

Kontaktperson RISE

Viveca Wallqvist  
Yta, process och formulering  
010-516 60 76  
viveca.wallqvist@ri.se

Datum

2018-05-06

Beteckning

2015-03577

Sida

1 (16)

**Förlåtande asfalt för cykel- och gångbanor**

|  |  |
|--|--|
| Projekttitel – svenska<br>Förlåtande asfalt för cykel- och gångbanor   |  |
| Projekttitel – engelska<br>Forgiving asphalt for bike- and pedestrian lanes  |  |
| Universitet/högskola/företag<br>RISE Research Institutes of Sweden<br>AB   | Avdelning/institution<br>Biovetenskap och Material |
| Adress<br>Drottning Kristinas väg 45, 114 86 Stockholm   |  |
| Namn på projektledare<br>Viveca Wallqvist  |  |
| Namn på övriga projektdeltagare<br>Lars Jansson, Peab Asfalt<br>Torsten Nordgren, Trafikverket<br>Fredrik Ardefors, SDAB<br>Krister Persson, Total<br>Sanna Arnfjorden Wadström, Intab |  |
| Asfalt, gummi, oskyddade trafikanter, singelolyckor, skadeprevention.  |  |

**RISE Research Institutes of Sweden AB**

Postadress

Box 5607  
114 86 STOCKHOLM

Besöksadress

Drottning Kristinas väg  
45 A  
114 28 STOCKHOLM

Tfn / Fax / E-post

010-516 50 00  
08-20 89 98  
info@ri.seDetta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE i  
förväg skriftligen godkänt annat.

## Förord

Projekt "Förlåtande Asfalt för cykel- och gångbanor" har finansierats av Vinnovaprogram: Innovationer för ett hållbart samhälle: miljö och transport – 2015 samt medfinansierats av dess projektdeltagare. I projektet har projektteam från RISE (Viveca Wallqvist m.fl.), Peab (Lars Jansson m.fl.), Trafikverket (Torsten Nordgren m.fl.), SDAB (Fredrik Ardefors m.fl.), Total (Kristen Persson m.fl.) samt Intab (Sanna Arnfjorden Wadström m.fl.) deltagit. Värdefull samverkan har under projektiden även skett med Ragn-Sells (Sara Stiernström m.fl.), AstaZero (Håkan Andersson m.fl.), KTH (Svein Kleiven m.fl.), Folksam (Helena Stigson m.fl.), CIT (Anna Carlsson m.fl.), Uppsala kommun (Tove Västibacken m.fl.), Falun kommun (Anna-Lena Söderlind m.fl.), Akzo Nobel (Karl Hillgren m.fl.), Skånevård Medicinsk Service (Bo Strandberg m.fl.) och Consulpav (Jorge Barreira de Sousa m.fl.).

## Innehållsförteckning

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Sammanfattning .....               | 4   |
| Summary .....                      | 4   |
| 1. Inledning/Bakgrund .....        | 5   |
| 2. Genomförande.....               | 7   |
| 2.1 Utvärdering - metoder .....    | 7   |
| 2.1.1 Stötupptagning .....         | 7   |
| 2.1.2 Emissioner.....              | 8   |
| 2.2 Materialutveckling .....       | 8   |
| 2.2.1 Kallblandad slurry seal..... | 8   |
| 2.2.2 Halvvarm massa.....          | 9   |
| 2.2.3 Modifierad bitumen.....      | 9   |
| 2.3 Pilotförsök i stadsmiljö ..... | 9   |
| 3. Resultat .....                  | 9   |
| 3.1 Utvärdering -metoder.....      | 9   |
| 3.1.1 Stötupptagning .....         | 9   |
| 3.1.2 Emissioner.....              | 10  |
| 3.2 Materialutveckling .....       | 11  |
| 3.2.1 Kallblandad slurry seal..... | 11  |
| 3.2.2 Halvvarm massa.....          | 11  |
| 3.2.3 Modifierad bitumen.....      | 12  |
| 3.3 Pilotförsök i stadsmiljö ..... | 13  |
| Diskussion.....                    | 14  |
| Publikationslista.....             | 15  |
| Referenser, källor .....           | 15  |
| Bilagor.....                       | <b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b> |

## Sammanfattning

För att nå klimat- framkomlighets- och hälsomål behöver det urbana transportarbetet omfördelas. Därför är cykel- och gångtrafik prioriterade transportslag i de flesta av landets kommuner. Cyklisters och fotgängares singelolyckor är dock ett stort och ökande trafiksäkerhetsproblem. Enligt nollvisionens filosofi ska det vara lätt att göra rätt i trafiken och misstag ska inte leda till allvarliga personskador. Det innebär att vägar, gator och fordon ska anpassas och utformas efter människans förutsättningar och begränsningar. På liknande sätt som exv. vägräcken, viltstängsel och 2+1-vägar minskat antal döda och skadade på motortrafiksidan, behöver fler infrastruktur Anpassningar för oskyddade trafikanter utvecklas och implementeras. En sådan åtgärd är att göra trafikmiljön mer förlåtande, exv. genom stötupptagande vägbeläggningar med gummigranulat. Att inkorporera gummigranulat i asfaltsblandningar innebär ett flertal tekniska utmaningar, där de största inkluderar förbehandling, bearbetning, läggning, arbetsmiljö, beständighet och miljö. Projektet har adresserat dessa utmaningar genom utveckling av nya typer av förbehandlingar, ny metodik för bearbetning som möjliggör konventionell läggning, sänkning av tillverkningstemperatur för bättre arbetsmiljö samt utveckling av mätmetodik för asfaltsemissioner. Projektet har utvecklat ett material med avsevärt ökad stötupptagning som kan göras kommersiellt tillgängligt. Projektet bedöms således ha utvecklat material och koncept från TRL 4 till TRL 8 enligt EUs definition av TRL-skalan. Som nästa steg bör konceptet provas i stadsmiljö i samverkan mellan kommun, Trafikverket och forskare. I framtiden vid lyckad implementering bör materialet vara preferensbeläggning för cykel- och gångbanor.

