

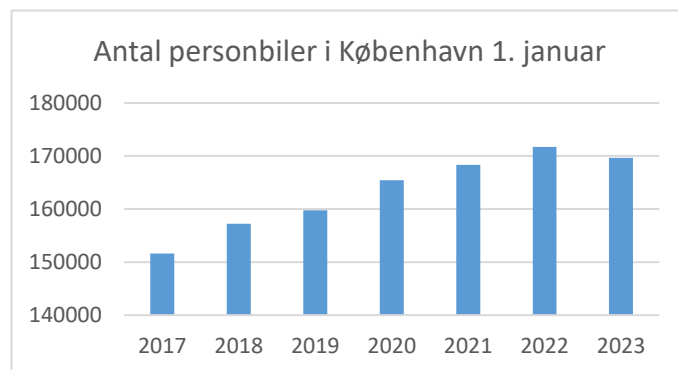
Kaj A. Jørgensen
Lektor emeritus v. Aalborg Universitet
Tranevej 48, Grindsted, 9310 Vodskov
kaj@inetdata.dk



2023-10-19

Bilismens og andre transportmidlers fremtid

Som bekendt er bilen et særdeles populært transportmiddel og antallet af biler har stort set altid været stigende, så der kommer mere trafik, mere trængsel og flere forsinkelser for trafikanterne. Mange betragter bilen som værende helt uundværlig og køre på trods af trafikale gener. Det betyder, at der rejser sig krav om kapacitetsudvidelser – udvidelser af de eksisterende veje eller flere nye veje. Det vil naturligvis mindske trængslen, men erfaringen viser, at det let kan blive en ”ond cirkel”, for mere kapacitet vil øge trafikken som igen vil føre til øget trængsel. Når yderligere batteridrift, selvkørende funktioner og trådløs kommunikation i fremtidens biler gradvist vil blive bragt i anvendelse, får det utvivlsomt trafikken og bilparken til at stige endnu mere¹. Man må derfor helt enkelt konstatere, at denne udvikling ikke kan fortsætte, og at andre løsninger skal findes.



Figur 1 - Kilde Danmarks Statistik

mange beboere fravælger at have bil². Det gælder hovedsageligt for unge og ældre mennesker. Måske er en stagnation på vej, jf. Figur 1. I de mindre byer og på landet opleves der sjældent generende trængselsproblemer.

Ser man nærmere på trængselsproblemerne, er det vigtigt at skelne mellem forholdene i de største byer og resten af landet. I særligt de fire største byer og på deres indfaldsveje er der mange steder lav fremkommelighed og kombineret med stigende priser for parkering, er resultatet allerede i dag, at

I det følgende gennemgås forskellige centrale områder, der påvirker bilismens udvikling, og hvor denne kan bremses og dermed mindske trængselsproblemerne. I appendiks 2 er der en oversigt over de vigtigste pointer i den teknologiske udvikling og dens betydning specielt for transportområdet.

¹ Se: <https://www.vtpi.org/avip.pdf> og <https://www.lv.com/car-insurance/the-changing-face-of-car-ownership>

² <https://root.associates/blogs/insights-blog/reality-check-car-ownership-is-declining-in-key-cities>

De større byer

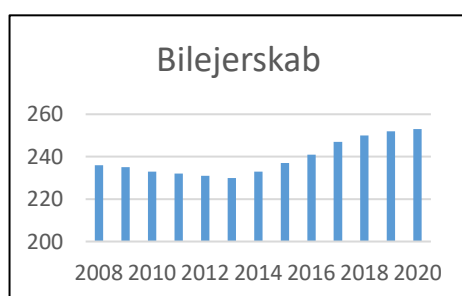


Figur 2 - Green Mobility delebil

For beboerne i de større byer er det i stigende grad en fordel at benytte de kollektive transportmidler metro, S-tog, letbane og BRT (Bus Rapid Transport) kombineret med traditionelle busser. Vi ser også en stigende anvendelse af alle arter af delebilløsninger i byerne: debiler med faste "stampladser", eksempel: LetsGo, eller debiler med særlige parkeringsområder eller kantstensparkering "free floating car sharing", eksempler: Green Mobility og ShareNow³. Aktuelt er der i København over 4.000 debiler (fortrinsvis eldrevne) og mange tusinde registrerede brugere. Antallet af biler og daglige ture med disse er støt voksende. Øvrige delebilløsninger bør også nævnes: samkørsel, f.eks. Nabogo, og private debiler på lejebasis, f.eks. GoMore.

I den forbindelse er det også vigtigt at pege på brug af cykler, løbehjul og skateboards, der typisk kan benyttes hjemmefra som tilslutning til anden transport. Disse transportmidler vil i stigende grad blive el-motoriserede og flere moderne en- og topersoners eldrevne køretøjer er på vej i form af kabinecykler, scootere, kabinescootere, mikrobiler og lign. Denne udvikling er først og fremmest sket som følge af, at batteriteknologierne er blevet bedre og billigere, så forventede prisfald på disse køretøjer vil utvivlsomt føre attraktive alternativer i byerne.

