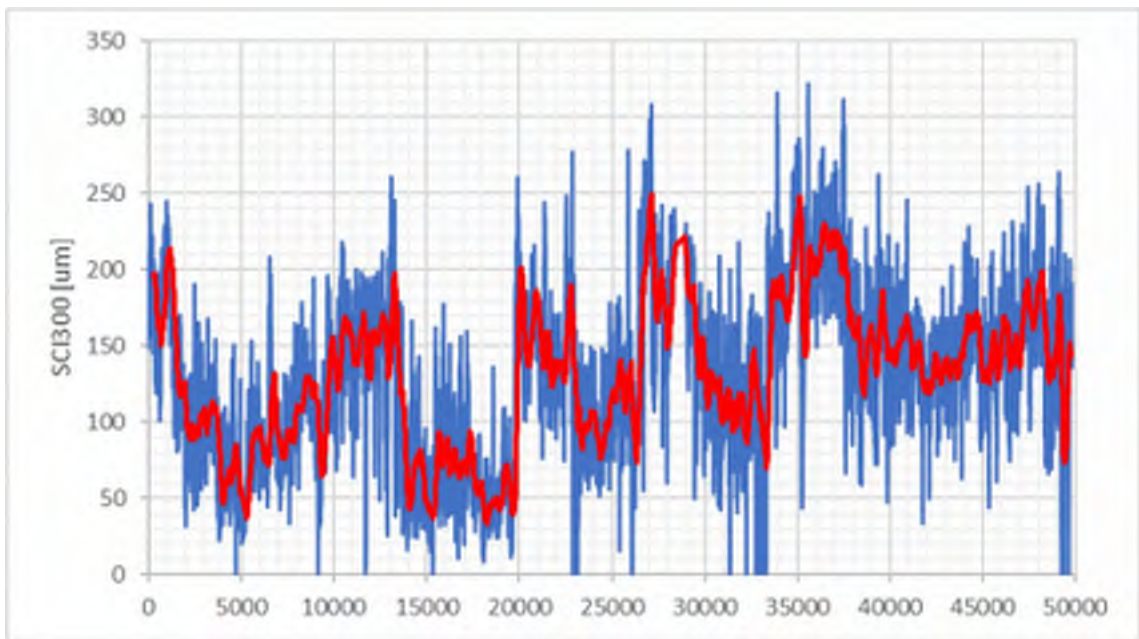
5, E4, Värnamo-Tpl Stigamo



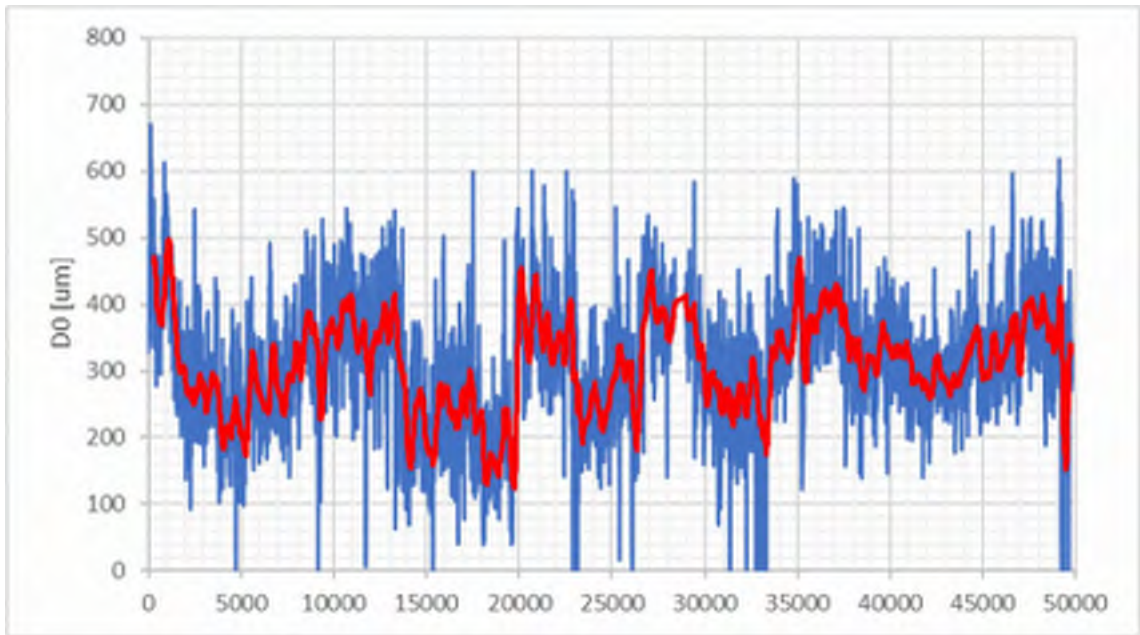
6, E4, Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern



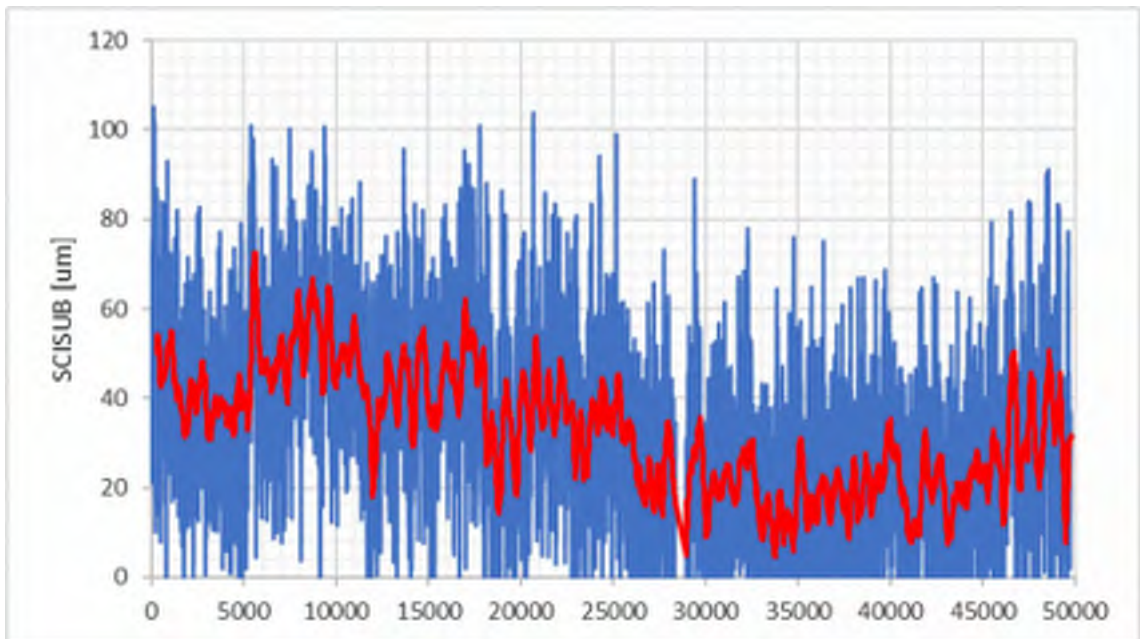
6, E4, Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern



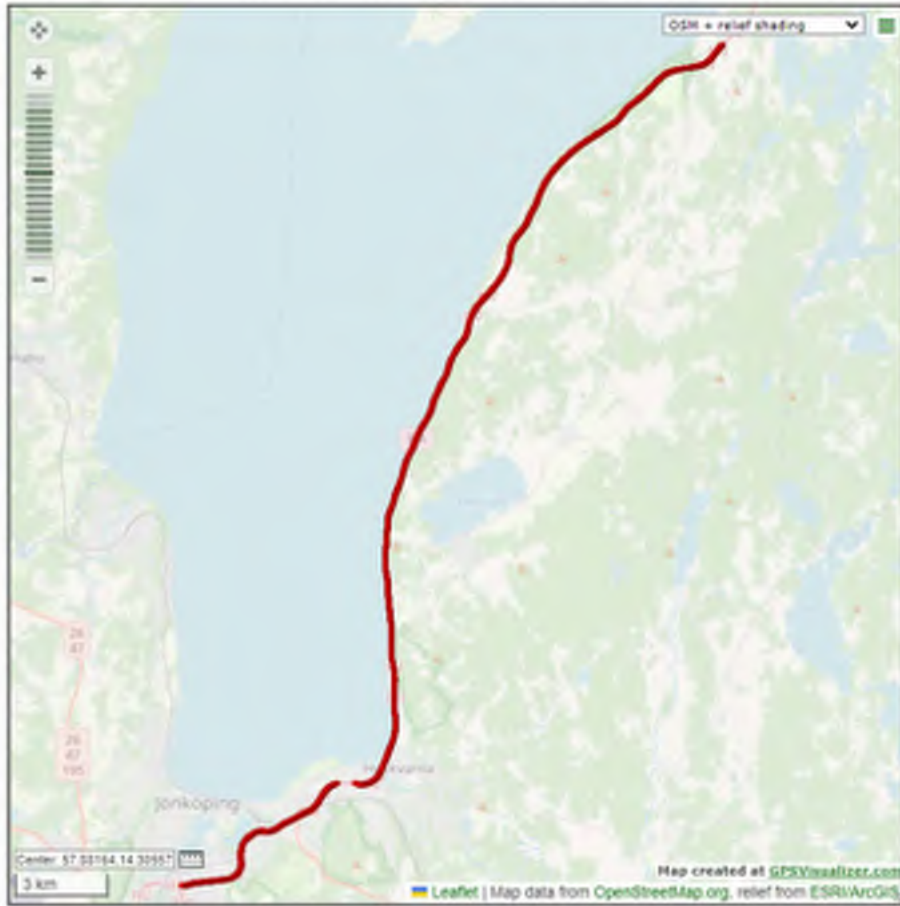
6, E4, Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern



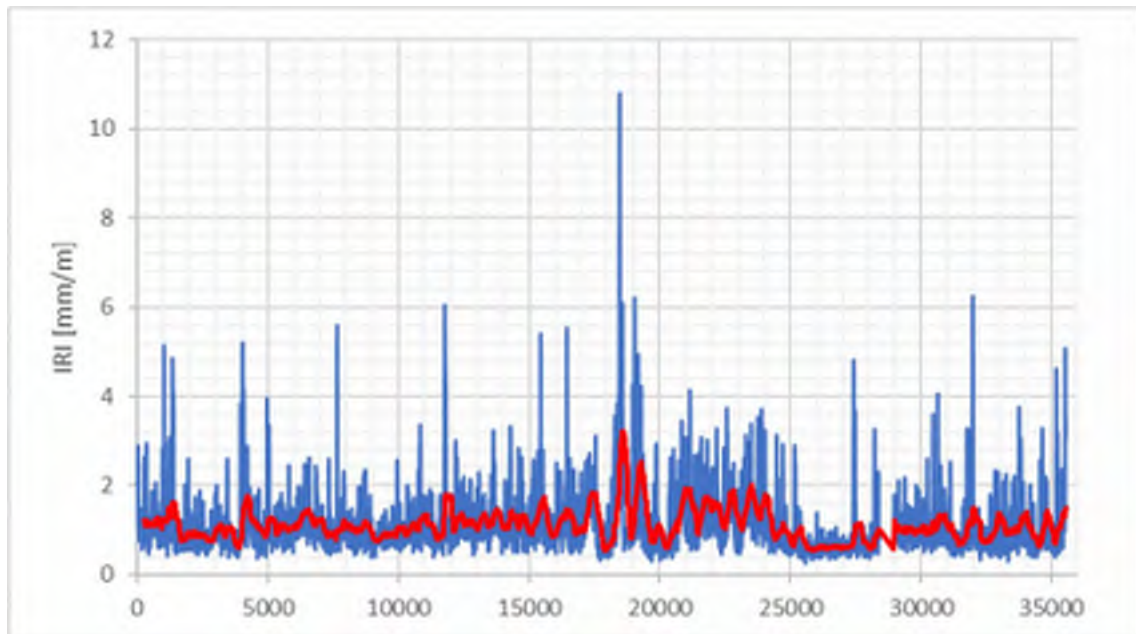
6, E4, Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern



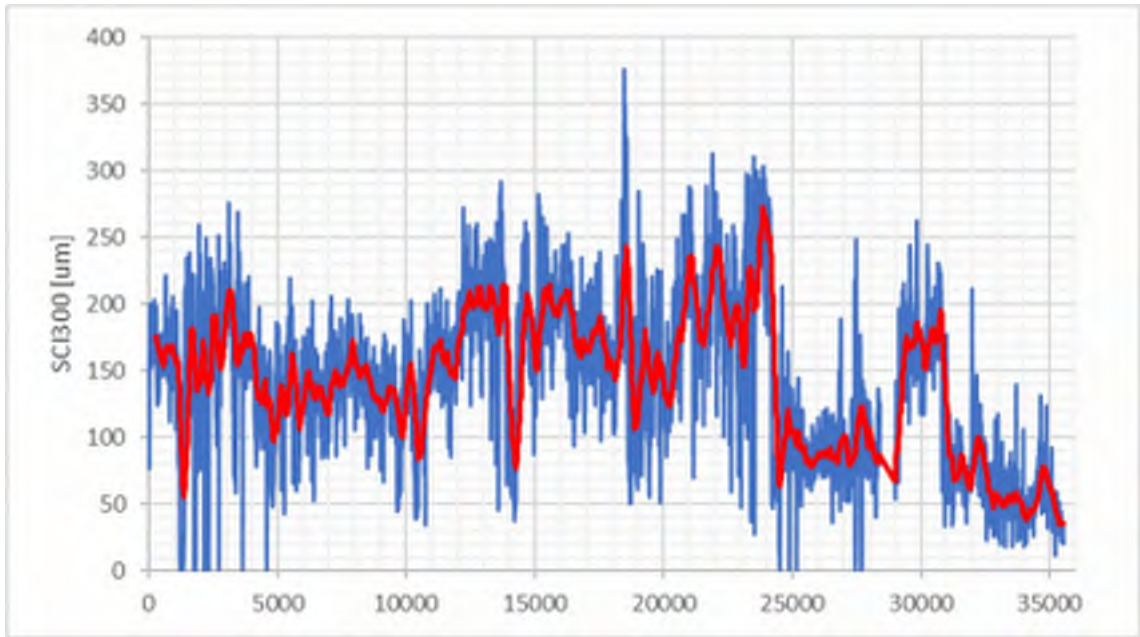
6, E4, Tpl Stigamo-Tpl Gyllene Uttern



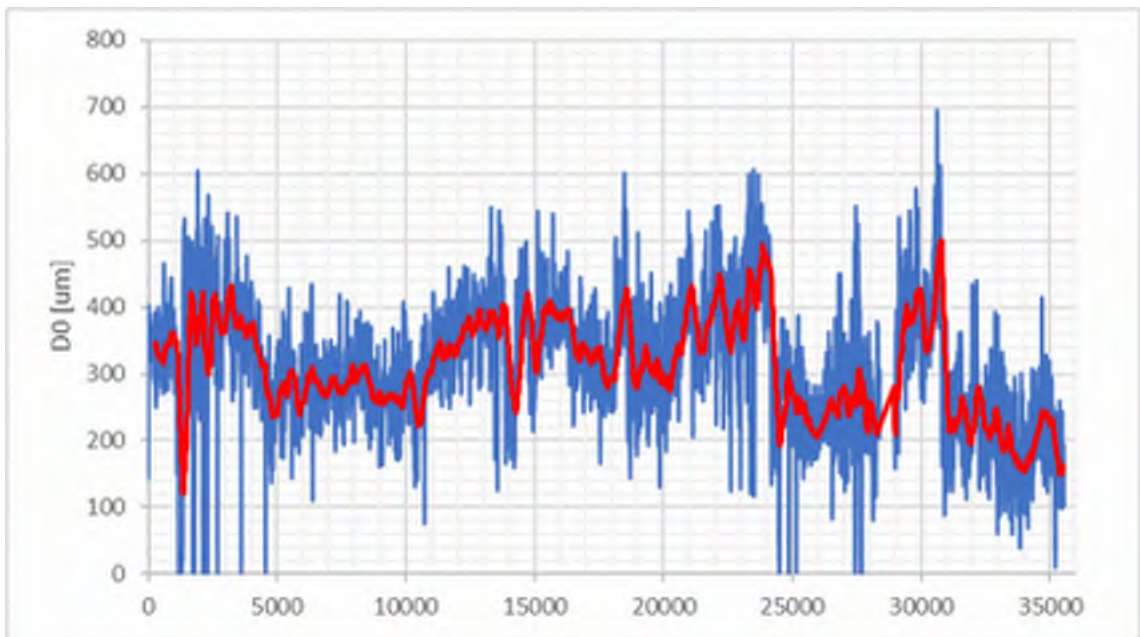
7, E4, Tpl Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum



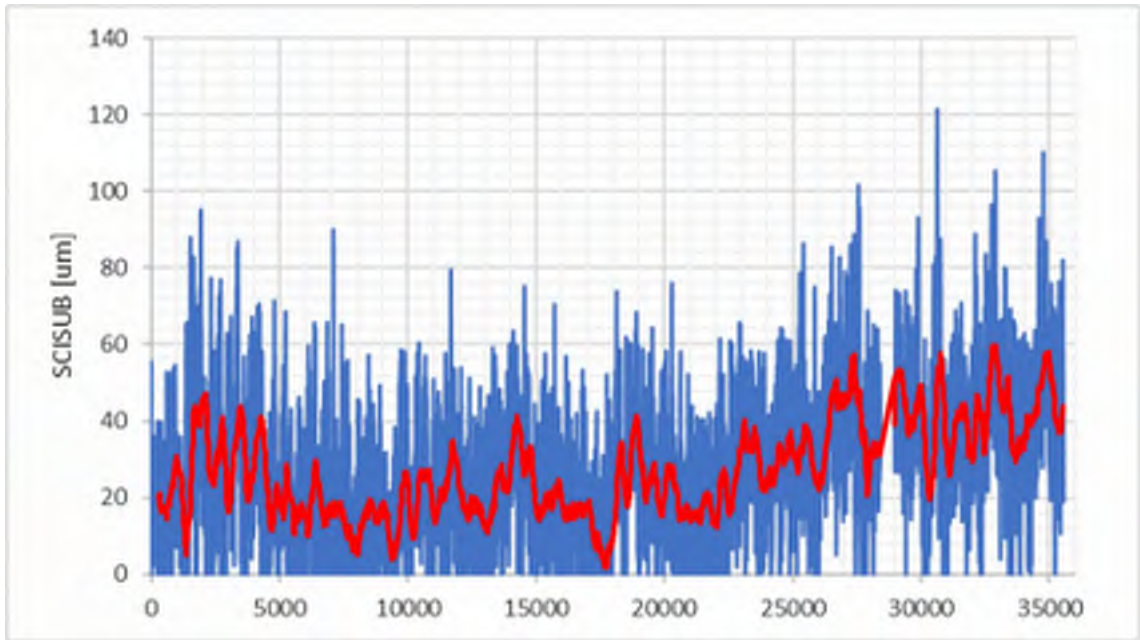
7, E4, Tpl Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum



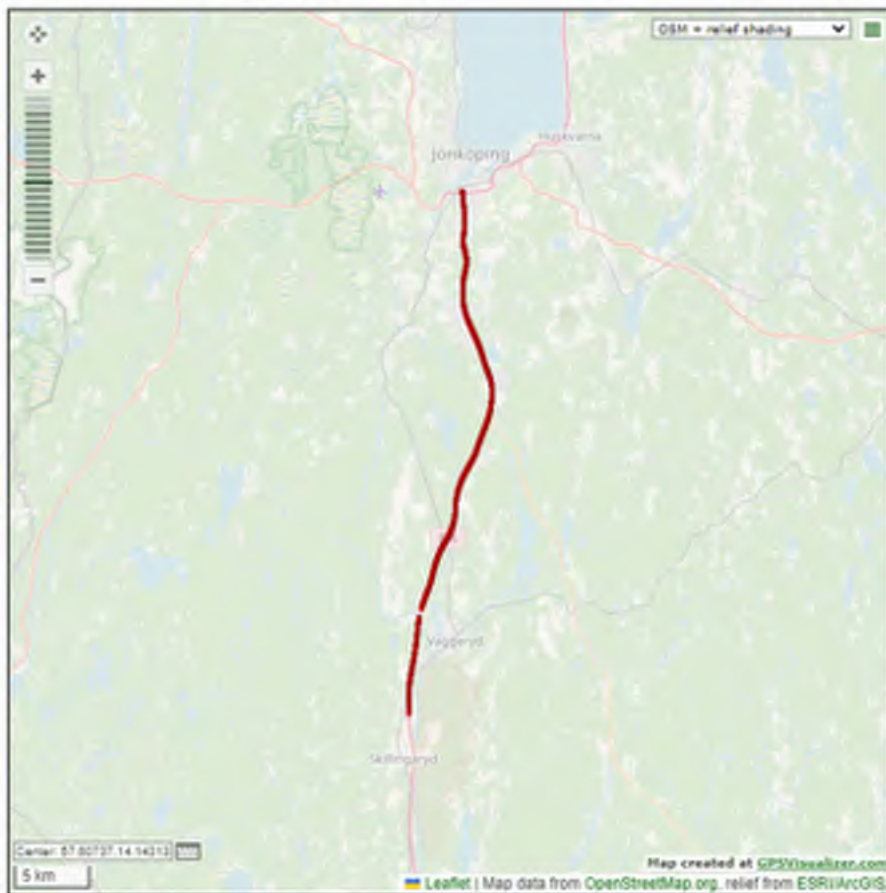
7, E4, Tpl Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum



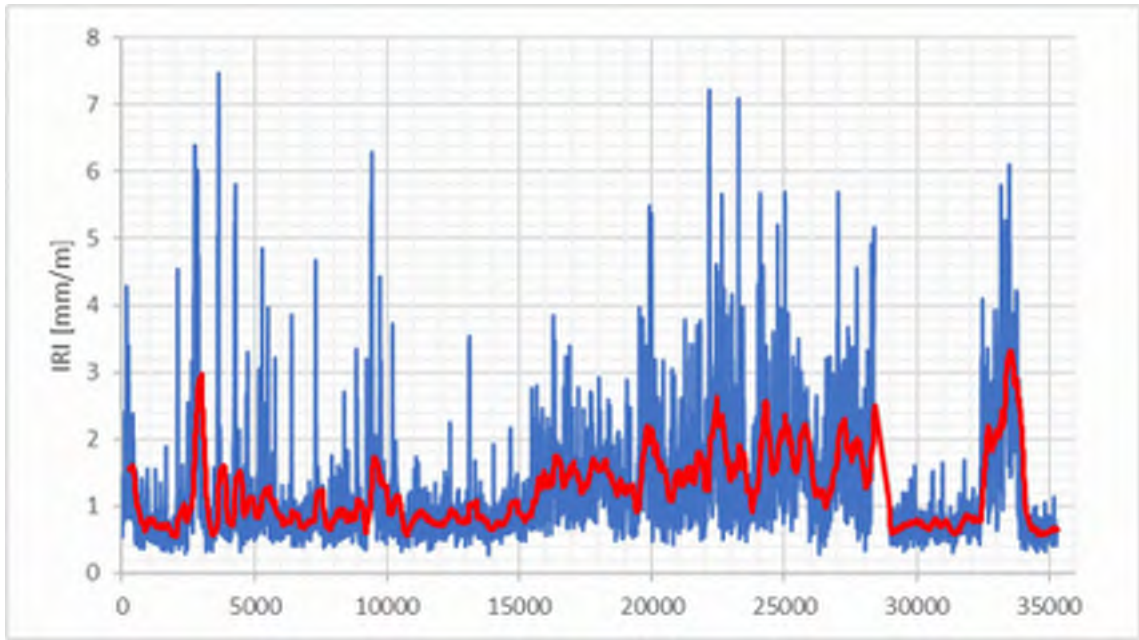
7, E4, Tpl Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum



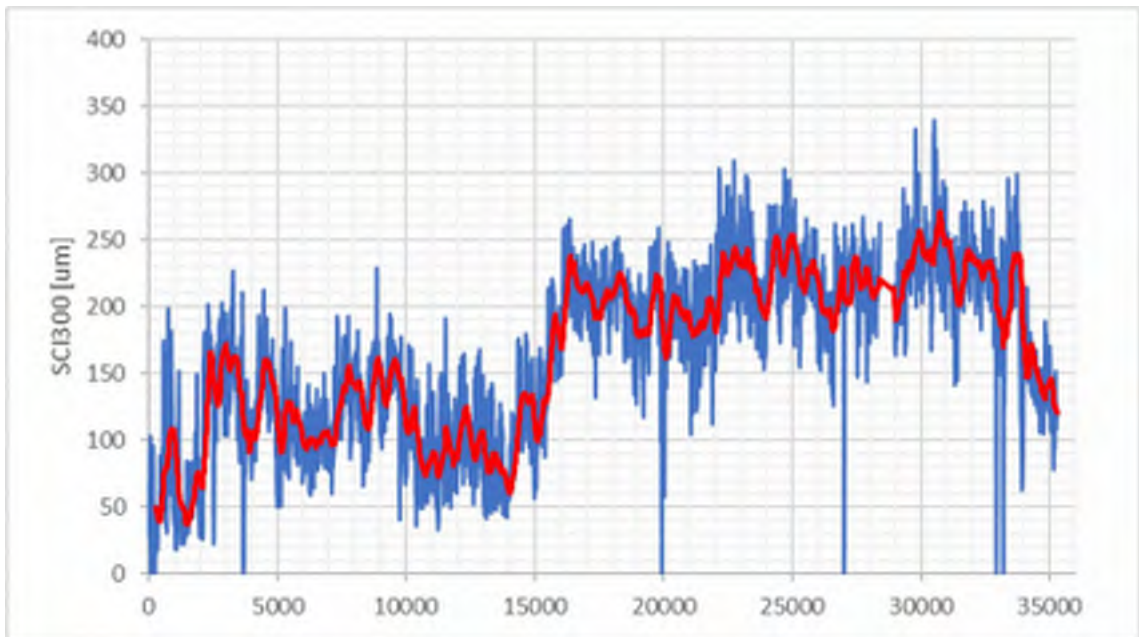
7, E4, Tpl Gyllene Uttern-Tpl Ljungarum



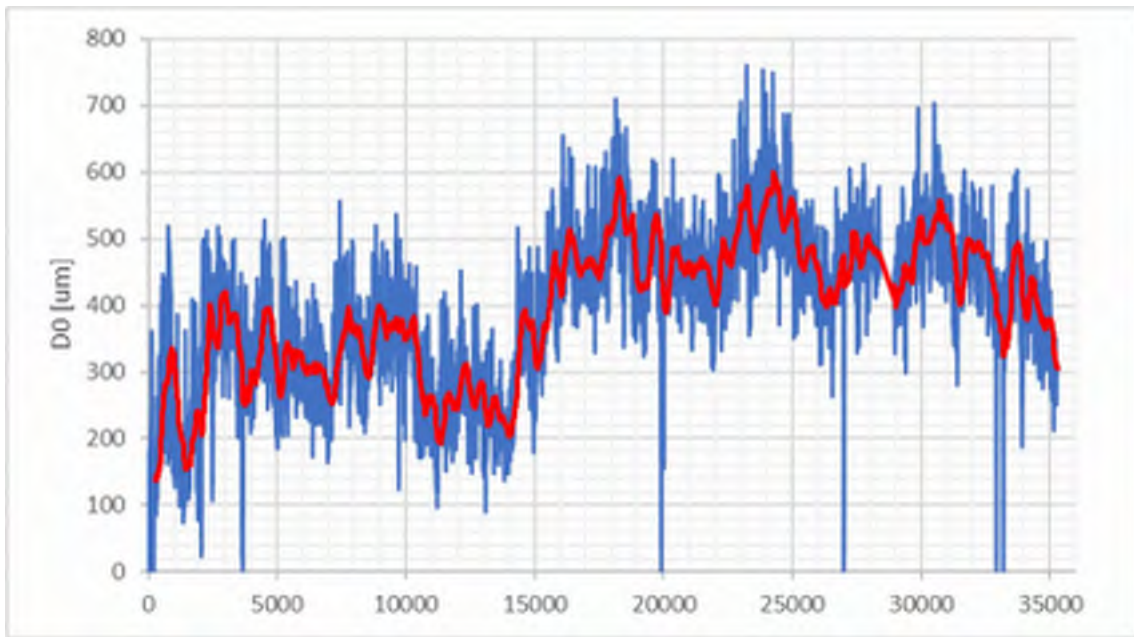
8, E4, Tpl Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)



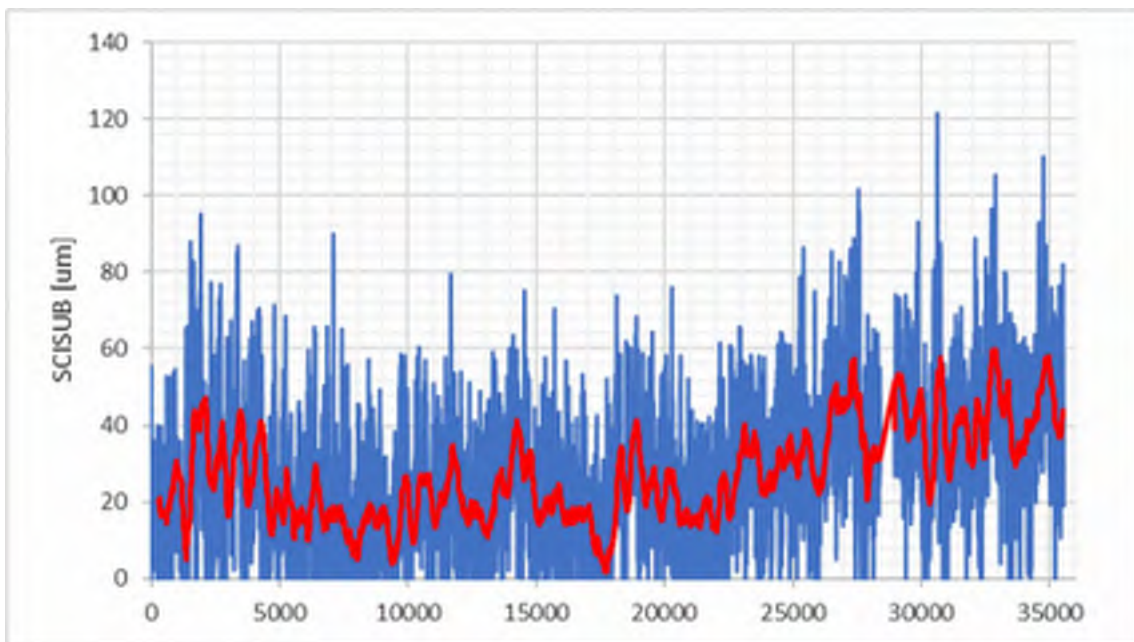
8, E4, Tpl Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)



8, E4, Tpl Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)



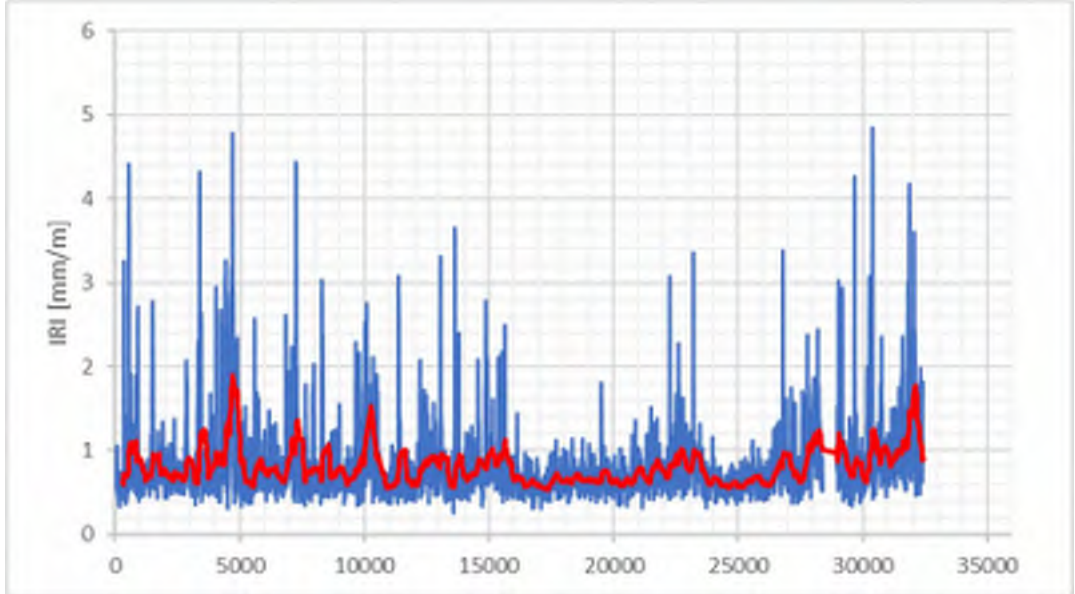
8, E4, Tpl Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)



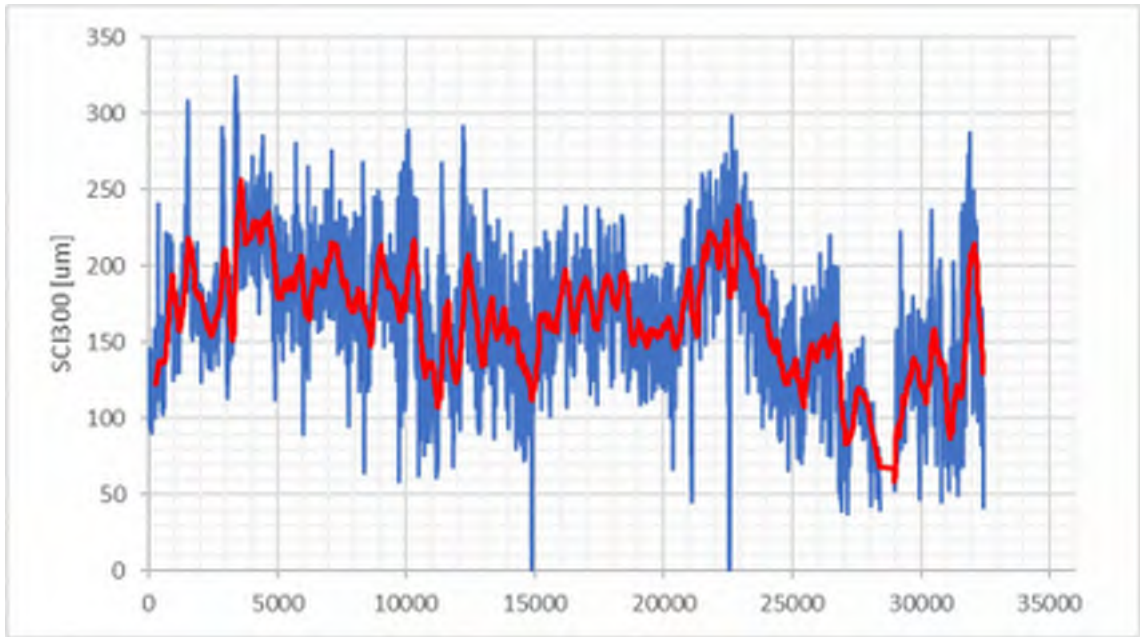
8, E4, Tpl Ljungarum-Tpl Skillingaryd (N)



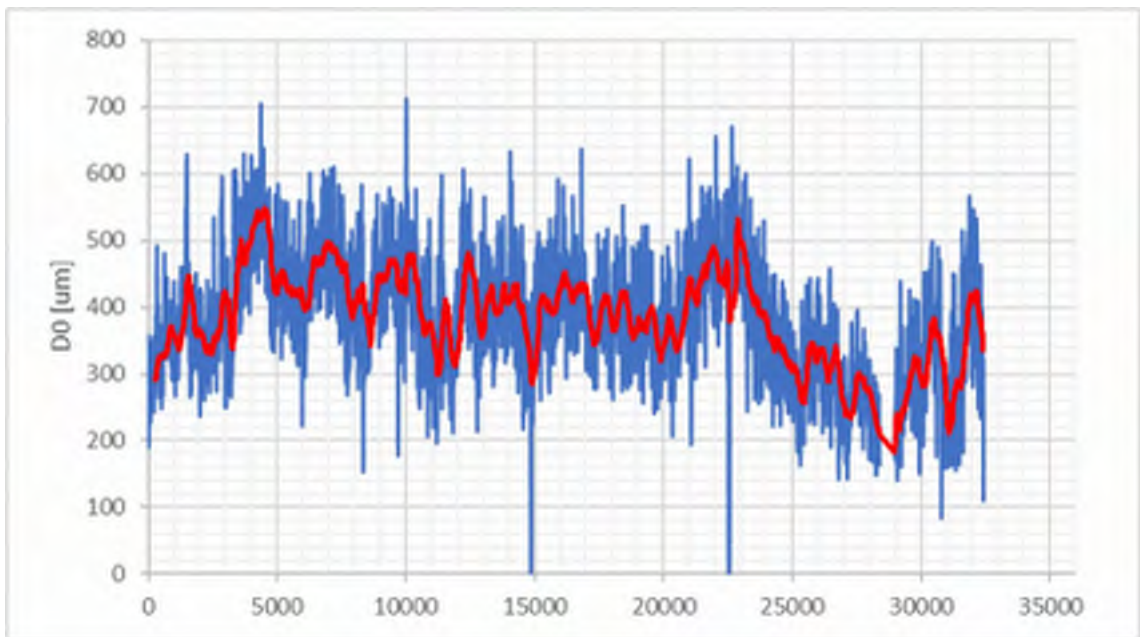
9, E4, Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)



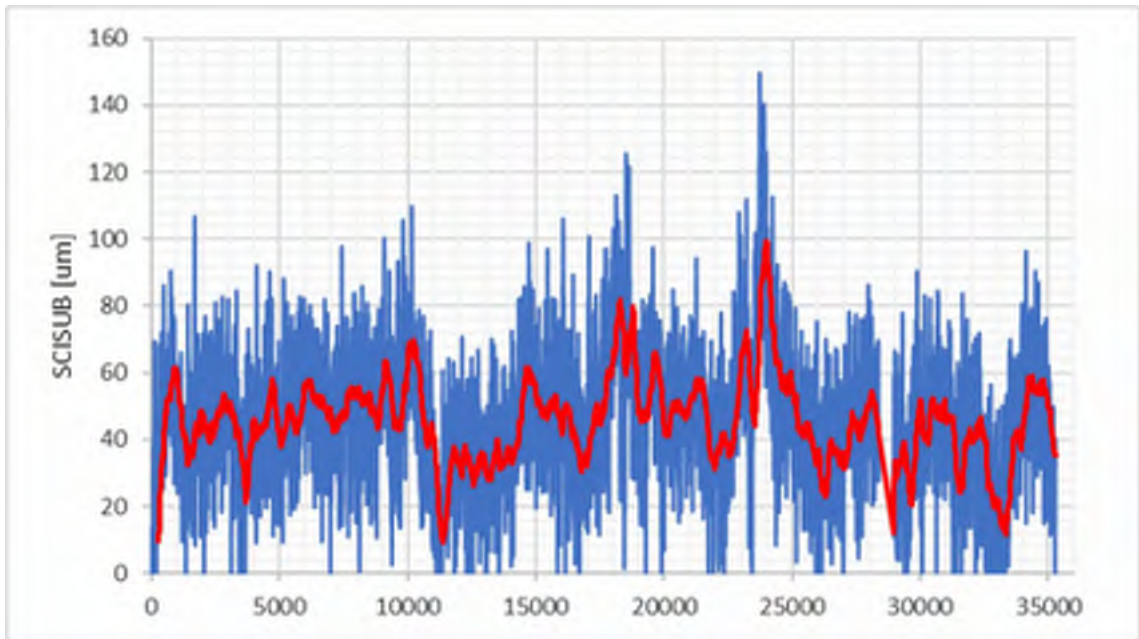
9, E4, Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)



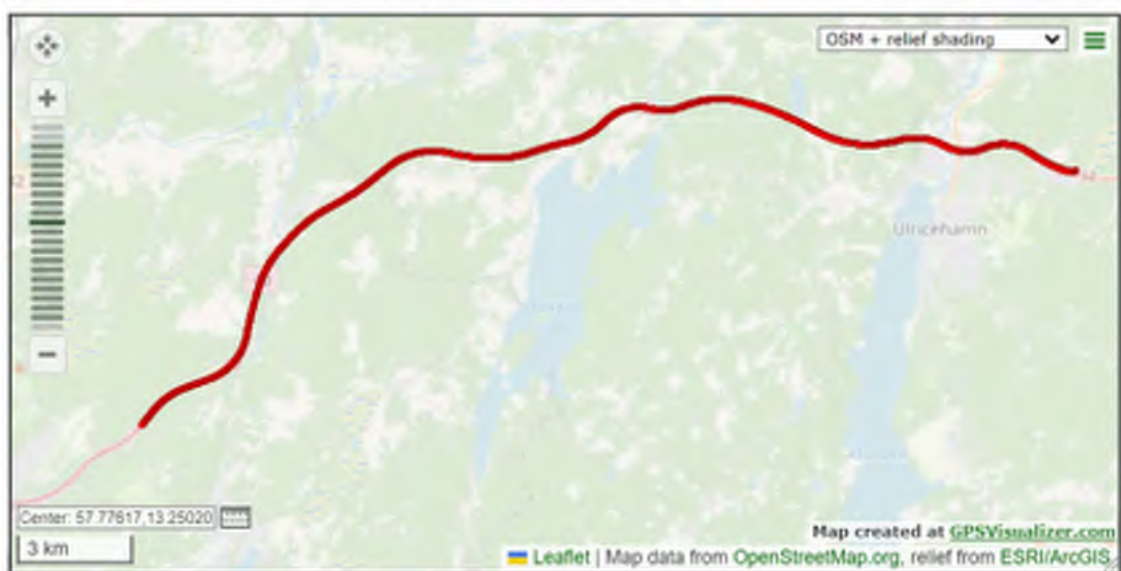
9, E4, Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)



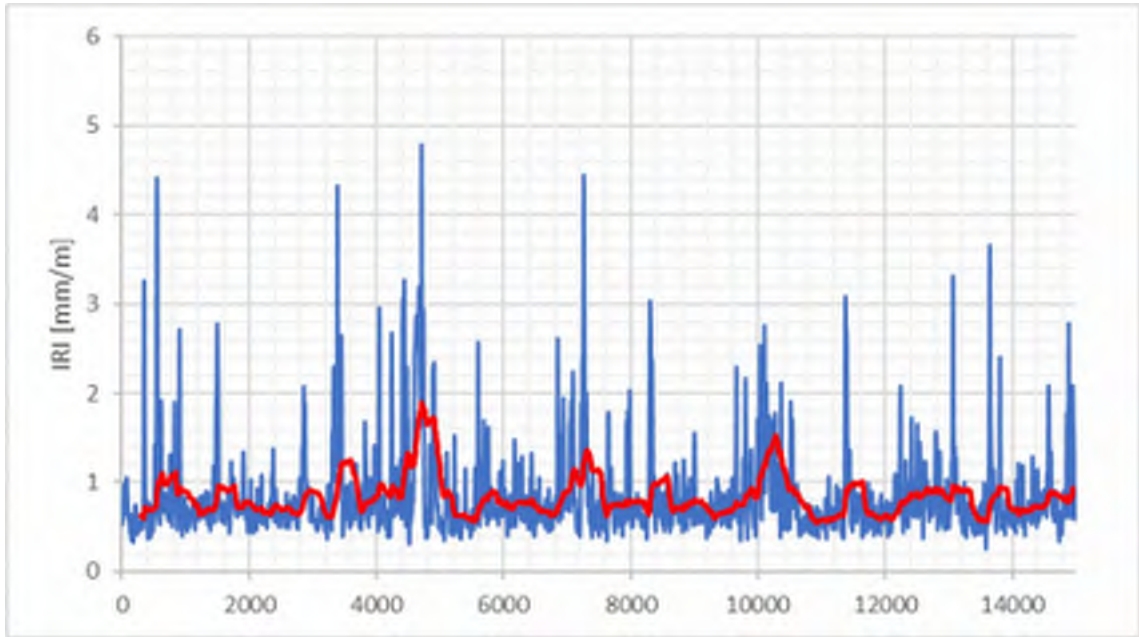
9, E4, Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)



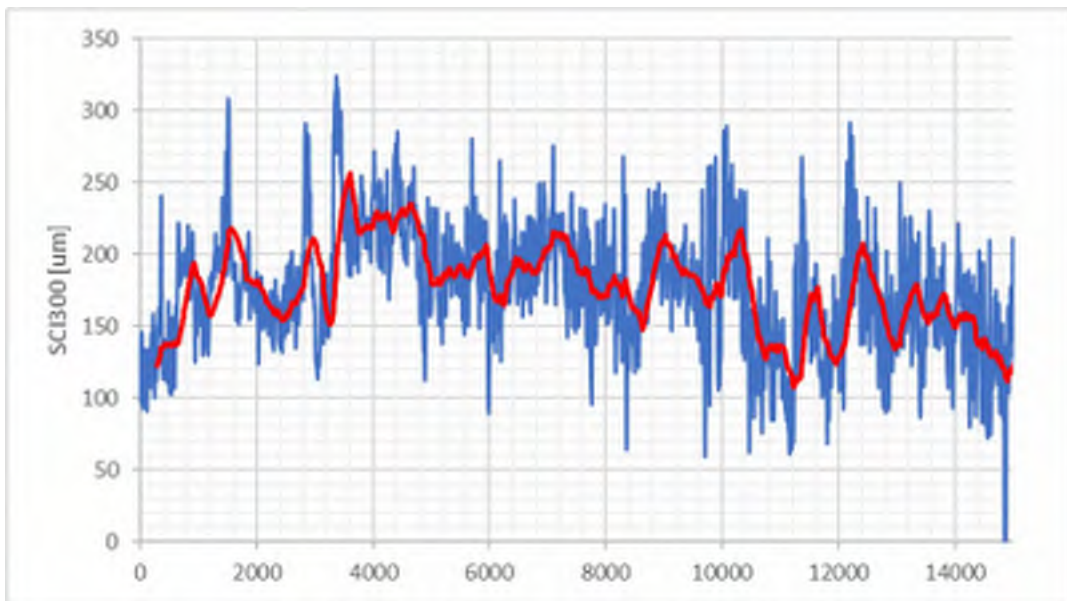
9, E4, Tpl Skillingaryd (N)-Tpl Värnamo (S)



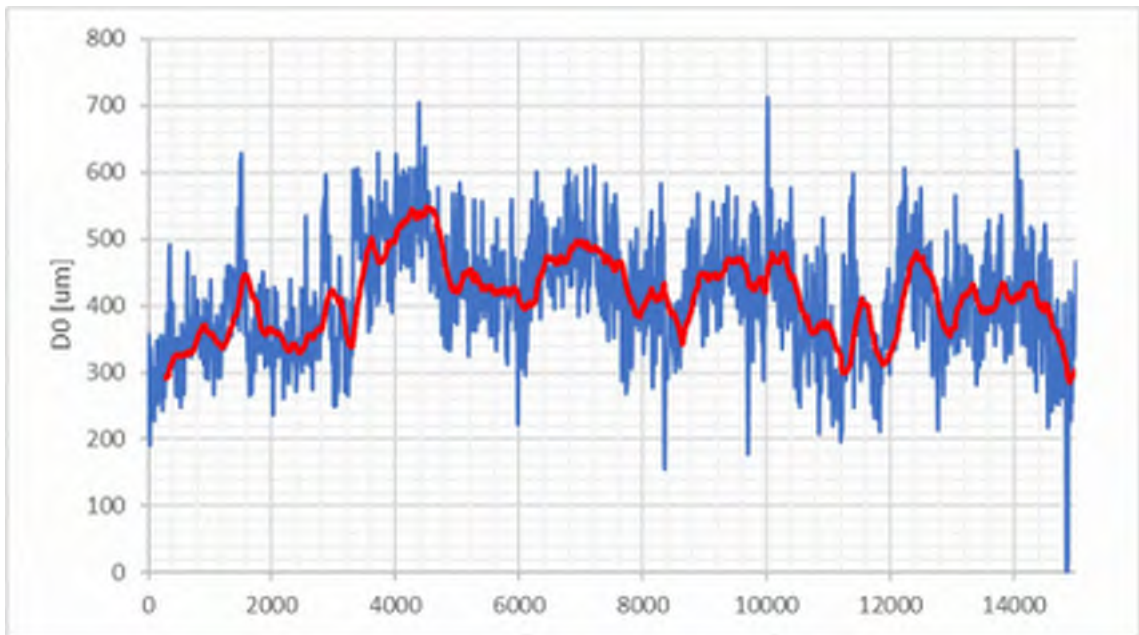
10, Rv40, Ulricehamn-Hössnamotet



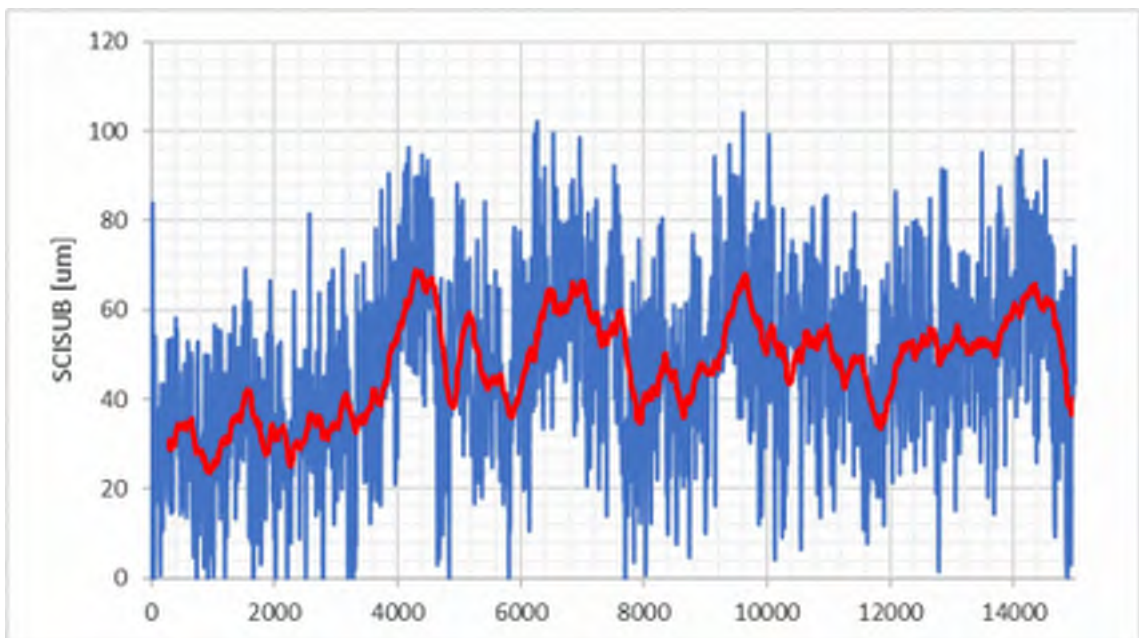
10, Rv40, Ulricehamn-Hössnamotet



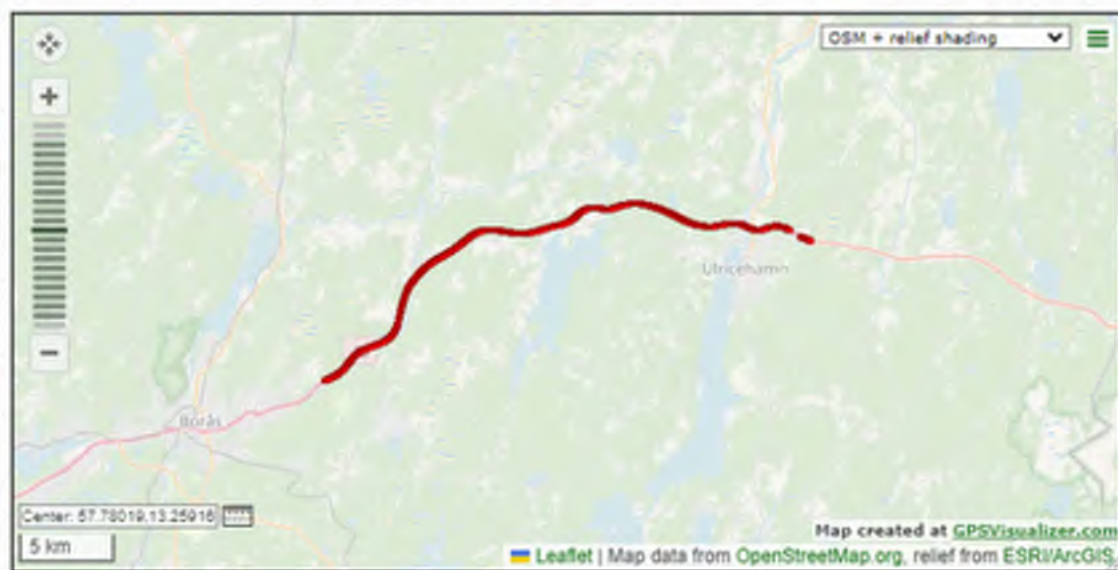
10, Rv40, Ulricehamn-Hössnamotet



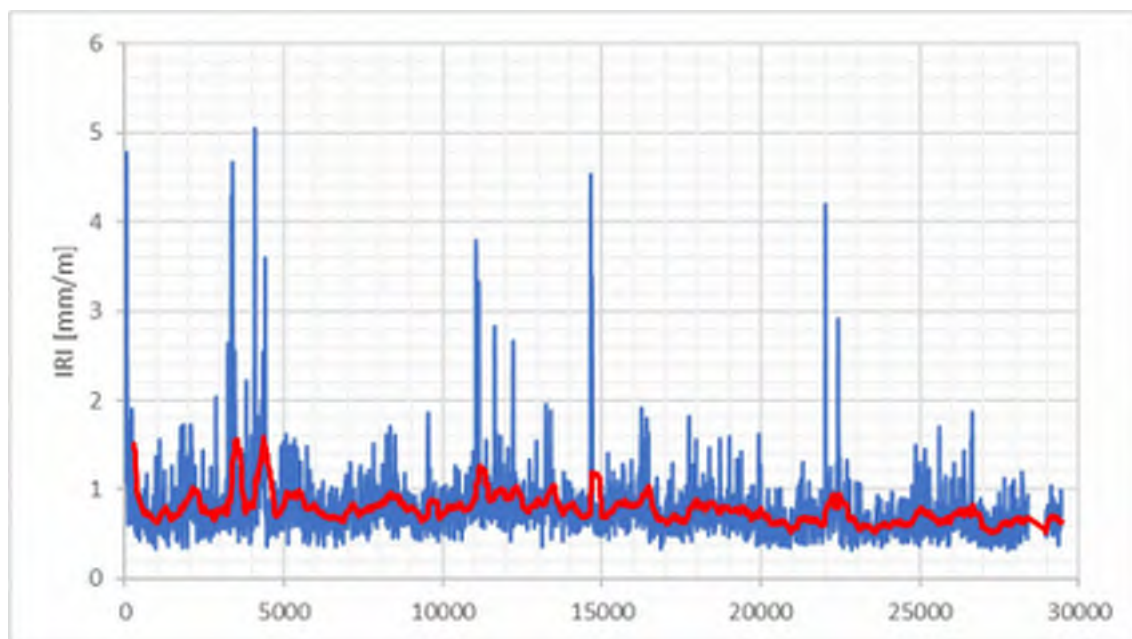
10, Rv40, Ulricehamn-Hössnamotet



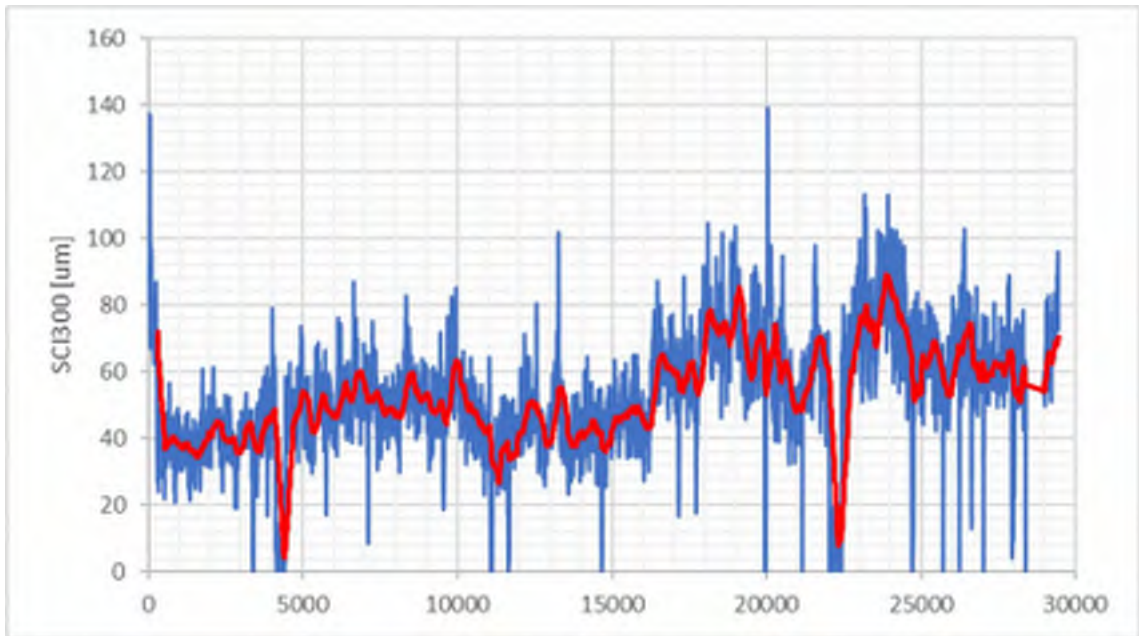
10, Rv40, Ulricehamn-Hössnamotet



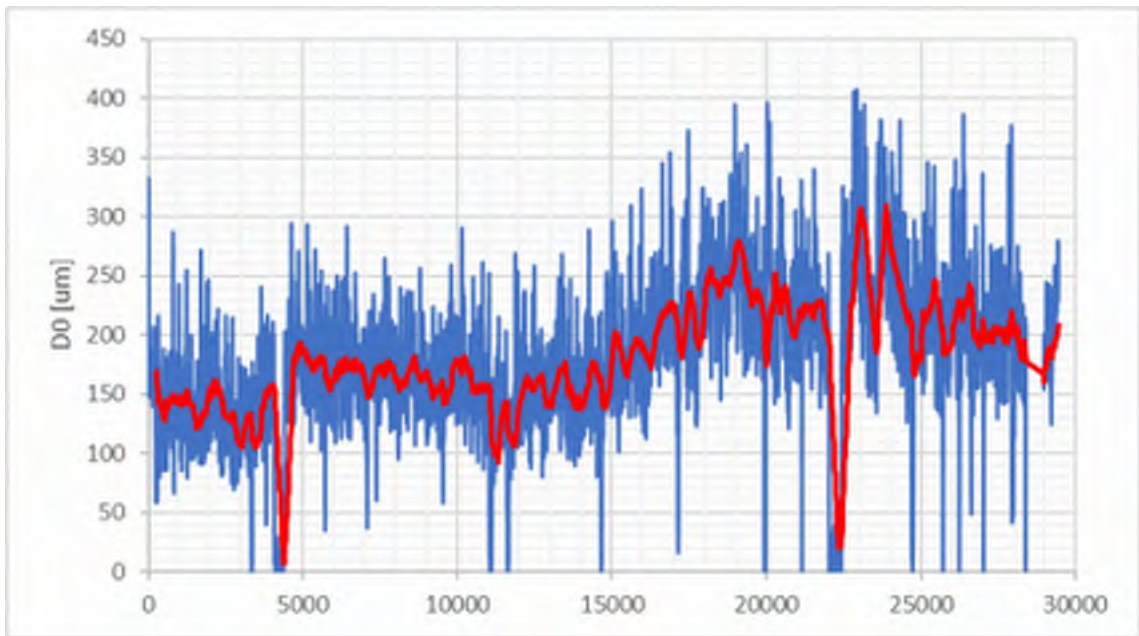
11, Rv40, Hössnamotet-Kryllaredsmotet (norr om)



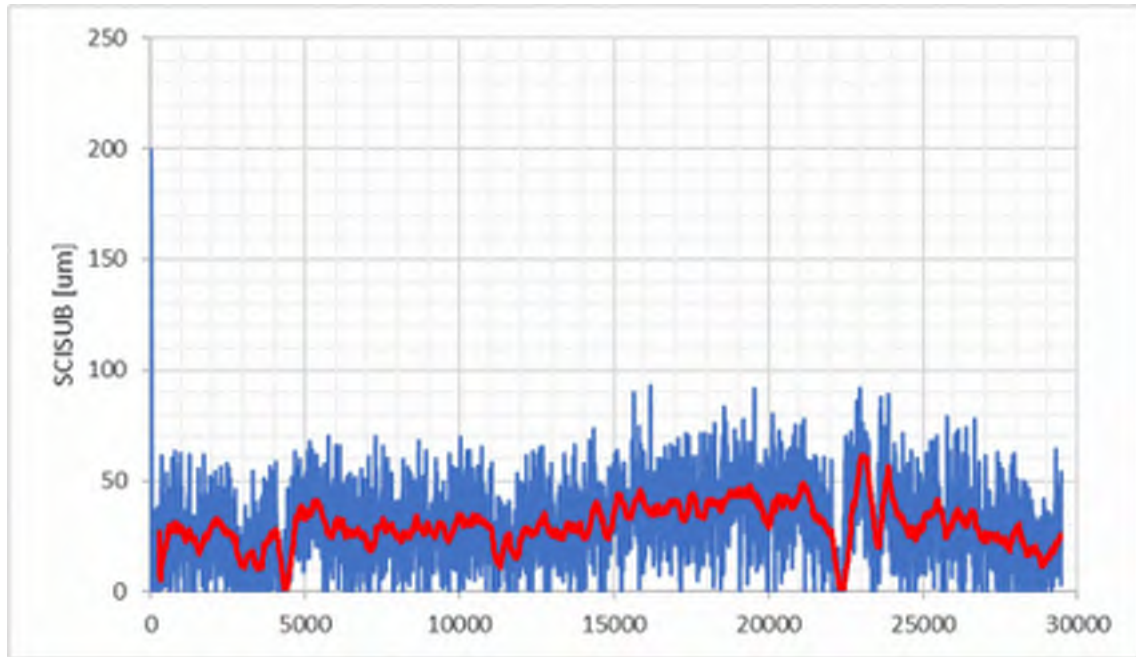
11, Rv40, Hössnamotet-Kryllaredsmotet (norr om)



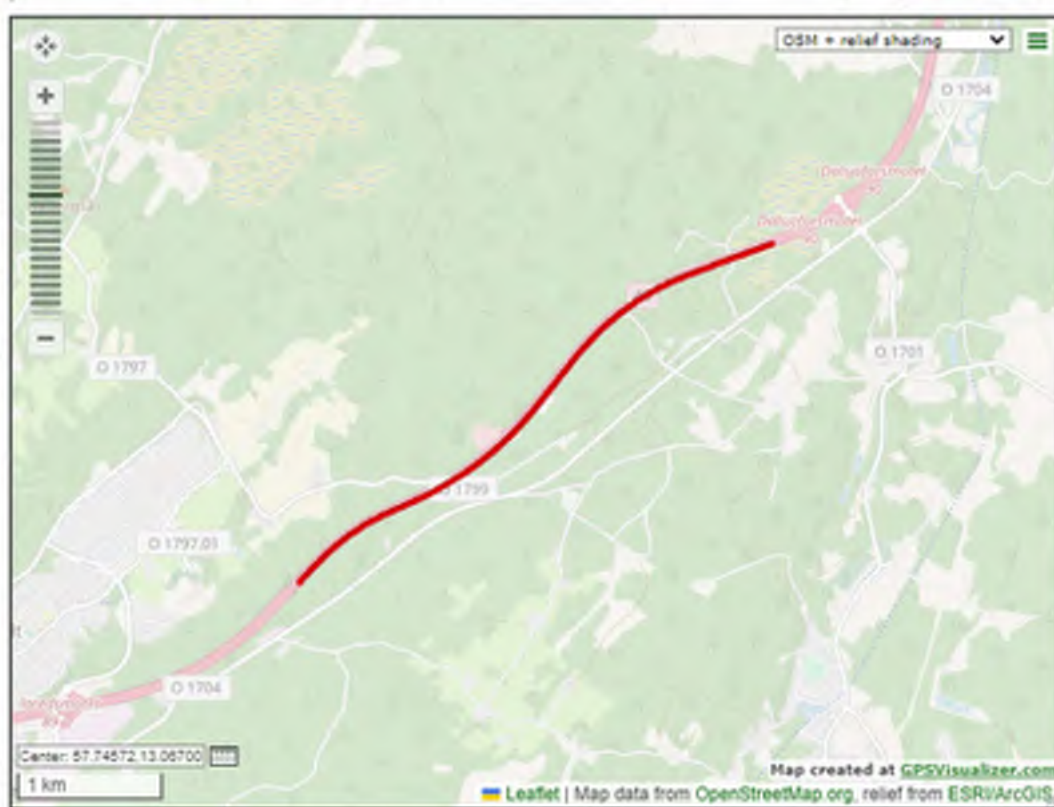
11, Rv40, Hössnamotet-Kryllaredsmotet (norr om)



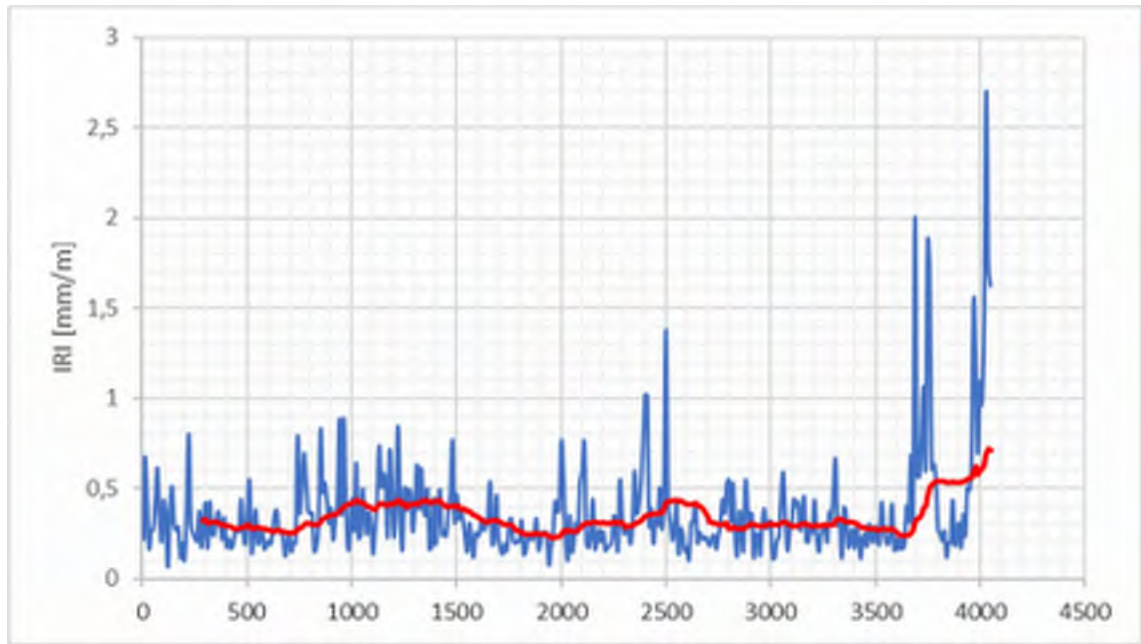
11, Rv40, Hössnamotet-Kryllaredsmotet (norr om)



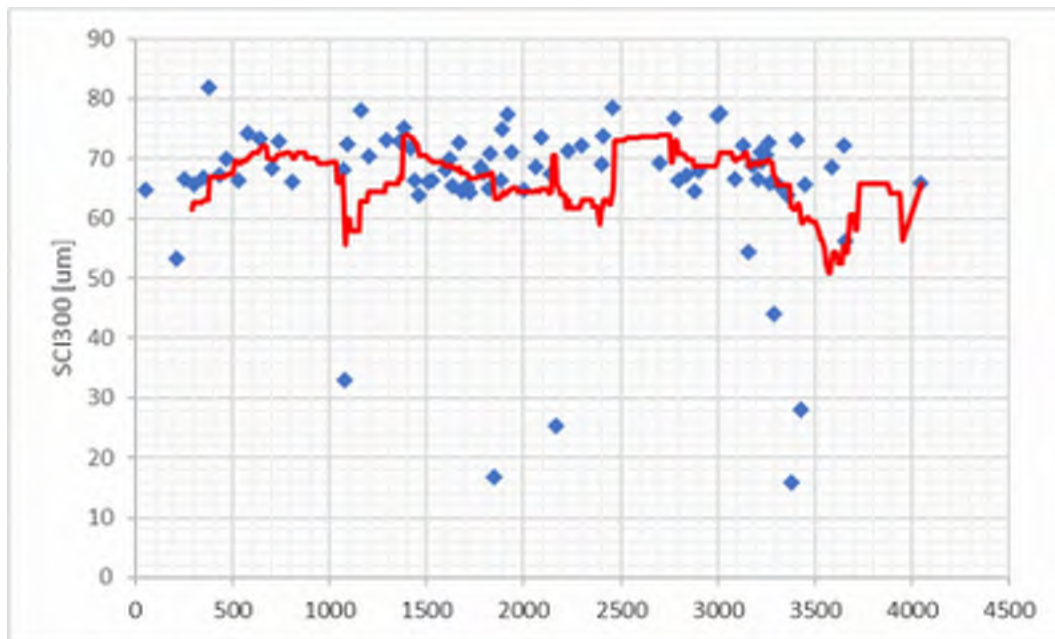
11, Rv40, Hössnamotet-Kryllaredsmotet (norr om)



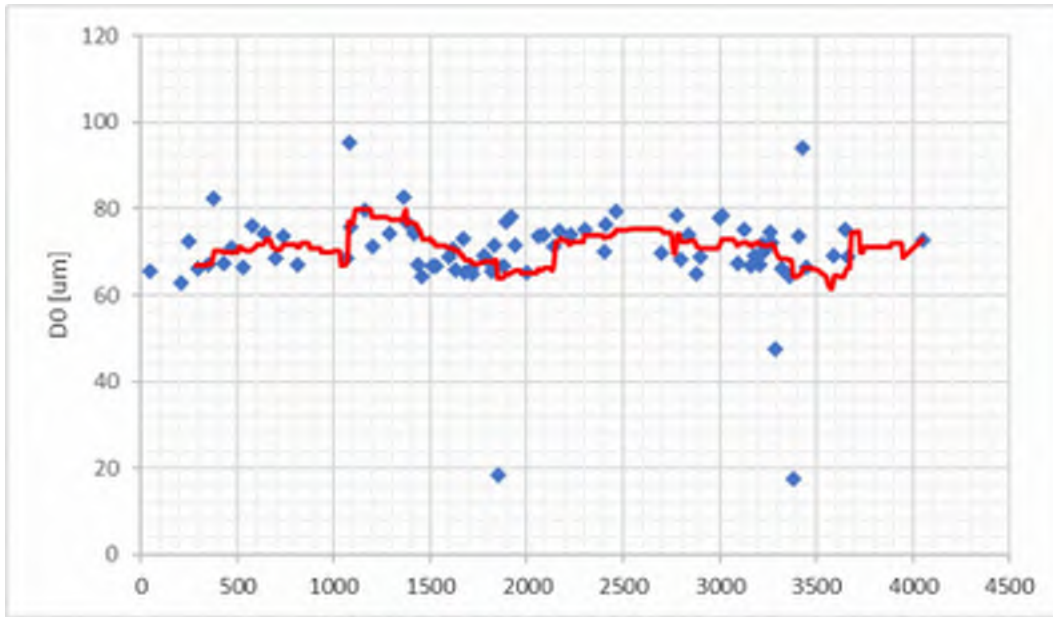
12, Rv40, Kryllaredsmotet (norr om)-Dalsjöforsmotet



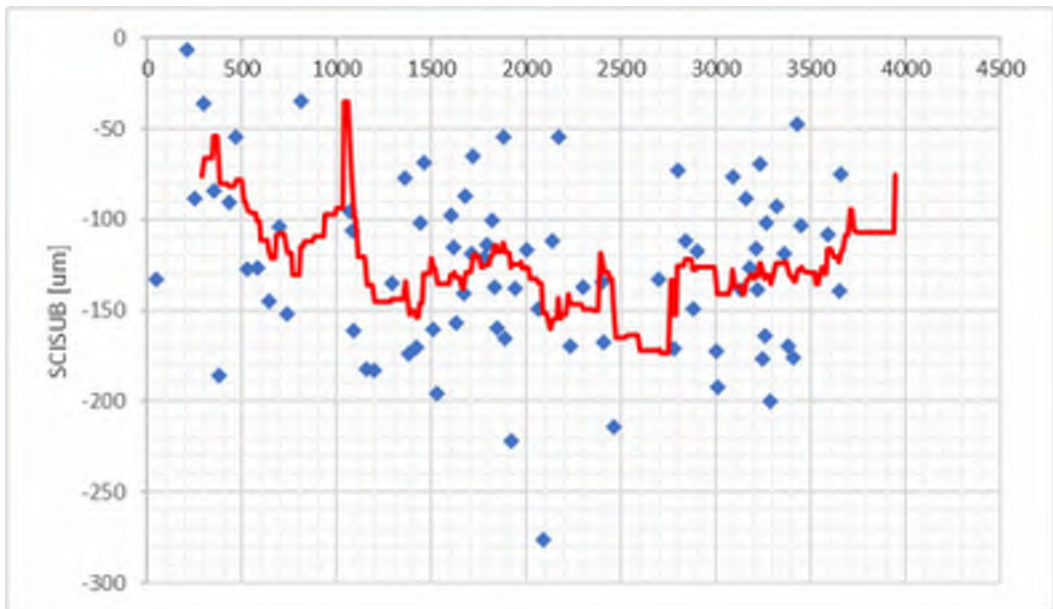
12, Rv40, Kryllaredsmotet (norr om)-Dalsjöforsmotet



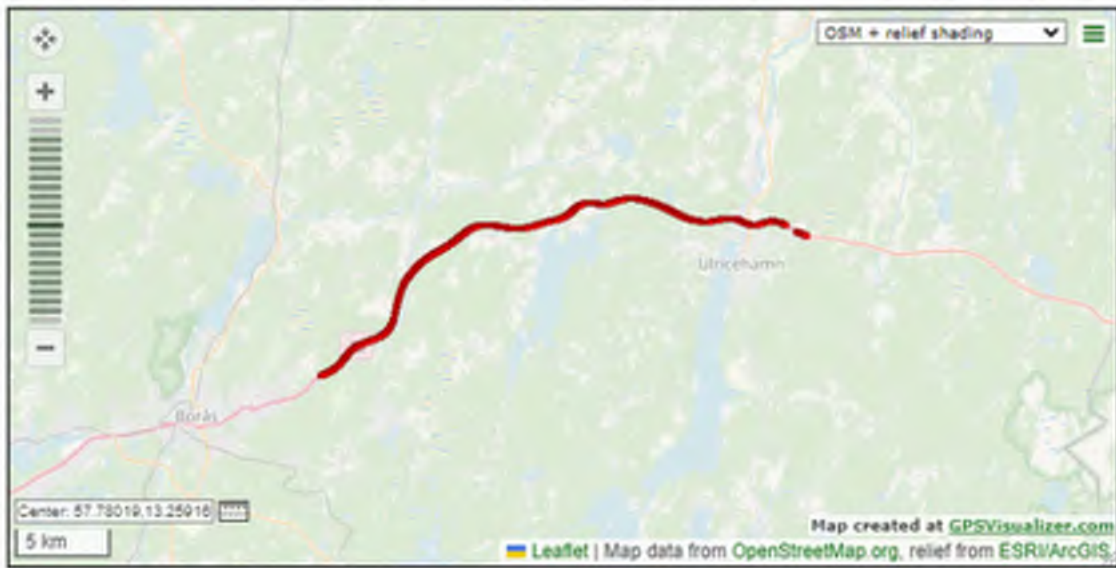
12, Rv40, Kryllaredsmotet (norr om)-Dalsjöforsmotet



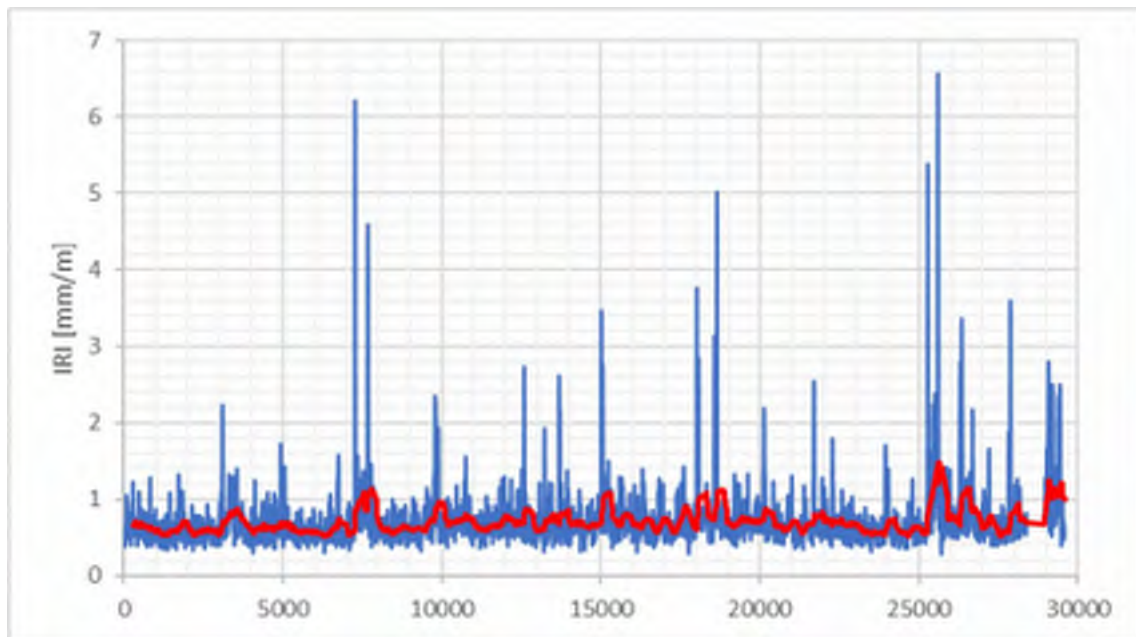
12, Rv40, Kryllaredsmotet (norr om)-Dalsjöforsmotet



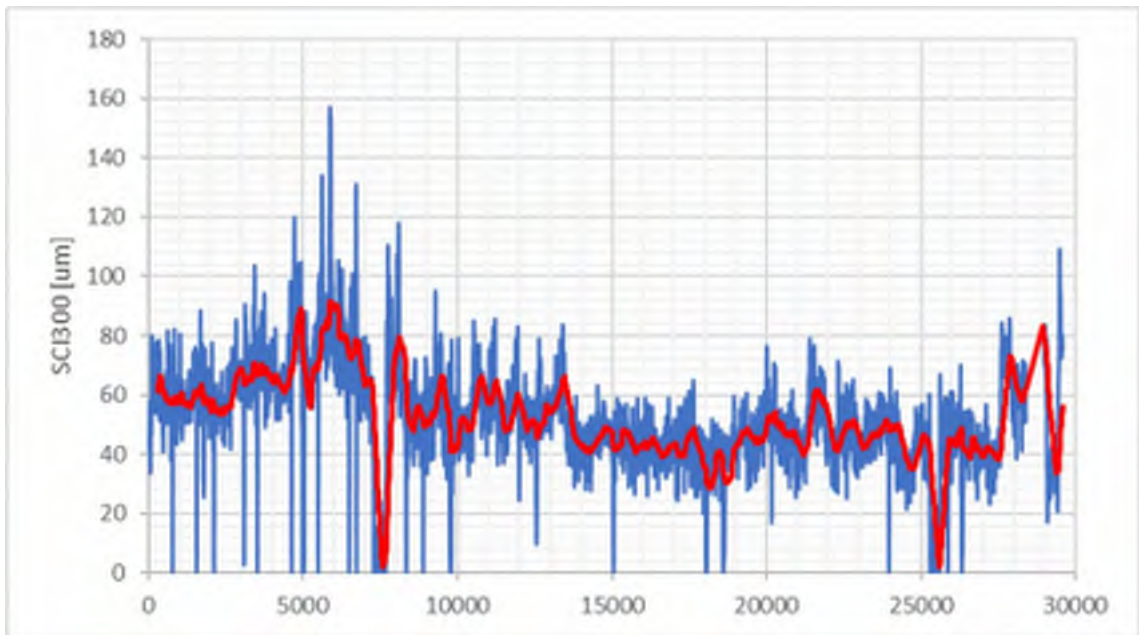
12, Rv40, Kryllaredsmotet (norr om)-Dalsjöforsmotet



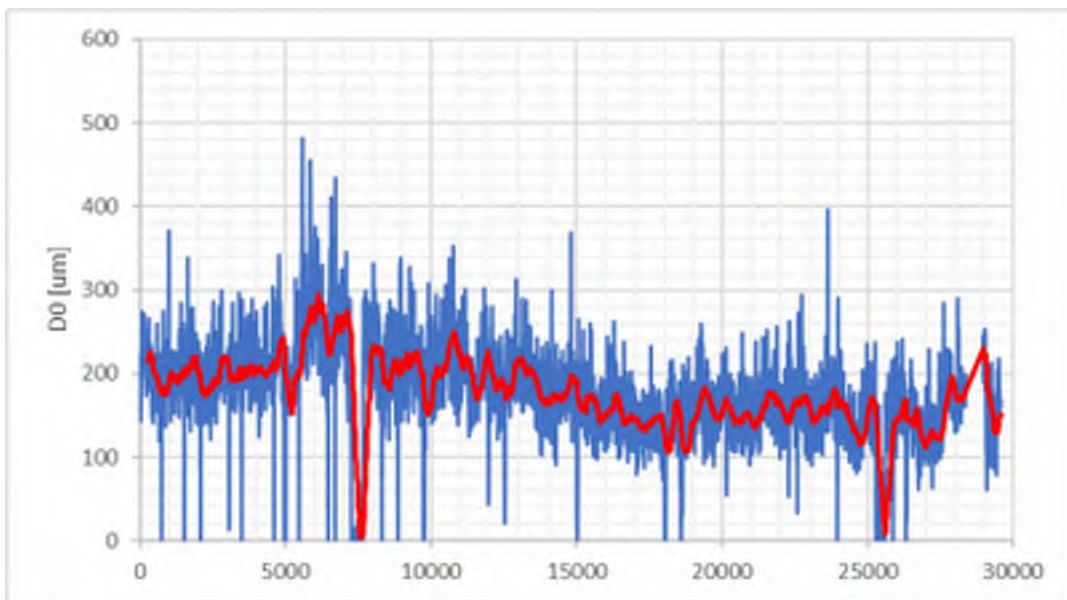
13, Rv40, Dalsjöforsmotet-Hösnamotet



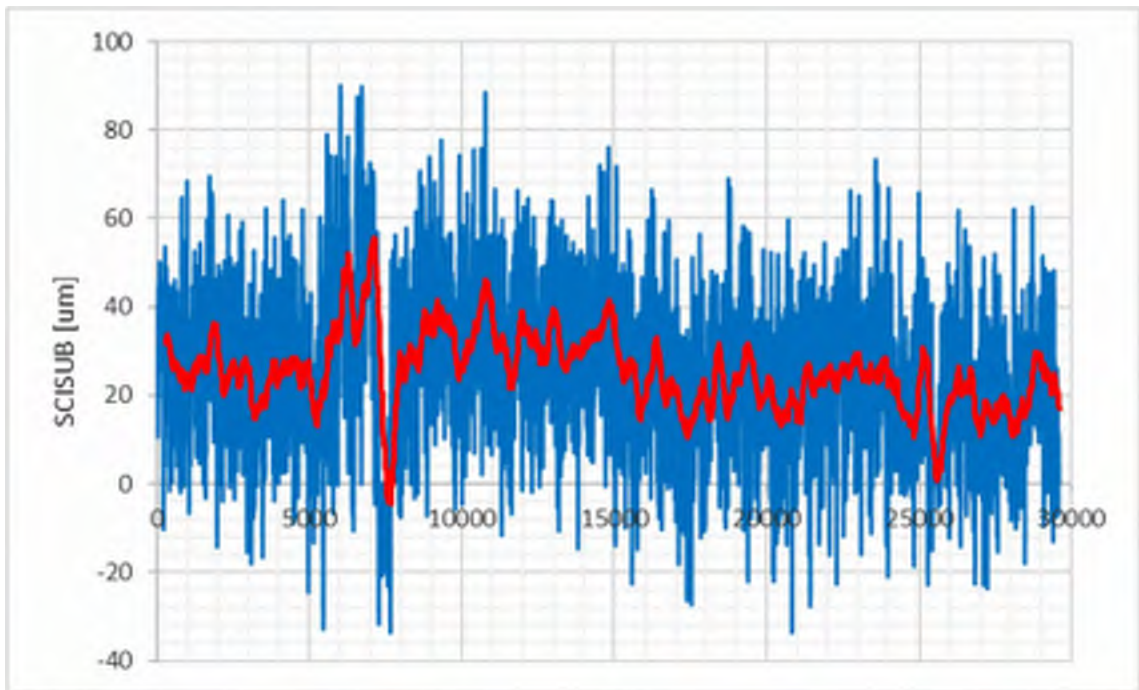
13, Rv40, Dalsjöforsmotet-Hösnamotet



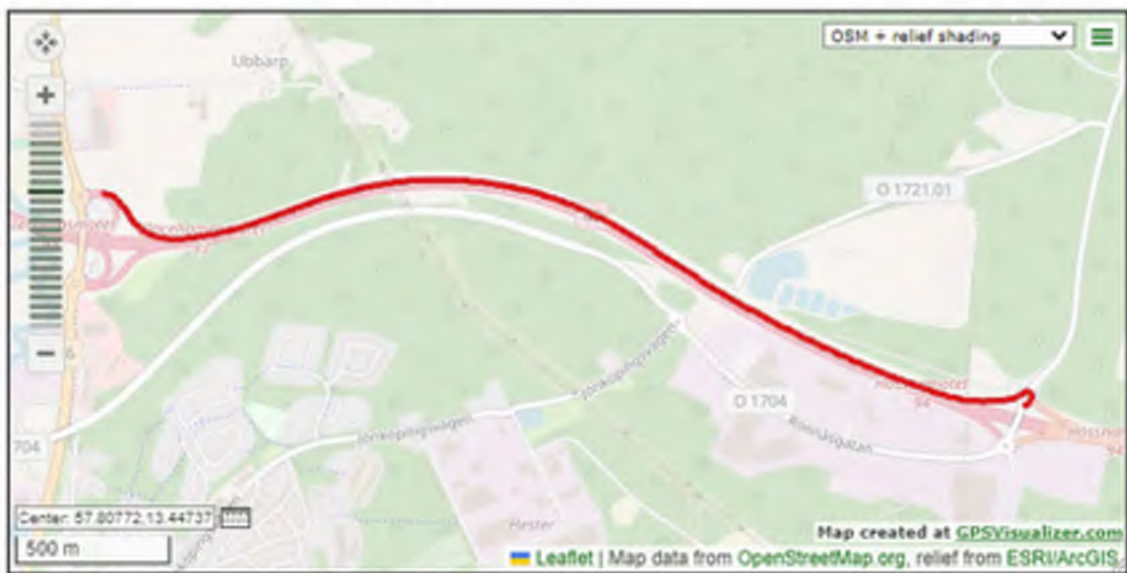
13, Rv40, Dalsjöforsmotet-Hösnamotet



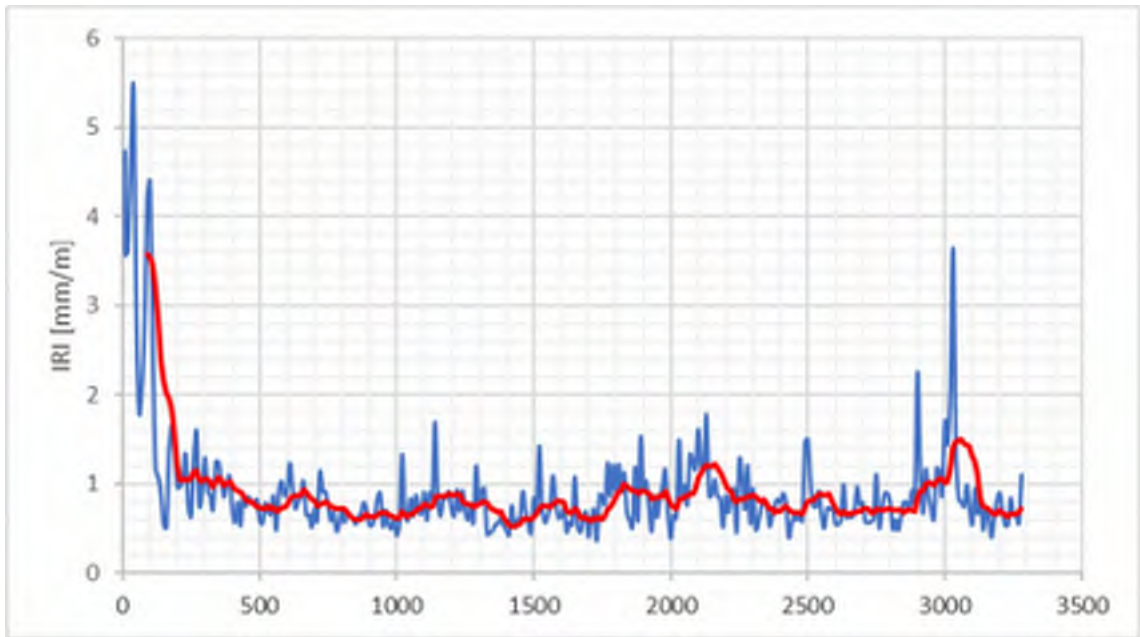
13, Rv40, Dalsjöforsmotet-Hösnamotet



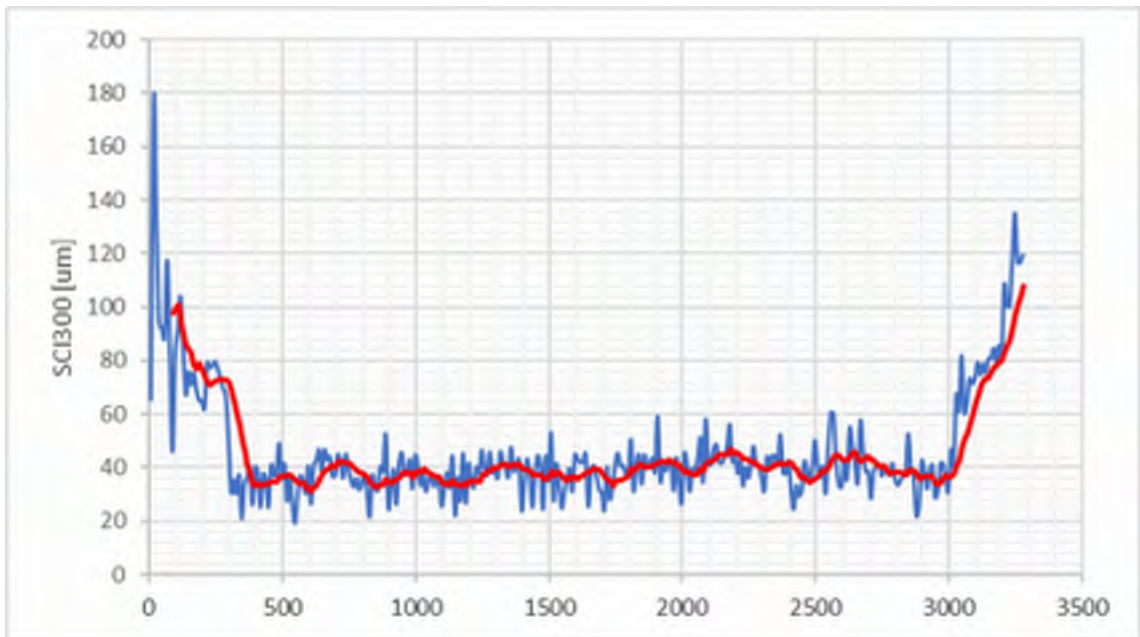
13, Rv40, Dalsjöforsmotet-Hösnamotet



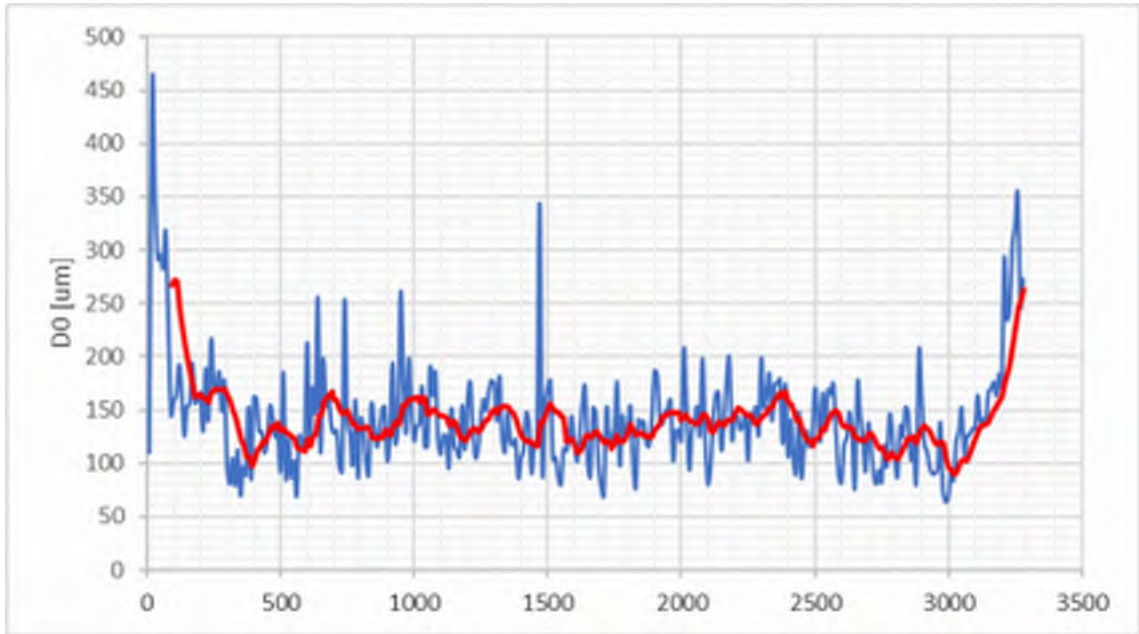
14, Rv40, Hösnamotet-Ulricehamnsmotet



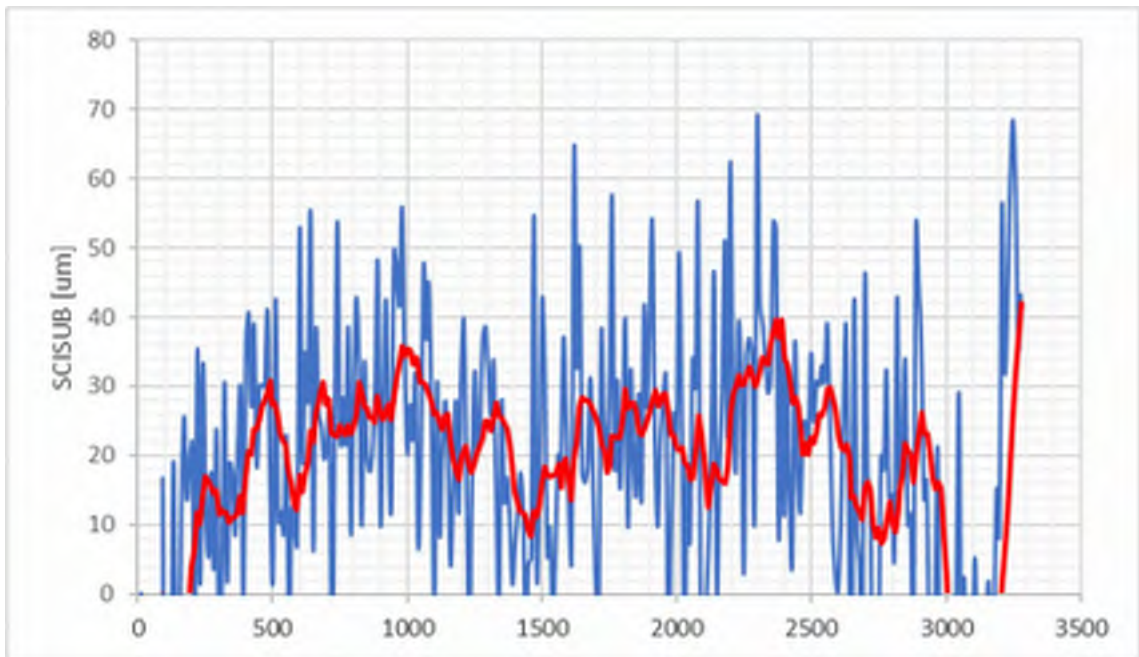
14, Rv40, Hössnamotet-Ulricehamnsmotet



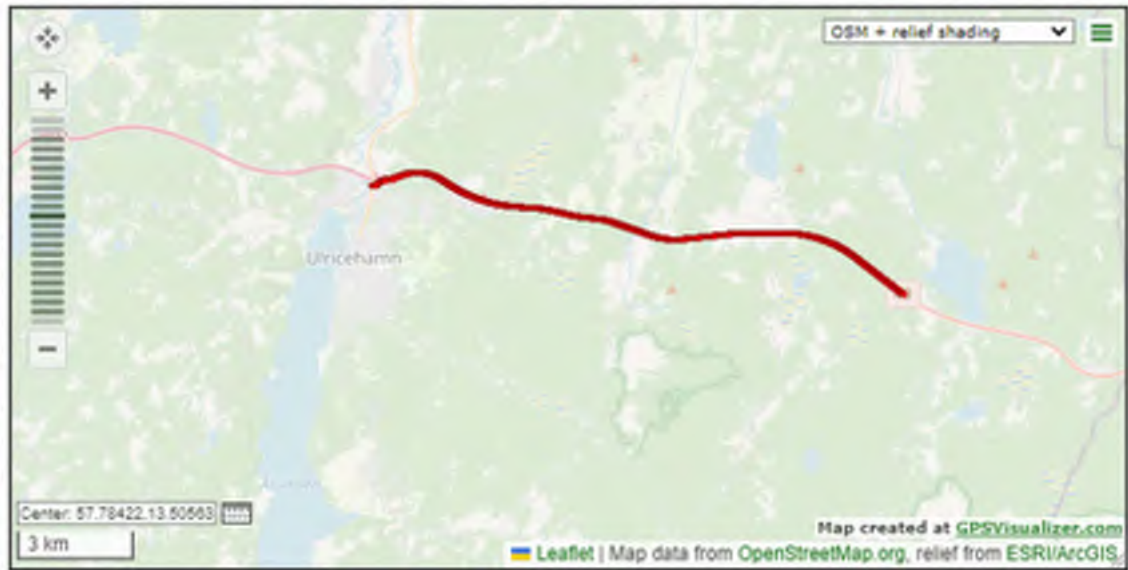
14, Rv40, Hössnamotet-Ulricehamnsmotet



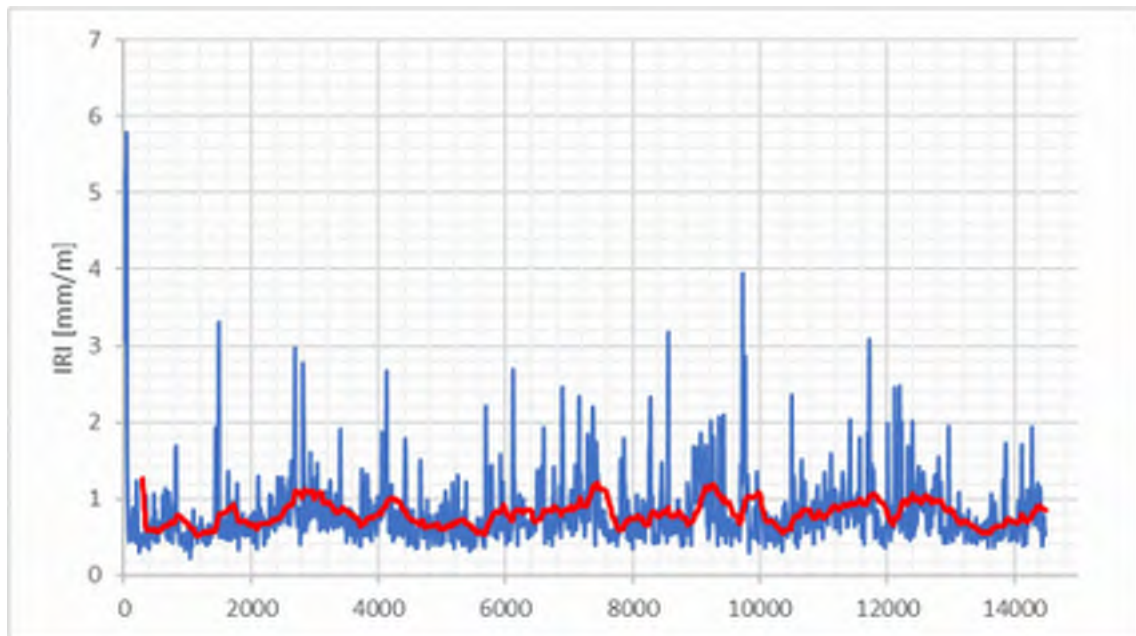
14, Rv40, Hössnamotet-Ulricehamnsmotet



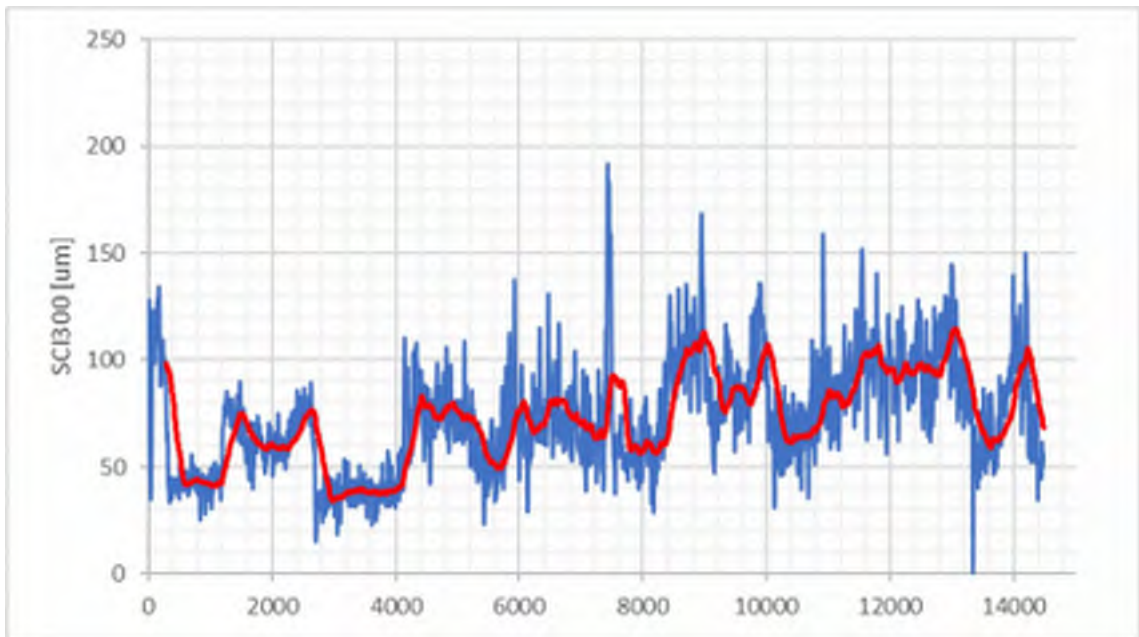
14, Rv40, Hössnamotet-Ulricehamnsmotet



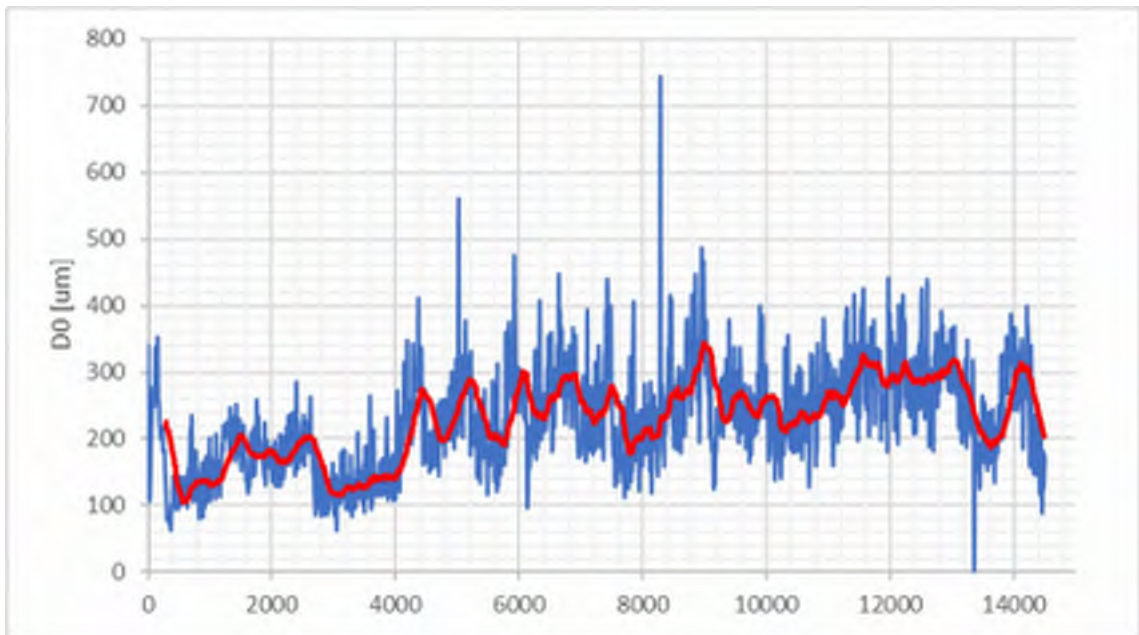
15, Rv40, Ulricehamnsmotet-Ulricehamn Rasta



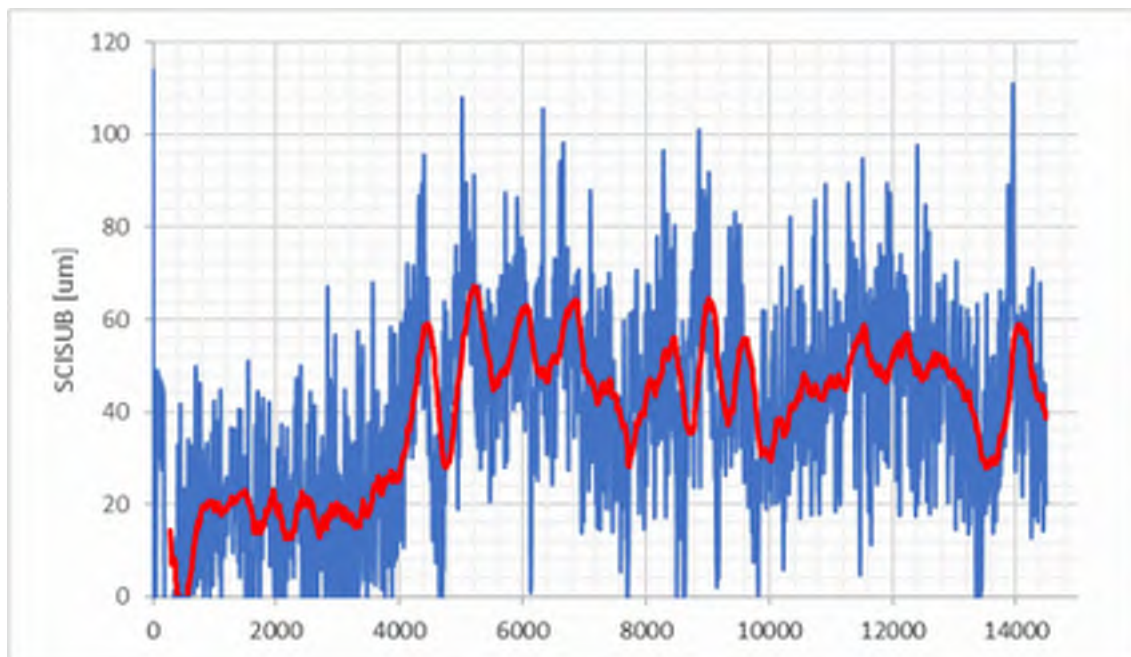
15, Rv40, Ulricehamnsmotet-Ulricehamn Rasta



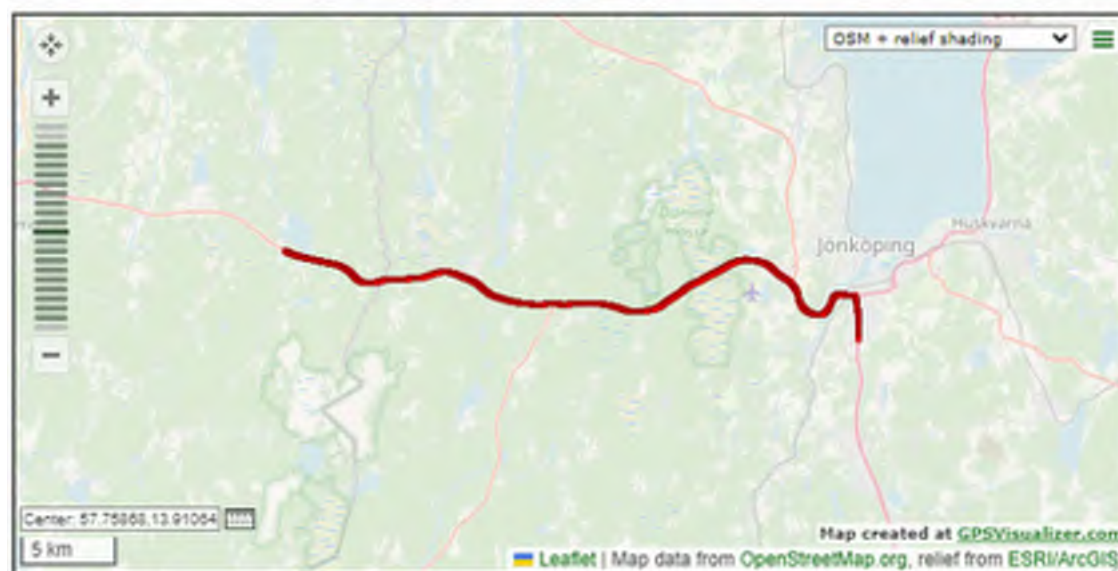
15, Rv40, Ulricehamnsmotet-Ulricehamn Rasta



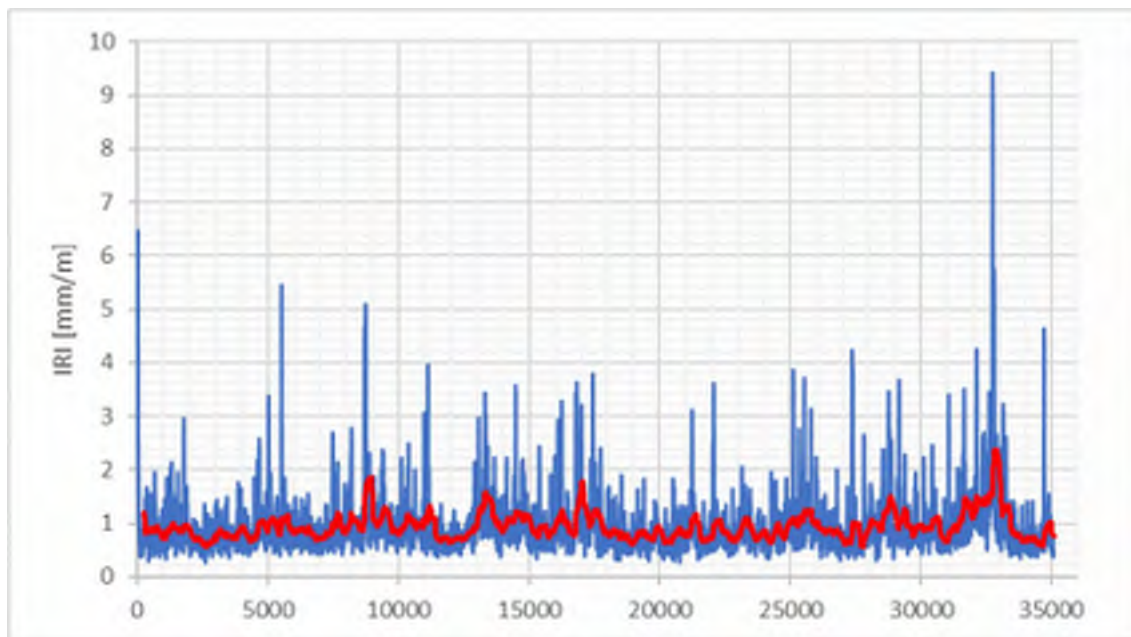
15, Rv40, Ulricehamnsmotet-Ulricehamn Rasta



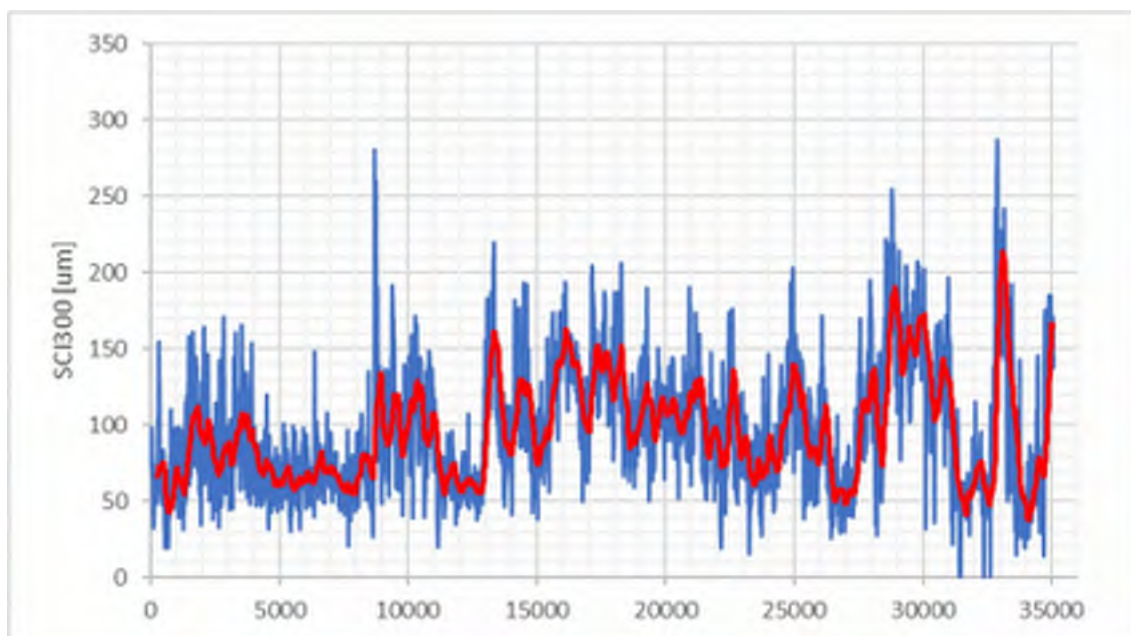
15, Rv40, Ulricehamnsmotet-Ulricehamn Rasta



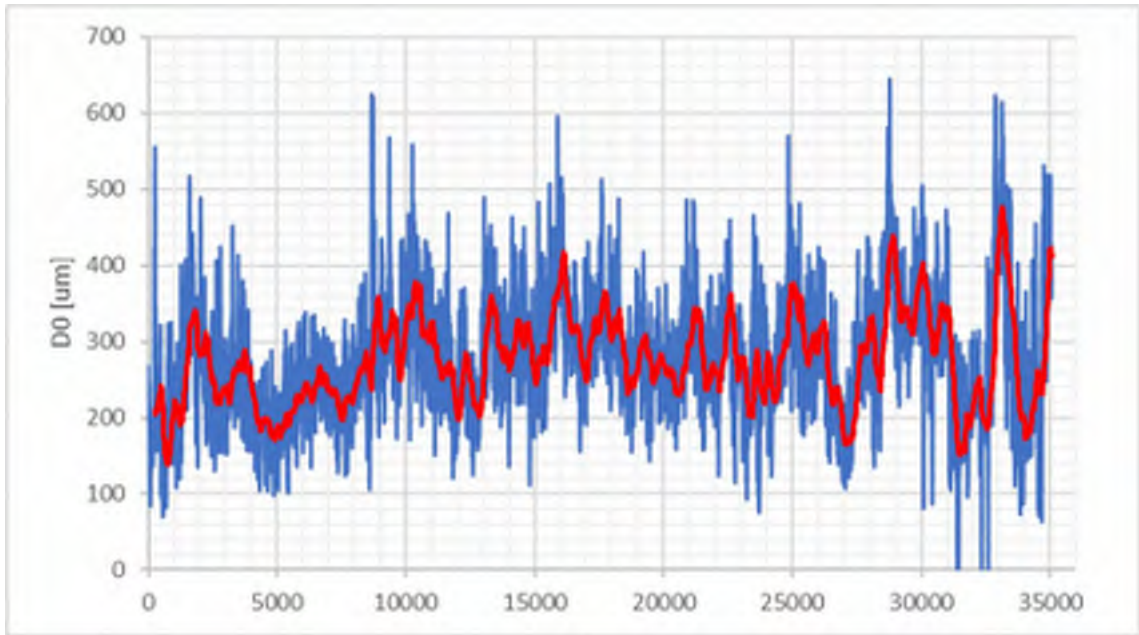
16, Rv40, Ulricehamn Rasta-Tpl Råslätt (söder om)



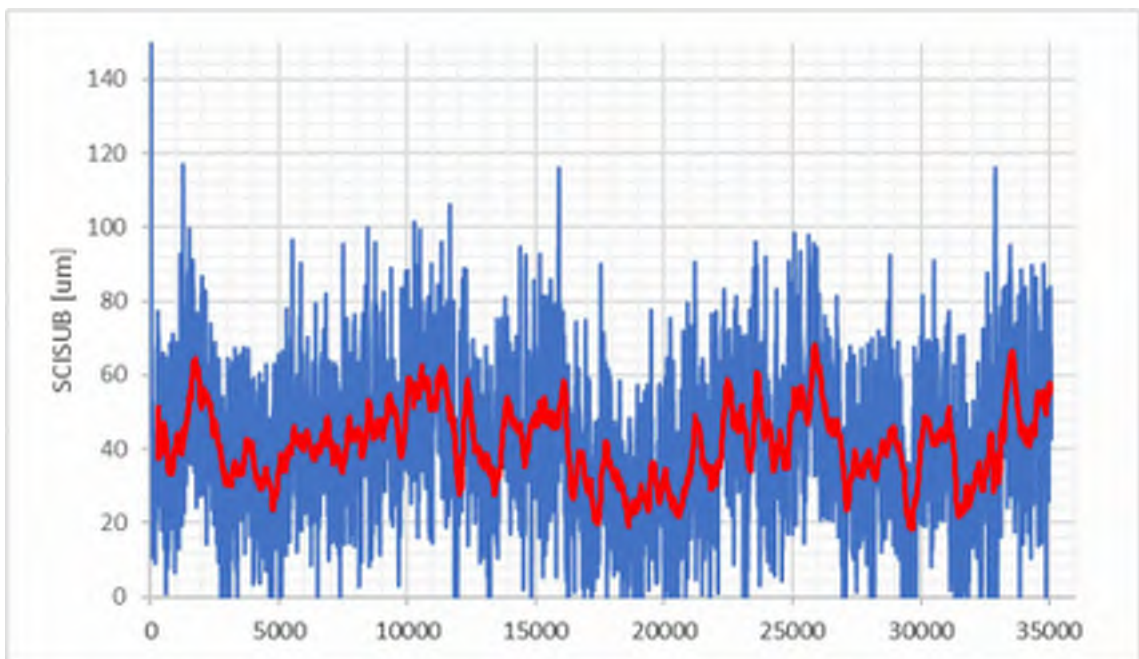
16, Rv40, Ulricehamn Rasta-Tpl Råslätt (söder om)



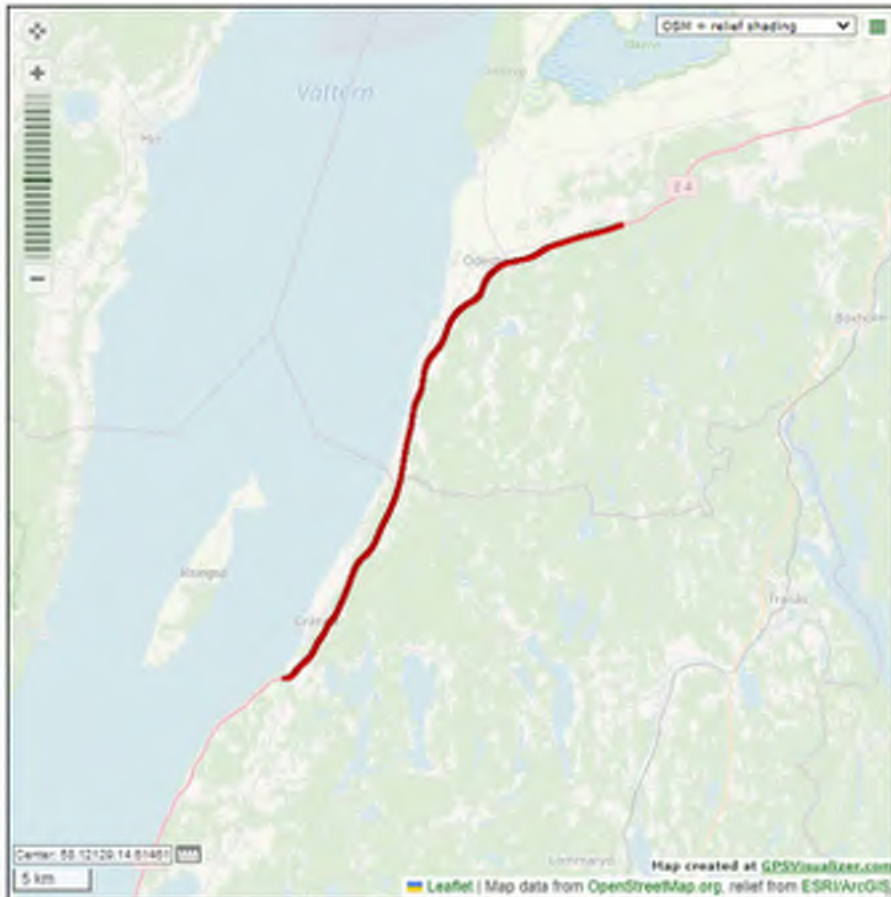
16, Rv40, Ulricehamn Rasta-Tpl Råslätt (söder om)



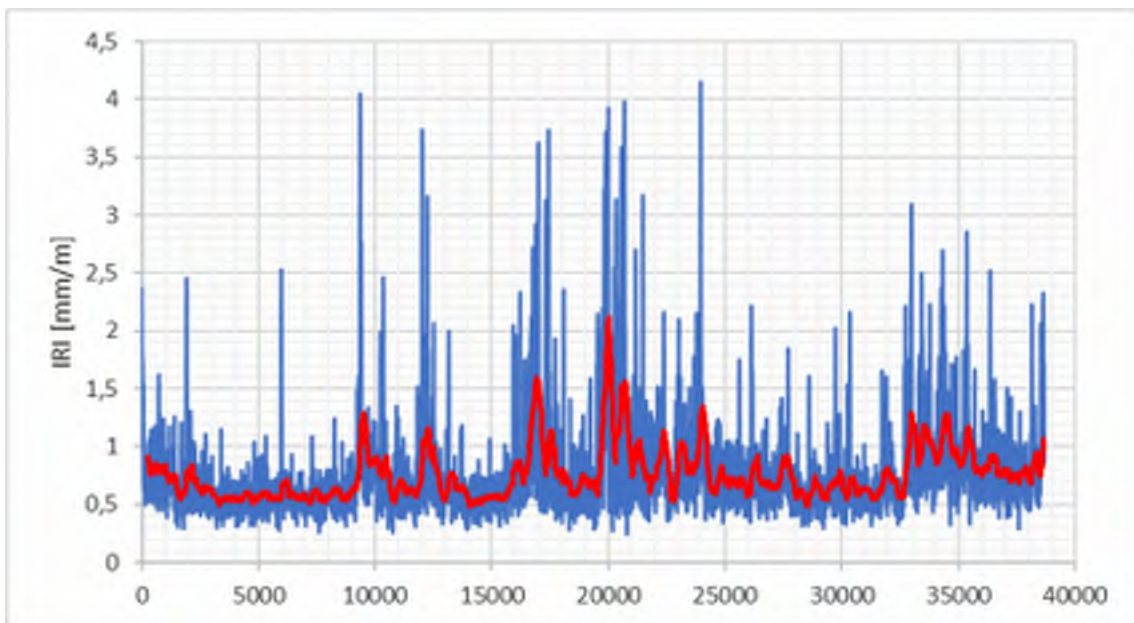
16, Rv40, Ulricehamn Rasta-Tp1 Råslätt (söder om)



