

Mobilapp för mätning av cykelvägars ojämnheter

En studie av möjligheterna

Anna Niska
Leif Sjögren

CyCity:

vti

FINDING A BETTER WAY

Utgivare:  581 95 Linköping	Publikation: VTI rapport 839		
	Utgivningsår: 2014	Projektnummer: 80744, 200952	Dnr: 2010/0188-24, 2012/0707-28
	Projektnamn: Planerings- och uppföljningssystem för drift och underhåll samt kartläggning av cykelvägars tillstånd med smartphones		
Författare: Anna Niska och Leif Sjögren	Uppdragsgivare: Vinnova (CyCity) och Trafikverket		
Titel: Mobilapp för mätning av cykelvägars ojämnheter. En studie av möjligheterna			
Referat I det här projektet har vi undersökt möjligheterna att med hjälp av de accelerometrar som finns i smarttelefoner kunna mäta ojämnheter på en cykelväg. Jämnheten är en viktig parameter för att beskriva en cykelvägs funktionella tillstånd. Mått och mätmetoder som objektivt beskriver det funktionella tillståndet behövs för att ta fram effektsamband och funktionskrav som utgår ifrån cyklisters behov och förutsättningar samt kan användas för planering och uppföljning av underhållsåtgärder. Med hjälp av fältstudier har vi utvärderat en vid VTI utvecklad mobilapp för jämnhetsmätning på cykelvägar. Cyklister har samlat in accelerationsdata med VTI-appen i en telefon monterad på cykelstyret och har också fått bedöma upplevelsen av att cykla över olika ytor. Resultaten visar att accelerationsvärdena från VTI-appen varierar från en mätning till en annan, men att det utifrån mätvärdena är möjligt att skilja ytor av olika kvalitet ifrån varandra. De uppmätta accelerationsvärden beror dock av vilken mobiltelefon som använts, cyklistens sidoläge och hastighet etc. I jämförelse med standardmått för objektiv tillståndsbedömning, IRI , RMS och textur, gav VTI-appen bättre eller minst lika bra överensstämmelse med cyklisternas bedömning av de olika ytorna. Projektet redovisar resultat från projektet CyCity Tema C – Dp10 samt ett uppdrag från Trafikverket, Kartläggning av cykelvägars tillstånd med smartphones. CyCity Tema C ingår i det Vinnova-finansierade forskningsprogrammet CyCity och en slutsats är att VTI-appens insamling av jämnhetsdata skulle kunna komplettera cykelplaneringsverktyget BikeRoute, som tagits fram inom CyCity. I dagsläget går det inte att få tillräckligt tillförlitligt resultat med VTI-appen för att möjliggöra ”crowdsourcing”, men under mer kontrollerade former är den användbar och en vidareutveckling vore värdefullt.			
Nyckelord: cykelväg, cyklister, jämnhet, komfort, mätning, tillstånd, underhåll, åkkvalitet, mobilapp, cycity			
ISSN: 0347-6030	Språk: Svenska	Antal sidor: 77	

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 839		
	Published: 2014	Projectcode: 80744, 200952	Dnr: 2010/0188-24, 2012/0707-28
	Project: CyCity Tema C - Dp10, Evaluation of ways to monitor cycle path condition with a smartphone		
Author: Anna Niska and Leif Sjögren	Sponsor: Vinnova (CyCity), Swedish Transport Administration		
Title: Using a smartphone to measure irregularities on cycle paths. A study of the possibilities			
Abstract In this study we have investigated the possibilities of measuring irregularities on a cycle path with the aid of the accelerometers in smartphones. Smoothness is an important parameter for describing the functional state of the cycle infrastructure. Measurements and methods of measurement objectively describing functional status are needed so that interaction effects can be identified and functional requirements which take the needs and circumstances of cyclists into account can be defined. Objective measurements of functional status can also be fed into maintenance planning, choice of action and monitoring of action outcomes. Using mainly field studies, we have evaluated a mobile app developed at VTI for measuring surface smoothness. Cyclists have collected quantitative data with the VTI app, using a phone fitted to the handlebars and were also asked to rate their subjective perception of comfort when riding over different surfaces. The results show that the acceleration values recorded with the VTI app vary from one measurement to another but that it is possible, on the basis of these values, to distinguish between surfaces of differing quality. However, the observed acceleration values hinge on the mobile phone used, the cyclist's lateral positioning and speed etc. The results of measurements with the VTI app tally quite well with the cyclists' subjective ratings of the ride quality of different surfaces. This projec presents results from the project CyCity Theme C - Dp10 and a project from the Swedish Road Administration, Evaluation of ways to monitor cycle path condition with a smartphone. CyCity Theme C - Dp10 is part of the Vinnova-funded research programme CyCity. One conclusion is that there are good prospects of supplementing the BikeRoute cycle planning tool, devised within CyCity, by gathering data with the VTI app describing the smoothness of cycle paths using the VTI app. The VTI app is not yet applicable for crowdsourcing, but valuable when gathering data under controlled settings and is worth developing further for measuring the status of cycle path surfacing.			
Keywords: cycle path, cyclist, comfort, ride quality, condition assessment, maintenance, measurement, mobile-app			
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No of pages: 77	

Förord

I den här rapporten redovisas framförallt resultaten från projektet ”Planerings- och uppföljningssystem för drift och underhåll” som ligger inom forskningsprogrammet CyCity, finansierat av Vinnova. Vidare har VTI ett uppdrag från Trafikverket att utreda potentialen för och kunskapsläget rörande användningen av smarttelefoner för tillståndsmätning av cykel- och vägytor. Då syftet med de båda uppdragen passar väl ihop har vi valt att rapportera resultaten i en gemensam rapport.

Tack till finansiärerna Vinnova och Trafikverket! Alla fältmätningar har varit möjliga att genomföra tack vare stödet från Vinnova medan Trafikverket bidragit till kunskapsinsamling och dokumentation kring mobilappen.

Peter Andrén, Datamani, har på ett förtjänstfullt sätt bearbetat och analyserat mätdata, vilket vi är mycket tacksamma för. Vi vill även rikta ett stort tack till studenter vid Linköpings Universitet och kollegor vid VTI som ställt upp och cyklat vid cyklistutvärderingen och andra fältmätningar genomförda inom CyCity-projektet. Vidare ett stort tack till programmeringskonsulten Sverker Nilsson som programmerat applikationen för datainsamling med smarttelefon (Android).

Fotografierna i rapporten är tagna av Leif Sjögren, om inte annat anges.

Linköping december 2014

Anna Niska
Projektledare

Process för kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört den 5 juni 2014 där Jenny Eriksson var lektor. Anna Niska har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus den 27 november 2014. Forskningschef Anita Ihs har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering den 28 november 2014. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Process for quality review

Review seminar was carried out on 5 June 2014 where Jenny Eriksson reviewed and commented on the report. Anna Niska has made alterations to the final manuscript of the report on 27 November 2014. The research director Anita Ihs examined and approved the report for publication on 28 November 2014. The conclusions and recommendations expressed are the authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Definitioner.....	11
2 Inledning	12
2.1 Bakgrund	12
2.2 Syfte och avgränsning	14
3 Metod.....	15
3.1 Kunskapssammanställning	15
3.2 Fältmätningar för utvärdering av VTI-appen	15
3.3 Analysmetoder	20
4 Tekniker att mäta cykelvägars ojämnheter	21
4.1 Skillnader mellan längsprofilmätning och responsmätning med accelerometrar	21
4.2 Funktioner i smarttelefoner som kan användas för jämnhetsmätning	22
4.3 Mätssystem som använder sig av smarttelefoner.....	23
4.4 VTI-appens funktion och konstruktion.....	24
5 Resultat från fältmätningar	26
5.1 VTI-appens repeterbarhet.....	26
5.2 VTI-appens överensstämmelse med cyklisters komfortupplevelse.....	32
5.3 VTI-appen i jämförelse med objektiva mått från RST-mätning.....	35
5.4 Praktiska erfarenheter vid mätningar med VTIs mobilapp	37
6 Diskussion	38
6.1 Tolkning av mätresultaten.....	38
6.2 Olika mätmetoders tillämpning vid jämnhetsmätning på cykelvägar	39
6.3 VTI-appens förbättringspotential och användning.....	40
6.4 Möjligheten att kombinera VTI-appen med BikeRoute.....	42
6.5 Förbättring av försöksupplägget	43
6.6 Val av beläggning på cykelbanor	43
7 Slutsatser	45
8 Fortsatt forskning	47
Referenser.....	49

- Bilaga 1. Instruktioner för bedömning av vägytan på cykelvägar
- Bilaga 2. Beskrivning av utrustning och upplägg vid fältförsöket
- Bilaga 3. Sammanställning av resultat från cyklistutvärderingen
- Bilaga 4. Sammanställning av mätresultat med appen
- Bilaga 5. PM

Mobilapp för mätning av cykelvägars ojämnheter. En studie av möjligheterna

av Anna Niska och Leif Sjögren
VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut
581 95 Linköping

Sammanfattning

Med den teknik som finns i smarttelefoner idag, är det möjligt att med hjälp av de cyklister som använder vägnätet samla in data, så kallad "crowdsourcing", som beskriver jämnheten på ett cykelvägnät. Frågan är vilken kvalitet den typen av data har, vilken repeterbarhet man får med en sådan metod och eventuella praktiska hinder för tillämpning av metoden. Det viktigaste är att veta vad insamlad data representerar – hur data ska tolkas för att få den information man behöver.

I den här studien har vi undersökt möjligheterna att med hjälp av de accelerometrar som finns i smarttelefoner kunna mäta ojämnheter på en cykelväg. Med hjälp av flertalet fältstudier har vi utvärderat en vid VTI utvecklad mobilapp för jämnhetsmätning. Utvärderingen är gjord med avseende på repeterbarhet och praktisk användbarhet. Vi har också jämfört resultaten med andra objektiva mätmetoder samt cyklisters subjektiva uppfattning av komforten relaterat till vägytan. I fältstudierna har cyklister samlat in mätdata med VTI-appen genom att ha en telefon monterad på cykelstyret.

Projektet ingår i det Vinnova-finansierade forskningsprogrammet CyCity och kompletterar tidigare studier vid VTI kring metoder och mått för att beskriva jämnheten på en cykelväg, utifrån ett cyklistperspektiv. I rapporten ingår också resultat från ett Trafikverksuppdrag att utreda möjligheter med mobilappar för tillståndsmätning på cykelväg. Jämnheten är en viktig parameter för att beskriva cykelinfrastrukturens funktionella tillstånd. Mått och mätmetoder som objektivt beskriver det funktionella tillståndet behövs för att kunna ta fram effektsamband vad gäller cyklisters olyckor, framkomlighet och komfort kopplat till vägytan. Det är också en förutsättning för att kunna sätta upp funktionskrav som beaktar cyklisters behov och förutsättningar. Objektiva mätningar av det funktionella tillståndet, kan även användas för underhållsplanering, val av åtgärd och uppföljning av åtgärder.

Våra fältstudier visar att de med VTI-appen uppmätta accelerationsvärdena varierar från en mätning till en annan, men att det utifrån mätvärdena är möjligt att skilja ytor av olika kvalitet ifrån varandra. Repeterbarheten är tämligen god, men eftersom tillståndet på en cykelväg varierar tvärs vägen är mätresultaten beroende av cyklistens sidoläge. Därför kan det vara svårt att fånga framförallt enstaka ojämnheter på ett repeterbart sätt.

En av fältstudierna visar att resultaten från mätningarna med VTI-appen stämmer ganska väl överens med cyklisternas subjektiva bedömning av färdkvaliteten på olika ytor. De två ytor som cyklisterna bedömde var de mest behagliga att cykla över var också de ytor som enligt mätresultaten från VTI-appen var de jämnaste, medan den yta som bedömts som mest obekväm också enligt mätningen var den mest ojämna. Däremot upplevde cyklisterna att det var behagligare att cykla över en yta med grusbeläggning än en yta med betongplattor med skarvavståndet 60 cm, medan mätningarna tvärtom tydde på att grusytan var mer ojämna. Detta kan tolkas som att intermittenta vibrationer som t.ex. skarvar mellan plattor ger upplevs mer obehagligt än mer jämnt återkommande vibrationer som uppstår i cykeln vid passage över en grusyta. För att VTI-appen bättre

ska beskriva cyklisters färdkvalitet, skulle algoritmen i analysprogrammet på något sätt behöva ta hänsyn till detta.

Jämförelsen mellan cyklisternas bedömning och mätningarna med VTI-appen, indikerar att accelerationsvärden över 0,7–0,8 representerar ytor som innebär ett obehag för cyklister. Det innebär att det kan vara lämpligt att sätta 0,75 som gränsvärde för att klassificera en cykelyta som ojämn – ”röd nivå”. Accelerationsvärden under 0,5 tycks representera ytor som inte har några ojämnheter som är kännbara för cyklister och alltså skulle 0,5 kunna vara ett lämpligt gränsvärde för att klassificera en cykelyta som jämn – ”grön nivå”. Värden däremellan skulle då utgöra ”gul nivå”. Fältmätningarna visar dock att de uppmätta accelerationsvärdena beror av vilken mobiltelefon som använts, cyklistens hastighet, etc. Hastighetens betydelse ska egentligen korrigeras av algoritmen i analysprogrammet. Våra studier visar dock att den korrigering som görs idag behöver justeras för att VTI-appen ska ge hastighetsoberoende accelerationsvärden. Även andra parametrar som cyklistens vikt, däcktryck etc. är möjligt att korrigera för, men för det behövs ett mycket mer omfattande dataunderlag än det vi samlat in i detta projekt.

En samlad bild av de olika fältmätningar som gjorts, är att det ibland varit svårt att starta programmet i mobilappen, åtminstone med ”äldre” versioner av smarttelefoner. Då appen är konstruerad så att den kräver gps-positionering för att kunna registrera accelerationsvärden och ta fotografier, blir systemet känsligt för störningar av gps-mottagningen. Då kvaliteten på gps:en varierar mellan olika smarttelefoner är problemet större för vissa telefonmärken, men allteftersom tekniken i telefonerna förbättras kommer dessa problem troligtvis att minska framöver.

Ett annat problem har varit att få smarttelefonen att sitta tillräckligt stadigt i telefonhållarna på styret. Vid några tillfällen, framförallt i samband med stora vibrationer, har telefonerna till och med ramlat i backen. För bästa fotokvalitet bör telefonerna monteras horisontellt på styret, vilket dock ökar risken att telefonen ska ramla ur hållaren då man cyklar över stora ojämnheter. Förhoppningsvis kommer det framöver att finnas bättre hållare på marknaden som undanröjer detta problem.

En slutsats från projektet är att det finns goda möjligheter att komplettera cykelplaneringsverktyget BikeRoute, som tagits fram inom CyCity, med insamling av data som beskriver jämnheten på cykelvägarna. Den automatiska fotograferingen av vägyta och omgivning som VTI-appen erbjuder är värdefull för att beskriva cykelvägens behov av drift och underhållsåtgärder, men bilderna kan också användas för att samla in annan viktig information om cyklisters situation i trafiken. Genom att komplettera VTI-appen med ett anmälningssystem liknande Cykelfrämjandets ”Cykelrapporten”, skulle cyklisterna själva kunna tillföra ytterligare information till väghållaren om vad som behöver åtgärdas längs cykelvägarna.

Projektet har bidragit till vår långsiktiga målsättning att öka kunskapen om cyklisters komfortupplevelse relaterat till vägytan och att bidra till utvecklingen av objektiva mått och mätmetoder för detta. Vi kan konstatera att det är möjligt att använda och värt att fortsätta utveckla en metod med smarttelefon för att mäta cykelvägytors tillstånd. Fler cyklistutvärderingar liknande de som genomfördes i projektet skulle behövas för justering av analysprogrammet till VTI-appen, för att få en bättre beskrivning av cyklisters färdkvalitet och göra mätresultaten oberoende av den mobiltelefon som används, cyklistens hastighet, typ av cykel och cyklist, etc. De behövs också för att mer noggrant kunna definiera gränsvärden för klassificering av sträckor som ger en objektiv beskrivning av det funktionella tillståndet på en cykelväg.

Using a smartphone to measure irregularities on cycle paths. A study of the possibilities by Anna Niska and Leif Sjögren

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
SE-581 95 Linköping

Summary

Using the technology present in smartphones today, it is possible, by crowdsourcing the cyclists using the road network, to gather data describing the smoothness/evenness of a cycle path network. The question is what quality of data is thus obtained, how repeatable the data are and what practical obstacles there may be to applying the method. The most important thing is knowing what the data collected represent – how data are to be interpreted in order to yield the information one needs.

In this study, we have investigated the possibilities of measuring irregularities on a cycle path with the aid of the accelerometers in smartphones. Using mainly field studies, we have evaluated a mobile app developed at VTI for measuring surface smoothness. The evaluation focused on repeatability and practical usefulness. In addition, we compared our findings with other objective methods of measurement and with cyclists' subjective perception of comfort in relation to surfacing. In the field studies, the cyclists collected quantitative data with the VTI app, using a phone fitted to the handlebars.

This project forms part of the Vinnova-funded research programme CyCity and supplements previous VTI studies of methods and units of measurement for describing the evenness of a cycle path in a cyclist's perspective. The report also includes the findings from a study, on behalf of the Swedish Transport Administration, concerning the potential of mobile apps for measuring the status of cycle paths. Smoothness is an important parameter for describing the functional state of the cycle infrastructure. Measurements and methods of measurement objectively describing functional status are needed so that interaction effects can be identified concerning accidents to cyclists, accessibility and comfort relating to the cycle path surface. This is also a *sine qua non* for defining functional requirements, which take the needs and circumstances of cyclists into account. Objective measurements of functional status can also be fed into maintenance planning, choice of action and monitoring of action outcomes.

Our field studies show that the acceleration values recorded with the VTI app vary from one measurement to another but that it is possible, on the basis of these values, to distinguish between surfaces of differing quality. Repeatability is fairly good, but since the state of a cycle path varies laterally, the measurements obtained depend on the cyclist's lateral positioning. This can above all make it hard to capture local irregularities repeatably.

One of the field studies shows that the results of measurements with the VTI app tally quite well with the cyclists' subjective ratings of the ride quality of different surfaces. The two surfaces, which the cyclists rated most comfortable to ride on, were the same ones as the VTI app readings showed to be the smoothest, while the surface judged most uncomfortable was also the most uneven according to the measurements taken. On the other hand, the cyclists found it more comfortable to ride on a gravel surface than over concrete slabs with joints at 60 cm intervals, whereas the measurements suggested

that the gravel surface was more uneven. This can be taken to imply that intermittent vibrations, such as the interstices between slabs, are found more unpleasant than regularly recurring vibrations set up in a bike when negotiating a gravel surface. The algorithm in the analysis program will somehow have to allow for this in order for the VTI app to give a better description of cyclists' ride quality.

The comparison between the cyclists' assessment and the measurements taken with the VTI app indicates that acceleration values exceeding 0.7–0.8 represent surfaces, which are uncomfortable for cyclists. Accordingly, it may be appropriate to make 0.75 a limit value for classifying a cycling surface as rough – “red level”. Acceleration values of less than 0.5 seem to represent surfaces, which have no irregularities noticeable to cyclists, and so 0.5 could be a suitable limit value for classifying a cycle path as smooth – “green level”. Values in between would then constitute “yellow level”.

The field measurements show, however, that the observed acceleration values hinge on the mobile phone used, cycling speed etc. The importance of speed should really be offset by the algorithm in the analysis program, but our studies show that the correction made at present needs to be adjusted in order for the VTI app to yield acceleration values which are independent of speed. Other parameters such as the cyclist's body weight, tyre pressure etc. can also be allowed for, but this requires a far more comprehensive data input than we collected in our project.

The overall picture conveyed by the various field measurements is that starting the program in the mobile app was sometimes difficult, at least when using “older” versions of smartphones. The app being designed so as to require GPS positioning in order to record acceleration values and take photographs, the system is vulnerable to GPS reception disturbances. GPS quality varies from one kind of smartphone to another, and so the problem is greater where certain brands are concerned, but these problems are likely to diminish in future as the telephone technology improves.

Another problem has been that of attaching the smartphones firmly enough to the handlebars. On one or two occasions, mostly in connection with heavy vibrations, the phones have actually fallen to the ground. To obtain the best quality of photos, the phones should be fitted horizontally to the handlebars, but this augments the risk of the phone falling out of its holder when a cyclist is negotiating severe irregularities. Hopefully this problem will be eliminated by improved holders coming on the market.

One conclusion drawn from our project is that there are good prospects of supplementing the BikeRoute cycle planning tool, devised within CyCity, by gathering data describing the smoothness of cycle paths. The automatic photographing of the path surface and surroundings, which the VTI app offers is of value for describing the management and maintenance measures the path is in need of, but the images can also be used for gathering other important information about the traffic situation for cyclists. Addition to the VTI app of a notification system resembling “Cykelrapporten” would enable cyclists themselves to supply further information to the road authority concerning matters requiring attention along the cycle paths.

This project has contributed towards our long-term aim of augmenting knowledge of cyclists' perceived comfort in relation to cycle path surfacing and helping to develop objective measurements and methods of measurement for this purpose. We have established that a smartphone method can be used and is worth developing further for measuring the status of cycle path surfacing. More cyclist evaluations resembling those carried out in this project would be needed in order to adjust the analysis program to the VTI app, so as to obtain a better description of cyclist's ride quality and so as to make

the readings independent of the mobile phone used, cycling speed, the type of cycle and cyclist and so on. They are also needed with a view to more accurately defining the limit values for classifying cycle path stretches and thereby objectively describing a cycle path's functional status.

1 Definitioner

App, kommer av applikation och är ett dataprogram som t.ex. kan köras i en smarttelefon

Crowdsourcing, insamling av stora mängder data med hjälp av en stor mängd, ofta oidentifierade och blandade källor

Framkomlighet, i denna rapport tillgång till cykelväg av en given standard

Komfort*, i den här rapporten definierad enligt färdkvalitet, se nedan

*(komfort är ett vitt begrepp som egentligen innebär en individs simultana känsla och totala upplevelse av ett visst ögonblick dvs. känslan av trygghet, säkerhet och övriga intryck från alla våra sinnen ingår.)

Längsprofil, en avbildning av geometrin inom relevanta våglängder av ett tvärsnitt längs färdvägen, t.ex. i höger hjulspår

Smarttelefon, definieras som en mobiltelefon som är utrustad med ett operativsystem som möjliggör att fristående program kan användas, så kallade applikationer (Appar).

Tillståndsbedömning, att med hjälp av definierade indikatorer bedöma ett objekts tillstånd. Det är vanligt att skilja det funktionella tillståndet från det strukturella. Det funktionella tillståndet är det som har betydelse för trafikanten och beskriver hur bra vägen är att färdas på. Det strukturella tillståndet är avgörande för behovet av underhåll för att upprätthålla det funktionella tillståndet och är främst av intresse för väghållaren.

Vägytemätning, mätning av vägytans aktuella tillstånd uttryckt med ett antal indikatorer, t.ex. IRI och spår djup

Färdkvalitet, i den här rapporten definierad som trafikantens upplevelse av ojämnheter då man färdas i en viss fart över objektet, se komfort ovan.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

Under senare år har det blivit ett allt större fokus på att försöka få folk att välja cykeln istället för bilen, när det är möjligt. De politiska motiven till en ökad cykling är naturligtvis trafikens miljöpåverkan, trängseln i storstäderna och folkhälsan. Samtidigt visar olycksstatistiken att cyklister sedan 2008 utgör den största gruppen av skadade vägtrafikanter som vårdas på sjukhus (Socialstyrelsens patientregister, källa: Niska och Eriksson, 2013). Även om hälsoeffekterna av en ökad cykling vida överskrider ”hälsoförlusterna” till följd av cykelolyckor (t.ex. Saelensminde, 2004), är det viktigt att identifiera åtgärder som kan minska antalet skadade cyklister. I en gemensam strategi för Säkrare cykling till år 2020 (Trafikverket, 2014) har ”bättre drift och underhåll” och ”utvecklad kunskap om olycksrisker och effektsamband” identifierats som två av fem prioriterade insatsområden.

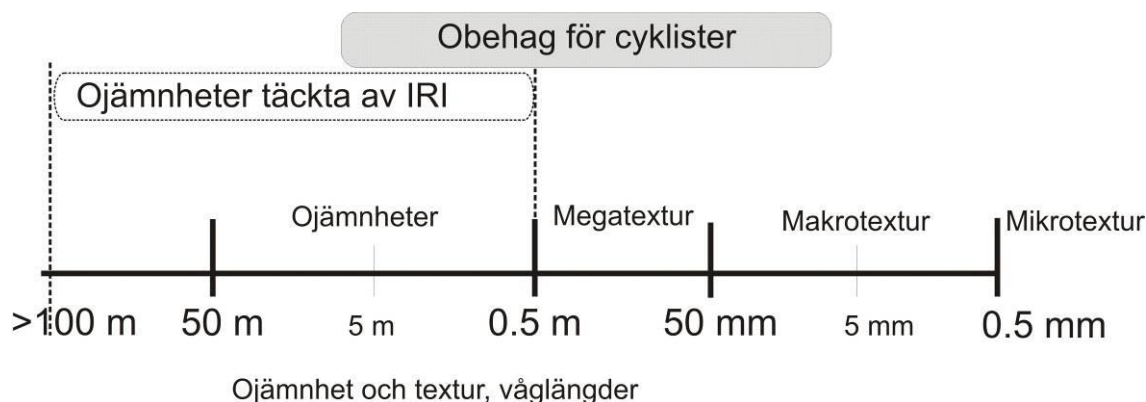
För att kunna ta fram effektsamband vad gäller cyklisters olyckor, framkomlighet och komfort kopplat till drift- och underhållsåtgärder, behövs mått och mätmetoder som objektivt och hållbart, dvs. väldefinierat och långsiktigt beskriver cykelinfrastrukturens funktionella tillstånd. Det funktionella tillståndet beskriver hur bra ytan på en cykelväg är att cykla på och kan delas upp i parametrarna jämnhet, friktion, rullmotstånd och ljus tekniska egenskaper (Ljungberg, 1986). En förutsättning för att kunna sätta upp funktionskrav som utgår ifrån cyklisters behov, är att det finns objektiva mått som beskriver dessa tillståndsp parametrar.

