

# Anslutningsresande i långväga prognosmodeller

Ida Kristoffersson (VTI)

Svante Berglund (WSP Advisory)

Datum: 2020-10-06

## Innehåll

1.	Bakgrund – Modellering av anslutningsresor i Sampers .....	4
2.	Syfte.....	5
3.	Metod.....	6
3.1	Litteratursökning .....	6
3.2	Typologi .....	6
3.2.1	Typ 1 – Val av färdmedel till första terminal.....	7
3.2.2	Typ 2 – Val av första terminal.....	8
3.2.3	Typ 3 – Val av första terminal och färdmedel till första terminal .....	9
3.2.4	Typ 4 – Val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel och färdmedel från sista terminal 10	
3.2.5	Typ 5 – Val av första terminal, huvudfärdmedel och sista terminal .....	11
3.2.6	Typ 6 – Val av första terminal, färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, färdmedel från sista terminal och sista terminal .....	12
3.2.7	Typ 7 – Val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, destination och färdmedel från sista terminal.....	13
3.2.8	Typ 8 – Val av första terminal, huvudfärdmedel, destination och sista terminal .....	14
3.2.9	Typ 9 – Val av första terminal, färdmedel till första terminal, destination, huvudfärdmedel, färdmedel från sista terminal och sista terminal .....	15
3.3	Sammanfattning av Kapitel 3 .....	16
4.	Resultat av litteraturöversikt.....	17
4.1	Hur anslutningsresor hanteras i befintliga modellsystem för långväga resor .....	18
4.1.1	Sverige .....	19
4.1.2	Nederländerna.....	19
4.1.3	Norge .....	20
4.1.4	Kalifornien .....	21
4.1.5	North Carolina .....	22
4.1.6	Irland.....	22
4.1.7	Danmark .....	23
4.1.8	Storbritannien .....	23
4.1.9	Tyskland.....	24
4.1.10	Ontario.....	24
4.1.11	Frankrike.....	25
4.1.12	West Midlands.....	25
4.1.13	Sydney .....	25
4.1.14	HS2.....	26

4.1.15	USA .....	27
4.2	Syntes från internationella modellöversikten .....	27
4.3	Sammanfattning av Kapitel 4 .....	28
5.	Lärdomar och överväganden inför en utveckling av Sampers långväga modell .....	29
5.1	Vilka val är viktiga att vara noga med?.....	29
5.2	Val av terminal och anslutningsfärdmedel i nätverksutläggningen .....	30
5.3	Rekommendationer för vidareutveckling av Sampers långväga modell.....	33
5.4	Sammanfattning av Kapitel 5 .....	35
Acknowledgement.....		36
Referenser .....		36

## 1. Bakgrund – Modellering av anslutningsresor i Sampers

Sampers är det nationella modellsystemet för att analysera persontransporter i Sverige och används vid trafikslagsövergripande analyser (Trafikverket 2018). Sampers består av två hittills separata modeller – en för regionala resor och en för långväga resor över 100 km. Regionala och långväga modellerna har olika ingående färdmedel (cykel och gång finns inte i långväga och flyg finns inte i regionala modellen), olika zonsystem, olika ingående ärenden etcetera. Att på detta sätt ta fram separata modeller för regionala och långväga resor är vanligt och görs t. ex. även i Norge och Storbritannien. Geografiskt mindre länder så som Nederländerna och Danmark analyserar regionala och långväga resor i samma modell, men behöver då ta särskild hänsyn till skalningseffekter (Rich and Hansen 2016). I modeller så som Sampers där resor delas in i två segment – regionala och långväga – kommer frågan upp hur anslutningsresor till långväga resor bör hanteras. I Sampers långväga modell ingår val av huvudfärdmedel – bil, långväga buss, flyg eller tåg. Dessa färdmedel läggs ut på olika nät i modellen och det är därmed inte möjligt att byta mellan t. ex. buss och tåg. Byte mellan två tåg går dock bra i modellen. Detta verkar dock inte vara ett stort problem givet att en deskriptiv analys av den senaste resvaneundersökningen (2011-2016) visar att endast för 2% av långväga resorna används mer än ett färdmedel per delresa (Berglund and Kristoffersson 2020). I dagsläget använder Sampers modell för långväga persontransporter avstånd till vald terminal som enda attribut som beskriver anslutningsresan i färdmedels- och destinationsvalet, medan nätverksutläggningen använder en låg hastighet (6 km/h) på anslutningsnätet för att närmsta terminal ska väljas i de allra flesta fall. Det finns ingen monetär kostnad kopplad till anslutningsresan i dagens Sampers. Anslutningsresan till första terminal och från sista terminal utgör dock i verkligheten ofta en stor del av hela reskostnaden och restiden, framförallt för flyg. För flyg utgör anslutningsresedelens ca 30–50 % av den monetära reskostnaden<sup>1</sup> medan den för tåg utgör mindre än 10 % (Berglund and Kristoffersson 2020).

Att få en bättre modellering av anslutningsresande i Sampers vore önskvärt av flera anledningar:

- 1) För att ge säkrare prognoser för långväga resande genom att den totala generaliserade reskostnaden förknippad med olika destinationer och olika huvudfärdmedel beskrivs på ett bättre sätt. Exempelvis är det i dagsläget ett problem att en större del av hela kostnaden för tågresor tas med i Sampers jämfört med flyg, vilket medför att modellen riskerar att underskatta kostnaden för flyg och därmed överskatta flygresandet.
- 2) För att få en bättre bild av totala resandet till och från större terminaler både för inrikes och utrikes resande.
- 3) För att ge bättre beslutsunderlag vid policy-analyser så som terminalplacering i samband med höghastighetstågsanalyser, nedläggning av flyg- eller tågterminaler, investeringar i matartrafik till flyg- eller tågterminaler, ändrade parkeringsavgifter vid flyg eller tåg-terminaler, samt konsekvenser av elektrifiering och uppkopplande självkörande fordon.

Efter denna bakgrund och motivering till varför bättre modellering av anslutningsresande behövs, fortsätter rapporten genom att i Kapitel 2 beskriva rapportens syfte. Kapitel 3 ger sedan en beskrivning av den typologi som vi utvecklat för klassificering av anslutningsrese-modeller. I Kapitel 4 redovisas resultaten från genomförd litteratursökning och Kapitel 5 avslutar med att diskutera lärdomar och överväganden inför vidareutveckling av Sampers långväga modell.

---

<sup>1</sup> Detta beror på att många resor sker med taxi, bil eller Arlanda express och att parkeringskostnaderna är relativt höga samtidigt som själva flygbiljetten inte är särskilt dyr.

## 2. Syfte

Detta PM har två huvudsakliga syften:

- 1) Att sammanställa erfarenheter från internationell litteratur kring hur anslutningsresor modelleras och hur de hanteras i långväga modeller
- 2) Att dra lärdomar från internationella erfarenheter inför förbättring av hur anslutningsresande hanteras i Sampers

Målgrupp för PM:et är främst ansvariga för vidareutveckling av långväga Sampers-modellen, men även forskare och utvecklare som vill få inspiration kring modellutveckling. Vi antar att båda dessa grupper är väl insatta i hur Sampers-modellen är matematiskt uppbyggd och går i PM:et därför inte in på hur nuvarande logit-modeller etcetera fungerar.

Inom projektet Anslutningsresor har vi även skrivit ett working paper på engelska som inte har fokus specifikt på Sampers utan generellt på modellutveckling.

### 3. Metod

Metoderna som används i detta PM är litteratursökning och analys av relevant litteratur genom klassificering i en typologi.

#### 3.1 Litteratursökning

En litteratursökning har genomförts i databaserna Scopus, Web of Science och Google Scholar. Söktermerna som använts är "access trip long distance" och "access mode". Litteratursökningen har resulterat i att 33 relevanta artiklar hittats. Dessa artiklars referenslistor har gett ytterligare 3 relevanta artiklar. Dessutom hade författarna tillgång till 13 relevanta rapporter inom fältet modellering av anslutningsresor till långväga resande redan innan litteratursökningen påbörjades. Sammantaget leder detta till att 49 artiklar/rapporter har identifierats som analyserna i detta PM baseras på.

#### 3.2 Typologi

Inom projektet har en typologi för transportmodeller som hanterar anslutningsresor tagits fram. Denna typologi innebär att modeller för anslutningsresor delas in i nio olika typer beroende på vilka valdimensioner som ingår i modellerna, se avsnitt 3.2.1–3.2.9 nedan. Tabell 1 visar en översikt över modelltyperna i typologin och vilka val som ingår i de olika typerna.

Tabell 1: Översikt över de val som ingår i de olika modelltyperna i typologin.

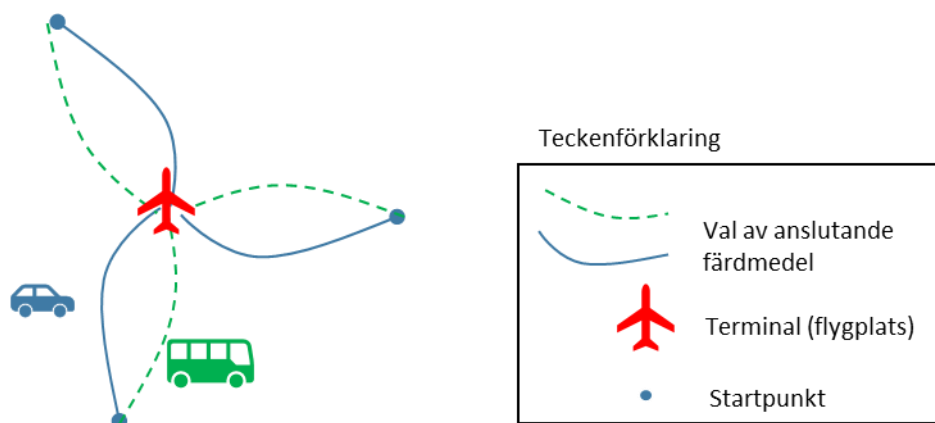
Typ	Access-färdmedel	Första terminal	Huvud-färdmedel	Destination	Sista terminal	Egress-färdmedel
1	X					
2		X				
3	X	X				
4	X		X			X
5		X	X		X	
6	X	X	X		X	X
7	X		X	X		X
8		X	X	X	X	

9	X	X	X	X	X	X
---	---	---	---	---	---	---

För de flesta valdimensioner i typologin torde det vara relativt tydligt vad som avses, till exempel i en modell som får ett kryss på val av huvudfärdmedel (Typ 4 – Typ 9 i tabellen ovan) ingår modellering av val av färdmedel för huvudresan inom den långväga resan, så som val mellan bil, tåg, buss och flyg och att dessa val beskrivs med någon form av förklaringsvariabler. Den otydligaste valdimensionen har vi under projektets gång märkt är val av första/sista terminal (denna valdimension ingår i Typ 2, 3, 5, 6, 8, och 9). Detta beror på att det inte är helt självklart vad som avses med *modellering* av val av första/sista terminal. För att kunna göra en kollektivtrafikutläggning måste något antagande göras kring vilken terminal som väljs. Ett vanligt antagande är att det är den närmsta terminalen som väljs (antingen genom ett direkt antagande eller genom att en mycket låg hastighet väljs på anslutningsnätet så att konsekvensen blir att närmsta terminal i princip alltid väljs). Detta har vi dock i denna rapport valt att se som ett antagande/regel snarare än som en modell av terminalval. För att kvala in som modell av terminalval behöver valet göras något mer avancerat, till exempel att generaliserade kostnaden via flera olika terminaler jämförs.

De beskrivna typerna i Tabell 1 är teoretiskt möjliga men det är inte säkert att de existerar i praktiken. Vissa typer är betydligt vanligare i litteraturen än andra, vilket beror både på vilka forskningsfrågor som är vanliga att undersöka och på modellens komplexitet / databehov.

### 3.2.1 Typ 1 – Val av färdmedel till första terminal

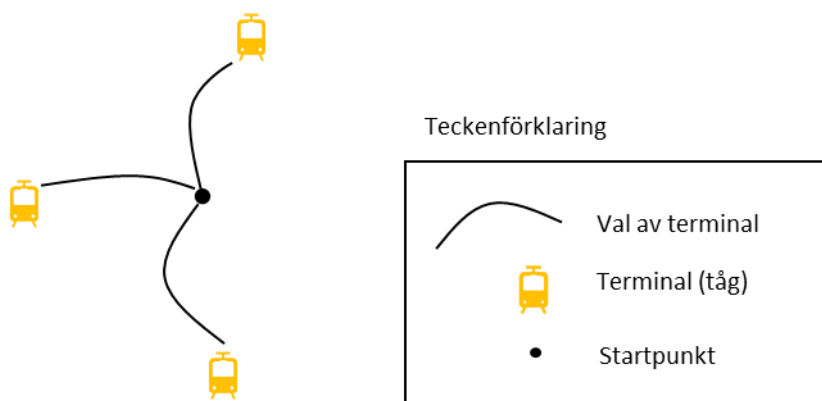


Figur 1. Schematisk beskrivning av modell för val av färdmedel till första terminal (Typ 1).

Figur 1 visar en schematisk bild av en anslutningsresemodell av Typ 1. Detta är en fristående anslutningsresemodell där bara val av färdmedel till terminal ingår. Antal resenärer mellan startzon och terminal är externt givet och delas i modellen upp på olika anslutningsfärdmedel. Denna typ av modell är mycket vanligt förekommande i litteraturen, se kapitel 4. De flesta tillämningar av Typ 1-modeller gäller modellering av färdmedelsval till en specifik flygplats, men det finns även modeller för val av anslutningsfärdmedel till höghastighetståg. Det är vanligt att man planerar att öppna en ny förbindelse till flygplatsen, t. ex. en ny snabbtågsbana, och vill undersöka hur många som skulle åka med den nya förbindelsen när den är klar, samt från vilka färdmedel överflyttning skulle ske. Typ 1-modeller är lätthanterliga, vilket gör det möjligt att detaljerat beskriva de komponenter som förklarar anslutningsresans färdmedelsval. Exempelvis finns i litteraturen modeller som inkluderar attribut så som storlek på bagage, tur-och-retur-restid för den som skjutsar till flygplatsen m.m. En nackdel är att Typ 1-modeller blir mycket specifika för den flygplats de modellerar. Typ 1-modeller kan vara

användbara i en svensk kontext för att utreda specifika åtgärder, detta gjordes t ex vid utvärdering av pendeltågens förlängning till Arlanda (WSP 2015). Som del i vidareutveckling av Sampers ser vi dock att det blir svårt att inkludera en Typ 1-modell i Sampers-systemet. En Typ 1-modell behöver efterfrågematriser från långväga modellen som indata, snarare än att den förbättrar modelleringen av anslutningsresor i den långväga modellen. En möjlighet är att med en Typ 1-modell beräkna logsummer för anslutningsresandet till varje terminal och sedan använda dessa logsummer som del i beräkning av generaliserad reskostnad i den långväga modellen. Vi återkommer till denna idé i Kapitel 5.