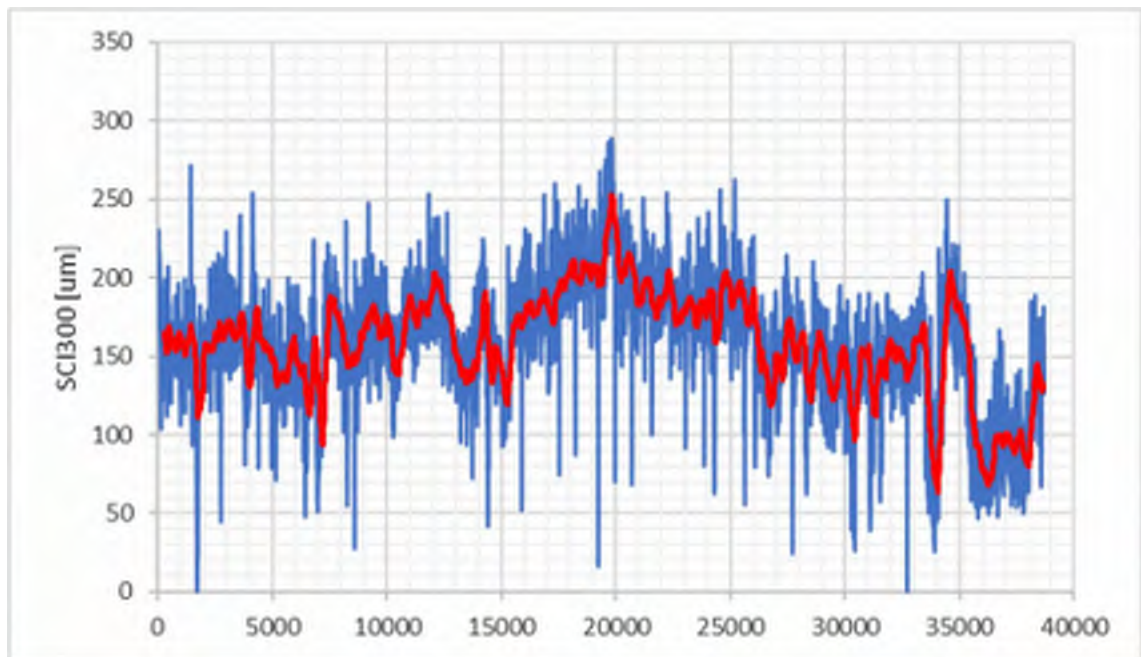
16, Rv40, Ulricehamn Rasta-Tp1 Råslätt (söder om)



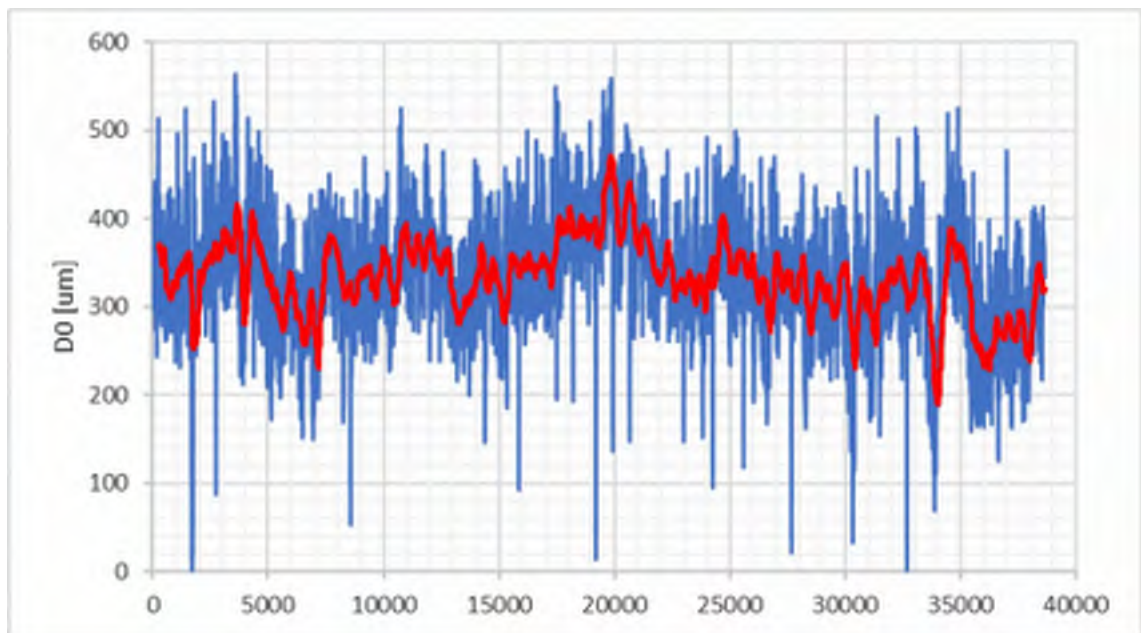
17, E4, Tpl Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)



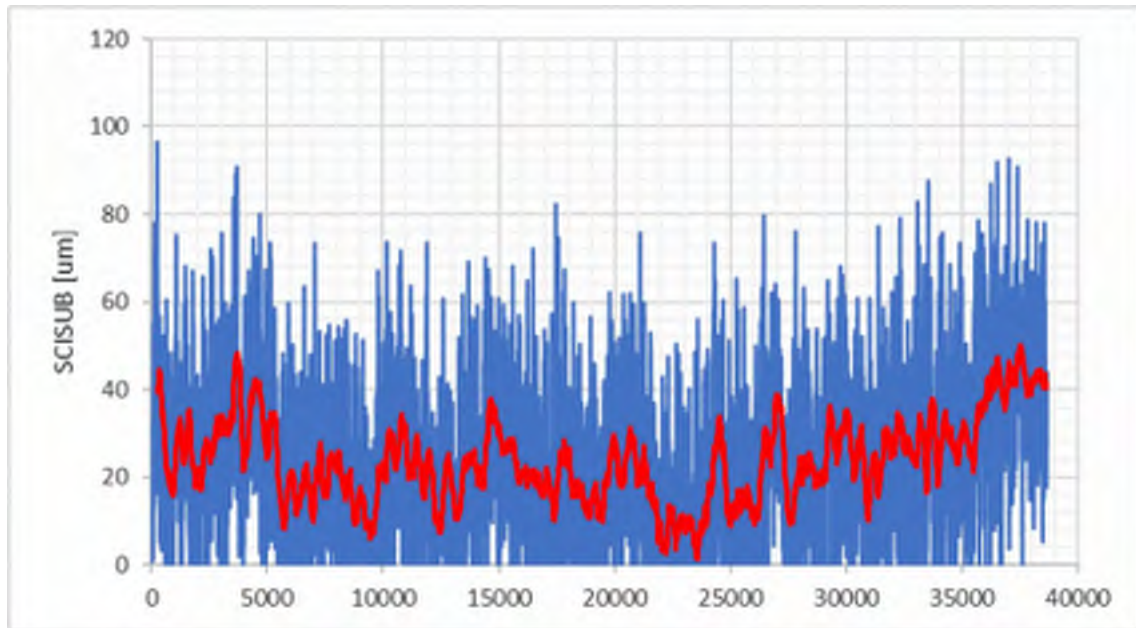
17, E4, Tpl Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)



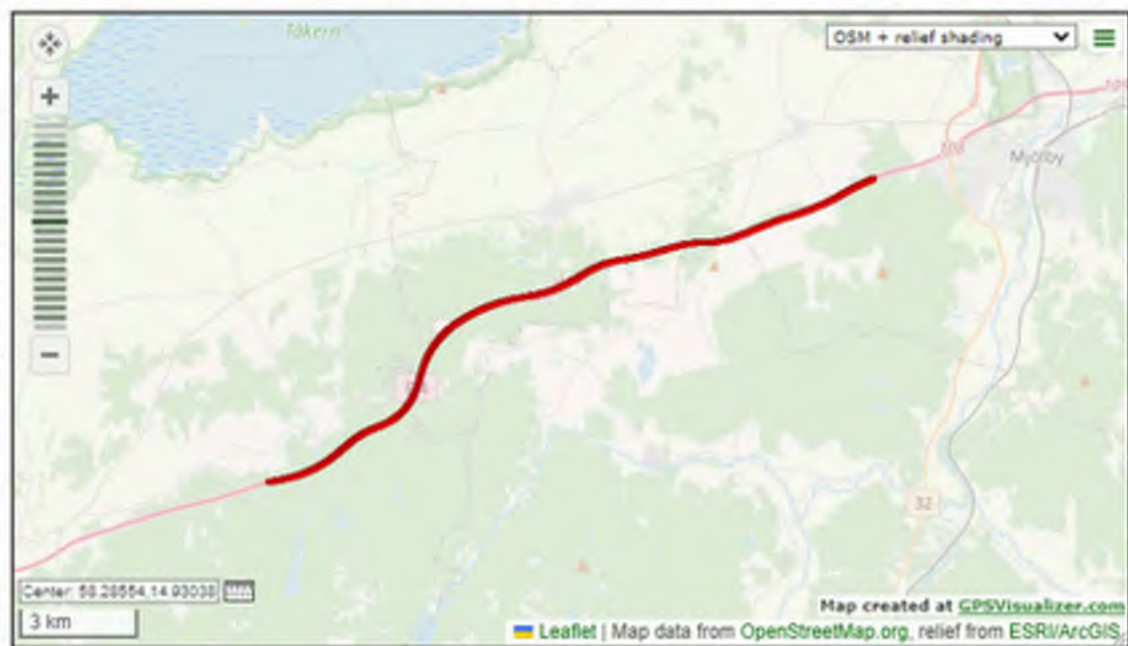
17, E4, Tpl Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)



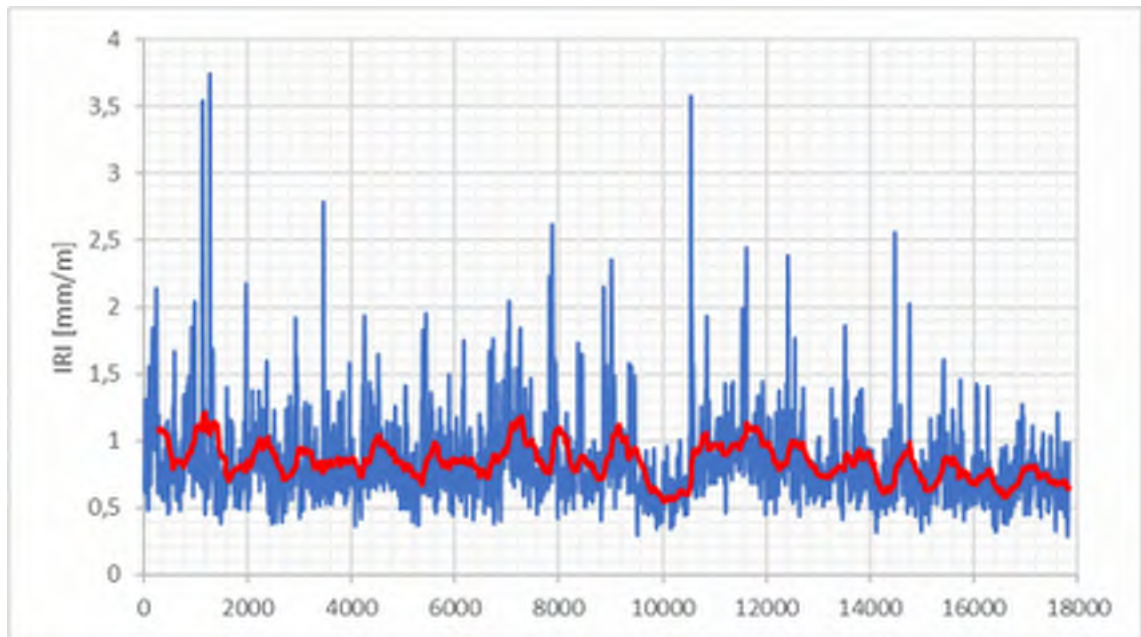
17, E4, Tpl Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)



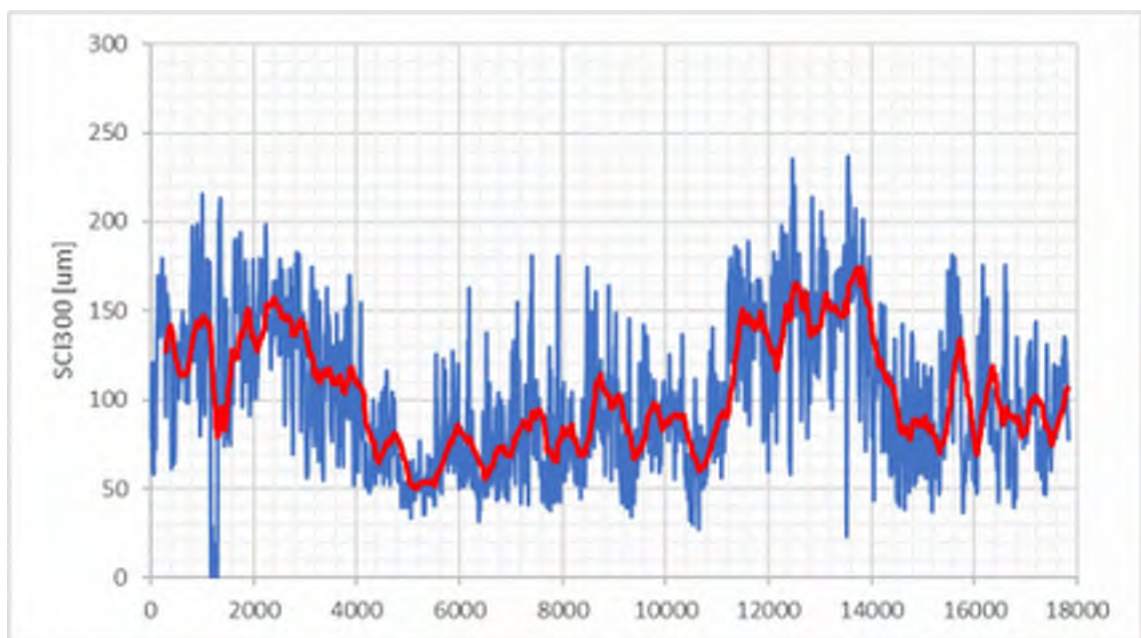
17, E4, Tpl Gyllene Uttern-Ödeshög (norr om)



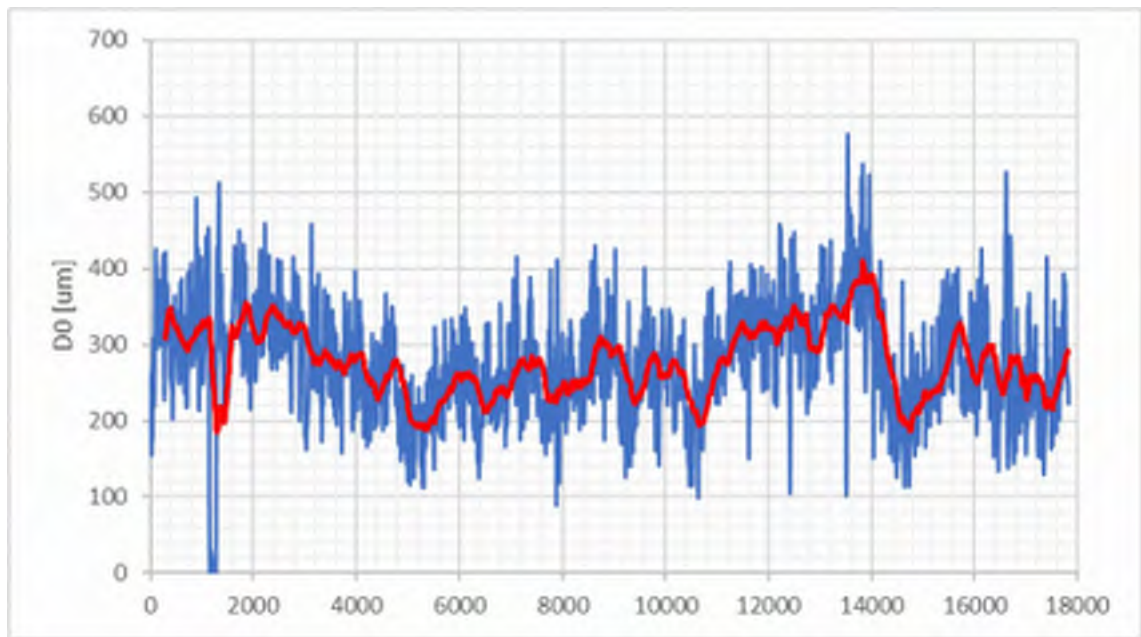
18, E4, Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra (108)



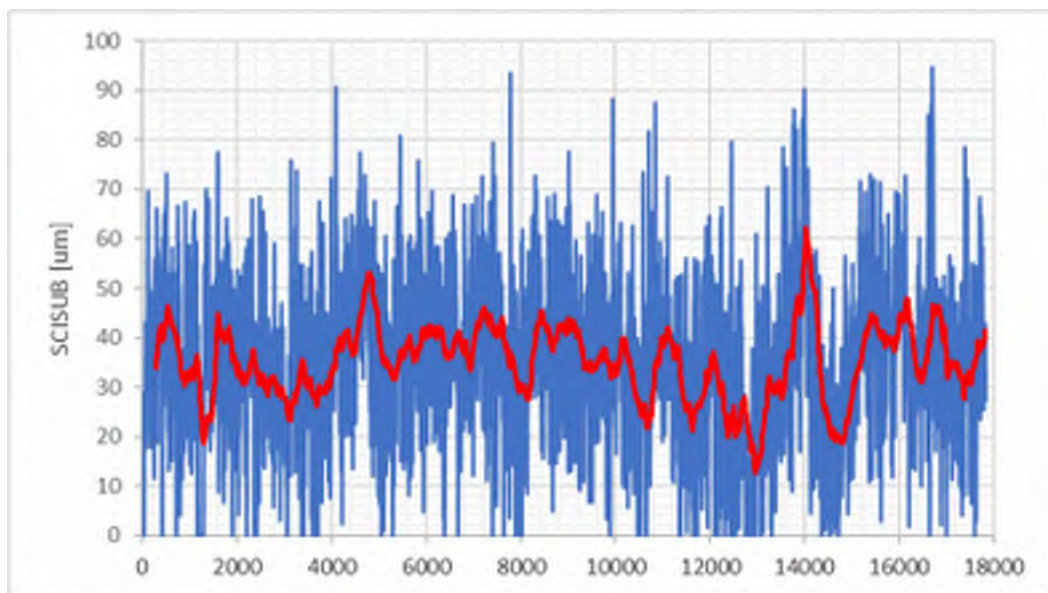
18, E4, Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra (108)



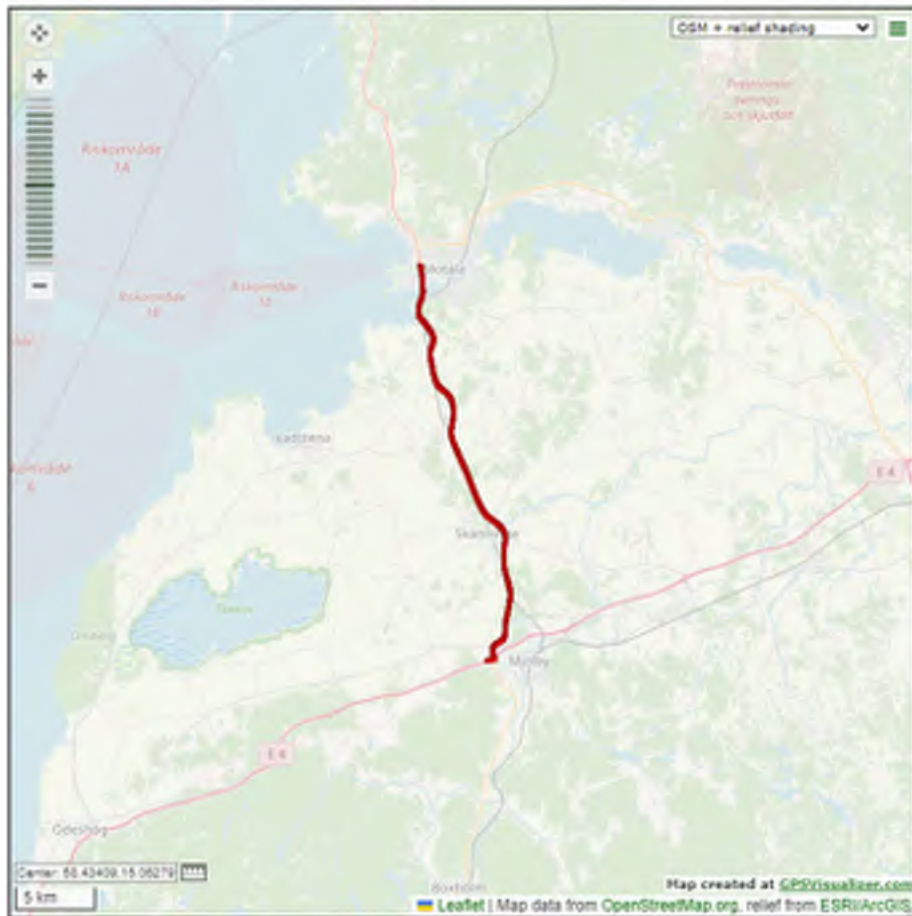
18, E4, Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra (108)



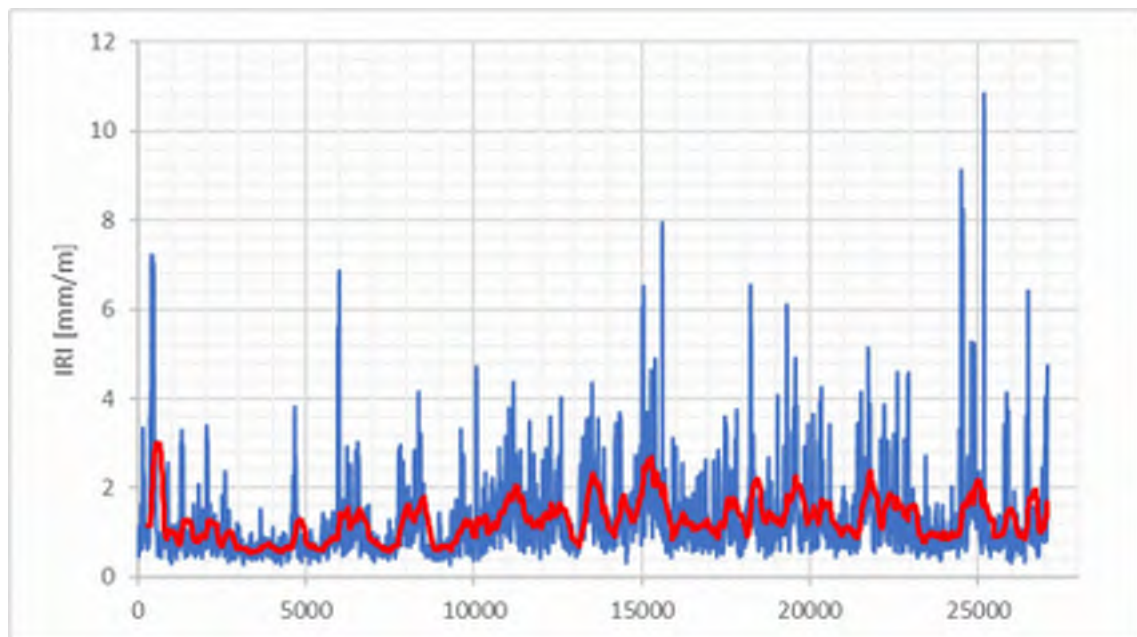
18, E4, Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra (108)



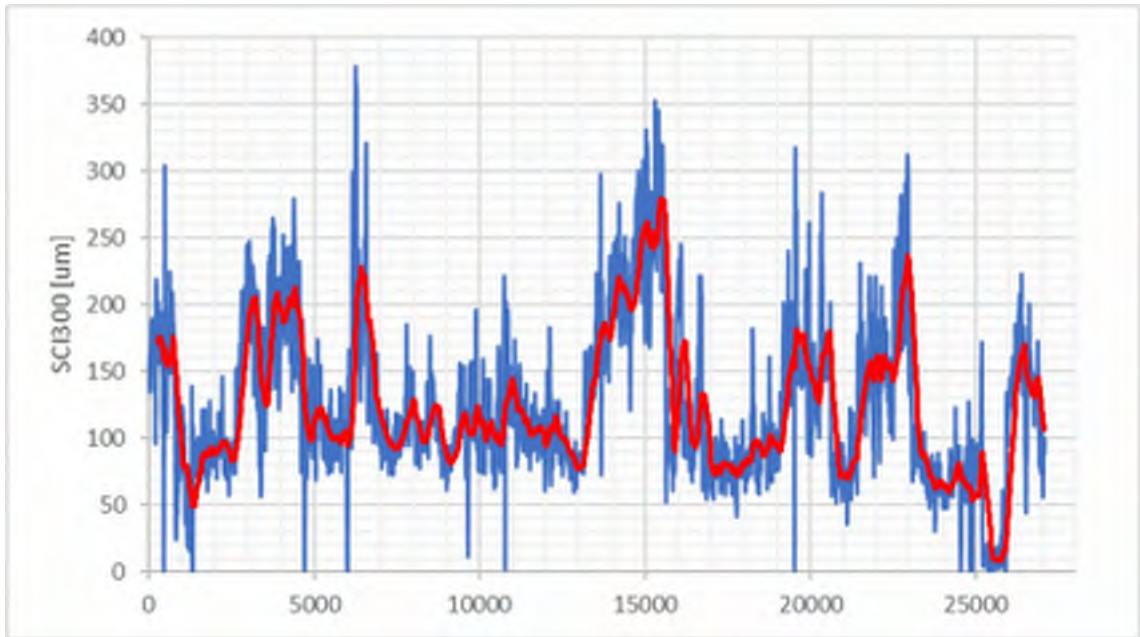
18, E4, Ödeshög (norr om)-Tpl Mjölby Västra (108)



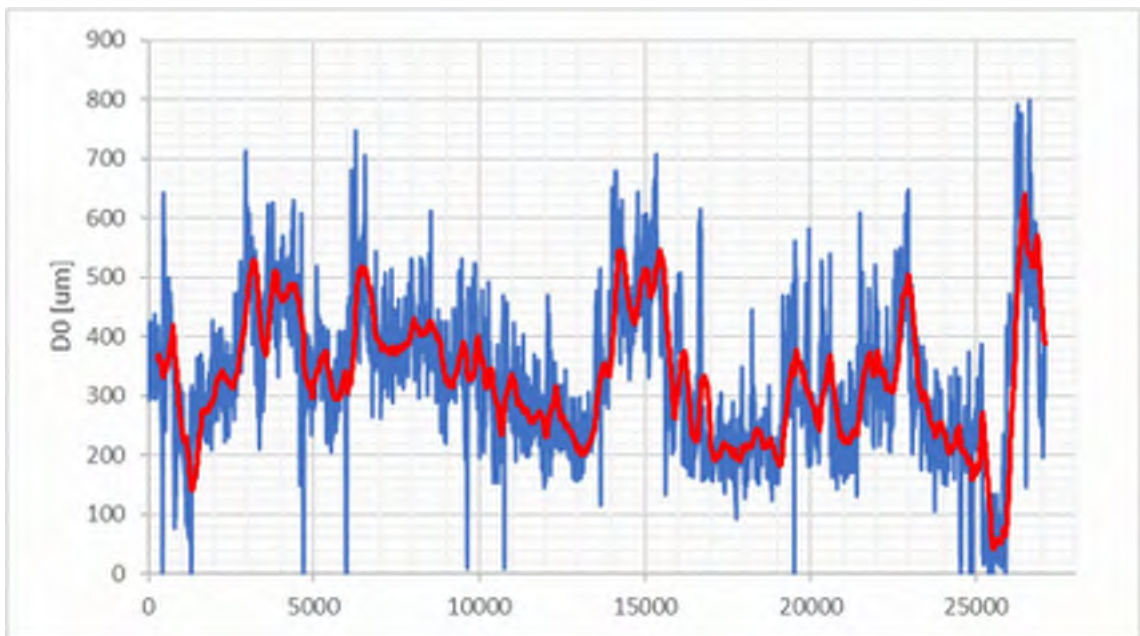
19, Rv50, Tpl Mjölby Västra (108)-Tpl Mjölby Centrum



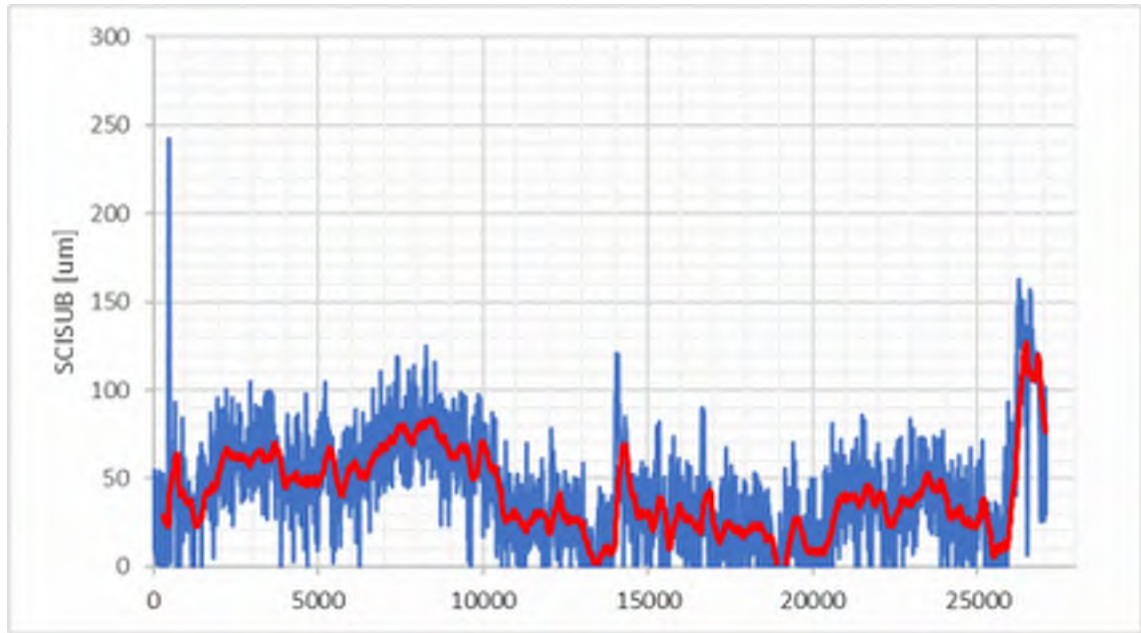
19, Rv50, Tpl Mjölby Västra (108)-Tpl Mjölby Centrum



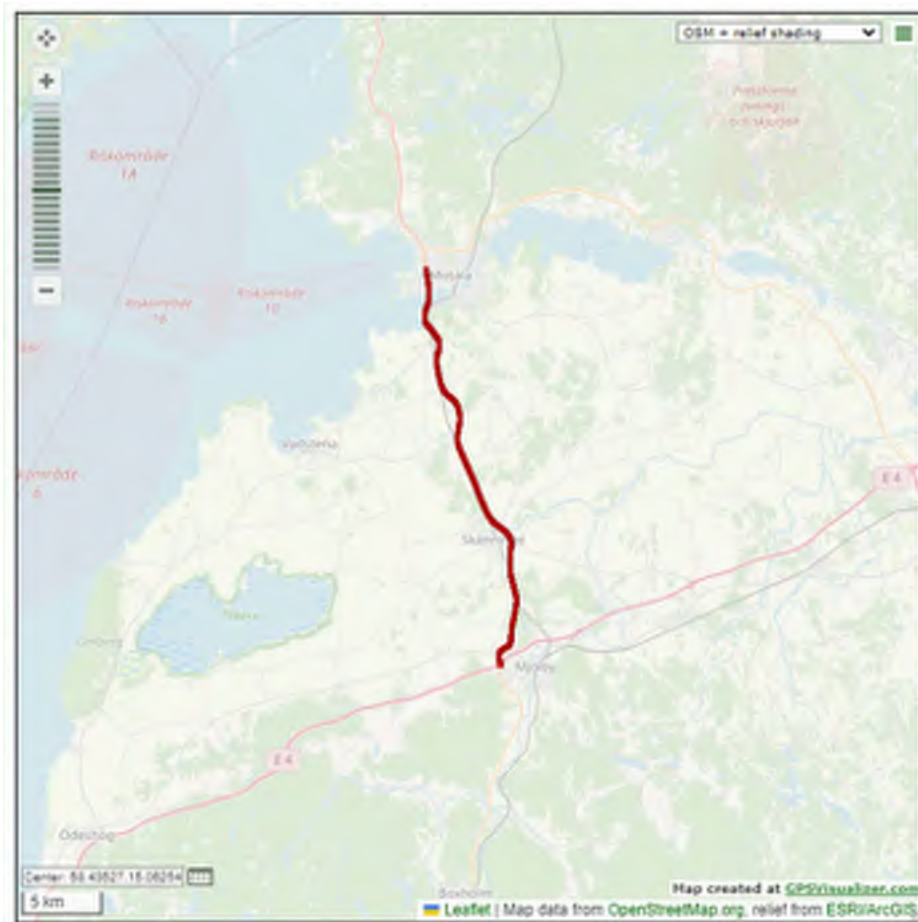
19, Rv50, Tpl Mjölby Västra (108)-Tpl Mjölby Centrum



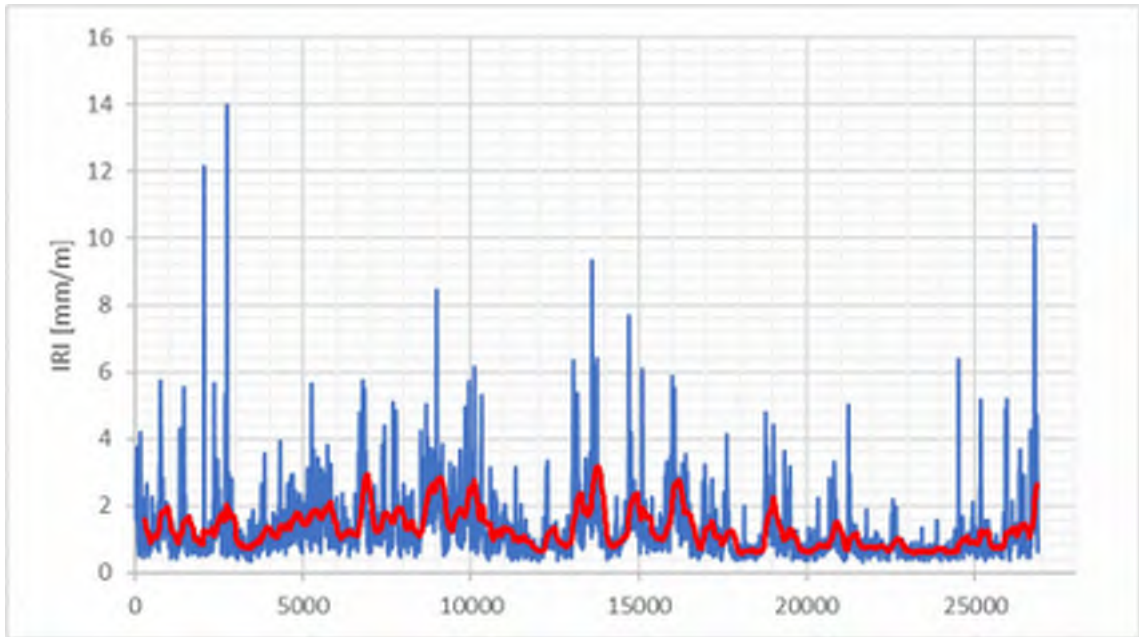
19, Rv50, Tpl Mjölby Västra (108)-Tpl Mjölby Centrum



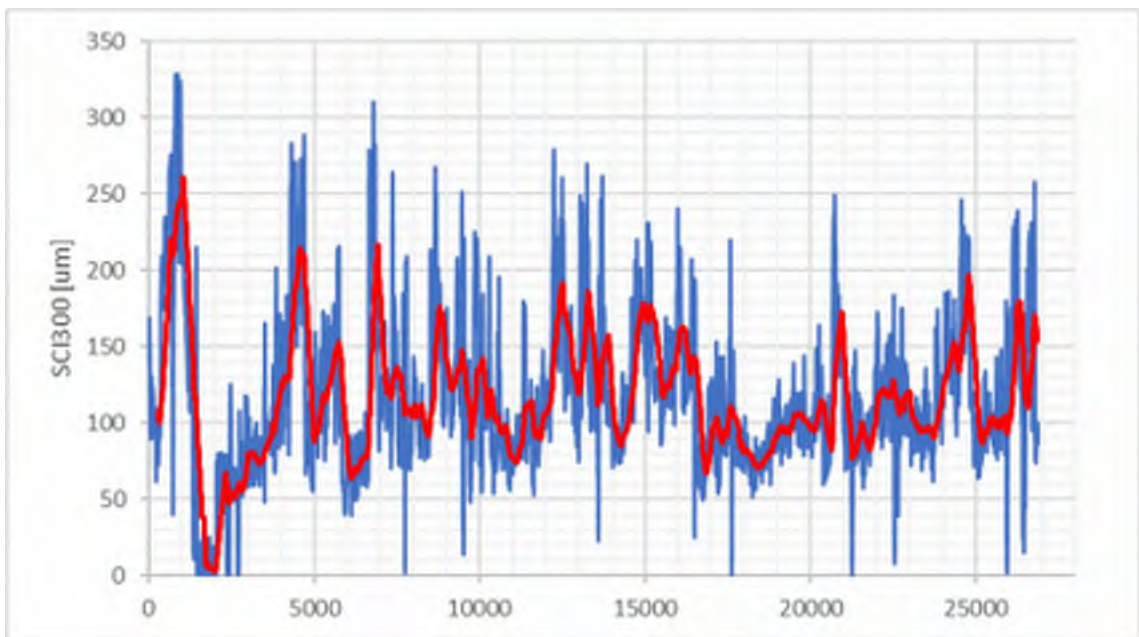
19, Rv50, Tpl Mjölby Västra (108)-Tpl Mjölby Centrum



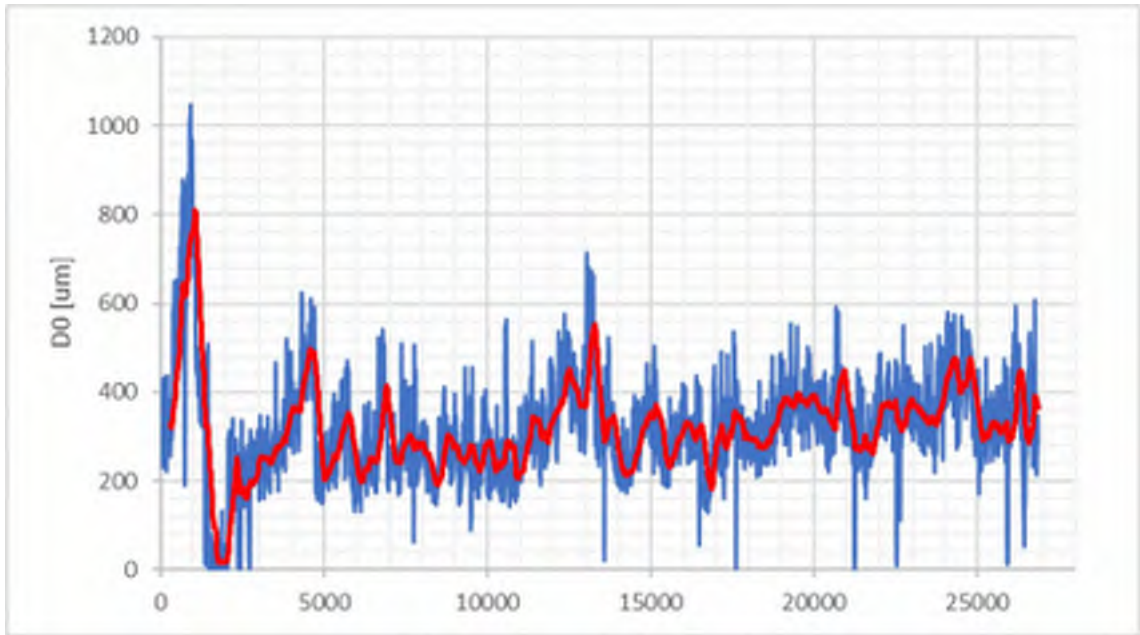
20, Rv50, Tpl Mjölby Centrum-Tpl Mjölby Västra (108)



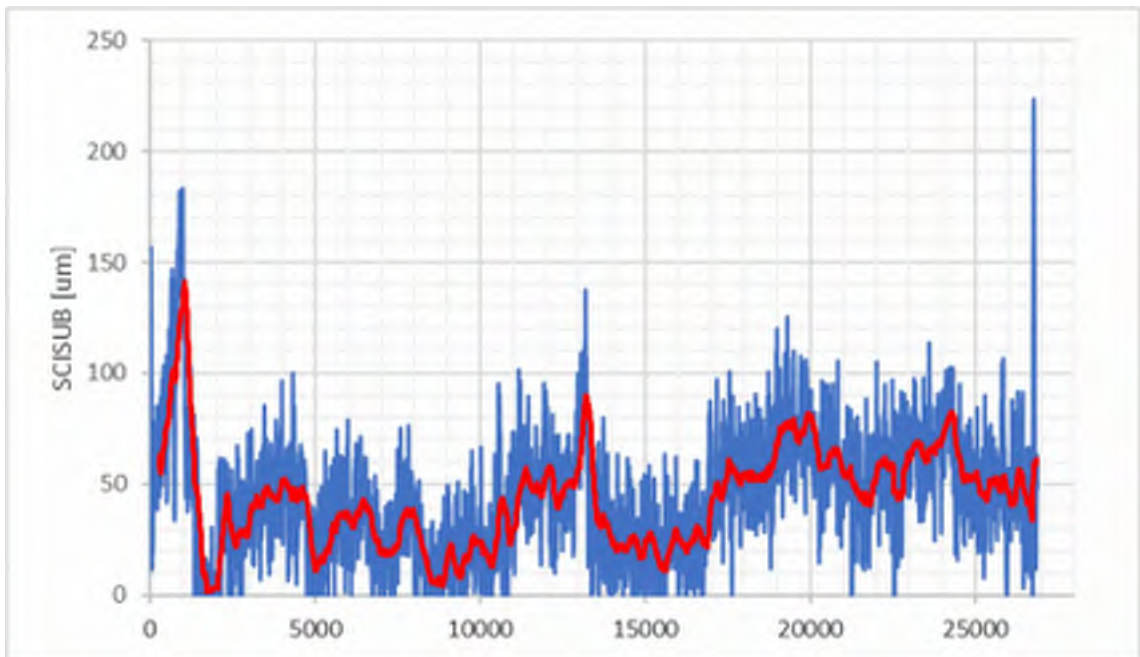
20, Rv50, Tpl Mjölby Centrum-Tpl Mjölby Västra (108)



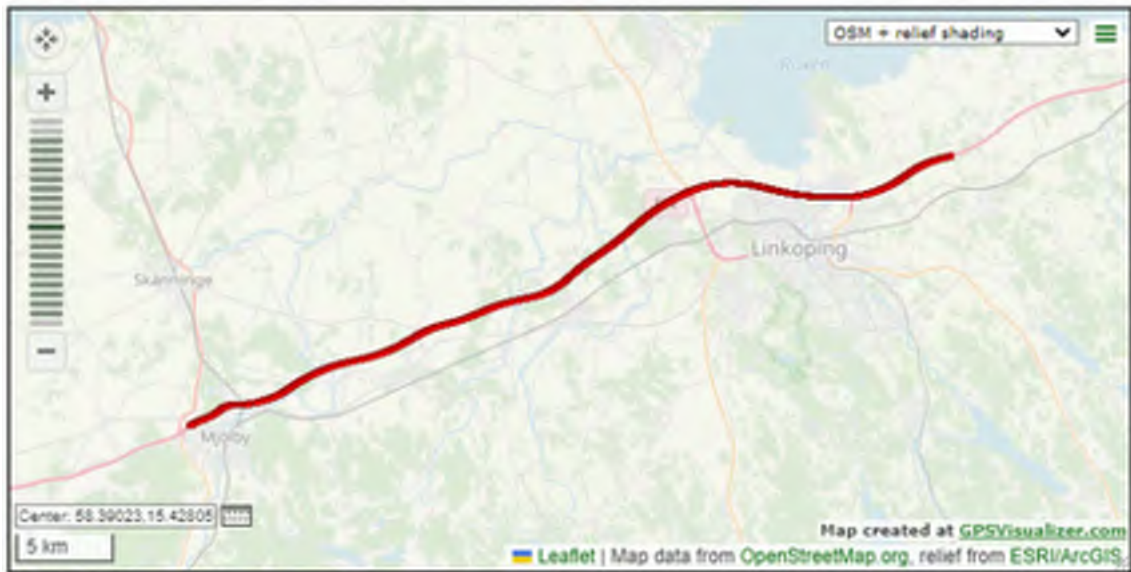
20, Rv50, Tpl Mjölby Centrum-Tpl Mjölby Västra (108)



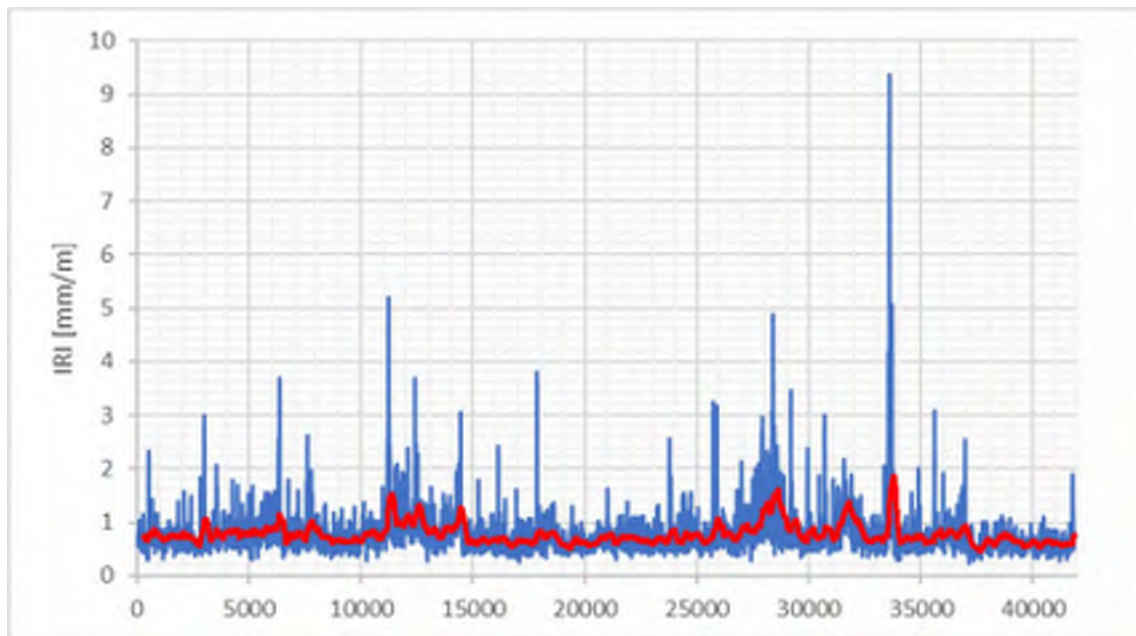
20, Rv50, Tpl Mjölby Centrum-Tpl Mjölby Västra (108)



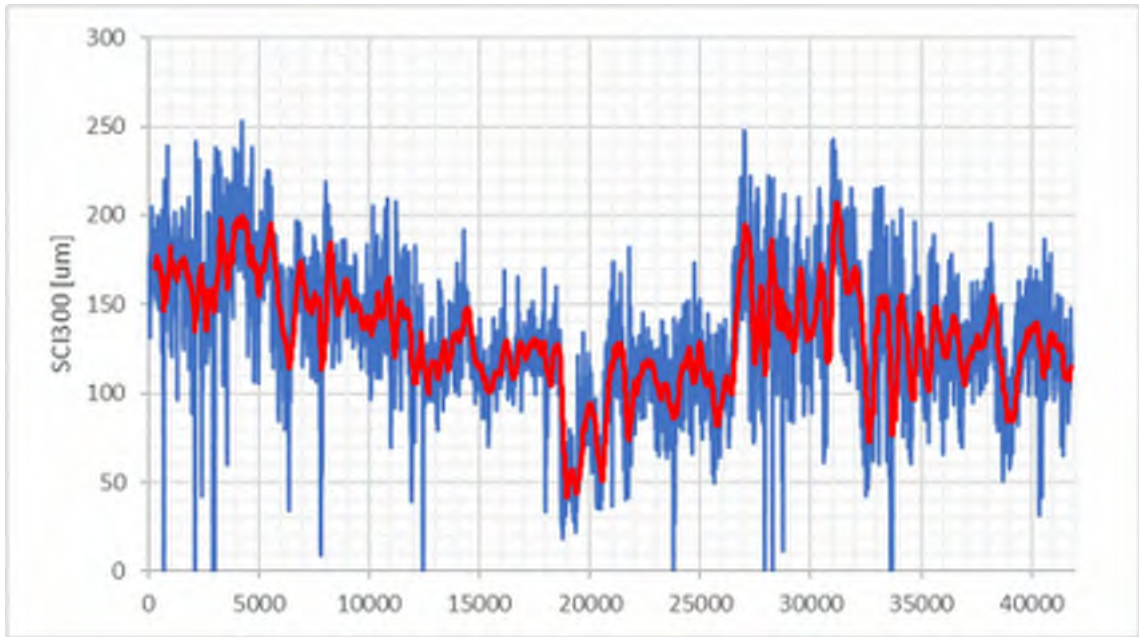
20, Rv50, Tpl Mjölby Centrum-Tpl Mjölby Västra (108)



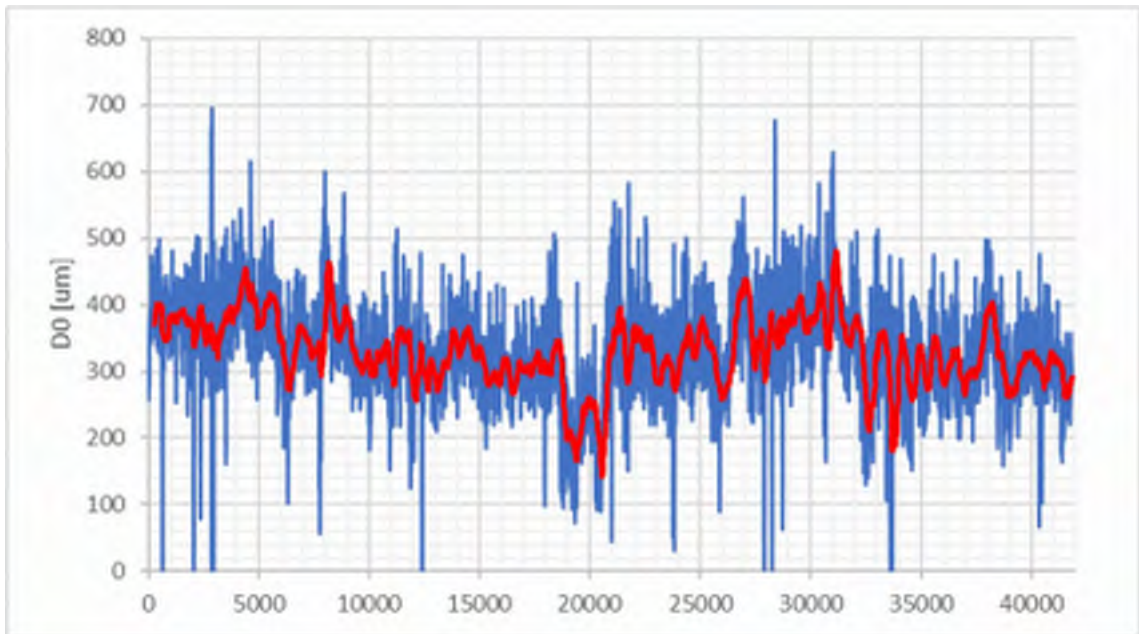
21, E4, Tpl Mjölby Västra (108)-Linköping (norr om)



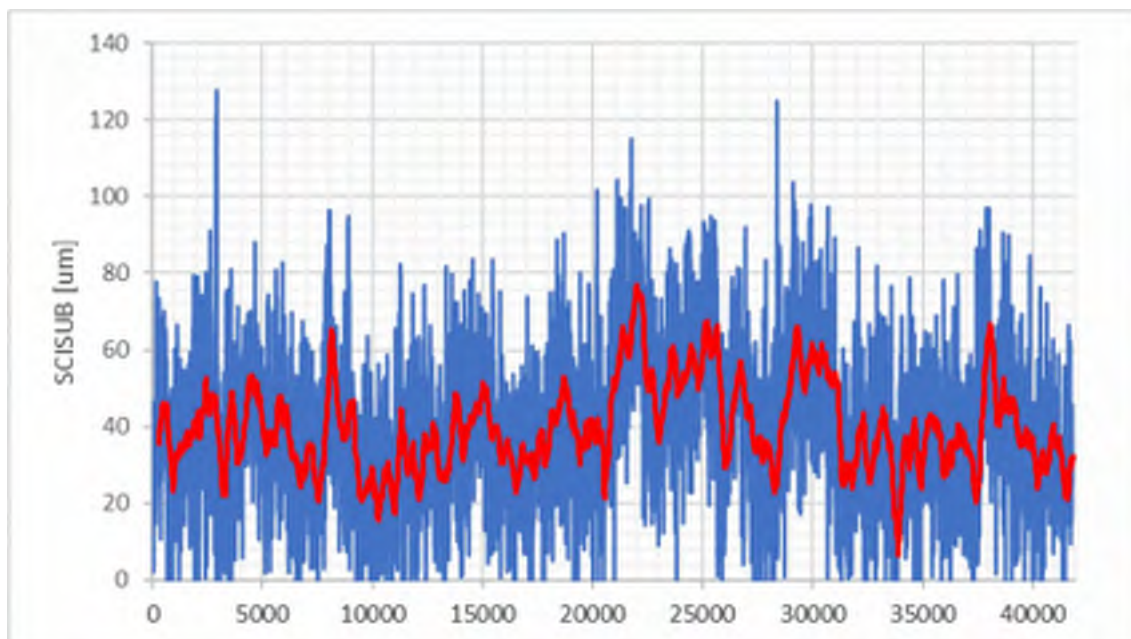
21, E4, Tpl Mjölby Västra (108)-Linköping (norr om)



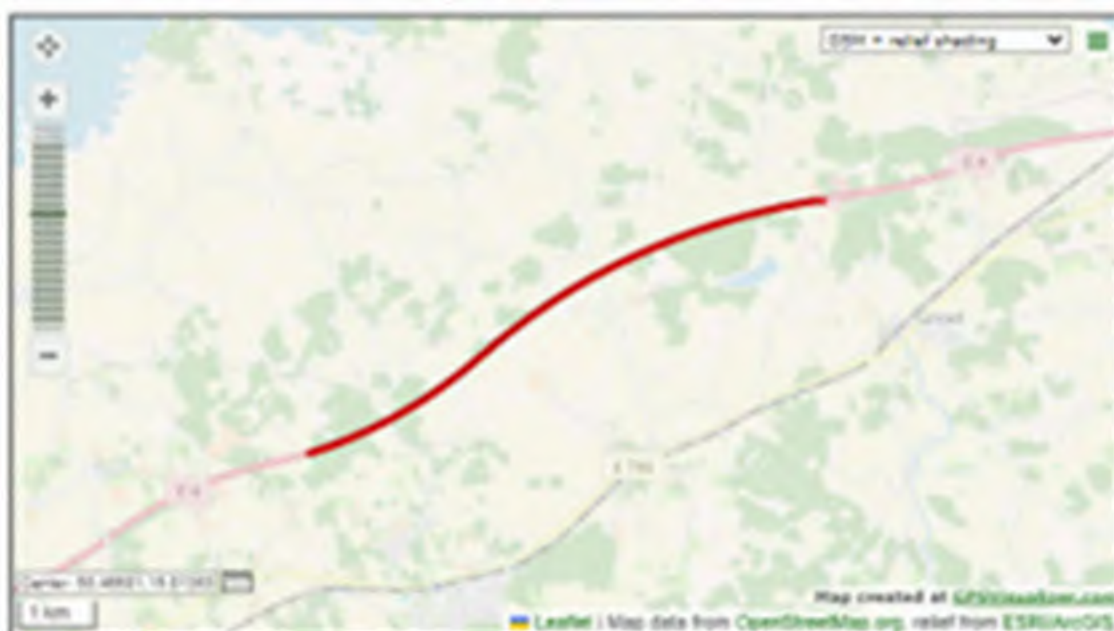
21, E4, Tpl Mjölby Västra (108)-Linköping (norr om)



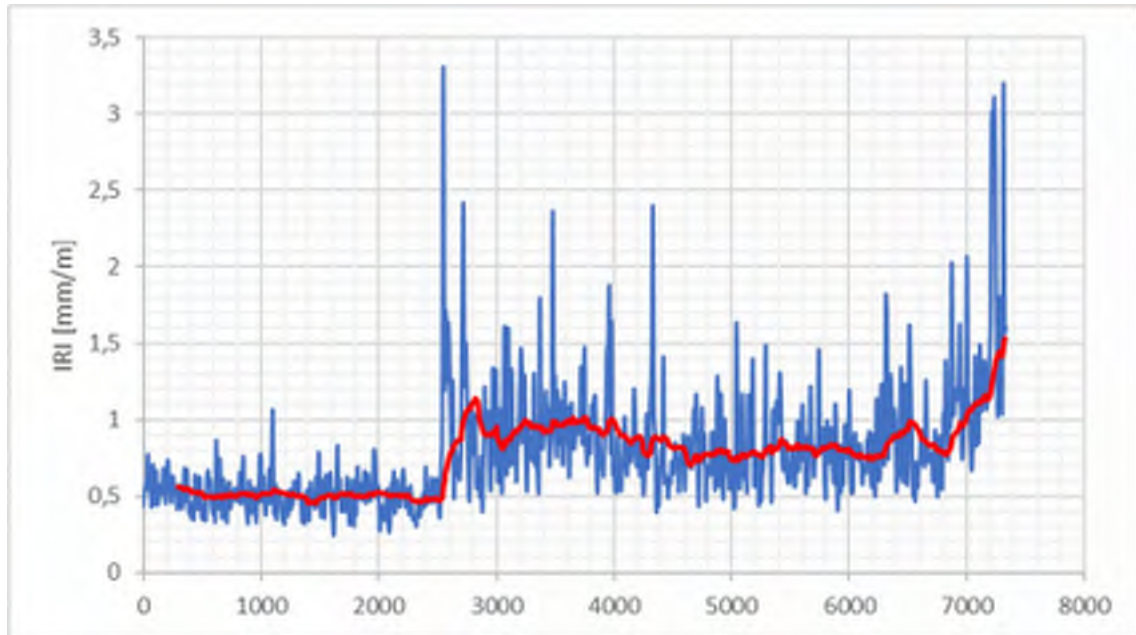
21, E4, Tpl Mjölby Västra (108)-Linköping (norr om)



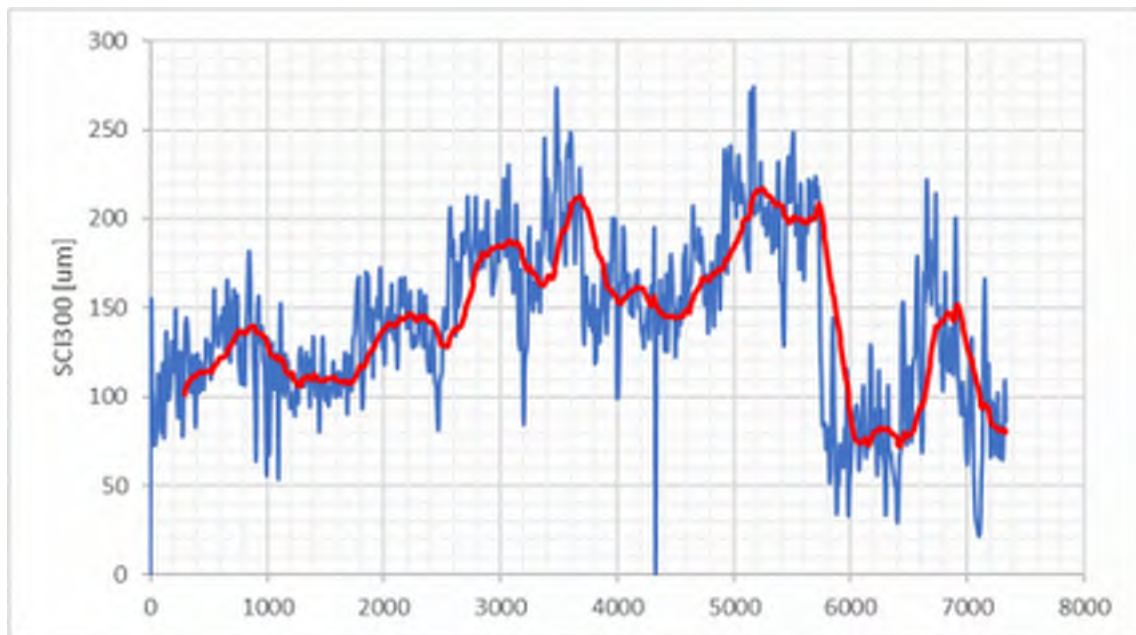
21, E4, Tpl Mjölby Västra (108)-Linköping (norr om)



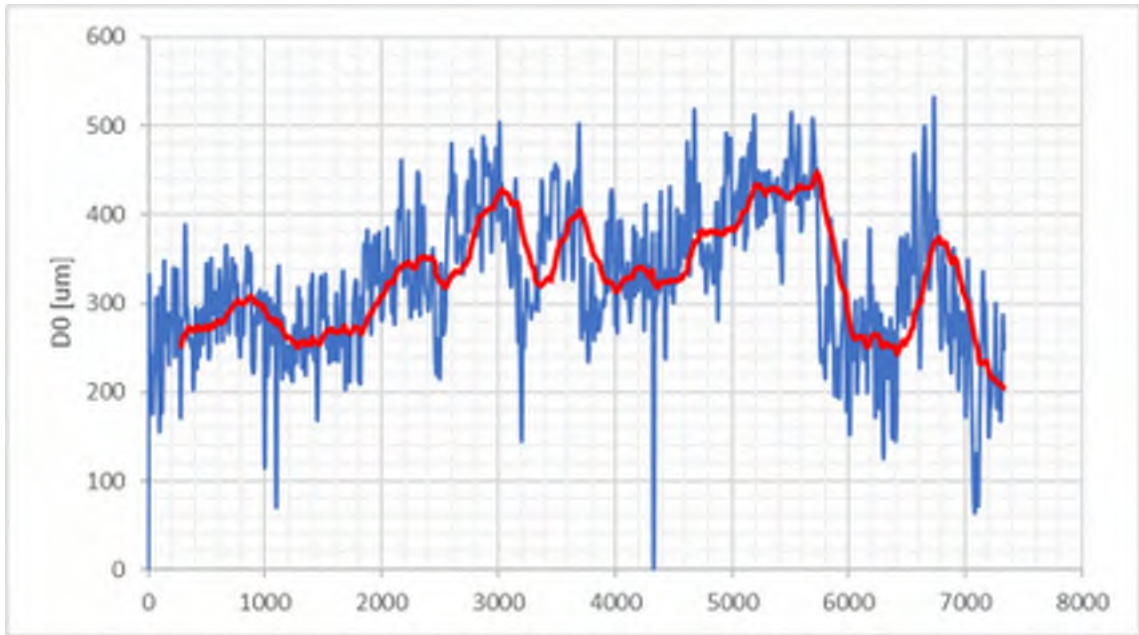
22, E4, Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats



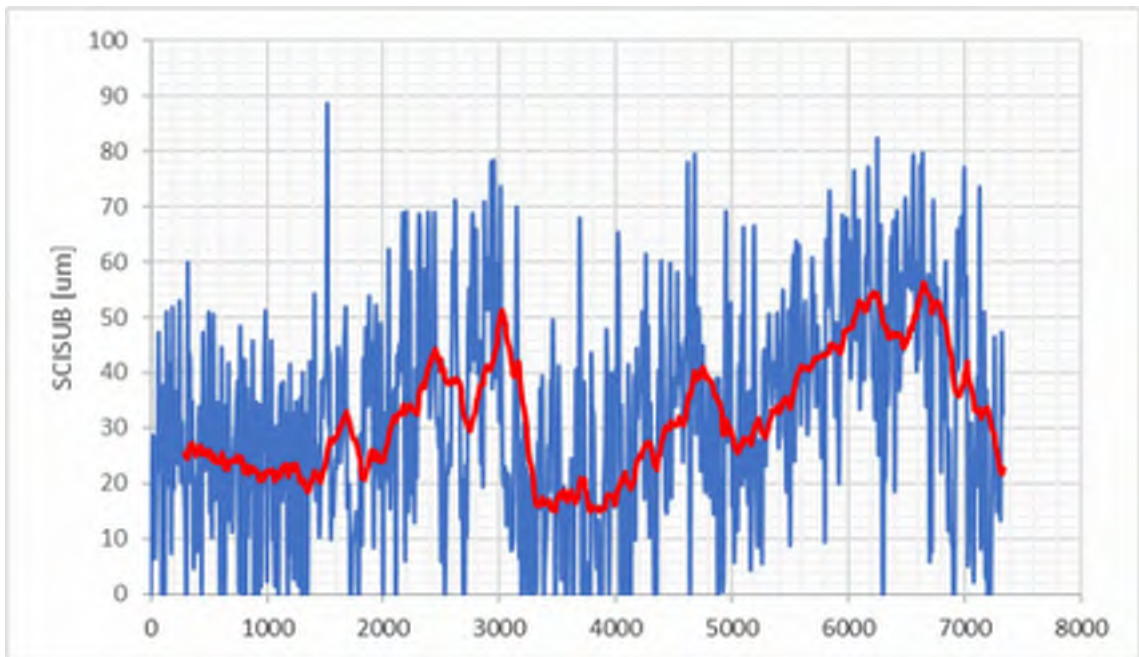
22, E4, Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats



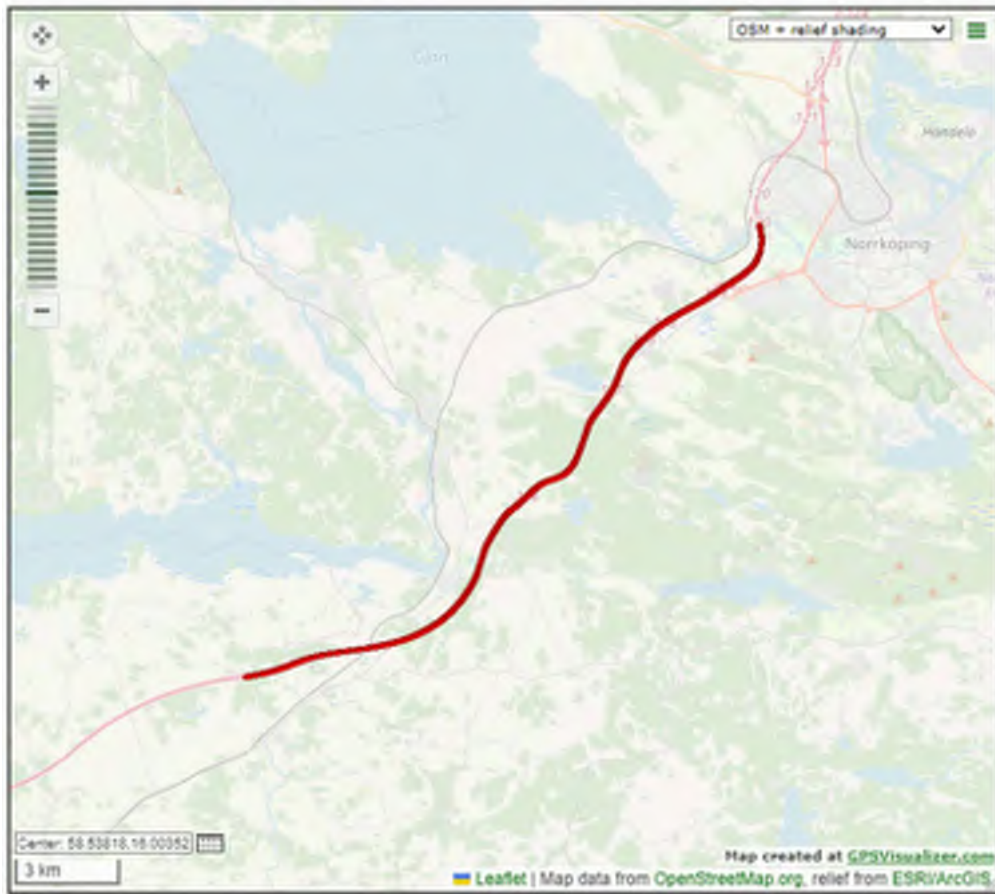
22, E4, Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats



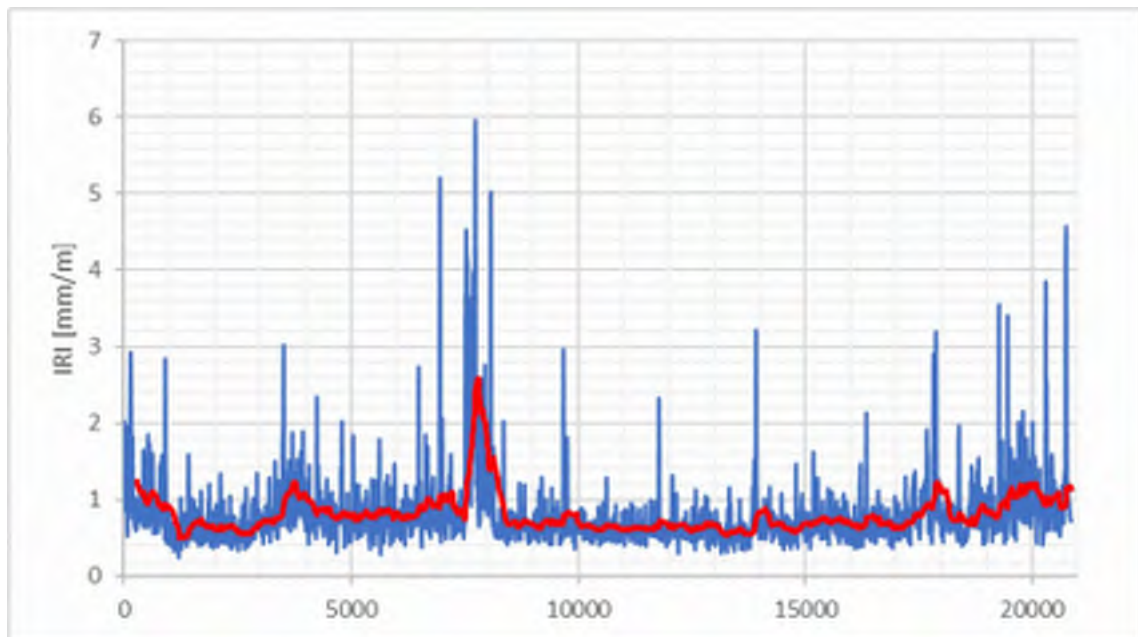
22, E4, Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats



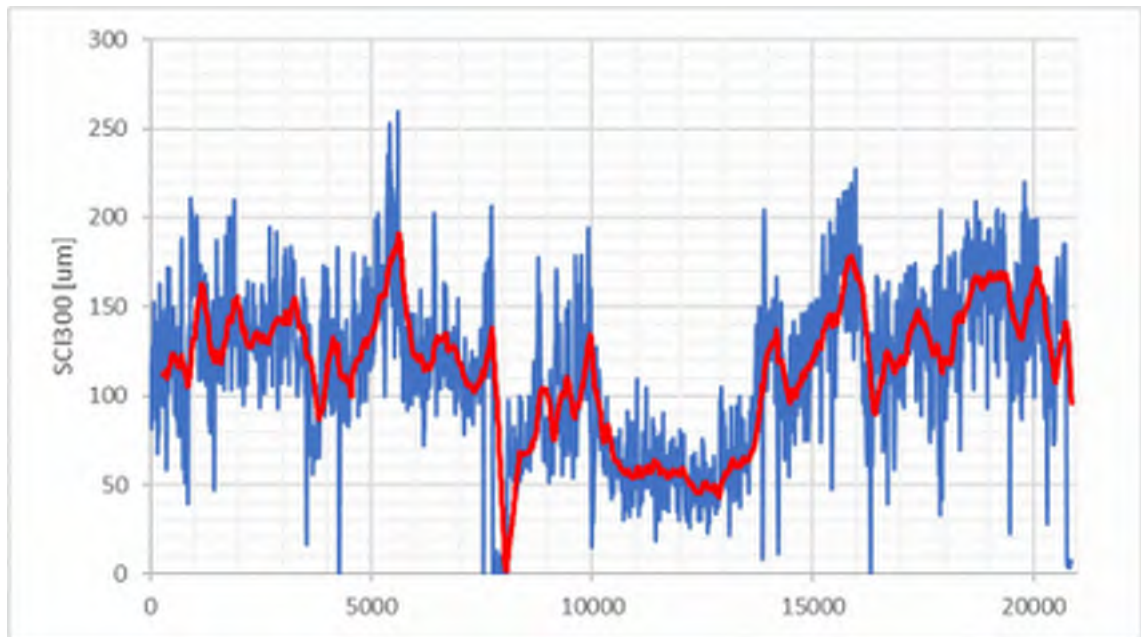
22, E4, Linköping (norr om)-Herrbeta rastplats



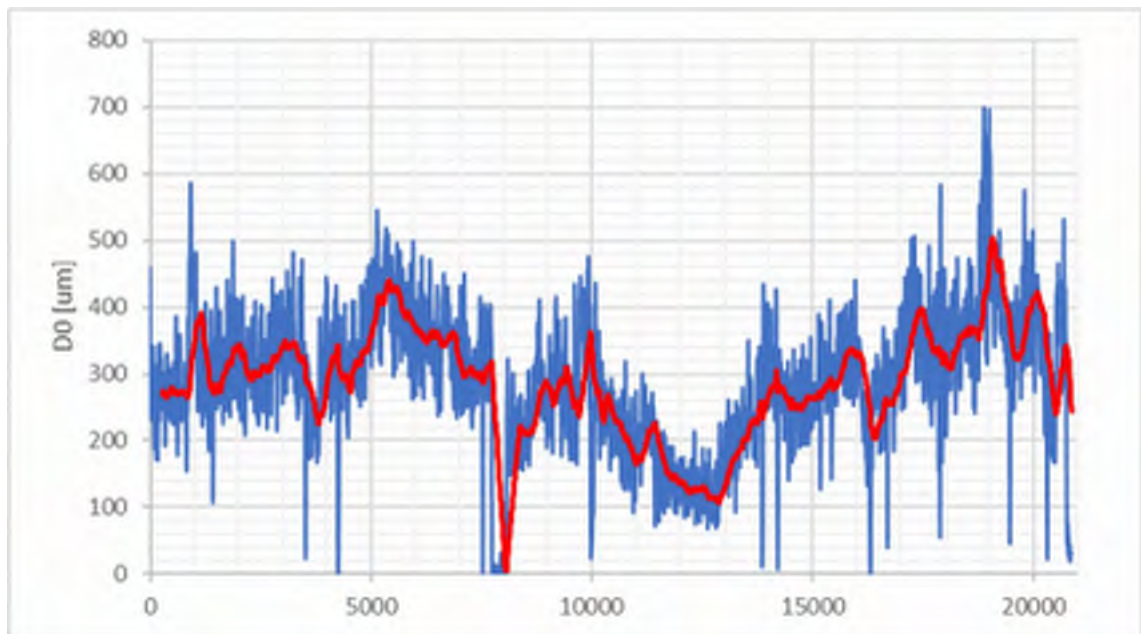
23, E4, Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping (120)



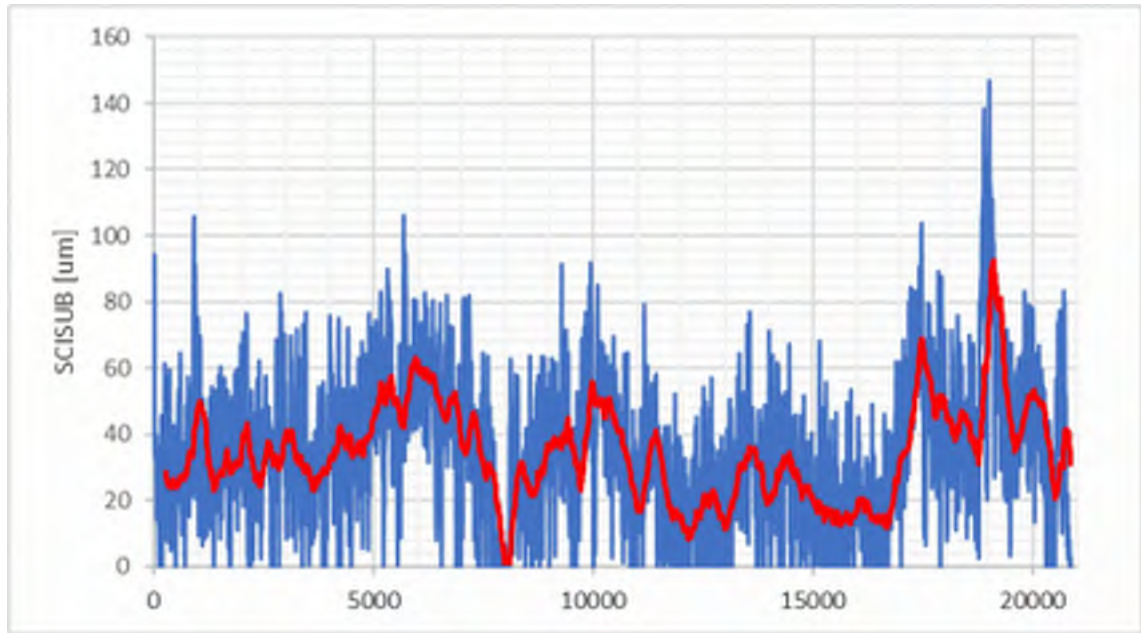
23, E4, Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping (120)



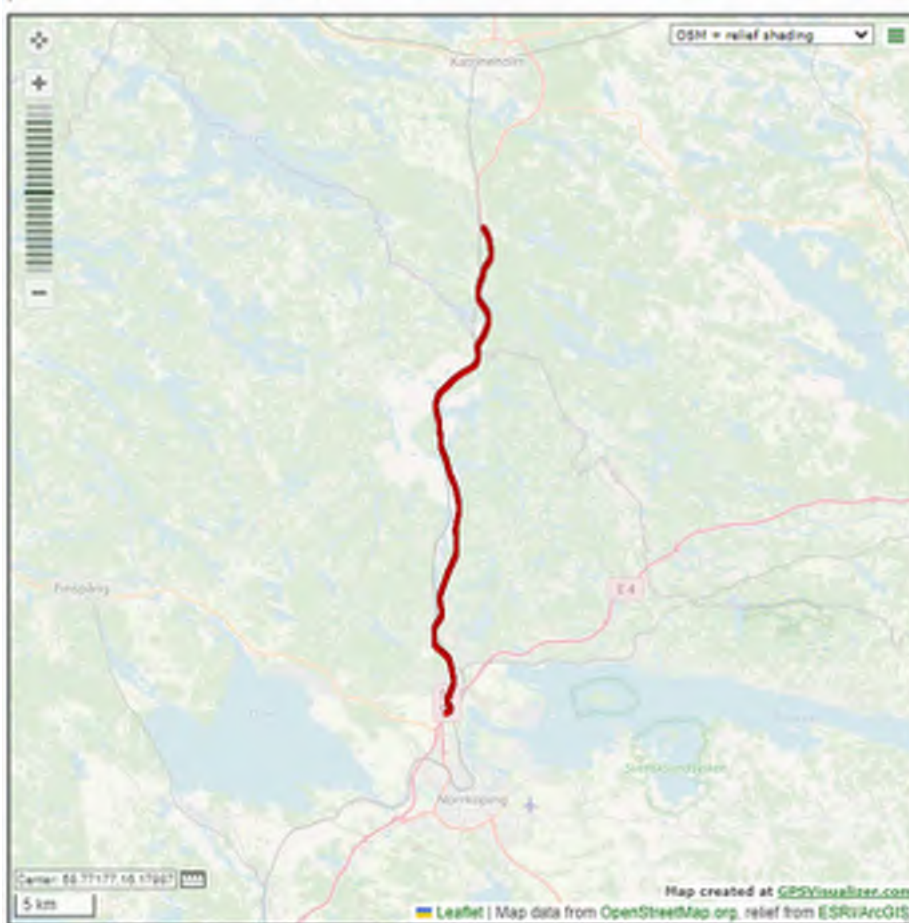
23, E4, Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping (120)



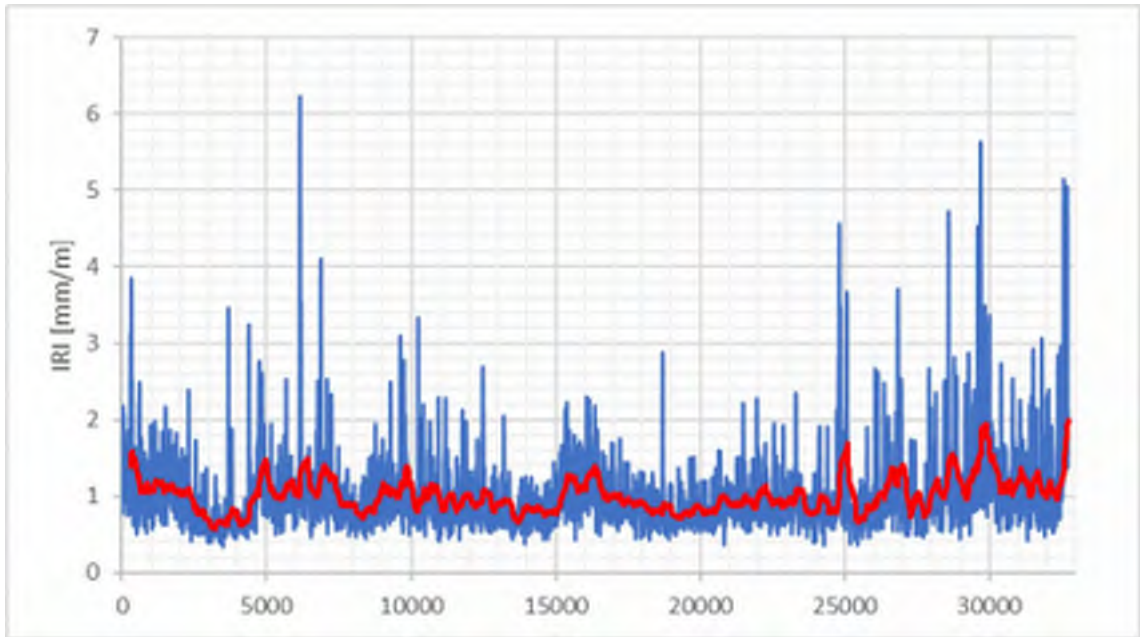
23, E4, Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping (120)



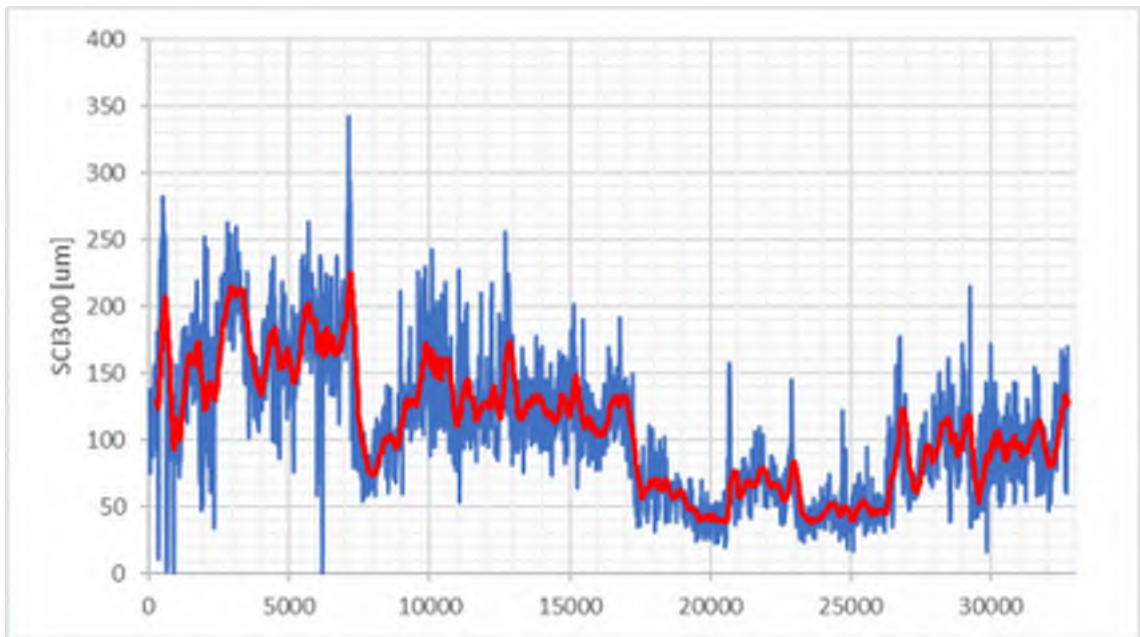
23, E4, Herrbeta rastplats-Tpl Norrköping (120)



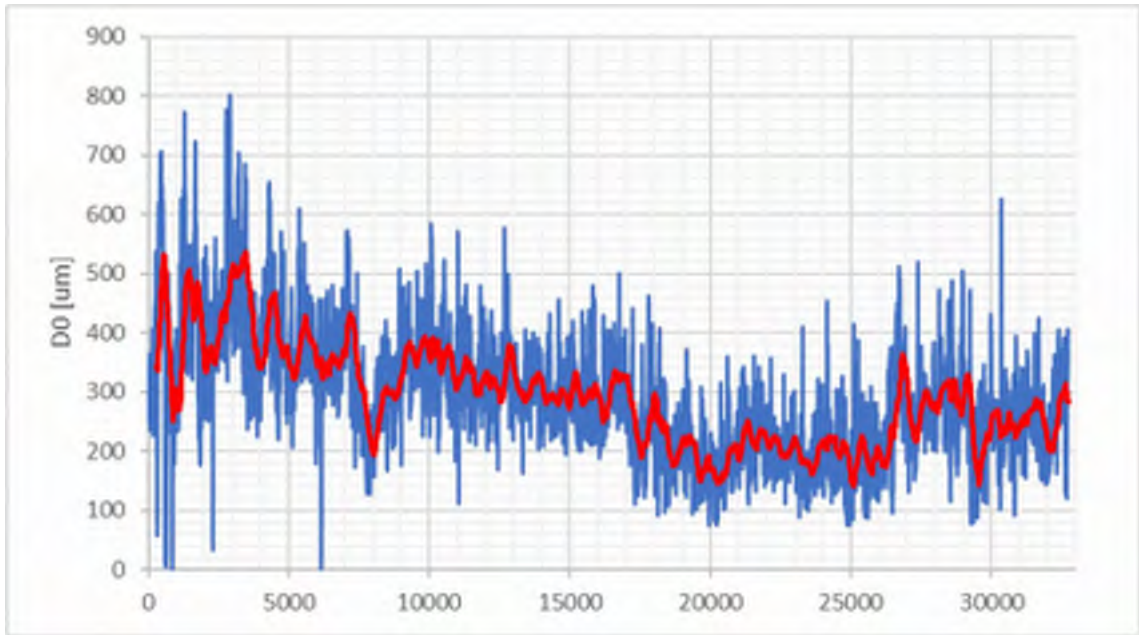
24, Rv55/56, Tpl Lodbby (123)-Strångsjö



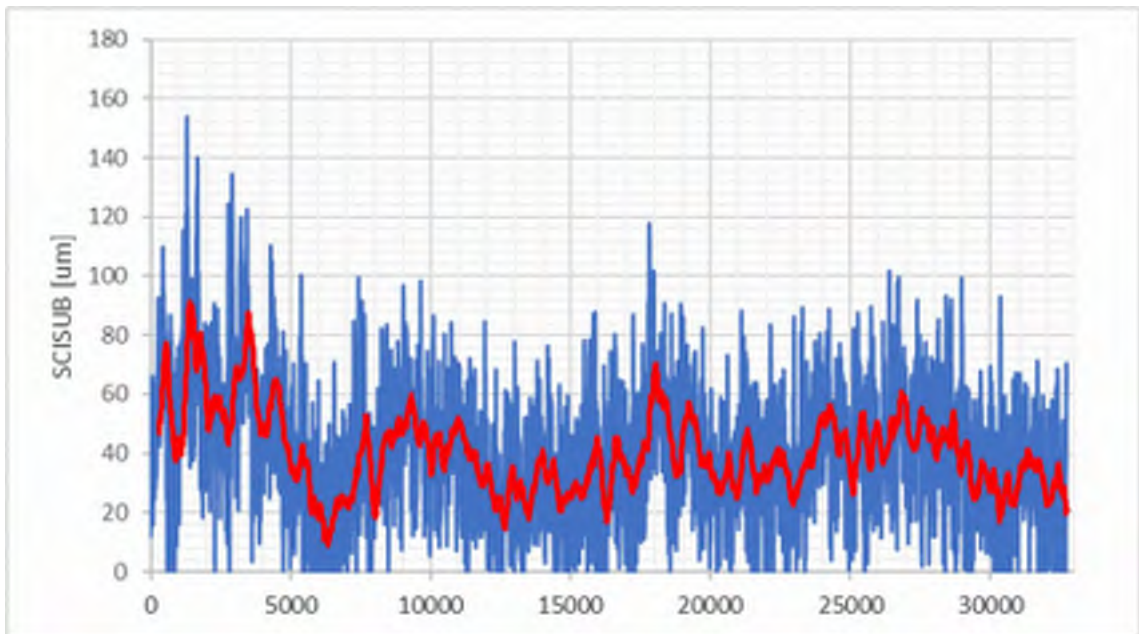
24, Rv55/56, Tpl Loddby (123)-Strångsjö



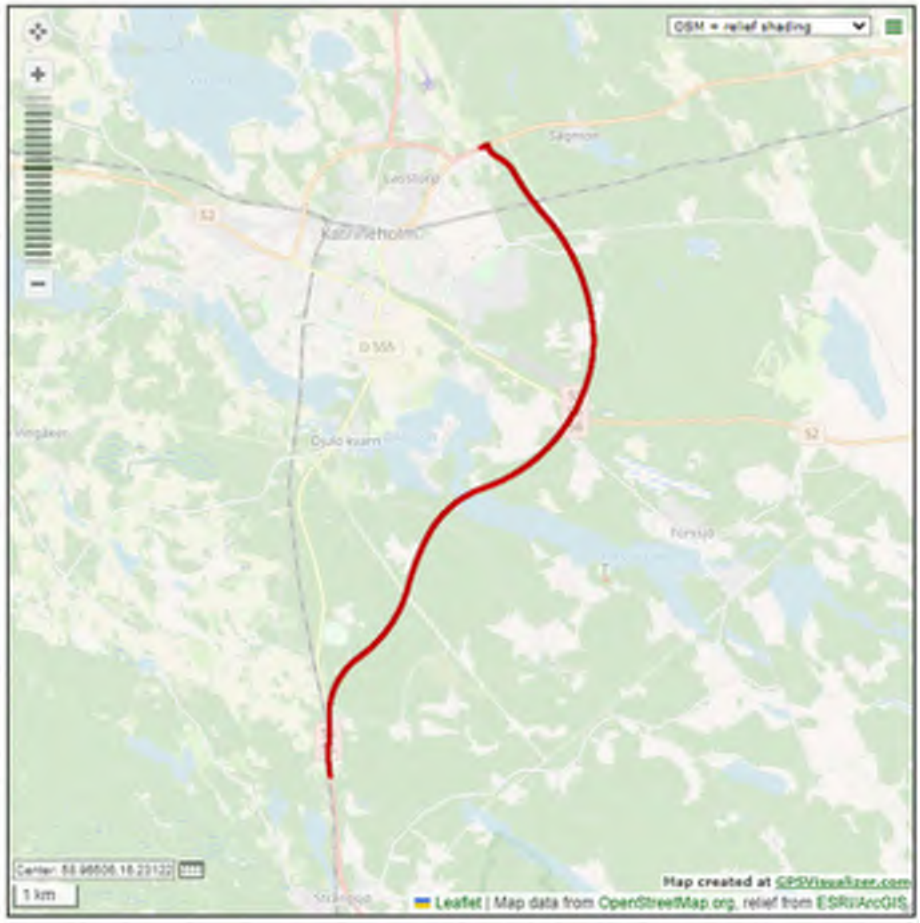
24, Rv55/56, Tpl Loddby (123)-Strångsjö



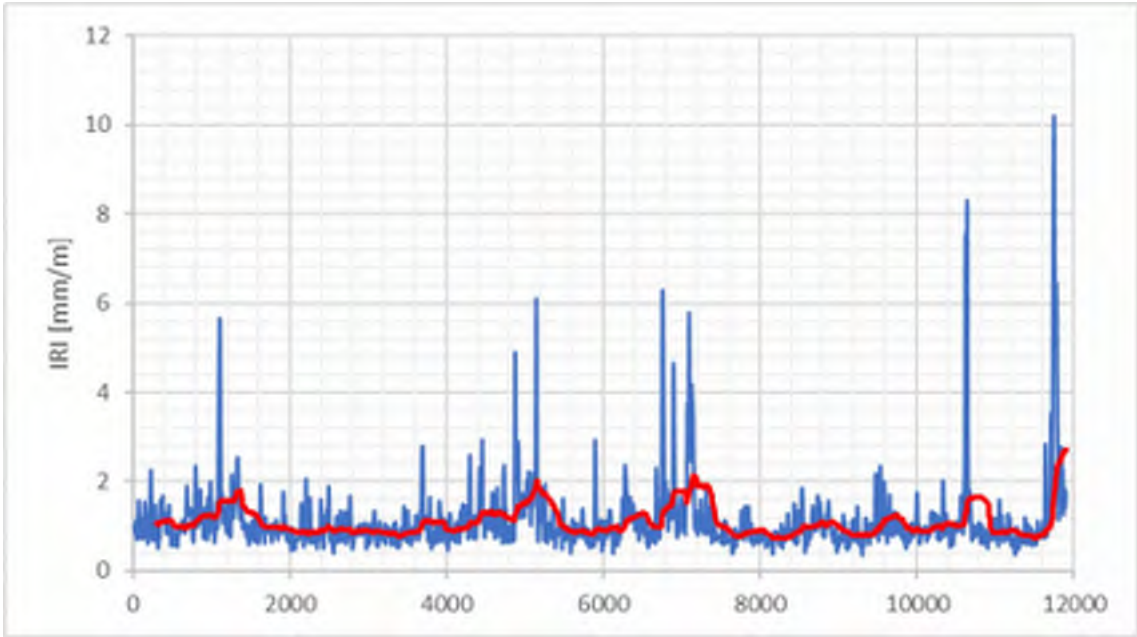
24, Rv55/56, Tpl Loddby (123)-Strångsjö



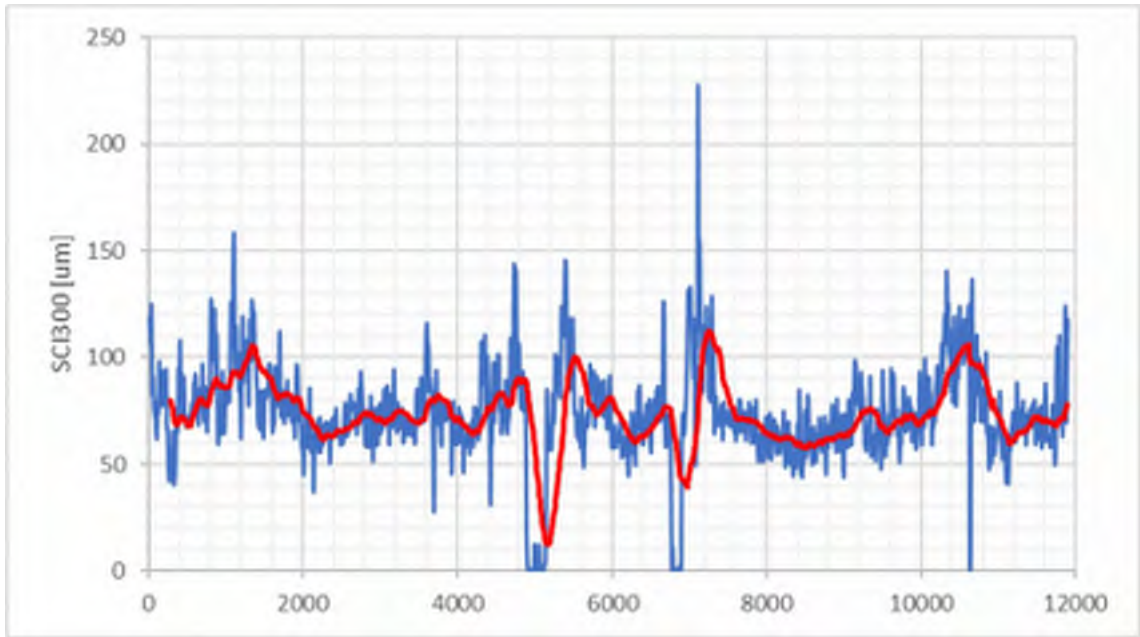
24, Rv55/56, Tpl Loddby (123)-Strångsjö



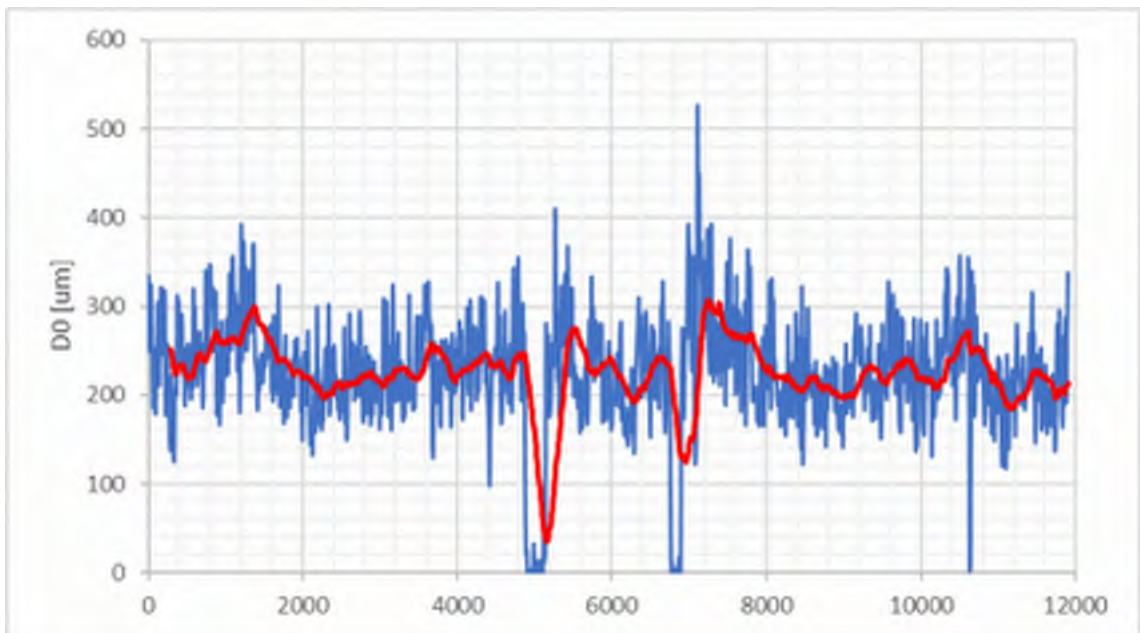
25, Rv55/56, Strängsjö-Katrineholm



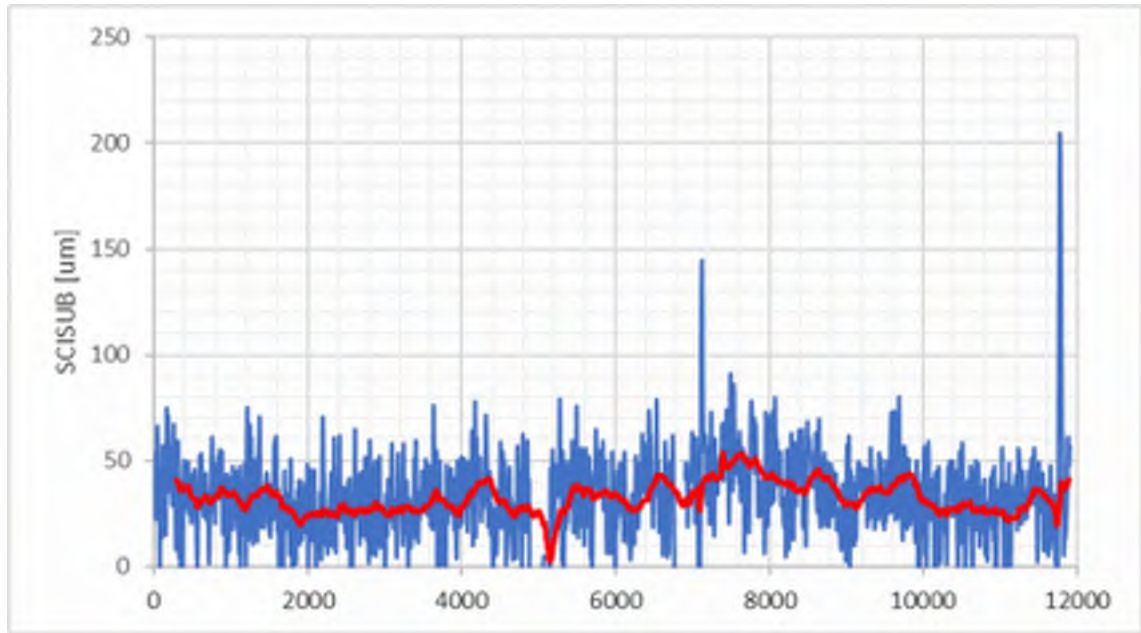
25, Rv55/56, Strängsjö-Katrineholm



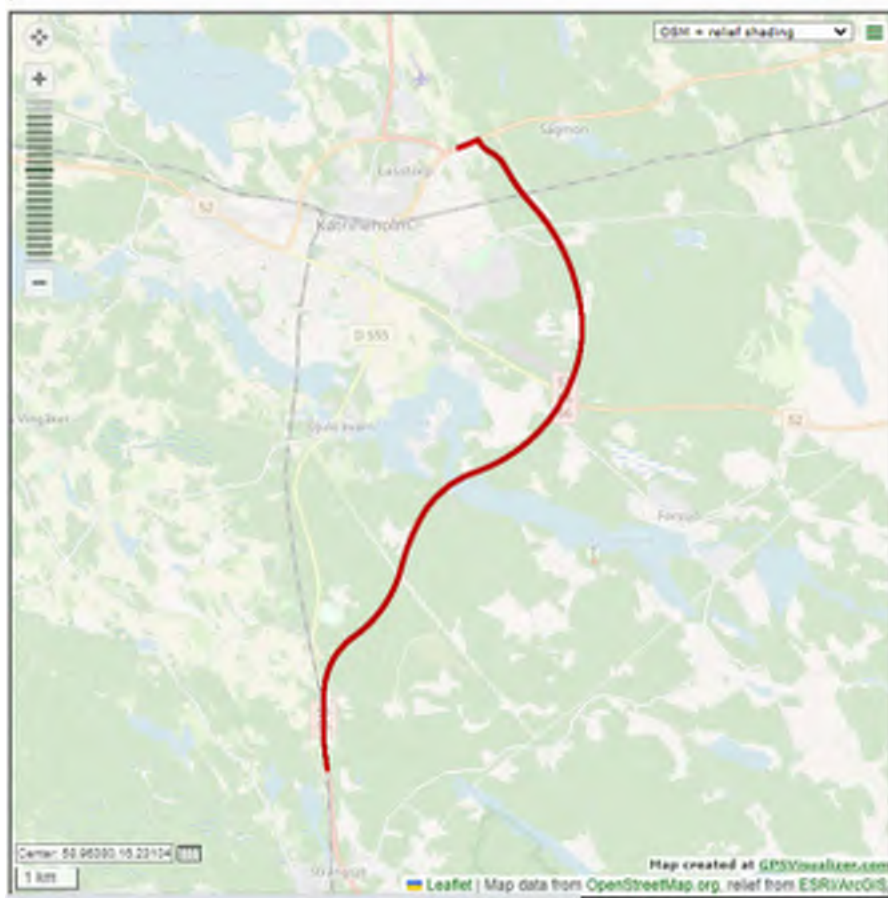
25, Rv55/56, Strångsjö-Katrineholm



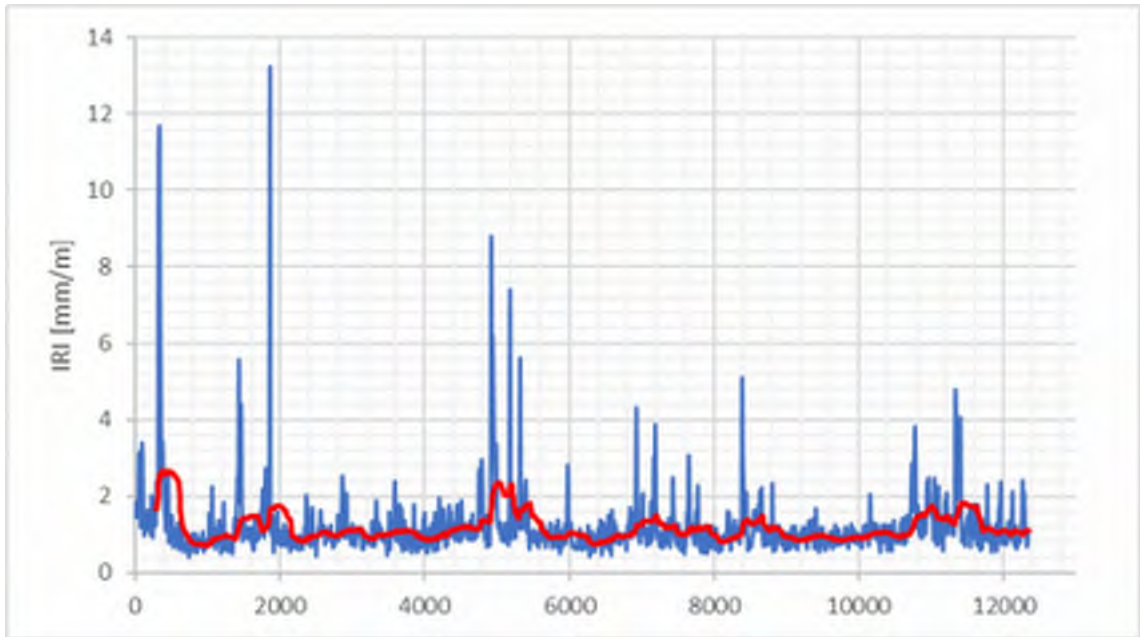
25, Rv55/56, Strångsjö-Katrineholm



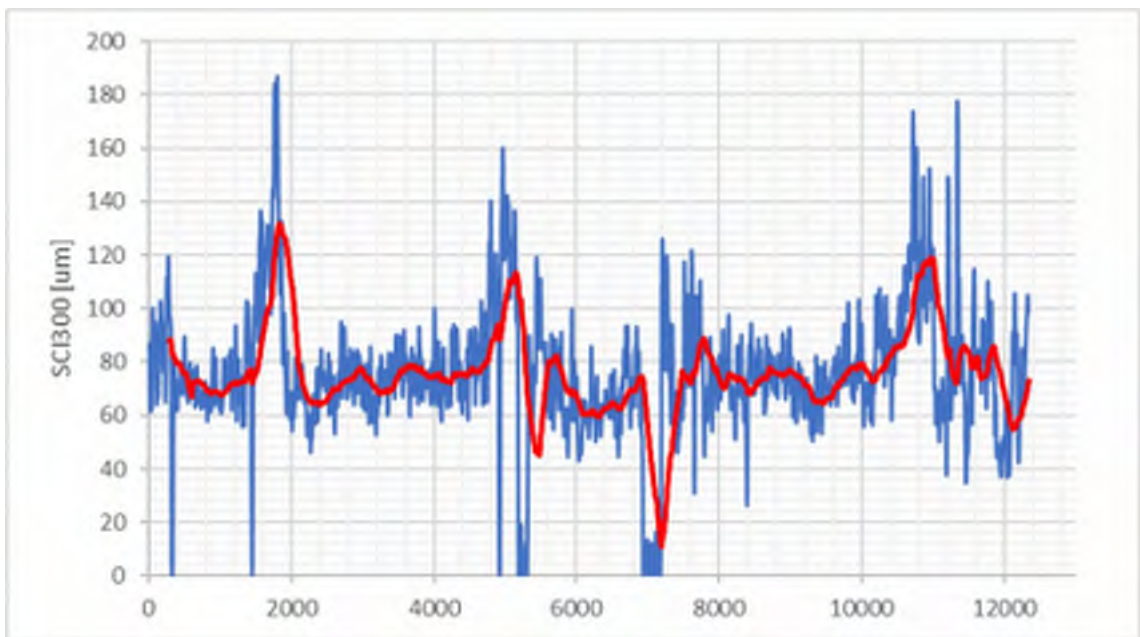
25, Rv55/56, Strångsjö-Katrineholm



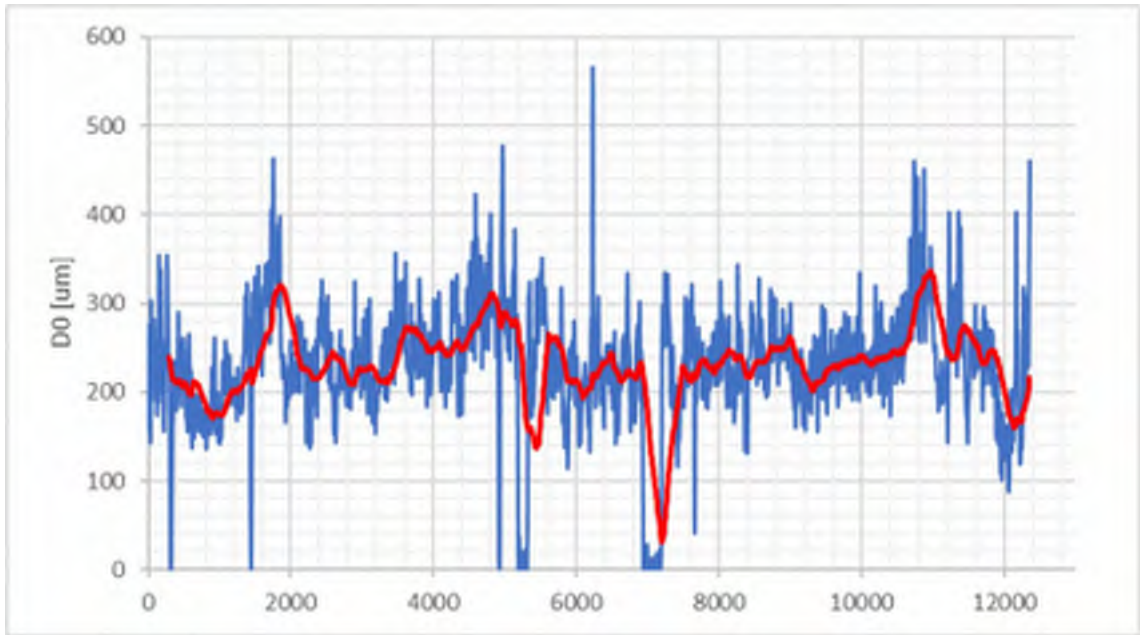
26, Rv55/56, Katrineholm-Jansberg



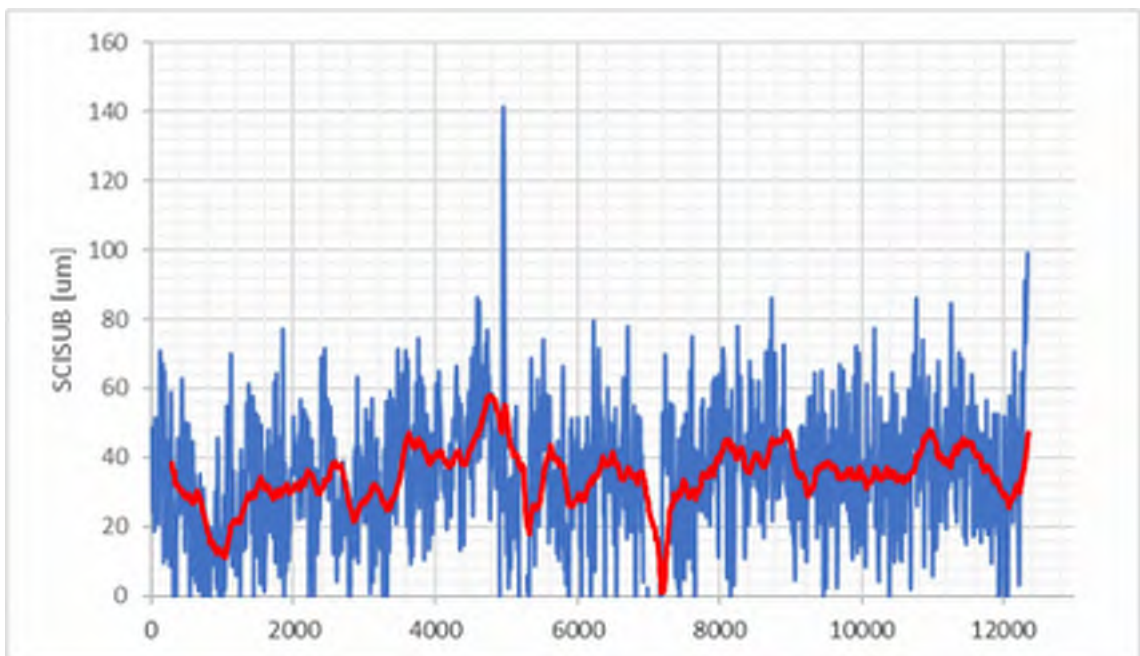
26, Rv55/56, Katrineholm-Jansberg



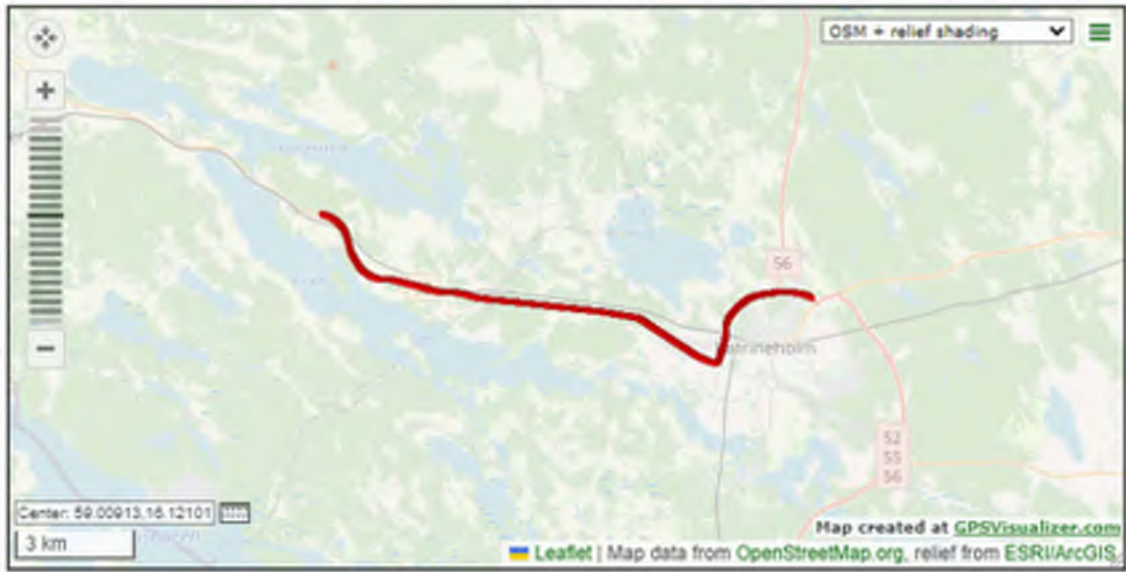
26, Rv55/56, Katrineholm-Jansberg



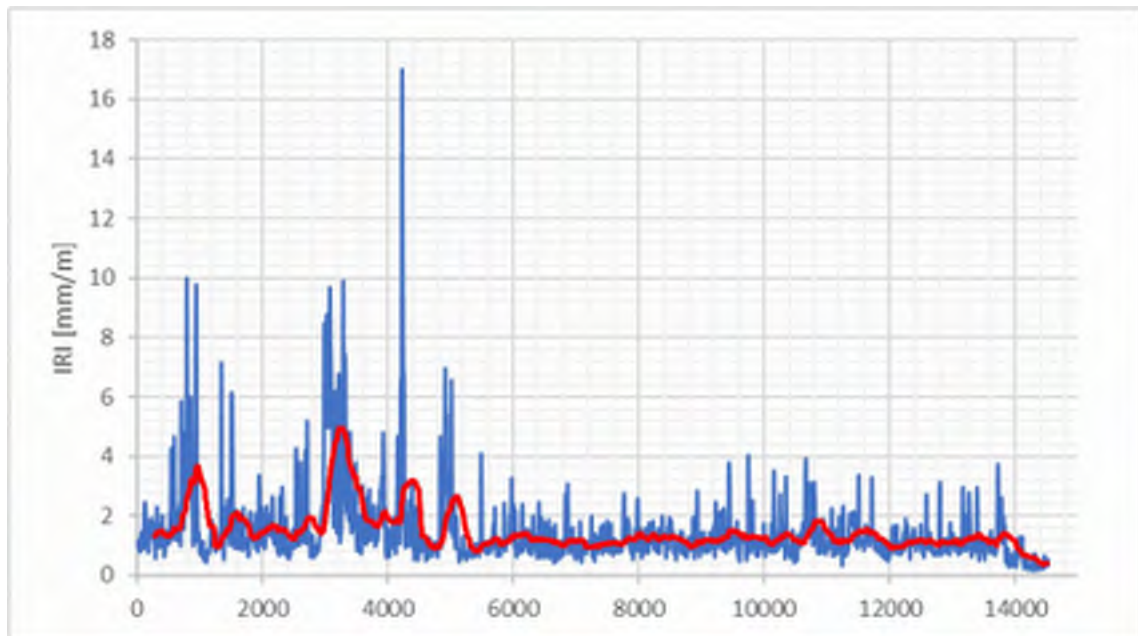
26, Rv55/56, Katrineholm-Jansberg



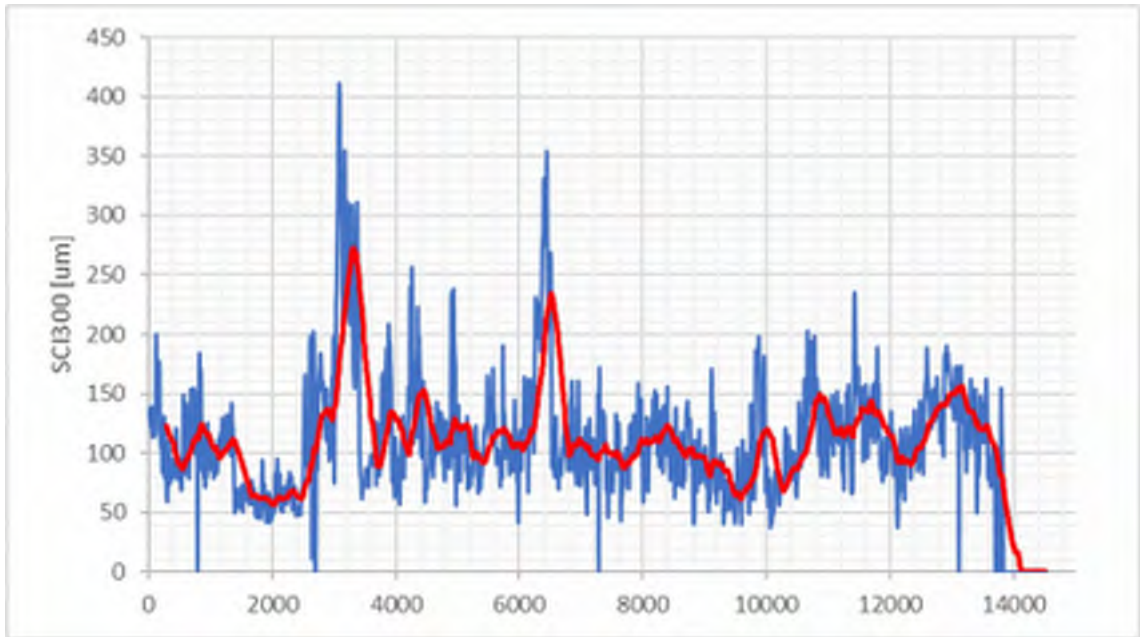
26, Rv55/56, Katrineholm-Jansberg



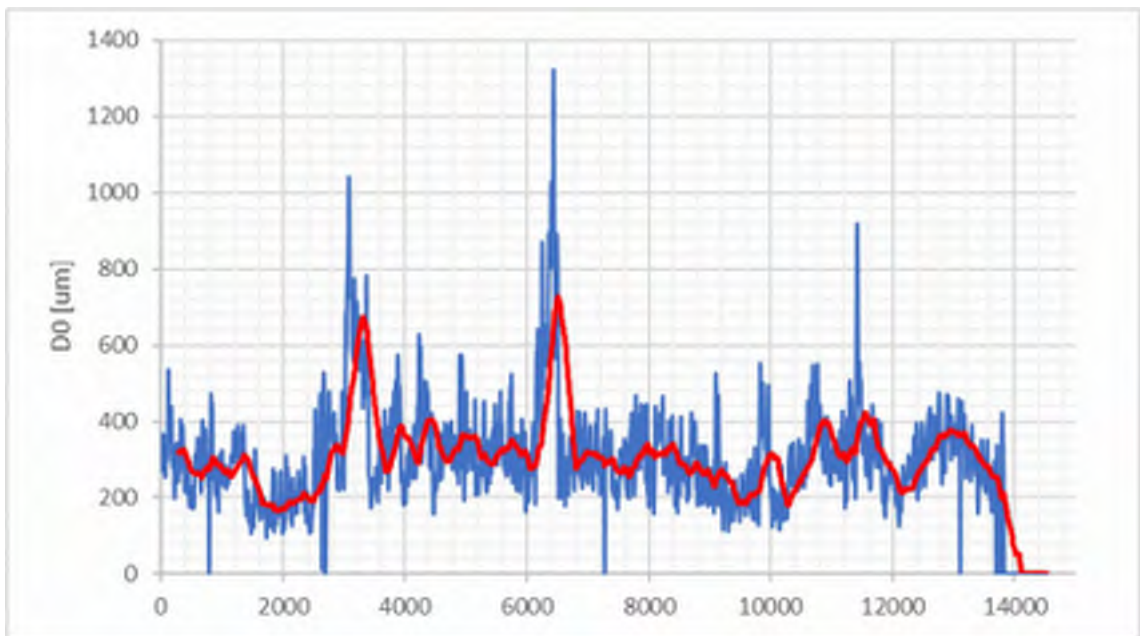
27, Rv52, Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp



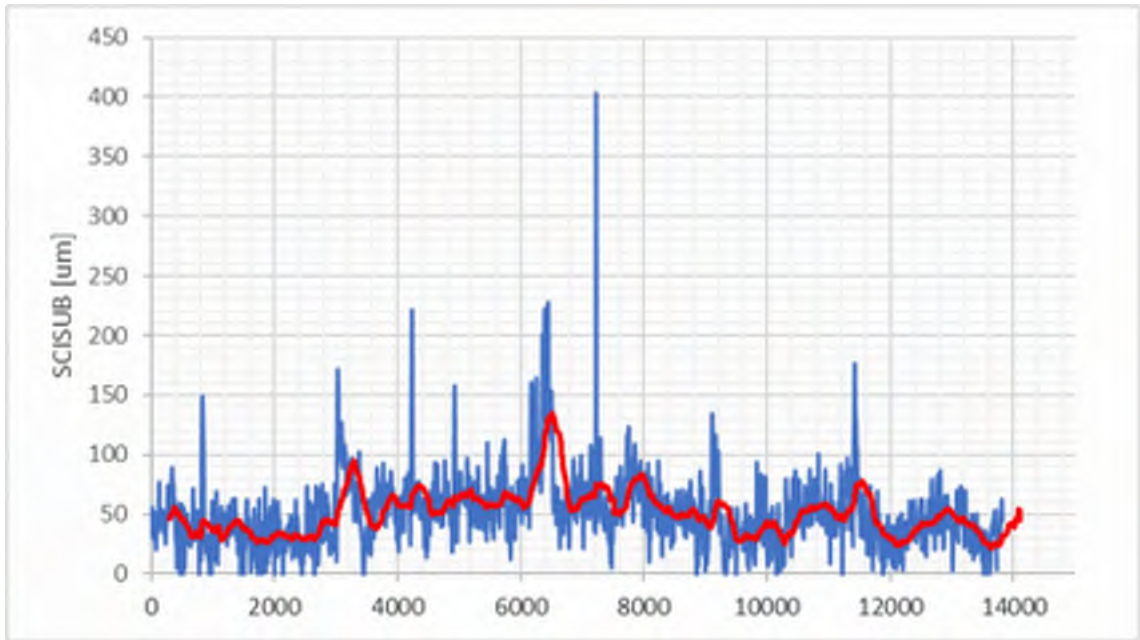
27, Rv52, Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp



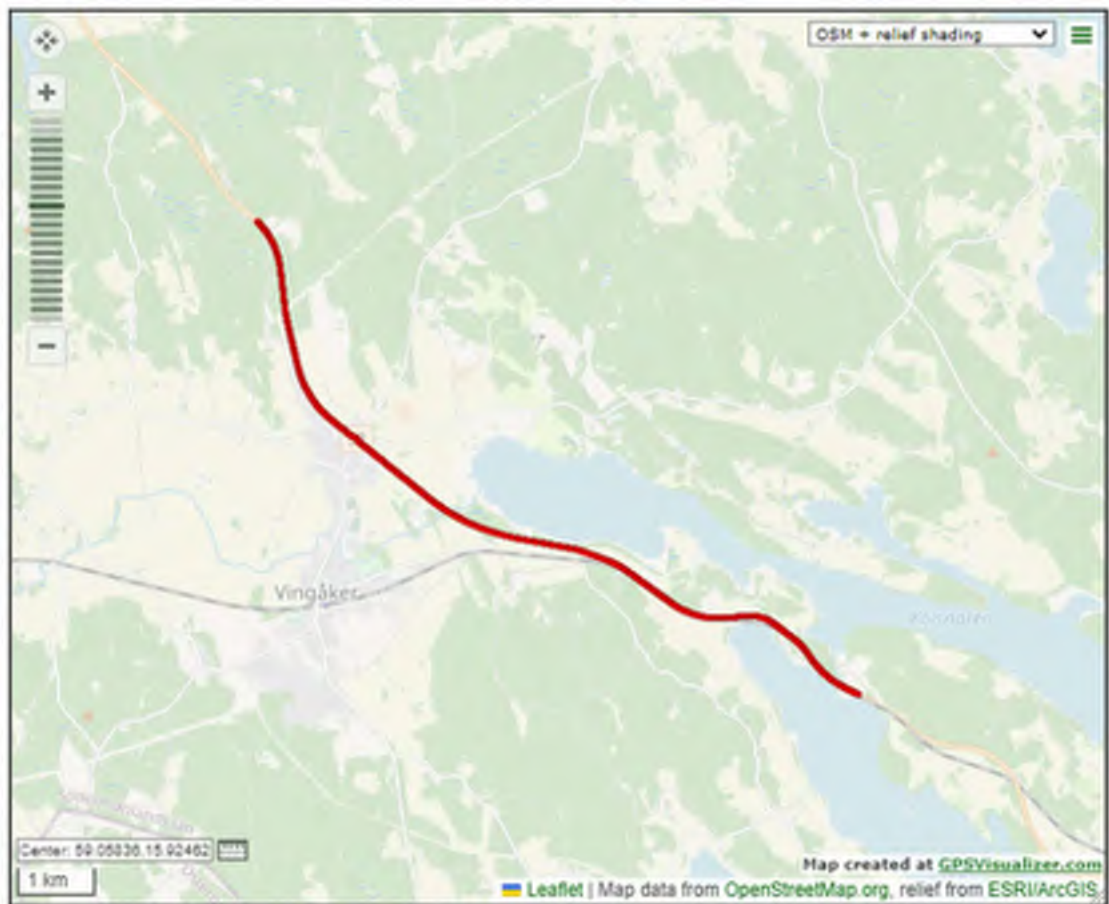
27, Rv52, Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp



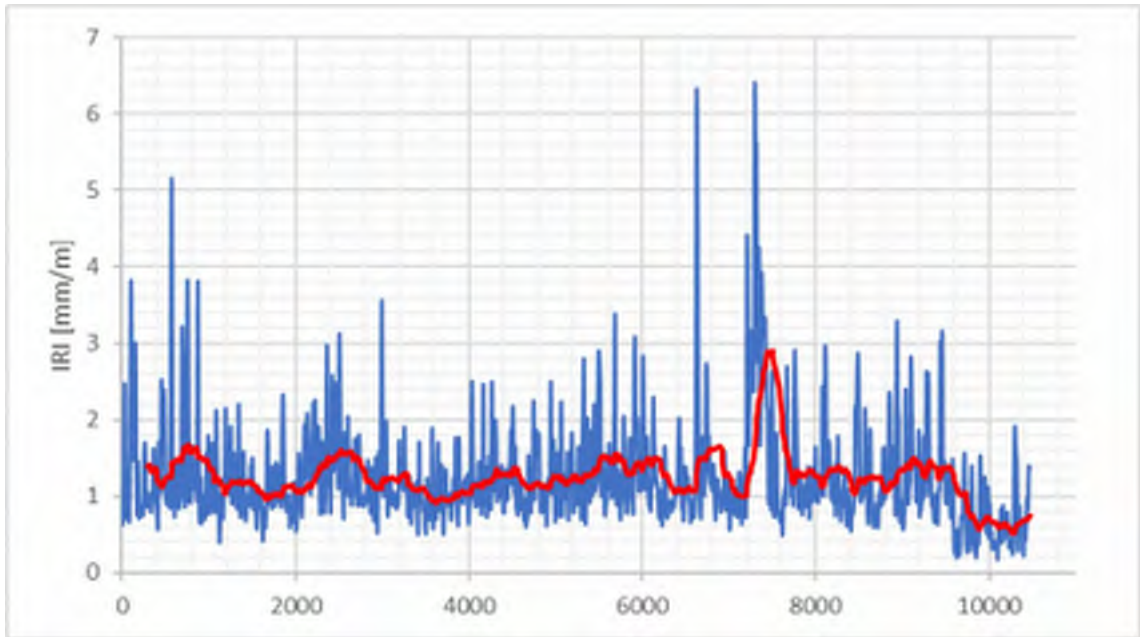
27, Rv52, Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp



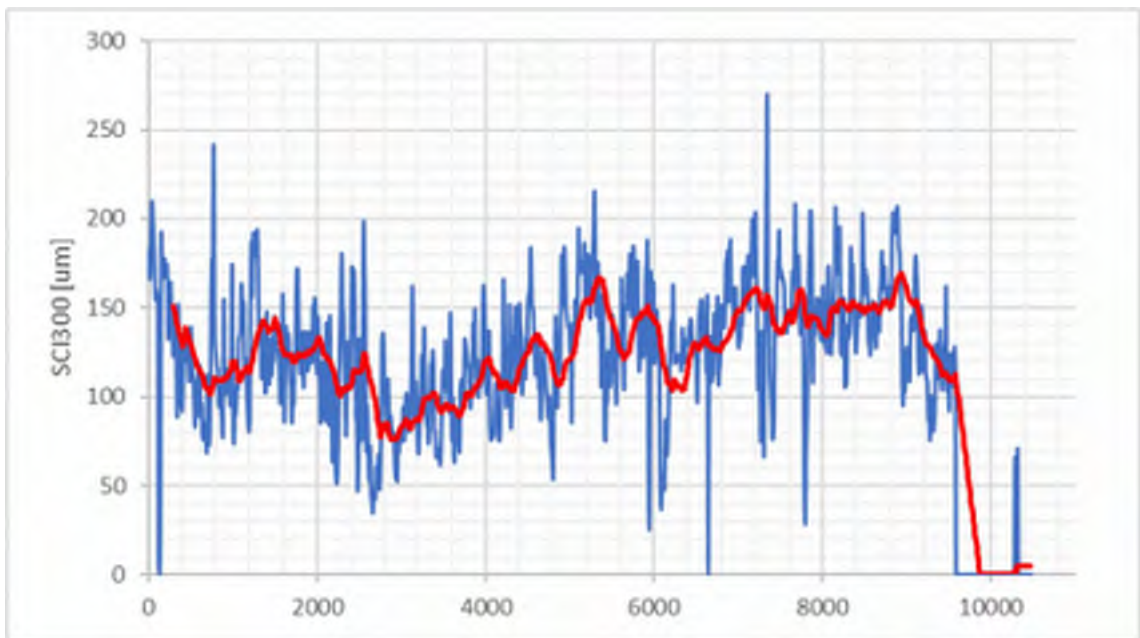
27, Rv52, Katrineholm (Biltema)-Rude/Baggetorp



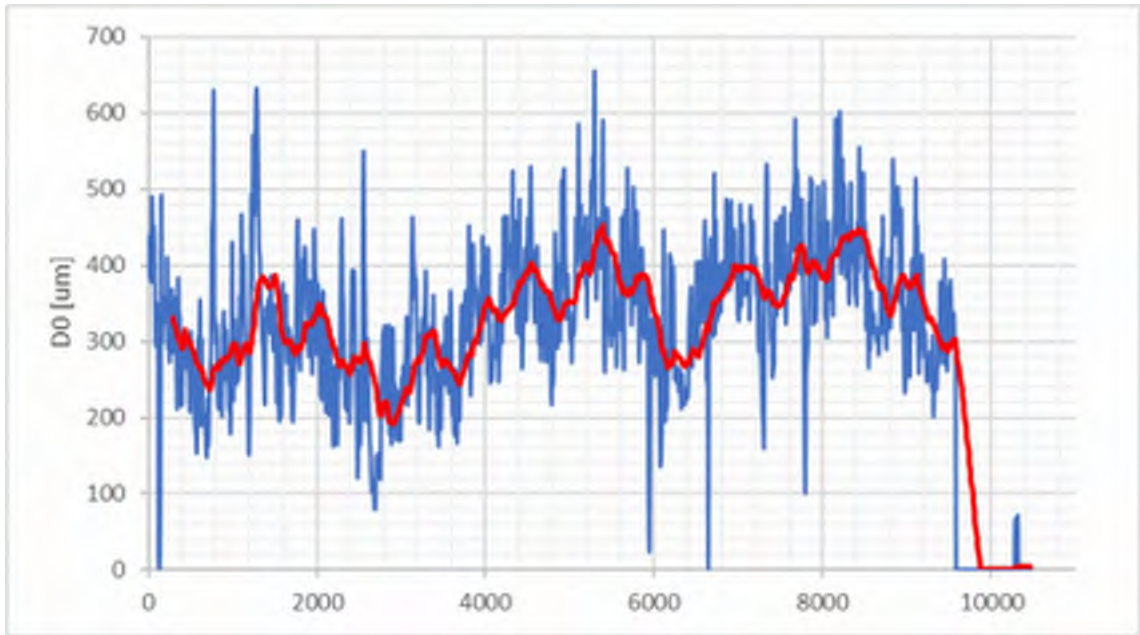
28, Rv52, Rude/Baggetorp-Vretsta



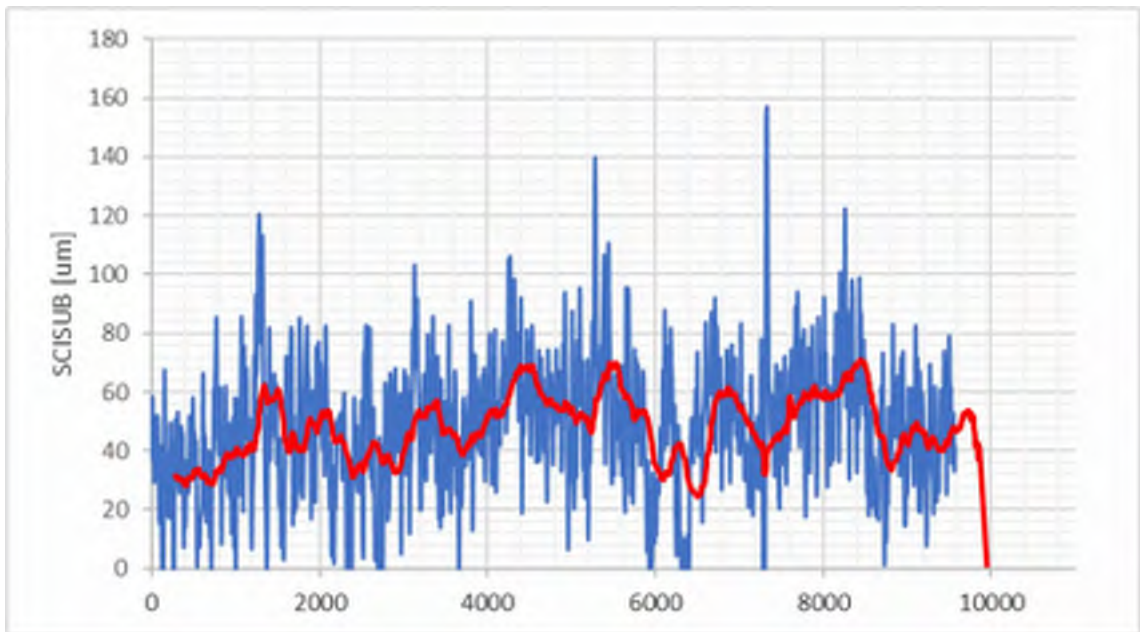
28, Rv52, Rude/Baggetorp-Vretsta



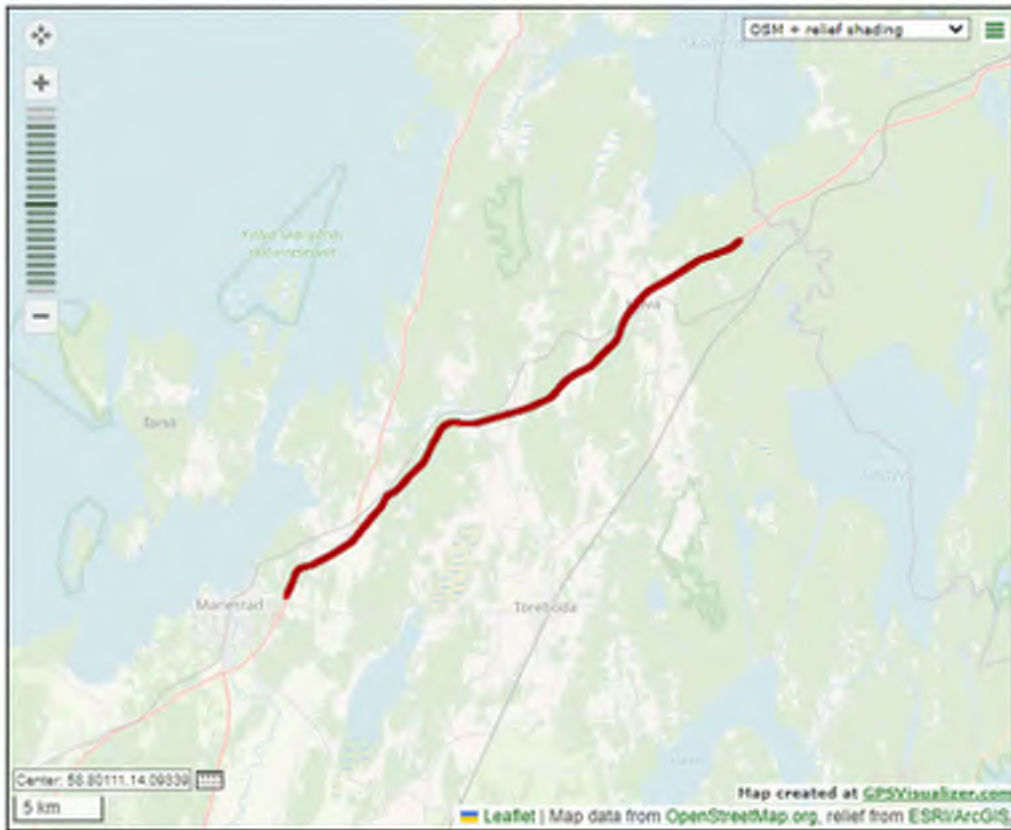
28, Rv52, Rude/Baggetorp-Vretsta



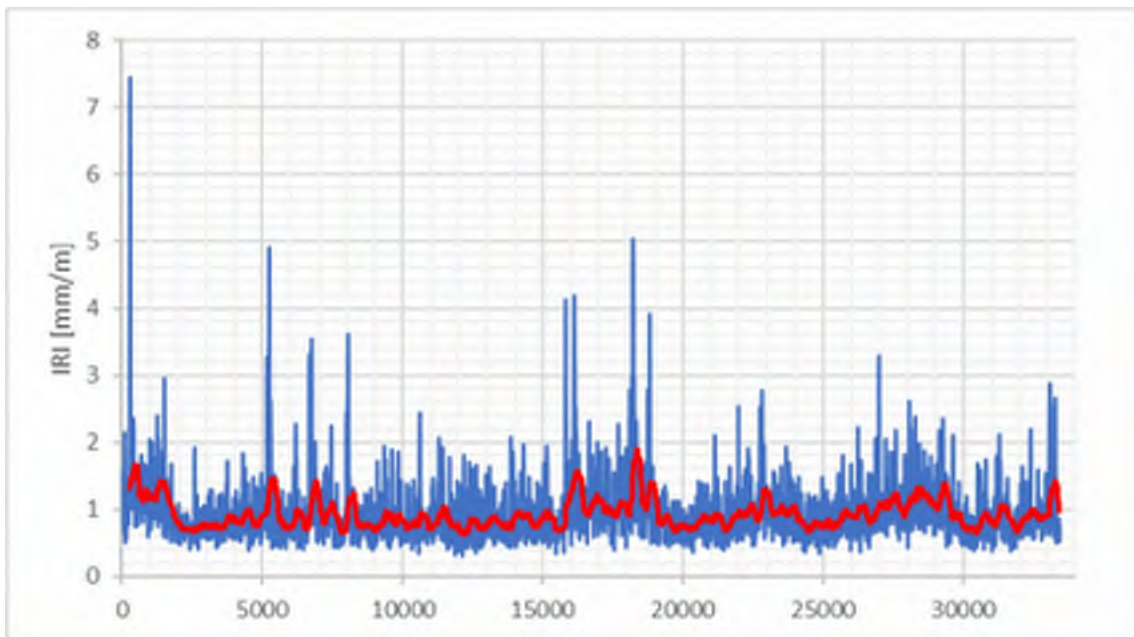
28, Rv52, Rude/Baggetorp-Vretsta



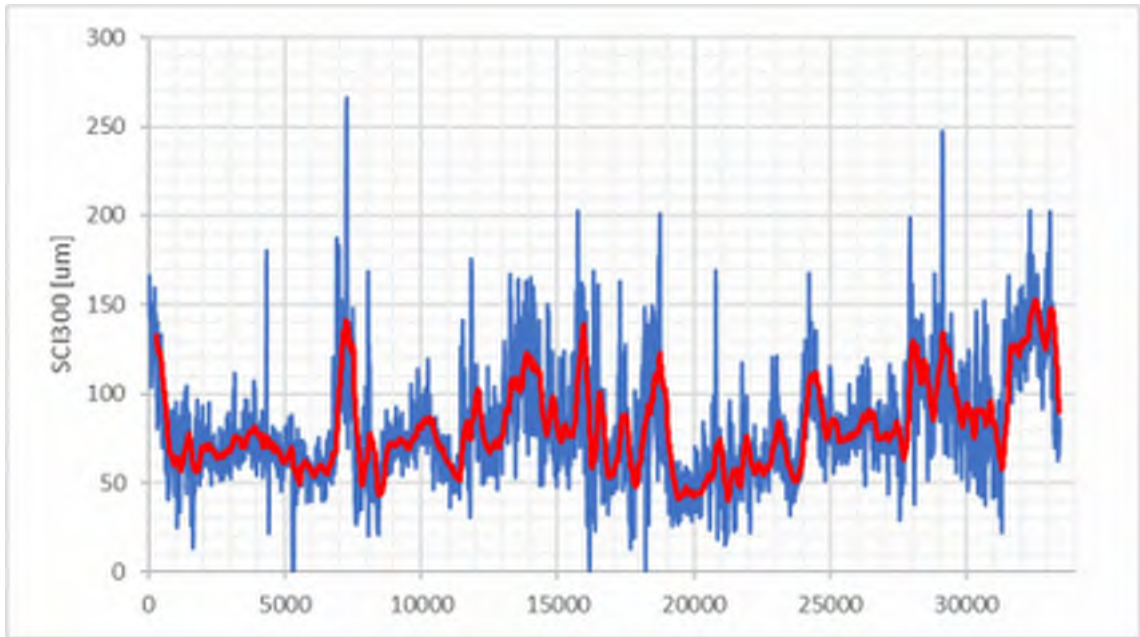
28, Rv52, Rude/Baggetorp-Vretsta



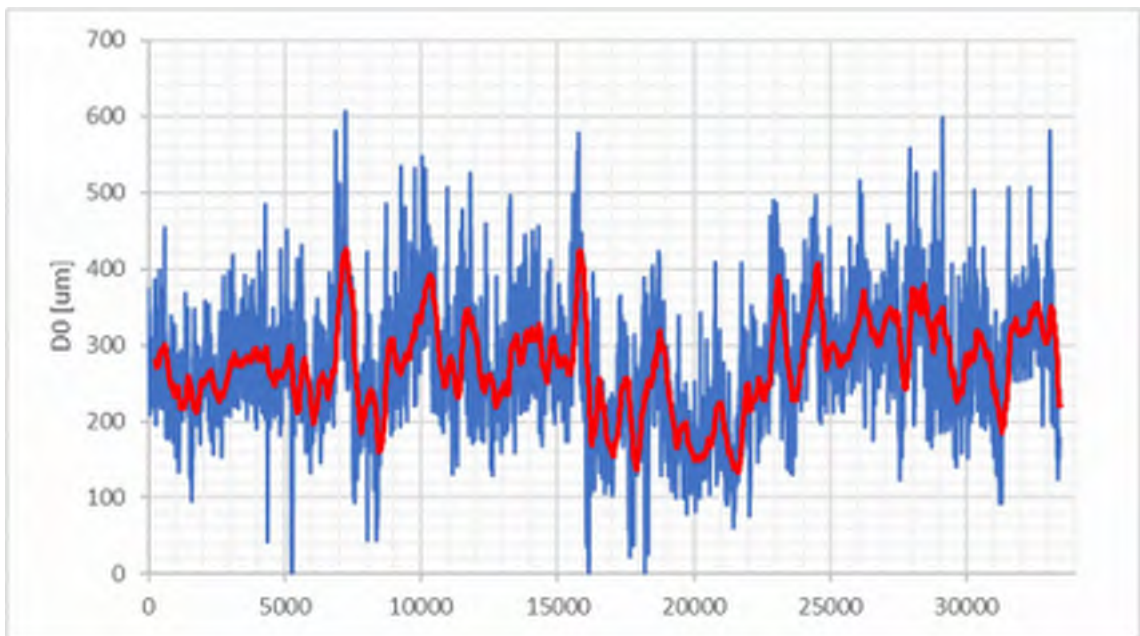
29, E20, Anderstorp-Tpl-Brodderud



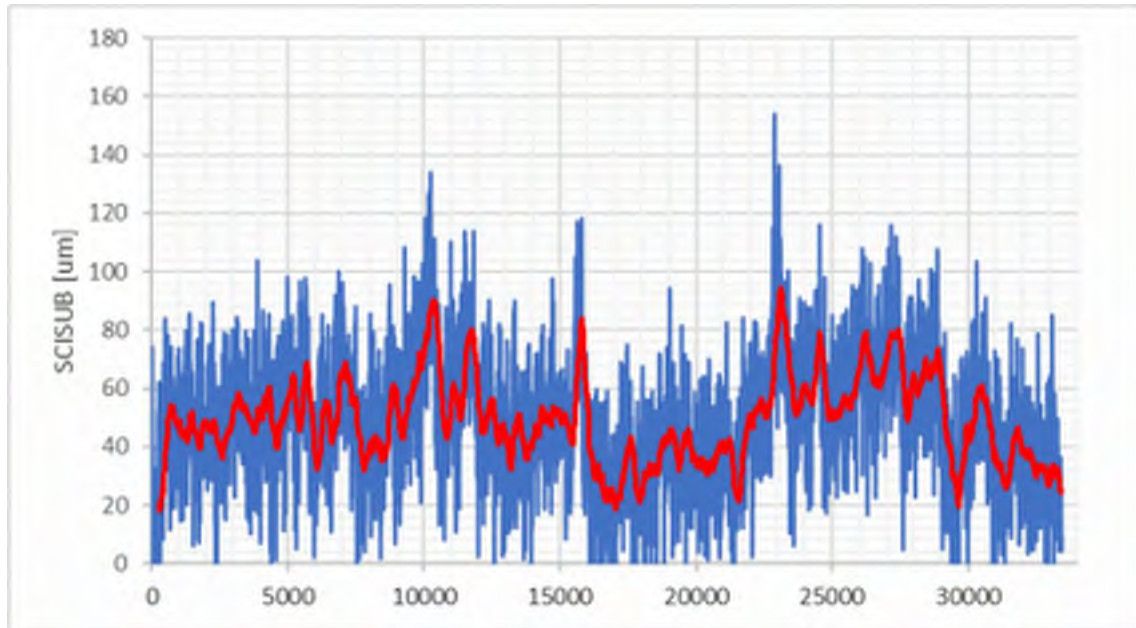
29, E20, Anderstorp-Tpl-Brodderud



29, E20, Anderstorp-Tpl-Brodderud



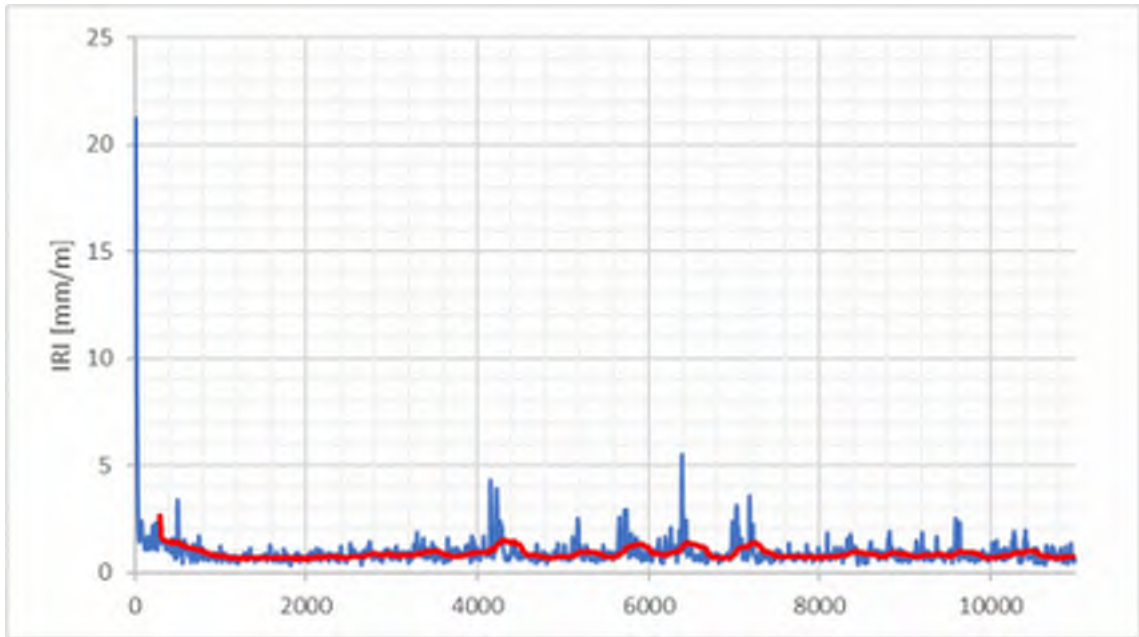
29, E20, Anderstorp-Tpl-Brodderud



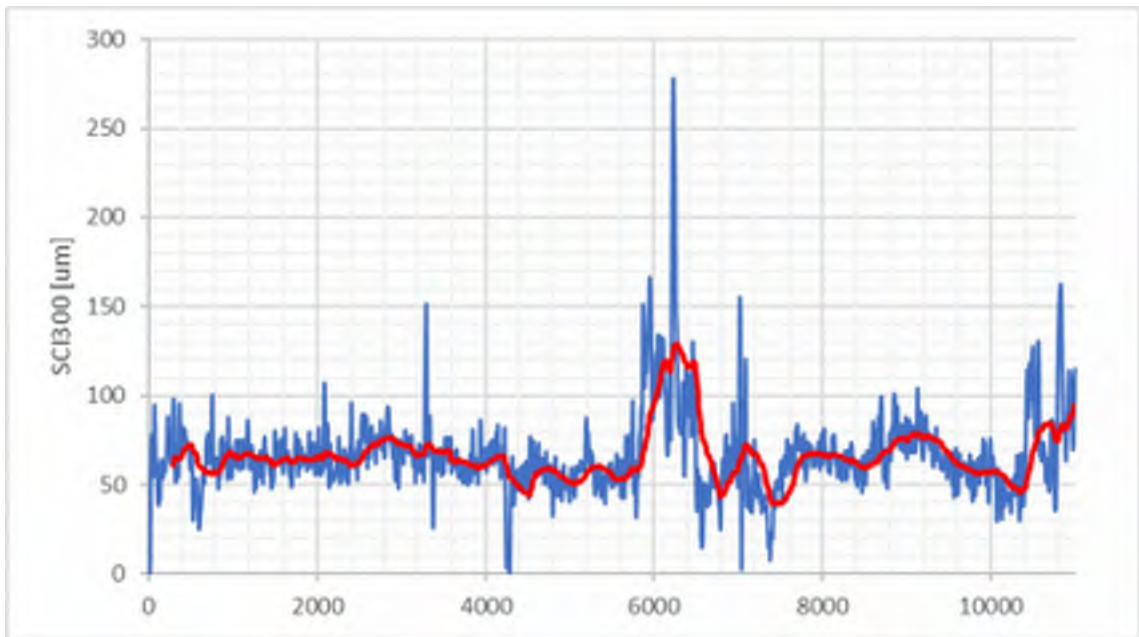
29, E20, Anderstorp-Tpl-Brodderud



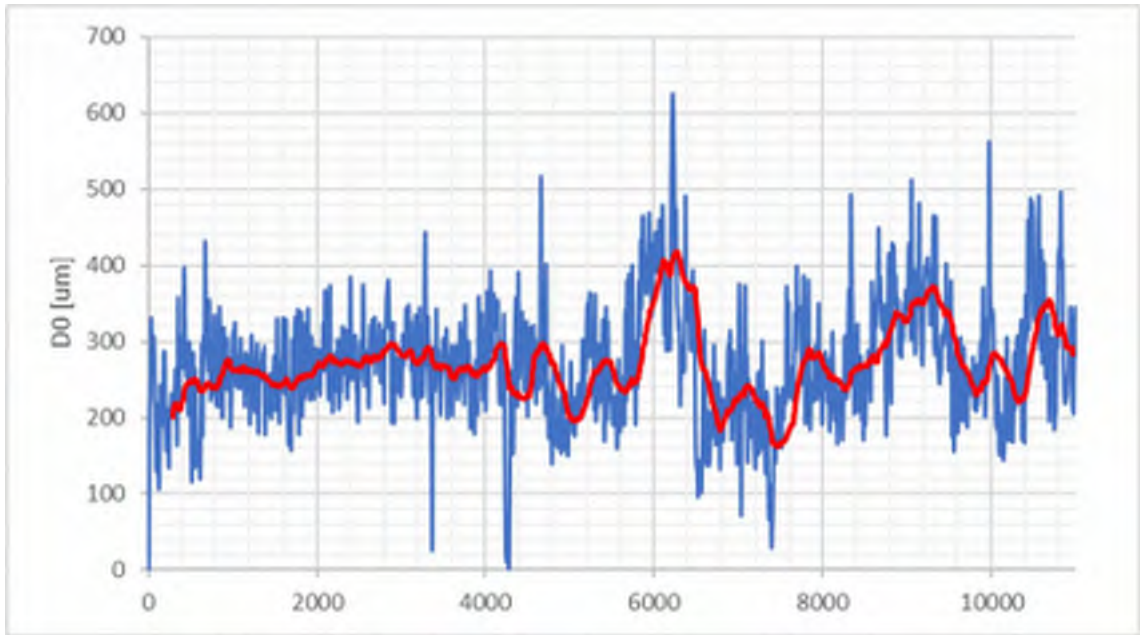
30, E20, Anderstorp-Hova (söder om)



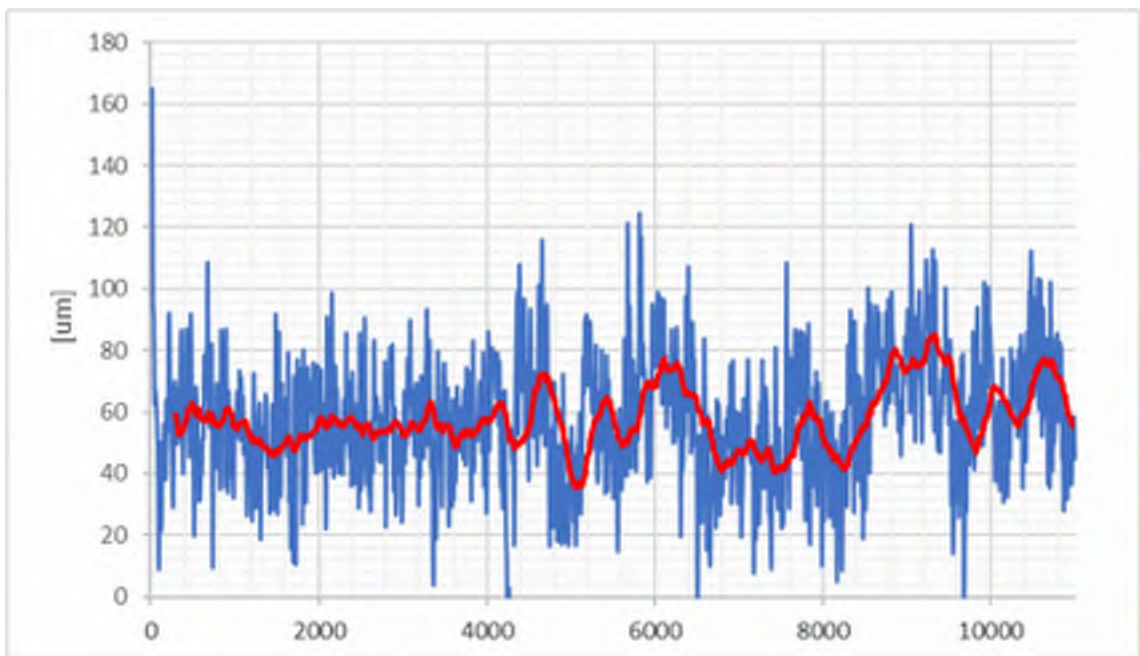
30, E20, Anderstorp-Hova (söder om)



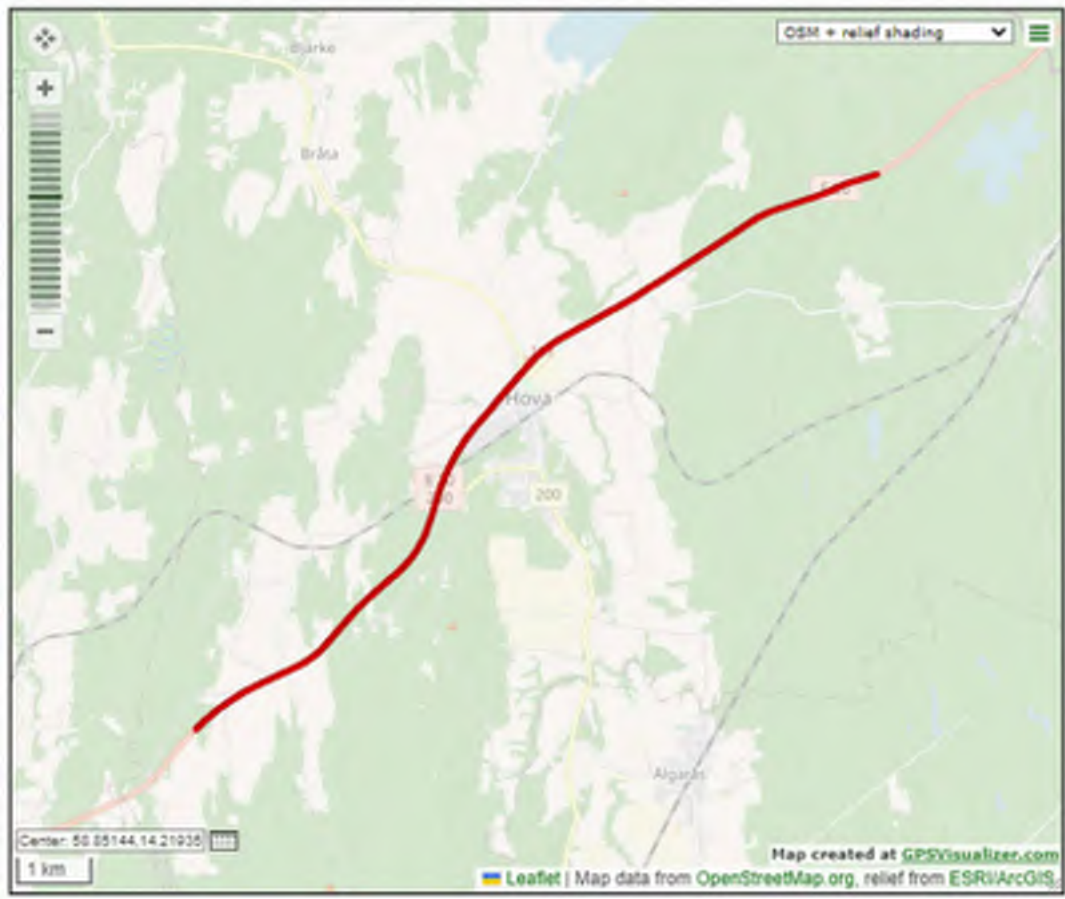
30, E20, Anderstorp-Hova (söder om)



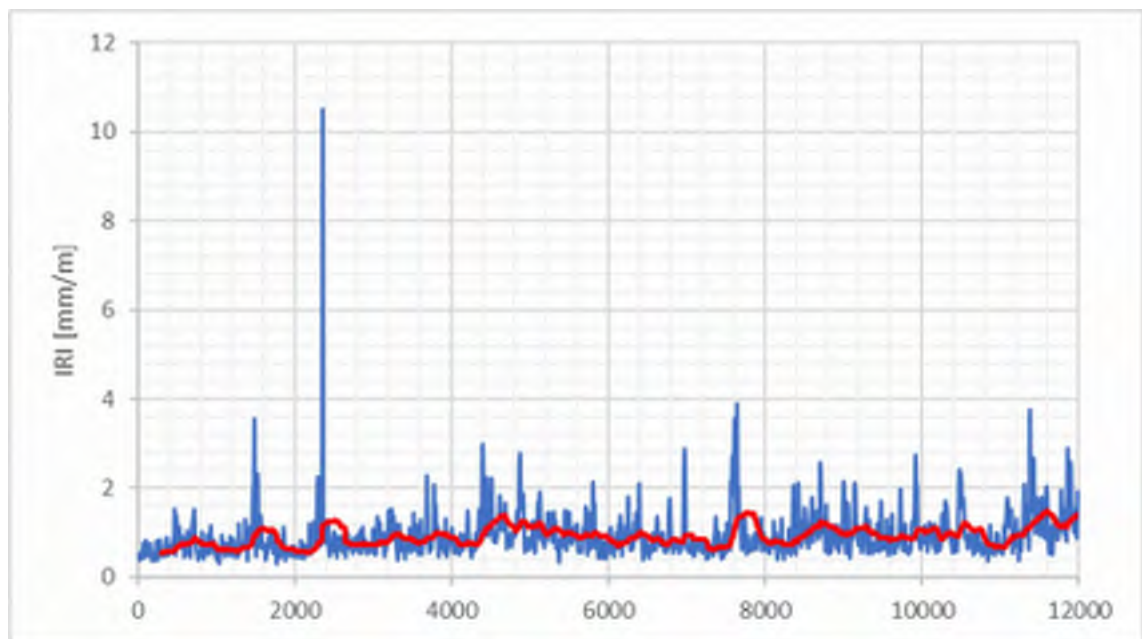
30, E20, Anderstorp-Hova (söder om)



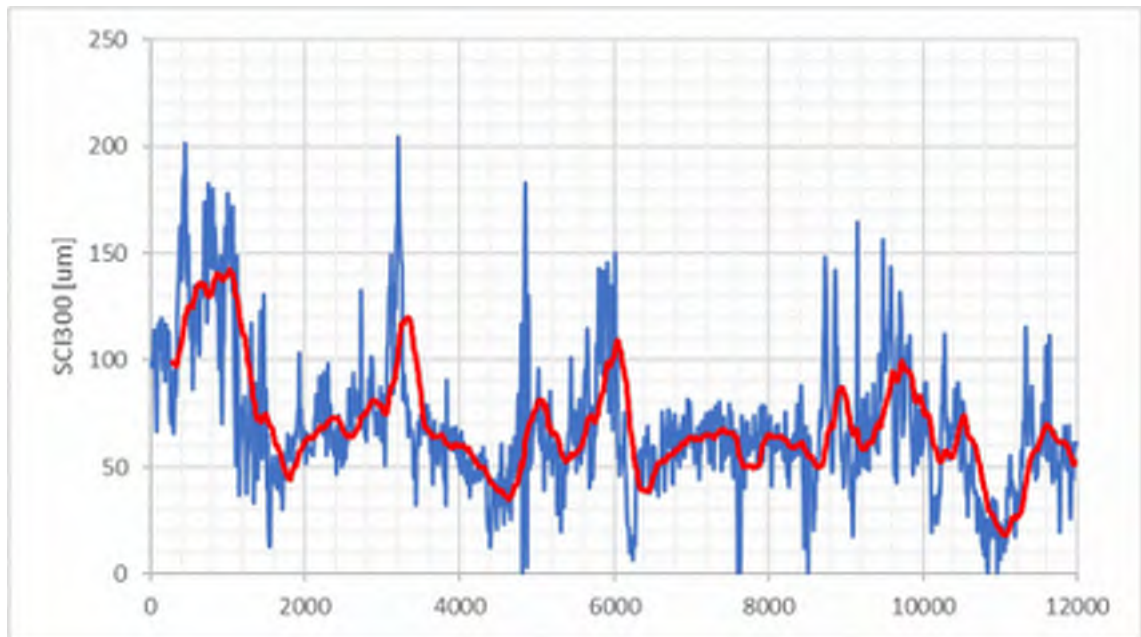
30, E20, Anderstorp-Hova (söder om)



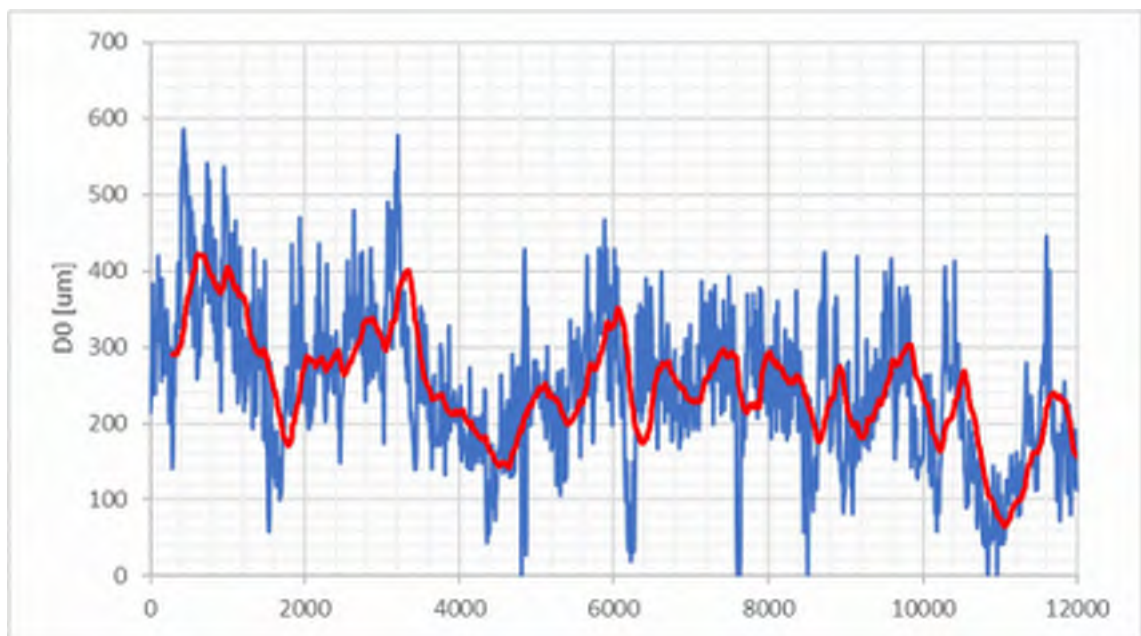
31, E20, Hova (söder om)-Anderstorp



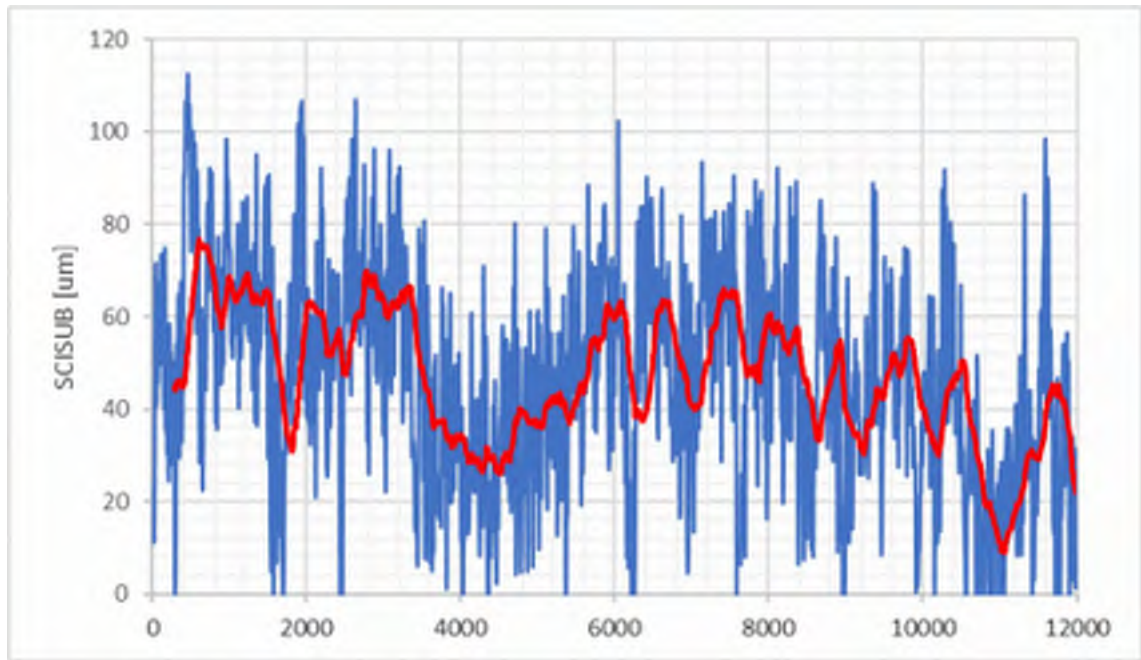
31, E20, Hova (söder om)-Anderstorp



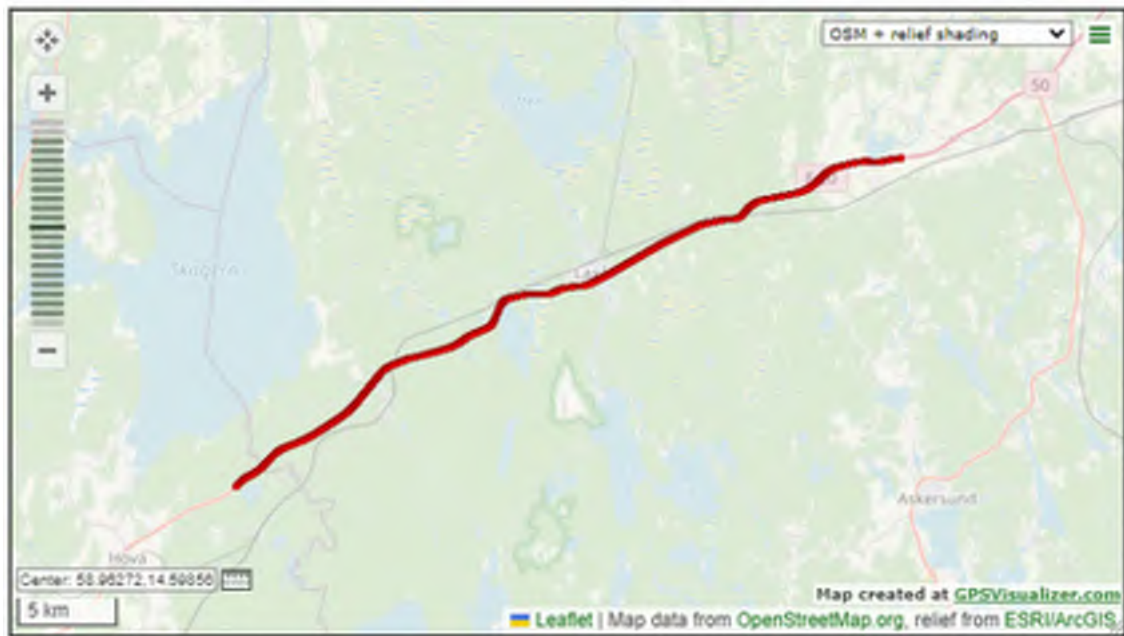
31, E20, Hova (söder om)-Anderstorp



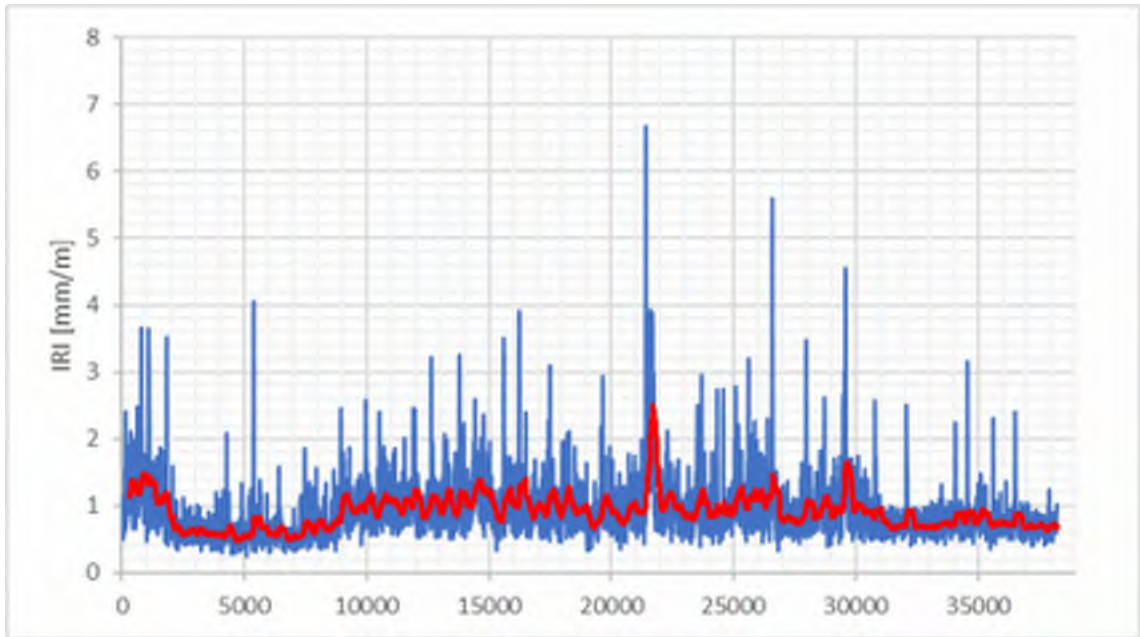
31, E20, Hova (söder om)-Anderstorp



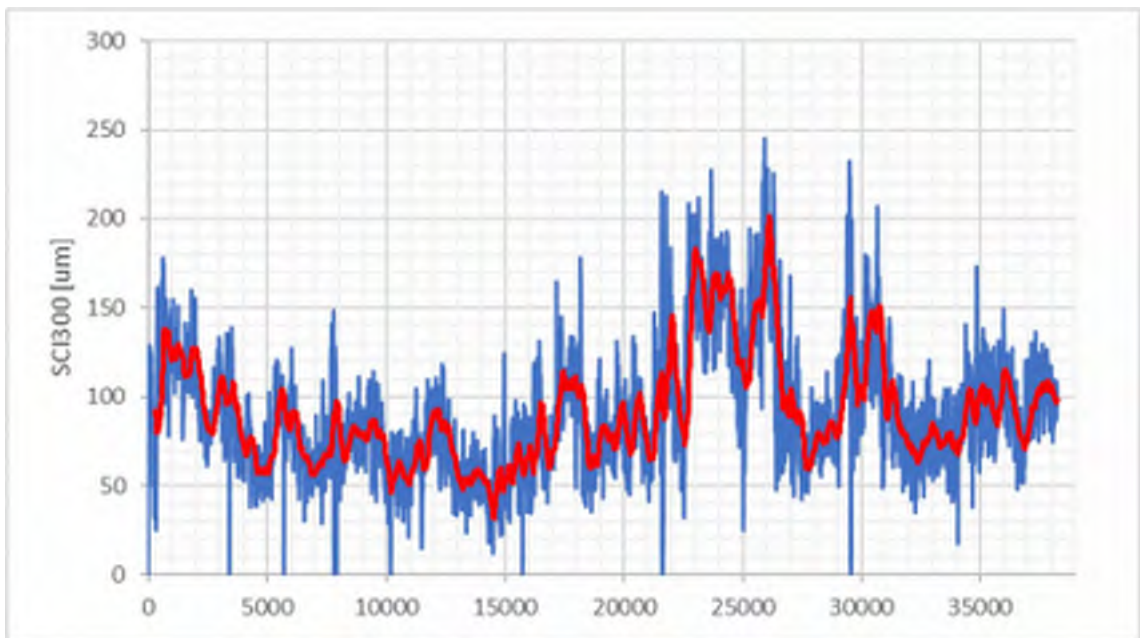
31, E20, Hova (söder om)-Anderstorp



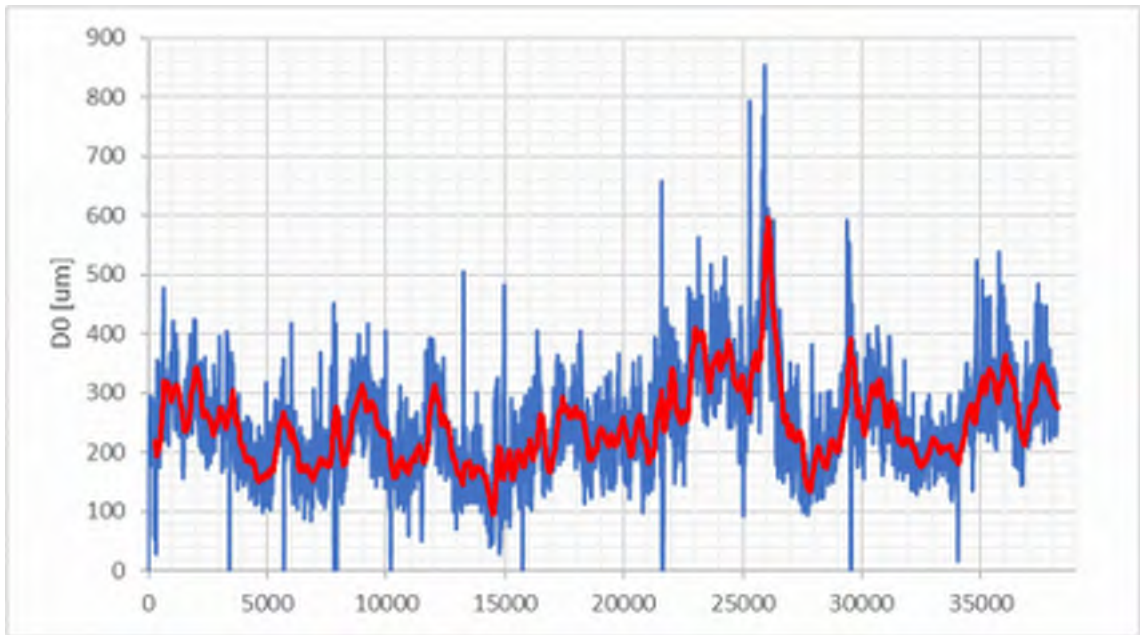
32, E20, Anderstorp-Tpl Vretstorp (104)



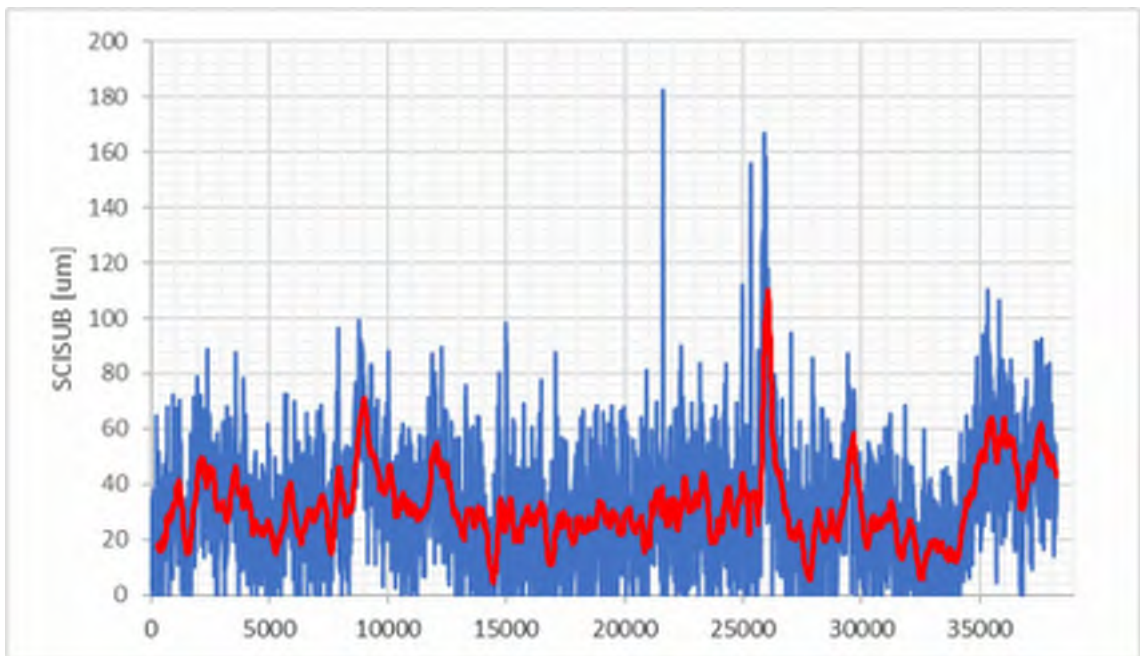
32, E20, Anderstorp-Tpl Vretstorp (104)



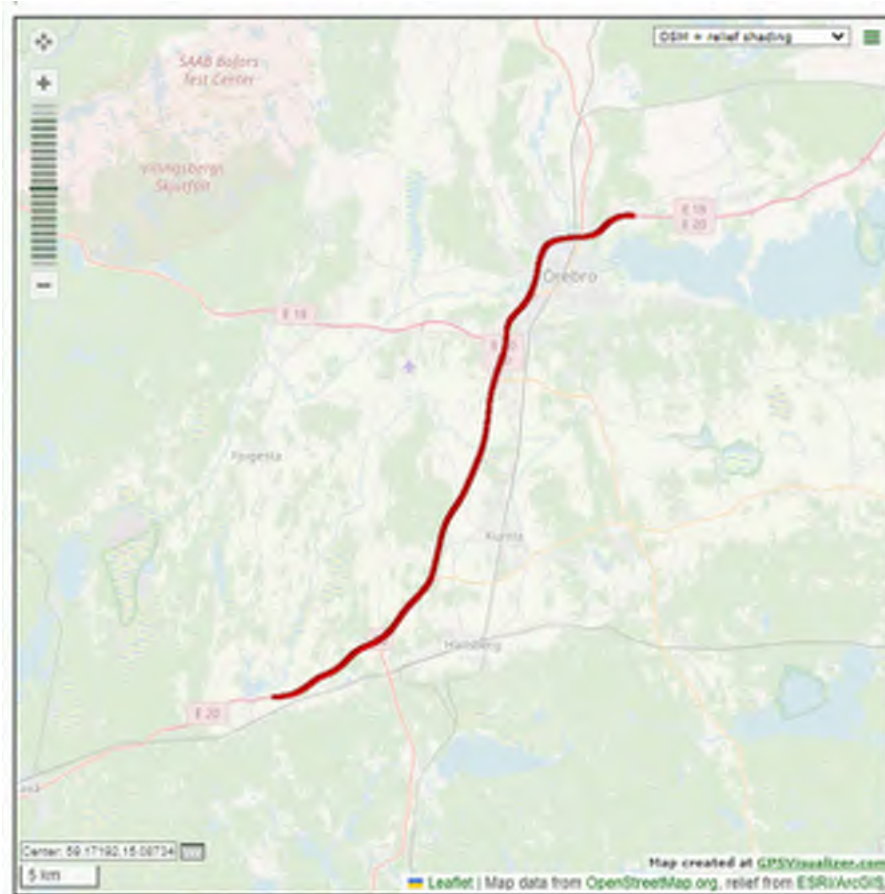
32, E20, Anderstorp-Tpl Vretstorp (104)



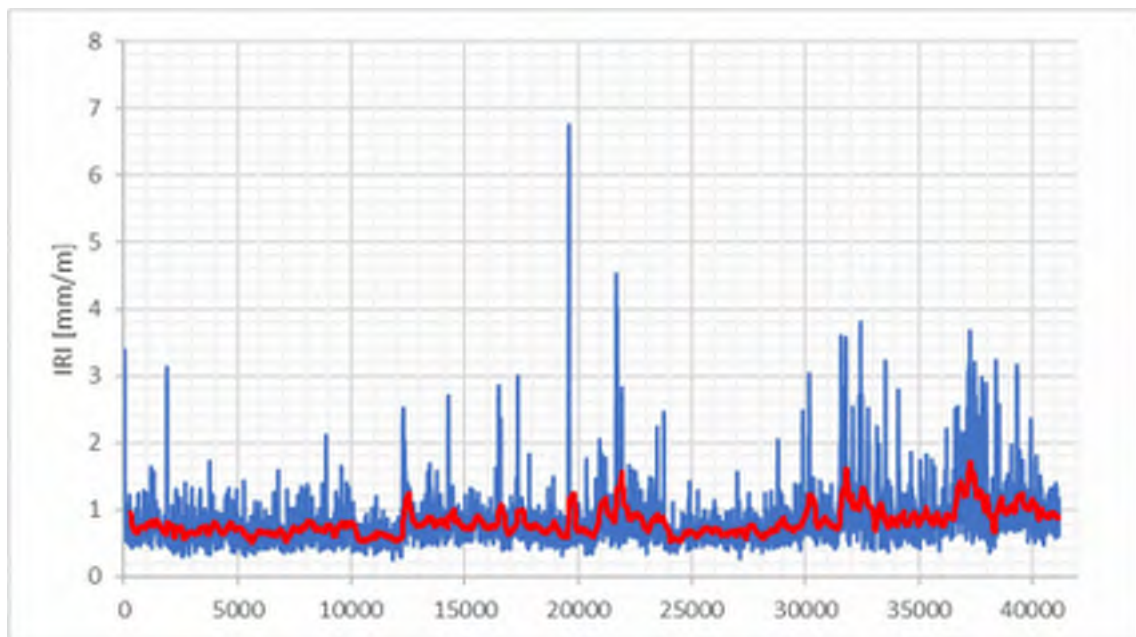
32, E20, Anderstorp-Tpl Vretstorp (104)



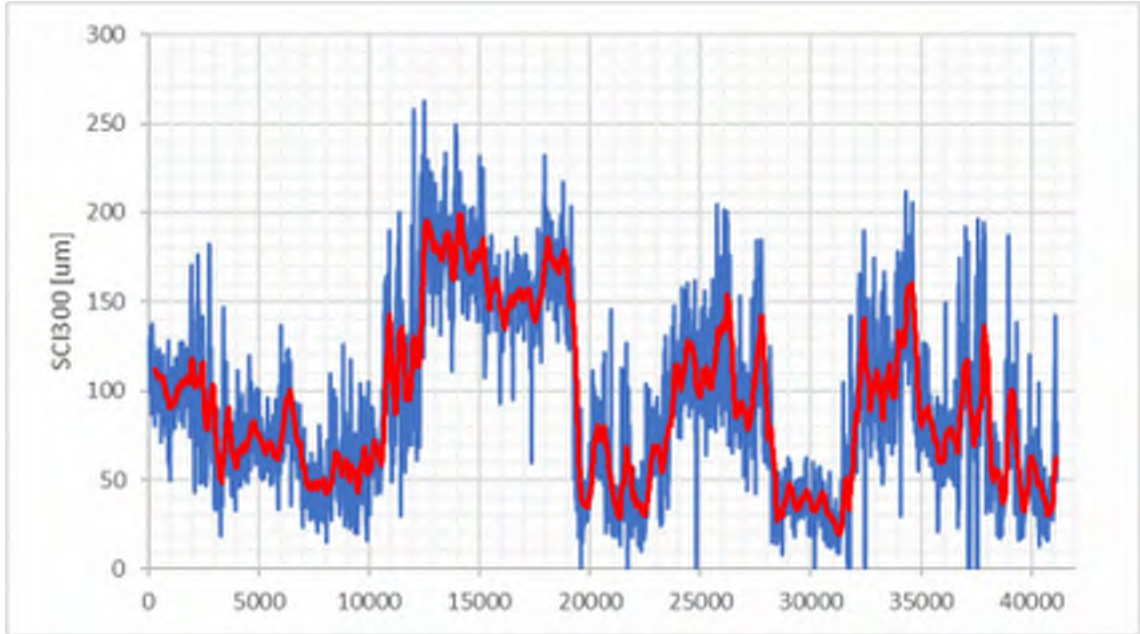
32, E20, Anderstorp-Tpl Vretstorp (104)



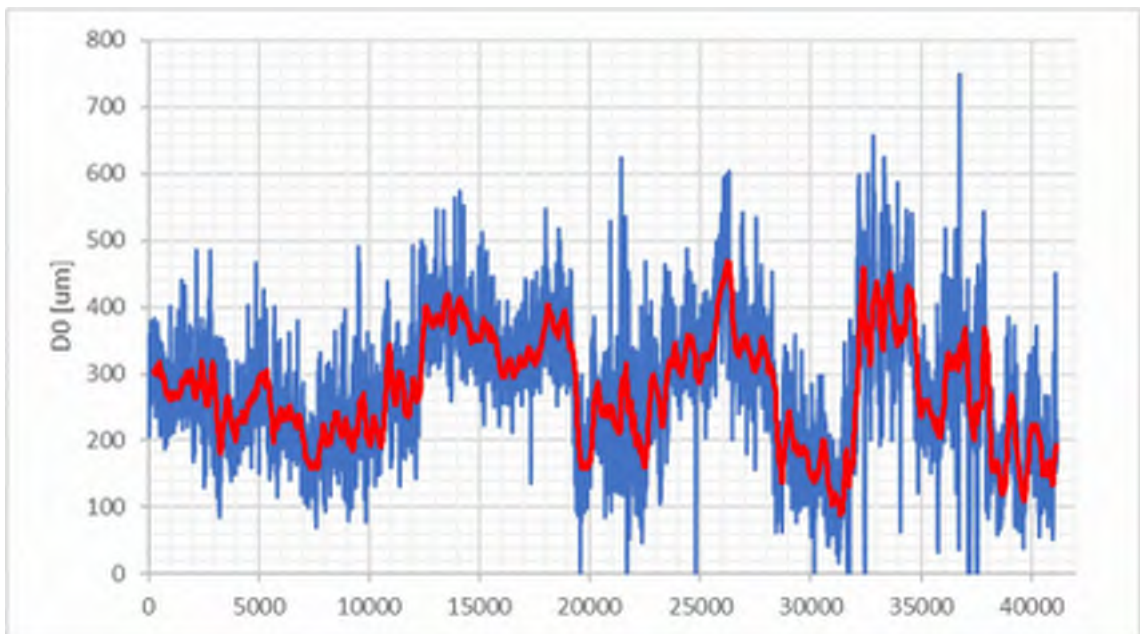
33, E20, Tpl Vretstorp (104)-Tpl Munkatorp (116)



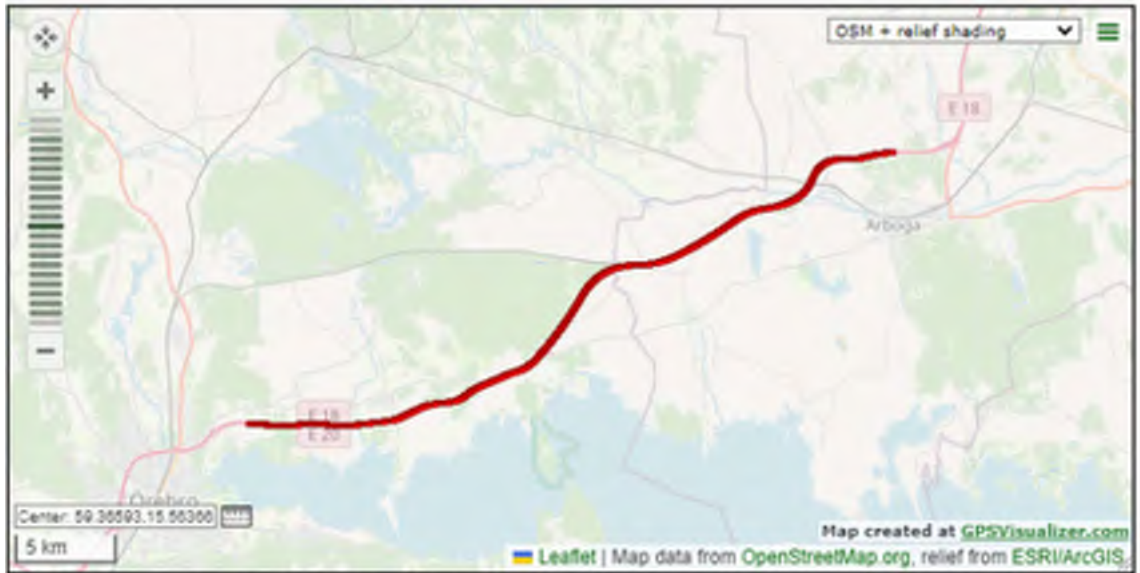
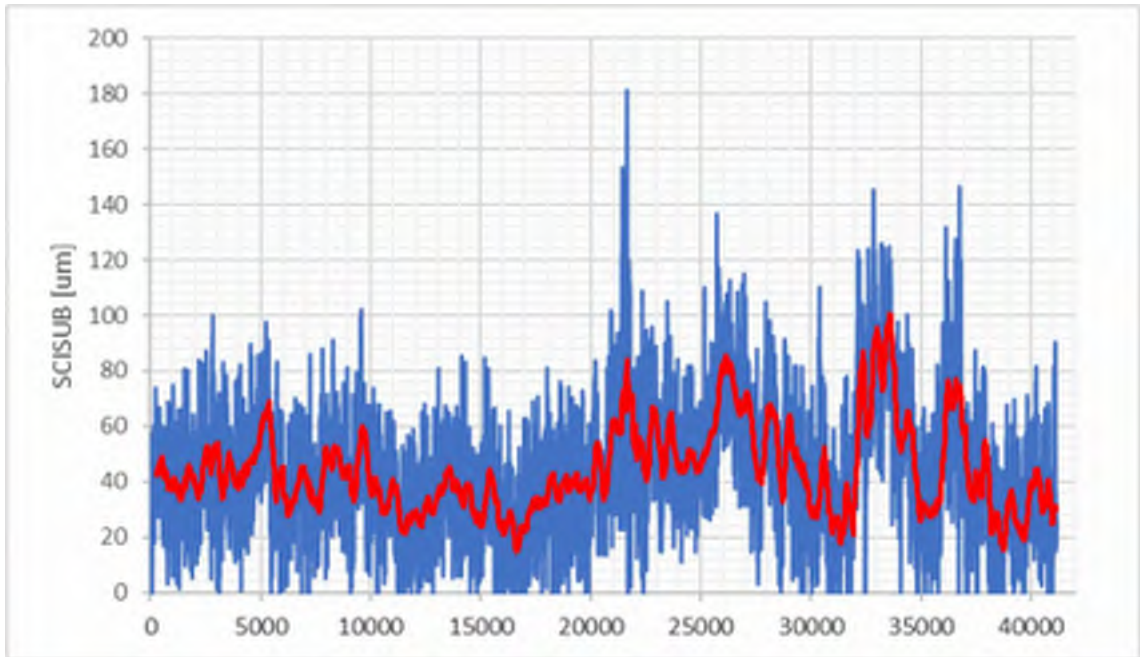
33, E20, Tpl Vretstorp (104)-Tpl Munkatorp (116)



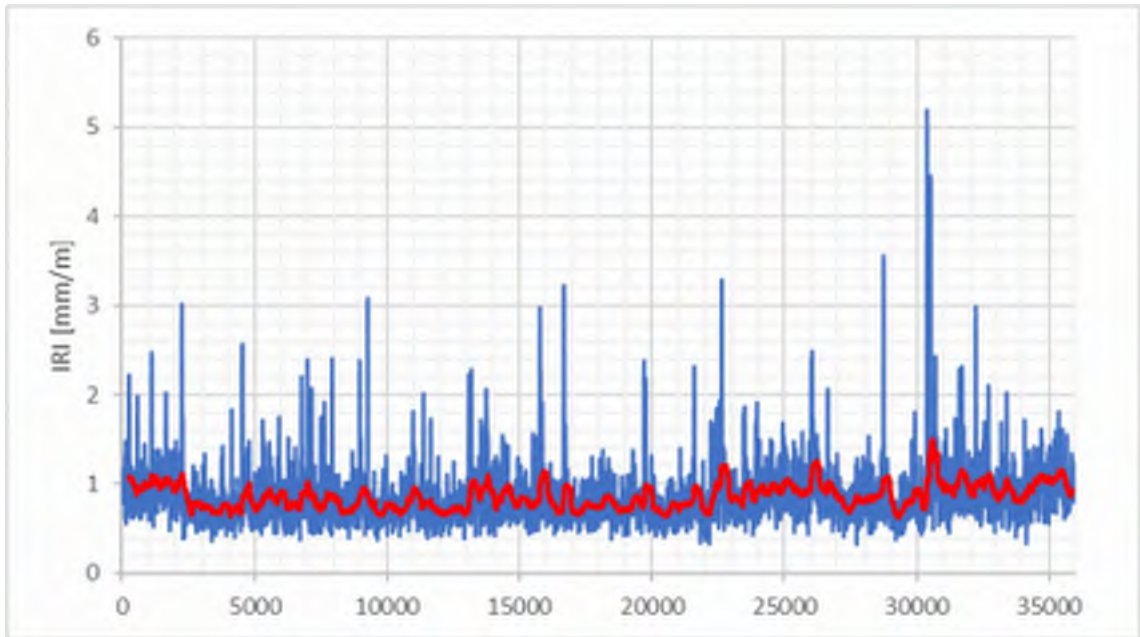
33, E20, Tpl Vretstorp (104)-Tpl Munkatorp (116)



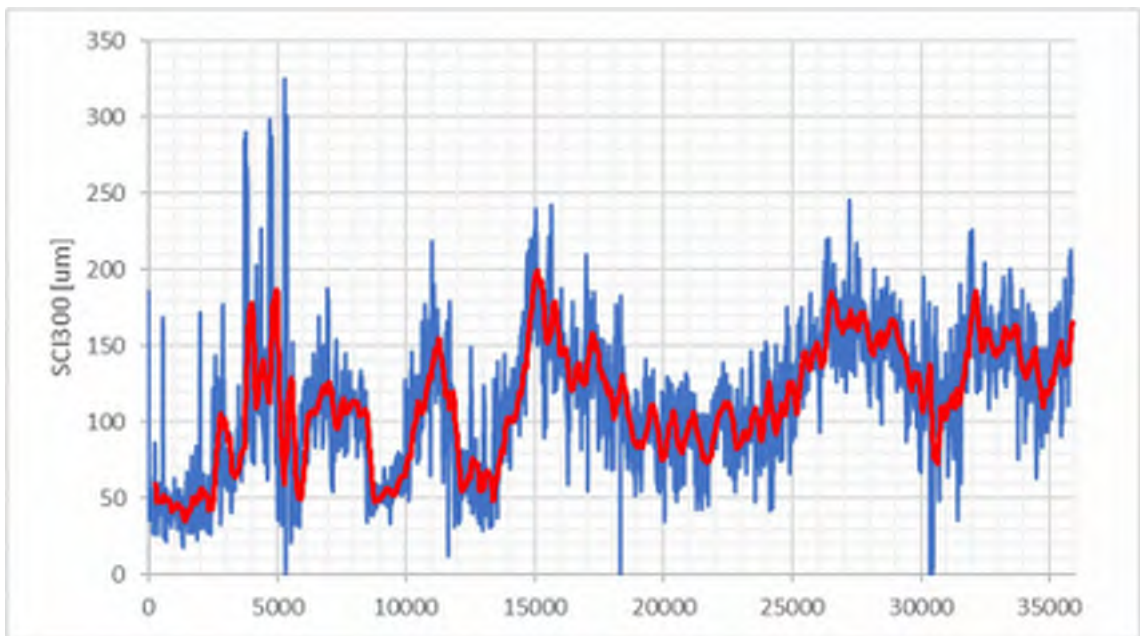
33, E20, Tpl Vretstorp (104)-Tpl Munkatorp (116)



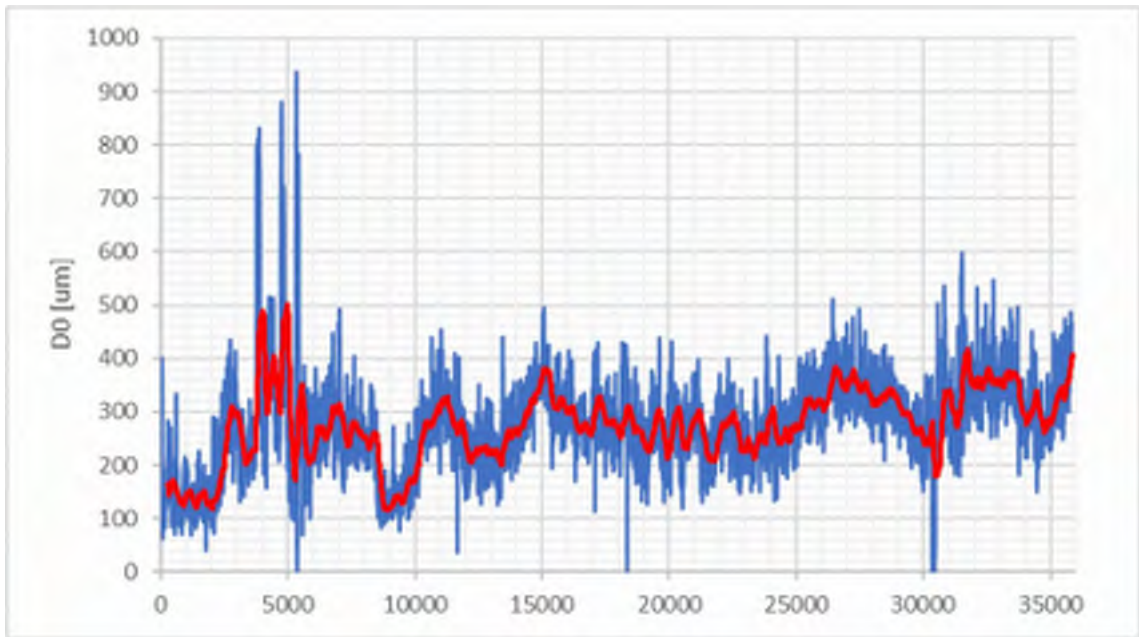
34, E18, Tpl Munkatorp (116)-Tpl Arboga (120)



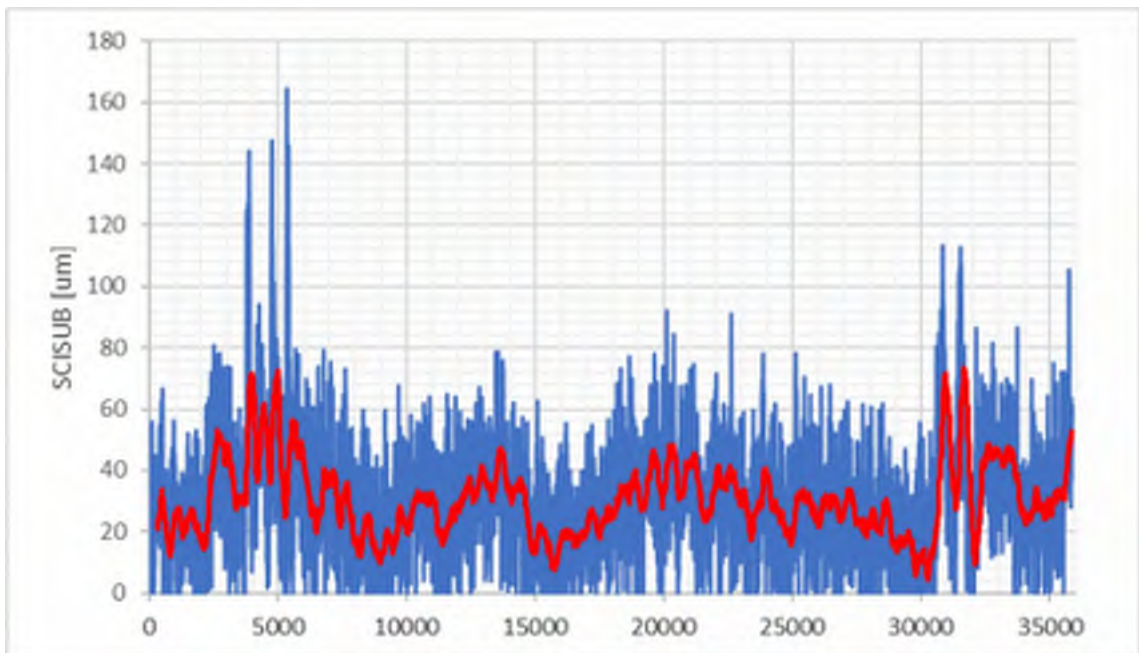
34, E18, Tpl Munkatorp (116)-Tpl Arboga (120)



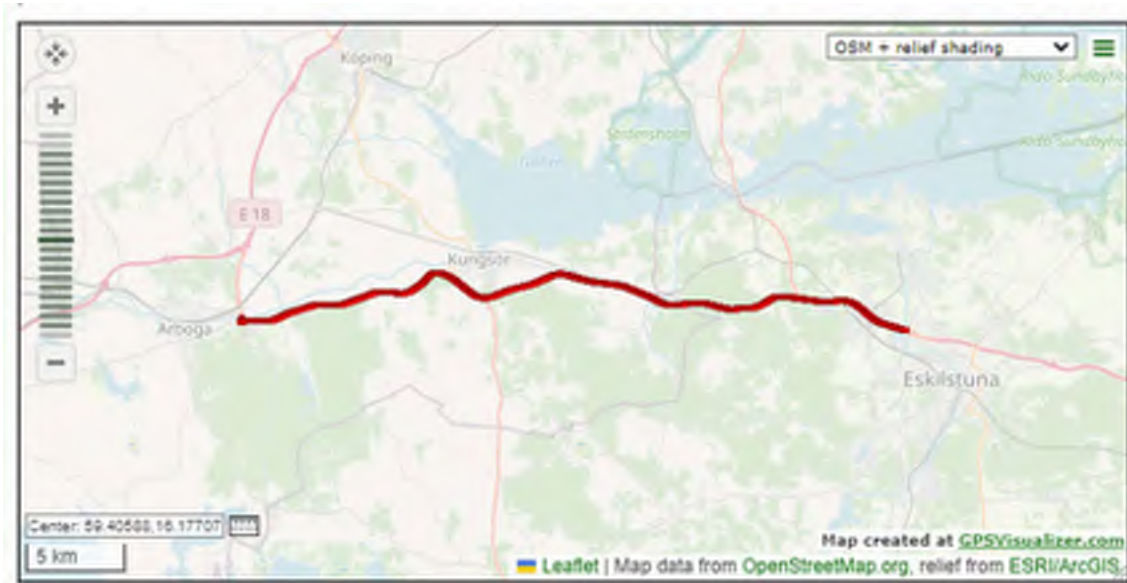
34, E18, Tpl Munkatorp (116)-Tpl Arboga (120)T4202010090006



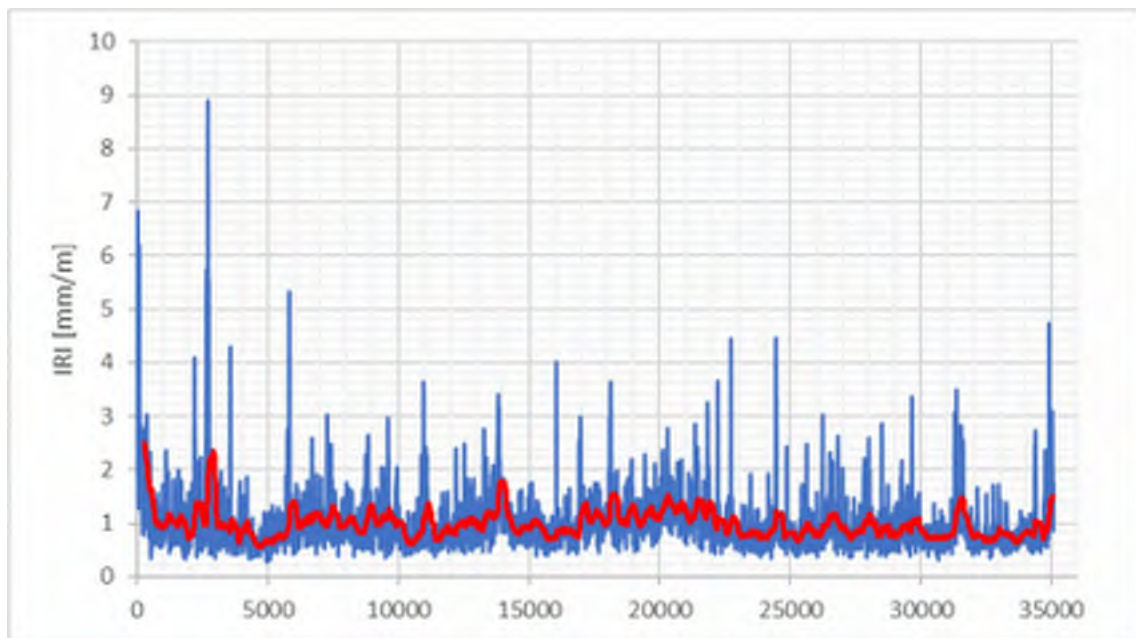
34, E18, Tpl Munkatorp (116)-Tpl Arboga (120)T4202010090006



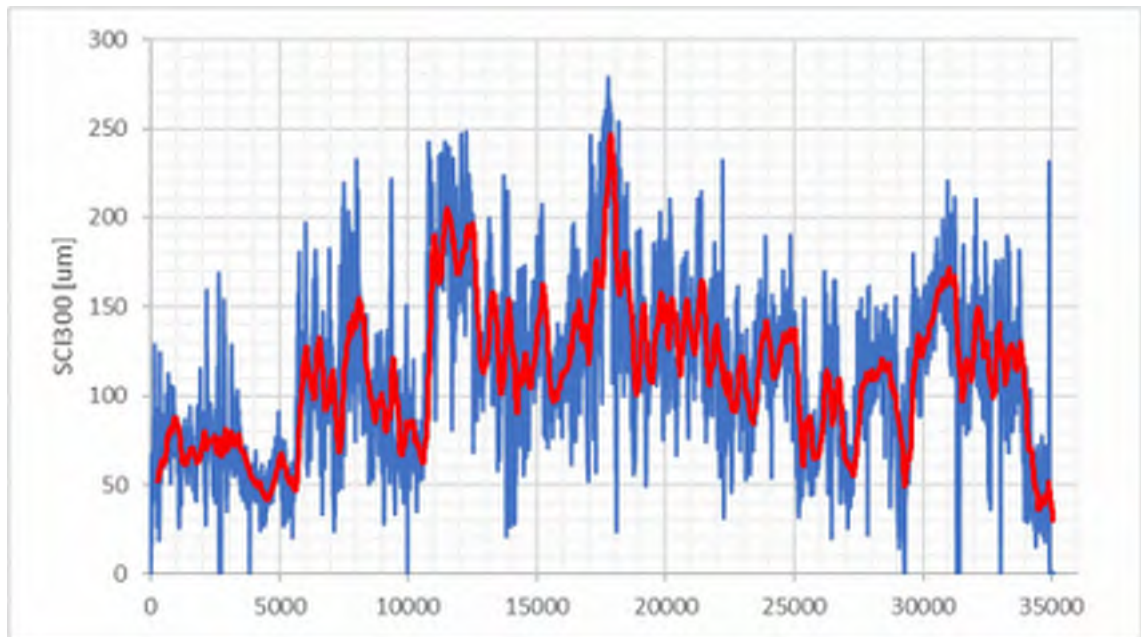
34, E18, Tpl Munkatorp (116)-Tpl Arboga (120)



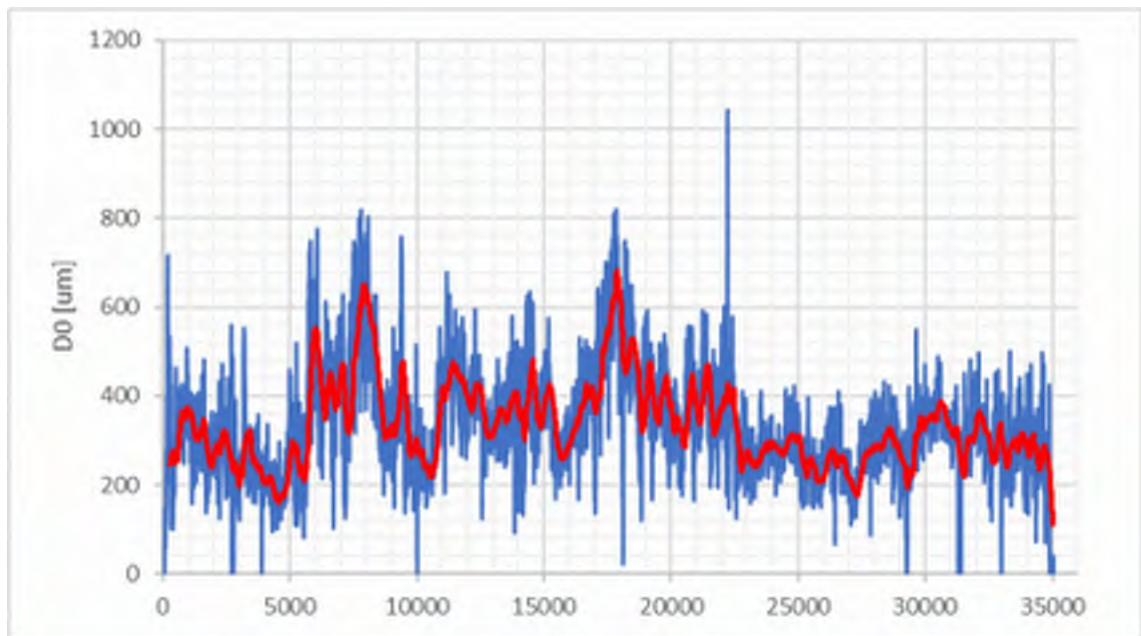
35, E20, Arboga Östra Broleden-Tpl Marielund (131)



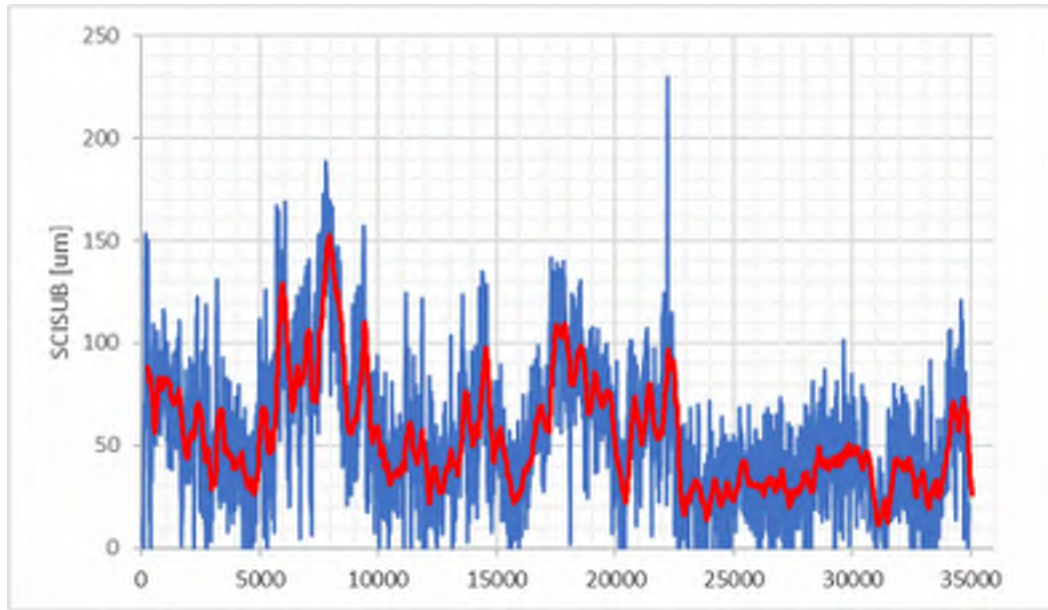
35, E20, Arboga Östra Broleden-Tpl Marielund (131)



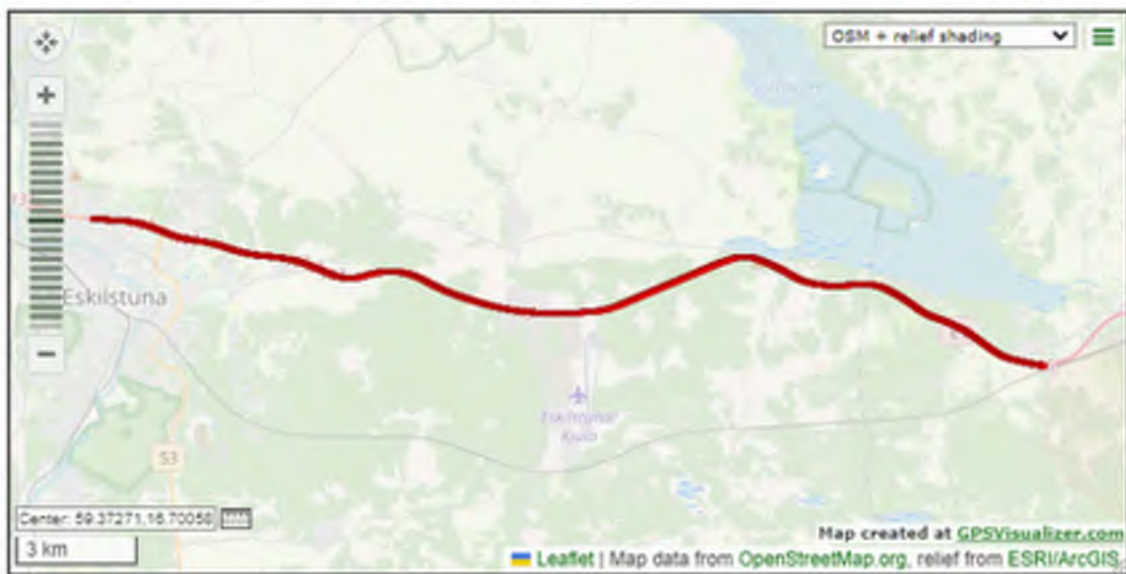
35, E20, Arboga Östra Broleden-Tp1 Marielund (131)



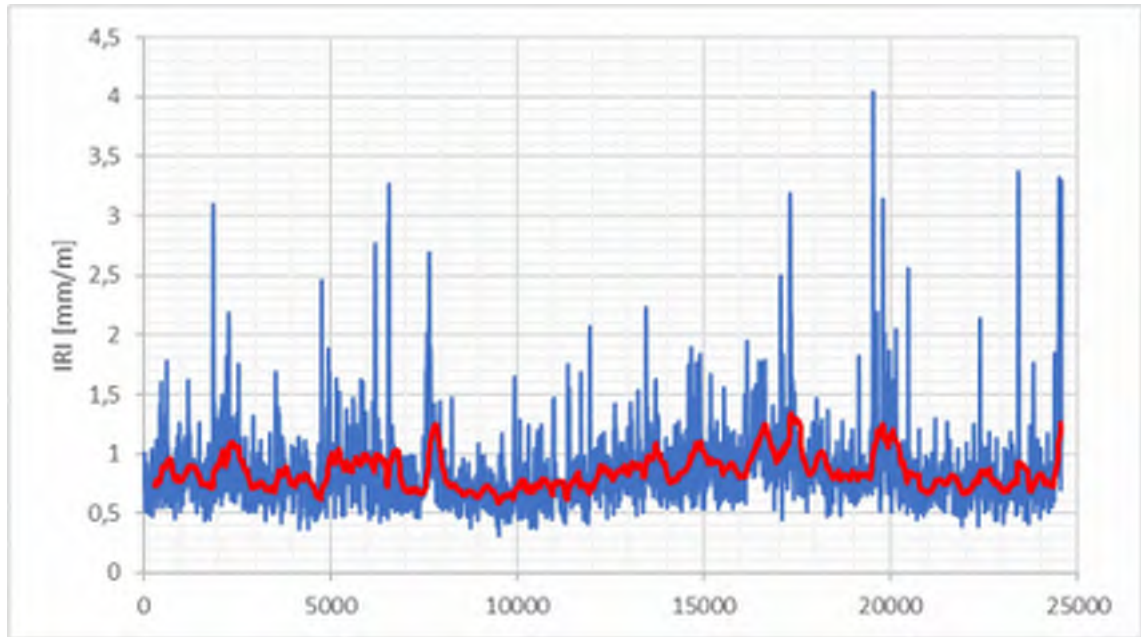
35, E20, Arboga Östra Broleden-Tp1 Marielund (131)



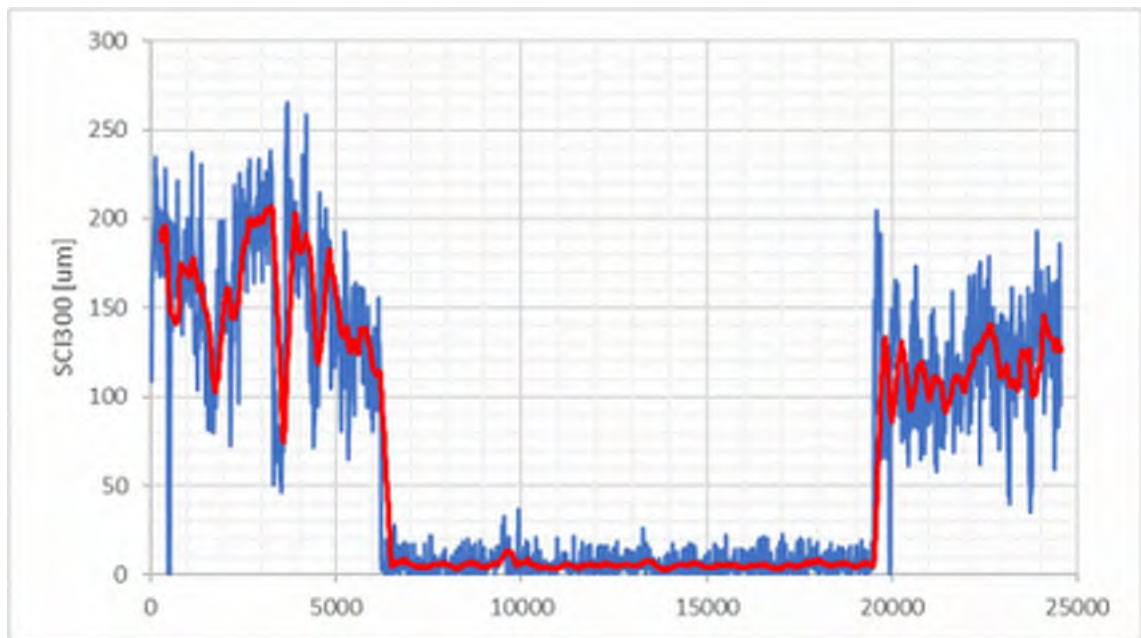
35, E20, Arboga Östra Broleden-Tpl Marielund (131)



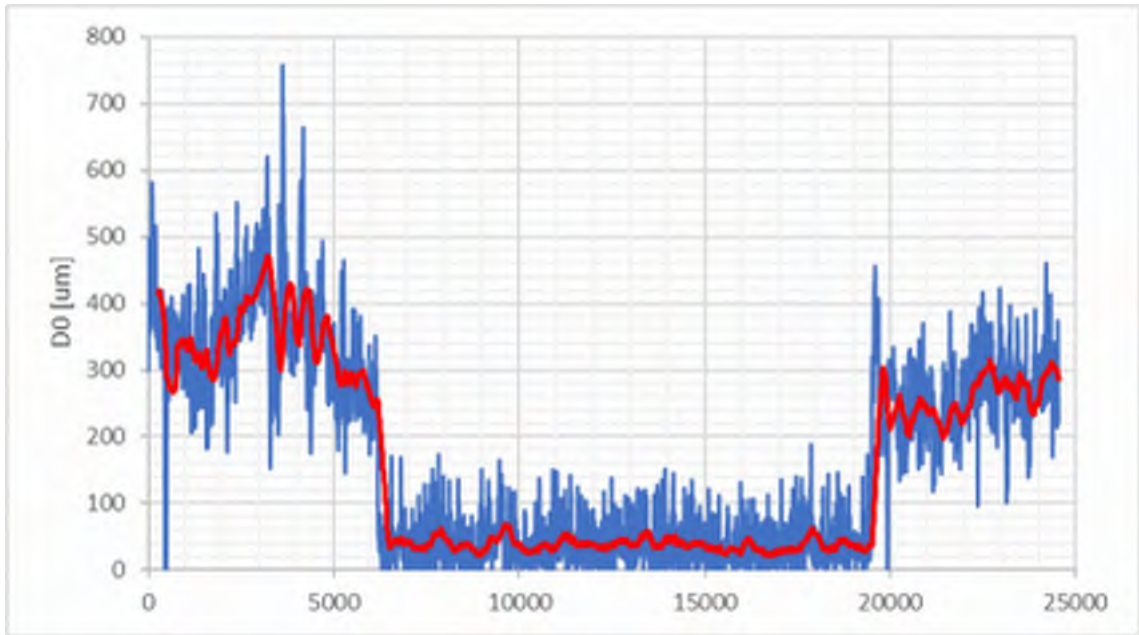
36, E20, Tpl Marielund (131)-Tpl Härad (135)



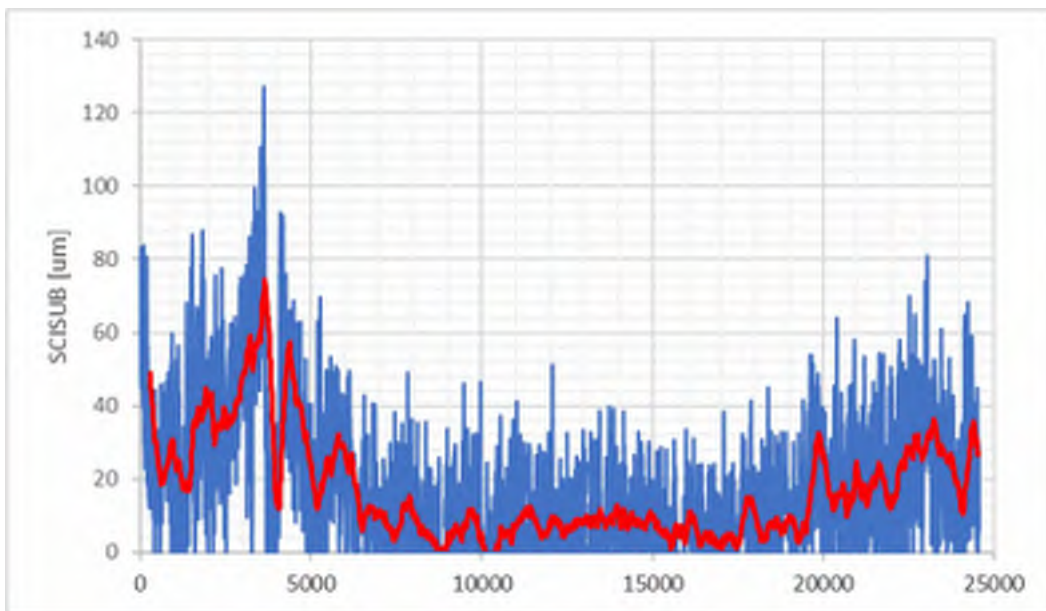
36, E20, Tpl Marielund (131)-Tpl Härad (135)



36, E20, Tpl Marielund (131)-Tpl Härad (135)



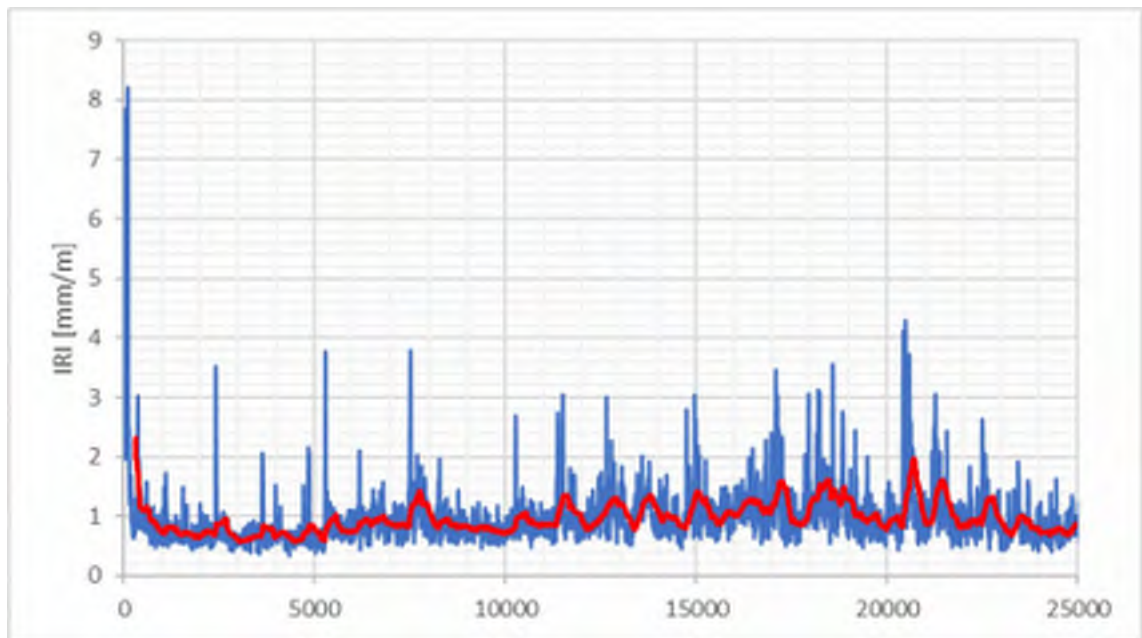
36, E20, Tpl Marielund (131)-Tpl Härad (135)



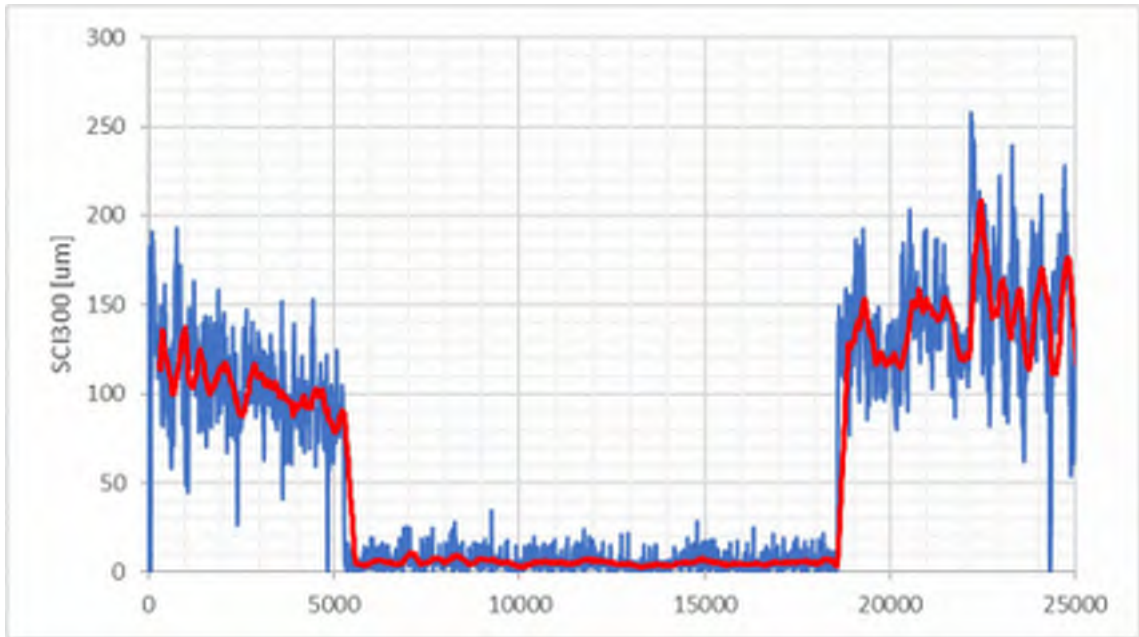
36, E20, Tpl Marielund (131)-Tpl Härad (135)



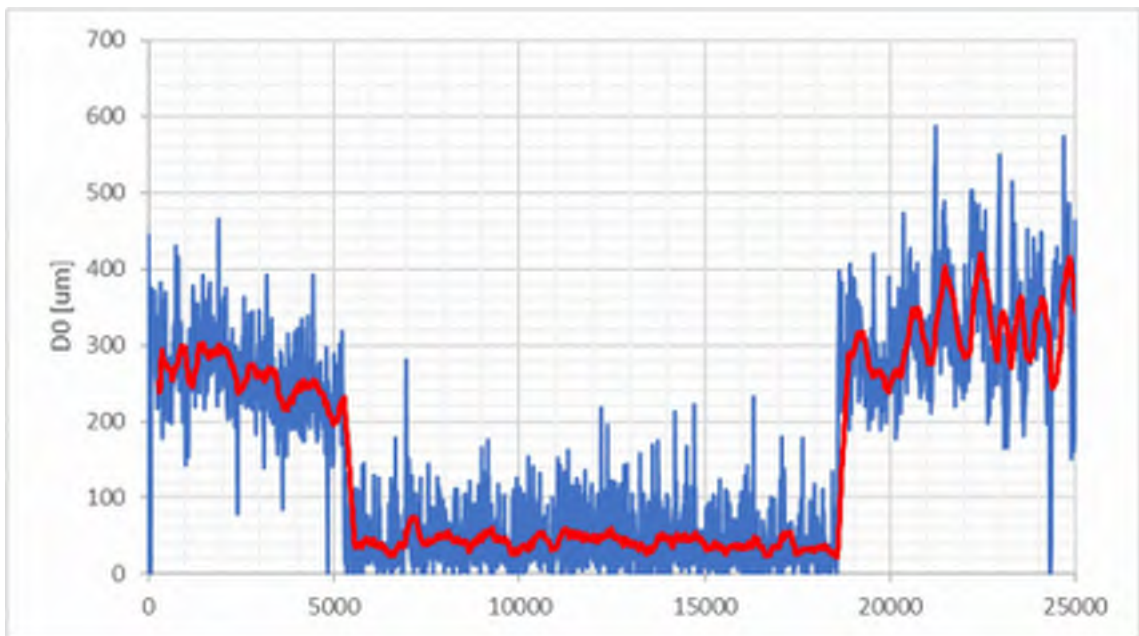
37, E20, Tpl Härad-(135)-Tpl Marielund (131)



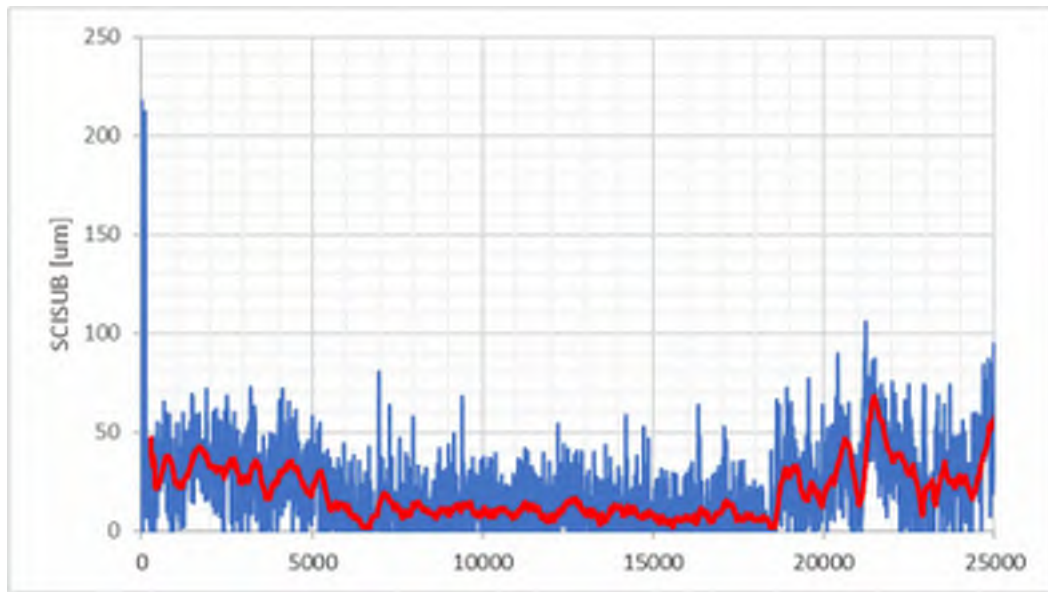
37, E20, Tpl Härad-(135)-Tpl Marielund (131)



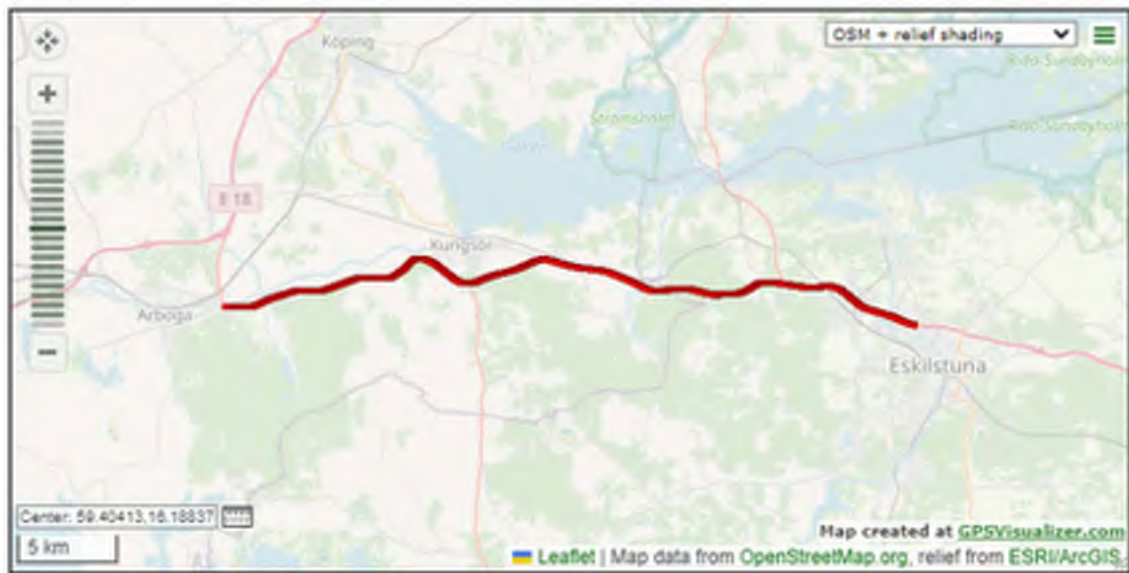
37, E20, Tpl Härad-(135)-Tpl Marielund (131)



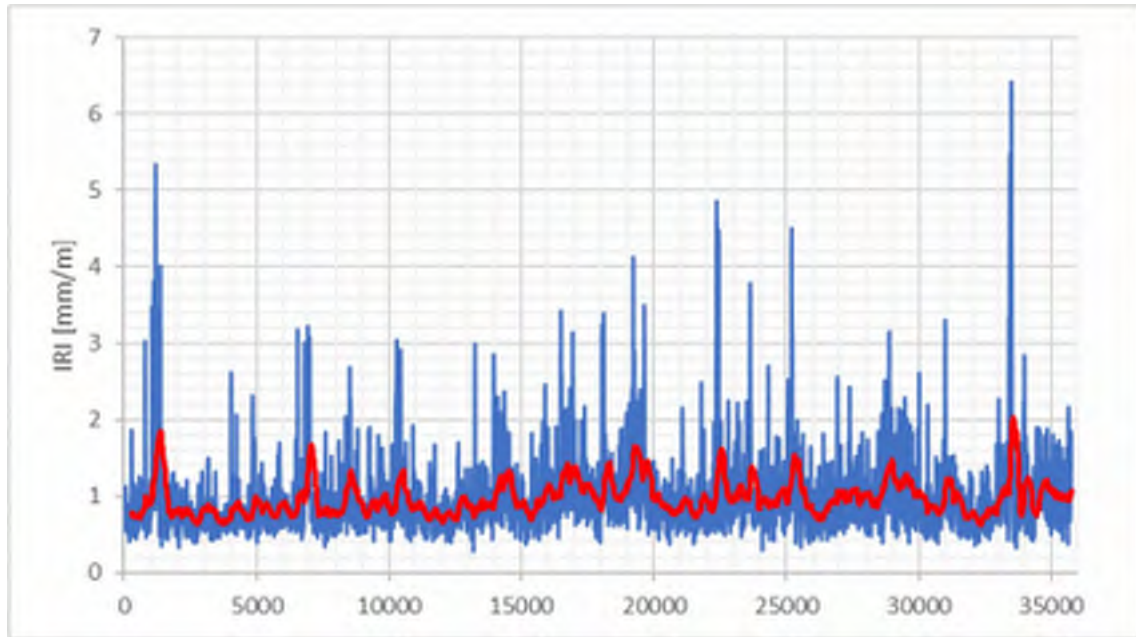
37, E20, Tpl Härad-(135)-Tpl Marielund (131)



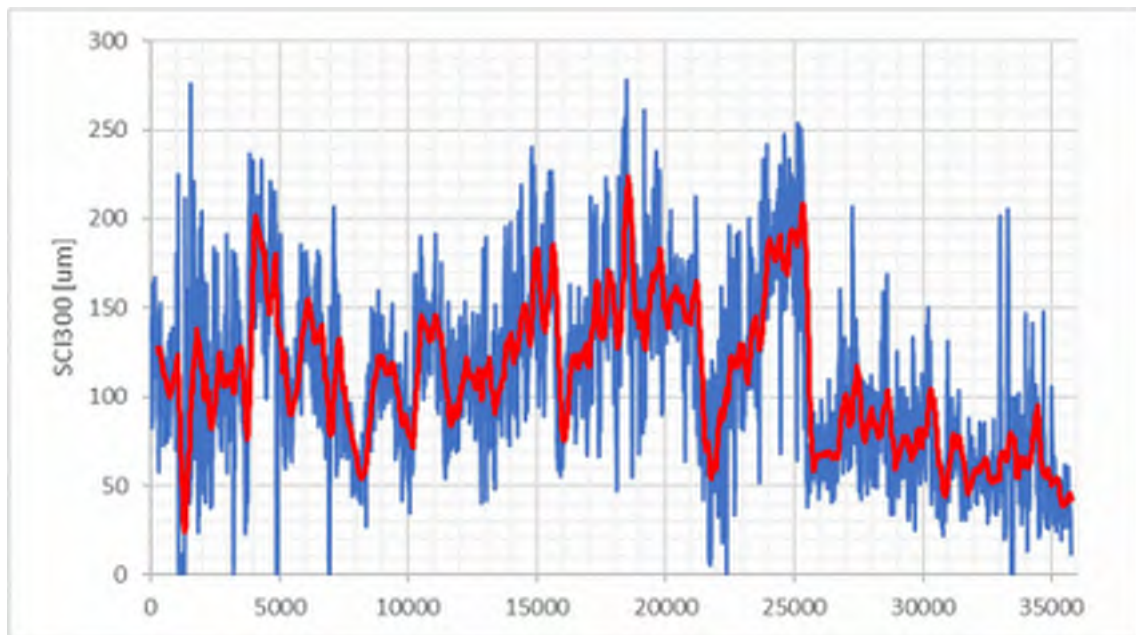
37, E20, Tpl Härad-(135)-Tpl Marielund (131)



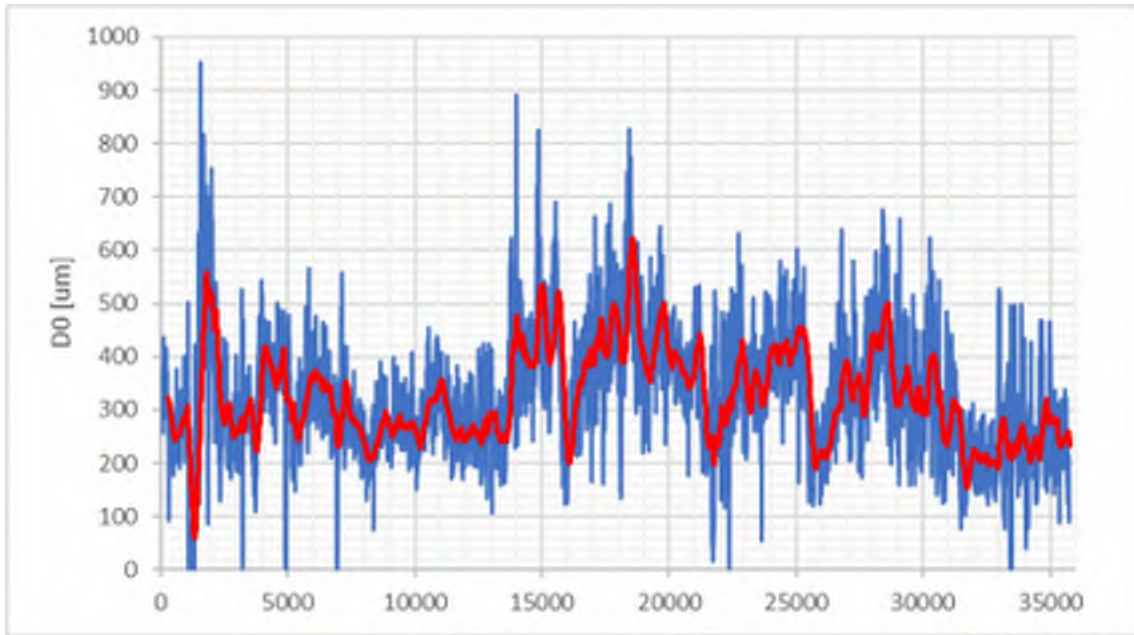
38, E20, Tpl Marielund (131)-Arboga Östra Broleden