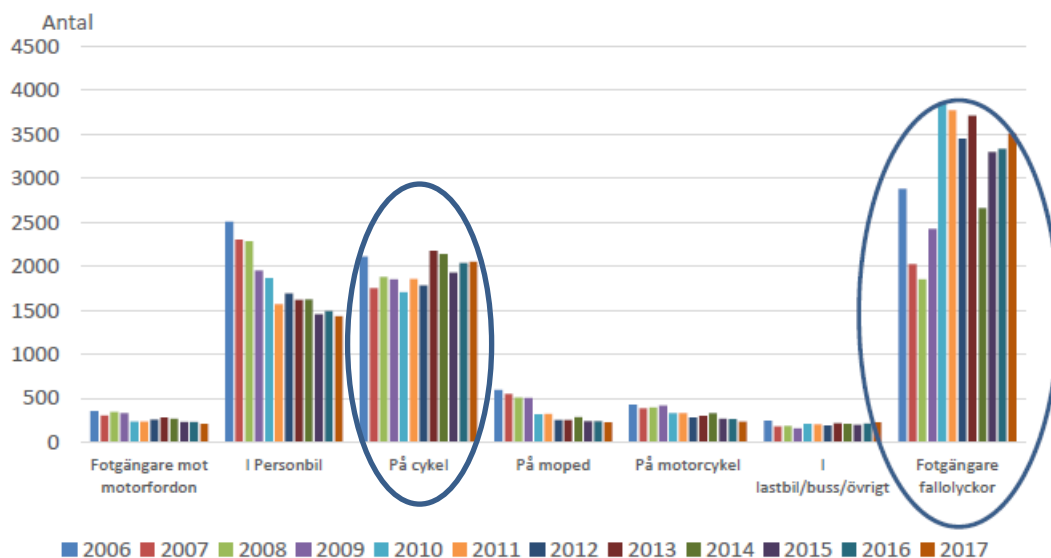
## Summary

In order to achieve climate access and health goals, urban transport work needs to be redistributed. Therefore, bicycle and pedestrian traffic are prioritized modes of transport in most of the country's municipalities. However, the single vehicle accidents of cyclists and pedestrians are a major and increasing traffic safety problem. According to the philosophy of Vision Zero, it should be easy to do the right thing in traffic and mistakes should not lead to serious injuries. This means that roads, streets and vehicles must be adapted and designed according to human capabilities and limitations. Similarly to ex. roadblocks, animal fencing and 2 + 1 roads having reduced the number of dead and injured on the motor traffic side, more infrastructure adaptations for vulnerable road users (VRU's) need to be developed and implemented. One such measure is to make the traffic environment more forgiving, e.g. through shock-absorbing road pavements with rubber granules. Incorporating rubber granules into asphalt mixtures poses a number of technical challenges, where the largest include pre-treatment, processing, laying, working environment, durability and environment. The project has addressed these challenges through the development of new types of pre-treatments; new methodology for machining that enables conventional manufacturing, lowering of manufacturing temperature for a better working environment and development of measurement methodology for asphalt emissions. The project has developed a material with considerably increased shock absorption which can be made commercially available. Consequently, the project is estimated to have developed materials and concepts from TRL 4 to TRL 8 according to the EU definition of the TRL scale. As the next step, the concept should be tested in urban environments in collaboration between the municipality, the Swedish Transport Administration and researchers. In the future, in the case of successful implementation, the material should be a preference surfacing for cycling and walking paths.

## 1. Inledning/Bakgrund

Drygt 25 000 personer årligen uppsöker ett akutsjukhus efter att ha skadats som *cyklist* [1]. De flesta cykelolyckor är singelolyckor (82 %) och den vanligaste förekommande motparten är en annan cyklist (8 %) (MSB) [1]. Studier har visat att de flesta cyklister vid singelolyckor faller inom en meter från cykeln [2]. Vid cyklisters kollision med motorfordon beror dessutom 30% av uppkomna skador på sekundär kollision [3]. En skadad cyklist kostar i snitt 1 Mkr [4].

93% av svårt skadade (ISS 9-15) och 62% av mycket svårt skadade (ISS >15) *fotgängare* beror på singelolyckor [5]. Äldres fallolyckor beräknas kosta samhället 15-22 miljarder kronor per år [6]. Ca en tredjedel brukar uppges inträffa utomhus [7]. Men en nyligen avslutad studie av Hans Ekbrand med flera vid Göteborgs Universitet och Chalmers visar att så stor andel som 56% av alla fallrelaterade skador har uppkommit i utomhusmiljön. Som orsak till olyckorna utomhus anges ofta halka, höga trottoarkanter, ojämn beläggning och lösa plattor. 20% av skadefallen uppges bero på is och snö, men av de skador som uppkommit i barmarksförhållande uppges ojämnheter vara orsak till 47%. Samma bild ges av de äldre själva som upplever dessa typer av underlag som problematiska [8]. SCB beräknade 2007 att 240 000 personer använde rollator, bland dem ingick var tredje person över 80 år. [9]. 2014 fanns 499 000 personer i åldern 80+ i Sverige, år 2030 beräknas antalet ha ökat till 826 000 och 2060 så många som 1 210 000 [10]. Om kvoten rollatoranvändare kvarstår kan vi alltså 2060 räkna med 720 000 rollatoranvändare, bara i åldersgruppen 80+. Figur 1 visar att cyklister och fotgängare utgör en stor andel av det totala antalet skadade trafikanterna, samt att utvecklingen över tid inte följer samma minskande trend som övriga transportslag, utan tvärtom ökar.



**Figur 1.** Antal allvarligt skadade i transportsystemet med minst 1% invaliditet (RPMI 1 %), fördelat efter färdstätt, 2006-2017 (Trafikverket 2019).

Vid Resultatkonferens trafiksäkerhet 2019 den 24 april presenterades trafiksäkerhetsläget. Där noterades flera rödmarkerade områden, bland annat användning av cykelhjälm och mopedhjälm samt drift och underhåll av cykelvägar. Cykelhjälmans användningen noterades ha minskat i jämförelse med föregående år, vilket gör att skillnaden mellan aktuellt etappmål på ca 60% och utfallet på strax över 32% blivit än större. För drift och underhåll noterades en stagnation där det till tidigare mätning 2015 förekommit en relativt god förbättringshastighet medan det från dess och till 2017 knappt varit någon ökning. Som svar på publikfråga

