

# Københavns Kommune - Teknik- og Miljøforvaltningen

Njalsgade 13, 2300 København S, Danmark

## Markedsanalyse

- Teknologier til dataindsamling på vejområdet



## Indhold

Introduktion	2
Anbefalinger	2
Vurdering af teknologierne	2
Perspektivering til de identificerede behov i Københavns Kommune	3
Manuel dataindsamling	3
LiDAR/Laser	4
Gyroskop	4
Kamera	4
Teknologier i markedet	4
Manuel	4
LiDAR/Laser	5
Gyroskoper	6
Kamera	7
Litteraturliste	9

## Introduktion

Dette notat har til formål at præsentere de eksisterende teknologier på markedet for indsamling af data til brug for vejområdet. Først præsenteres notatets samlede vurdering og anbefaling. Herefter følger en kort beskrivelse af de tilgængelige teknologier med overblikstabeller over teknologiernes styrker og svagheder samt deres potentiale til at understøtte de identificerede behov fra use cases. Dernæst vurderes de fire identificerede teknologier, der vurderes at være mest relevante for Københavns Kommunes behov. Afslutningsvis følger den bagvedliggende beskrivelse af hver teknologi i forhold til teknik, historik, prisniveau, juridiske forhold (GDPR) og markedstrend.

## Anbefalinger

Med udgangspunkt i vores gennemgang af de fire teknologier, deres respektive fordele og ulemper samt anvendelse i Københavns Kommune følger notatets anbefalinger nedenfor.

### *Test af videobaseret løsning*

Videoteknologi med indsamling via mobiltelefoner er den teknologi, der bedst balancerer evnen til at levere på Københavns Kommunes identificerede behov og omkostninger. Her lægges særligt vægt på teknologiens evne til at være objektiv i dens dataindsamling, som vil være et stort skridt frem for Københavns Kommune og et krav for at blive en datadreven organisation. Der er løsninger på markedet til at håndtere GDPR-hensyn, og megatrends kan give yderligere fordele på længere sigt. **Vi anbefaler derfor, at Københavns Kommune anvender videoteknologi til test af indsamling af vejdata.**

### *Undersøgelse af eksisterende videoløsningers håndtering af GDPR-hensyn*

Markedsanalysen har identificeret en række leverandører, der sælger en videobaseret løsning inden for gældende GDPR-lovgivning, hvilket bør være muligt med de teknologiske og procesmæssige muligheder for behandling af data. **Vi anbefaler, at Københavns Kommune undersøger leverandørernes løsninger i en Københavns Kommune-kontekst gennem en markedsdialog.**

## Vurdering af teknologierne

Der er fire overordnede kategorier af teknologier til dataindsamling for vejvedligehold på markedet, her er de listet kronologisk efter ibrugtagning:

1. Manuel dataindsamling: Personer går rundt i gaderne og registrerer vejenes tilstande.
2. LiDAR: Der anvendes laserlys til at måle afstande og dermed registrere skader på veje fra droner eller køretøjer.
3. Gyroskop: Gyroskoper kan måle bevægelse på alle tre akser. Disse anvendes til at omsætte et køretøjs færden til at måle vejens jævnhed.
4. Video: Video bruges sammen med kunstig intelligens til at registrere skader på veje.

På baggrund af gennemgangen af de fire teknologier har vi opstillet tabellen nedenfor, der tydeliggør hver teknologis styrker og svagheder i forhold til:

- ▶ Evne til at levere data, der kan understøtte Københavns Kommunes behov gennem use cases
- ▶ Samlede omkostninger
- ▶ GDPR-implikationer
- ▶ Trends

