

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Hållbar kommunal underhållsplanering med uppkopplade fordonsdata	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Sustainable municipal maintenance planning with connected vehicle data	
Universitet/högskola/företag Salbo Konsult AB	Avdelning/institution
Adress Norrsalbo 119, 73363 Salbohed	
Namn på projektledare Kristin Eklöf	
Namn på ev övriga projektdeltagare	
Nyckelord: 5-7 st Underhållsplanering, vägunderhåll, uppkopplade fordon, IOT, maskininlärning	

Förord

Tack till Energimyndigheten som delfinansierat detta projekt. Särskilt tack till Jonas Ekblad och Linda Löwhagen, NCC Industry, för råd angående emissionsmodell för asfaltsmassa.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	6
Resultat	7
Diskussion.....	11
Publikationslista.....	13
Referenser, källor.....	13
Bilagor	14

Sammanfattning

Vi har i projektet skapat en långsiktigt hållbar underhållsplan för kommunala vägar baserad på data från uppkopplade fordon. Denna plan innebär att kommuner kan använda uppkopplad fordonsdata för att reparera kritiska skador, optimera sin underhållsbudget och implementera sina strategiska planeringsmål. Genom att beräkna miljöpåverkan från varje beläggningsåtgärd ur ett livslängdsperspektiv och optimera underhållsplanen utifrån minskade växthusgasutsläpp har projektet dessutom visat att det är möjligt för kommuner att minska sina utsläpp från beläggingsunderhåll med 17 procent under en tioårsperiod. Detta utan teknisk innovation, utan enbart genom att optimera användning av resurser och teknik som finns tillgänglig redan idag.

En stor del av energibesparingen ligger i att underhållsplanen anammar principen om förebyggande underhåll. Förebyggande underhåll har inom forskningen visat sig vara en överlägset effektiv underhållsstrategi men implementeras förvånande sällan. Detta beror bland annat på bristande dataunderlag och bristande strategisk, samordnad styrning. Därmed blir "värst först" ofta den naturliga lösningen för kommuner. Att prioritera underhåll av de värsta vägarna är både ekonomiskt kostsamt och kräver dessutom större åtgärder som i sin tur genererar högre växthusgasutsläpp. Genom att använda tillståndsdata från uppkopplade fordon kan kommunen kontinuerligt uppdatera sin underhållsplan baserad på aktuella data. Uppkopplad data gör dessutom att man snabbt kan ta fram en ny plan om förutsättningarna ändras. Vi använder optimeringsalgoritmer för att skapa underhållsplanen, vilket garanterar ett resurseffektivt nyttjande av kommunens tillgångar även med nya förutsättningarna i beaktande.

En annan del av energibesparingen ligger i att kommunen med hjälp av underhållsplanen kan ställa krav på sina leverantörer, till exempel att all transport av utrustning och material ska ske med biogas i stället för med diesel. Planen visar konkret hur många koldioxidekvivalenter som sparas vid olika val av åtgärder och drivmedel, samt kostnaden för att ställa om, så att kommunen på ett planerbart och effektivt sätt kan minska sina utsläpp.

Summary

Our project has created a sustainable maintenance plan for municipal roads using data from connected vehicles. We enable municipalities to repair critical damages, optimize their maintenance budget, and implement their strategic planning goals using connected vehicle data and optimization algorithms. By calculating the environmental impact of each treatment from a life-cycle perspective and optimizing the maintenance plan with the objective to minimize CO₂ emissions, we can show that it is possible for municipalities to reduce their emissions from pavement maintenance by 17 percent over a ten-year period. This is achieved solely through optimizing resources and technology that are available today.