Trængslen i de større byer forplanter sig fra de centrale områder og i særlig grad til tilslutningsvejene. Det betyder, at det for nogle kan betale sig at parkere bilen i omegnen af byen f.eks. via eksisterende parkeringspladser og benytte kollektiv transport resten af vejen. Særlige "Park-and-Ride" ordninger⁴ med hurtige busforbindelser fra/til betydende knudepunkter kendes fra udlandet men er næsten ikke udbredt i Danmark. Udfordringen er at busserne ofte vil møde trængsel og kødannelser. Det betyder, at der stilles krav om etablering af ruter i lukkede traceer.



Figur 3. Kilde: Københavns Kommune

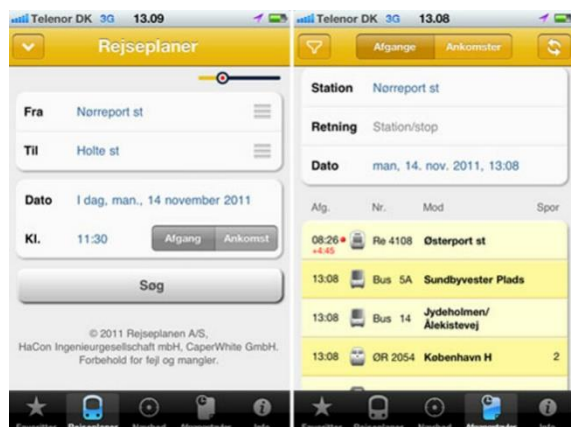
Disse løsninger konkurrerer altså med privates bilejerskab, hvor analyser viser, at privatejede biler i gennemsnit står ubenyttet i 95% af tiden. Årligt koster en bil op til 100.000 kr. i værditab, vedligeholdelse, forsikringer, parkeringsafgifter og drivmidler, så dette beløb er altså til rådighed til anden transport. Afhængigt af kørselsbehovet er den gennemsnitlige pris for brug af egen bil mellem 3 kr./km og 8 kr./km (se appendiks 1). Stor dynamik i markedet vil sandsynligvis også medføre, at f.eks. leasing af bilerne vil blive attraktivt ift. privat ejerskab.

³ Se: https://en.wikipedia.org/wiki/One-way_carsharing

⁴ Se: https://en.wikipedia.org/wiki/Park_and_ride

Privatejede biler og servicebaseret mobilitet

Den stagnerende udvikling (Figur 3), som nu er kendetegnet vedrørende bilejerskab i de større byer⁵, vurderes i væsentlig grad at være relateret til den stigende trængsel. Denne udvikling vil utvivlsomt fortsætte i takt med flere og billigere teknologiske muligheder. Disse udviklingstendenser vil efterhånden betyde, at flere fravælger egen bil til fordel for mere servicebaseret mobilitet, "Mobility-as-a-Service / MaaS", hvor trafikanter i stedet for at "transportere sig selv" hellere vil "lade sig transportere". En nøgleparameter er her gevinsten ved at kunne anvende tiden til andet formål i stedet for at være "bundet til rattet".



Figur 4. Eksempler på sider i Rejseplanens app

muligheder for dynamiske ændringer af rejserute. Ventetid ved skift mellem transportmidler og vejrmæssige gener betragtes af mange som betydende forhindringer, hvorfor mange flere knudepunkter bør have bedre gangarealer og venterum.

For at få vendt den "onde cirkel" til en "positiv cirkel" er det vigtigt, at de grundlæggende mekanismer får momentum og gradvist kommer til også at omfatte transport mellem byerne⁶. De mulige sammenhængende transportsystemer skal være bedre, så pris-/kvalitetsforholdet bliver forbedret og især spildtid reduceres, når man skal gennemføre en rejse. En generel forbedring af de kollektive transportsystemer i relation til hastighed, tæthed, komfort, punktlighed, osv. er derfor også afgørende, og i første omgang skal togtransport mellem de større byer kunne konkurrere med kørsel i bil.

⁵ Se: <https://theconversation.com/car-ownership-is-likely-to-become-a-thing-of-the-past-and-so-could-public-transport-110550> og https://uk.nttdata.com/-/media/nttdatauk/files/case_studies/case-studies/when-the-car-takes-over---ntt-data-whitepaper.pdf og <https://www.forbes.com/sites/jamesmorris/2021/06/19/the-days-of-personal-car-ownership-could-be-numbered/?sh=16c5af385902>

⁶ Se rapporten fra transportministeriets ekspertgruppe i 2018: <https://www.trm.dk/publikationer/2018/afrapportering-ekspertgruppen-mobilitet-for-fremtiden/>

Landets mest betydende banestrækninger bør derfor opklassificeres mht. punktlighed, hastighed, hyppighed, komfort, osv. Med ibrugtagning af det elektroniske signalsystem er grundlaget for opfyldelse af flere af disse behov til stede. Alle nye busser, BRT-busser og tog vil snart være eldrevne, og det er bredt værdsat af brugerne.