Objektiva mätningar av det funktionella tillståndet, kan också användas för underhållsplanering och uppföljning av åtgärder. Subjektiv tillståndsbedömning – där man exempelvis noterar beläggningsskador som man ser – är också viktigt i detta sammanhang, men är oftast inte lämpliga att användas vid upprättande av funktionskrav och för beräkning av effektsamband. En annan fördel med att genomföra objektiva tillståndsbedömningar, är att tillgången till data gör det möjligt att på ett systematiskt och spårbart vis kvantifiera behovet av åtgärder. Det kan t.ex. vara ett bra underlag vid äskandet av medel för drift och underhåll. Insamlad data kan också enkelt presenteras på kartbilder, så att man på ett illustrativt sätt kan visa var och hur stort underhållsbehovet är.

Vi har i några tidigare projekt diskuterat vägytemätningar och tillståndsbedömning på cykelvägar (t.ex. Niska, 2011). I en första rapport (Niska och Sjögren, 2007) sammanställde vi den kunskap om mått och mätmetoder för tillståndsbedömning av cykelvägar som då fanns tillgängliga. En slutsats från den studien var att det var viktigt med en vidareutveckling av metoder och mått som, utifrån ett cyklistperspektiv, beskriver jämnheten på en cykelväg. Vi gjorde då också bedömningen att det är ojämnheter med en våglängd från ungefär 5 millimeter upp till 5 meter som skapar obehag för cyklister, dvs. försämrar deras färdkvalitet (se Figur 1). Det är också något som bekräftats av utländska studier (Li et al, 2013).

I en senare studie, i samarbete med Malmö stad och Ramböll RST, försökte vi koppla mätning av längsprofilen på ett cykelstråk till cyklisters bedömning av upplevelsen av att cykla på ytor av olika kvalitet längs stråket (Niska, Sjögren och Gustafsson, 2011). Efter den studien rekommenderade vi vidare studier, bland annat för att mer noggrant kunna definiera gränsvärden för klassificering av sträckor. Vi föreslog fler cyklistutvärderingar, för att med högre säkerhet kunna fastställa vilka våglängder som är viktigast för bedömningen av cyklisters färdkvalitet; och rekommenderade att fortsätta

studier skulle inbegripa makro- och megatextur, vilket inte ingick i studien i Malmö. Vi diskuterade också kring att det kan finnas en anledning att vikta betydelsen av olika våglängder, men att det behövs mer kunskap för att kunna dra slutsatser om hur den viktningen i så fall ska göras.



Figur 1 Olika benämningar och deras koppling till ojämnheters våglängdsstorlek och bedömningen av dess betydelse för cyklisters färdkvalitet, enligt Niska och Sjögren (2007). Anm. IRI=International Roughness Index, ett mått utvecklat för ojämnheters påverkan på bilar.

Den snabba tekniska utveckling som pågår, framförallt med teknik kopplad till smarttelefoner, har medfört att en mängd nya produkter och tjänster erbjuds på marknaden. Detta i kombination med att en stor del av befolkningen idag har tillgång till en smarttelefon öppnar för möjligheten att samla in stora mängder data med hjälp av allmänheten, s.k. "crowdsourcing". Det är alltså möjligt att med den teknik som finns i smarttelefoner idag samla in data som beskriver jämnheten på ett cykelvägnät, med hjälp av de cyklister som använder vägnätet. Frågan är vilken kvalitet den typen av data har, vilken repeterbarhet man får med en sådan metod och eventuella praktiska hinder för tillämpning av metoden. Viktigast av allt är kanske att veta vad insamlad data representerar – hur man ska tolka data och vad den informationen kan användas till.

Inom forskningsprogrammet CyCity, har ett flertal studier genomförts i syfte att öka kunskapen om cykelplanering och cyklisters preferenser. I inledande intervjuer med bland annat cykelplanerare (Faskunger et al., 2010) framkom att det saknas underlag som beskriver behovet av underhåll på cykelvägnätet. För bilvägarna finns mer exakta uppgifter om när man senast la ny asfalt, vilka skador som uppstått, när och hur de ska åtgärdas samt hur mycket det kommer att kosta. Det innebär att man anpassat organisationen och budgeten för underhållet av bilvägarna. För cykelvägarna finns inte alls så detaljerade uppgifter. En av de intervjuade menar att man på sin höjd vet vilka cykelvägar som ligger under det egna väghållaransvaret och att planering och prioritering av underhåll på cykelvägarna därför i princip enbart bygger på den ansvariges vaga uppfattningar om behovet av åtgärder. Även tidigare studier har visat att drift- och underhållsansvariga har behov av ett mer detaljerat kunskapsunderlag när det gäller åtgärder för cykeltrafiken (Niska, 2006). Cyklisterna själva vittnar också om att cyklistperspektivet ofta saknas i planering och utförande av drift och underhåll (Niska, 2007).

En av slutprodukterna i CyCity är ett databaserat verktyg som ger informationsunderlag till planerare om behovet av om- eller nybyggnad för att förbättra cykelinfrastrukturen i

en stad. Verktöget som kallas BikeRoute använder sig av gps-teknik och en speciellt utvecklad analysprogramvara för att samla in uppgifter om cyklisters hastighet och val av färdväg (www.BikeRoute.se). Det finns en idé om att BikeRoute skulle kunna kompletteras med insamling av data som beskriver jämnheten på cykelvägarna och kanske även andra parametrar kopplade till drift och underhåll. Då skulle BikeRoute kunna erbjuda information inte bara till planerare utan även till drift- och underhållsansvariga i deras planering och prioritering av åtgärder på cykelvägnätet.

2.2 Syfte och avgränsning

Det övergripande syftet med de studier som presenteras i den här rapporten är att undersöka möjligheten att med hjälp av de accelerometrar som finns i smarttelefoner kunna mäta ojämnheter på en cykelväg. Resultatet ska användas för att bedöma möjligheten att utöka cykelplaneringsverktöget BikeRoute till att också omfatta cykelvägars tillstånd, relaterat till vägytan, och inte enbart utformnings- och trafikrelaterade attribut.

Mer specifikt ska en vid VTI utvecklad mobilapp utvärderas med avseende på repeterbarhet, praktisk användbarhet samt jämförbarhet med andra objektiva mätmetoder och cyklisters subjektiva uppfattning av färdkvaliteten. Med repeterbarheten menas i detta fall hur mätresultaten varierar mellan två upprepade mätningar på samma sträcka beroende av olika faktorer som t.ex. cykel, cyklist, hastighet eller mobiltelefon. Jämförbarheten med andra objektiva mätmetoder ska utvärderas genom att mätresultat från mobilappen jämförs med standardmått för objektiv tillståndsbedömning av bilvägcytor, som IRI (International Roughness Index) och textur.

Målsättningen är att öka kunskapen om cyklisters komfortupplevelse relaterat till vägytans tillstånd, dvs. cyklister färdkvalitet och att bidra till utvecklingen av objektiva mått och mätmetoder för detta. I rapporten uppdateras därför den kunskap kring tillståndsbedömning av cykelvägar som sammanställts i tidigare VTI-rapporter inom området (Niska och Sjögren, 2007; Niska, Sjögren och Gustafsson, 2011 samt Niska, 2011). Det har dock inte ingått att göra en fullständig litteraturstudie, vilket innebär att rapporten inte gör anspråk på att ge en heltäckande bild av utvecklingen inom området.

3 Metod

3.1 Kunskapssammanställning

Genom sökning i VTIs databaser, på internet samt via personliga nätverk, har vi gjort en begränsad litteraturstudie om användandet av smarttelefoner för ojämnhetsmätning, som delvis redovisas i kapitel 4. Vi har också gjort en uppdatering av den kunskap kring tillståndsbedömning av cykelvägar som sammanställts i tidigare VTI-rapporter inom området (Niska och Sjögren, 2007, Niska, Sjögren och Gustafsson, 2011 samt Niska, 2011). För denna uppdatering har vi inte gjort någon regelrätt litteraturstudie, utan vi har sammanställt den information som kommit oss tillkänna i samband med konferenser, via personliga kontakter med verksamma inom området, kompletterat med viss sökning på internet.

3.2 Fältmätningar för utvärdering av VTI-appen

3.2.1 Mätningar vid vardagscykling och i samband med inventering av Linköpings cykelvägnät

I samband med ett annat projekt inom CyCity (delprojekt 6b) gjordes en inventering av stora delar av cykelvägnätet i Linköpings tätort. Den inventeringen gjordes för att, i en studie om cyklisters vägval, hitta möjliga förklaringar i trafikmiljön till skillnader i medelhastighet mellan olika delsträckor i Linköping (www.cycity.se). Under en vecka i oktober 2012 cyklade en student längs Linköpings cykelvägar med en cykel utrustad med gps och filmkamera för att få en detaljerad bild av trafikmiljön. Cyklisten gjorde också egna noteringar och kommentarer. Exempelvis samlades information om typen av cykelinfrastruktur dvs. om cyklisterna var hänvisade till cykling på cykelbana, i cykelfält eller i blandtrafik. I samband med denna inventering monterade vi en smarttelefon av märket HTC Desire på cykelns styre för att samla in jämnhetsdata med VTI-appen (se Figur 2). På så vis kunde vi komplettera ovanstående informationsinhämtning med uppgifter om ojämnheter på cykelvägarna i Linköping.



Figur 2 Smarttelefon monterad tillsammans med videosystemet vid inventering av Linköpings cykelvägar.

Ett ytterligare test som tillägg till ovanstående innebär att vi rekryterade fyra cyklister som under hösten 2012 fick i uppdrag att göra mätningar med VTI-appen under sin cykelfärd till och från arbetet eller vid annan vardagscykling. Resultaten från mätningar

av samma person längs samma sträcka men vid olika tillfällen, har vi använt för att studera VTI-appens repeterbarhet. Vi har också kunnat studera hur resultaten varierar beroende av cyklist/cykel genom att jämföra mätdata från olika cyklister på delsträckor som sammanfaller. Det har gett oss en ytterligare utvärdering av repeterbarheten.

Förutom de ovan nämnda mättillfällena, gjordes en första pilotstudie med upprepade mätningar med VTI-appen vid cykling till och från jobbet. Resultatet av detta redovisas bland annat i en masteruppsats från Linköpings universitet (Erlandsson, 2012) Resultaten från dessa mätningar, har vi inte analyserat i denna rapport, men praktiska erfarenheter har vi tagit hänsyn till.

3.2.2 Cyklistutvärderingar på Campus Linköping

I maj 2013, gjorde vi ytterligare fältmätningar, för att jämföra mätresultaten från VTI-appen med cyklisters värdering av färdkvalitet och för att vidare studera repeterbarheten, dvs. hur mätresultaten varierar mellan två upprepade mätningar på samma sträcka (se Figur 3).



Figur 3 Deltagare i cyklistutvärderingen vid Campus i Linköping.

I försöket, fick 13 cyklister (6 män och 7 kvinnor) cykla längs en cirka 700 meter lång slinga på Campusområdet i Linköping (se Figur 4). Längs slingan valdes vi ut fem teststräckor om 50 meter vardera. Urvalskriteriet var att försöka få en så stor variation i ytmaterial och ytstruktur som möjligt, inom ett rimligt cykelavstånd. Urvalet resulterade i följande teststräckor:

- A. små betongplattor med ett skarvavstånd på 10 cm, på cykelbana
- B. äldre asfaltyta med några mindre synliga skador, på gång- och cykelväg
- C. stora betongplattor med ett skarvavstånd på 60 cm, på gångbana
- D. grusad yta, på sidoområde
- E. nylagd asfalt utan synliga skador, på gång- och cykelväg.

I bilaga 2 visas fotografier av de olika teststräckorna tillsammans med några andra bilder från fältförsöket.



Figur 4 Testslingan på campusområdet i Linköping där cyklistutvärderingarna genomfördes. Pilarna anger körriktning och de blå markeringarna från A till E anger de olika teststräckornas placering längs slingan. Kartbild från eniro.se

Vi använde två olika cyklar vid försöket, en damcykel till kvinnorna och en herrcykel till männen. Cyklarna var "standardcyklar" med 28 tums däck av "normal" bredd (se Figur 3 och Figur 20, i bilaga 2). På vardera cykeln var två mobiltelefoner av olika märken monterade på styret: en HTC Desire HD på höger sida och en Samsung SIII på vänster sida (se Figur 21, i bilaga 2). Efter den första testcyklisten, ersattes HTC-telefonen på damcykeln av en Sony Ericsson Xperia RC, eftersom HTC-telefonen slutade att fungera (lossnade från cykelstyret och gick sönder). Teknisk information om de olika telefonerna presenteras också i bilaga 2.

Samtliga cyklister cyklade testslingan i minst fyra varv, med start vid samlingsplatsen (se Figur 4). För att enklare hitta startpositionen i mätdata och därmed underlätta analysen, placerades en startbräda med känd profil i början på slingan. Under de tre första varven gjordes mätning med VTI-appen med de två olika telefonerna. På andra och tredje varvet fortsatte cyklisten mot teststräcka A, efter sträcka D. Hela slingan var streckad med en gul krita och cyklisterna fick instruktioner om att – så gott det gick – följa markeringarna utan att avvika i sidled. En person stod också som vägvisare längs

vägen och noterade om cyklisterna behövde göra avvikelser från tilltänkt sidoläge för att väja för andra trafikanter eller liknande. Cyklisterna fick vidare instruktioner om att sitta ner och cykla i ”normalt tempo” och försöka hålla en så jämn hastighet som möjligt. För att undersöka hastighetens betydelse för mätresultaten, cyklade en av cyklisterna hela slingan i nio varv med VTI-appen där de första fem varven cyklades i ”normal” till hög hastighet och de fyra sista varven i en märkbart lägre hastighet. Se cyklisternas instruktioner i bilaga 1.

Efter de första varven med mätning med VTI-appen, stängdes appen av innan cyklisten cyklade ett sista avslutande varv där han/hon fick göra en egen bedömning av upplevelsen av vägytan på de markerade teststräckorna. Teststräcka E passerades och bedömdes både inledningsvis och som avslutning. Cyklisternas manuella bedömning gjordes i syfte att koppla de erhållna mätresultaten med VTI-appen till cyklisternas komfortupplevelse av ytan. Vid bedömningen fick testcyklisterna fylla i ett protokoll med både en absolut och en relativ bedömning av varje teststräcka. Den absoluta bedömningen av hur cyklisten tyckte att teststräckan var att cykla på, gjordes på en 5-gradig skala enligt följande:

1. kände inte av några ojämnheter i ytan
2. kände ojämnheter, men inget obehag
3. något obehaglig
4. mycket obehaglig
5. oacceptabel.

Den relativa bedömningen gjordes genom att cyklisten ombads att, på en 5-gradig skala, försöka jämföra varje teststräcka med teststräckan innan, enligt följande:

1. mycket bättre
2. något bättre
3. likvärdig
4. något sämre
5. mycket sämre.

Cyklisterna fick även besvara ett antal bakgrundsfrågor kring ålder, vikt, cykelvana, etc. (se bilaga 1).

3.2.3 Jämförelser med mätningar gjorda med Laser-RST

I samband med cyklistutvärderingen mätte vi även in teststräckorna med VTI:s laser RST-bil (se Figur 5). RST-bilen är bland annat utrustad med 19 lasersensorer som registrerar ojämnheter i vägytan och utifrån det beräknar ett antal mått: IRI, spårdjup, tvärfall, mega- och makrotextur (för mer information se <http://www.vti.se/sv/forskningsomraden/drift-och-underhall/matning-av-vagstandard/>). Fordonet är också utrustat med gps och längdmätare, för exakt positionsbestämning av mätdata. Dessutom finns kameror i olika riktningar som tar bilder av vägytan och omgivningen under hela mätningen.



Figur 5 VTIs laser RST, under mätning av teststräcka E på campusområdet i Linköping.

3.2.4 Inventering av cykelvägarnas tillstånd i Tidaholm

Under sommaren 2011 gjordes mätningar med VTI-appen på hela cykelvägnätet, ca 15 km, i Tidaholms kommun. Mätningarna ingick i ett uppdrag från kommunen där både bil- och cykelvägars tillstånd skulle inventeras som del av underlag för planering av underhåll och åtgärder. VTI utförde uppdraget och använde en Laser RST för att mäta tillståndet för bilvägarna men valde att använda VTI-appen för cykelvägarna. En person cyklade på en elcykel runt hela cykelvägnätet och mätte jämnheten med hjälp av VTI-appen i en HTC Desire. Cyklisten spelade också in muntliga kommentarer om brister i vägyta och omgivning som han kunde se under cykelfärden.

Accelerationsvärden, insamlade fotografier och de muntliga kommentarerna användes som underlag för att identifiera sträckor som var i behov av åtgärd. Ett gränsvärde för när en sträcka borde inventeras manuellt bestämdes. Dessa sträckor bedömdes sedan visuellt av två experter på beläggningsunderhåll som lämnade förslag till kommunen på lämpliga åtgärder. Bilderna visade sig vara väldigt värdefulla vid värderingen, se Figur 6. Utifrån de uppmätta accelerationsvärdena klassificerades cykelvägarna i Tidaholm i tre olika nivåer: rött, gult och grönt, vilket presenterades på en kartbild, som ett komplement till åtgärdsförslagen.

Inventeringen i Tidaholm ingick egentligen inte i projektet, men eftersom de mätningarna gav oss en del praktiska erfarenheter kring användandet av VTI-appen (se avsnitt 5.4), har vi ändå valt att omnämna dem i rapporten.



Figur 6 En serie på 36 efterföljande bilder från vänster till höger och nedåt, insamlade med VTI-appen vid mätningarna i Tidaholm.

3.3 Analysmetoder

All mätdata är positionerad med gps-koordinater, både från VTI Laser RST och från de olika smarttelefonerna. Accelerationsdata från smarttelefonerna har framställts som ett medelvärde per fem meters sektioner. Det är möjligt att välja en annan längd för sträckan som medelvärdet ska beräknas för. Vi valde fem meter eftersom det motsvarar en sekunds cykling i ”normal” cykelhastighet och vi i tidigare studier konstaterat att det är ett befogat val (Niska, Sjögren och Gustafsson, 2011).

Startpositionernas koordinater för varje mätsträcka mättes in statistiskt. Dessa positioner användes sedan för att sortera fram mätdata ur deltagarnas mätning av hela mättrundan. Deltagarna cyklade tre varv längs hela mättrundan i en tur, utan att stanna vid startpunkterna för delsträckorna. Mätdata från samtliga mättrundor kontrollerades och tre uppenbara "data-outliers" (orimliga värden) har tagits bort från utvärderingen. Dessa kom från olika cyklisters körningar och ersattes med ett medelvärde av närmast intilliggande data. Cyklisternas hastigheter har räknats fram från koordinat- och tidsinformation. Därefter har alla utvärderingar skett genom att jämföra data från de olika datakällorna.

4 Tekniker att mäta cykelvägars ojämnheter

I VTI rapport 584 (Niska och Sjögren, 2007) beskriver vi några existerande mätmetoder som finns för att mäta cykelvägars ojämnheter. Dessa metoder bygger på att lämpliga sensorer är monterade på ett fordon t.ex. cykel eller en mindre bil som sedan åker över mätobjektet och känner av ojämnheterna. I rapporten beskrivs också vår bedömning av vilka ojämnheter (våglängder) som är viktiga för cyklister, vilket skiljer sig mot de som är viktiga för bilister (se Figur 1). Effekten av våglängden eller ojämnhetens utbredning, beror på vilken hastighet man åker över den. I lägre fart får korta ojämnheter ökad betydelse. Vidare är cykeldäckets kontaktyta mot cykelbanan mindre än ett bildäcks vilket även det medför att kortare ojämnheter är viktiga för cyklisten då de inte alltid ”filtreras bort” av däckets. Slutsatsen är att ojämnhetsmått som används för biltrafik inte är lämpligt att använda för bedömning av cykelvägar.

I detta kapitel beskriver vi de nya möjligheter att mäta vägytors jämnhet som dykt upp i samband med att smarttelefoner har utvecklats.

4.1 Skillnader mellan längsprofilmätning och responsmätning med accelerometrar

Ett kvalitetskriterium för cykelvägar är komforten (t.ex. Michels, 1993 refererat i Niska, 2011). Om man begränsar komforten till obehaget att åka över ojämnheter i cykelvägen, så kan detta mätas med t.ex. accelerometrar. Den bästa metoden för att objektivt och framtidsäkert mäta och bedöma ojämnheter i cykelvägen är annars att mäta cykelvägens aktuella längsprofil utmed aktuellt stråk. Längsprofilen mäts t.ex. in med lasersensorer i kombination med accelerometrar som utan kontakt med vägen samlar data som via bearbetning räknas om till en beskrivning av den långsgående profilen. Utifrån profilen kan man sedan beräkna olika mått för ojämnheter t.ex. beräkna responsen från en virtuell cykelmodell som färdas längs profilen. Fördelen med en sådan modell är att dess egenskaper kan hållas exakt lika (standardiseras). Exakt samma modell kan sedan användas vid beräkningar på nya inmätta längsprofiler. Man kan t.ex. upprepa beräkningen med en alternativ hastighet och studera effekter av detta. Om man planerar att göra detaljerade studier och jämföra tillstånd mellan t.ex. olika år är det att rekommendera att använda en sådan metod.

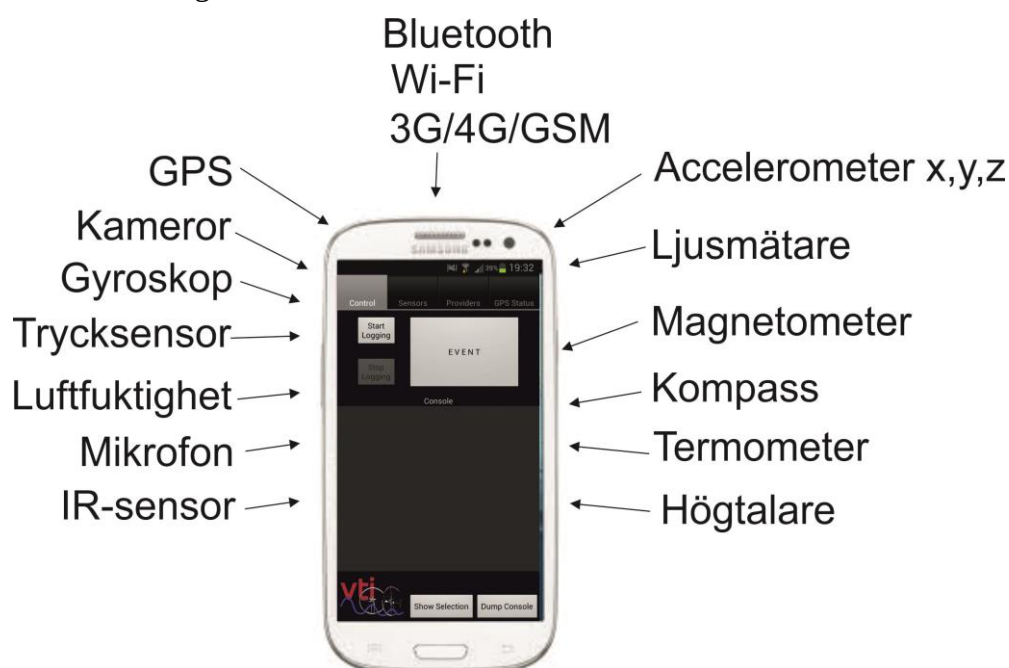
En förenkling av att mäta effekten av cykelbanans ojämnheter är att endast använda accelerometerdata. Man måste då ha insikt om att man med denna metod endast mäter responsen av ojämnheter med en specifik cykel eller utrustning vid ett givet tillfälle. Både ramens styvhet, däckens lufttryck, vikten på cyklisten och var man monterat accelerometern samt vilken hastighet och lutning man färdas med får en stor betydelse. Det vill säga man mäter komforten för precis och endast ett speciellt tillfälle med den aktuella uppsättningen av utrustning. Detta är inget nytt "problem" – redan 1929 skriver civilingenjören E. Nordahl i VTI meddelande 12 att: *”Det har under väginstitutets arbete vid upprepade tillfällen framstått såsom en kännbar olägenhet, att en enkel, snabb och billig objektiv metod, saknats för att sinsemellan jämföra olika vägbanor beträffande graden av deras ojämnheter eller skrovlighet, karakteriserad av befintligheten av hål, gupp, vågbildning eller korrugering och andra deformationer”*.

För vägytemätning köpte VTI därför en Roughometer från USA som bestod av en anordning som fästes på en bil och mätte framaxelns rörelse upp och ner – på grund av ojämnheter – då bilen körde i vanlig trafikfart. En viktig slutsats från dessa studier var att man insåg att en och samma bil behöver användas vid jämförande mätningar: *”Det bör betonas, att apparatens utslag i mycket hög grad är beroende av bilens beskaffenhet*

och belastning. Resultatet av mätningarna är sålunda beroende av bilens utfjädringsförhållanden, lasten på bilen och sättet för lastens anbringande samt trycket i ringarna (luftringar). Vidare äro utslagen beroende av den hastighet, med vilken bilen framföres, samt det sätt, på vilket mätaren infästas. En och samma bil bör därför användas vid sådana mätningar, som skola inbördes jämföras, eller också måste för varje bil en koefficient utrönas genom mätning på en viss komparationssträcka. Mätningar gjorda med olika bilar äro sålunda icke direkt jämförbara”. För- och nackdelar med olika mätmetoder diskuteras vidare i avsnitt 6.2.