A significant part of the emission reduction is due to adopting preventive maintenance principles. Preventive maintenance has previously been scientifically proven as a superior maintenance strategy but is surprisingly rarely implemented. Common reasons are lack of data and strategic, coordinated governance. Consequently, "worst roads first" often becomes the natural strategy. Prioritizing maintenance of the worst roads is both financially costly and also requires larger maintenance actions, which generate higher CO₂ emissions. By using condition data from connected vehicles, a municipality can continuously update its maintenance plan based on current data. Access to connected vehicle data also facilitates quick developed of a new plan if conditions change. We use optimization algorithms to create the maintenance plan, which guarantees a resource-efficient use of the municipality's assets even with new conditions considered.

Another way in which the plan enables emission reductions is the ability for municipalities to set demands on its suppliers, for example that transportation of equipment and materials must be done with biogas instead of diesel. The plan calculates how much CO₂ is saved with different choices of treatments and fuels, as well as the cost of transitioning to more sustainable choices, so that the municipality can reduce its emissions efficiently and in accordance with its overall climate and sustainability objectives.

Inledning/Bakgrund

Den kommunala transportinfrastrukturen är en av Sveriges viktigaste tillgångar som möjliggör att landets samtliga medborgare får tillgång till relevant samhällsservice. Att förvalta och underhålla infrastrukturen är en grundförutsättning för ett hållbart samhälle. Valfungerande vägar är avgörande för trafiksäkerheten, en stark svensk konkurrenskraft, och garanterad tillgänglighet i hela landet. Det har i flera olika rapporter (se referens 1–2) konstaterats att transportinfrastrukturen i Sverige har en betydande underhållsskuld, både nationellt och kommunalt. Detta gäller inte minst vägnätet där Sveriges Kommuner och Regioner uppskattat underhållsskulden för det kommunala vägnätet till 12 miljarder kronor (se referens 2).

Underhållsskulden är ekvivalent med en kapitalförstöring som innebär att resurser minskar i värde på grund av otillräckliga investeringar. Omställningen till en hållbar transportinfrastruktur innebär att underhållsskulden betalas av och att en resurseffektiv, klimatsmart tillgångsförvaltning som upprätthåller transportinfrastrukturens värde och funktion implementeras.

Salbo Konsult AB genomförde år 2021 en analys av underhållsskulden på det statliga vägnätet. Resultaten publicerades i rapporten *Långsiktiga effekter av ett underfinansierat vägunderhåll* (referens 2). Analysen byggde på öppna tillståndsdata från Trafikverket, en egenutvecklade metodik för att förutsäga vägnätets framtida tillstånd, samt optimeringsalgoritmer som beräknar en optimal fördelning av tillgänglig budget under en tioårsperiod.

För det kommunala vägnätet, cirka 46 500 kilometer vägar och gator, finns inga öppna tillståndsdata att tillgå. Varje kommun är själv ansvarig för tillståndsbeskrivning och underhållsplanering på det vägnät där kommunen är väghållare. Många kommunala vägar är likt de statliga vägarna byggda under 1960- och 1970-talen och har ett stort behov av underhåll. I Regeringens senaste infrastrukturbudgetproposition ökade anslagen till vägunderhåll med 20 procent, men detta gäller endast vägar där Trafikverket är väghållare samt de enskilda vägar som får statsbidrag. Svenska kommuner måste själva planera och budgetera sitt vägunderhåll med begränsade resurser till sitt förfogande. Den kraftfulla datadrivna underhållsoptimeringen som gjordes i *Långsiktiga effekter av ett underfinansierat vägunderhåll* (referens 2) bygger på tillståndsdata för det statliga vägnätet, men samma typ av beräkningar kan göras för kommuner med en anpassning till kommunala förutsättningar och krav.

Den främsta nyckeln för att genomföra en datadriven underhållsoptimering är tillgång till tillståndsdata. NIRA Dynamics AB är ett svenskt företag som har ca 40 000 uppkopplade bilar som kontinuerligt mäter vägnätets tillstånd. Det krävs ingen handpåläggning utan data kommer kontinuerligt in från hela Sverige. NIRA levererar information kring vägars friktion, ojämnheter och trendutveckling. Detta görs på ett repeterbart sätt och likadant överallt. Utöver det identifieras potthål och liknande vägskador. Genom att nyttja data från den befintliga fordonsflotta effektiviseras datainsamlingen till ett automatiserat flöde, där kommunen inte

behöver lägga stora resurser på att säkerställa att upphandlade tillståndsmätningar är kompletta och jämförbara. Dessutom kan man direkt anpassa underhållsplanen till aktuella omständigheter i stället för att förlita sig på framskrivningar av tillståndsinventeringar, som om de utförs ofta sker med flera års mellanrum av kostnadsmässiga och praktiska skäl.