Yderligere vil en smidiggørelse af kravene til banetransport kunne give grundlag for et bredere udbud af lettere og mindre togvogne med flere personligt tilpassede muligheder for valg af service. Alle tog vil snart være automatiserede, selvkørende og centralt overvågede, hvilket vil betyde en reduktion af driftsomkostningerne og dermed give mulighed for taksnedsættelser.



Figur 5 - Eldrevet højhastighedstog



Figur 6 - Komfortmuligheder i tog

Indkøbet af nye el-tog og batteritog og færdiggørelsen af el-drift er basis for at sætte hastigheden op, og øget tophastighed for tog på hovedstrækningerne vil naturligvis have stor betydning i sammenligning med bilkørsel. Fortsat opgradering af sporene på disse strækninger har derfor stor betydning. Som nærmere beskrevet i det følgende (se appendiks 2) vil nye teknologier med automatiske magnetbårne transportmidler give muligheder for at opnå endnu højere hastigheder. Udfordringerne er de meget højere etableringsomkostninger, men driftsomkostningerne er til gengæld meget lave, så det handler om at opnå en passende balance.

Mange andre muligheder bør også realiseres. Først og fremmest vil det være indlysende, at tog af varierende længde, helt ned til enkeltvogne, kan produceres, og at afgangshyppigheden kan gøres meget større. Det bør være en selvfølge at et varieret udbud af komfort og service kan bestilles: møderum, biograf, restaurant, forskellige størrelse kupéer, hvilepladser, sovevogn, legerum, aflåste bagagerum, osv.

Ovennævnte forhold resulterer i, at pris og kvalitet for valg mellem transportløsninger til sammenligning med privatejet bil alt i alt skal være favorabel, og det er så op til den enkelte at vurdere behov og muligheder. Med stigende trængsel vil flere alt andet lige fravælge bilen, men det er dog usikkert, hvor hurtigt det vil ske. For mange daglige pendlere er trængsel og spildtid særligt afgørende, så når det ikke er realistisk at bygge sig ud af den stigende trængsel, er det klart, at alle forbedringer på de nævnte områder kan få betydning. At det samtidigt giver anledning til reduktion i antallet af privatejede biler, er en afgørende effekt. Udviklingstrinene er tydelige, så mulighederne er til stede for at øge servicebaseret mobilitet for flere trafikanter.

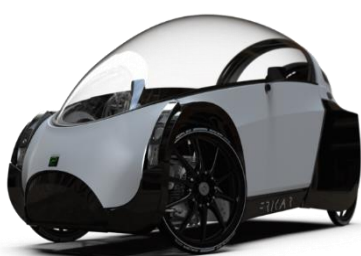
Første og sidste kilometer

Når man foretager en rejse, er den første og den sidste strækning ofte den mest kritiske; det omtales som "første og sidste kilometer". I de større byer er der som nævnt flere mulige løsninger til rådighed, men også her kan der gøres mere. For at øge nærheden til brugerne har enkelte delebiloperatører allerede nu etableret ordninger, hvor man mod ekstra betaling kan reservere en bil på forhånd og få den kørt ud til en lokation passende tæt ved det ønskede, f.eks. inden for 500m hjemmefra.

I byområder med mindre tæt bebyggelse, f.eks. omegnsbyer landsbyer typisk med parcelhusområder, vil en sådan ordning dog foreløbig ikke have et forsvarligt økonomisk grundlag. Decentrale pladser til delebiler og varierende størrelse busser primært rettet mod pendlere til og fra de større arbejdspladser kan blive visse muligheder, hvis der kan etableres et tilstrækkeligt stort kundegrundlag. Ligeledes kan faste ordninger om samkørsel f.eks. via Nabogo være attraktive for nogle.

I fremtiden vil førerløse transportsystemer få helt afgørende betydning, idet omkostningen til førerne kan falde bort. Metrosystemet i København er et godt eksempel. I udlandet er der forsøg i gang med selvkørende busser og minibusser (pods). Sigtet er først og fremmest at kunne gøre busnettet mere finmasket i byområder og ligeledes understøtte busdrift i tyndere befolkede områder. For at varetage en høj sikkerhed for brugerne sættes i første omgang på etablering af faste ruter i lukket tracé⁷, men det er kun et spørgsmål om få år, inden teknologierne er modnet tilstrækkeligt til førerløs buskørsel på nøje fastlagte ruter og i blandet trafik.

Etablering af decentrale faste standpladser med delebiler vil være en mulighed men ind til videre også en udfordring, da det vil være svært at skabe et tilstrækkeligt brugergrundlag. Eksempelvis skal et antal brugere have tilmeldt sig et abonnement, og brugernes afstand til delebilspladsen vil ofte være en barriere.



Figur 7 – Elcykel med vejrbeskyttet tag

Her kan de førertalte en- og topersoners eldrevne køretøjer blive særdeles nyttige. Disse køretøjer er som nævnt i en rivende udvikling, og valg af sådanne vil naturligvis afhænge af vejrlig, afstand, pris, osv. Hvis ture frem til vigtige knudepunkter foretages ved at benytte et billigt og enkelt transportmiddel hjemmefra, vil behovet for at eje en dyr og forholdsvis ubenyttet privatbil i stigende omfang falde væk.

