

Denne artikel er udgivet i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
<https://journals.aau.dk/index.php/td>

Kan data afhjælpe kapacitetsudfordringerne i Metroen?

Erik Kalmar Møller Jensen, ekmj@m.dk, Metroselskabet
Daniel Gorud Ahrendt Ocariz, dgao@m.dk, Metroselskabet

Abstract

Artiklen gennemgår hvordan de øgede digitaliseringsmuligheder, gør det muligt for Metroselskabet at benytte data til at tage beslutninger, der skal afhjælpe kapacitetsudfordringerne på M1/M2. I artiklen præsenteres en ny kapacitetsmodel, der kan beregne hvor mange passagerer, der var i toget, hver gang det afgik fra en metrostation. Resultaterne fra modellen kan benyttes til følge udviklingen i kapaciteten i metrosystemet M1/M2 på dag-til-dag niveau. Tilsvarende kan modellen anvendes til at simulere og evaluere driftstiltag, der kan afhjælpe kapacitetsudfordringerne på kort og mellemlangt sigt.

Baggrund

Metroselskabet forventer frem mod 2035 en betydelig stigning i antallet af passagerer på metrolinjerne M1 og M2, der betjener strækningerne Vanløse-Vestamager og Vanløse-Københavns Lufthavn. Det øgede antal passagerer vil give kapacitetsmæssige udfordringer, da der på udvalgte tidspunkter i løbet af dagen ikke vil være den nødvendige kapacitet i forhold til antallet af passagerer, der ønsker at benytte metroen.

Metroselskabet har igangsat forskellige tiltag på kort og mellemlangt sigt for at øge kapaciteten, og derigennem afhjælpe de kapacitetsmæssige udfordringer. De øgede digitaliseringsmuligheder har gjort det muligt for Metroselskabet at tage datadrevne beslutninger for at afhjælpe kapacitetsudfordringerne.

Metroselskabet har et tællesystem, der tæller alle passagerer, der går ind/ud af metrosystemet. Dette giver en meget detaljeret viden om antallet af passagerer, der ankommer til/forlader hver metrostation. Tællesystemet giver dog ikke information om med hvilket tog (linje og retning), som passagererne rejser. Derfor har Metroselskabet udviklet en kapacitetsmodel, der beregner antallet af passagerer i toget, hver gang det afgik fra en metrostation.

Resultaterne fra modellen kan benyttes til at tage datadrevne beslutninger om planlægning af driften. Dette kunne eksempelvis være at få operatøren til at indsætte flere tog i drift, såfremt resultaterne fra modellen viser, at antallet af passagerer i togene i bestemte tidsrum er tæt på kapacitetsgrænsen. Resultaterne fra modellen kan også benyttes til at evaluere konkrete driftsmæssige tiltag, herunder de tiltag som skal øge kapaciteten på kort og mellemlangt sigt for at afhjælpe kapacitetsudfordringerne.

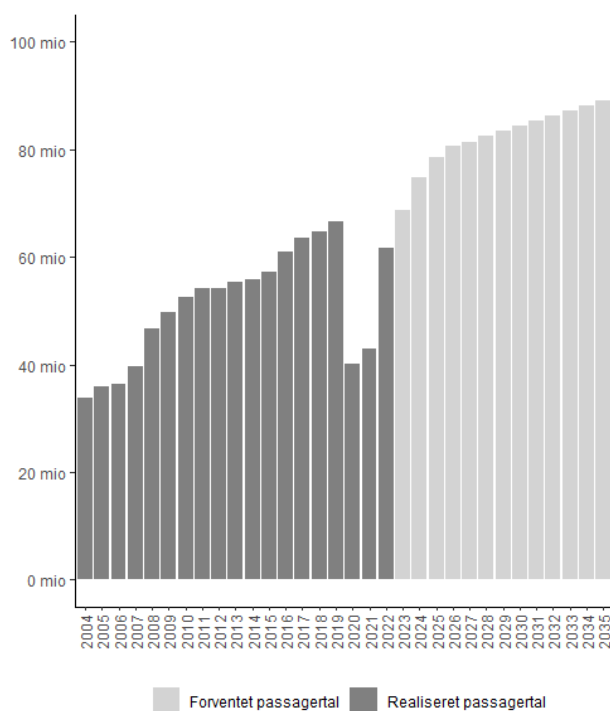
Artiklen vil først gennemgå de generelle kapacitetsudfordringer i metroen. Herefter præsenteres metoden bag den nyudviklede kapacitetsmodel, samt hvordan resultater fra modellen anvendes i praksis.

