

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Udvalgte Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Selected Proceedings from the
Annual Transport Conference at Aalborg University)
ISSN 1903-1092

www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Modtaget: 28.10.2013

Godkendt: 25.08.2014



Opgradering af jernbanen mellem Odense og Aarhus

Lars Wittrup Jensen, lawj@transport.dtu.dk

Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Transport, Bygningstorvet 116B, 2800 Kgs. Lyngby

Abstrakt

Denne artikel præsenterer fire løsninger til hvordan Timemodellens tredje etape mellem Odense og Aarhus kan udføres således at én times rejsetid opnås mellem de to byer. I artiklen analyseres opgraderingsmulighederne på strækningen, og det findes at en opgradering ikke alene kan opfylde rejsetidsmålet. Derfor opstilles en række nybygningsalternativer, som efter en indledende sortering, sammensættes med de mest kosteffektive opgraderinger til fire samlede løsninger. I tre af disse løsninger benyttes elektriske togsæt der kan køre 200 km/t, mens der i den sidste løsning benyttes elektriske togsæt der kan køre 250 km/t, hvormed der kan spares på anlægsomkostninger. Af de fire løsninger anses den næst billigste med en ny bane over Vestfyn, en ny bane udenom Fredericia og over Vejle Fjord, samt en ny bane mellem Hovedgård og Hasselager, som den bedste. Derudover anbefaler artiklen, at der undersøges alternative løsningsforslag, fx benyttelse af kurvestyrede tog og en omformulering af Timemodellen, for at opnå en lavere anlægspris.

1 Indledning

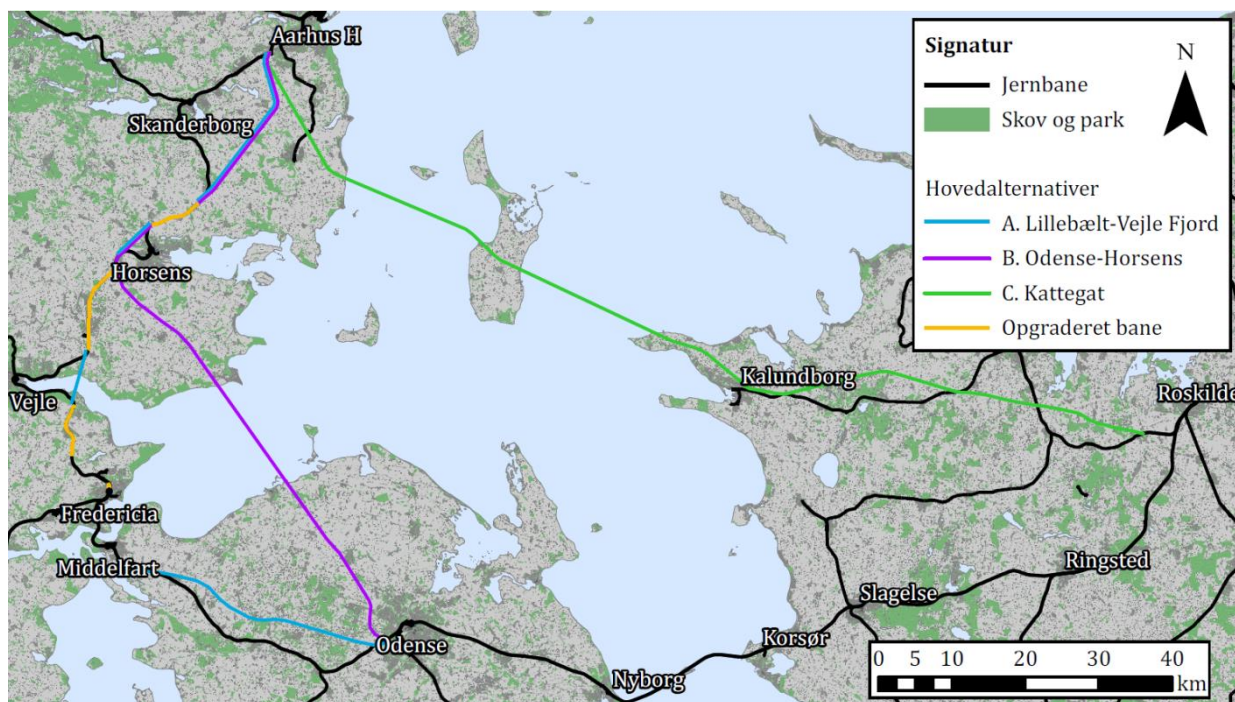
D. 1. marts 2013 annoncerede regeringen, at 27,5 mia. kroner vil blive reserveret til at implementere Time-modellen på det danske hovedbanenet mellem København og Aalborg. Således skal rejsetiden reduceres til én time mellem København, Odense, Aarhus og Aalborg. Ydermere skal de danske hovedstrækninger elektrificeres for en del af disse penge.

En stor del af de 27,5 mia. kr. er afsat til implementering af Timemodellen på strækningen mellem Odense og Aarhus. Dette skyldes, at omfattende udretninger af jernbanen er nødvendig for at opnå én times rejsetid på strækningen. Dette er især tilfældet i Østjylland, hvor det kuperede landskab betyder at den eksisterende

bane har et meget snoet forløb. Således kan tre fjerdedele af strækningen over Vestfyn befares med mindst 160 km/t, mens dette kun gør sig gældende for 40 % af strækningen mellem Snoghøj og Aarhus.

Timemodellen, som danner baggrund for en opgradering af strækningen mellem Odense og Aarhus, blev for første gang introduceret i DSB plan 2000 fra 1988 (DSB 1988). Heri kaldes Timemodellen Sluttimemodellen og indebar rejsetider på én time mellem de fem største byer, København, Odense, Aarhus, Aalborg og Esbjerg. Siden hen er Timemodellen blevet sat på dagsordenen i 1997, med Trafikministeriets rapport: "Modernisering af jernbanens hovednet" (Trafikministeriet 1997), hvor løsninger indgår til at reducere rejsetiden til én time mellem landets tre største byer, samt i 2006 med 6-by samarbejdet om hurtigere tog mellem de seks involverede byer, København, Odense, Esbjerg, Aarhus, Aalborg og Randers (Landex, Nielsen 2006). Efter udgivelse af Trafikministeriets rapport i 1997 blev der efterfølgende arbejdet videre med en udretning af banen mellem Eriknauer, syd for Horsens, og Skanderborg, hvor en projekteringslov blev besluttet i maj 1997. Udretningsprojektet blev dog senere skrinlagt, da Folketinget i juni 2001 valgte at ophæve projekteringsloven, da undersøgelser viste, at udretningen ville blive mere kompliceret end først antaget grundet det kupe-rede terræn nord for Horsens (Folketinget 2001).

I forbindelse med den politiske aftale om en grøn transportpolitik fra 2009 blev det besluttet, at gennemføre en strategisk analyse frem mod 2013 for, blandt andet, at afdække mulighederne for at realisere Timemodellens etape 3. I en foreløbig screening har (Trafikstyrelsen 2011) fremlagt tre alternative linjeføringer, som vist på figur 1.



Figur 1 – Hovedalternativer i Trafikstyrelsens indledende screening (Trafikstyrelsen 2011).

(Trafikstyrelsen 2011) har estimeret anlægsomkostningerne for de tre alternativer til:

- A. 12-21 mia. kr.¹
- B. 37-49 mia. kr. (baneforbindelse eller en kombineret vej- og baneforbindelse)

¹ Reduktionen i anlægspris fremkommer som følge af at vendetiden på fem minutter i Aarhus inkluderes i rejsetiden på strækningen Aarhus-Aalborg i stedet for Odense-Aarhus, hvorved enkelte anlægselementer kan undværes. Yderligere reduktion i anlægspris kommer af benyttelse af andet rullende materiel, hvorved der kan undværes flere anlægselementer (Trafikstyrelsen 2011).

Fælles for alle tre alternativer gælder at rejsetiden mellem København og Aarhus reduceres til højst to timer. For det dyreste alternativ over Kattegat gælder ydermere, at rejsetiden mellem Danmarks to største byer reduceres med én time i forhold til Timemodellen (Trafikstyrelsen 2011). Forbindelsen over Kattegat hjælper dog ikke direkte til at reducere rejsetiden mellem Odense og Aarhus til én time, hvorved enten alternativ A, B eller et tredje skal tages i brug. Alternativ B med en fast forbindelse Bogense-Juelsminde vil ydermere ikke direkte kunne bidrage til at opfylde Timemodellen til Esbjerg, kun Herning, og selvsagt Aarhus og Aalborg. På sigt vil en opgradering af strækningen mellem Odense og Esbjerg derfor være nødvendig, hvilket alternativ A opfylder på strækningen mellem Odense og Middelfart.