	Manuel	LIDAR	Gyroskop	Kamera
<b>Styrker</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ingen GDPR-implikationer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meget præcise målinger, der kan understøtte en del af Københavns Kommunes behov</li> <li>Objektiv data kvalitet</li> <li>Begrænset personhenførbare data, som i så fald håndteres af leverandør</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tendens mod kompakte, håndholdte løsninger</li> <li>Ingen GDPR-implikationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Objektiv datakvalitet, der kan understøtte flest af Københavns Kommunes behov</li> <li>Lave samlede omkostninger</li> <li>GDPR-hensyn kan håndteres med tilgængelige, kommercielle løsninger</li> <li>Der investeres fortsat kraftigt i teknologien</li> </ul>
<b>Svagheder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lav og subjektiv datakvalitet vanskeliggør understøttelse af identificerede use cases</li> <li>Dyr at skalere</li> <li>Tendens til at anvende andre teknologier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Høj pris ift. øvrige teknologier grundet anskaffelsesomkostninger og årsværk til drift</li> <li>Behov for kalibrering af udstyr løbende</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Giver ikke komplet overblik over vejenes tilstand, der dermed kun understøtter få af Københavns Kommunes behov</li> <li>Tendens til at kombinere med andre teknologier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mindre anvendelig ved høj hastighed</li> </ul>

Tabel 1 - Styrker og svagheder ved udvalgte dataindsamlingsmetoder

Nedenstående tabel opsummerer vores vurdering af de fire teknologiers mulighed for at understøtte de identificerede use cases i Københavns Kommune.

Dataindsamlingsmetode	Manuel	Gyroskop	LIDAR/Laser	Kamera	Kamera + LIDAR/Laser
Behov	●	●	●	●	●
Pris <sup>1</sup>	●	●	●	●	●
GDPR <sup>2</sup>	●	●	●	●	●
Trend	●	●	●	●	●

Tabel 2 - Vurdering af de forskellige teknologiers mulighed for at understøtte identificerede use cases i Københavns Kommune

Noter: 1) Pris er en samlet vurdering af anskaffelses- og driftspris 2: Jf. leverandører udbydes teknologi, der er i overensstemmelse med GDPR-hensyn. EY har ikke kortlagt GDPR hensyn.

## Perspektivering til de identificerede behov i Københavns Kommune

### Manuel dataindsamling

Manuel dataindsamling anvendes i dag og repræsenterer dermed status quo for driften i TMF. Det vurderes, at det vil være svært at øge datakvaliteten til det nødvendige objektive niveau for at kunne blive databaseret i organisationens Asset Management-tilgang. Ligeledes vil det kræve væsentligt flere driftsressourcer at øge frekvensen af data, da indsamlingen af data ved manuel inspektion skaleres lineært. Øges frekvensen af indsamlingen eksempelvis til det dobbelte, vil omkostningerne hertil tilsvarende stige til det dobbelte.

Samlet set vil nye processer, systemer og standardisering af dataformater kunne løfte driften en smule, men grundlæggende vil subjektivitet i data, og dermed datakvaliteten, være en øvre begrænsning for effektivisering og evnen til at træffe databaserede beslutninger.

## LiDAR/Laser

LiDAR kan indsamle data meget hurtigere end ved manuel indsamling og vil derved øge indsamlingshastigheden sammenlignet med i dag, men dyrt udstyr og krav om bemanning af to mand gør, at pris pr. kilometer må forventes at være højere end andre teknologier. Vi har også kun observeret LiDAR anvendt på motorveje og stører veje. LiDAR giver målinger, der er præcise ned til millimeteren, hvilket giver et særligt præcist datagrundlag. Graden af præcision er dog ikke nødvendig for at opfylde Københavns Kommunes behov, hvor objektiv dataindsamling og de rette datapunkter er vigtigere i understøttelse af Københavns Kommunes behov. LiDAR kan ikke give et helhedsindtryk af et område som for eksempel video kan. En kombination af LiDAR og video vurderes at kunne dække Københavns Kommunes behov bedst, men økonomisk disproportional. Løsninger uden kamera vil også kunne dække mange behov godt, men vil være begrænset til kerneopgaver omkring vejområdet. En LiDAR-løsning vil ikke dække behovet i de sager, hvor visuel data fungerer som enten dokumentation eller til at give et helhedsindtryk i sagsbehandling som for eksempel dokumentation til opfølgning på tredjeparts arbejde på vej (Interview reference og usecase: I-1, I-2 & J).