Kapacitetsudfordringerne

Metrolinjerne M1 og M2 forventes at vækste med ca. 25 pct. frem mod 2035, hvor metrolinjerne vil have ca. 90 mio. passagerer om året jf. figur 1. Denne vækst forventes at medføre, at der i nogle tidsrum ikke vil være den nødvendige kapacitet ift. antallet af passagerer, der efterspørger en rejse med metroen. Det forventes, at det er strækningerne henover havnen (se figur 2), der vil få kapacitetsudfordringer. Dette skyldes, at tog fra Vestamager og Københavns Lufthavn samler passagerer op på vej ind mod byen. Rejsemålet for de fleste passagerer er på den anden side af havnesnittet, hvorfor kun få passagerer står af inden da.

Kapacitetsudfordringer kan medføre reduceret driftsstabilitet, forlænget rejsetid for passagerne og/eller forringet kundeoplevelse. Ved mange passagerer i metrosystemet er risikoen for bl.a. blokerede døre forhøjet. Når døre blokeres, påvirker det driften, hvilket kan give reduceret driftsstabilitet. Passagerer der bliver efterladt grundet manglede kapacitet, vil få en forlænget rejsetid, da de ikke kan tage det første tog, hvilket vil resultere i en forringet kundeoplevelse. Derudover vil den store mængde af passagerer i metrosystemet også kunne give en forringet kundeoplevelse grundet eventuelle driftsforstyrrelser, men også grundet den lavere komfort ved mange passagerer i metrosystemet. Det er vigtigt at løse kapacitetsudfordringerne, da reduceret driftsstabilitet, forlænget rejsetid og/eller forringet kundeoplevelse i værste fald kan medføre, at rejser med metro droppes.