I betragtning af ovenstående vil alternativ A, eller en variant heraf, opfylde en rejsetidsreduktion på flest strækninger i Timemodellen, altså Odense-Aarhus samt delvist Odense-Esbjerg og Odense-Herning. Derudover er det den billigste af løsningerne, som samtidig ikke udelukker, at Kattegatforbindelsen senere kan anlægges, hvis en yderligere reduktion i rejsetid ønskes mellem København og Aarhus. I denne artikel er det derfor valgt, at se nærmere på opgradering og udretning af strækningen mellem Odense og Aarhus med det formål, at belyse mulighederne for at implementere Timemodellen her. Målet for rejsetiden sættes til 55 minutter, så der er tid til at vende i Aarhus (fem minutter).

2 Metode

I de følgende afsnit beskrives metoder og forudsætninger, som er benyttet i forbindelse med udarbejdelse og vurdering af løsninger, som kan implementeres for at kunne opnå en rejsetid på 55 minutter mellem Odense og Aarhus. Følgende beskrives: normgrundlaget, køretidsberegning samt metode og forudsætninger for opgraderings- og nybygningsalternativer samt samlede løsninger.

2.1 Normer og bestemmelser

Strækningen mellem Odense og Aarhus er en del af det transeuropæiske transportnetværk (TEN-T) og er derfor underlagt europæisk regler for at sikre interoperabilitet på netværket. Samtidig findes danske regler og normer, som skal overholdes for en given jernbanestrækning i Danmark. Kravene der stilles i de forskellige regelsæt kan være vidt forskellige, hvilket kan udmønte sig i forskellige anlægsomkostninger og komfort.

En gennemgang af reglerne viser at de danske normer og bestemmelser for sporgeometri og tværprofiler, med få undtagelser, som er uden betydning for strækning mellem Odense og Aarhus, er mere skærpede end de tilsvarende europæiske (Jensen 2012). De danske sporregler er opdelt i ønskelige, normal- og undtagelsesbestemmelser, hvor de ønskelige bestemmelser er mest skærpende. De mere skærpede danske regler, inden for disses ønskelige og normalbestemmelser, medfører en bedre komfort samt et reduceret slid og vedligeholdelsesbehov og dermed også lavere driftsomkostninger, mens der til gengæld opnås højere anlægsomkostninger ved opgradering og nybygning.

I forbindelse med udarbejdelse af alternativer er det valgt, at benytte de danske normer, da disse opfylder de tilsvarende europæiske normer og medfører mindre slitage samt bedre komfort. Det er vurderingen, at det vil medføre klager fra passagerer og personel på grund af den reducerede komfort, hvis de europæiske normer og bestemmelser udnyttes fuldt ud (typisk svarende til undtagelsesbestemmelserne i de danske sporregler). I Østjylland vil det være nødvendigt, at udnytte at de europæiske regler og undtagelsesbestemmelser i sporreglerne til at anlægge enkelte delstrækninger med større gradienter for at reducere påfyldning og afgravning i det kuperede landskab her. Dermed undgås den situation, som skrinlagde en ny bane mellem Eriknaer og Skanderborg i 2001, da anlægsbestemmelserne siden er blevet lempet.

For opgradering forudsættes en opgradering op til 200 km/t, mens det er valgt, at nye baner anlægges til 250 km/t, indenfor sporreglernes ønskelige bestemmelser, med mulighed for senere opgradering til 300 km/t (indenfor sporreglernes normalbestemmelser). Dette er dels gjort for at fremtidssikre, men også for at belyse hvor meget mindre nybygning der er nødvendig hvis der bruges rullende materiel som kan køre 250 km/t i

stedet for 200 km/t. I de nybygningsalternativer hvor det ikke er fundet muligt at benytte ønskelige bestemmelser er normalbestemmelserne ved 250 km/t eller mindre brugt.

2.2 Model til estimering af køretider

For at kunne kvantificere den besparede tid, en hastighedsforøgelse medfører, er det nødvendigt, at gennemføre køretidsberegninger. Den opnåede tidsbesparelse skal kendes for at sikre, at tilstrækkelige tiltag i form af opgradering og nybygning gennemføres således, at en rejsetid på 55 minutter opnås.

For at kunne estimere køretider for de mange alternativer er en deterministisk model udviklet. Modellen benytter en række formler til at estimere accelerations- og bremseforløb for en given togtype, hvoraf køretiden kan estimeres. Køretidstillæg tillægges derefter for at opnå rejsetiden. De benyttede formler bruger oplysninger om togets startacceleration, maksimale hastighed, maksimalt tilladte hastighed, bremseprocent, bremseforhold og bremsereaktionstiden til at bestemme acceleration, deceleration samt kørsel ved konstant hastighed. Beregning af køretiden er således et groft estimat, da togets præcise traktionsegenskaber ikke tages i betragtning. Modellen tager derudover ikke højde for gradienter, som vil komplicere beregningerne yderligere. Derfor er modellen udelukkende velegnet til indledende analyser, som fx gennemføres i en screening, og ikke decideret køreplanlægning. Her bør i stedet benyttes køreplanlægnings- og simulationssystemer, som tager højde for gradienter og er baseret på togets traktionskurve, fx RailSys.

I forbindelse med køretidsberegningerne er det valgt, at benytte Velaro samt Øresundstog (ET) i en 200 km/t version. ET-toget, som det typiske togsæt, der kan forventes at beføre banen når den er elektrificeret, og Velarotoget, som kan udnytte hastighederne på op til 250 km/t, som ny bane forudsættes anlagt til. Det vurderes, at strækningen kan tilbagelægges af et IC4-tog cirka ét minut langsommere end ET-toget.

Ydermere er det valgt at benytte UIC's køretidstillæg frem for Banedanmarks i de videre beregninger af rejsetider, da UIC's køretidstillæg giver en kortere rejsetid, men omvendt også medfører en dårligere regularitet. Regularitetsforringelsen vil dog være begrænset, da det lave køretidstillæg kun bruges for toget der kører non-stop mellem Odense og Aarhus, som ydermere har en høj prioritet.

Den udviklede model er blevet testet på den eksisterende infrastruktur mellem Odense og Aarhus med forskellige typer rullende materiel, hvor modellens resultater er sammenlignet med tilsvarende beregningsresultater fra RailSys, foretaget i forbindelse med Trafikstyrelsens screening (Trafikstyrelsen 2011). Sammenligningen viser at modellens resultater for rejsetiden lægger tæt på RailSys-beregningerne med 0,8 og 1,7 % (cirka et minut) under resultaterne for henholdsvis ET og Velaro (Jensen 2012).

2.3 Opgradering

Analysen af opgraderingsmulighederne på strækningen mellem Odense og Aarhus er opdelt i to dele:

1. Hastighedsopgradering som kan foretages uden sideflytning, men med ændring af overhøjde
2. Hastighedsopgradering som kan kræve sideflytning af kurver

Kun højre spor i retning mod Aarhus er analyseret, og det er således antaget, at alle vurderinger og resultater også er gældende for venstre spor.

Første del af analysen bruges primært til at belyse hvor en opgradering til 200 km/t kan tilvejebringes, da en ændring i overhøjden ikke forventes, at være tilstrækkelig til at hastighedsprofilen kan opgraderes over en længere strækning.

I anden del analyseres det på hvilke delstrækninger en opgradering af hastighedsprofilen kan gennemføres, således at en hastighedsopgradering opnås over en længere strækning, som kan udnyttes til at opnå en køretidsreduktion.

Ved opgradering skal det tilstræbes at en hastighedsforøgelse opnås over en så stor strækning som muligt, således at det nye hastighedsprofil er simpelt og medfører færre accelerationer og decelerationer og profilet

dermed kan udnyttes bedre. For at opnå dette, anbefaler (Nielsen 2012), at længden af strækningen med samme tilladelige hastighed mindst skal være:

- Cirka 6 kilometer ved 150-160 km/t
- Cirka 8 kilometer ved 170-180 km/t
- Cirka 10 kilometer ved 190-200 km/t

I første del af analysen ændres overhøjden inden for sporreglernes normalbestemmelser, således at hastigheden kan forøges i kurver og overgangskurver, hvor dette er muligt. Der benyttes ikke undtagelses- eller ønskelige bestemmelser. Ved ændring af overhøjden antages det, at denne ikke forårsager at fritrumsprofilen overskrides i forbindelse med broer.

I forbindelse med analysens anden del, vurderes omfanget af en opgradering til et forløb, hvor der som udgangspunkt højst er benyttet undtagelsesbestemmelser i fem overgangskurver og fem til seks kurver for hver 20. kilometer, hvoraf overhøjdeunderskuddet, I , i to til tre kurver ikke overstiger 130 mm, hvilket sandsynligvis kan blive godkendt af Banedanmarks systemansvarlige (Nielsen 2012). Resterende kurver opfylder da, som minimum, normalbestemmelserne.