4.2 Funktioner i smarttelefoner som kan användas för jämnhetsmätning

I alla moderna smarttelefoner finns idag mängder av sensorer som ska stötta olika ”smarta” funktioner. En smarttelefon kan definieras av att den är utrustad med ett operativsystem som möjliggör att fristående program kan användas, så kallade applikationer (appar). Telefonerna jobbar med så kallad ”multitasking” vilket innebär att processorn växlar mellan olika uppgifter styrt av en timer, utan att prioritera någon uppgift. Processorns klockfrekvens är olika i olika telefoner, vanligen kring 800 Mhz till 1 Ghz. Samplingsfrekvensen hos t.ex. accelerometer-chippet varierar också mellan olika telefoner, typiskt mellan 40 och 125 Hz (Sieling and Moon 2011). I praktiken innebär detta att man kan förvänta sig olika resultat från olika telefoner då man mäter t.ex. accelerations-signaler. I den här rapporten är det Android, ett ”öppet” operativsystemet som använts för våra applikationer. Utvecklingen av tekniken i smarttelefoner drivs troligen främst, utöver telefonfunktionen, för att utöka funktioner för sociala nätverk, hälsoinriktade funktioner samt spelfunktioner och inte för speciella tekniska mätningar. I Figur 7 nedan visas exempel på några sensorer och funktioner som finns i dagens smarttelefoner.



Figur 7 Exempel på några sensorer och funktioner i en smarttelefon.

4.3 Mätsystem som använder sig av smarttelefoner

Det finns en mängd gratisapplikationer för att mäta vägar och deras ojämnheter. Ofta handlar det om potthålsdetektorer. Vid en enkel sökning i Googles play-butik kan man t.ex. finna följande appar: *Pothole Hunter*, *Plus Design & Marketing*, *Pothole Radar*, *JCL Apps*, *Pothole Agent*, *BITS Android Team*, *Pothole Detector*, *Halo Tech*, *Pothole Marker*, *Bodaclous it HUB pvt Ltd*. Många städer runt om i världen har appar där allmänheten kan rapportera både utifrån mätningar med smarttelefonen men också enbart från visuell bedömning, t.ex. Linköpings kommun; Felanmälan i Linköpings kommun, Agency9 AB.

Några kommersiella aktörer har tagit fasta på att mäta vägar och/eller cykelvägars komfort uttryckt som effekt på ett fordon av vägens ojämnheter. Ett i Sverige utvecklat system kallas för Roadroid (www.roadroid.se). Detta är ursprungligen utvecklat för bilvägar men har senare också anpassats för cykelvägar. Metoden innebär att man använder en smarttelefon som monteras i mätfordonet. För bilvägar monteras telefonen på instrumentpanelen och för cykelvägar monteras den i en cykelkärra. För att kompensera för olika biltyper (olika fjädringsegenskaper) är systemet kalibrerat för tre olika biltyper. För mätning på cykelvägar är systemet kalibrerat för en viss vikt och ett visst lufttryck i cykelkärrans däck.

Det kanadensiska företaget Rubix (www.rivasolutions.com) har utvecklat ett system för datainsamling med en kombination av iPad och iPhone-smarttelefon. I systemet ingår ett system för planering och underhåll av väginfrastrukturen. Vertikal acceleration mäts med telefonen och iPad används för detektering av ytskador.

Redan 2008 i ett arbete vid Microsoft Research India, beskrivs ett system som använder en smarttelefon för detektering av vägytans kvalitet (Mohan, Padmanab and Ramjee, 2008). Man använder förutom den tre-axiella accelerometern också ljudmätning. Ljudmätningen sker via mikrofonen för att fånga bilarnas tutande. Intressant här är att man använder en metod för att virtuellt rätta upp telefonens riktning när man mäter accelerationen. De olika riktningarna x, y, z beskriver effekten av inbromsning, acceleration, kurvtagning och ojämnheter i vägbanan, vilket måste särskiljas och påverkas förstås av hur telefonen monteras.

Vid ett internationellt symposium, Bicycle and Motorcycle Dynamics, 2010 vid Tekniska Universitetet, Delft i Holland presenterade (Taylor and Fairfield, 2010) en sensorutrustad cykel som kan mäta och samla in information om vibrationer, realtidsbilder, buller, ljus och partikelförekomst. Att notera är hur viktigt de anser det är att inventera områden med hög partikelhalt och buller. Tanken är att planerare av cykelvägar ska använda informationen och undvika anläggning av nya cykelvägar i dessa områden.

Många artiklar och arbeten beskriver hur man kan använda en smarttelefon för att mäta vägars tillstånd och ännu fler appar kan hittas i app-butikerna som används för att på olika sätt rapportera om dåliga vägavsnitt. Man kan notera att väldigt många lobbyorganisationer, som verkar för bättre vägunderhåll, har appar för att allmänheten ska kunna rapportera om dåliga vägavsnitt men också många tätorter t.ex. i USA har utvecklade appar för detta. Svenska cykelfrämjandet har i samarbete med Folksam tagit fram en app kallad "cykelrapporten" där användaren kan rapportera in hinder eller idéer om hur cykeltrafiken kan förbättras (www.cykelrapporten.se). Problemen/idéerna kan positioneras, fotograferas, kategoriseras och beskrivas och skickas sedan vidare till

ansvarig kommun. Det finns en möjlighet att gå in och rösta på andras idéer och det behövs 10 röster för att ett ärende ska skickas vidare till kommunen.

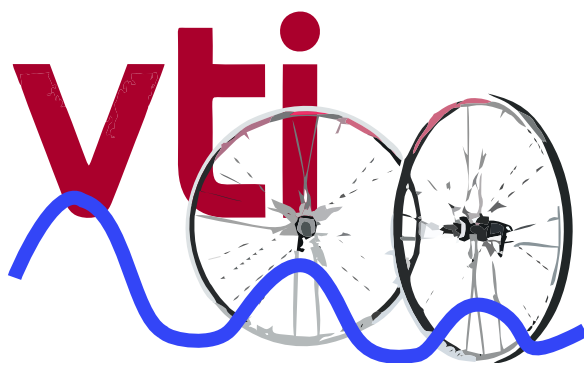
Exempel på artiklar och dokument som behandlar hur man kan använda en smarttelefon för mätning av ojämnheter är: ”*Real-time pothole detection using android smartphones with accelerometers*, *Road surface monitoring by using smartphones*, *Extensional smartphone probe for road bump detection*, *The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring*, *Can a smartphone collect IRI data? Distributed road surface condition monitoring using mobile phones*”. Några av dessa finns beskrivna av Pertunen et al. (2012); Sieling och Moon (2011); Strazdnis et al. (2011); Mednis et al. (2011) och Eriksson et al. (2008).

Att använda en treaxiell accelerometer innebär att man måste hålla reda på riktningarna t.ex. vid monteringen på mätfordonet. Några av rapporterna (t.ex. Pertunen et al. 2012) påpekar detta och beskriver metoder för att virtuellt vrida rätt riktningarna så att man minskar eller helt tar bort beroendet av riktningen vid montering.

Det finns många rapporter om användning av smarttelefoner för att hitta vägsador och särskilt ofta ingår att specifikt hitta potthål. Potthål är skador i vägen, närmare bestämt hål med en begränsad diameter kring 0,1 till 0,2 meter och en visst djup. I en studie gjord inom EU-projektet INTRO, användes vanliga privatbilar och data från sensorer inbyggda i dessa för att försöka detektera potthål (Benbow, 2008). I studien konstaterades att en vanlig bilist undviker att om möjligt köra över ett potthål. Därmed är den vertikala accelerationen inte någon bra indikator på potthål. Istället konstaterades att den laterala accelerationen mer korrelerade mot förekomsten av potthål. Många av metoderna som använder vertikal acceleration missar troligen de flesta potthålen eftersom man väjer för dessa.

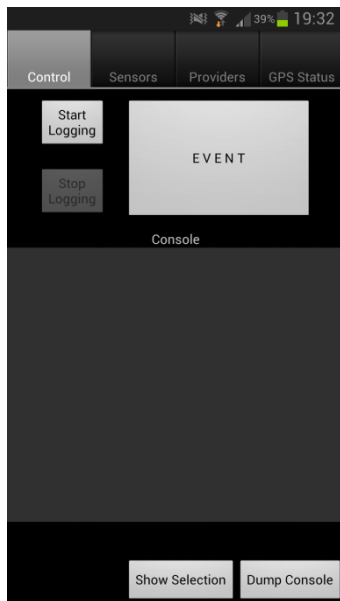
4.4 VTI-appens funktion och konstruktion

Den vid VTI utvecklade mobilappen för mätning av cykelvägars ojämnheter (Figur 8), har en funktion som samlar accelerationsdata i tre riktningar. Metoden innebär att man loggar accelerationsdata kopplat till positioner via gps och samtidigt tar bilder av vägen. Rådata och bilder lagras i telefonen. Bilder tas, om systemet tillåter det, vid varje ny-registrerad gps-position. Efter mätning körs sedan ett beräkningsprogram kallat *Readsensors* i en PC på kontoret. Programmet sammanställer rådata till presenterbara datafiler med position, jämnhetsdata och bilder. Själva appen är skrivet i Java och utgår från en öppen källkod: <https://github.com/yigiter/DataMonitor>. Framtagandet av VTI-appen beskrivs mer utförligt i bilaga 5.



Figur 8 Ikon för VTI appen.

För att minimera effekten av hur telefonen monteras på cykeln finns en funktion som virtuellt rätar upp riktningarna. För att bilderna ska bli så bra som möjligt bör telefonen monteras vågrätt och så att inga kablar eller annat på cykeln skymmer sikten. Appen är programmerad så att den beräknar accelerationens komposant från de tre riktningarna uttryckt som *root mean square* (RMS). Vidare finns en funktion som kompenserar för effekten av den longitudinella hastigheten (acceleration och retardation). Denna kompensation kan väljas via en parameter av användaren. I våra tester är denna satt enligt default dvs. korrigerad utifrån mätningar på bilvägar (se bilaga 5). I Figur 9 visas displayen på smarttelefonen när VTI-appen är startad men inte aktiverad för mätning. Mätning aktiveras genom att trycka på ”Start Logging”.



Figur 9 VTI-appens utseende på telefonens display när den är igång men innan den är startad för mätning.

5 Resultat från fältmätningar

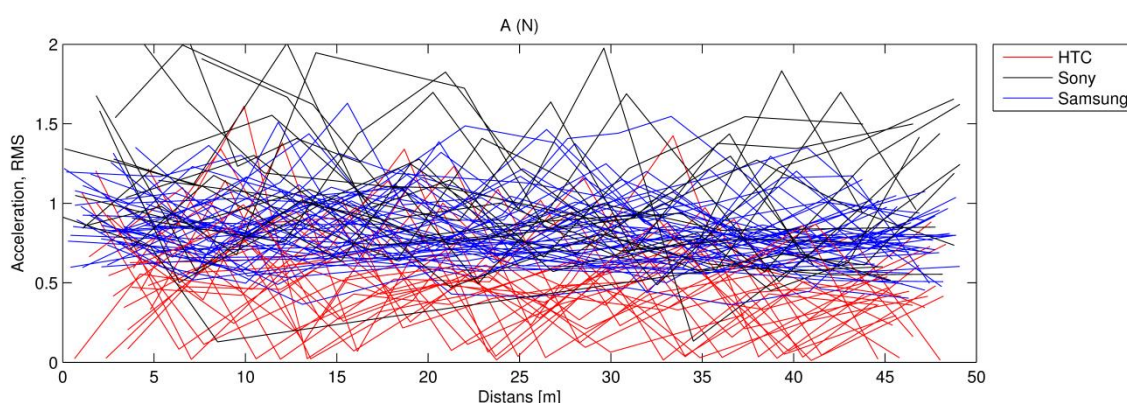
I det här kapitlet redovisas de samlade resultaten från alla fältmätningar som genomförts i projektet – i samband med vardagscykling och inventering av Linköpings cykelvägnät samt cyklistutvärderingar vid Campus Linköping. I ett första avsnitt analyserar vi VTI-appens repeterbarhet. Därefter följer ett avsnitt som diskuterar tolkning av mätdata genom en analys av överensstämmelsen med cyklisters subjektiva uppfattning av färdkvaliteten. Sedan jämför vi mätresultaten från VTI-appen med andra objektiva mått, för att slutligen summera de praktiska erfarenheterna kring mätningarna. Då tar vi även hänsyn till erfarenheter från tidigare mätningar med VTI-appen.

5.1 VTI-appens repeterbarhet

I nedanstående avsnitt presenteras underlag, analyser och slutsatser kring VTI-appens repeterbarhet från de olika studier vi genomfört inom projektet. I utvärderingen av repeterbarheten ingår också faktorer som inte direkt har med VTI-appen att göra utan snarare mätsystemet i övrigt, dvs. cyklist, cykel, montering, mobiltelefon, etc. De fältmätningar vi gjort har inte varit i den omfattning att vi har tillräckliga datamängder för att kunna göra statistiska analyser av alla de parametrar som kan påverka repeterbarheten med VTI:s mobilapp. Bara genom att studera mätresultaten kan vi dock dra en del slutsatser kring repeterbarheten och vilka faktorer som tycks ha en inverkan.

5.1.1 Analys av mätresultat vid cyklistutvärderingarna på Campus i Linköping

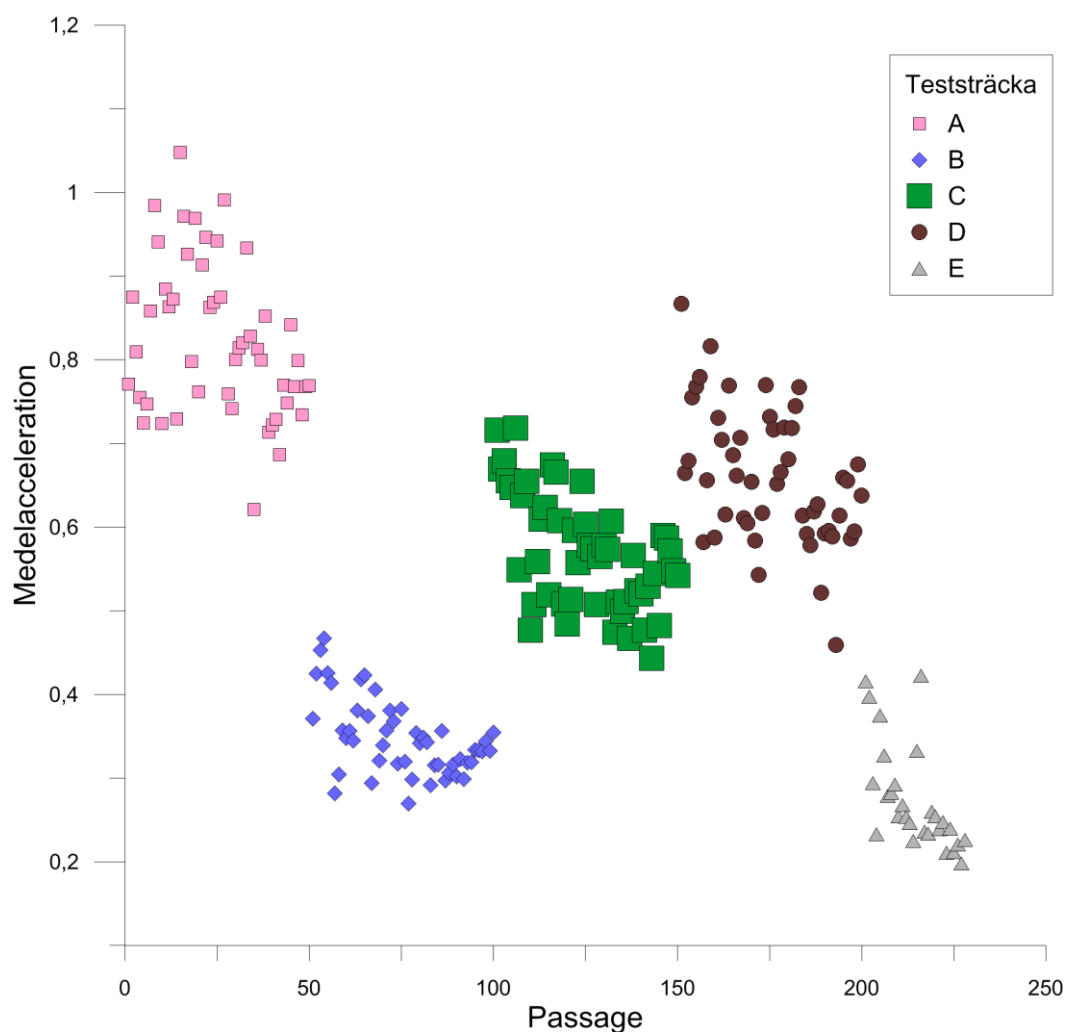
Utifrån resultaten från fältmätningarna vid Campus Linköping, är det första vi kan konstatera att de olika mobiltelefonerna som användes i försöket gav olika mätresultat (se exempel i Figur 10). Samsung-telefonerna tycktes ge bäst repeterbarhet, med en mindre variation i de uppmätta accelerationsvärdena jämfört med de andra två telefonerna. HTC-telefonerna gav många nollvärden vilket tyder på att de inte lyckats samla in tillräcklig information för att appen ska kunna beräkna ett accelerationsvärde vid varje samplingstillfälle. Troligtvis beror detta på att gps:en i telefonen inte kunnat hitta sin position (detta diskuteras vidare i avsnitt 6.2 och 6.3). Sony Eriksson-telefonen gav istället relativt många höga accelerationsvärden, vilket kan bero på att fästet till den telefonen inte var lika stabilt med större skakningar av telefonen som följd.



Figur 10 Accelerationsvärden uppmätta med VTI-appen med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka A – de olika färgerna representerar olika telefoner. I bilaga 4 finns motsvarande figurer för de övriga teststräckorna.

Eftersom de data som samlades in med HTC-telefonerna och Sony Eriksson-telefonen varierade så mycket, har vi i de fortsatta analyserna endast använt oss av accelerationsvärden uppmätta med Samsung-telefonerna. Turligt nog samlade alla testcyklister in mätdata med en Samsung-telefon monterad på ena sidan av cykelstyret, vilket innebär att vi trots allt kan analysera data från samtliga testcyklister och mätrundor.

Resultaten från mätningarna med Samsungtelefonerna visar tydligt att de uppmätta accelerationsvärdena varierar från en mätning till en annan, men att det ändå är möjligt att skilja de olika teststräckorna från varandra (se Figur 11). I figuren syns tydliga kluster av accelerationsvärden, på olika medelnivåer, vilket representerar de olika ytorna.

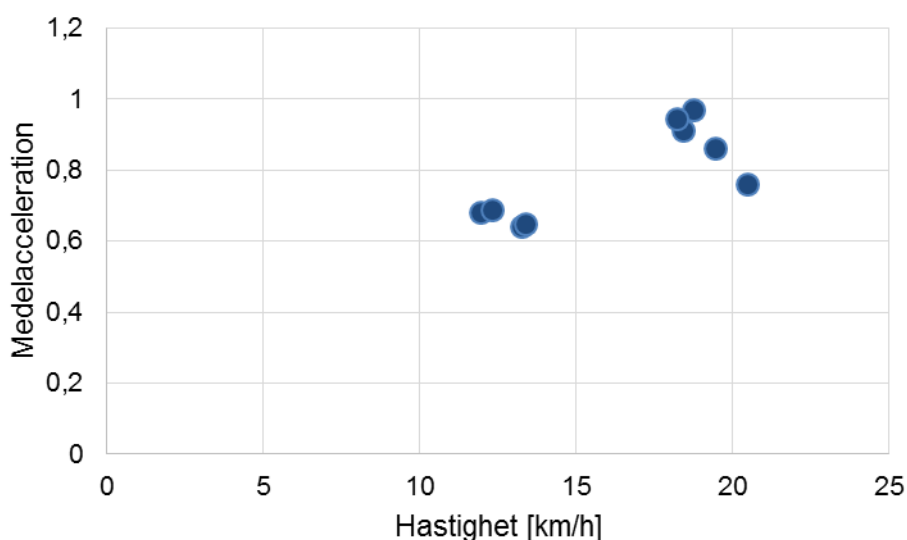


Figur 11 Genomsnittliga accelerationsvärden uppmätt med VTI-appen (med en Samsung SIII) för varje passage över testytorna vid Campus Linköping. A: små betongplattor, B: Äldre asfaltyta, C: stora betongplattor, D: grusad yta, E: nylagd asfalt. Ju högre accelerationsvärden, desto mer ojämn är vägytan.

Figuren ovan visar också att ju jämnare yta, desto mindre variation var det i de uppmätta accelerationsvärdena (se även Figur 28 till , i bilaga 4). Variationen i de uppmätta värdena beror troligtvis till stor del på skillnader i sidoläge från en mätning till en annan, dvs. att cyklisterna helt enkelt cyklat i ”olika spår” över ytorna. På ojämna ytor kan skillnaden i sidoläge ha stor betydelse för det uppmätta värdet (se vidare

diskussion i avsnitt 6.3). En annan trolig förklaring är skillnader i cyklisternas hastighet över ytorna.

Tidigare studier har visat att vibrationer i cykeln, vilket är direkt kopplat till den uppmätta accelerationen, beror på typ av cykel, typ av däck, däcktryck, cyklistens vikt och hastigheten (t.ex. Vej och Park, Driftskontoret, 2004). Att cyklistens hastighet påverkar det uppmätta accelerationsvärdet, är något vi också kunde konstatera. För den cyklist som cyklade flera varv, i två märkbart olika hastigheter, gav det högre hastighetsintervallet högre accelerationsvärden (se Figur 12). Visserligen görs en korrigering för hastigheten i analysprogrammet som tillhör appen (se bilaga 5), men algoritmen behöver modifieras för bättre anpassning till mätning med cykel. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.3.



Figur 12 Accelerationsvärden uppmätta på testyta A av en och samma cyklist, vid olika hastigheter.

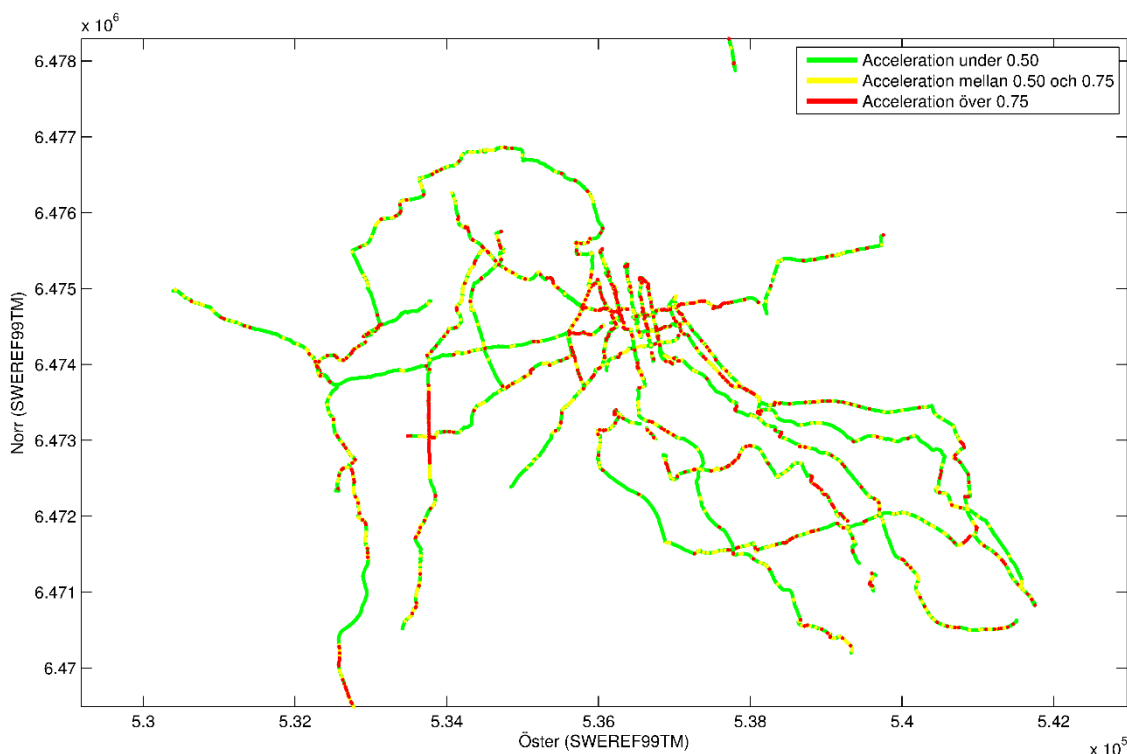
Genom att studera insamlad mätdata, kunde vi även konstatera att det var större spridning i de accelerationsvärden som kvinnorna samlat in jämfört med de värden som männen samlat in. Den mest troliga förklaringen till det är skillnader i hastighet, där hastighetsvariationen var större bland kvinnorna (se Tabell 1). Det är möjligt att det också kan finnas skillnader mellan cyklarna eller mellan hållarna till mobiltelefonerna, men det dataunderlag som vi samlade in under fältförsöken är inte tillräckligt stort för att kunna analysera betydelsen av dessa parametrar. Alla kvinnor cyklade på en och samma testcykel och alla män på den andra. Eventuella skillnader mellan cyklarna och hållarna är alltså aggregerat i de skillnader vi kan se mellan männen och kvinnorna.

Tabell 1 Variationen i genomsnittlig hastighet över teststräckorna för män respektive kvinnor.