Figur 1: Antal årlige passagerer på M1/M2

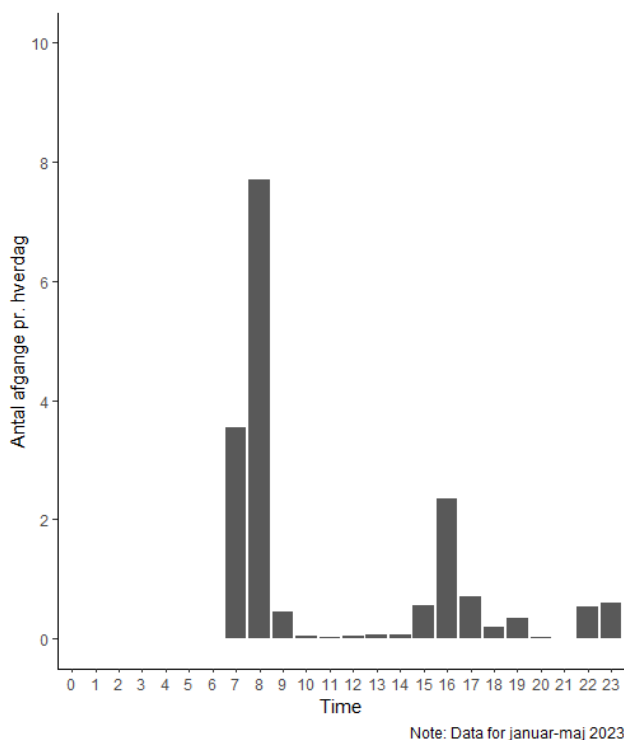


Figur 2: Kapacitetsudfordringer henover havnen

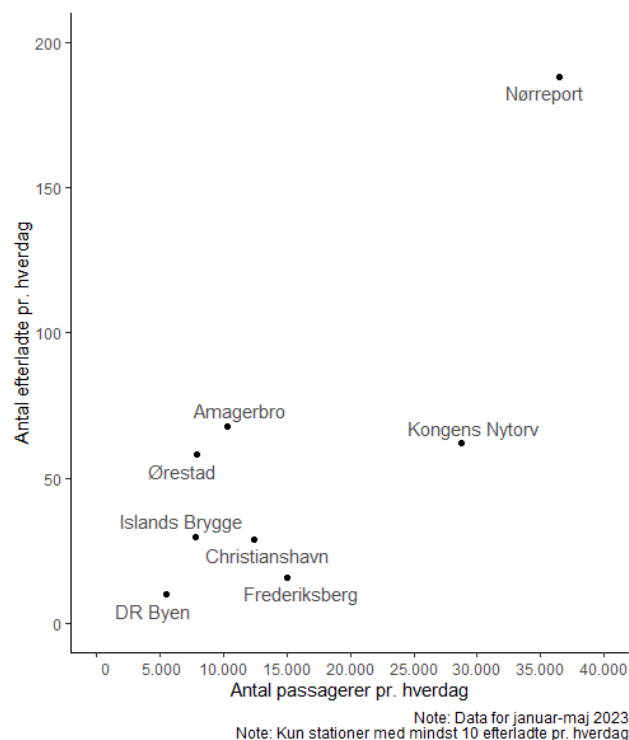


Allerede i dag er der begyndende kapacitetsproblemer, særligt i morgenmyldretiden, hvor der er flest afgang med efterladte jf. figur 3. Disse kapacitetsproblemer vil blive mere udbredt, når antallet af passagerer på M1/M2 stiger i de kommende år.

Figur 3: Antal afgang pr. hverdag med efterladte



Figur 4: Antal efterladte pr. hverdag ift. antal passagerer



Det er ikke nødvendigvis de største stationer målt på antallet af passagerer, der vil opleve kapacitetsproblemer jf. figur 4. Kapacitetsproblemerne opstår hovedsageligt på de stationer, hvor toget er fyldt eller næsten fyldt, når det ankommer til stationen. Dette medfører, at bl.a. Amagerbro har relativt mange efterladte ift. antallet af passagerer på stationen, da toget er blevet fyldt på strækningen fra Københavns Lufthavn til Amagerbro. Større begivenheder kan også give efterladte, da mange mennesker ønsker at tage metroen indenfor et meget kort tidsrum. Dette er grunden til, at Ørestad har efterladte, selvom det er andet stop på M1, da mange mennesker ønsker at benytte metro efter arrangementer i Royal Arena.

Kapacitetsudvidende tiltag

For at reducere kapacitetsudfordringerne har Metroselskabet igangsat flere kapacitetsudvidende tiltag, herunder bl.a. adfærdsregulerende tiltag, ændret sædeopsætning og indkøb af 8 nye tog. De kapacitetsudvidende tiltag skal hjælpe med at optimere driften, så passagerne får en god kundeoplevelse, når der rejses med metroen.

Målet er ikke 0 efterladte passagerer

Enkelte fyldte tog er forventeligt. Det forårsages af særlige spidsbelastninger og i tilfælde, hvor der er driftsforstyrrelser.

Særlige spidsbelastninger er fx

- Efterfølgende en stor koncert i Royal Arena
- Når flere S-tog ankommer samtidig til Vanløse og Flintholm og forårsager, at toget allerede er tætpakket her
- Når flere S-tog og Fjern- og Regionaltog ankommer samtidig til Nørreport
- Når et metrotog er tætpakket allerede ved afgang fra Københavns Lufthavn i myldretiden, som følge af flere store flyankomster

Der er indkøbt 8 nye tog, som gør det muligt at køre med en lavere headway¹ i myldretiden, hvorved det er muligt at transportere flere passagerer i myldretiden. De nye tog har også en ændret sædeopsætning, der øger kapaciteten i hvert tog. I forbindelse med modernisering af den eksisterende togflåde vil sædeopsætning i disse tog blive ændret. Indsættelse af de indkøbte tog sker gradvist for at balancere hensyn til driftsomkostninger og strømforbrug med behov for øget kapacitet.

På kort og mellemlangt sigt vil de ovenstående kapacitetsudvidende tiltag reducere kapacitetsudfordringerne frem mod 2035. Den resterende del af artiklen vil gennemgå, hvordan data kan hjælpe med at løse kapacitetsudfordringerne på kort og mellemlangt sigt. Data kan bl.a. benyttes til at planlægge driften, så kapacitetsudfordringerne i bestemte tidsrum reduceres, herunder tage datadrevne beslutninger om, hvornår det er nødvendigt at indsætte ekstra tog i drift for at øge antallet af afgang, samt evaluere hvilken kapacitetseffekt driftsændringer har haft.