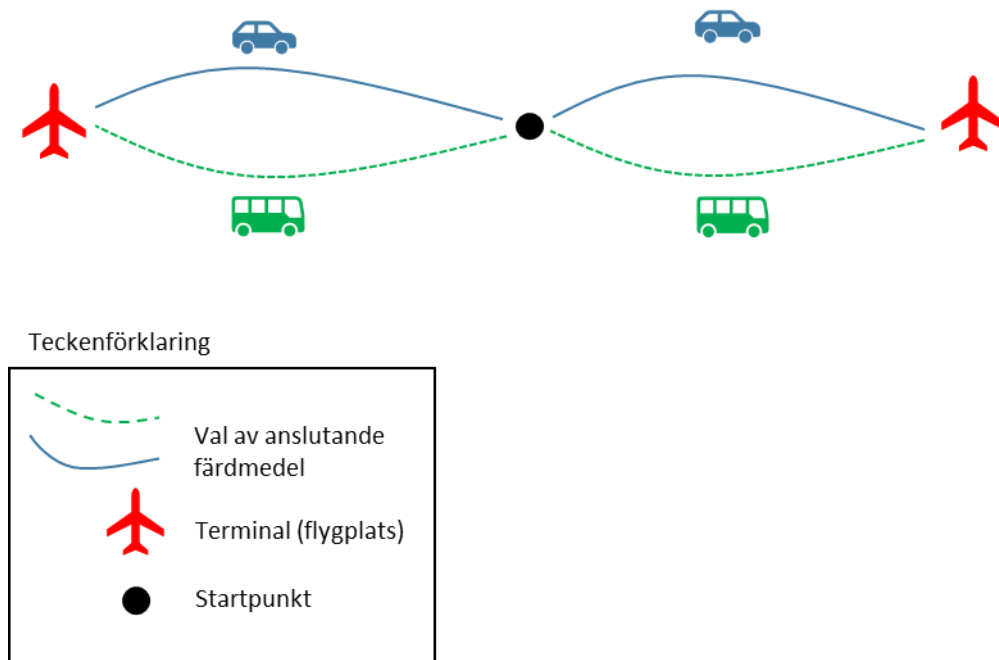
### 3.2.2 Typ 2 – Val av första terminal



Figur 2: Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal (Typ 2).

Figur 2 visar en schematisk bild av en anslutningsresemodell av Typ 2. Detta är, precis som en Typ 1-modell, en fristående modell där antalet resenärer ges av en extern resematris. I Typ 2-modeller ingår bara val av första terminal och de är därför lätthanterliga. I litteraturen finns några exempel på Typ 2-modeller, framför allt när det gäller val av tågstation. En Typ 2-modell skulle kunna vara användbar i en svensk kontext för att utreda specifika frågeställningar kring stationsplacering eller dylikt, men som vidareutveckling av Sampers långväga modellsystem ser vi inte att den passar in. Precis som Typ 1-modeller behöver en Typ 2-modell efterfrågematriser från långväga modellen som indata, snarare än att den förbättrar modelleringen av anslutningsresor i den långväga modellen.

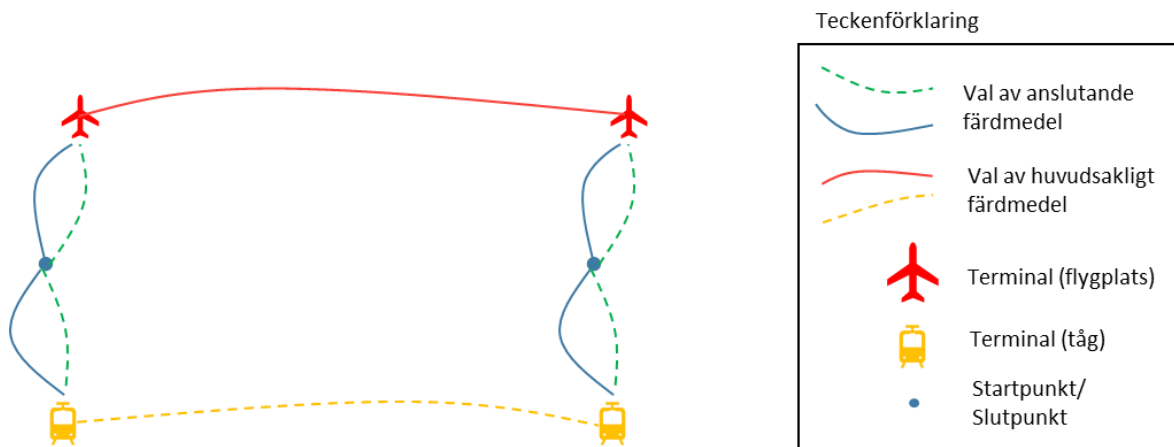
### 3.2.3 Typ 3 – Val av första terminal och färdmedel till första terminal



Figur 3: Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal och färdmedel till första terminal (Typ 3).

Figur 3 visar en schematisk bild av en anslutningsresemmodell av Typ 3. Även denna modelltyp är fristående och antal resenärer är externt givet. Modellen delar upp resenärerna både på olika terminaler och olika anslutningsfärdmedel till vald terminal. Modelltypen är inte så vanlig men förekommer i litteraturen, framför allt vid analys av anslutningsresor inom regioner med flera möjliga flygplatser. Modellerna har utvecklats för att analysera vilka attribut som är viktiga för resenärer vid val av flygplats och anslutningsfärdmedel till flygplatsen. Om det inom en region ska öppnas/stängas en flygplats kan påverkan på resandet analyseras med en Typ 3-modell. Typ 3-modeller är något mer komplicerade än Typ 1- och Typ 2-modeller. I ett examensarbete som genomfördes under våren 2020 (Ericsson 2020) skattas en Typ 3-modell i en svensk kontext. Modellen avser val av anslutningsfärdmedel och flygplats i Stockholmsregionen (Arlanda eller Bromma). Som del i vidareutveckling av Sampers ser vi dock att det blir svårt att inkludera en Typ 3-modell i Sampers-systemet. En Typ 3-modell behöver precis som Typ 1- och Typ 2-modeller efterfrågematriser från långväga modellen som indata, snarare än att den förbättrar modelleringen av anslutningsresor i den långväga modellen.

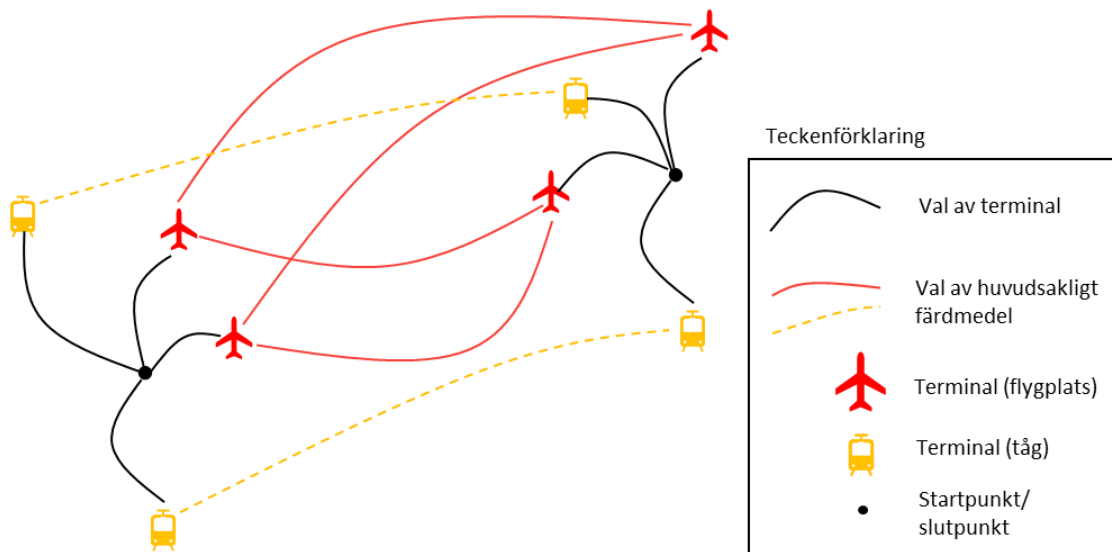
### 3.2.4 Typ 4 – Val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel och färdmedel från sista terminal



Figur 4. Schematisk beskrivning av modell för val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel och färdmedel från sista terminal (Typ 4).

Figur 4 visar en schematisk bild av en Typ 4-modell. Denna modelltyp är inte fristående utan den modellerar val av anslutningsfärdmedel tillsammans med val av huvudfärdmedel för långväga resa. Alla färdmedelsvalsmodeller för långväga resor hanterar anslutning på ett mer eller mindre sofistikerat sätt. Vanligt förekommande är att man inte explicit modellerar olika anslutningsfärdmedel utan att man antar en viss hastighet på anslutningslänkar. Denna hastighet kan vara anpassad efter huvudfärdmedel, d.v.s. högre anslutningshastighet till flyg jämfört med tåg, eftersom flygplatser ofta ligger längre ifrån startzonerna och gång/cykel är ovanligt som anslutning till flygplats. För att vara en strikt Typ 4-modell ska val av anslutningsfärdmedel modelleras. Denna modelltyp är ovanlig i litteraturen. För långväga resor har vi endast hittat ett exempel – en modell för långväga resor inom Kalifornien (se avsnitt 0). Fördel med denna modelltyp är att den detaljerade modelleringen av anslutning också kommer långväga modellen till nytta i och med att anslutningsresande till terminaler fångas på ett bättre sätt. Det innebär att en generell skillnad i anslutningsresornas tid och kostnad till exempel till flyg jämfört med tåg kan fångas upp. En nackdel är att modellen blir mer datakrävande. En Typ 4-modell skulle kunna vara användbar i en svensk kontext, men traditionellt har vi i Sverige skattat färdmedelsval simultant med destinationsval, vilket kräver en modell av typ 7, 8 eller 9, i vilka destinationsval ingår.

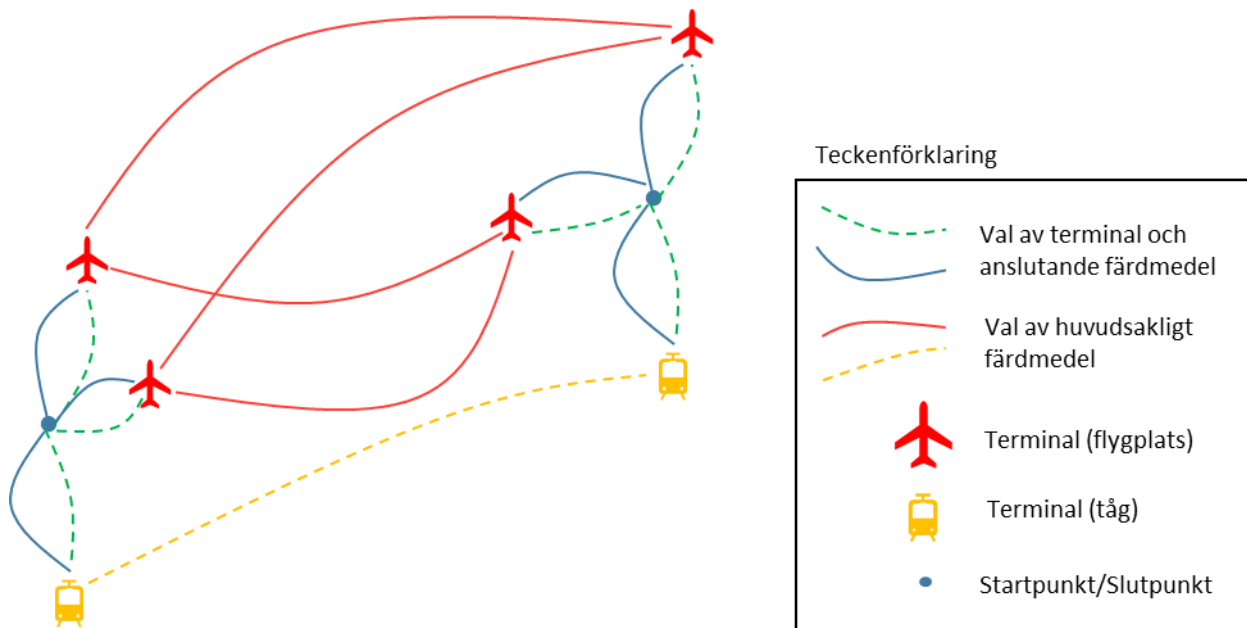
### 3.2.5 Typ 5 – Val av första terminal, huvudfärdmedel och sista terminal



Figur 5. Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal, huvudfärdmedel och sista terminal (Typ 5).

Figur 5 visar en schematisk bild av en Typ 5-modell. Detta är en färdmedelsvalsmodell för långväga resor med extra fokus på val av första och sista terminal. Det är inte alltid den närmsta terminalen som är den bästa för en långväga resa och därför beskriver denna modelltyp valet av terminal mer detaljerat. Typ 5-modeller förekommer men är ovanliga i litteraturen. Ett exempel är en modell för North Carolina (se avsnitt 4.1.5). En nackdel är att Typ 5-modeller inte fångar generella skillnader i tid och kostnad för anslutningsresande till flyg jämfört med tåg. Därmed är den mindre intressant ur ett svenskt perspektiv jämfört med Typ 4-modeller. En annan anledning till att Typ 5-modeller inte passar så bra in i en svensk modellkontext är att, precis som för Typ 4-modeller, destinationsvalet inte modelleras simultant i Typ 5-modeller.

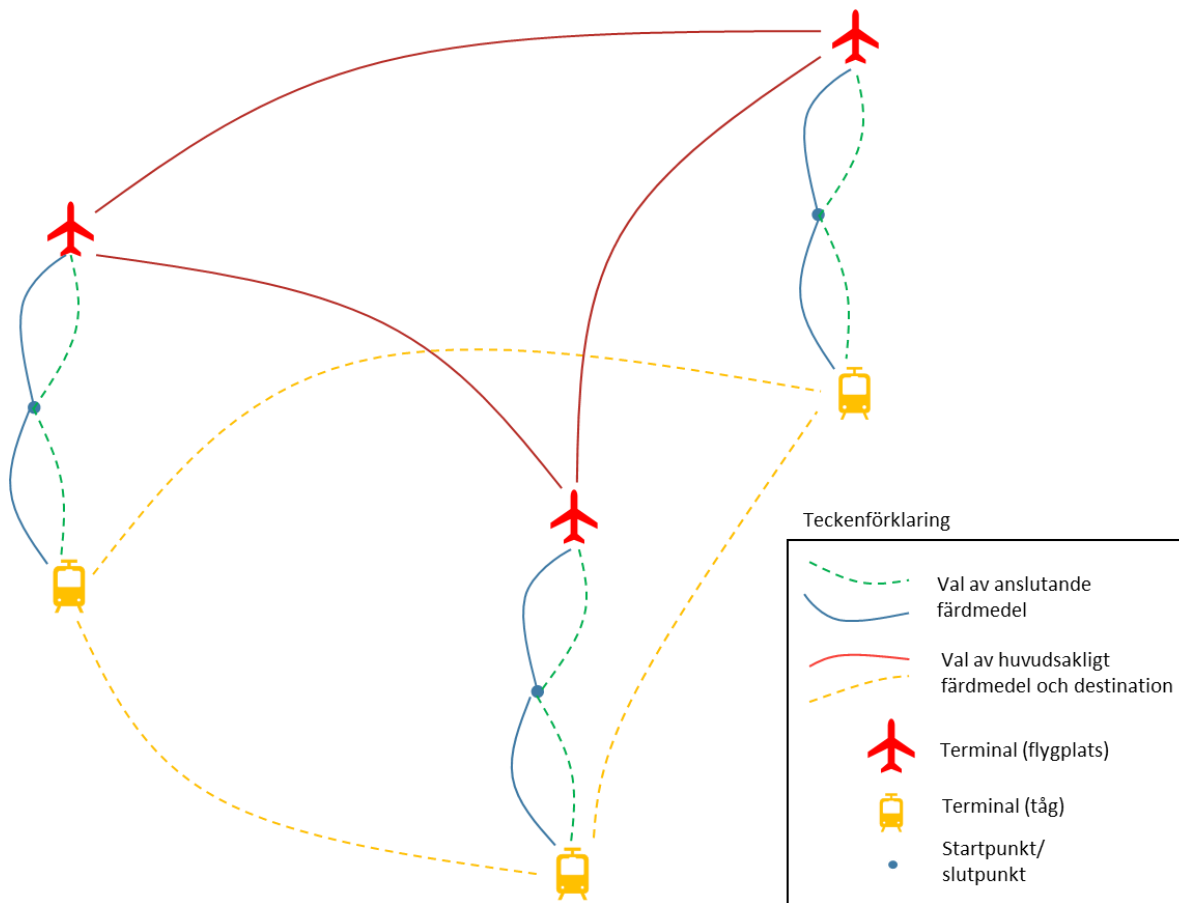
### 3.2.6 Typ 6 – Val av första terminal, färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, färdmedel från sista terminal och sista terminal



Figur 6. Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal, färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, färdmedel från sista terminal och sista terminal (Typ 6).