## Gyroskop

Teknologien kan primært understøtte processer omkring sikkerhedsmæssigt vedligehold af veje, men da teknologien er baseret på at deducere vejes tilstand fra de rystelser som et gyroskop registrerer, er der en del usikkerhed i dataene. De mange gravninger giver ujævnhed på vejene i Københavns Kommune og kan potentielt gøre teknologien mindre anvendelig. Samtidig observerer vi, at gyroskoper blive suppleret af kameraer, da telefoner i dag er udstyret med gode kameraer.

## Kamera

Video er den, der indsamler mest data, dog er det kun strukturerede og anvendelige data, hvis de relevante datapunkter bliver trukket ud. Udtrækning af data gøres med machine learning, og dataet har derfor en høj grad af objektivitet. Et stigende antal leverandører udvikler specialløsninger til dette formål, hvormed Københavns Kommune ikke selv skal vedligeholde og udvikle disse algoritmer. Dermed er der bred mulighed for, at en videobaseret løsning kan understøtte en meget bred gruppe af behov i Kommunen. Videoteknologien har en fordel ved lave anskaffelsesomkostninger og lavere driftsomkostninger og særlige fordele ved behov for dokumentation, da videoen kan agere dokumentation. Derudover kan video anvendes i nogle sagsbehandlinger, da det kan give et helhedsindtryk af områder i byen, som andre teknologier ikke vil kunne.

## Teknologier i markedet

Nogle leverandører anvender en kombinationer af de fire teknologier i deres løsninger, da teknologierne kan supplere hinandens styrker og svagheder. Det er væsentligt at bemærke, at beskrivelserne af trends inden for hver teknologi ikke nødvendigvis er udtryk for udviklinger i teknologien, der vil medføre kommercielt tilgængelige løsninger inden for nærmeste fremtid. De er medtaget for at give et fyldestgørende billede af teknologiernes udviklingspotentialer og potentielle fremtidige anvendelsesmuligheder.

## Manuel

### *Teknisk beskrivelse*

Manuel indsamling af data indebærer, at personer går rundt i gaderne og registrer vejes tilstande. Metoden er udfordret af den subjektive vurdering, som ikke kan undgås. Selvom der er udviklet forskellige værktøjer til at forbedre dette, er det et anerkendt problem for 'indsamlingsteknologien'. TMF vurderer, at der kan gennemgås ca. seks km dagligt pr. person, og derfor indsamles data på denne måde ikke så ofte, da det er omkostningstungt. Til gengæld kræver det ikke noget særligt udstyr, ud over et it-system som kan håndtere dataene. Desuden er de efterfølgende beslutningsprocesser belastet af dataenes kvalitative natur. Teknikken kan ikke bruges på motorveje og andre veje, hvor man ikke kan færdes sikkert til fods.

### **Historisk anvendelse**

Manuel inspektion af offentlige veje er blevet brugt i bl.a. USA og England siden 1960'erne og 1970'erne (Attoh-Okine & Adarkwa, 2013; Department for Transport (DfT), 2021). I takt med udviklingen af de øvrige teknologier er manuel inspektion gået fra at være den primære datakilde til at være et sekundært supplement til automatiske indsamlingsmetoder såsom laser, gyroskop og video.

### **Pris**

Manuel inspektion består af en visuel inspektion, hvor inspektøren noterer vejens forfatning og kvalitet. Omkostningen hertil er primært drevet af forbruget af årsværk. Manuel inspektion kan også indebære anvendelsen af tekniske instrumenter til eksempelvis måling af vejens overflade, der dog ikke er væsentlige omkostningsdrivere i forhold til årsværkene.