	Kvinnor	Män	Samtliga
Min (km/h)	13,4	15,2	13,4
Max (km/h)	26,6	25,8	26,6
Medel (km/h)	18,7	20,2	19,5

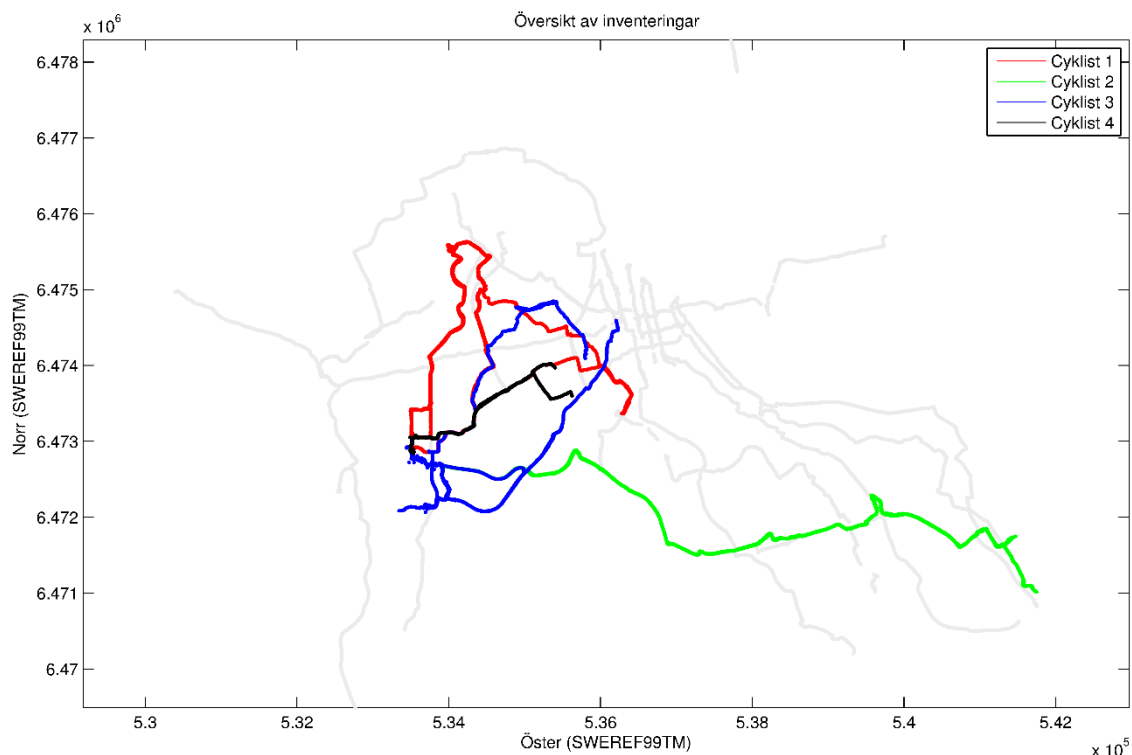
5.1.2 Analys av mätningar i samband med vardagscykling och vid inventering av Linköpings cykelvägnät

De mätningar med VTI-appen som genomfördes i samband med inventeringen av cykelvägnätet i Linköping ger en översiktlig bild av var det finns sträckor som det kan finnas anledning att åtgärda (se Figur 13). Genom att sätta olika gränsvärden på accelerationen kan vi peka ut sträckor som är mycket ojämna (röda), något ojämna (gula) och jämna (gröna). Val av gränsvärden diskuteras i avsnitt 5.2.3 och 6.1.



Figur 13 Illustration av Linköpings cykelvägnät med sträckor i olika jämnhetsklasser enligt mätning med VTI-appen. Gränsvärden för de olika klasserna är valda utifrån cyklisternas bedömning av färdkvaliteten, enligt resonemanget i avsnitt 5.2.3 och korrigerade för använd mobiltelefon (se avsnitt 6.1).

Med hjälp av de fyra cyklister som under hösten 2012 gjorde mätningar med VTI-appen främst i samband med cykelpendling till och från arbetet, har vi samlat in ytterligare mätdata som beskriver jämnheten på delar av Linköpings cykelvägnät. I Figur 14 visas vilka rutter som mätts in av respektive cyklist. I bilaga 4 redovisas varje cykelrutt separat, i bilder med klassificering av sträckor i rött, gult och grönt enligt samma princip som i Figur 13. I bilagan redovisas även andra resultat från dessa mätningar.



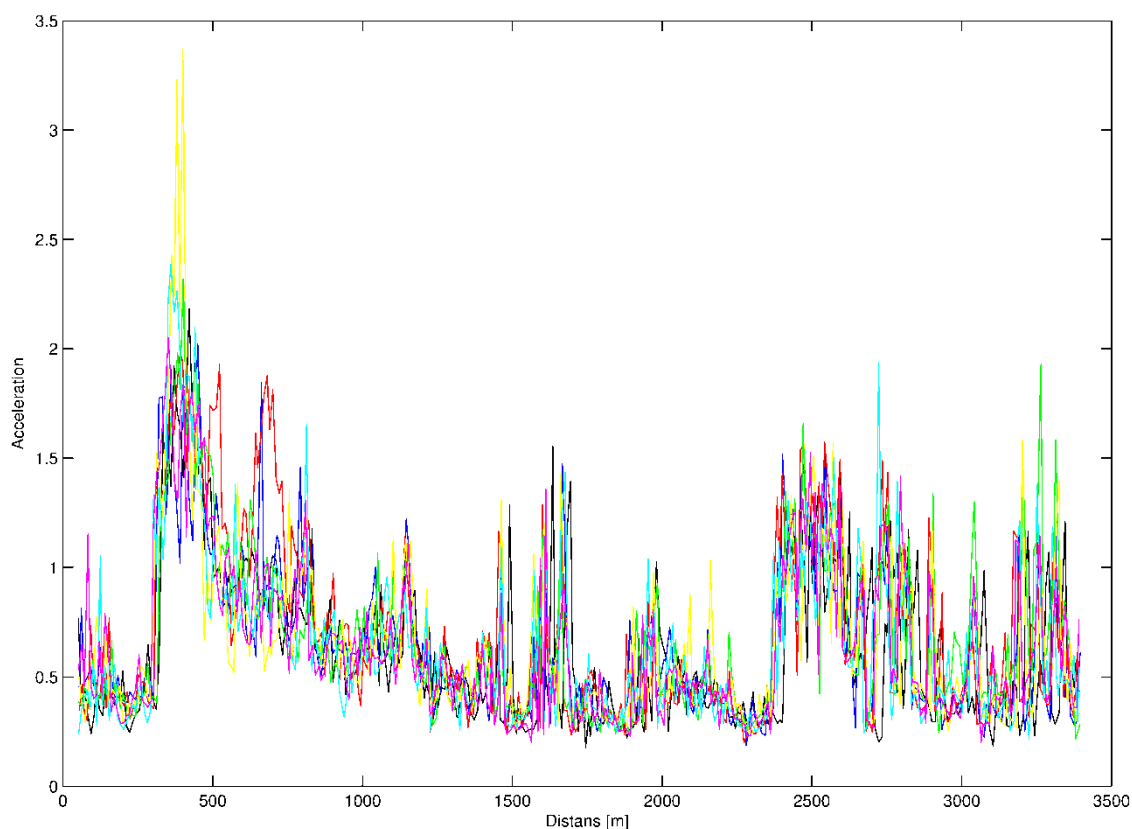
Figur 14 Illustration av de cykelrutter i Linköping, där vi gjort jämnhetsmätningar med VTI-appen i samband med arbetspendling.

En av cyklisterna (nr 1) gjorde ett 40-tal upprepade mätningar med VTI-appen på samma rutt till och från arbetet, medan övriga cyklisterna genomförde färre mätningar på sina rutter (se Tabell 2). När vi jämför mätningarna av samma rutt, med samma cyklist på samma cykel, men vid olika tillfällen kan vi se att resultatet blir ungefär detsamma varje gång (se exempel Figur 15). Kurvorna följer varandra från de upprepade mättillfällena. Det innebär att man kan identifiera vägavsnitt med olika jämnhetsnivå med relativt god repeterbarhet. Man kan dock för enskilda mätningar finna avvikelser i nivån – det finns enstaka toppar som endast förekommer vid något mättillfälle.

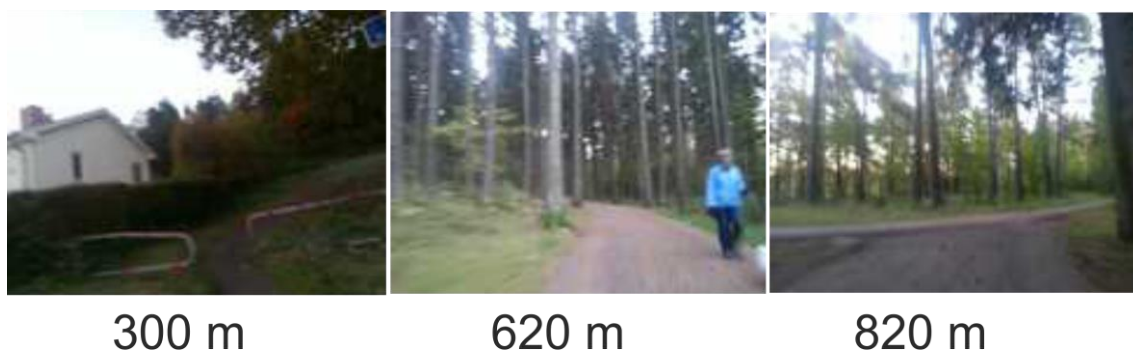
Tabell 2 Sammanställning av mätningar genomförda i samband med arbetspendling

Cyklist	Cykel	Antal mätningar	Telefon	Vanligast rutt	Ruttlängd (km)
1 (röd)	Trekkingcykel, Vermont Marco Polo	37	Samsung SIII	VTI-Gottfridsberg/Ramshäll	5
2 (grön)	Standardcykel, Merida	5	Samsung SIII	VTI-Hjulsbro	10
3 (blå)	Standardcykel, Crescent	20	Samsung SIII	VTI-Lambohov	2
4 (svart)	Stadshybrid, Moongoose urban bike	2	HTC	VTI-Garnisonen	3

För att undersöka vad som ligger bakom dessa skillnader, har vi gått in och studerat de fotografier som automatiskt samlas in med appen (se exempel i Figur 16). Den främsta förklaringen till skillnaderna i mätresultaten tycks vara enstaka ojämnheter som inte passeras vid varje mätning dvs. skillnader i sidoläge, häftiga inbromsningar eller väjning för andra trafikanter eller övriga hinder. Detta tycks vara mer vanligt förekommande där cykelvägen går genom en skog eller park och där det är grus- istället för asfaltsbeläggning.



Figur 15 Accelerationsvärden uppmätta med VTI-appen längs samma rutt, med en och samma cyklist (cyklist 1), på samma cykel, men vid olika tillfällen – olika färger representerar olika tillfällen. Se exempel på foton vid olika distanser i Figur 16.



Figur 16 Foton insamlade med VTI-appen på olika distanser längs en cykelrutt (cyklist 1). Jämför med accelerationsvärden uppmätta vid dessa distanser i Figur 15.

5.2 VTI-appens överensstämmelse med cyklisters komfortupplevelse

5.2.1 Cyklisternas bedömning av testytorna på Campus Linköping

Cyklistutvärderingen på Campus Linköping visade att cyklisterna var ganska överens i sin bedömning av teststräckorna (se Tabell 3 och Bilaga 3). En liknande utvärdering som vi gjorde i Malmö i augusti 2009 visade tvärtom på ganska stora individuella skillnader i bedömningen av känslan att cykla över olika ytor (Niska, Sjögren & Gustafsson, 2011). En förklaring kan vara en mer homogen cyklistgrupp vid fältförsöken i Linköping, men också att det var mer distinkta skillnader mellan teststräckorna där, eftersom de hade olika typer av ytbeläggning. I försöket i Malmö var det asfalt på samtliga ytor, som dock skilde sig åt med avseende på typ och mängd av ytskador. Resultaten mellan de olika försöken är inte heller helt jämförbara då det i Malmö användes en 6-gradig skala för den absoluta bedömningen och utan beskrivning av de olika graderingarna.

Tabell 3 Cyklisternas bedömning av upplevelsen av att cykla över de olika teststräckorna på Campusområdet i Linköping. Absolut skala: 1="kände inte av några ojämnheter", 2="kände ojämnheter men inget obehag", 3="något obehaglig", 4="mycket obehaglig", 5="oacceptabel". Relativ skala: 1="mycket bättre", 2="något bättre", 3="likvärdig", 4="något sämre", 5="mycket sämre".

Absolut bedömning					
Teststräcka	Min	Max	Median	Medel	Rangordning
A: små betongplattor	2	5	3	3,2	5
B: äldre asfaltyta	1	2	1	1,2	2
C: stora betongplattor	2	3	2	2,3	4
D: grusyta	2	2	2	2,0	3
E1: ny asfalt	1	2	1	1,1	1
Relativ bedömning					
A jämfört med E	4	5	5	4,8	
B jämfört med A	1	2	1	1,1	
C jämfört med B	3	5	4	4,1	
D jämfört med C	2	4	3	2,7	
E jämfört med D	1	3	1	1,4	

Enligt cyklisternas bedömning upplevdes teststräcka A med små betongplattor som mest obehaglig att cykla på medan de båda asfaltytorna, B och E, upplevdes som mest behagliga att passera över utan några kännbara ojämnheter i ytan. I genomsnitt upplevdes ingen av teststräckorna som mycket obehaglig eller oacceptabelt ojämn. Teststräcka A som fick sämst betyg av cyklisterna upplevdes i genomsnitt endast som "något obehaglig" att cykla på. Bedömningen av denna sträcka varierade dock – en av de 13 cyklisterna tyckte att den var "oacceptabelt ojämn" och tre att den var "mycket obehaglig" att cykla på.

Cyklisternas absoluta bedömning visar inte på någon märkbar skillnad mellan de båda asfaltytorna och knappt heller mellan teststräcka C med stora betongplattor och den grusade ytan på teststräcka D. Den relativa bedömningen tyder emellertid på att den grusade ytan upplevs som något behagligare än ytan med de stora betongplattorna. Fem av de tretton cyklisterna tyckte att den grusade ytan på teststräcka D upplevdes ”något bättre” än de stora betongplattorna på teststräcka C, en cyklist tyckte tvärtom att den grusade ytan upplevdes något sämre medan övriga cyklister tyckte att de båda ytorna var likvärdiga med avseende på färdkvalitet.

Sammantaget, med beaktande av såväl de absoluta som de relativa bedömningarna av ytorna, kan man rangordna de olika teststräckorna enligt följande, från bäst till sämst:

1. E: nylagd asfalt utan synliga skador
2. B: äldre asfaltyta med några mindre synliga skador
3. D: grusad yta
4. C: stora betongplattor med ett skarvavstånd på 60 cm
5. A: små betongplattor med ett skarvavstånd på 10 cm.

Vi vill dock poängtera att det är små skillnader och för få observationer (cyklister) för några statistiskt signifikanta skillnader.

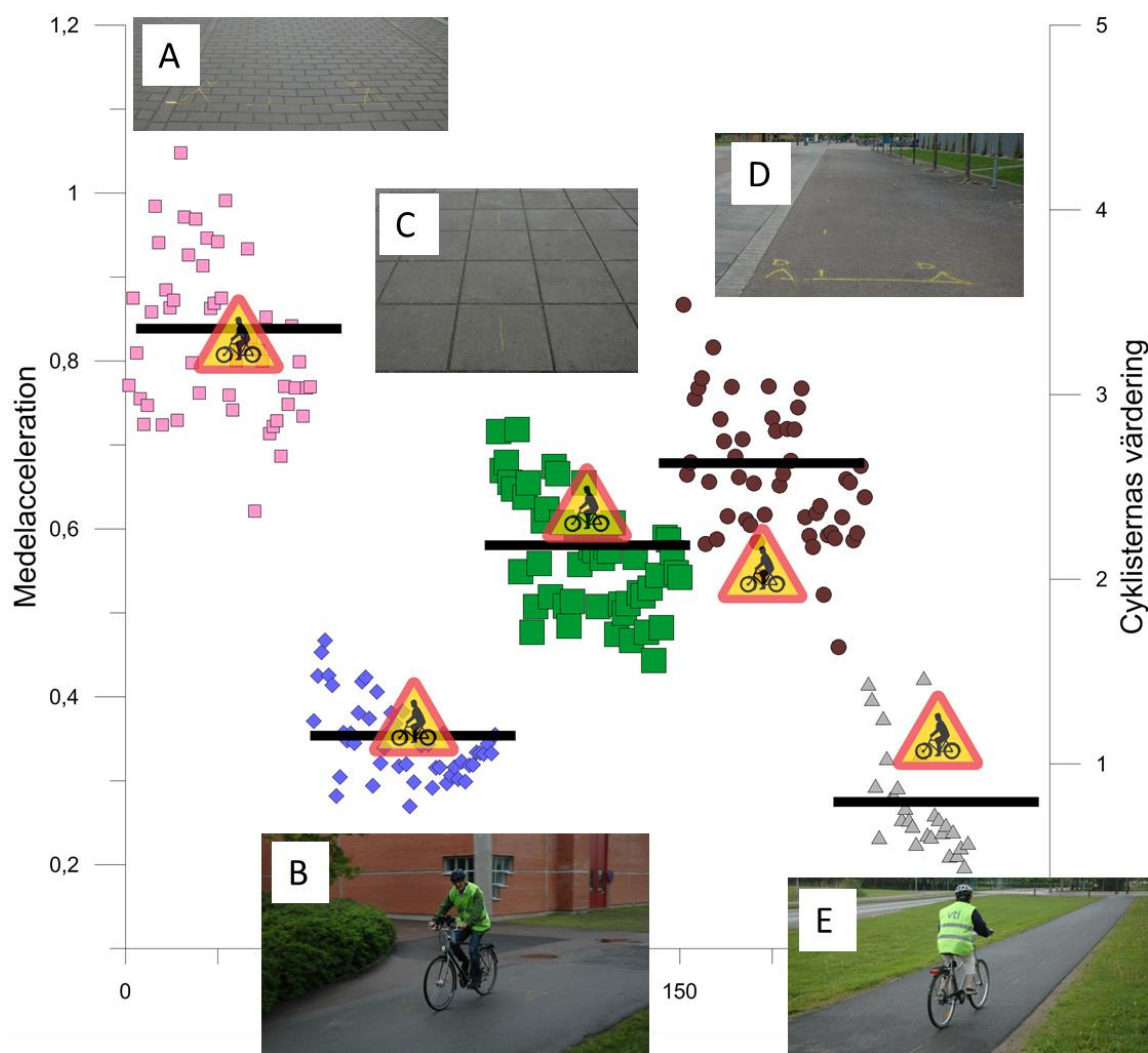
Ovanstående resultat är värdefulla som underlag i utvärderingen av tillämpbarheten av VTI-appen, men ger också möjlighet till validering och vidareutveckling av andra mätmetoder och mått som beskriver cyklisters färdkvalitet. En första ansats till definition av mått och tolkning av mätresultat, gjordes i samband med de tidigare nämnda cyklistutvärderingarna i Malmö (Niska, Sjögren & Gustafsson, 2011). Nu har vi tagit ytterligare ett steg i utvecklingen, men fler studier behövs vilket diskuteras vidare i avsnitt 6.1 och kapitel 8.

En annan slutsats av mer praktisk karaktär som vi kan dra utifrån cyklistbedömningarna, är att ytor med små plattor inte är lämpliga att använda på ytor för cykeltrafik. Detta diskuteras vidare i avsnitt 6.5.

5.2.2 Validering gentemot cyklisternas bedömning

Vid en jämförelse mellan cyklisternas bedömning av de olika testytorna och resultaten från mätningarna med VTI-appen, kan vi se att de stämmer ganska väl överens (se Figur 17). Ytorna B och E som cyklisterna har bedömt som de mest behagliga att cykla över, är också de ytor med de lägsta uppmätta accelerationsvärdena; medan yta A som bedömts som mest obekväm har den högsta medelaccelerationen. För ytorna i spannet däremellan, C och D, överensstämmer de uppmätta värdena inte lika bra med cyklisternas bedömning. Grusytan D har av cyklisterna bedömts som mer bekväm att cykla över än yta C, med de stora betongplattorna, medan accelerationsvärden tvärtom indikerar att grusyta D är mer ojämn. Detta tyder på att de intermittenta vibrationer som skarvarna mellan plattorna ger upphov till upplevs mer obehagligt än de mer jämnt återkommande vibrationer som uppstår i cykeln vid passage över grusytan.

För att VTI-appen bättre ska beskriva cyklisters färdkvalitet, skulle algoritmen i programmet på något sätt behöva ta hänsyn till detta. Det behövs emellertid fler mätningar och fler cyklistutvärderingar för att få tillräckligt underlag för att kunna göra denna justering på rätt sätt, särskilt då cyklisterna inte var helt överens i sin bedömning och det kan finnas skillnader beroende på typ av cykel etc. Detta diskuteras vidare i avsnitt 6.1 och 6.3.



Figur 17 Jämförelse mellan cyklisternas subjektiva bedömning och mätresultaten med VTI-appen för de olika teststräckorna på campusområdet i Linköping. Medelvärde för accelerationen på respektive sträcka visas som ett svart streck bland de färgade prickarna som representerar det genomsnittliga accelerationsvärdet för varje enskild passage. Cykelsymbolerna anger cyklisternas genomsnittliga subjektiva bedömning.

5.2.3 Val av gränsvärden för att klassificera ytor enligt cyklisters komfortupplevelse

Jämförelsen mellan cyklisternas bedömning och mätningarna med VTI-appen, indikerar att accelerationsvärden över 0,7–0,8 representerar ytor som innebär ett obehag för cyklisterna och därmed har en negativ inverkan på deras färdkvalitet. Det innebär att det kan vara lämpligt att sätta 0,75 som gränsvärde för att klassificera en cykelyta som ojämn – ”röd nivå”. Accelerationsvärden under 0,5 tycks representera ytor som inte har några ojämnheter som är kännbara för cyklisterna. Med detta som utgångspunkt, har vi antagit nivåer för gränsvärden för olika kvalitetsnivåer, enligt följande:

- ”Röd nivå” = accelerationsvärden över 0,75
- ”Gul nivå” = accelerationsvärden mellan 0,5 och 0,75
- ”Grön nivå” = accelerationsvärden under 0,5.

Skattningen av gränsvärden diskuteras vidare i avsnitt 6.1.

5.3 VTI-appen i jämförelse med objektiva mått från RST-mätning

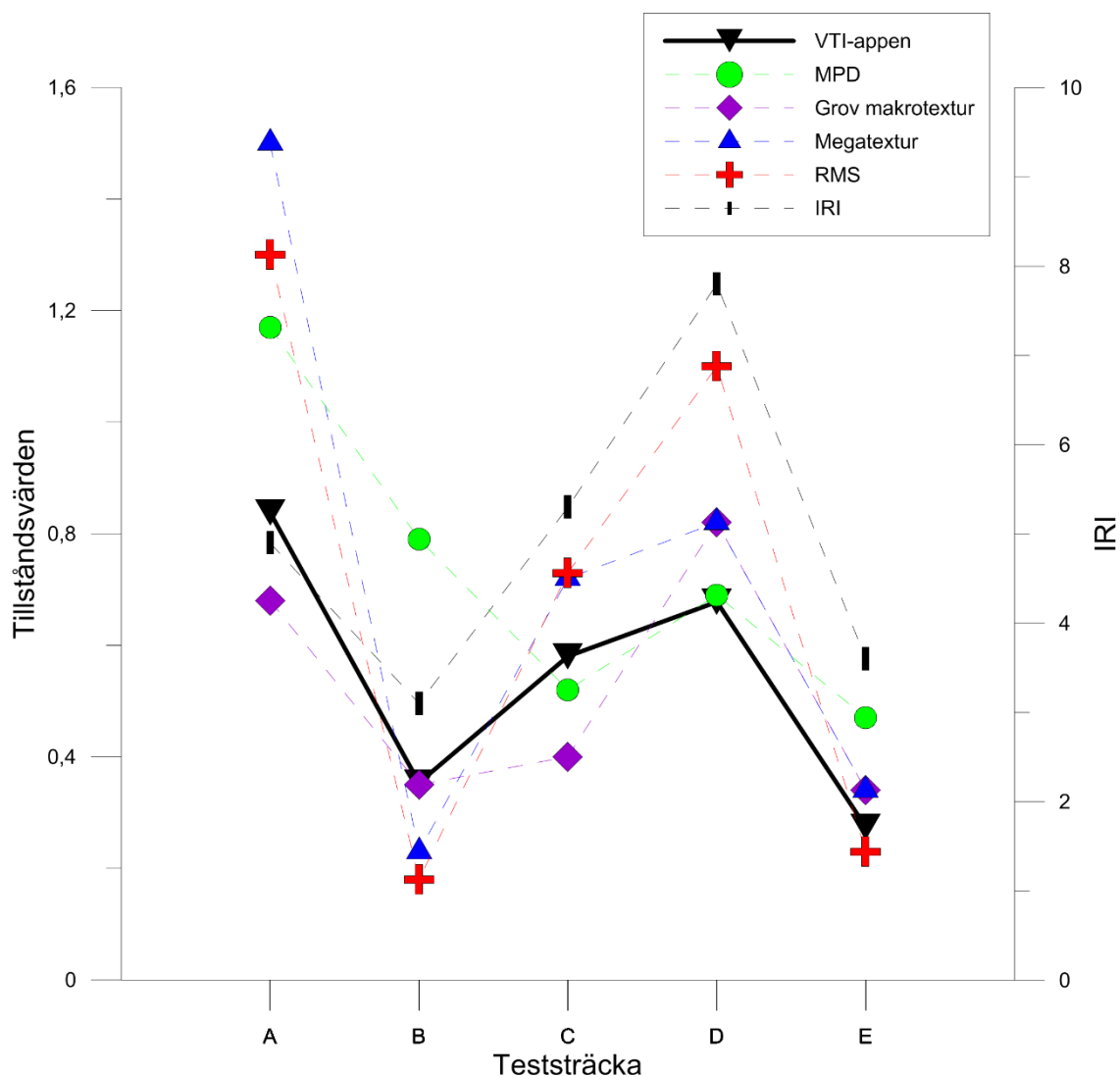
Vid vägytemätning med VTI:s RST-bil beräknas ett antal mått, där vi använt oss av följande: IRI, RMS (Root Mean Square), Megatextur och Grov makrotextur. IRI-måttet, ”International Roughness Index”, beskriver summan av de vertikala rörelser som uppkommer då man simulerar att ett bilhjul, inklusive fjädringssystem, rullar i 80 km/h över den inmätta ytan. De andra måtten anger storleken, eller rättare sagt amplituden, för ojämnheter med olika våglängder. Grov makrotextur anger storleken på korta ojämnheter, med våglängder mellan 1 och 5 cm. Skrovligheten i vägytan – beroende av exempelvis stenstorleken i beläggning, grus eller skräp på ytan, är exempel på ”ojämnheter” som fångas med detta mått. Måttet megatextur anger storleken på något längre ojämnheter, med våglängder mellan 5 cm och 0,5 meter. Skarvar mellan mindre betongplattor, potthål och mindre gatubrunnar är exempel på ”ojämnheter” som fångas med detta mått. RMS-måttet anger storleken på ojämnheter med våglängder mellan 0,5 och 1 meter. Skarvar mellan större betongplattor, lappningar och lagningar av beläggningen och större gatubrunnar är exempel på ”ojämnheter” som fångas med detta mått.

