

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>

Punktligheden på Kystbanen, tiltag i årene 2016 – 2023

Steven Harrod, stehar@dtu.dk

Gabriel Battaglia Masini, s220228@student.dtu.dk

Institut for Ingeniørteknologi og -didaktik

Danmarks Tekniske Universitet

2750 Ballerup

Abstrakt

Kystbanen er DSB's anden størst trafikeret strækning, men er plaget af passagerklager og lav punktighed. Offentlige data fra 2016 til og med 2023, 96 måneder inklusive, undersøges ved henblik at forklare faktorerne som styrer punktigheden. Der findes mindst fem køreplansmønstre i perioden, og der beregnes til hver SSHR ("sum of shortest headway reciprocals"). Videre anvendes Poisson regression, hvor der opdages at dog SSHR er en væsentlig faktor, ikke alle køreplansmønstre leverer de forventet effekter.

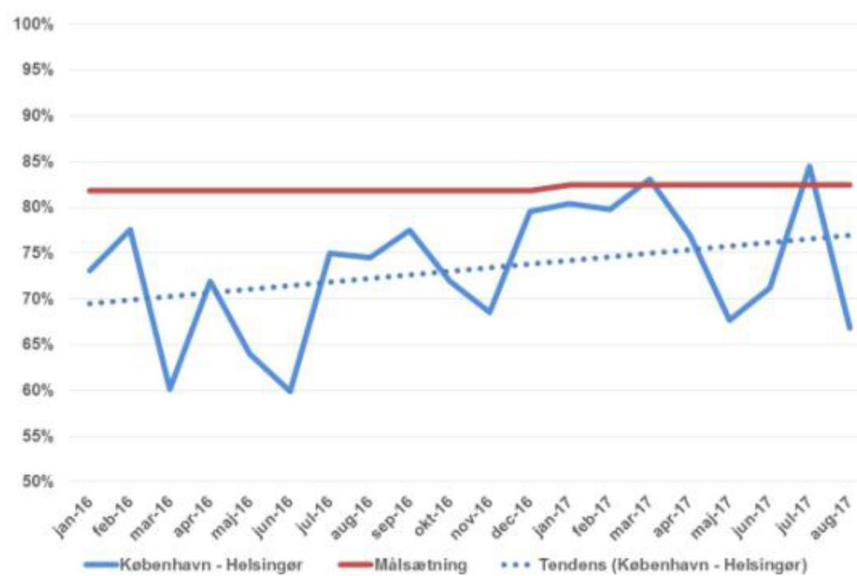
Indledning

Trods at Kystbanen er en moderne bane med elektrificering, moderne tog med toiletter og mulighed for første klasse, og hyppigt drift med seks tog i timen, er banen udskældt for dårlig service og punktighed. Der findes en Facebook gruppe, "Kystbanenlive", med over fem tusind medlemmer hvor der deles gentagne gange klager over aflysninger, forsinkelser og dårlig service. Disse klager er ikke ubegrundet. I trafikksaftalen mellem staten og DSB, skulle DSB nå en kundepunktighed snit omkring 82% i 2015 – 2024, men det aldrig blev til mål. I flere måneder var kundepunktigheden ned til 60% (Figur 1).

Et af de værktøjer som DSB tog i brug de sidste ti år til at forbedre Kystbanen er køreplanen. I alt har der været anvendt mindst fem køreplansmønstre i 2016 – 2023. Disse køreplaner repræsenterer de hoved ændringer til trafikken på Kystbanen, undtaget COVID pandemien. Banen fik en omfattende sporfornyelse

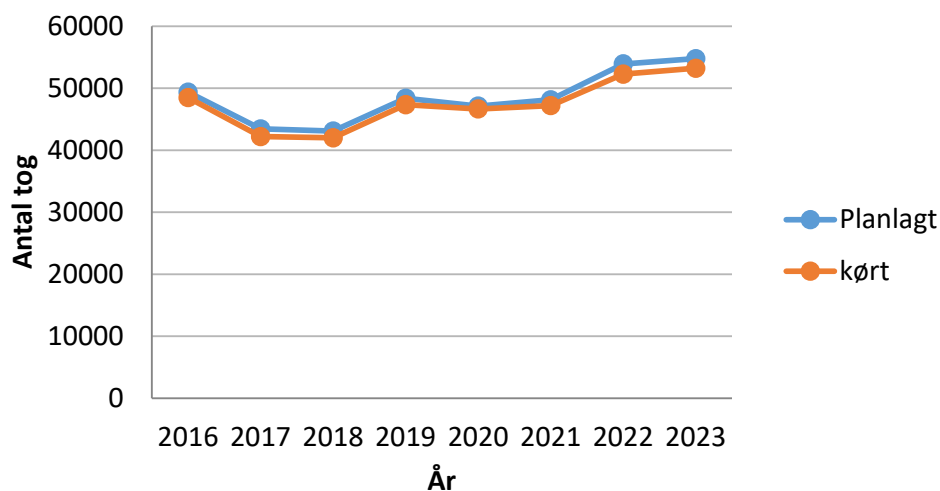
mellem 2016 – 2018, men fornyelsen beholdt de samme tekniske anlæg som før, og efterhånden var der ikke nogen bemærkelige tekniske ændringer på banen.