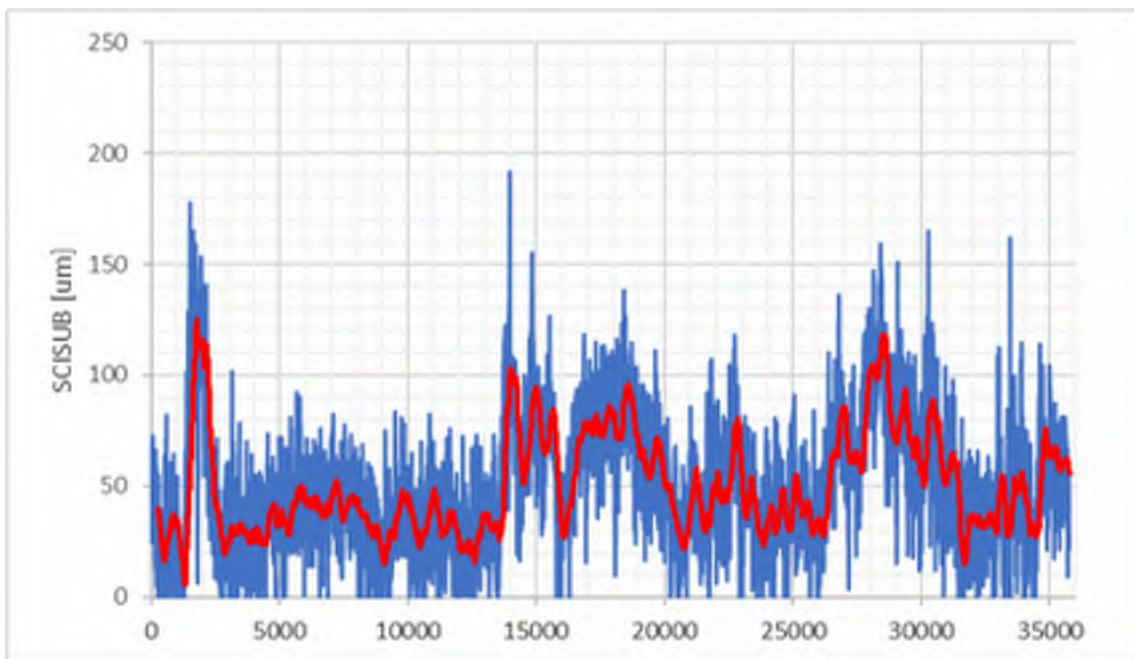
38, E20, Tpl Marielund (131)-Arboga Östra Broleden



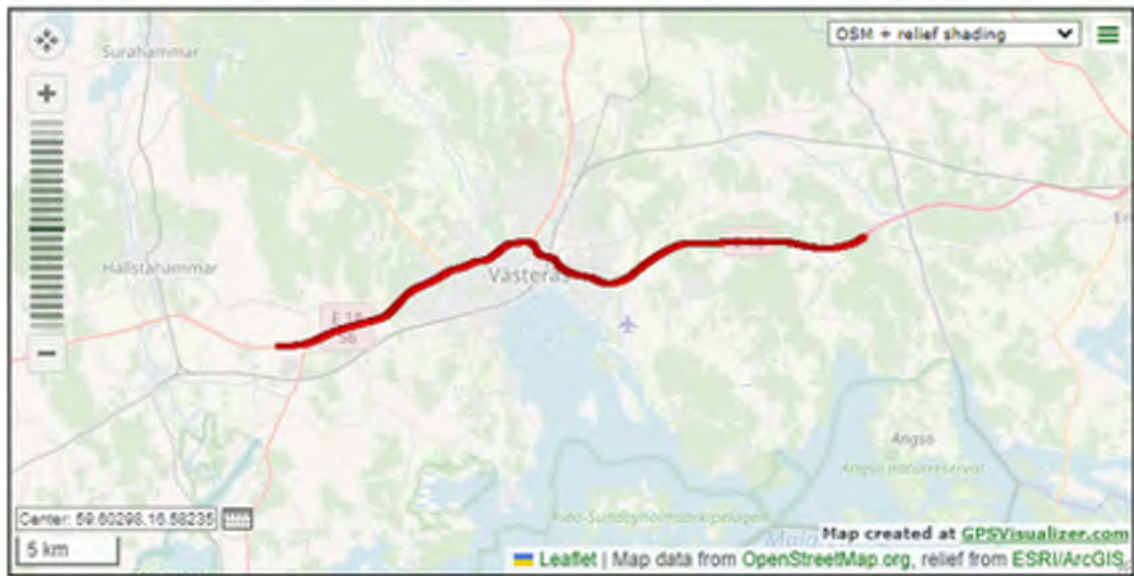
38, E20, Tpl Marielund (131)-Arboga Östra Broleden



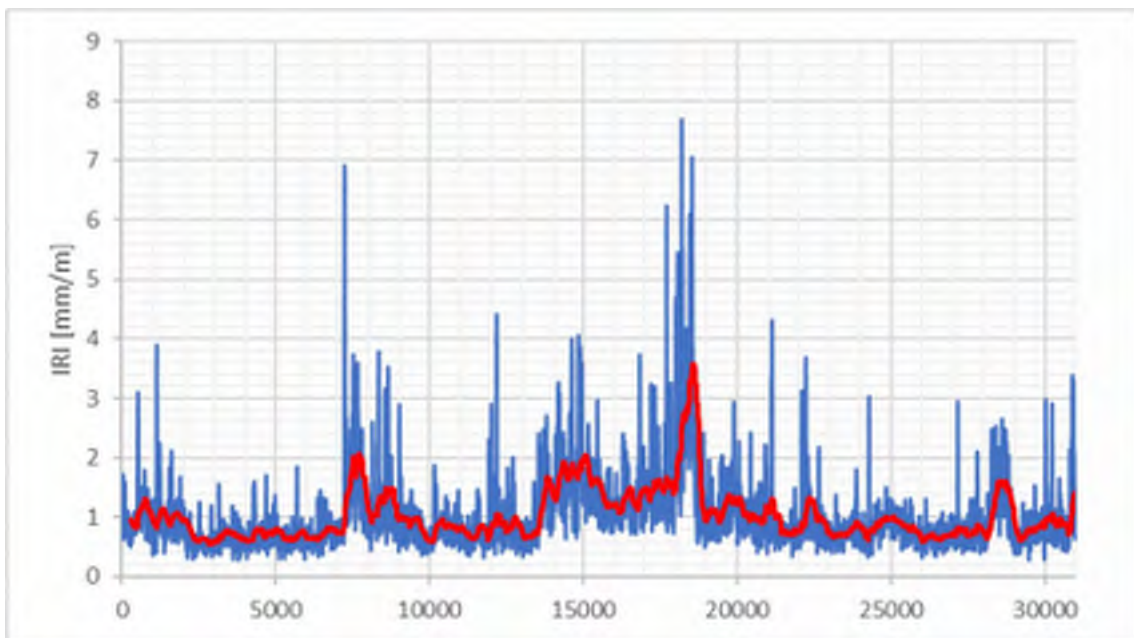
38, E20, Tpl Marielund (131)-Arboga Östra Broleden



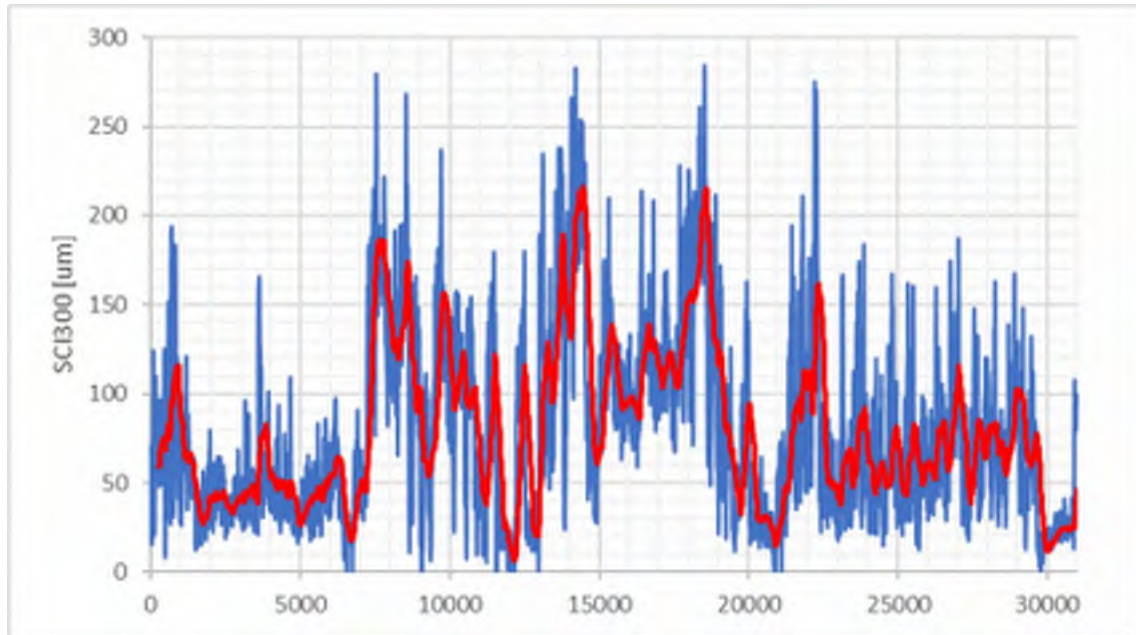
38, E20, Tpl Marielund (131)-Arboga Östra Broleden



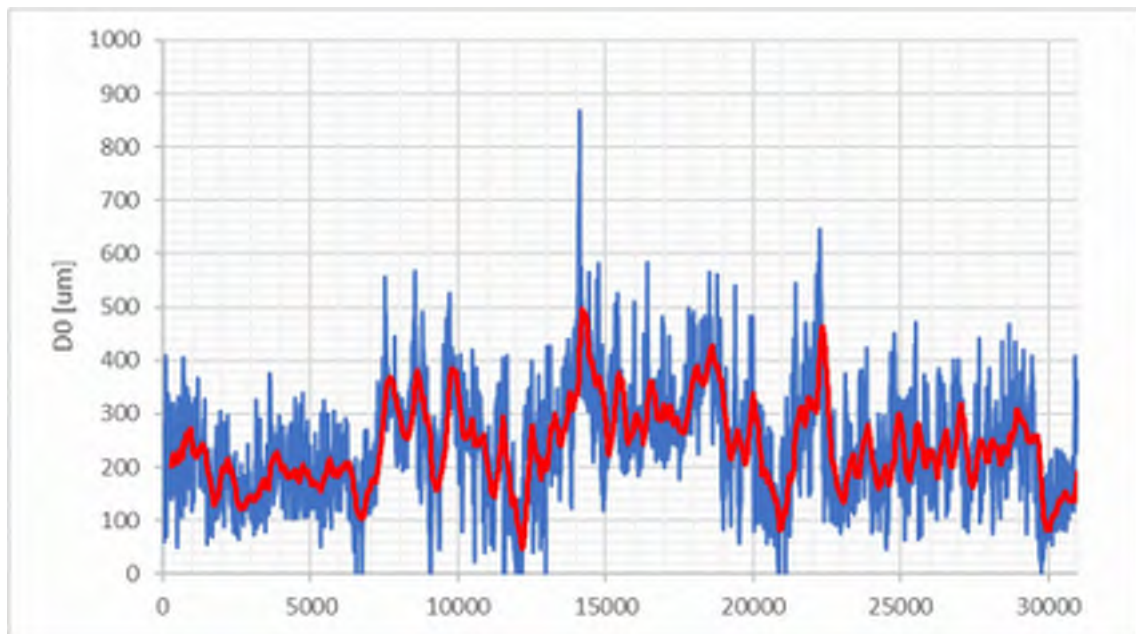
39, E18, Tpl Västjädra (127)-Tpl (140)



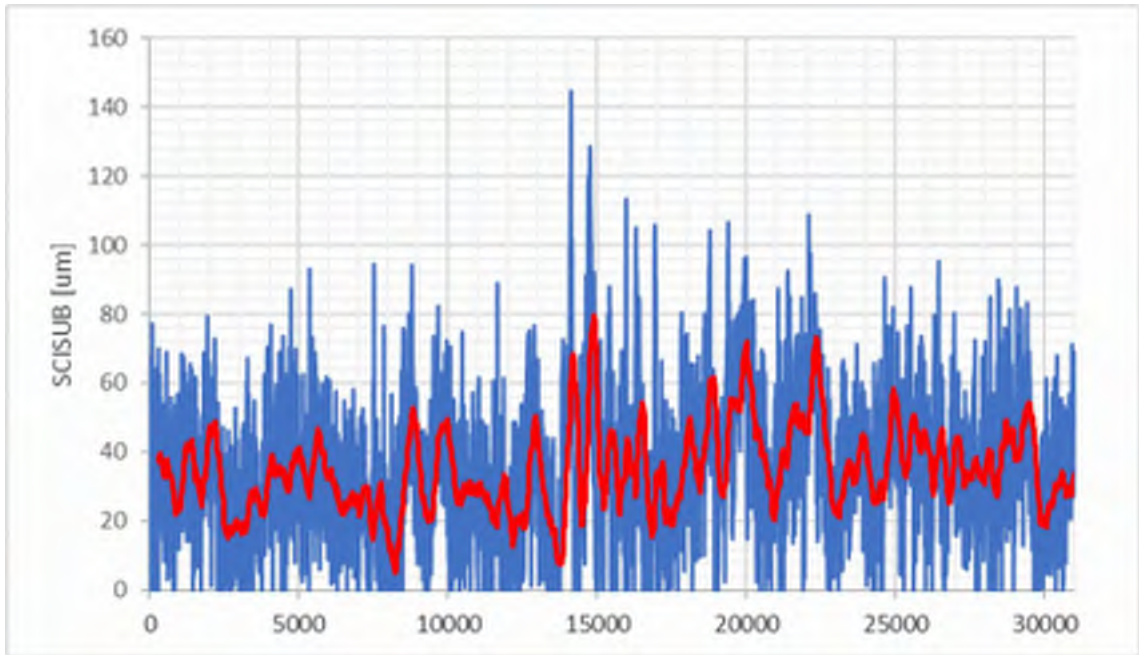
39, E18, Tpl Västjädra (127)-Tpl (140)



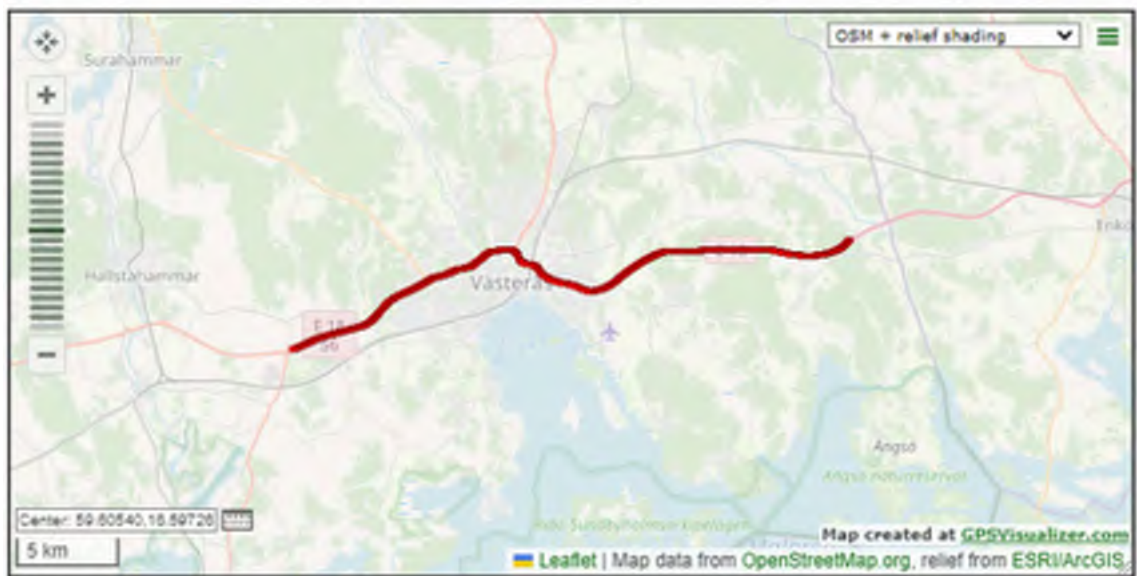
39, E18, Tpl Västjädra (127)-Tpl (140)



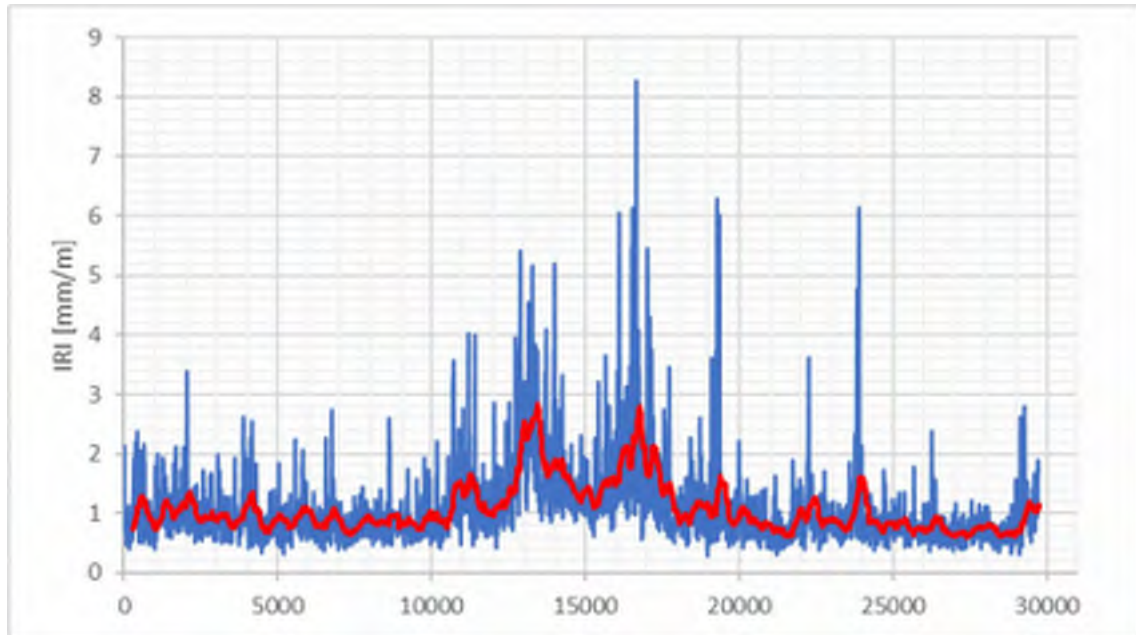
39, E18, Tpl Västjädra (127)-Tpl (140)



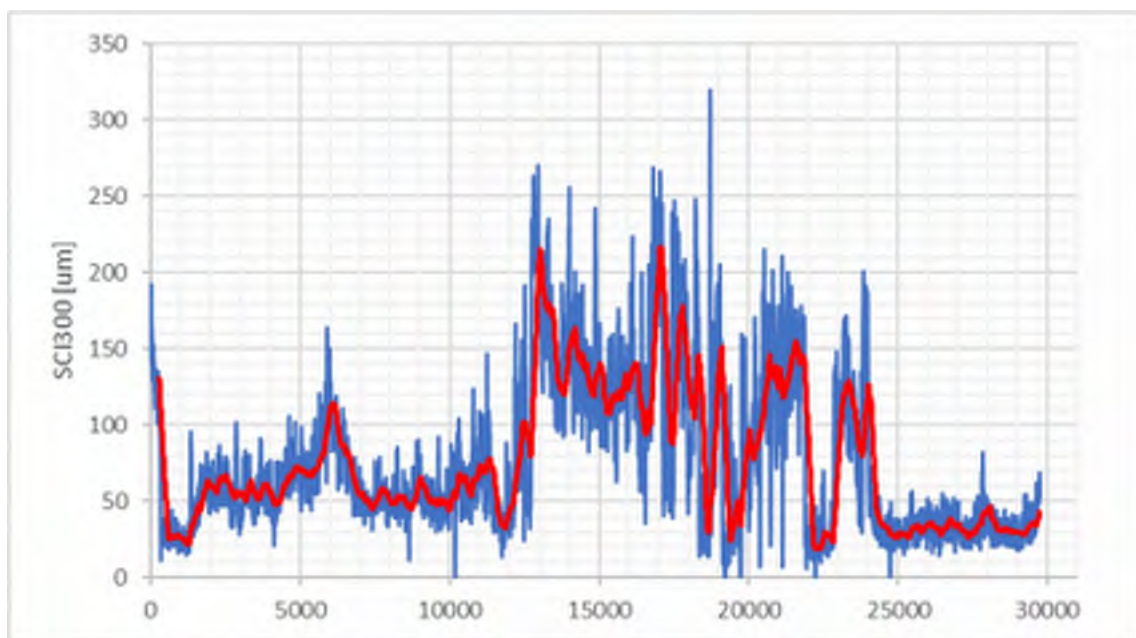
39, E18, Tpl Västjädra (127)-Tpl (140)



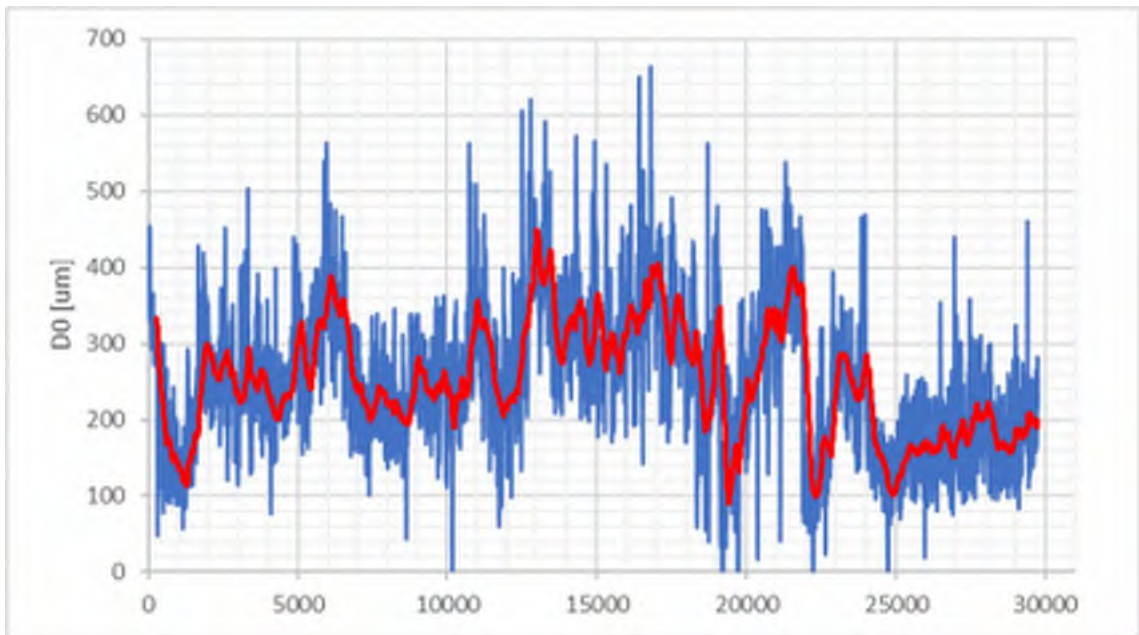
40, E18, Tpl (140)-Tpl Västjädra (127)



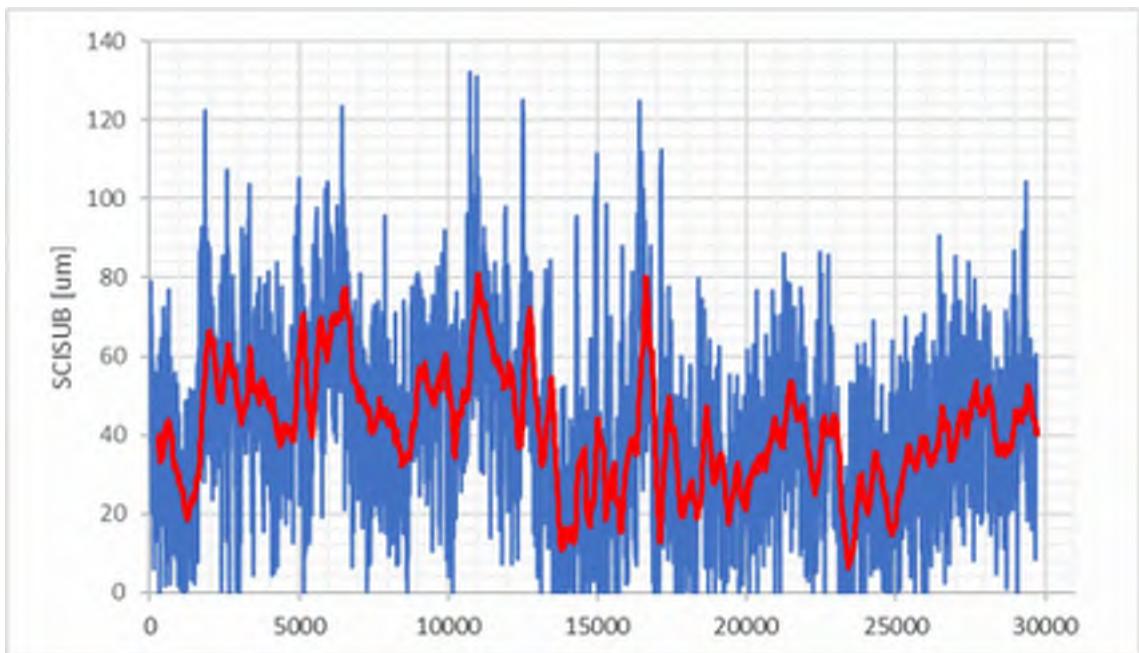
40, E18, Tpl (140)-Tpl Västjädra (127)



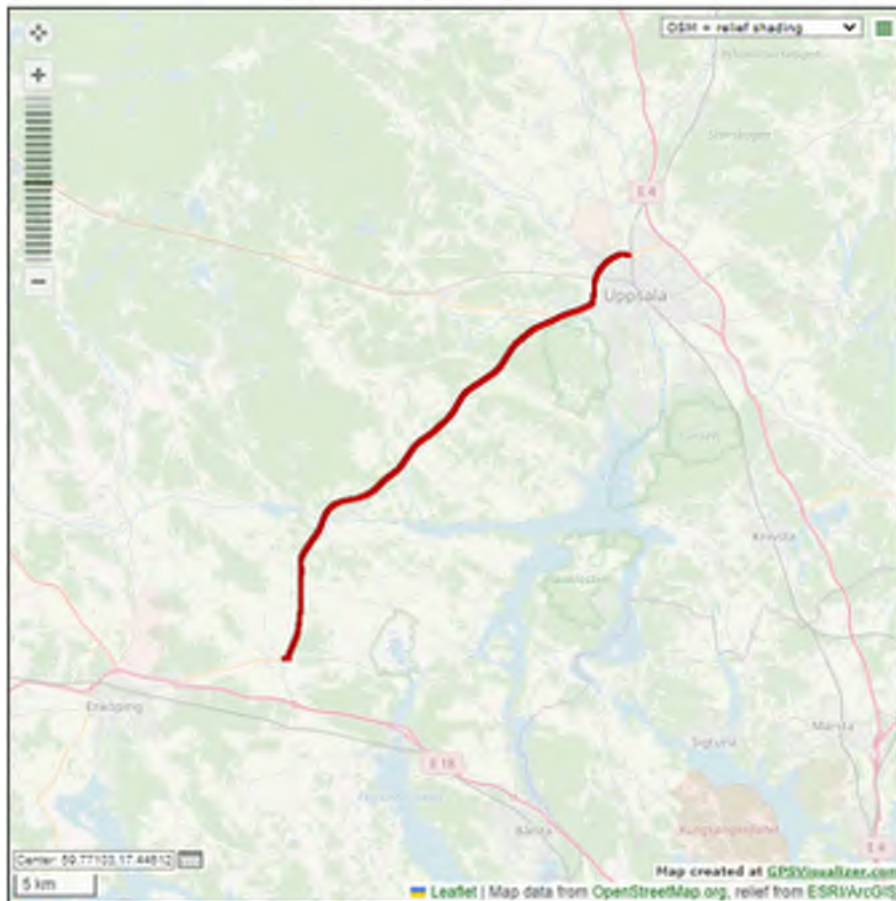
40, E18, Tpl (140)-Tpl Västjädra (127)



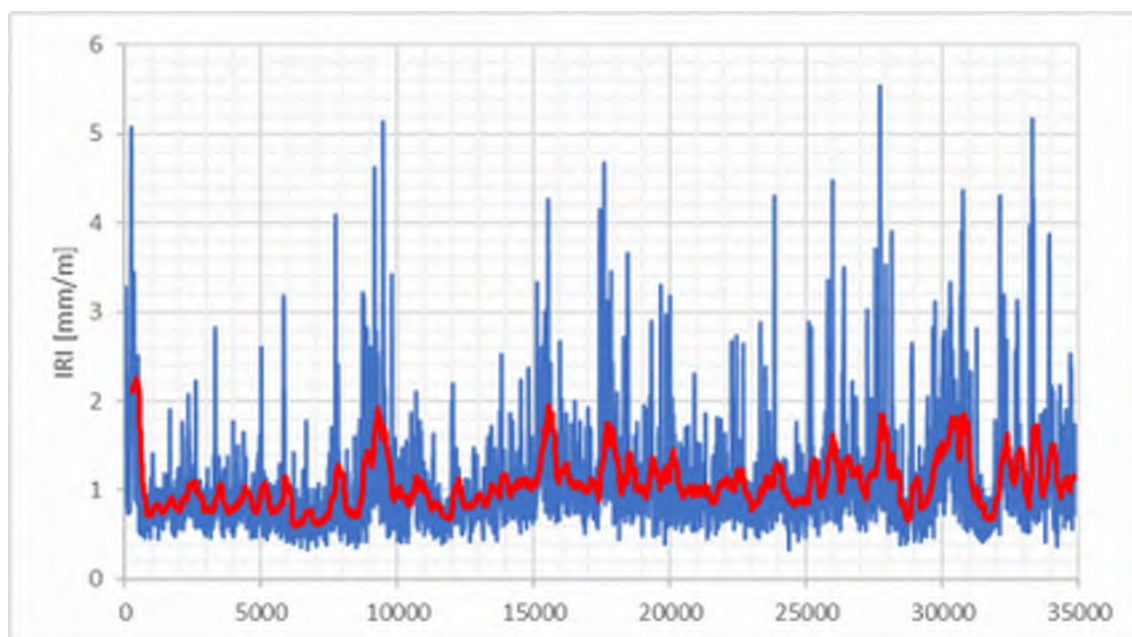
40, E18, Tpl (140)-Tpl Västjädra (127)



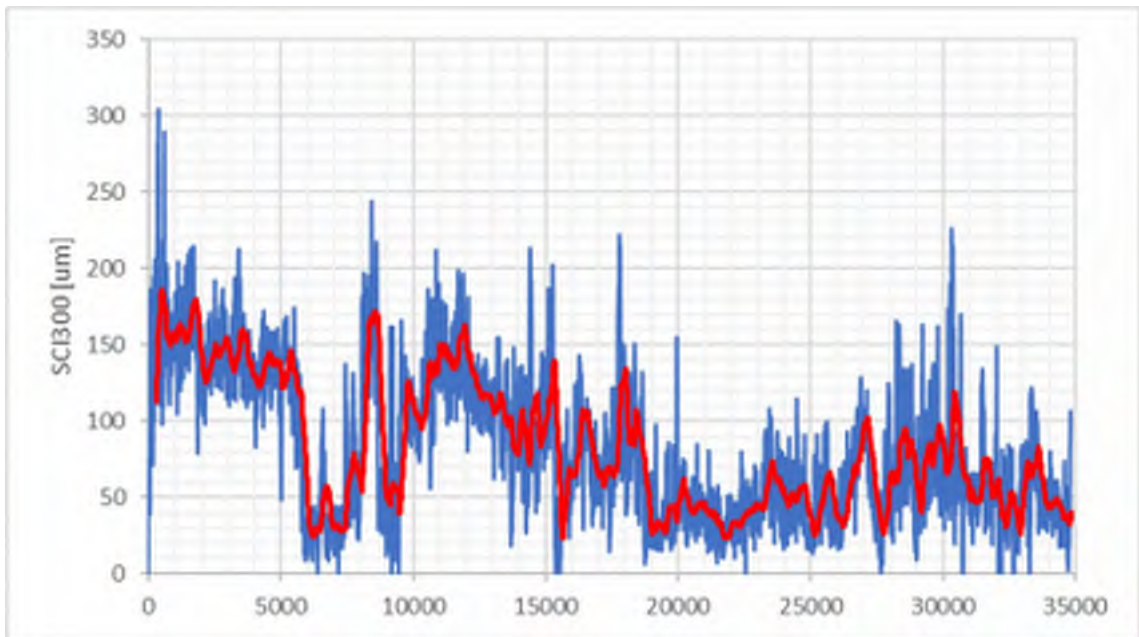
40, E18, Tpl (140)-Tpl Västjädra (127)



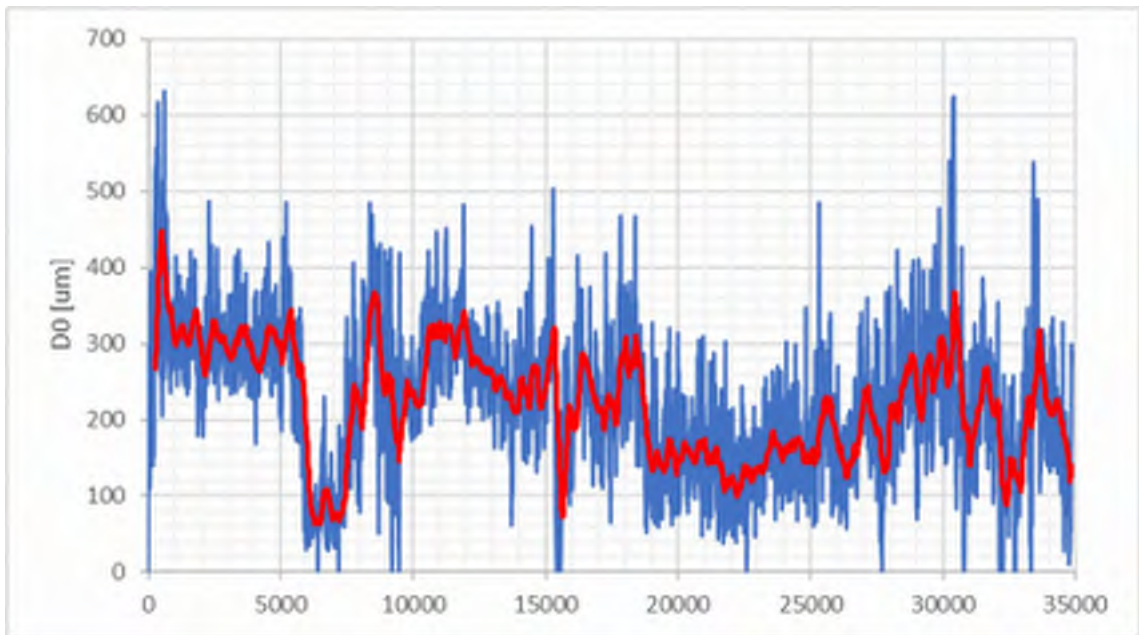
41, Rv55, Enköping (Listlena)-Tpl Uppsala (188)



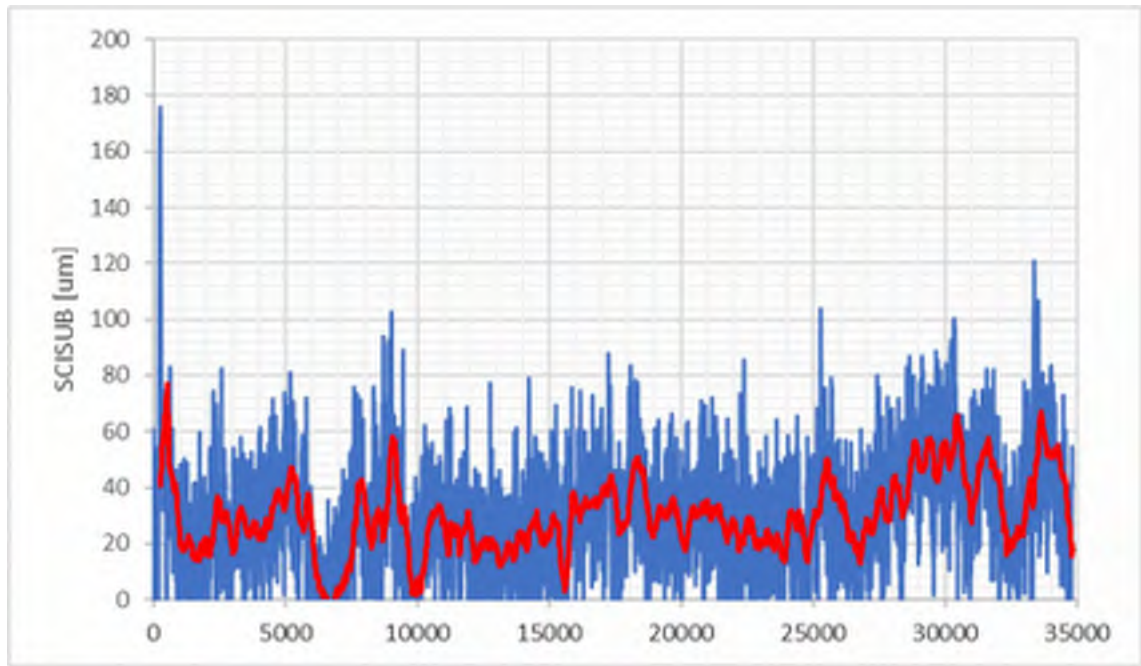
41, Rv55, Enköping (Listlena)-Tpl Uppsala (188)



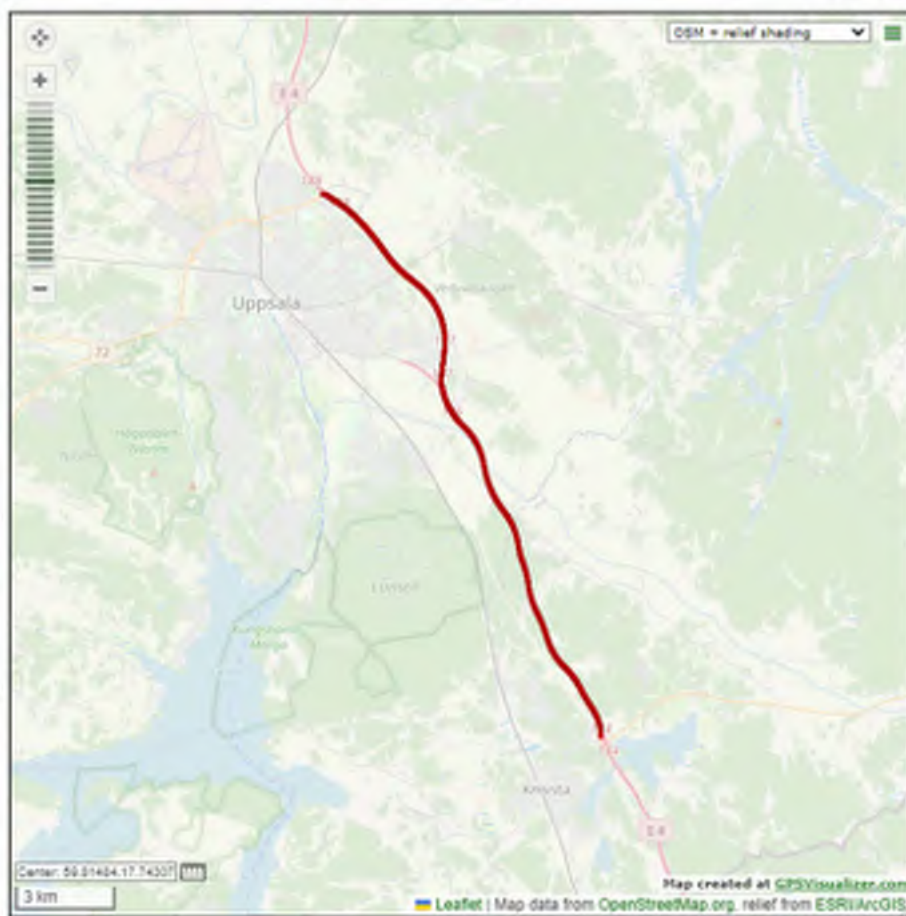
41, Rv55, Enköping (Listlena)-Tpl Uppsala (188)



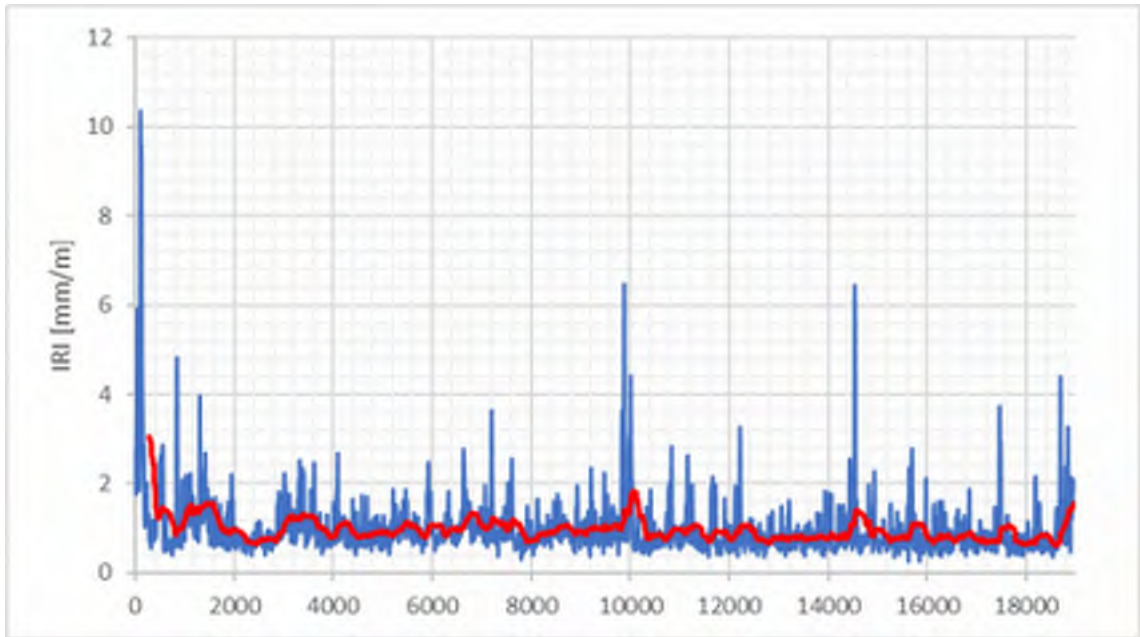
41, Rv55, Enköping (Listlena)-Tpl Uppsala (188)



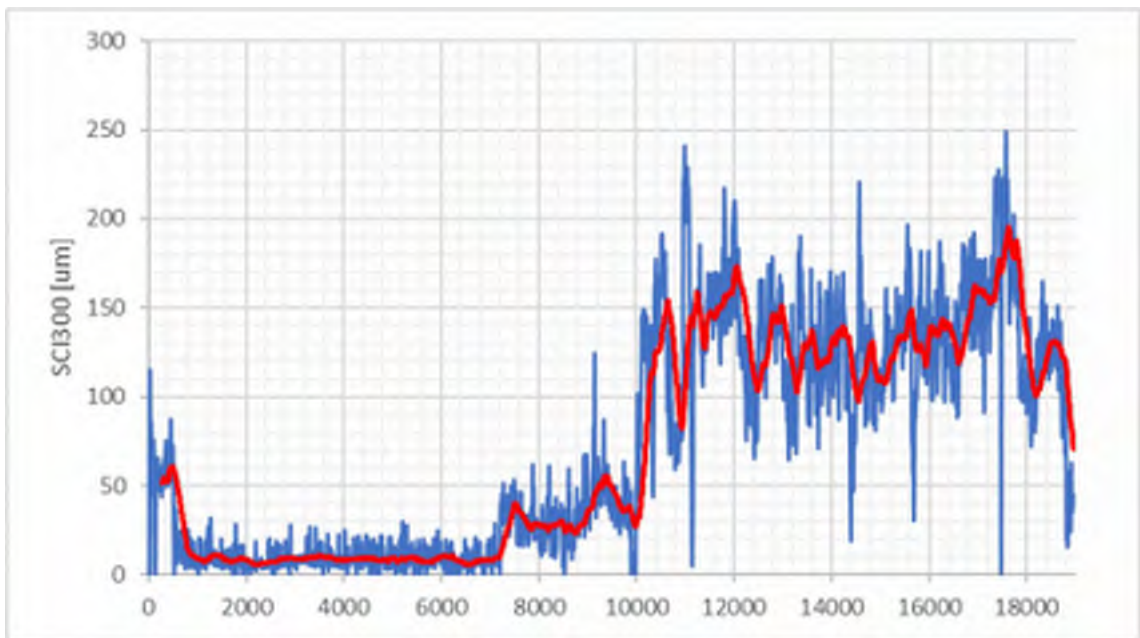
41, Rv55, Enköping (Listlena)-Tpl Uppsala (188)



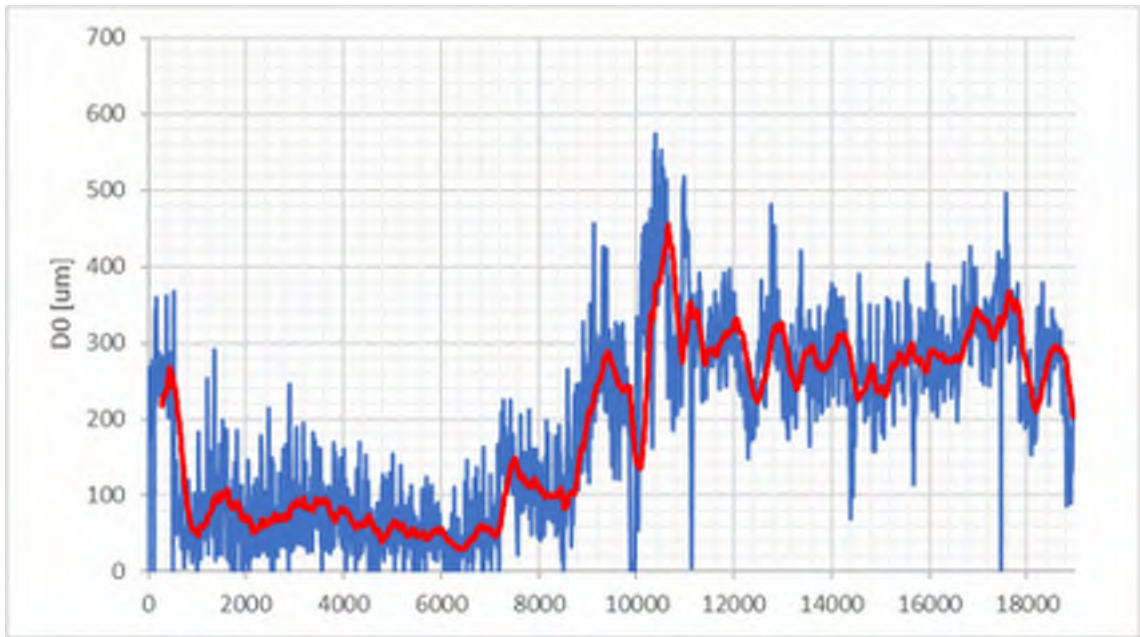
42, E4, Tpl Uppsala (188)-Tpl Brunnby (184)



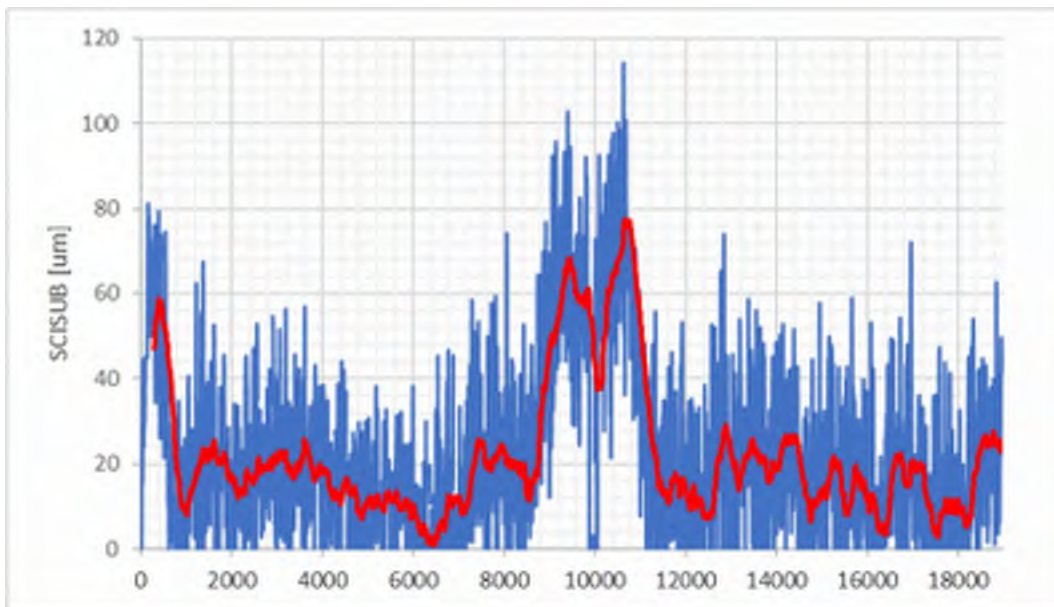
42, E4, Tpl Uppsala (188)-Tpl Brunnby (184)



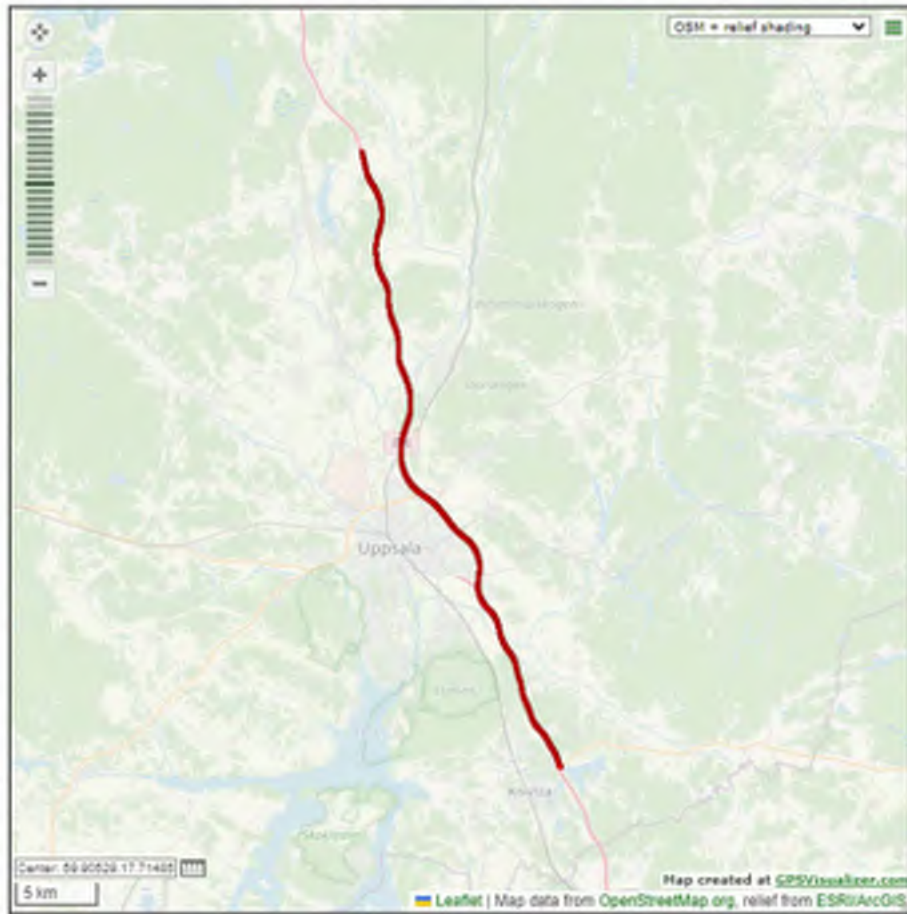
42, E4, Tpl Uppsala (188)-Tpl Brunnby (184)



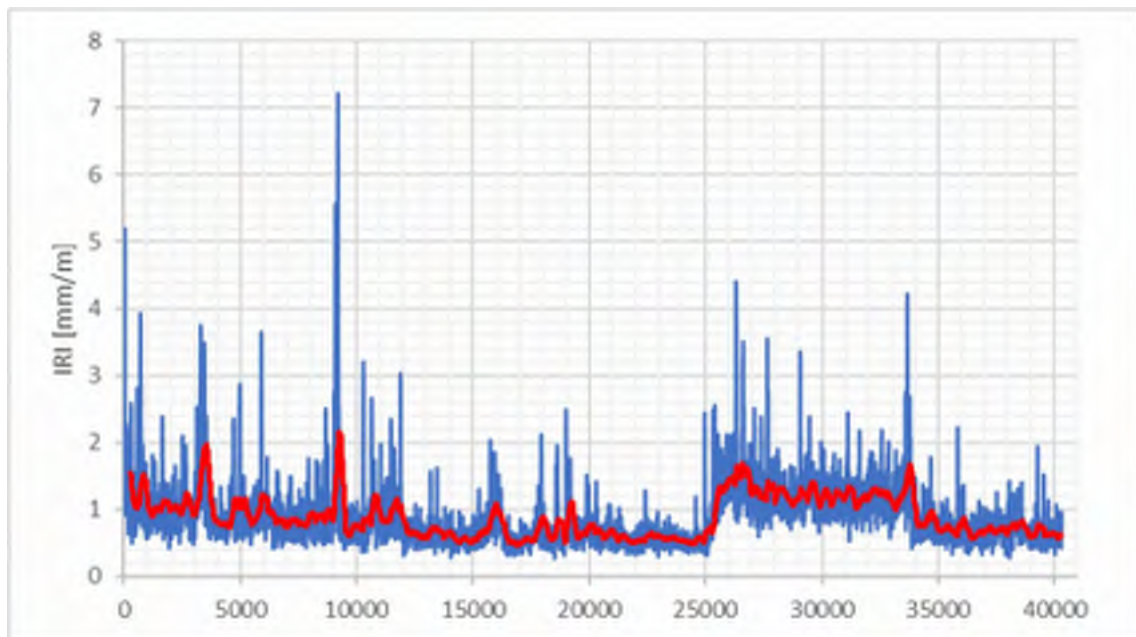
42, E4, Tpl Uppsala (188)-Tpl Brunnby (184)



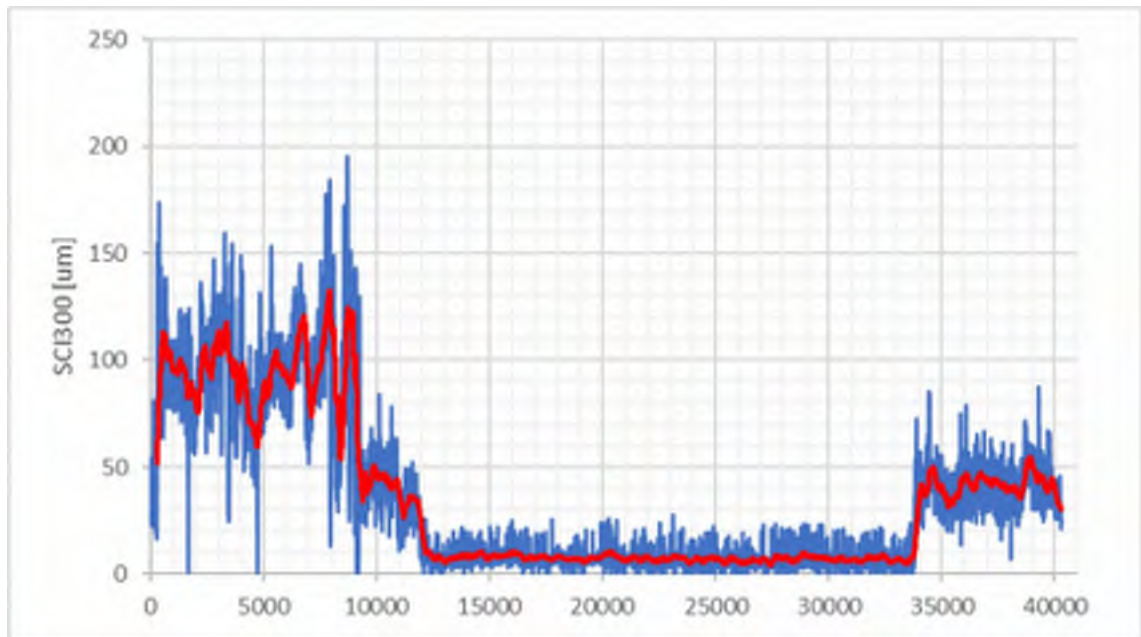
42, E4, Tpl Uppsala (188)-Tpl Brunnby (184)



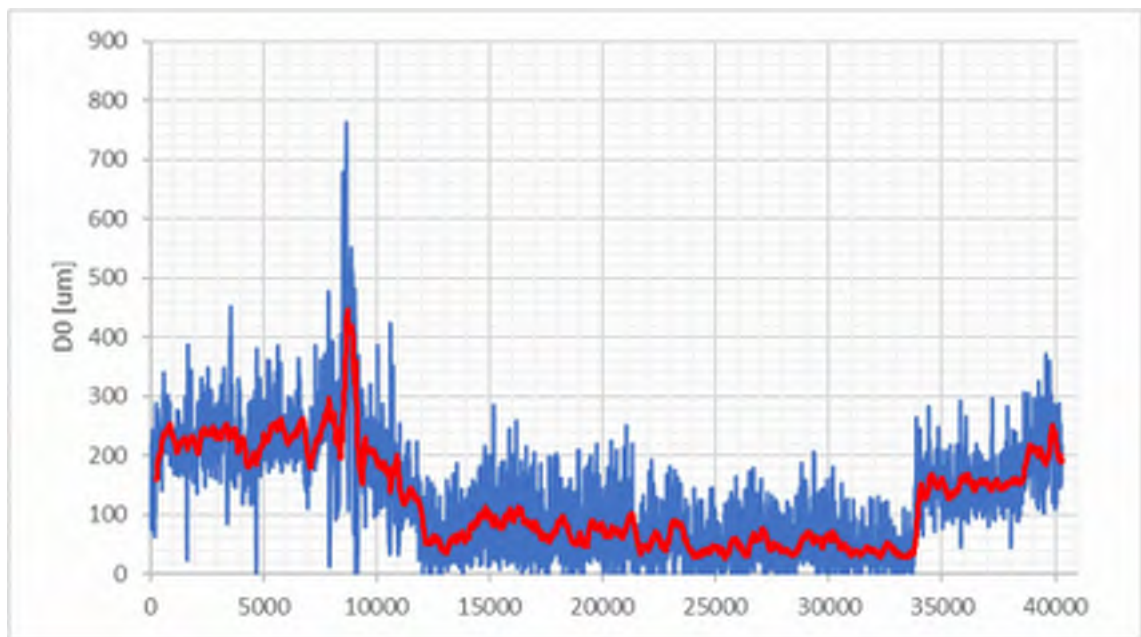
43, E4, Tpl Brunnby (184)-Sävasta



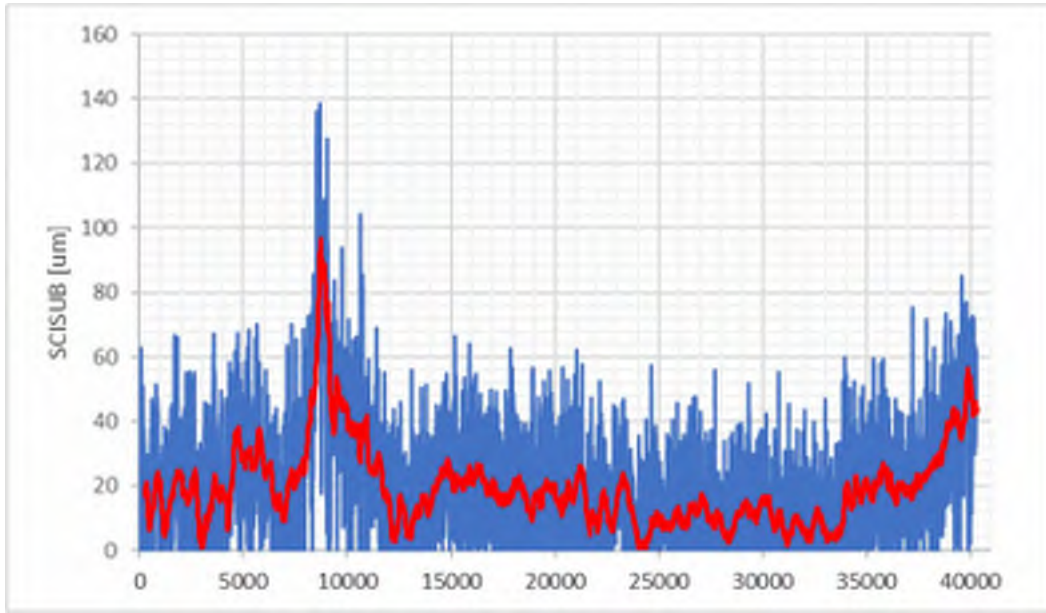
43, E4, Tpl Brunnby (184)-Sävasta



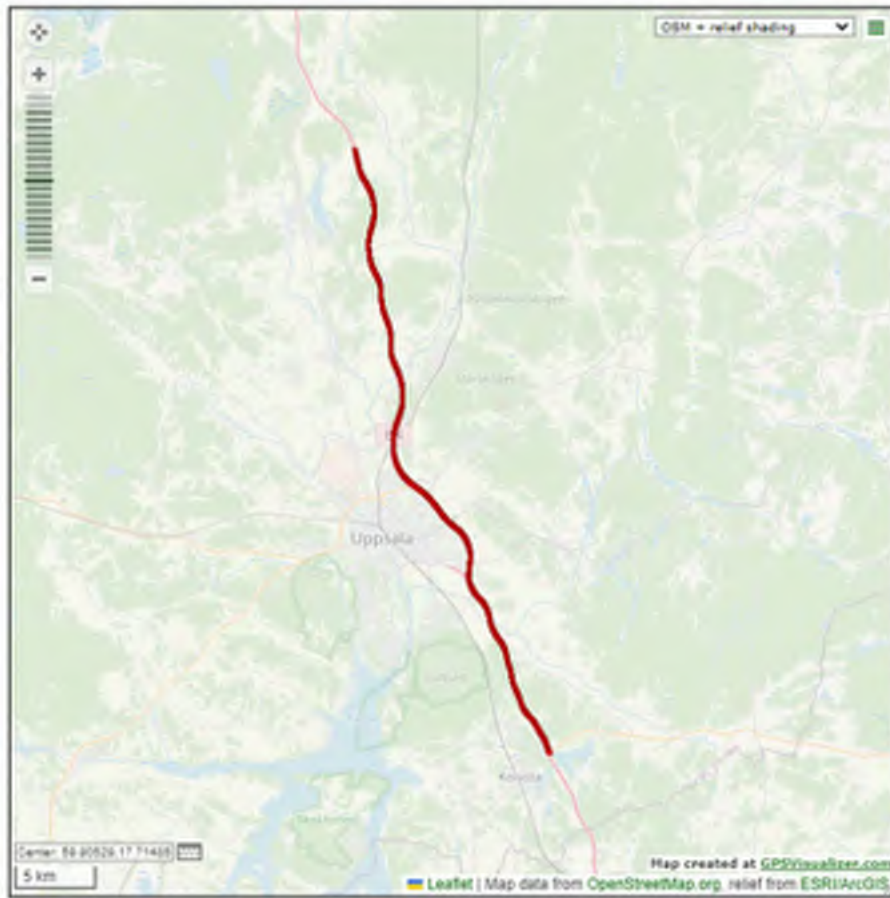
43, E4, Tpl Brunnby (184)-Sävasta



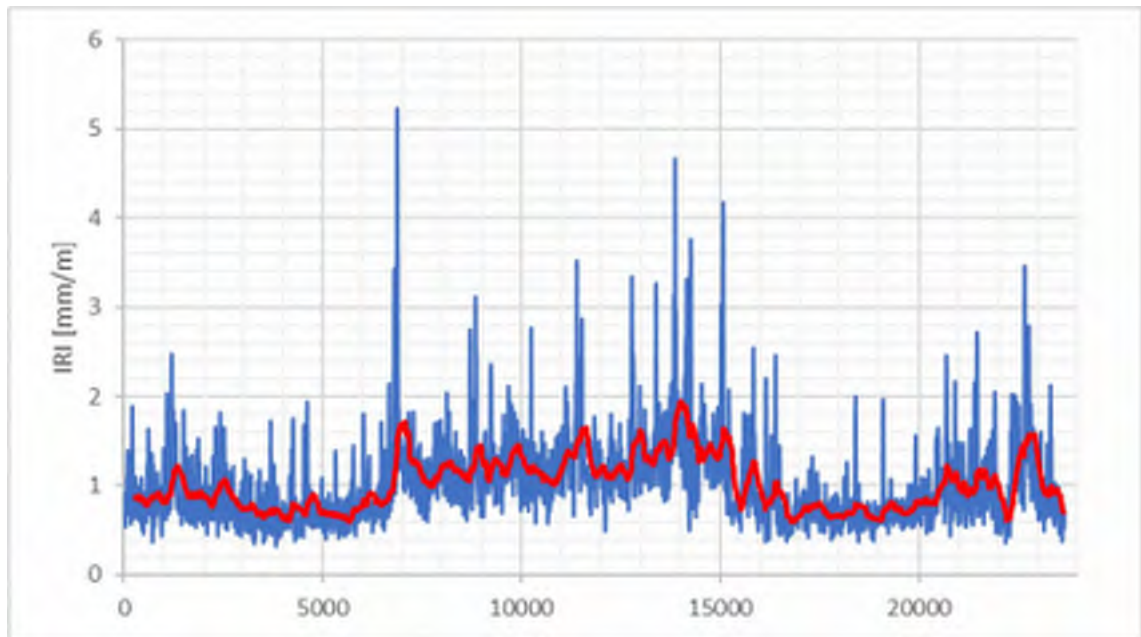
43, E4, Tpl Brunnby (184)-Sävasta



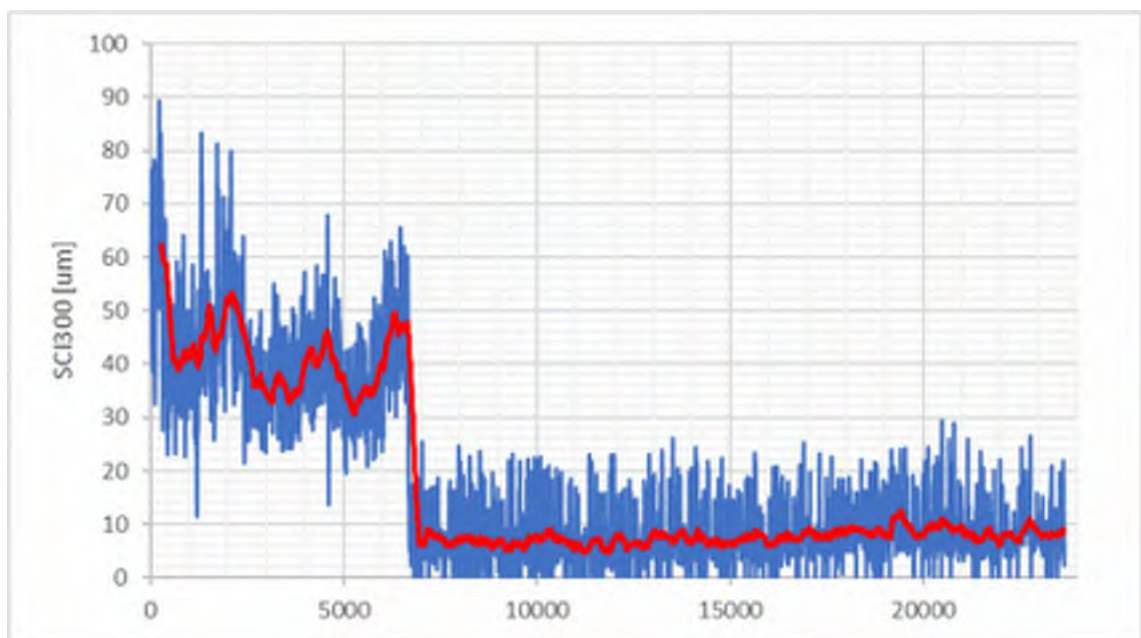
43, E4, Tpl Brunnby (184)-Sävasta



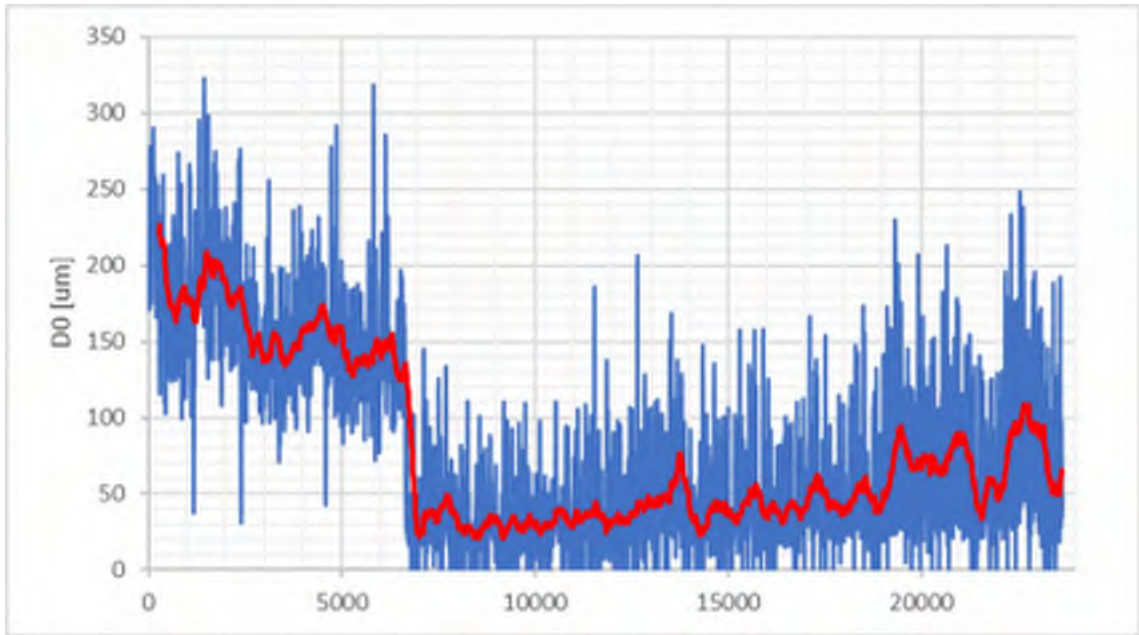
44, E4, Sävasta-Tpl Uppsala (188), (söder om)



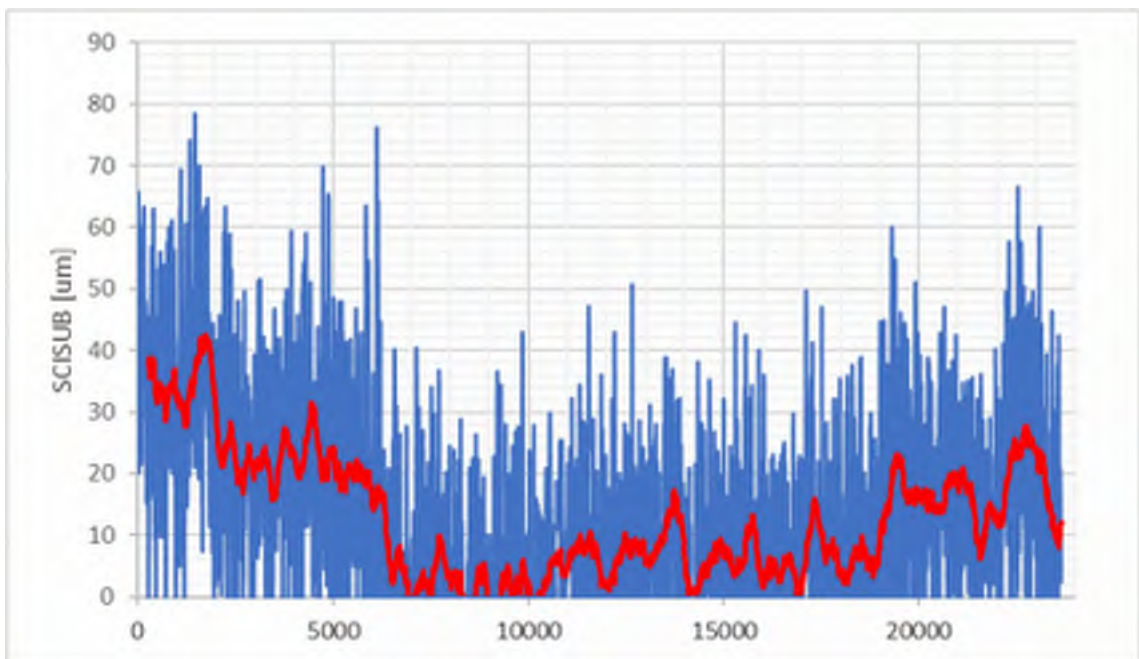
44, E4, Sävasta-Tpl Uppsala (188), (söder om)



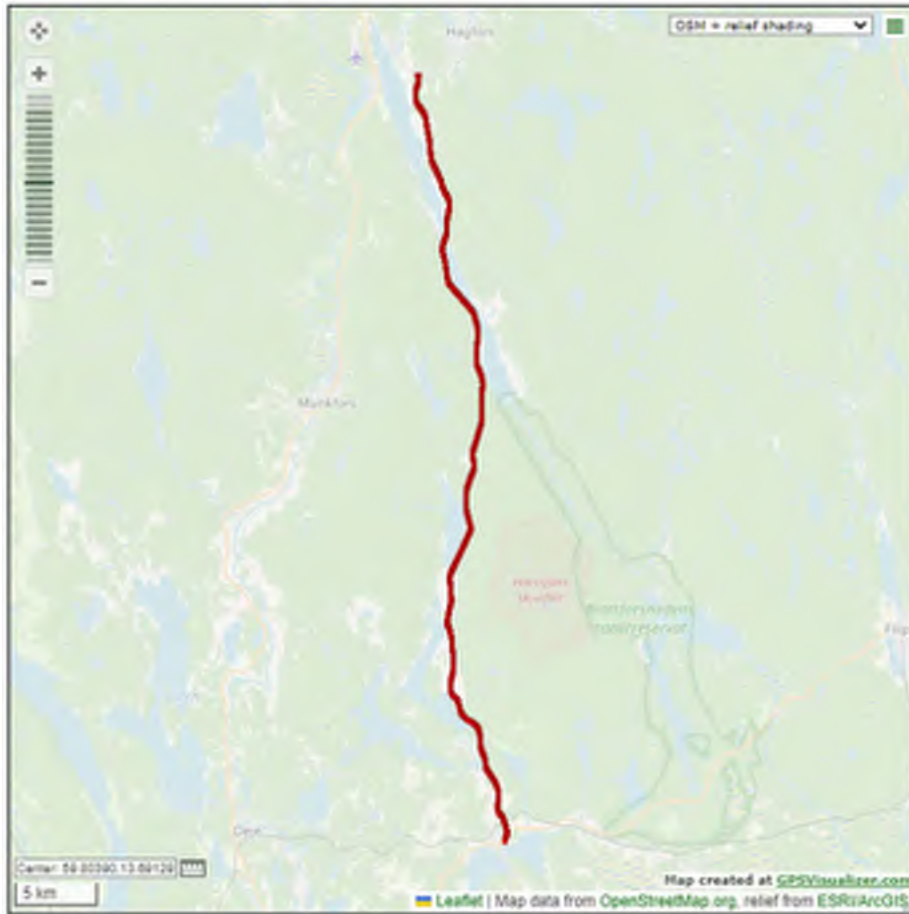
44, E4, Sävasta-Tpl Uppsala (188), (söder om)



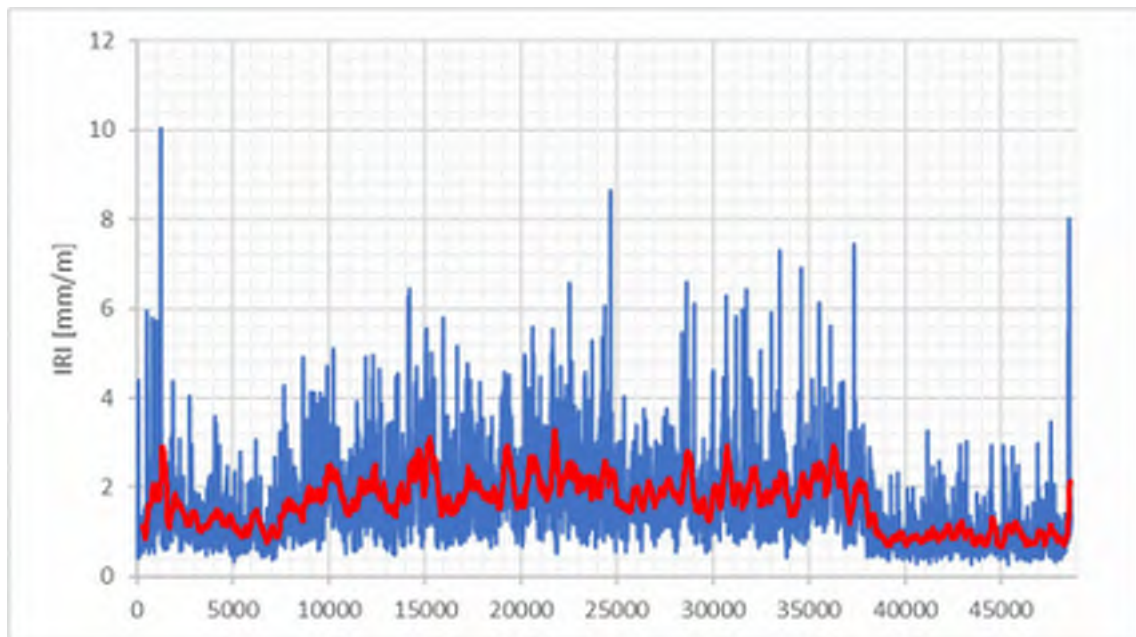
44, E4, Sävasta-Tpl Uppsala (188), (söder om)



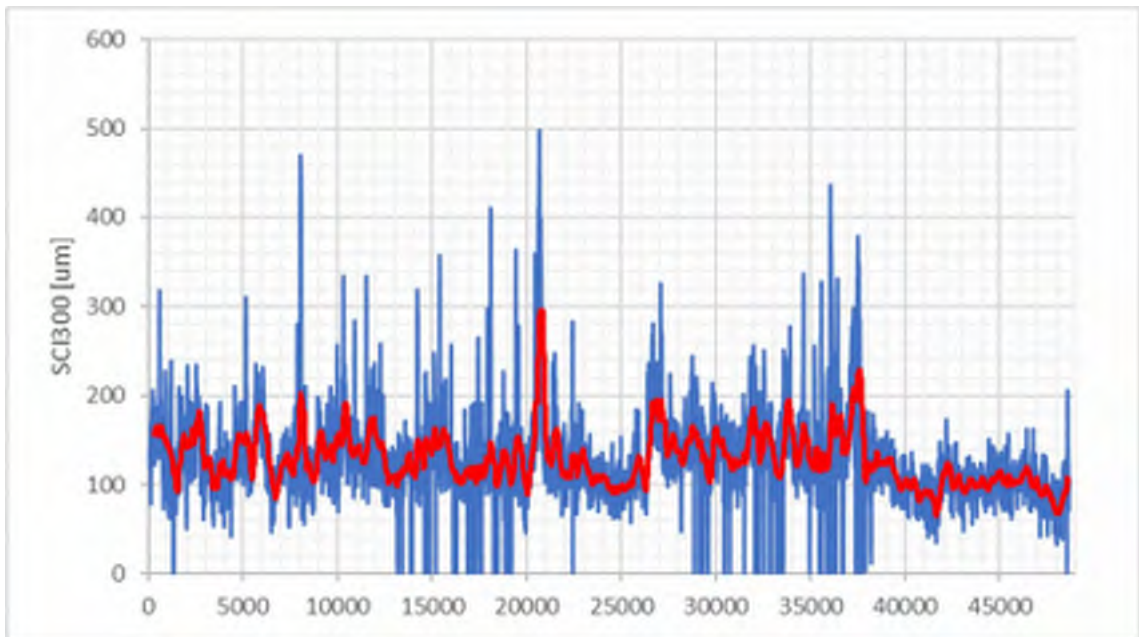
44, E4, Sävasta-Tpl Uppsala (188), (söder om)



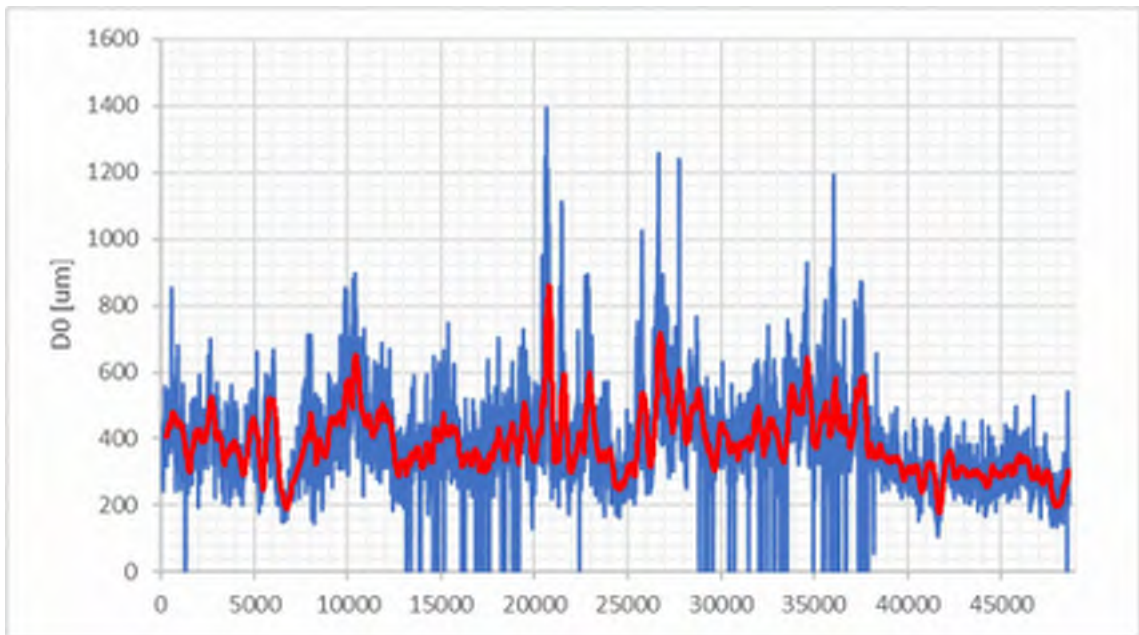
45, 240, Molkom-Hagfors



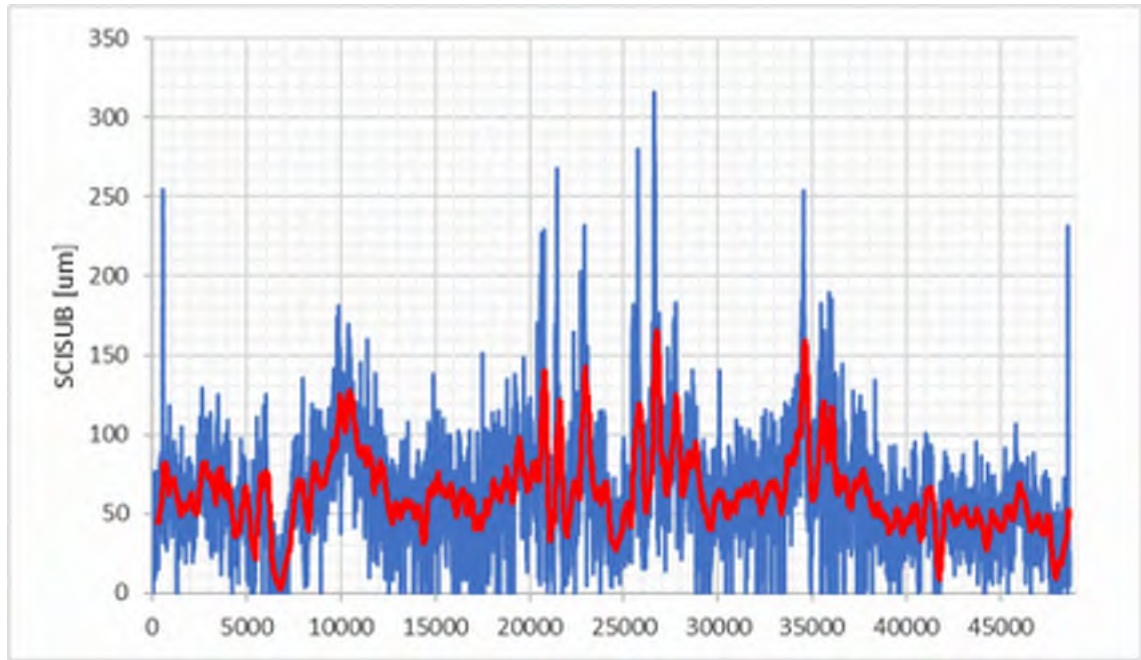
45, 240, Molkom-Hagfors



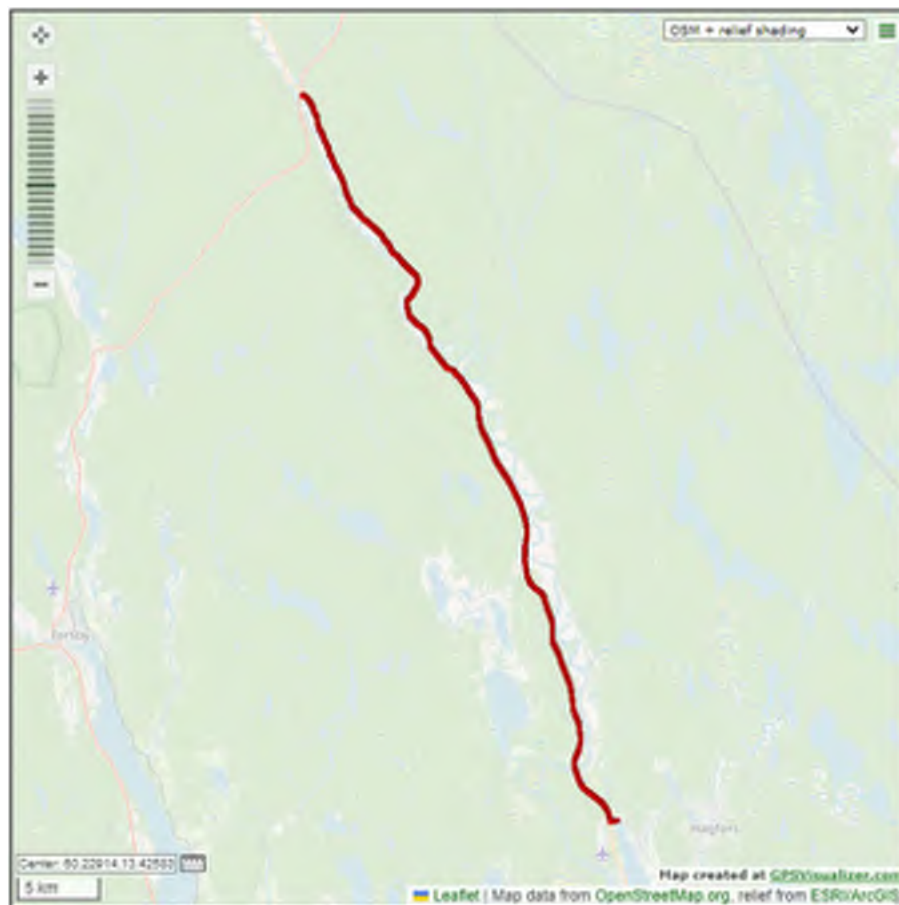
45, 240, Molkom-Hagfors



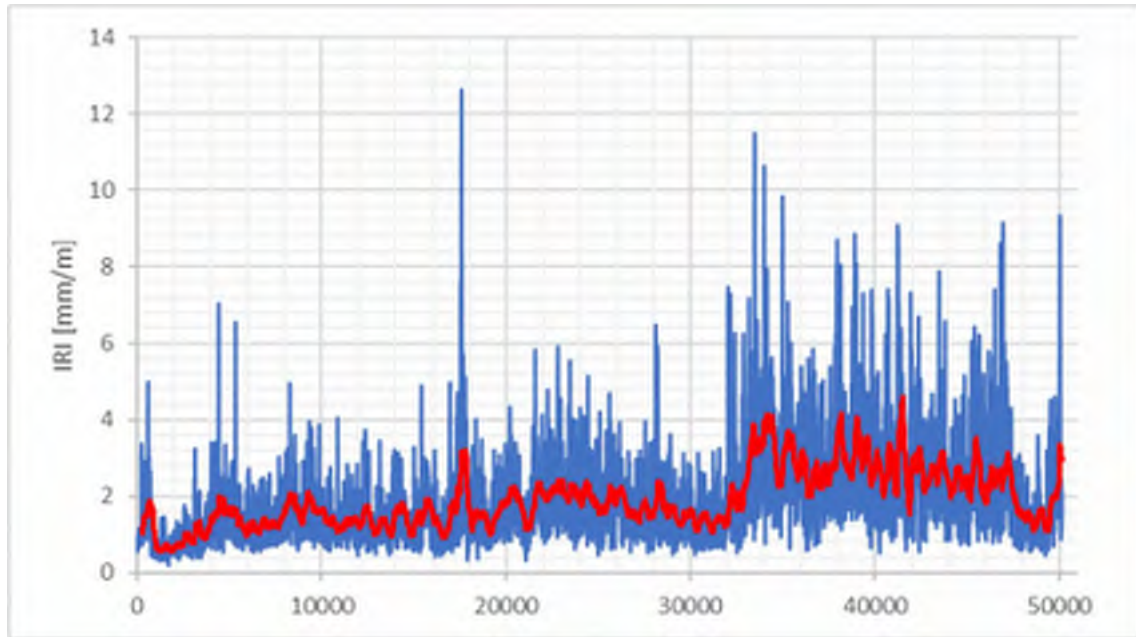
45, 240, Molkom-Hagfors



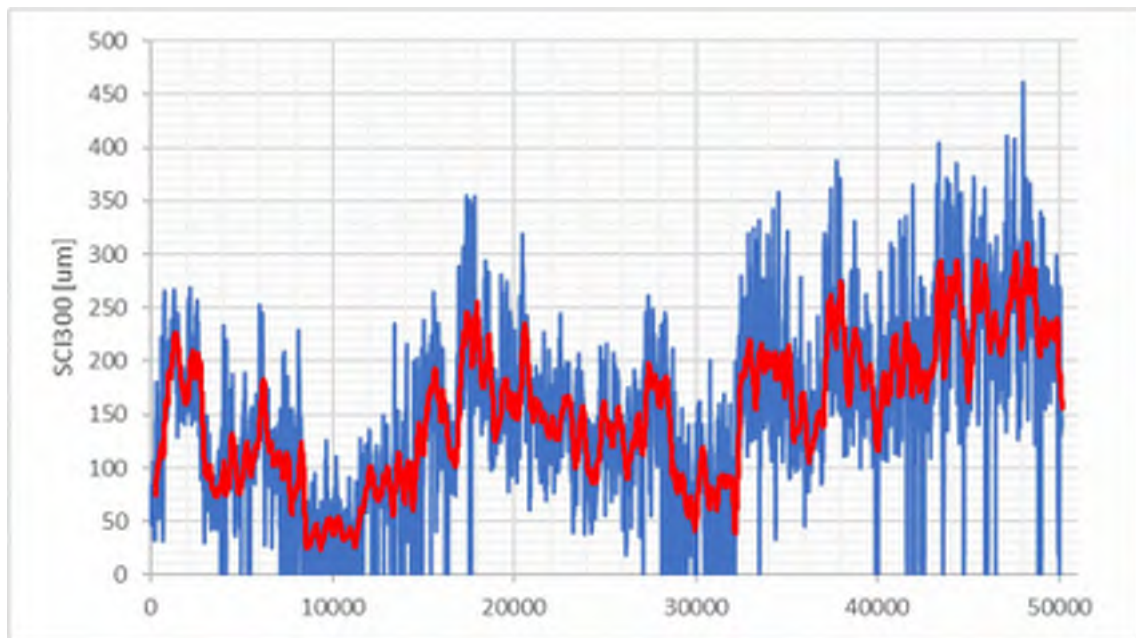
45, 240, Molkom-Hagfors



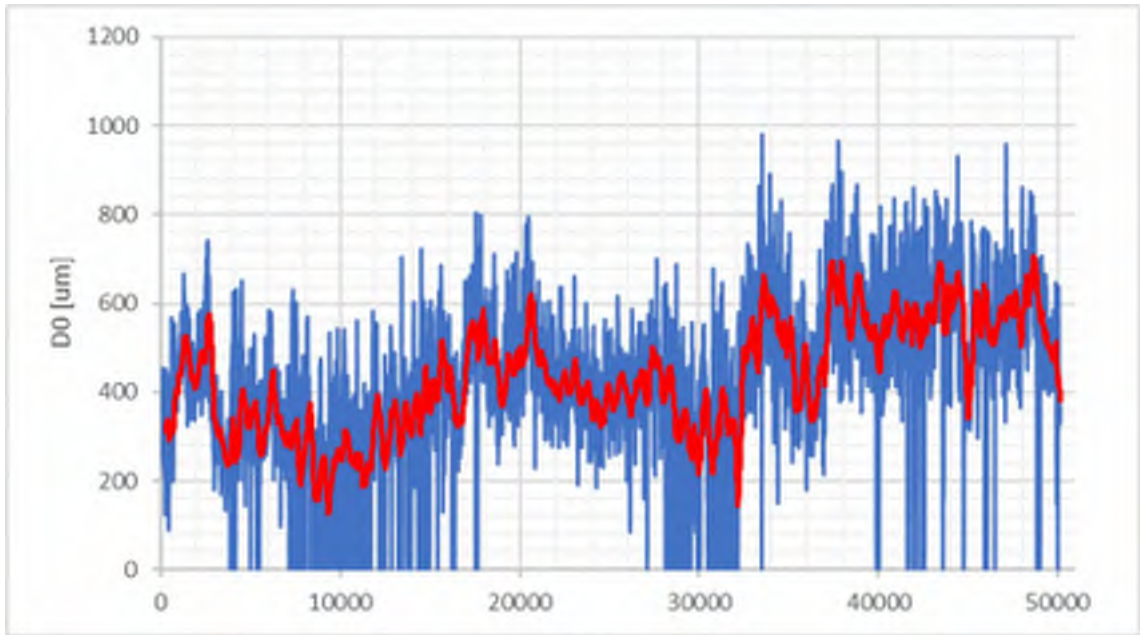
46, Rv62, Hagfors-Björby



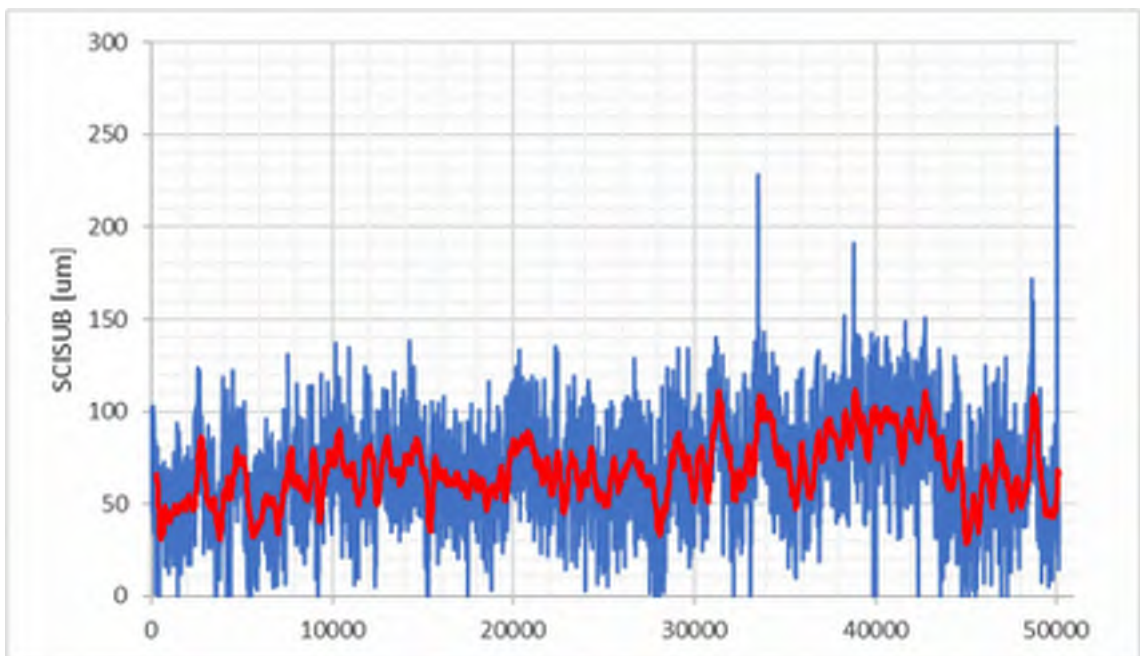
46, Rv62, Hagfors-Björby



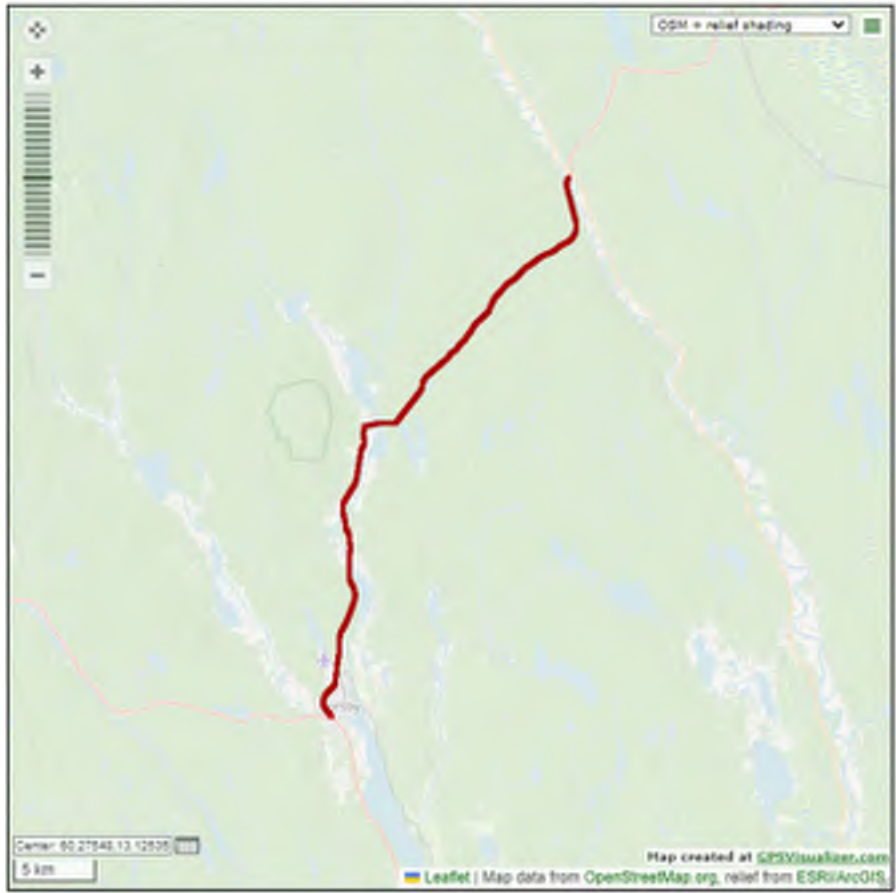
46, Rv62, Hagfors-Björby



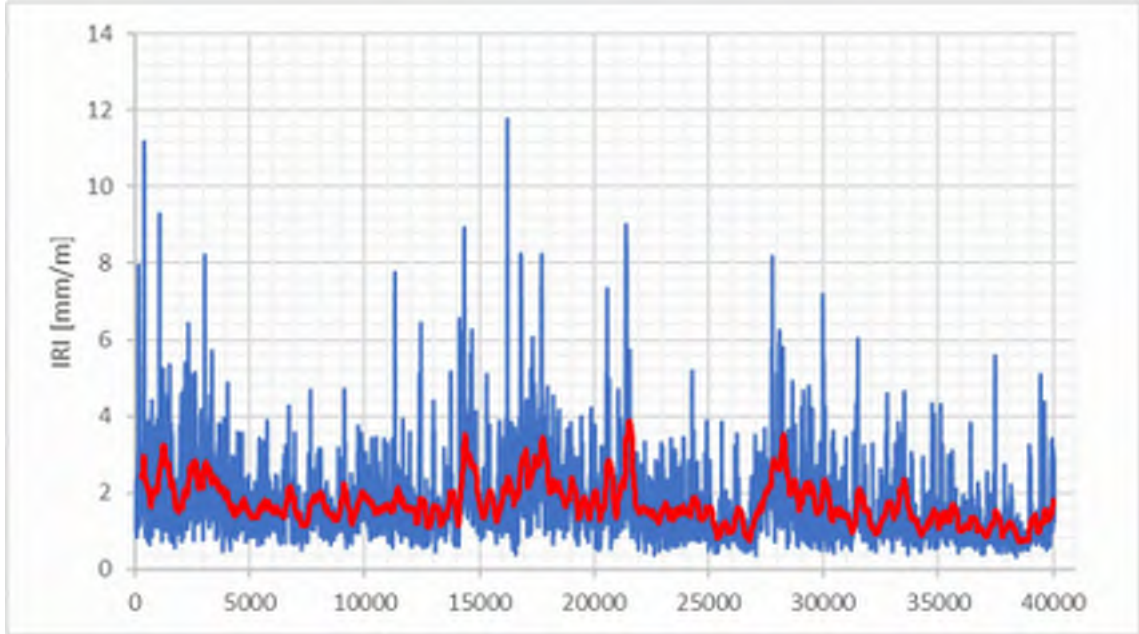
46, Rv62, Hagfors-Björby



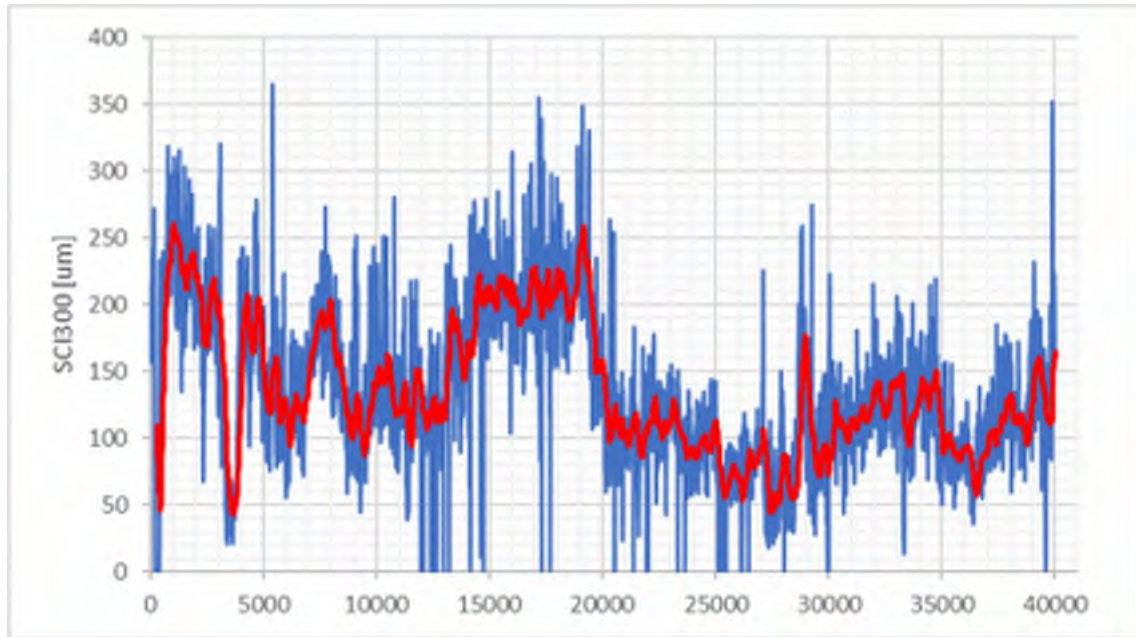
46, Rv62, Hagfors-Björby



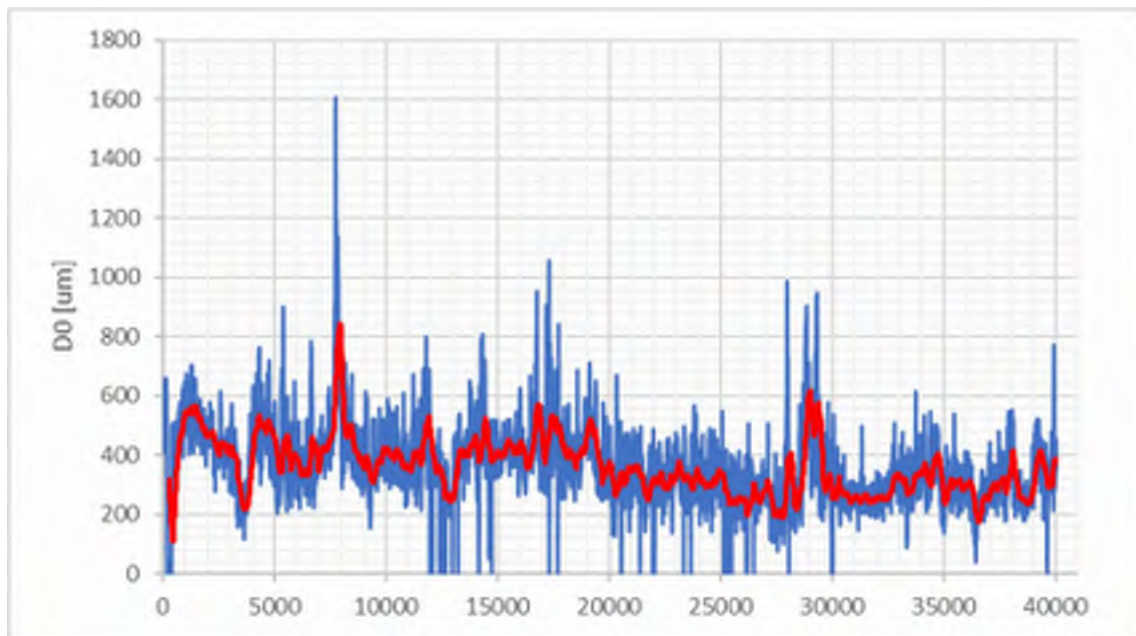
47, E45, Björby-Torsby



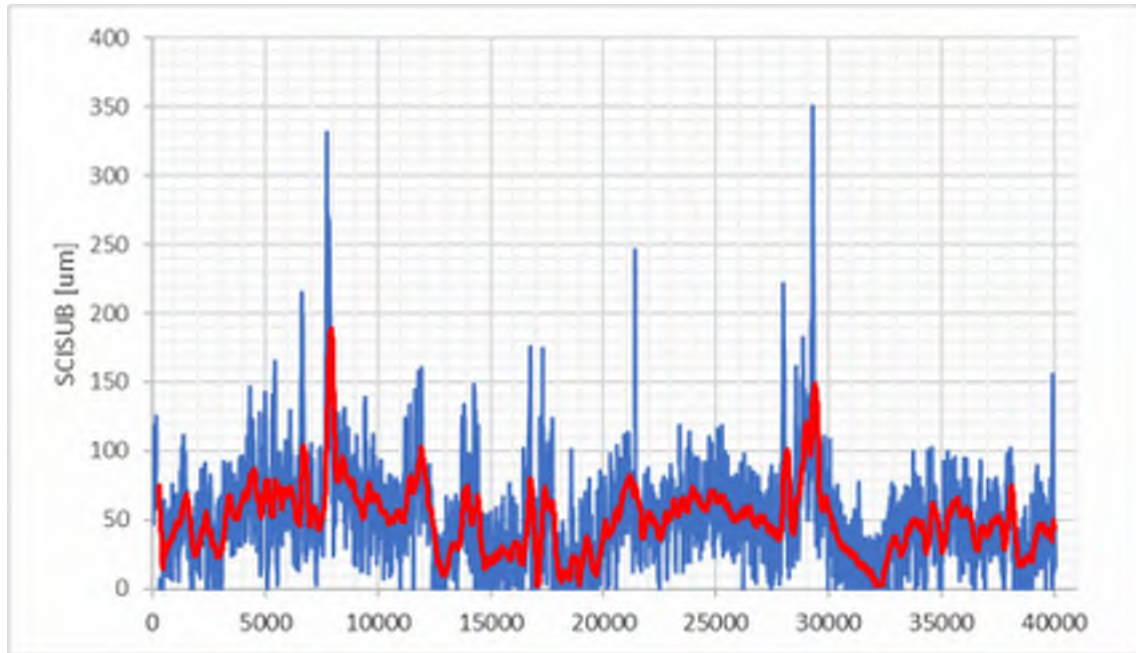
47, E45, Björby-Torsby



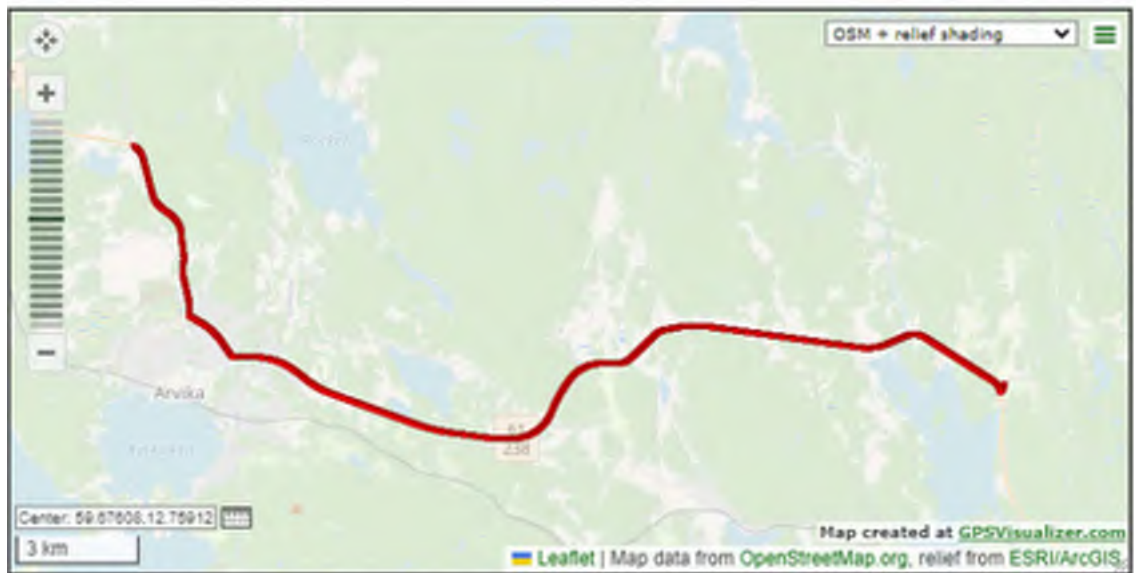
47, E45, Björby-Torsby



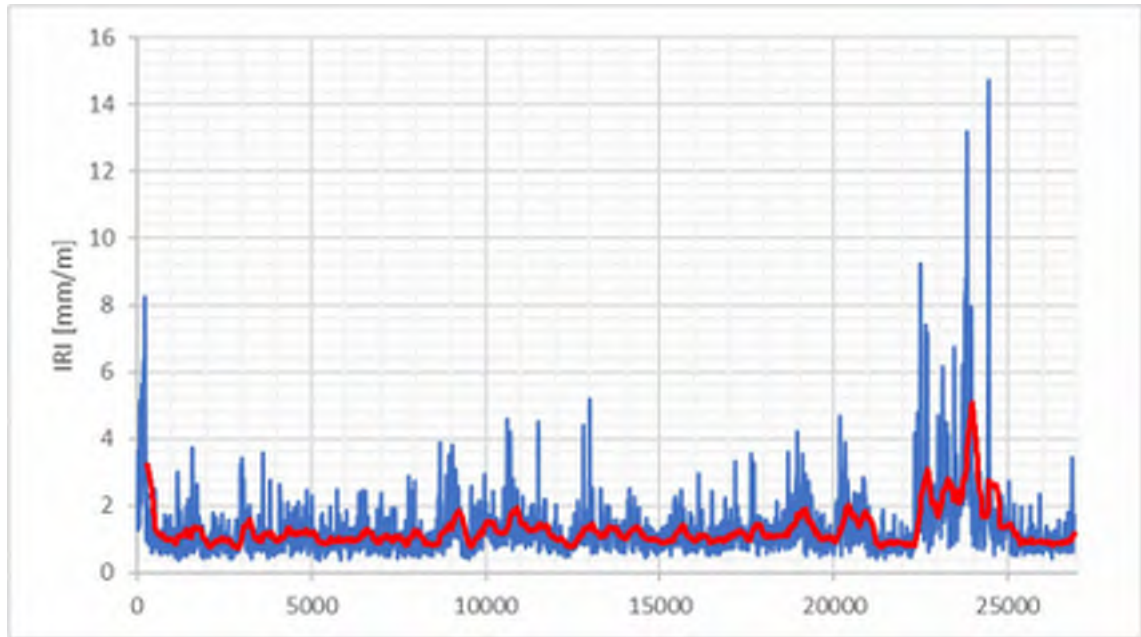
47, E45, Björby-Torsby



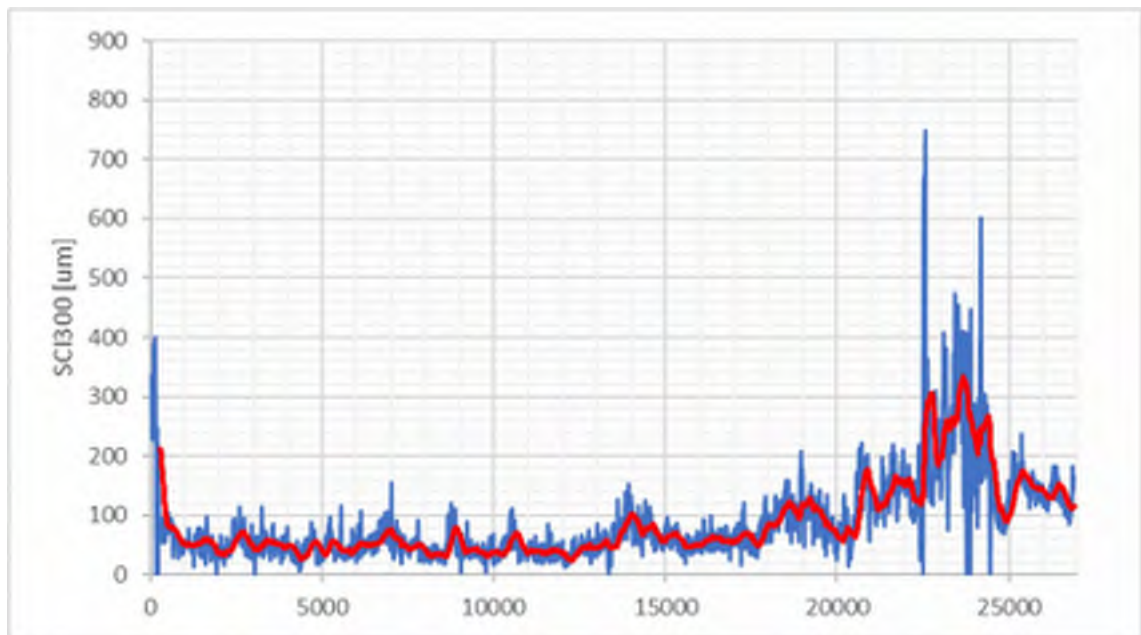
47, E45, Björby-Torsby



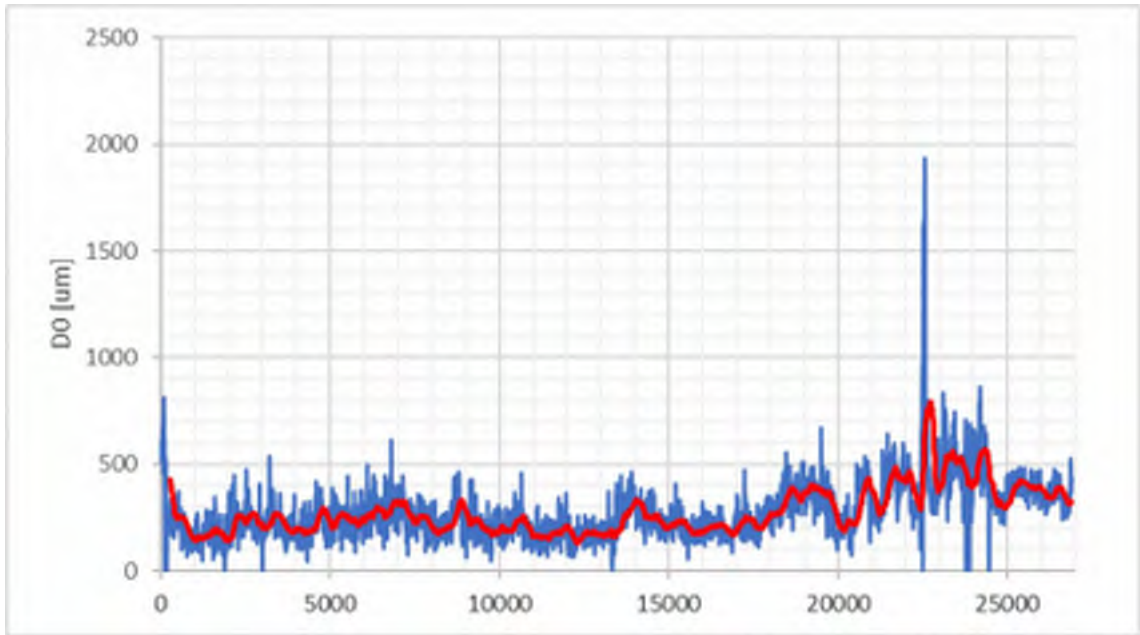
48, Rv61, Finnebäck-Arvika (norr om)



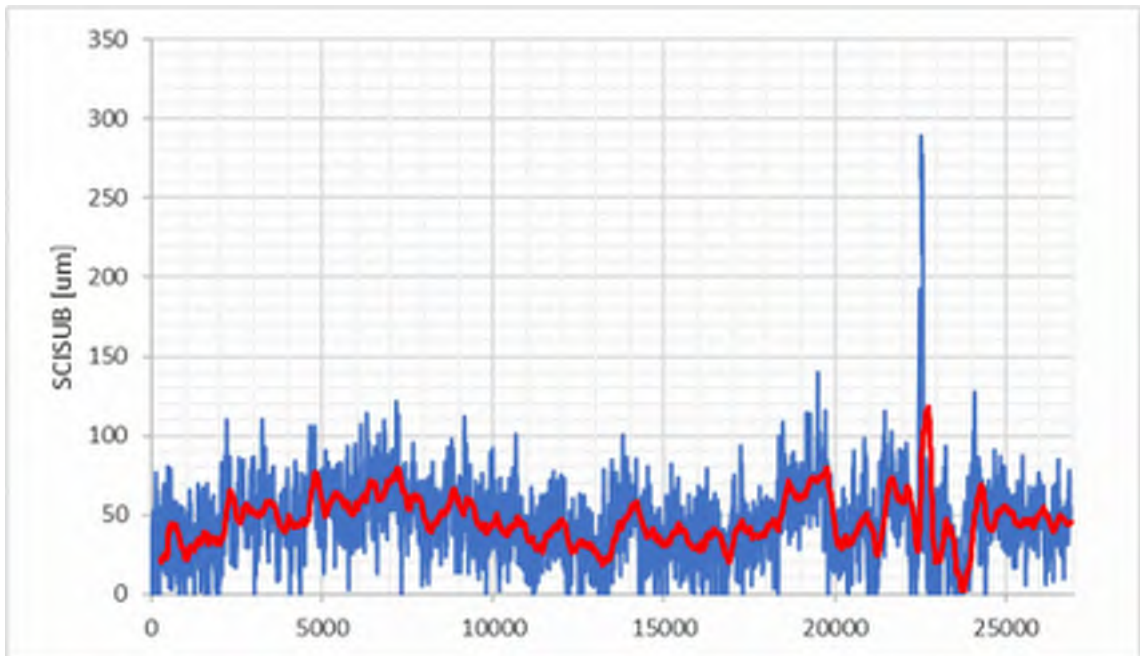
48, Rv61, Finnebäck-Arvika (norr om)



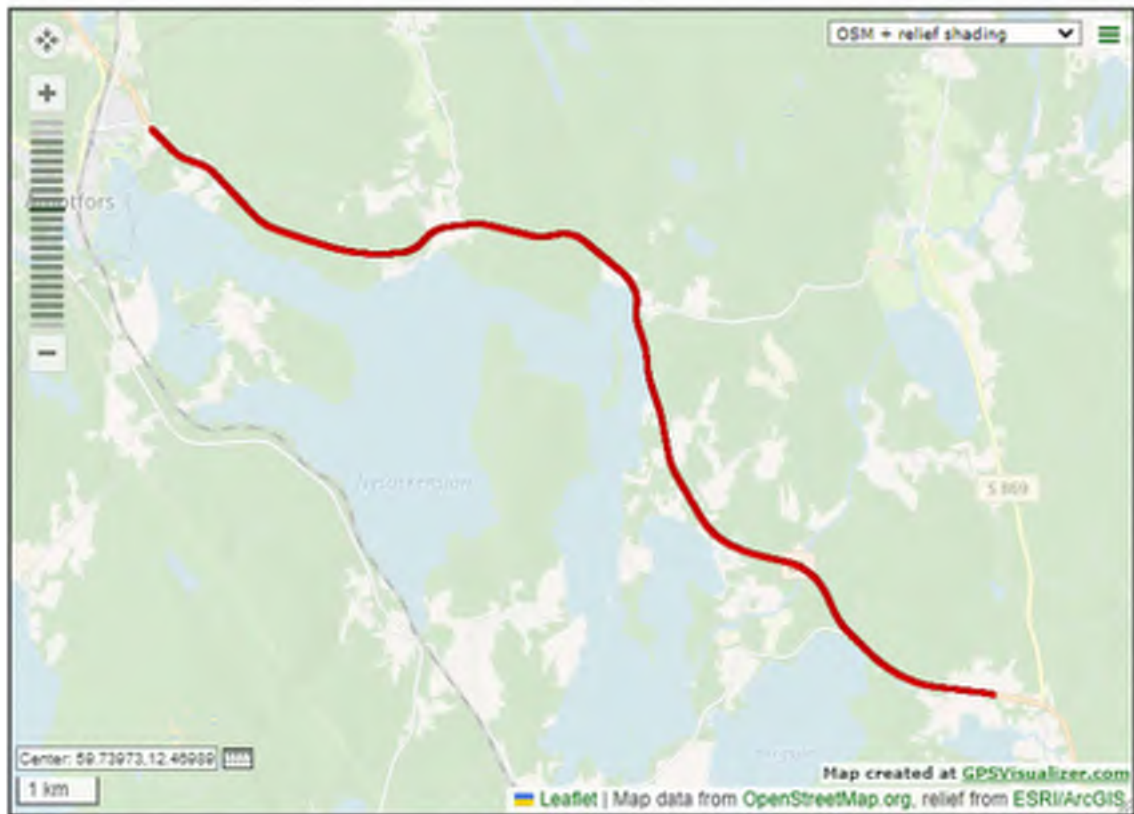
48, Rv61, Finnebäck-Arvika (norr om)