Metode

Metroselskabet har udviklet en kapacitetsmodel for metrosystemet M1/M2, der estimerer antallet af passagerer i toget, hver gang det afgik fra en metrostation. Resultaterne fra modellen kan benyttes til bl.a. at beregne

- *Antallet af afgang med efterladte:* Antal afgang hvor al kapaciteten i toget er benyttet, hvorved der ikke plads til alle passagerer i toget, hvorved passagerer bliver efterladt på perron.
- *Antallet af efterladte:* Antal passagerer der blev efterladt på perron.
- *Antallet af tæt pakkede afgang:* Antal afgang hvor der var 200 eller flere passagerer i toget.

Modellen estimerer antallet af passagerer i hvert tog baseret på realiseret data fra følgende tre datakilder

- Metroselskabets tællesystem
- Data fra rejsekort
- Data fra metroens togsystem

Metroselskabet har et tællesystem med sensorer over alle ind- og udgange til metrostationerne, som på 1-minutsniveau tæller antallet af passagerer, der ankommer/forlader stationerne. Systemet er et fuldtællingssystem, hvilket vil sige, at det tæller alle passagerer, der benytter metroen. På M1/M2 tæller tællesystemet ca. 200.000 passagerer pr. hverdag. Herved haves der et fuldkommen præcist og reelt billede af, hvor mange passagerer, der er ankommet til/har forladt hver metrostation på 1-minutsniveau.

Svagheden ved data fra Metroselskabets tællesystem er, at det tæller antallet af passagerer ved ind- og udgangene til metrostationerne. Herved giver tællesystemet ingen information om, i hvilken retning eller med hvilken linje passagerne har rejst. Dette løses i modellen ved at benytte check-ind/check-ud data fra rejsekort til at bestemme rejsemønstrene i 5-minutters intervaller på hver station. Rejsekortrejser udgør cirka halvdelen af metroens rejser, hvilket vil sige cirka 100.000 rejsekortrejser pr. hverdag på M1/M2. Herved fås et meget præcist og reelt billede af de faktiske rejsemønstre henover dagen på hver station på M1/M2.

¹ Headway er antallet af sekunder mellem hver tog. En nedsættelse af headway vil give flere togafgange pr. time.

Data fra rejsekort og Metroselskabets tællesystem giver information om det absolutte antal passagerer på hver metrostation, der ankommer/forlader metroen på 1-minutsniveau fordelt på linje og retning. Ved at sammensætte dette med informationer fra metroens togsystem om de faktiske ankomst- og afgangstidspunkter for togene på hver station kan antallet af passagerer i hvert tog beregnes.

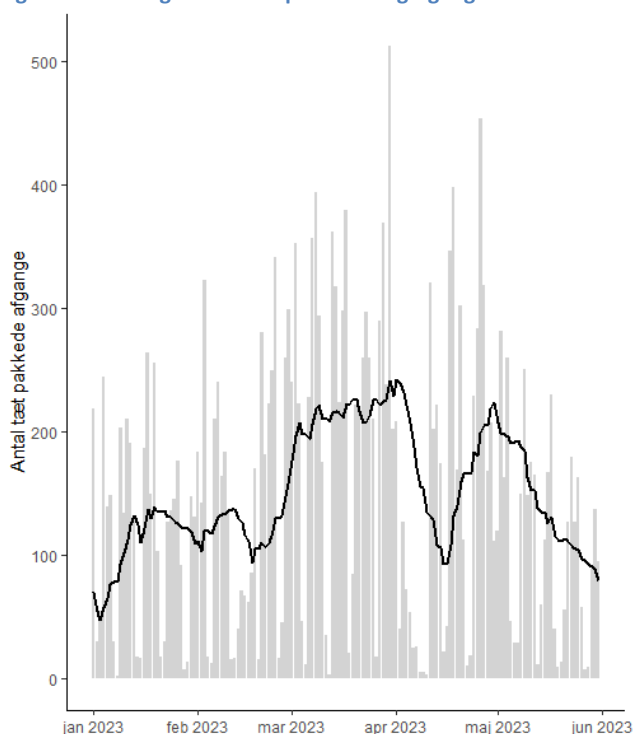
Der er sat en fast kapacitetsgrænse på 275 for antallet af passagerer i hvert tog. Såfremt der på en station er flere passagerer, der ønsker at tage toget end der er plads til, da vil den overskydende del, som der ikke er plads til i toget blive efterladte på stationen. Disse passagerer vil tage det næste tog, hvor der er ledig kapacitet.