I udlandet er der en del forsøg i gang med selvkørende taxaer, der i sagens natur også er førerløse. Nogle operatører forudsætter, at hvert byområde er nøjagtigt modelleret med detaljerede digitale kort. I kontrast dertil satser Tesla kraftigt på udvikling af selvkørende biler, der kan håndtere alle trafikale situationer. Dermed vil grundlaget for udbredelsen førerløse taxaer være skabt, og det vil utvivlsomt forrykke

⁷ Eksempel: [https://en.wikipedia.org/wiki/ULTra_\(rapid_transit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/ULTra_(rapid_transit))

prisdannelsen, gøre taxakørsel markant billigere og dermed relevant for flere tyndt befolkede områder. Teknologierne forventes at være modnet om 3-8 år, men yderligere tid til myndighedsgodkendelser må nok imødeses.

Parallelt hermed kan der måske forinden udvikles en mulighed for at selvkørende biler med kameraer hele vejen rundt på bilerne kan få tilladelse til at køre trådløst fjernstyret via central operatør. Det kunne om natten sagtens være sikkerhedsmæssigt forsvarligt for delebiler, der på den måde kunne få optimeret placering af kørsel delebiler rundt om på standpladser eller ved kantsten i umiddelbar nærhed af brugernes ønskede lokationer. Teknologien er allerede moden, så det handler kun om at opnå tilladelser fra myndighederne.

Man kan konkludere, at en del forudsætninger for gode løsningstilbud til varetagelse af første og sidste kilometer vil være til stede om relativt få år.

Transportens udvikling

Med baggrund i ovennævnte gennemgang af de vigtigste aktuelle tendenser og teknologiske tiltag på transportområdet præsenteres her en oversigt over udviklingen længere sigt.

Allerede nu er der udenlandske eksempler på at selvstyrede busser af forskellig størrelse i helt eller delvist lukkede traceer, så løsninger af denne art forventes at kunne realiseres herhjemme om få år – forudsat at myndighederne vil give tilladelse.

I omegnen af de store byer vil etablering og anvendelse af parkeringspladser ved betydende knudepunkter/stationer med hurtige forbindelser til centrum (Metro, S-tog, BRT, osv.) utvivlsomt blive udbygget i takt med den øgede trængsel i disse byer. Brug af alle former for cykler, særligt elcykler, vil derfor være attraktivt for mange. Delebilområdet vil vokse i udbredelse i de store byer, og derfor skal vilkårene være rimelige. Det gælder specielt mht. standpladser og benyttelse af parkeringspladser.

Uden for centrum bør der gives tilladelse til natlig førerløs relokering af kørsel delebiler på basis af brugeres bestillinger. Nye forsøgsordninger bør gennemføres, og det vil give mulighed dels for optimering af mængden af biler på standpladser, og dels for udnyttelse af kantstensparkeringer i umiddelbar nærhed af brugernes ønskede lokationer. Tidshorizonten vil være 3 – 5 år. Førerløse taxaer som de forsøg, der er i gang i udlandet, forventes først at kunne opnå godkendelse herhjemme om 4 – 8 år.

Generel forbedring af eksisterende kollektive transportsystemer i relation til hastighed, tæthed, komfort, punktlighed, osv. forventes at ske gradvist i takt med udrulningen af det elektroniske signalsystem. Etablering af førerløs og centralt overvåget drift vil relativt snart være muligt for S-togene a la Metro-systemet og derefter vil det blive muligt at etablere forsøg med flere bane- og togsystemer.

Forøgelse af hastigheden af tog kan ske gradvist i takt med at barriererne fjernes, og ved fremtidige indkøb af nye typer tog kan hyppighed og komfort også være vigtige incitamentter for passagererne. Forventet tid: 5 – 10 år.



Figur 8 - MagLev tog i Shanghai



Figur 9 - Magnetbåret kapsel

En helt ny togtype er under udvikling med den såkaldte MagLev⁸ teknologi. Her svæver vognene over sporene, løftet op med magnetkræfter. Der er allerede bevis for, at magnetsvævebaner kan fungere. I Japan har man på en testbane sat verdensrekorden på 603 km/t. I Kina har man verdens første kommercielle magnetbårede tog (Figur 8), der forbinder Shanghai med lufthavnen, 30,5 km på ca. 8 min med tophastighed på 431 km/t. Figur 9 viser en magnetbåret kapsel⁹ til gods eller et mindre antal passagerer. En fordel ved MagLev er den relativt lydløse bevægelse.

De nuværende løsninger er relativt dyre i anlægsomkostninger, men til gengæld bruger de meget lidt energi, så højere hastigheder, komfort, osv. kan øge antallet af brugere. Specielt retter forventningerne sig mod, at nye billigere superledende materialer skal blive udviklet. Her afventer man, at nye materialer med behov for langt mindre nedkøling snart kan komme i anvendelse. Når magnetbårne tog er fuldt produktionsmodne, kan de også anlægges i Danmark. Kommerciel udnyttelse af sådanne baner forventes tidligst at kunne ske om 5 – 10 år.