En underhållsplan baserad på datadriven optimering garanterar att kommunens resurser nyttjas maximalt effektivt givet prioriteringar och data som planen bygger på. Ett underhåll som går från ”värst vägar underhålls först” – vilket generellt kostar mer – till förebyggande underhåll kan spara miljontals kronor per år (referens 6, 7, 8, 10) samtidigt som det också leder till ett lägre växthusgasutsläpp eftersom förebyggande underhåll generellt har lägre klimateffekter. En tydligt visualiserad och kommunikativ underhållsplan är essentiell för att planen ska kulla förankras hos olika intressenter och användas som konkret beslutsstöd.

Med utgångspunkt i forskningsläget har projektet *Hållbar kommunal underhållsplanering med uppkopplade fordonsdata* genomförts tillsammans med pilotkommunerna Nacka och Norrköping. Salbo Konsult AB och NIRA Dynamics AB under perioden november 2022 till och med januari 2024. Salbo Konsult AB har varit huvudman och projektet har finansierats med stöd av Energimyndigheten samt interna medel.

Genomförande

Projektet har genomförts i sex arbetspaket. Arbetspaket 1 och 2 innefattade en inventering av data samt behov hos kommunerna Nacka och Norrköping. Kommunerna har bidragit med information och data kring tidigare utförda underhållsåtgärder, befintliga underhållsplaner, befintliga beläggningsupphandlingar, trafikmätningar, tidigare tillståndsinventeringar samt prioritering av kommunens vägnät. Salbo Konsult AB var mottagare av data samt genomförde behovsanalysen. Salbo Konsult AB har också tagit fram relevant utsläppsdata för beläggningsåtgärder, framför allt genom den öppna databasen International EPD System's Bibliotek (referens 11) samt Trafikverkets klimateffektsberäkningsverktyg Klimatkalkyl (referens 12).

I Arbetspaket 3 utvecklades projektets affär. En affärsplan togs fram genom ett Memorandum of Understanding inklusive plan för Revenue Share mellan Salbo Konsult AB, NIRA Dynamics AB och det Kandadensiska företaget Infrastructure Solutions Software Inc vars programvara Decision Optimization Technology används för att ta fram underhållsplanerna.

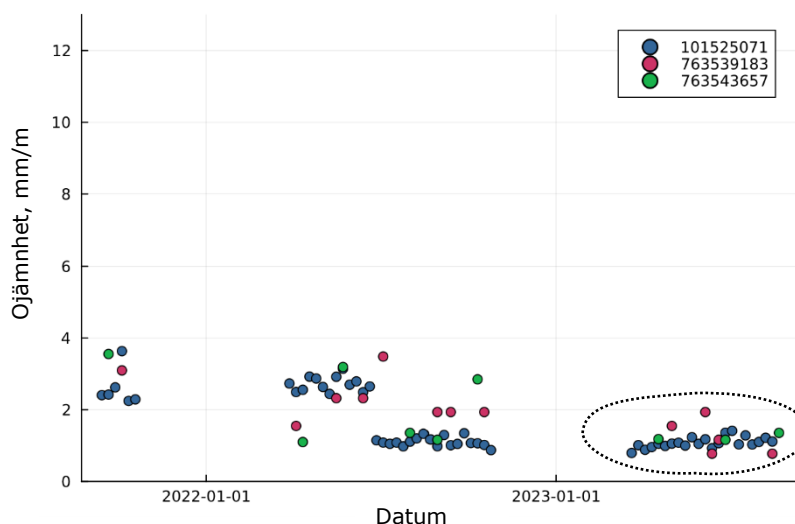
Arbetspaket 4 gällde en IP-strategi för de nyutvecklade algoritmer som Salbo Konsult AB äger. Framtagandet av IP-strategin gjordes med juridisk hjälp av Advokatfirman Lindahl AB.