Figur 6 visar en schematisk bild av en Typ 6-modell. I denna modelltyp beskrivs både anslutningsfärdmedel och val av terminal detaljerat, men destinationsval skattas inte simultant med huvudfärdmedelsval. PLANET-modellen för att utvärdera HS2 höghastighetsbana i Storbritannien är en av få modeller som liknar en Typ 6-modell (se avsnitt 4.1.14). I PLANET modellen ingår val av första terminal, färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel och val av sista terminal, men färdmedel från sista terminal modelleras inte explicit. På detta sätt kvalar den nästan in som en Typ 6-modell. En nackdel är att en Typ 6-modell blir relativt komplex och datakrävande, samt att destinationsval inte modelleras simultant med val av huvudfärdmedel i likhet med Typ 4- och Typ 5-modeller.

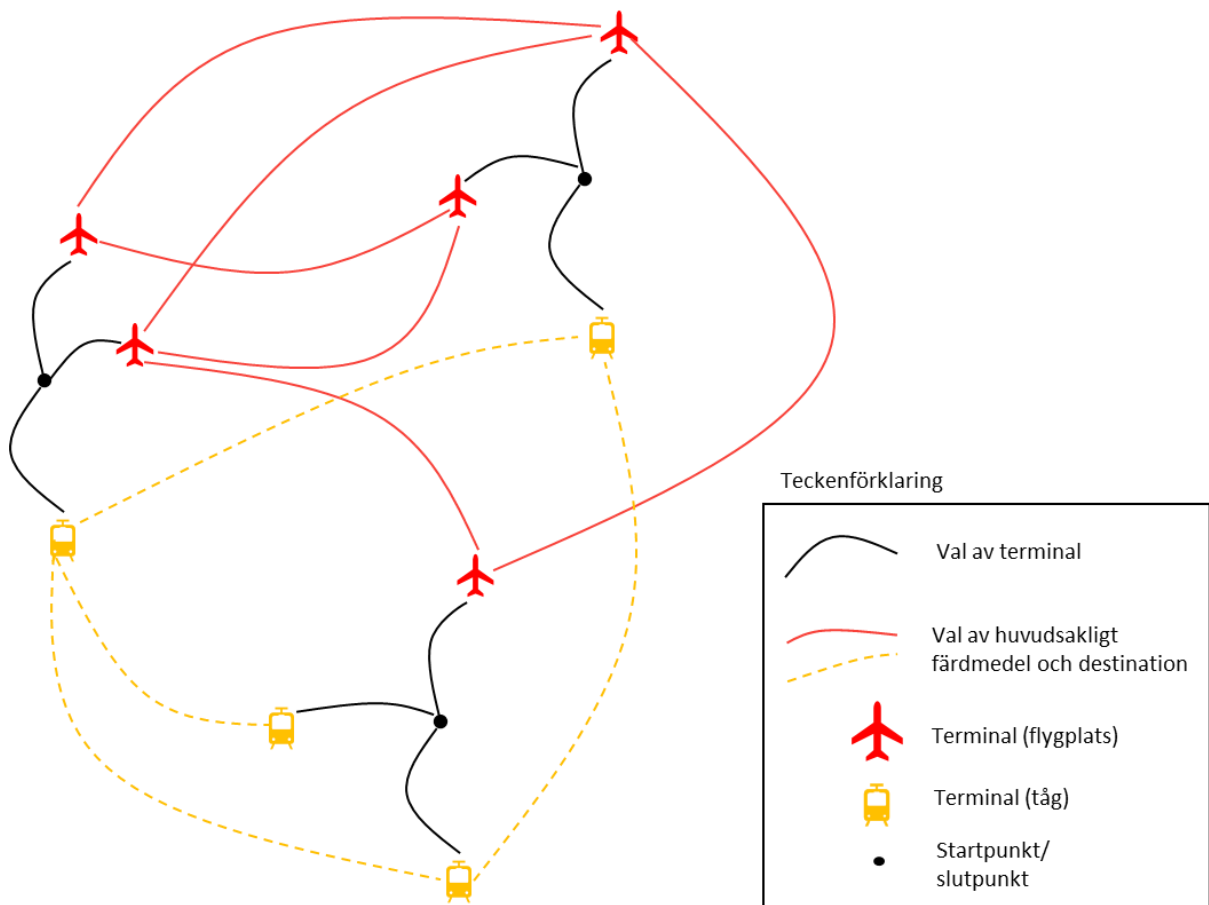
### 3.2.7 Typ 7 – Val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, destination och färdmedel från sista terminal



Figur 7. Schematisk beskrivning av modell för val av färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, destination och färdmedel från sista terminal (Typ 7).

Figur 7 visar en schematisk bild av en Typ 7-modell. Här hanteras anslutningsfärdmedel till en långväga modell som innehåller både val av huvudfärdmedel och destination. Det som inte beskrivs detaljerat i en Typ 7-modell är val av terminal (flygplats, station eller dylikt). Någon Typ 7-modell har vi inte hittat i litteraturen, möjligen kan Nederländernas nationella modell (se avsnitt 4.1.2) liknas vid en Typ 7-modell men detta behöver undersökas vidare då tillgänglig dokumentation inte ger entydigt svar i frågan. En nackdel med denna typ av modell är att den är relativt komplex. En fördel är att det är en Sampers-typ av modell som utökats med val av anslutningsfärdmedel, på så sätt passar den väl in i en svensk modellkontext.

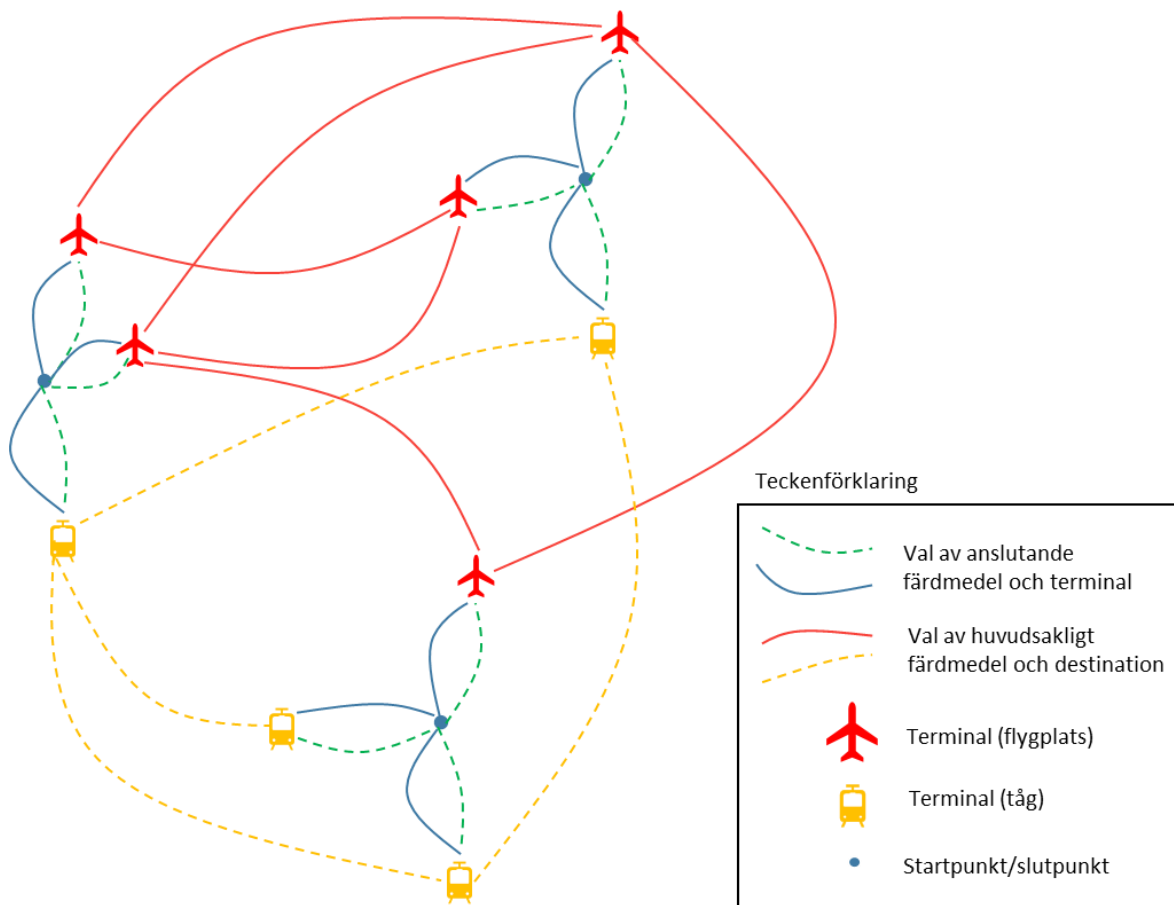
### 3.2.8 Typ 8 – Val av första terminal, huvudfärdmedel, destination och sista terminal



Figur 8. Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal, huvudfärdmedel, destination och sista terminal (Typ 8).

Figur 8 visar en schematisk bild av en Typ 8-modell. Denna modelltyp beskriver val av första och sista terminal detaljerat men inte val av anslutningsfärdmedel. Det är alltså en Sampers-typ av modell som utökats med val av första och sista terminal. Val av höghastighetstågstation och flygplats är i en svensk kontext oftast relativt givet, med undantag för val av flygplats i Stockholmsområdet. Därmed är det troligen viktigare att val av anslutningsfärdmedel beskrivs detaljerat än val av terminal. I Sampers långväga modell har man i dagsläget ansatt en låg anslutningshastighet i utläggningen för att närmaste terminal ska väljas inom kollektivtrafikutläggningen. Exempel på en Typ 8-modell är Frankrikes nationella modell (se avsnitt 0).

### 3.2.9 Typ 9 – Val av första terminal, färdmedel till första terminal, destination, huvudfärdmedel, färdmedel från sista terminal och sista terminal



Figur 9. Schematisk beskrivning av modell för val av första terminal, färdmedel till första terminal, huvudfärdmedel, destination, färdmedel från sista terminal och sista terminal (Typ 9).

Figur 9 visar en schematisk bild av en Typ 9-modell. Detta är den mest komplexa modellen där en traditionell Sampers-liknande modell för långväga resor – som innehåller både huvudfärdmedelsval och destinationsval – utökas med både val av terminal och val av anslutningsfärdmedel. Modellerna för West Midlands (4.1.12) och Sydney (4.1.13) kvalar nästan in som Typ 9-modeller förutom att val av sista terminal och färdmedel från sista terminal inte modelleras explicit. Dessutom är modellerna för West Midlands och Sydney i huvudsak modeller för regionala resor och flyg finns inte med som huvudfärdmedel. De visar dock att en generell utmaning med Typ 9-modeller är att få till en bra modellstruktur och skatta de strukturella parametrarna när det finns så många typer av val och möjligheter att strukturera upp valen. Ett annat exempel på en Typ 9-modell är Nederländernas nationella modell LMS (4.1.2) där anslutningsfärdmedel och terminalval modelleras explicit för tåg som huvudfärdmedel.

### 3.3 Sammanfattning av Kapitel 3

I detta kapitel har en typologi utvecklats som delar in modeller för anslutningsresor i olika typer. Typologin är viktig för att förstå hur anslutningsresor hanteras internationellt, samt för att förstå för och nackdelar med de olika tillvägagångssätten. Följande lista sammanfattar resultaten från typologin:

- Modelltyp 1–3 är fristående modeller utan koppling till någon modell för den långväga resan. Dessa modeller beskriver val av anslutningsresefärdmedel och/eller val av terminal (beroende på exakt modelltyp). Givet en OD-matris med resande mellan startzoner och terminaler delar alltså dessa typer av modeller upp resenärerna på olika anslutningsfärdmedel och/eller olika terminaler. Anslutningsresemodeller av Typ 1–3 är vanligt förekommande i litteraturen. Den typiska tillämpningen av Typ 1–3-modeller är vid analys av en ny spårförbindelse till en flygplats eller vid dimensionering eller prissättning av parkering vid flygplats/tågstation.
- Modelltyp 4–6 är modeller för anslutningsresor som är kopplade till en modell för den långväga resan som innehåller val av huvudfärdmedel men inte val av destination. Detta är modelltyper som förekommer i litteraturen, men endast i ett fåtal exempel. De exempel som finns gäller modeller för analyser av investeringar i höghastighetståg. OD-matrisen med resande mellan olika destinationer antas fix och resenärerna delas upp på olika huvudfärdmedel samt på anslutningsfärdmedel och/eller terminal.
- Modelltyp 7–9 är modeller för anslutningsresor som är kopplade till en modell för den långväga resan som innehåller både val av huvudfärdmedel och val av destination (skattade simultant). Det finns ett fåtal modeller av dessa typer i litteraturen, men generellt är de mycket modelltekniskt avancerade och datakrävande.

## 4. Resultat av litteraturoversikt

Litteraturen kring modellering av anslutningsresor har ett starkt fokus på anslutningsresor när huvudfärdmedlet är flyg. Det gäller 25 av de 49 artiklar/rapporter (fortsättningsvis kallade artiklar) som hittats. De flesta av dessa artiklar analyserar val av färdmedel till en specifik flygplats, d.v.s. de är av Typ 1 i den typologi som tagits fram för projektet (se avsnitt 3.2.1). Dessa analyser blir mycket specifika för situationen vid en viss flygplats. Flera av dessa är analyser av anslutningsfärdmedel till flygplatser i USA (Akar 2013; Ameen and Kamga 2013; ACRP 2008), men liknande studier har även gjorts i Europa (Bergantino et al. 2019; Birolini et al. 2019; Budd, Ryley, and Ison 2014) och i Asien (Jou, Hensher, and Hsu 2011; Roh 2013; Tam, Tam, and Lam 2005). Även i Sverige utvecklades en anslutningsresemodell av Typ 1 i samband med att Sampers långväga modell skattades i början på 2000-talet. Under en lång period användes inte denna anslutningsresemodell, men i samband med att pendeltåget skulle förlängas till Uppsala via Arlanda gjordes prognoser med en Excel-implementering av modellen (WSP 2015). Modellens prognoser stämde väl överens med utfallet, men eftersom det är en Typ-1-modell förbättrar den inte modelleringen av långväga resor i Sampers.

Ett fåtal av de 25 artiklarna som fokuserar på anslutningsresor till flyg tittar på ett större område och inkluderar förutom val av anslutningsfärdmedel också val av första terminal (flygplats) inom detta område (Hess and Polak 2006; Gupta, Vovsha, and Donnelly 2008; Gelhausen and Wilken 2006). Dessa faller under Typ 3 i typologin ovan.