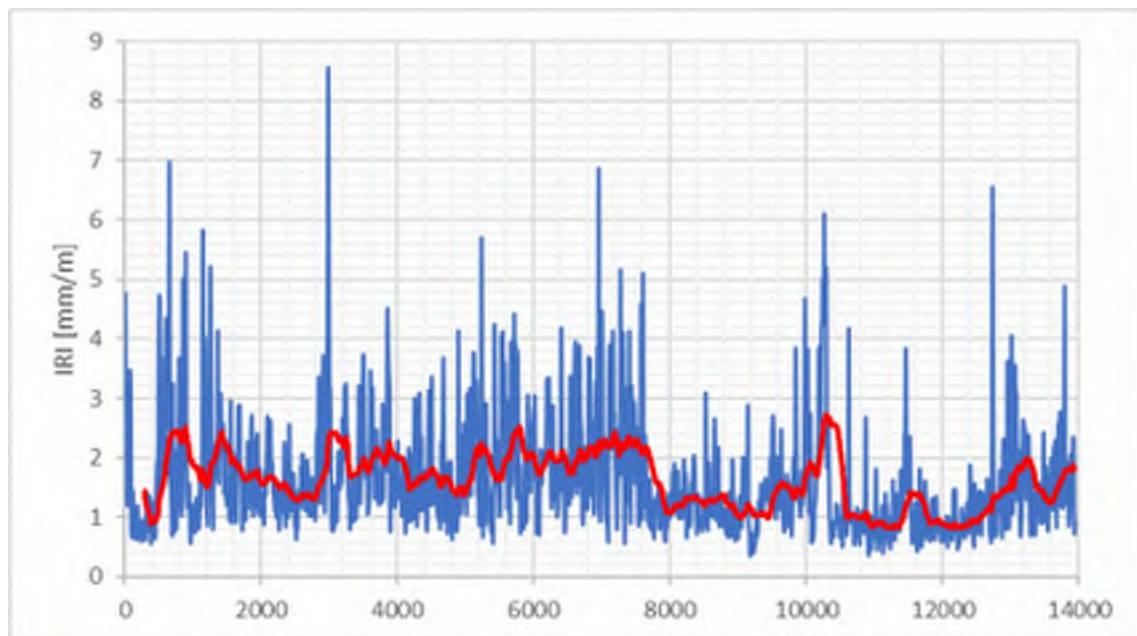
48, Rv61, Finnebäck-Arvika (norr om)



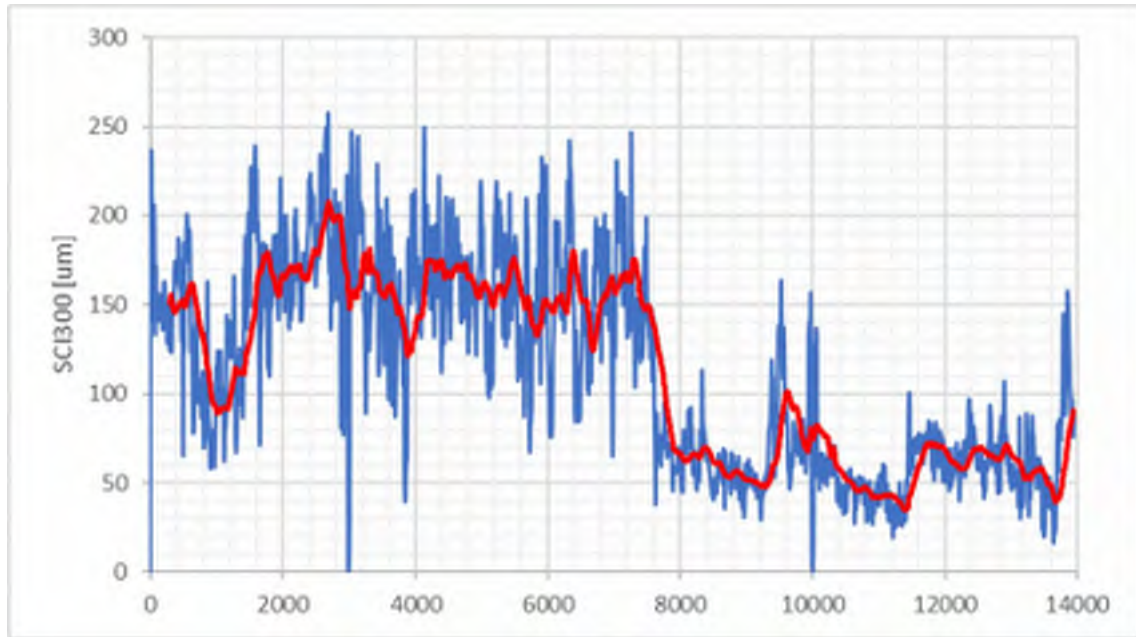
48, Rv61, Finnebäck-Arvika (norr om)



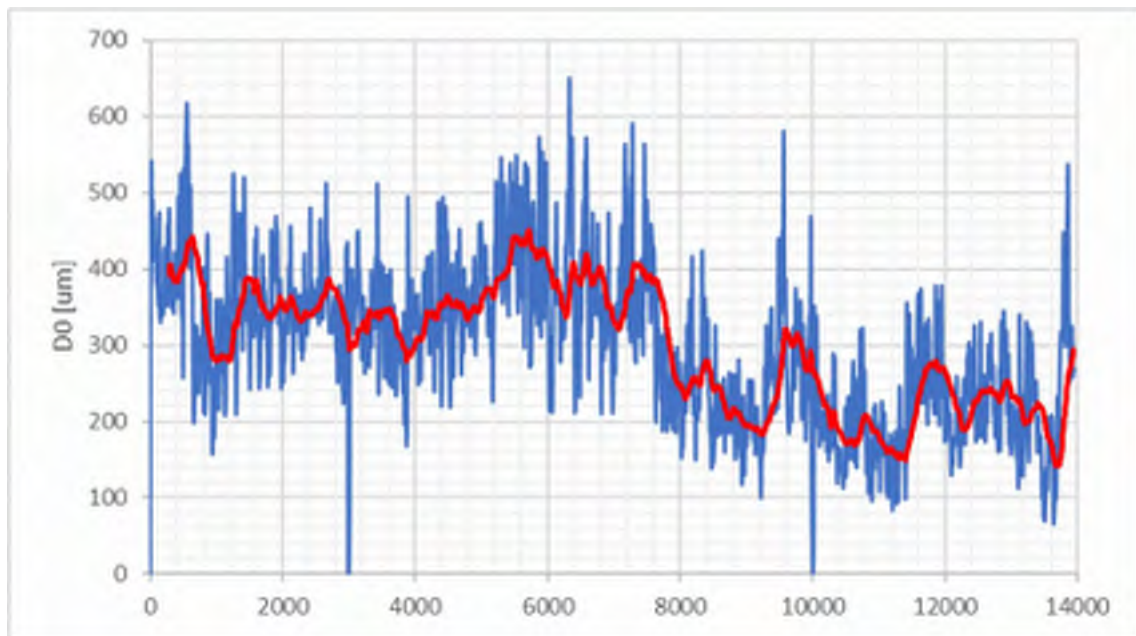
49, Rv61, Arvika (norr om)-Åtmosfors



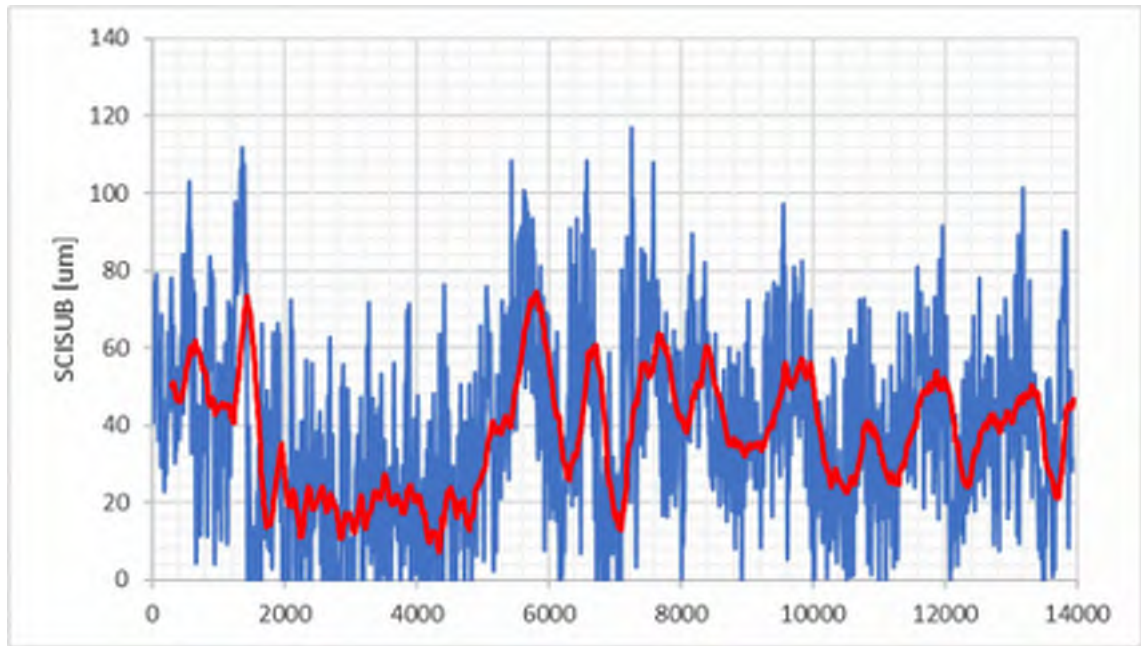
49, Rv61, Arvika (norr om)-Åtmosfors



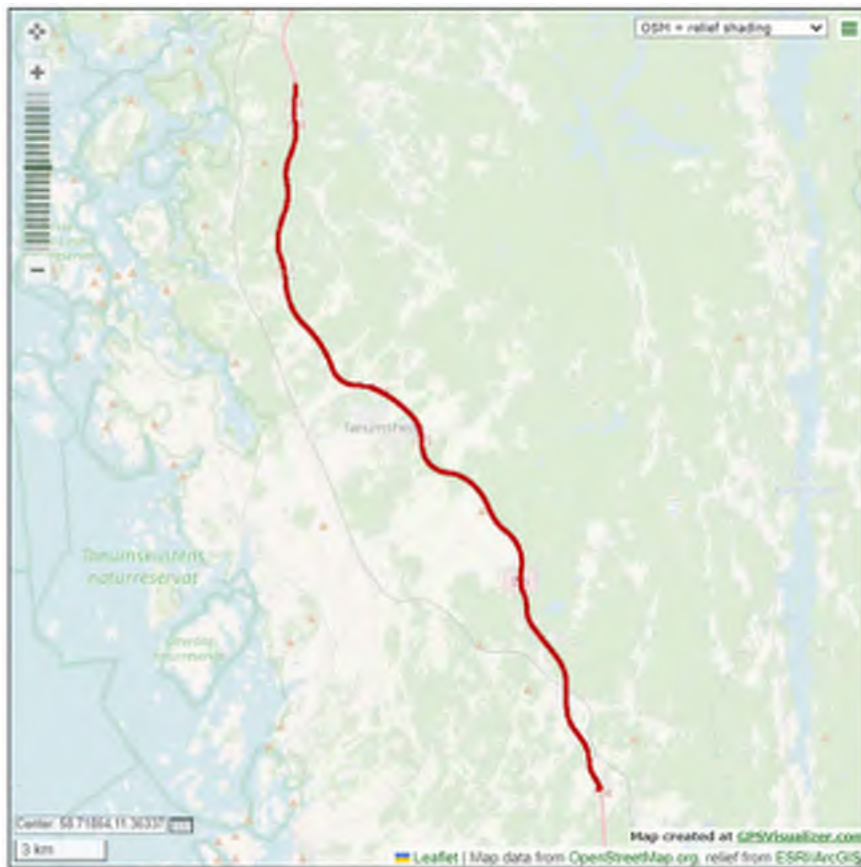
49, Rv61, Arvika (norr om)-Åtmosfors



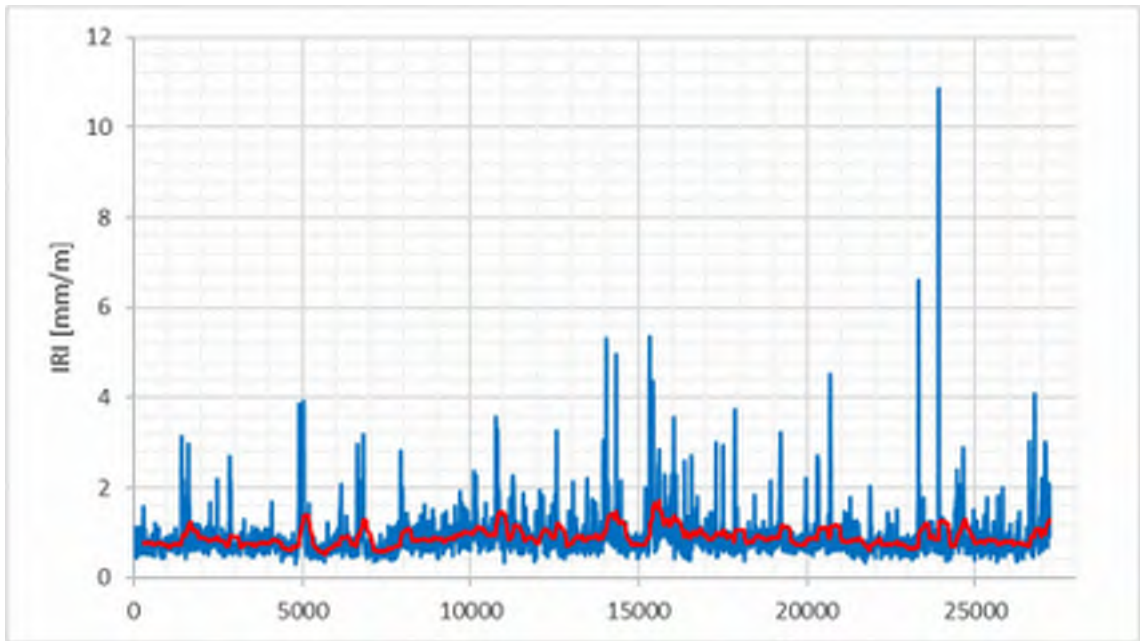
49, Rv61, Arvika (norr om)-Åtmosfors



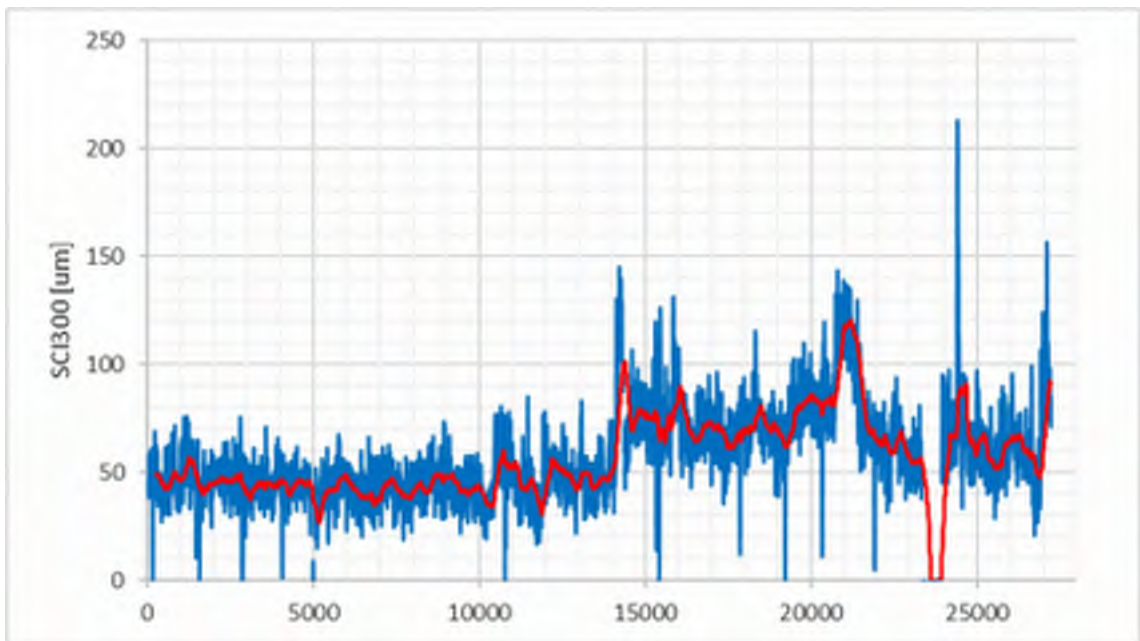
49, Rv61, Arvika (norr om)-Åtmosfors



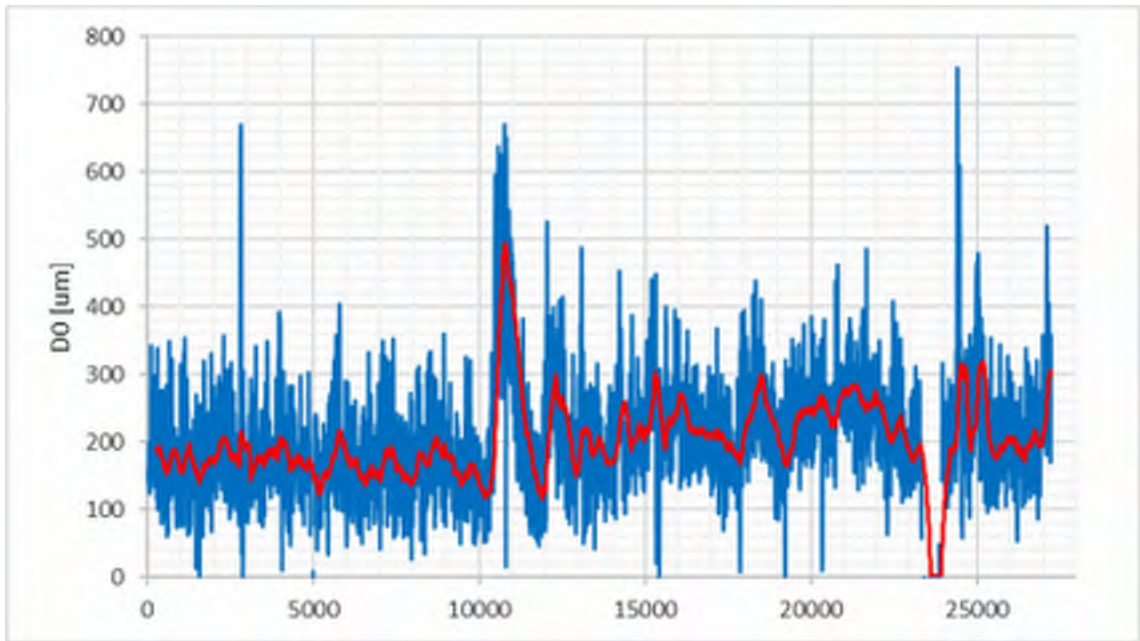
50, E6, Tanumshede (S)



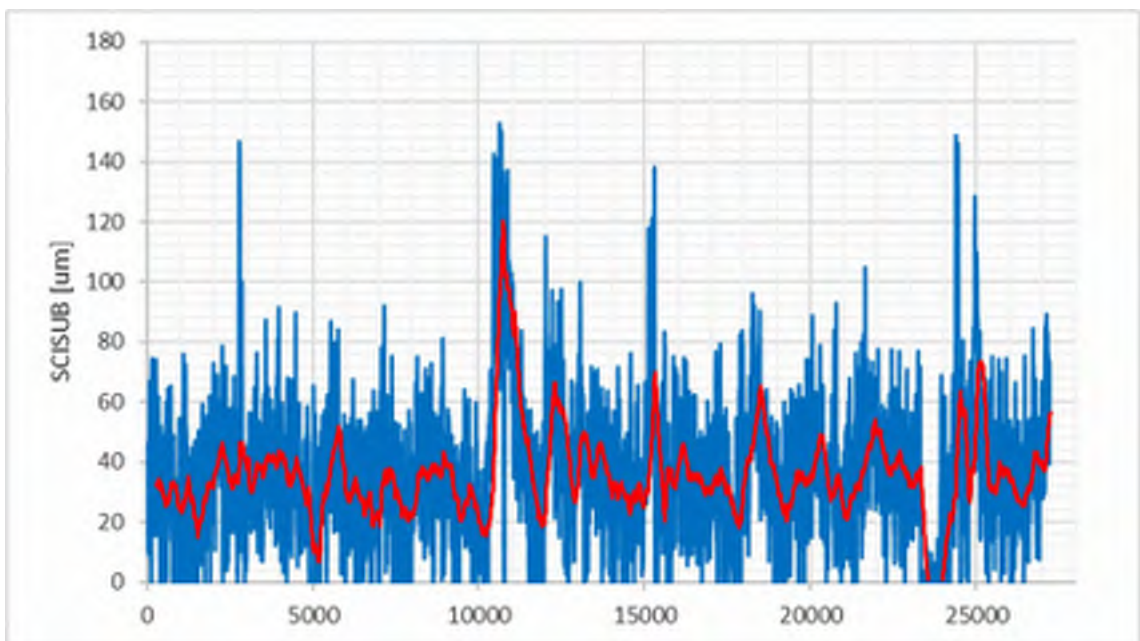
50, E6, Tanumshede (S)



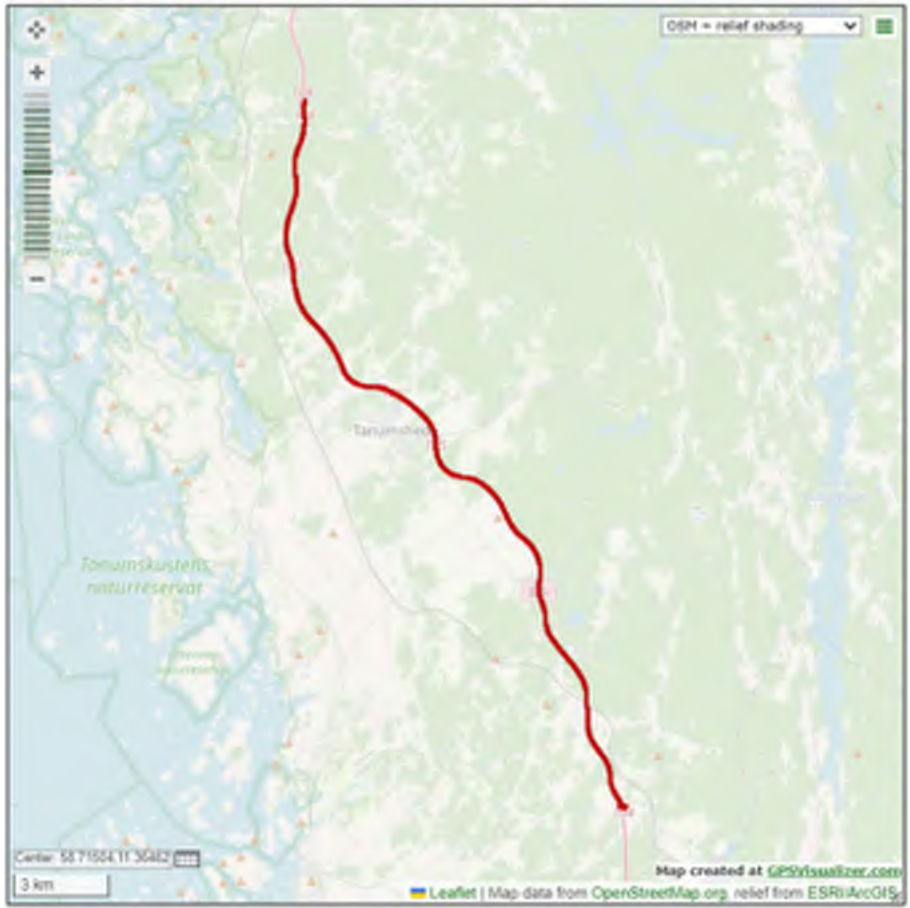
50, E6, Tanumshede (S)



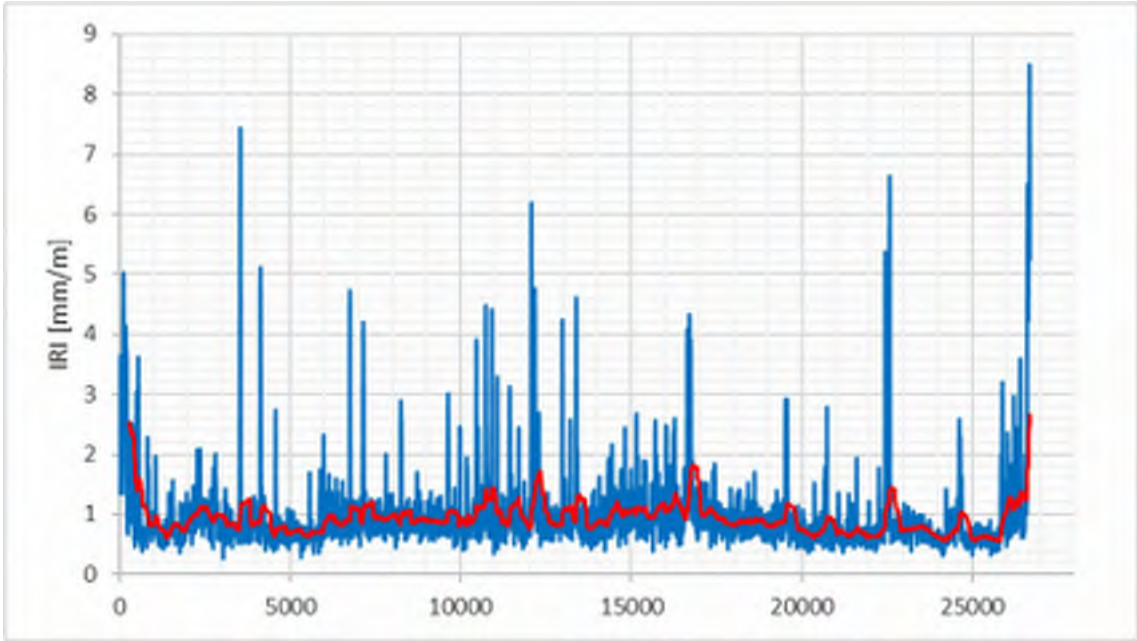
50, E6, Tanumshede (S)



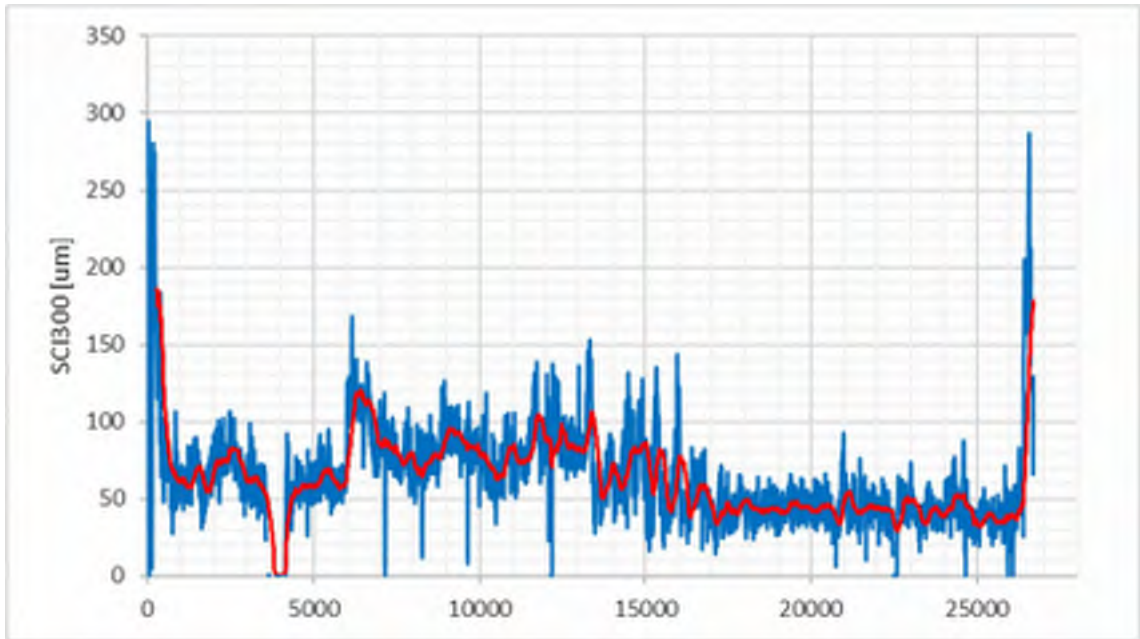
50, E6, Tanumshede (S)



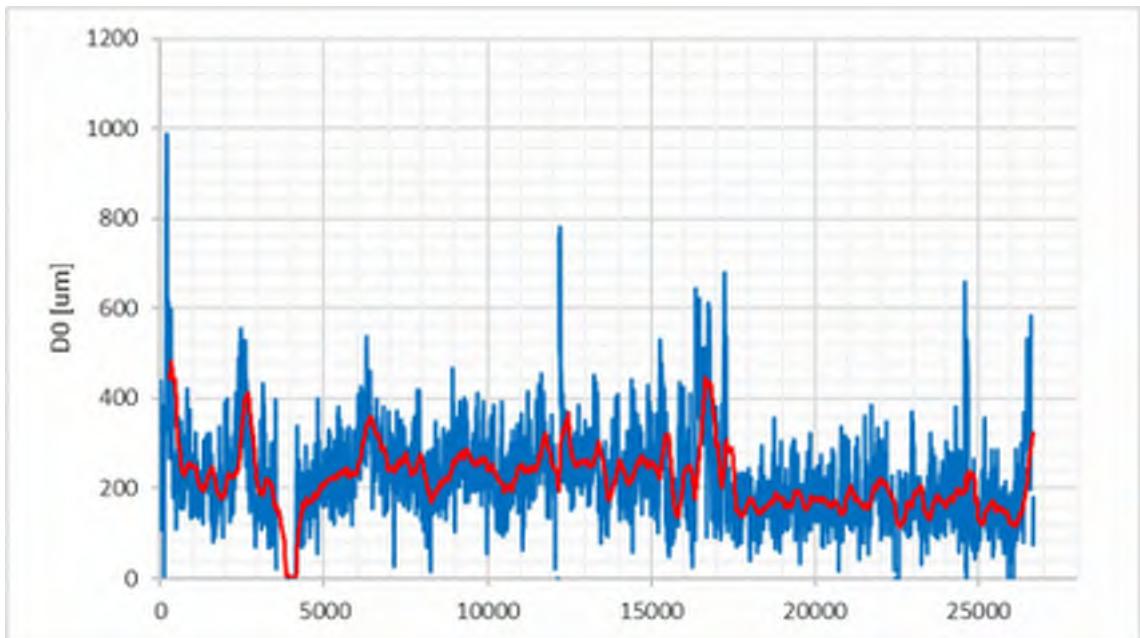
51, E6, Tanumshede (N)



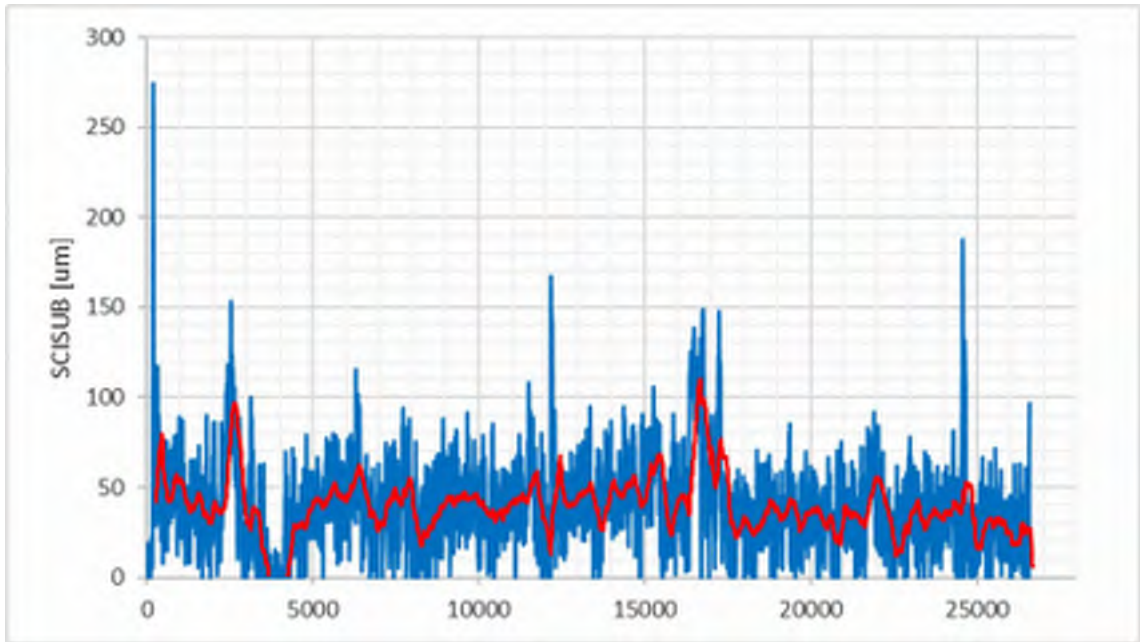
51, E6, Tanumshede (N)



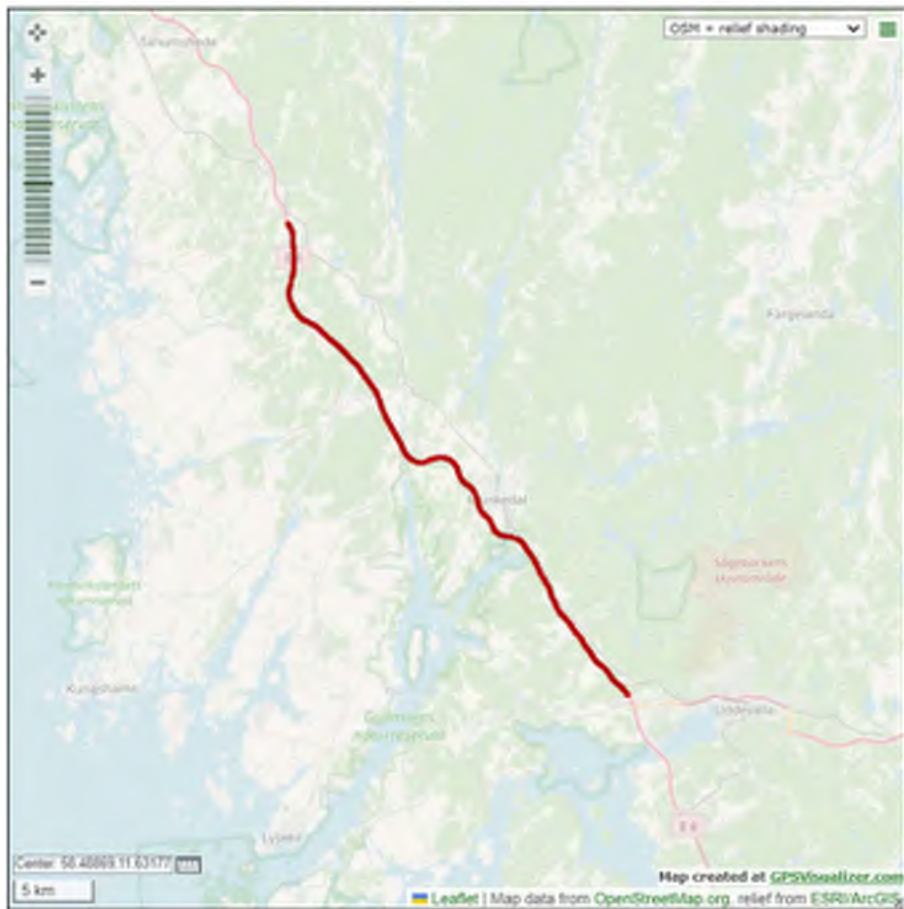
51, E6, Tanumshede (N)



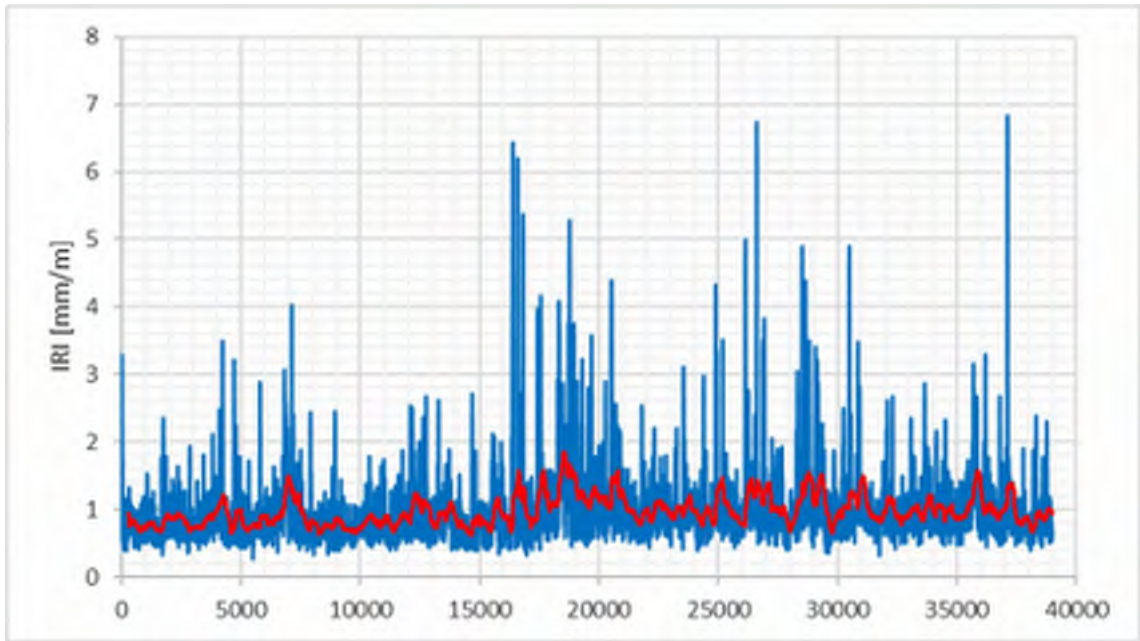
51, E6, Tanumshede (N)



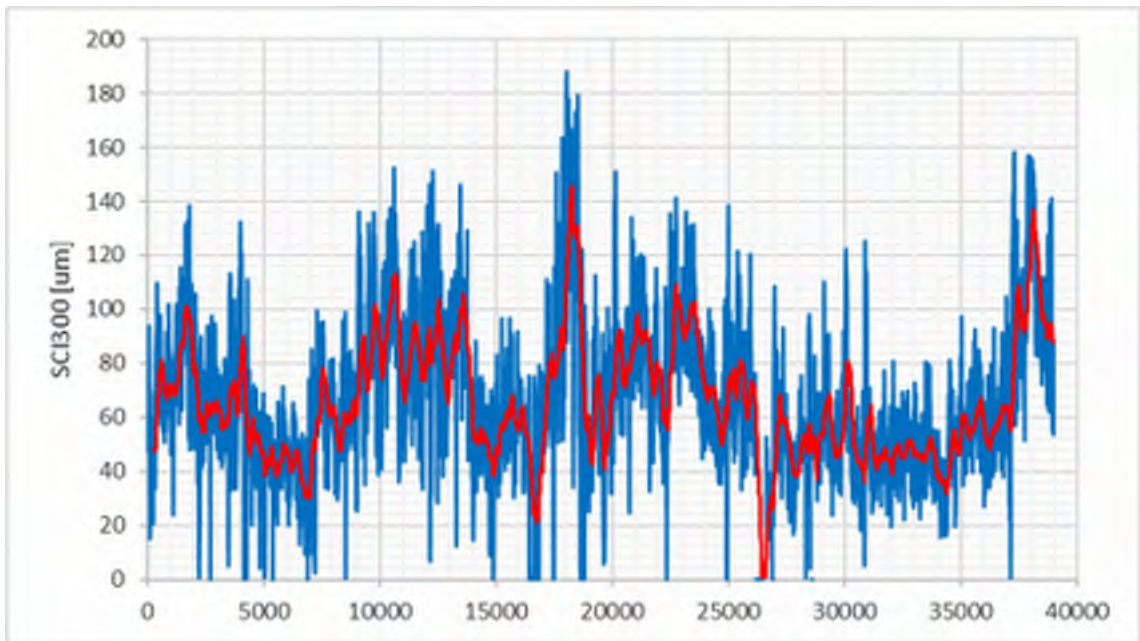
51, E6, Tanumshede (N)



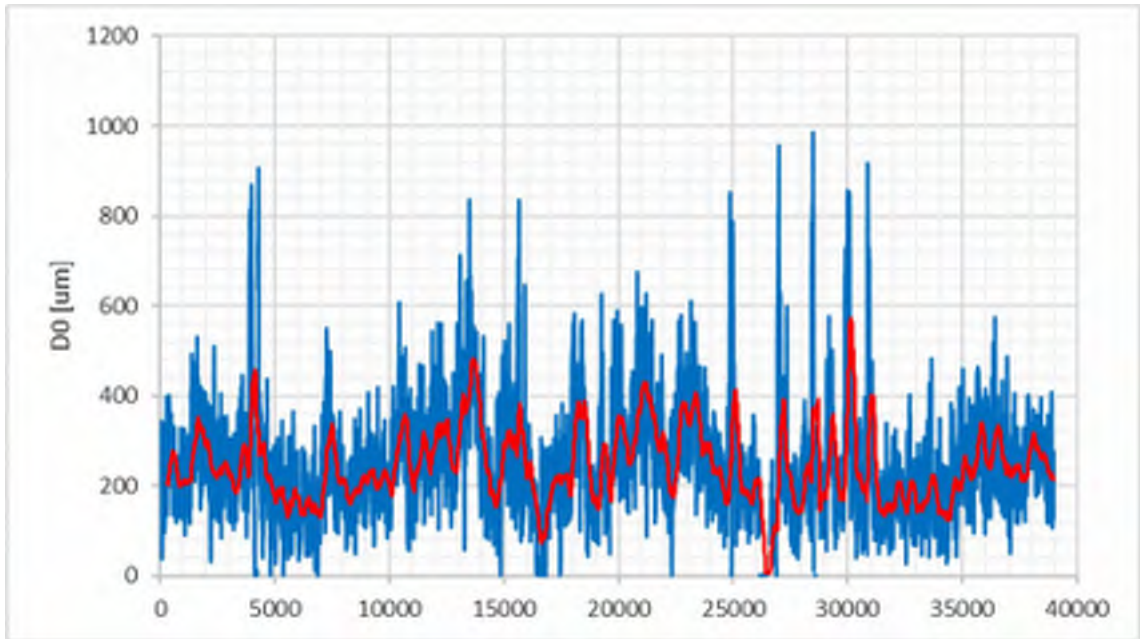
52, E6, Munkedal (S)



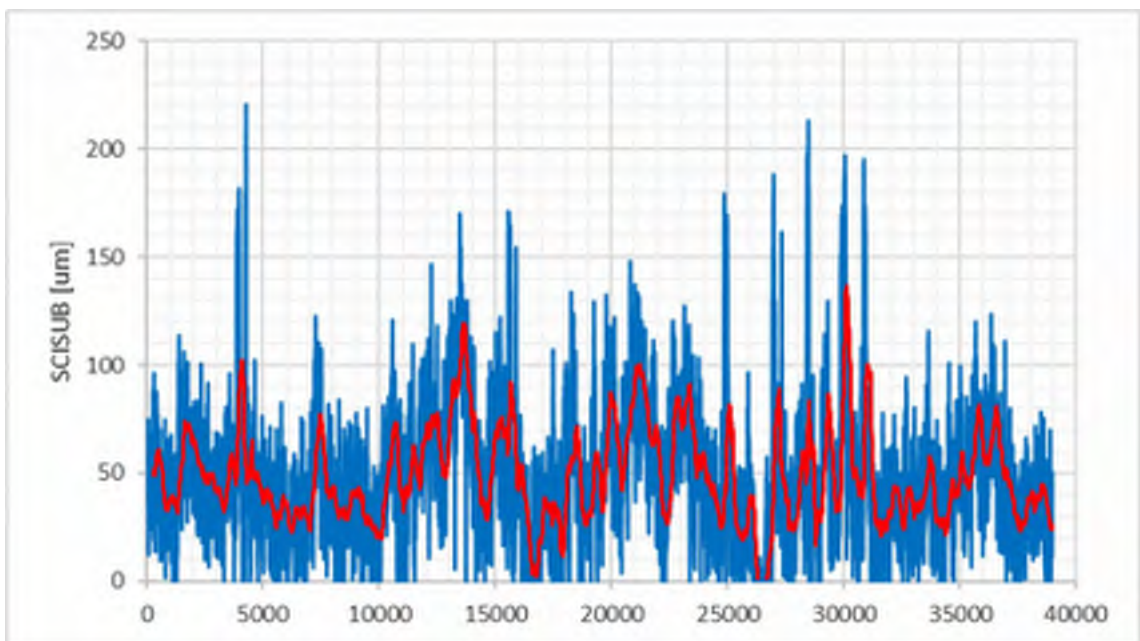
52, E6, Munkedal (S)



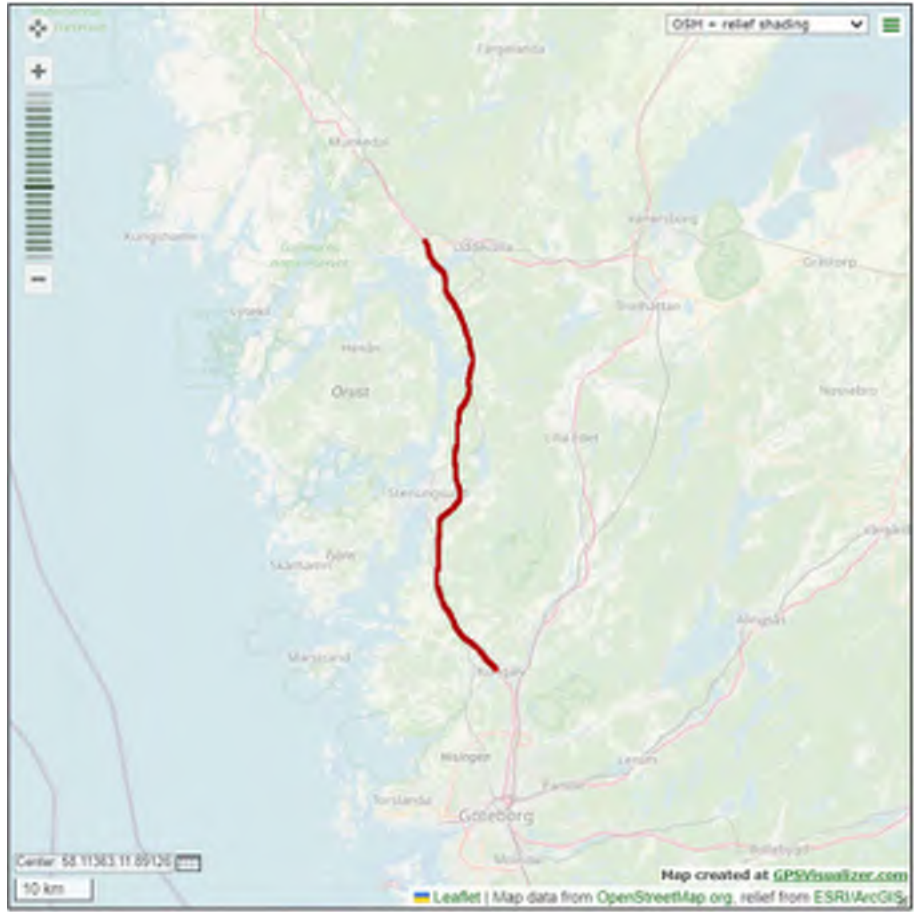
52, E6, Munkedal (S)



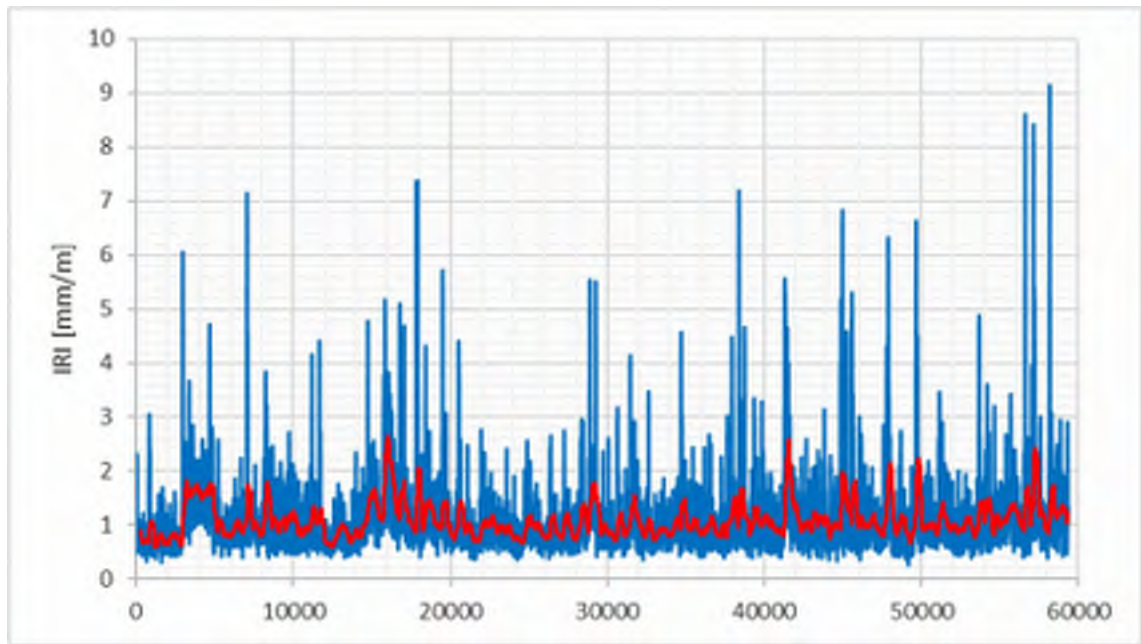
52, E6, Munkedal (S)



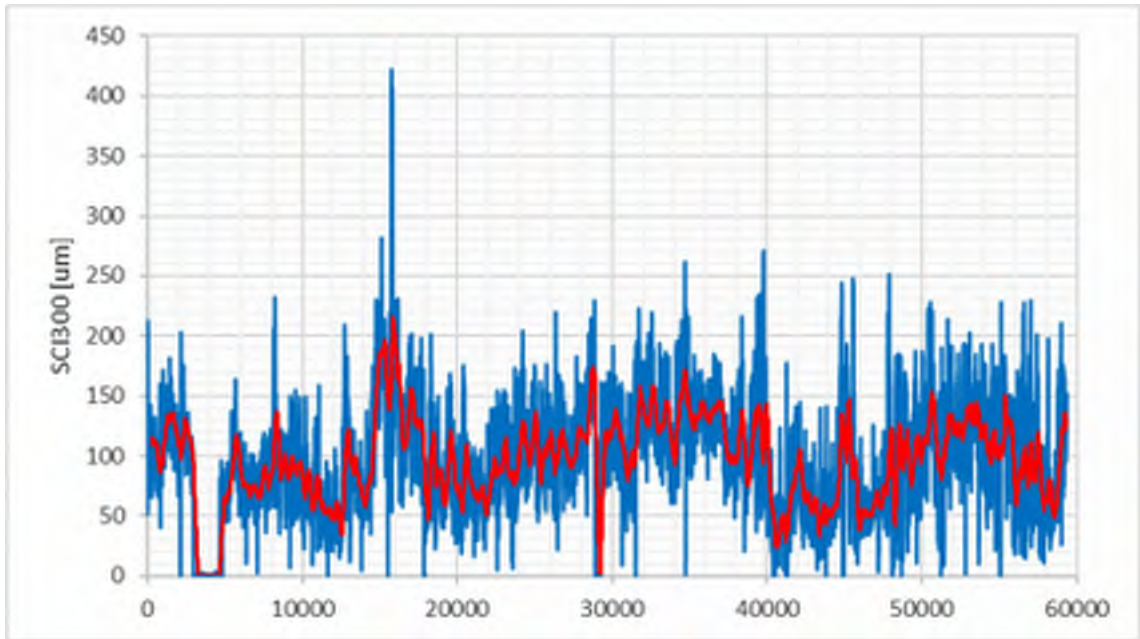
52, E6, Munkedal (S)



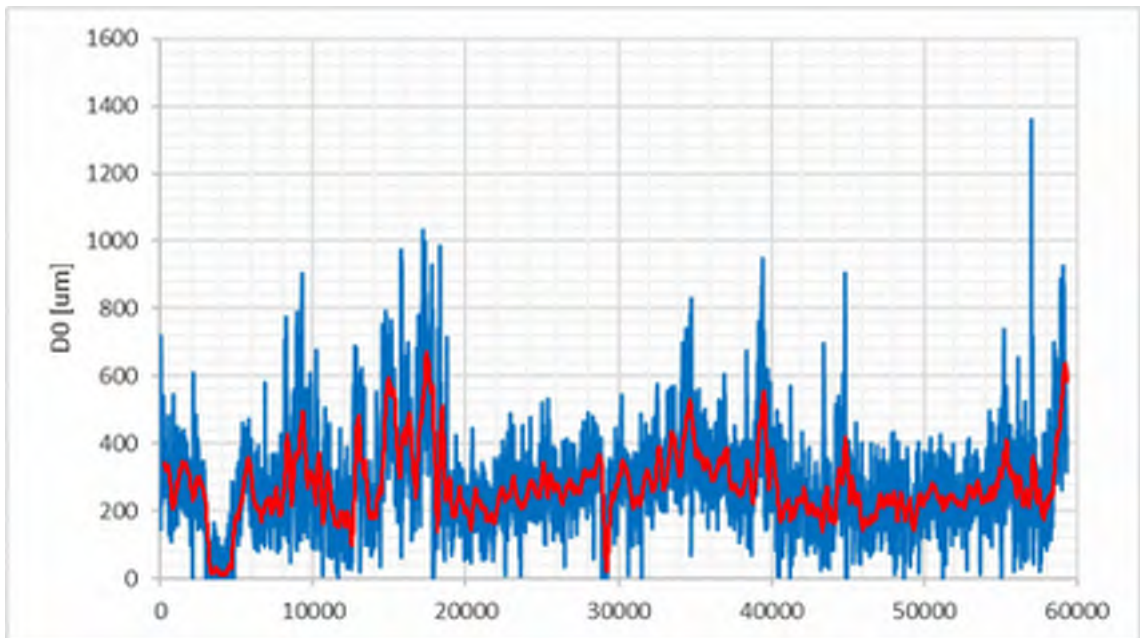
53, E6, Stenungsund (S)



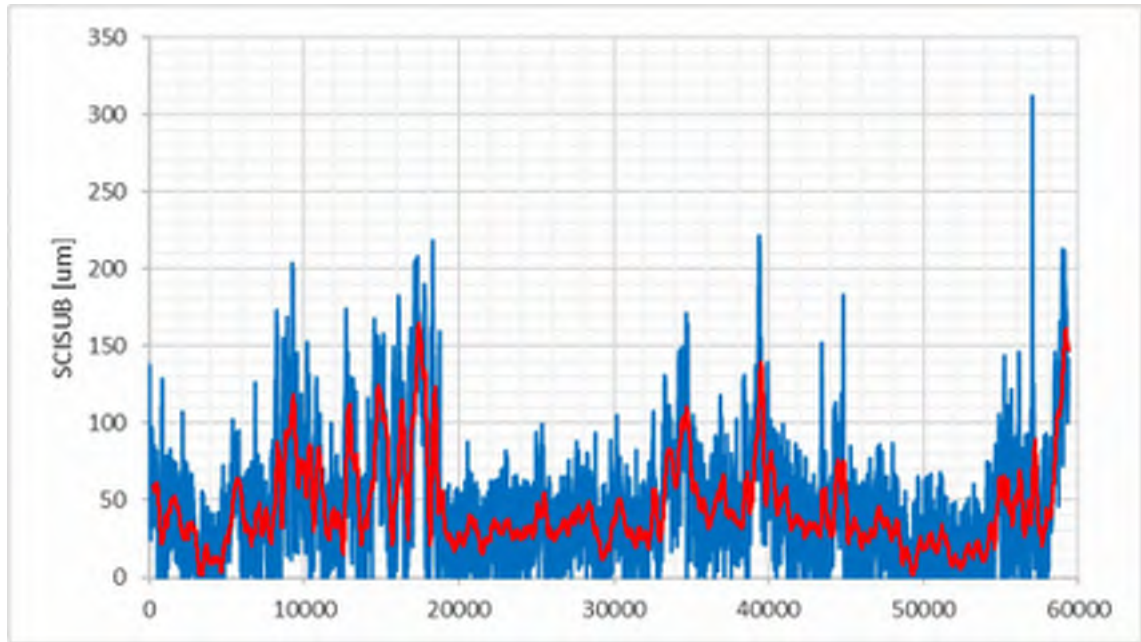
53, E6, Stenungsund (S)



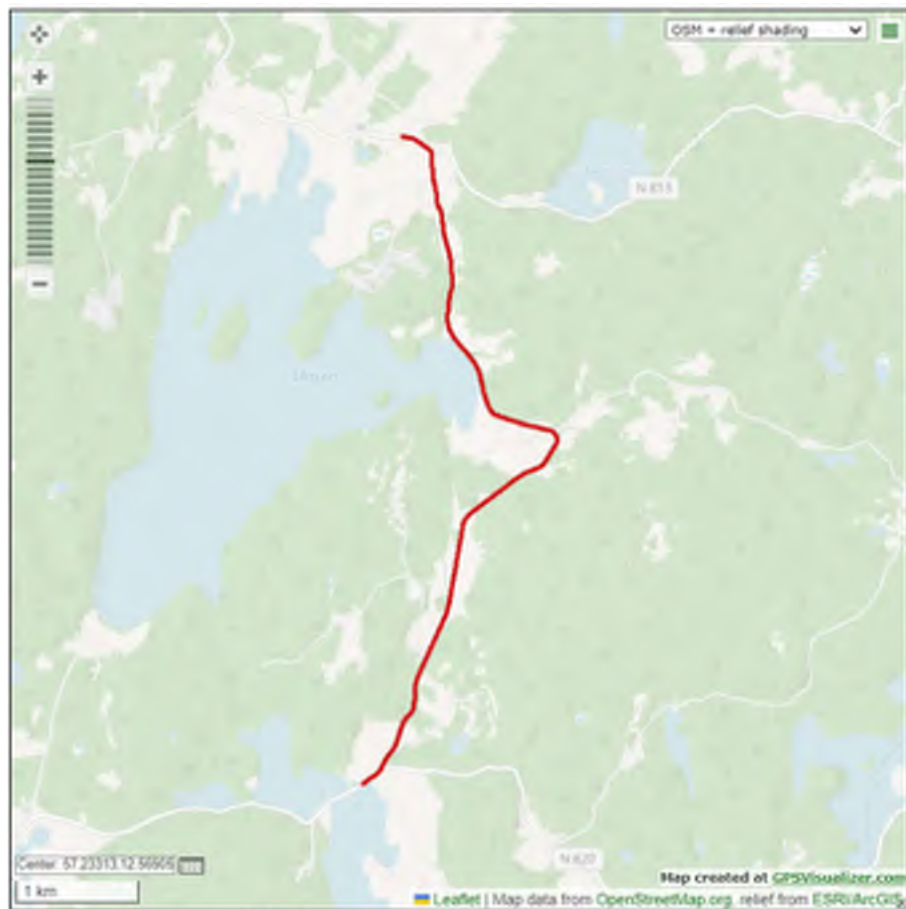
53, E6, Stenungsund (S)



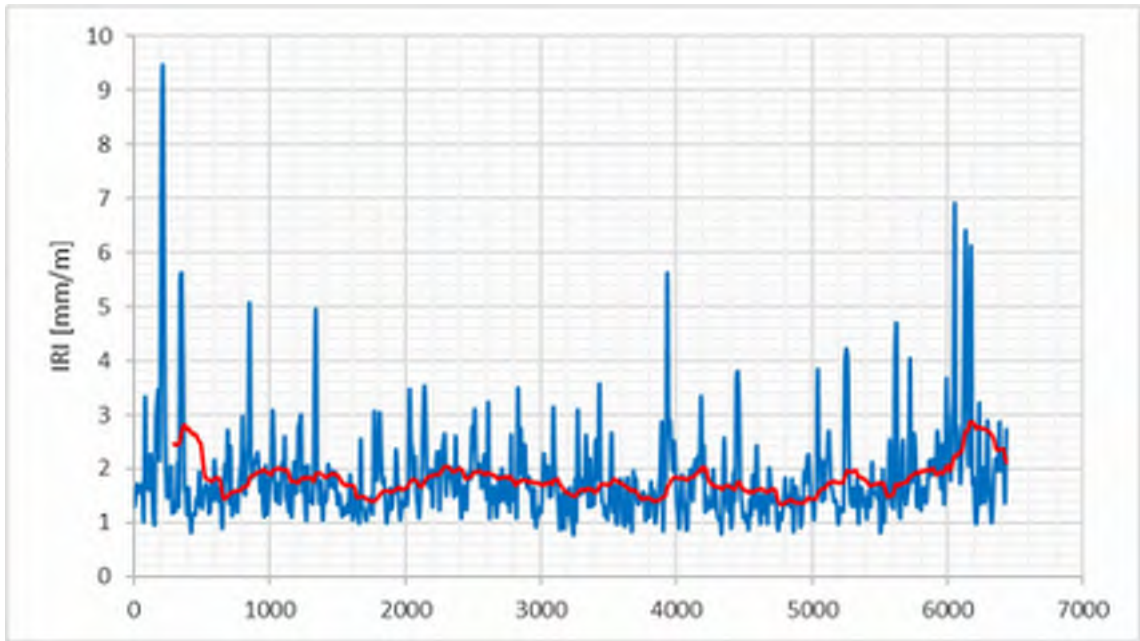
53, E6, Stenungsund (S)



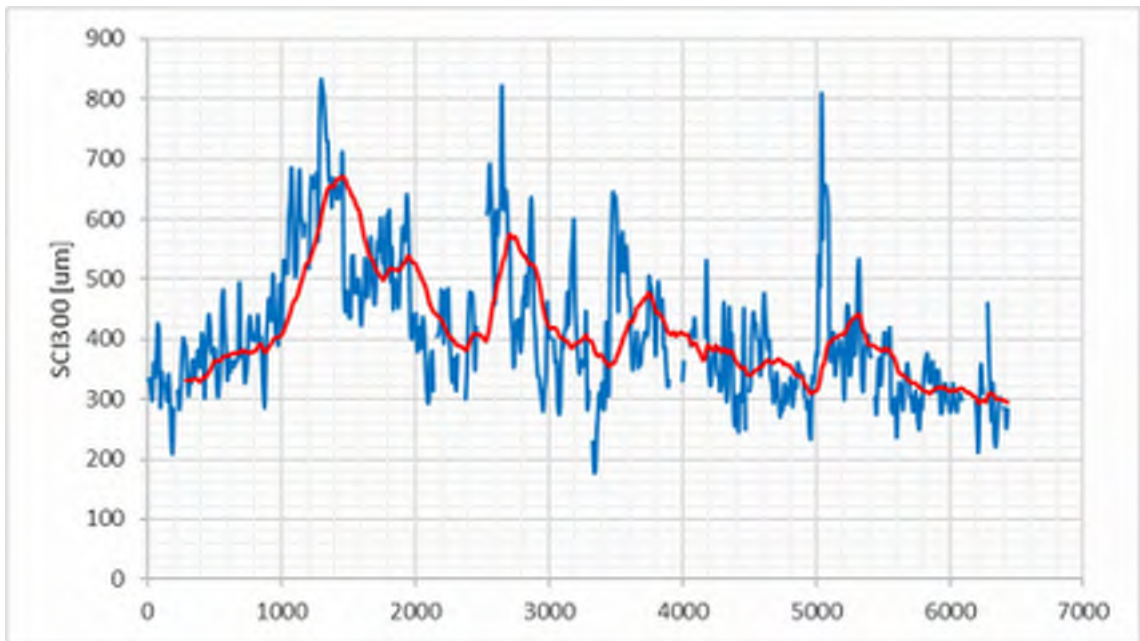
53, E6, Stenungsund (S)



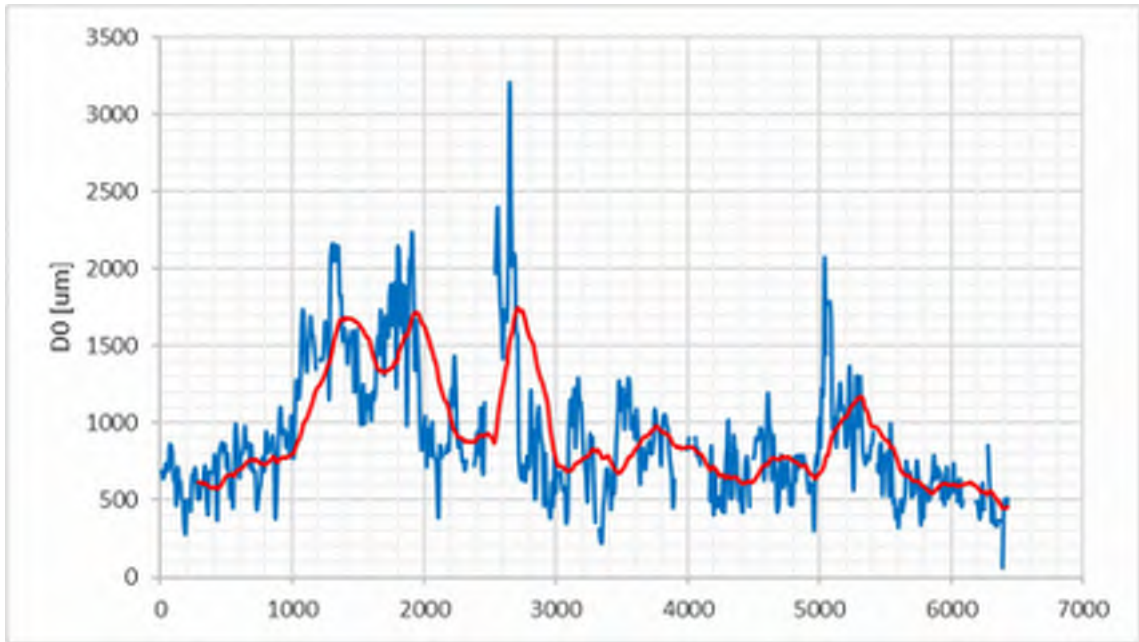
54, Nösslingevägen (N)



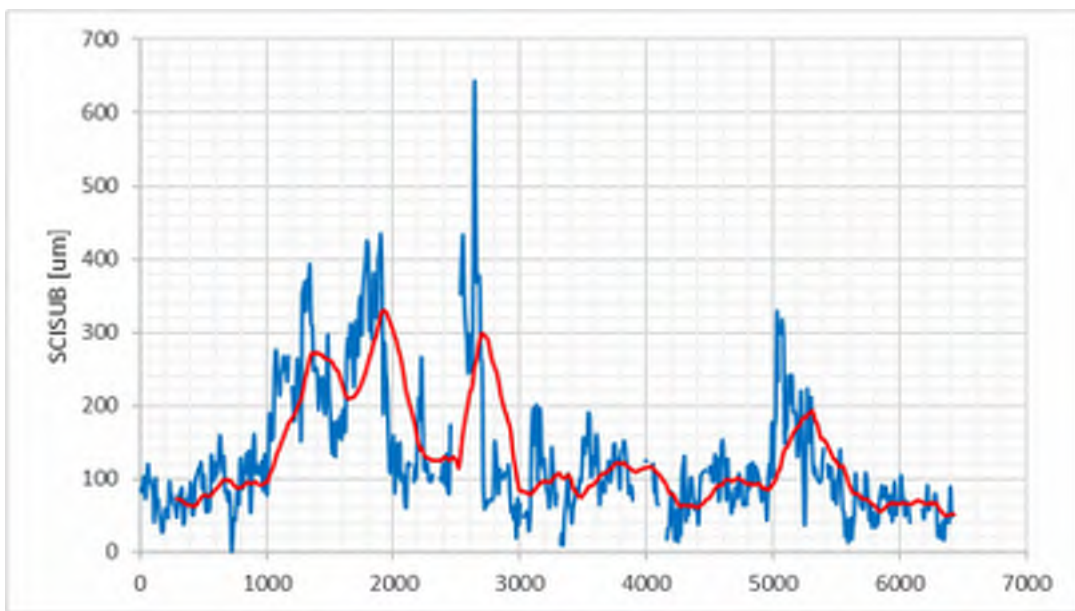
54, Nösslingevägen (N)



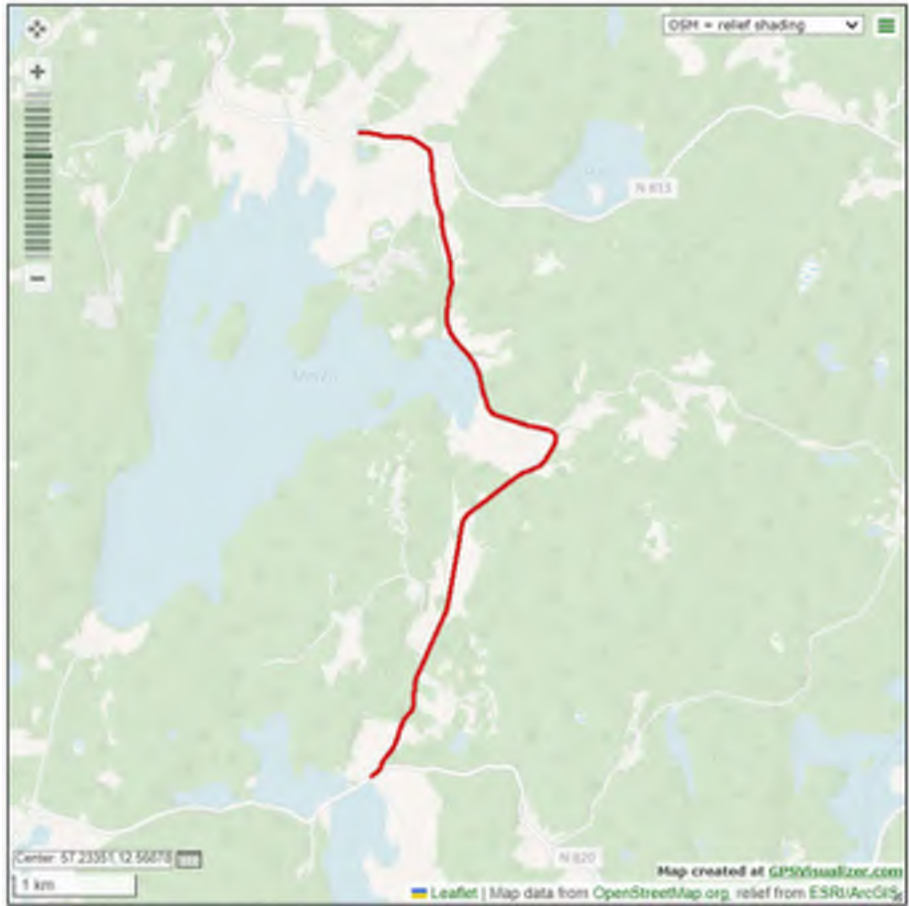
54, Nösslingevägen (N)



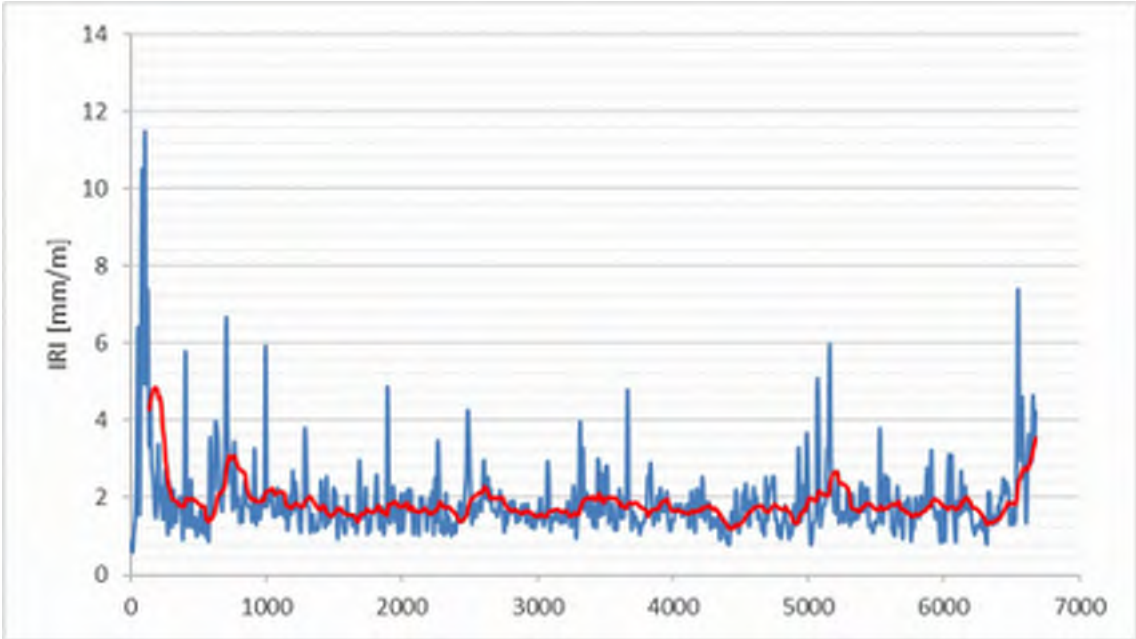
54, Nösslingevägen (N)



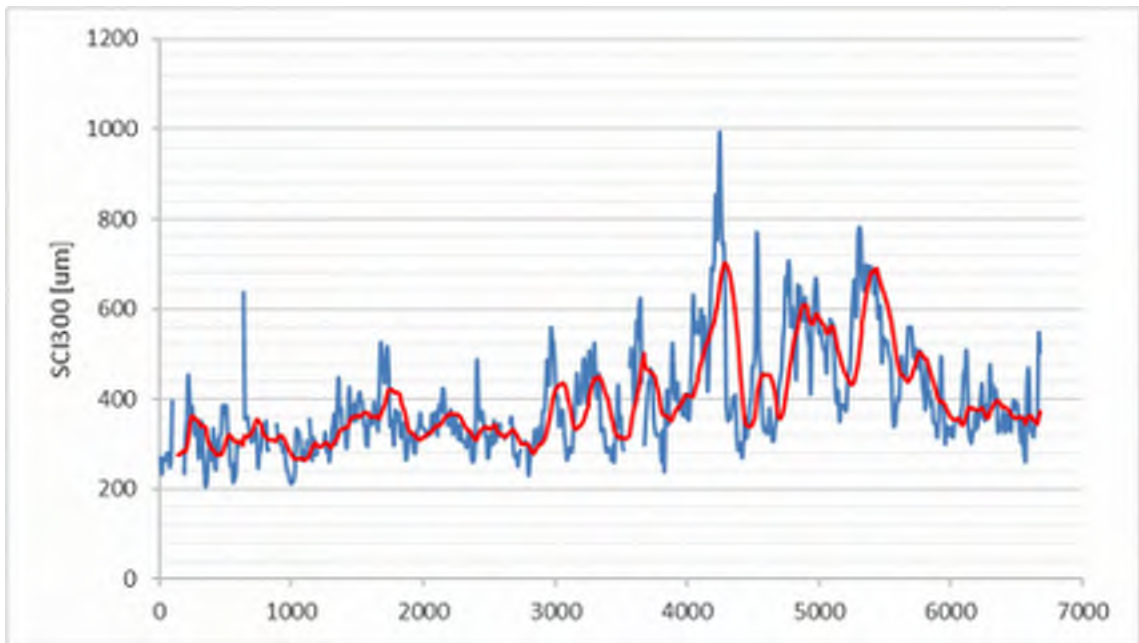
54, Nösslingevägen (N)



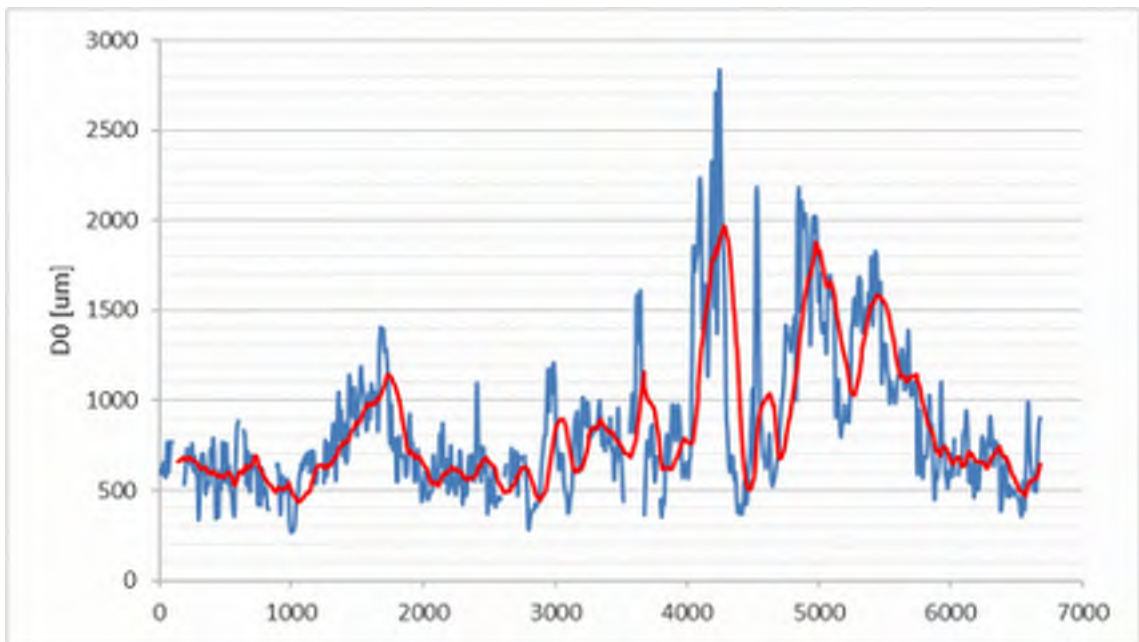
55, Nösslingevägen (S)



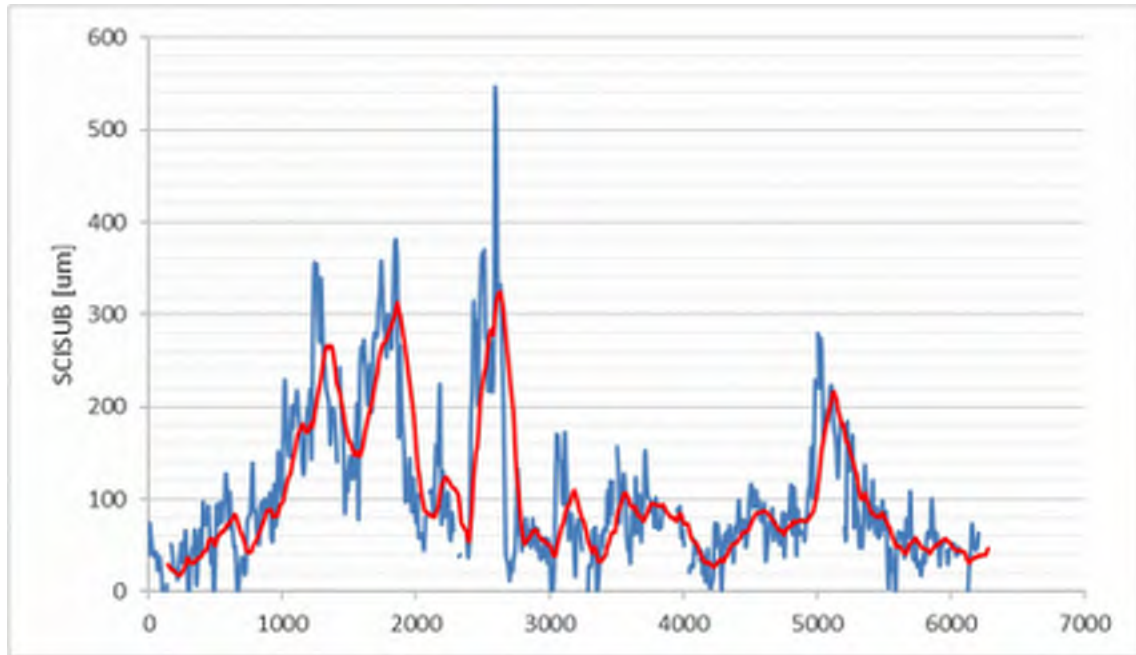
55, Nösslingevägen (S)



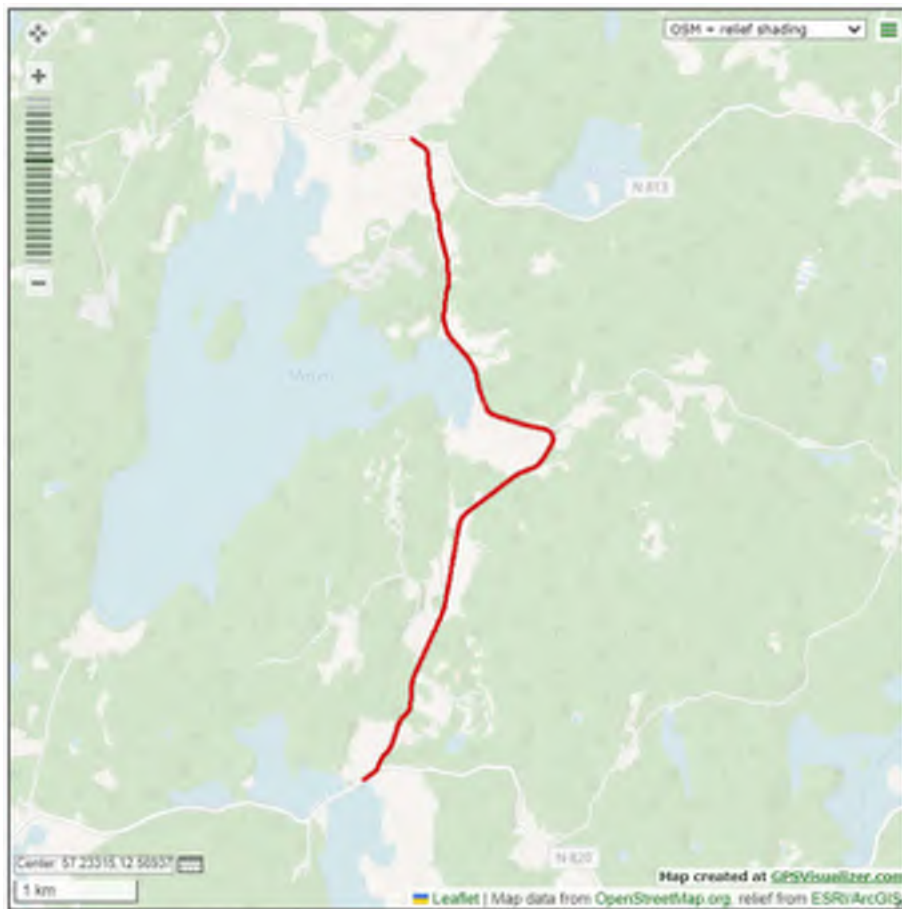
55, Nösslingevägen (S)



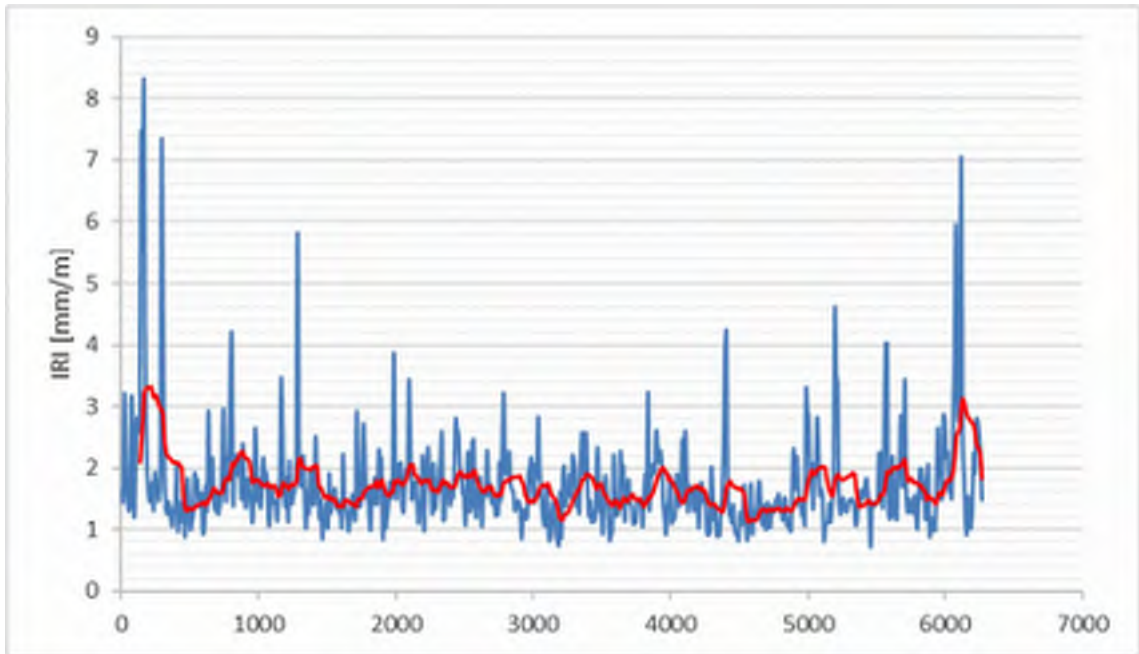
55, Nösslingevägen (S)



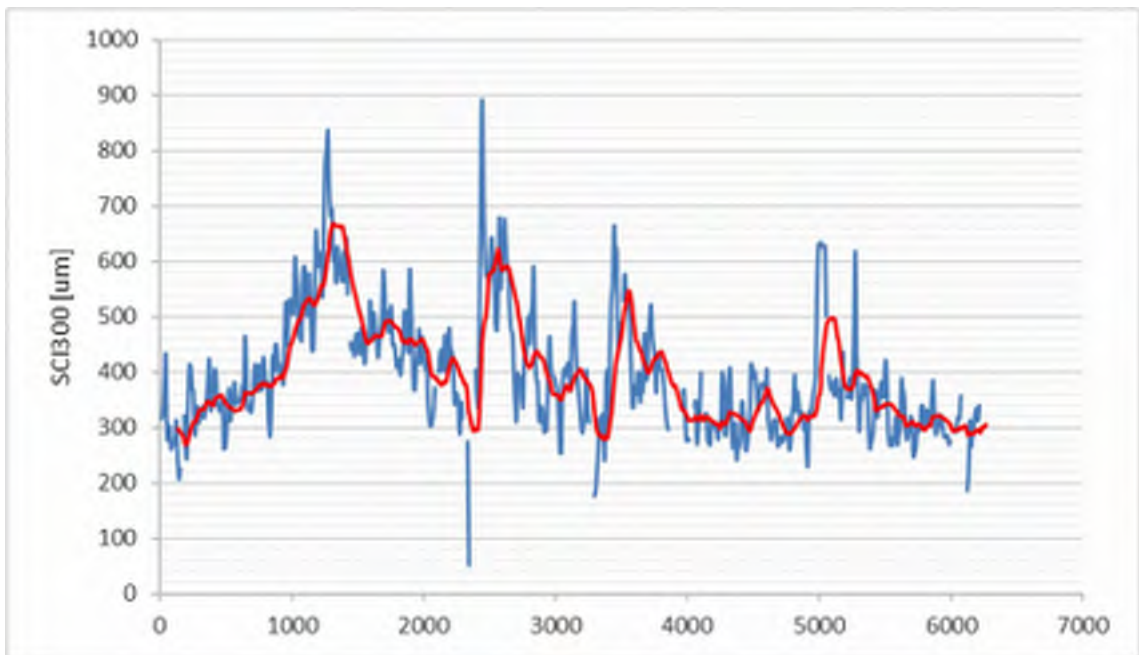
55, Nösslingevägen (S)



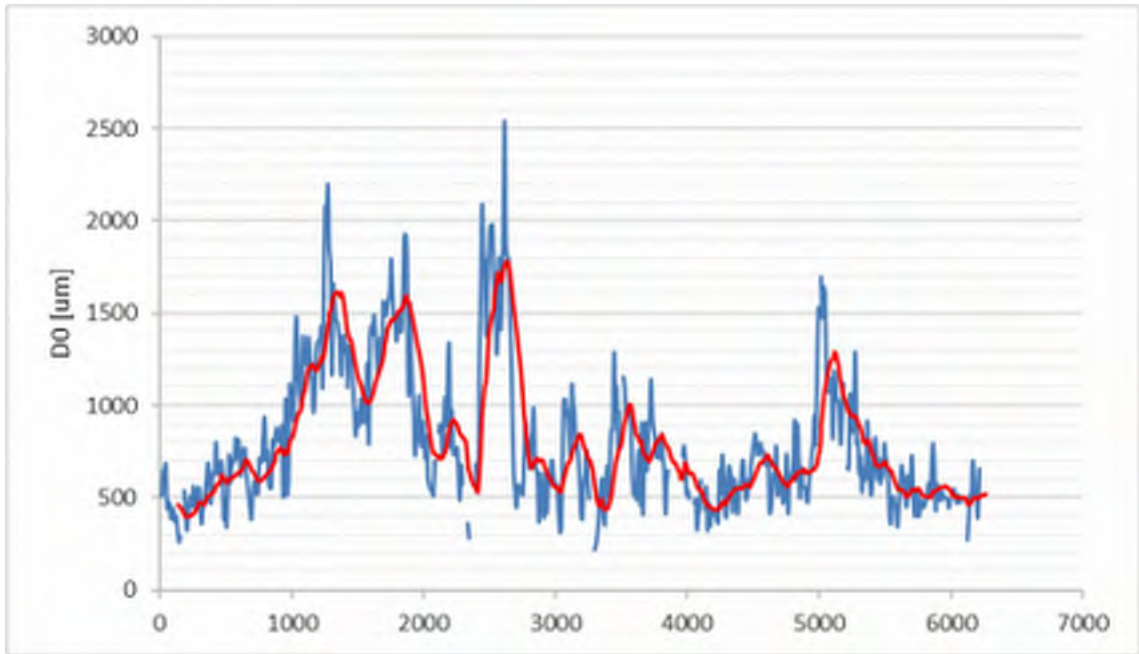
56, Nösslingevägen (N)



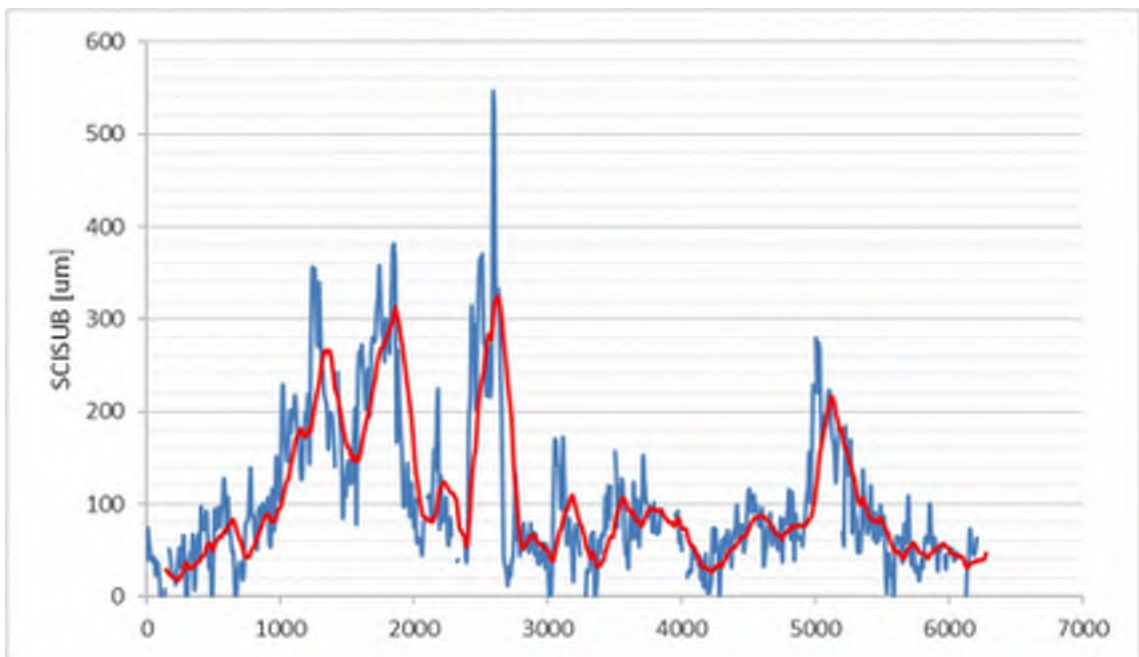
56, Nösslingevägen (N)



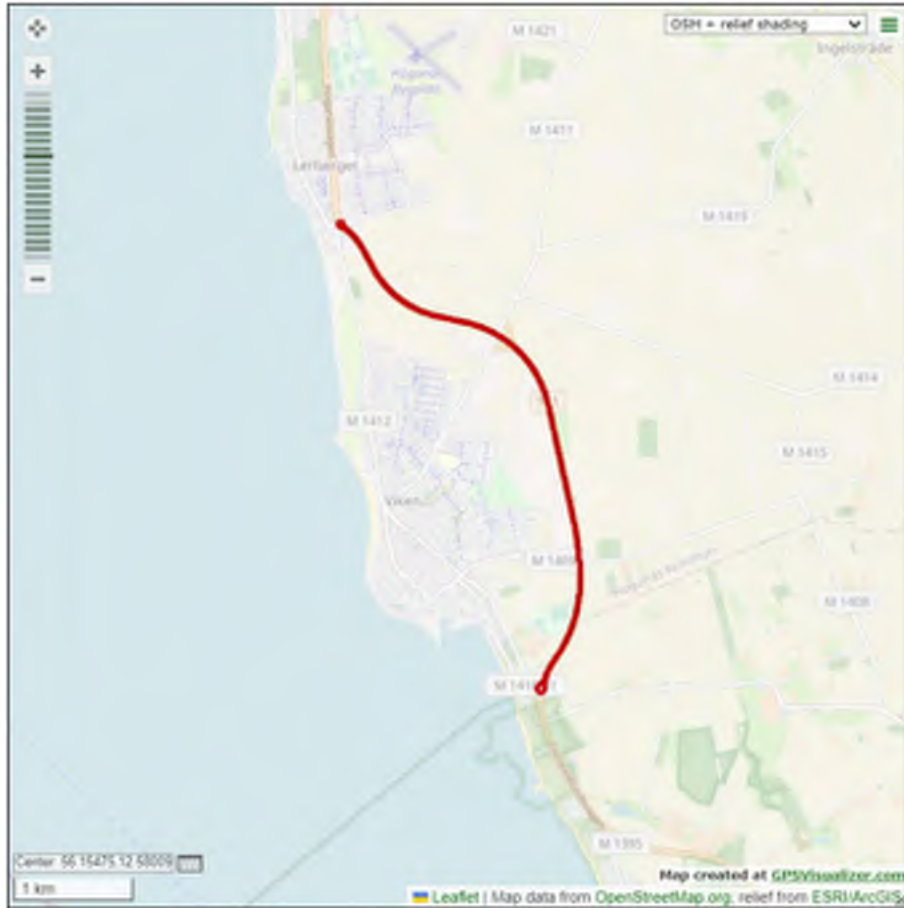
56, Nösslingevägen (N)



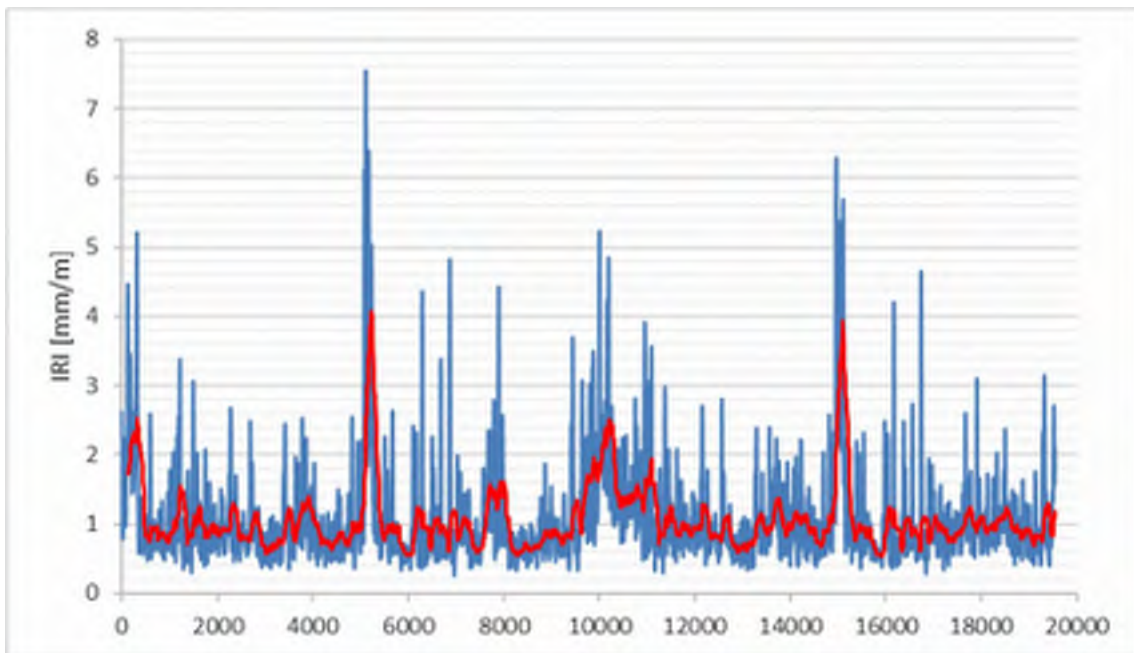
56, Nösslingevägen (N)



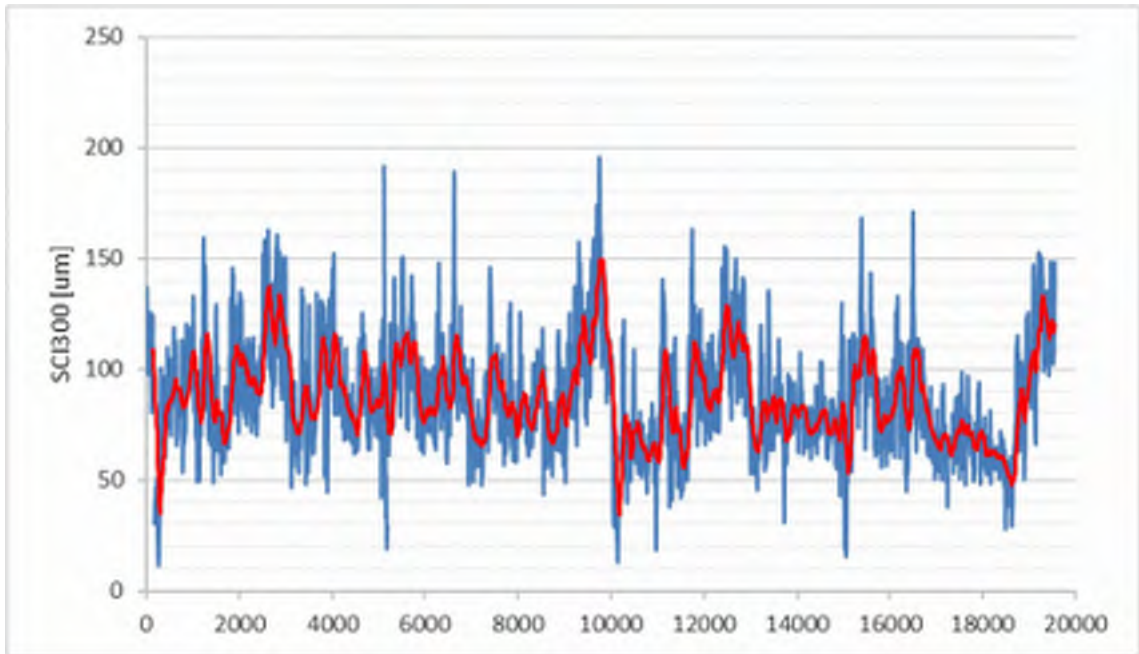
56, Nösslingevägen (N)



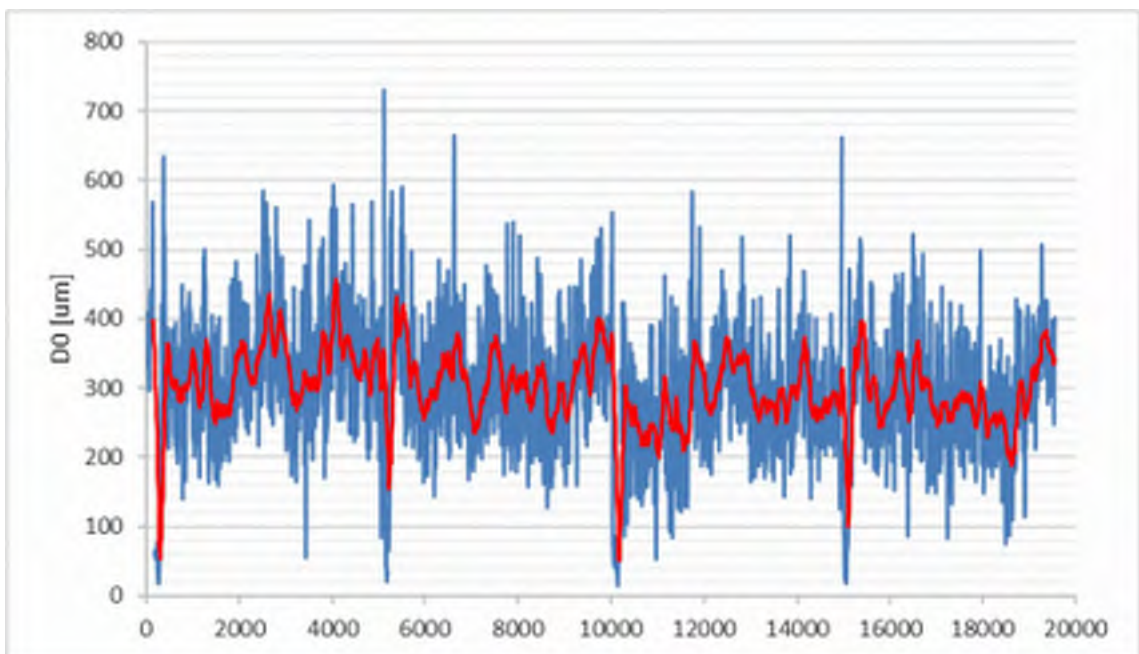
57, Rv111, Viken (N)



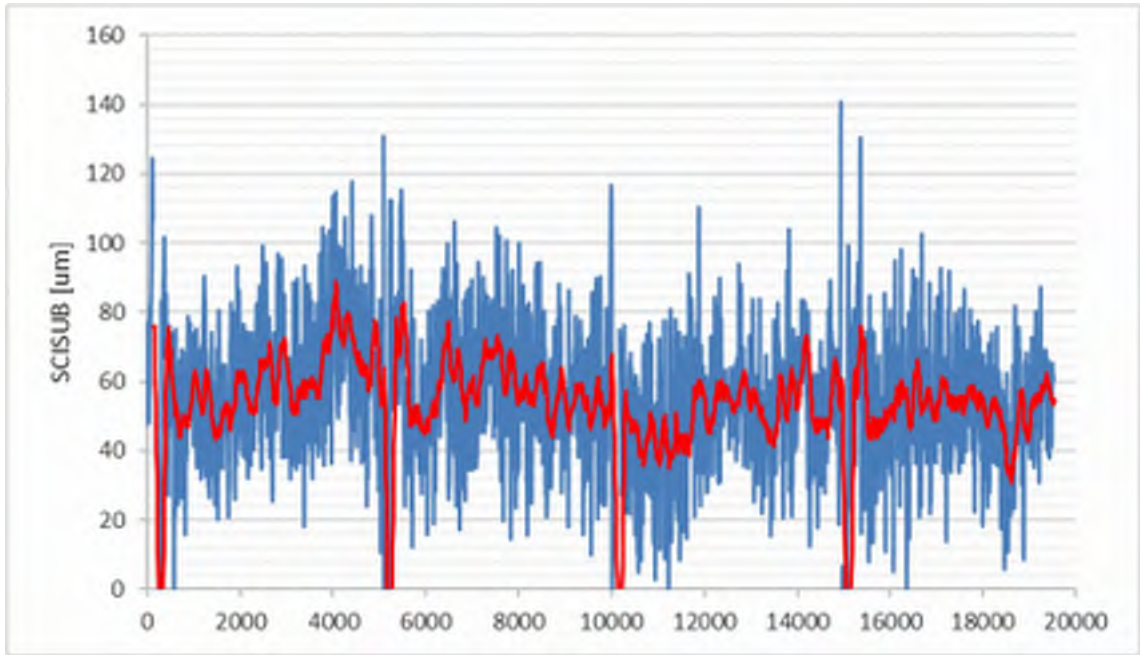
57, Rv111, Viken (N)



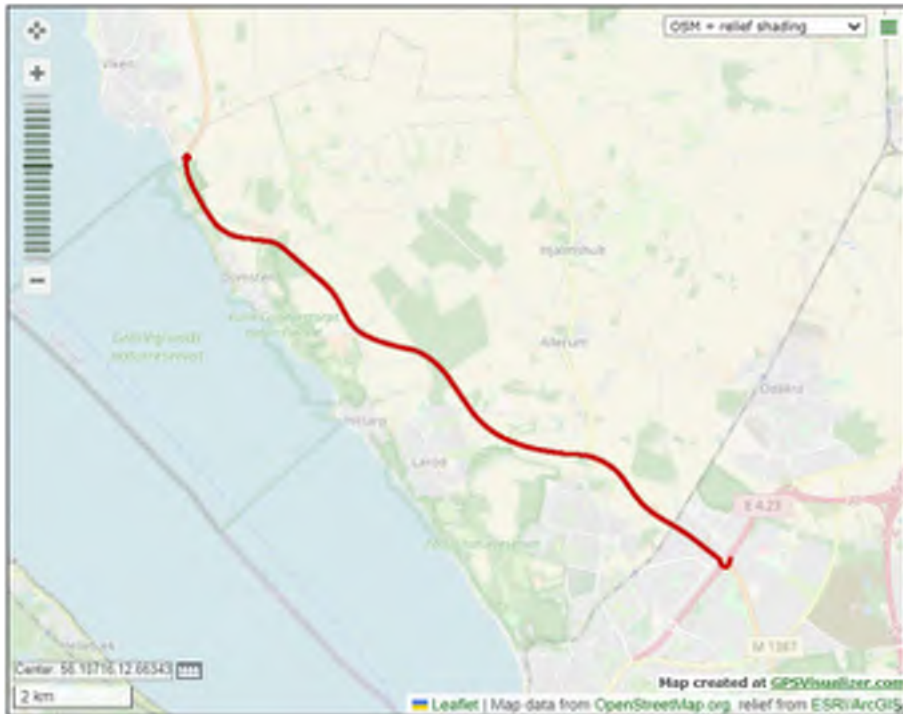
57, Rv111, Viken (N)



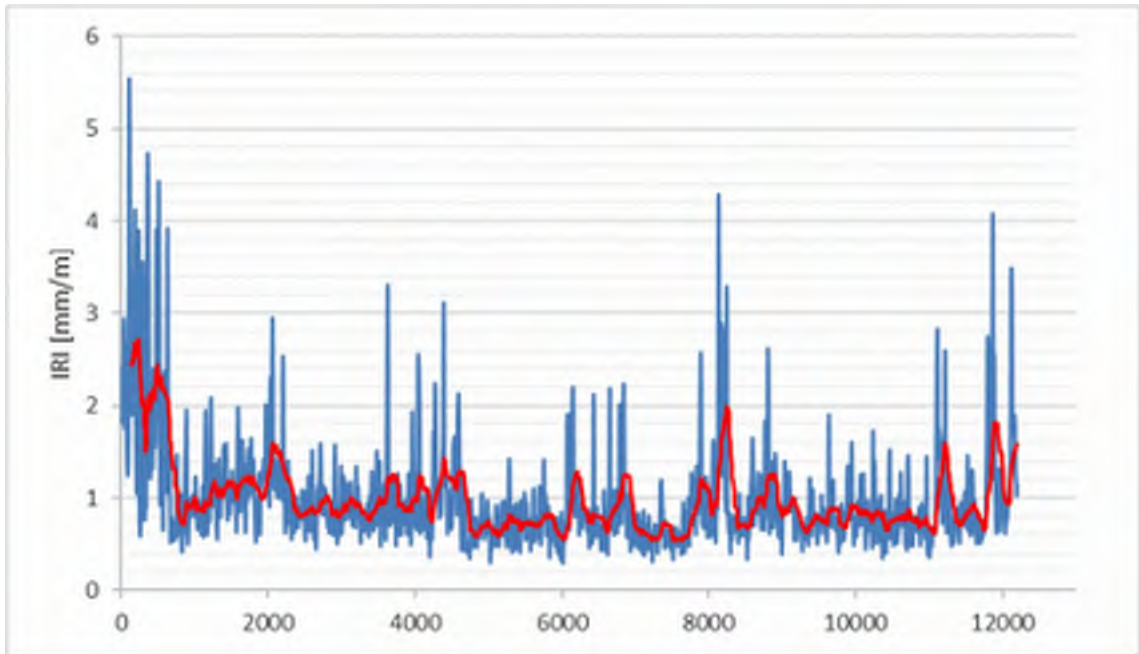
57, Rv111, Viken (N)



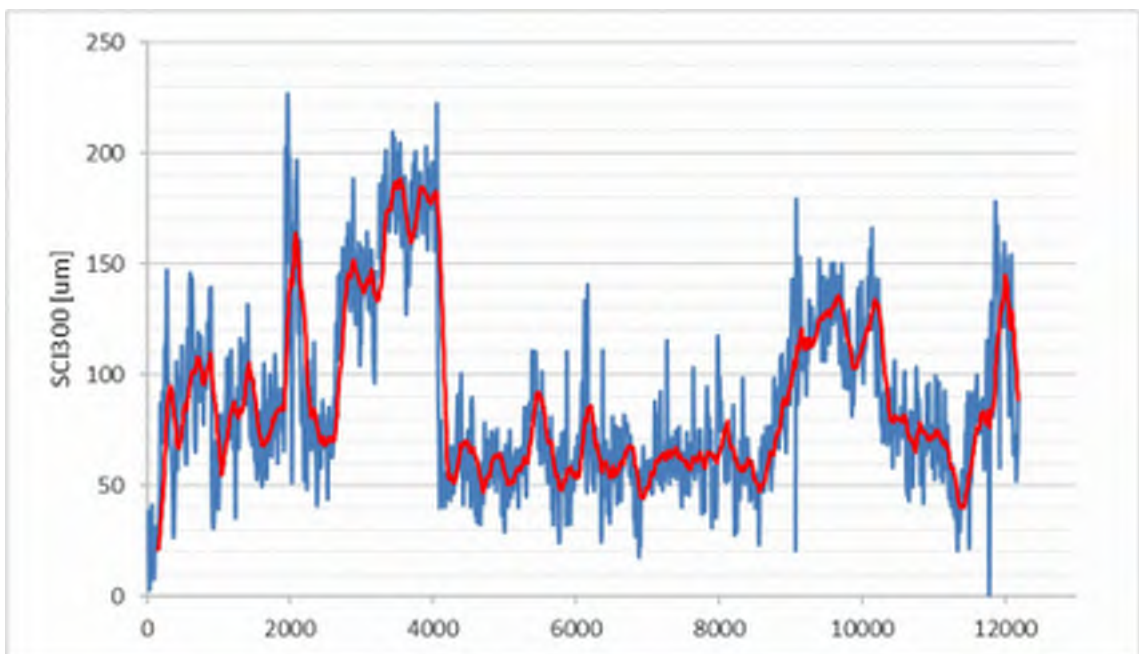
57, Rv111, Viken (N)



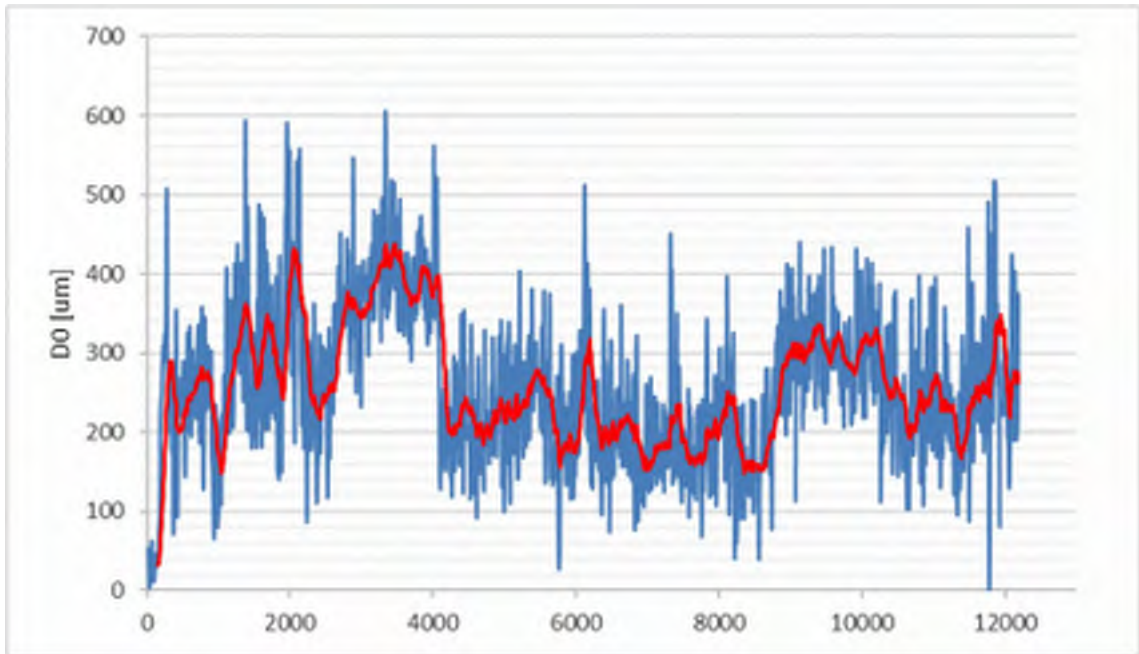
58, Rv111, Viken (S)



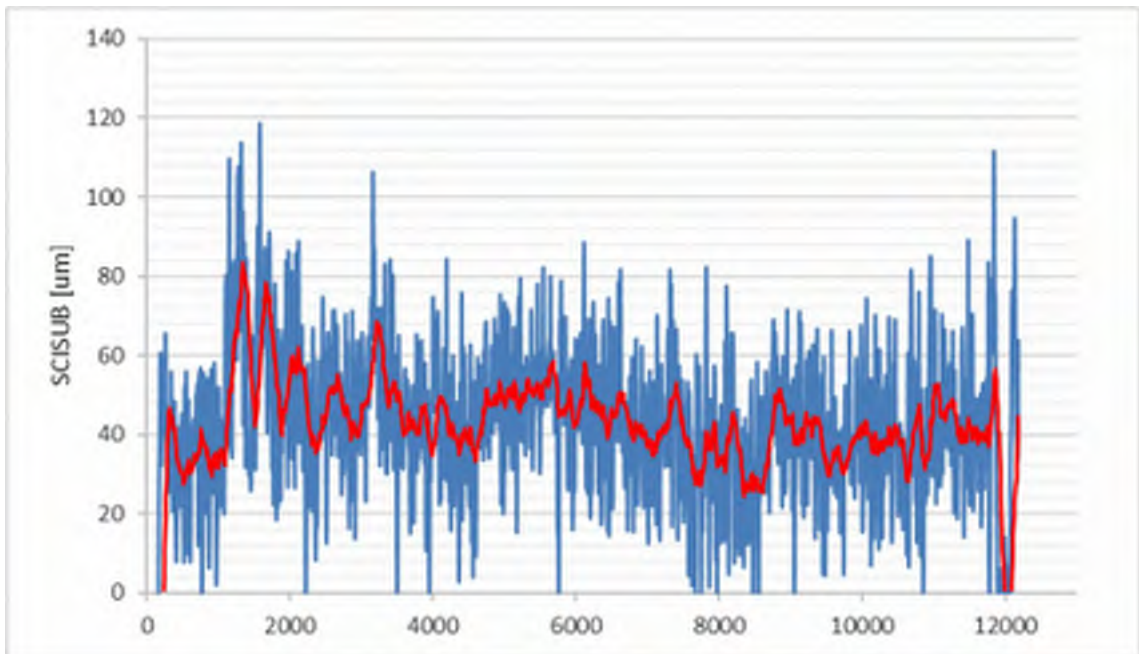
58, Rv111, Viken (S)



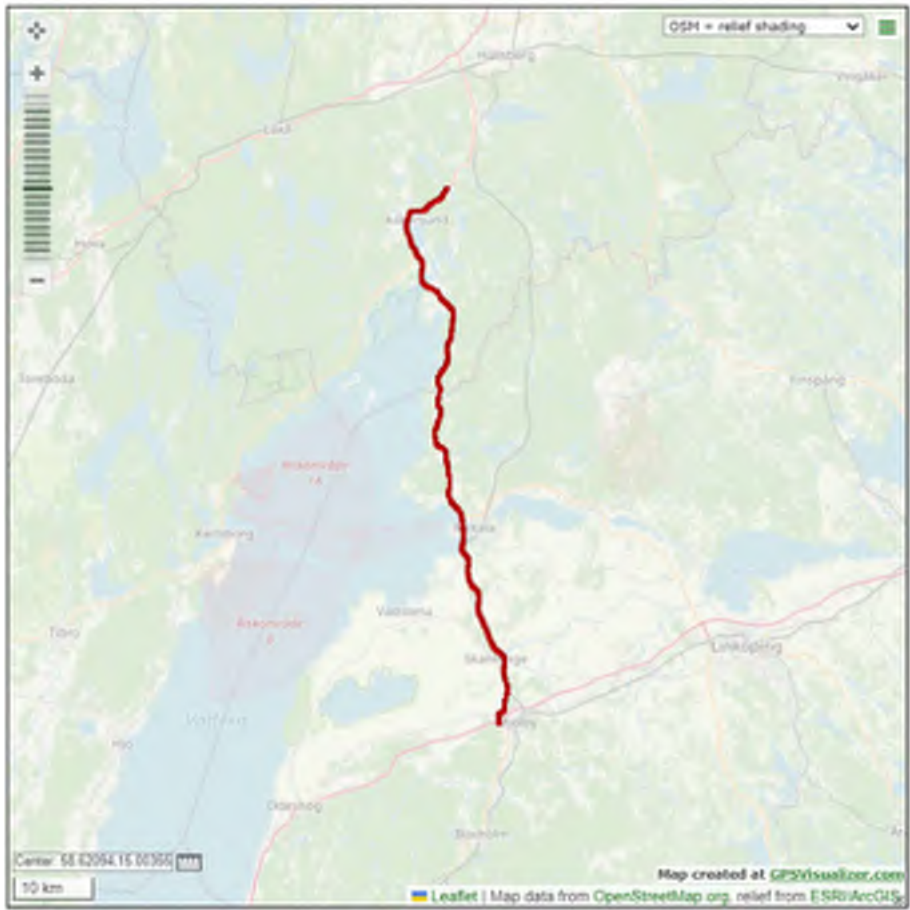
58, Rv111, Viken (S)



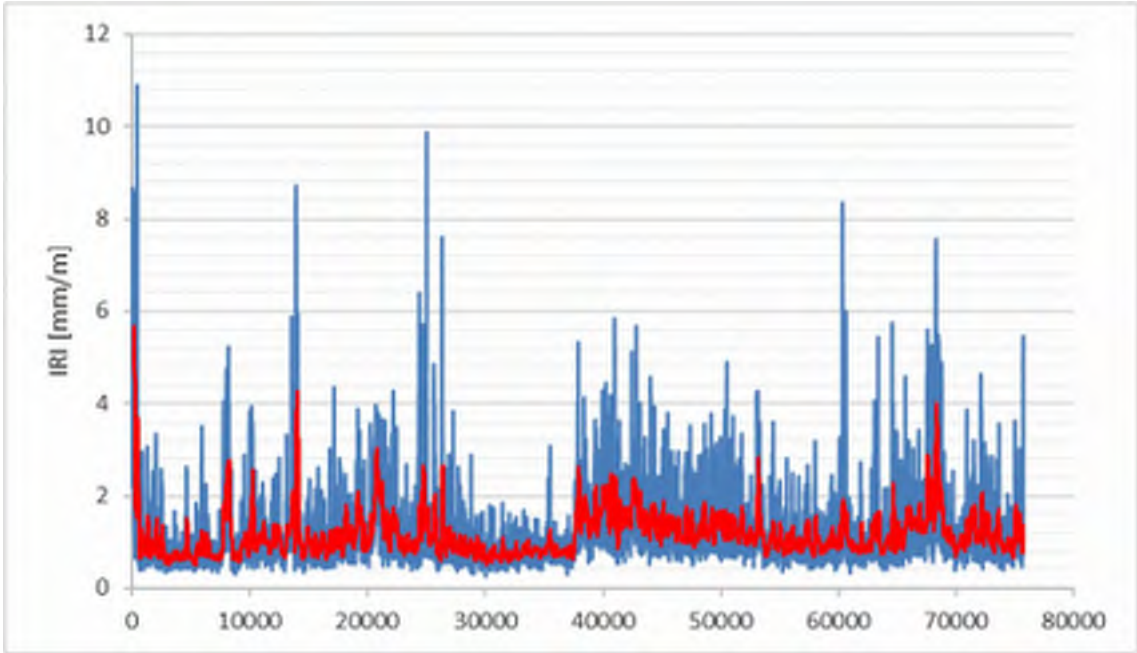
58, Rv111, Viken (S)



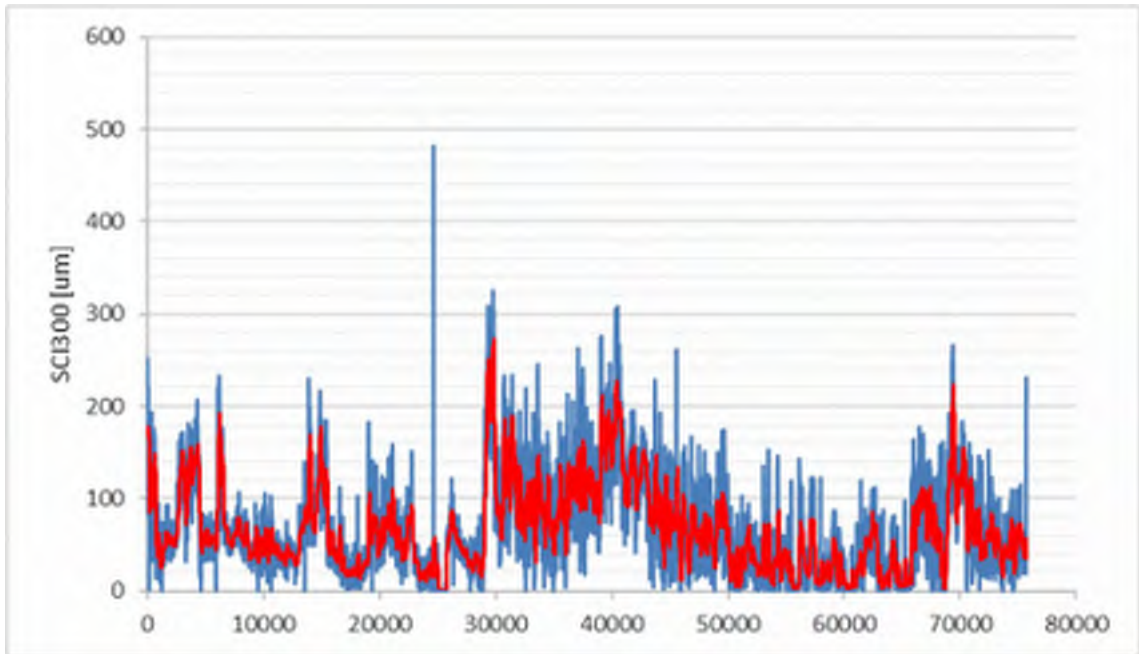
58, Rv111, Viken (S)