Arbetspaket 5 innefattade utveckling av den algoritm som används för att processa data från uppkopplade fordon för prediktering av vägars nedbrytning och underhållsbehov. Salbo Konsult AB har arbetat fram denna algoritm med stöd av NIRA samt presenterat metoden för sakkunniga på konferensen European Road Profile User's Group och för the Standing Committee on Pavement Condition Evaluation på Transportation Research Board's konferens i Washington DC. Salbo tog i detta paket även fram en modell för att beräkna växthusgasutsläpp för beläggningsåtgärder.

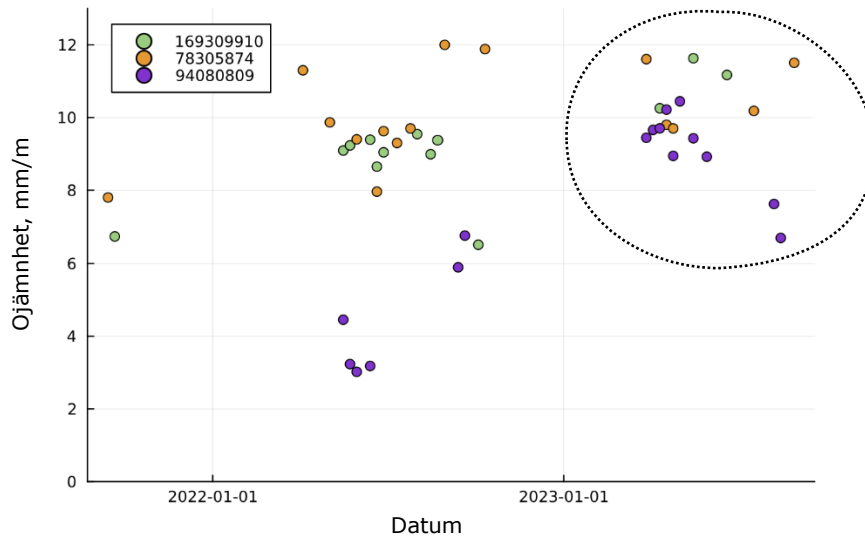
Arbetspaket 6 innebar att planen som är projektets leverabel har levererats och implementerats i kommunernas verksamhet. Planen innefattar en hållbar underhållsstrategi för vilka underhållsåtgärder som ska utföras vid vilken tidpunkt och är optimerad med avseende på budget och växthusgasutsläpp. Planen kan även utgöra beslutsstöd för politiska ställningstaganden så som budget- och utsläppsminskningarnivåer.