Det søges, at andelen af en delstrækning som berøres af opgraderingen ikke overstiger cirka 30 %, som (Banestyrelsen rådgivning 1996) benytter som øvre grænse i deres rapport om opgradering fra 1996. I dette tilfælde anses en nybygning på samme delstrækning, som mere rentabel, da en sådan kun påvirker den eksisterende togdrift i et minimalt omfang og samtidig kan anlægges til endnu højere hastighed. Undtagelsesvis tillades det dog, at benytte andele der er højere end 30 %, hvis dette kan retfærdiggøres ud fra inddelingen i delstrækninger eller fra den resulterende køretidsbesparelse. Overhøjdejustering af eksisterende kurver inkluderes ikke i denne andel, da det typisk er et mindre indgreb, som kan foretages mere fleksibelt i forhold til togdriften. Af denne grund gælder den ovennævnte grænse også kun for analysens anden del.

I forbindelse med udretning af kurver er det nødvendigt, at kunne vurdere de geometriske konsekvenser i form af den forskydning, forøget kurvelængde samt sideflytning der frembringes af en kurveudretning fra en radius til en anden. (Jensen 2012) har opstillet følgende udtryk, som kan benyttes til at beregne disse:

$$L_1 = \frac{r_1}{r_0} \cdot (L_0 + \frac{1}{2} \cdot (SL_1 + SL_2)) - \frac{1}{2} \cdot (SL_1 + SL_2) \quad (1)$$

$$x = (r_1 - r_0) \cdot \tan\left(\frac{(L_0 + \frac{1}{2} \cdot (SL_1 + SL_2))}{2 \cdot r_0}\right) + \Delta SL / 2 \quad (2)$$

$$y = \frac{(r_1 - r_0)}{\cos\left(\frac{(L_0 + \frac{1}{2} \cdot (SL_1 + SL_2))}{2 \cdot r_0}\right)} - r_1 + r_0 \quad (3)$$

Hvor L_1 er den nye kurvelængde, L_0 er den eksisterende kurves længde, r_0 er radius af den eksisterende kurve, r_1 er radius af den nye kurve, SL_1 er den ene overgangskurves længde og SL_2 er den andens, x er forskydningen, ΔSL er en eventuelt ændring i overgangskurvens længde (hvis de er lige lange) og y er sideflytningen. Enheden er meter for alle variable, mens sinus og cosinus beregnes i radianer.

Hvis kurven er sammenstødende med en anden kurve, vil der opstå en konflikt på grund af forskydningen, beregnet ved formel 2, som kan løses ved at forkorte overgangskurverne. Hvis dette medfører, at bestemmelserne ikke kan overholdes for overhøjderampe og klotoide må linjeføringen gennem disse to kurver revideres.

Beregning af sideflytningen ved formel 3 benyttes til at vurdere hvor vidt ekspropriationer er nødvendige, samt om broer berøres og eventuelt skal ombygges. Det antages i analysen, at alle berørte broer skal ombygges. I praksis kan enkelte broer være billigere fordi de ikke berøres af sideflytningen eller kan ombygges forholdsvist simpelt. En detaljeret vurdering af omfanget af en sideflytning for hver enkelt bro er nødvendig for at kende det overordnede omfang. Dette er ikke udført.

Ved udretning af en kurve vil der ske en naturlig forkortning af banen, da forskydningen af kurvens start- og endepunkter er større end forøgelsen i kurvelængde (Jensen 2012). Der tages dog ikke højde for denne forkortning ved beregning af køretider i analysen, da forkortningen er meget lille.

For opgraderingen er anlægsprisen estimeret og er opgivet i 2012-priser inklusiv 50 % budgetreserve i henhold til ny anlægsbudgettering. Det er forudsat, at strækningen er elektrificeret mellem Fredericia og Aarhus inden en opgradering påbegyndes. En besparelse vil dog kunne opnås ved at udføre elektrificering og opgradering samtidig. Der tages ikke højde for at det nuværende køreledningsanlæg over Vestfyn ikke er dimensioneret til 200 km/t, og det derfor kan være nødvendigt, at foretage en større eller mindre ombygning af anlægget hvor hastigheden opgraderes til 200 km/t.

2.4 Nybygning

Det kan ikke forventes at en opgradering udelukkende kan opfylde rejsetidsmålet på 55 minutter, hvorfor det er nødvendigt, at opstille nybygningsalternativer for at øge strækningshastigheden og reducere længden af strækningen. En række nybygningsalternativer opstilles derfor på baggrund af en gennemgang af strækningen, hvor det rentabelt er muligt at opgradere den eksisterende bane samt sporreglernes bestemmelser for sporgeometrien til nybygning af jernbane. Det er ydermere forudsat, at der ikke etableres ny fast bane-forbindelse over Lillebælt for at holde omkostningerne nede. En fast forbindelse over Vejle Fjord er dog undersøgt, da det indledningsvis vurderes, at give væsentlige reduktioner i køretiden, som kan retfærdiggøre anlægsomkostningerne.

For alle de opstillede nybygningsalternativer er lavet en indledende projektering af linjeføringen, hvor det er søgt at opnå en så simpel linjeføring som muligt. Længdeprofiler er ikke projekteret, og dermed er den påkrævede afgravning og påfyldning heller ikke vurderet eksakt. Der er dog til en vis grad taget højde for højdekurver for at minimere brugen af store gradienter. Det vurderes, at være nødvendigt at benytte undtagelsesbestemmelser for stigningsgradienten, for alle nybygningsalternativer, på grund af det kuperede terræn på Vestfyn og især i Østjylland. Dermed reduceres omkostningerne til afgravning og påfyldning. Som udgangspunkt forventes det dog kun, at undtagelsesbestemmelserne udnyttes, så godstog stadig kan befare de nye strækninger hvilket muliggør en gradient på op til 25 ‰ over højst 500 meter (Banedanmark 2011). Hvis det forventes, at gradienter på op til 35 ‰ er nødvendige for enkelte alternativer, kan den pågældende strækning kun befares af passagertog.

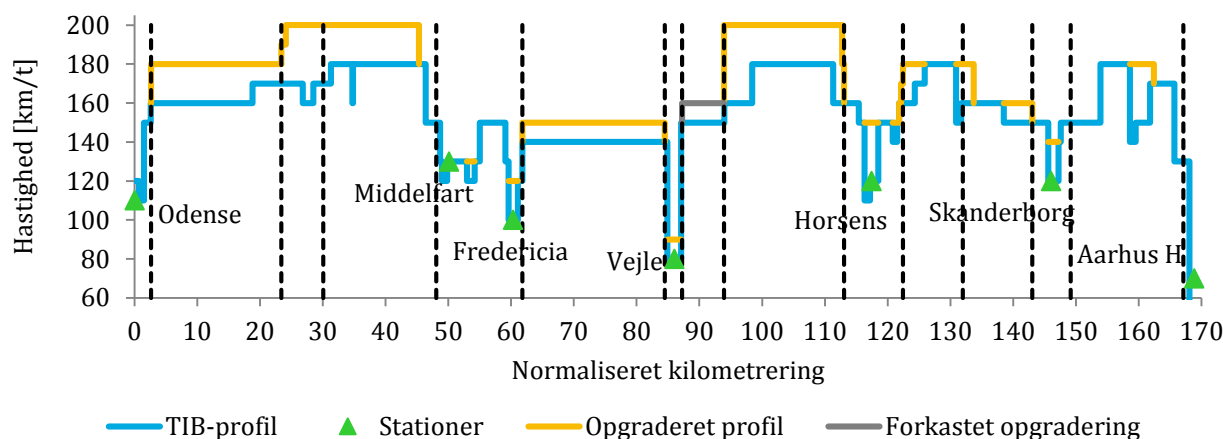
Konsekvenser for naturen, veje samt bebyggelse er vurderet, på et meget overordnet niveau ved at beregne hvor der er overlap mellem alternativerne og fredede områder, beskyttede naturområder, samt veje og bebyggelse. Den beregnede konsekvens benyttes til at estimere størrelsen af anlægsomkostningerne, som er angivet i 2012-priser og indeholder 50 % budgetreserve i henhold til ny anlægsbudgettering.

Anlægspriserne sammenholdes med den opnåede køretidsbesparelse og danner, sammen med en indledende vurdering af drifts- og kapacitetsmæssige fordele, naturmæssige konsekvenser, samt den absolutte køretidsbesparelse, baggrund for den indledende frasortering af enkelte nybygningsalternativer. De bedste nybygningsalternativer sammensættes og eksisterende delstrækninger opgraderes, hvor det er mest rentabelt, til flere løsninger, hvor cirka 55 minutters rejsetid opnås. For disse løsninger vurderes de drifts- og kapacitetsmæssige fordele mere detaljeret.