Køreplaner fylder meget i den videnskabelig litteratur. Når det handler om togdrifts robusthed, er køreplanerne i fokus som næsten det eneste redskab. Lusby et al (2018) giver et overblik om strategier ved køreplanlægning og togdriftsstabilitet. Larsen et al (2015) fortæller om DSB's grundig omorganisering af fjernbanens køreplan til 2016, men nævner at Kystbanen udeblev fra projektet. Beslutningen gav mening fordi indtil 2023 var Kystbanen en forlængelse af Øresundstog trafik til Sverige, og Kystbanens køreplan var reelt en international opgave.



Figur 1: Kundepunktlighed på Kystbanen i 2016-2017 (Passagerpulsen 2017)

Denne undersøgelse tegner en statistisk analyse af Kystbanens punktlighed og rettlighed efter valgt køreplansmønster, planlagt trafik, og passagertal. I årene 2016 – 2023 leverede DSB et relativt stabilt trafikudbud (Figur 2), og i forbindelse med fast infrastruktur og teknologi, er køreplanerne de mest væsentlige faktorer i banens præstation. Analysen anvender køreplansstatistik "sum of shortest headway reciprocals" (Vromans et al 2006) og Poisson regression til at identificere de faktorer som spiller meste i Kystbanens punktlighed.



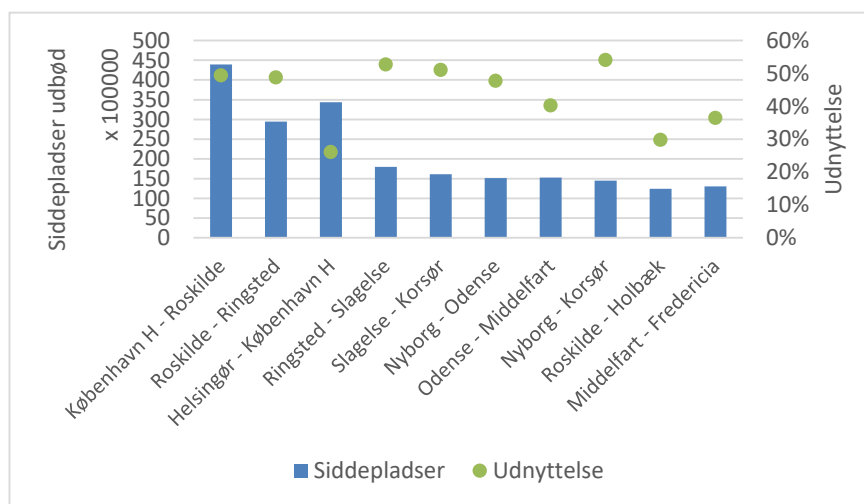
Figur 2: Planlagt og realiseret togkørsler Helsingør-Nivå

Om Kystbanen

Kystbanen er betegnelse for jernbanen mellem København og Helsingør, som blev indviet gennem til Helsingør i 1897 (Thomassen og Søllerød Kommune 1972). Kystbanen er den anden bane til Helsingør. Første bane blev åbnet i 1864 på en linjeføring midt i landet gennem Hillerød (daværende Frederiksborg). Allerede fra Hillerødbanens åbning fandtes forslag til en bane langs kysten til Helsingør, men på trods af linjeføringen var 15 km kortere, fik projektet modstand fra krigsministeriet.

Jernbanen fik endelig regeringens støtte med lovgivning af 1894. Banen kom i regelmæssig drift fra 2. august 1897, og fra 1923 var der dobbeltspor hele vejen fra København til Helsingør. Op til Øresundsbroens åbning, tog Kystbanen imod en stor del af godstrafik til og fra Sverige. I dag er Kystbanen næsten udelukkende til passagertrafik, som i stor stil består af pendlertrafik mellem Hovedstaden og Nordsjælland.

I 2016 udgjorde Kystbanen 9% af all DSB's udbud af siddepladser i myldretiden (DSB Månedsrapport). Kun strækningerne København – Roskilde og Roskilde – Ringsted bød på flere pladser. Over hele døgnet er Kystbanen anden største i trafik udbud, men mindste i udnyttelse af kapacitet (Figur 3).



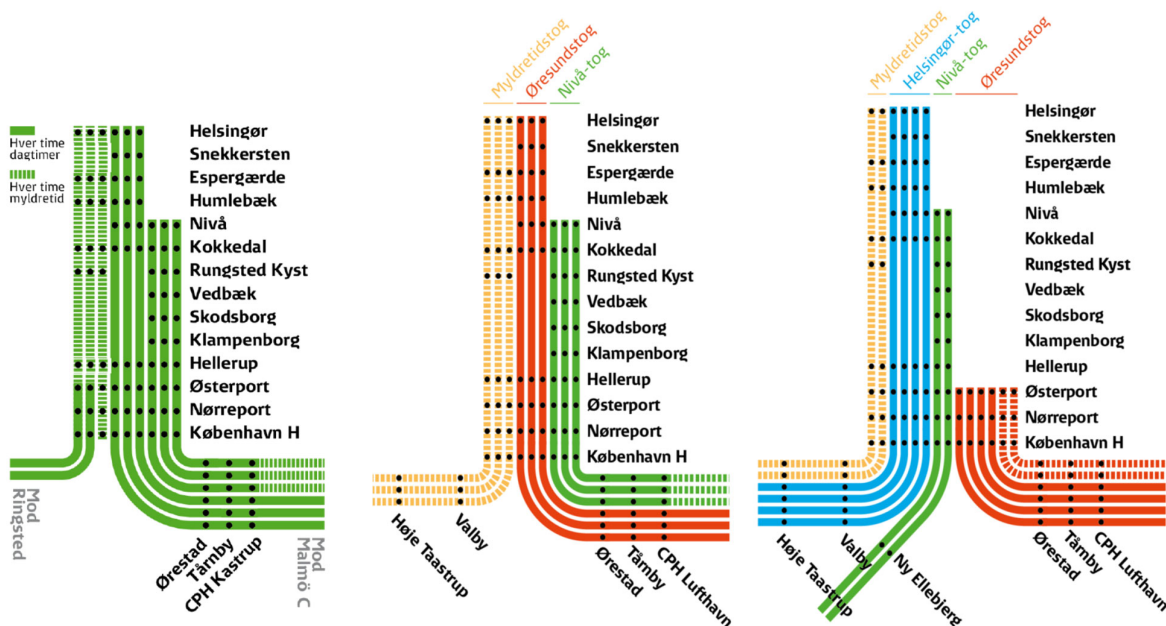
Figur 3: Højeste ti trafikeret banestrækninger i DSB's fjerntog netværk, 2016 (DSB månedsrapport 2016)