Medan RMS-måttet och makro- och megatextur beskriver hur vägytan ser ut, enligt RST-mätningen, ger VTI-appen ett mått på en cykels respons vid passage över vägytan. IRI-måttet är också ett responsmått, men med standardiserade parametrar för bil och inte för cykel.

I Figur 18 jämförs det genomsnittliga accelerationsvärdet som VTI-appen registrerat på de olika testytorna med RST-mätningens mått. IRI-värdena har i figuren fått en separat y-axel för att kunna förbättra den visuella jämförbarheten då det är olika storleksordning på måtten. Det visar sig att den med VTI-appen uppmätta responsen, dvs. accelerationen, överensstämmer bäst med megatexturen och med RMS-värdet. Megatexturen ger samma rangordning av sträckorna som VTI-appen och RMS-värdet nästan densamma (se även Tabell 4).

När vi jämför cyklisternas bedömning (se avsnitt 5.2.1) med RST-mätningens olika tillståndsmått, kan vi konstatera att måttet på megatexturen stämmer bäst överens med cyklisternas uppfattning (se Tabell 4). Detta överensstämmer med våra tidigare antaganden om att det är just ojämnheter i megatexturens våglängdsområde, 50 mm till 0,5 meter, som skapar störst obehag för cyklister (se Figur 1). Även RMS-måttet ger en rangordning av sträckorna som någorlunda överensstämmer med cyklisternas bedömning, medan måttet på den grova makrotexturen och IRI ger en annan rangordning. Enligt dessa mått skulle grusytan D, vara sämre än båda plattytorna A och C, vilket inte alls stämmer överens med cyklisternas uppfattning. Resultaten bekräftar tidigare studier som också konstaterat att IRI inte är ett bra mått för att beskriva cyklisters färdkvalitet (t.ex. Cairney & King, 2003). Jämförelsen indikerar också att den grova makrotexturen antagligen har mindre betydelse för cyklisternas färdkvalitet än vi tidigare trott.

Tabell 4 visar att i jämförelse med RST-mätningens tillståndsmått, ger VTI-appen bättre eller minst lika bra överensstämmelse med cyklisternas subjektiva bedömning av färdkvaliteten.



Figur 18 Genomsnittliga mätvärden från VTI-appen för respektive teststräcka, jämfört med olika typer av mätvärden från RST-mätningen.

Tabell 4 Rangordning för de olika teststräckorna, enligt cyklisternas värdering, VTI-appen och de olika tillståndsmåtten från RST-mätningen. Medelvärden av de olika måtten för respektive sträcka anges inom parentes.

Bedömningsmetod:	Teststräcka				
	A	B	C	D	E
Cyklisternas värdering	5 (3,2)	2 (1,2)	4 (2,3)	3 (2,0)	1 (1,1)
VTI-appen	5 (0,84)	2 (0,35)	3 (0,58)	4 (0,68)	1 (0,27)
MPD	5 (1,17)	4 (0,79)	2 (0,52)	3 (0,69)	1 (0,47)
Grov makrotextur	4 (0,68)	2 (0,35)	3 (0,40)	5 (0,82)	1 (0,34)
Megatextur	5 (1,5)	2 (0,23)	3 (0,72)	4 (0,82)	1 (0,34)
RMS	5 (1,3)	1 (0,18)	3 (0,73)	4 (1,1)	2 (0,23)
IRI	3 (4,9)	2 (3,1)	4 (5,3)	5 (7,8)	1 (3,6)

5.4 Praktiska erfarenheter vid mätningar med VTIs mobilapp

En erfarenhet från de olika fältmätningar som gjorts, är att det ibland varit svårt att starta programmet i mobilappen. Eftersom appen är konstruerad så att den kräver gps-positionering för att kunna registrera accelerationsvärden och ta fotografier, blir systemet känsligt för störningar av gps-mottagningen. Dessa störningar är störst i miljöer med höga hus, många träd och liknande eller vid vissa väderförhållanden. Våra erfarenheter är att det varit svårare att få en positionering och köra programmet med HTC-telefonen än med Samsung och Sony Ericsson. Den främsta förklaringen till det är antagligen att kvaliteten på gps:en varierar mellan olika smarttelefoner och att gps-mottagningen dessutom har olika prioritet i olika telefonmärken. Eftersom tekniken i mobiltelefoner ständigt förbättras kommer dessa problem troligtvis att minska i framtiden.

Ett annat problem har varit att få smarttelefonen att sitta tillräckligt stadigt i telefonhållarna på styret. Vid några tillfällen, framförallt i samband med stora vibrationer, har telefonerna till och med ramlat i backen. För bästa fotokvalitet, konstaterade vi ganska tidigt att det var bäst att montera telefonen horisontellt istället för vertikalt (se Figur 21 i bilaga 2) vilket beror på hur bildchipet i telefonen hanterar avläsningen av pixlar. Denna mer onormala monteringsriktning har emellertid ökat risken att telefonen ska ramla ur hållaren då man cyklar över stora ojämnheter.

Att ha gps-mottagning igång samtidigt med bildtagning och datalagring verkar vara en batterikrävande inställning. Ett extra batteri eller batteri med extra mycket kapacitet är att rekommendera vid den här typen av användning.

6 Diskussion

6.1 Tolkning av mätresultaten

Utifrån cyklisternas subjektiva bedömning av teststräckorna på Campusområdet i Linköping och med hänsyn till övriga mätningar med VTI-appen, har vi antagit följande gränsvärden för olika kvalitetsnivåer:

- ”Röd nivå” = accelerationsvärden över 0,75
- ”Gul nivå” = accelerationsvärden mellan 0,5 och 0,75
- ”Grön nivå” = accelerationsvärden under 0,5.

Det behövs kompletterande mätningar i större omfattningen för att mer evidensbaserat fastställa vilka gränsvärden som bäst beskriver cyklisters färdkvalitet. Dessutom gäller dessa gränsvärden endast för accelerationsvärden uppmätta med VTI-appen i en Samsung-telefon monterad på cykelstyret med en specifik mobilhållare på en viss typ av cykel. Används en annan telefon (cykel, mobilhållare eller monteringsposition) behöver gränsvärdena korrigeras för att överensstämja med cyklisternas upplevda färdkvalitet. Exempelvis har vi för de mätningar som gjordes i samband med inventeringen av Linköpings cykelvägnät dividerat ovanstående gränsvärden med 1,7 (se Figur 14). Den mätningen gjordes med en HTC-telefon och resultaten från fältförsöken vid Campus visade att Samsung-telefonerna gav i genomsnitt 1,7 gånger högre accelerationsvärden än HTC-telefonerna. För enkelhetens skull har vi antagit ett linjärt samband, men det är inte säkert att det överensstämmer med skillnaderna mellan telefonerna. I vissa fall kan höga värden behöva korrigeras mer än låga värden, eller vice versa.

Gränsvärdena – eller de uppmätta accelerationsvärdena – behöver också korrigeras med hänsyn till mätcyklistens hastighet. Hur stor korrigering som behöver göras och om sambandet mellan hastighet och uppmätta accelerationsvärden är linjärt eller inte, är för tidigt att uttala sig om. Vi vet bara att en cyklist som cyklar i högre hastighet i genomsnitt kommer att mäta högre accelerationsvärden. Det stämmer sannolikt till stor del överens med den upplevda färdkvaliteten genom att ojämnheter också upplevs mer obehagliga att passera över om man cyklar i högre hastighet. Det är dock inte helt säkert att det gäller för alla typer av ojämnheter, i alla våglängdsområden och frekvenser.

Vid klassning av ett cykelvägnät i ojämna (röda) och jämna (gröna) delsträckor behöver en ”normalhastighet” väljas som beskriver ”normalcyklistens” upplevda färdkvalitet. Värden från mätcyklisters som cyklar märkbart snabbare eller långsammare än ”normalhastighet” behöver då korrigeras. Vid en mer regelmässig mätning utförd av en förutbestämd mätcyklist, går det att bestämma vilken hastighet den personen ska försöka hålla, men vid crowdsourcing har man inte den möjligheten.

Det finns två alternativa möjligheter att korrigera för skillnader i hastighet, telefon, etc. Det ena är att man justerar algoritmen i VTI-appen så att den tar hänsyn till dessa faktorer. Det andra alternativet är att man i efterbehandlingen där man använder programmet *Readsensors* inkluderar korrigering för detta. Det senare är att föredra dvs. att man mäter och lagrar relativt ursprunglig data (rå-data) för att senare behandla denna. Ett sådant förfarande innebär att man vid förbättringar och nyvunnen kunskap kan göra korrigeringar av äldre data.

Typen av cykel, cykeldäck, däcktryck och cyklistens vikt är andra parametrar som sannolikt har betydelse för val av gränsvärden och tolkning av mätresultaten. Därtill

kommer ställningstaganden om vilken typ av cyklist som beskrivningen av färdkvalitet ska gälla för. Det kan finnas skillnader i upplevelsen mellan män och kvinnor, yngre och äldre etc. utöver skillnader i hastighet och typ av cykel. Antingen får olika gränsvärden tas fram för olika typer av cyklister eller så behöver en ”normalcyklist” definieras för beskrivningen av färdkvaliteten. Ett annat alternativ är att välja att definiera gränsvärden för färdkvalitet efter den cyklist/cykel som är mest känslig för ojämnheter – exempelvis en äldre man i hög hastighet på en racercykel.

En hel del frågeställningar behöver besvaras för att kunna göra mer precisa beskrivningar på denna detaljeringsnivå. I dagsläget får vi vid presentation och tolkning av mätresultaten tydligt ange vilken cykel, telefon och hastighet som använts vid mättillfället och beskriva osäkerheterna i mått och mätmetod. Noggrannheten och detaljeringsnivån beror på syftet med mätningen och i dagsläget räcker det troligtvis med ganska grova skattningar av färdkvaliteten. Detta diskuteras vidare i följande avsnitt, 6.2.

6.2 Olika mätmetoders tillämpning vid jämnhetsmätning på cykelvägar

Det finns idag ett antal olika typer av mätsystem för jämnhetsmätning på cykelvägar. Då nya tekniker och tjänster ständigt erbjuds är det viktigt att veta vilken kvalitet man kan förvänta sig vid vägytemätning med olika metoder och utrustningar. I Tabell 5 görs en enkel jämförelse mellan olika principer av mätsystem och några av deras för- och nackdelar.

Tabell 5 Några för- och nackdelar med olika typer av mätsystem för jämnhetsmätning på cykelvägar.

Mätmetod	Fördel	Nackdel
Profilometer	Möjlig att standardisera, känd kvalitet, robust data till långsiktiga planeringssystem, hastighetsberoende, väl definierat våglängdspektra. Mätdata kan sparas och resultaten utvärderas allteftersom en responsmodell för cykel utvecklas vidare.	Dyr, liten tillgång till utrustningar, utrustning kan vara för stor för smidig mätning på cykelvägar.
Utrustning med accelerometer	Enkel och relativt billig	Beroende av noggrann kalibrering, hastighetsberoende
Smarttelefon, t.ex. VTI-appen	Masstillgång (billig), möjlighet till crowdsourcing, tillgång till många sensorer inklusive gps-positionering och 3G/4G-kommunikation	Beroende av telefonmodell, operativsystem och version, hastighetsberoende, kräver noggrann kalibrering

Med anledning av att olika mätsystem genererar så olika resultat, är det viktigt att vid varje mätning noggrant redovisa vilken metod som använts, vad man mätt och vad det säger, vilken osäkerhet som resultaten har, vilka slutsatser man kan dra från det och framförallt vad man inte kan säga.

Syftet med mätningen styr naturligtvis vilken typ av metod eller utrustning man bör använda sig av vid olika tillfällen. Enklare och billigare metoder kan med fördel användas om målsättningen endast är att hitta delsträckor som är relativt ojämna i förhållande till andra delsträckor. För att få mer exakta och detaljerade resultat behövs emellertid en metod och utrustning som kan leverera data till hög kvalitet med god tillförlitlighet. Det kan exempelvis behövas om målsättningen är att studera effekt-samband eller beskriva hur det funktionella tillståndet förändras över tiden eller till följd av en belägningsåtgärd etc. I dessa fall är i dagsläget profilometermätning att föredra. För jämnhetsmätning på cykelvägar är det dock viktigt att profilometermätningen då omfattar ojämnheter i våglängdsområdet mellan 5 cm och 0,5 meter, dvs. megatexturen, eftersom det tycks vara dessa ojämnheter som har störst betydelse för cyklisterens upplevda färdkvalitet (se avsnitt 5.3).

Oavsett vilken mätmetod som används kvarstår problemet med tolkning av mätresultaten, vilket beskrevs i föregående avsnitt. De fältmätningar som genomförts i det här projektet kan bidra till en vidareutveckling av mått och mätmetoder för att beskriva cyklisterens färdkvalitet. Men, som sagt, fler studier och större datamängder skulle behövas för en mer korrekt beskrivning som också tar hänsyn till typ av cyklist, hastighet etc.

6.3 VTI-appens förbättringspotential och användning

Man ska komma ihåg att VTI-appen är utvecklad för att användas i forsknings-sammanhang. Därför sker en ganska omfattande lagring av en stor mängd data vid mätningen vilket möjliggör åtskilliga analyser och att data kan hanteras på ett flexibelt sätt allteftersom ny kunskap förvärfas. Det till VTI-appen tillhörande analys-programmet *Readsensors* är utvecklat för att bearbeta datat i efterhand. I ett produktionsläge skulle man vilja optimera programkoden (VTI-appen) som används i smarttelefonen att endast utföra önskade funktioner och sända data i realtid via 3G/4G till mottagaren av data. Detta kräver dock att man har fastställt alla beroende parametrar: cykeltyp, hastighet osv. Enligt resonemanget i avsnitt 6.1 bör VTI-appen då kompletteras med en funktion där cykel, cykeldäck, cyklist etc. kan registreras och mätresultaten normeras för detta och även för cyklad hastighet och typ av telefon.

I analysprogrammet *Readsensors* görs redan en automatisk korrektion för hastigheten, för att göra mätmetoden hastighetsoberoende (se bilaga 5). Den korrigering som görs är emellertid framtagen experimentellt utifrån empiriska data insamlat i RST-bilen (genom ett visst laborerande med olika algoritmer och parametrar) och korrigeringen behöver anpassas efter mätfordonet – i detta fall en cykel. Ett problem är att det behövs ett ”standardmått” att göra korrigeringen emot. För jämnhetsmätning på bilvägar kan man göra korrigeringen av hastigheten för att få mätvärdena att överensstämma med mätning av IRI, vilket är ett standardiserat och väletablerat mått för bilvägar (t.ex. Shafizadeh, 2002). För cykelvägar finns ännu inget sådant standardmått och därför har vi inget ”facit” att förhålla oss till vid en experimentell korrigering. Eftersom målet är att VTI-appen ska beskriva cyklisterens komfortupplevelse, är det bästa att låta cyklist-utvärderingar liknande den vi genomförde på Campus Linköping utgöra ”facit”. Vår studie ger oss underlag för att kunna göra en första ansats till nödvändiga korrigeringar, men fler och mer omfattande cyklistutvärderingar behövs för en större noggrannhet.

Under arbetet med analyserna har vi också kunnat konstatera att programkoden i appen är onödigt komplicerad och bör förenklas.

Resultaten från mätningarna i projektet visar att de olika telefonerna som testades gav olika kvalitet på resultaten. Detta kan ha flera orsaker. Ofta används samma komponent i olika telefonmärken, t.ex. ett accelerometerchip, men hanteringen i avläsning och prioritering hos operativsystemet kan ge skillnader i avläst data. Vi har använt en generell app för våra avläsningar utan att optimera för olika telefonmodeller. Något vi kunnat konstatera är att kvaliteten på telefonernas gps-positionering är betydelsefull och styr noggrannheten och kvaliteten på mätresultaten från VTI-appen. Varje telefon är utrustad med en antenn för gps-mottagning. Denna är monterad under telefonens skal och på olika vis i olika telefoner. Undersökningar har visat att detta påverkar mottagningsstyrkan och därmed kvaliteten i gps-mottagningen (Zandbergen och Barbeau, 2011). Gps-tekniken kommer med all säkerhet bli allt bättre i nya telefoner. En viktig utveckling av metoden handlar om att bättre synkronisera registrerade accelerationsvärden med de relativt glesa gps-positionerna eftersom samplingshastigheterna för dessa skiljer sig åt.

Med anledning av svårigheterna att vid vissa tillfällen kunna starta mätningen med appen, kan det finnas en vits att kunna frikoppla accelerationsmätningen från gps-positioneringen. Det skulle göra det möjligt att mäta även där och då det inte finns någon gps-mottagning. Mätdata kan då inte positioneras och därmed inte presenteras lika illustrativt på en kartbild, vilket naturligtvis är en nackdel, men kan i vissa fall vara ett bättre alternativ än att inte alls kunna genomföra någon mätning.

I samband med fältmätningarna på Campusområdet i Linköping kunde vi se att de uppmätta accelerationsvärdena, på en och samma sträcka, varierade från en mätning till en annan. Förutom skillnader i hastighet tror vi att den främsta förklaringen är skillnader i sidoläge, dvs. att cyklisterna cyklat i "olika spår" över ytorna. På ojämna ytor kan skillnaden i sidoläge ha stor betydelse för färdkvaliteten. Detta innebär ett problem vid "crowdsourcing" då man inte vet och kan styra hur cyklisterna cyklar över en yta. Det är exempelvis troligt att de flesta cyklister väljer att väja för enstaka ojämnheter som brunnsock, potthål och liknande – förutsett att de hinner upptäcka dessa. Ojämnheter som täcker hela cykelvägens bredd, som kantstenar, avgrävda cykelvägar eller lappningar och lagningar kan fångas i mätningen, medan andra enstaka ojämnheter sannolikt inte kommer att göra det. Även mindre ojämnheter som sträcker sig över hela bredden kan missas i en mätning genom att de "försvinner" i medelvärdesbildningen.

För att registrera skador i beläggningen i form av enstaka ojämnheter, behöver mätresultaten alltså kompletteras med en annan typ av registrering och/eller en analys av de insamlade fotografierna. En idé är att komplettera systemet med en funktion för att fånga även den laterala accelerationen. I studier gjorda inom EU-projektet INTRO, där vanliga privatbilar användes för att försöka detektera potthål, konstaterades att den laterala accelerationen korrelerade bättre än den vertikala mot förekomsten av potthål (Benbow, 2008). Förklaringen är att trafikanten undviker att köra över ett potthål och väjningen ger då upphov till en lateral acceleration.

En förutsättning för en vidare användning av VTI-appen för jämnhetsmätning på cykelvägar är att ha hållare till mobiltelefonen av god kvalitet. Annars är risken stor att telefonen ramlar av eller att de uppmätta accelerationerna till stor del motsvaras av vibrationer i hållaren snarare än i cykeln. Inför våra fältförsök tillverkade vi några egna hållare i stål som fungerade bra men köpte också in hållare i plast som visade sig vara för vea. Finns en risk att telefonen ramlar i backen och går sönder, minskar naturligtvis intresset för en frivillig användning och med det möjligheterna till "crowdsourcing".

Vi har valt hållare där man monterar telefonen på styret och där man kan vrida telefonen till horisontellt läge. Fördelen med det är att det förenklar hanteringen, att cyklisten hela tiden kan se telefonen när han/hon cyklar och att det blir en bra kvalitet på fotografierna. Samtidigt vet vi att det är större vibrationer i cykelstyret än exempelvis i sadeln (Nilimaa, 2009). I princip alla mobilhållare för cykel som finns på marknaden är för montering på styret. En hållare som istället fästes exempelvis direkt på ramen skulle troligtvis orsaka mindre vibrationer i telefonen med mindre risk att telefonen ramlar av. Då en annan placering av telefonen innebär skillnader i uppmätta vibrationsnivåer behöver gränsvärdena därmed justeras i enlighet med ändrade förutsättningar.

Summa summarum kan vi konstatera att det finns för många osäkerheter i mätningen med VTI-appen, som gör att vi i dagsläget inte kan rekommendera den för ”crowdsourcing”. Dessutom kan VTI-appen för tillfället endast användas i en android-telefon och inte i I-phone, vilket också begränsar möjligheten att rekrytera vardagscyklister för datainsamling.

Genom att komplettera VTI-appen med ett anmälningssystem liknande Cykelfrämjandets ”Cykelrapporten” (cykelrapporten.se), skulle cyklisterna själva kunna tillföra ytterligare information till väghållaren om vad som behöver åtgärdas längs cykelvägarna. Mest intressant vore det nog med ett rapporteringssystem där cyklisten slipper stanna och knappa in uppgifter på telefonen, exempelvis med hjälp av en automatisk inspelningsfunktion för muntlig rapportering under färd. För jämnhetsmätningens skull är det också bra om man kan minimera antalet stopp.

6.4 Möjligheten att kombinera VTI-appen med BikeRoute

I en framtid är det fullt möjligt att kombinera BikeRoute-appen som registrerar en cyklists val av färdväg och mäter hastigheter på olika sträckor med VTI-appen för att också mäta ojämnheter på cykelvägarna. Förutom att jämnhetsdata skulle vara ett värdefullt komplement till de data som BikeRoute samlar in, ger de foton som VTI-appen automatiskt tar också viktig information. Fotona visar inte bara vägytan utan även faktorer i omgivningen som kan ha betydelse för cyklisters komfort, framkomlighet och säkerhet. En hel del praktikaliteter behöver emellertid lösas innan det är möjligt att kombinera de båda systemen.

Exempelvis behöver programkoden som används i smarttelefonen (VTI-appen) optimeras att endast utföra önskade funktioner och sända data i realtid via 3G/4G till användaren. Då minskar behovet av lagringsutrymme i telefonen, vilket annars skulle kunna vara en begränsande faktor. Problem relaterade till batterikapaciteten kan emellertid kvarstå, eftersom gps-mottagning samtidigt med bildtagning är batterikrävande.

För användarna är det naturligtvis en fördel om samtliga funktioner finns samlat i en och samma mobilapp. Annars måste cyklisten starta två system innan han/hon börjar sin cykeltur, vilket alla antagligen inte är beredda att göra. Även om systemen kombineras i samma mobilapp, kan kombinationen innebära att det tar lång tid att starta upp appen, vilket sannolikt minskar intresset av att använda den. En cyklist som rekryterats specifikt för att göra mätningar har kanske det tålamodet, medan möjligheten till crowdsourcing kan gå förlorad. Genom att göra det möjligt att ändra inställningarna i BikeRoute-appen med exempelvis jämnhetsmätning som tillval, blir systemet mer flexibelt men kanske också mer komplicerat vilket kan inverka menligt på användningen.

6.5 Förbättring av försöksupplägget

De fältmätningar vi genomfört i det här projektet har resulterat i en del viktiga erfarenheter som gör att vi kan förbättra försöksupplägget i eventuella likande studier framöver.

Hastighetens inverkan på de uppmätta accelerationsvärdena innebär att vi vid en liknande cyklistutvärdering framöver, bör uppmana cyklisterna att cykla flera varv och i två märkbart olika hastigheter. Det kan också vara värdefullt att mäta cykelhastigheten mer noggrant, med en cykeldator eller liknande. Med mer detaljerad kunskap om hur hastigheten påverkar den uppmätta accelerationen, får vi underlag för att göra en justering av algoritmen i analysprogrammet till VTI-appen *Readsensors* för att få fram hastighetsoberoende mätresultat.

Strax innan några av teststräckorna vid Campus Linköping, behövde cyklisterna ändra riktning, eller stördes av annat vilket kan ha påverkat mätresultaten. Det hade varit bra med en ”frizon” på minst 10 meters före och efter varje teststräcka, utan svängar och andra störningar. Dessutom var transportsträckorna mellan teststräckorna i vissa fall väl korta – så korta att testcyklisterna vid bedömningsrundan antagligen inte hann få upp farten till nästa sträcka att bedöma. Det kan ha påverkat bedömningen och till nästa gång bör vi sträva efter att ha längre avstånd mellan teststräckorna. Det är emellertid inte bra med för långa transportsträckor eftersom det försvårar cyklisternas relativa bedömning av olika sträckor.

Vid större försök med många testcyklister vore det värdefullt att dela upp dem i grupper med olika ordning på teststräckorna. Exempelvis hade det varit intressant att se hur de två plattytorna bedömts relativt varandra. Ett sådant upplägg gör emellertid analyserna av resultaten något mer komplicerade, eftersom det blir fler parametrar att ta hänsyn till.

Det visade sig vara en fördel att instruktionerna skickats ut i förväg: några hade med sig en redan ifylld enkät och någon hade till och med rekognoserat slingan innan de cyklade. Tidplanen för fältförsöken var dock alltför optimistisk. Det behövs gott om tid till att ge noggranna muntliga instruktioner innan de första cyklisterna släpps iväg, för att undvika missförstånd. Dessutom behövs ordentligt med tid mellan cyklisterna för att ha större marginaler för utrustning som krånglar eller andra oförutsedda händelser. Det hade varit en fördel om alla hunnit cykla eller promenera slingan innan mätning så att de cyklat rätt väg direkt. Den markering i marken som användes för att visa vägen var inte tillräckligt skarp och mot slutet av försöket var det svårt att se de markerade strecken. De hade nöttts eller regnat bort och under eftermiddagen var det andra ljusförhållanden som gjorde dem ännu svårare att se.

6.6 Val av beläggning på cykelbanor

Resultaten från cyklistutvärderingen visade att ytan av små betongplattor – med ett skarvavstånd på 10 cm, var den som cyklisterna upplevde som mest obehaglig att cykla över, medan ytor av asfalt erbjöd den bästa färdkvaliteten. Intressant i sammanhanget är att på Campusområdet är ytan med de små betongplattorna avsedd som cykelbana. Ytan med de större betongplattorna – med ett skarvavstånd på 60 cm – som testcyklisterna upplevde som mer behaglig att cykla över, är däremot avsedd som gångbana. Med hänsyn till cyklisternas färdkvalitet borde cykelbanan byta plats med gångbanan.