Resultat

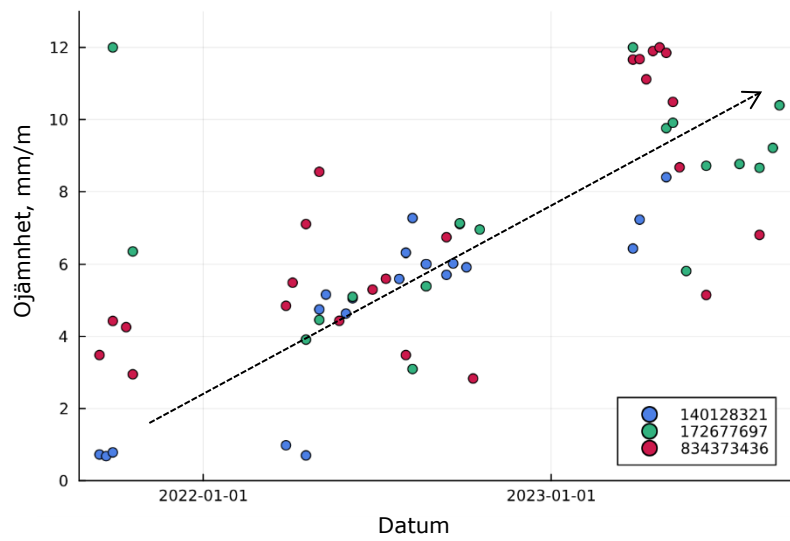
Inom ramen för projektet har en modell skapats som konverterar dagligt uppmätt tillståndsdata från uppkopplade fordon till en stabil tillståndsprediktion för långsiktigt vägunderhåll. Denna modell förutsäger med hög precision nästa års förväntade tillstånd, vilka vägsträckor som har snabbast nedbrytningstakt samt vilka sträckor som har fått en underhållsåtgärd under det senaste året. Figur 1 till och med Figur 4 visar olika exempel på modellens prediktion av olika sträckors tillstånd, nedbrytning och förmodat underhåll. Varje punkt markerar medeljämnhet per vecka mätt i mm/m. Mätningar som skett mellan november-mars är uteslutna p.g.a. vinterförhållanden.



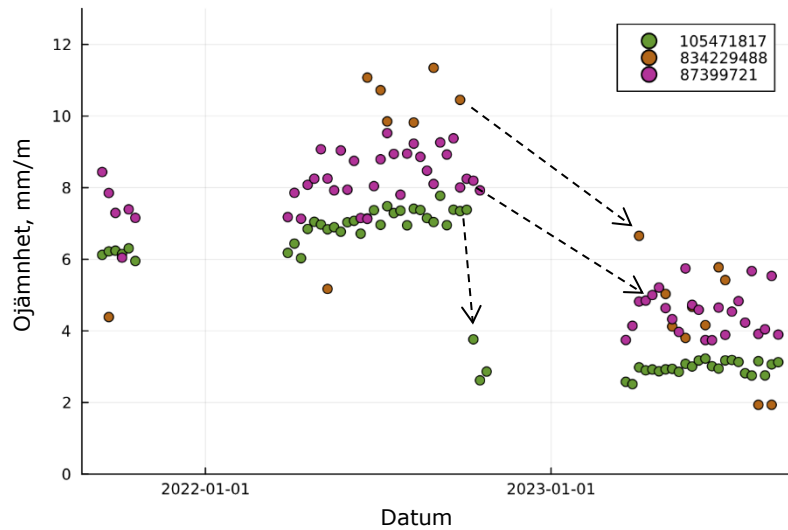
Figur 1 Sträckor med bäst predikterat tillstånd. Legendan markerar olika sträckors ID.



Figur 2 Sträckor med sämst predikerat tillstånd. Legenden markerar olika sträckors ID.

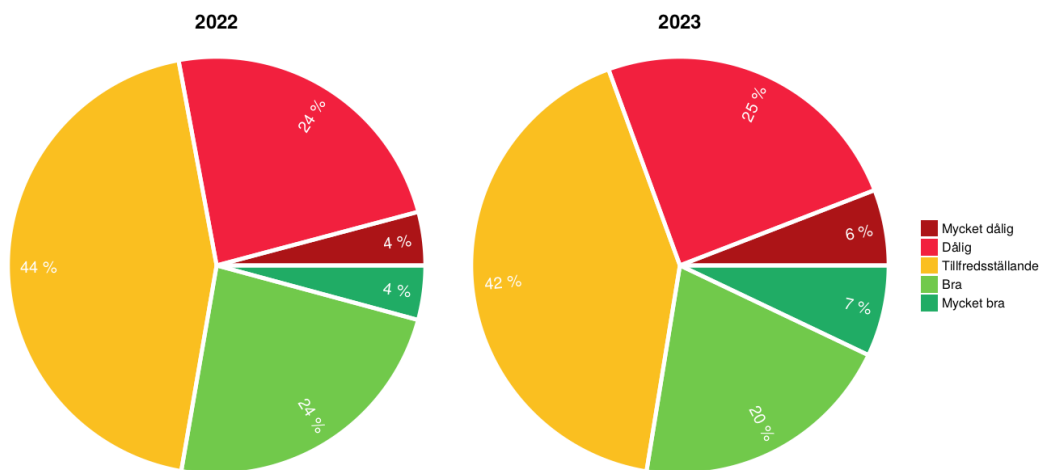


Figur 3 Sträckor med snabbast predikerad nedbrytning. Legenden markerar sträckornas ID.