Kystbanens køreplaner

Analysen inddrager i alt otte køreplaner, fra 2016 til og med 2023. Køreplansmønstre er samlet fra omkring 07:15 til 08:15 (myldretiden) og 09:00 til 10:00 (dagtimen). Tiderne stammer fra Hellerup og Kokkedal standssteder. I K16 køreplanen, sydgående, standser ikke tre tog i myldretiden på Hellerup. Disse togtider skønnes til seks minutter før Østerport. Disse køreplaner beskrives kort:

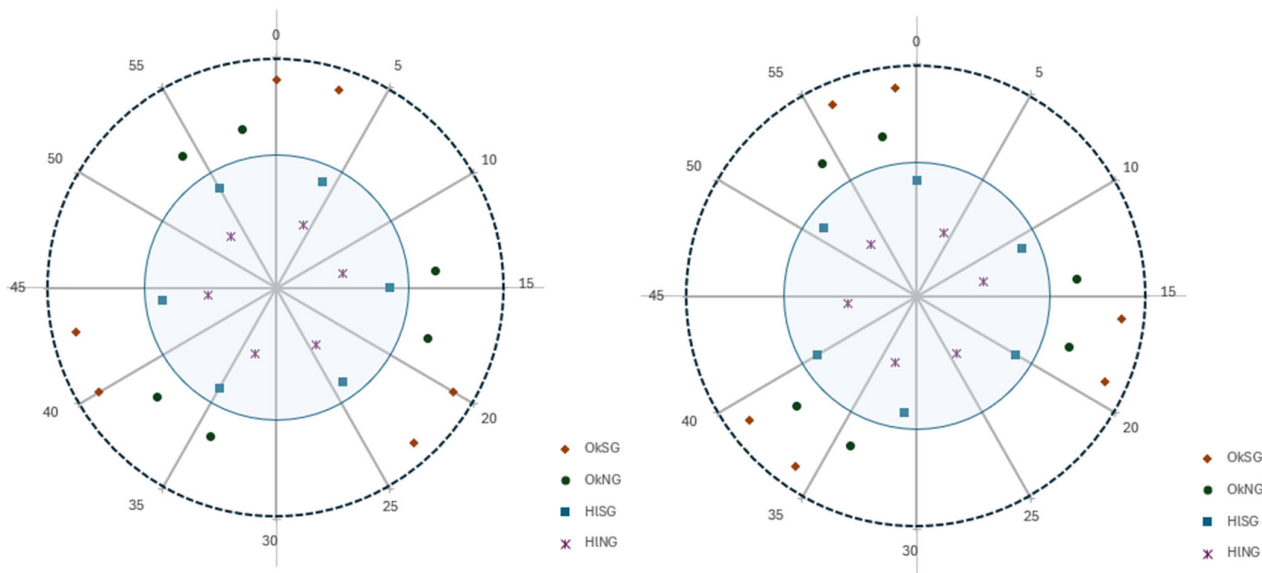
- K16 – seks tog om time i hver retning om dagen. Af disse, tre kører til CPH Lufthavn, men pga. grænsekontrol, var der ikke gennemkørende Øresundstog fra Helsingør til Sverige. Alle passagerer skulle stå af til grænsekontrol og stå på et Svenske tog på lufthavnen. I myldretiden, som varer omkring 06:00 til 08:30 om formiddagen, kørte der ni sydgående tog om time.
- K17 – i 2017 vendte gennemkørende tog til Sverige tilbage. Eksprestogene og stoppetogene byttede plads i myldretiden, men ingen ændring i nordgående retning. Hel sydgående køreplan om dagtimerne skiftes baglæns fire minutter.
- K18 – ingen ændring i myldretidskøreplan og en trivial ændring i dagtimeskøreplan.
- K19 – ingen ændring i dagtimeskøreplan og en trivial ændring i myldretidskøreplan.
- K20 – i myldretiden begyndte to tog om time til at køre igennem til Slagelse, med en lang holdetid på København H (togene 4422 og 4426). Myldretidskøreplan skiftede i takt få minutter tidligere, og dagtimeskøreplan skiftede fire minutter senere.
- K21 – triviale ændringer til tiderne. Gennemkørende tog til Slagelse ophørte.
- K22 – i myldretiden begyndte tre tog om time til at køre til og igennem Roskilde. I alt otte tog om time i myldretiden, og kun to tog om time til Sverige. Om dagtimen, kun et tog om time til Sverige. Store ændringer til de fleste standsningstider.
- K23 – gennemkørende tog til Sverige ophørte. Fortsat otte tog om time i myldretiden. Ingen ændring i standsningstider sydgående. Store ændringer i nordgående retning.