Tre av de 49 artiklar som hittats studerar anslutningsresor till tåg, d.v.s. tåg är det enda ingående huvudfärdmedlet. När det gäller dessa är Wen, Wang och Fu (2012) av Typ 1, Debrezion, Pels och Rietveld (2009) av Typ 3 och Young och Blainey (2018) en review-artikel över modellering av val av tågstation som främst inkluderar Typ 2- och Typ 3-modeller. De artiklar i Young och Blainey (2018) som rör Typ 4-9-modeller tas med i den fortsatta analysen nedan.

Inom detta forskningsprojekt är vi dock mest intresserade av hur anslutningsresor hanteras i större modellsystem där val av huvudfärdmedel ingår, d.v.s. Typ 4 – 9 i typologin i föregående kapitel. Vi har därför tittat djupare på de 20 artiklar där fler än ett huvudfärdmedel ingår. Några av dessa artiklar är sammanställningar av forskningsområdet (ACRP 2015; Zhang et al. 2012) och några diskuterar anslutningsresor mycket översiktligt (Aultman-Hall et al. 2018; Garmendia, Ureña, and Coronado 2011). Kvar blir 16 artiklar som beskriver 15 modellsystem som på något sätt (ofta rudimentärt) hanterar både val av huvudfärdmedel och anslutningsfärdmedel för långväga resor. Dessa 15 modellsystem beskrivs mer detaljerat nedan.

## 4.1 Hur anslutningsresor hanteras i befintliga modellsystem för långväga resor

I detta avsnitt beskrivs hur ett flertal större modellsystem för (främst) långväga resor hanterar val av anslutningsfärdmedel och val av terminal. Tabell 2 ger en översikt över modellsystemen och vilken eventuell modelltyp de tillhör enligt typologin i föregående kapitel. För de modeller där det står "Antagande/regel" avses att valet av terminal görs deterministiskt eller med en mycket låg hastighet på anslutningsnätet i en kollektivtrafikutläggning och att man inte skiljer mellan olika anslutningsfärdmedel.

Tabell 2: Klassificering av hur större transportmodelleringsystem hanterar anslutningsresande enligt typologin i kapitel 3.

	Typ 4	Typ 5	Typ 6	Typ 7	Typ 8	Typ 9	Annan klassificering
Sverige							Antagande/regel
Nederländerna						X <sup>2</sup>	
Norge							Antagande/regel
Kalifornien	X						
North Carolina		X					
Irland							Antagande/regel
Danmark							Tillräcklig dokumentation saknas
Storbritannien							Antagande/regel
Tyskland							Antagande/regel
Ontario							Antagande/regel
Frankrike					X		
West Midlands						X <sup>3</sup>	
Sydney						X <sup>4</sup>	
HS2			X <sup>5</sup>				
USA							Antagande/regel

<sup>2</sup> Inom LMS-modellen modelleras anslutning till tåg enligt Typ 9.

<sup>3</sup> West Midlands-modellen är en bantad version av Typ 9-modell där val av sista terminal och val av färdmedel från sista terminal inte ingår.

<sup>4</sup> Sydney-modellen är en bantad version av Typ 9-modell där val av sista terminal och val av färdmedel från sista terminal inte ingår.

<sup>5</sup> HS2-modellen är en bantad version av Typ 6-modell där val av färdmedel från sista terminal inte ingår.

#### 4.1.1 Sverige

Sveriges nationella modellsystem för persontransporter kallas Sampers-systemet (Beser and Algiers 2002), inom vilket det finns en modell för långväga resor över 100 km och fem regionala modeller för resor kortare än 100 km. De huvudfärdmedel som ingår i den långväga modellen är bil, tåg, buss och flyg och de ärenden som modelleras är tjänste-, privat- och arbetsresor. Val av färdmedel skattas simultant med val av destination i en nästlad logit-modell. För alla huvudfärdmedel görs separata nätverksutläggningar i programmet Emme4. För tåg, buss och flyg har anslutningshastigheten till första terminal satts till 6 km/h så att närmaste terminal nästan alltid väljs. På detta sätt blir valet av terminal deterministiskt. I efterfrågemodellen för val av huvudfärdmedel och destination finns avstånd till terminal med som utbudsvariabel i nyttofunktionen för att representera anslutningsresan. Eftersom valet av första och sista terminal hanteras inom nätverksutläggningen passar modellsystemet inte in i någon av Typ 1–9 i föregående kapitel.

#### 4.1.2 Nederländerna

Nederländerna var ett av de första länderna att utveckla en nationell transportmodell. Modellsystemet kallas LMS (Landelijk Model Systeem) och första versionen började användas redan 1986 (Fox, Daly, and Gunn 2003). Denna modell blev föregångare för nationella transportmodeller i bland annat Sverige, Danmark, Norge och Storbritannien. De huvudfärdmedel som modelleras är bil som förare, bil som passagerare, tåg, buss/spårväg/tunnelbana och gång/cykel. Både val av huvudfärdmedel och destination ingår i modellen. Modellen bygger på pivot-justering av en OD-matris för basåret. Nederländerna är ett geografiskt relativt litet land och flyg finns därför inte med i modellen. Eftersom flyg inte finns med i modellen får man inte problemet med att en större del av tågresan dörr-till-dörr fångas av modellen jämfört med flygresan dörr-till-dörr. Det kan dock finnas skillnader mellan anslutning till tåg och anslutning till buss/spårväg/tunnelbana, där cykel och taxi är vanligare till tåg, och att detta inte fångas av modellen. Från en beskrivning av senaste om-estimeringen av modellsystemet (Joksimovic and van Grol 2012) går det att utläsa att det finns en separat modell för resegenerering av utrikes trafik till och från Nederländerna, samt för utrikestrafiken kopplad till flygplatsen Schiphol. Det är dock oklart från Joksimovic and van Grol (2012) hur anslutningsresor till tåg respektive buss/spårväg/tunnelbana hanteras. Pel et al. (2014) beskriver översiktligt hur efterfrågemodellen ser ut för tåg som huvudfärdmedel (se Figur 10). Denna är formulerad som en nästlad logit-modell med både val av anslutningsfärdmedel och station och är därmed en modell av Typ 9 när det gäller just anslutningsresor till tåg.

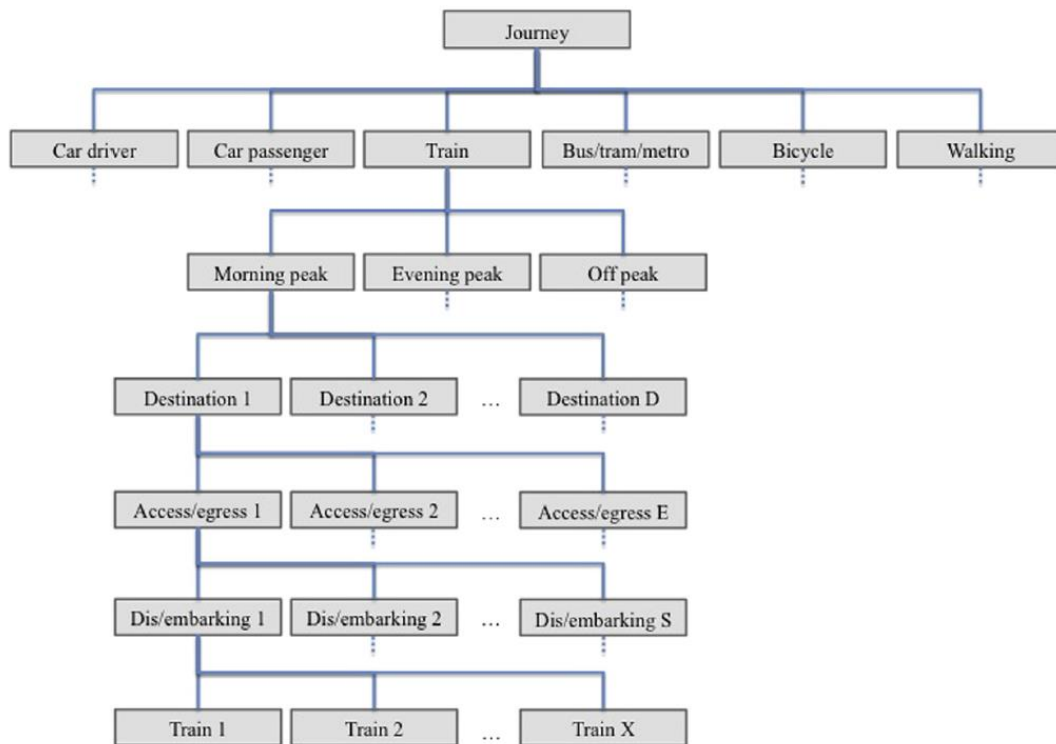


Fig. 3. Choice model structure for travel demand in the LMS, for train as main mode of transport.

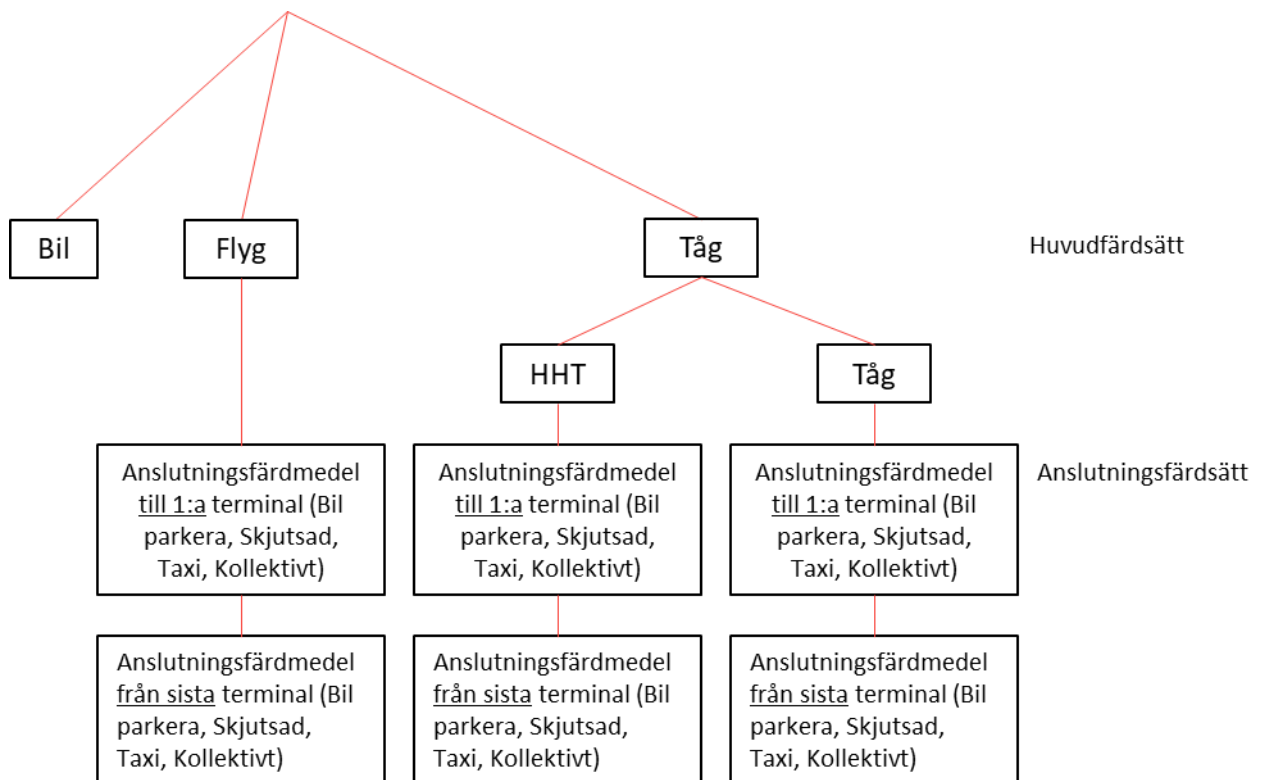
Figur 10: Trädstruktur för efterfrågemodellen i LMS för tåg som huvudfärdmedel (Pel, Bel, and Pieters 2014).

#### 4.1.3 Norge

Norges nationella transportmodell utvecklades 1990 och bygger i mångt och mycket på den nederländska modellen (Fox, Daly, and Gunn 2003). En skillnad är dock att resor delas in i regionala (kortare än 70 km), mellanlånga (70–200 km) och långa (längre än 200 km). Modellen för mellanlånga och långa resor (NTM6) har fem ärenden: arbetsresor, tjänsteresor, fritidsresor, besöksresor och övriga privata resor (Rekdal et al. 2014). De ingående huvudfärdmedlen är: bil som förare, bil som passagerare, kollektivtrafik (buss, tåg och båt), samt flyg (bara för resor längre än 200 km). Val av huvudfärdmedel skattas simultant med val av destination. För kollektivtrafik är anslutningshastigheten 5 km/h och för flygresor 33 km/h (genom att en vikt på 0.15 för anslutningstid multipliceras med de 5 km/h). Om någon av anslutningslänkarna inkluderar en tull- eller färjekostnad tas detta med som anslutningskostnad. Precis som i Sampers hanteras anslutningsresandet inom nätverksutläggningen och modellsystemet passar därmed inte in i någon av Typ 1–9 i föregående kapitel.

#### 4.1.4 Kalifornien

Kanske den mest avancerade modellen vi hittar i internationell litteratur när det gäller långväga resor och anslutning är en modell för resor över 50 miles (80 km) i Kalifornien (Cambridge Systematics 2016). Modellen, California High-Speed Rail Ridership and Revenue Model (CHSR), verkar i första hand vara utvecklad för att beräkna intäkter från ett höghastighetstågssystem i Kalifornien, inte för att utvärdera om ett system ska byggas. Modellen i sin helhet förefaller i de flesta avseenden avancerad, det gäller särskilt kopplingen mellan anslutningsresa och huvudfärdmedel (Figur 11). Till skillnad från de flesta andra modeller skattas modellerna (till och från) för anslutningsfärdmedel i CHSR simultant (NL) med modellen för val av huvudfärdmedel. Kostnadskänsligheten tillåts variera mellan inkomstgrupper. Känsligheten för restid med olika färdmedel tillåts variera men med restriktionen att modellen ska ge intuitivt rimliga resultat.



Figur 11. Nästningsstruktur för California High-Speed Rail Ridership and Revenue Model.

Man har dock inte med val av första och sista terminal och man har valt att inte skatta valet av destinationen simultant i modellstrukturen. Modellen är således av Typ 4 i typologin i Kapitel 3 – den inkluderar val av färdmedel till första terminal, val av huvudfärdmedel och val av färdmedel från sista terminal.

När det gäller amerikanska modeller finns det ofta skäl att vara lite frågande till modellernas hantering av kollektivtrafik. Även om hanteringen av kollektiva färdmedel förefaller långt driven rent teoretiskt i många modeller kan de praktiska egenskaperna ge upphov till frågor. I utgångsläget är modellen skattad på ett material där kollektivtrafikandelen är nära noll. Den SP-studie som också ligger till grund för modellen bygger då rimligtvis på en population som har rätt ringa erfarenhet av kollektivtrafik. Att kalibrera in nuläget för en modell så att den återskapar en "nästan nolla" i färdmedelsandel är inte så knepigt. Problemet blir sen att från "nollan" säkerställa rimliga elasticiteter. CHSR har också under utvecklingens gång gett upphov till vitt skilda resultat i prognossituationer som hårdhänt har kalibrerats ned eller upp.