### **GDPR**

Da manuel inspektion ikke indebærer videregivelse af personhenførbare informationer, er der ikke nogen væsentlige GDPR-risici forbundet med teknologien.

### **Trends**

Selvom der generelt er en bevægelse væk fra anvendelsen af manuel inspektion, forbliver den fortsat et supplement til de automatiske metoder (laser, gyroskop og video), særligt på mindre veje. Tendensen i storbyer som Oslo, Sydney og London er helt at afskaffe manuel inspektion til fordel for de nyere teknologiske løsninger (Thompson, 2022, Triona, 2021, Bidstats, 2021).

## **LiDAR/Laser**

### **Teknisk beskrivelse**

LiDAR står for Light Detection and Ranging (lysregistrering og afstandsmåling). Teknologien bruger laser til med høj præcision at måle afstand til et givent punkt. Når dette gøres på tværs af hele vejen, giver det et 3D-billede af vejen baseret på millioner af enkelte små punktmålinger. Herefter anvendes AI til at genkende forskellige skadestype. Dette kombineres med GPS-koordinater til at registrere placering af skader. LiDAR er udelukkende baseret på afstand og giver derfor ikke nogen information om farver eller visuelle forhold, der ikke har en ændring i dybde. Der findes løsninger, som kombinerer LiDAR med video for at kompensere for dette (DfT, 2021).

### **Historisk anvendelse**

Da GPS blev udviklet og kommercialiseret i starten af 1990'erne, blev det muligt at anvende LiDAR til at afdække et vejnets kvalitet og forfatning (Williams et al., 2013). Her begyndte visse delstater i USA og Tyskland at anvende teknologien, særligt på deres motorveje (Attoh-Okine & Adarkwa, 2013; Weller, 2011). Fra 2007 har England også anvendt teknologien til sit motorvejsnet (DfT, 2021). Derudover bruger Vejdirektoratet laserbaserede metoder til at analysere det danske motorvejsnet og har gjort det siden 1991 (Vejdirektoratet, 1999).

### **Pris**

Prisen pr. enhed er 7-11 mio. kr. (Antunes, 2020). Dertil kommer løbende vedligeholdelse i form af kalibrering af udstyr samt driftsomkostningerne ved at have dedikerede årsværk til at anvende udstyret. En LiDAR-vogn skal ofte køres af to mand ad gangen (NFTPO, 2020).

### **GDPR**

Da LiDAR-teknologien ofte designes, så den peger direkte ned i vejen, skal der ikke tages særlige GDPR-hensyn ved anvendelse af teknologien. Men hvis teknologien rammer nummerplader, og disse kan aflæses, så vil det falde under GDPR-data

### **Trends**

Fokus i den videre udvikling af teknologien er at gøre udstyret mindre og billigere, da det er teknologiens væsentligste begrænsninger i den nuværende udformning. Udviklingen er ikke nået så langt, at disse begrænsninger er håndteret i tilstrækkelig grad til, at teknologien kan anbefales. For nu er teknologien stadig specialbygget, og enhederne er omkostningstunge. (Morikawa et al. 2021).

Den udvikling, der observeres i litteraturen og i markedet for dataindsamlingsteknologi, er, at der er kommet LiDAR i Apples iPad Pro. Dette kunne tyde på, at teknologien er i retning mod at blive mere håndholdt og kompakt i dets fysiske form. Såfremt denne udvikling fortsætter, er det muligt, at teknologien en dag vil være at finde i en smartphone. Priser, fysisk størrelse, robusthed og simplicitet er på vej ned og må forventes at fortsætte således og på lang sigt blive mere konkurrencedygtige med de store specialbyggede biler til indsamling af data. Firmaer som eksempelvis Xenomatic har udviklet en LiDAR-løsning, hvor to små kompakte enheder leverer scanninger med den høje præcision som tidligere dyre LiDAR-løsninger men til en lavere pris end de sædvanlige LiDAR-løsninger (Xenomatic, 2022). Skulle LiDAR som teknologi komme i smartphones, må det forventes, at de leverandører, der baserer deres løsning på telefoner, vil anvende denne teknologi, såfremt den kan anvendes hertil.