Overalt kan man tegne køreplansmønstre som K16, K17, K20, K21, K22, og K23. Det er lige på grænsen at K21 tæller rigtigt som en mønstre ændring, derfor er der mindste fem køreplansmønstre og muligvis seks. Figur 4 viser det generelt mønstre frem til K22, og den stor forandring i K23. I flere år er der en væsentlig tidsskift i køreplanen, men i nogle af disse år skiftes standsningstider i takt, som giver ikke mening trods en

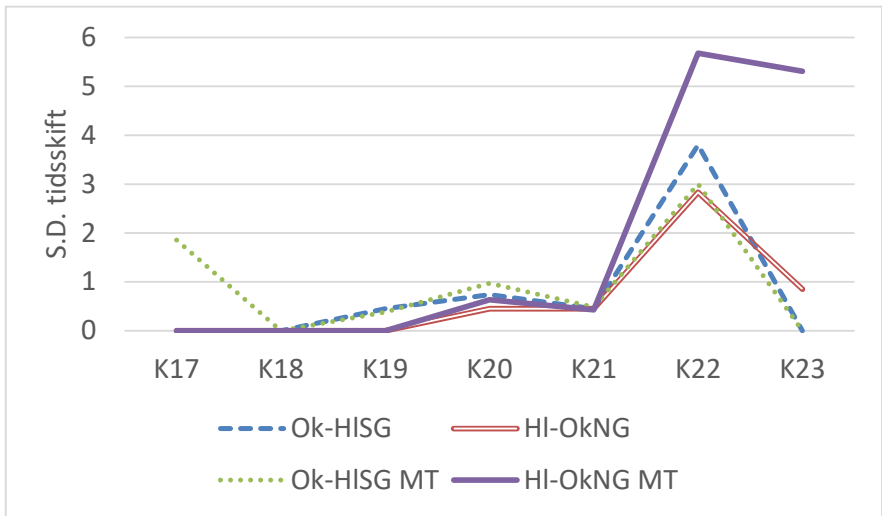


Figur 4: Trafikmønstre før og efter adskillelse af Øresundstog trafik til Sverige. Fra venstre, K20 driftsplan, K22 driftsplan, og K23 driftsplan. K22 mønstret indeholder en fejl – der var kun to tog om time til Sverige. (Scherling 2020, Jensen 2023)

høj gennemsnit (Figur 5). Derfor skelnes mellem køreplanerne ved at beregne standard afvigelse (s.d.) af tidsskifterne (Figur 6).

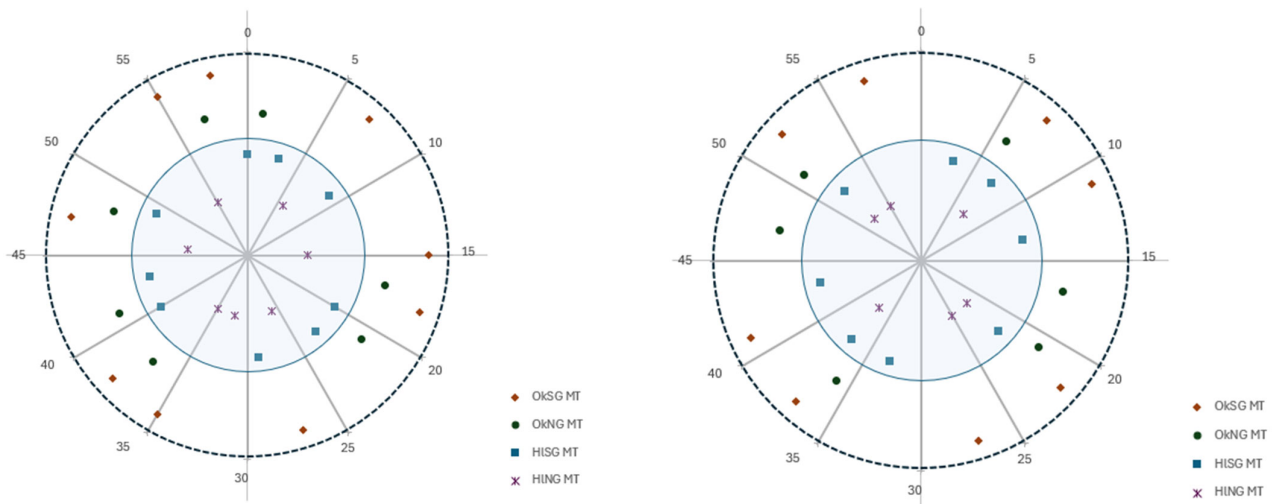


Figur 5: Skivekøreplan til K16 dagtime (venstre) og K17 (højre).



Figur 6: Standard afvigelse af tidsskift fra tidligere køreplan, målte på Hellerup og Kokkedal

Ud fra Figur 6 er det klart at der sket en grundig omorganisering af køreplanen på K22, og skivekøreplanen i Figur 7 konstaterer hvor udbredt blev mønstrets forandring.



Figur 7: Skivekøreplan til K21 myldretiden (venstre) og K22 (højre)

Måling af køreplaner med reciprokke af følgetider

Vromans et al (2006) tyder på den reciprok af tog følgetider som dels forklaring om en køreplans robusthed. En køreplan vurderes ved at udregne de reciprokke af alle følgetider som viste i skivekøreplanen, og tælle dem op i en sum (Ligning 1).