Vi vet inte om det varit ett medvetet val att erbjuda cyklisterna den mest ojämna ytan – kanske i syfte att sänka cyklisternas hastighet i området. I ett område med mycket gång- och cykeltrafik i olika riktningar, kan det vara idé att välja en sådan yta som upplevs

mer obekväma för cyklisterna, eftersom det kan leda till en sänkt hastighet. I jämförelse med gupp och avsmalningar är det ett relativt snällt och säkert sätt att få till en hastighetsdämpande effekten är. Det finns även en risk att cyklisternas uppmärksamhet påverkas negativt av en sådan yta och då uteblir den tänkta säkerhetsvinsten. Det ska tilläggas att många cyklister i området väljer att cykla på gångbanan istället, vilket naturligtvis inte är önskvärt och inte heller främjar säkerheten.



Figur 19 Plattsatta ytor på Campus Linköping, där cyklisterna väljer att cykla på gångbanan med de större plattorna än på cykelbanan med de mindre plattorna. Foto: Göran Blomqvist, VTI.

Med tanke på cyklisternas säkerhet är det i regel mycket viktigt med en jämn yta och att beläggningens struktur och friktion inte plötsligt ändras, vilket kan leda till att cyklisterna kör omkull. Ungefär 8 procent av alla allvarligt skadade cyklister i singelolyckor, kan relateras till ojämnheter i ytan och 37 procent till sänkt friktion (Niska och Eriksson, 2013). Med en ökad användning av elcyklar kommer medelhastigheterna på cykelvägarna att öka och därmed även kraven på infrastrukturen (Koucky och Ljungblad, 2012).

7 Slutsatser

Då nya tekniker och tjänster ständigt erbjuds är det viktigt att veta vilken kvalitet man kan förvänta sig vid vägytemätning med olika metoder och utrustningar. Generellt kan man säga att en smarttelefon med alla sina sensorer kopplat till positionering via gps, kamerafunktion och kommunikation verkligen lockar till att användas som mätinstrument. Vår undersökning visar på hur enkelt det är att komma igång och samla in positionerad data inklusive bilder. På en ganska kort tid har vi med hjälp av en egenutvecklad mobilapp (VTI-appen) samlat in data från många mil cykelvägar. Frågan är dock med vilken tillförlitlighet data kan samlas in och hur data ska tolkas.

Utifrån mätresultaten från våra fältförsök, drar vi följande slutsatser vad gäller VTI-appens repeterbarhet:

- olika telefoner ger olika kvalitet på mätresultaten, troligtvis främst på grund av skillnader i kvaliteten på gps-positioneringen
- repeterbarheten är god med avseende på att identifiera delsträckor med sämre komfort
- repeterbarheten är mindre god med avseende på de exakta accelerationsvärdena
 - högre hastigheter ger högre accelerationsvärden
 - andra faktorer relaterade till cykeln, cyklisten och trafiksituationen kan påverka mätvärdena liksom mobiltelefonhållarens stabilitet.

Ovanstående slutsatser gäller troligtvis generellt, dvs. även för andra mätsystem som använder sig av funktioner i smarttelefoner för jämnhetsmätning. Eftersom data är unik för varje färd som mäts och egentligen endast gäller för det mättillfället, är det viktigt att vid varje mätning noggrant ange under vilka förutsättningar data samlats in.

Metoden att mäta jämnheten med hjälp av en app i en smarttelefon fungerar bra för en första indikation om vilka sträckor som med hänsyn till cyklisters färdkvalitet kan behöva åtgärdas. För mer detaljerade mätningar behöver metoden göras mer reproducerbar dvs. göra den mer repeterbar oavsett mobiltelefon, cykel, cyklist eller färdhastighet. Är syftet med mätningen att studera effektsamband eller nedbrytning behövs exakta och detaljerade mätdata, vilket kräver en metod och utrustning som kan leverera objektiva data till en hög kvalitet med god tillförlitlighet. I dagsläget är då profilometermätning att föredra, men bör då inkludera mätning av megatexturen, dvs. ojämnheter i våglängdsområdet mellan 5 cm och 0,5 meter. Våra fältstudier har bekräftat tidigare antaganden om att det är just dessa ojämnheter som skapar störst obehag för cyklister och att IRI (International Roughness Index) inte är ett bra mått för att beskriva cyklisters färdkvalitet.

Med hänsyn till cyklisternas färdkvalitet borde beläggningar som ger upphov till ojämnheter inom megatexturområdet, exempelvis plattor och gatstenar, inte användas på cykelbanor. Då cyklisterna gärna undviker obekväma ytor kanske de istället väljer att cykla på mindre lämpliga ytor t.ex. gångbanan, vilket kan leda till konflikter.

I jämförelse med de standardmått för objektiv tillståndsbedömning av bilväggytor, som IRI och textur, ger VTI-appen bättre eller minst lika bra överensstämmelse med cyklisternas subjektiva bedömning av färdkvaliteten. I jämförelse med de mått som lasermätning med VTI:s RST-bil genererar, överensstämmer den med VTI-appen uppmätta accelerationen bäst med megatexturen och med RMS-värdet.

För att tolka och presentera mätresultaten från en mätning med VTI-appen (i en Samsung III-telefon) föreslår vi följande gränsvärden för olika kvalitetsnivåer:

- ”Röd nivå” = accelerationsvärden över 0,75
- ”Gul nivå” = accelerationsvärden mellan 0,5 och 0,75
- ”Grön nivå” = accelerationsvärden under 0,5.

Med hjälp av dessa gränsvärden kan mätvärden exempelvis presenteras på en kartbild (se Figur 12) för att ge en översiktlig bild av var det finns ojämna sträckor som kan behöva åtgärdas. Gränsvärdena kan behöva justeras för att ta hänsyn till skillnader mellan olika typer av cyklar och olika cyklisters preferenser, men då behövs kompletterande mätningar i större omfattningen än vad som varit möjligt i detta projekt.

I dagsläget går det inte att få tillräckligt tillförlitligt resultat med VTI-appen för att möjliggöra ”crowdsourcing”. De uppmätta accelerationsvärdena kan variera ganska mycket beroende på följande parametrar:

- cyklistens hastighet
- typ av mobiltelefon
- egenskaper hos cykeln som styvhet, dämpning, däcktyp och däcktryck
- mobiltelefonhållarens stabilitet och montering
- trafikmängd på sträckan vid mättillfället: Behov av att väja för andra trafikanter
- skillnad i sidoläge – vissa cyklisterna undviker enstaka ojämnheter som brunnslock, potthål och liknande.

De tre första parametrarna finns viss möjlighet att korrigera för i analysprogrammet som är kopplat till VTI-appen, medan övriga parametrar är svårare att hantera. För att kunna korrigera algoritmer och parametrar i analysprogrammet med hänsyn till skillnader i hastigheter och typ av mobiltelefon, krävs dock bättre kunskap om hur mycket accelerationsvärdena påverkas av detta. Genom att komplettera systemet med en funktion som även fångar den laterala accelerationen, skulle det antagligen vara möjligt att också identifiera enstaka ojämnheter som cyklisterna undviker.

I en framtid är det fullt möjligt att kombinera BikeRoute-appen som registrerar en cyklists val av färdväg och mäter hastigheter på olika sträckor med VTI-appen för att också mäta ojämnheter på cykelvägarna.

8 Fortsatt forskning

Det behövs fler och mer omfattande studier med cyklistutvärderingar av det slag som genomförts i detta projekt och i Niska, Sjögren och Gustafsson (2011) för att få en ökad kunskap om hur cyklisters färdkvalitet påverkas av olika faktorer. Hastighetens inverkan på de uppmätta accelerationsvärdena innebär att vi vid liknande utvärderingar framöver, bör uppmana cyklisterna att cykla flera varv och i märkbart olika hastigheter. Det kan då vara värdefullt att mäta cykelhastigheten mer noggrant, med en cykeldator eller liknande. Dessa studier skulle då också omfatta olika typer av cyklister med en variation i ålder, kön, cykelvana och cykelhastighet för att fånga skillnader i preferenser. I sådana studier skulle det också vara intressant med ett brett spektrum av cyklar, där sittposition, cykelns stabilitet och däckens utformning är sådant som kan tänkas påverka komfortupplevelsen. I studierna bör flera olika ytor ingå med ojämnheter i olika våglängdsområden, förslagsvis plattlagda ytor med olika skarvavstånd. Det skulle kunna ge en tydligare bild av hur cyklisters färdkvalitet påverkas av intermittenta vibrationer i förhållande till mer jämnt återkommande vibrationer som uppstår i cykeln vid passage över olika ytor.

För att objektivt bedöma olika metoders förbättringspotential och tillämpbarhet för jämnhetsmätning på cykelvägar, skulle det vara värdefullt med en större och mer långsiktig forskningsansats där flera parter deltar: produktutvecklare, mätutförare, väghållare, forskare och cykelorganisationer. Rekommendationer kan då tas fram för vilka mätningar som ska användas vid vilket tillfälle. Specifikationer för utrustningar skulle kunna tas fram och man skulle gemensamt kunna besluta hur data ska tolkas, vilka gränsvärden som ska vara gällande, hur enstaka stötar ska hanteras i förhållande till mer återkommande vibrationer etc. Utan ett helhetsgrepp finns en risk att ett mängd olika mätningar genomförs som inte är jämförbara och där tolkningen av resultaten är oklara. Det är framförallt viktigt att relatera mätmetodernas resultat till cyklisternas komfortupplevelse.

I tillägg till att endast studera det vi kallat färdkvalitet, dvs. den del av komforten som kan hänföras till vägytan, är det viktigt att få en ökad kunskap om annat som påverkar cyklisters komfortupplevelse. Förutom upplevelsen av säkerhet som kan relateras till trafiksituation finns en mängd andra parametrar som troligtvis har betydelse för komfortupplevelsen såsom riktningsändringar, höjdskillnader, buller, luftkvalitet och omgivande miljö. Med målsättningen att främja ett ökat cyklande är det viktigt att veta vad som kan öka cyklingens attraktionskraft, där komforten är en viktig del.

Referenser

Litteratur

- Benbow, E., Wright A., Wright D. och Sjögren L. (2008), Deliverable 3.1 **Demonstration of Methods for the Measurement of Condition using Probe Vehicles**, Intelligent Roads, INTRO project, European Commission within the Sixth Framework Programme 2008.
- Cairney, P. och King, K. (2003). **Development of a performance based specification for a major bicycle facility**. *Research Report ARR 358*. ARRB Transport Research Ltd. Vermont South, Victoria, Australia.
- Eriksson, J., Girod, L., Hull, B., Newton, R., Madden, S. and Balakrishnan, H. (2008). **The pothole patrol: using a mobile sensor network for road surface monitoring**. Proceeding of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services, ser. MobiSys '08. New York, NY, USA: ACM.
- Erlandsson, J. (2012). **Evaluation of performance of a smartphone application for measuring bike paths' condition**. Thesis, LIU-IDA/STAT-A--13/006—SE, Linköping University. Linköping.
- Faskunger, J., Forward, S., Koucky, M. och Envall, P. (2012). **CyCity: Utmaningar för cykelvänligare städer och regioner**. CyCity slutrapport inom Programaktivitet 1 (PA1). Rapportversion 2012-08-21. Ej publicerad.
- Li, H., Harvey, J., Wu, R., Thigpen, C., Louw, S., Chen, Z., Lea, J., Jones, D. and Rezaie, A. (2013). **Preliminary Results: Measurement of Macrottexture on Surface Treatments and Survey of Bicyclist Ride Quality on Mon-98 and SLO-1 Test Sections**. University of California, Pavement Research Center. UC Davies, UC Berkeley.
- Ljungberg, C. (1986). **Utformning av cykeltrafikanläggningar – Del 2: Undersökning av olika alternativ**. *BFR rapport R57*. Stockholm.
- Koucky, M. och Ljungblad, H. (2012). **Elcyklar och cykelinfrastrukturen. Kräver elcyklar en förändring i hur vi planerar för cykel?** CyCity, Delprojekt 12. Kocky & Partner. Göteborg.
- Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., Selavo, L. (2011). **Real Time Pothole Detection using Android**. Conference: 2011 7th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)
- Michels, T., ed., (1993). **Cycling in the city, pedalling in the polder. Recent developments in policy and research for bicycle facilities in the Netherlands**. Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering (CROW), the Netherlands.
- Mohan, P., Padmanabhan, V. N., Ramjee, R. (2008). **Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones**, Microsoft Research India, Bangalore.
- Nilimaa, J. (2009). **Cykelbanors komfort och säkerhet. En studie av sambandet mellan cykelbanors profil och de vibrationer som cyklisten utsätts för**. Examensarbete, Luleå tekniska universitet. Luleå.
- Niska, A. (2006). **Cykelvägars drift och underhållsstandard. Intervjuer med 13 cykelkommuner**. *VTI rapport 558*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

- Niska, A. (2007). **Cyklisters syn på cykelvägars standard. Fokusgrupper i Umeå och Linköping.** *VTI rapport 585*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. och Sjögren, L. (2007). **Mätmetoder för tillståndsbedömning av cykelvägar. En kunskapsöversikt.** *VTI rapport 584*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. (2011). **Cykelvägars standard. En kunskapssammanställning med fokus på drift och underhåll.** *VTI rapport 726*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A., Sjögren, L. och Gustafsson, M. (2011). **Jämnhetsmätning på cykelvägar. Utveckling och test av metod för att bedöma cyklisters åkkvalitet baserat på cykelvägens längsprofil.** *VTI rapport 699*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. och Eriksson, J. (2013). **Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling.** *VTI rapport 801*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Nordendahl, E. (1929). **Uppmätning av ojämnheten hos vägars körbanor med s.k. skrovlighetsmätare**, *Meddelande 12*, Svenska väginstitutet. Stockholm.
- Perttunen, M., Mazhelis, O., Cong, F., Kauppila, M., Leppänen, T., Kantola, J., Collin, J., Pirttikangas, S., Haverinen, J., Ristaniemi, T. och Riekkilä, J. (2011). **Distributed road surface condition monitoring using mobile phones.** *Springer-Verlag*. Berlin, Heidelberg.
- Saelensminde, K. (2004). **Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic.** *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(8), 593-606.
- Shafizadeh, K. R., Mannering, F., & Pierce, L. (2002). **A statistical analysis of factors associated with driver-perceived road roughness on urban highways.** *Research Report No. WA-RD 538.1*. Washington State Transportation Center (TRAC).
- Sieling, J. och Moon, K. (2011). **Performance of smartphone on-board accelerometers for recording activity.** Obesity Society 2011 Annual Conference, Orlando, Florida, US.
- Strazdins, G., Mednis, A., Kanonirs, G., Zviedris, R. and Selavo, L. (2011). **Towards Vehicular Sensor Networks with Android Smartphones for Road Surface Monitoring**, CONET'11, CPSWeek'11.
- Taylor and Fairfield (2010). **IntelliBike: condition monitoring of our cycling infrastructure** Bicycle and Motorcycle Dynamics, 2010 Symposium on the Dynamics and Control of Single Track Vehicles, 20 - 22 October 2010, Delft, The Netherlands.
- Trafikverket (2014). **Säkrare cykling. Gemensam strategi för år 2014-2020**, version 1.0. *Trafikverket Publikation 2014:030*. Borlänge.
- Zandbergen, P. A. and Barbeau, S. J. (2011). **Positional Accuracy of Assisted GPS Data from High-Sensitivity GPS-enabled Mobile Phones.** *The Journal of Navigation*, 64, 381-399. The Royal Institute of Navigation.

Webbsidor

Besökta och tillgängliga 1 december 2014:

Roaddroid, <http://www.roadroid.se/>

Rubix, http://rivalsolutions.com/?page_id=29

www.cykelrapporten.se

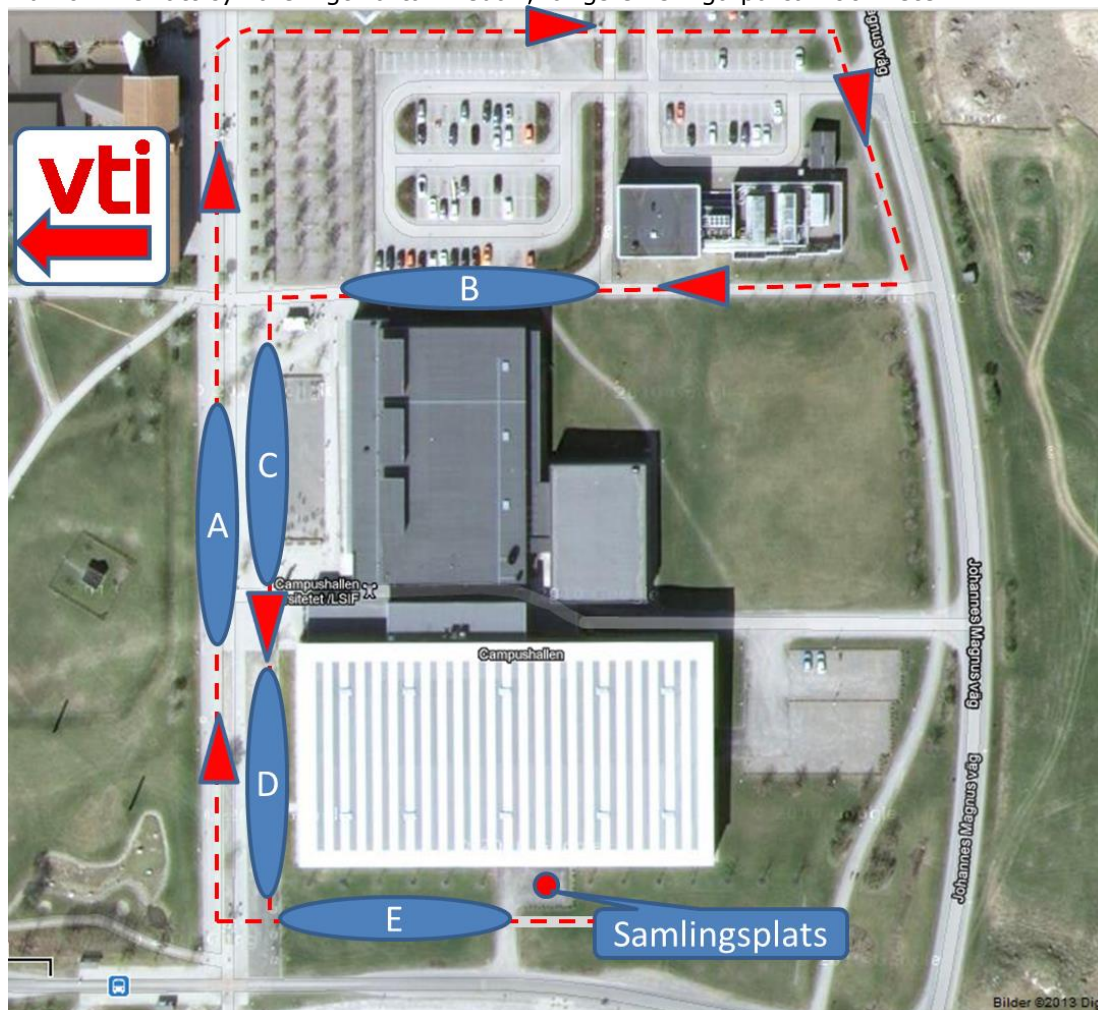
www.bikeroute.se

www.cycity.se

Instruktioner för bedömning av vägytan på cykelvägar

Testslinga Linköpings Universitet

Du kommer att cykla enligt kartan nedan, längs en slinga på ca 700 meter:



Först ska du cykla hela slingan i 3 varv (på andra och tredje varvet fortsätter du mot A, efter D). Sitt ner och cykla i ditt normala tempo och försök hålla en så jämn hastighet som möjligt. Försök också att följa markeringarna så gott det går, utan avvikelser i sidled. Det är särskilt viktigt när du cyklar över de plattsatta ytorna (följ rätt platttrad) och över grusytan. Vi startar mät-appen på telefonerna innan du ger dig iväg.

Efter de 3 varven cyklar du tillbaka till samlingsplatsen till oss så att vi kan stänga av mät-appen. Sedan ska du cykla ytterligare ett varv och göra en bedömning av hur du upplever **vägytan** på de markerade teststräckorna. Utgå ifrån hur det känns att cykla över vägytan. Har vägytan många ojämnheter som gör att du känner skakningar och vibrationer i cykeln, eller upplever du vägytan som slät och fin?

Det finns 5 olika teststräckor om vardera 50 meter, markerade med bokstäverna A till E. Teststräcka E ska du cykla över och bedöma både inledningsvis och som avslutning. En gul triangel markerar var varje teststräcka startar respektive slutar. Cykla på som du normalt gör över teststräckan, men stanna och markera din bedömning i protokollet,

Bilaga 1

Sida 2 (2)

direkt efter att du cyklat över sträckan. **Mellan varje teststräcka** har du en **transportsträcka** på mellan 5 och 350 meter.

Du kommer att göra din bedömning, på en 5-gradig skala, av hur du tycker att **teststräckan** är att cykla på:

☐	☐	☐	☐	☐
Kände inte av några ojämnheter i ytan	Kände ojämnheter, men inget obehag	Något obehaglig	Mycket obehaglig	Oacceptabel

Du kommer också att ombes att, på en 5-gradig skala, försöka jämföra varje **teststräcka** med **teststräckan innan**:

☐	☐	☐	☐	☐
Mycket bättre	Något bättre	Likvärdig	Något sämre	Mycket sämre

Besvara bakgrundsfrågorna nedan innan du börjar cykla:

Bakgrundsfrågor

Id.nr.: E

Fråga 1: ☐ Kvinna ☐ Man

Fråga 2: Vilket år är du född? _____

Fråga 3: Hur mycket väger du? _____ kg

Fråga 4: Hur lång är du? _____ cm

Fråga 5: Hur ofta cyklar du under sommarhalvåret, april-oktober?

☐ 5-7 dagar i veckan ☐ 3-4 dagar i veckan ☐ 1-2 dagar i veckan

☐ Mer sällan än 1 dag i veckan

Fråga 6: Har du körkort för personbil?

☐ Ja ☐ Nej

Fråga 7: Vilka/vilket färdmedel har du tillgång till, för resan till arbetet/skolan?

☐ Bil
☐ Buss
☐ Tåg
☐ Cykel
☐ Annat: _____

Tack för din medverkan!

Beskrivning av utrustning och upplägg vid fältförsöket

Cyklister och cyklar

Medelålder bland testcyklisterna var 43 år, den yngsta var 24 år och den äldsta 60 år. Sex av de 13 testcyklisterna angav att de cyklade fem till sju dagar i veckan, en att hon cyklade tre till fyra dagar i veckan, fyra angav att de cyklade en till två dagar i veckan och två cyklister angav att de cyklade mer sällan än en dag i veckan.



Figur 20 Cyklarna som användes vid utvärderingen av VTI-appen. Herrcykeln, en Crescent, till vänster och damcykeln, en Tunturi She, till höger.



Figur 21 Montering av två olika telefoner på cykelstyret.

Teststräckor

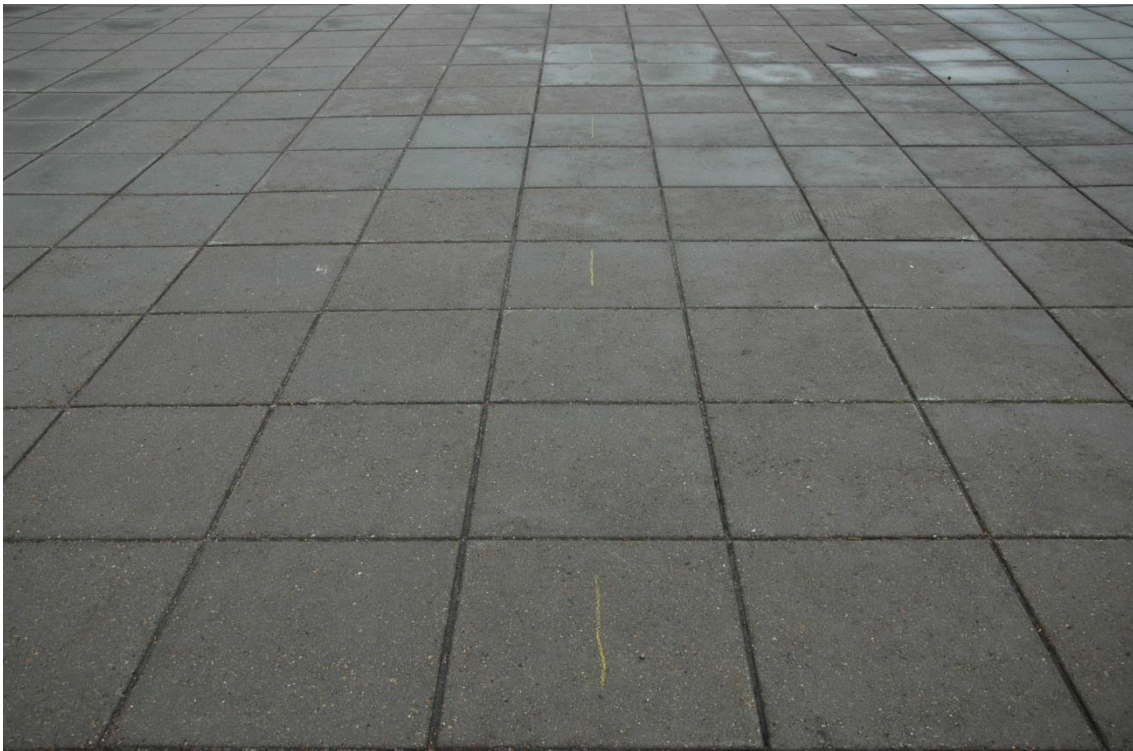
Testslingan på Campusområdet i Linköping (se Figur 4 i avsnitt 3.2.2) uppmättes med ett mätjul och visade sig då vara 678 meter lång. Längs slingan fanns fem olika, utvalda teststräckor om 50 meter vardera. De olika teststräckorna visas i Figur 22 till Figur 26 där man kan se hur de skiljer sig åt med avseende på ytmaterial och ytstruktur.