omnämndes förlåtande asfalt som en tänkbar dellösning för att skydda cyklisterna, vilket belyser betydelsen av detta unika projekt [11]. Sedan detta projekt startades har cykling- och gångtrafik ökat. För fotgängare i Stockholm har det i innerstaden uppmäts en ökning på 11% från 2015 till 2017. I ytterstaden har motsvarande ökning varit 7%. För cykel, där flöden har uppmäts under längre tid har trafiken ökat med nästan 85% under de senaste 15 åren [12]. Målet är att cyklingen ska öka till 20% år 2030 och för att inspirera till detta har nytt underlag framtagits som visar att hälften av stockholmarna skulle kunna cykla till jobbet på en kvart och 70% på under en halvtimme [13]. Försäljningen av elcyklar har också ökat kraftigt. En studie från 2018 visar en försäljningsökning med ca 53% på ett år, vilket innebar att 100 000 – gränsen passerades och elcyklar uppgick till 19% av den totala marknaden [14]. Även lastcyklar har sett en ökning i popularitet, så pass att speciella parkeringar införts exempelvis i Lund, vilket genast gett resonans i övriga landet med medborgarförslag i exempelvis Karlstad [15, 16]. Det har också under den senare tiden tillkommit nya mobilitetstjänster för oskyddade trafikanter där exv. elsparkcyklar och elmopeder har kompletterat delningsekonomin tidigare etablerade lånecyklar. Voi, Lime och Tier tillhandahåller idag elsparkcyklar och Blink City elmopeder. Svenska Ayo är på väg in på marknaden med elsparkcyklar och kommer erbjuda längre hyrperioder samt uthyrning via hotell [17]. För att i siffror illustrera delningstjänsternas ökande popularitet kan nämnas att i Stockholm köptes 2016 45 000 lånekort för Stockholm City Bikes och totalt gjordes 660 000 lån av cyklar. Det motsvarade en ökning med 24% mot föregående år. Under 2017 såg man fram till sista april en ökning av tredagarskort med 44% och för säsongskort hela 53% [18]. Detta visar att både turister och mer regelbundna användare ökar. Intressant att notera kategori L1e avseende lätta tvåhjuliga fordon började gälla 1 januari 2016 i hela Europa. Denna indelas i L1e-A Motordriven cykel, eller motoriserad cykel samt L1eB tvåhjulig moped, varav den förra är ny för Sverige. L1e-A-fordon har samma regler som moped klass II och får därmed färdas på cykelbana i max 25 km/h och ha ett effektuttag på max 1000W (till skillnad från 250W för elcykel). Föraren måste i Sverige vara minst 15 år och ha körkort eller förarbevis för moped klass II, bära cykelhjälm och fordonet ha måste ha trafikförsäkring [19]. På nyttosidan märks Move by Bike där pionjärerna Johan och Nils Wendt sedan 2012 erbjudit transporter med lastcykel. Idag transporterar och flyttar företaget med cykel och släp upp till 300kg/3m<sup>3</sup> per lass inom Malmö, Lund, Umeå, Uppsala, Stockholm och Köpenhamn. Utöver de olika cykelmodellerna så har de även en cykelbuss, som kan transportera upp till 12 förskolebarn, i Malmö och Lund. Företaget uppgraderar nu sin fordonspark med L1e-A-fordon. Fordonen är 100\*375 cm och kan ta 300 kg last med maxmått l**h** 250\*100\*160 cm. Företaget har ca 40 förare, men expanderar snabbt [20]. EU-studien Cyclelogistics inom programmet Intelligent Energy Europe har visat att 51% av all godstransport i tätort, yrkesmässig och privat kan göras med lastcykel. För yrkesmässig godstransport enskilt är siffran 32% [21]. En studie utförd vid Transport and Mobility Leuven research institute visar att cykling har den största sysselsättningsintensiteten inom transportsektorn och sysselsätter 650 000 personer i Europa [22]. Rapporten ”Om gång och cykling, hälsa och en hållbar utveckling” konstaterar att om drygt 111 000 korta arbetsresor med bil skulle överföras till i snitt knappt 15 minuter, och högst 30 minuter långa cykelturer skulle det kunna leda till hälsoekonomiska vinster om flera miljarder kronor per år [23]. WHO listar brist på fysisk aktivitet som den fjärde största riskfaktorn för global mortalitet samt huvudorsak för ca 21-25% av bröst- och tarmcancer, 27% av diabetes och ca 30% av kranskärlssjukdomar [24].

I historiskt perspektiv uppstod behovet av vägar i och med uppfinnandet av hjulet för 7000 år sedan och de första belagda vägarna uppstod i Ur för ca 6000 år sedan. Tidiga vägar kunde i England byggas av trästockar som täcktes med jord eller lera, medan man i Indien använde tegel. För 4000 år sedan möjliggjorde framsteg i metallurgin att skärande verktyg för att skära sten utvecklades i mellanöstern och Grekland, vilket möjliggjorde stenbeläggning av vägar i städer [25]. I Romarriket byggdes vägar för soldater till fots. Huvudvägarna var stenbelagda och ofta grustäckta för att skona hästarnas hovar från de hårda ytorna. För fotgängare prioriterades kortaste väg, medan för frakt prioriterades minsta möjliga nivåskillnad.

Hastigheter på dessa vägar var ca 70 km/dag för häst, 40 km/dag för mulor och 10 km/dag för oxe. Fotsoldater kunde röra sig ca 40 km/dag eller mer vid brådska, men vanligtvis ca 30 km/dag [26]. Under romarriket anlades trottoarer, men under medeltiden rapporteras fotgängare och kärror ha delat på det smala gatuutrymme som fanns i städerna. De hjul som rullade på sådana vägar var långt ifrån de fjädrande varianter vi har idag, varför vägens hårdhet var nödvändig för deras framkomlighet [25]. För nutida fotgängare används ofta, liksom på romartiden, stenbeläggning. Figur 2 visar en tidig romersk väg i Jerash (anlagd under nollhundralet) och en nutida svensk (anlagd på 2010-talet).



**Figur 2.** Vänster: Romersk väg från nollhundralet. Höger: svensk väg från 2010-talet.

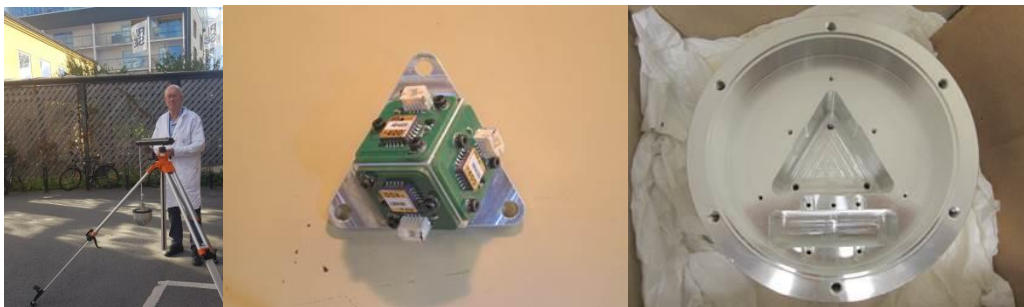
För vägbeläggningar för fordon används i dagens Sverige övervägande asfalt. Asfalt består mestadels av stenkross sammanbundet av bitumen. Stenkrosset är vägens skelett och borgar för att vägen tål tunga laster. Bitumen är ett petroleumbaserat bindemedel som består av kolväten med hög kokpunkt[27].

## 2. Genomförande

### 2.1 Utvärdering - metoder

#### 2.1.1 Stötupptagning

I detta projekt har utvärdering av beläggnings stötupptagande förmåga skett genom att använda provhuvud med accelerationsmätare från projektpartner Intab. I provhuvudet finns tre accelerometrar monterade på ett pyramidformat block med spetsen uppåt (Figur 3).