Figur 4 Sträckor med predikerat underhåll mellan år 2022 och år 2023. Legendens markerar sträckornas ID.

Modellens predikerade tillstånd, i kombination med med vägens hastighet och trafikmängd, används för att klassificera varje vägsträcka i fem olika klasser: mycket bra, bra, tillfredsställande, dåligt och mycket dåligt tillstånd. Figur 5 visar hur tillståndet för Nacka kommuns vägnät förändrats mellan 2022 och 2023.



Figur 5 Tillståndsförändring Nacka kommuns vägnät 2022-2023.

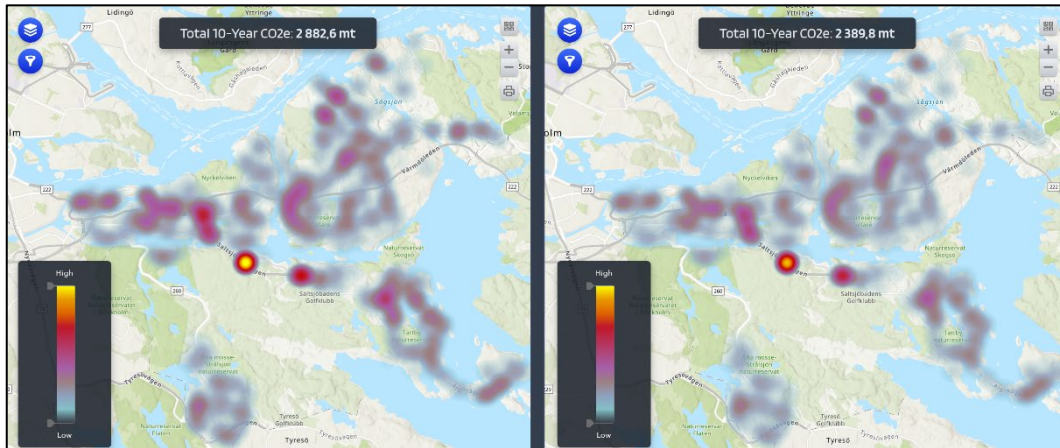
Projektet hade som mål att skapa underhållsplaner för kommunalt vägunderhåll för Nacka och Norrköpings kommuner som innebar en kostnadsbesparing på 10 procent och en CO₂-utsläppsminskning på 20 procent. På grund av kostnadsökningar för insatsvaror (bitumen, bränsle etc.) på cirka 60 procent sedan Rysslands storskaliga invasion av Ukraina den 24 februari 2022 har det dock inte varit möjligt att föreslå rimliga kostnadsbesparingar som inte innebär

kapitalförstöring. I stället har nya budgetförslag lagts fram. En optimerad och trimmad budget ger att Nacka behöver öka sin underhållsbudget med cirka 25 procent och Norrköping med cirka 46 procent för att undvika en kraftigt ökad underhållsskuld inom de närmsta 10 åren. Figur 6 visar hur tillståndet för Nacka kommuns vägnät förväntas förändras 2023–2033 utifrån tre olika budgetnivåer. Nackas nuvarande budget på 24 miljoner kronor är inte tillräcklig för att täcka behoven och kommer leda till ett försämrat tillstånd på vägnätet som helhet på tio års sikt.



Figur 6 Tillståndsförändring 2023-2033 för Nacka kommun med 24, 30 respektive 40 miljoner kronor i årlig beläggningsunderhållsbudget.