Resultater – Historiske data

Kapacitetsmodellen kan som nævnt i metodeafsnittet benyttes til at beregne *antal afgang med efterladte*, *antal efterladte* og *antal tæt pakkede togaftage*. En af anvendelsesmulighederne er at følge udviklingen i kapaciteten på dag-til-dag niveau for bl.a. at kunne planlægge driften.

Figur 5 viser udviklingen i antallet af tæt pakkede togaftage i periode januar-maj 2023, hvor søjlerne er *antallet af tæt pakkede togaftage* den pågældende dag, mens linjen er et 14-dages glidende gennemsnit for *antallet af tæt pakkede togaftage*. Det 14-dages glidende gennemsnit viser det gennemsnitlige *antal af tæt pakkede togaftage* pr. dag de seneste 14 dage, hvorved det er muligt at følge trenden i hvor mange tog, der har høj belægning. Dette kan benyttes til at vurdere udviklingen i, hvor stort kapacitetspres der er på metrosystemet. At figuren viser kapacitetspreset kan bl.a. ses ved, at der er stigning i antallet af tæt pakkede tog henover marts 2023, hvor M1/M2 oplevede en stigning i antallet af passagerer. Herefter falder antallet i april 2023, da antallet af tog med mange passagerer falder i påsken, hvorefter antallet stiger igen efter påske.

Figur 5: Udvikling i antal tæt pakkede togaftage

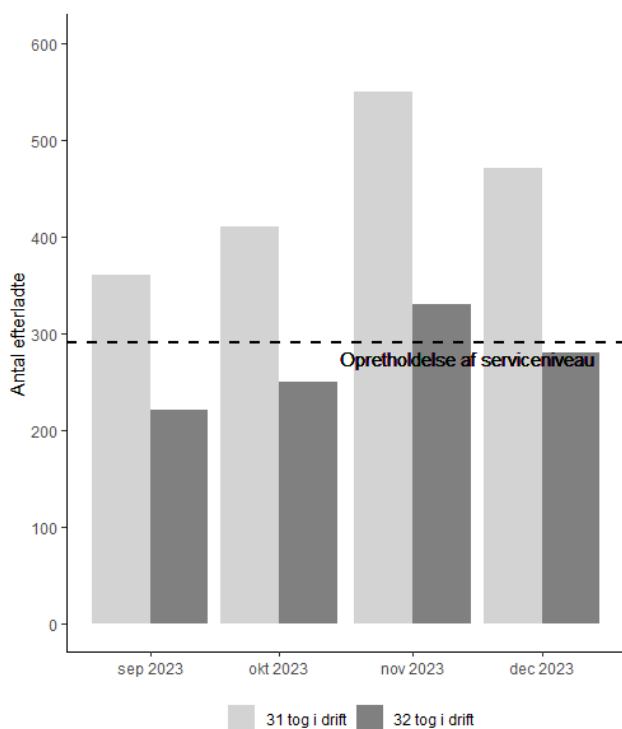


Resultater – Simulering og evaluering

Kapacitetsmodellen kan også benyttes til at lave simuleringer af, hvordan ændringer i køreplan eller ændringer i antallet af passagerer vil påvirke kapaciteten i metroen. Metroselskabet har bl.a. benyttet kapacitetsmodellen til at beregne, hvornår de ekstra indkøbte tog bør sættes i drift i myldretiden for at reducere headway, så der sker en opretholdelse af det nuværende serviceniveau. Det eksisterende serviceniveau er givet ved antallet af efterladte i november 2022. Ved at indsætte flere tog holdes antallet af efterladte på et tilnærmelsesvis konstant niveau, hvilket sikrer en opretholdelse af den nuværende kundeoplevelse.