## **Gyroskoper**

### **Teknisk beskrivelse**

Indbyggede gyroskoper (også kaldt accelerometer) i mobiltelefoner kan anvendes til indsamling af vejdata, fordi de er billige, men der findes også rene gyroskoper, som ligeledes anvendes. Gyroskoper anvendes til at registrere bump og bevægelser ved at køre over veje i køretøjer. Dermed giver denne metode primært information om en samlet vurdering af en vejs jævnhed som kørende, men kan ikke give information om eksempelvis revner i vejen og andre skader, som ikke medfører ujævnheder i kørslen. Viden omkring revner kan til gengæld stadig godt medføre vedligeholdelsesbehov for at sikre vejens kapital mod forværing. Metoden omkring gyroskoper er i høj grad blevet udfaset eller inkorporeret i videobaserede metoder, som har taget over. Dette skyldes, at udvidelsen til at inkludere video giver endnu bedre data, hvilket efterfølgende er blevet alment i telefoner. Se mere under afsnittet video.

### **Historisk anvendelse**

Som for laser er det nødvendigt at koble gyroskopdata med GPS. Dette blev praktisk tilgængeligt med udbredelsen af smartphones. Siden begyndelsen af 2010'erne har en række forskere uafhængigt af hinanden vist, at målinger foretaget fra en smartphone kan bruges til at estimere vejens overflade-forfatning (Tai et al., 2010; Vittorio et al. 2012; Islam et al. 2014). Teknologien er eksempelvis blevet anvendt i Seoul til at identificere huller i vejene ved at udstyre offentlige busser med gyroskoper (Youngtae & Seungki, 2015).

### **Pris**

Da teknologien kan anvendes med en kommercielt tilgængelig smartphone, er teknologien forholdsvis billig i forhold til anskaffelsen af store køretøjer med monteret laserudstyr. For gyroskopløsninger er prislejet omkring 5.000-10.000 kr. for udstyret. Derudover kan udstyret monteres i eksisterende offentlige tjenestebiler, hvorfor yderligere årsværk ikke er påkrævet til selve dataindsamlingen. Det er således kun den efterfølgende databehandling og -opfølgning, der driver større omkostninger.

### **GDPR**

Gyroskoper indfanger ikke personhenførbare oplysninger.

### **Trends**

Tendensen inden for gyroskoper er, at det har nået et modningspunkt som individuel teknologi og anvendes i dag mere som sekundær data, hvor teknologien kan supplere brugen af LiDAR og video, efter at den fra slutningen af 2000'erne og starten af 2010'erne blev afprøvet som billigt alternativ (Loprencipe et al. 2021).

Den eneste undtagelse hertil er, at metoden egner sig godt til crowdsourcing af data i stor skala. Vi har observeret en enkelt leverandør, der har lavet partnerskab med en bilproducent, og at man kan montere dette på sin egen flåde til at skabe et realtidsbillede af jævnhed af vejene. Den løbende data er fra et færdselssikkerhedsperspektiv enormt værdifuldt, men dataet er stadig begrænset til at give information om jævnheden af veje. Med øget sensorbrug i biler og trends omkring big data må det forventes, at denne type data i højere grad end nu vil blive tilgængelig og økonomisk rentabel.

## Kamera

### *Teknisk beskrivelse*

Videobaseret indsamling er primært baseret på evolution i kamerateknologi, som er faldet i pris og steget i kvalitet og tilgængelighed. Derudover bruges video sammen med andre teknologier som LiDAR i specialbyggede enheder. Grundlæggende baserer løsningen sig på at anvende kunstig intelligens til at genkende objekter i billeder. Teknologien bygger derfor ovenpå den teknologiske udvikling, der sker globalt inden for dette felt. Videoen bliver optaget af enten en smartphone eller i de mere avancerede løsninger et 360 graders kamera, men processeringen for de to løsninger er det samme. Det kræver en algoritme at udtrække et datapunkt fra videoen såsom revner eller reparationer. Dermed er der muligheder for at tilpasse og udvikle løsningen over tid med nye datapunkter såsom striber m.m. Da de fleste løsninger sælges som Software-as-a-service (SaaS)-løsninger, vil disse fordele løbende blive tilgængelige for organisationen.