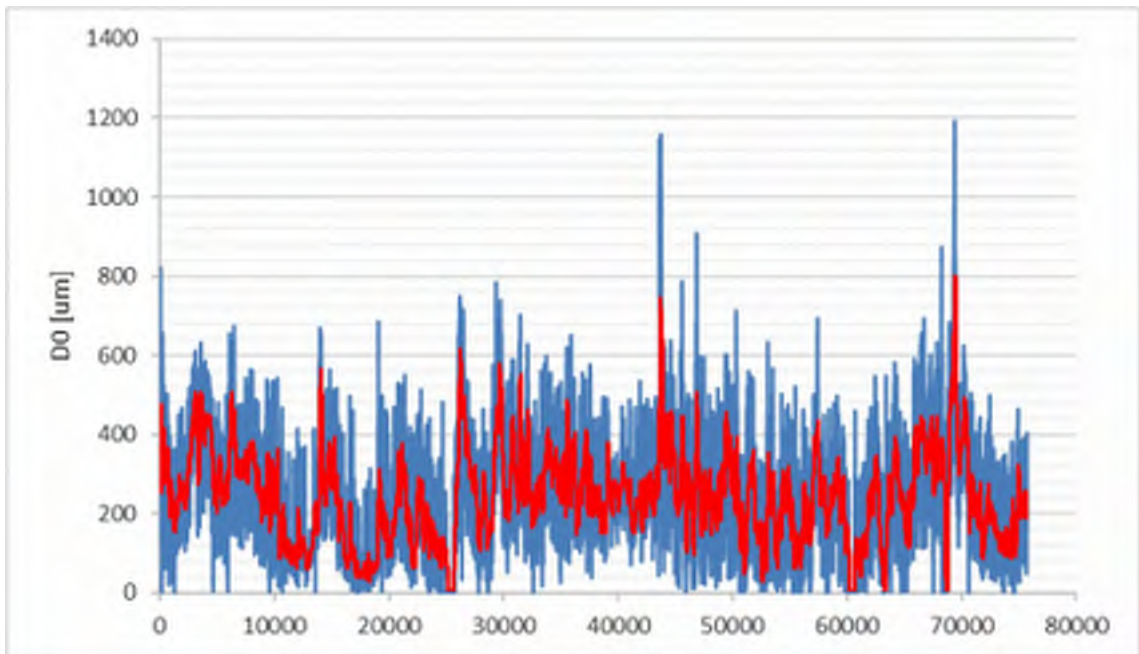
59, Rv50, Tpl Mjölby-Askersund



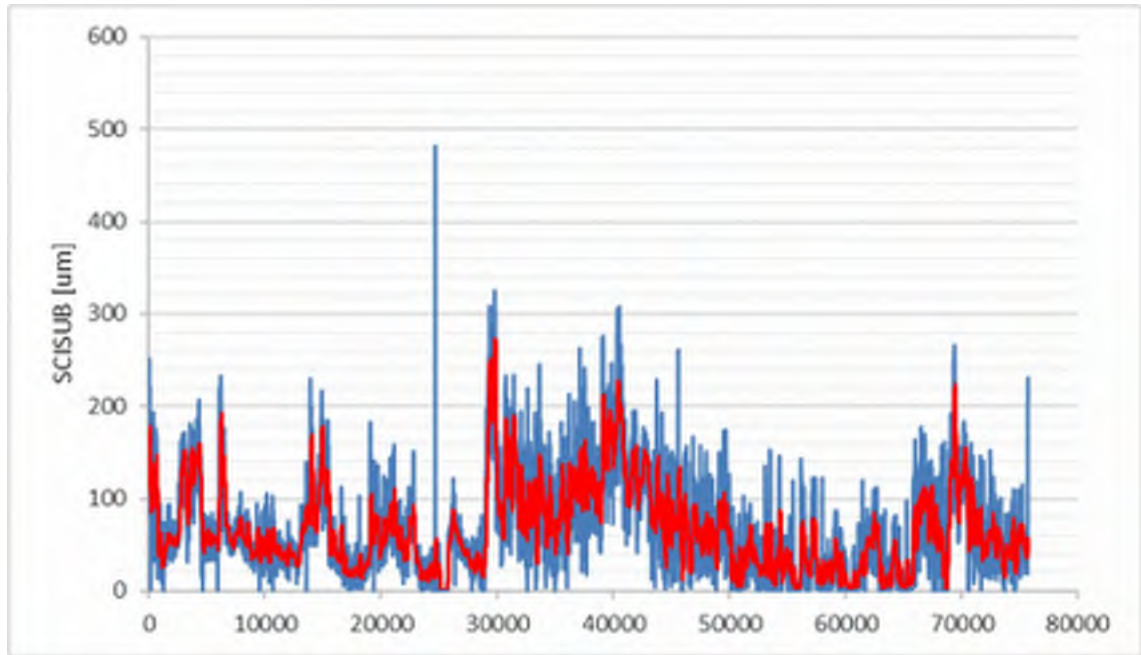
59, Rv50, Tpl Mjölby-Askersund



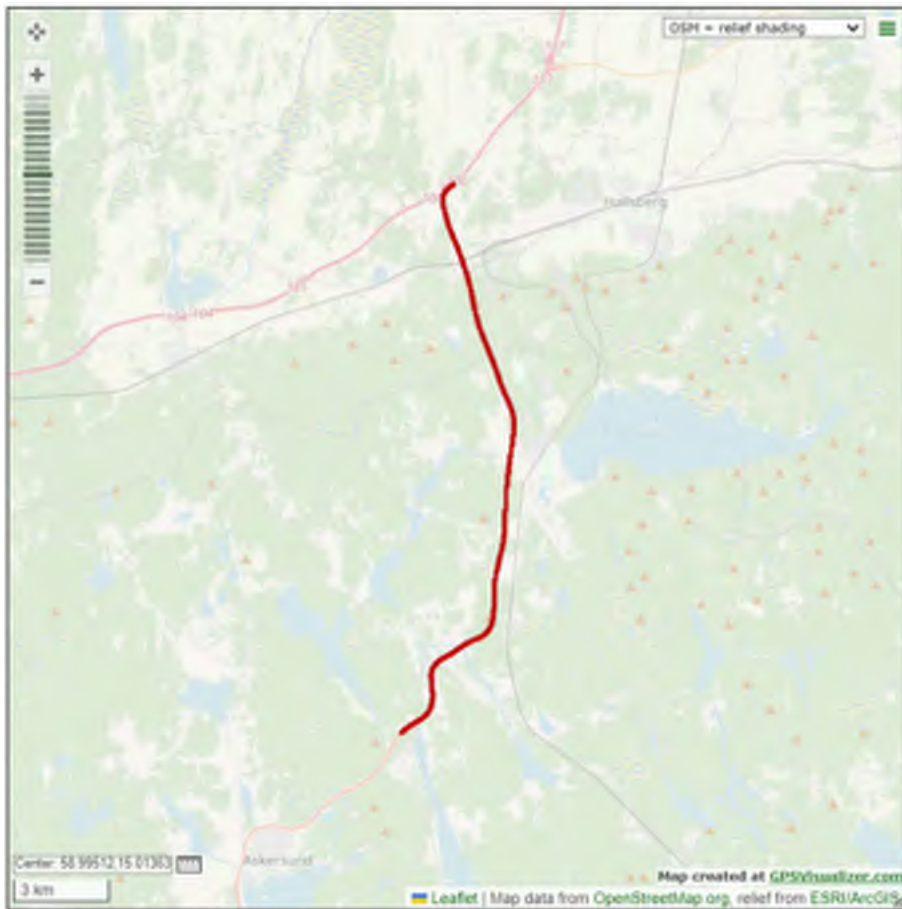
59, Rv50, Tpl Mjölby-Askersund



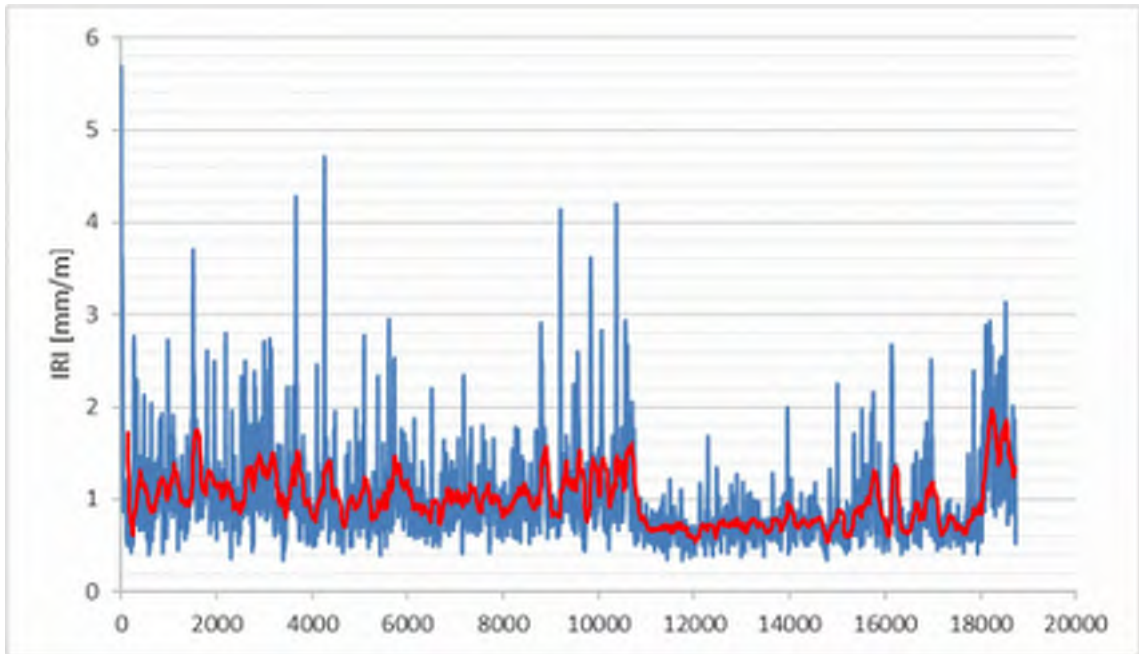
59, Rv50, Tpl Mjölby-Askersund



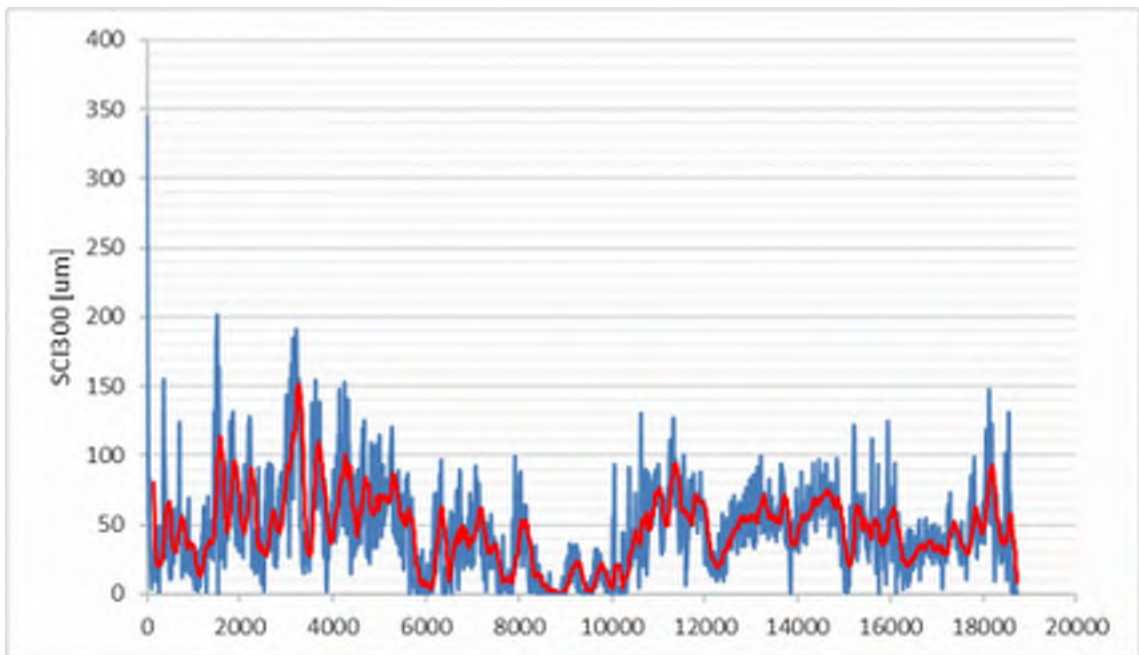
59, Rv50, Tpl Mjölby-Askersund



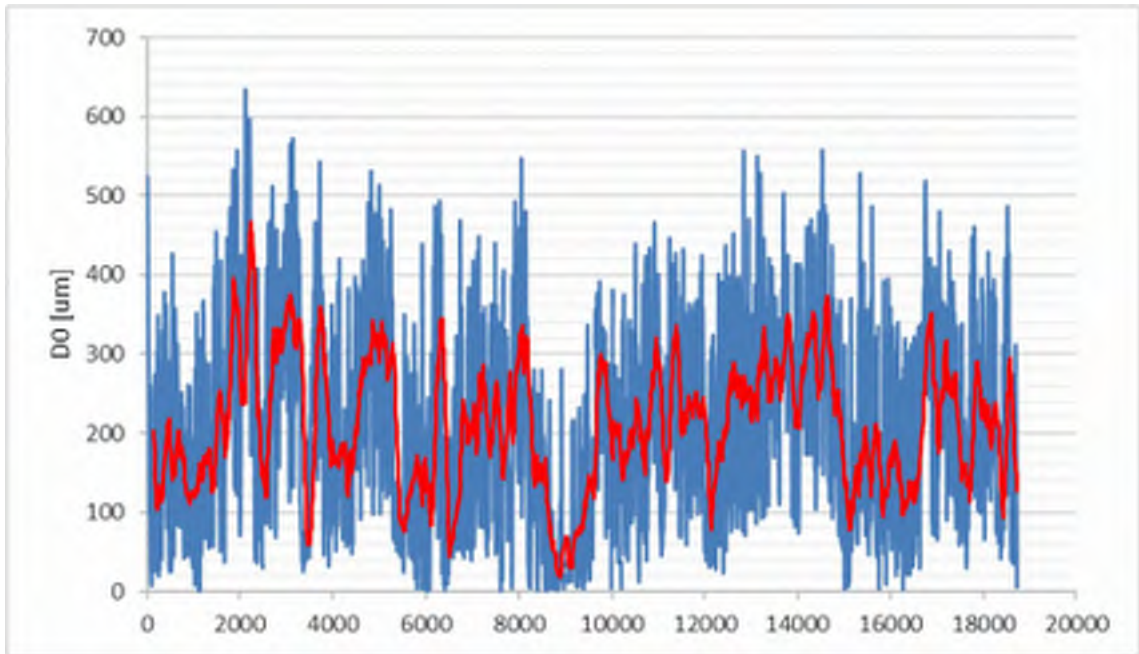
60, Rv50, Askersund-Tpl Brändåsen (E20)



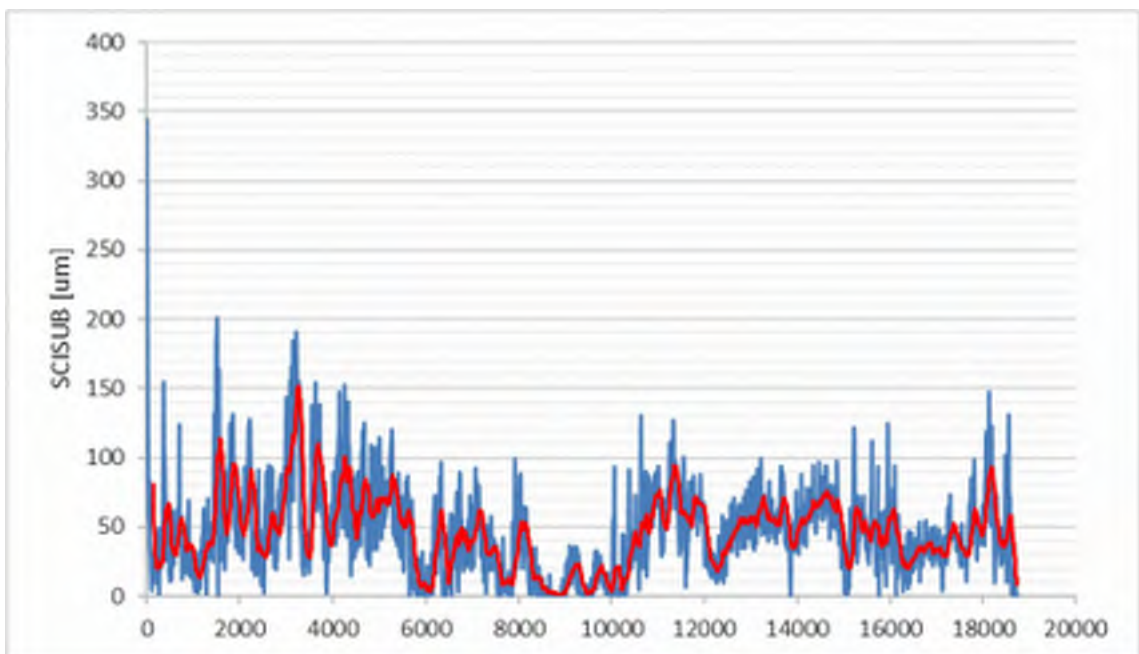
60, Rv50, Askersund-Tp1 Brändåsen (E20)



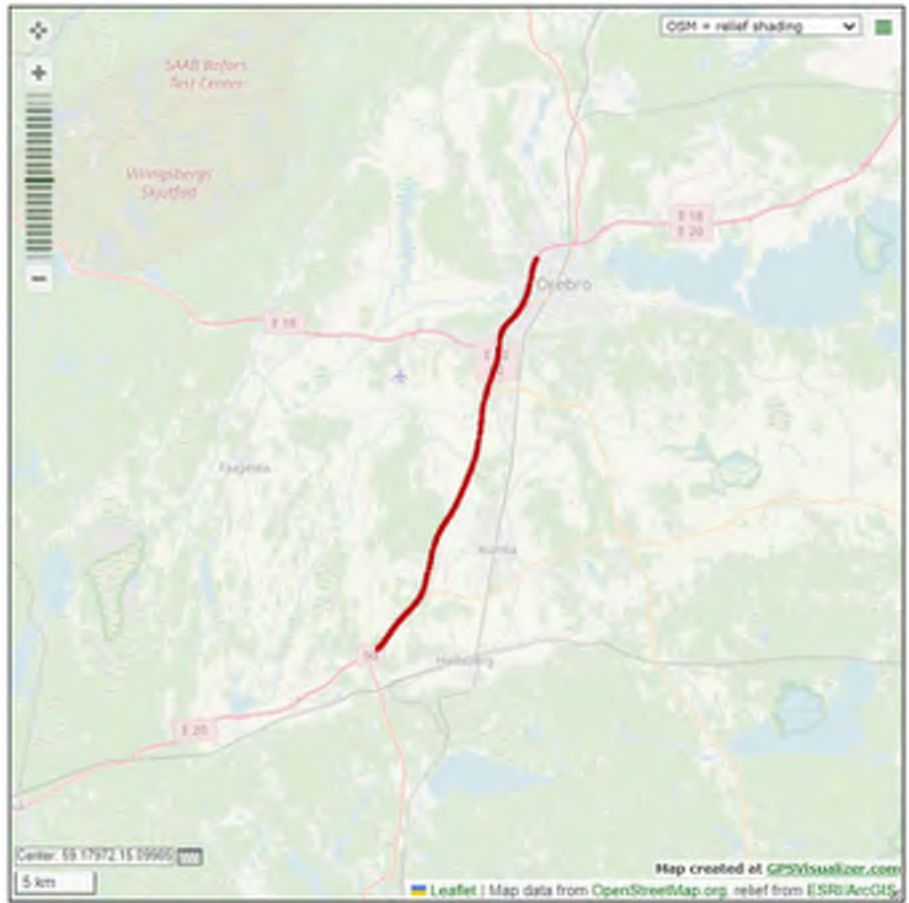
60, Rv50, Askersund-Tp1 Brändåsen (E20)



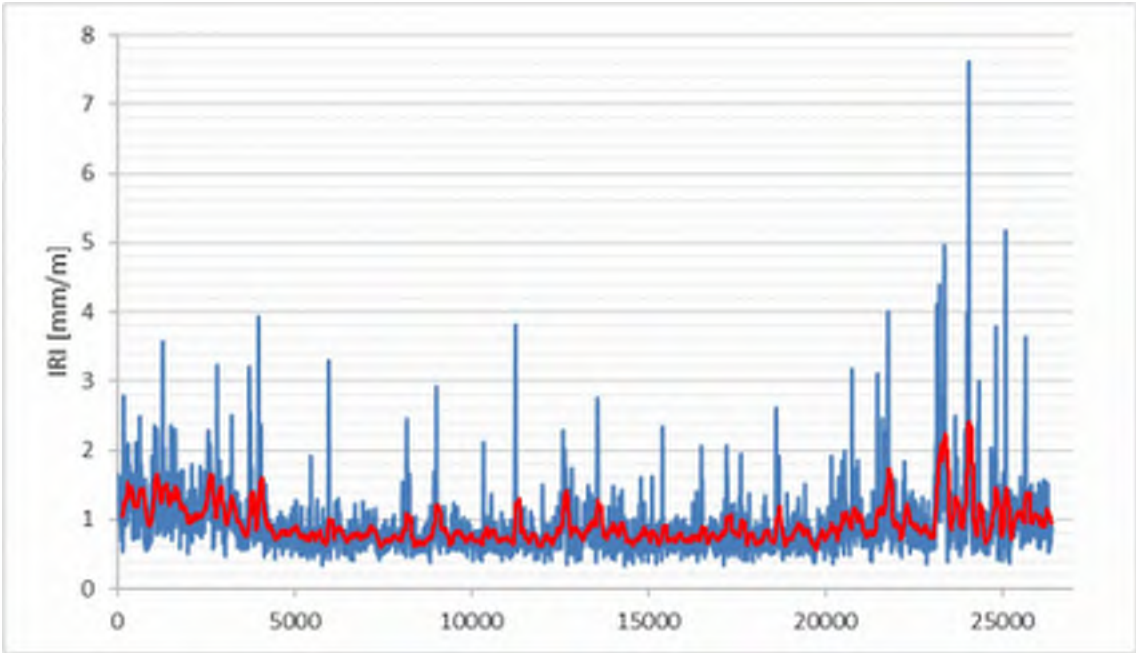
60, Rv50, Askersund-Tpl Brändåsen (E20)



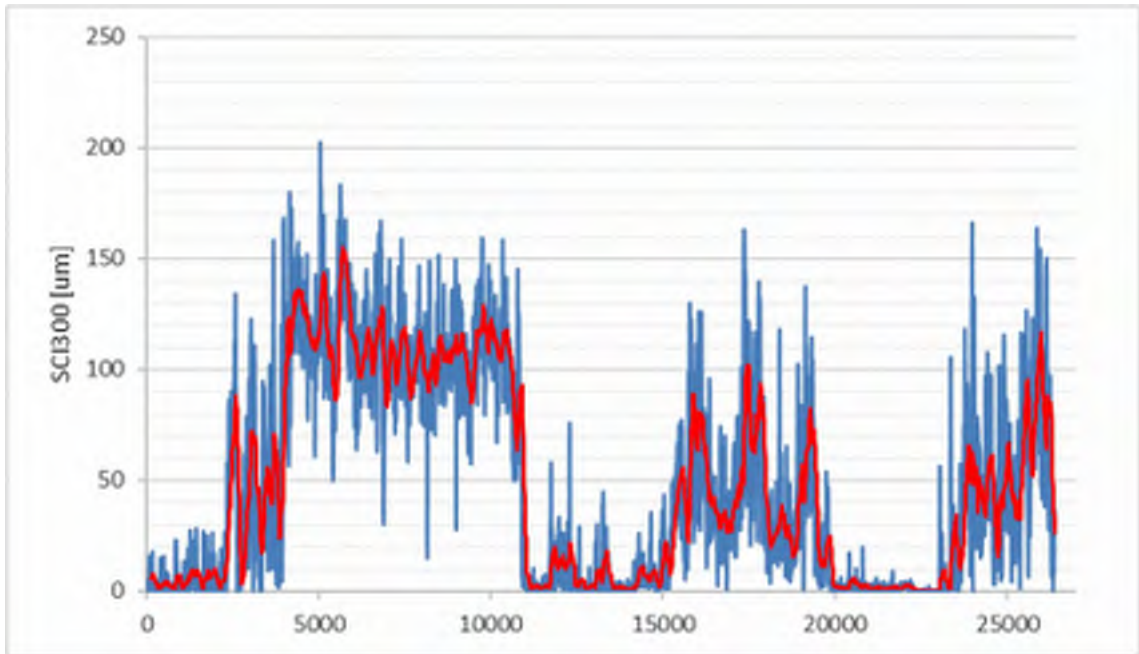
60, Rv50, Askersund-Tpl Brändåsen (E20)



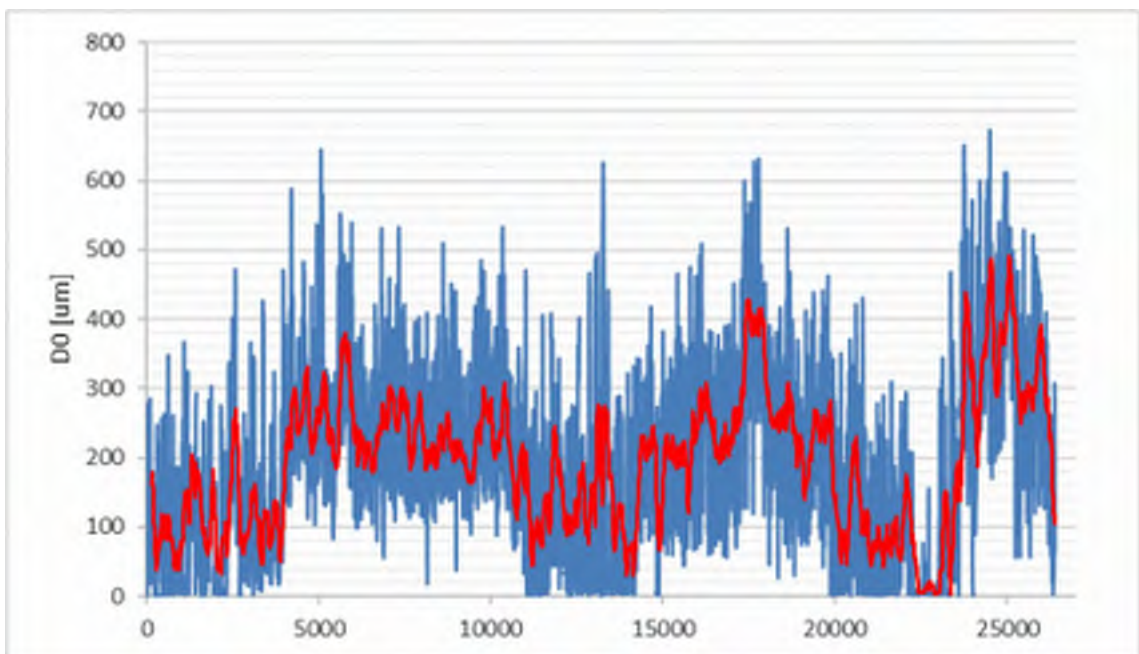
61, E20, Tpl Brändåsen (106)-Örebro



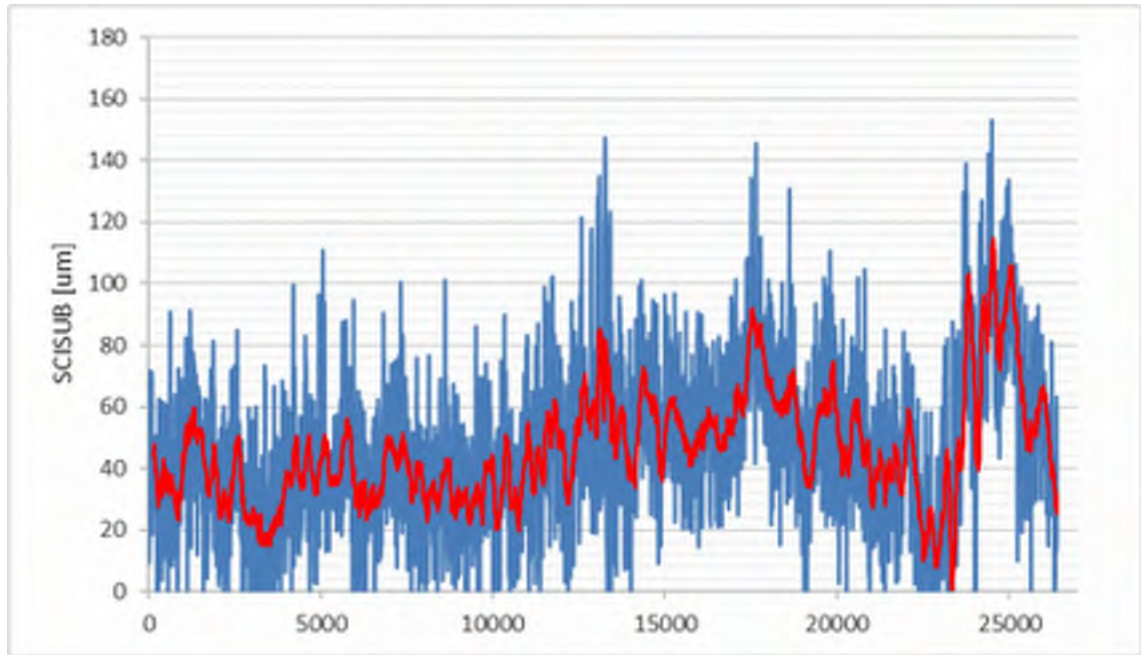
61, E20, Tpl Brändåsen (106)-Örebro



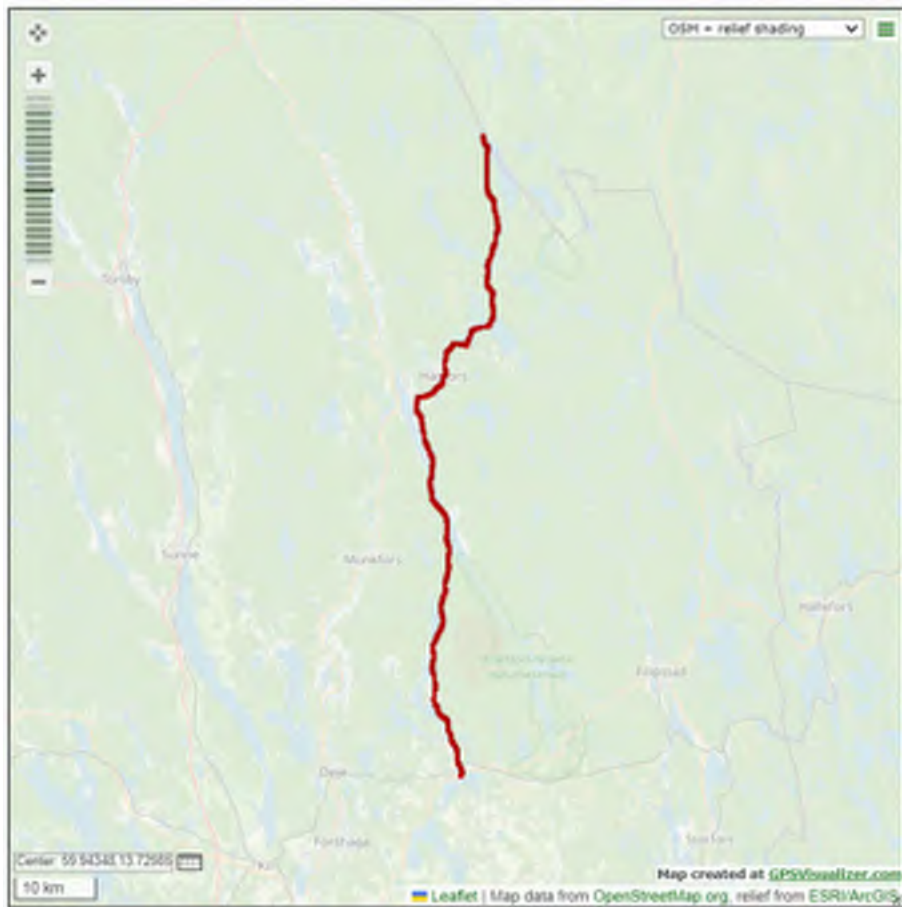
61, E20, Tpl Brändåsen (106)-Örebro



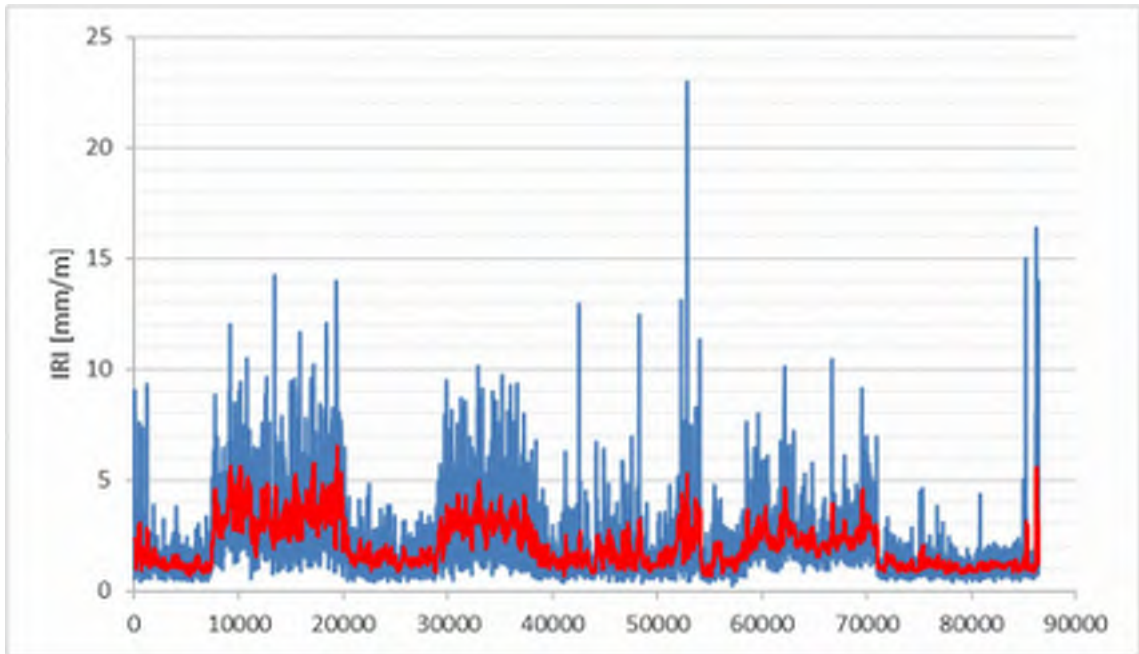
61, E20, Tpl Brändåsen (106)-Örebro



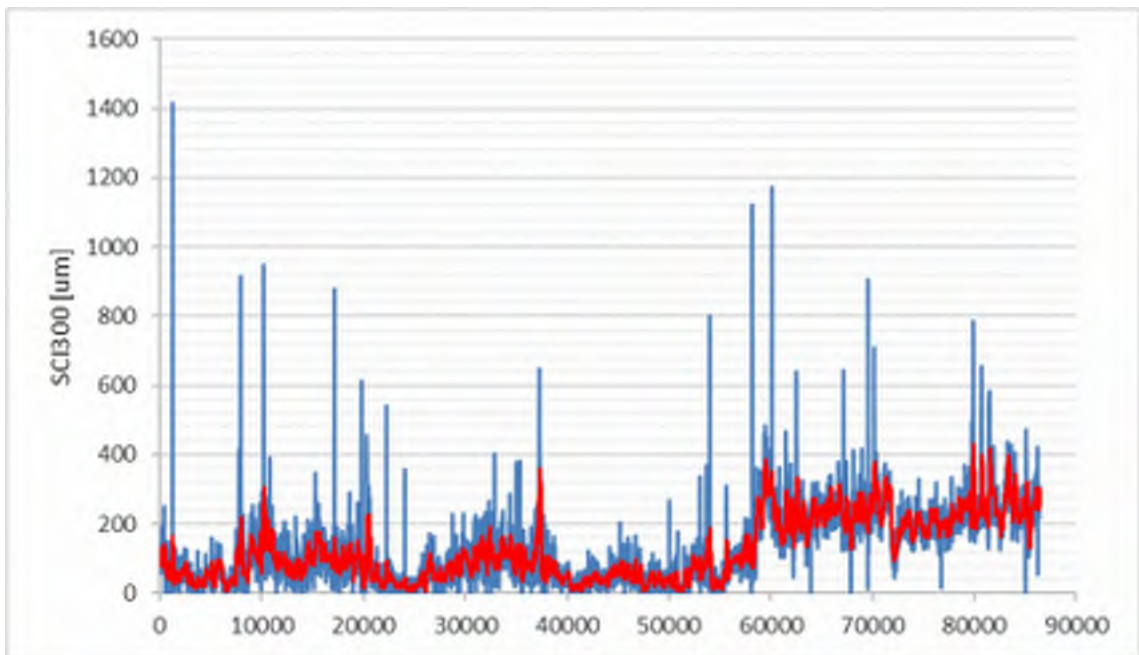
61, E20, Tpl Brändåsen (106)-Örebro



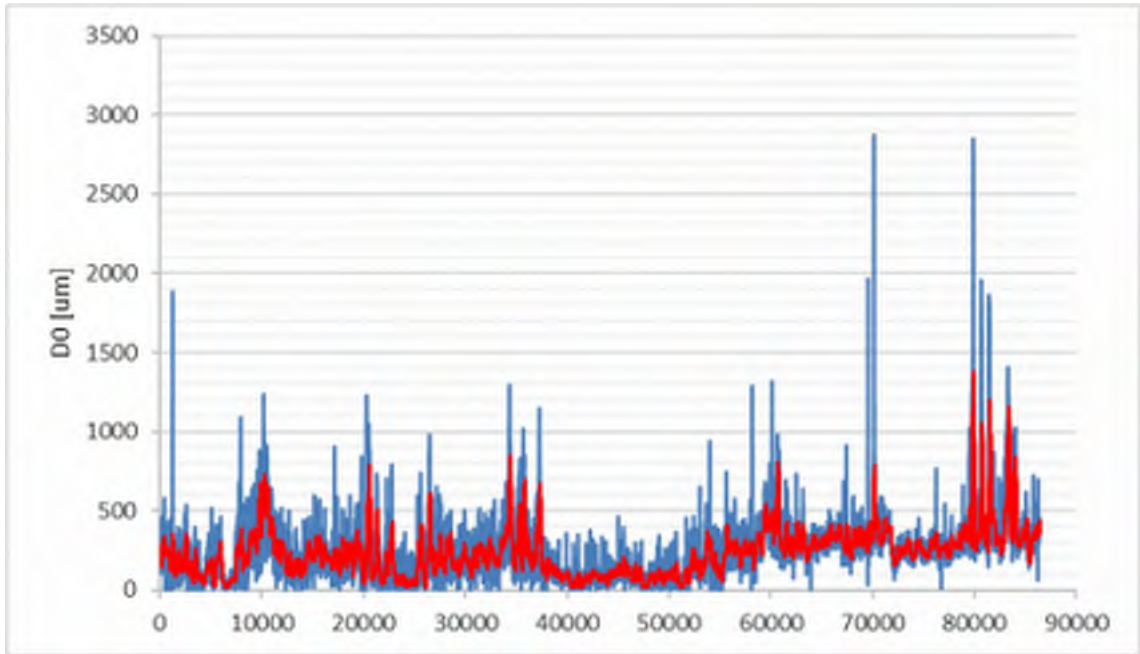
62, 240, Molkom-Uvanå (N)



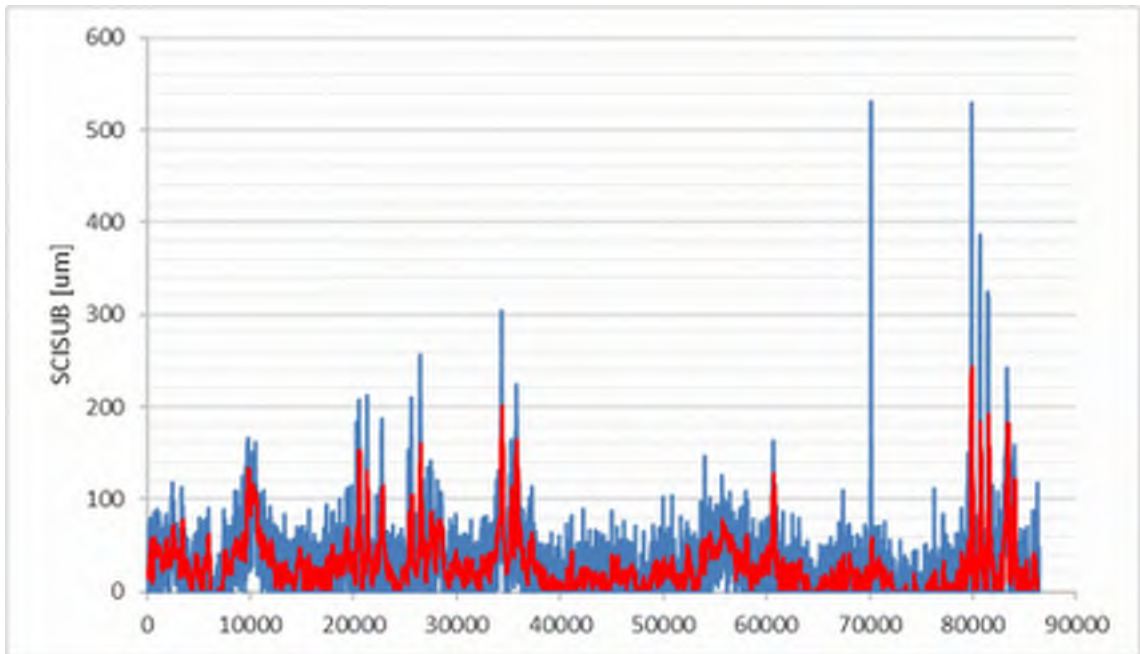
62, 240, Molkom-Uvanå (N)



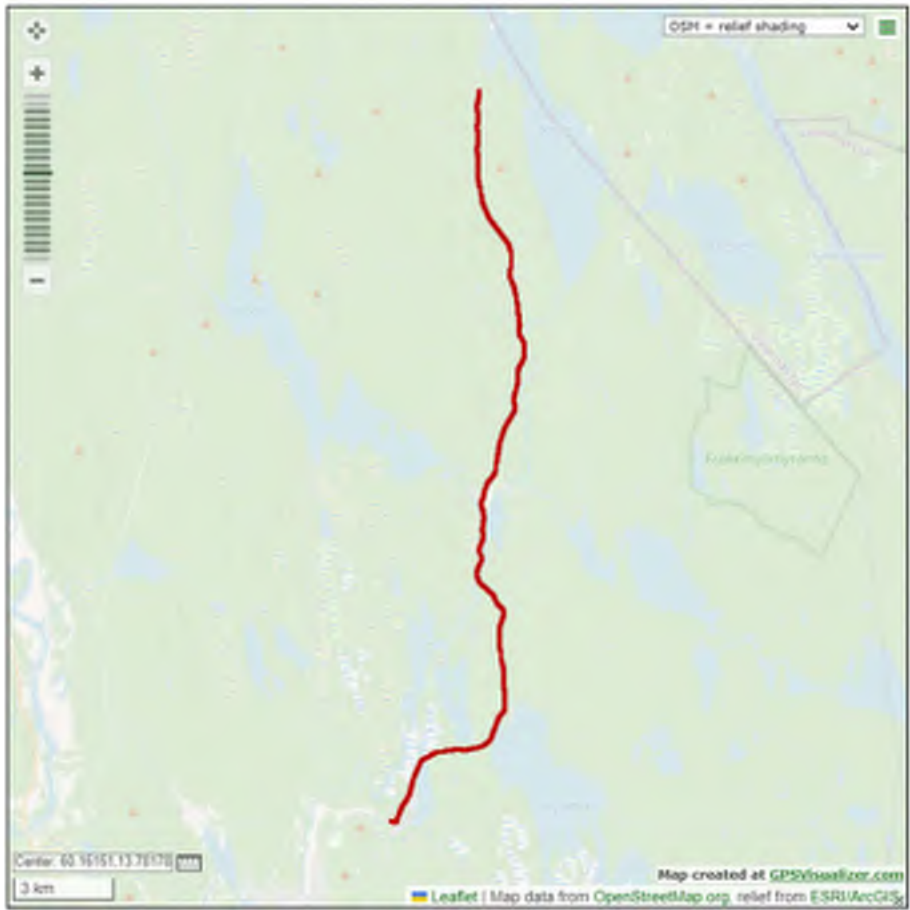
62, 240, Molkom-Uvanå (N)



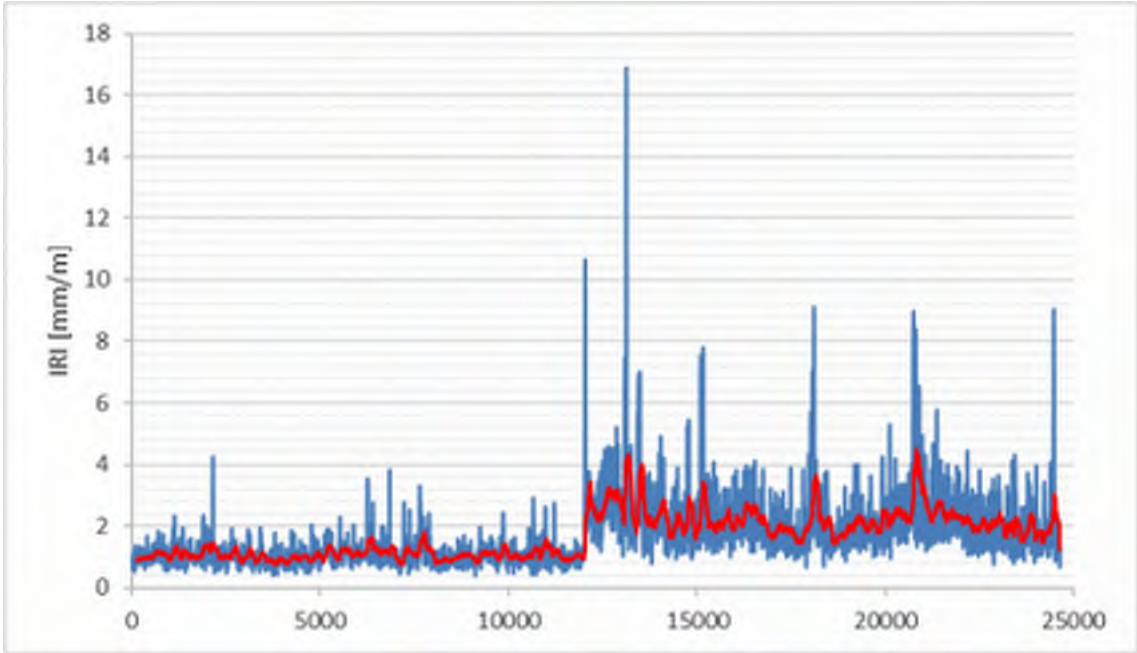
62, 240, Molkom-Uvanå (N)



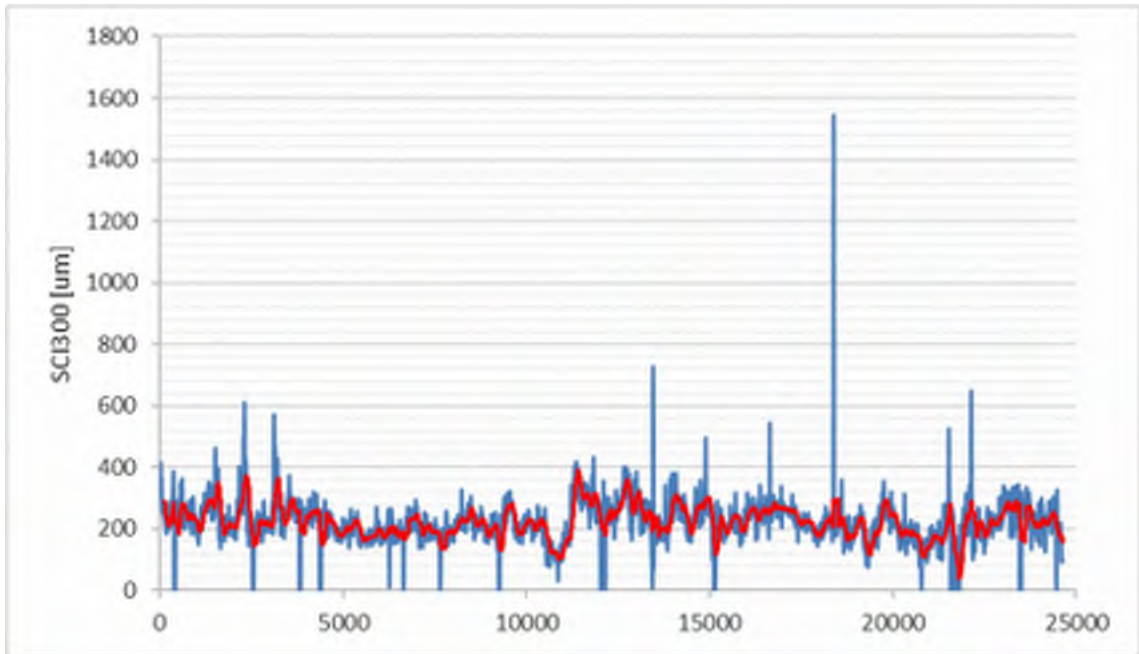
62, 240, Molkom-Uvanå (N)



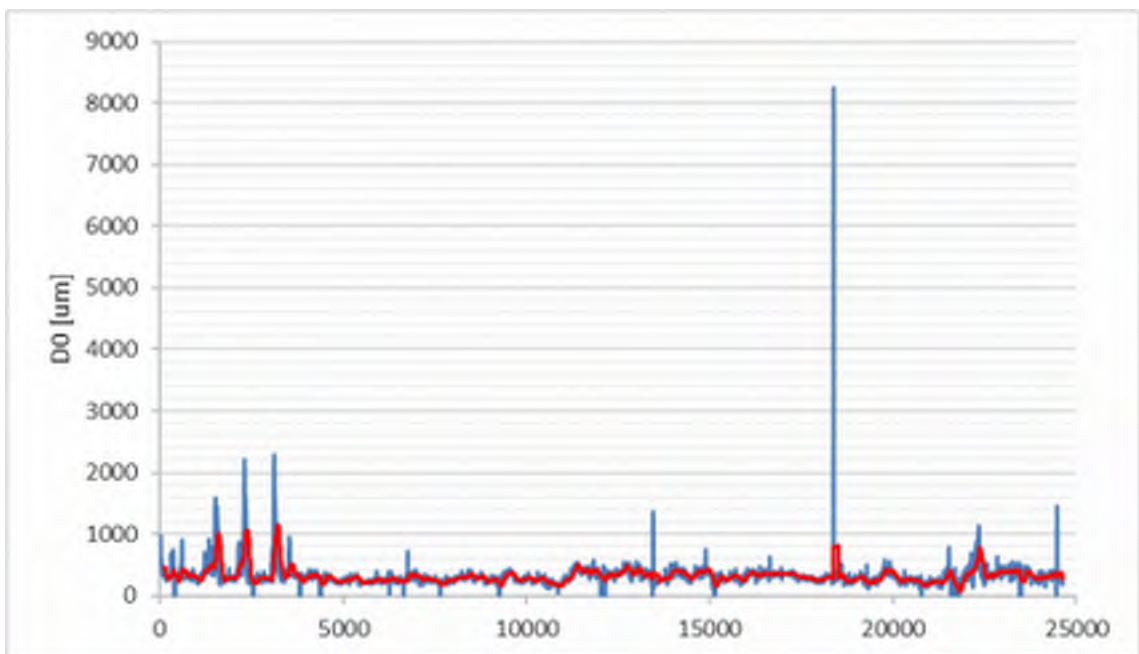
63, Uvanå-Geihersholm (S)



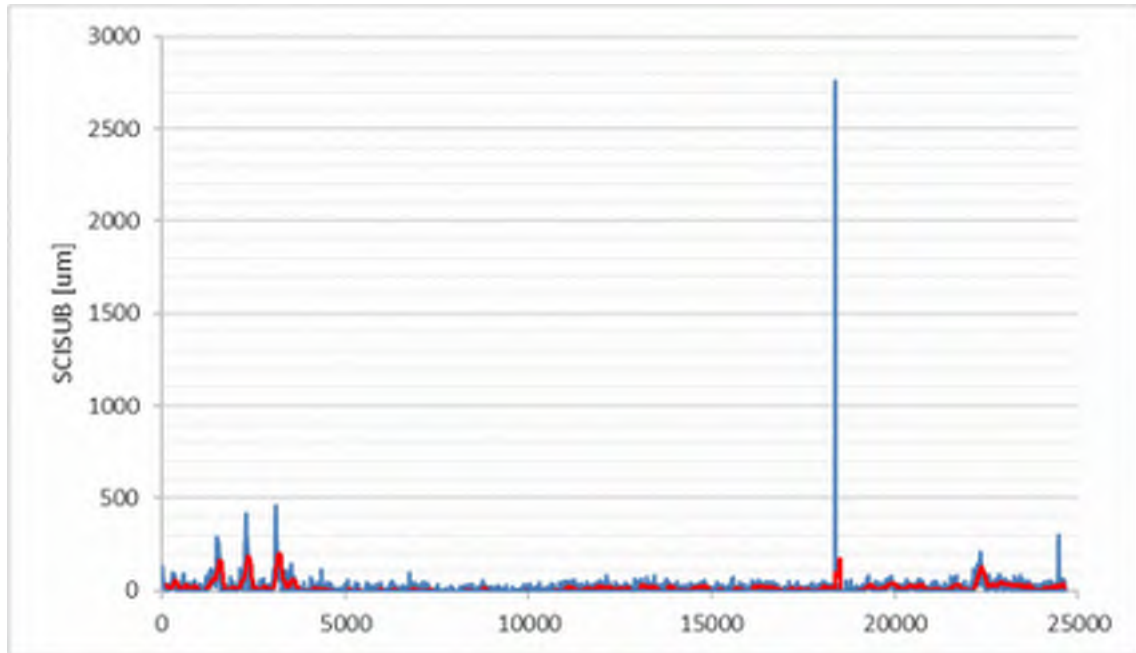
63, Uvanå-Geihersholm (S)



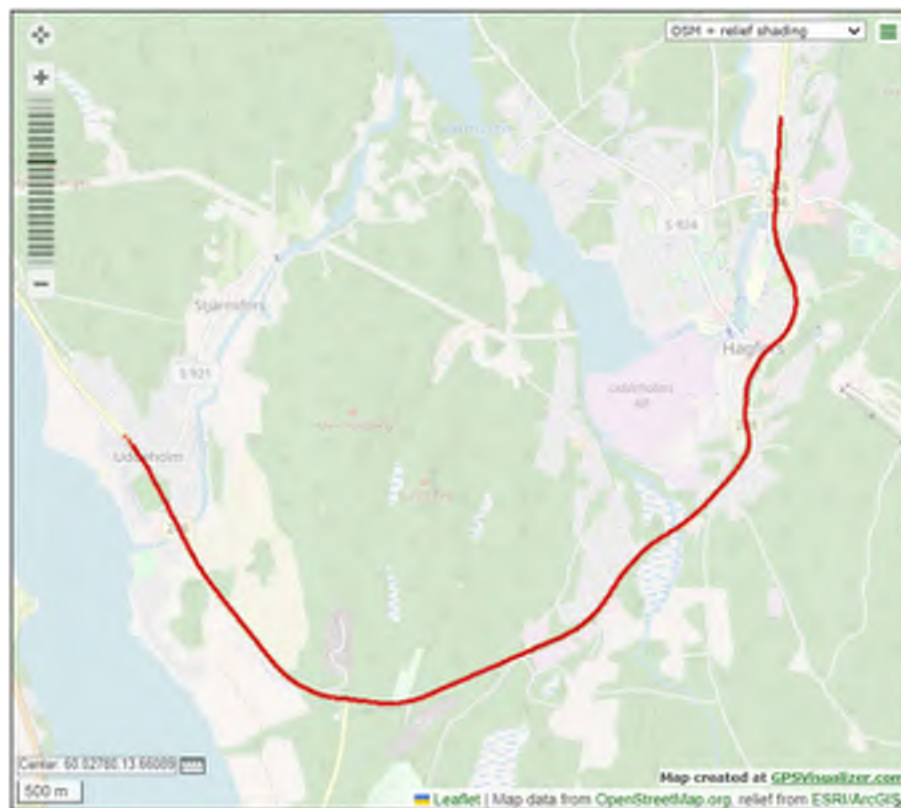
63, Uvanå-Geihersholm (S)



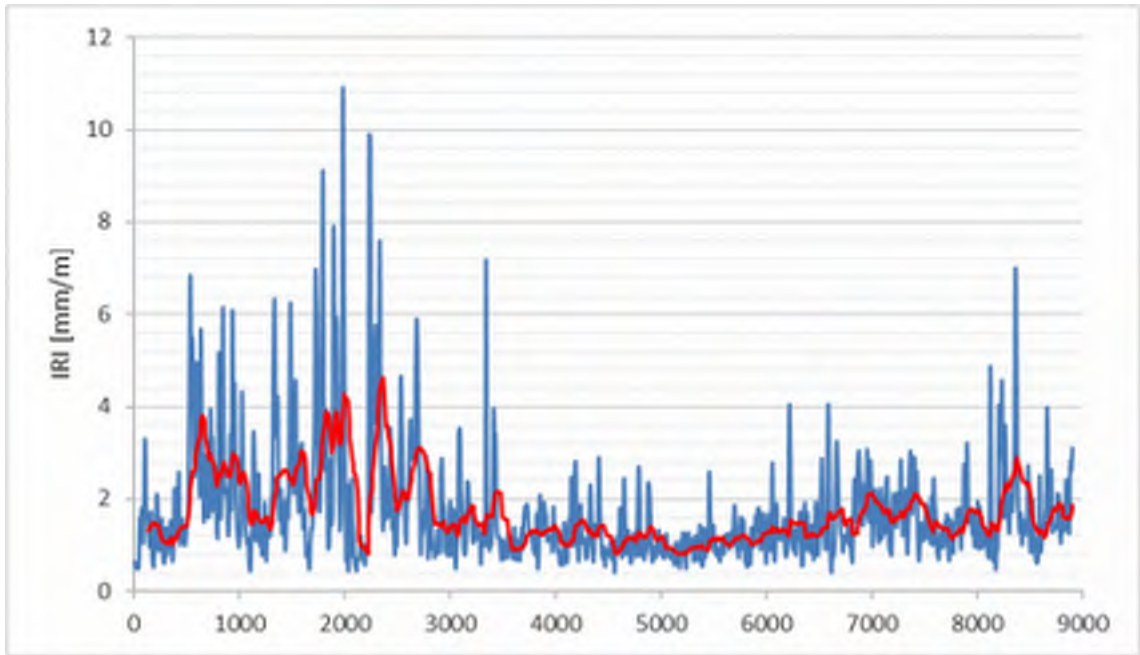
63, Uvanå-Geihersholm (S)



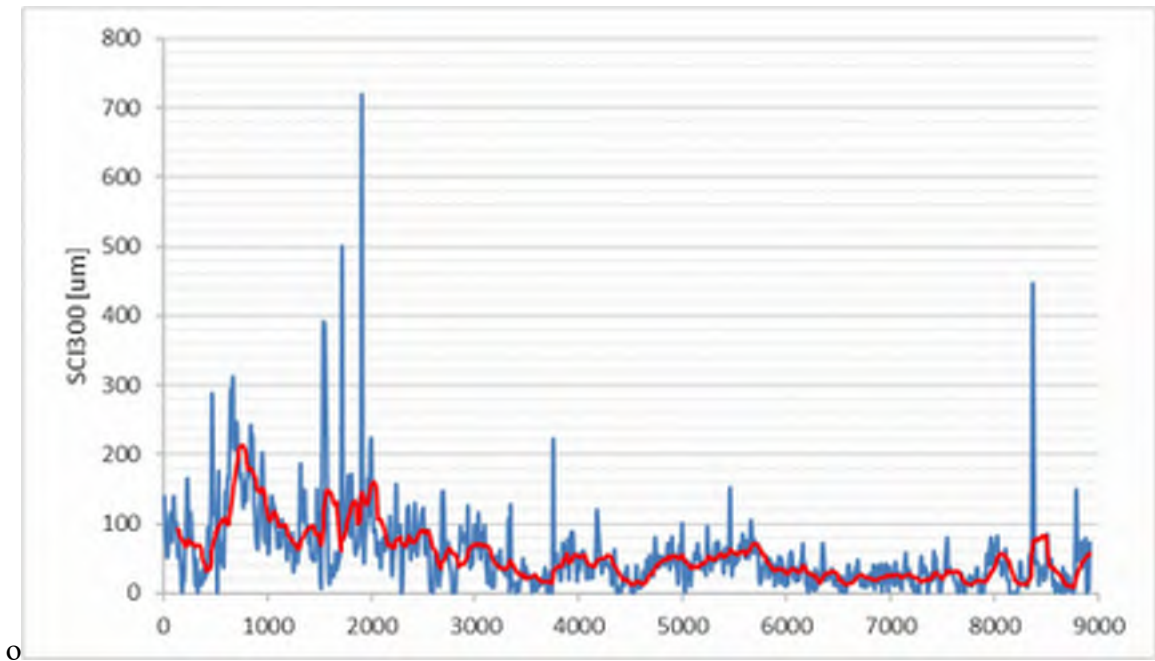
63, Uvanå-Geihersholm (S)



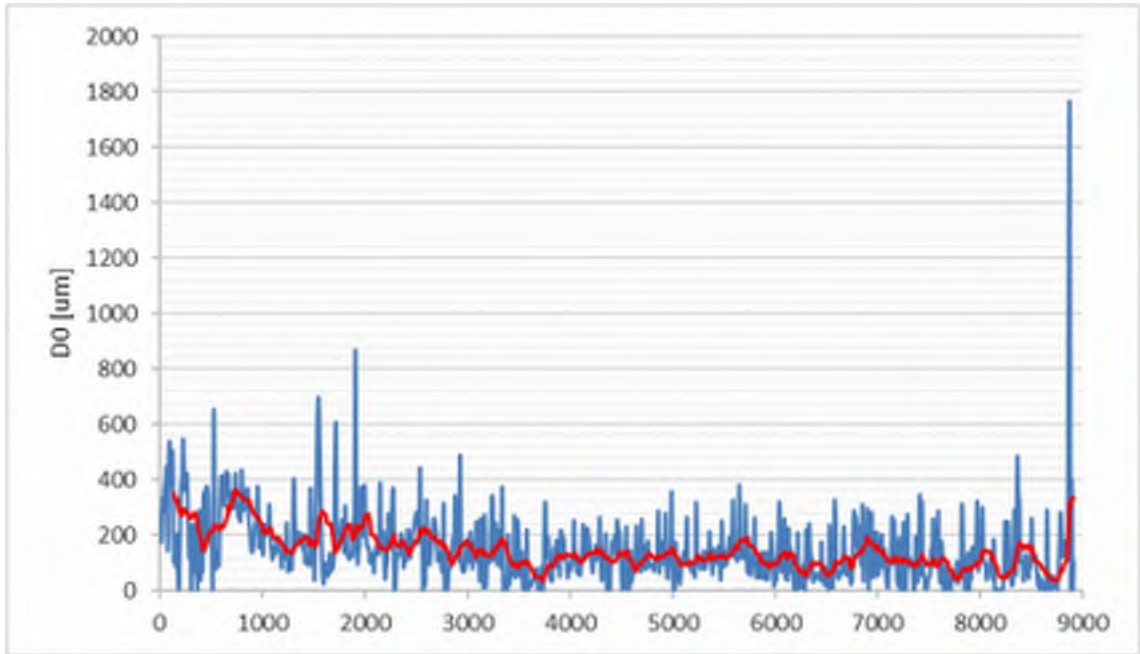
64, 245/246, Hofors (S)



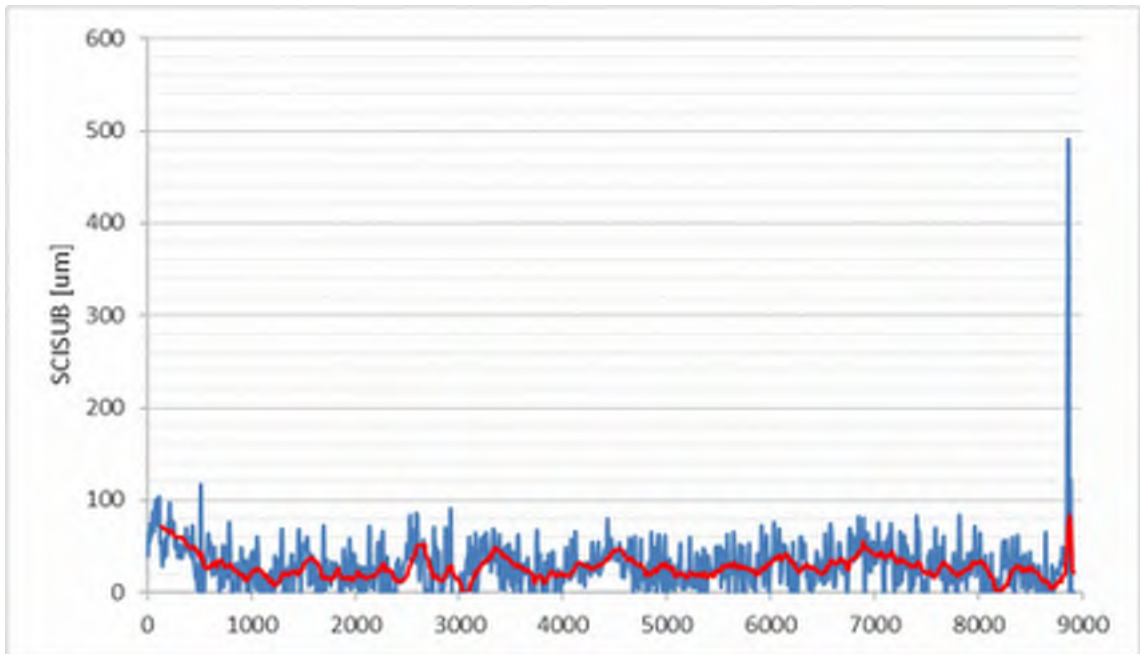
64, 245/246, Hofors (S)



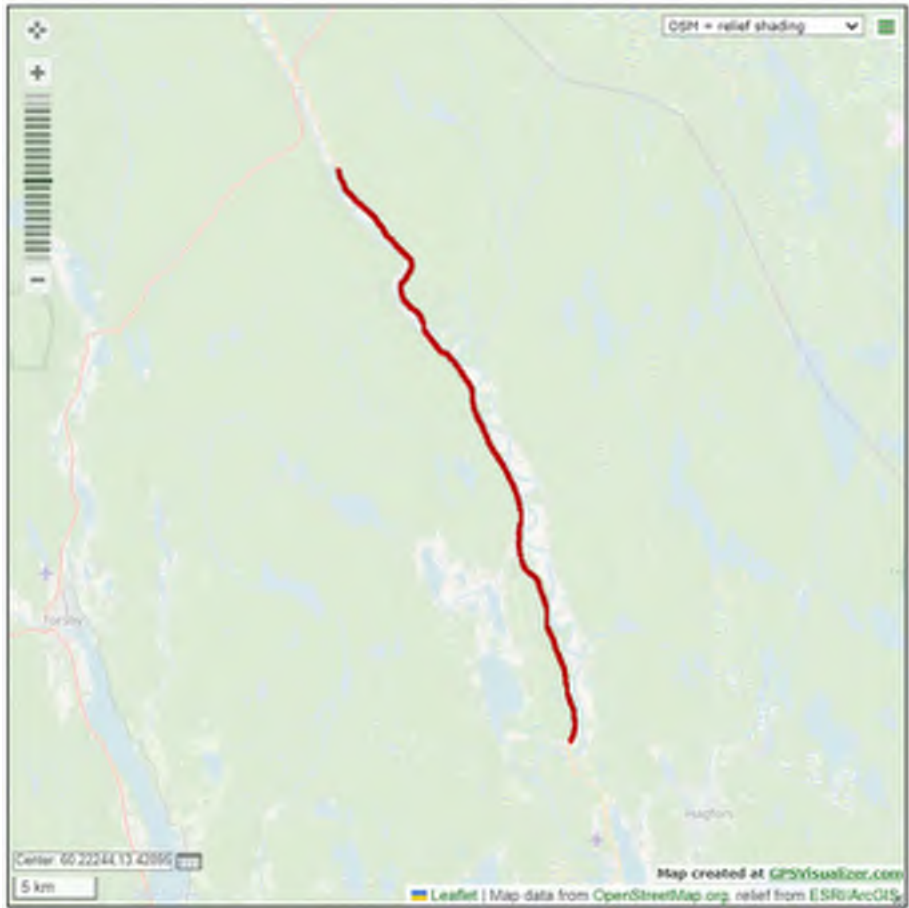
64, 245/246, Hofors (S)



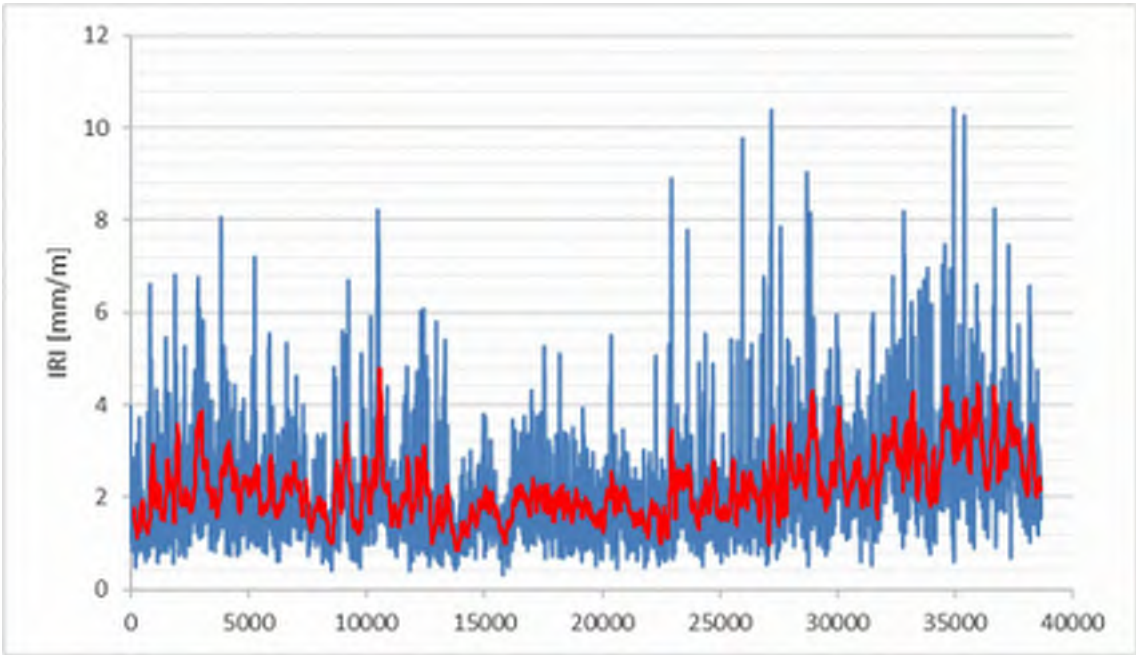
64, 245/246, Hofors (S)



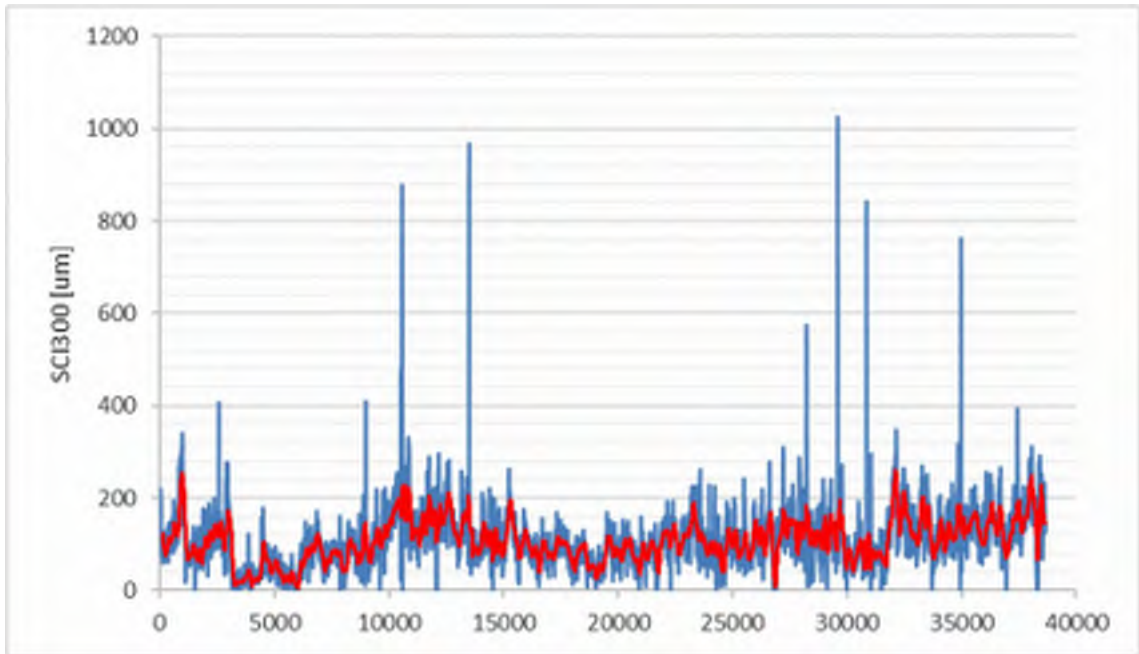
64, 245/246, Hofors (S)



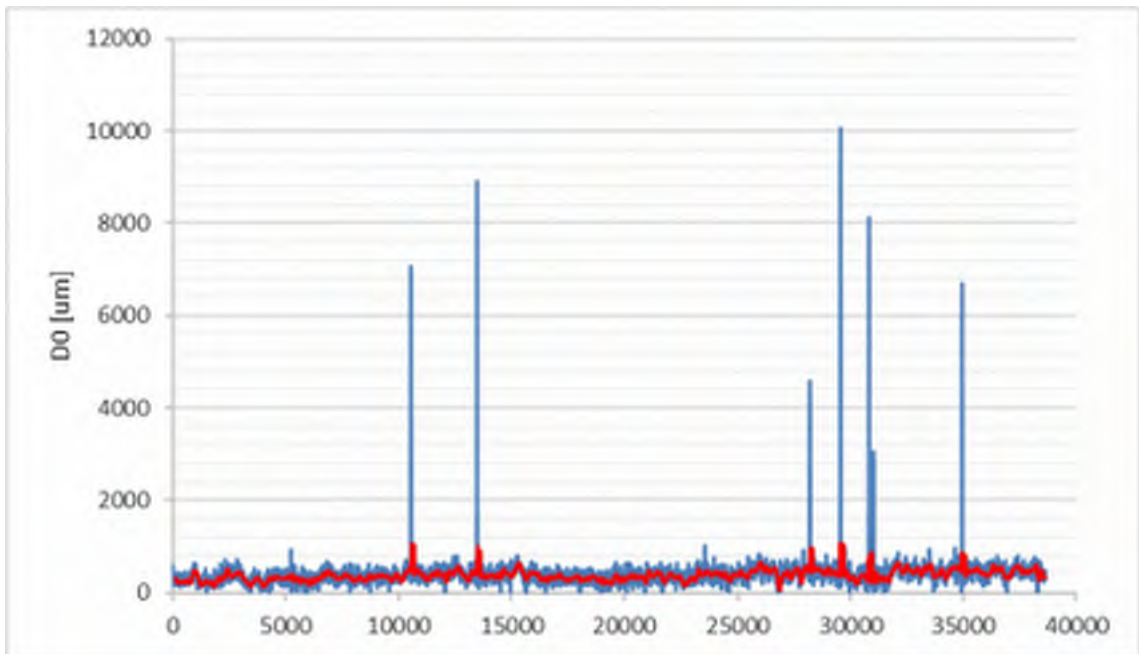
65, Rv62 (S)



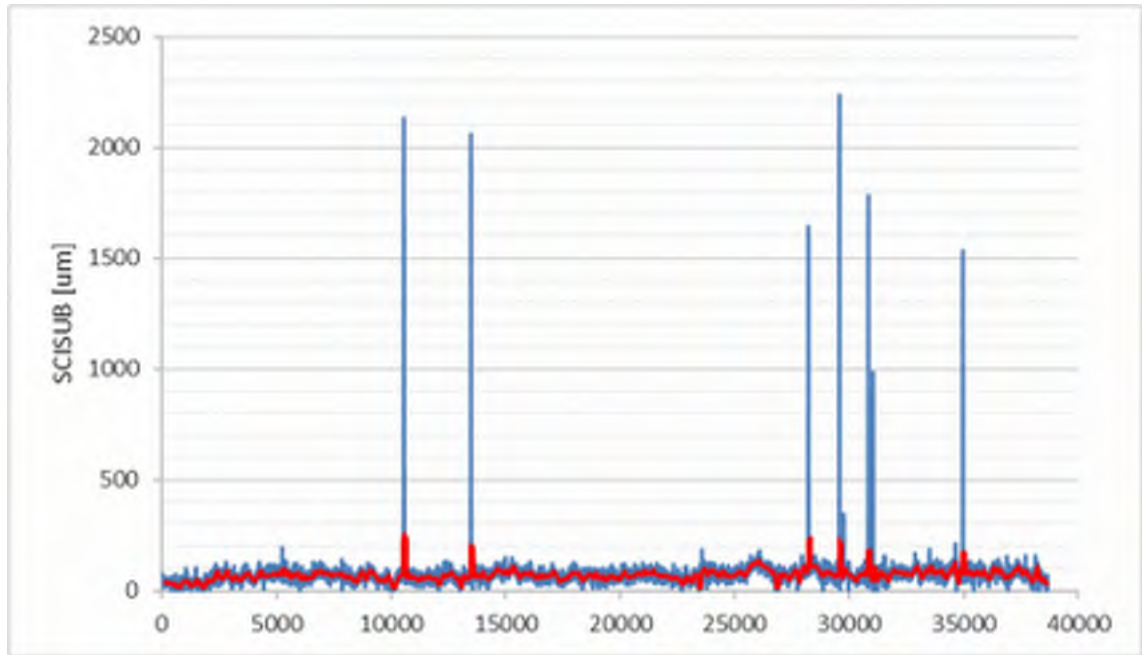
65, Rv62 (S)



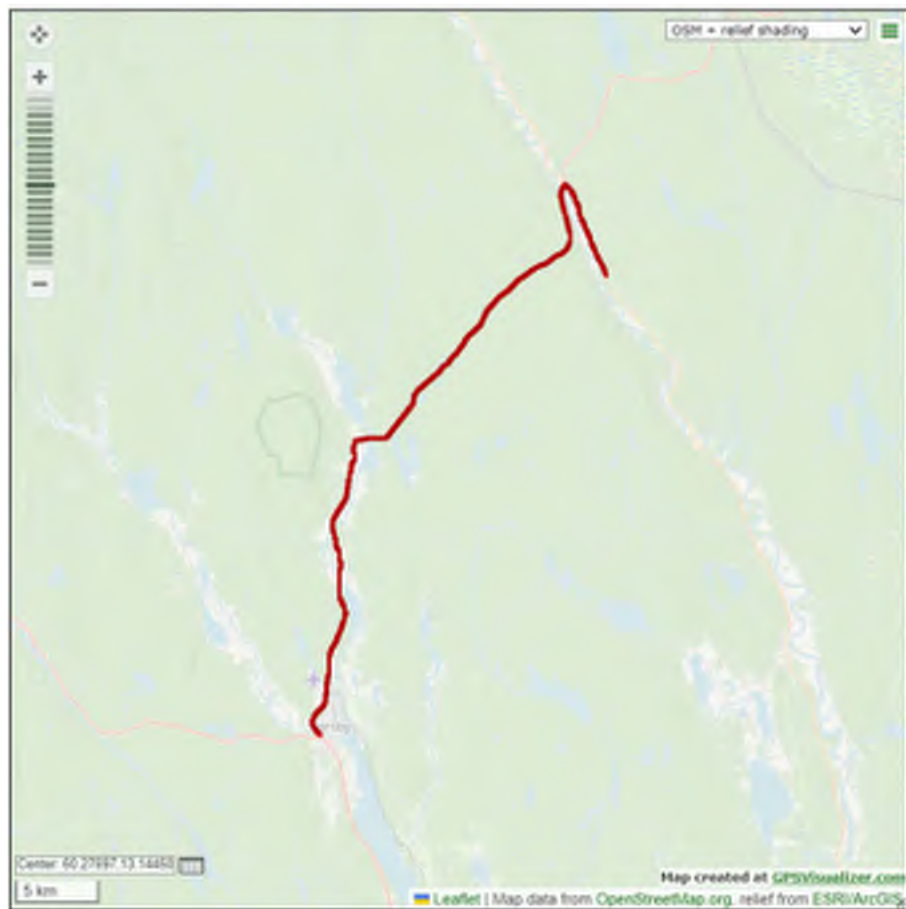
65, Rv62 (S)



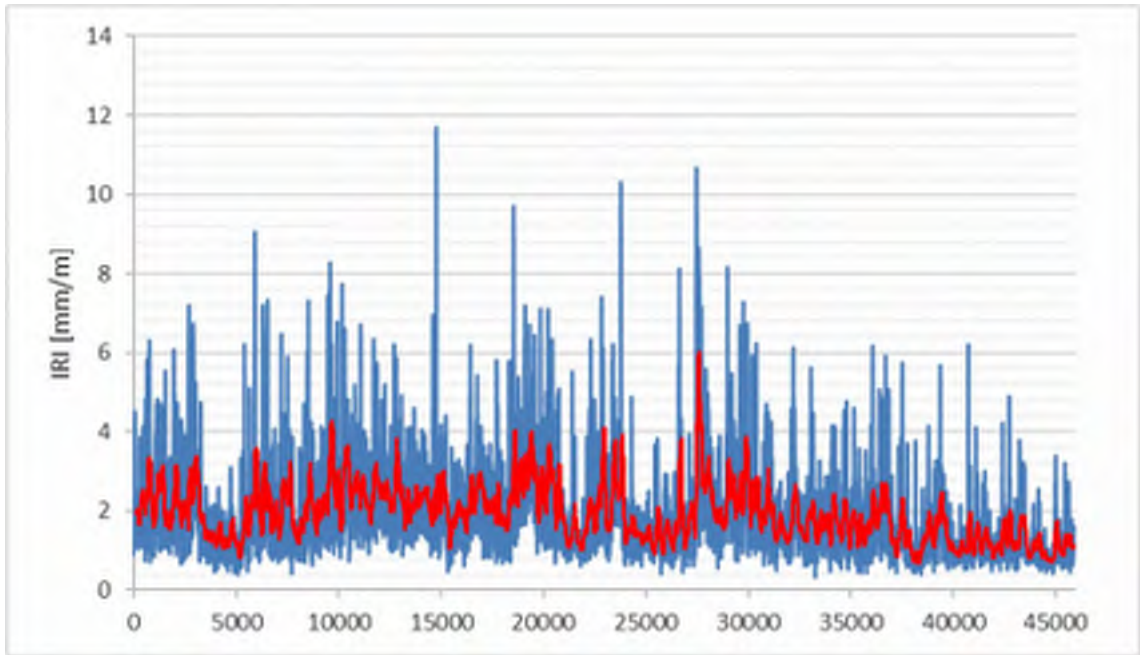
65, Rv62 (S)



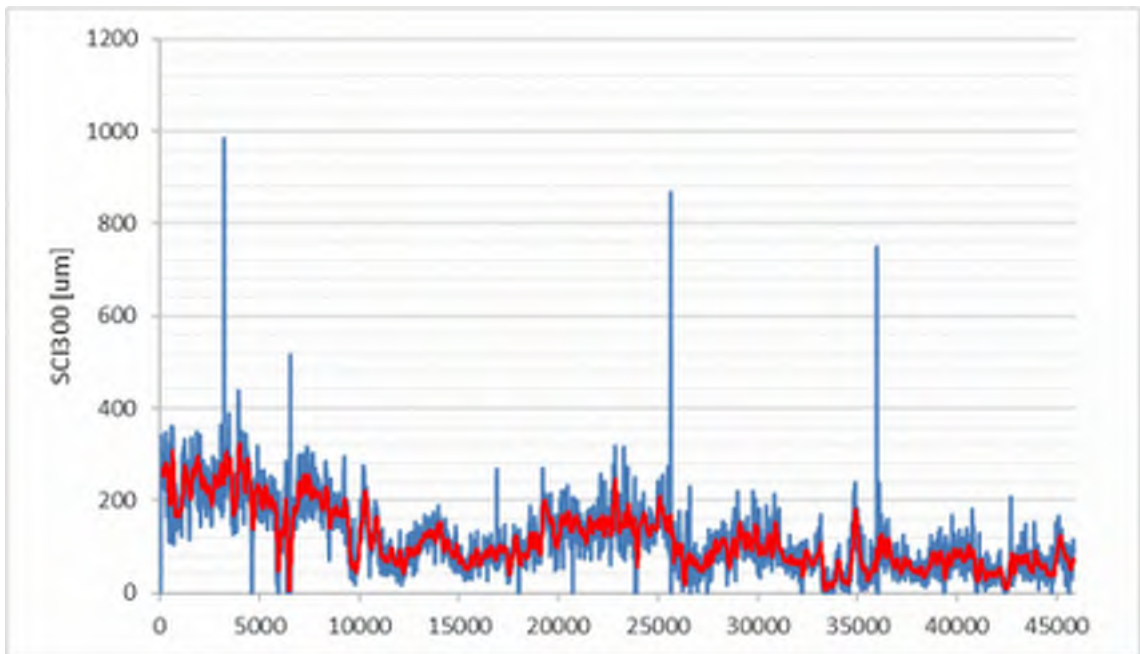
65, Rv62 (S)



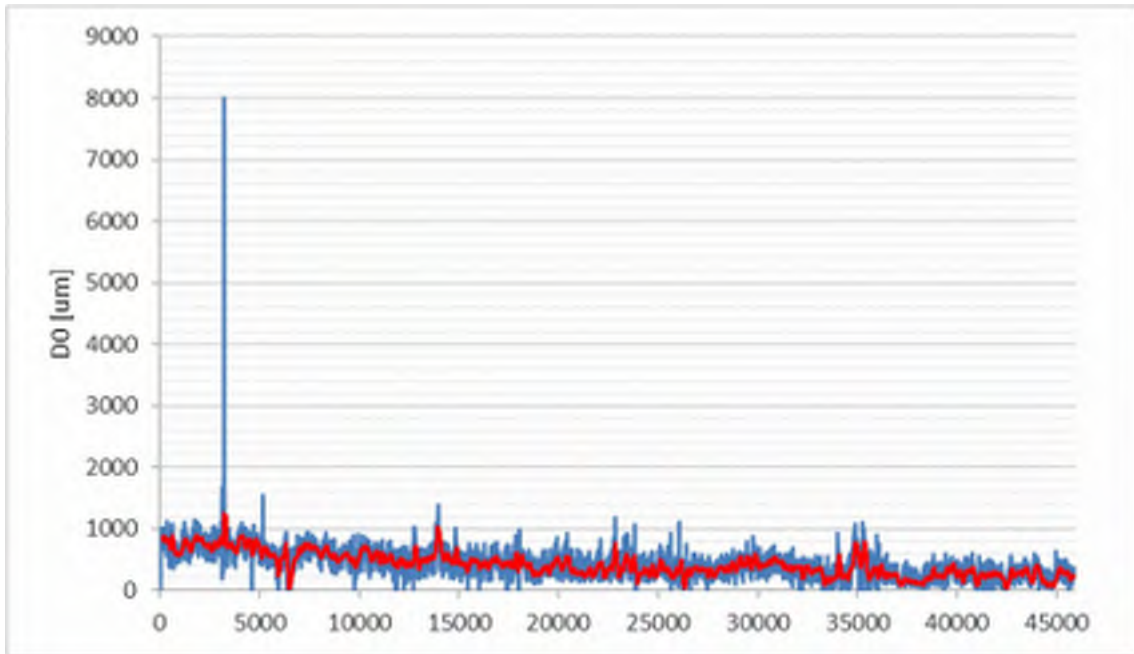
66, Rv62/E45 Torsby (S)



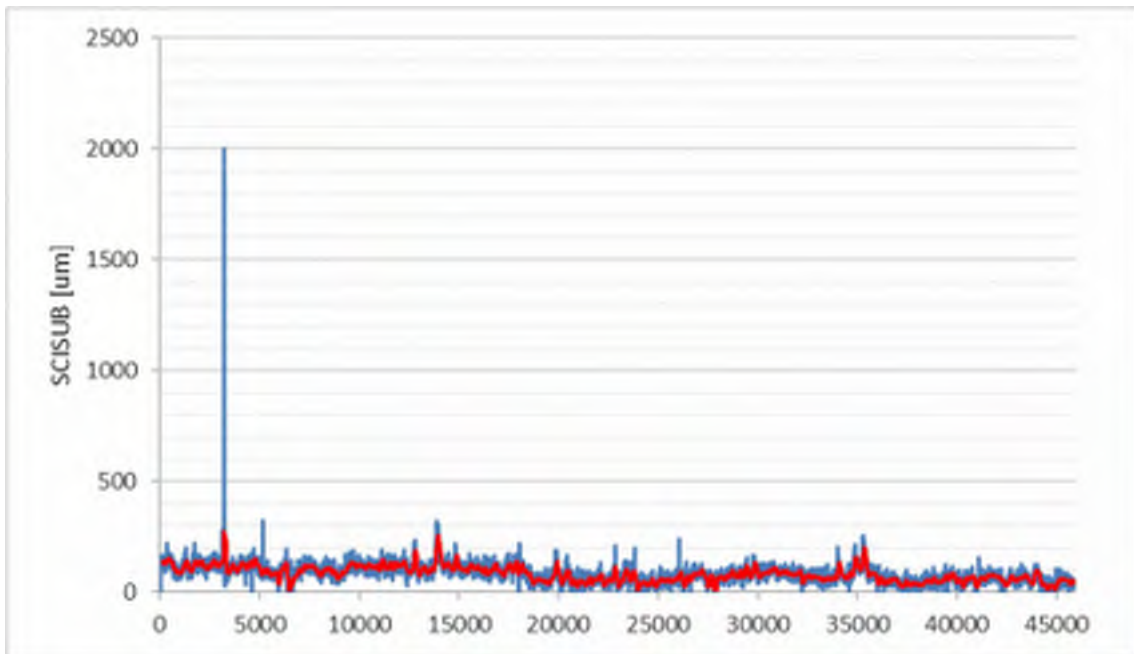
66, Rv62/E45 Torsby (S)



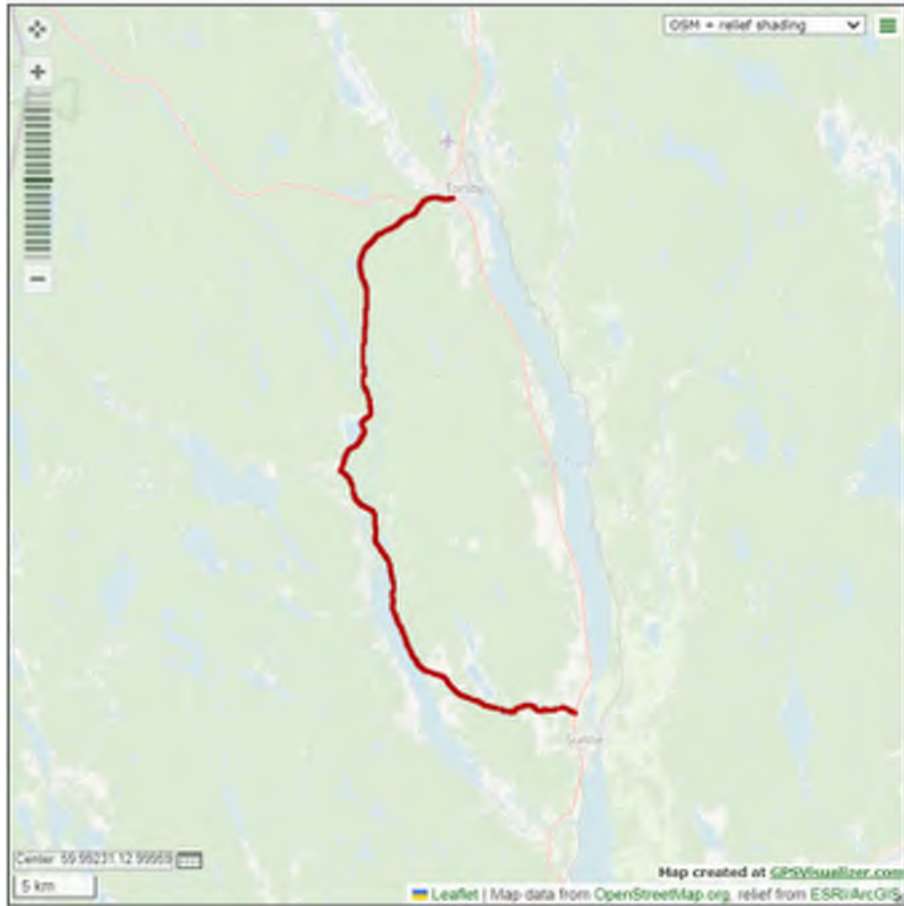
66, Rv62/E45 Torsby (S)



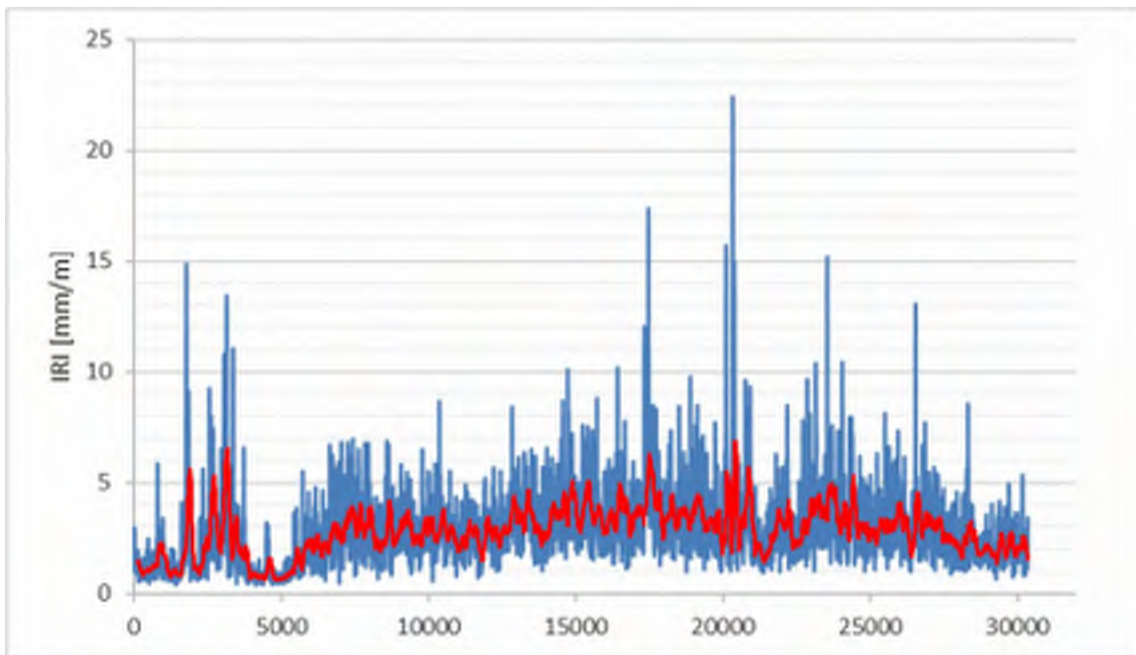
66, Rv62/E45 Torsby (S)



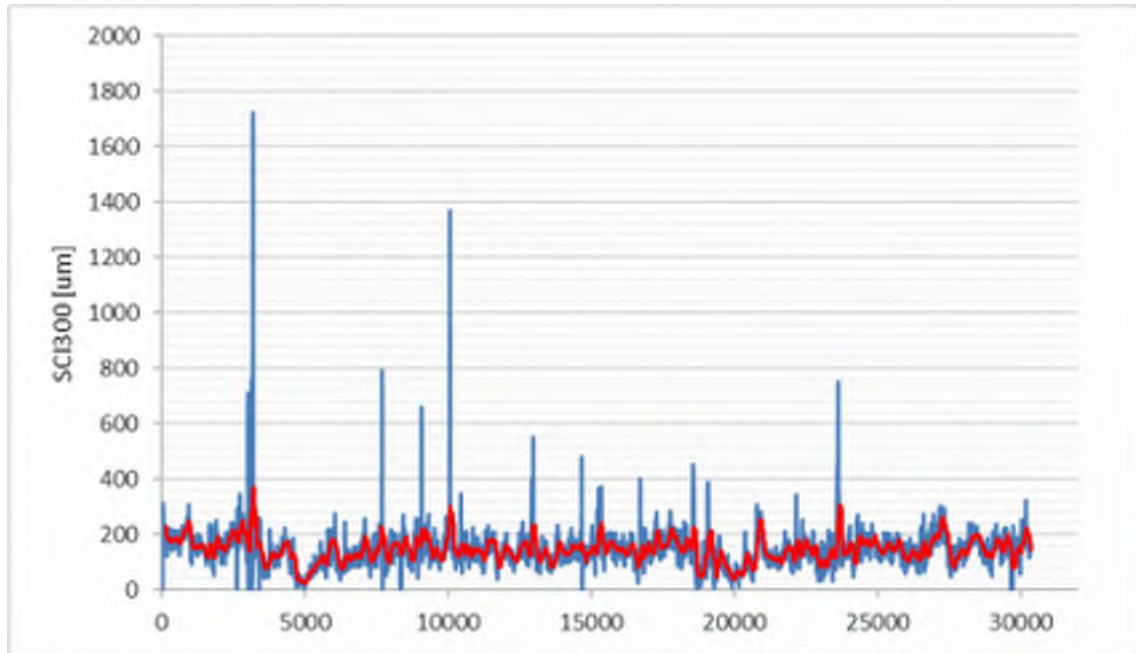
66, Rv62/E45 Torsby (S)



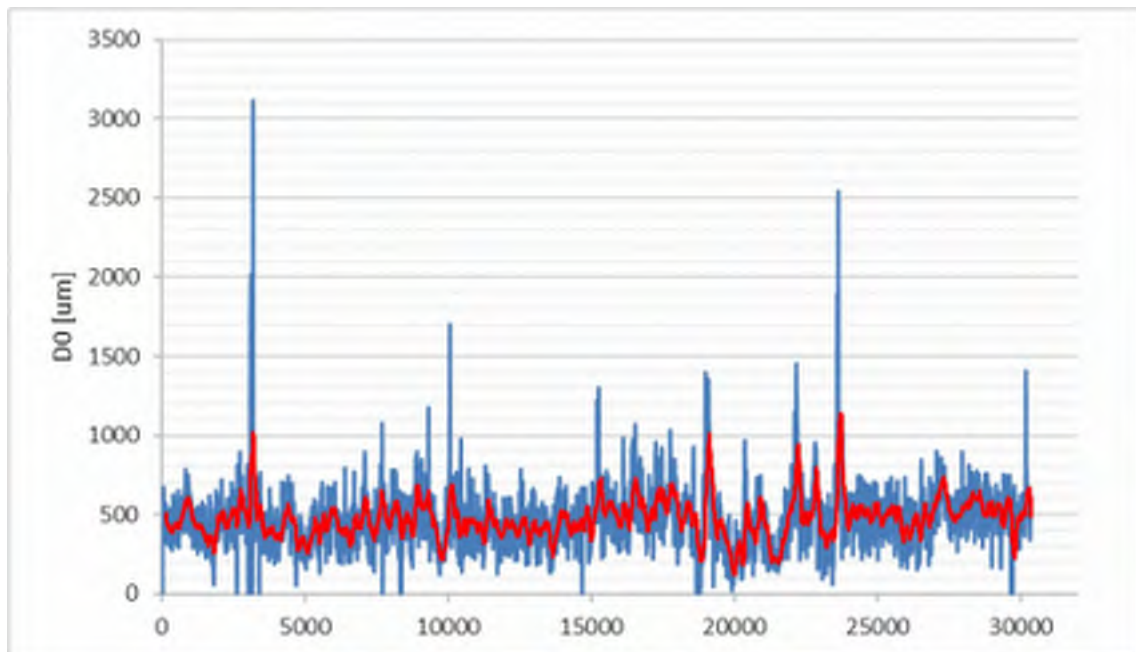
67, Gräsmarksvägen, Torsby-Sunne (S)



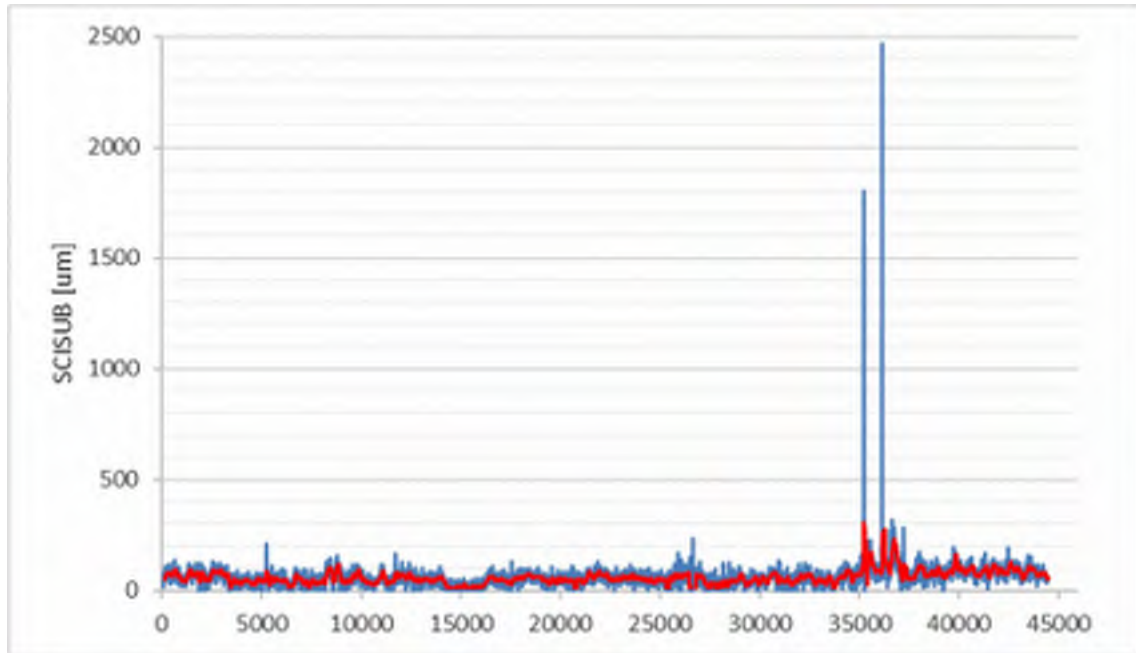
67, Gräsmarksvägen, Torsby-Sunne (S)



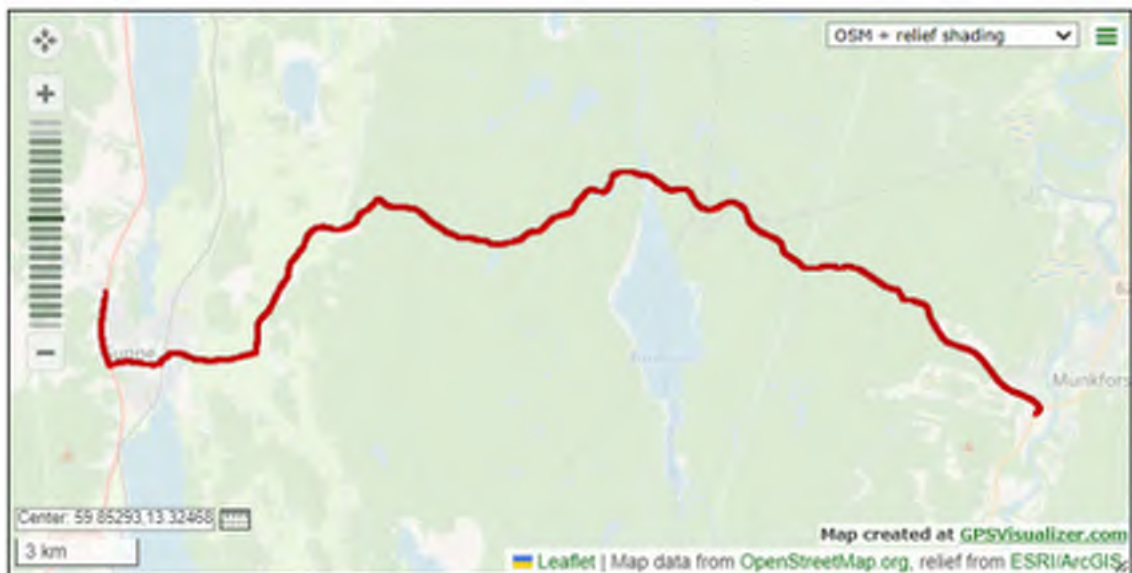
67, Gräsmarksvägen, Torsby-Sunne (S)



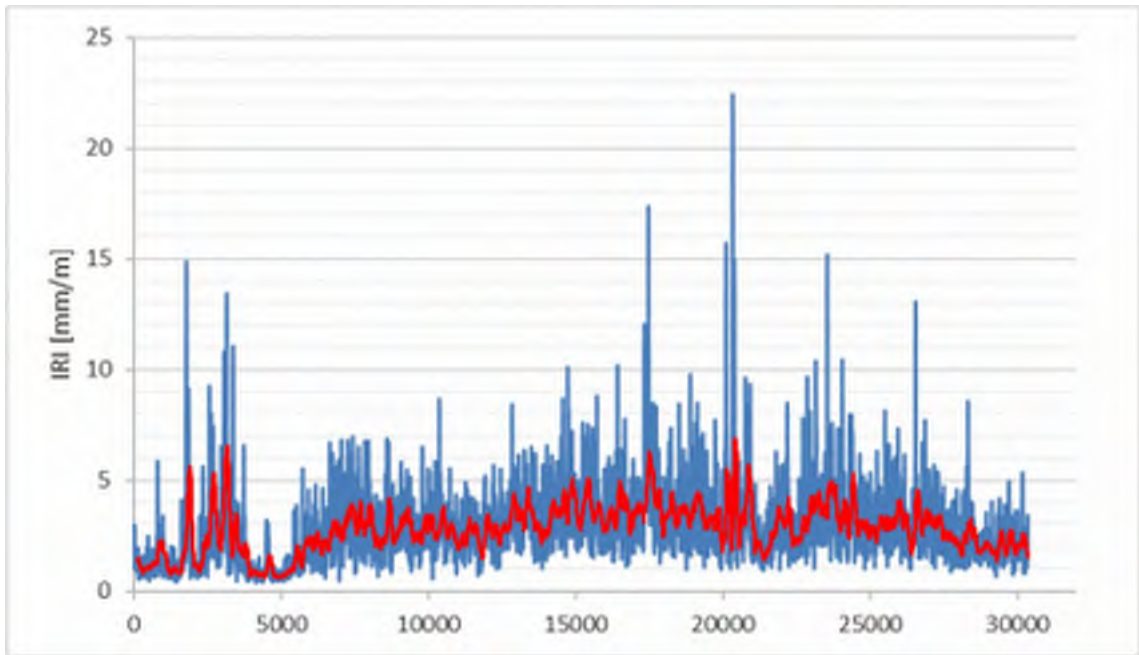
67, Gräsmarksvägen, Torsby-Sunne (S)



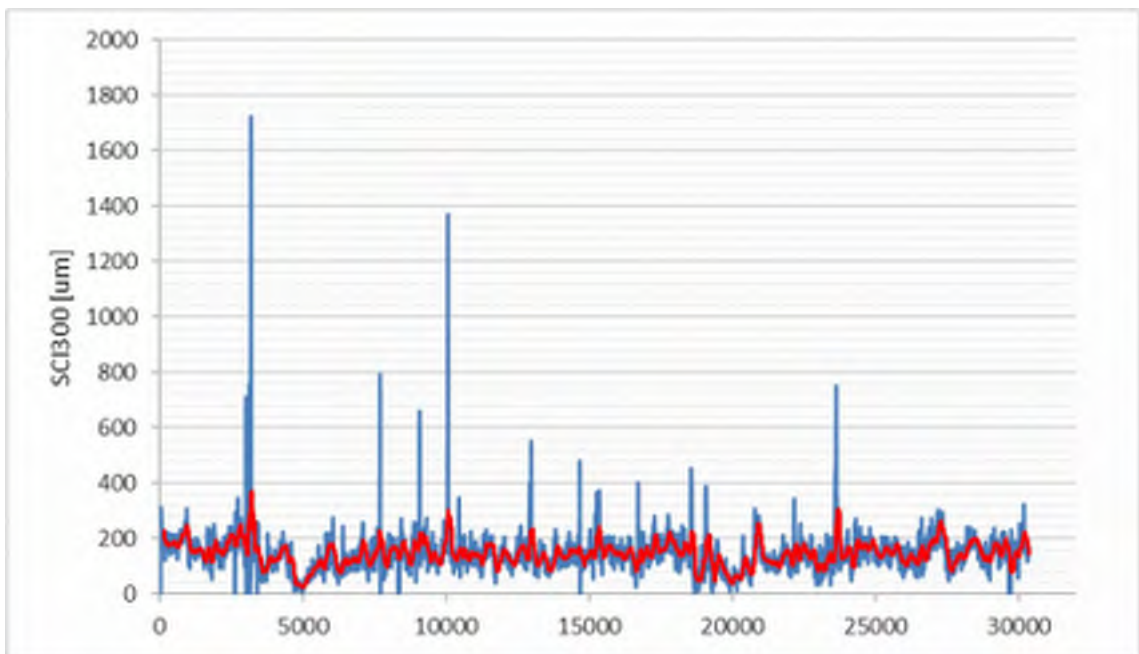
67, Gräsmarksvägen, Torsby-Sunne (S)



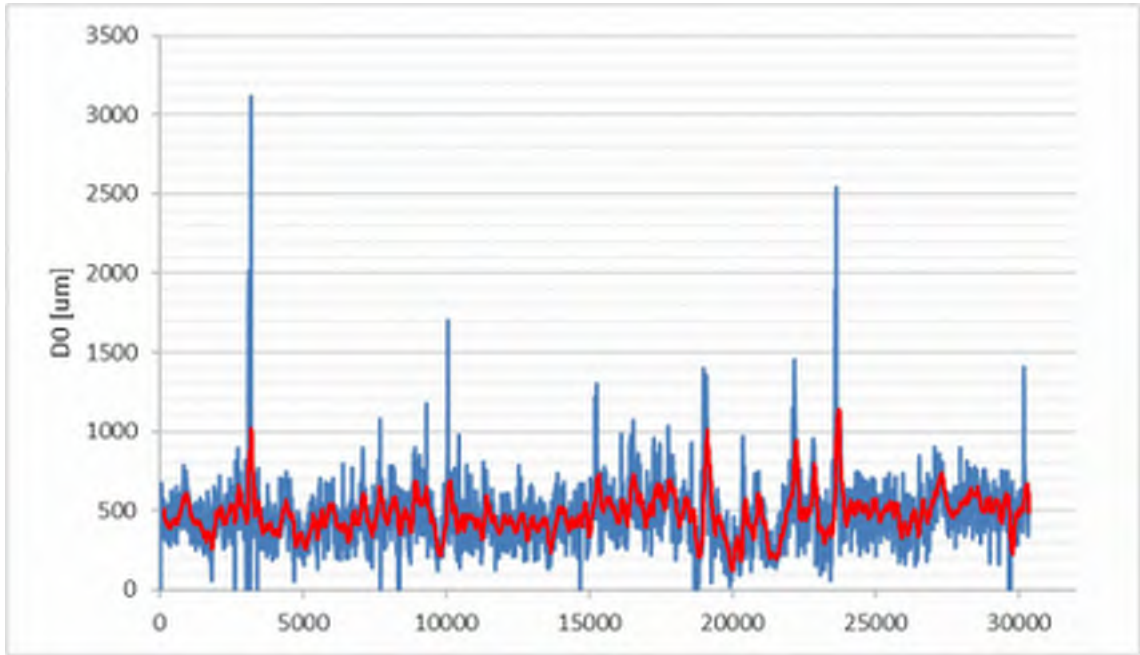
68, 241, Sunne-Munkfors



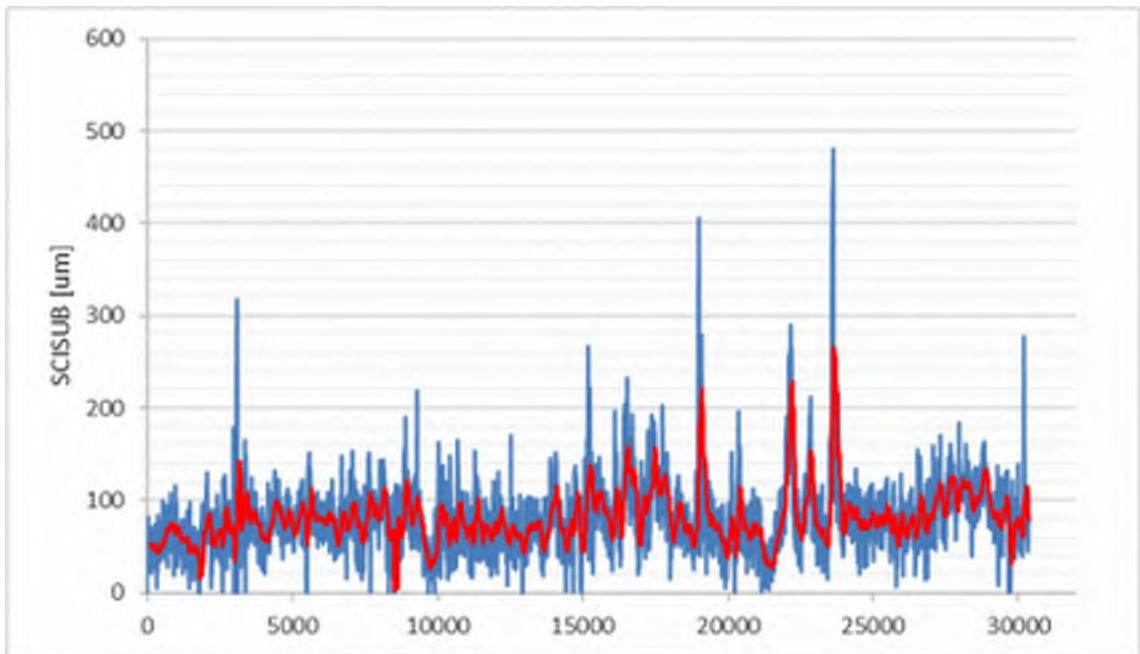
68, 241, Sunne-Munkfors



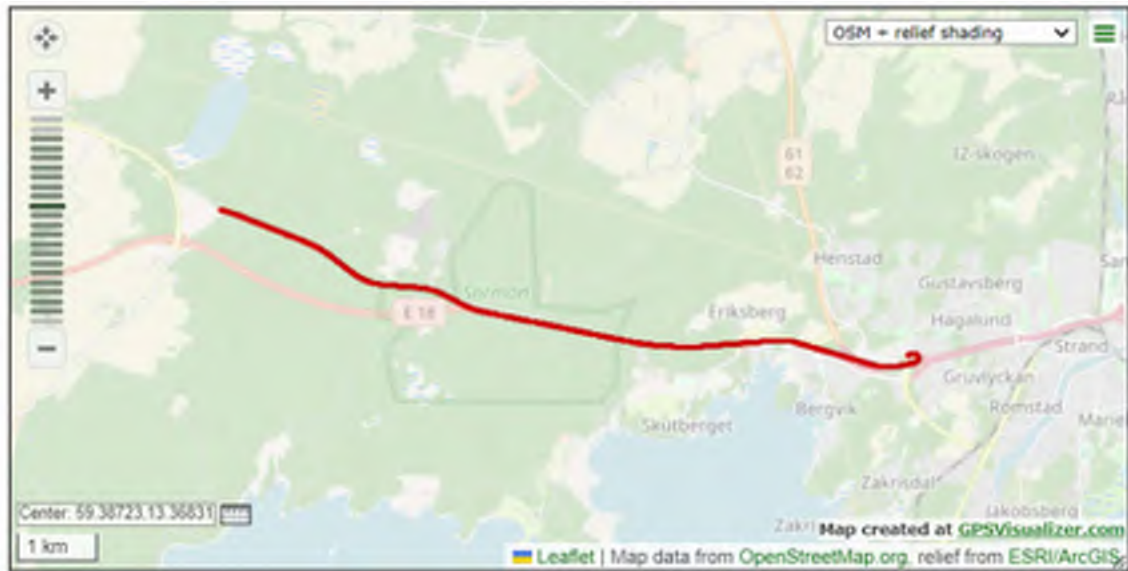
68, 241, Sunne-Munkfors



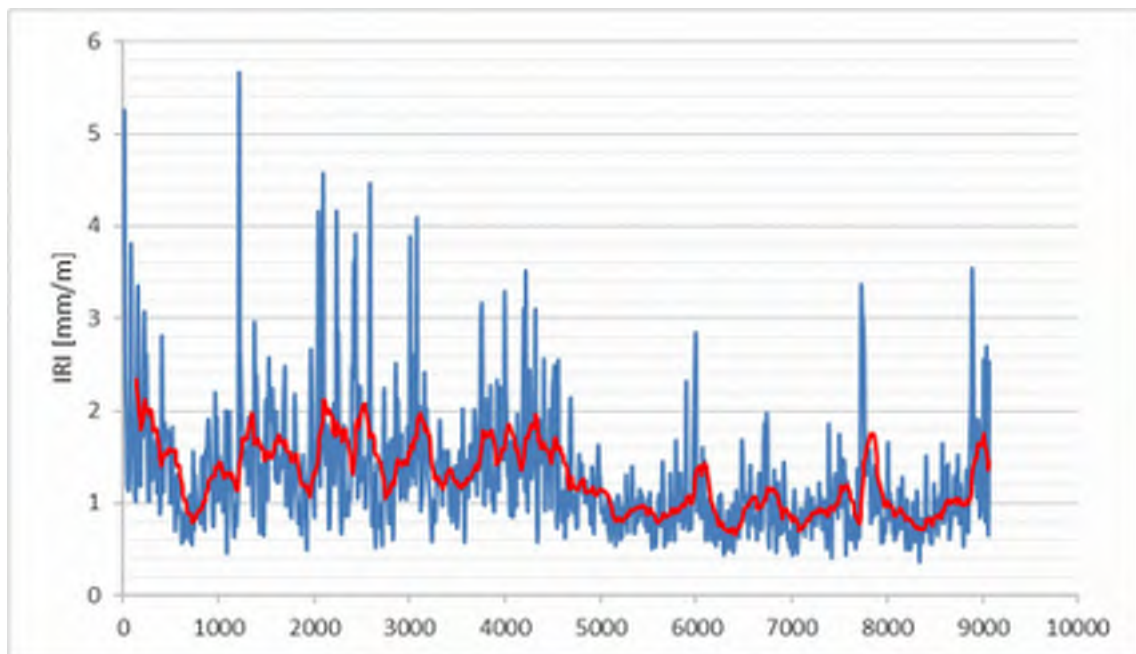
68, 241, Sunne-Munkfors



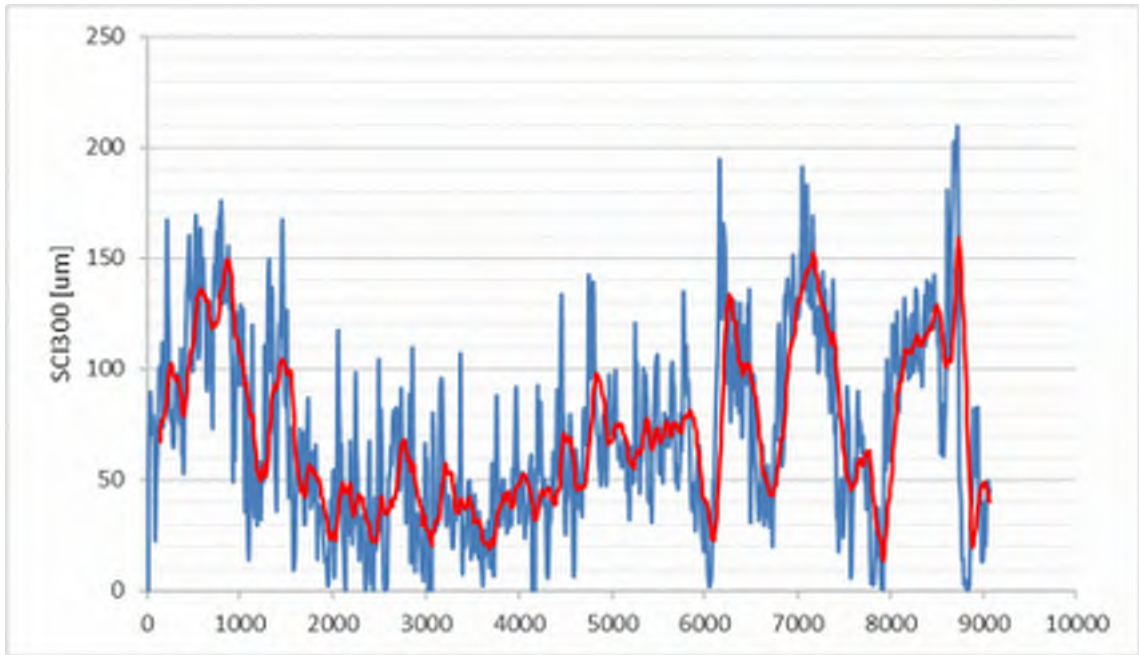
68, 241, Sunne-Munkfors



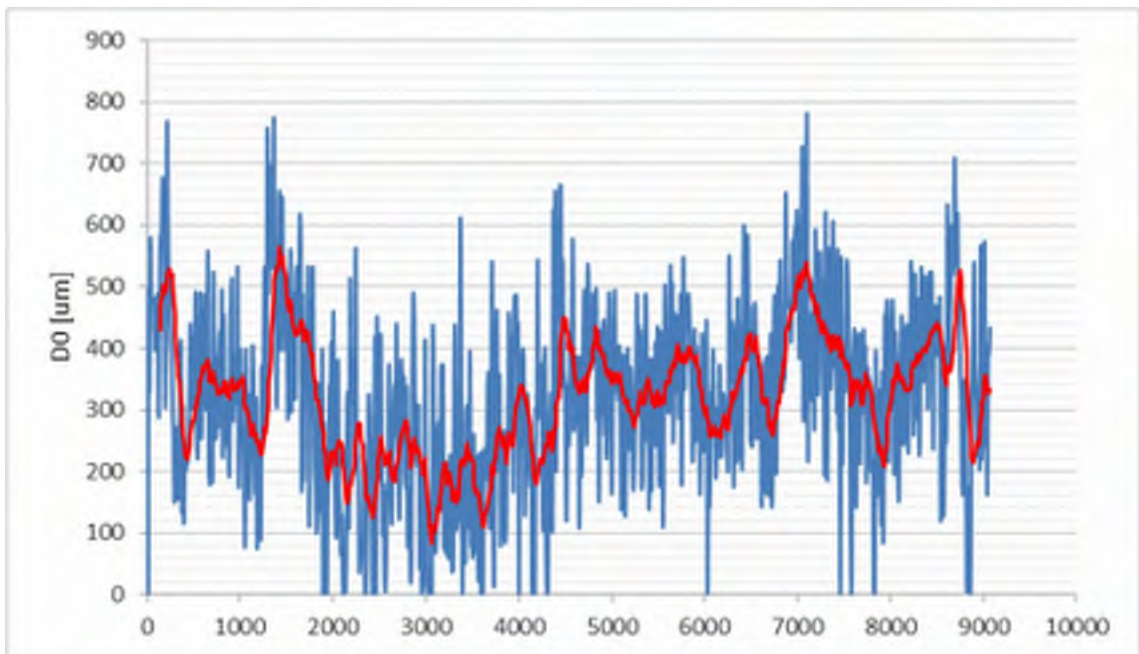
69, E18, Karlstad (Ö)