Underhållsplanen innehåller också kvantifierade koldioxidekvivalenter från beläggningsunderhåll samt påvisar hur olika underhållsstrategier och materialval påverkar utsläppen. Som underlag används EPD:er (Environmental Product Declaration) från befintliga asfaltsleverantörer. I en EPD presenteras tredjepartsgranskade koldioxidekvivalenter för respektive materialtyp och asfaltverk. Genom att öka andelen återvunnen asfalt, samt använda biobränsle vid transporter och utläggning, kan utsläppen från beläggningsunderhåll minskas utan att ny teknik behöver utvecklas.



Figur 7 Växthusgasutsläpp (koldioxidekvivalenter) från beläggningsunderhåll i Nacka kommun 2024-2033. Konventionell underhållsplan till vänster och utsläppsminskad underhållsplan till höger.

Vi har i projektet skapat och implementerat en modell som jämfört jungfruligt (icke-återvunnet) material med material som innehåller 10–20 procent återvunnen asfalt, beroende på materialtyp. Vi har också inkluderat jämförelser mellan underhåll och transporter som sker med diesel eller biobränsle. I analysen tar vi hänsyn till olika materials olika livslängd, vilket påverkar hur ofta en väg behöver åtgärdas och därmed utsläppen ur ett livscykelperspektiv. Resultaten visar att en kommun redan idag kan minska sina utsläpp med 17 procent över en tioårsperiod genom att använda befintlig teknik. Figur 7 illustrerar växthusgasutsläpp från beläggningsunderhåll i Nacka kommun 2024–2033. En konventionell plan som fokuserar på att optimera vägnätets tillstånd utifrån nuvarande budget beräknas generera 2 883 ton koldioxidekvivalenter. En utsläppsminskad plan genererar under samma period 2 390 ton koldioxidekvivalenter. För kunna uppnå samma tillstånd på vägnätet och samtidigt finansiera ökade kostnader för biobränsle behöver budgeten för den utsläppsminskade planen öka från 24 till cirka 30 miljoner kronor/år.

Diskussion

Vi har i projektet visat hur uppdaterad, uppkopplad fordonsdata samt optimeringsalgoritmer kan användas för att anamma best practices inom underhållsplanering – det vill säga datadriven, strategisk planering och förebyggande underhåll. Det finns på den globala marknaden enligt vår kännedom inget verktyg som använder uppkopplad fordonsdata för kommunal underhållsplanering. Vår underhållsplan är ekonomiskt resurseffektivt samt utgör ett konkret, implementerbar beslutsstöd för politiker och andra beslutsfattare gällande exempelvis budget, prioriteringar, målsättningar och måluppfyllnad.

Uppkopplad data har i sig en effekt på energisystemet då tiotusentals timmar och mil som varje år avverkas för att inventera kommunala vägnät kan ersättas med data direkt från fordon som redan finns i transportsystemet. Dessutom borgar aktuell, uppdaterad data för att planen som läggs är maximalt trimmad och

anpassad efter gällande förutsättningar. Den allra största påverkan på klimatet kommer dock från att beräkna koldioxidekvivalenter för beläggningsunderhållet.

I dagsläget talas mest om fordonens utsläpp från fossila bränslen när det gäller vägtrafikens klimatavtryck, men i och med ett skifte mot eldrivna fordon kommer även infrastrukturdelen av transportsystemets klimatanpassning att hamna alltmer i fokus. Säkra och effektiva vägbeläggningar är nödvändiga även för en hundra procent fossilfri fordonsflotta. Asfalt är en fossilbaserad (bindemedlet bitumen tillverkas av olja) men hundra procent återvinningsbar produkt, vilket idag inte nyttjas fullt ut.