**Figur 3.** Vänster: Provhuvudet från Intab monterat på stativ. Mitten: Accelerometrar. Höger: Accelerometrarnas position i provhuvudet.

G-kraften beräknas som  $\sqrt{A^2+B^2+C^2}$ . Provhuvudet är cylindriskt och väger 4,6 kg och har diametern 16 cm. Den acceleration som uppmäts utvärderas vidare till ett värde, head injury criterion (HIC), som tar hänsyn till tidsförlopp. HIC-värdet beskriver sannolikheten att en huvudskada ska uppstå från en kollision och definieras som:

$$HIC = \left\{ \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right\}_{max}$$

Där  $t_1$  och  $t_2$  är start- och sluttid (i sekunder) för det intervall då HIC uppnår sitt maximala värde, och acceleration  $a$  uppmäts i  $g_s$  (standard gravitationsacceleration)[28]. Maximala tidslängden på HIC,  $t_2-t_1$  är begränsad till ett specifikt värde mellan 3 och 36 ms, vanligtvis 15 ms [29]. Ett HIC värde på 1000 innebär 18% sannolikhet för en allvarlig skullskada, 55% risk för en svår skullskada och 90% risk för en måttlig huvudskada för vuxna [30].

Efter att i föregående projekt använt fasta fallhöjder och jämfört HIC värden mellan dessa, har i detta projekt en övergång till mätningar baserade på SS-EN 1177 Stötdämpande underlag för lekplatsens ytbeläggning - Bestämning av kritisk fallhöjd skett. I denna metod ingår att provhuvudet släpps på underlag med en separat position för minst fyra fallhöjder. I metoden specificeras att inga provningspositioner får vara närmare varandra eller materialets kanter än 250 mm. Minst två fallprov måste uppvisa HIC-värden under 1 000 och minst två måste uppvisa HIC-värden över 1 000. Två av fallhöjderna ska ligga inom 500 mm under den kritiska fallhöjden, och två inom 500 mm över den kritiska fallhöjden. Resultatet av mätningen ges som den kritiska fallhöjden, vilken beräknas genom interpolation till HIC-värdet 1000 av en kurva för alla valda höjder i vilken HIC-värdena anges i förhållande till motsvarande erhållna fallhöjder. Genom att välja mätning av HIC-värden som säkerhetskriterie beaktas endast huvudets kinetiska energi vid islag mot islagsytan. Detta anses vara den bästa modell som finns tillgänglig för att förutsäga sannolikheten för skador orsakade av fall.

Projektet har också utfört försök där provhuvudet försetts med cykelhjälm för att försöka uppskatta hur denna samspelar med stötupptagande underlag. Cykelhjälmar levererades från POC (Crane Pure Krypton XS/S) och vägde ca 295 g med yttre dimensioner 72 cm (bredaste omkrets), 37 cm (avstånd från öra till öra) samt 42 cm (avstånd från panna till nacke).

På lab har för ett urval av proverna stötupptagning som funktion av temperatur undersökts för temperaturer mellan ca 8°C och 30°C.

### 2.1.2 Emissioner

Eftersom gummiinblandning i asfalt är ett ur arbetsmiljösynpunkt omdiskuterat område, där vissa entreprenörer helt undvikit den typen av arbete, har det för projektet varit mycket viktigt att hitta metoder där för att utvärdera detta. Projektet har därför i dialog med skyddsombud på Peab utvecklat metoder för detta som presenteras i resultatdelen.

## 2.2 Materialutveckling

Vid utvärdering av de teststräckor som detta projekt fortsatt uppmättes kritisk fallhöjd för beläggningarna till 0,51–0,64 m. Den referensbeläggning som lades vid samma tillfälle uppmättes till 0,31–0,39 m. Denna beläggning var varmblandad och förutom att medföra tidigare kända olägenheter för anläggningspersonalen i form av rök och lukt från gummit, upplevdes den också som svår att lägga ut och få jämn. Projektet har på grund av dessa utmaningar provat tre andra metoder som beskrivs i 2.1.1, 2.1.2 och 2.1.3.

### 2.2.1 Kallblandad slurry seal

Slurry seal är en blandning mellan bitumenemulsion (bitumen dispergerad i vatten, stabiliserad av ett kemiskt system), graderad ballast, fyllmedel, vatten och olika additiver. Emulsionen ger genom flockulering en film där bitumenpartiklarna genom förlust av vatten med ballasten

bildar en hård yta som binder till underlaget. Slurry seal är en ytbehandling som brukar användas i tjocklekar upp till den största storleken i ballasten.

### 2.2.2 Halvvarm massa

Med ett ångturboverk finns möjlighet till att förbereda massa halvvarmt. Verken är jämfört med varma asfaltsverk små och mobila och de kan ge en skonsam uppvärmning och minskad åldring på bindemedlet. I ett ångturboverk värms ballasten upp genom att man sprutar in överhettad vattenånga. Ångan blandas sedan med bindemedlet. Det innebär också att risken för överhettning av massan elimineras.

### 2.2.3 Modifierad bitumen

I föregående studie uppmättes minskningar i HIC för laboratorieprover där endast bitumen bytts ut mot modifierat sådant. För fall från 20 cm var minskningen uppåt 30% jämfört med referens, vilket kunde jämföras med drygt det dubbla för gummiinblandning. Dock för fältmätningar uppmättes en del lokala variationer där värden både högre och lägre än referensen uppmättes vintertid, men var mer stabila sommartid då kritisk fallhöjd var drygt 30% högre än referensen.

## 2.3 Pilotförsök i stadsmiljö

Projektet har genomfört ett pilotförsök i Uppsala, där halvvarm massa anlagts på en ca 200 meter sträcka på en befintlig cykel- och ridväg.

## 3. Resultat

### 3.1 Utvärdering -metoder

#### 3.1.1 Stötupptagning

Eftersom provplattor tillverkade på lab ofta är 0,5 x 0,5 m, har SS-EN 1177 inte kunnat följas fullt ut då storleken förhindrar rätt avstånd mellan provpunkter samt mellan provpunkter och kant. För att mäta förändring av stötdämpningen jämfört med referens behöver referensernas startvärde uppmätas. När mätning utförts på referensplatta enligt en modifierad SS-EN 1177 med mätningar i samma punkt, uppmättes den kritiska fallhöjden till 0,2-0,3 m. Det låga värdet gjorde att mätningarna låg väldigt tätt. Vad som också kunde noteras är att vid mätning i fält vid låga temperaturer på referensytor kunde ofta inget värde alls uppmätas. Detta kunde härledas till att fallhöjderna blev så låga att instrumentet inte hann mäta.