Investeringer i den danske infrastruktur

Transportinfrastruktur kræver investeringer for samfundet, og anlæg som motorveje, tunneler, broer, togbaner, osv. har som bekendt mange års levetid. Det betyder, at det er særdeles vigtigt, at disse projekter bliver vurderet nøje i forhold den fremtidige udvikling. Sker det ikke, kan de vise sig at få tvivlsom værdi for samfundet.

Ved VVM-analyser af de konkrete projekter opstilles stort set kun prognoser for befolkningens udvikling og trafikens omfang, hvorefter Landstrafikmodellen beregner øjebliksbilleder af trafikens fordeling på vejene og den beregnede samfundsøkonomi. Hensyntagen til alternative mobilitetsløsninger på grundlag af forventede nye teknologiske landvindinger indgår katastrofalt nok kun i ringe grad. Til gengæld luftes der masser af kortsigtede argumenter fra politisk side.

På overordnet strategisk niveau er der tendens til, at man samfundsøkonomisk undlader at vurdere, hvad bilismen belaster med sammenlignet med alternative transportformer. Det gælder de samfundsmæssige omkostninger ved trafikuheld med

⁸ Forkortelse af magnetic levitation, på dansk: magnetisk løft

⁹ Se prototype af kapsel hos München Tekniske Universitet: <https://tumhyperloop.com/>

dræbte og tilskadekomne samt materielle skader. Det gælder ligeledes den større beslaglæggelse af arealer til veje og parkeringspladser samt inddragelse af værdifuld natur. Endelig bør skadelige miljømæssige påvirkninger omkring støj, CO₂-udledning, partikelforurening, osv. indgå i vurderingerne.

Visse investeringer kan naturligvis forsvares ved hensyntagen til særlige behov. Det gælder f.eks. vejforbindelsen over/under Storstrømmen, Frederikssund og Limfjorden. Men generelt bliver der gjort for lidt for at specificere sandsynlige fremtidsscenarier på transportområdet.

Alle relevante fremtidige mobilitetsløsninger bør lægges frem til vurdering. Afhængigt af tidsperspektivet er det naturligvis vanskeligt, men ekspertbaserede fremskrivninger kan udarbejdes, og dem bør man naturligvis som udgangspunkt forholde sig til inden politikerne tager stilling.

På en række strækninger kan anvendelse af nye teknologiske muligheder være oplagte, og som nævnt vil potentialet for togområdet vil være størst. Hastighederne for hovedstrækningerne vil blive forøget i takt med at der sker forbedring af sporene, samtidig med at det elektroniske signalsystem bliver rullet ud og driften bliver elektrificeret. Der er imidlertid kun aftalt en relativt lav tophastighed i Danmark, selv om man i mange andre lande opererer med noget højere hastigheder.

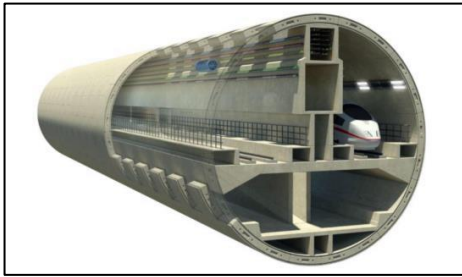
Det absolut største infrastrukturprojekt under overvejelse er anlæg af en Kattegatforbindelse mellem Sjælland ved Kalundborg og Jylland ved Hou hen over Samsø, et projekt på over 100 mia. kr. Heller ikke her er der hidtil gjort seriøse og fyldestgørende forsøg på at tage fremtidige udviklingsscenarier i betragtning. Uanset hvilken udførelse man vælger, taler vi om en anlægsperiode på 15-20 år, så med denne lange planperiode, er det jo særdeles vigtigt at anlægget bliver tidssvarende.

Tre anlæggsforslag er aktuelt i spil: en ren vejforbindelse, en ren baneforbindelse og en kombineret vej- og baneforbindelse. En vejforbindelse kan i stor udstrækning karakteriseres som "mere af samme slags", men det er tilsyneladende den løsning, som politikerne foretrækker, altså et bevidst valg uden hensyntagen til fremtidige muligheder. Den vil som bekendt generere mere bilkørsel og dermed sætte endnu mere pres på trafikken i storbyerne.

Selv om en stor del af bilparken vil bestå af selvkørende elbiler, når forbindelsen er færdig, er det overvejende sandsynligt, at ejerskab af egen privatbil ikke vil være økonomisk fordelagtig. En stor mængde trafikanter, specielt pendlerne, vil derfor generelt finde det mest hensigtsmæssigt at lade sig transportere via servicebaserede transportmidler. Man kan derfor spørge om de tilbageværende bilister, der ejer egen bil, skal tilgodeses uforholdsmæssigt meget.