En kommun som inte beräknar sina växthusgasutsläpp från beläggningsunderhåll kan inte ställa adekvata krav och sätta press på leverantörerna att utveckla sin teknik mot netto-nollutsläppsbeläggningar. Med mer återvinning samt nya material kommer utsläppen att kunna minskas ytterligare och i ännu snabbare takt än vad vår konservativt hållna plan beräknat. Projektet har visat att det redan idag är möjligt att minska växthusgasutsläppen från beläggningsunderhåll genom att optimera befintlig teknik. Beläggningsbranschen är liksom många andra sektorer under förändring och den enskilt största drivkraften för minskade utsläpp är vad beställarna premierar. Om inga eller alltför låga krav ställs är incitamentet till utveckling mot nettonollutsläpp lägre. Om beställarna däremot ställer höga krav – och dessutom är beredda att betala mer för material med lägre klimatpåverkan – kan omställningen i stället accelereras.

Sverige ligger långt framme i klimatarbetet då många asfaltstillverkare redan idag tillhandahåller EPD:er på sina produkter. Detta innebär att det för svenska kommuner är möjligt att ställa kvalitetssäkrade klimatkrav för beläggningar i sina upphandlingar. I exempelvis USA är EPD-systemet än så länge bara i sin linda. Vi ser genom våra internationella kontakter att vi kommer att kunna sprida vår lösning globalt. Genom att fånga upp ”early adopters” kan projektets resultat bidra till att påskynda omställningen mot ett hållbart beläggningsunderhåll inte bara i Sverige/Norden utan också i Europa och resten av världen.

Publikationslista

[European Road Profile User's Group, konferensbidrag, Athen 2023](#)

Referenser, källor

- 1) Sveriges Kommuner och Regioner (2016) *Skulden till underhåll – Det kommunala underhållsbehovet för gator, broar och belysning*.
- 2) Eklöf, K. (2021) *Långsiktiga effekter av ett underfinansierat vägunderhåll*. Rapport skriven på uppdrag av Transportföretagen.
- 3) Svenson, K. (2017) *A Microdata Analysis Approach to Transport Infrastructure Maintenance*. Doktorsavhandling, Högskolan Dalarna.
- 4) Svenson, K. (2014). *Estimated lifetimes of road pavements in Sweden using time-to-event analysis*. Journal of Transportation Engineering, 140(11), 04014056.
- 5) Svenson, K., Li, Y., Macuchova, Z., & Rönnegård, L. (2016). *Evaluating needs of road maintenance in Sweden with the mixed proportional hazards model*. Transportation Research Record, 2589(1), 51-58.
- 6) Rashedi, R., & Hegazy, T. (2015). *Capital renewal optimisation for large-scale infrastructure networks: genetic algorithms versus advanced mathematical tools*. Structure and Infrastructure Engineering, 11(3), 253-262.
- 7) Rashedi, R., & Hegazy, T. (2016). *Examining budget policies for new and existing facilities: a system dynamics approach*. Canadian Journal of Civil Engineering, 43(6), 511-522.
- 8) Rashedi, R., & Hegazy, T. (2016). *Holistic analysis of infrastructure deterioration and rehabilitation using system dynamics*. Journal of Infrastructure Systems, 22(1), 04015016.
- 9) Trafikverket (2021) *Effektsamband för transportsystemet: Bygg om eller bygg nytt. Kapitel 9 Jämställdhet*
- 10) Giustozzi, F. & Crispino, M. & Flintsch, G. (2011) *Multi-attribute life cycle assessment of preventive maintenance treatments on road pavements for achieving environmental sustainability* International Journal of Life Cycle Assessment, 11367-011-0375-6.
- 11) International EPD System's Library: <https://www.environdec.com/library>
- 12) Klimatkalkyl version 7.0: <https://klimatkalkyl.trafikverket.se/>

Bilagor

Administrativ bilaga – KÄNSLIG INFORMATION

Memorandum of Understanding – KÄNSLIG INFORMATION

IP-Strategi – KÄNSLIG INFORMATION

Bilaga kring kommersialisering – KÄNSLIG INFORMATION

Underhållsplan Nacka Kommun

Presentation ERPUG