3 Resultater

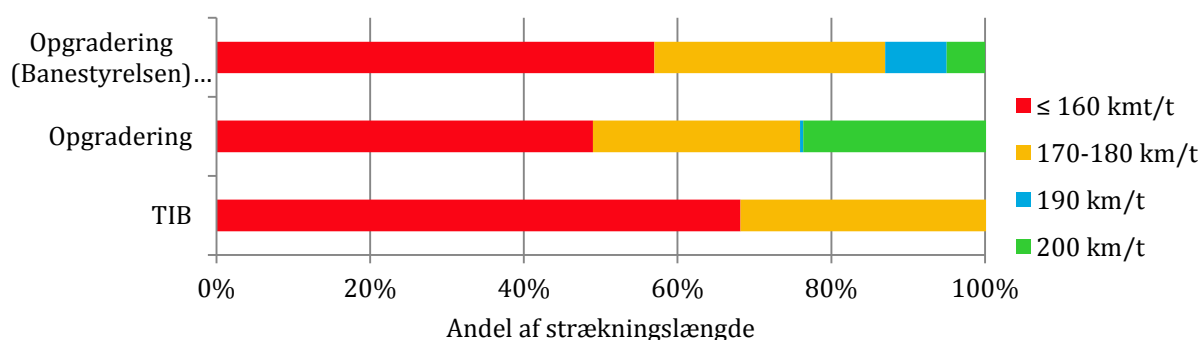
3.1 Opgradering

Analysen af opgraderingsmulighederne på jernbanen mellem Odense og Aarhus viser, at det ikke er muligt, at opnå en hastighedsforøgelse ved udelukkende justering af overhøjden. Dette skyldes, at længden af de enkelte delstrækninger, hvor hastigheden teoretisk kan forøges, ikke er stor nok. Ved at udrette kurver samt forlænge overgangskurver, hvor dette er fundet mest rentabelt, kan strækningshastigheden forøges på dele af strækningen mellem Odense og Aarhus. Figur 2 herunder viser hastighedsprofilen for opgradering af den eksisterende bane samt det eksisterende hastighedsprofil og inddelingen i delstrækninger.



Figur 2 – Opgraderet hastighedsprofil for jernbanen mellem Odense og Aarhus.

Som det ses af figuren herover er en opgradering til 200 km/t kun fundet mulig, at opnå på dele af Vestfyn og omkring Hedensted mellem Vejle og Horsens. På den øvrige del af strækningen mellem Odense og Aarhus, er strækningshastigheden opgraderet til mindre end 200 km/t, primært for at udjævne det eksisterende profil, så det udnyttes bedre. Dette er opsummeret på figur 3 herunder, hvor det ses, at omkring 50 % af strækningen kan befares ved mindst 170 km/t og cirka 25 % ved 200 km/t. I den nuværende situation kan cirka 30 % af den eksisterende bane befares ved mindst 170 km/t. Til sammenligning fremgår Banestyrelsen rådgivnings resultater også af figuren (Banestyrelsen rådgivning 1996).



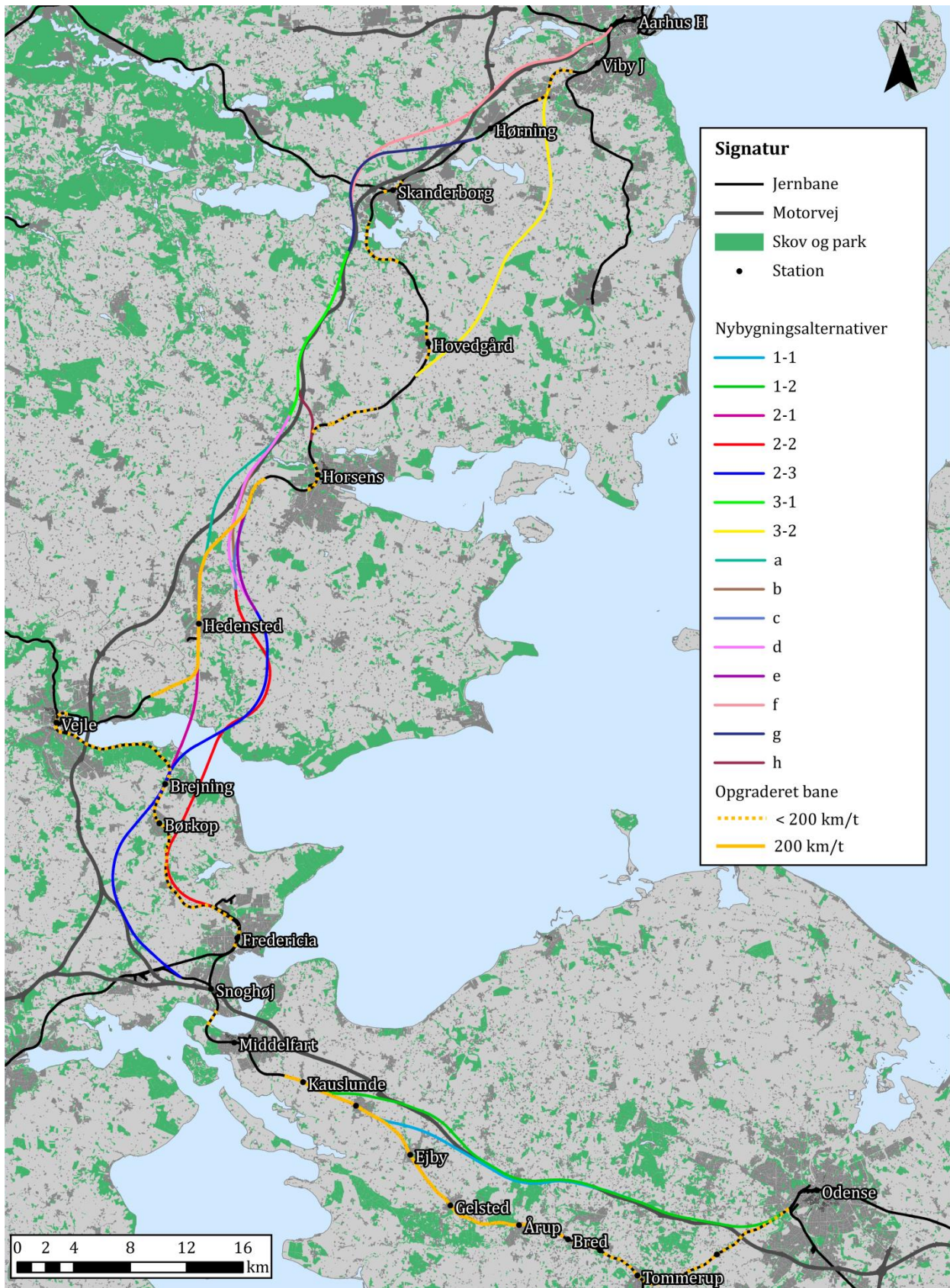
Figur 3 – Andel af delstrækningen som kan befares i de forskellige hastighedsintervaller. Delvist baseret på (Banestyrelsen rådgivning 1996, Banedanmark 2012).

Strækning (område nummer)	Længde [km]	Andel der skal ombygges [%]	Andel der skal justeres [%]	Basis (TIB) [mm:ss]	Besparelse u./m. stop [mm:ss]	Procentvis køretidsbesparelse	Anlægsestimat [mio. DKK]	Pris per sparet minut u./m. stop [mio. DKK]
Vestfyn (1)	45,4	42,5	5,8	16:22	1:40,2	10,2 %	1.150	690
Middelfart-Fredericia (2)	13,7	4,2	21,8	6:33 7:18	0:05,9 0:07.4	1,5 % 1,7 %	48	490 390
Fredericia-Vejle (2)	22,7	12,9	17	9:49	0:36,7	6,2 %	75	120
Vejle (2)	2,8	30,2	41,1	2:01 2:37	0:13 0:08,2	10,8 % 5,3 %	57	260 410
Vejle-Daugård (2)	6,7							
Daugård-Horsens (2)	19,1	23,3	13,8	6:41	0:45,1	11,2 %	187	250
Horsens (3)	9	19,7	20,7	4:09 5:01	0:26.7 0:07.3	10,7 % 2,4 %	198	450 1.630
Hansted-Hovedgård (3)	9,5	31	13,7	3:25	0:15,6	7,7 %	92	350
Hovedgård-Skanderborg (3)	11,1	32,4	21,4	4:16	0:11,2	4,4 %	72	390
Skanderborg (3)	6,1	26,4	29,6	2:43 3:41	0:11,3 0:02	6,9 % 0,9 %	124	660 3.780
Skanderborg-Aarhus H (3)	17,9	31,1	1,1	6:59	0:20,3	4,8 %	258	760
Total (uden stop)	157,3	27,7	13,0	69:36	4:58	7,1 %	2.260	460

Tabel 1 – Resultater fra analysens anden del i form af berørt delstrækning, køretider uden køretidstillæg samt anlægsestimat og pris per sparet minut. Område 1: Odense-Snoghøj. Område 2: Snoghøj-Horsens. Område 3: Horsens-Aarhus. Se figur 5 for geografisk oversigt.