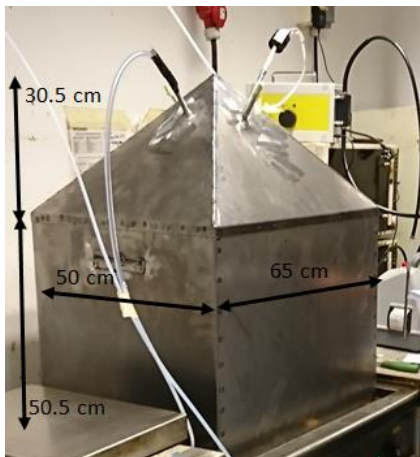
För mätningar med hjälm på provhuvudet förbrukades en hjälm per mätning eftersom sprickor uppstod vid släpp (Figur 4). Av denna anledning utfördes endast ett begränsat antal sådana mätningar.



Figur 4 Sprickor i hjälm efter mätning

### 3.1.2 Emissioner

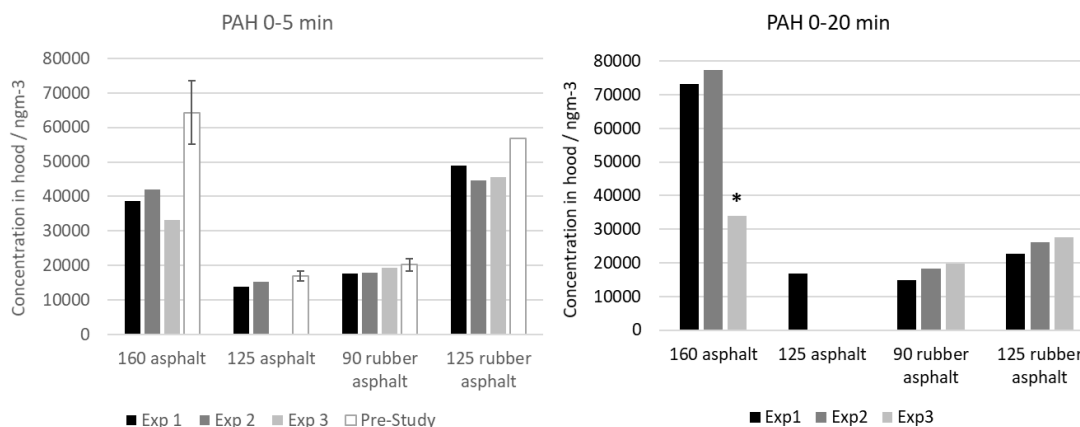
För att utvärdera emissioner vid asfaltsarbete finns några metoder som utförs i fält. Dessa är dock beroende av väder och vind och kan inte användas för att tillförlitligt kunna jämföra olika asfaltsblandningar. Gummiinblandning i asfalt är ganska ovanligt i Sverige och förekommer här och i övriga världen endast i form av att finmalt gummi blandas in i bitumen. Eftersom vår applikation innebär inblandning av gummigranulat som en del av ballastfasen, har en ny metod för emissionsmätning utvecklats inom detta projekt. I denna metod har prov av bestämd volym tagits direkt efter produktion och placerats i kartong som inför mätning värmts upp till specificerad temperatur. En bestämd volym och inte vikt har använts eftersom volym är det som hålls konstant under asfaltsläggning när olika typer av asfaltsmassor används. Afaltsmassan hälldes på en lätt uppvärmd yta av rostfritt stål och över denna placerades en huv där provtagning skedde. Eftersom denna typ av mätningar inte utförts tidigare designades, tillverkades och användes huven inom detta projekt. Figur 5 visar huven som tillverkades i rostfritt stål med volymen 197 dm<sup>3</sup> med måtten 65 cm x 65 cm x 80 cm. I huven finns två horisontella 1 cm höga ventilationsöppningar vid de under kortsidorna. Emissionsprover samlas från fyra öppningar på huvens övre del. Dessa öppningar är konstruerade av 1.2 cm i diameter stålrör som är ca 17 cm långa (7 cm innanför huven och 10 cm utanför) som slutar med ett avstånd på 7-12 cm isär inuti huven där de löts fast. Provtagningen utfördes genom att föra in ¼" stålrör genom dessa rör. Provtagningsrören byttes ut mellan varje asfaltstyp eller temperatur för att undvika kontaminering mellan experiment. Emissionen kan analyseras off-line eller kontinuerligt exempelvis med partikelmätare.



**Figur 5.** Provtagningshuv använd för att jämföra emissioner från asfaltsblandningar.

I aktuella försök samlades partiklar från emissionsproverna på filter och analyserades i samverkan med Skånevård Medicinsk Service gravimetriskt via gaskromatografi – mass spektrometri (GC-MS) för de vanligaste polycykliska aromatiska kolvätena (PAH-erna). Partikelkoncentrationerna mättes online med optisk partikelstorleksspektrometer (OPS). Varje test gav PAH i partikel-, samt gas- och partikelfas gemensamt samt total partikelmassa. De temperaturer som undersöktes var 90°C, vilket är tillverkningstemperaturen som används för massan med gummigranulaten, 125°C som är temperatur som provas för att sänka tillverkningstemperatur för konventionell asfalt och 160°C som är standardtemperatur för konventionell asfalt.

I de flesta försök togs prover under de första 0-5 minuterna och jämfördes med de första 0-20 minuterna. Figur 6 visar en överblick över genomsnittlig PAH koncentration för varje experiment. Resultaten presenteras här som koncentration i luft, beräknad från massan på filtret och volymen på den provtagna luften.



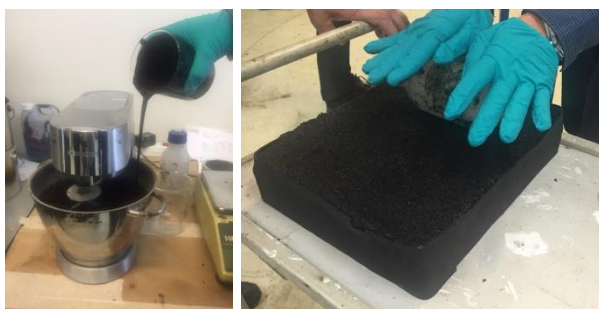
**Figur 6** PAH-koncentrationer i emissionerna från huven per experiment. Variation visas i de fall triplikat gjorts. \* indikerar en tänkbar avvikelse, se diskussion.