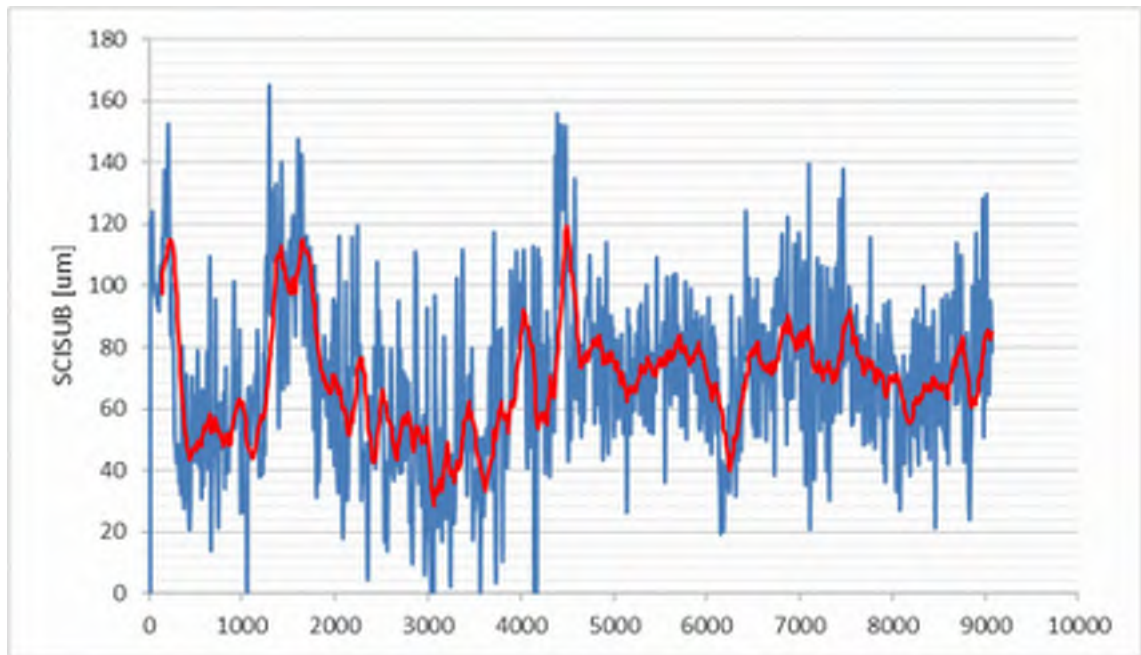
69, E18, Karlstad (Ö)



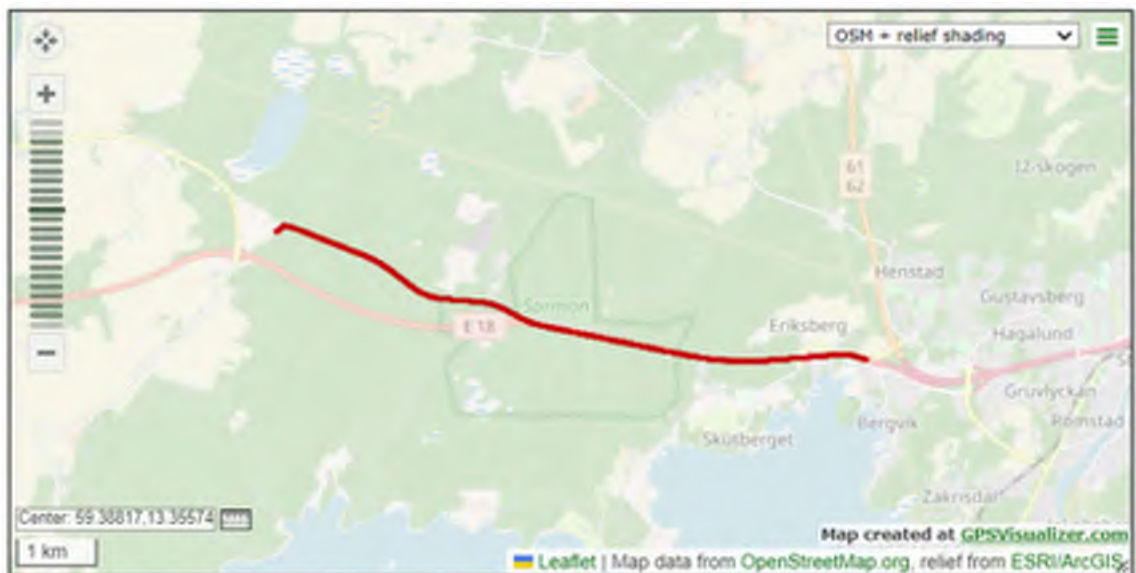
69, E18, Karlstad (Ö)



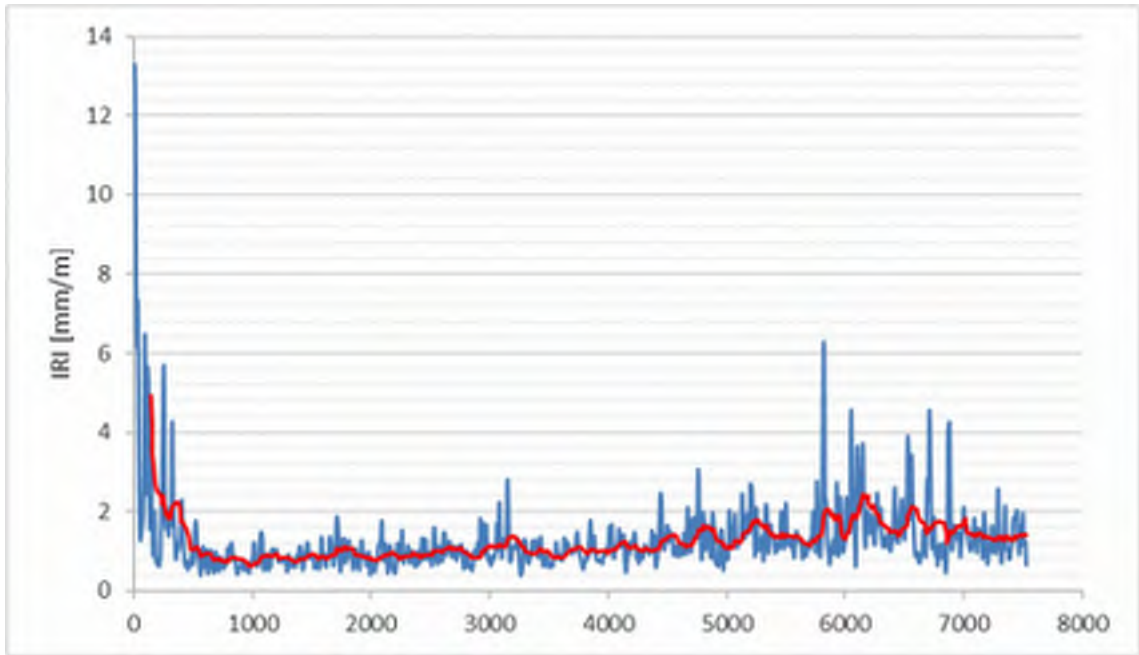
69, E18, Karlstad (Ö)



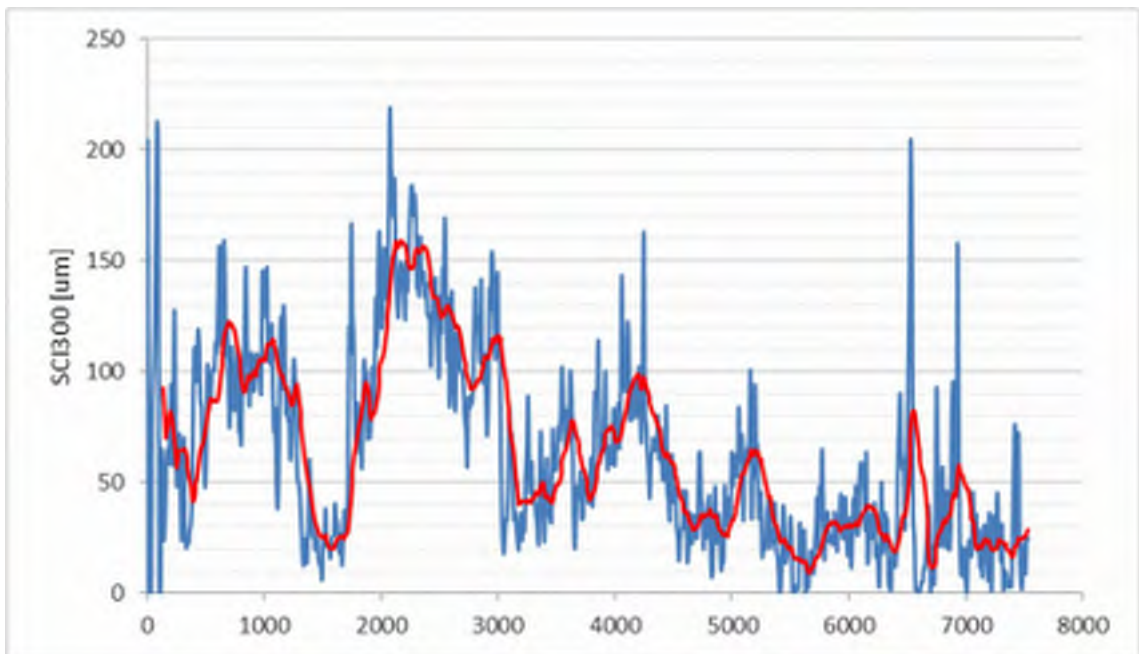
69, E18, Karlstad (Ö)



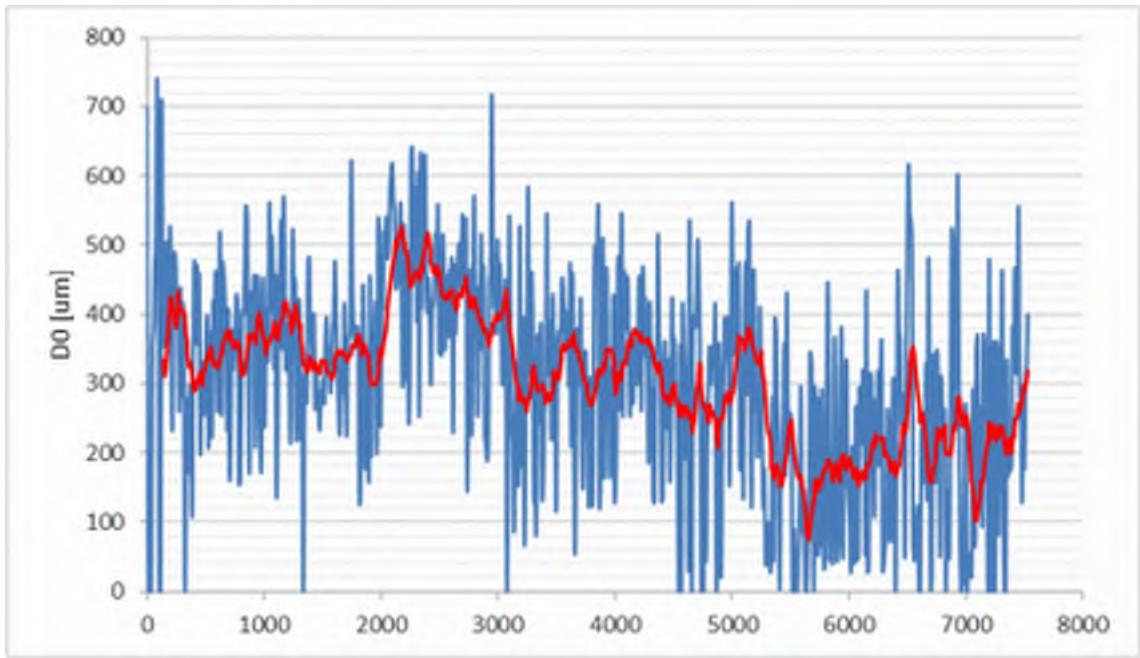
70, E18, Karlstad (V)



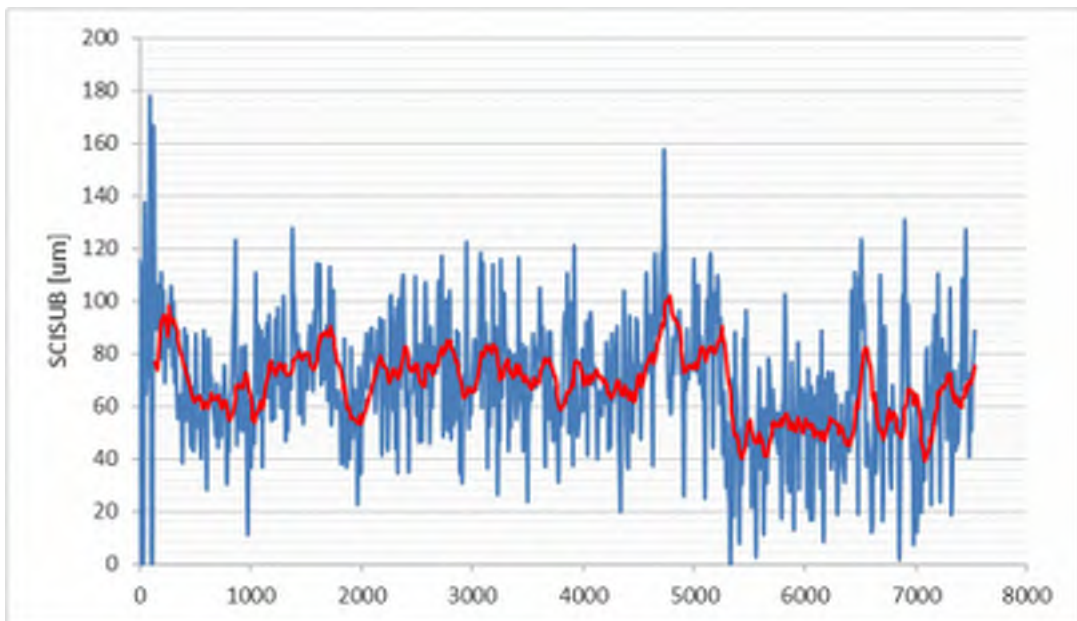
70, E18, Karlstad (V)



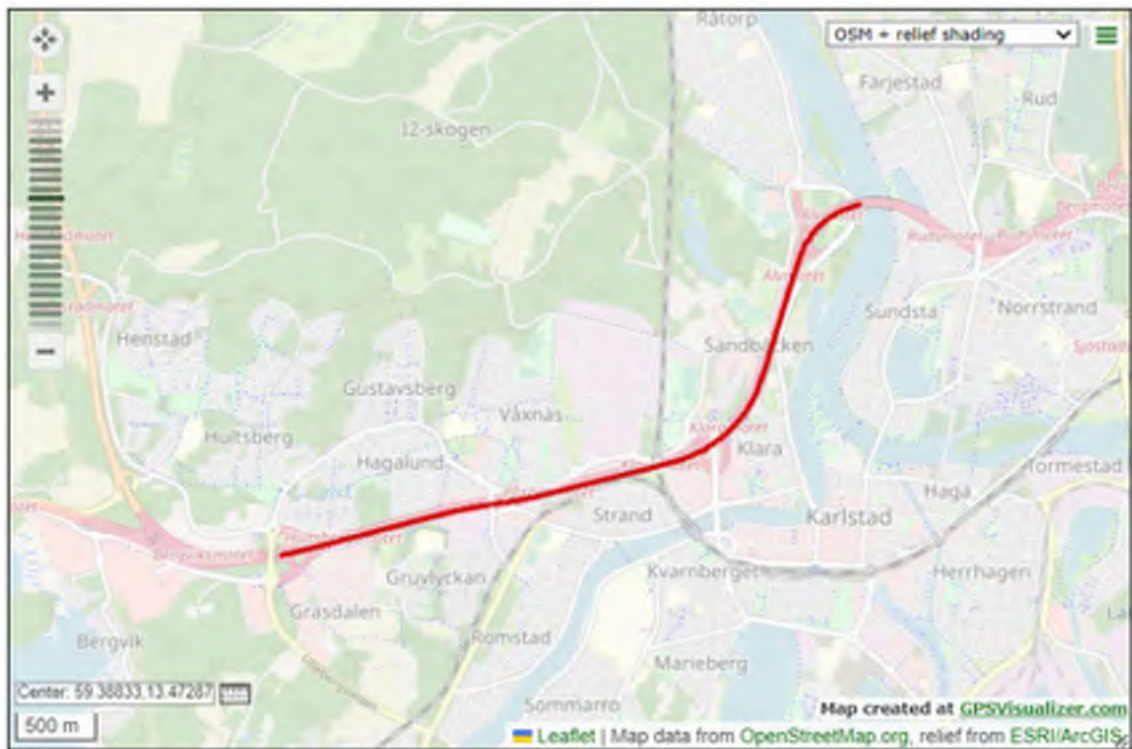
70, E18, Karlstad (V)



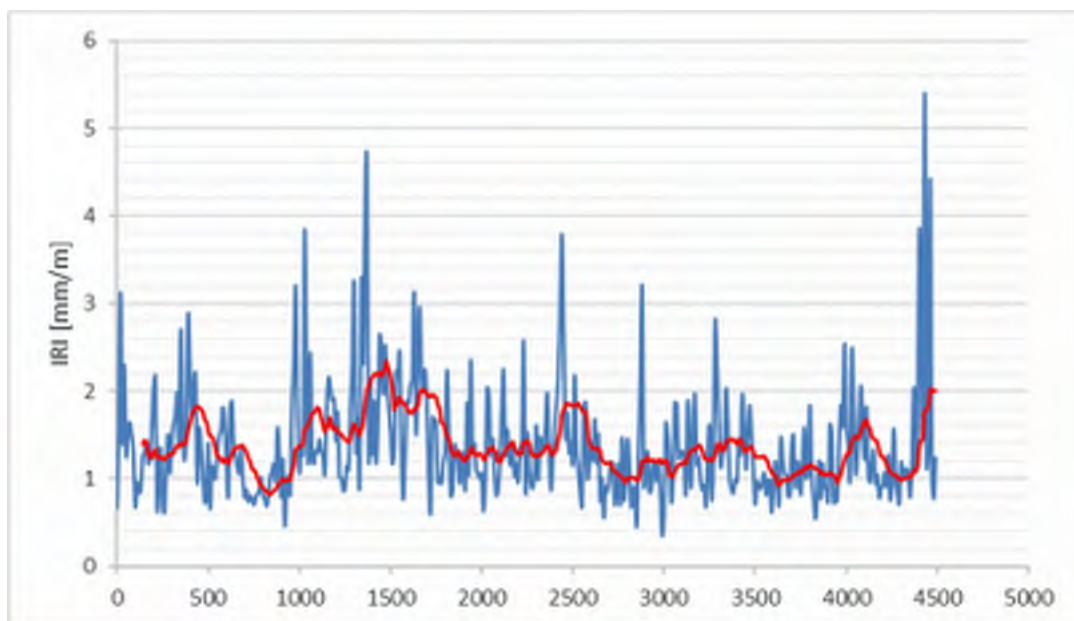
70, E18, Karlstad (V)



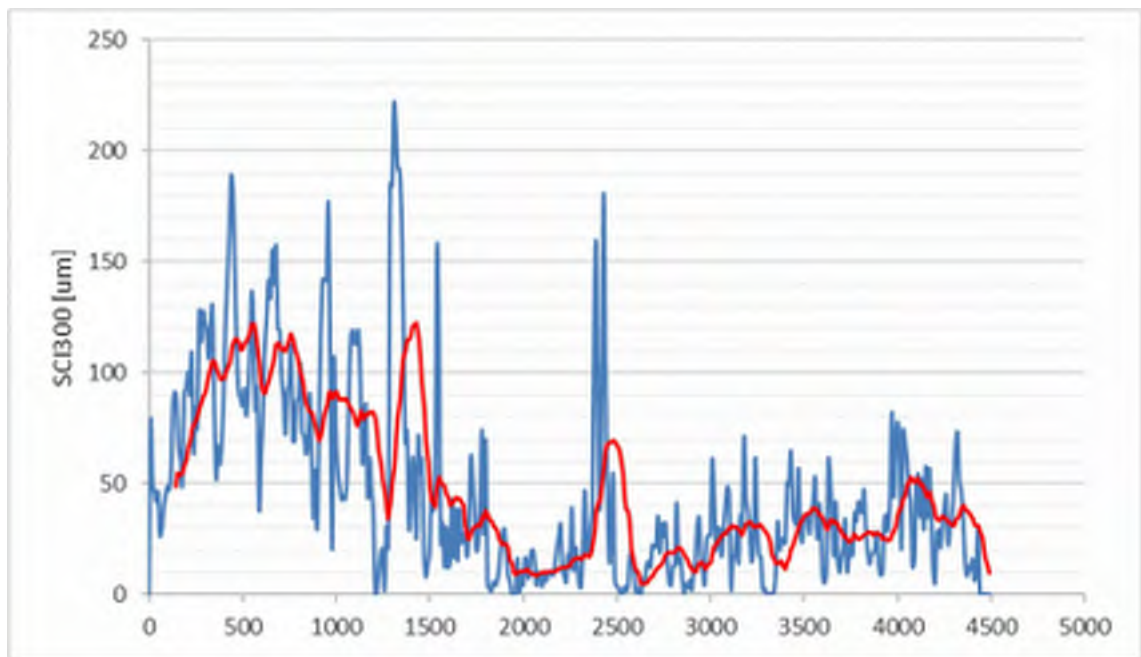
70, E18, Karlstad (V)



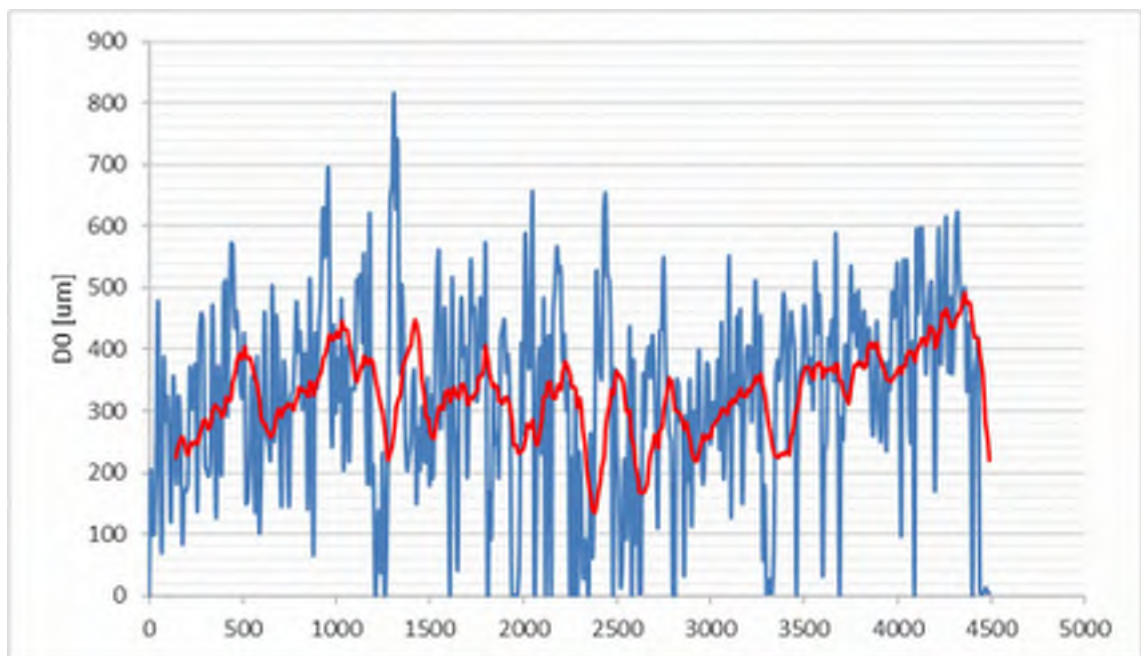
71, E18, Karlstad (förbifart)



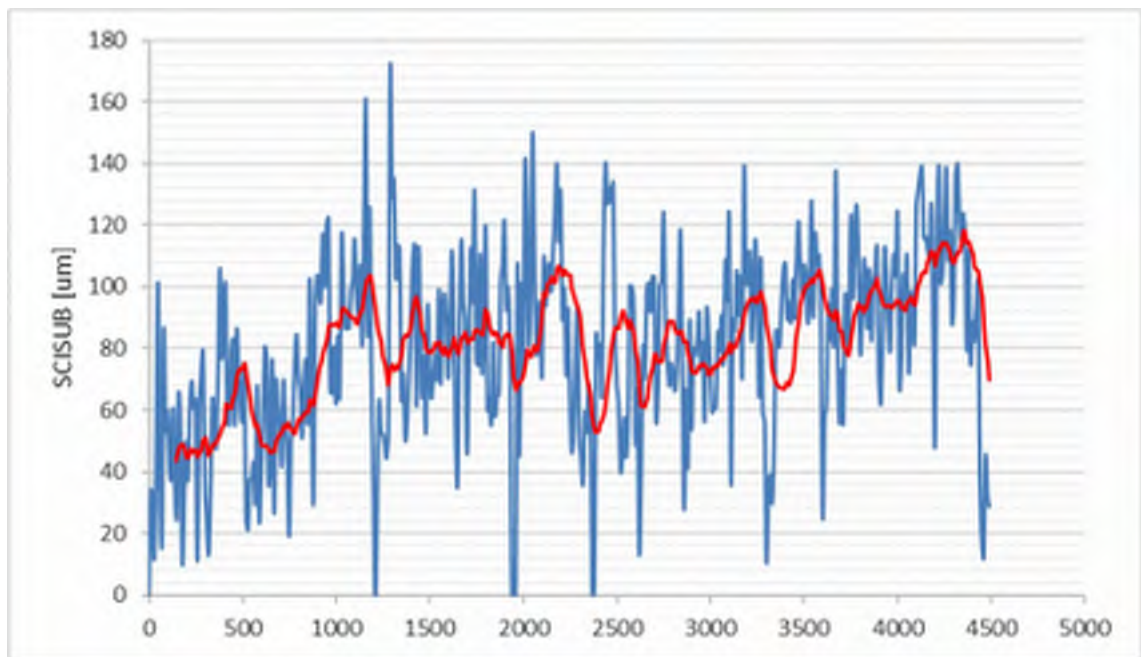
71, E18, Karlstad (förbifart)



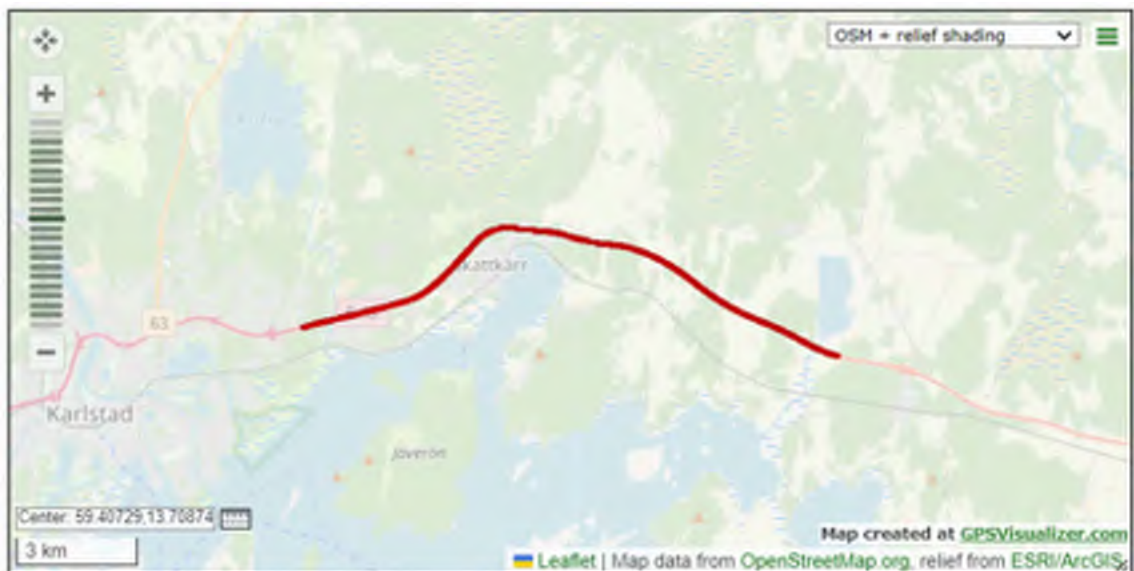
71, E18, Karlstad (förbifart)



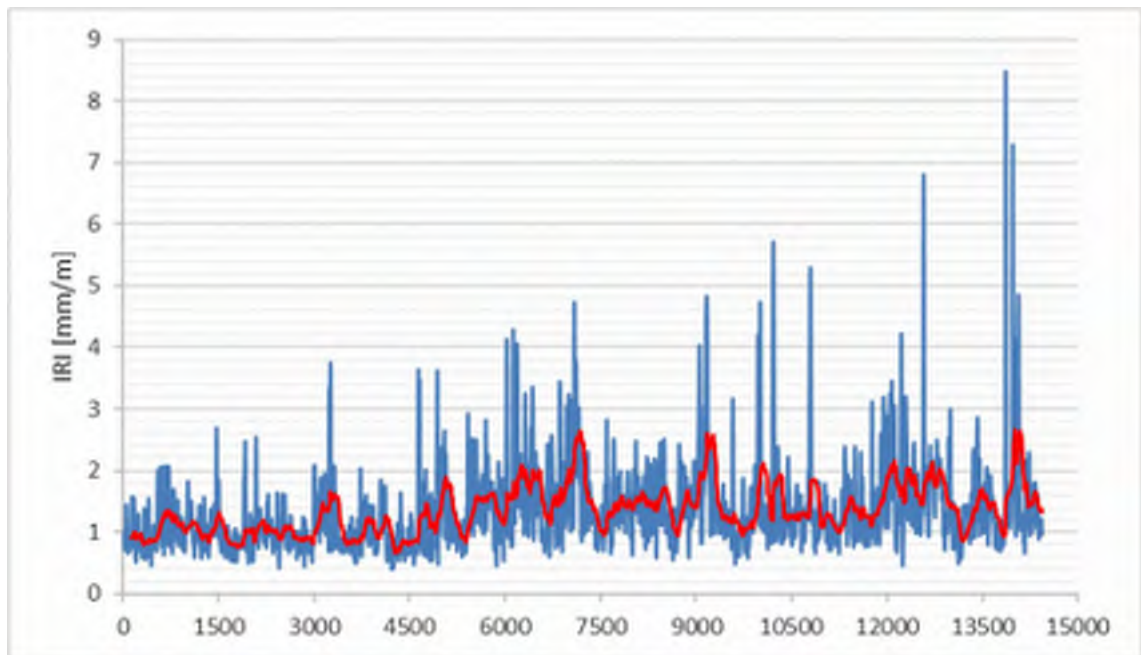
71, E18, Karlstad (förbifart)



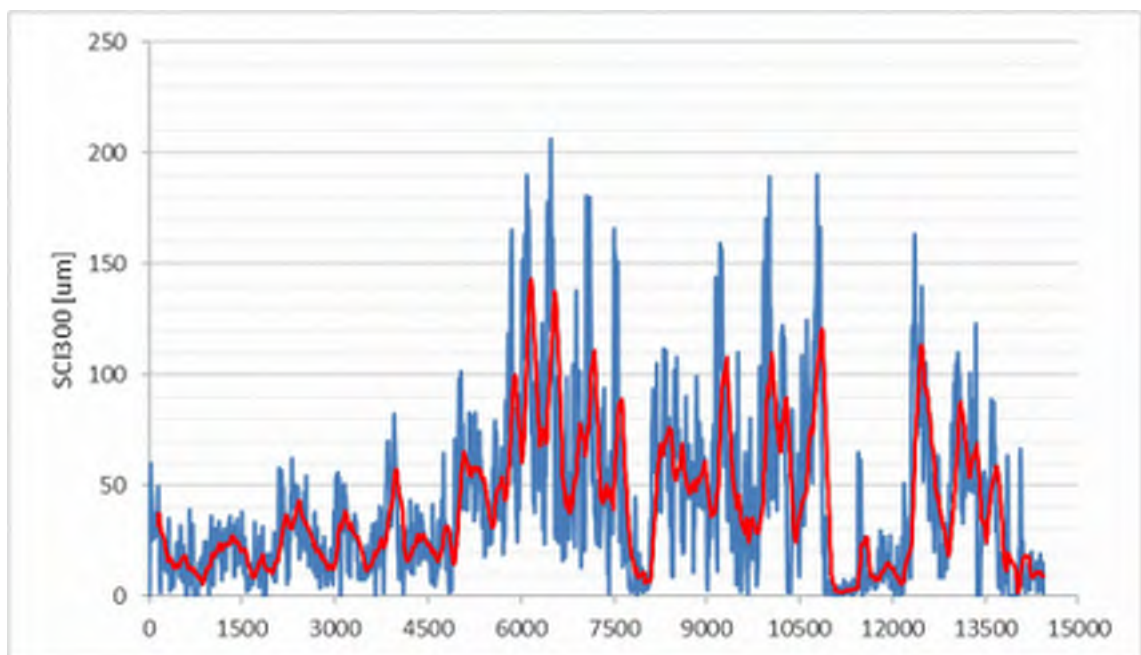
71, E18, Karlstad (förbifart)



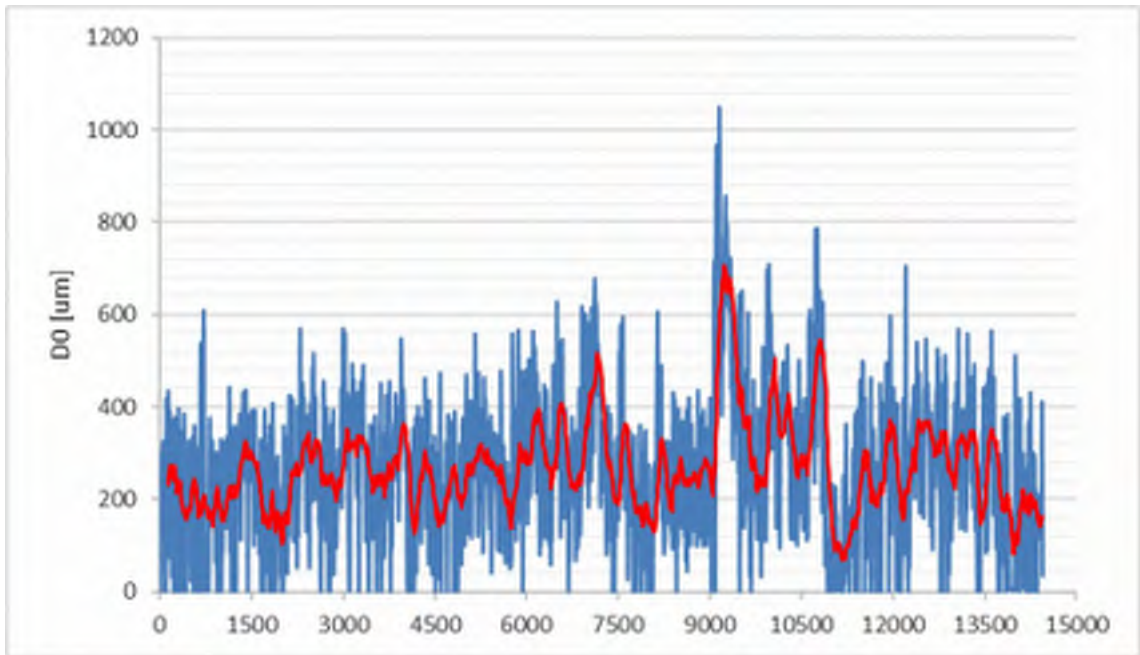
72, E18, Karlstad (Ö)



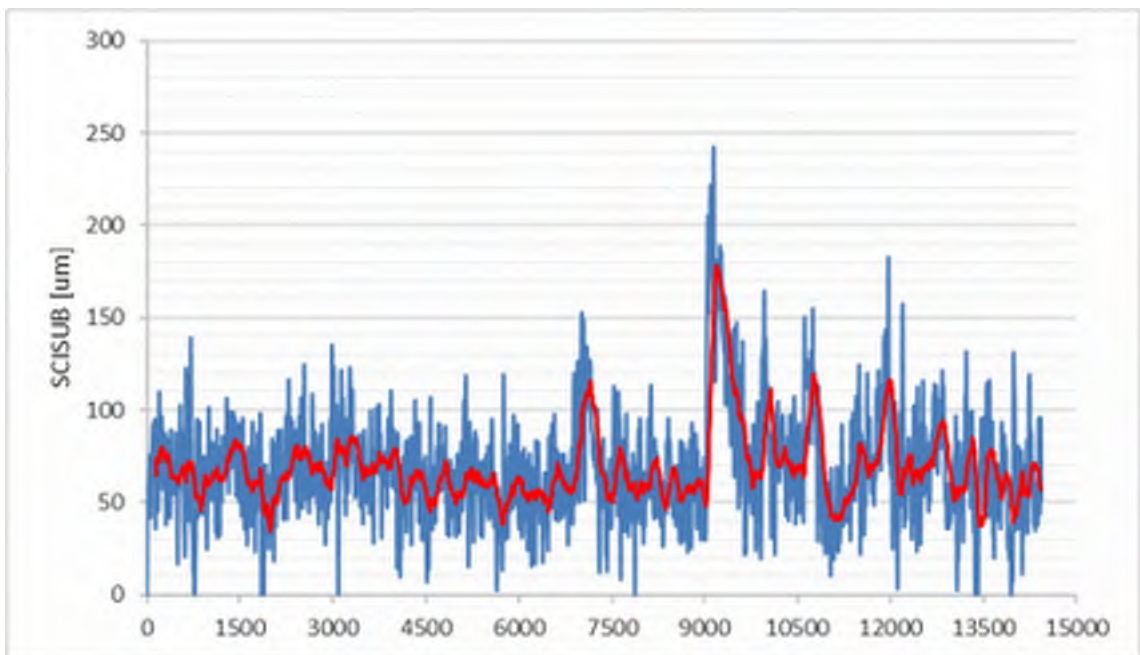
72, E18, Karlstad (Ö)



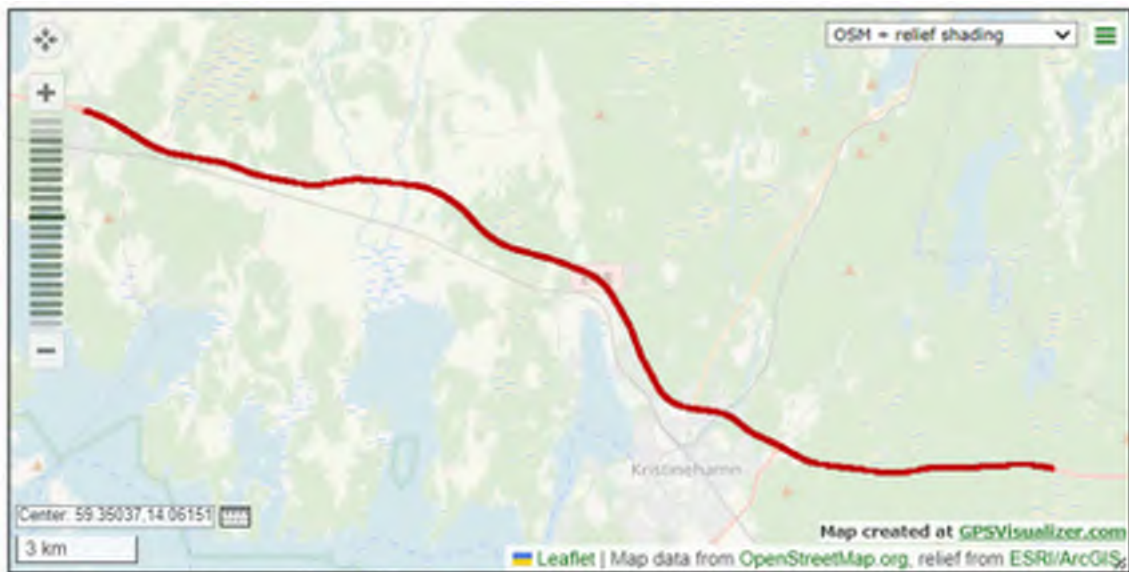
72, E18, Karlstad (Ö)



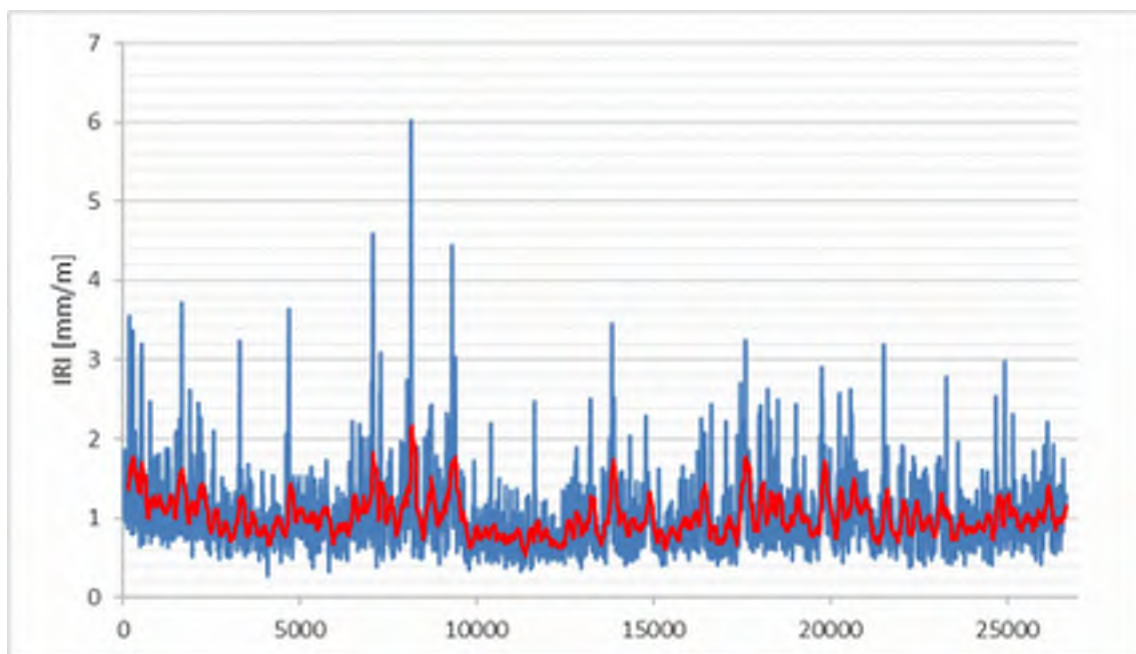
72, E18, Karlstad (Ö)



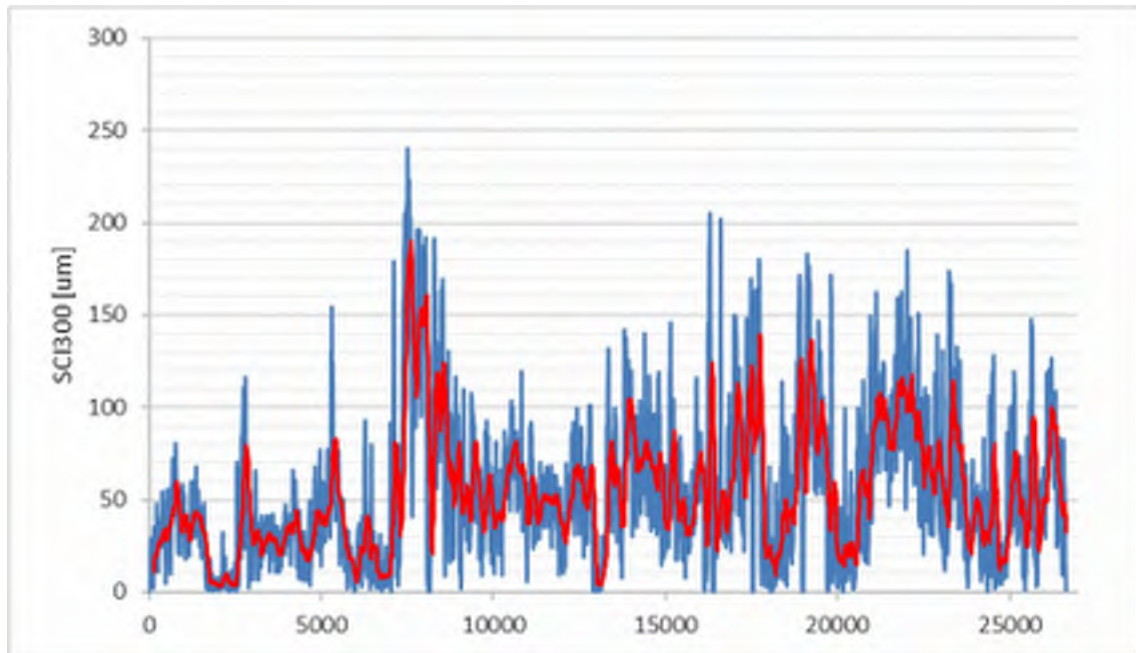
72, E18, Karlstad (Ö)



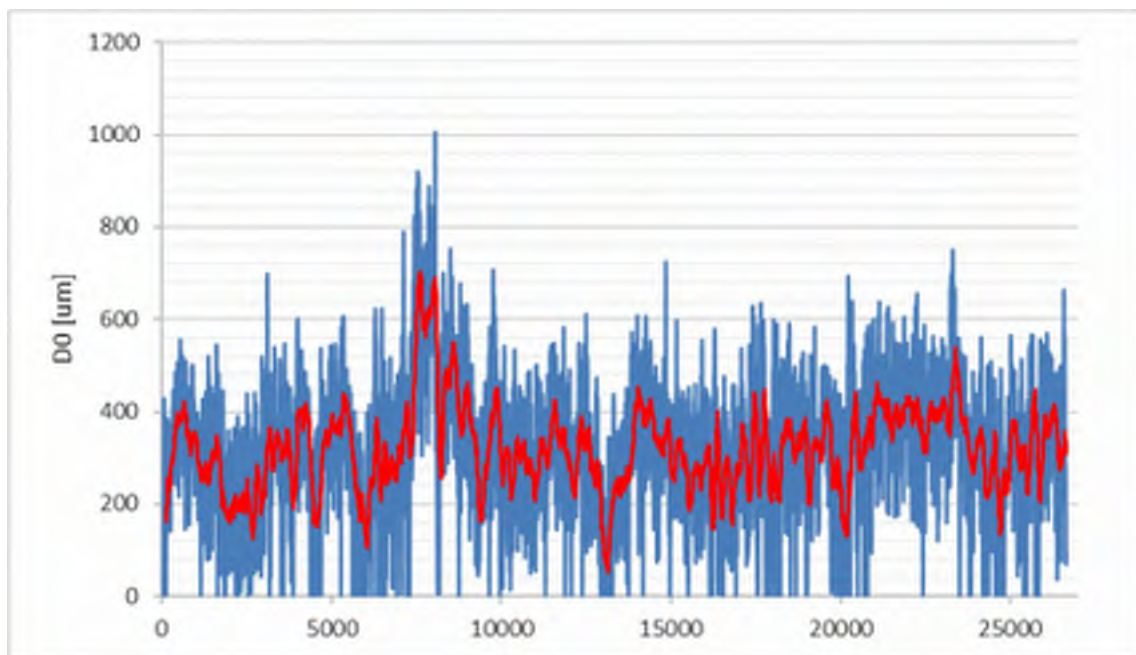
73, E18, Kristinehamn (Ö)



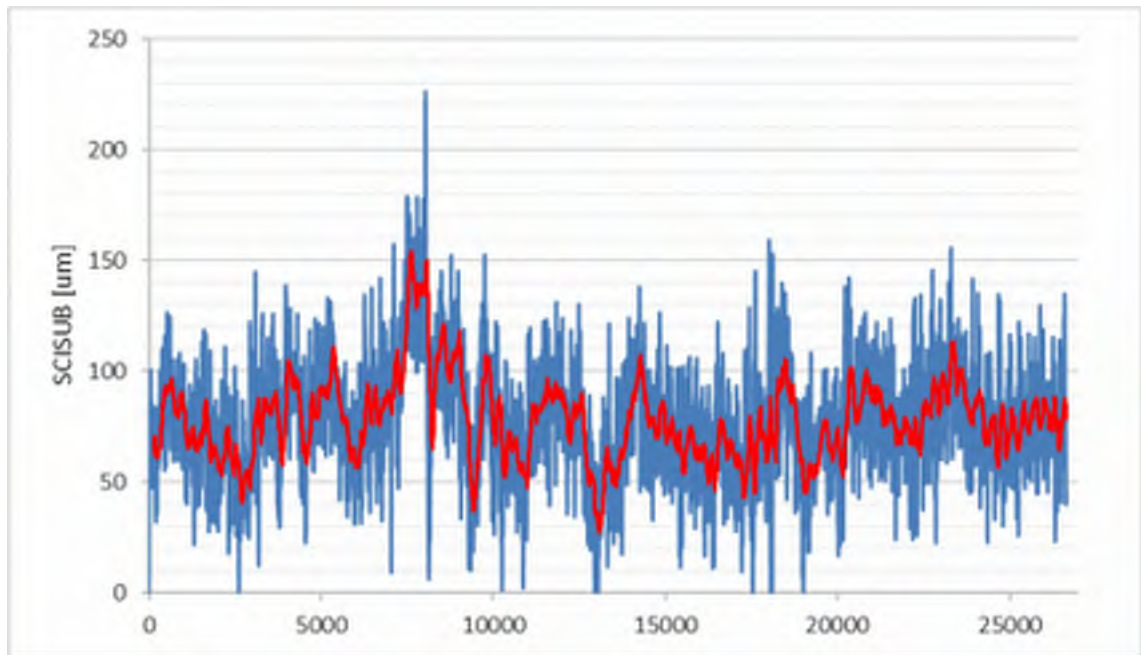
73, E18, Kristinehamn (Ö)



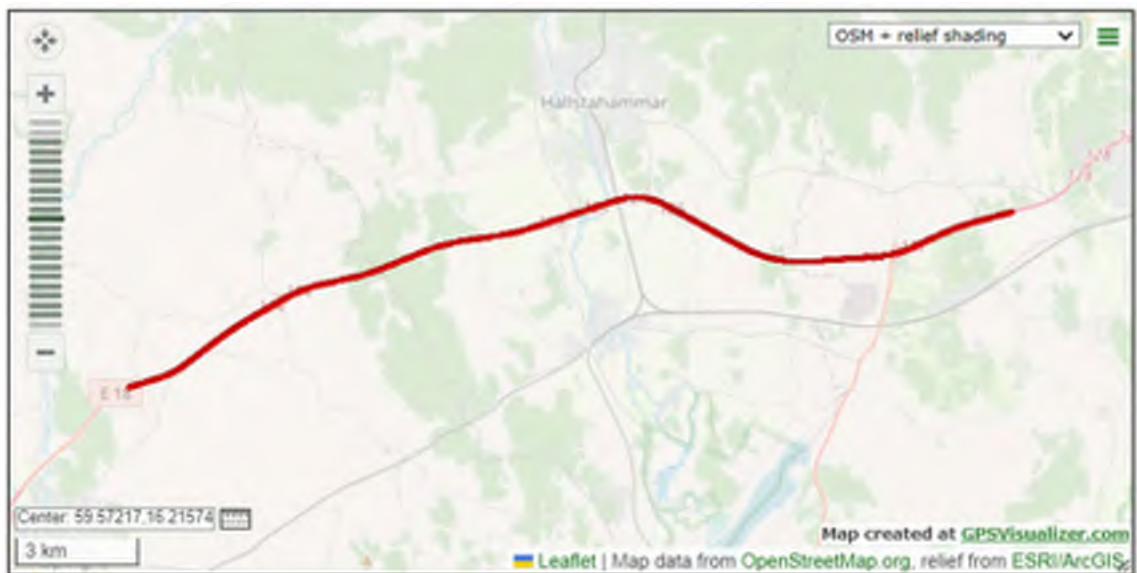
73, E18, Kristinehamn (Ö)



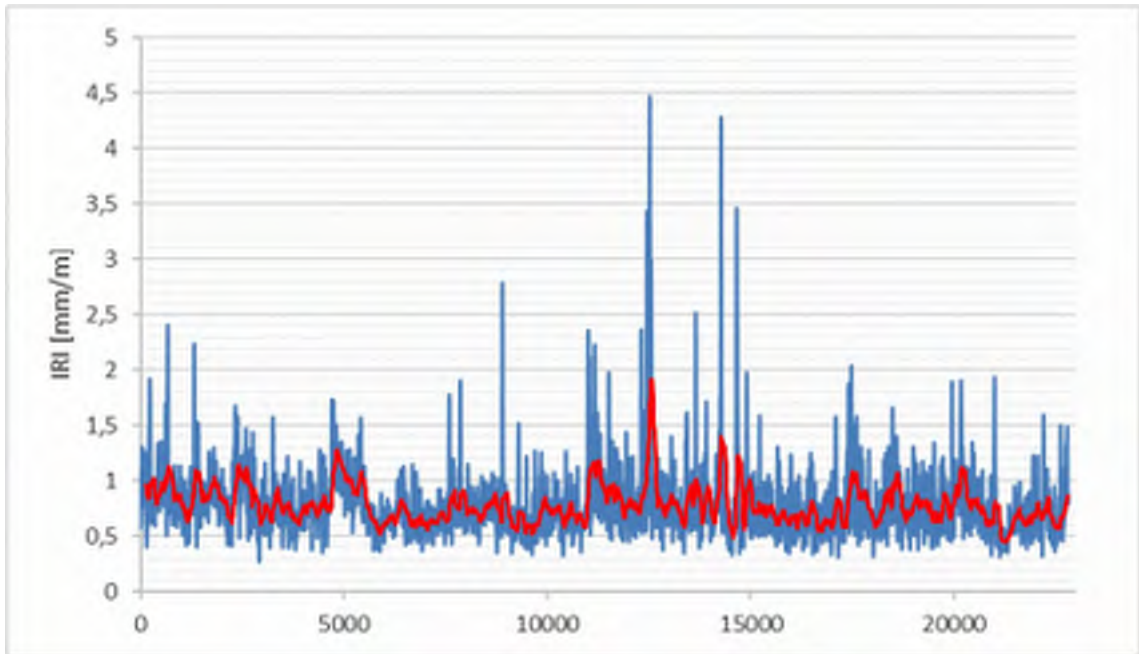
73, E18, Kristinehamn (Ö)



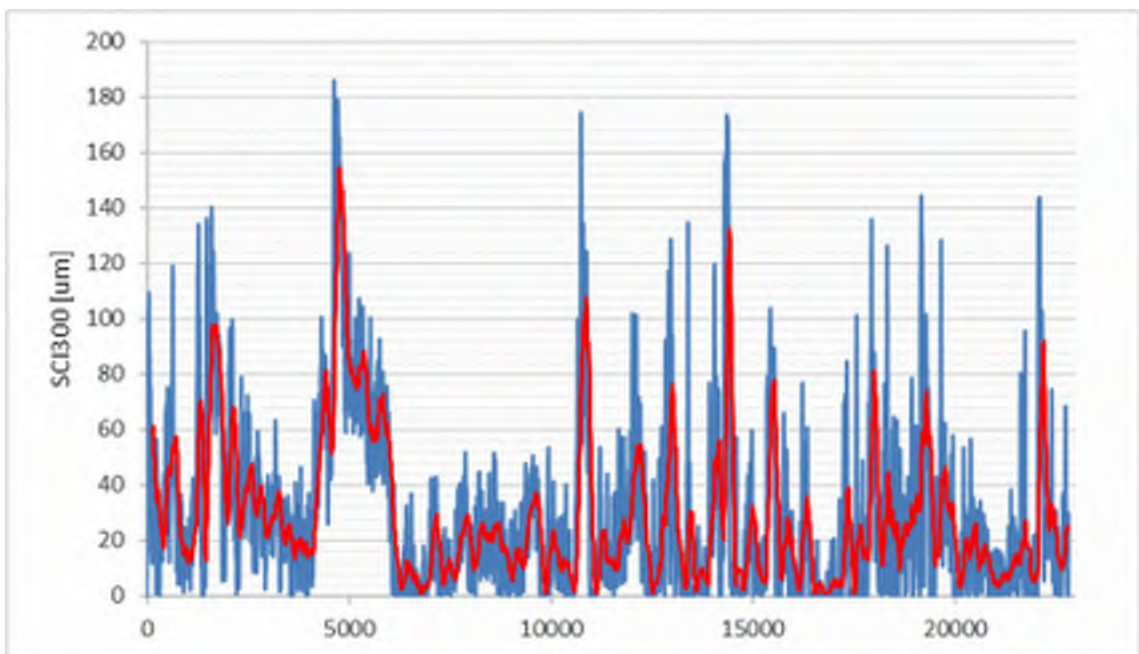
73, E18, Kristinehamn (Ö)



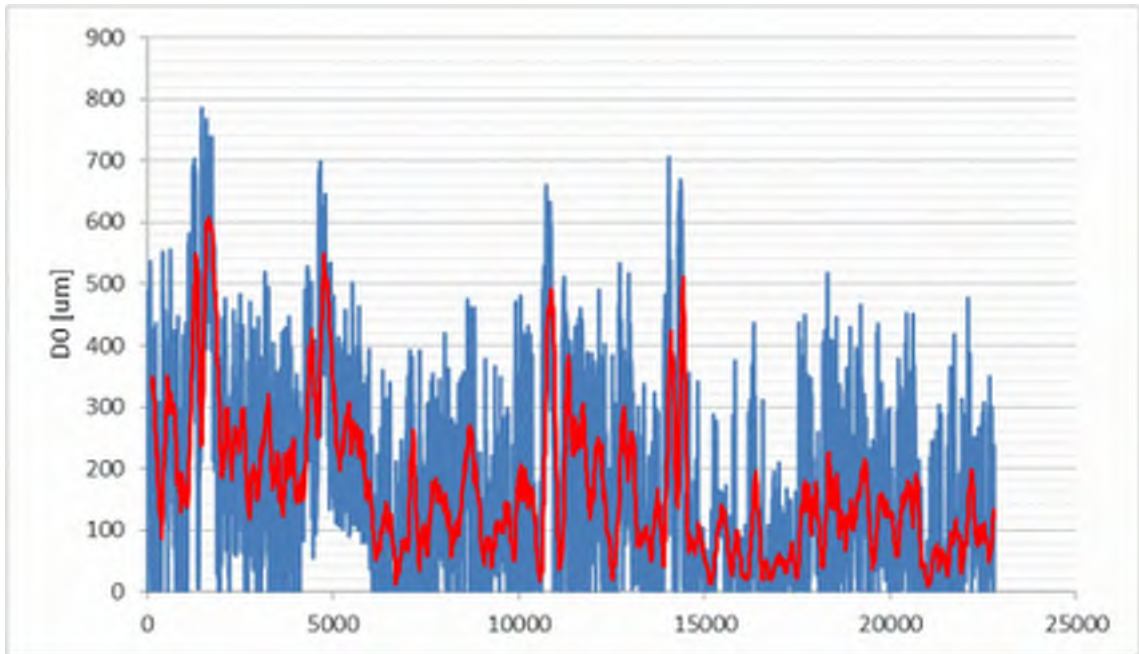
74, E18, Hallstahammar (Ö)



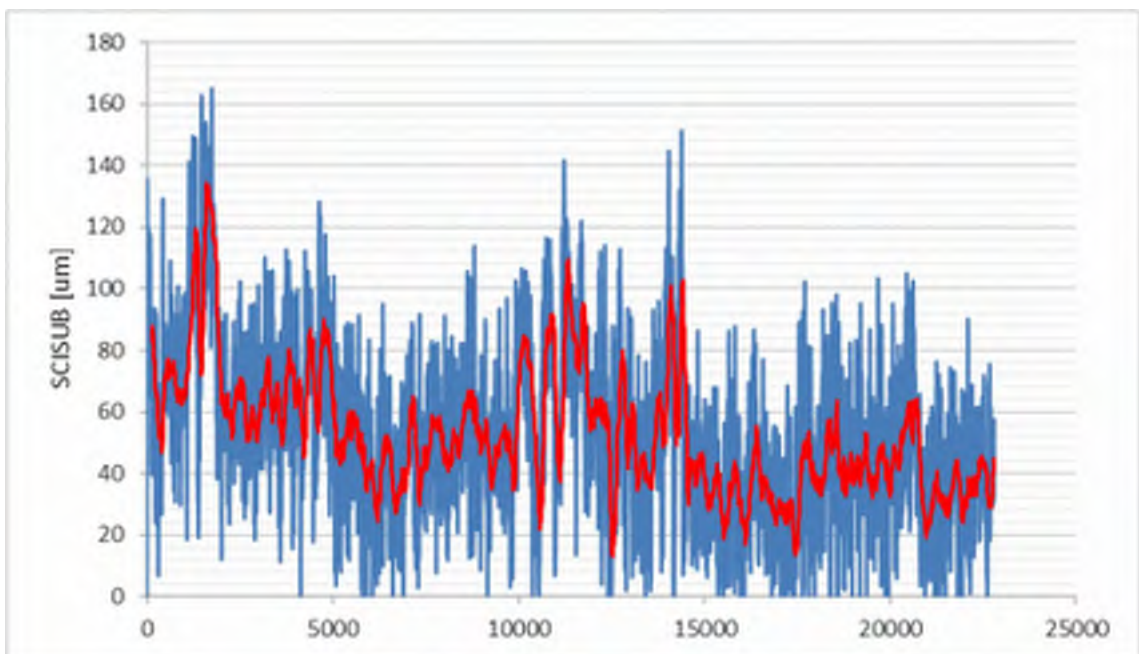
74, E18, Hallstahammar (Ö)



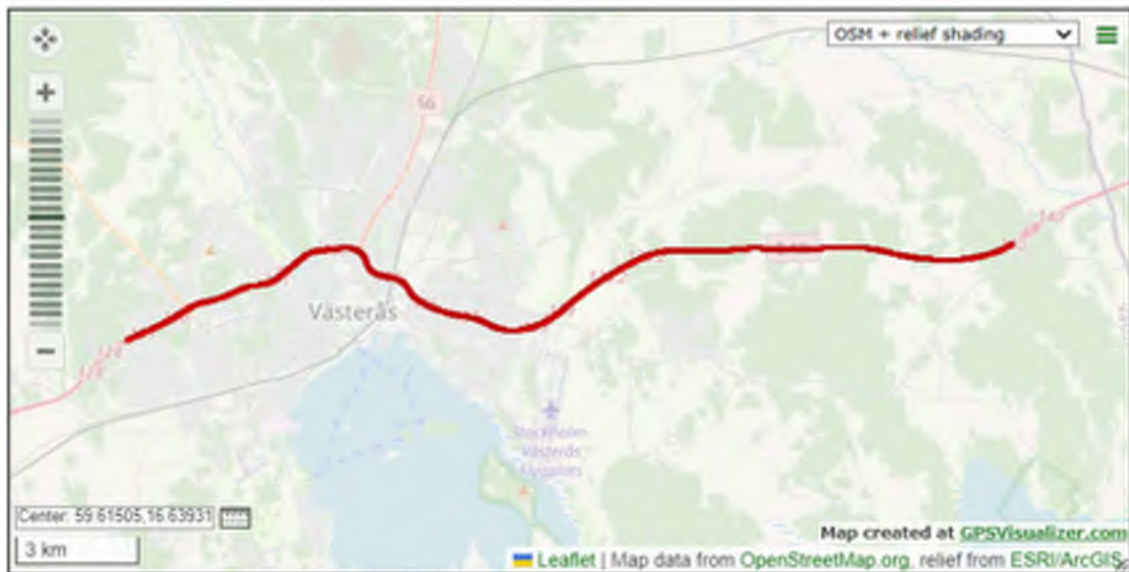
74, E18, Hallstahammar (Ö)



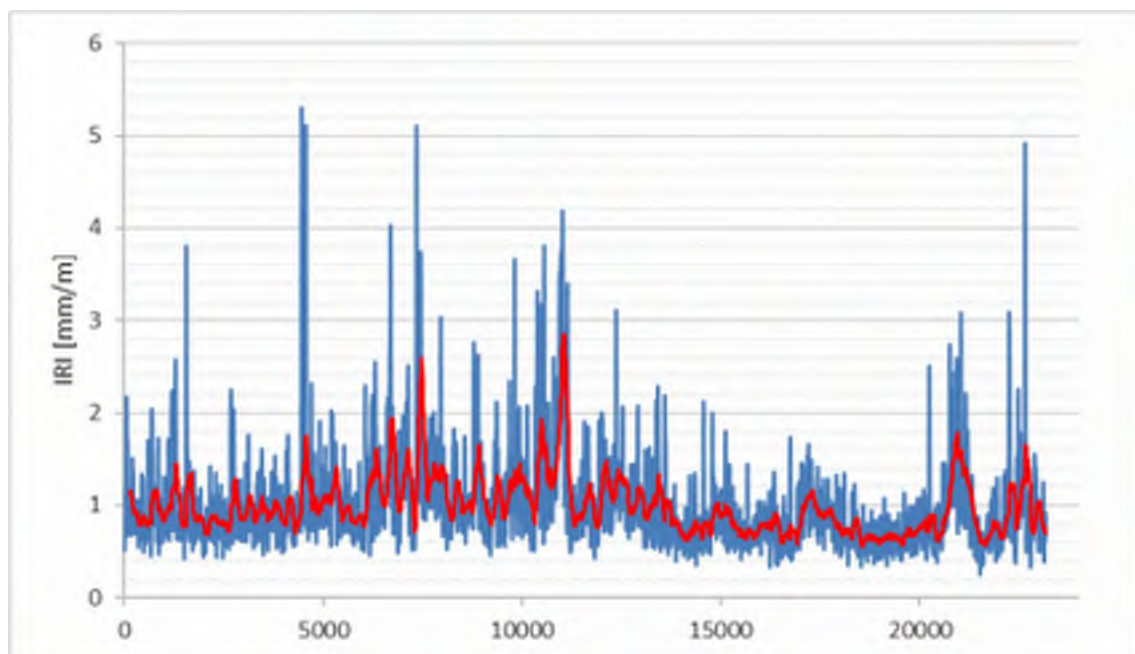
74, E18, Hallstahammar (Ö)



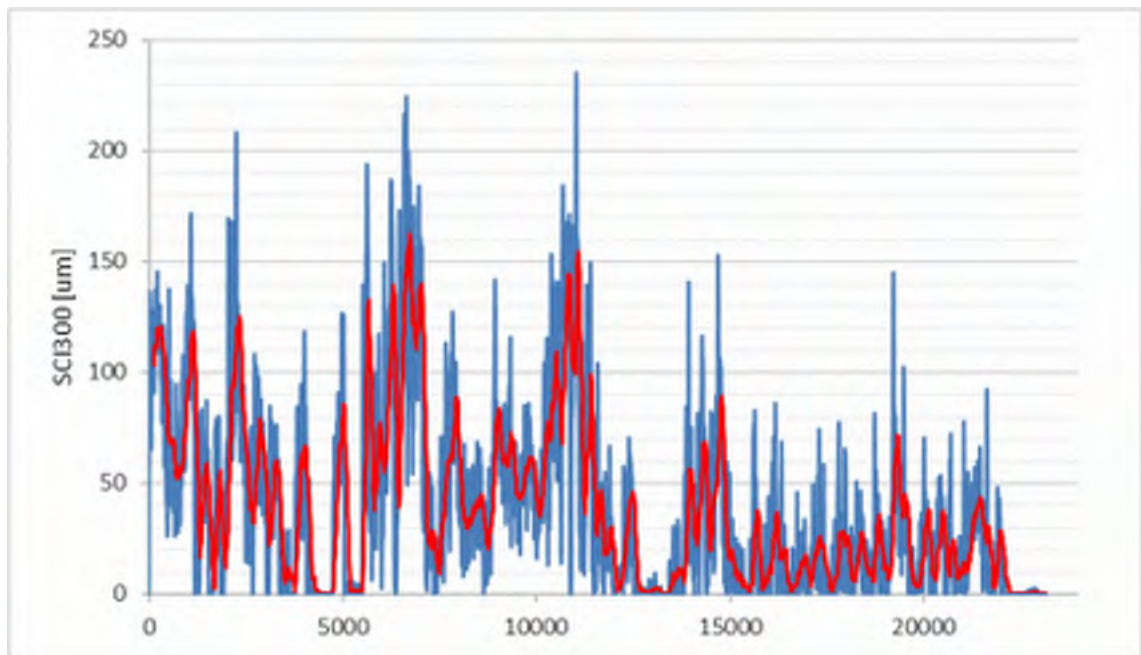
74, E18, Hallstahammar (Ö)



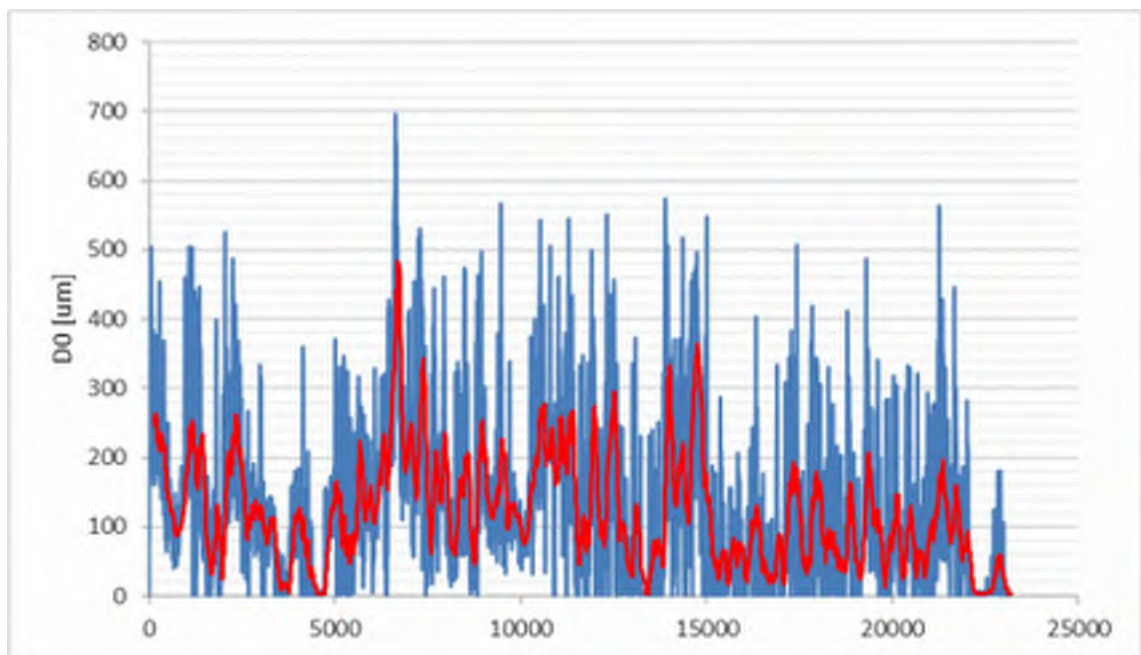
75, E18, Västerås-Sagån (Ö)



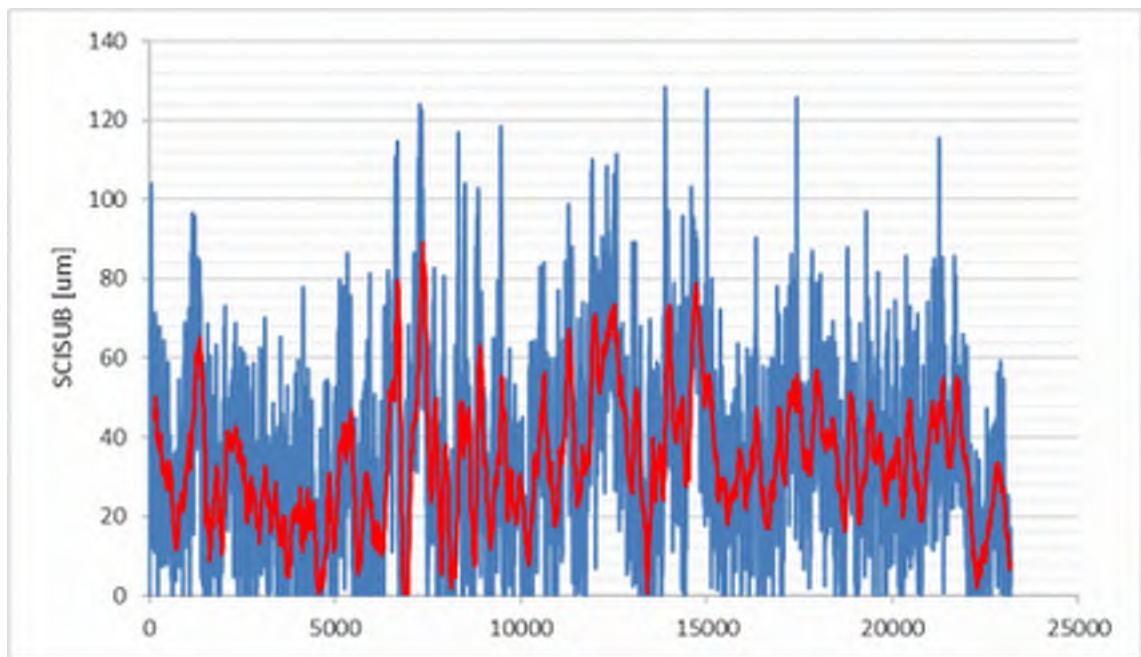
75, E18, Västerås-Sagån (Ö)



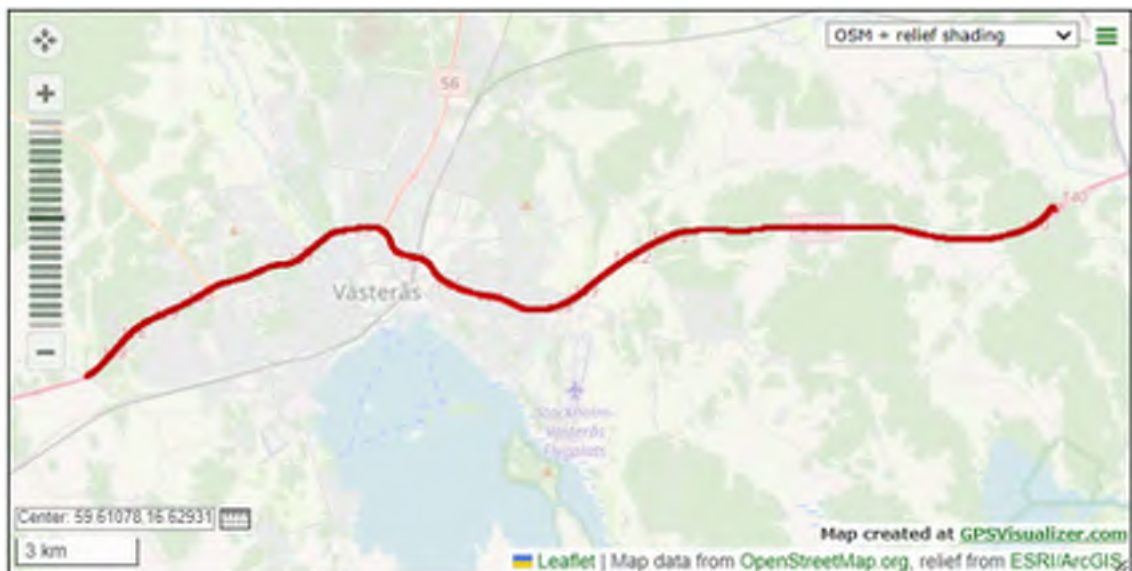
75, E18, Västerås-Sagån (Ö)



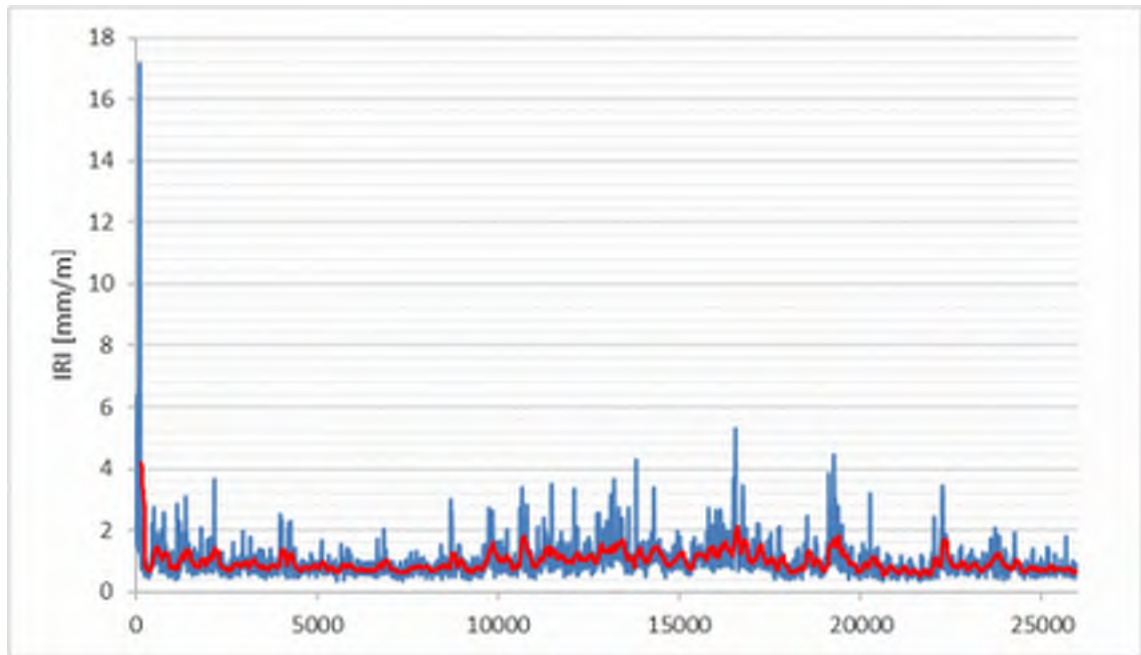
75, E18, Västerås-Sagån (Ö)



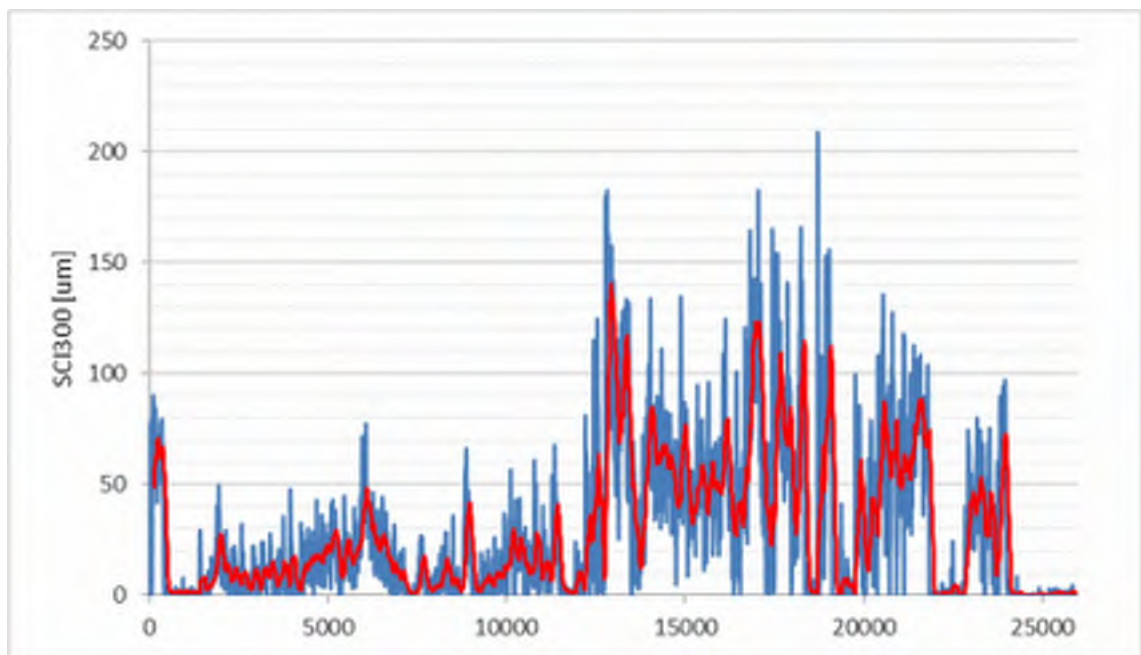
75, E18, Västerås-Sagån (Ö)



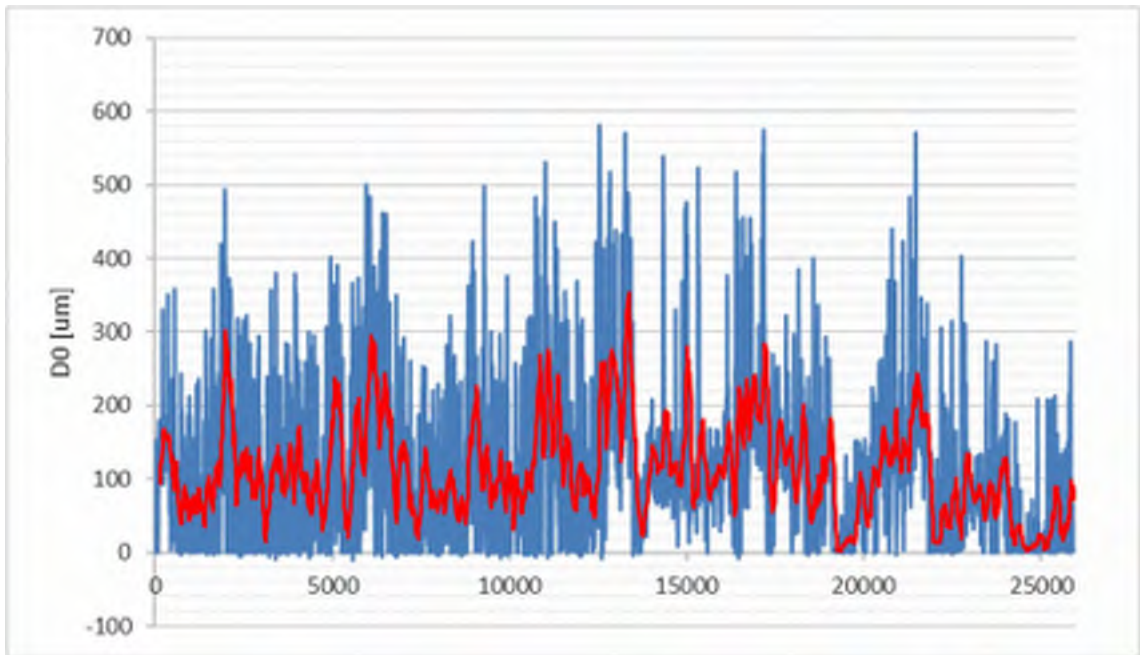
76, E18, Sagån-Västerås (V)



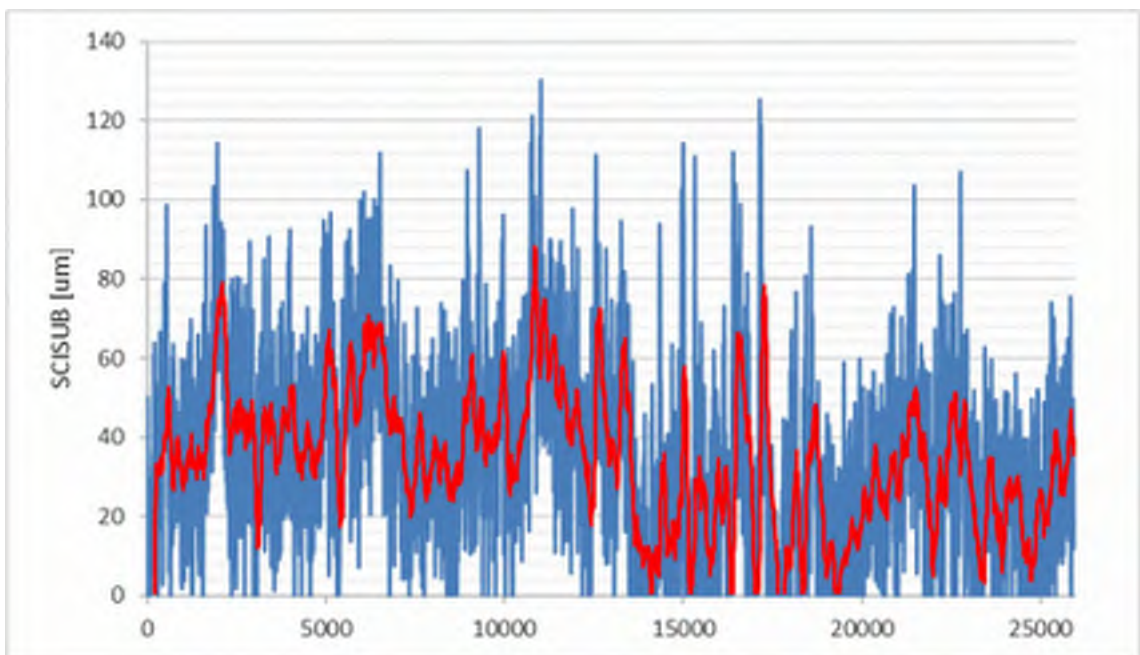
76, E18, Sagån-Västerås (V)



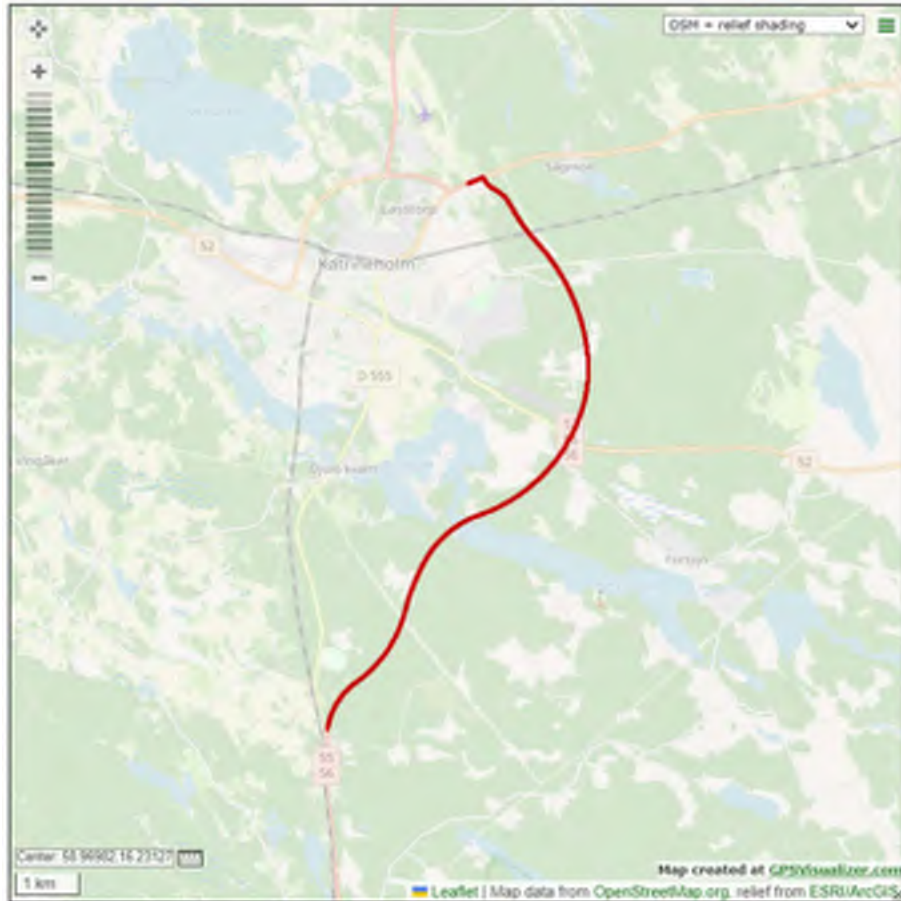
76, E18, Sagån-Västerås (V)



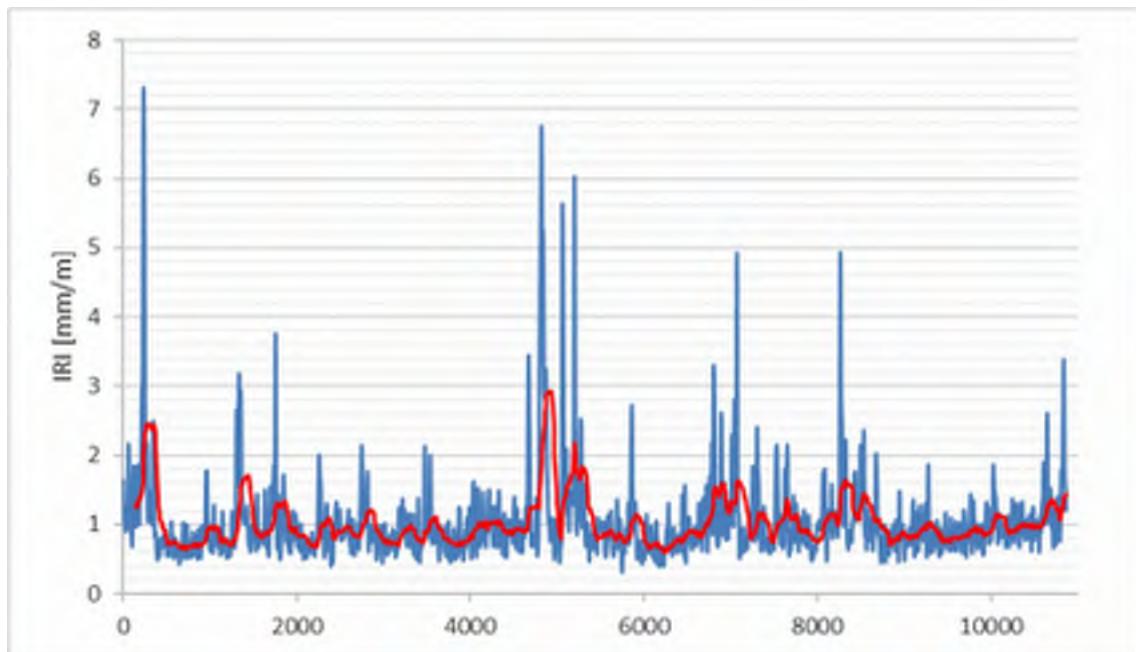
76, E18, Sagån-Västerås (V)



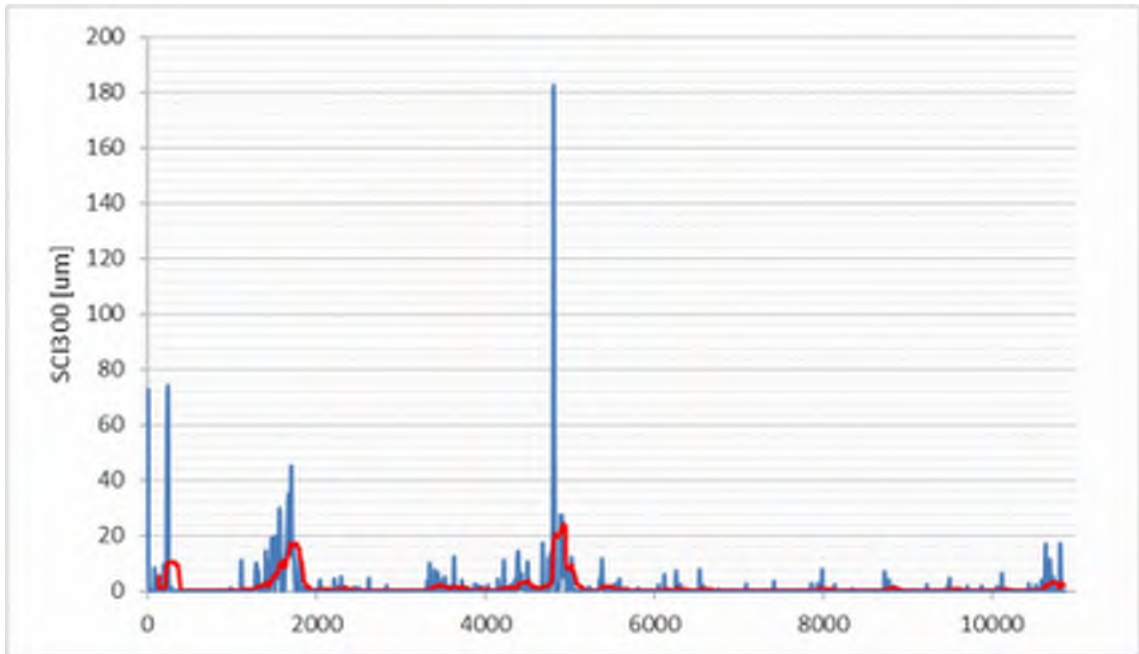
76, E18, Sagån-Västerås (V)



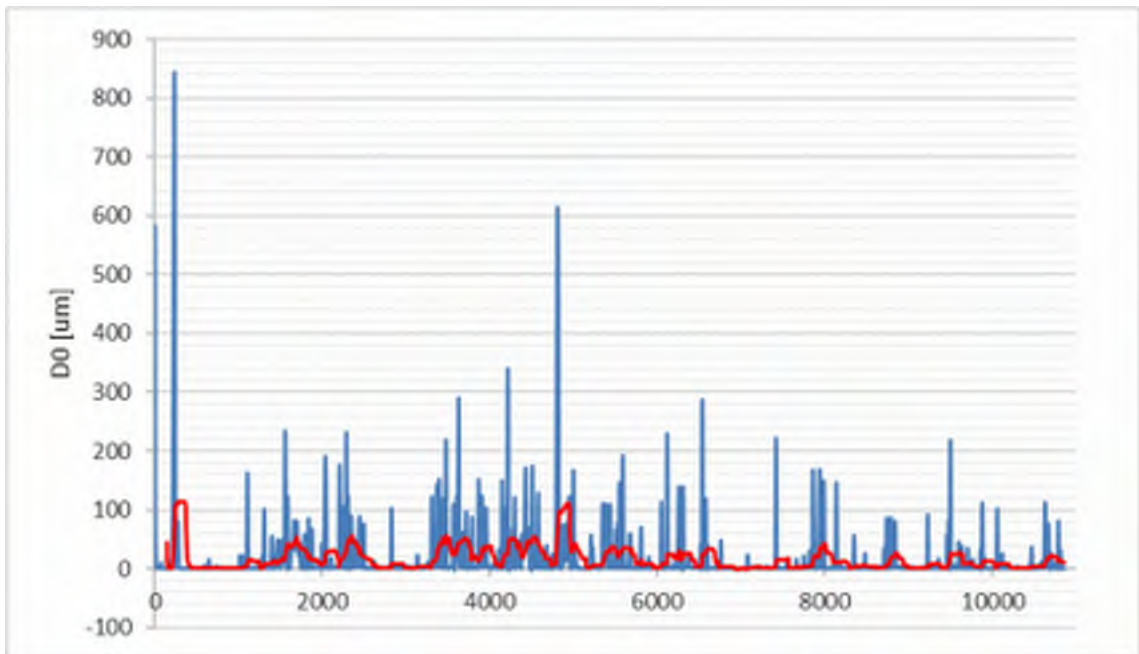
77, Rv56, Katrineholm (K1S)



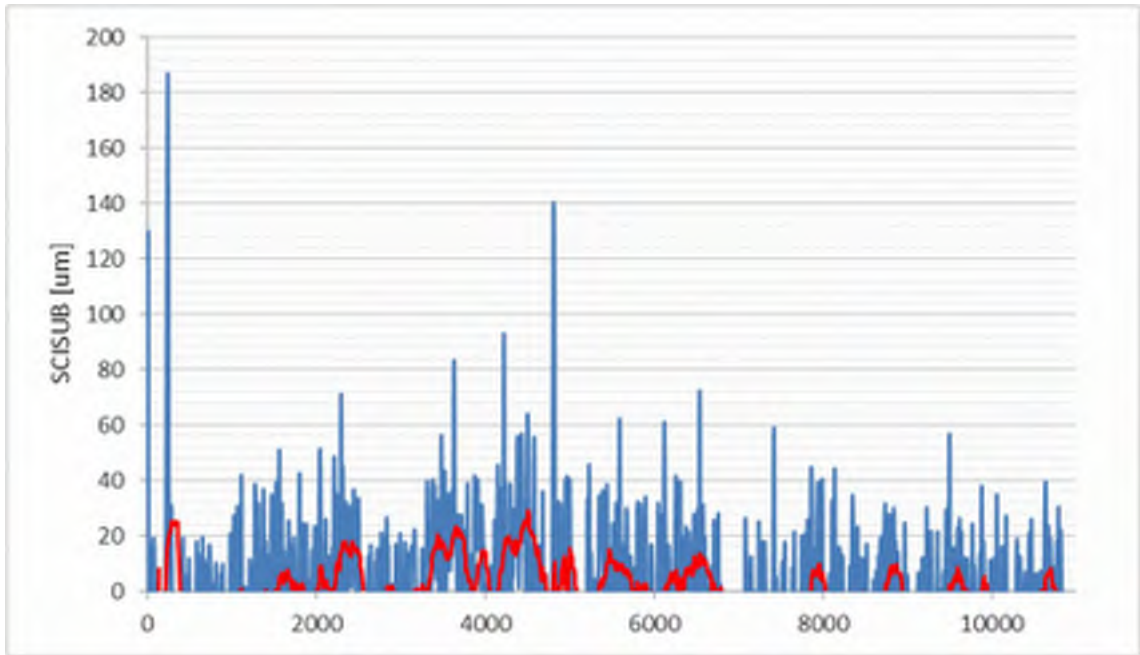
77, Rv56, Katrineholm (K1S)



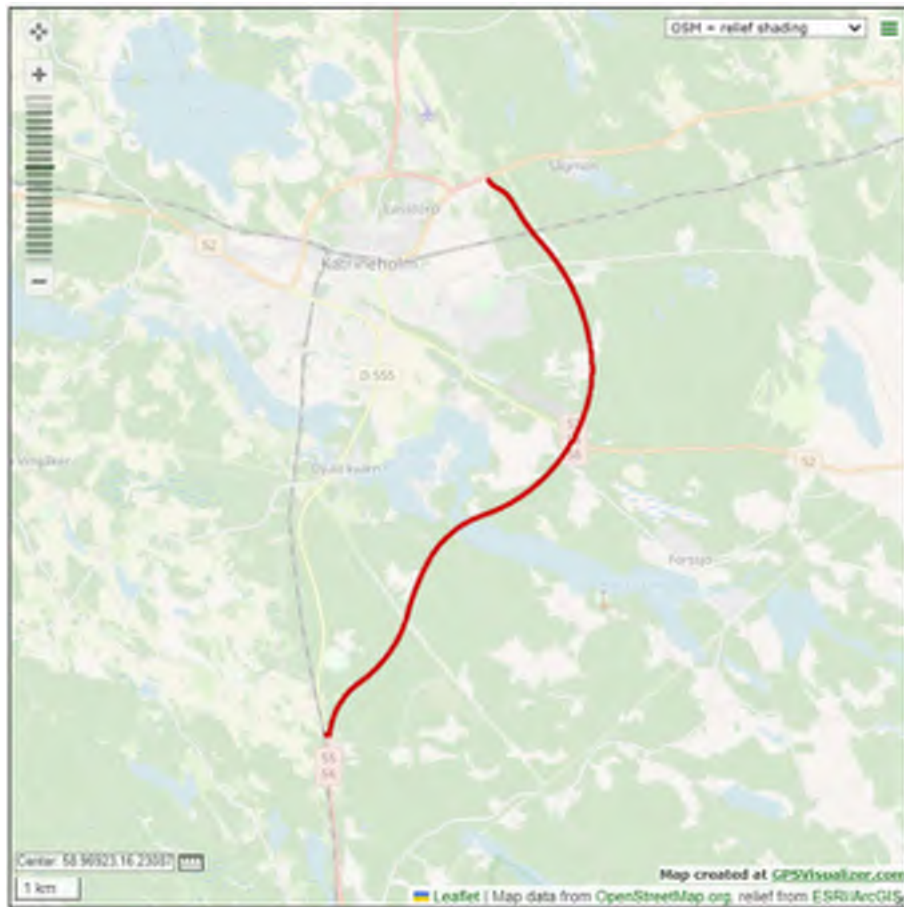
77, Rv56, Katrineholm (K1S)



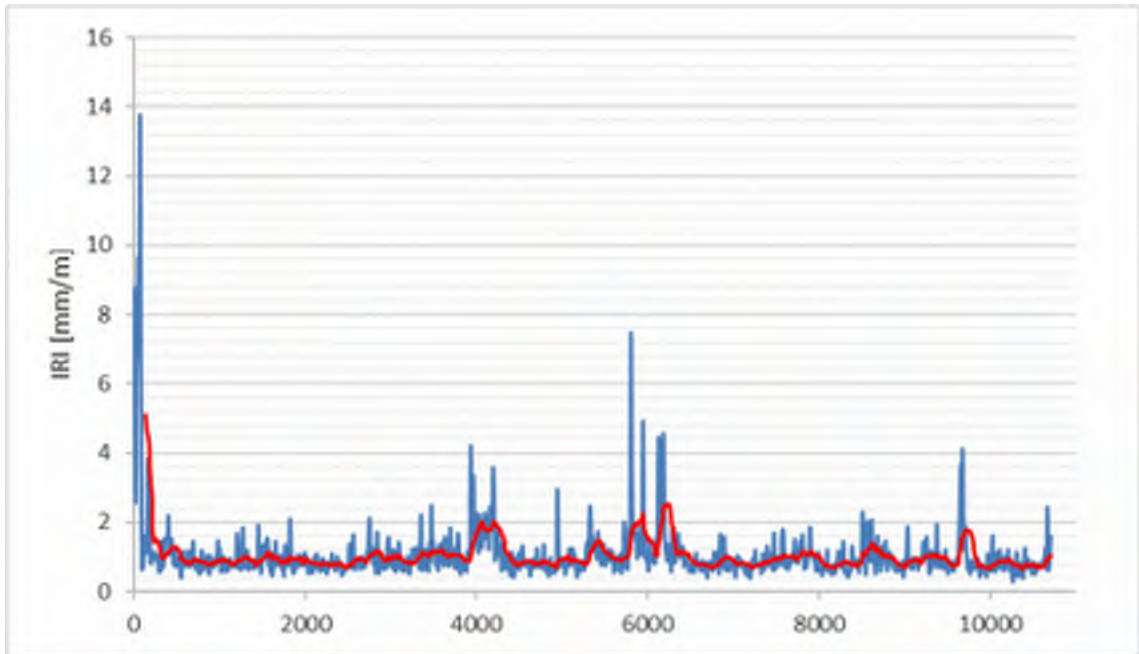
77, Rv56, Katrineholm (K1S)



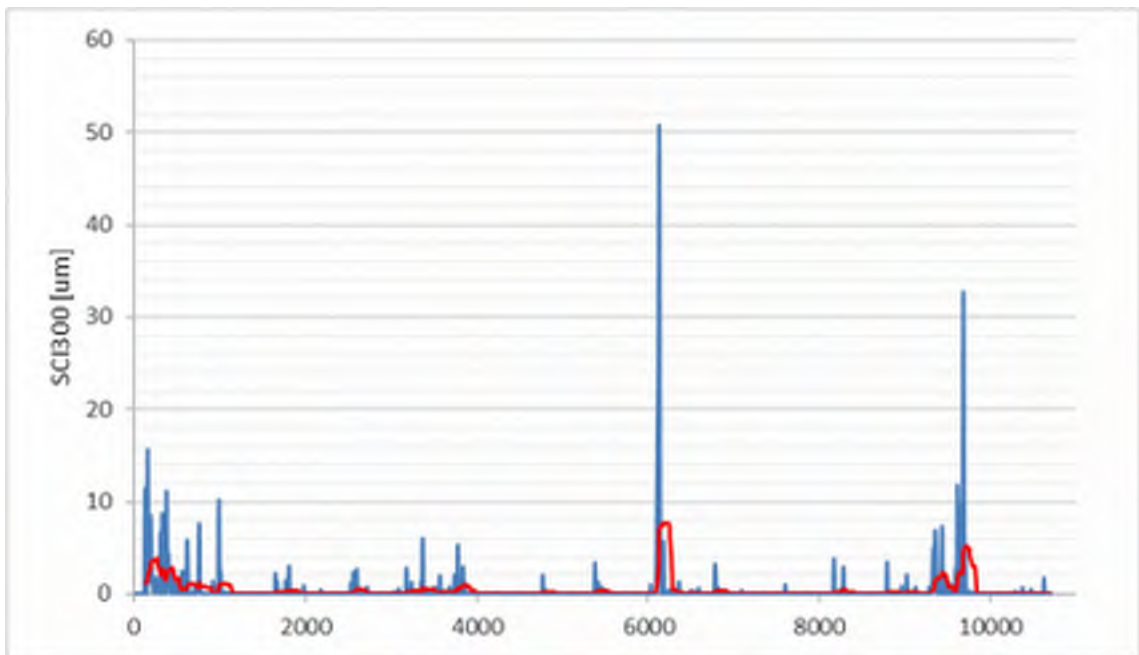
77, Rv56, Katrineholm (K1S)



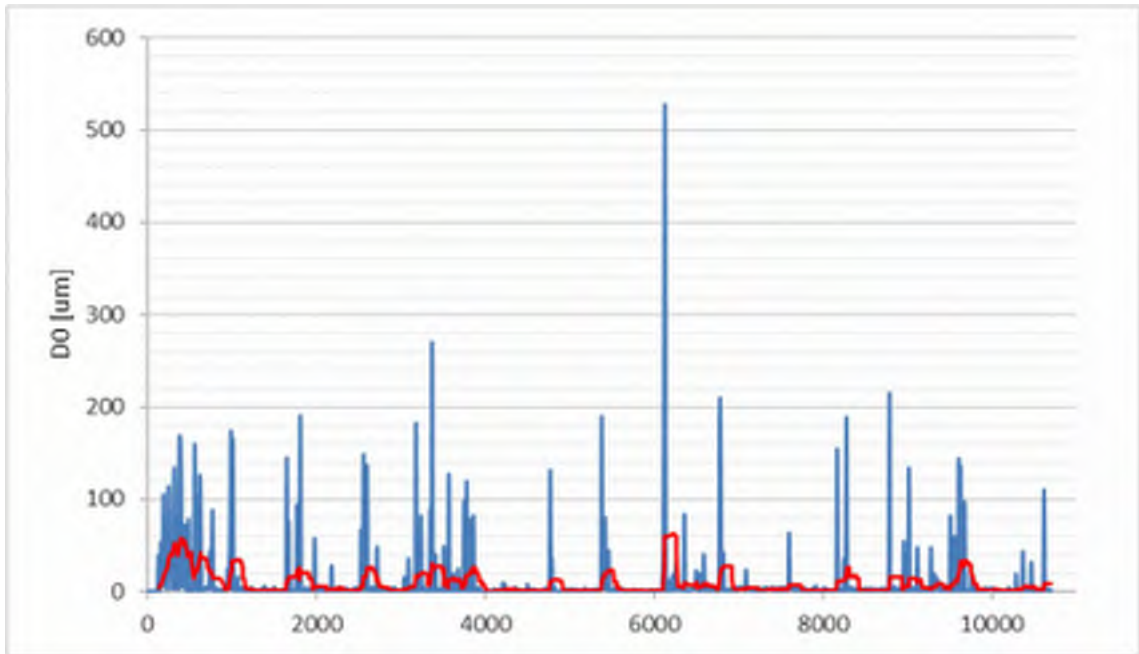
78, Rv56, Katrineholm (K1N)



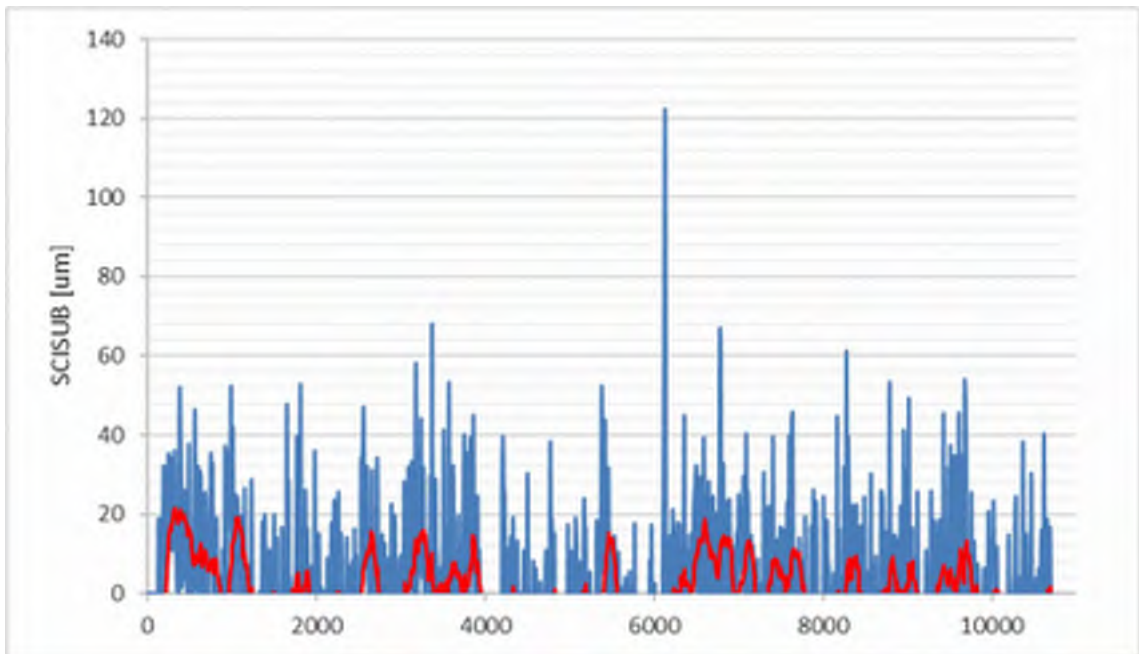
78, Rv56, Katrineholm (K1N)



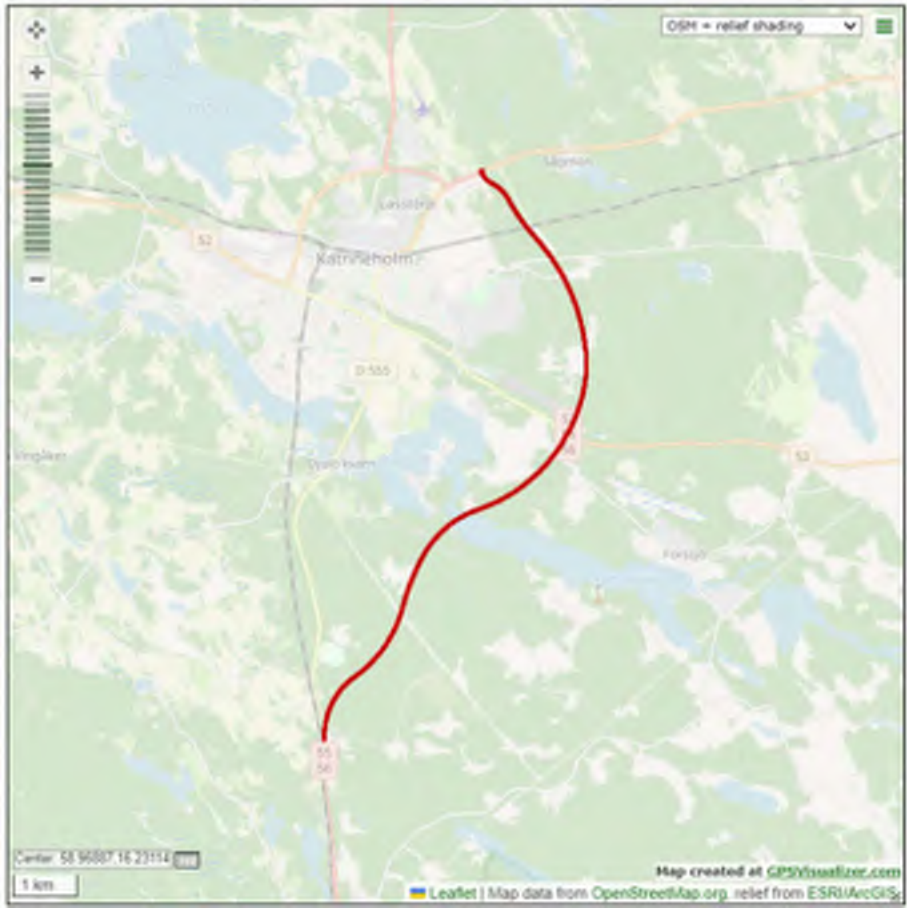
78, Rv56, Katrineholm (K1N)



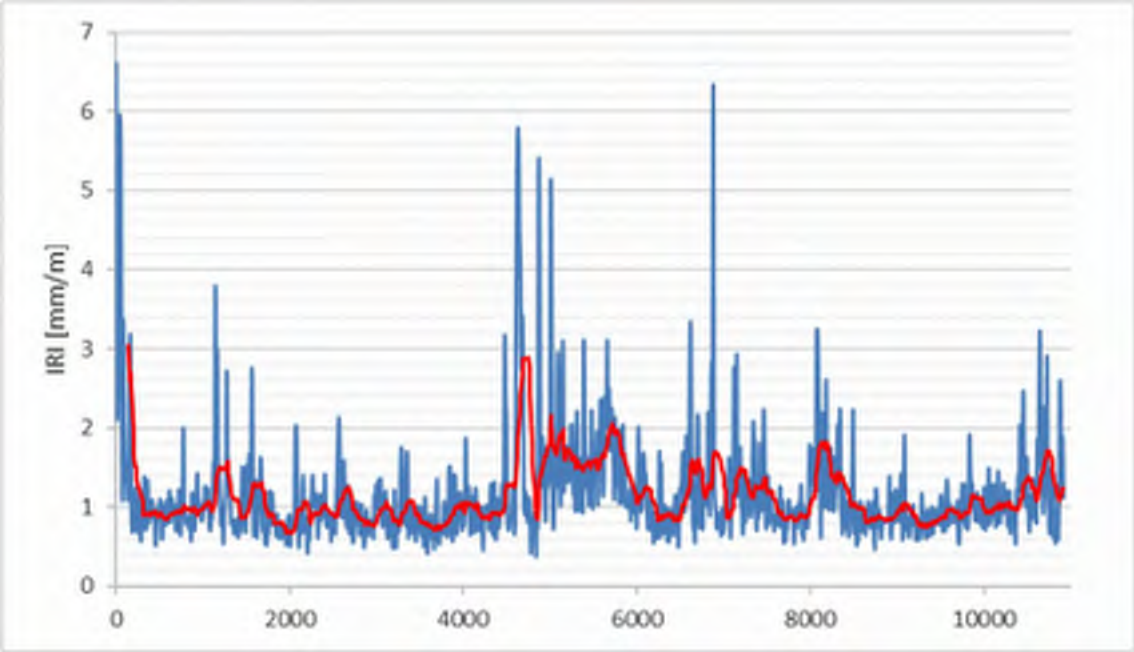
78, Rv56, Katrineholm (K1N)



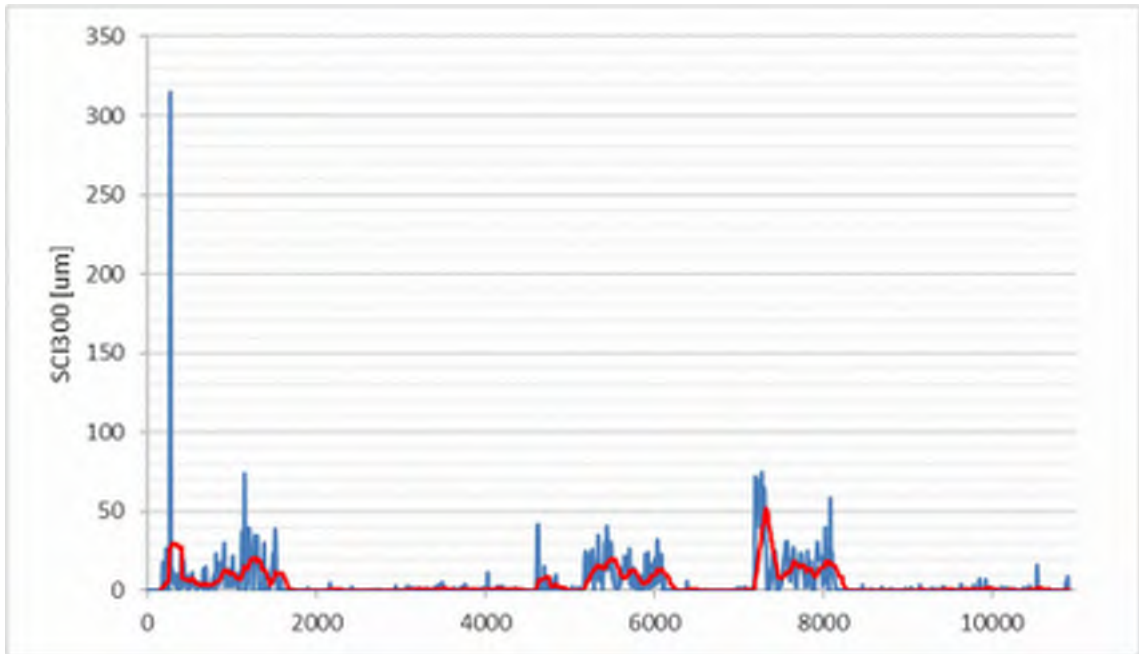
78, Rv56, Katrineholm (K1N)



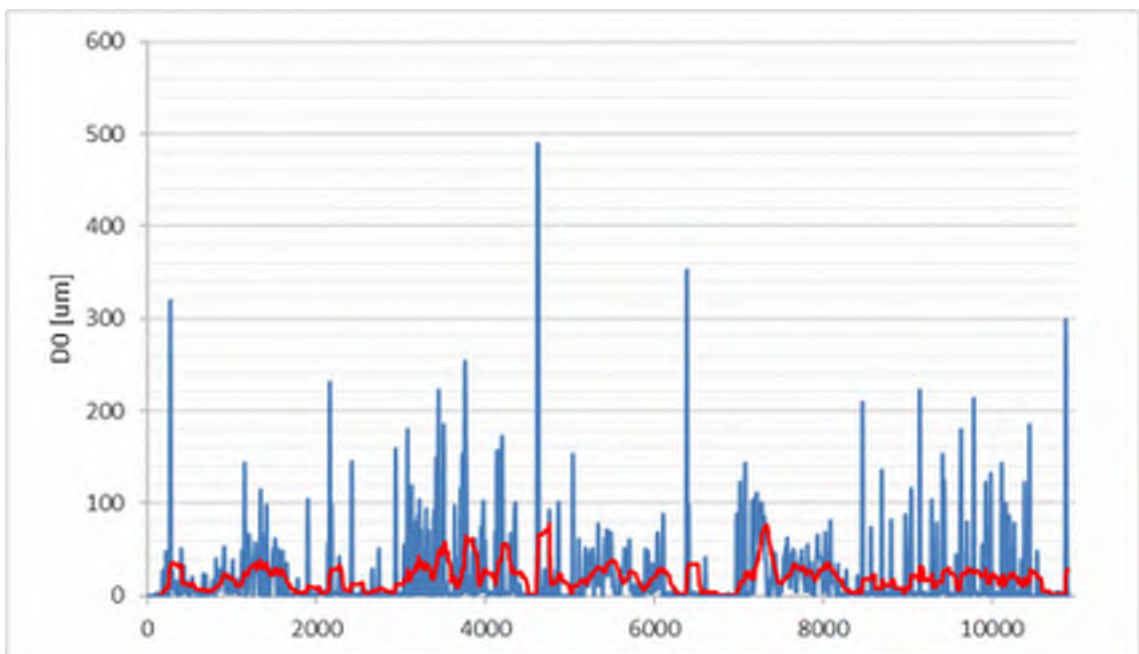
79, Rv56, Katrineholm (K2S)



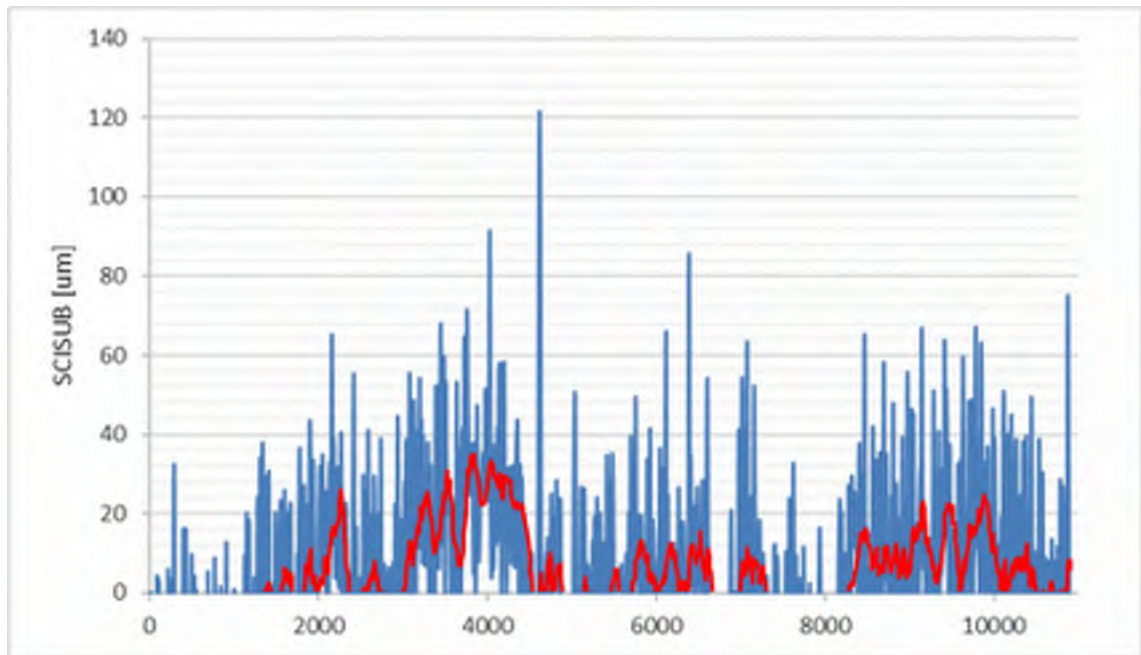
79, Rv56, Katrineholm (K2S)



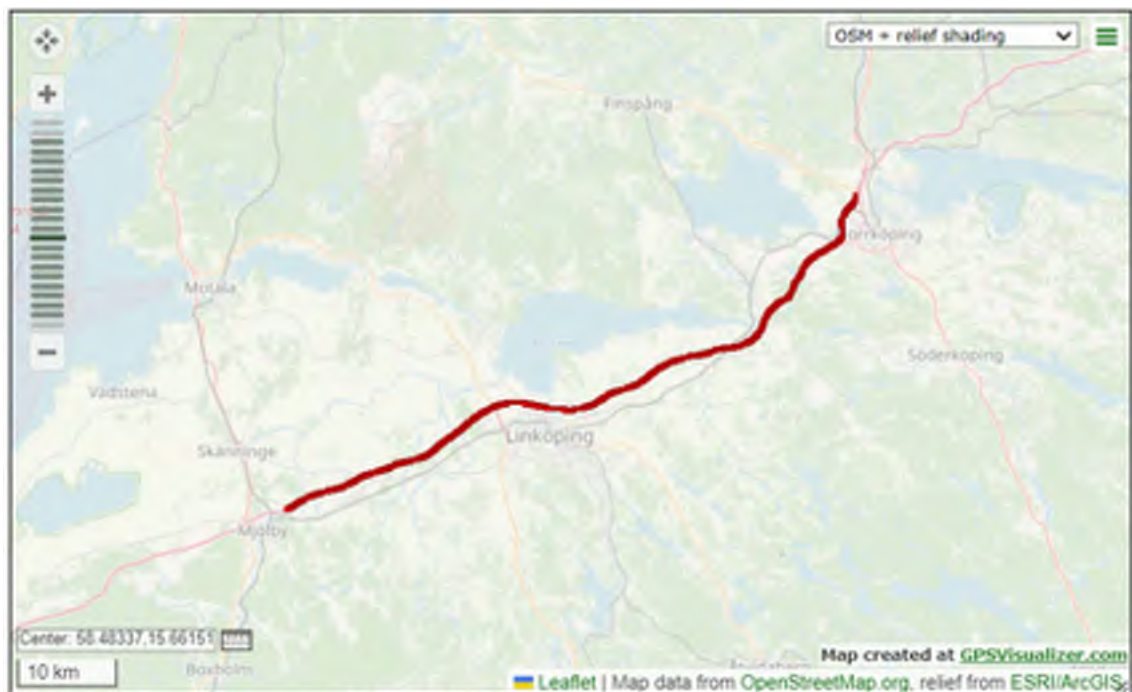
79, Rv56, Katrineholm (K2S)