For at opretholde det nuværende serviceniveau skal der indsættes 32 tog i drift i myldretiden fra september 2023, mens der skal indsættes 33 tog i drift i myldretiden fra november 2023 jf. figur 6.

Figur 6: Serviceniveau ved 31 tog og 32 tog i drift

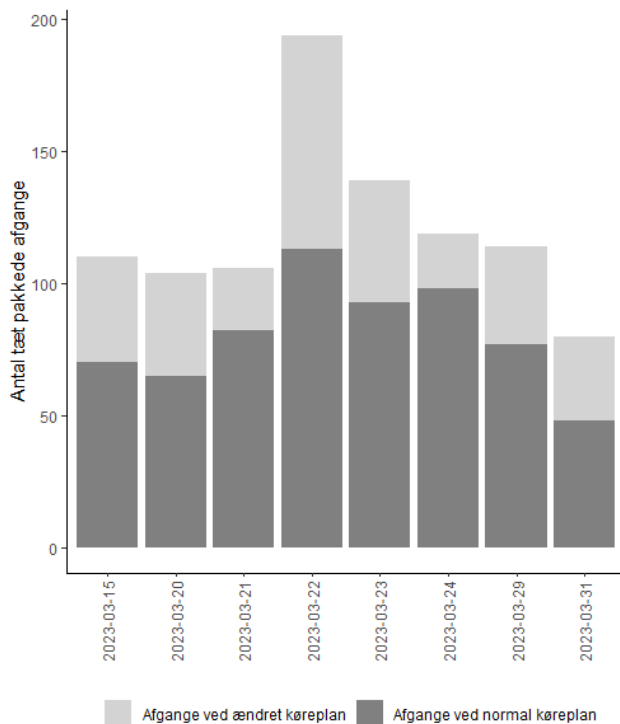


Beregningerne er lavet ved at foretage simuleringer i kapacitetsmodellen, hvor der benyttes det forventede passagertal for de pågældende måneder sammen med en køreplan for henholdsvis 31 tog og 32 tog i drift i myldretiden. Ved at indsætte ét ekstra tog i drift kan antallet af efterladte reduceres betydeligt, hvilket bl.a. gør sig gældende for september 2023, hvor antallet af efterladte ved 31 tog i drift vil give flere efterladte end det nuværende serviceniveau, mens der ved 32 tog i drift vil være færre efterladte end det nuværende serviceniveau. I november 2023 vil antallet af efterladte ved 32 tog i drift give flere efterladte end det nuværende serviceniveau, hvorfor der skal indsættes 33 tog i drift for at opretholde det nuværende serviceniveau.

Kapacitetsmodellen kan også benyttes til at beregne effekten af faktiske ændringer, som er blevet foretaget i metrodriften. I uge 11-13 i 2023 blev der udført vedligeholdelsesarbejde på M1/M2, hvor arbejdet medførte, at headway i myldretiden var øget med 6 sekunder ift. normal køreplan – dvs. at der var 6 sekunder længere mellem togene i myldretiden. Effekten af den øget headway på 6 sekunder i myldretiden beregnes ved at benytte kapacitetsmodellen til at beregne *antallet af tæt pakkede tog* med den realiserede

køreplan og passagertal for den pågældende periode, hvilket sammenlignes med beregninger, hvor det realiserede passagertal og den normale køreplan benyttes.

Figur 7: Effekt på antal tæt pakkede afgange af øget headway i myldretiden



Beregningerne fra kapacitetsmodellen viser, at ændringen af driften i myldretiden, hvor der var 6 sekunder længere tid mellem togene øger *antallet af tæt pakkede tog*. Der er alene benyttet dage med rigtig høj driftsstabilitet på M1/M2 for at sikre, at resultaterne ikke bliver påvirket af driftsproblemer, hvorved det ekstra *antal tæt pakkede tog* skyldes den øget headway i myldretiden.

Konklusion

De øgede digitaliseringsmuligheder har gjort det muligt for Metroselskabet at benytte data til at tage beslutninger, der skal afhjælpe kapacitetsfordringerne på M1/M2 på kort og mellemlangt sigt.

Kapacitetsmodellen kan benyttes til at følge udviklingen i kapaciteten på M1/M2 på daglig basis, men den kan også benyttes til at foretage simulering af fremtidige passager- og driftsændringer samt evaluering af realiserede driftsændringer.