I Figur 6 kan man se att partikelhalten är väldigt låg för den aktuella tillverkningsstemperaturen 90°C, men att den ökar kraftigt med temperatur, vilket förklarar de tidigare betänkligheter som funnits vid användning av gummi vid konventionell beläggning. Det kan också noteras att konventionell asfalt vid standardtemperatur 160°C utan gummi medför mest emissioner i dessa mätningar. Eftersom asfaltsrök inte tidigare kunnat jämföras på detta sätt, är detta en viktig landvinning även i form av utvärdering av arbetsmiljö för asfaltsarbetare. Abstract för emissionsstudien har skickats till European Aerosol Conference – EAC 2019 och utöver denna är en vetenskaplig publikation under utarbetning, tänkt att publiceras i tidskrift läst av berörd bransch.

## 3.2 Materialutveckling

### 3.2.1 Kallblandad slurry seal

Den kallblandade slurry seal beläggningen utfördes på labbskala med polymermodifierad bitumenemulsion som påfördes som ytbehandling på standardplatta (Figur 7).



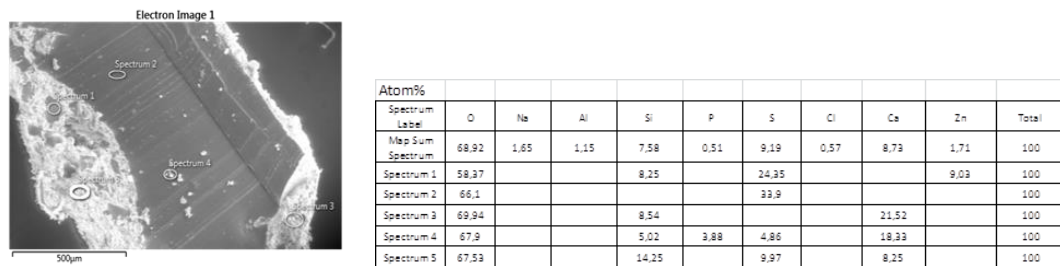
**Figur 7.** Vänster: Blandning av slurry seal. Höger: ytbehandling med slurry seal.

Beläggningen provades med inblandning av upp till 25 vikts% gummigranulat och med en tjocklek på 20 mm. Proverna med dessa befanns ha en kritisk fallhöjd på 0,8 meter, vilket är betydligt högre än de 0,2 till 0,3 meter som uppmätts på referensprover. Dock befanns beständigheten vara låg då material kunde skrapas av från ytan, varför projektet inte gick vidare med denna teknik.

### 3.2.2 Halvvarm massa

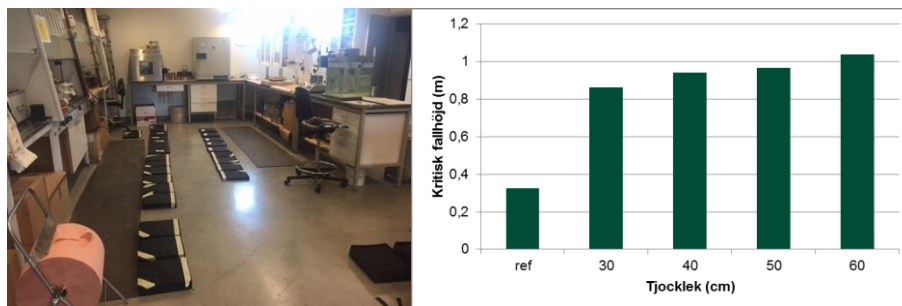
Halvvarm massa förbereddes med stenmaterialkurva 0-8 mm. Tidigare projekt med gummiinblandning i asfalt har visat att gummit över tid absorberar bitumen, vilket riskerar att

göra asfalten icke-beständig. På grund av detta fokuserade projektet på att undersöka och utveckla olika metoder för förbehandling av gummit med bitumen. Förbehandling på lab utfördes genom att gummigranulaten blandades med bitumen och sedan fick vila under olika perioder, men med denna metod var det svårt att dosera bitumen så att granulaten torkade inom rimlig tid så att de blev hanterbara. Projektet samverkade därefter en portugisisk aktör (Consulpav) med utrustning och expertis inom förbehandling som kunde behandla stora volymer. I den tekniken blandas bitumen, gummi och mineral genom omrörning och förhöjd temperatur. Vid undersökning i ESEM-EDX sågs på behandlade gummigranulat spår av mineral på ytorna (Figur 8).



Figur 8. ESEM –EDX bild av gummigranulat förbehandlat vid Consulpav.

I den halvvarma massan ingick förbehandlat gummigranulat 1-4 mm, polymermodifierade mjuka bitumen och vidhäftningsmedel. För att undersöka inverkan på beläggningens tjocklek tillverkades provplattor med 20 vikts% gummigranulat och tjocklekar på 30, 40, 50 och 60 cm. Figur 9 visar dessa provplattor samt uppmätta medelvärden för minst två plattor för kritisk fallhöjd.



Figur 9. Vänster: provplattor med olika tjocklekar. Höger: medelvärde för plattornas kritiska fallhöjder som funktion av tjocklek och i jämförelse med referens utan gummigranulat.

Eftersom störst skillnad förelåg mellan 30 cm och 40 cm varje cm tjocklek leder till ett högre pris per m<sup>2</sup> beläggning uppskattades att 40 cm gav mest kostnadseffektiv beläggning. För att uppskatta om stötdämpningen varierade med temperaturen utfördes också försök vid ca 10°C till 25°C. Dessa visade att för en medelsänkning av temperaturen på 18°C, sänktes kritisk fallhöjd med 0,16 m, vilket motsvarar ca 8,7 mm/°C för dessa prover och temperaturintervall.

### 3.2.3 Modifierad bitumen

Försök utfördes också med modifierat bitumen i standardastalt utan inblandning av gummigranulat. Dessa utfördes som del av befintligt projekt i södra Sverige. Ingen ökad stötupptagning har kunnat uppmätas för denna sträcka jämfört med närliggande konventionella beläggningar, men där behöver man ha i åtanke att mätningar endast utförts vid låga temperaturer på grund av väderlek vid anläggnings- och mättillfället.

### 3.3 Pilotförsök i stadsmiljö

Eftersom laboratorieförsöken för halvvarm asfalt var mycket lovande beslutade projektet att genomföra fältförsök på väg. Detta försök genomfördes i Uppsala. Inför projektet sändes gummigranulat till Consulpav för förbehandling. Eftersom ångturboverk (beskrivet i 2.2.2) använder ånga och inte helt kan reproduceras på lab genomfördes försök att förbehandla gummigranulatet med denna metod. Figur 10 visar arbetslaget uppställt bakom gummigranulaten, ångturboverket under pågående process och läggningen.