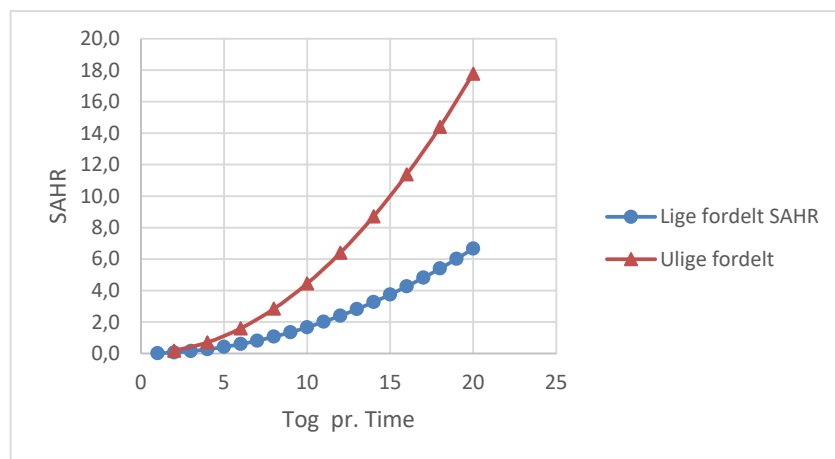
Ligning 1

$$SAHR = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_i^A}$$

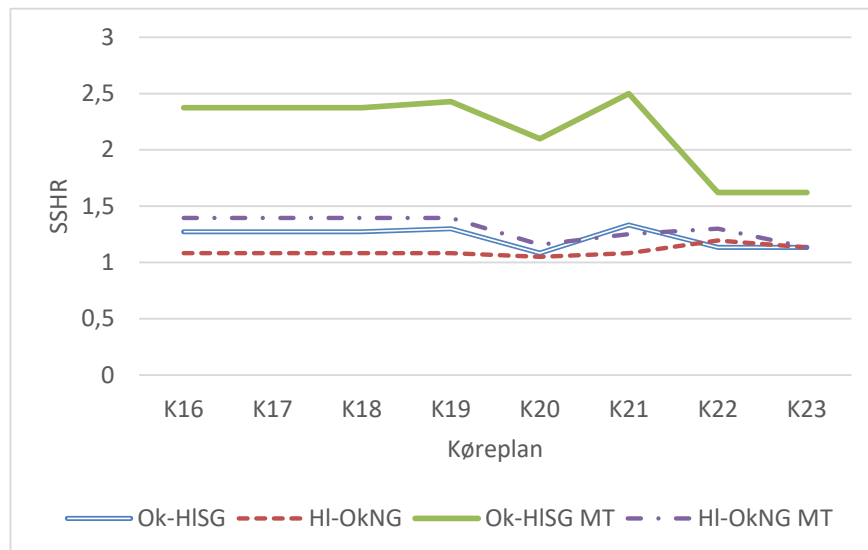
Vromans et al betegner to former for disse statistikker: SAHR, som er reciprok af følgetiderne på en bestemt station, og SSHR, som er reciprok af de mindste følgetider mellem et par tog imellem to stationer. En forudsætning for SSHR er at togene ikke overhaler hinanden. Figur 8 viser et teoretisk eksempel hvor SAHR afspejler både trængsel ved flere tog om timen og kompleksitet ved ulige fordeling. Ved ulige fordeling får et par tog 25% af mulig følgetid og det næste par tog 75% af følgetid, dvs. ratio 1:3.

Ved flere stationer og ikke ens togdrift, opstår der at følgetiden mellem et par tog kan ændre sig imellem stationerne. I sådanne tilfælde foreslår Vromans et al at erstatte følgetiden i Ligning 1 med den mindst følgetid mellem et par tog imellem to valgte stationer. I Kystbanens køreplaner er det nemt at gøre fordi togene mellem Hellerup og Kokkedal overhaler ikke hinanden, og mindst følgetid mellem et par tog kan udregnes bare fra standsningstider på Hellerup og Kokkedal, trods at en af togene standser på flere stationer imellem.

Figur 9 viser SSHR ("sum of shortest headway reciprocals") fra hver køreplan, hver retning og også om myldretiden. Lige som Figur 6 og Figur 7, viser SSHR en grundig forbedring til køreplanerne K22 og K23, men kun om myldretiden.



Figur 8: Eksemplar SAHR, hvor togene har ellers lige fordelte følgetider, eller følgetider som er fordelt i skift 25% og 75%.



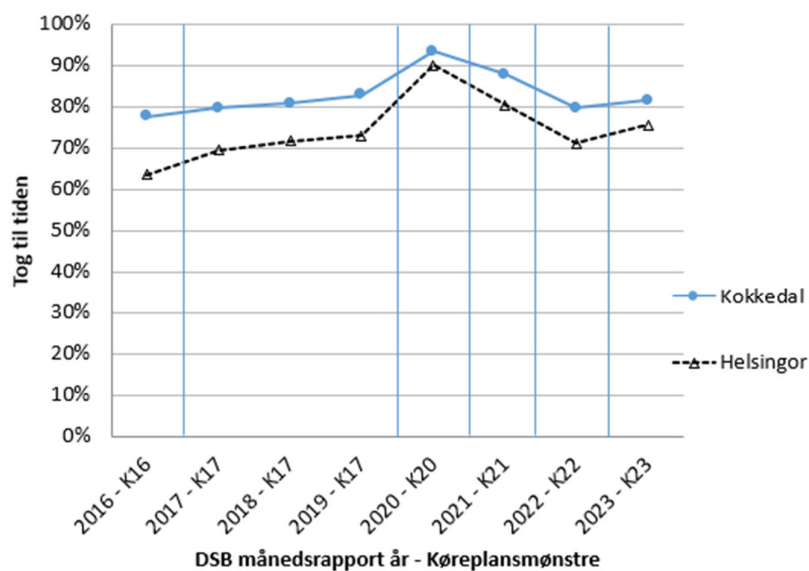
Figur 9: "Sum of shortest headway reciprocals" eller SSHR på Kystbanen, sydgående, nordgående, og igen om myldretiden.