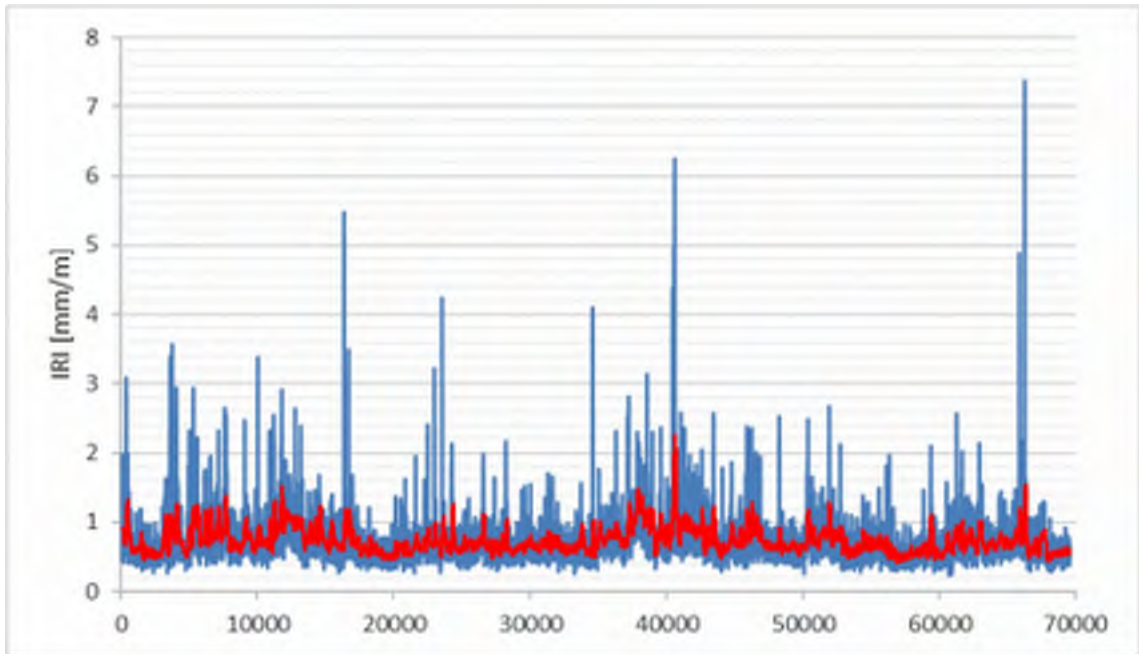
79, Rv56, Katrineholm (K2S)



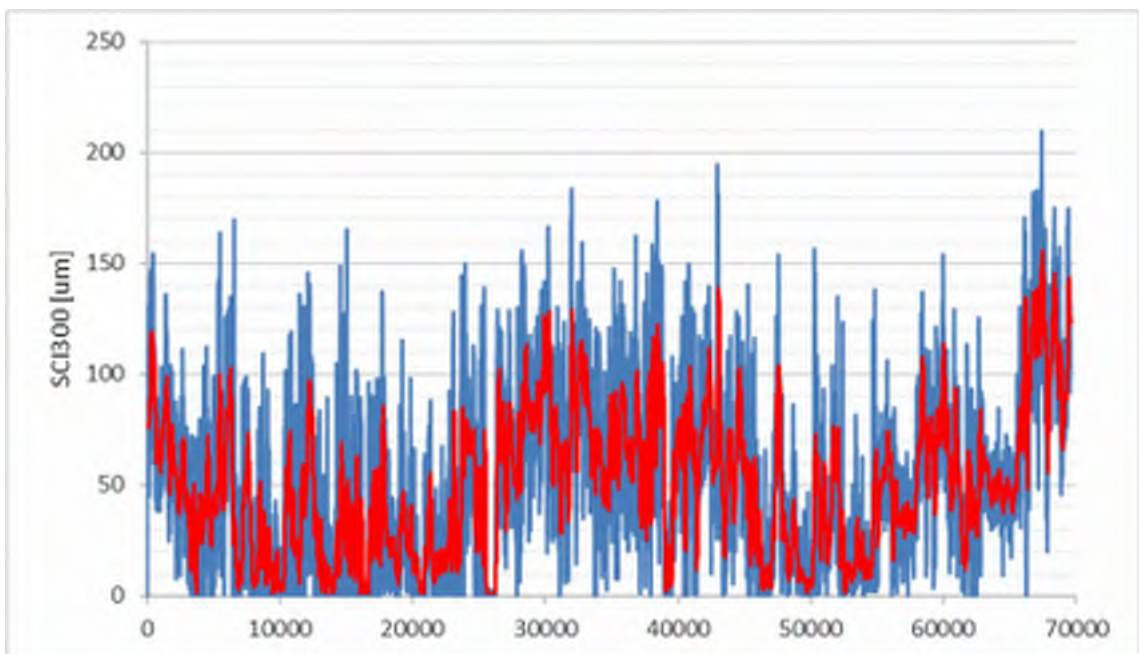
79, Rv56, Katrineholm (K2S)



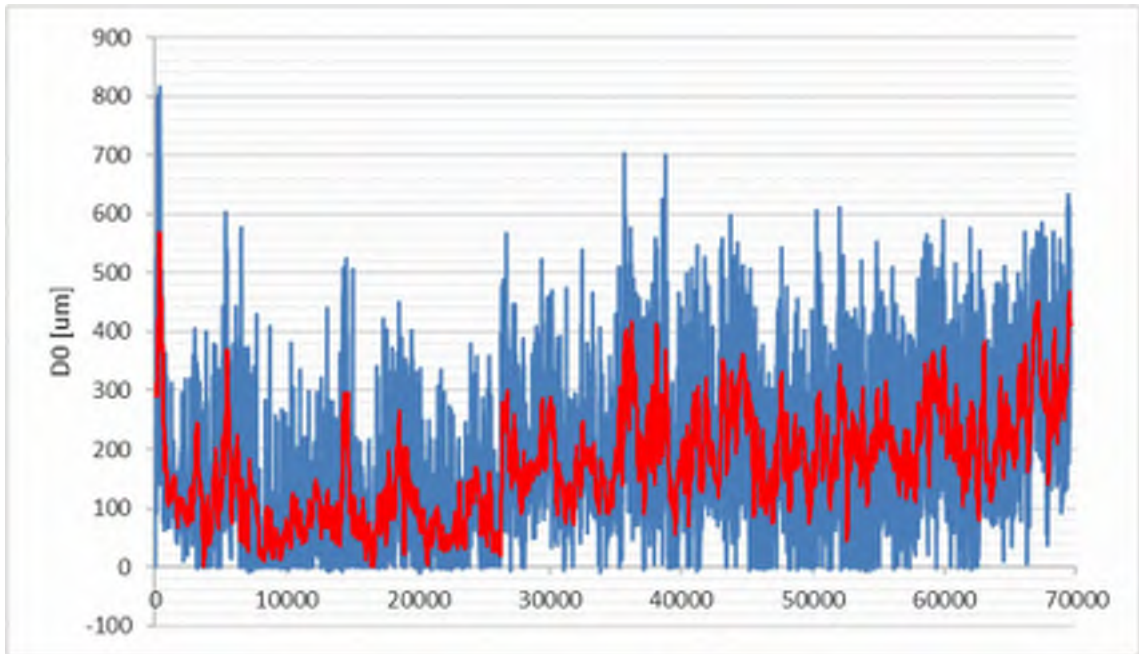
80, E4, Norrköping-Mjölby (S)



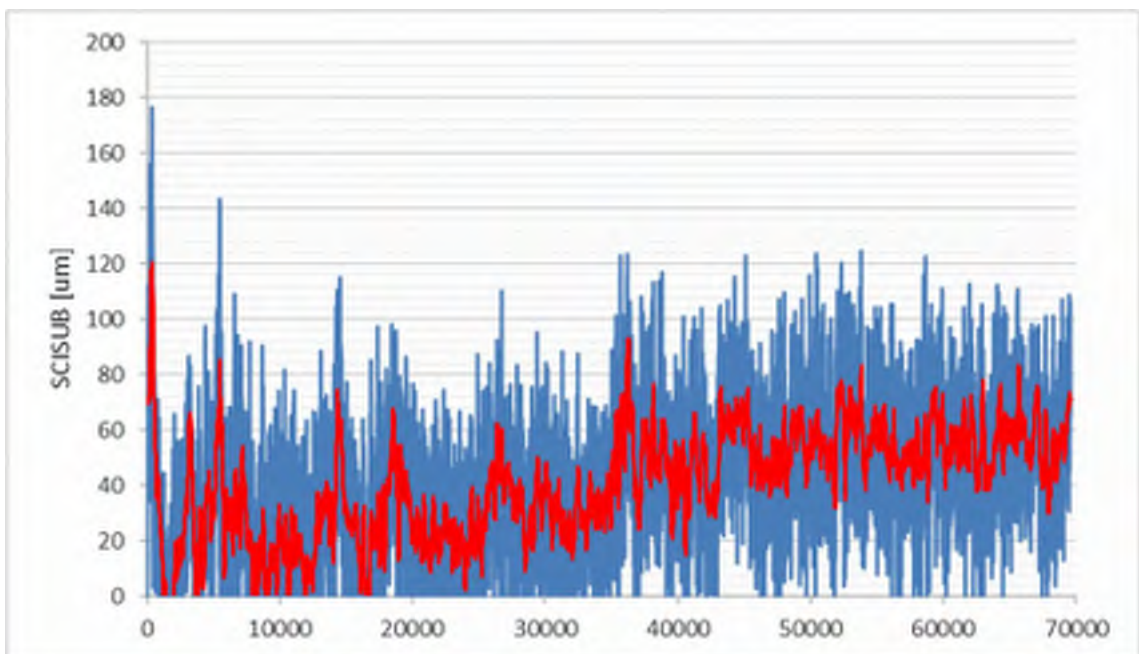
80, E4, Norrköping-Mjölby (S)



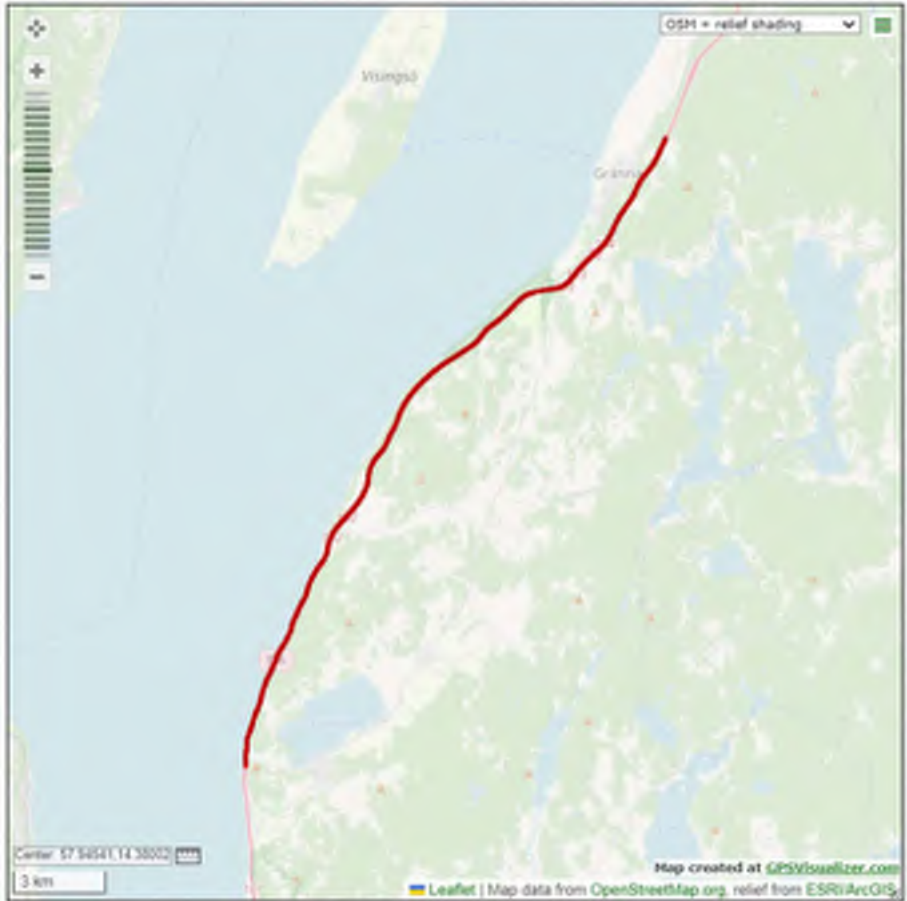
80, E4, Norrköping-Mjölby (S)



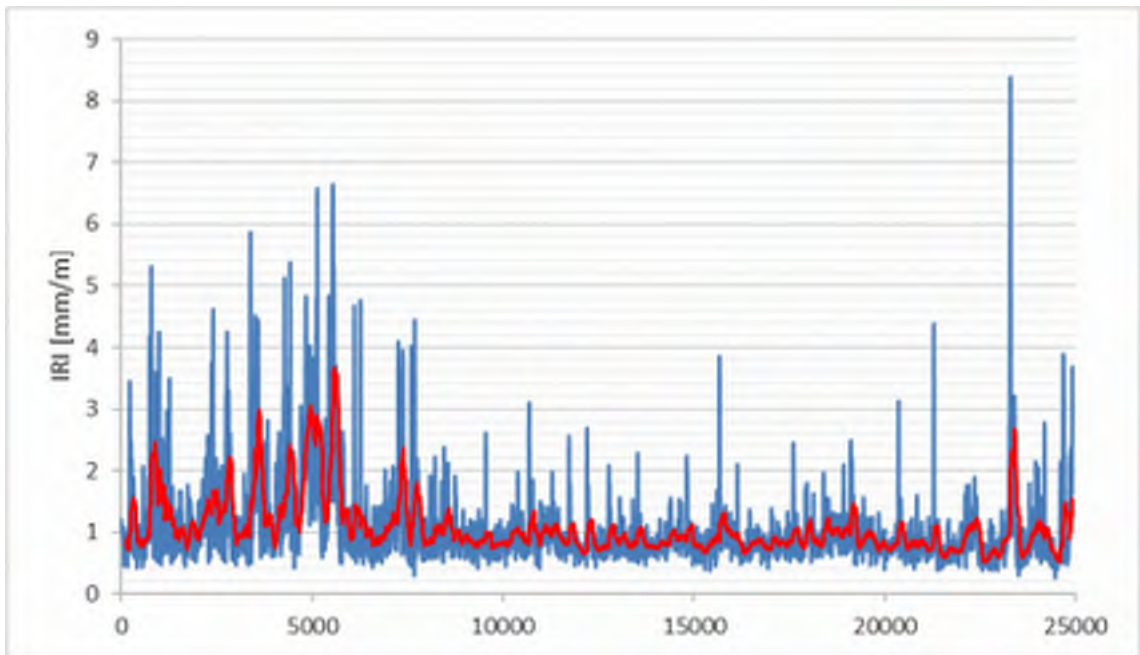
80, E4, Norrköping-Mjölby (S)



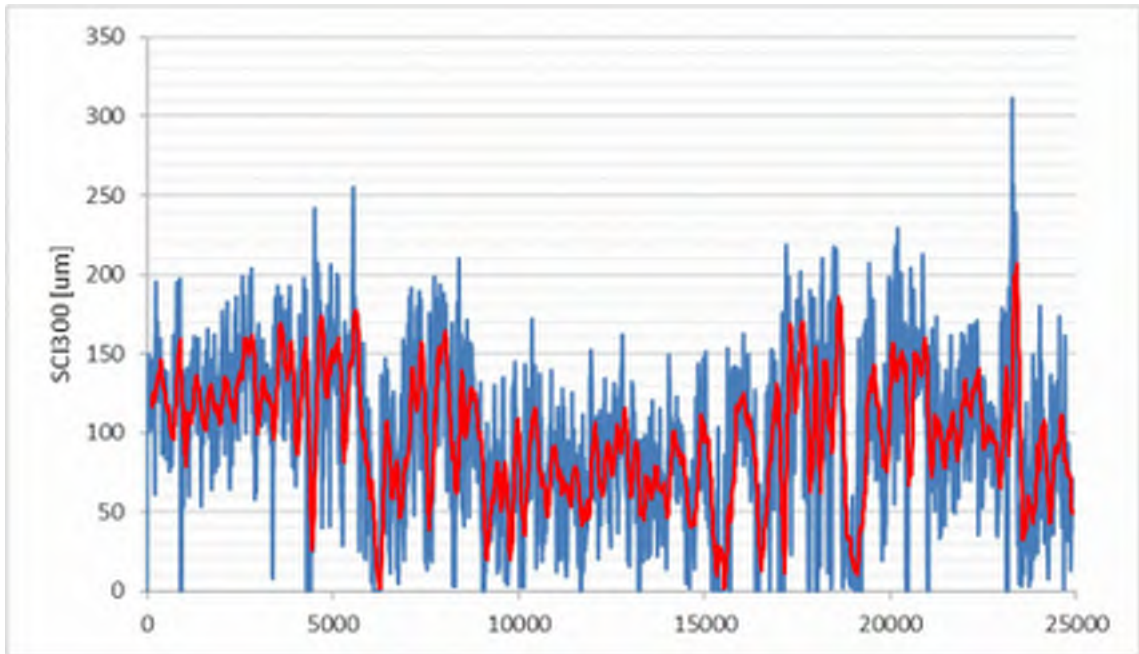
80, E4, Norrköping-Mjölby (S)



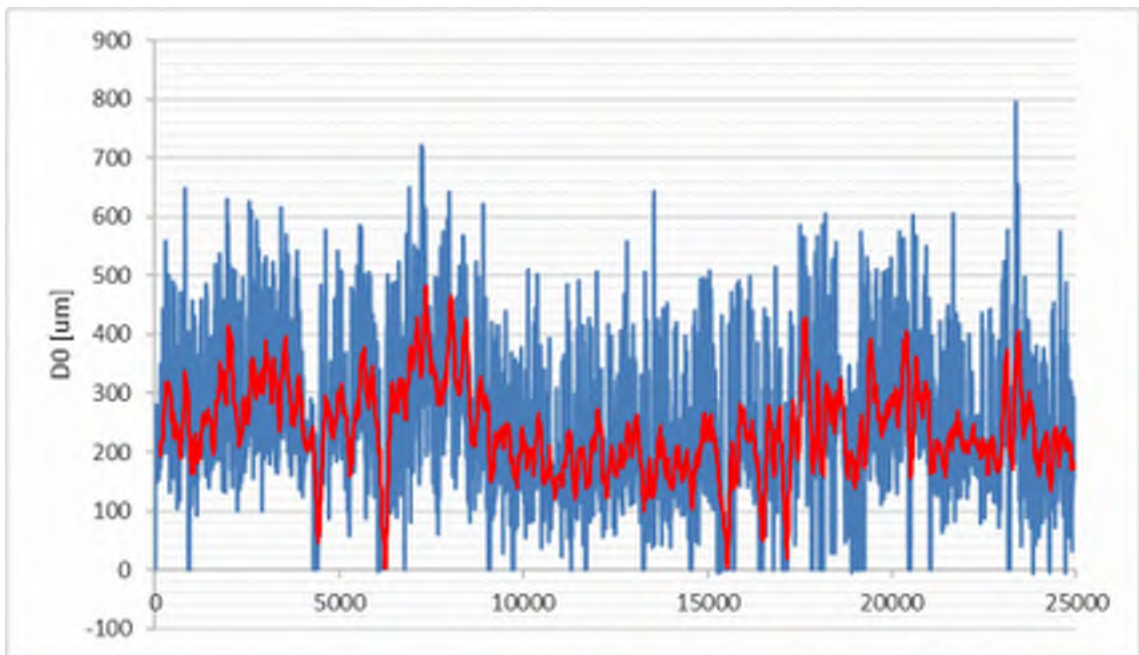
81, E4, Gränna (S)



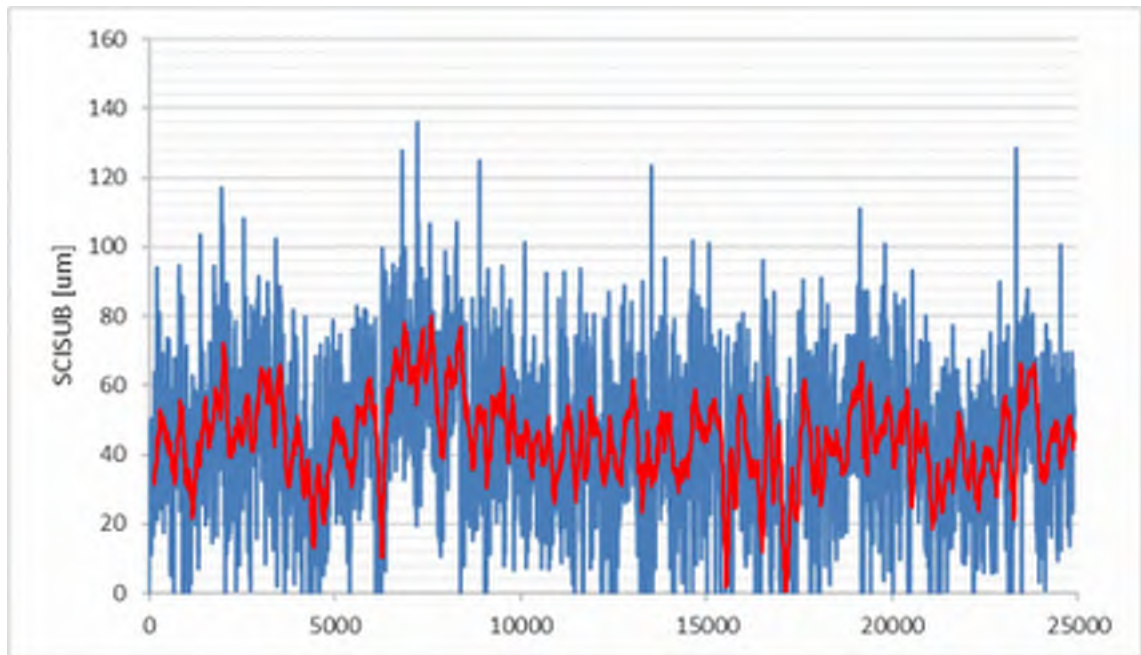
81, E4, Gränna (S)



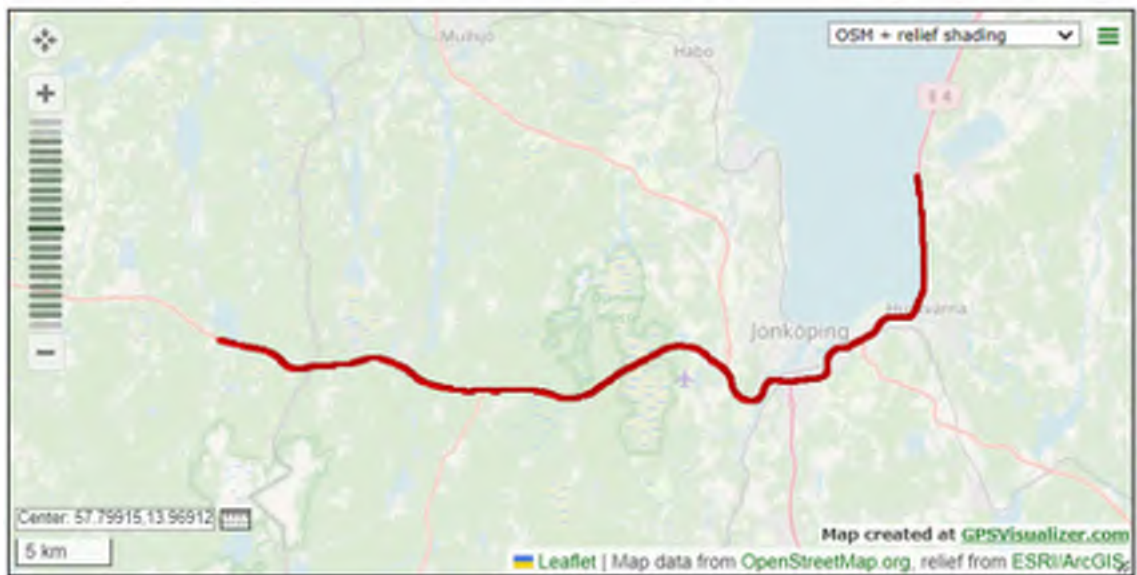
81, E4, Gränna (S)



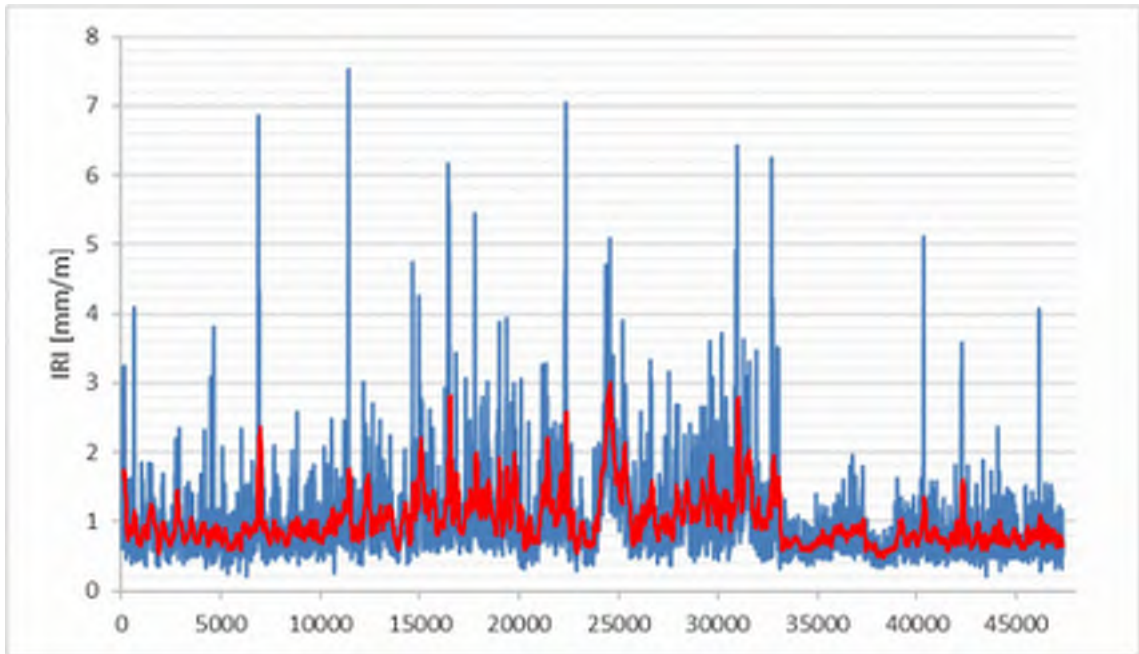
81, E4, Gränna (S)



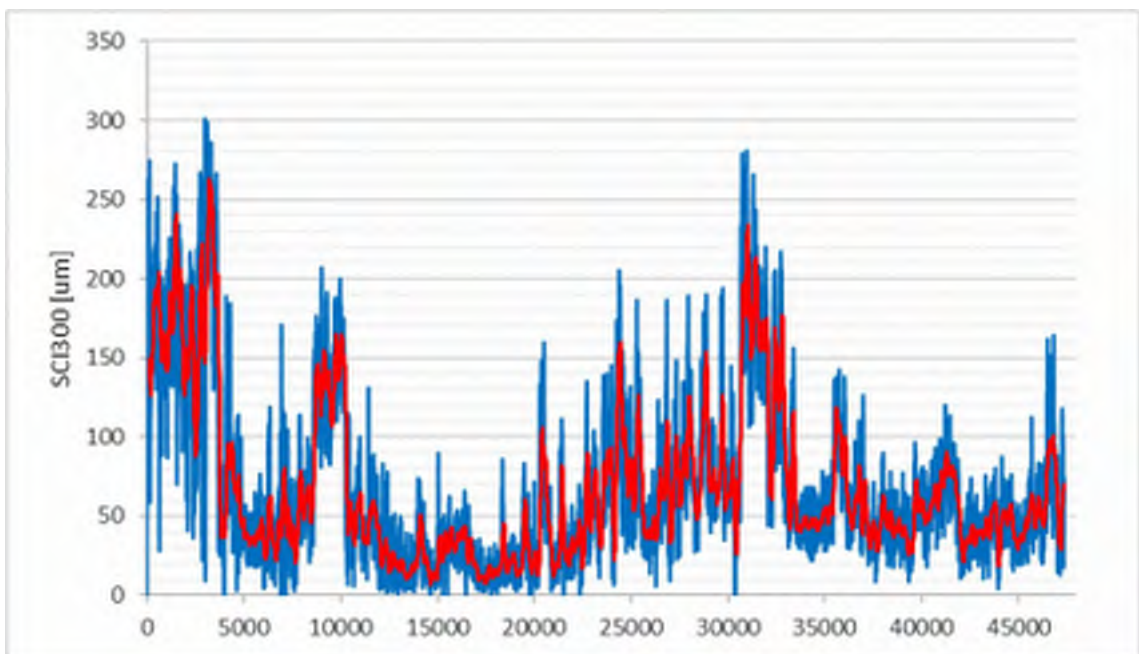
81, E4, Gräna (S)



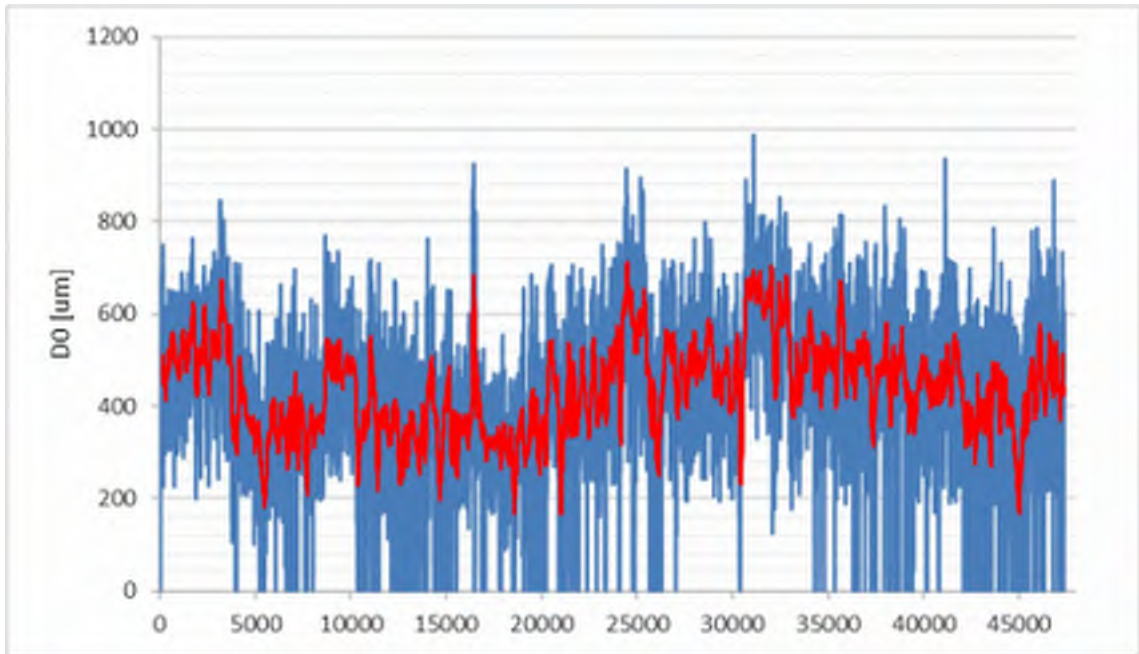
82, E4/Rv40, Jönköping-Strängsered (V)



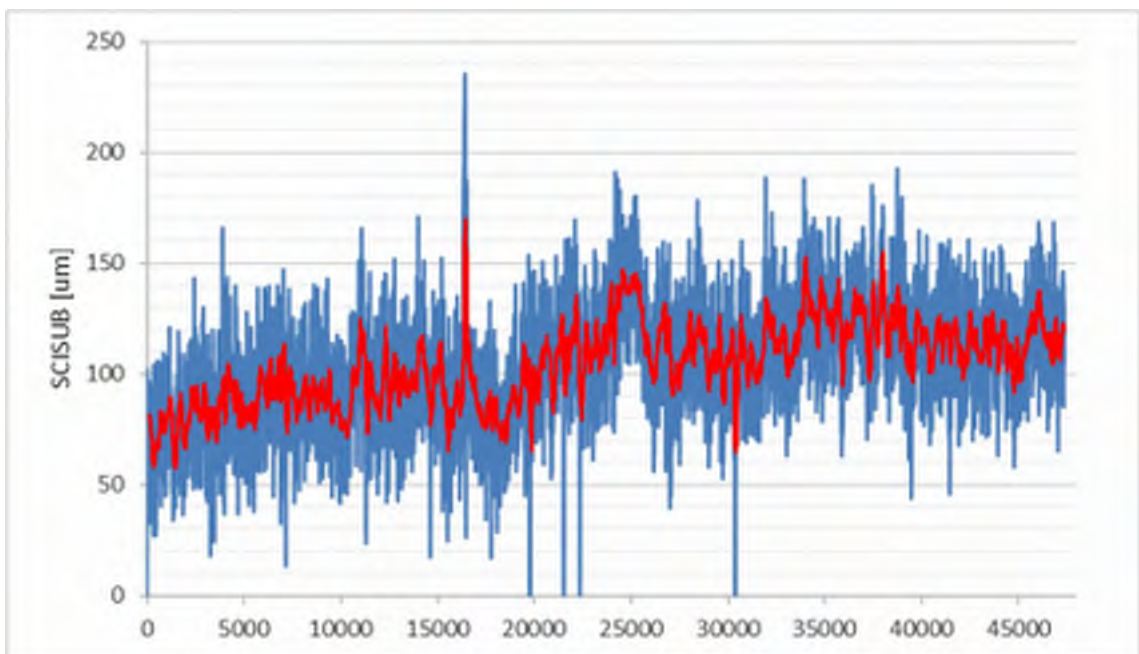
82, E4/Rv40, Jönköping-Strängsered (V)



82, E4/Rv40, Jönköping-Strängsered (V)



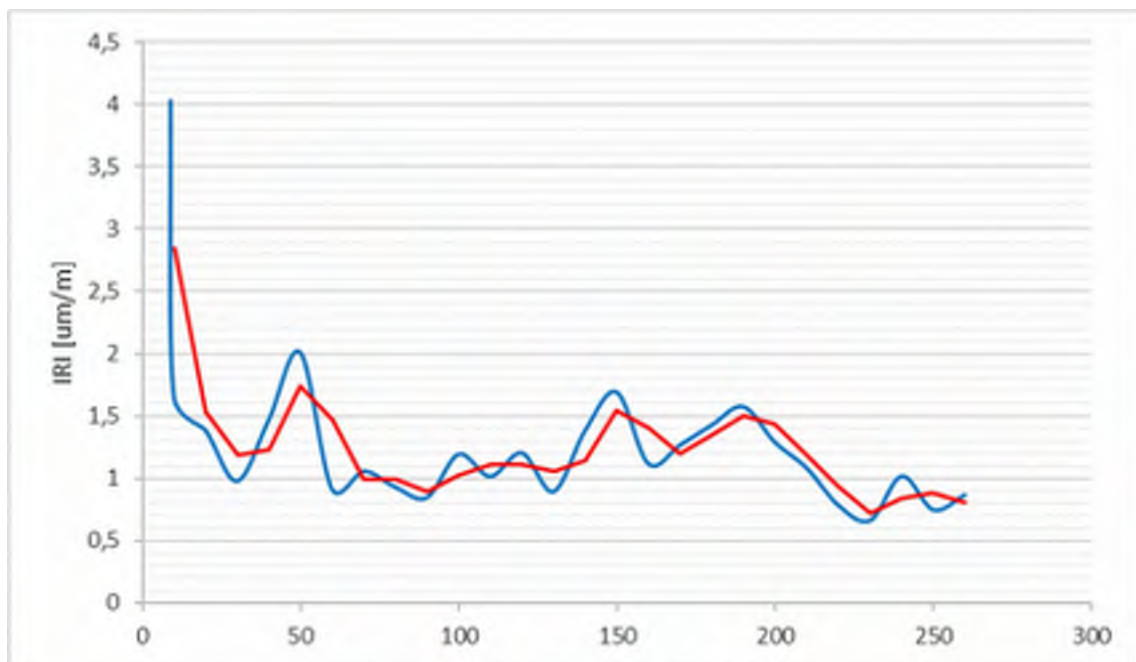
82, E4/Rv40, Jönköping-Strängsered (V)



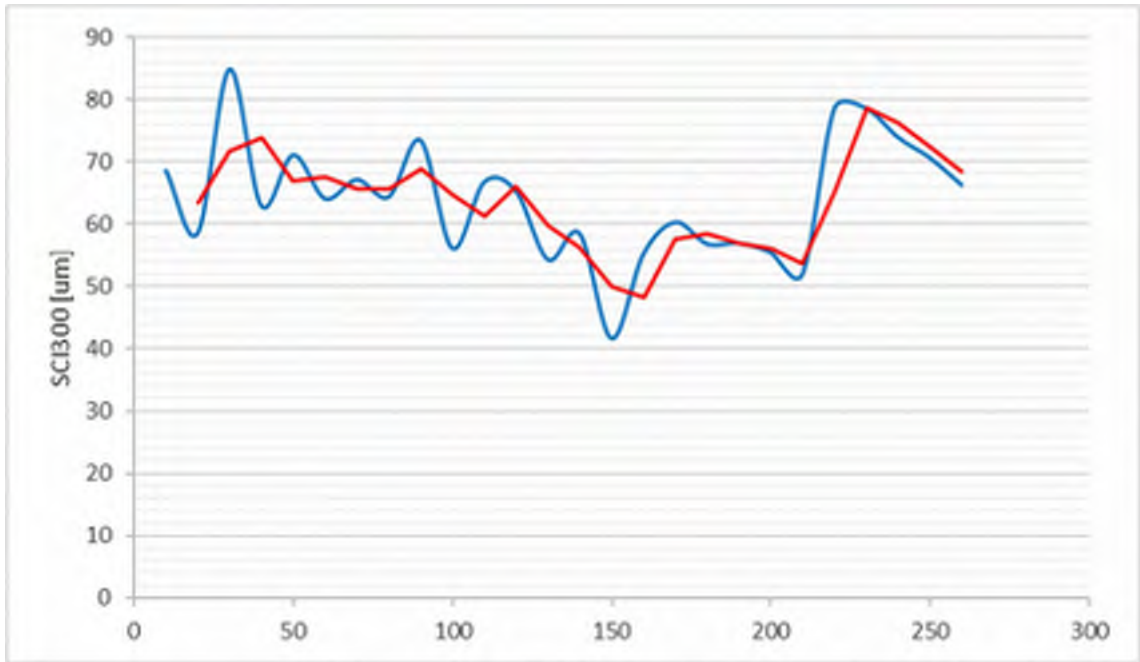
82, E4/Rv40, Jönköping-Strängsered (V)



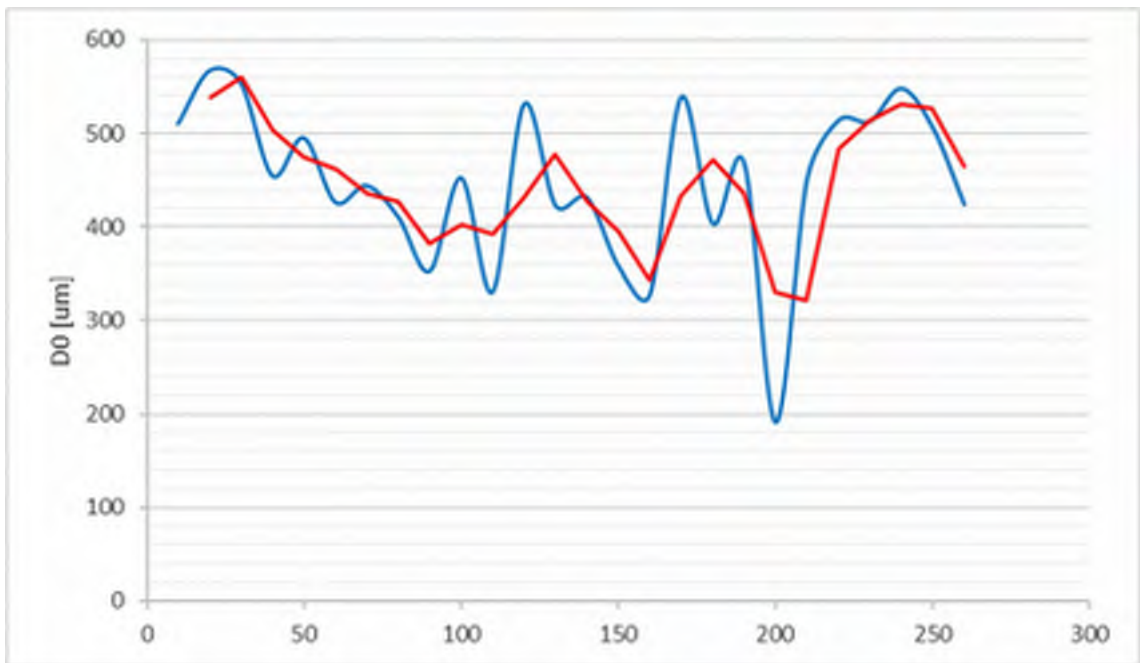
83, Rv40 (V)



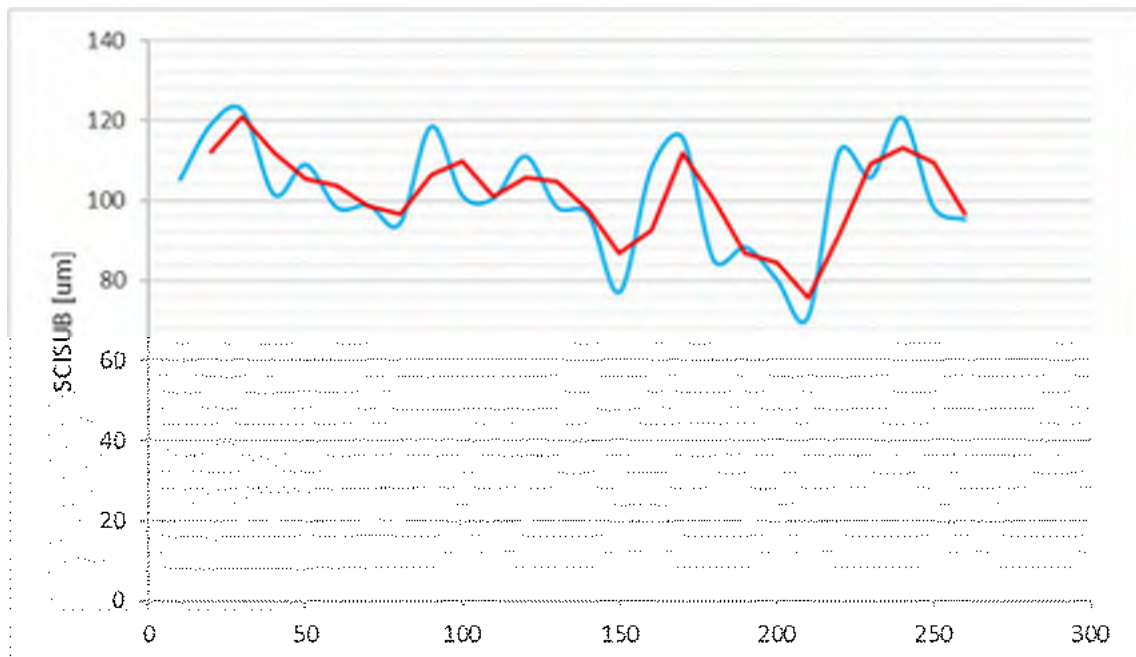
83, Rv40 (V)



83, Rv40 (V)



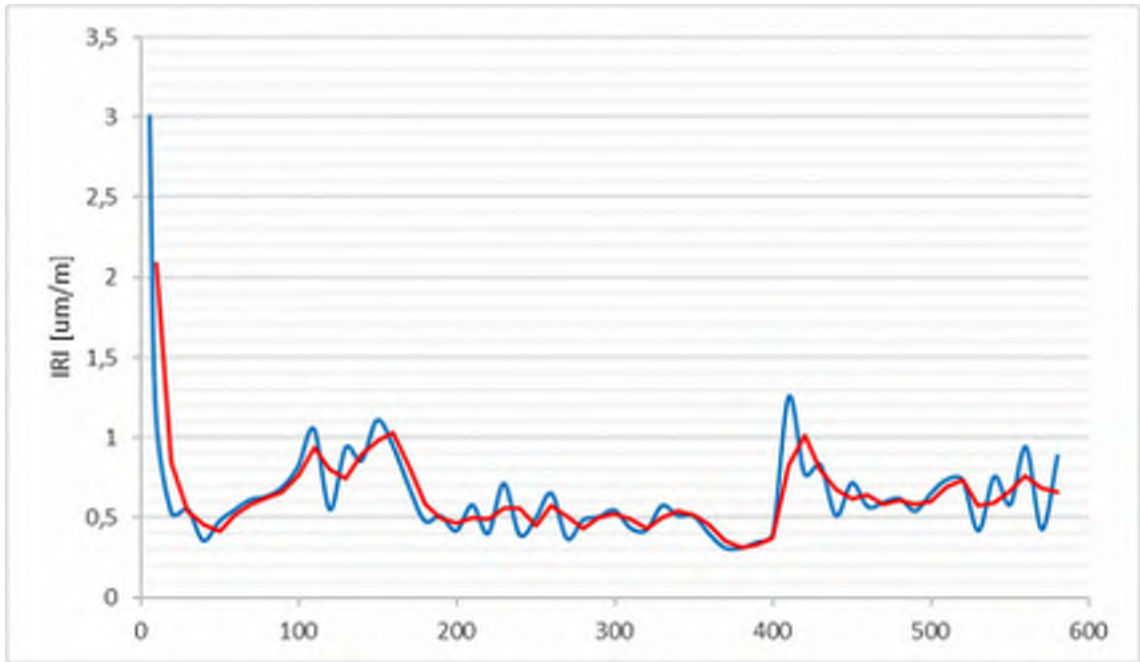
83, Rv40 (V)



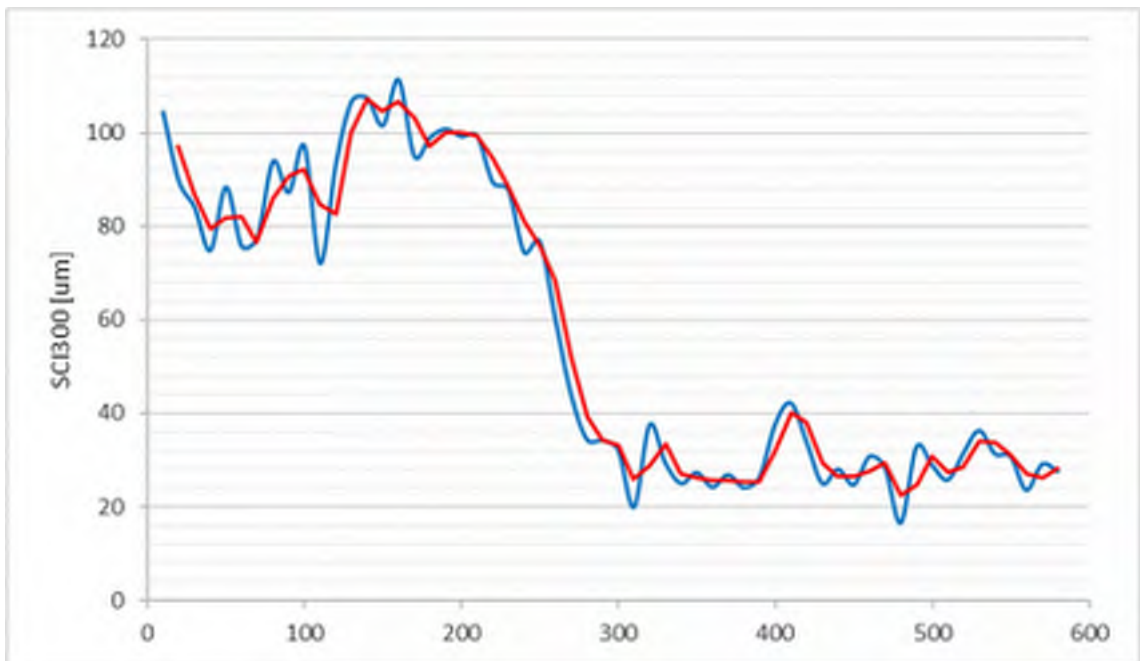
83, Rv40 (V)



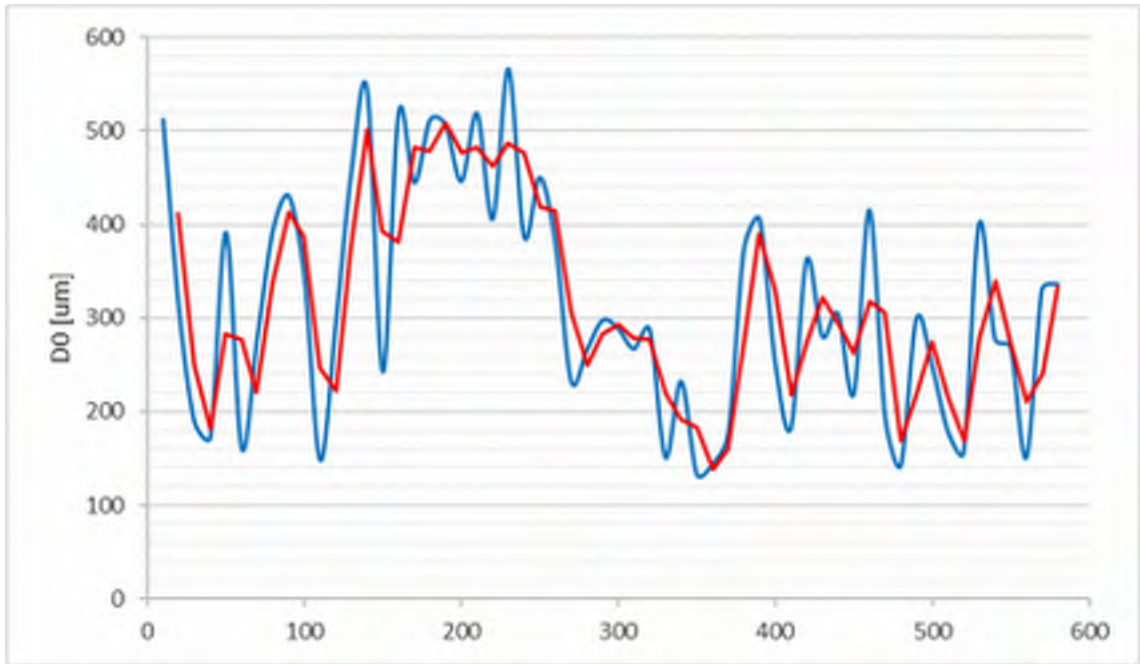
84, Rv40 (Ö)



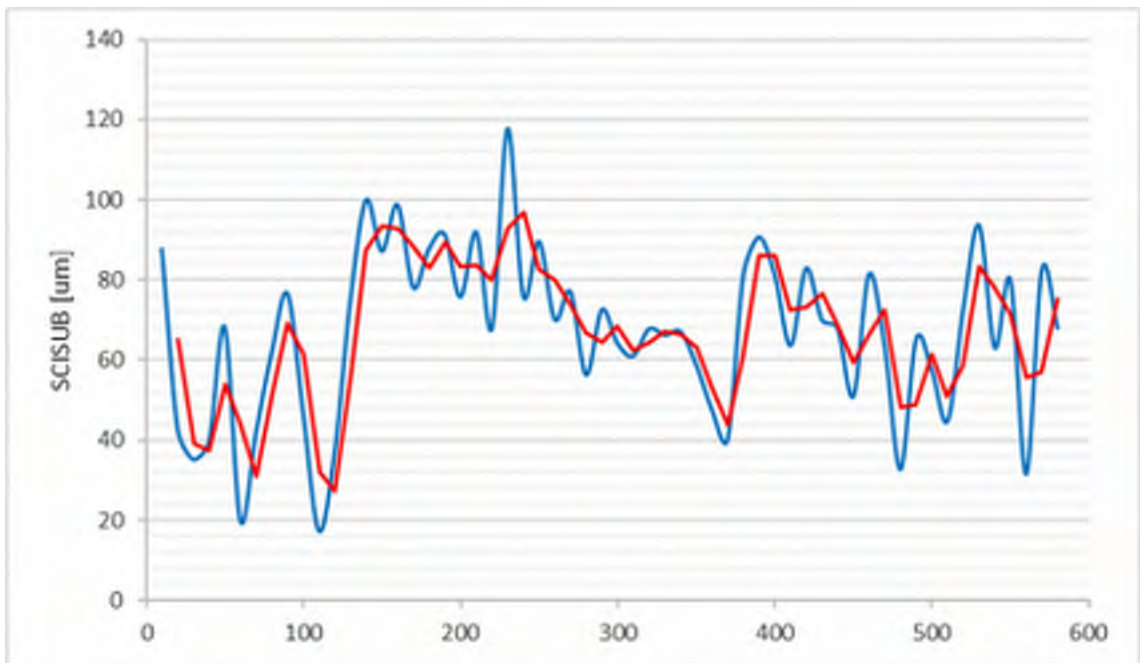
84, Rv40 (Ö)



84, Rv40 (Ö)



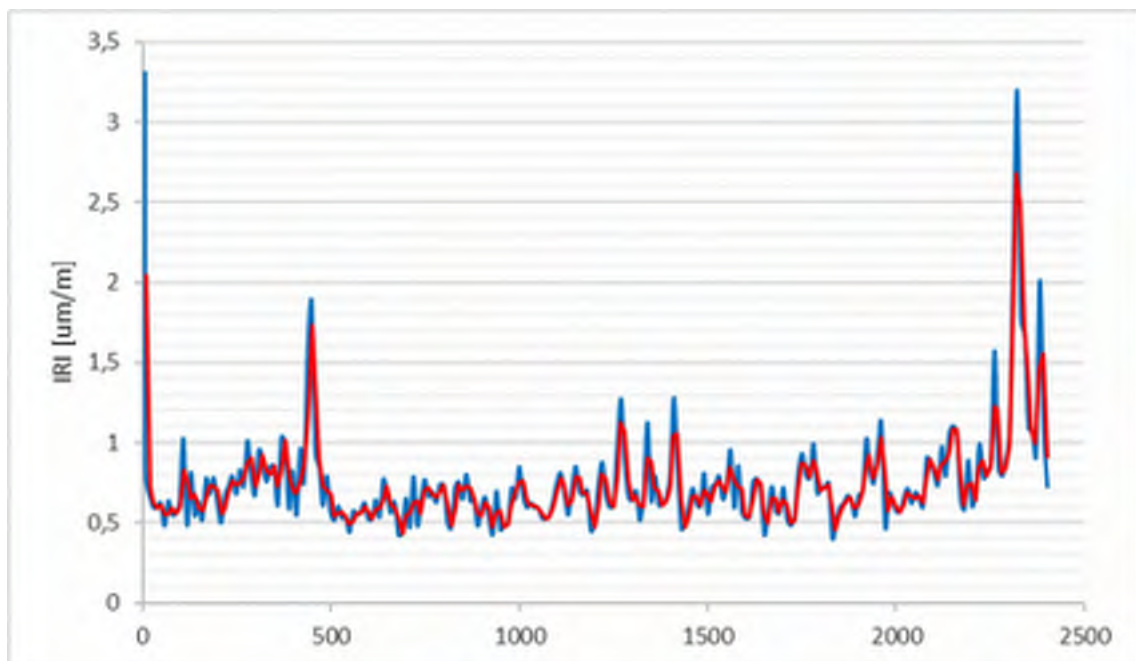
84, Rv40 (Ö)



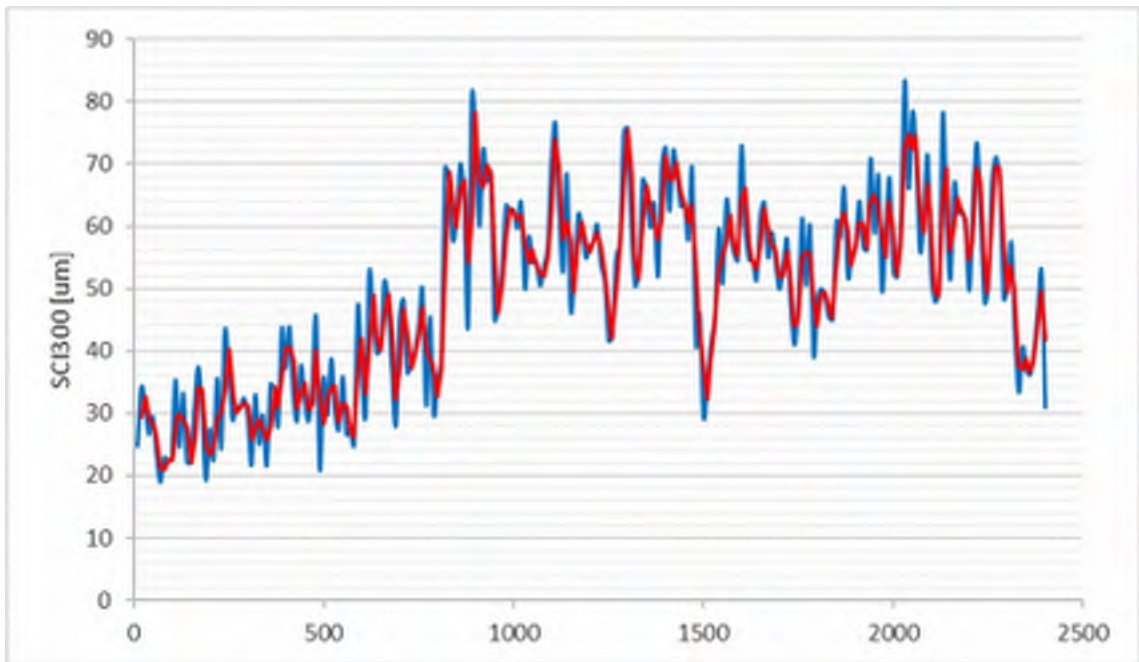
84, Rv40 (Ö)



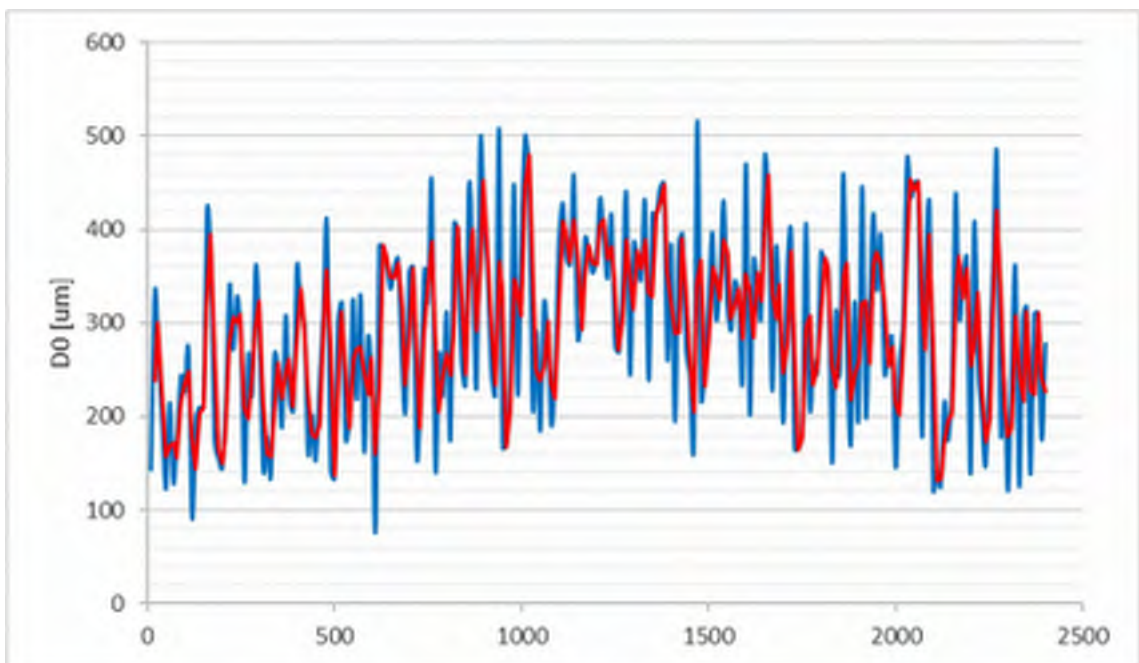
85, Rv40 (K1Ö)



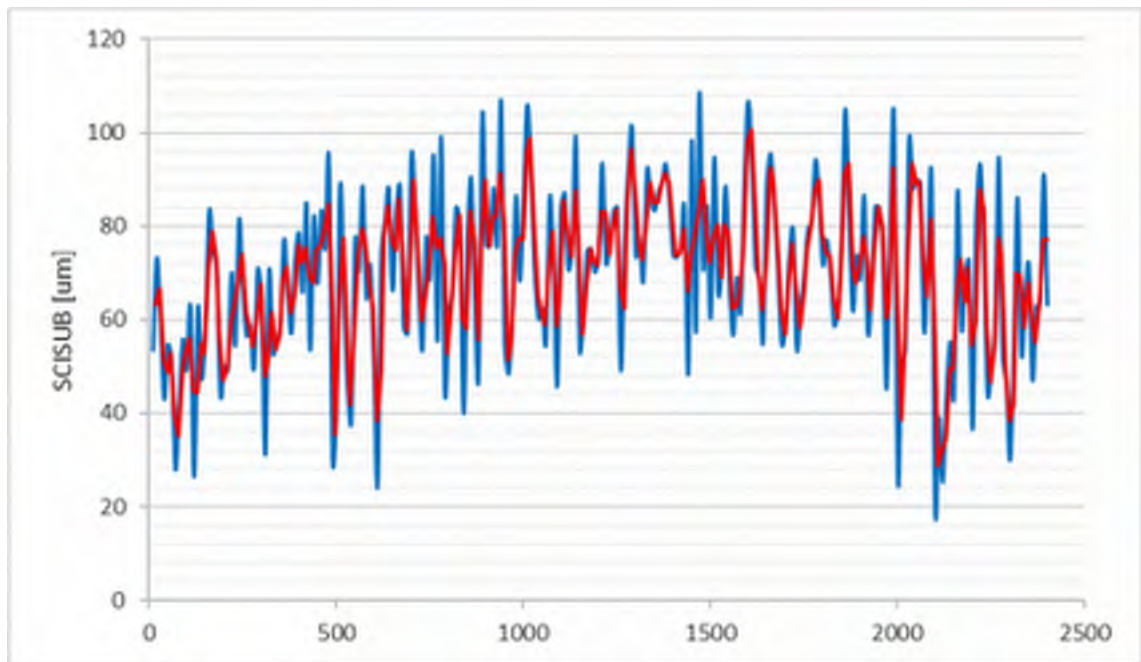
85, Rv40 (K1Ö)



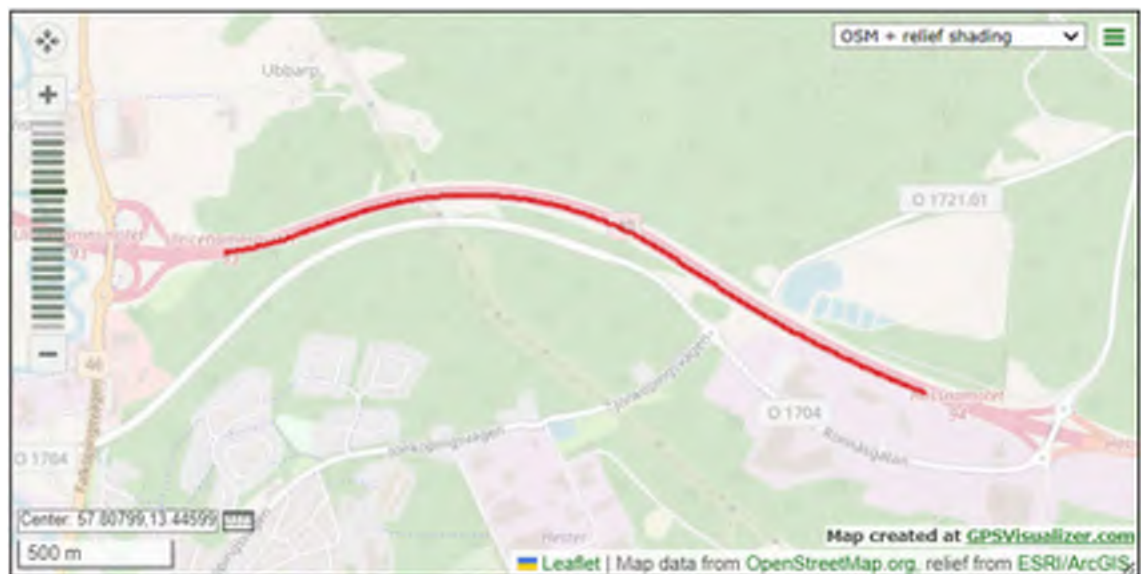
85, Rv40 (K1Ö)



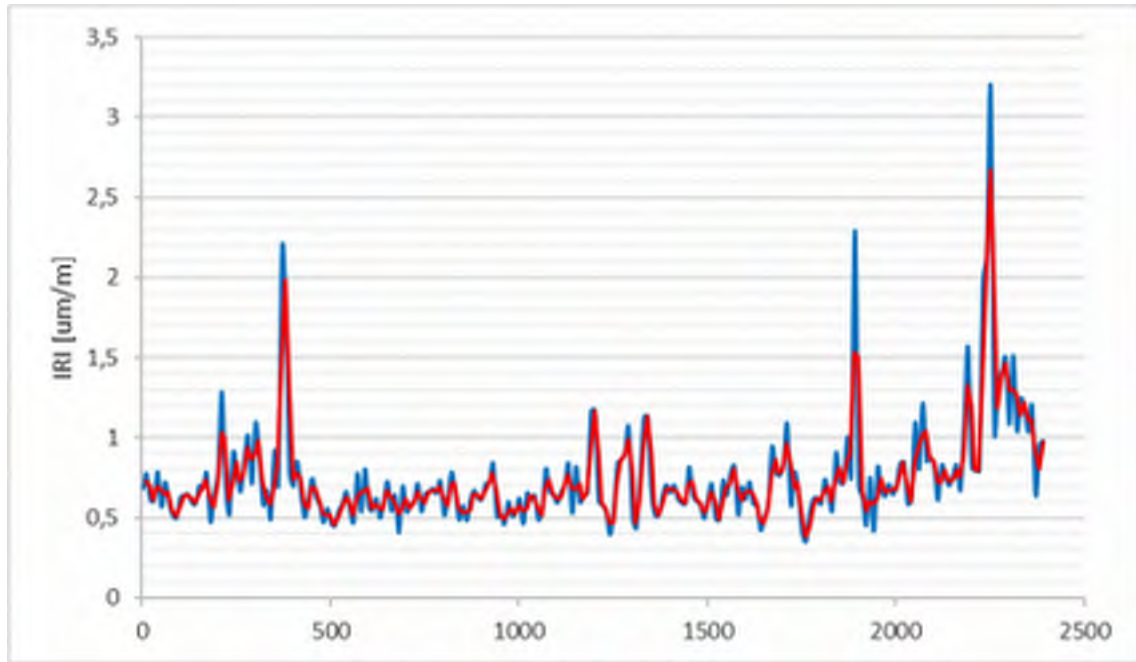
85, Rv40 (K1Ö)



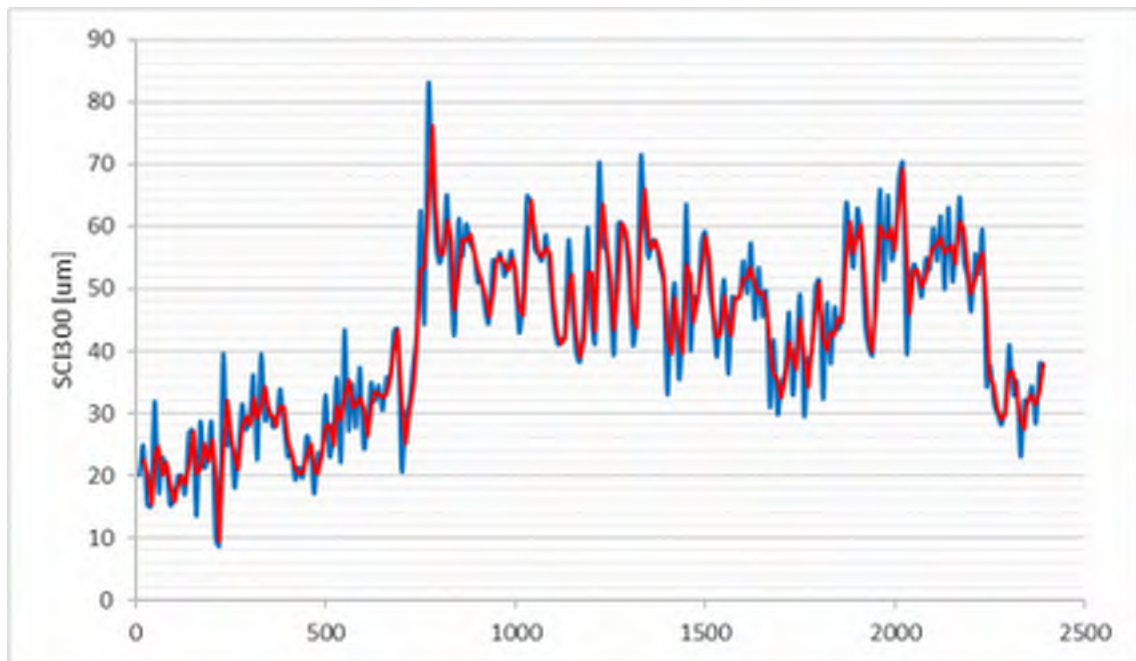
85, Rv40 (K1Ö)



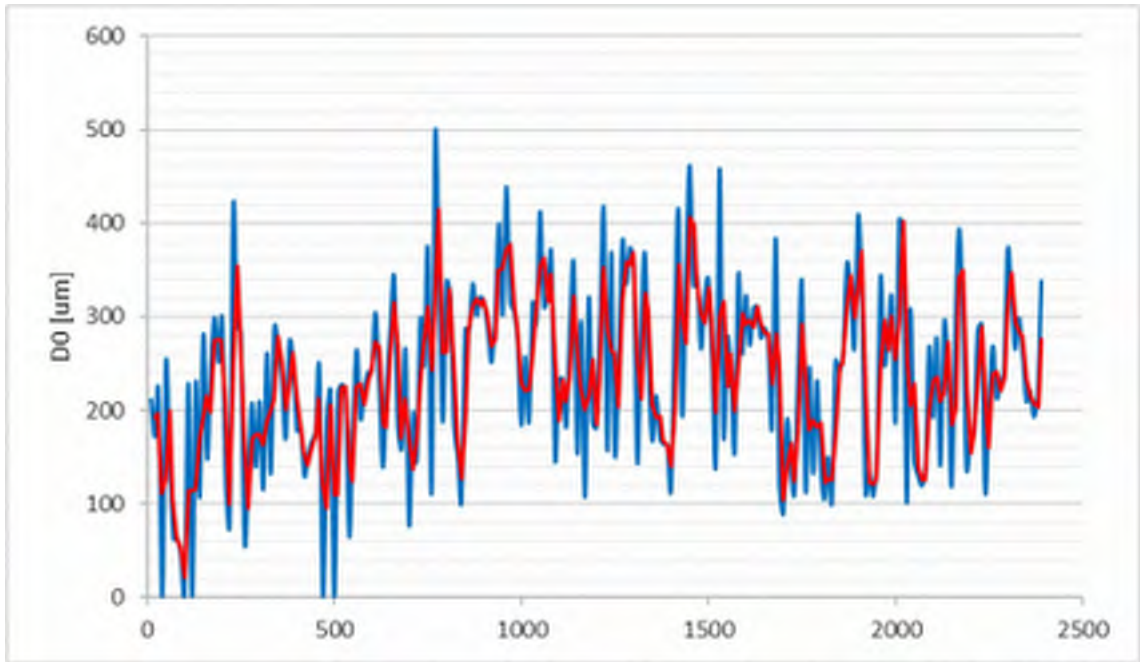
86, Rv40 (K2Ö)



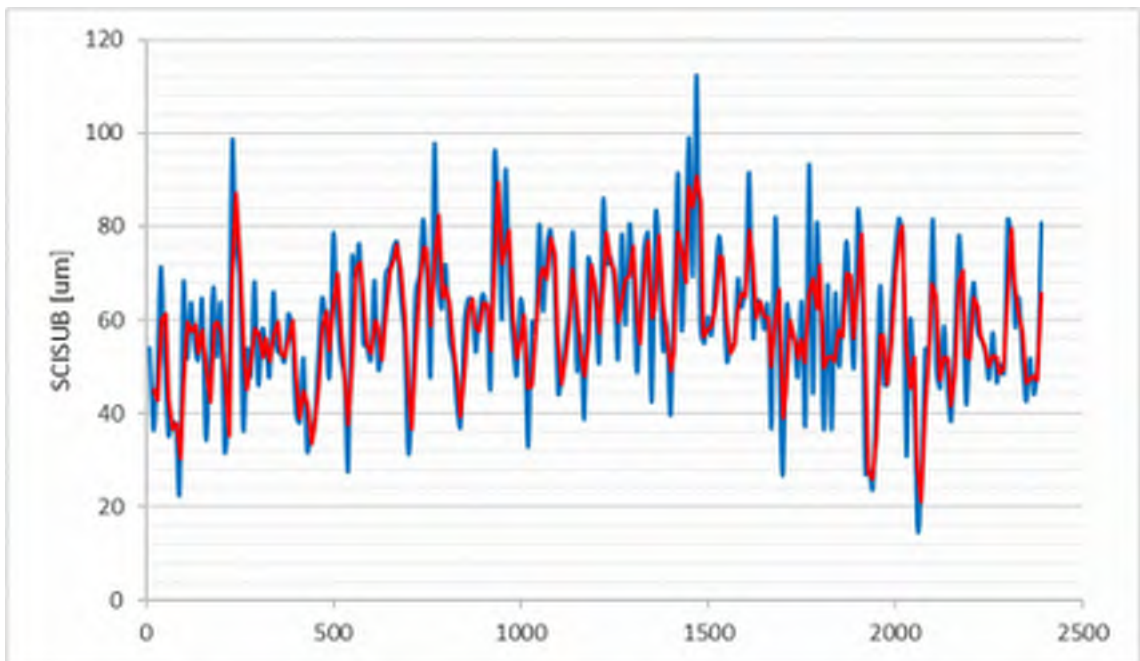
86, Rv40 (K2Ö)



86, Rv40 (K2Ö)



86, Rv40 (K2Ö)



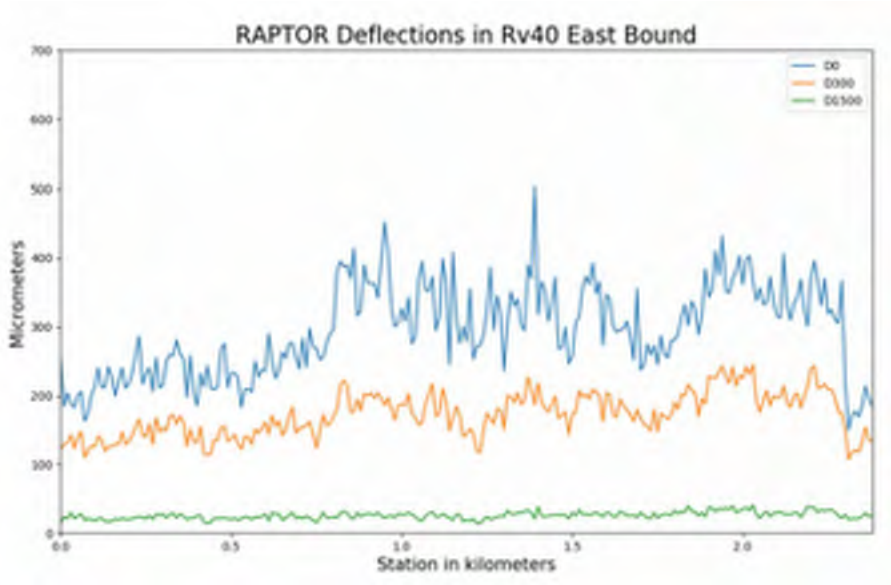
86, Rv40 (K2Ö)



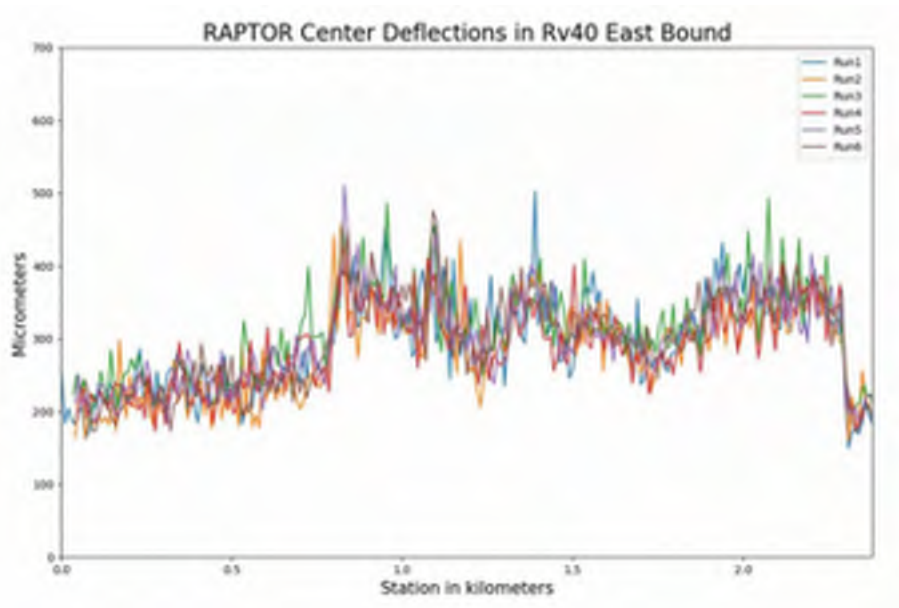
87, Rv40



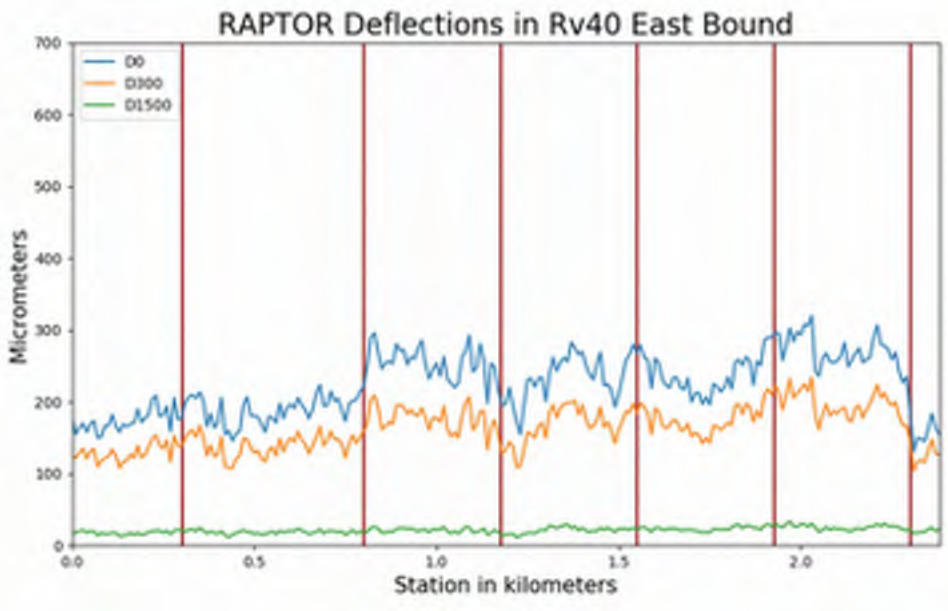
87, Rv40, Test ytor (Ö)



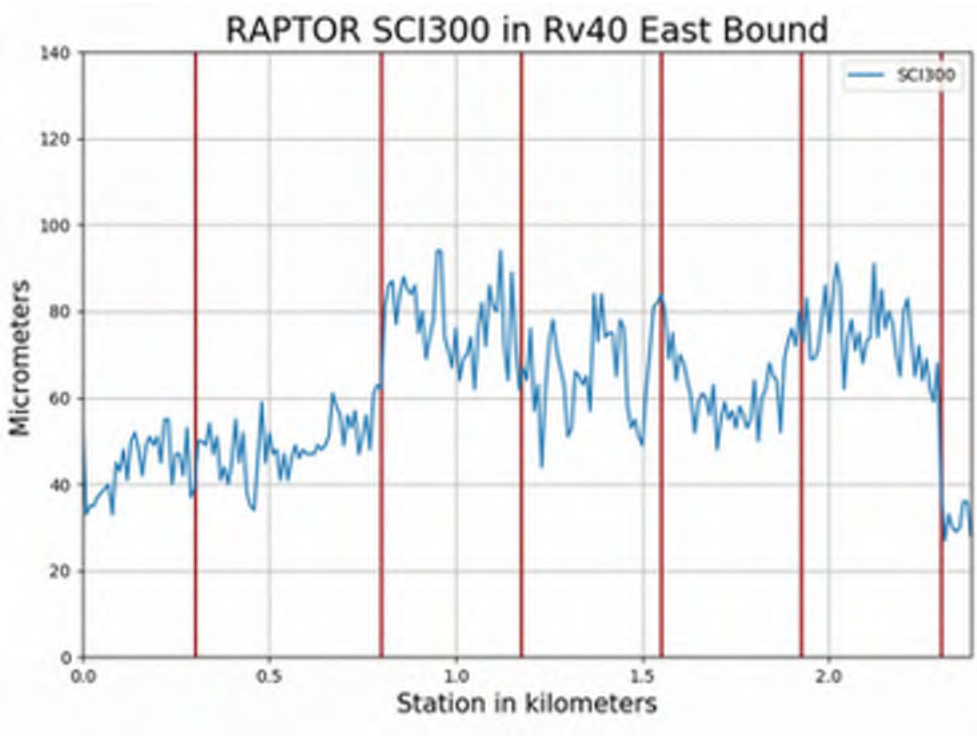
87, Rv40 (Ö)



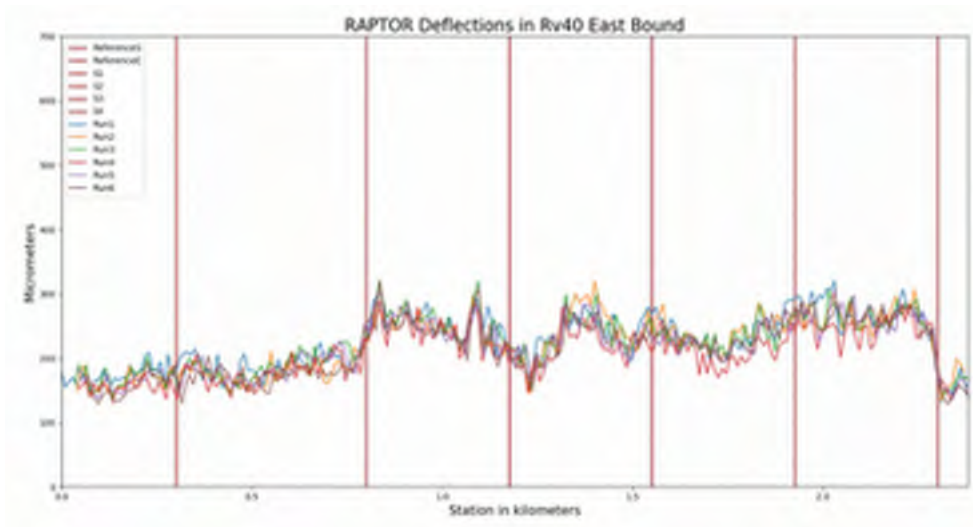
87, Rv40 (Ö)



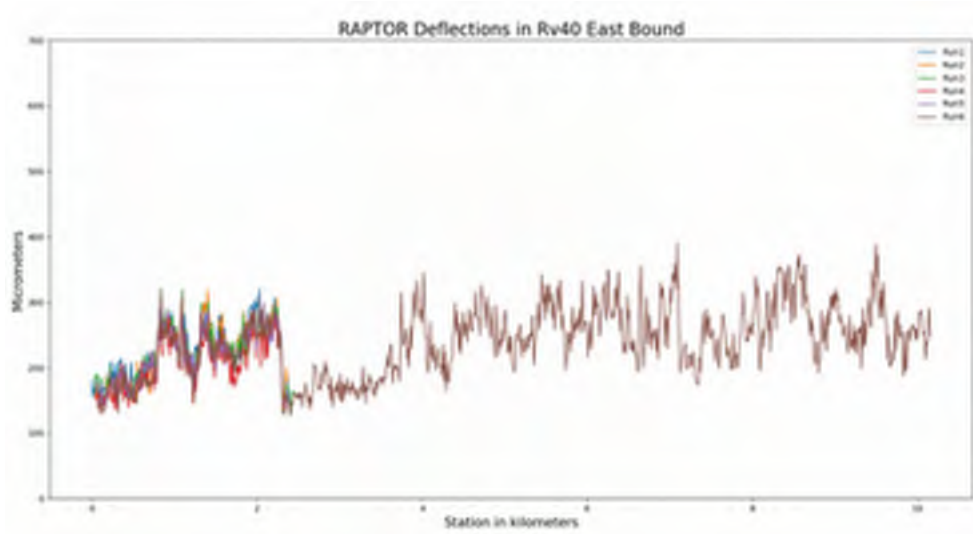
87, Rv40 (Ö)



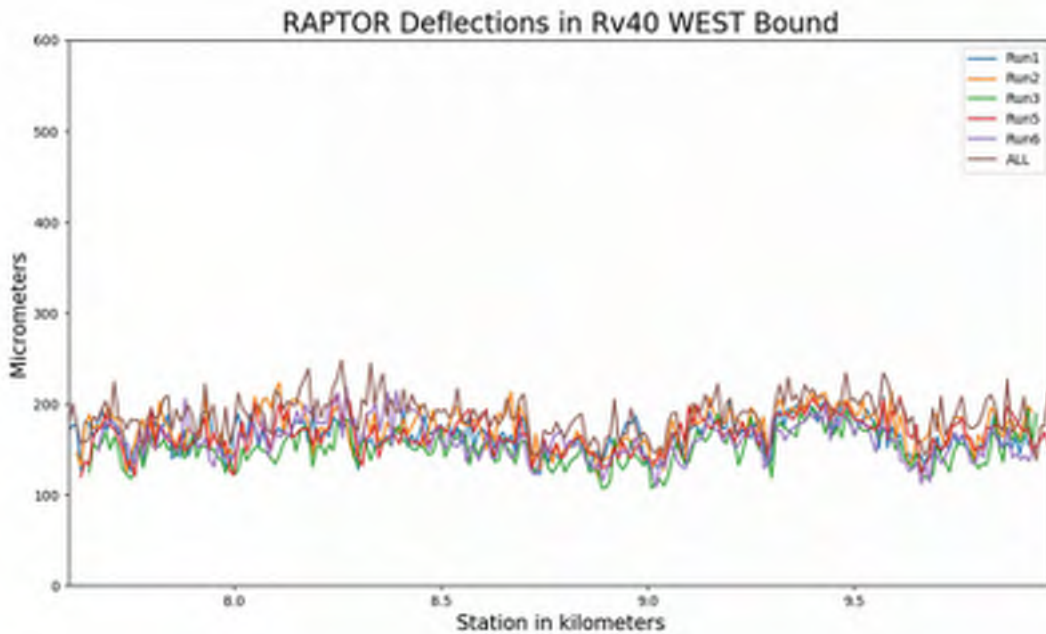
87, Rv40 (Ö)



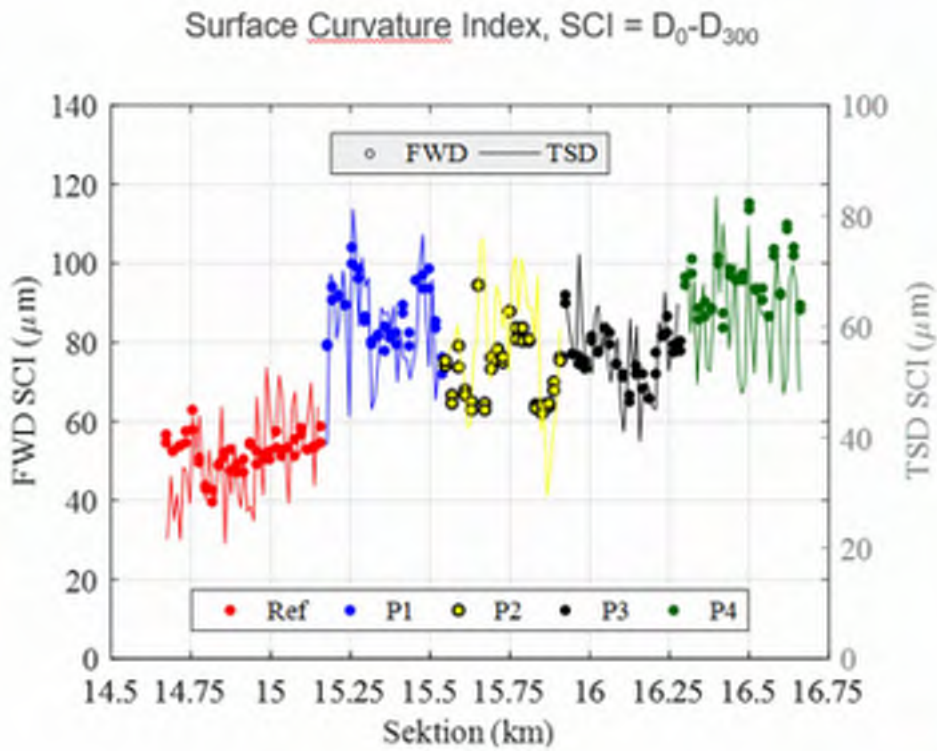
87, Rv40 (Ö)



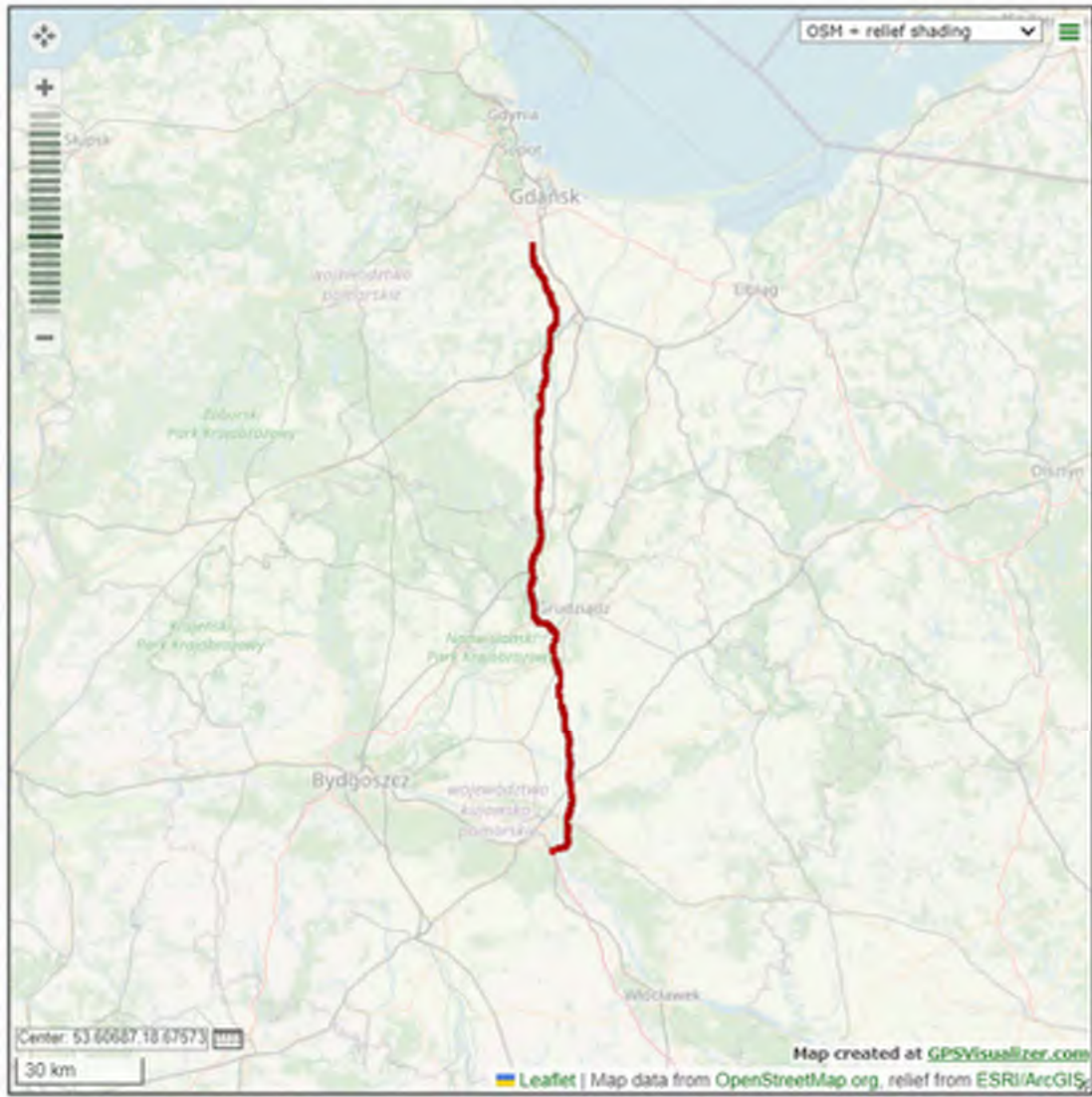
87, Rv40 (Ö)



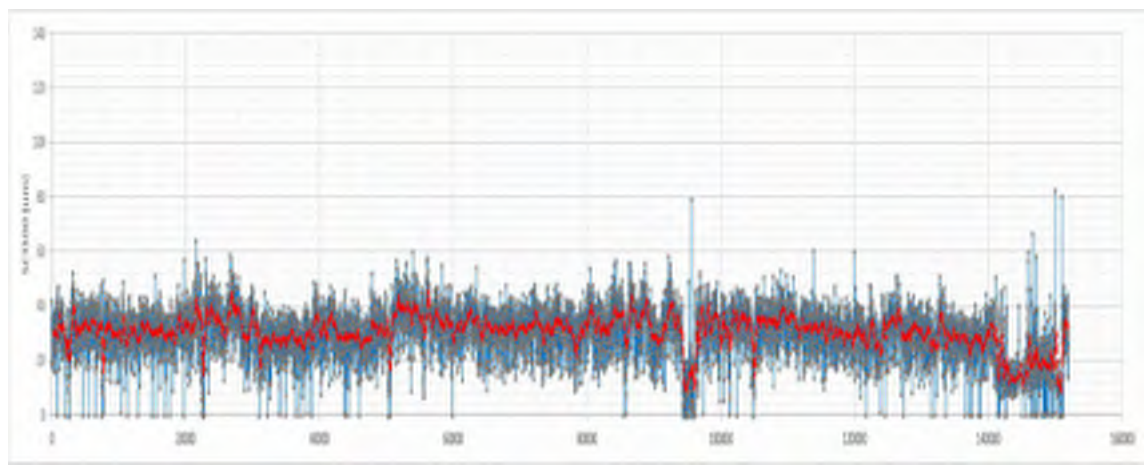
87, Rv40 (Ö)



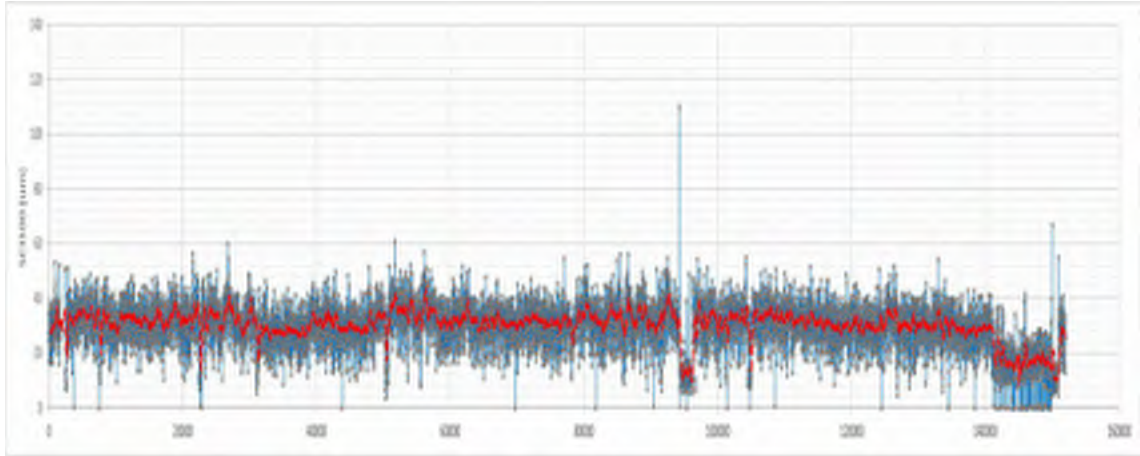
87, Rv40 (Ö)



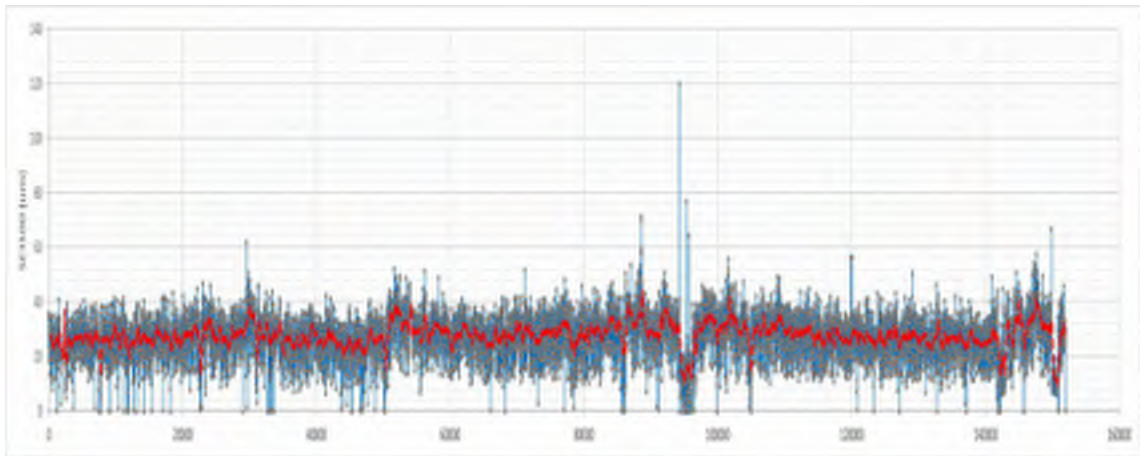
88, A1 Gdansk-Torun, Polen



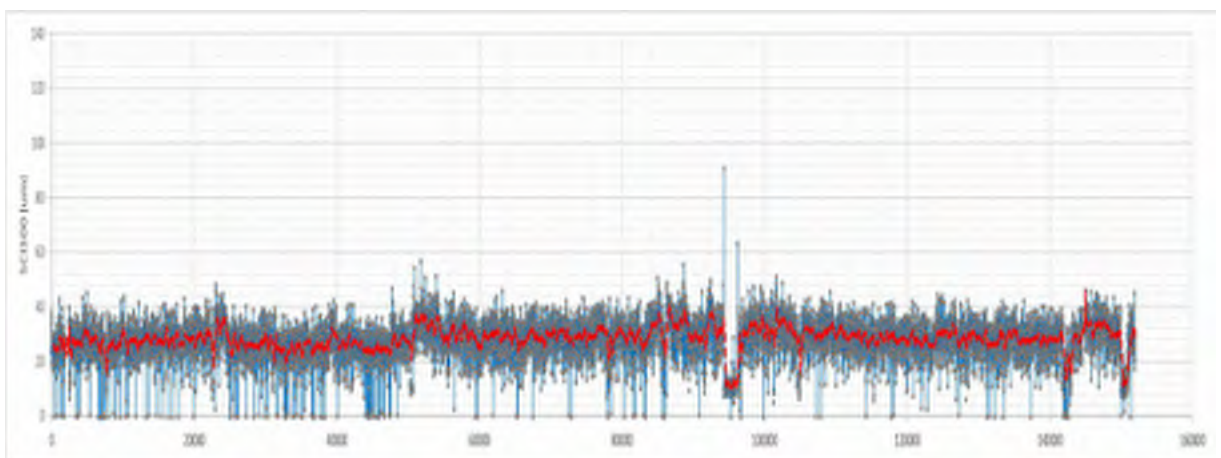
88, A1 North CW, Slow Lane



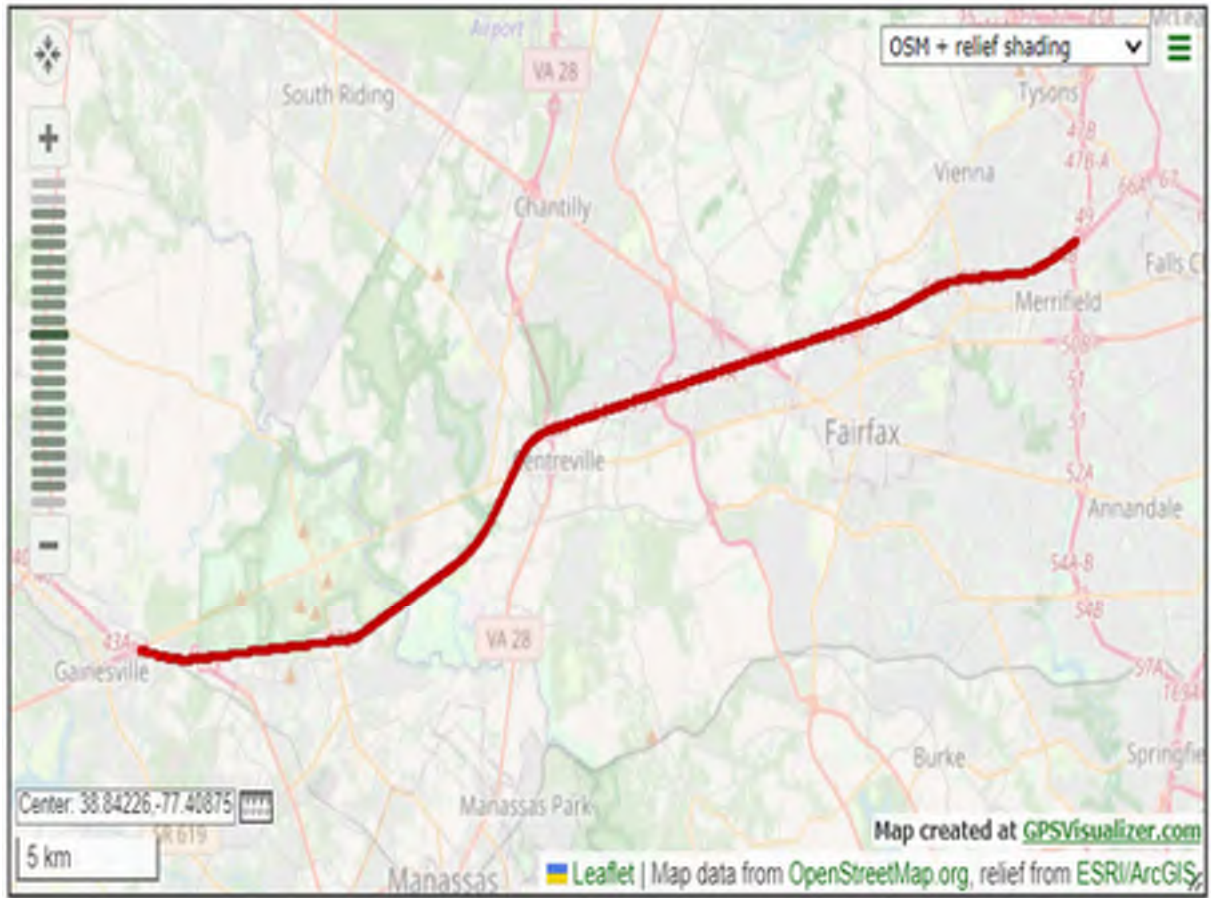
88, A1 North CW, Fast Lane



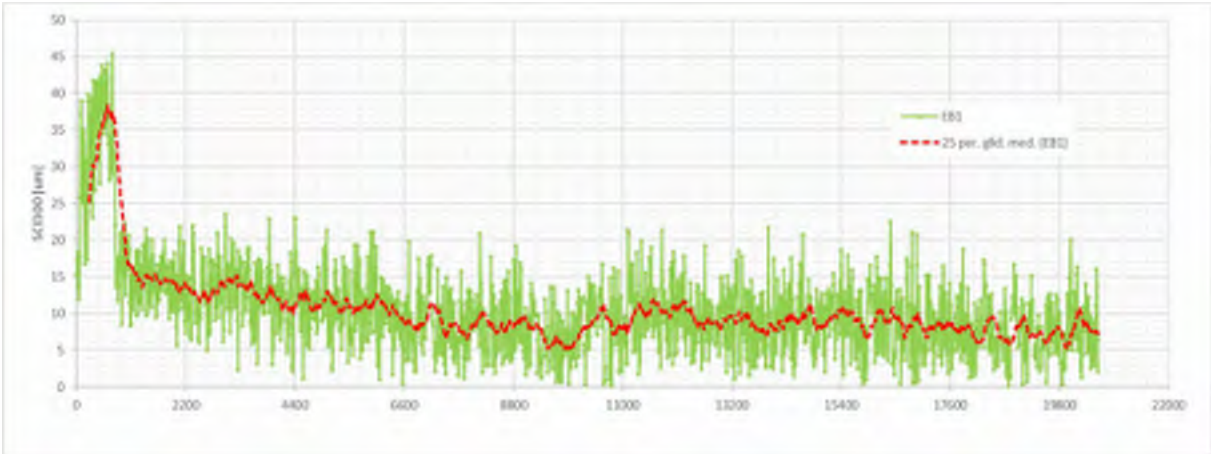
88, A1 South CW, Slow Lane



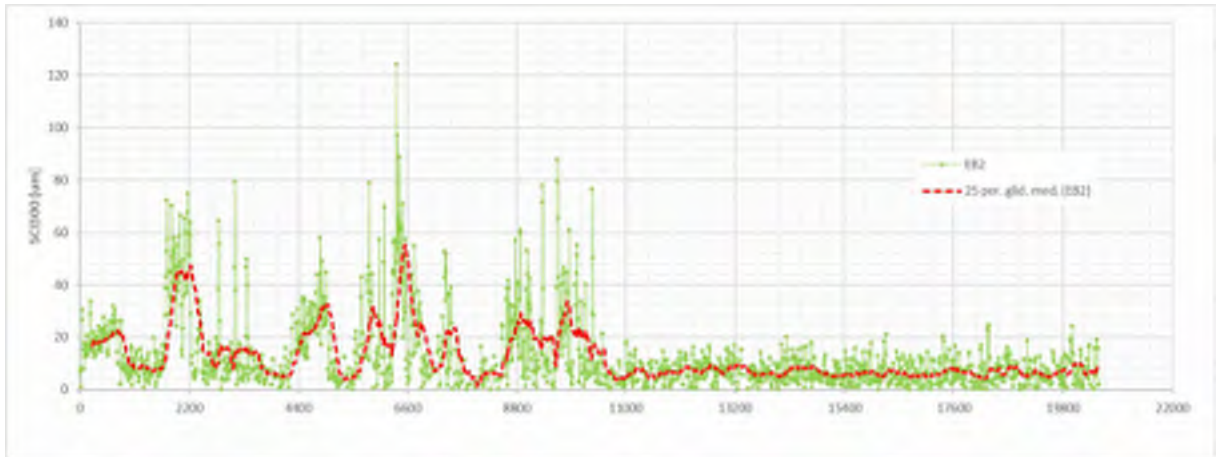
88, A1 South CW, Fast Lane



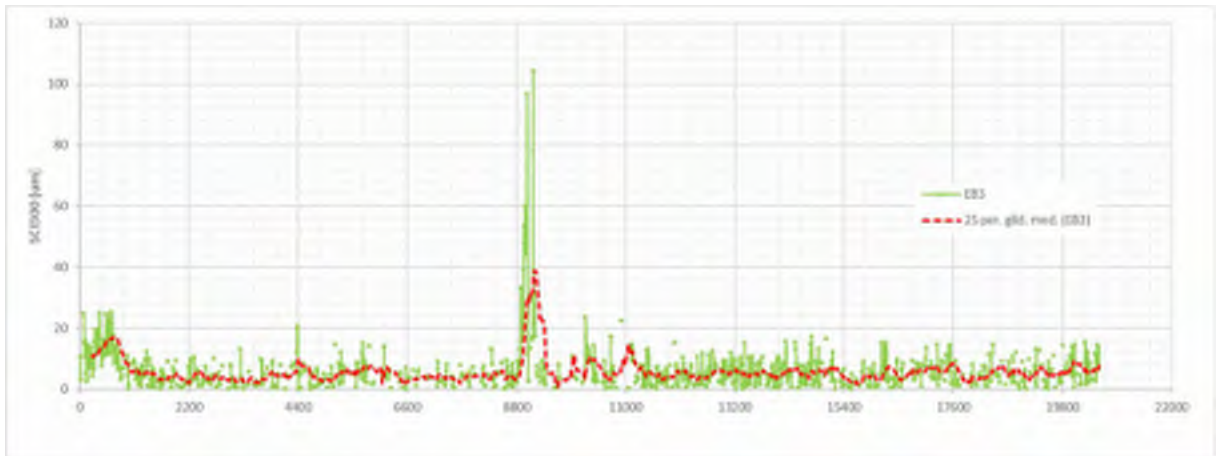
89, I66, US 29 Lee Hwy Centerville-I495



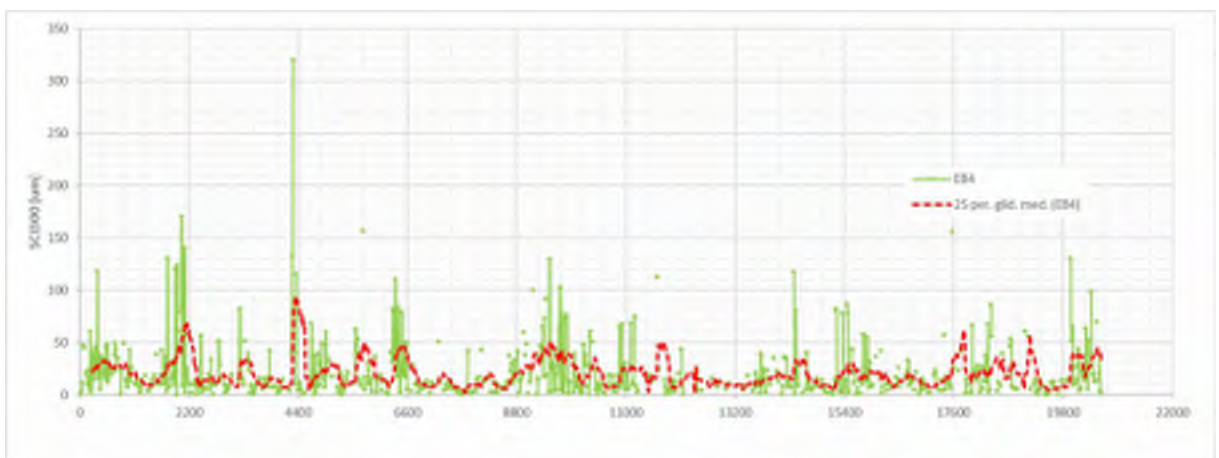
89, I-66 East Bound, Lane 1 (EB1).



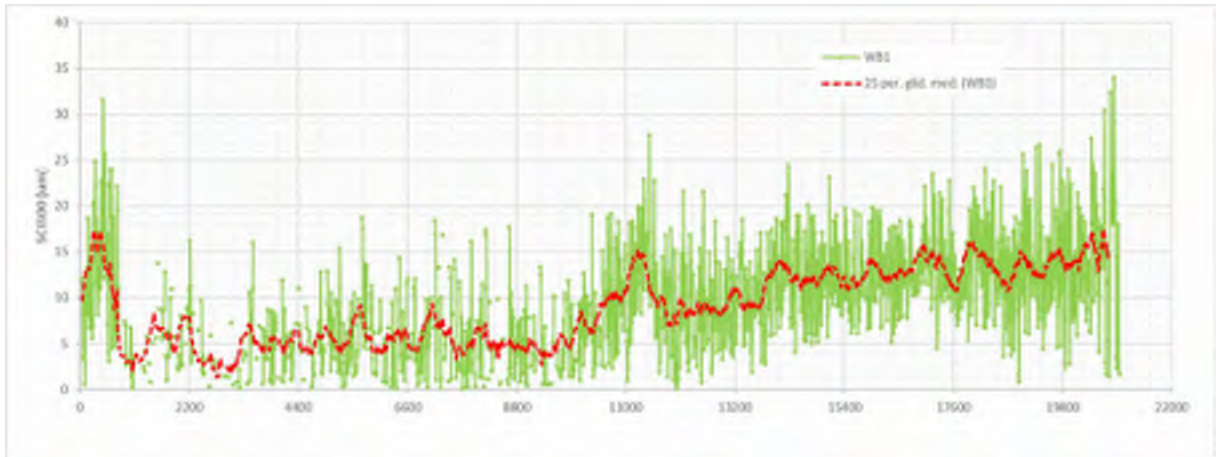
89, I-66 East Bound, Lane 2 (EB2).



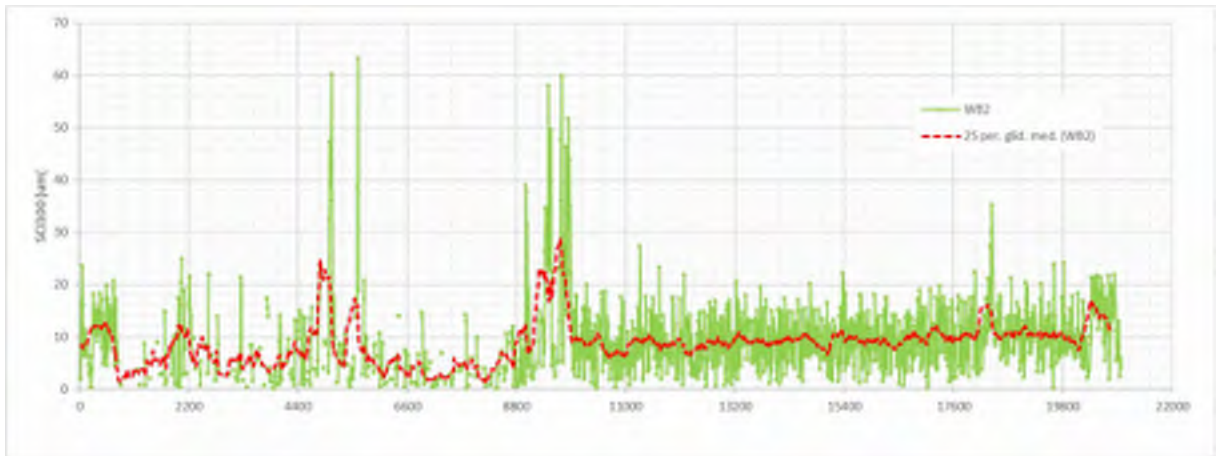
89, I-66 East Bound, Lane 2 (EB3).



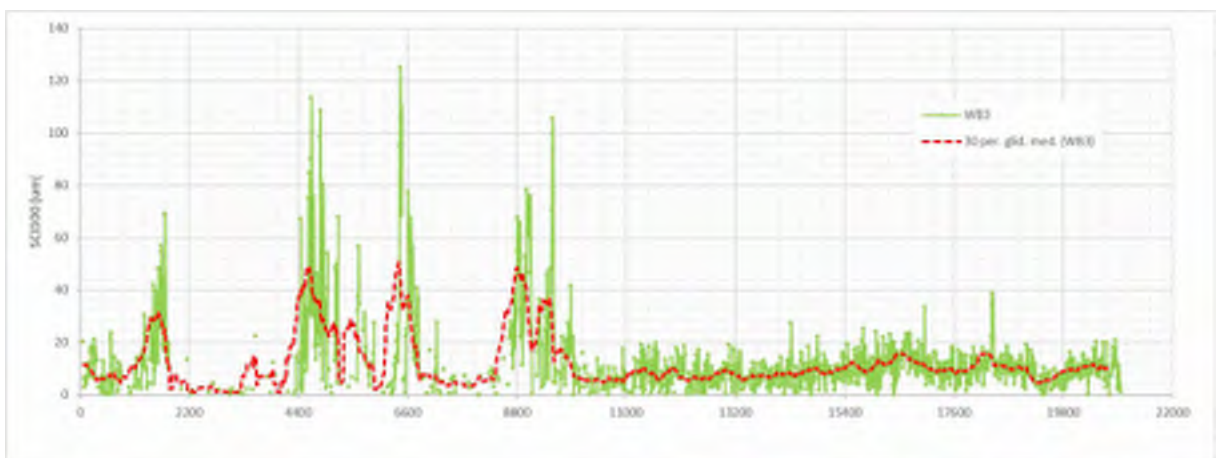
89, I-66 East Bound, Lane 2 (EB4).



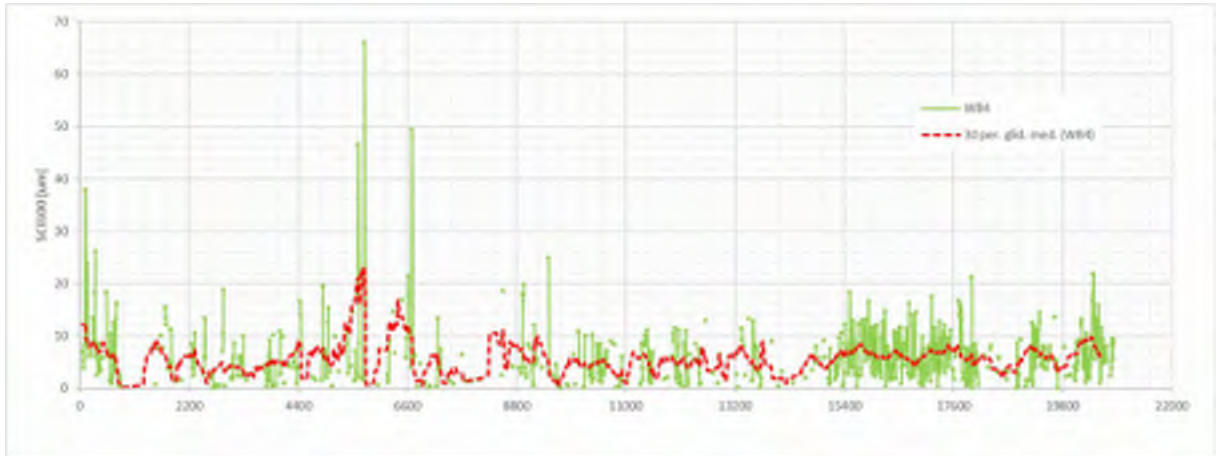
89, I-66 West Bound, Lane 2 (WB1).



89, I-66 West Bound, Lane 2 (WB2).



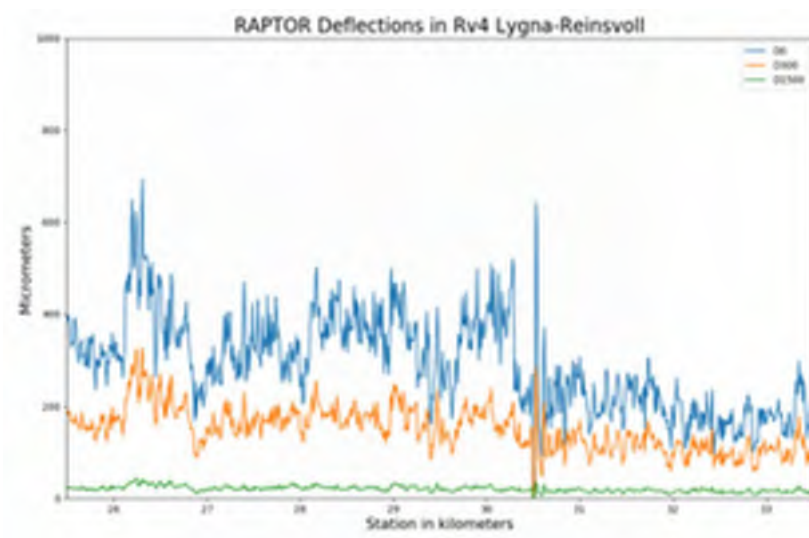
89, I-66 West Bound, Lane 2 (WB3).



89, I-66 West Bound, Lane 2 (WB4).



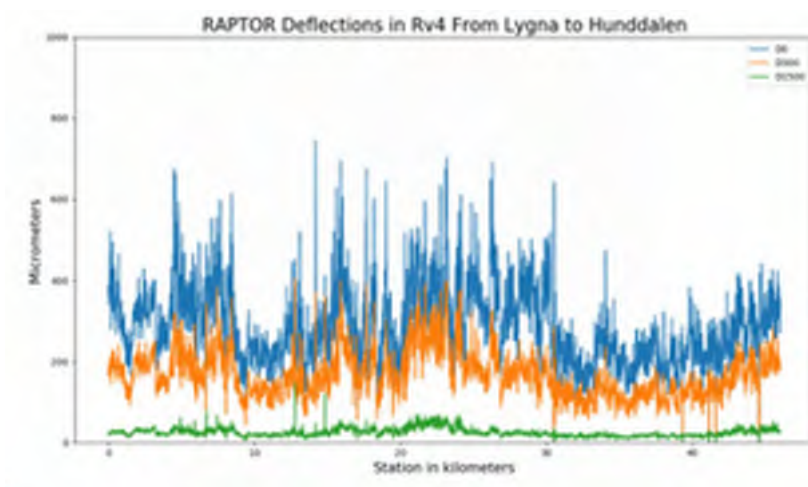
90, RAPTOR Norway, Trondheim.



90, RAPTOR Norway, Trondheim.



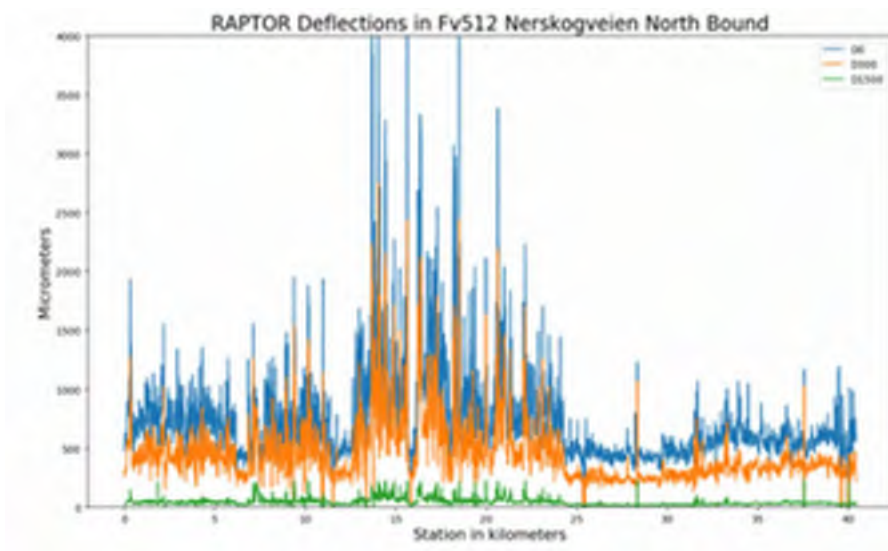
91, RAPTOR Norway, Trondheim.



91, RAPTOR Norway, Trondheim.



92, RAPTOR Norway, Trondheim.



92, RAPTOR Norway, Trondheim.