Figur 22 Teststräcka A: en cykelbana belagd med små betongplattor med ett skarvavstånd på 10 cm.



Figur 23 Teststräcka B: en gång- och cykelväg med en asfaltbeläggning som har ett antal mindre synliga skador.



Figur 24 Teststräcka C: en gångbana belagd med stora betongplattor med ett skarvavstånd på 60 cm.



Figur 25 Teststräcka D: en grusad yta på gångbanans sidoområde.



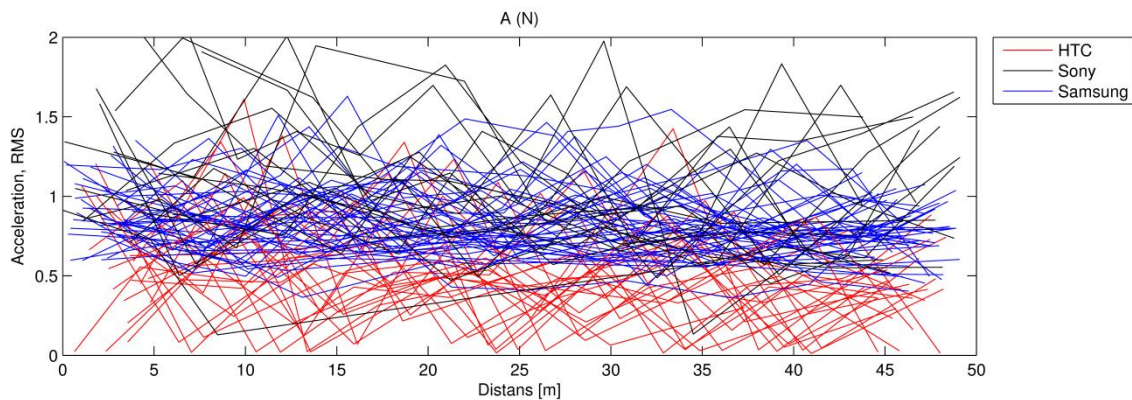
Figur 26 Teststräcka E: en gång- och cykelväg med nylagd asfaltbeläggning utan några synliga ojämnheter eller skador.

Sammanställning av resultat från cyklistutvärderingen

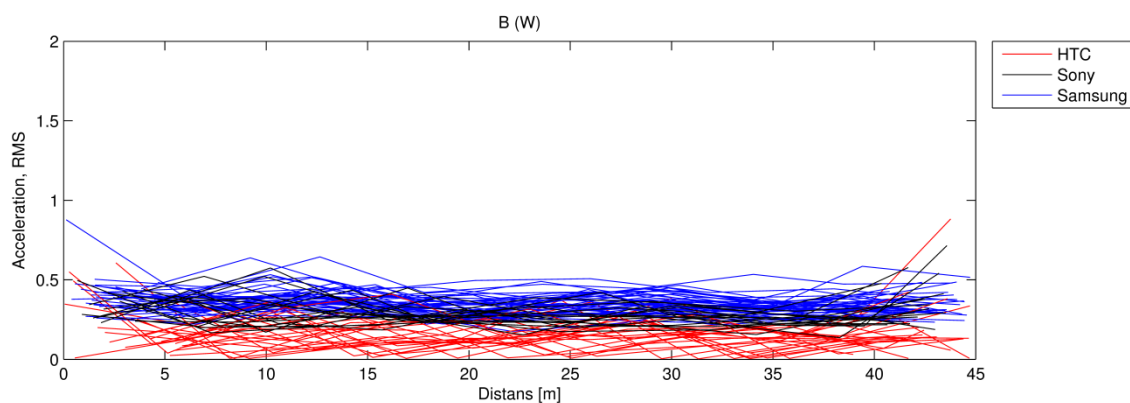
Absolut bedömning							Relativ bedömning						
1 Kände inte av några ojämnheter i ytan							1 Mycket bättre						
2 Kände ojämnheter, men inget obehag							2 Något bättre						
3 Något obehaglig							3 Likvärdig						
4 Mycket obehaglig							4 Något sämre						
5 Oacceptabel							5 Mycket sämre						
Absolut bedömning av sträckan (1-5)							Relativ bedömning av sträckan (1-5)						
Cyklist	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
<i>Män</i>													
1	2	3	1	3	2	2	5	1	5	2	1		
2	1	3	1	2	2	1	5	1	4	3	1		
3	1	4	2	2	2	1	5	1	4	2	1		
4	1	3	1	3	2	1	5	1	4	2	2		
5	1	2	1	2	2	1	4	1	4	3	1		
6	1	5	2	2	2	1	5	1	4	3	1		
<i>Kvinnor</i>													
7	1	3	1	2	2	1	5	1	3	3	3		
8	1	2	1	2	2	1	4	2	4	3	2		
9	1	3	1	3	2	1	5	1	5	2	1		
10	1	3	1	2	2	1	4	1	4	4	1		
11	1	3	1	2	2	1	5	1	4	3	1		
12	1	4	1	2	2	1	5	1	4	3	2		
13	1	4	1	3	2	1	5	1	4	2	1		
Medel:	1,1	3,2	1,2	2,3	2,0	1,1	4,8	1,1	4,1	2,7	1,4		
Mediar	1	3	1	2	2	1	5	1	4	3	1		
Min:	1	2	1	2	2	1	4	1	3	2	1		
Max:	2	5	2	3	2	2	5	2	5	4	3		

Sammanställning av mätresultat med appen

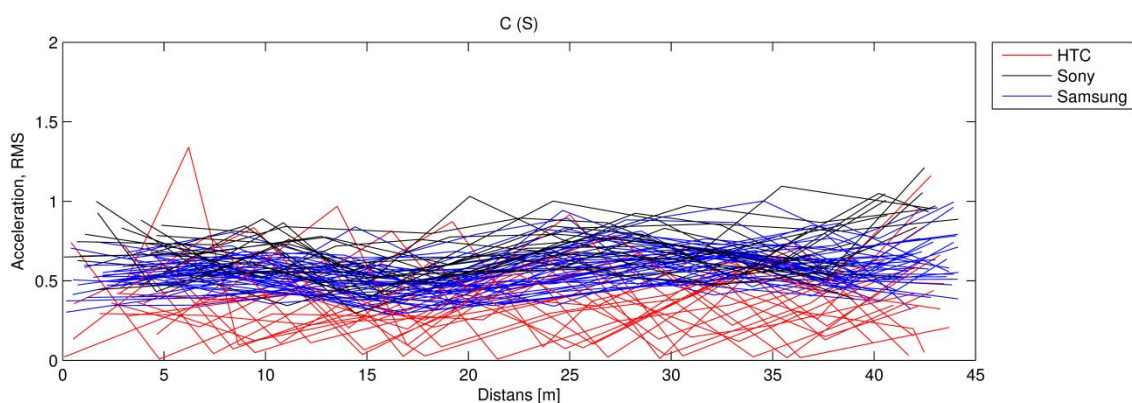
I Figur 27 till Figur 30 nedan visas mätresultaten för samtliga cyklisters mätning på de olika teststräckorna vid Campus i Linköping, med VTI-appen installerad i de tre olika mobiltelefonerna.



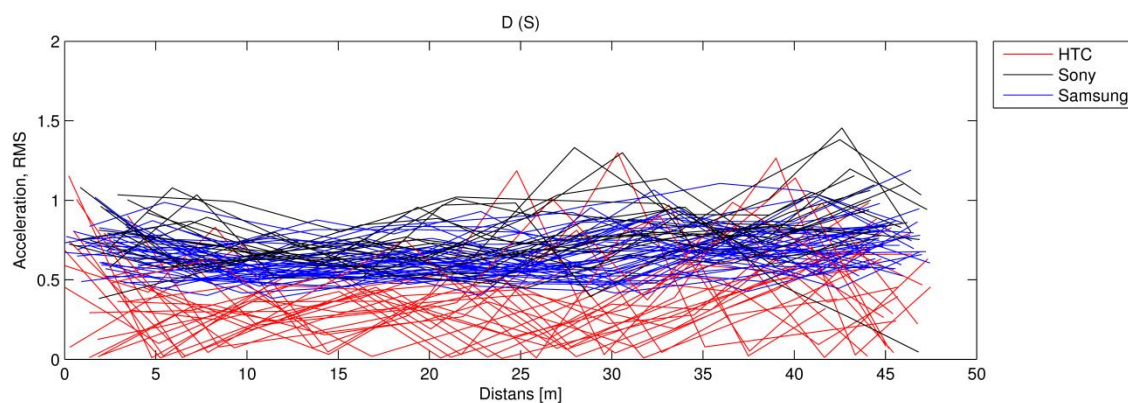
Figur 27 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka A



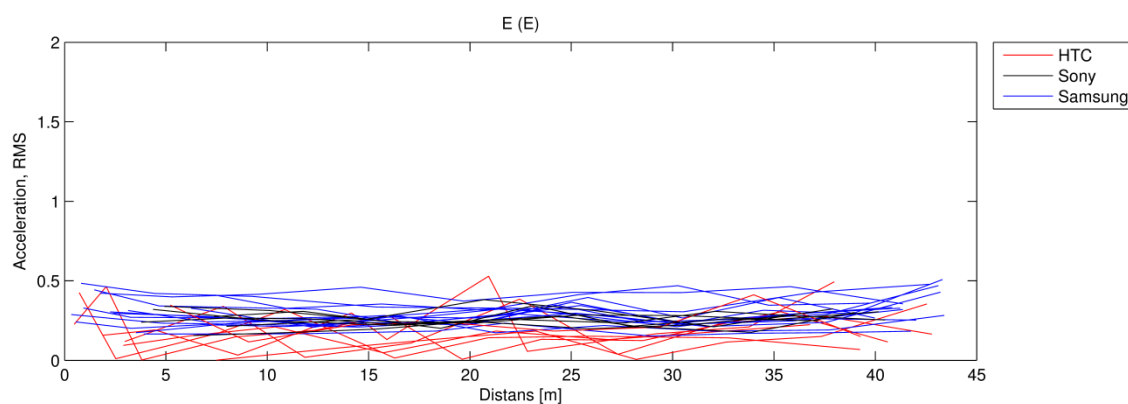
Figur 28 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka B



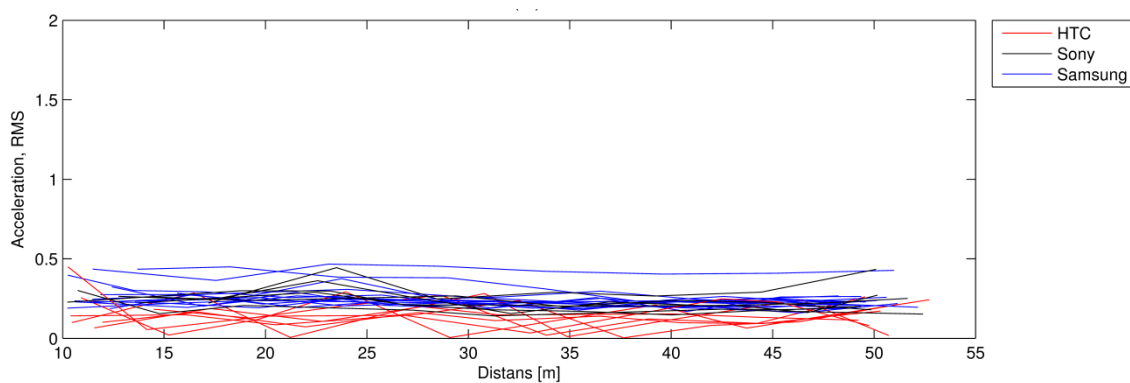
Figur 29 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka C



Figur 30 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka D



Figur 32 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka E, österut



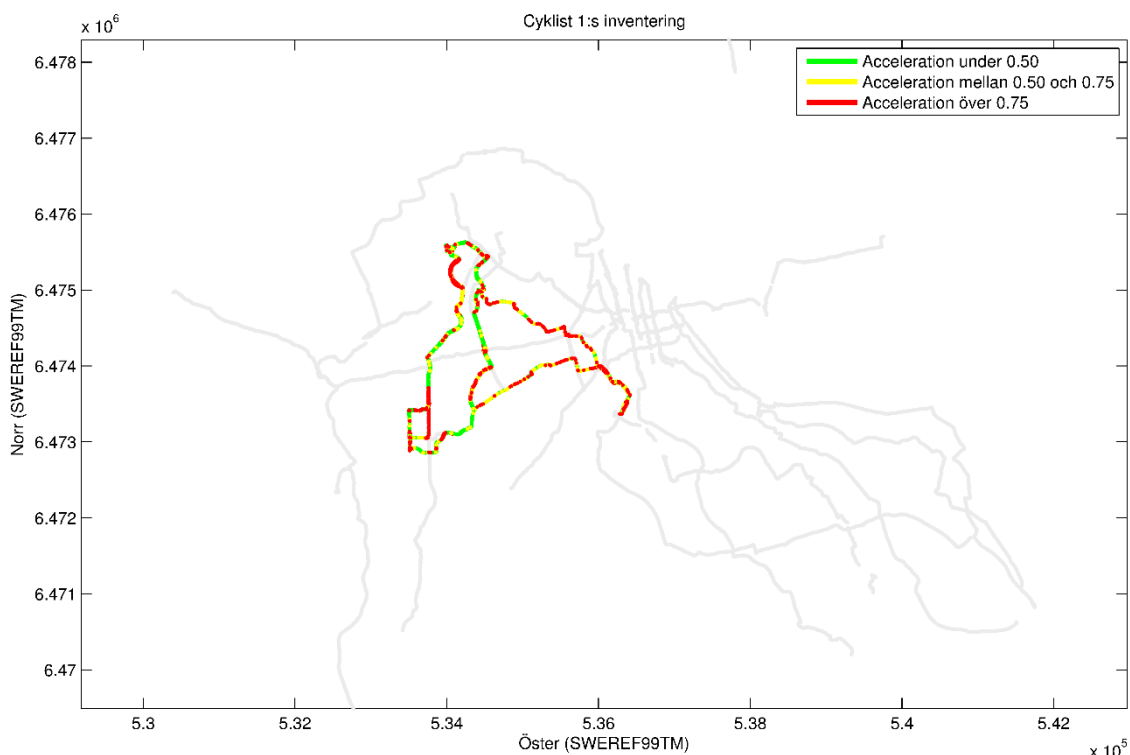
Figur 31 Mätresultat med de olika mobiltelefonerna vid mätning av teststräcka E, västerut

I Figur 33 till Figur 36 som följer visas mätresultaten från de cyklister som samlat in data med VTI-appen under sin "vardagscykling". Resultaten redovisas med avseende på kvalitetsnivåer där vi använt följande gränsvärden:

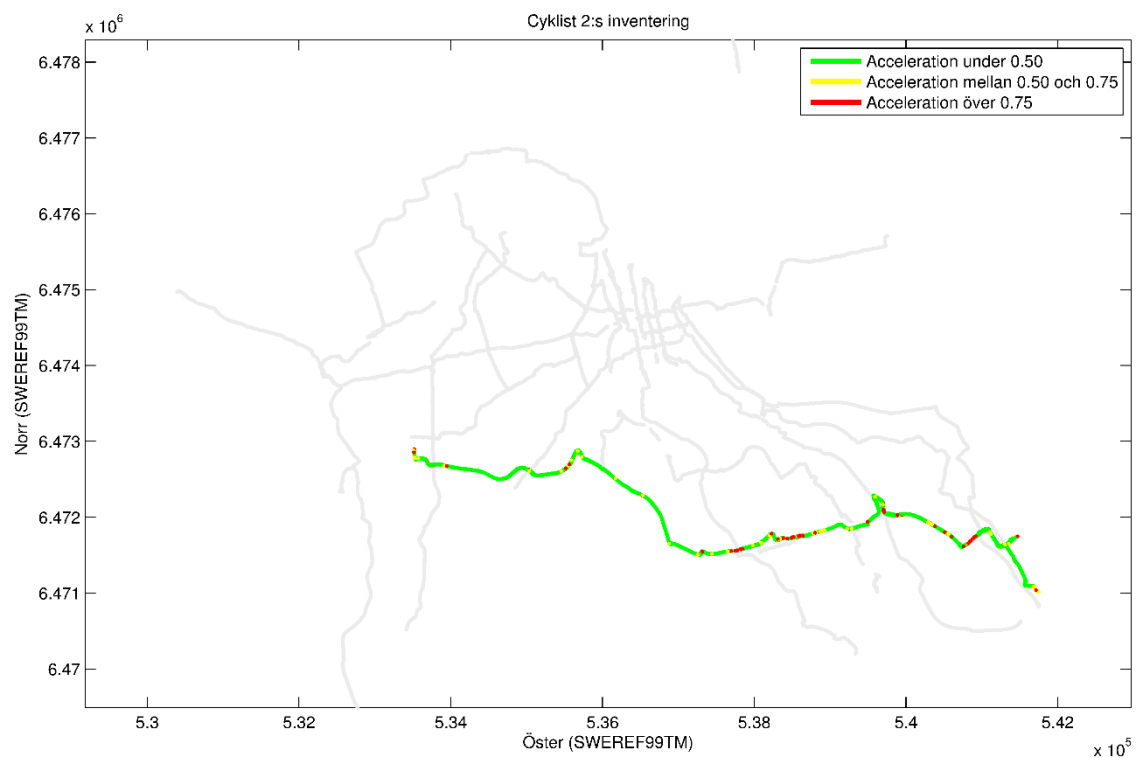
- "Röd nivå" = accelerationsvärden över 0,75

- ”Gul nivå” = accelerationsvärden mellan 0,5 och 0,75
- ”Grön nivå” = accelerationsvärden under 0,5.

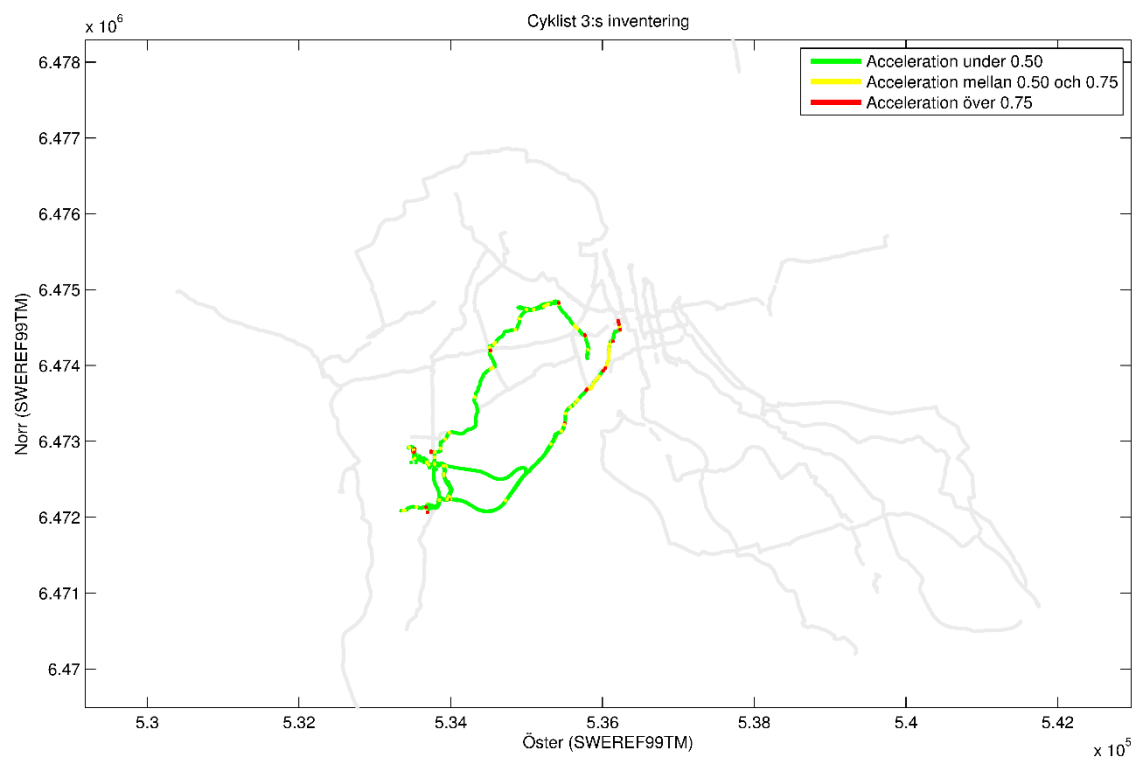
Dessa gränsvärden gäller egentligen endast för accelerationsvärden uppmätta med VTI-appen i en Samsung-telefon. Resultaten från fältförsöken vid Campus visade att Samsung-telefonerna gav i genomsnitt 1,7 gånger högre accelerationsvärden än HTC-telefonerna. Vi har dock i resultatredovisningen i figurerna nedan inte korregerat för typ av mobiltelefon. Cyklisterna 1 och 4 har mätt med en Samsung SIII, medan cyklisterna 2 och 3 har mätt med en HTC Desire. Den stora andel röda sträckor som kan ses för cyklist 1 (Figur 33) kan troligtvis delvis förklaras av hastigheten - vi vet att cyklist 1 cyklade relativt fort och högre hastighet ger högre accelerationsvärden.



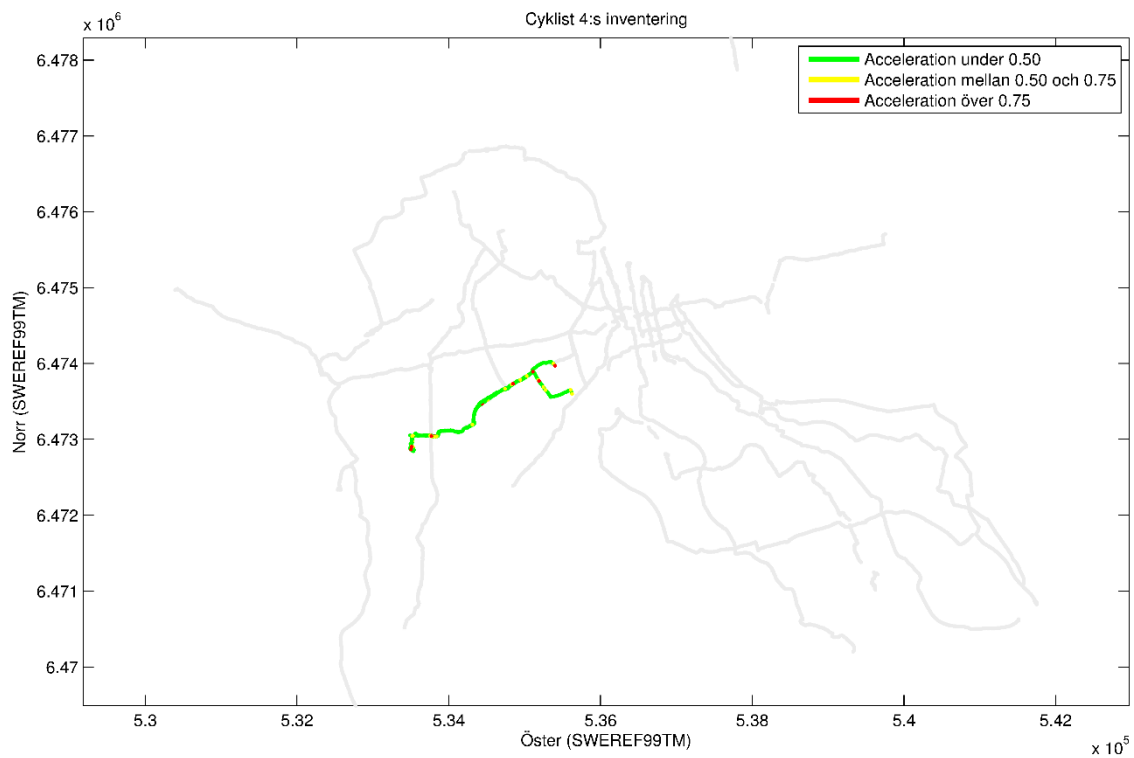
Figur 33 Klassificering av delar av Linköpings cykelvägnät enligt mätningar med VTI-appen gjorda i samband med vardagscykling - cyklist 1.



Figur 34 Klassificering av delar av Linköpings cykelvägnät enligt mätningar med VTI-appen gjorda i samband med vardagscykling - cyklist 2.



Figur 35 Klassificering av delar av Linköpings cykelvägnät enligt mätningar med VTI-appen gjorda i samband med vardagscykling - cyklist 3.



Figur 36 Klassificering av delar av Linköpings cykelvägnät enligt mätningar med VTI-appen gjorda i samband med vardagscykling - cyklist 4.

PM

Ojämnhetsmätning med smartphone - ett första försök, februari 2011

I början av 2011 utlyste VTI ett examensarbete "Smartphone som verktyg för vägytemätning" som fick ett stort gensvar, men det visade sig snart att detta inte var ett tillräckligt unikt uppdrag. Strax därefter började programmeringsexperten Sverker Nilsson en tillfällig anställning vid VTI. En uppgift Sverker fick var att ta fram en testapplikation för en smartphone som kunde samla in data från telefonsensorerna. Nedan beskrivs detta arbete som förutom Sverker utfördes av Leif Sjögren och Thomas Lundberg. Sverker har programmerat testapplikationen och skrivit följande dokumentation med sakkunnigt stöd rörande jämnhetsmätning av Thomas Lundberg och Leif Sjögren. Texten har delvis redigerats i samband med beslutet att ha den som bilaga i denna rapport.