Tabel 1 herover viser den opnåede køretidsbesparelse, den procentvise køretidsbesparelse, hvor stor en del af strækning der berøres samt anlægspris og prisen per sparet minut der opnås ved opgraderingen. Det ses, at der er store forskelle i den relative pris af opgraderingen på nogle delstrækninger i forhold til andre.

Således tilvejebringes opgraderingen mellem Fredericia og Vejle billigst af alle delstrækninger i forhold til den køretidsomkostning der opnås, hvilket skyldes den begrænsede indgraben på strækningen. Over Vestfyn er en forholdsvis høj pris per sparet minut fundet i forhold til nogle af de andre strækninger mellem Odense og Aarhus. Køretidsbesparelsen er dog stor, men det kan altså konkluderes, at den er forholdsvis dyrt købt i forhold til de øvrige strækninger. Ydermere ses det af tabel 1, at køretidsbesparelsen er forholdsvis dyrt købt for standsende tog i Horsens og Skanderborg, hvorfor opgradering her fortrinsvis skal gennemføres for at opnå en køretidsbesparelse for de gennemkørende tog. For de gennemkørende tog, er den højeste relative pris fundet for Skanderborg station, Vestfyn samt strækningen mellem Skanderborg og Aarhus H på grund af omfattende ekspropriationer i Hasselager.



Figur 4 - Oversigt over nybygningsalternativer og opgraderingsmuligheder. 1: Odense-Snoghøj. 2: Snoghøj-Horsens. 3: Horsens-Aarhus.

For hele strækningen opnås en samlet køretidsbesparelse på 7,1 % svarende til 4 minutter og 58 sekunder. Dette giver en samlet køretid uden køretidstillæg på 1 time, 4 minutter og 38 sekunder (1 time og 9 minutter med køretidstillæg). Derudover vil standsende IC-tog samt regionaltog i mindre grad også drage fordel af opgraderingen. Den opnåede køretidsbesparelse er en smule hurtigere end 1 time, 6 minutter og 54 sekunder, som Banestyrelsen rådgivning (Banestyrelsen rådgivning 1996) nåede frem til ved brug af andet rullende materiel (TGVA).

Det ses ydermere af tabel 1, at 27,7 % af strækningen berøres af en opgradering der kræver en horisontal sporflytning og yderligere 13 % af strækningen der kræver en justering af overhøjden. Dette er dog kun for 157,3 kilometer af strækningen. De sidste 11,5 kilometer er ved Odense og Aarhus banegårde, hvor det ikke findes rentabelt at opgradere, da alle passagertog påregnes at skulle standse her. Samt derudover mellem Vejle og Daugård, hvor det ikke er fundet muligt, at opgradere strækningen grundet bebyggelse.

Derudover ses det, at anlægsprisen er estimeret til cirka 2,26 mia. kroner i 2012-priser (inklusive 50 % tillæg), hvilket svarer til en pris per sparet minut på 460 mio. kroner for hele strækningen med et gennemkørende ET-tog. Til sammenligning er opgraderingen, som blev analyseret af Banestyrelsen rådgivning (Banestyrelsen rådgivning 1996) i forbindelse med (Trafikministeriet 1997) rapport, estimeret til at koste 1,74 mia. kroner (fremskrevet til 2012). Dette er dog 90 % fraktilen udregnet efter daværende anlægsbudgettering. Benyttes principperne i ny anlægsbudgettering i stedet er estimeret 1,91 mia. kroner i 2012 inklusive 50 % tillæg. Køretidsreduktion er dog lidt mindre i Banestyrelsen Rådgivnings Løsning, som nævnt tidligere.

Med en rejsetid på en time og ni minutter er det således nødvendigt at reducere rejsetiden med yderligere 14 minutter for at opnå 55 minutters rejsetid mellem Odense og Aarhus. Denne reduktion skal, sammen med de mest kosteffektive opgraderinger, opnås ved at udrette banen, således at en rejsetid på 55 minutter opnås.

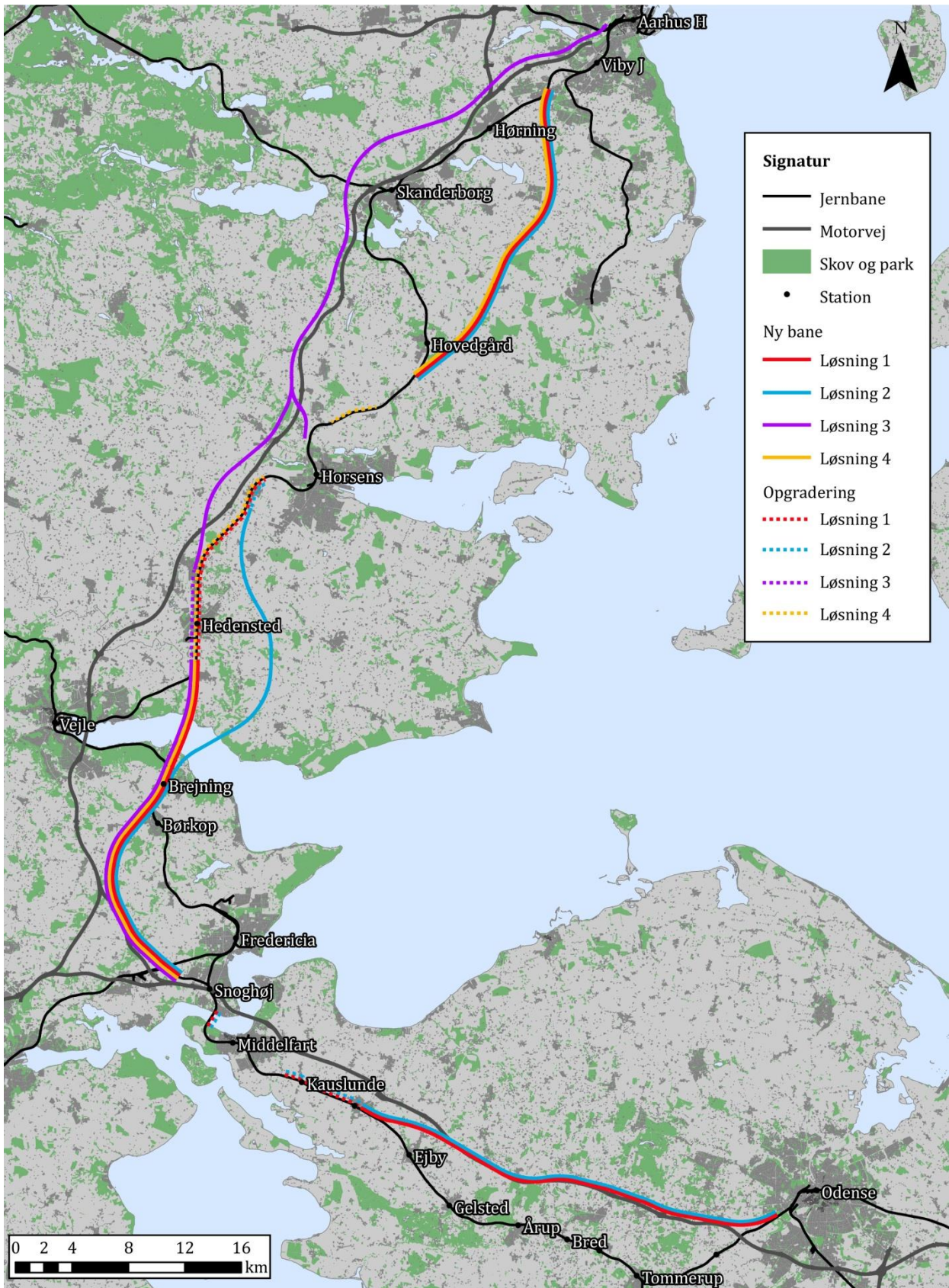
3.2 Løsninger

I henhold til afsnit 2.4 og den foretagne opgraderingsanalyse, er en række nybygningsalternativer opstillet med det mål, at reducere rejsetiden mellem Odense og Aarhus til 55 minutter. De opstillede nybygningsalternativer er vist på figur 5, side 9. Der er vist overlap mellem de opstillede alternativer og tidligere undersøgte alternativer, især på Vestfyn, men andre mulige Vejle Fjord forbindelser, samt et alternativ vest for den østjyske motorvej, er også undersøgt.

I alt er der opstillet syv hovedalternativer; to over Vestfyn, tre over Vejle Fjord, samt to mellem Hedensted og Aarhus. Ydermere er opstillet otte forbindelsesbaner for alternativerne i Østjylland, som afhænger af den valgte sammensætning af sammenstødende hovedalternativer, samt to alternative slutpunkter for hovedalternativ 3-1 (jf. figur 5). Disse alternativer er valgt, så der opnås en variation i sammenhængende længde (af hensyn til at opnå maksimal hastighed), driftsmæssige fordele, terræn, hensyn til natur samt afkortning af eksisterende bane.