**Figur 10.** Vänster: del av arbetslaget vid fältförsök i Uppsala. Mitten: ångturboverket, Höger: läggningen.

Första försöken gav massa där man vid visuell bedömning kunde se blottat stenmaterial och bedömdes därför inte lämpligt för läggning. Efter justering av parametrar i ångturboverket bildades en massa som den samlade projektexpertisen bedömde ha så lovande egenskaper att den kunde provas i läggning. Detta material kördes i skopan till läggaren som stod på försökssträckan. Med läggaren justerades beläggningens tjocklek och efter detta utfördes på den avsvalnande beläggningen en noggrann vältning anpassat efter gummit elasticitet för att minska risk för sprickbildning. Eftersom beläggningen så mycket bra ut kördes resten av materialet fram med lastbil och hela materialet kunde användas. Två cyklister (en dam på cykel med lågt insteg samt en man på pendlarcykel) som cyklade förbi strax efter detta fick frågan om vad de tyckte om beläggningen. Damen som hann provcykla lite mer sa att det var bekvämt att cykla på och mannen som hade mer bråttom sa efter att ha passerat beläggningen att det var bra att sträckan äntligen asfalteras.

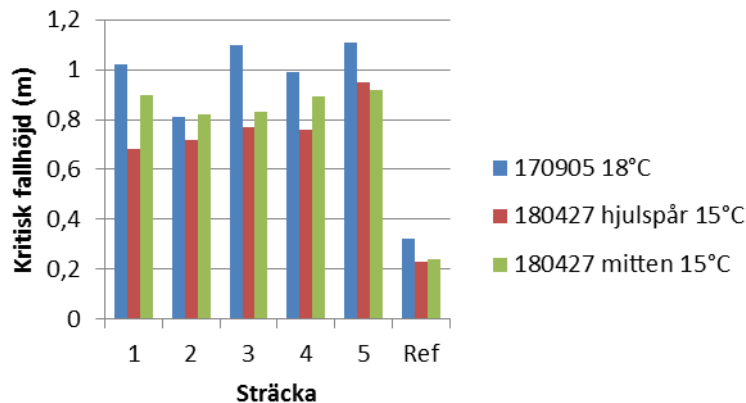
Teststräckan visas i Figur 11 finns kvar i Uppsala och är ca 200 meter, indelad i delsträckor där bitumenhalt varierats mellan 8-10 vikts% och även förbehandlingen av gummit (i ångturboverket eller av Consulpav). Eftersom beläggningen är en första teststräcka planerades den inte som ett ordinarie projekt och har inte heller den underbyggnad som är vanligt vid nyanläggning. Figur 10 visar teststräckan sommartid respektive vintertid.



**Figur 11.** Teststräcka i Uppsala

Utvärdering av teststräckan har delvis utförts i detta projekt och delvis i TRV 2015/53804 Nya material för säkra vägbeläggningar för cyklister och fotgängare med projektledare Kenth Johansson vid RISE, ursprungligen inom Portfölj 4: ”Robust och tillförlitlig infrastruktur”, senare ”Bygga”. Enhet IVtsö3, Handläggare Anders Tykesson. Det senare projektet har fokuserat på cyklisters upplevelse och finns slutrapporterat 2018-12-20.

Figur 12 visar sträckans stötupptagande förmåga för de olika delsträckorna. Eftersom sträckan trots att den är en kombinerad cykel- ridväg trafikeras av en del tung trafik har senare mätningar utförts i mitten respektive i hjulspåren. Sträckorna innefattar 1-3: asfaltmassa med gummigranulat förbehandlat i Portugal med bitumenhalter 8, 9 respektive 10 vikts% samt 4-5 asfaltmassa med gummigranulat förbehandlat i ångturboverk med bitumenhalter 10 respektive 9 vikts%. Referens betecknar här mätningar utförda vid samma tillfällen på en hårdgjord yta i anslutning till teststräckan.



**Figur 12** Stötupptagning för Uppsala teststräckor 1-5 samt referens vid samma tillfälle.

I Figur 12 kan konstateras att beläggning med gummigranulat ger en höjning av kritisk fallhöjd jämfört med referens samt att de olika bitumenhalterna och förbehandlingarna av gummigranulaten är likvärdiga. Detta är viktig information eftersom både förbehandling beroende av att tonvis med material skickas utomlands, samt förhöjd bitumenhalt är kostsamma och bara ska användas om det ur applikationssynpunkt är nödvändigt. Det kan också noteras att mätningen 2017 generellt gav högre värden än 2018, vilket kan tyda på en såväl en temperatur- som åldringseffekt, men förmodligen mest det senare eftersom temperaturändringen enligt resonemanget i avsnitt 3.2.2 bara skulle motsvara 0,026 m minskning. Den tunga trafiken verkar ha gett en minskning i kritisk fallhöjd på i genomsnitt 0,1 m i hjulspår jämfört med teststräckans mitt, samtidigt som denna i sin tur är 0,23 m lägre än det tidigare tillfället. Dock bör noteras att beläggningen även i hjulspåren verkar hållit mycket bra.

På några ställen utfördes också mätningar med hjälm på testhuvudet. Dessa gav för fast fallhöjd på 1,5 meter, HIC värden 1: 1028, 2: 1011 och 3:881. Medelvärde alltså HIC 973, vilket är under HIC 1000 som enligt resonemang i 3.3.1 är en vanlig gräns i skadepreventionssammanhang.

## Diskussion

Trafiksäkerhetsutvecklingens negativa trend för oskyddade trafikanter fortgår. Flödesmätningar och nutidspaningar visar att antalet oskyddade trafikanter kommer att fortsätta öka, att hastigheterna kommer att gå upp samt att utmaningen med att få användarna att använda skyddsutrustning i och med ett ökat antal delade mobilitetstjänster kommer att bli än större. Samtidigt kan utbudet av nya mobilitetsfordon leda till ett större antal ovana förare som löper än större risker för olyckor. Eftersom framtidens demografi förutspår en ökad andel äldre trafikanter, varav fler kommer att använda olika hjälpmedel för sin förflyttning finns också ökade krav på jämna, släta ytor med bra grepp. Detta är synnerligen viktigt eftersom det redan idag konstaterats att ojämnheter och plattor är en huvudorsak till äldres skador vid barmarksolyckor och också upplevs som problematiska för äldre. Att uppleva oro vid transport kan leda till stillasittande, vilket enligt WHO är den fjärde största riskfaktorn för global

mortalitet. Transporten som under mänsklighetens tidiga utveckling utgjorde större delen av vår fysiska aktivitet, skedde på naturmark som har föga likheter med städernas hårdgjorda ytor.