Alle disse forhold peger på etablering af en tosporet baneforbindelse med mulighed for opnåelse af en del højere hastigheder og med de omtalte muligheder for større fleksibilitet, hyppighed, komfort, osv. En smidig baneløsning kan også tilgodeses godstransport via godsvogne og lastbiler evt. med anhængere kan køres ombord på togvogne, sådan som det i mange år har været praktiseret i tunnelen under den

engelske kanal. Vil man have bil med, kan det så også lade sig gøre og uden nævneværdig forøgelse af rejsetiden.



Figur 10 - Boret tosporet togtunnel

Med behørig vægt på at skåne naturen og miljøet mv., bør forbindelserne fra kyst til kyst derfor udformes som et eller to borede tunnelrør. På land kan en togløsning værnes mod støjgener med traditionelle støjskærme, men endnu bedre f.eks. ved passende nedgravning og/eller overdækning. Der vil naturligvis blive tale om brugerbetaling.



Figur 11 - Eltog på hjul



Figur 12 - Magnetbårne togvogne

Med en høj hastighed vil en baneløsning være gunstig mht. transporttid, hvilket altid er en betydelig faktor. Med traditionelle tog på hjul (se Figur 11) kan der nu opnås tophastigheder på over 350-400 km/t, men endnu højere hastigheder kan opnås i fremtiden med magnetbårne tog¹⁰. De forventes at kunne øge hastigheden til 600-700 km/t, samtidigt med at energiforbruget kan gøres meget lavt. Uden støj fra hjul, vil MagLev tog være næsten lydløse.

Videre kan man indlejre magnetbaner i de såkaldte hyperloop rør (se Figur 12), hvor man bygger lufttætte rør, sænker lufttrykket og dermed reducere luftmodstanden betragteligt, så hastigheder over 1000 km/t vil være realistisk opnåelige.

Den afgørende udfordring ved magnetbaner er, at anlægsinvesteringerne bliver højere sammenlignet med traditionelle tog, så de vil mest være relevante til de danske hovedstrækninger. Hyperloop kan først komme på tale en gang i fremtiden på meget betydelige hovedstrækninger, f.eks. mellem København og de store byer i udlandet.

Der er imidlertid ikke tvivl om, at MagLev teknologien vil blive færdigudviklet inden for de næste fem år, og denne transportform vil ende med at vende fuldstændig op og ned på forholdet mellem transportformer og dermed revolutionere fremtidens transport. Alle vil søge at udnytte teknologien og al transport over længere strækninger vil efterhånden blive omlagt til denne togtype. Det er kun et spørgsmål om økonomiske begrænsninger.

¹⁰ Se udviklingen ved Teknisk Universitet i München: <https://tumhyperloop.com/>

En rejse direkte mellem store bycentre vil kunne tilbagelægges hurtigere end med fly og med et lavt energiforbrug og CO₂ udslip. Transporten vil være helt jævn og lydløs, og væsentlig højere hastigheder end i dag vil være meget afgørende for brugernes tid, komfort og service og dermed i høj grad udkonkurrere bilkørsel.

Udformning af spor og undervogn på disse tog vil som udgangspunkt blive meget anderledes sammenlignet med de traditionelle hjul og skinner, men allerede nu er der en udvikling i gang med at kombinere traditionelle baner med MagLev spor, så traditionelle togvogne i en overgangsperiode også kan løftes magnetisk¹¹. Det leder naturligvis tanken hen på, at en baneløsning under Kattégat skal udformes, så den er forberedt til MagLev og sigte mod at kunne udnytte de anseelige hastigheder. Det betyder bl.a. at rørene bør gøres lufttætte på forhånd, og at der skal være plads til udsugningsanlæg. Selv om afstanden på de ca. 40 km ikke foreløbig berettiger til Hyperloop, bør man altså se langt nok frem og være forberedt på denne fremtidige teknologi.

Konklusion

Som anført ovenfor vil den teknologiske udvikling på transportområdet få meget afgørende betydning for de fremtidige løsninger, og appendiks 2 indeholder yderligere en gennemgang af de mest markante teknologier. Der er desuden fremstillet en oversigt over, hvornår de forskellige teknologier forventes at være modne til kommerciel udnyttelse.

De mest banebrydende teknologier til biler handler om at gøre dem selvstyrende og dermed førerløse. Det vil utvivlsomt tendere mod stigning i antallet af biler, øgede trængselsproblemer og forsinkelser, også for privatejede biler. Mange analyser viser, at man ikke kan fjerne trængselsproblemerne ved at bygge mere, så biltrafik skal ved forskellige alternative løsninger flyttes væk fra vejene og trafikanterne skal have incitament til brug af andre mobilitetsløsninger. Det gælder især i de store byer men bedre transportmulighederne mellem byerne er ligeledes afgørende.

På jernbaneområdet er der nu ingen tvivl om, at en ny banebrydende teknologi vil få særdeles stor betydning til gavn for stort set alle brugere. Det handler om magnetbårne tog, hvor togvognene kan holdes svævende over jorden/sporene. Dels vil de blive næsten lydløse og være meget mere behagelige at køre i, og dels vil sådanne tog kunne opnå meget høje hastigheder sammenlignet med de nuværende muligheder.