Der er foretaget en indledende sortering, hvor alternativ 1-2 over Vestfyn er sorteret fra, da det på trods af dets større længde ikke giver nogle nævneværdige fordele i forhold til det kortere alternativ (1-1). Derudover er antallet af alternativer over Vejle Fjord reduceret fra tre til to, da det fravalgte alternativ 2-2 gav en for høj pris per sparet minut i forhold til de fordele det medførte. Af de tilbageværende nybygningsalternativer er følgende sammensat med dele af opgraderingen, gennemgået i forrige afsnit, til løsninger som kan reducere rejsetiden til 55 minutter mellem Odense og Aarhus (jf. figur 6, side 11):

1. Ny bane på 31,2 kilometer over Vestfyn, 25,6 kilometer mellem Snoghøj og Daugård over Vejle Fjord samt 23,8 kilometer mellem Hovedgård og Hasselager, og derudover opgradering i området omkring Lillebælt og sydvest for Horsens.
Pris: cirka 16,6 mia. kroner



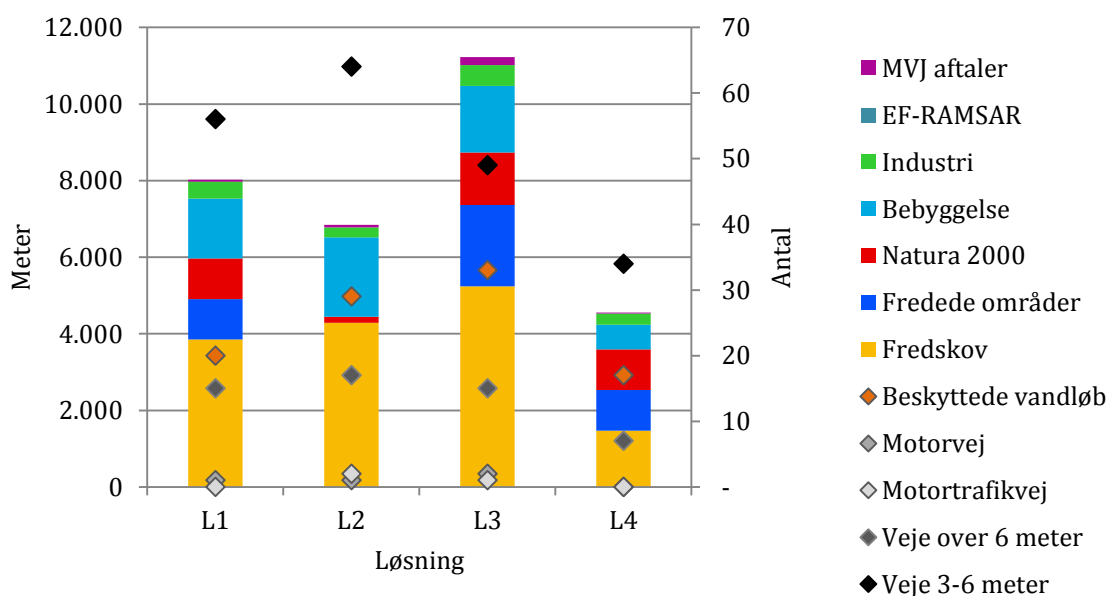
Figur 5 – Løsninger, som medfører en reduktion af rejsetiden til 55 minutter.

2. Ny bane over Vestfyn, som i 1, ny bane på 40 kilometer mellem Snoghøj og Eriknauer over Vejle Fjord samt 23,8 kilometer mellem Hovedgård og Hasselager, og derudover opgradering i området omkring Lillebælt og en lille delstrækning sydvest for Horsens.
Pris: cirka 19,2 mia. kroner
3. Ny bane mellem Snoghøj og Daugård, som i 1, samt ny bane på 52,7 kilometer mellem Eriknauer og Aarhus inklusiv forbindelsesbane til Horsens. Derudover opgradering omkring Hedensted.
Pris: cirka 19,2 mia. kroner
4. 25,6 kilometer ny bane mellem Snoghøj og Daugård over Vejle Fjord samt en ny bane på 23,8 kilometer mellem Hovedgård og Hasselager ved brug af Velaro-tog. Opgradering umiddelbart sydvest og nordøst for Horsens
Pris: 10,6 mia. kroner

Som det ses herover er en Vejle Fjord forbindelse inkluderet i alle løsninger, da dette er fundet mest rentabelt grundet en stor køretidsbesparelse. Alternativ 2-1 er valgt, som det primære Vejle Fjord alternativ, da det har et mere direkte forløb og en lavere anlægsomkostning. Desværre er det skadeligt for naturen og derfor er alternativ 2-3 inkluderet i løsning 2, som den alternative, mere naturvenlige, løsning, som ikke berører Natura 2000-området nord for fjorden i samme omfang som det andet alternativ.

Ydermere er det valgt, at benytte alternativ 3-2 så vidt som muligt, da dette alternativ berører omgivelserne i langt mindre grad end de øvrige alternativer og derudover er billigt. Anlæg af ny bane over Vestfyn er undladt i de to sidste løsninger, da den giver en høj pris per sparet minut. Grunden til at det vestfynske alternativ ikke står lige så stærkt som alternativerne i den østjyske korridor, skyldes at den opgraderede strækning over Vestfyn generelt er vurderet til at kunne opgraderes til en højere hastighed end den eksisterende strækning i Østjylland. Derudover er den eksisterende bane i Østjylland mere snoet, hvorved der opnås en større forkortning ved nybygningsalternativer i den østjyske korridor i forhold til banen over Vestfyn.

For de fire løsninger er der foretaget en konsekvensberegning, som fremgår af figur 4 herunder. Beregningen viser at løsning 2 er den løsning med mindst påvirkning af naturen, mens løsning 3 er den med størst påvirkning. Løsning 4 medfører samlet set færrest konsekvenser, hvilket kan tilskrives at der kun bygges cirka 50 kilometer jernbane mod 80-95 kilometer i de tre andre løsninger. Den lave påvirkning af naturen i løsning 2 skyldes, at der benyttes den alternative Vejle Fjord forbindelse (alternativ 2-3).



Figur 6 - Konsekvenser forbundet med anlæg af de nye baner i de fire løsninger.

Af de tre første løsninger, hvori der benyttes ET-tog til at opnå rejsetidsbesparelsen, er løsning 1 den billigste med 16,6 mia. kroner, altså 2,6 mia. kroner billigere end både løsning 2 og 3. Dette skyldes et mere direkte forløb i forhold til løsning 2 og lavere omkostninger per anlagt kilometer i forhold til løsning 3.

I løsning 4 hvori der benyttes Velaro-tog opnås en større rejsetidsbesparelse per anlagt kilometer, da disse tog kører op mod 250 km/t. Derfor er det ikke nødvendigt, at bygge en ny bane over Vestfyn, hvilket altså udmønter sig i en lavere anlægspris på 10,6 mia. kroner.

De drifts- og kapacitetsmæssige fordele ved de fire opstillede løsninger er vurderet. Konklusionen er, at en ny bane over Vestfyn vil give væsentlige drifts- og kapacitetsmæssige fordele, samt komme flere passagerer til gode end de nye østjyske baner, da rejsetiden også reduceres for tog til Esbjerg og Herning, som er potentielle fremtidige etaper af Timemodellen. Derfor anses løsning 1 og 2, som indeholder en bane over Vestfyn, som de bedste to løsninger. Af disse to vurderes løsning 2, at medføre lidt flere kapacitets- og driftsmæssige fordele end løsning 1 grundet den alternative Vejle Fjord forbindelse (alternativ 2-3). Løsning 4 er til gengæld vurderet til at medføre færrest kapacitets- og driftsmæssige fordele af de fire løsninger på grund af mindre nybygning end i de andre løsninger.

I sidste ende skiller løsning 1 og 2 sig ud på grund af den nye vestfynske bane og løsning 4 på grund af dens lave pris, mens løsning 3 samlet set vurderes som værende den dårligste løsning. Dette er konklusionen for løsning 3 på baggrund af de omfattende konsekvenser (jf. figur 4), anlægsprisen og manglen på en bane over Vestfyn, samt at der sandsynligvis skal bruges store gradienter mellem Horsens og Skanderborg. Dog vurderes løsning 3, at medføre større kapacitets- og driftsmæssige fordele i Østjylland, end nogle af de andre løsninger, men ikke nok til at opveje for den manglende bane over Vestfyn.