#### 4.1.5 North Carolina

En nästlad logit-modell för långväga persontransporter (längre än 50 miles) i North Carolina beskrivs i Moeckel, Fussel och Donnelly (2015). I modellen ingår val av första och sista terminal, samt val av huvudfärdmedel. Modellen är således av Typ 5 i typologin ovan. Huvudfärdmedlen är indelade i två nästen – bil och kollektivtrafik – med undergrupperna 1, 2, 3 och 4+ resenärer för bil och undergrupperna buss, tåg och flyg för kollektivtrafik. I nyttofunktionen för bil ingår restid, tid att gå från parkeringen till destinationen (antas vara fem minuter), parkeringskostnad (delas med sällskapsstorleken) och avståndsbaserade körkostnader. I nyttofunktionen för kollektivtrafik ingår restid med bil från startpunkt till första terminal, tid spenderad vid första terminal, restid med kollektivtrafik, antal byten, biljettkostnad, frekvens, tid spenderad vid sista terminal och restid med bil från sista terminal till destinationen. Antaganden görs om en fix tid spenderad vid terminal som beror på färdmedel och om det är första eller sista terminal, se Tabell 3.

Tabell 3: Antaganden om tid (i minuter) spenderad vid första och sista terminal beroende på färdmedel (Moeckel, Fussell, and Donnelly 2015).

	Buss	Tåg	Flyg
Första terminal	15	30	60
Sista terminal	10	15	20

Som beskrivs ovan ingår inte val av färdmedel för anslutningsresan till första terminal och från sista terminal utan det antas att anslutningsresan görs med bil. Framför allt från sista terminal kan detta antagande vara tveksamt då resenärerna ofta inte har tillgång till bil vid sista terminalen. Dock kan antagandet motiveras med att hyrbil är vanligt i USA. Val av terminal modelleras däremot lite mer detaljerat. För varje kollektivt färdmedel (buss, tåg och flyg) hittas de tre terminaler som ligger närmast startpunkten och de tre terminaler som ligger närmast målpunkten. För alla nio kombinationer av start- och målterminaler beräknas nyttan. Den kombination av start- och målterminal som har högst nytta väljs ut för att jämföras mot de andra huvudfärdmedlen.

#### 4.1.6 Irland

Ett transportmodelleringsverktyg för Irland har utvecklats relativt nyligen och blev klart för användning 2016 (Colleary, Siddle, and Hussey 2017). Modellsystemet innefattar en nationell modell och fem regionala modeller, där alla sex modellerna hänger samman. De huvudfärdmedel som modelleras är bil, kollektivtrafik, park-and-ride, gång och cykel. Park-and-ride resor genereras som ett huvudfärdmedel men delas sedan upp i två delar (bil och kollektivtrafik) och läggs ut tillsammans med respektive efterfrågematris. Flyg modelleras inte – troligen eftersom inrikes flyg torde vara i det närmaste obefintligt på Irland och i så fall utgöras av anknätningsflyg till utrikesresor. Den nationella modellen använder sig av 38 områden i Irland och beräknar efterfrågan per färdmedel mellan dessa områden för att kunna förutsäga antal resor som startar, slutar och passerar igenom de fem regionala modellerna. Efterfrågan görs om till ett format som är användbart för var och en av de regionala modellerna. Resor som startar utanför regionen antas starta vid modellens ytterkant. Resor inom zonen anpassas till regionala modellernas zonsystem som har högre zonupplösning. Detta görs olika beroende på färdmedel så att resor med kollektivtrafik i högre grad går till destinationer med en terminal.

För anslutningsresor till långväga resor innebär beskrivningen ovan att dessa modelleras inom kollektivtrafikutläggningen, vilken görs med den kommersiella programvaran CUBE Voyager. Kollektivtrafikutläggningen sker i två steg – först beräknas alla rimliga rutter mellan två zoner, sedan används valmodeller för att allokeras resor till rutterna. Rutterna kan bestå av flera olika kollektiva

färdmedel. De kollektiva färdmedel som ingår i utläggningen är Dart (Dublin Area Rapid Transit), tåg, Luas (Dublins spårvägssystem), stadsbuss, långväga buss, BRT (framtida färdmedel som inte finns på Irland idag) och Tunnelbana (framtida färdmedel som inte finns på Irland idag). En anslutningsresa till långväga tåg kan därmed ske i modellen med exempelvis stadsbuss eller spårväg. Resor till flygplats eller färjeterminal hanteras som specialfall i modellsystemet. För detta resande har en matris tagits fram baserat på en separat resvaneundersökning som ger information om resandevolym, startpunkter/destinationer och anslutningsfärdmedel. Anslutningsresande hanteras inom kollektivtrafikutläggningen i det irländska modellsystemet varför det inte kan klassificeras till någon av Typ 1–9 beskrivna i typologin i förra kapitlet.

#### 4.1.7 Danmark

Den danska nationella persontransportmodellen (Rich and Hansen 2016) är indelad i fyra olika delmodeller: nationella vardagsresor, internationella dagsresor, nationella och internationella resor längre än 24 timmar och resor som passerar igenom Danmark (transit). Mer än 99% av alla resor sker i den första delmodellen – nationella vardagsresor. I denna modell ingår huvudfärdmedlen bil, bil som passagerare, kollektivtrafik, gång och cykel. Till skillnad från Sampers är den danska nationella modellen baserad på pivoting, d.v.s. att en OD-matris för basåret justeras till ett framtida år, vilket är i likhet med den nederländska nationella modellen. På flera sätt liknar den danska modellen den nederländska. Båda modellerar persontransporter i geografiskt små länder och har därmed inte skattat olika modeller för långväga och regionala resor. Anslutningsresor kommer i denna modell hanteras i kollektivtrafikutläggningen, vilken görs med en tidtabellsbaserad assignment-modell. I nyttofunktionen för kollektivtrafik ingår restid i fordonet, antal byten och väntetid. Huruvida olika kollektiva färdmedel kan användas i en rutt beskrivs inte närmare i Rich och Hansen (2016). På samma sätt beskrivs inte heller de andra delmodellerna utöver nationella vardagsresor, och det är därför svårt att avgöra hur anslutningsresor till exempel till flygresor hanteras. En mer komplett dokumentation skulle behövas för att avgöra vilken modelltyp den danska nationella persontransportmodellen tillhör.

#### 4.1.8 Storbritannien

Rohr et al. (2013) utvecklar en modell för långväga inrikes persontransporter i Storbritannien. Med långväga avses här resor längre än 50 miles (ca 80 km). Modellen är av nästlad logit-typ som omfattar resegenerering, färdmedels- och destinationsval. De tre ärenden som ingår i modellen är arbets-/skolresor, tjänsteresor och övrigt. De huvudfärdmedel som ingår i modellen är bil, buss, tåg och flyg (flyg ingår inte för arbets-/skolresor). Anslutningstid ingår för tåg (för tjänsteresor) och flyg (för tjänsteresor och övriga resor). För flyg anges anslutningstid i generaliserade tidsenheter. Detta för att kunna ta hänsyn till anslutningskostnader för flyg utöver resan till flygplatsen. För tjänsteresor ingår utöver anslutningstid även väntetid vid flygplatsen, vilken antas vara 60 minuter. Eftersom varken val av anslutningsfärdmedel eller val av terminal modelleras explicit i nationella modellen för Storbritannien passar den inte in i någon av Typ 1–9 i föregående kapitel.

#### 4.1.9 Tyskland

Transportplaneringen i Tyskland görs lite annorlunda jämfört med många andra länder i Europa. Vart femte år görs en åtgärdsplanering där åtgärderna utvärderas av ett kommersiellt konsortium. Transportmodellerna som då utvecklas och används tillhör det kommersiella konsortiet och är inte tillgängliga för forskare. Därför har det tyska forskningsinstitutet DLR<sup>6</sup> utvecklat ett eget modellsystem (DEMO) för Tyskland för att använda för utvärdering av nationella transportåtgärder i en vetenskaplig kontext (Winkler and Mocanu 2017). I DEMO-modellen delas persontransporter in i långväga och regionala resor. Gränsen mellan långväga och regionala resor är samma som i Sampers, d.v.s. 100 km. De huvudfärdmedel som ingår i långväga modellen är bil, turistbuss, buss, tåg och flyg. Parametrarna i nyttofunktionen i färdmedels- och destinationsvalsmodellen hämtas från den senaste tyska tidsvärdesstudien (Ehreke et al. 2015). Modellen kalibreras sedan genom att justera de alternativspecifika konstanterna. Ingående termer i nyttofunktionerna är reskostnad, restid i fordonet, anslutningstid och väntetid (inte för bil). Både reskostnad och restid i fordonet har en icke-linjär formulering i modellen. Parametern för anslutningstid skiljer sig bara åt mellan bil och kollektivtrafik, d.v.s. den är samma för turistbuss, buss, tåg och flyg. Parametern för anslutningstid (i minuter) är 13% större för bil jämfört med för kollektiva huvudfärdmedel. Parametervärdena för anslutningstid är samma som i regionala modellen. I Winkler och Mocanu (2017) är det inte beskrivet hur själva anslutningstiden beräknas. Eftersom varken val av anslutningsfärdmedel eller val av terminal modelleras explicit i den tyska modellen passar den inte in i någon av Typ 1–9 i föregående kapitel.

#### 4.1.10 Ontario

Llorca et al. (2018) utvecklar en modell för långväga resor i provinsen Ontario i Kanada med huvudsyfte att analysera ett förslag på höghastighetståg. Modellskattningarna baseras på resvanedata för icke-återkommande resor längre än 40 km. De huvudfärdmedel som ingår i modellen är bil, tåg, buss och flyg. Level-of-service data för alla OD-par har hämtats från reseplaneraren Rome2Rio:s ([www.rome2rio.com](http://www.rome2rio.com)) API (application programming interface). Huvudfärdmedel i Rome2Rio-data bestäms genom hierarkin flyg, tåg, buss och bil. Om flyg ingår i resan blir huvudfärdmedlet flyg osv. Efter varandra följande segment med huvudfärdmedlet kategoriseras som huvudresa, medan allt före och efter kategoriseras som anslutningsresa. På detta sätt kan anslutningsrestid beräknas. I modellskattningen av färdmedelsvalsmodellen ingår anslutningstid tillsammans med restid och reskostnad i en impedans-variabel som antas ha samma parameter för alla huvudfärdmedel. Som anslutningstid till höghastighetståg används aggregerade värden per zon. Eftersom varken val av anslutningsfärdmedel eller val av terminal modelleras explicit i modellen för Ontario passar den inte in i någon av Typ 1–9 i föregående kapitel.

---

<sup>6</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

#### 4.1.11 Frankrike

I Frankrike har en nationell modell som kallas MODEV utvecklats sedan 1999 (Cori 2019). Senaste versionen är kalibrerad mot data från 2015. De huvudfärdmedel som modelleras för persontransporter är väg, tåg och flyg. Nätverket i modellen inkluderar även länder kring Frankrike – modellen har 342 zoner i Frankrike och 230 zoner i Europa utanför Frankrike. Dessutom ingår 156 flygplatser och 662 järnvägsstationer i modellen. I MODEV ingår anslutningsresan för tåg och flyg i en relativt avancerad utläggning och ruttval. I utläggningen tas level-of-service-matriser fram för station till station. Sedan testas flera rutter (inte bara den som startar vid den närmaste stationen) och den bästa ruten väljs<sup>7</sup>. Eftersom val av terminal (station) beskrivs mer detaljerat än att bara anta närmaste terminal, och eftersom destinationsval modelleras simultant, kvalar denna modell in som en Typ 8-modell i typologin i föregående kapitel.

#### 4.1.12 West Midlands

PRISM-modellen för West Midlands var tidig med att innehålla avancerad modellering av anslutningsfärdmedel och val av terminal för tåg och tunnelbana (Fox 2005). Modellutvecklingen drevs av att infartsparkering blev en viktig fråga och man ville kunna göra analyser av storleken på efterfrågan på parkeringsplatser vid existerande och planerade infartsparkeringar. Modellutvecklingen skedde stegvis där man först tog fram en fristående infartsparkeringsmodell som senare införlivades med huvudmodellen för färdmedels- och destinationsval. Eftersom data visade att både "park-and-ride" och "kiss-and-ride" var viktiga modelleras tre anslutningsfärdmedel i PRISM: bil som förare, bil som passagerare och övrigt (vilket inkluderar gång, cykel och buss). Data visade också att anslutningsfärdmedel varierar mycket med ärende, varför specifika anslutningsmodeller har skattats per ärende. För bil-anslutning ingår i modellen även val av terminal. Skattningen visade att det är mer troligt att resenärerna byter terminal än anslutningsfärdmedel och därför är modellen uppbyggd som en nästlad logit-modell med val av anslutningsfärdmedel ovanför valet av terminal. I implementationen av PRISM-modellen läggs anslutningsresor med bil ut på vägnätet tillsammans med resor där bil är huvudfärdmedel, så att båda typerna av bilresor bidrar till trängsel. PRISM innehåller många önskvärda funktioner när det gäller anslutningsresor, men det är en modell för regionala resor och flyg finns därmed inte med i modellen. När det gäller utläggning använder PRISM VISUM för separata bil- och kollektivtrafikutläggningar. Eftersom val av huvudfärdmedel och destination finns med tillsammans med val av anslutningsfärdmedel och val av terminal kvalar PRISM-modellen nästan in som en Typ 9-modell i typologin ovan, förutom att sista delen av resan inte modelleras detaljerat, d.v.s. val av sista terminal och färdmedel från sista terminal modelleras inte explicit.

#### 4.1.13 Sydney

Fox et al. (2011) beskriver den modellutveckling som gjorts för Sydneys strategiska modell (STM). I modellen ingår huvudfärdmedlen bil som förare, bil som passagerare, kollektivtrafik (buss och tåg), cykel, gång och taxi. Till tåg modelleras tre anslutningsfärdmedel: bil som förare, bil som passagerare och övrigt (gång och buss). Övrigt-anslutning hanteras inom kollektivtrafikutläggningen med nätverksmodellen Emme. För anslutning med bil till tåg ingår val av terminal (tågstation) i modellen. För val av terminal har en iterativ process gjorts där resultat från en tidigare modell används för att bestämma de fem mest attraktiva terminalerna (de som ger lägst generaliserad reskostnad för

---

<sup>7</sup> Hur den bästa ruten beräknas beskrivs inte, men man kan anta att det är den rutt som har lägst generaliserad kostnad. Det framgår inte heller från dokumentationen hur man identifierar det urval av rutter som utvärderas, bara att det är mer än en rutt och att rutterna inte måste starta vid närmsta station.

kombination av bilanslutning och tågresa) för varje resa, vilka sedan används som valmängd i skattningen. Detta sätt att modellera val av första terminal verkar fungera - Fox et al. (2011) rapporterar att i 88% av fallen är vald station bland de fem utvalda attraktiva stationerna. När det gäller modellering av anslutningsfärdmedel till tåg visar det sig att förbättringar behövde göras eftersom modellen gav för många korta anslutningsresor med bil och för många långa övrigt-anslutningar. Förbättringarna som genomfördes var att: bilanslutning sätts som inte tillåtet för resor kortare än 10 km, startzon-specifika effekter läggs till zoner med hög andel bilanslutning, konstanter läggs till vissa ärenden för att ta hänsyn till den lägre sannolikheten för övrigt-anslutning för de längsta tågresorna, samt att avståndstermer läggs till vissa ärenden för att återspegla reslängden för bilanslutning. Då även val av avgiftsbelagd väg ingår i STM-modellen, finns sex valdimensioner: huvudfärdmedel, kollektivt färdmedel, anslutningsfärdmedel till tåg, tågstation, destination och avgiftsbelagd väg. I modellutvecklingen valde man att först utveckla en multinomial logit-modell där alla valen skattas simultant. Först när specifikationen av nyttofunktionerna bestämts började man undersöka olika nästnings-strukturer. Trots flera begränsningar av typen att val av anslutningsfärdmedel måste ligga på samma eller lägre nivå än val av kollektivt färdmedel, fanns fortfarande 30 möjliga nästnings-strukturer. Alla dessa testades inte utan några tester gjordes och sedan analyserades resultaten och bestämdes vilken struktur som skulle testas närmast. Alla strukturella parametrar kunde inte skattas utan man fick sätta de som var nära 1 till 1. STM har många likheter med PRISM-modellen (modellerna är utvecklade av samma team): att den i huvudsak är en modell för regionala resor och flyg därmed inte ingår i modellen, samt att den nästan kvalar in som en Typ 9-modell i typologin ovan, förutom att sista delen av resan inte modelleras detaljerat, d.v.s. val av sista terminal och färdmedel från sista terminal modelleras inte explicit.