Et bredere udbud af mobilitetsløsninger vil betyde, at transportaktørerne vil søge at benytte sig af de bedste muligheder. De vil i væsentlig grad afhænge af pris, men det er åbenlyst, at privatejede personbiler i gennemsnit kun udnyttes 5% af tiden, og den totale årlige pris for at eje egen bil således vil være for høj for et stigende antal ejere. Det vil på sigt blive gunstigt for de magnetbårne tog og dermed blive en væsentlig grund til, at servicebaseret mobilitet vil vinde frem og til sidst være helt dominerende.

¹¹ Se de polske udviklingsprojekt Nevomo: <https://www.nevomo.tech/en/>

På brugersiden handler det meget om samlet transporttid, ventetid, komfort, osv., men den enkeltes muligheder for værdifuld anvendelse af egen tid kan ofte være en væsentlig faktor ift. selv at køre bil. På udbydersiden skal der skabes høj belægningsgrad, hvorfor det rette miks af kvalitet og pris (punktlighed, komfort, hastighed, osv.) skal højnes, samtidig med at omkostningerne skal begrænses mest muligt. Barriererne skal nedbrydes og der skal skabes nogle positive selvforstærkende mekanismer.

På den baggrund vil brugerne løbende vurdere, hvor tilbuddene er mest fordelagtige betragtet over den nærmeste fremtid. Vi ser derfor mange eksempler på, at brugernes valg kan ændres, f.eks. ved at der kan komme passende kvalitetsløft. Det er derfor vigtigt, at der fokuseres på at gennemføre de mest betydende forbedringer i den rigtige rækkefølge. Viljen til forandring skal være til stede hos aktørerne, men mulighederne vil i høj grad blive skabt af den teknologiske udvikling.

Appendiks 1 – Omkostninger ved ejerskab af bil

Nedenstående tabeller viser omkostningselementerne og de samlede årlige omkostninger inkl. drivmidler ved at eje egen bil. Sigtet er, at omkostningerne dermed kan sammenlignes med omkostninger ved alternative mobilitetsløsninger, eksempelvis togrejser, buskørsel og delebilkørsel.

Omkostninger til forsikringer og afgifter antages at være 10.000 kr. pr. år.

Værditab (inkl. forrentning) ud fra nyprisen antages at være 40%–45% over tre år:

Værditab afhængig af nypris [1000 kr.]	Værditab pr. år de første 3 år [1000 kr.]
200	25
300	35
400	50
500	70

Drivmidler og vedligeholdelse [1000 kr.] afhængig af kørselsomfang:

Kørselsomfang	10.000 km	20.000 km	30.000 km
Drivmidler v. 16 km/l – 13 kr./l	8	16	24
Vedligeholdelse	2	5	7
I alt	10	21	31

Samlede omkostninger til privatejet bil afhængig af nypris [1000 kr.] og kørselsomfang:

Nypris / kørselsomfang	10.000 km	20.000 km	30.000 km
200	35	46	56
300	45	56	66
400	60	71	81
500	80	101	111

Omkostninger til privatejet bil [kr./km] afhængig af nypris [1000 kr.] og kørselsomfang:

Nypris / kørselsomfang	10.000 km	20.000 km	30.000 km
200	3,50	2,30	1,85
300	4,50	2,80	2,20
400	6,00	3,55	2,70
500	8,00	5,55	3,70

Disse tal kan passende sammenlignes med de beregninger, som Vejdirektoratet har opstillet som relevante eksempler¹². De varierer fra 1,50 kr./km til 3 kr./km og understreger, at alternativer til privatejet bil er relevante for mange, rent økonomisk.

¹² Se også: <https://www.vejdirektoratet.dk/tema/koer-sammen-eller-del-bilen>

Appendiks 2 – den teknologiske udvikling

Den teknologiske udvikling har altid været en afgørende drivkraft til underbygning af nye mobilitetsløsninger, og det vil naturligvis fortsætte.



Elektricitet og elektromagnetisme er væsentlige fundamentet for mange afledte fremskridt og mange elektriske og elektroniske løsninger og produkter vil også fremover se dagens lys. Alle nye køretøjer er spækket med elektronik, mikrocomputere, sensorer, aktuatorer, kameraer, osv., så udtrykket, at køretøjer mere og mere tenderer til at være "computere på hjul", er ret så dækkende. Yderligere investeres der umådelige summer i udvikling af software til alle former for køretøjer, så vi ser nærmest ingen grænser for fantasien.

På en række områder vil de aktuelle teknologier gennemgå en glidende fremtidig udvikling. Trådløs kommunikation vil gå fra 5G til 6G osv., hvilket vil give mulighed for at køretøjer, sikringsystemer, signaler, osv. kan udveksle data indbyrdes med højere hastighed og større pålidelighed. Computerkraft vil fortsat blive forøget og være grundlag for de selvkørende funktioner, og biler vil kunne køre tættere efter hinanden.

Udvikling og produktion af vedvarende energikilder vil på et tidspunkt betyde, at der vil være rigeligt med elektrisk energi. Det giver grundlag for også at producere brint på elektrolyseanlæg.