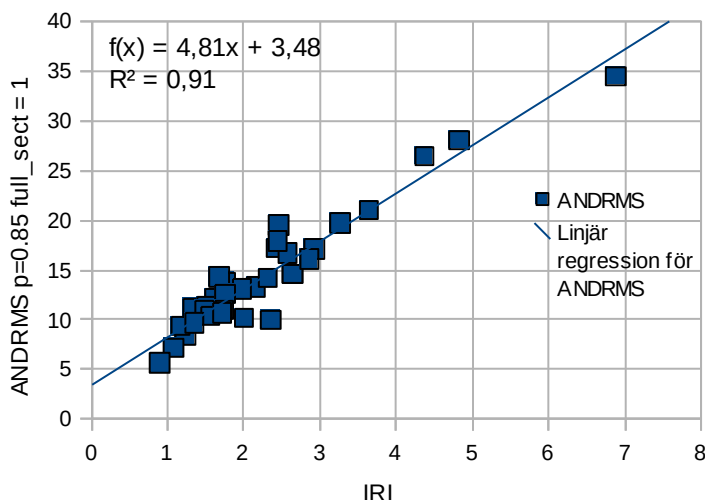
Sammanfattning

Vi har gjort en första utvärdering av att använda en smarttelefon, en datorlik mobiltelefon, för att mäta ojämnheter på vägar. När man förflyttar sig över en väg överförs ojämnheterna till rörelser, som innehåller accelerationer som kan mätas. Vi använder oss av de inbyggda accelerometrarna och GPS (Global Positioning System) som mäter positionen i longitud och latitud. Accelerationen omvandlas till ett ojämnhetsvärde per mätsektion som korrigeras för hastigheten och sätts i relation till referensdata genom GPS-positionerna.

För ett inledande test har vi använt en Android HTC Desire smartphone med inbyggd 3-axlig accelerometer och GPS. Vi hittade ett loggningsprogram på internet med öppen källkod som kunde användas i stort sett oförändrat. Utifrån detta konstruerades sedan ett analysprogram som kombinerade de uppmätta accelerometer- och hastighetsvärdena för att beräkna ett jämnhetsvärde, ANDRMS. Den normala indikatorn för beskrivning av vägars jämnhet i Sverige är IRI (International Roughness Index). Därför jämfördes jämnhetsvärdet från appen, ANDRMS med IRI som vi fick från en RST-mätbil vid motsvarande positioner enligt GPS.

Vi testade olika metoder för att generera jämnhetsdata och korrelerade dem med de korrekta IRI-värdena. Som bäst fick vi en korrelation på 0,96 över mätsträckan på 13260 meter uppdelad i 400-meterssektioner. En slutsats är att det kan gå att mäta ojämnheter på vägar med en smartphone, monterad på en bil. Men resultatet måste korrigeras för färdhastighet, positioneringsosäkerhet och det aktuella fordonets fjädringsdynamik. Detta innebär att det i praktiken bör vara ett och samma unika fordon som används vid mätningar för att få jämförbara resultat. Genom att bl.a. genomföra flera mätningar i olika hastigheter och på olika ojämnheter kan man troligen skapa en tillräckligt bra kompensation för varierade hastigheter. En fundering är att utnyttja metoden på cykelvägar och använda en cykel som fordon. Det är troligen mindre effekt av en cykels fjädringsegenskaper och de som finns kan man kanske skapa kompensation för. Därför är ett förslag att börja testa appen på cykelvägar.

Figur 1: Jämförelse IRI mot ANDRMS beräknat från vertikalacceleration justerat för hastighet med $p=0,85$



1 Inledning

Detta PM beskriver de inledande försöken som vi har genomfört genom att använda en smarttelefon (avancerad datorlik mobiltelefon) för att mäta ojämnheter på vägar. När man förflyttar sig över en väg överförs ojämnheterna till rörelser, som innehåller accelerationer som kan mätas. Ojämnheterna överförs dock inte direkt utan påverkas av fordonets fjädringssystem och däck. Därför har man historiskt också använt en höjdreferens såsom en lasersensor för att också mäta ett absolut höjdmått. Detta medför dock komplikationer och kostnader. Som ett alternativ till detta ville vi pröva en enklare metod som bygger på att endast mäta rörelsen som den upplevs av den som sitter i fordonet. Med denna metod räcker det att använda enbart accelerometrar. En smartphone innehåller ofta accelerometrar och vi vill studera hur dessa kan användas för ojämnhetsmätning.

I mätfordon används vanligtvis en distansgivare i form av en hjulpulsgivare för att veta var olika mätvärden är uppmätta. Ett alternativ kan vara att använda satellitnavigering via t.ex. GPS. Denna ger en positionsangivelse i longitud och latitud, men inte exakt den färdade sträckan längs en väg. Det är dock möjligt att approximera färdvägen genom att räkna ut sträckan mellan olika GPS-positioner. Detta ger ett visst fel som kan växa med tiden beroende på osäkerheter i GPS-positioner och hur skarpa kurvor man tar mellan GPS-positionerna. Vi vill se hur acceptabelt detta fel är om man använder sig av den GPS som finns i en vanlig smartphone.

1.1 Bakgrund

Det finns en mängd olika utrustningar för att mäta ojämnheter. Ofta bygger de på att en längsprofil uppmäts och ett värde, typiskt IRI (International Roughness Index – Internationellt ojämnhetsindex) beräknas utifrån profilen. För att uppmäta en profil finns olika metoder. Om endast korta sträckor ska mätas kan man använda noggranna metoder där man direkt mäter fysiskt mot en referenslinje i form av en lasersensor. För längre sträckor och högre hastigheter brukar man använda sig av ett fordon med inbyggda accelerometrar och distansgivare i form av lasersensorer. Dessa två metoder kan vara långsamma, komplicerade och kostsamma.

Det finns även metoder som bygger på att använda endast accelerometrar. Niska och Sjögren (2007) samt Niska et al. (2011) har refererat till sådana arbeten. Bland annat nämns sådana mätningar genomförda i Danmark och Luleå. Begränsningar och nackdelar med metoden att mäta med accelerometrar på en cykel tas också upp i dessa rapporter. Exempelvis konstateras att ”resultaten påverkas av däcktryck och cyklistens vikt och framförallt av skillnader i mätcyklistens hastighet, vilket är en stor nackdel eftersom det är svårt att hålla en konstant hastighet när man cyklar”.

Detta citat verkar förutsätta att man inte har någon möjlighet att mäta hastighet och kompensera resultaten för detta. Genom att använda en mobiltelefon med GPS kan hastigheten emellertid beräknas och resultaten korrigeras utifrån denna. Påverkan av däcktryck och cyklistens vikt kan vi inte komma ifrån, men man bör kunna mäta upp denna påverkan och göra korrigeringar av resultaten.

1.2 Syfte och avgränsning

Vi vill undersöka om accelerometrarna och GPS-givaren i mobiltelefoner ger data som kan vara bra nog för att utföra ojämnhetsmätningar. I detta första skede har vi använt endast en mobiltelefon och en mätsträcka. Utvärderingen är subjektiv baserat på korrelation och en grafisk framställning av IRI gentemot mobilens beräknade jämnhetsvärde.

2 Försöksupplägg

Vi monterade en mobiltelefon i en RST-mätbil, i närheten av bilens accelerometrar. Programvaran i mobiltelefonen loggade data till ett SD-kort (minneskort). Ett program analyserade sedan dessa data för att få fram något som kunde jämföras med data från RST-bilen (IRI vänster hjulspår).

Data kopplades sedan samman genom att räkna ut motsvarande GPS-positioner från mobilen respektive RST-bilen. Slutliga korrelationen och uppritningen av resultatdiagram utfördes i OpenOffice.org Calc.

2.1 Mobiltelefonen

Som mätenhet användes en Android smarttelefon av märket HTC Desire HD. Kriteriet var att hitta en telefon med lättillgänglig programvara för loggning som det helst skulle finnas källkod till. Det fanns loggningsprogram även för Iphone, men vi hittade ingen källkod och det är än så länge oklart hur man ska ladda ner loggade data. Då vi på internet hittade ett loggningsprogram för Android med öppen källkod som kunde användas i stort sett oförändrad föll valet på denna familj av mobiler. En smartphone av typ HTC Desire användes redan på avdelningen varför valet föll på denna. Denna mobil har 3-axlig accelerometer av typ Bosch BMA150 och GPS av okänd typ.

2.2 Placering av mobiltelefonen

Mobiltelefonen placerades över den vänstra accelerometern på en RST-mätbil. Den fästes med dubbelhäftande kardborrband och monterades så att den övre kortsidan av mobilen pekade framåt. Det exakta horisontalläget var inte kritiskt eftersom analysprogrammet, utifrån ett genomsnitt av accelerometerdata, räknar ut en vektor som beskriver var lodlinjen går i förhållande till telefonens läge.

2.3 Loggningsprogrammet

Loggningsprogrammet utgår från originalprogrammet på:

<https://github.com/yigiter/DataMonitor> (senast anropat 2011)

För att kompilera och testa programmet behövdes en Android utvecklingsmiljö. Utvecklingsskalet Eclipse valdes tillsammans med en Android plugin. Vi gjorde vår egen version av programmet, *DataMonitor* för att möjliggöra ändringar vid behov. Varje applikation i Android ska ha en unik identifierare som bygger på en domänadress. Den domänadress vi valde för vår applikation blev:

```
se.vti.dou.androlog
```

Programmet kunde testas i en emulator som följde med Eclipse. Det fungerar men är långsamt och man får inga signaler från givare som t.ex. accelerometer och GPS. Programmet gjordes om så att det kunde skriva till internminnet. Det fanns även möjlighet att koppla ett simulerat SD-kort (extra minneskort) till emulatorn.

Programmet skriver data till en fil vid loggning. Filnamnen genereras i en mapp baserad på programmets ID enligt:

```
/mnt/sdcard/Android/data/se.vti.dou.androlog/files/<filnamn>
```

Filnamnen är uppbyggda enligt följande:

```
<datum>.<timme>.<minut>.<sekund>_<x>.bin
```

Här är <datum> dagens datum i månaden, <x> beskriver det slag av data som lagras:

`sensors` innehåller sensordata t.ex. accelerometerdata

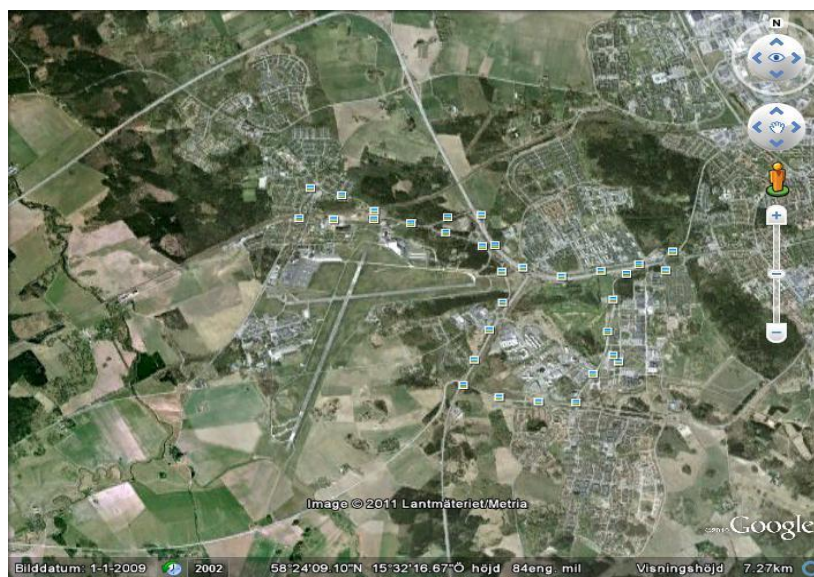
`locprovider` innehåller positionsangivelse, från GPS

`gpsstate` innehåller statusinformation från GPS

Filerna kan laddas ner genom en USB-kabel till en dator för analys. Detta kräver vissa installerade program för Android, framförallt ”android debug monitor”, adb.

2.4 Mätning utförande

En slinga på 13260 meter kördes, från VTI i Linköping till Malmslätt och tillbaka med ett konstaterat väggupp vid 5900 meter. Sträckan kördes motsols; Figur 2 visar början på varje 400-meterssträcka.



Figur 2: Mätlinga i Google Earth

2.5 Analysprogrammet

Ett separat program, `readsensors`, skrevs i C++ för att analysera loggade data och räkna fram ett jämnhetsvärde, ANDRMS. Analysprogrammet läser accelerometerfilen och GPS-filen bearbetar dessa och lagrar sedan resultatet i interna vektorer. Man kan innan analysen utförs välja en parameter som talar om hur långa analyssektionerna ska vara, typiskt från 20 till 400 meter.

Programmet genererar två filer: En .kml fil som innehåller positionsangivelse och mätvärde för vare sektion. Denna fil kan direkt användas för att visas i Google Earth. En andra fil innehåller motsvarande data i tabellform. Denna fil används i utvärderingsprogrammet. I en senare version av analysprogrammet och appen har även bilder lagts till. Dessa finns för varje ny GPS-position som telefonen mottar. Bilderna visas också i samband med att man utnyttjar .kml filen i exempelvis Google Earth. Kml (Keyhole Markup Language) är filer som är anpassade för att visa geografisk data på en karta.

Det mätvärde som räknas ut för varje sektion, är baserat på en RMS (Root Mean Square) beräkning av accelerometerdata. Några olika varianter provades:

Först beräknas en vektor utgående från de 3 accelerometeraxlarna, som ska motsvara lodlinjen. Denna utgör ett medelvärde över en sträcka. Vi provade att antingen ta medelvärdet över hela mätsträckan eller bara en viss sektion. Det gjorde ingen märkbar skillnad.

För varje mätsektion räknas därefter ett medelvärde ut av accelerationen, i riktningen av lodlinjen. Varje mätvärde dras därefter ifrån medelvärdet och kvadraten av skillnaderna summeras.

Resultatet av RMS är därefter roten ur summan.

Initialt gjordes detta för varje mätsektion. Man fick då ganska dålig korrelation, runt 0.5. Det visade sig att detta berodde på hastighetsberoende. Ju snabbare man kör, desto större acceleration. Beroendet är inte ännu klarlagt teoretiskt – det borde bland annat bero på dynamiken av fordonets fjädring och däcktryck. Vi provade med några olika

parametrar, och fann initialt att om man multiplicerade med tiden för sektionen (analogt till att dividera med hastigheten) upphöjt till 0.85 fick man bäst korrelation mot den sanna IRI, upp till 0.96.

Detta gjordes initialt för hela sektionen. Då vi använde långa sektioner, 400 meter för att kompensera för vissa positionsosäkerheter, så kunde man tänka sig att hastigheten varierade mycket inom sektionerna. Vi provade därför att dela upp sektionen i mindre delar och räkna ut RMS för varje mindre del kompenserat för den lokala hastigheten. Bästa korrelation med denna metod blev efter upprepade tester 0.95.

2.6 Utvärderingsprogrammet

2.6.1 Inledande utveckling

Resultatet från RMS av accelerationerna jämfördes först med IRI från mätbilen och en korrelation beräknades. När man jämförde värdena för varje 400-meters sektion visade det sig att det fanns en osäkerhet i distansberäkningen för mobiltelefonens data. Dessa var baserade på GPS. Distansen mellan GPS-positionen för början och slutet av varje mätsektion hade beräknats. För 400-meterssektioner blev det ett stort fel eftersom mätbilen kunde svänga ganska mycket inom en så lång sektion. Detta kunde dock till viss del åtgärdas genom att dela in sektionen i mindre delar. Det visade sig ändå att GPS-positionen var osäker i början av mätningen vilket gav ett fel i distansen. För att undvika dessa fel vid utvärderingen skrev vi därför ett speciellt program som använde sig av GPS-positionerna direkt, utan att räkna ut någon distans.

2.6.2 Program för att matcha GPS-positioner, gpspuzzle

Programmet pusslar ihop data från mätbilen med data från mobiltelefonen baserad på GPS-koordinater. Det använder två indatafiler:

Data från mätbilen, kallat 'Rstdata', med en rad för varje 20-meterssektion med IRI och GPS-position.

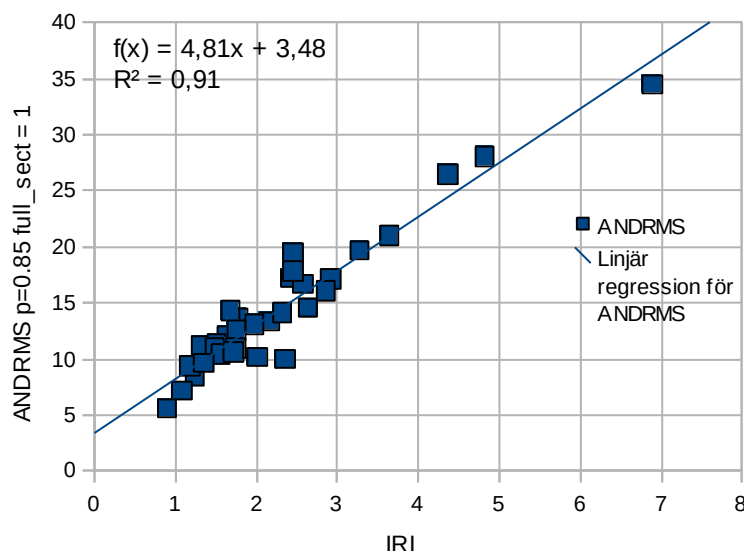
Data från mobilen, som vi kallar 'Htcdata', en rad för varje 400-meterssektion med dess IRI-liknande RMS och GPS-position.

För varje sektion i Htcdata letar den upp de två 20-meterssektioner i Rstdata som ligger närmast början och slutet beräknat på GPS-koordinaterna. Sen beräknar den medelvärde av IRI för de mellanliggande sektionerna i Rstdata och skriver ut till utdatafilen tillsammans med det IRI-liknande RMS från Htcdata.

3 Resultat

Empiriskt testades olika metoder för att generera app-mätdata (ANDRMS) och korrelera med uppmätt referens, IRI. När mätvärdena på 400-meterssträckor jämfördes med korrelation i ett kalkylprogram fick man en korrelation typiskt som bäst på 0,96. Ett diagram som visar motstående mätvärden och en linjär regression visas i Figur 3 nedan.

Figur 3: Jämförelse IRI mot ANDRMS beräknat från vertikalacceleration justerat för hastighet med $p=0,85$



För att minska osäkerheten i distansens har GPS-koordinater använts för att synkronisera data mellan mätbil och telefon.

4 Diskussion och slutsatser

En mätsträcka på 13,26 km har uppmätts med en RST-mätbil samtidigt som en smartphone, fäst vid vänster accelerometer, loggade accelerometer och GPS-data. Data laddades sedan ner till en dator för analys. De huvudsakliga frågeställningarna har varit:

- Hur ska man hantera hastighetsberoendet i accelerationsdata?
- Hur ska man hantera korrelation av data, baserat på distans och/eller GPS?
- Tyder resultatet på att mätning med smarttelefoner ger användbara resultat?

IRI valdes som ett lämpligt mått på ojämnheter att jämföra med. Vi nämnde i bakgrunden att vissa tidigare försök att använda accelerometerdata som grund för ojämnhetsberäkningar begränsats av att resultatet blev hastighetsberoende. Finessen med att använda en smarttelefon är att om den har en inbyggd gps, vilket är vanligt, får man hastighetsinformation som kan användas för att kompensera resultatet.

Man kan hantera hastighetsberoendet genom att räkna ut medelhastigheten över en mätsektion och sedan dividera accelerometerdata med en funktion av hastigheten. Det är inte klart exakt vilken funktion man ska ha, eftersom det beror på mätfordonets dynamik. En linjär funktion verkar fungera hyggligt, men om man modifierar den något (hastighet upphöjt till 0.85) har det blivit bättre uppmätt korrelation. Detta gäller dock denna enskilda mätsträcka och det kan vara enstaka flyttade värden som förbättrar korrelationen.

För korrelationen mot IRI från RST-bilen utgick vi från direkta GPS-koordinater. Vissa osäkerheter i distansen observerades vilka antas bero på:

- Osäkerhet i GPS-angivelserna, särskilt i starten av mätningen, när fordonet inte ännu är i rörelse.
- Systematiska fel beroende på att man mäter mellan diskreta GPS-positioner och inte vet vilken väg fordonet tagit däremellan.
- Fel i samband med övergång mellan närliggande länkar/objekt.

Antar man att fordonet rört sig längs en rak linje mellan GPS-positionerna kan skarpa kurvor ge ett fel. Detta fel är alltid åt det kortare hållet, dvs. den beräknade distansen är alltid kortare än den sanna. Å andra sidan ger osäkra GPS-positioner ett fel som tenderar att ge längre distanser än de sanna. Felet i samband med länkövergångar beror på hur mätbilen hanterar detta och hur vi korregerar detta.

Man kan vidare diskutera giltigheten i resultatet, se Figur 3, eftersom de tillkommit efter ett visst experimenterande med olika algoritmer och parametrar. Den algoritm och parameter som gav högst korrelation valdes. Detta kan kritiseras med hänvisning till att analysmetoden anpassats till ett visst testfall. Å andra sidan har vi inte särskilt många parametrar, endast en parameter P som avgör till vilken potens hastigheten ska upphöjas för kompensationen. Algoritmen är också förhållandevis enkel, och innehåller t.ex. inget uppenbart ”fusk” som en positionsberoende tabell. Dock får fortsatt forskning visa hur pass generell den valda metoden är. Antagligen kommer parametern P att behöva ändras om man använder ett annat mätfordon, speciellt om det är en cykel.

4.1 Slutsatser

När mätvärdena på 400-meterssektioner jämfördes utgående från GPS-positioner kunde man få en korrelation på 0,96. (I diagrammet i Figur 3 visas kvadrerade korrelationen som blir 0.91.) Mätningen skedde över en sträcka på 13260 meter med en medelhastighet över varje sektion som varierande mellan 2 och 20 m/s. Baserat på detta och de samband man kan se i diagrammet blir de preliminära slutsatserna att:

- Hastighetsberoendet kan hanteras empiriskt utgående från GPS-baserad hastighet.
- Korrelation av data kan ske med utgångspunkt från GPS-positioner men som vidareutveckling bör det även kunna baseras på distansberäkningar.
- Sammanfattningsvis verkar det möjligt att mäta IRI-liknande ojämnheter med smartphone.

4.2 Vidareutveckling av mätmetoden

4.2.1 Korrigering inledande distansberäkning

Den inledande osäkerheten i GPS-positionerna kan bero på att fordonet ej har börjat röra på sig. Man skulle då få lösa detta genom att starta en bit innan mätsträckans början och trycka på en knapp när man passerar denna. Ett annat alternativ är att vänta tillräckligt länge innan man startar, för att GPS-positionerna ska hinna stabilisera sig.

4.2.2 Korrigering löpande distansberäkning

Det uppmätta felet kan uppskattas till 20 meter fram till objektbytet vid 7640 meter. Över 10 kilometer motsvarar det 25 meter. Detta kan vara av signifikant betydelse särskilt med kortare än 400-meters sektioner. För att korrigera för detta kan man börja med att ha en korrektionsfaktor för en ”typisk” vägsträckning, dvs. man antar att över

längre sträckor ser felet ungefär lika ut. Men detta stämmer inte om man jämför en motorväg med en kurvig bergsväg.

Kan man avsluta körningen vid en känd distans, är det möjligt att gå tillbaka och korrigera distansen i efterhand. Detta förutsätter att det inte är för lång distans och att kurvaturen inte varierar för mycket under körningen. Om man nyttjar VTI-appen på cykelvägar så behöver efterbearbetningen ses över så att man får kortare sektionslängder ca 1 -5 meter att studera och värdera.

4.2.3 Korrigering distansberäkning vid objektbyte

Vid objektbytet vid 7640 meter skedde ett språng i distansen på 120 meter. Detta beror på den hittills utvecklade distansberäkningen i gpspuzzle. Data från RST-bilen ser också konstiga ut vid denna övergång. Då endast GPS-position används bör detta ha smärre betydelse för nuvarande korrelationsberäkning. Men om vi vill vara mer noggranna och gå över till att använda beräknad distans bör det utredas hur distansen ska beräknas vid objektbyte.

4.2.4 Karaktärisering av hastighetsberoende

Hastighetsberoendet hänger samman med fordonets dynamik – utan fjädring och däck skulle man få en mycket skakigare färd vid högre hastigheter jämfört med om man färdas långsamt. Än så länge har det skett en experimentell korrektion för hastigheten men detta kan utvecklas vidare i samband med utveckling av mer avancerade modeller för fordonens dynamik. Hastighetsberoendet bör alltså inte bli detsamma med cykel som med bil eftersom cykeln har en annan dynamik.

4.2.5 Alternativ nedladdningsmetod

För närvarande läser vi in data från mobilen genom en USB-kabel. Det krävs speciella program på datorn, från Android SDK, för att kommunicera med mobilen. Ett alternativ vore att mobilen trådlöst kunde skicka data till en server, som man kunde komma åt genom ett standardiserat gränssnitt.

4.3 Fortsatt forskning

4.3.1 Fler mätsträckor

Vi behöver mäta fler mätsträckor, och göra upprepade mätningar på samma sträcka för att bilda oss en uppfattning om repeterbarheten.

4.3.2 Cykel jämfört med RST-bil

Vi vill kunna använda mobilen fäst vid en cykel. Var och hur ska man fästa den? Vi vill prova repeterbarhet, dels om man cyklar samma sträcka flera gånger, jämfört med sig själv, andra metoder och RST-mätbil. Som nämnts i bakgrunden, påverkas resultatet sannolikt av parametrar såsom däcktryck och cyklistens vikt. Det kunde vara lämpligt att kvantifiera detta så att man kan korrigera resultatet; det borde vara möjligt att mäta däcktryck och cyklisternas vikt och göra en regressionsanalys. Även andra parametrar såsom typen av däck kan säkert påverka resultatet.

4.3.3 Ytterligare mobiltelefoner

Vi vill också testa med andra mobiltelefoner t.ex. Iphone och Ericsson Xperia RC. För Iphone, som använder ett annat operativsystem än Android, behöver vi ordna ett nytt program, eventuellt en modifikation av det nuvarande.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE
LINKÖPING
POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING
TEL +46(0)13 20 40 00
www.vti.se

BORLÄNGE
POST/MAIL BOX 92
SE-721 29 BORLÄNGE
TEL +46(0)243 446 860
www.vti.se

STOCKHOLM
POST/MAIL BOX 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
TEL +46(0)8 555 770 20
www.vti.se

GÖTEBORG
POST/MAIL BOX 8072
SE-402 78 GÖTEBORG
TEL +46(0)31 750 26 00
www.vti.se

LUND
POST/MAIL Medicon Village
SE-223 81 LUND
TEL +46(0)46 540 75 00
www.vti.se