Kystbanens punktlighed

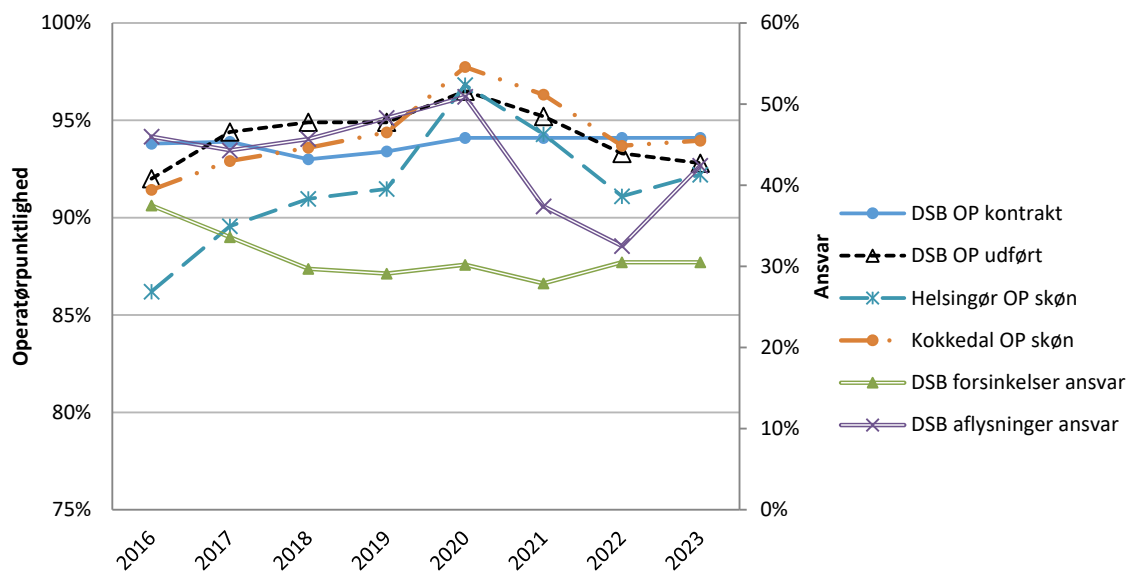
På Kystbanen er de meste punktlighedsstatistik offentliggjort fra stationerne Helsingør og Kokkedal. Hver måned afrapporterer DSB tal om aflyste og forsinket tog, på udvalgte stationer. På hel DSB's netværk (fjernbanen) afrapporterer DSB årsagerne til aflysninger og forsinkelser, og udregner en ansvarsfordeling mellem DSB, Banedanmark (infrastruktur ansvarligt) og eksterne faktorer (politi handlinger, ambulance tilkald, påkørsel, osv.). Desværre er disse statistik ikke tilgængelig alene på Kystbanen.

Figur 10 viser rene tog til tiden på Helsingør og Kokkedal. Punktligheden udregnes som antal planlagt tog minus aflyste og forsinket tog. Figur 11 viser DSB's generelle operatørpunktlighed over hel fjernbanen. Operatørpunktlighed betegnes som planlagt tog minus kun de tog som DSB selv er skyldige i aflysning eller forsinkelse. Hvis man accepterer at DSB's ansvar på Kystbanen ligner DSB's generelt ansvar på hel fjernbanen (som er en stor forudsætning), kunne man udregne et skøn til operatørpunktligheden på selv

Helsingør og Kokkedal. Det vises på Figur 11 som "Helsingør OP skøn" og "Kokkedal OP skøn". Her kunne man undre sig at DSB's præstation på Kokkedal passer med gennemsnit fjernbane, men Helsingør oplever en bestemt dårligere præstation.



Figur 10: Tog til tiden målte på Helsingør og Kokkedal



Figur 11: DSB operatørpunktlighed på hel fjernbanen, ansvar fordeling, og et skøn over operatørpunktlighed på Helsingør og Kokkedal