Løsning 4 er attraktivt på grund af anlægsprisen, men kræver altså indkøb af Velaro-tog eller lignende rullende materiel der kan køre op til 250 km/t. Med udsigten til elektrificering og et behov for nye elektriske togsæt, er det oplagt at købe tog der kan køre op til 250 km/t, hvorved en ny bane over Vestfyn kan spares væk. Det er dog her vurderingen, at rullende materiel med en tophastighed på 200 km/t, vil være billigere end Velaro eller lignende, dels på grund af enhedsprisen, men også på grund af fleksibiliteten, da sådanne togtyper typisk vil kunne bruges som regionaltog også, og derfor kan indkøbes i større mængder til flere formål. Der vil dog også være et behov for nyt rullende materiel i forbindelse med åbningen af Fermern Bælt forbindelse, hvor det kan være relevant med tog der kan køre mere end 200 km/t og dermed flere typer elektrisk rullende materiel. Den manglende bane over Vestfyn taler dog imod løsning 4, som kan give væsentlige kapacitets- og driftsmæssige fordele samt komme flere passagerer til gode.

4 Perspektivering

Løsninger i denne artikel er opstillet, så det er muligt at opnå en rejsetid på 55 minutter fra Odense til Aarhus. Dette er gjort på baggrund af politikernes beslutning om en implementering af Timemodellen mellem København og Aalborg, hvor der er fokuseret på at opnå en rejsetidsbesparelse, ved at opgradere og udrette den eksisterende bane mellem Odense og Aarhus.

Det er dog vigtigt, at pointere at det ikke nødvendigvis, er den anlægsmæssigt billigste løsning der bør vælges, da drifts- og kapacitetsmæssige fordele kan opveje ekstra anlægsomkostninger. Et eksempel på dette er en ny bane over Vestfyn, som er dyr per sparet minut, men som giver nogle væsentlige drifts- og kapacitetsmæssige fordele. En mere detaljeret analyse bør derfor gennemføres hvor der fokuseres på samfundsøkonomien ved anlæg af de forskellige løsninger ved forskellige driftsoplæg. Her har netværkseffekter også en betydning, da det ikke nødvendigvis bare er passagerne på strækningen mellem Odense og Aarhus en opgradering vil komme til gode, men også passagerer andetsteds i netværket. Omvendt kan passagerer andetsteds i netværket også blive påvirket negativt af en opgradering mellem Odense og Aarhus. Her har det også en væsentlig betydning om de mange udfletninger der vil komme mellem Odense og Aarhus anlægges i eller ude af niveau.

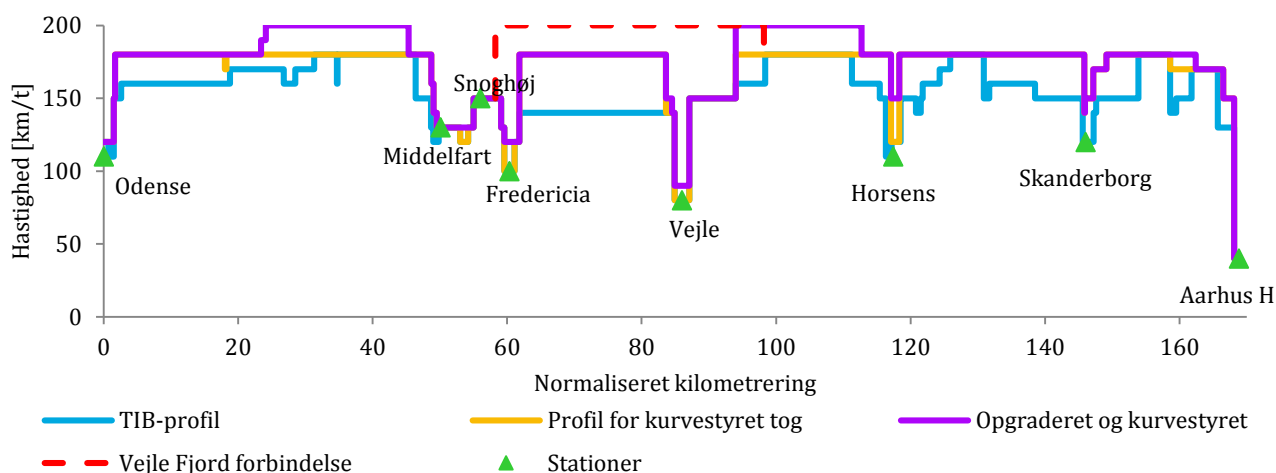
4.1 Alternative løsninger

Det er valgt, at udforme en løsning med baggrund i konventionelt rullende materiel samt de danske sporregler der som tidligere nævnt er mere skærpende end de europæiske regler. Dette er et forholdsvis konservativt valg, da kurvestyrede tog og lempede regler vil kunne give lavere anlægsomkostninger med samme køretidsbesparelse.

Med hensyn til valg af regler for sporgeometrien, så vil de skærpede danske regler dog give bedre komfort og færre vedligeholdelseskostninger. Ses der bort fra komforten kan det dog vise sig at livscyklusomkostningerne kan være lavere ved mere lempede regler. Det kan for eksempel vælges at benytte flere forskellige hastighedsprofiler mellem Odense og Aarhus, således at kun non-stop-toget, som kræves at have en lav påvirkning af sporet, kører efter et hastighedsprofil beregnet på baggrund af mere lempede regler. Mens de øvrige tog kører efter et hastighedsprofil udregnet ved de mere skærpede regler. Dermed vil rejsetidsmålet lettere kunne opnås med en begrænset forøgelse af slidtage. Problemet med at benytte to forskellige hastighedsprofiler er at heterogeniteten øges, grundet en større forskel i køretid mellem det hurtigste og det langsomste tog, og dermed også kapacitetsforbruget. I sidste ende afhænger brugen af mere lempede bestemmelser for konventionelt rullende materiel, af en beregning af livscyklusomkostningerne.

Som nævnt herover er det en mulighed, at benytte kurvestyret rullende materiel i stedet for konventionelt rullende materiel. Jævnfør (Banestyrelsen rådgivning 1996), som fandt at en opgradering udført med henblik på kurvestyret rullende materiel, på strækningen mellem Odense og Aarhus, vil give en køretidsbesparelse på 10 minutter kontra cirka fire minutter for konventionelt rullende materiel. Dette oven i købet cirka otte procent billigere.

For at belyse de potentielle besparelse ved at bruge kurvestyret tog, er der udarbejdet tre hastighedsprofiler for kurvestyrede tog, og køretiden er beregnet i henhold til disse tre profiler. Det ene hastighedsprofil er udarbejdet på baggrund af den europæiske norm EN 13803, som er mere lempende end de danske regler, og derudover indeholder den krav til sporgeometrien i forbindelse med brug af kurvestyrede tog (hvilket de danske regler ikke gør). Det andet hastighedsprofil er en kombination af det første hastighedsprofil og det opgraderede hastighedsprofil. Det tredje hastighedsprofil er resultatet af opgraderet infrastruktur og en Vejle Fjord forbindelse. De to førstnævnte hastighedsprofiler fremgår af figur 7 herunder, sammen med det eksisterende hastighedsprofil. Der er ikke foretaget ændringer i sporgeometrien ved udarbejdelse af førstnævnte hastighedsprofil for det kurvestyrede tog (markeret med orange).



Figur 7 – Eksisterende hastighedsprofil (Banedanmark, 2012b), hastighedsprofil for kurvestyrede tog beregnet i henhold til CEN (2010) uden ændringer i sporgeometrien og derudover en kombination af førstnævnte profil og det opgraderede profil for kurvestyrede tog. Ydermere er hastighedsprofilet for en potentiel Vejle Fjord forbindelse vist (alternativ 2-1). Bemærk dog, at den viste forbindelse er 14,4 kilometer kortere end den eksisterende strækning.

Profil	TIB (eksisterende)	Opgraderet	Opgradering og Vejle Fjord
Kurvestyret ET	68:10	65:50	57:40
Ikke-kurvestyret ET	73:58	69:00	59:36
Forskel	5:48	3:10	1:56

Tabel 2 – Rejsetider for et kurvestyret og ikke-kurvestyret togsæt med accelerations- og bremseegenskaber som et ET-togsæt.