Batterier til oplagring af elektrisk energi har i de senere år gennemgået en hastig udvikling, ikke mindst mht. køretøjer af enhver art. I forhold til pris vil lagerkapacitet og rækkevidde stige markant. Samtidig vil nye typer batterier reducere meget på anvendelse af miljøskadelige materialer. Opladning af batterierne ved kabeltilslutning vil gradvist blive afløst af opladning via induktion under køretøjerne, f.eks. til delebiler på faste standpladser.

Skinnebårne tog kommer til at kunne køre endnu hurtigere end i dag, men de vil dog snart nå grænsen for det mulige. På dette område vil magnetbårne transportmidler efterhånden give muligheder for at opnå meget højere hastigheder. Vindmodstanden i atmosfærisk luft vil dog sætte en øvre grænse på omkring 700 km/t, så endnu højere hastigheder må etableres i lufttætte rum, de såkaldte hyperloop rør, hvor luften indholdet kan reduceres i passende grad.



Flytransporten vil mange år endnu være baseret på fossile drivmidler, men visse typer syntetiske drivmidler er og vil blive udviklet baseret på brint, og de vil gradvist blive mere benyttet. Der eksperimenteres aktuelt med at fremstille fly drevet af ren brint, og visse mindre eldrevne fly med batterier er også under udvikling. Udfordringerne er primært at opnå et nødvendigt og tilstrækkeligt forhold mellem vægt og rækkevidde.

Ovenstående udviklinger vil ske i forskningsmiljøer og udviklingsvirksomheder spredt i hele verden, men i forskelligt tempo. På elektronik- og softwareområdet vil det givetvis gå hurtigst, mens det på det mekaniske område vil foregå mere trægt. Implementering af nye produkter og løsninger på transportområdet er desuden kraftigt reguleret mht. myndighedskrav, så der skal ofte gennemføres mange test og godkendelsesprocedurer inden en kommercialisering kan påbegyndes.

På transportområdet foreligger en blanding af internationalt vedtagne regler og standarder og lokale danske love og bestemmelser. F.eks. er der i Danmark fastsat lokale maksimale hastigheder af de forskellige typer køretøjer, og i takt med fremkomst af nye typer samt mulige hastighedsforøgelser skal disse løbende revideres. Ændringer vedrørende tog og fly er sædvanligvis en lang og besværlig proces.

Globalt set er det typisk meget store virksomheder, der investerer i teknologiprojekterne og driver den praktiske udnyttelse af teknologierne frem til modning og produktion. Typisk skal der således gå nogen tid inden pris og kvalitet har givet passende betingelser for kommercialisering og overførsel til danske forhold.

Nedenstående tabel indeholder de væsentligste udsagn om forventningerne til den teknologiske udvikling om 5 og 10 år opdelt på følgende kategorier af køretøjer:

- Cykler, scootere og motorcykler samt skateboards, løbehjul og segways
- Kabinescootere, inkl. mikro- og minibiler til maksimalt to personer
- Personbiler
- Busser: ikke-skinnebårne køretøjer i varieret størrelse, herunder BRT
- Bybaner, som udgangspunkt skinnebårne: letbaner, S-tog og Metroer
- Tog: skinnebårne eller magnetbårne. Varieret størrelse og antal af vogne
- Fly: varieret størrelse, herunder til én person

	Cykler	Kabinescootere	Personbiler	Busser	Bybaner	Tog	Fly
5 år	Meget varierede hastigheder og rækkevidder.	Veludviklede mht. hastigheder og rækkevidde. Væsentlige prisfald. Visse førerstøttende funktioner er implementeret.	Førerstøttende funktioner fuldt udviklet. Selvkørefunktioner udviklet hos flere bilproducenter. Dette kan udnyttes af delebiler og taxaer, som også kan fjernstyres.	Selvkørende i lukket trace og i fastlagte ruter i blandet trafik. Komfort øges.	Selvkørefunktioner er fuldt implementeret. Magnetbårne baner er udviklet.	På skinner: op til 500 km/t. På magnetspor: i atm. luft op til 700 km/t, i hyperloop rør over 1000 km/t.	Mest på fossile drivmidler. Visse typer er udviklet til syntetiske drivmidler, herunder brint. Visse mindre eldrevne er udviklet og i drift. Selvstyrefunktioner er under udvikling.
10 år	Som ovenfor	Som ovenfor. Lavt prisniveau. Udbredt personlige.	Selvkørefunktioner og fjernstyring er fuldt udviklet og anvendes også i delebiler. Tæthed kan øges. Biler kan kobles sammen trådløst.	Selvkørende i ruter og i al trafik. Tæthed kan øges. Komfort kan øges.	Magnetbårne baner er i brug. Tæthed kan øges. Komfort kan øges. Hastighed og tæthed kan øges. Mindre kabiner kan benyttes.	Magnetbårne tog er udviklet, også i hyperloop. Hastighed og tæthed kan øges. Nye kabinetyper mht. størrelse, komfort, mv.	Eldrevne fly er udviklet. Mange størrelser og udformninger. Rækkevidder øges. De største er m. syntetiske drivmidler. Flytrafik er automatiseret.