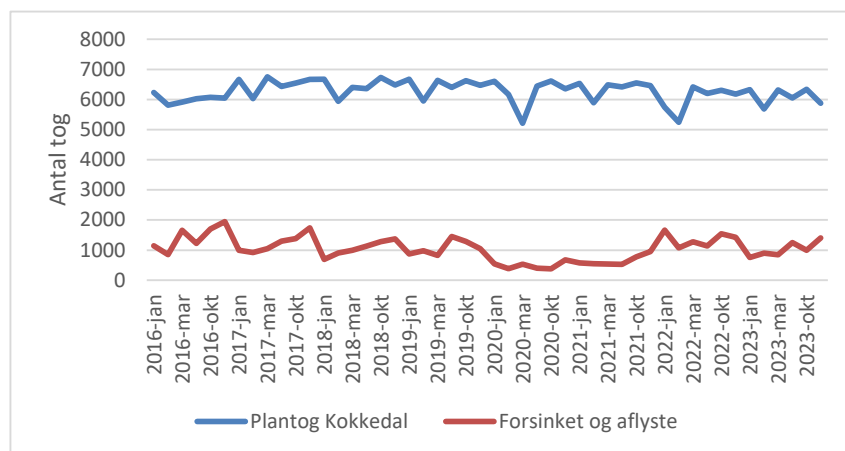
Regressionsanalyse af punktligheden

Dataene rækker ikke til hvert enkelt tog. De tilgængelige data byder kun grov statistik. Derfor er det ikke muligt at fremlægge en almindelig lineær- og heller ikke logit regression. En Poisson regression kunne muligvis give bedre indblik i de tal af forsinket og aflyste tog. Poisson regressions formel vises i Ligning 2, hvor de betaparametre skal tilpasses med brug af likelihood funktioner. Resultatet er en ydeevne sats (λ) til en Poissonfordeling.

Ligning 2

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

Dataene er valgt fra januar – marts og september – november. Flere helligdage og sommerferien gør april – august ustabil, og december er slået fra ikke bare pga. julen men fordi køreplansskift sker i december. Figur 12 viser grove tal af tog i datasættet. Analysen satser på Kokkedal. Datasættet indeholder i alt 48 rækker.



Figur 12: Planlagt tog på Kokkedal og antal forsinket og aflyste tog i regressionsanalyse datasæt

Hoved variabler i datasættet er:

- Antal forsinket og aflyste tog – hoved afhængig variabel
- Planlagt tog tal – det forventes at jo flere tog planlagt, så bliver flere tog forsinket eller aflyste
- Passagertal – det forventes at flere passager ødelægger drift og bidrager til forsinkelser
- SSHR – køreplanens statistik fra Figur 9, her kun sydgående i myldretiden, hvor det forventes at en lavere SSHR gør køreplanen mere robust
- Vinter – en binær variabel som signalerer januar, februar og marts
- K17, K20, K22, K23 - binære variabler som signalerer disse køreplanmønstre (nul i alle fire signalerer K16)

Første forsøg

Uden videre forarbejdning, danner datasættet følgende resultat:

Call:

```
glm(formula = Okforaf ~ Okplan + passengertal + SSHR + K17 +  
      K20 + K22 + K23 + vinter, family = poisson, data = mydata)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	6.541e+00	1.723e-01	37.956	< 2e-16	***
Okplan	-8.660e-06	1.938e-05	-0.447	0.655	
passengertal	-5.839e-07	7.454e-08	-7.833	4.78e-15	***
SSHR	5.728e-01	6.117e-02	9.365	< 2e-16	***
K17	-2.607e-01	1.630e-02	-15.990	< 2e-16	***
K20	-1.053e+00	3.176e-02	-33.143	< 2e-16	***
K22	2.615e-01	5.386e-02	4.855	1.21e-06	***
K23	1.253e-02	5.301e-02	0.236	0.813	
vinter	-3.450e-01	1.206e-02	-28.605	< 2e-16	***

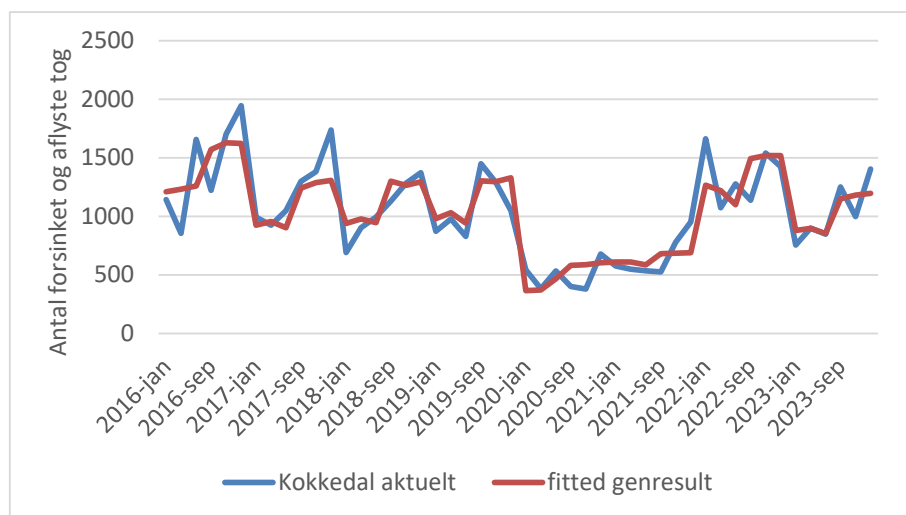
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 7093.3 on 47 degrees of freedom
Residual deviance: 1522.3 on 39 degrees of freedom
AIC: 1958.2

Number of Fisher Scoring iterations: 4

McFaddens p^2 statistik er 0,74. Hvis modellen bearbejdes videre, kan man slette første K23 variablen og derefter Okplan variablen. McFaddens statistik er uændret. Lidt overraskende, den negativ parameter på passagertal tegner på at flere passager ikke bliver til flere tog forstyrrelser. Den store og positiv parameter på SSHR giver køreplanens homogenitet skyld og ros i tog forstyrrelser. Parameteret "vinter" peger på at togdriften er mere udfordret om efterår end om vinteren.



Figur 13: Resultaterne fra første Poisson regression. Kokkedal forsinket og aflyste tog, og tilpasset λ sats fra tilpassede resultaterne.

Anden forsøg

Det er lidt interessant at de tal af planlagt tog ikke spiller en rolle i modellen, men allerede fra Figur 2 og Figur 12 ved vi at planlagt togkørselen er ret stabil over årene. Intercept i modellen holder plads for planlagt tog. Som et forsøg at inddrage planlagt tog i modellen, bearbejdes dataene så de binære variable krydses med de planlagt togtal, dvs. Okplan x K17, Okplan x vinter, osv. Resultatet er således:

```
Call:
glm(formula = Okforaf ~ passengertal + SSHR + K17 + K20 + K22 +
     K23 + vinter, family = poisson, data = data2)

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  6.298e+00  1.419e-01  44.373  < 2e-16 ***
passengertal -4.352e-07  5.991e-08  -7.265  3.74e-13 ***
SSHR         6.013e-01  5.687e-02  10.574  < 2e-16 ***
K17          -3.805e-05  2.008e-06 -18.953  < 2e-16 ***
K20          -1.581e-04  3.814e-06 -41.444  < 2e-16 ***
K22           5.154e-05  7.661e-06   6.728  1.73e-11 ***
K23           9.744e-06  7.585e-06   1.285    0.199
vinter       -5.355e-05  1.857e-06 -28.838  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 7093.3  on 47  degrees of freedom
Residual deviance: 1549.5  on 40  degrees of freedom
AIC: 1983.4

Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

K23 køreplanen er stadig ikke signifikant, og med en megen små koefficient. Hvis vi sletter K23, er McFaddens statistik næsten uændret (faktisk lidt mindre).

Slet køreplanerne

Hvad hvis man glemmer næsten alt om køreplanerne? Her beregner man en Poisson regression med kun planlagt tog, passagertal og SSHR-statistikken. Endelig kommer planlagt tog ind i signifikans, men med en negative koefficient! McFaddens statistik er kun 0,37.

```
Call:
glm(formula = Okforaf ~ Okplan + passengertal + SSHR, family = poisson,
     data = mydata)

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  8.183e+00  8.204e-02   99.74  <2e-16 ***
Okplan       -2.912e-04  1.457e-05  -19.98  <2e-16 ***
passengertal  1.804e-06  3.710e-08   48.62  <2e-16 ***
SSHR         -2.423e-01  1.466e-02  -16.52  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 7093.3  on 47  degrees of freedom
Residual deviance: 4300.7  on 44  degrees of freedom
AIC: 4726.6

Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

Konklusion

Fra 2016 har Kystbanen fra København til Helsingør været plaget af passagerklager og en punktlighed som lå i gennemsnit på 80%. Som forsøg om at forbedre togdriften, har DSB og Banedanmark anvendt mindst fem køreplansmønstre fra 2016 til og med 2023. Den meste omtalt køreplanændring var udryddelse af gennemkørende tog til Sverige (Øresundstogene). Siden 2022 blev Øresundstogene reduceret på Kystbanen, og ophørte fuldstændigt siden 2023. Kystbanen har ellers fortsat siden 2016 uden betydelige ændringer i teknologien eller udbud.

En grundig undersøgelse har kigget på i alt otte køreplaner. Største forandringer skete med køreplansskift i 2017, 2022 og 2023. SSHR (sum of shortest headway reciprocals) udberegnes og viser at køreplanens struktur blev vist mere robust fra 2022, især i sydgående retning i myldretiden.

Undersøgelsen har anvendt Poisson regression til at tegne en model af årsagerne til forsinket og aflyste tog. Resultaterne from regressionen fremviser SSHR som den meste tydelig faktor, med de forskellige køreplansmønstre som sekundære faktorer. Højere passagertal bliver ikke til bedre punktlighed, og efterår er værre end vinteren. Den omtalte køreplan fra 2023 hvor alle gennemkørende tog til Sverige indstilles, ser ud til at ikke være signifikant, og sætter spørgsmålstegn på argumentationen om at Øresundstrafik var skyldig i Kystbanens dårlig service.

Til sidste, undersøgelsen viser at der er en grænse til hvad man kan nå bare med køreplanen. Der må være flere andre faktorer som bygger ind i togdriftens stabilitet. En fremtids udvidelse af denne undersøgelse kunne godt brug med fordel detaljeret data for hver enkelt tog.

Referencer

- Jensen, Flemming (2023) Ny køreplan på Kystbanen, 10 december, 2023, DSB, Høje Taastrup.
- Larsen, Steen, Thorsen, Jesper & Bak, Joachim (2015) Nye tider – DSB's køreplan 2016. Trakifdage på Aalborg Universitet, 24 – 25 august 2015, Aalborg, ISSN 1603-9696.
- Lusby, R. M., Larsen, J., & Bull, S. H. (2018). A Survey on Robustness in Railway Planning. European Journal of Operational Research, 266(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.044>
- McGhie, Steffen (2018) Punktligheden på Kystbanen er i fri fald. Ingeniøren, 12 juni 2018.
- Passagerpuls hos Forbrugerrådet Tænk (2017). Punktlighed for Tog og Metro, 13 oktober 2017, København.
- Scherling, Jonas Dalum (2020) Ny køreplan for Kystbanen. 24 november, 2020, Region Hovedstaden, Center for Regional Udvikling
- Thomassen, P., & Historisk-topografisk selskab for Søllerød kommune. (1972). Kystbanen 1897-1972 (pp. 311 s.).
- Vromans, M. J. C. M., Dekker, R., & Kroon, L. G. (2006). Reliability and heterogeneity of railway services. European Journal of Operational Research, 172(2), 647–665. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.10.010>