Kameraet placeres oftest relativt højt i en bil omkring bakspejlet, kameraet peger fremad med en nedadgående vinkel mod vejen. Placering af kamera gøres for at sikre de bedst mulige billeder af hele vejen. Des tættere på vejen og jo spidsere vinklen er, des sværere er det at genkende de forskellige skadestyper. Placeres kameraet tættere på vejen, vil billederne blive for slørede og begrænsede til praktisk anvendelse. Den præcise placering og vinkel af kameraet afhænger af leverandøren. Der filmes ofte, imens bilen kører, således data kan anvendes til at registrere skader på vejen. I stedet for at lagre samtlige billeder, der udgør hele den optagede video, gemmes ofte kun enkelte stillbilleder som visuel dokumentation. Det kan eksempelvis være, at der gemmes et stillbillede for hver meter.

### *Historisk anvendelse*

Samtidig med, at laserteknologi blev kommercialiseret i starten af 90'erne, begyndte forskere at undersøge mulighederne for at anvende software til at vurdere skader i asfalt på baggrund af videodata (Acosta et al. 1992). Digital videokamerateknologi er blevet anvendt til at understøtte indsamlingen af laserdata siden 2000 i England (DfT, 2000). I denne kontekst har video suppleret laser, da teknologien ikke har været moden nok til at stå alene. Siden midten af 2010'erne er der blevet eksperimenteret med løsninger, hvor videodata har kunnet levere bedre datakvalitet end gyroskoper til en lavere pris end laser (Youngtae & Seungki, 2015). Ud over høj datakvalitet til lav pris giver videodata mulighed for at afdekke et stort område med høj frekvens, hvilket sikrer et stærkt datagrundlag i form af overblik over ens veje og grundlag for at træffe beslutninger i både den daglige drift og den strategiske udvikling af vejområdet. Inden smartphones blev afprøvet, blev konceptet testet med kommercielt tilgængelige videokameraer (ibid).

Mens smartphones som beskrevet ovenfor har været anvendt til at indsamle vejdata i 15 år, er det relativt nyt, at de også er blevet anvendt til at indsamle videodata. I takt med udviklingen inden for AI (Machine Learning og Neural Networks) er det blevet muligt for en algoritme at analysere uredigeret videodata og klassificere vejskader automatisk. Dette anvendes på nuværende tidspunkt i mindst otte danske kommuner: Aabenraa, Faxe, Hedensted, Hillerød, Holbæk, Holstebro, Lemvig og Rudersdal (Pluto Technologies, 2022).

Den seneste udvikling inden for video er anvendelse af 360 graders kameraer. Denne indsamling af data sker ved at montere et stort stativ på en bil, der kører igennem en bys vejnet og giver et totalt overblik over vejene og omgivelserne.

### *Pris*

Videodata, der indsamles med smartphones, er billigt i anskaffelsespris i forhold til LiDAR. En smartphone til 5.000 kr. har i dag et kamera af tilstrækkelig kvalitet. Det meste af en totalpris vil gå til software/licens til de systemer, der behandler videodataene. Anskaffelsesprisen er dermed i en anden



størrelsesorden end LiDAR. Til de fleste løsninger skal der kun anvendes en begrænset mængde årsværk til at samle data, men da data kan indsamles kørende er hastigheden markant højere end manuel dataindsamling. Samtidig kræver løsningen ikke nogen særlige tekniske kompetencer at anvende. Enkelte løsninger kan monteres i byens nuværende tjenestebiler.