#### 4.1.14 HS2

För att utvärdera en ny höghastighetsbana i Storbritannien kallad HS2 tänkt att gå från London till West Midlands (fas 1) och vidare till Leeds och Manchester (fas 2) har en modell som kallas PLANET utvecklats (HS2 Limited 2017). PLANET består av tre delar: en multi-modal modell för långväga resor, ett antal regionala tåg-modeller som beskriver HS2:s påverkan på tågutbudet i dessa regioner, samt en hjälpmodell för att beskriva HS2:s möjliga användning som anslutningsfärdmedel till flygplatsen Heathrow. I PLANET-modellen ingår de tre huvudfärdmedlen tåg, bil och flyg och de tre ärendena pendlingsresor, tjänsteresor och övriga resor. För varje huvudfärdmedel görs en separat utläggning i nätverksmodellen Emme. Destinationsval modelleras inte explicit i modellen utan fångas enligt modellbeskrivningen indirekt i resegenereringen. I PLANET-modellen finns också en modul för val av anslutningsfärdmedel till tågstation, och val av första och sista terminal (tågstation). Denna modul är uppbyggd som en nästlad logit-modell med val mellan bil och kollektivtrafik som anslutningsfärdmedel på övre nivån och val av stations-par (första och sista terminal) på nedre nivån. Även kostnaden för anslutning tas med i beräkning av nyttorna för de två anslutningsfärdmedlen. Vilka stations-par som är möjliga att välja bestäms med hjälp av upptagningsområden kring stationerna. Upptagningsområdena är i modellen större för anslutning med bil jämfört med kollektivtrafik. Maximalt kan det finnas 20 möjliga stationer. Anslutningsfärdmedel från sista terminal modelleras inte explicit. Eftersom destinationsval inte modelleras explicit är PLANET en modell av Typ 6, men där man inte skiljer på olika färdmedel från sista terminal bara till första.

#### 4.1.15 USA

I USA har en modell för långväga resor utvecklats nyligen (Zhang et al. 2020; Zhang and Lu 2015). Modellen hanterar alla långväga resor över 50 miles (ungefär 80 km) som görs i USA under ett års tid. De huvudfärdmedel som ingår i modellen är bil, flyg och tåg. De långväga resorna delas in i tre ärenden: tjänsteresor, fritidsresor och privat ärenden. Modellen bygger på mikrosimulering av resenärer och genererar ett set av långväga resor per person, år och ärende. Anslutningsresande hanteras rudimentärt i modellen. När det gäller flyg antas anslutningsrestiden (totalen av till första terminal och från sista terminal) vara två timmar. Någon kostnad verkar inte associeras med anslutningsresan. När det gäller tåg bortser man från anslutningsresande förutom att om det finns flera stationer i en och samma zon så aggregeras kostnad och restid över alla stations-par från zon-till-zon.

#### 4.2 Syntes från internationella modellöversikten

Inom transportmodellering delar vi ofta upp modellerna i dess delar, av pedagogiska skäl eller av tekniska, efter vad delmodellen gör. Det avser exempelvis resegenerering, färdmedelsval och destinationsval. I praktiken (inom modellen) är inte valen separerade så tydligt utan nyttofunktionerna är helt eller delvis gemensamma för valen och vi skulle inte vara betjänta av att dela upp arbetet med modellutvecklingen på något sätt i delar. Litteraturoversikten visade att modeller för anslutningsresor i högre utsträckning är fristående och förefaller oftast utvecklade separat från modellerna för val av huvudfärdmedel (om en sådan modell överhuvudtaget finns och har en relation till anslutningsresemodellen). Ser man modellen för anslutningsresa som separat är det ett avgränsat arbete och man kan faktiskt tala om en enskild modell. Dessa modeller är dock begränsade i sitt användningsområde och studerar vanligtvis resande till och från flygplatser. I dessa modeller är OD-matrisen externt given och fås ofta från en långväga modell. Därmed hjälper inte denna typ av fristående anslutningsresemodell (av Typ 1, Typ 2 eller Typ 3) till att förbättra representationen av restider och reskostnader i ett modellsystem för långväga resor.

De modeller som vi identifierat som mest intressanta som förebilder kommer från modellering av höghastighetståg i Kalifornien (CHSR) och i Storbritannien (HS2) och från modellering av tåganslutning i Nederländerna (LMS). I dessa tre modeller är anslutningsresan en helt integrerad del av den övriga modellen. Fördelarna med en integrerad ansats är flera men viktigast anser vi är att man kan ha kontroll på värderingarna av tid och kostnad i modellens olika delar och därmed undvika orealistiska utfall vid förändringar. Dock har man i CHSR- och HS2-modellerna inte tagit med skattning av destinationsval, vilket görs i LMS-modellen. Även modellerna för Sydney och West Midlands är förebilder när det gäller hantering av anslutningsresor och val av terminal, men eftersom dessa i huvudsak modellerar regionala resor passar kontexten inte lika bra in på Sampers långväga modell.

Flera av de modeller från andra länder som vi beskriver i föregående avsnitt integrerar långväga och regionala resor i samma modell. En fördel med det är att anslutningsresan görs på det regionala nätverket, vilket ökar detaljeringsgraden. Indelningen i långväga och regionala resor har dock flera fördelar, då långväga resor skiljer sig tydligt från regionala i tillgängliga färdmedel, hur ofta resan görs med mera. För ett geografiskt utbrett land som Sverige ser vi därför inte någon möjlighet till att slå ihop dessa modeller. Dock är det önskvärt att använda det regionala nätverket om en anslutningsresemodell integreras i långväga modellen.

### 4.3 Sammanfattning av Kapitel 4

Kapitel 4 visar resultatet av den litteraturöversikt som gjorts inom projektet. Litteraturöversikten visar följande:

- Fokus i litteraturen är på anslutningsresor till en specifik terminal, framför allt till flygplatser.
- Dokumentation av femton modellsystem har hittats där anslutningsresor ingår i ett större modellsystem med val av huvudfärdmedel och/eller destination.
- Av dessa femton modellsystem är det sju modellsystem som hanterar anslutningsresor lite mer avancerat, d.v.s. kvalar in som Typ 4–9 modeller i typologin. Övriga åtta modellsystem hanterar anslutningsresande på ett förenklat sätt inom nätverksutläggningen för kollektivtrafik.
- Framför allt tre modellsystem sticker ut som förebilder för en vidareutveckling av anslutningsresande i Sampers, dessa är CHSR – Kaliforniens modell för intäktsberäkning av höghastighetståg, HS2 – En modell för analys av höghastighetståg i Storbritannien och LMS – Nederländernas nationella modellsystem som har en avancerad modellering av anslutning till tåg.

## 5. Lärdomar och överväganden inför en utveckling av Sampers långväga modell

I detta avsnitt diskuterar vi lärdomar från den internationella litteraturöversikten och sätter resultaten i en svensk kontext. Vi diskuterar även hur val av anslutningsfärdmedel och terminal skulle kunna göras inom nätverksutläggningen. Slutligen ger vi några rekommendationer inför framtida utveckling av Sampers långväga modell.

### 5.1 Vilka val är viktiga att vara noga med?

Det finns ett antal val i modellerna som kan hanteras med varierande ambition. Ingen modell vi hittat i litteraturöversikten når State-of-the-art i alla dimensioner vilket vore att begära mycket, frågan är vad man vinner och offerar när man försöker vara pragmatisk i modellutveckling. Om vi försöker lista några egenskaper som bör upprätthållas kan det vara till stöd vid prioritering. Nedan föreslås att Sampers långväga modell när den vidareutvecklas bör:

- Behandla långväga resor med olika huvudfärdmedel likvärdigt
- Säkerställa teoretiskt och empiriskt sunda värderingar av storheter som tid och kostnad genom systemet
- Säkerställa symmetri i nyttobeskrivningen
- Bygga på simultan skattning av val av huvudfärdmedel och destination

Likvärdig behandling av långväga resor med olika huvudfärdmedel är en förutsättning för att undvika att bygga in systematiska felkällor i modellens utfall. Hanteras långväga resor för ett huvudfärdmedel som vid utvecklingstillfället har låg andel av marknaden rudimentärt riskerar modellen att halta i prognossituationen. Ett exempel kan vara nuvarande version av Sampers långväga modell där anslutningsresan är "gratis". För tåg är det inte helt fel eftersom färdmedlet har relativt korta anslutningsresor för genomförda resor som observerats i RVU, medan det för flyg är problematiskt (Berglund and Kristoffersson 2020). I det avseendet behandlas inte långväga resor med olika huvudfärdmedel likvärdigt. Att nöja sig i modellformuleringen med att ta lätt på anslutningen till tåg med argumentet att anslutningsresan med dagens stationslokalisering är försumbar kan också straffa sig om man betraktar en framtid med höghastighetståg där potentiella stationer kan lokaliseras som flygplatser, d.v.s. externt lokaliserade på avstånd från centrum.

Modellsystem med flera olika valdimensioner riskerar att ge resultat som skapar osäkerhet om värderingarna i de olika valen inte är konsistenta. Under vissa omständigheter kan kontraintuitiva resultat dyka upp som skapar tvivel om modellens korrekthet. Det är ofta svårt att bedöma om ett "fel" är stort, vanligt eller något man på det hela taget kan bortse från. I nuvarande svenska långväga modellen skiljer värderingarna av tid mellan modellens delar samtidigt som kostnader utelämnats för anslutningsresan. Olika tid såsom tid i fordonet, väntetid etcetera ska rimligen värderas olika. Inkluderar man en modell för anslutningsresor i system tillkommer en uppsättning värderingar av tid och kostnad som då bör stå i någon rimlig relation till värderingarna i modellen för huvudresa. En lägre värdering av tid för anslutningsresan riskerar att resenärer i modellen byter huvudresans färd sätt mot en lång anslutningsresa eller väljer terminal på ett sätt som inte är rationellt. I en sammanhållen skattning av anslutningsresa och huvudresa kan man exempelvis ansätta samma kostnadsparameter i modellen för anslutningsresa som huvudresa och villkora förhållandet mellan restidsparametrarna i modellens olika delar. Vid en sammanhållen utveckling av modell för

anslutningsresa och huvudresa ges därmed möjlighet att ha kontroll över modellens inbördes värderingar.

Symmetri i nyttobeskrivningen syftar främst på modellvariabler som innehåller någon form av uppskrivningstal. Det tydligaste exemplet är kanske realinkomstutveckling som på olika sätt normalt leder till ökning av trafik, främst av dyra och snabba färdmedel. Problemet med uppskrivningstal är att man bygger in en determinism i modellerna om man inte har någon form av motsvarande broms. En broms kan vara prisökningar. Den utveckling som observerats avseende centrala priser som körkostnad för bil och kollektivtrafiktaxa är att det skett en ökning över tid. Till exempel har priset på SL:s periodkort ökat mycket kraftigt i förhållande till inflationen. De prognoserade priserna för körkostnad och kollektivtrafiktaxa har emellertid inte varit särskilt lyckosamma i förhållande till utfallet. Problemet i just det här sammanhanget är att inkomstutveckling betraktas som en naturlag medan prisökning ofta betraktas som ett politiskt beslut<sup>8</sup> eftersom exempelvis bränsleskatter är politik liksom de flesta kollektivtrafiktaxor<sup>9</sup>. Hur hantering av inkomster och dess ökning ska ske har diskuterats länge och vi tar inte den diskussionen här, men en restyp som anslutningsresor, där vissa färdmedel är dyra och därmed har en marknad som domineras av höga inkomstsegment, påverkas starkt av hur den ökningen sker. För efterfrågan på dyra anslutningsfärdmedel kommer mycket av efterfrågan att styras av hur vi antar att inkomsterna ökar och hur de fördelas. Sker det efter principen att "alla antas bli chefer"<sup>10</sup> kommer vi att riskera överskattningar av dyra anslutningsfärdmedel. Hanteringen av priser i anslutningsresan behöver sannolikt ske på annat sätt än för regionala resor. För anslutningsresande är det ett större inslag av resor som inte är subventionerade som Arlanda express och flygbussar. Det kommer också att finnas prismässigt tydligt skilda alternativ till samma destination vilket gör att det måste hanteras på annat sätt än i nuvarande modeller.

Svenska modeller inom Samperssystemet och har byggt på simultan skattning av färdmedel och destination vilket är att föredra även framöver. Skälet är främst att informationen i data används mest effektivt om skattningen sker simultant<sup>11</sup>.

## 5.2 Val av terminal och anslutningsfärdmedel i nätverksutläggningen

Typologin klassificerar modeller där anslutningsfärdmedel och val av terminal modelleras enligt samma principer som de överordnade valen av huvudsakligt färdmedel. Det betyder att valen modelleras med MNL eller NL beroende på modellstruktur. Den resulterande efterfrågan läggs sedan ut på det nätverk som valda färdmedel använder. Litteraturoversikten visar dock att flera nationella modellsystem för långväga resor låter valet av terminal och (i vissa fall) anslutningsfärdmedel avgöras inom nätverksutläggningen. I vissa sammanhang är det inte en entydig gräns mellan val av färdmedel och ruttval i nätverket. I Sveriges regionala modeller betraktas alla kollektiva färdmedel som ett, fast det i praktiken handlar om olika former av spårtrafik, bussar och båtar. Valet av typ av kollektivtrafik sker i nätverksutläggningen. Även om Sampers (egentligen EMME) inte är särskilt väl ägnad att studera val av linje och typ av kollektivt färdmedel sker ändå detta. För att modellen ska redovisa någorlunda korrekta volymer i förhållande till räkningar används kalibreringsstraff på länkar som leder till respektive kollektivt färdmedel. Ruttvalet i kollektivtrafiken som tillämpas i Sampers är

---

<sup>8</sup> Där praxis hos Trafikverket är att enbart inkludera beslutad politik.

<sup>9</sup> Här skulle man kunna invända att priser som bygger på subvention förutsätter beslut att priserna ska subventioneras.