Tabel 2 viser resultatet af køretidsberegninger for de tre hastighedsprofiler, og det ses, at der kan opnås en køretidsbesparelse på cirka seks minutter, ved brug af kurvestyret rullende materiel frem for konventionelt rullende materiel med den nuværende infrastruktur. Forskellen mellem det kurvestyret og ikke-kurvestyret rullende materiel er mindre, jo mere strækningen opgraderes. Ved en opgradering er forskellen således cirka tre minutter og ved en opgradering og samtidig anlæg af en Vejle Fjord forbindelse er forskellen nede på cirka to minutter. Dette skyldes, at større dele af strækningen kan befares ved 200 km/t med konventionelt materiel jo mere strækningen opgraderes. Indførelse af kurvestyrede tog kan altså give en yderligere reduktion i køretid, som i princippet opnås gratis. Om end det kan være nødvendigt med fornyelse og forstærkning af overbygningen nogle steder på grund af den større belastning et kurvestyret tog vil påføre sporet. Det skal her også understreges, at køretidsbesparelsen også er et resultat af at der er benyttet den lempende europæiske norm, og forøgede vedligeholdelsesomkostninger må derfor forventes. Bruges EN 13803 også for konventionelt rullende materiel på strækningen vil køretidsbesparelsen ved brug af kurvestyret rullende materiel i forhold til konventionelt rullende materiel være mindre. Det skal dog her påpeges, at dette opgraderede profil for kurvestyrede tog, ikke vil medføre de samme konsekvenser og omkostninger som dem i afsnit 3.1. Derfor vil strækningen sandsynligvis godt kunne opgraderes yderligere for at opnå en endnu højere køretidsbesparelse for den samme anlægspris. I lyset af dette, bør fremtidige undersøgelser belyse køretidsbesparelsen, der opnås med kurvestyret rullende materiel ved forskellige alternativer samt omkostninger og konsekvenser forbundet med disse alternativer.

Hvis rejsetidsmålet på 55 minutter lempes til én time, og vendetiden på 5 minutter i Aarhus dermed inkluderes på strækningen Aarhus-Aalborg, er det tilstrækkeligt at opgradere strækningen mellem Odense og Aarhus samt bygge en Vejle Fjord forbindelse (jf. tabel 2). Dette kan vise sig at være en mere optimal løsning, hvis en køretidsreduktion på fem minutter lettere kan opnås mellem Aarhus og Aalborg.

Lempes Timemodellens definition så rejsetidsmålet for eksempel er en rejsetid på to timer fra København til Aarhus og tre timer mellem København og Aalborg, men ikke en time mellem Odense og Aarhus, er det muligt, at fordele rejsetiden anderledes på de to strækninger; København-Odense og Odense og Aarhus. Således kan det udnyttes at den nye bane fra København til Ringsted kan befares med hastigheder op til 250 km/t og køretiden hermed kan reduceres yderligere, hvorved det ikke er nødvendigt med en ligeså stor køretidsreduktion mellem Odense og Aarhus. (Jensen 2012) estimerer rejsetiden med UIC køretidstillæg til 53,5 minutter for et Velaro-tog via den nye bane og over den opgraderede eksisterende bane mellem Ringsted og Odense. Denne kan ydermere reduceres med et minut, hvis der benyttes kurvestyrede tog. Hvis der netop anskaffes et kurvestyret tog med samme accelerations- og bremseegenskaber som et Velaro-tog og en top-hastighed på mindst 250 km/t, er det altså muligt at opnå en rejsetid på cirka end to timer og ét minut mellem København og Aarhus med en holdetid på to minutter i Odense, hvor det opgraderede kurvestyrede hastighedsprofil vist på figur 7 altså er benyttet. Inkluderes vendetiden i Aarhus i strækningen mellem Aarhus og Aalborg, er det således kun nødvendigt med en rejsetidsreduktion på cirka ét minut mellem Odense og Aarhus. Det vurderes, at denne uden videre kan opnås ved en yderligere opgradering af eksisterende bane, uden at omfanget bliver større end opgraderingen beskrevet i afsnit 3.1. Med denne løsning vil det altså være muligt, at opfylde målet om to timers rejsetid mellem København og Aarhus billigere, da der kun er udgifter til opgradering samt indkøb af kurvestyret rullende materiel og eventuelle investering i værkstedsfaciliteter. Det vil således kunne undgås at bygge nyt. Problemet med denne løsning er dog højere vedligeholdelsesomkostninger og dårligere komfort, samt at der ikke skabes ny kapacitet. Dette er et problem da heterogenite-

ten, og dermed også kapacitetsforbruget, øges. Det anbefales dog, at fremtidige undersøgelser bør undersøge eventuelle fordele og gevinster ved en omformulering af Timemodellen, så flest mulige passagerer får gavn af investeringen på bekostning af dens enkelthed.

5 Konklusion

I denne artikel er opstillet fire mulige løsninger hvormed der opnås en rejsetid på 55 minutter på strækningen mellem Odense og Aarhus, hvoraf de tre er med et ET-tog og den fjerde med et Velaro-tog. På baggrund af analyser af anlægsøkonomi, konsekvenser for naturen og driftsmæssige fordele, kan den ene løsning med en Vejle Fjord forbindelse og en ny bane vest for den Østjyske motorvej ikke anbefales grundet store konsekvenser for naturen og en for høj pris i forhold til de fordele løsningen medfører (løsning 3). Af de fire løsninger anses følgende løsning som den bedste på baggrund af det foretagne analysearbejde (løsning 1): en ny bane over Vestfyn, en Vejle Fjord forbindelse, inklusiv ny bane udenom Fredericia, og en ny bane mellem Hovedgård og Hasselager samt opgradering til en estimeret pris på 16,6 mia.. Alternativt kan benyttes en alternativ Vejle Fjord forbindelse, som medfører færre konsekvenser for naturen, men også en forøgelse af anlægsomkostningerne til 19,2 mia. kroner (løsning 2). Ved at benytte rullende materiel der kan køre op til 250 km/t (fx Velaro) kan en bane over Vestfyn undværes, hvilket udgør den sidste løsning (løsning 4). Anlægsomkostninger er her estimeret til 10,6 mia. kroner for en Vejle Fjord forbindelse, opgradering samt en ny bane mellem Hovedgård og Hasselager. Ulempen ved denne løsning er at der ikke opnås de samme drifts- og kapacitetsmæssige fordele som i de to løsninger hvor en ny bane over Vestfyn indgår, samt at der skal indkøbes højhastighedsmateriel.

Derudover foreslår nærværende artikel, at der ses nærmere på alternative løsningsmuligheder, som måske ikke umiddelbart opfylder Timemodellen i den nuværende form, samt løsningsmuligheder der gør brug af kurvestyrede tog. Blandt andet viser en simpel analyse i denne artikel, at det ved brug af kurvestyrede tog, der kan køre 250 km/t, og en opgradering af den eksisterende bane, er muligt at opnå en rejsetid på cirka to timer mellem København og Aarhus, hvor det udnyttes at strækningen mellem København og Odense kan køres på under en time. Ydermere anbefales det, at en større samfundsøkonomisk analyse bør gennemføres for at sikre at den bedst mulige samfundsøkonomiske løsning vælges, og ikke nødvendigvis den løsning som er mest kosteffektiv eller i øvrigt opfylder Timemodellen i dens oprindelige form.

Tak til

Analyser og udarbejdelse af løsninger præsenteret i nærværende artikel stammer hovedsageligt fra forfatterens speciale (Opgradering af jernbanen mellem Odense og Aarhus) fra foråret 2012. Der skal i den forbindelse lyde en stor tak til Lektor Alex Landex for kyndig vejledning under projektet, samt DTU Transport for muligheden for at gennemføre projektet.

Referencer

BANEDANMARK, 2012-last update, Strækningsinformation (TIB) 09-02-2012 [Homepage of Banedanmark], [Online].

BANEDANMARK, 2011. *Sporregler 1987*. København: Banedanmark.

BANESTYRELSEN RÅDGIVNING, 1996. *Opgradering i Danmark - København-Aalborg, Ringsted-Vordingborg, Snoghøj-Esbjerg, Kolding-Padborg*. København: Banestyrelsen.

DSB, 1988. *DSB plan 2000*. København: DSB.

FOLKETINGET, 2001-last update, L 197 (som fremsat): Forslag til lov om ophævelse af lov om projektering af udretning af jernbanestrækningen fra Eriknauer til Horsens og fra Horsens til Skanderborg [Homepage of Folketinget], [Online]. Available: http://webarkiv.ft.dk/Samling/20001/lovforslag_som_fremsat/L197.htm.

JENSEN, L.W., 2012. *Opgradering af jernbanen mellem Odense og Aarhus*, Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Transport.

LANDEX, A. and NIELSEN, O.A., 2006. *6-by samarbejdet : - om hurtigere tog mellem byerne*. Kongens Lyngby: DTU Transport.

NIELSEN, B., 2012. *E-mailkorrespondance med Teknisk Systemansvarlig for spor og hjul/skinne i Banedanmark*.

NIRAS, 2008. *Screening af en fast forbindelse over Kattegat*. København: NIRAS og NIRAS Konsulenterne.

SUND & BÆLT, 2012-last update, Fakta og historie - Storebælt [Homepage of Sund & Bælt], [Online]. Available: <http://www.storebaelt.dk/omstorebaelt/fakta>.

TRAFIKMINISTERIET, 1997. *Modernisering af jernbanens hovednet*. København: Trafikministeriet.

TRAFIKSTYRELSEN, 2011. *Forbindelser mellem Vest- og Østdanmark - Screening af linjeføringer for timemodellen og banebetjening af Østjylland*. København: Trafikstyrelsen.