#### **GDPR**

Indsamling af videodata i et bymiljø medfører, at der uden samtykke vil blive optaget billeder af personer og nummerplader, som er personidentificerbare. Samtidig med, at udviklingen inden for AI har gjort det muligt at klassificere skader i veje, er det også blevet muligt at identificere ansigter, nummerplader og maskere disse. Leverandører af en sådan løsning vil have implementeret tekniske løsninger til at sikre overholdelse af GDPR. Se notat om teknisk maskering for dokumentation for, at der foreligger en teknisk løsning, der kan håndtere GDPR-hensyn.

#### **Trends**

Videoteknologi i smartphones er et område i stor vækst, en vækst drevet af massive investeringer fra nogle af verdens førende Tech-virksomheder. Kombinationen af udvikling i kamera og beregningskraft på telefoner (Edge Computing) har tilladt, at man kan udføre kompleks videomanipulation lokalt, hvilket har åbnet op for et hav af nye muligheder inden for kamera, Augmented Reality, Virtual Reality, selvkørende biler m.m. Disse megatrends er med til at udvikle de kerneteknologier, som muliggør automatisk indsamling af data med kameraer, og udviklingen forventes at fortsætte i de kommende år. Det har medført, at en række start-ups tilbyder forskellige videoløsninger med denne relativt nye anvendelse af teknologien (RoadBotics, 2022; Pluto, 2022; Vaisala, 2022; Triona, 2021). RoadBotics blev opkøbt i juli 2022 af dækproducenten Michelin, der ser det som en styrkelse af deres arbejde med selvkørende biler (RoadBotics). Denne trend kommer til at medføre yderligere investeringer i teknologien, hvilket alt andet lige vil føre til yderligere tekniske forbedringer og dermed anvendelsesmuligheder i praksis, eksempelvis i Københavns Kommune. Kombinationen af teknologier, som anvendes til at levere en sådan løsning, kombinerer mange af teknologierne i Kommunernes Landsforenings teknologiradar på tværs af "Klar", "Afprøv" og "Hold øje med", men den samlede modenhed øges yderligere af de specialiserede virksomheders udvikling af en samlet specialiseret løsning til vejvedligehold.