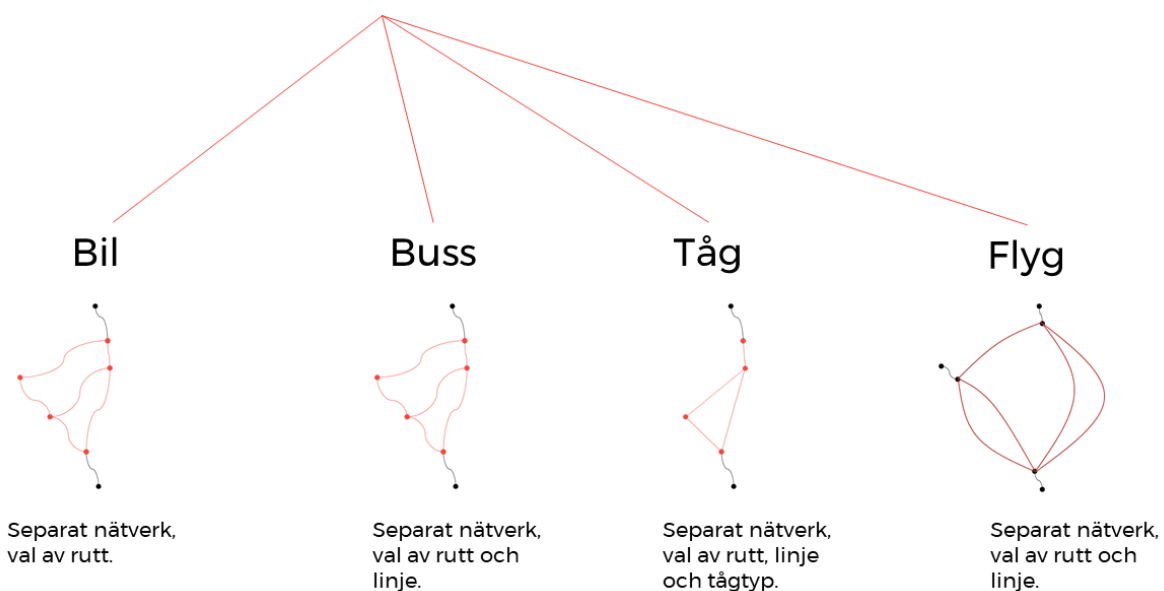
<sup>10</sup> Ökade inkomster som applicerat på dagens beteende innebär ett resebeteende som förekommer hos chefer.

<sup>11</sup> Författarna vill tacka Staffan Algiers för en initierad diskussion om detta.

enkelt och kalibreringen är grov men det är ett försök till fördjupat färdmedelsval inom modellens begränsningar.

I Sampers nationella modell sker färdmedelsvalet för enskilda kollektiva huvudfärdmedel explicit i en färdmedelsvalsmodell. För varje kollektivt färdmedel finns ett separat nätverk och det görs separata nätverksutläggningar för varje färdmedel. I nätverksutläggningen sker sedan val mellan olika bussar, tåg och flyglinjer. En viss del av färdmedelsvalet, på en mer detaljerad nivå, sker således fortfarande i nätverksutläggningen. Dit hör exempelvis valet mellan olika tågtyper så som höghastighetståg och vanliga IC-tåg. I nätverksutläggningen finns ingen påverkan från kostnader utan samtliga alternativ inom kategorin tåg har samma taxa<sup>12</sup>.

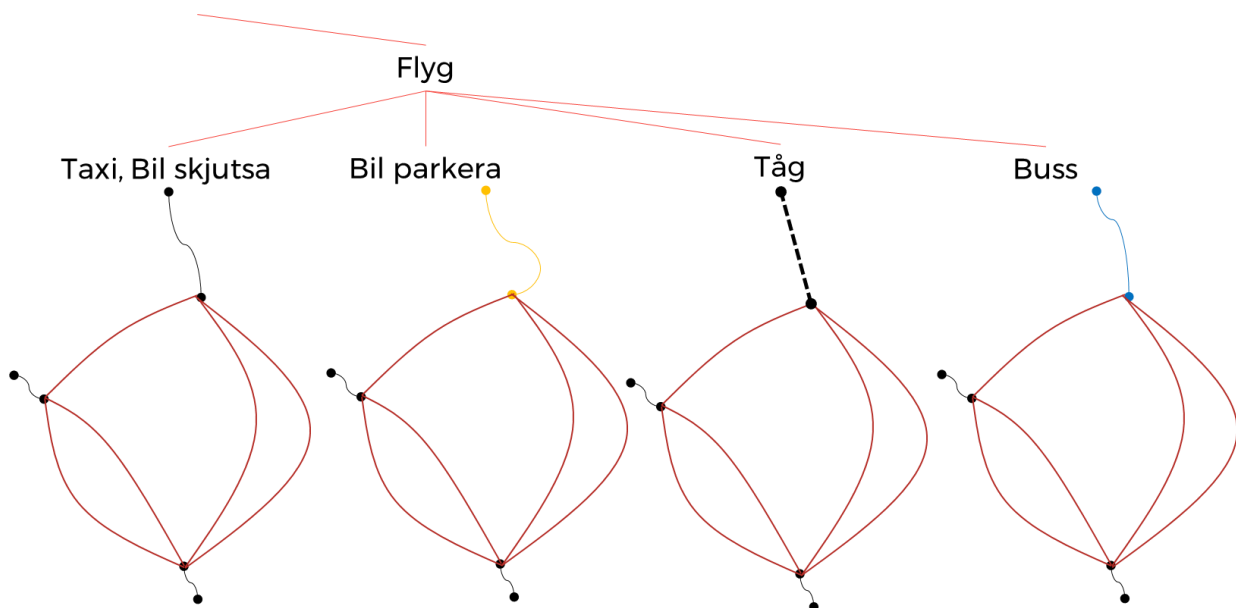
Med färdmedelsval låsta från en färdmedelsvalsmodell måste man ha hårda restriktioner i nätverksutläggningen så att inte ett annat val av färdmedel sker på den nivån. I Sampers implementation i EMME sker det genom att bygga upp olika nätverk och göra separata utläggningar (**Fel! Hittar inte referensälla.**).



Figur 12. Illustration av val av färdmedel och ruttval i Sampers.

Skulle den principen utökas till att omfatta även val av anslutningsfärdsätt ökar antalet nätverk med en faktor av antalet anslutningsfärdsätt. För flyg skulle vi behöva ett nätverk som omfattar flyglinjer, kollektivtrafik utan anslutning till flygplats som ansluter till aktuellt anslutningsfärdmedel, samt anslutningsfärdmedlet (exempelvis flygbuss). För övriga anslutningsfärdsätt till flyg skulle processen behöva upprepas med regional kollektivtrafik som ansluter till anslutningsfärdsättet. Vi skulle således riskera att hantera 10–15 ytterligare nätverk (och utläggningar), se exempel för flyg i figuren nedan.

<sup>12</sup> I nuvarande Sampers långväga modell finns möjligheten att dela upp tåg i två tågtyper som kan ha olika taxor. Denna funktion testades när modellen var ny-skattad kring år 2010 ((WSP 2011), men har inte använts på senare år. Det är oklart varför funktionen övergavs.



Figur 13. Illustration av nätverksutläggning med anslutningsfärdsätt enligt samma princip som den nu gällande.

I andra utläggningsalgoritmer finns fler möjligheter att hantera färdmedelsvalet i nätverksutläggningen och vi nämner dessa möjligheter och begränsningar. Den vanliga principen vid kollektivtrafikutläggning är att fördela resenärerna per linje baserat på frekvens som sker i EMME traditionellt. En generalisering av utläggningsmetoder som baseras på tid och frekvens är att även ta hänsyn till monetära kostnader som olika ruttval medför. En utläggning enligt generaliserad kostnad fördelat på olika tidsvärdesklasser ger en variation i ruttvalet (mellan segment) som reagerar på färdsettets kostnad, resenärssegmentets kostnadskänslighet och andra attribut som exempelvis trängsel om det inkluderas.

Ett sätt att ta än större parametrisk kontroll över nätverksutläggning är att använda Path-Size logit (PSL)<sup>13</sup> (Ben-Akiva and Bierlaire 1999) i ruttvalet. Med PSL väljs rutt med hänsyn till en nyttofunktion som kan omfatta kostnad, tid i fordonet, byten mm. Tidskomponenter och kostnad för olika alternativ kan då parametreras så att en färdmedelsfördelning kan beräknas som ett resultat av utläggningen. Något som komplicerar alternativet är de olika färdsett som omfattar bil, parkerad eller skjutsad. Sannolikheten att använda bil är delvis relaterad till nätverksvariabler och delvis relaterad till socioekonomiska egenskaper. Anslutande resa till parkering eller att bli skjutsad brukar därför läggas ut på nätverket som ett segment som beräknats med en efterfrågemodell som tar hänsyn till socio-ekonomi.

Vid modellering av valet av anslutningsfärdsätt i en valmodell är skattningen av modellens parametrar inte särskilt svårt mot bakgrund av det vi nämnt ovan. Modellutveckling är ett engångsjobb medan tillämpning är upprepat arbete liksom underhåll och förvaltning. Hänsyn vid modellutveckling måste tas till samtliga steg i modellens livscykel. Om det blir ett omfattande arbete att koppla ett ruttval hela resan dörr-till-dörr där valen sker i en valmodell är det då enklare att göra det om man flyttar val av anslutande färdmedel till nätverksutläggningen? Det borde i princip vara möjligt att gå den vägen genom att utnyttja möjligheterna med parametrerad utläggning (PSL) och "Park & Ride" i kombination med separata utläggningar för bil. Alternativet skulle bli lite av varje, ett förenklat färdmedelsval och en mer komplicerad nätverksutläggning. En praktisk mjukvarufråga är

<sup>13</sup> PSL är en logit med korrigeringsfaktor för att inte överlappande rutter felaktigt ska dominera valen.

att mer komplicerade utläggningsalgoritmer för kollektivtrafik är mer eller mindre unika för olika programvarupaket.

Svårigheterna verkar uppkomma i nätverksdimensionen när man ska modellera anslutningsresor på ett sätt som är konsistent genom samtliga valdimensioner. Går det att frikoppla nätverksutläggningen i anslutningsresan med bibehållen integritet hos data skulle det förenkla mycket.

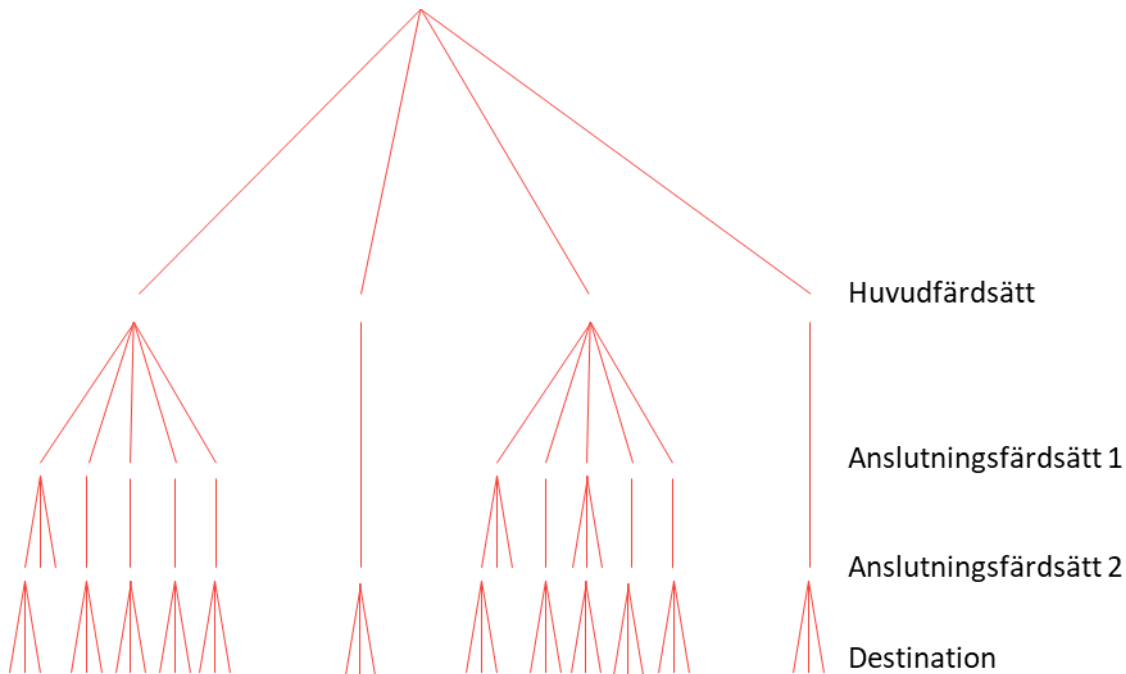
### 5.3 Rekommendationer för vidareutveckling av Sampers långväga modell

En slutsats är att utveckling av en modell för anslutningsresa inte ska vara ett arbete fristående från (vidare-) utveckling av en långväga modell utan en integrerad del. En sammanhållen utveckling ger kontroll över modellernas värderingar i olika led. Vi har i tidigare delrapport visat hur reseuppföringen för en långväga resa fördelar sig på anslutning och huvudsakligt färdmedel (Berglund and Kristoffersson 2020). Resultatet var att anslutningen är en oproportionellt stor del av den totala resans uppföring, speciellt för flyg. Att enbart modellera anslutningsresan torde vara tveksam användning av resurser, vi skulle få en modell som visserligen ger en prognos för anslutningsresandet men som inte för informationen vidare till val av huvudsakligt färdmedel

Vilka val som hör hemma under anslutningsresa kan diskuteras. Val av anslutningsfärdmedel är nog givet men hur är det med val av första och sista terminal där det finns flera realistiska alternativ? Betraktar vi höghastighetståg som normalt stannar vid ett fåtal stationer vid stora orter då behöver val av station inte vara betydelsefullt. För de flesta invånare kommer valet att vara givet. I de områden som ligger mellan tågstoppen där valet av station kan stå och väga bor inte så många så att efterfrågan påverkas nämnvärt. Om vi studerar konventionellt IC-tåg med fler stopp kan det inom ett storstadsområde finnas fler realistiska på- och avstigningspunkter där fler invånare har ett reellt val. Att då bortse från att modellera valet av station skulle kunna medföra att modellen inte hanterar en för enskilda färdmedel viktig egenskap på ett korrekt sätt. Detta behöver dock ställas emot komplexiteten och databehovet som följer med att inkludera både val av anslutningsfärdmedel och terminal i ett redan komplext modellsystem för långväga persontransporter i Sverige. En sådan modell skulle bli av Typ 9, d.v.s. den mest avancerade modelltypen i typologin i kapitel 3. Vi har bara hittat tre modeller (Nederländerna, West Midlands och Sydney) som nästan kvalar in som Typ 9-modeller. Nederländernas nationella modell har en Typ 9-modellering när det gäller anslutningsresande till tåg, medan West Midlands och Sydney gör förenklingar vid resans destination och i huvudsak är modeller för regionala resor. I dagsläget anser vi därför att det är ett stort steg att gå direkt på en fullständig Typ 9-modell. Två intressanta alternativ är en förenklad Typ 9-modell eller en Typ 7-modell.

Ett möjligt steg på vägen är en Typ 7-modell där en klassisk Sampers-modell utökas med val av anslutningsfärdmedel till första terminal och från sista terminal. Modelltypen svarar inte på frågan om vilken terminal som väljs. En lösning kan vara som i nuvarande Sampers där man hanterar terminalval inom nätutläggningen genom att en mycket låg hastighet ansätts på anslutningslänkar, vilket i princip alltid leder till att den närmsta terminalen väljs. Modell för val av anslutningsfärdmedel i en Typ 7-modell kan byggas upp på olika sätt. Om någon form av bil (förare till parkering eller skjutsad) och/eller taxi är ett vanligt anslutningsfärdmedel är det svårt att implementera valet av anslutningsfärdmedel inom kollektivtrafikutläggningen. Den tidigare delrapporten som ger en deskriptiv analys av anslutningsresandet i Sverige (Berglund and Kristoffersson 2020) visar att ca 80 % av anslutningsresorna från hemmet till flygplats och 30 % från hemmet till tågstation sker med bil eller taxi. Det blir i detta fall enklare att modellera val av anslutningsfärdmedel som en logit-modell inom den nästlade logit-strukturen för val av

huvudfärdmedel och destination. Exempel på hur en sådan NL-trädstruktur skulle kunna se ut ges i Figur 14. I figuren är vissa val av huvudfärdmedel inte förknippade med någon anslutningsresa och det är val av anslutande färdmedel till två terminaler. Trädstrukturen kommer att variera med tillgängliga alternativ på respektive destination.