Under projekttiden har SAFERUP: Sustainable, Accessible, Safe, Resilient and Smart Urban Pavements inom H2020 MSCA ITN-ETN startat under ledning av professor Cesare Sangiori vid Universitetet i Bologna. Projektet med RISE som partner fick mycket höga utvärderingar av EU (Excellence 4.80, Impact: 4.80, Quality: 4.80, total score 96%) och en av de totalt femton doktoranderna kommer ha stötupptagande material som huvudfokus och tillbringa delar av projekttiden på RISE. Vidare har ytterligare ett doktorandprojekt vid KTH Teknik och Hälsa, avdelningen för Neuronik startats under ledning av professor Svein Kleiven, där studien som finansieras av Trafikverket tar fram skadenivåer kopplat till stötupptagande beläggningar. En utredning har också gjorts av Stigell m.fl. på Trivektor: "Förlåtande beläggning på cykelbanor - Var ska den placeras?" som ger god vägledning för kommuner som vill använda beläggningen i sitt trafiksäkerhetsarbete. Samtliga dessa projekt är startade med aktuellt projekt som grund.

I projektet har en stötupptagande beläggning som kan framställas i Sverige med konventionella metoder vid fullgod arbetsmiljö framtagits. Beläggningen som är den första i sitt slag framstår som jämn, cykel- och gångvänlig samt hållbar över flera säsonger. Att använda stötupptagande beläggningar för oskyddade trafikanter kan minska skador vid trafikolyckor, samt har potential att öka antalet resor med dessa transportslag. Att växla över resor från motorfordon till fysisk transport har positiva effekter på folkhälsa, trängsel i transportsystemet samt transportsektorns utsläpp. Diskussioner förs med kommuner och det har presenterats kartor med utpekade sträckningar där intresse finns att prova beläggningen. Inom Trafikverket sker diskussioner kring samfinansiering och från projektdeltagarnas håll är optimismen stor efter de goda projektresultaten.

## Publikationslista

Asfaltdagen 2017 Malmö 22/11 och Stockholm 23/11, Lars Jansson m.fl., Säkrare cykelbanor med stöddämpande beläggning.

Abstract till European Aerosol Conference – EAC 2019. Janhäll, S, Strandberg, B., Holmqvist, L., Jansson, J. och Rissler, J. New method and first results for comparing emissions of fumes during construction of asphalt surfaces

## Referenser, källor

1. Schyllander, J. and R. Ekman. *Skadade cyklister – en studie av skadeutvecklingen över tid*. 2013; Available from: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/27022.pdf>.
2. Krafft, M. and H. Stigson, *Intervju med cyklister skadade i singelolyckor*, V. Wallqvist, Editor. 2014.
3. Zander, O., G. Dirk-Uwe, and P. Lessmann. *Improved assessment methods of lower extremity injuries in vehicle-to-pedestrian accidents using impactor tests and full-scale dummy tests*. in *22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. 2011. Washington DC.
4. Trafikverket, *Trafiksäkerhet och olyckskostnader, in Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2*. 2015.
5. Carlsson, A. and M. Svensson, *Fallolyckor Bland Gångtrafikanter*. 2015, Chalmers Industriteknik (CIT).
6. Schyllander, J., *Fallolyckor - Statistik och analys*, M.f.S.o.B. (MSB), Editor. 2014.
7. Adolfsson, L., *Fotgängarnas fallolyckor i Göteborg*. 2011: Göteborgs Stad, Trafikkontoret.

8. Wennberg, H., *Trygga och säkra gångmiljöer för äldre fotgängare – Jämförelse av upplevelser och objektiv säkerhetssituation*. 2011.
9. Brundell, S. and P. Lorentzon, *Var tredje över 80 år har rollator*, in *Välfärd*. 2007.
10. Lundkvist, L., *Tre miljoner fler bor i Sverige år 2060*. 2015, SCB.
11. Berg, H.-Y., Å. Forsman, and R. Fredriksson. *Hur såg trafiksäkerhetsutvecklingen ut 2018?* in *Resultatkonferens trafiksäkerhet 2019* 2019. Clarion Hotel, Stockholm: Trafikverket.
12. Karlsson, P. and S. Eriksson, *Cykel och fotgängarmätningar 2017*. 2018, Stockholms Trafikkontor.
13. Falkirk, J., *Sju av tio stockholmare skulle kunna cykla till jobbet på en halvtimme*, in *Dagens Nyheter*. 2019.
14. Wladis, A. *Ny statistik från Cykelbranschen: Över 100 000 elcyklar sålda i Sverige*. 2018; Available from: <http://svenskykling.se/2018/10/02/ny-statistik-fran-cykelbranschen-over-100-000-elcyklar-salda-i-sverige/>.
15. Sehlin, M. *Lunds första lådcykelparkering klar*. 2019; Available from: <https://www.sydsvenskan.se/2019-03-12/lunds-forsta-ladcykelparkering-klar>.
16. Lundgren Landin, H. *Cykelparkering för lastcyklar i centrum*. 2019; Available from: <https://karlstad.dialogportalen.se/proposal?pid=529>.
17. Björkman, F., *Nytt svenskt scooterbolag rullar ut i Stockholm*, in *Dagens Industri*. 2019.
18. *REKORDSTART FÖR CITY BIKES, KORTFÖRSÄLJNINGEN + 50%*. 2017; Available from: <https://www.clearchannel.se/news/rekordstart-for-city-bikes/>.
19. Fasth, J. *Elcyklar med mopedstatus – vad bör man tänka på?* 2019; Available from: <https://happyeride.se/2019/01/22/elcyklar-med-mopedstatus-vad-bor-man-tank-a-pa/>.
20. Wedin, J. and N. Wedin, *MOVE BY BIKE*. 2019, Social Innovation Skåne.
21. Reiter, K. and S. Wrighton, *Potential to shift goods transport from cars to bicycles in European cities*. 2014: cyclelogistics.eu.
22. Blondiau, T. and B. Van Zeebroeck, *Jobs and job creation on the European cycling sector*. 2014, Transport & Mobility Leuven.
23. Schantz, P., *Om gång och cykling, hälsa och en hållbar utveckling*. 2016.
24. *Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. Available from: <https://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/en/>.
25. Lay, M. and J. Vance, *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles That Used Them*. 1992: Rutgers University Press.
26. Burghardt, A.F., *The origin of the road and city network of Roman Pannonia*. *Journal of Historical Geography*, 1979. **5**(1): p. 1-20.
27. Lundmark, G., *Asfaltbolken*. 2002: Asfaltskolan.
28. Henn, H.-W., *Crash Tests and the Head Injury Criterion*. *Teching Mathematics and its applications*, 1998. **17**(4): p. 162-170.
29. Chichester, C., et al., *A Test Methodology for Assessing Demining Personal Protective Equipment (PPE)* 2001, Army Communications Electronics Command, Night Vision and Electronic Sensors Directorate, 10221 Burbeck Road, Fort Belvoir, VA, 22060-5806.
30. Mackay, M., *The increasing importance of the biomechanics of impact trauma*. *Sadhana*, 2007. **32**(4): p. 397-408.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Viveca Wallqvist