## Litteraturliste

- ▶ Acosta, J; Figueroa, J & Mullen, R. (1992). Low-Cost Video Image Processing System for Evaluating Pavement Surface Distress. *Transportation Research Record*. Tilgængelig på: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1992/1348/1348-009.pdf>
- ▶ Antunes, João. (2020). Could car-mounted '6D' lidar finally make road inspections affordable?. *Geo Week News*. Tilgængelig på: <https://www.geoweekevents.com/news/could-car-mounted-6d-lidar-finally-make-road-inspections-affordable>
- ▶ Attoh-Oine, Nii & Offei Adarkwa. (2013). Project Report for Pavement Condition Surveys - Overview of Current Practices. *Delaware Department of Transportation*. Tilgængelig på: <https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.udel.edu/dist/1/1139/files/2013/10/Rpt-245-Pavement-Condition-Okine-DCTR422232-1pzkOuz.pdf>
- ▶ Bidstats. (2021). Annual Visual AI Survey on the London Principal Road Network. Tilgængelig på: <https://bidstats.uk/tenders/2021/W46/762970503>
- ▶ Department for Transport. (2021). Technical Note: Road Condition and Maintenance data. Tilgængelig på: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1032372/technical-guide-to-road-conditions.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032372/technical-guide-to-road-conditions.pdf)
- ▶ Hari Krishnan, P.M. & V.P. Gopi. (2017). Vehicle Vibration Signal Processing for Road Surface Monitoring. *IEEE Sens. J.*, vol 17. Side 5192- 5197.
- ▶ Islam, S.; Buttlar, W.G.; Aldunate, R.G.; Vavrik, W.R. Measurement of pavement roughness using android-based smartphone application. *Transp. Res. Rec.* 2014, 2457, 30-38.
- ▶ Loprencipe, Guiseppe; Flavio Guilherme Vaz de Almeida Filho; Rafael Henrique de Oliveira & Salvatore Bruno. (2021). Validation of a Low-Cost Pavement Monitoring Inertial-Based System for Urban Road Networks. *Sensors*, vol. 21(9).
- ▶ Morikawa, Chamin, Michihiro Kobayashi, Masaki Satoh, Yasuhiro Kuroda, Teppei Inomata, Hitoshi Matsuo, Takeshi Miura & Masaki Hilaga. (2021). Image and video processing on mobile devices: a survey. *The Visual Computer*, vol. 37. Side 2931-2949
- ▶ NFTP (North Florida Transportation Planning Organization). 2020. Pavement Management Pilot. Tilgængelig på: <https://northfloridatpo.com/uploads/Studies/Final-Pavement-Management-Report-v2.pdf>
- ▶ Pluto Technologies. (2022). Referencer. Tilgængelig på: <https://pluto.page/#Referencer>
- ▶ RoadBotics. (2022). Michelin Acquires Roadbotics, A Start-Up Specialized In Road Infrastructure Computer Vision. Identificeret 11/07/2022 på: <https://www.roadbotics.com/2022/07/11/michelin-acquires-roadbotics-a-start-up-specialized-in-road-infrastructure-computer-vision/>
- ▶ Tai, Y.; Chan, C.; Hsu, J.Y. Automatic Road Anomaly Detection Using Smart Mobile Device. In Proceedings of the Proceedings of the 2010 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2010); 2010.
- ▶ Thompson, John (2022) AI and predictive analysis to streamline road maintenance. Identificeret 26/07/2022 <https://infrastructuremagazine.com.au/2022/07/14/ai-and-predictive-analysis-to-streamline-road-maintenance/>
- ▶ Triona. (2021). New Assignment for Oslo Municipality. Tilgængelig på: <https://www.triona.eu/news/2021/new-assignment-for-oslo-municipality/>
- ▶ Vaisala. (2022). RoadAI. Identificeret 12/07/2022 på: <https://www.vaisala.com/en/products/road-ai>
- ▶ Vejdirektoratet. 1999. Development of a Laser-Based High Speed Deflectograph. Tilgængelig på: [https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/development\\_of\\_a\\_laserbased\\_high\\_speed\\_deflectograph.pdf](https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/development_of_a_laserbased_high_speed_deflectograph.pdf)

- ▶ Vittorio, A.; Vittoria, C.M.; Guido, D.; Demetrio, C.F.; Vincenzo, P.G.; Luele, T.; Rosolino, V. A mobile application for road surface quality control: UNlquALroad. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 2012, 54, Side 1135 - 1144.
- ▶ Weller, Olaf. (2011). Results of the monitoring and evaluation of pavement condition of motorways, federal and state roads in Bavaria. *Journal of the Bavarian Building Authority*. Tilgængelig på: [https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/vum/strasse/bauunderhalt/42\\_maintenance\\_management\\_201108.pdf](https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/vum/strasse/bauunderhalt/42_maintenance_management_201108.pdf)
- ▶ Williams, Keith, Michael J. Olsen, Gene V. Roe & Craig Glennie. (2013). Synthesis of Transportation Applications of Mobile LIDAR. *Remote Sensing* vol. 5. Side 4652-4692.
- ▶ Youngtae, Jo & Seungki, Ry (2015). Pothole Detection System Using a Black-box Camera. *Sensors*, vol. 15. 29316-29331. Tilgængelig på: [https://www.researchgate.net/publication/284712208\\_Pothole\\_Detection\\_System\\_Using\\_a\\_Black-box\\_Camera](https://www.researchgate.net/publication/284712208_Pothole_Detection_System_Using_a_Black-box_Camera)
- ▶ Xenomatix. (2022). True-Solid-State LiDAR. Identificeret 26/07/2022 på: <https://xenomatix.com/solid-state-lidar/>