Figur 14. Trädstruktur för modell med val av huvudfärdmedel, anslutande färdmedel (vid start och mål) och destinationsval.

Val av anslutningsfärdmedel skiljer sig mellan olika ärenden. I nuvarande långväga Sampers-modell finns ärendena tjänsteresor, arbetsresor och privata resor. Berglund och Kristoffersson (2020) visar att utöver bil så är tåg det dominerande huvudfärdmedlet för arbetsresor och vanliga anslutningsfärdsätt till arbetsresor med tåg är gång och cykel. För tjänsteresor är flyg och tåg dominerande som huvudfärdmedel utöver bil, och anslutning till och från flyg dominerar för tjänsteresor helt av bil och taxi, medan anslutning till tåg för tjänsteresor görs med varierande färdmedel. Eftersom den nästlade logit-modellen skattas per ärende (tjänsteresor, arbete, privat) kommer dessa skillnader i anslutningsfärdmedel för olika ärenden att fångas upp.

I nyttofunktionen för val av anslutningsfärdmedel bör reskostnad och restid för anslutningsresan ingå. Vid skattning krävs även data för reskostnader och restider för de alternativa anslutningsfärdmedel som inte valts. Dessa bör kunna genereras med Sampers regionala modell, men det kan vara ett omfattande arbete. Kostnadsdata kommer att kompliceras av att det för exempelvis buss till Arlanda finns flera olika kostnader, dels för SL-buss och dels för flygbuss. Vid genomgång av litteraturen identifierades utöver restid och reskostnad, individinkomst, bagage och sällskapsstorlek som tre förklaringsvariabler som ofta blivit signifikanta vid skattning av anslutningsresemodeller internationellt. Vid skattning av anslutningsresemodell för svenska förhållanden kan dessa typer av variabler testas. Kostnadsparametrar uppdelade på inkomstklasser och dummy för sällskapsstorlek finns redan i nuvarande långväga Sampers och kan testas även för valet av anslutningsfärdmedel. Bagage är en variabel som kan vara svår att dataförsörja. Som tidigare nämnts kan det vara bra att sätta upp restriktioner för anslutningsparametrarnas värden jämfört med parametrarna vid val av huvudfärdmedel.

Skälet att inte använda en Typ 9-modell är att det med den modellstruktur som normalt används i Sverige (simultan skattning av färdmedel och destination) blir väldigt många alternativ i valmängden om man lägger till både val av terminal och anslutningsfärdmedel (i en utbyggd nästlad struktur). En förenkling som kan övervägas är att använda en algoritm som föreslagits av Leonid Engelson. Algoritmen bygger på beräkningar i flera steg där det första avser en beräkning av nyttan i det regionala nätet av anslutningsresor per färdmedel och terminal. I ett nästa steg kodas kostnaden från varje centroid till terminaler på länkar som representerar de aggregerade resmöjligheterna och en genomsnittlig kostnad. Därefter kan reskostnader beräknas för huvudfärdmedel via terminal som tar hänsyn till kostnad för anslutningsresa. Beskrivningen här är grovt förenklad, algoritmen behöver studeras närmare och en implementation behöver prövas på ett avgränsat material så att man kan studera dess egenskaper.

#### 5.4 Sammanfattning av Kapitel 5

I Kapitel 5 har vi diskuterat lärdomar från litteraturöversikten och överväganden som behöver göras inför vidareutveckling av Sampers långväga modell. Diskussionen landar i fyra viktiga principer att tänka på under vidareutvecklingen. Dessa principer är:

- Behandla långväga resor med olika huvudfärdmedel likvärdigt, dvs. att en ungefär lika stor del av hela resans kostnad och restid fångas upp i modellen oberoende av huvudfärdmedel.
- Säkerställa teoretiskt och empiriskt sounda värderingar av storheter som tid och kostnad genom systemet, dvs. att undvika icke-intuitiva utfall där till exempel anslutningstiden värderas lägre än restiden med huvudfärdmedel vilket riskerar att leda till orimligt långa anslutningsresor.
- Säkerställa symmetri i nytto beskrivningen, dvs. att ta hänsyn till faktorer som minskar nyttan med ingående färdmedel likväl som egenskaper som ökar nyttan.
- Bygga på simultan skattning av val av huvudfärdmedel och destination.

Vidare beskrivs tre möjliga inriktningar för vidareutveckling av modellen vars för och nackdelar bör övervägas av Trafikverket:

- 1) Att testa skattning av en Typ 7-modell, dvs. en Sampers-modell utökad med val av anslutningsfärdmedel. Denna modell skulle i så fall vara av nästlad-logit-typ med två ytterligare nivåer i logit-trädet jämfört med dagens Sampers. De två nivåerna motsvarar val av anslutningsfärdmedel till första terminal och val av anslutningsfärdmedel från sista terminal. För att hålla det enkelt skulle terminal-valet i denna modell ske på samma sätt som idag, dvs. att närmsta terminal väljs genom en låg hastighets på anslutningsnätet i kollektivtrafikutläggningen.
- 2) Att testa skattning av en förenklad Typ 9-modell enligt den algoritm som föreslagits av Leonid Engelson. I denna förenklade Typ 9-modell används regionala nätet för att beräkna aggregerade resmöjligheter och genomsnittlig monetär kostnad från centroid till terminal. Dessa kostnader kodas på anslutningslänkar till terminaler i långväga modellen och val av huvudfärdmedel kan sedan göras med hänsyn tagen till generaliserad kostnad för anslutningsresa.
- 3) Att testa implementering av en mer avancerad kollektivtrafikutläggnings-algoritm, till exempel genom att använda Path-Size Logit (PSL) i ruttvalet. Med PSL väljs rutt med hänsyn till en nyttofunktion som kan omfatta kostnad, tid i fordonet, byten mm. Tidskomponenter och kostnad för olika alternativ kan parametreras så att en färdmedelsfördelning kan beräknas som ett resultat av utläggningen.

## Acknowledgement

Denna rapport har skrivits inom ramen för forskningsprojektet "Anslutningsresor i Sampers långväga modell" finansierat av Trafikverket (TRV 2019/6553).

## Referenser

- ACRP. 2008. *Airport Ground Access Mode Choice Models*. Transportation Research Board.
- . 2015. *Integrating Aviation and Passenger Rail Planning*. Transportation Research Board.
- Akar, Gulsah. 2013. 'Ground Access to Airports, Case Study: Port Columbus International Airport'. *Journal of Air Transport Management* 30: 25–31.
- Ameen, Nayeem, and Camille Kamga. 2013. 'Forecast of Airport Ground Access Mode Choice with the Incremental Logit Model: Case Study of the AirTrain at John F. Kennedy International Airport'. *Transportation Research Record* 2336 (1): 97–104.
- Aultman-Hall, Lisa, Chester Harvey, James Sullivan, and Jeffrey J. LaMondia. 2018. 'The Implications of Long-Distance Tour Attributes for National Travel Data Collection in the United States'. *Transportation* 45 (3): 875–903.
- Ben-Akiva, Moshe and Bierlaire, Michel, *Discrete Choice Methods and Their Applications to Short Term Travel Decisions*, Handbook of Transportation Science, 1999.
- Bergantino, Angela S., Mauro Capurso, Thijs Dekker, and Stephane Hess. 2019. 'Allowing for Heterogeneity in the Consideration of Airport Access Modes: The Case of Bari Airport'. *Transportation Research Record*, 0361198118825126.
- Berglund, Svante, and Ida Kristoffersson. 2020. 'Anslutningsresor: En Deskriptiv Analys (Connection Trips: A Descriptive Analysis)'. 2020:3. Working Papers in TransportEconomics. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1416370/FULLTEXT01.pdf>.
- Beser, Muriel, and Staffan Algers. 2002. 'SAMPERS—The New Swedish National Travel Demand Forecasting Tool'. In *National Transport Models*, 101–118. Springer. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-04853-5\\_9](http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-04853-5_9).
- Biolini, Sebastian, Paolo Malighetti, Renato Redondi, and Paolo Deforza. 2019. 'Access Mode Choice to Low-Cost Airports: Evaluation of New Direct Rail Services at Milan-Bergamo Airport'. *Transport Policy* 73: 113–124.
- Budd, Thomas, Tim Ryley, and Stephen Ison. 2014. 'Airport Ground Access and Private Car Use: A Segmentation Analysis'. *Journal of Transport Geography* 36: 106–115.
- Cambridge Systematics. 2016. 'California High-Speed Rail Ridership and Revenue Model'. [https://www.hsr.ca.gov/docs/about/ridership/CHSR\\_Ridership\\_and\\_Revenue\\_Model\\_BP\\_Model\\_V3\\_Model\\_Doc.pdf](https://www.hsr.ca.gov/docs/about/ridership/CHSR_Ridership_and_Revenue_Model_BP_Model_V3_Model_Doc.pdf).
- Colleary, Barry, David Siddle, and Paul Hussey. 2017. 'Developing Ireland's Regional Modelling System – an Overview'. In *Proceeding from the European Transport Conference*. Barcelona. <https://aetransport.org/public/downloads/hOakI/5411-59df672ed88d8.pdf>.
- Cori, M. 2019. 'MODEV the French National Transport Model'. Presented at the Interurban transport models: the French case and international examples, June 19.
- Debrezion, Ghebreegziabiher, Eric Pels, and Piet Rietveld. 2009. 'Modelling the Joint Access Mode and Railway Station Choice'. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (1): 270–283.
- Ehreke, Ilka, Stephane Hess, Claude Weis, and Kay W. Axhausen. 2015. 'Reliability in the German Value of Time Study'. *Transportation Research Record* 2495 (1): 14–22.
- Ericsson, Axel. 2020. 'Modellering Av Färdsättsval För Anslutningsresor i Regioner Med Flera Flygplatser'. Examensarbete inom samhällsbyggnad KTH.

- Fox, James. 2005. 'Modelling Park-and-Ride in the PRISM Model for the West Midlands Region'. In *European Transport Conference, 2005 Association for European Transport (AET)*.
- Fox, James, Andrew Daly, and Hugh Gunn. 2003. *Review of RAND Europe's Transport Demand Model Systems*. Santa Monica, CA: Rand Corporation.  
[http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1694.html](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1694.html).
- Fox, James, Andrew Daly, Bhanu Patrini, and Frank Milthorpe. 2011. 'Extending the Sydney Strategic Model to Represent Toll Road and Park-and-Ride Choices'. In *Australasian Transport Research Forum*. Citeseer.
- Garmendia, M., JM de Ureña, and J. M. Coronado. 2011. 'Long-Distance Trips in a Sparsely Populated Region: The Impact of High-Speed Infrastructures'. *Journal of Transport Geography* 19 (4): 537–551.
- Gelhausen, Marc Christopher, and Dieter Wilken. 2006. 'Airport and Access Mode Choice: A Generalized Nested Logit Model Approach'.
- Gupta, Surabhi, Peter Vovsha, and Robert Donnelly. 2008. 'Air Passenger Preferences for Choice of Airport and Ground Access Mode in the New York City Metropolitan Region'. *Transportation Research Record* 2042 (1): 3–11.
- Hess, Stephane, and John W. Polak. 2006. 'Airport, Airline and Access Mode Choice in the San Francisco Bay Area'. *Papers in Regional Science* 85 (4): 543–567.
- HS2 Limited. 2017. 'High Speed Two (HS2) Phase Two - PLANET Framework Model (PFM v7.1) Model Description'. CS866\_B.  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/628527/CS866\\_B\\_PFMv7.1\\_Model\\_Description\\_Report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/628527/CS866_B_PFMv7.1_Model_Description_Report.pdf).
- Joksimovic, Dusica, and Rik van Grol. 2012. 'New Generation of Dutch National and Regional Models—An Overview of Theory and Practice'. In *European Transport Conference*.
- Jou, Rong-Chang, David A. Hensher, and Tzu-Lan Hsu. 2011. 'Airport Ground Access Mode Choice Behavior after the Introduction of a New Mode: A Case Study of Taoyuan International Airport in Taiwan'. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 47 (3): 371–381.
- Llorca, Carlos, Joseph Molloy, Joanna Ji, and Rolf Moeckel. 2018. 'Estimation of a Long-Distance Travel Demand Model Using Trip Surveys, Location-Based Big Data, and Trip Planning Services'. *Transportation Research Record*, 0361198118777064.
- Moeckel, Rolf, Rhett Fussell, and Rick Donnelly. 2015. 'Mode Choice Modeling for Long-Distance Travel'. *Transportation Letters* 7 (1): 35–46.
- Pel, Adam J., Nick H. Bel, and Marits Pieters. 2014. 'Including Passengers' Response to Crowding in the Dutch National Train Passenger Assignment Model'. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 66: 111–126.
- Rekdal, J., T. Hamre, S. Flügel, C. Steinsland, A. Madslie, B. Grue, W. Zhang, and O. Larsen. 2014. 'NTM6 - TRANSPORTMODELLER FOR REISER LENGRE ENN 70 KM'. <https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/transportokonomi/1414-ntm6---transportmodeller-for-reiser-lengre-enn-70-km/1094/3202/>.
- Rich, Jeppe, and Christian Overgaard Hansen. 2016. 'The Danish National Passenger Model—Model Specification and Results'. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 16 (4).
- Roh, Hyuk-Jae. 2013. 'Mode Choice Behavior of Various Airport User Groups for Ground Airport Access'. *The Open Transportation Journal* 7 (1).
- Rohr, Charlene, James Fox, Andrew Daly, Bhanu Patrini, Sunil Patil, and Flavia Tsang. 2013. 'Modeling Long-Distance Travel in Great Britain'. *Transportation Research Record* 2344 (1): 144–151.

- Tam, Mei Ling, Mei Lam Tam, and William HK Lam. 2005. 'Analysis of Airport Access Mode Choice: A Case Study in Hong Kong'. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 708–723.
- Trafikverket. 2018. 'Sampers 3.4 Användarhandledning (Sampers 3.4 Manual - In Swedish)'. 2018:189.  
[https://www.trafikverket.se/contentassets/c700bc932efd44a4b104b2cbb2a0e79e/sampers3\\_4\\_anvandarhandledning\\_180401.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/c700bc932efd44a4b104b2cbb2a0e79e/sampers3_4_anvandarhandledning_180401.pdf).
- Wen, Chieh-Hua, Wei-Chung Wang, and Chiang Fu. 2012. 'Latent Class Nested Logit Model for Analyzing High-Speed Rail Access Mode Choice'. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 48 (2): 545–554.
- Winkler, Christian, and Tudor Mocanu. 2017. 'Methodology and Application of a German National Passenger Transport Model for Future Transport Scenarios'. In *European Transport Conference, Barcelona, Spain*.
- WSP. 2011. 'Höghastighetståg - Modellutveckling, Forskningsrapport (High Speed Train - Model Development, Research Report)'.  
[http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer\\_001401\\_001500/Publikation\\_001404/HHT%20rapport\\_110622.pdf](http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_001401_001500/Publikation_001404/HHT%20rapport_110622.pdf).
- . 2015. 'Prognos För Marktransporter till Arlanda (Forecast of Ground Transport to Arlanda Airport)'.  
<https://www.trafikverket.se/contentassets/110622/prognos-for-marktransporter-till-arlanda-2015.pdf>.
- Young, Marcus, and Simon Blainey. 2018. 'Railway Station Choice Modelling: A Review of Methods and Evidence'. *Transport Reviews* 38 (2): 232–251.
- Zhang, Lei, Frank Southworth, Chenfeng Xiong, and Anthon Sonnenberg. 2012. 'Methodological Options and Data Sources for the Development of Long-Distance Passenger Travel Demand Models: A Comprehensive Review'. *Transport Reviews* 32 (4): 399–433.