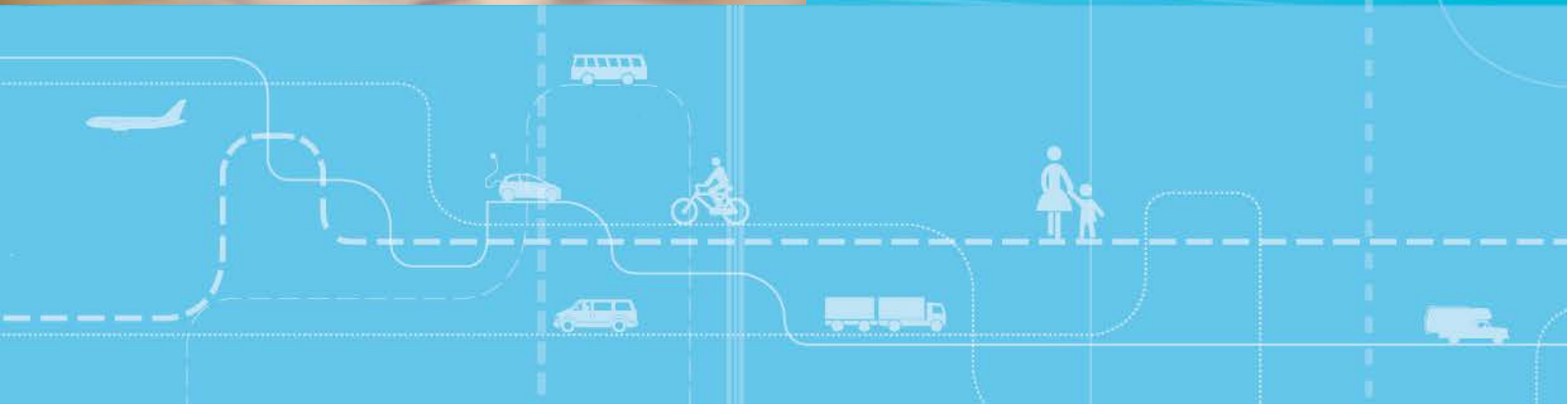


## Vurdering av metoder og modeller for å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, transportetterspørsel og infrastruktur i byområder





# Vurdering av metoder og modeller for å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, transportetterspørsel og infrastruktur i byområder

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

---

**Tittel:** Vurdering av metoder og modeller for å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, transporttetterspørsmål og infrastruktur i byområder

**Forfattere:** Bjørn Gjerde Johansen  
Wiljar Hansen  
Aud Tennøy

**Dato:** 04.2015

**TØI rapport:** 1415/2015

**Sider** 96

**ISBN Elektronisk:** 978-82-480-1637-3

**ISSN** 0808-1190

**Finansieringskilde:** Statens vegvesen Vegdirektoratet

**Prosjekt:** 4081 - Modeller for arealutvikling, infrastruktur og transporttetterspørsmål i byområder

**Kvalitetsansvarlig:** Kjell Werner Johansen

**Emneord:** Arealutvikling  
Konsekvensanalyser  
LUTI-modeller  
Transportmodeller

#### Sammendrag:

Målet med denne rapporten er todelt: (1) å presentere en oppdatert litteraturoversikt av LUTI (Land-Use and Transport Interaction) -modeller, med et mål om å identifisere gjeldende kunnskap og gjeldende klasser av LUTI-modeller og hva disse er i stand til å gjøre; og (2) å sammenligne LUTI-modeller med andre metoder og modeller når det kommer til muligheter for å analysere forholdet mellom arealbruk og transport, basert på evalueringskriterier spesielt utformet for å fange modellens egnethet for implementering i Norge. Rapporten viser at LUTI-modeller er egnet for å predikere endringer i urbane systemer over tid, både fordi samspillet mellom transport og arealbruk blir tatt eksplisitt hensyn til i modellene, og fordi det vil være mulig å beregne brukernytte til nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger basert på modellens prognoser og scenariokjøringer.

**Title:** Evaluation of models and methods for analyzing the interaction between land-use, infrastructure and traffic demand in urban areas

**Author(s):** Bjørn Gjerde Johansen  
Wiljar Hansen  
Aud Tennøy

**Date:** 04.2015

**TØI report:** 1415/2015

**Pages** 96

**ISBN Electronic:** 978-82-480-1637-3

**ISSN** 0808-1190

**Financed by:** The Norwegian Public Roads Administration

**Project:** 4081 - Modeller for arealutvikling, infrastruktur og transporttetterspørsmål i byområder

**Quality manager:** Kjell Werner Johansen

**Key words:** Land use  
Transport appraisal  
Transport Models

#### Summary:

The aim of this report is two-fold: (1) to present an updated literature review on LUTI (Land-Use and Transport Interaction) models, with the intention of identifying recent trends in land use modelling and the capabilities of state of the art LUTI models; and (2) to contrast and compare state of the art LUTI approaches to other approaches for analysing the relationship between land-use and transport, based on evaluation criteria meant to capture the suitability for implementation in Norway. The report identifies LUTI models as suitable to predict the changes in urban systems over time, both because the feedback cycle between land-use and transport is taken explicitly into account in the models and because it will be possible to calculate user benefits for cost-benefit analyses based on forecasts and scenario evaluations.

Language of report: Norwegian

---

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

---

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

På oppdrag fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet, TMT, Transportplanseksjonen har TØI vurdert metoder og modeller for å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transportetterspørsel i byområder.

Forsker Bjørn Gjerde Johansen (TØI) har vært hovedforfatter av rapporten, mens Wiljar Hansen (TØI) og Aud Tennøy (TØI) har skrevet deler av innholdet.

Lars-Gøran Mattsson og Joel Franklin fra Centrum for Transport Studier (CTS)(Sverige) har bidratt med relevant litteratur, faglige diskusjoner og kvalitetssikring av arbeidet.

Prosjektleder har vært Wiljar Hansen (TØI).

Assisterende instituttdirektør Kjell Werner Johansen og cand oecon Harald Minken har stått for kvalitetssikringen hos TØI, mens det avsluttende layoutarbeidet er utført av sekretær Trude Rømming.

Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Guro Berge.

Oslo, april 2015

Transportøkonomisk institutt

*Gunnar Lindberg*  
*direktør*

*Kjell Werner Johansen*  
*ass direktør*



# Innhold

## Sammendrag

## Summary

<b>Begrepsavklaring .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Innledning.....</b>	<b>4</b>
1.1 Bakgrunn.....	4
1.2 Problemstilling, tilnærming og metode .....	5
1.3 Avgrensning .....	5
1.4 Rapportens oppbygging.....	5
<b>2 Kunnskapsstatus: Samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transporttetter i byområder.....</b>	<b>6</b>
2.1 Innledning.....	6
2.2 Biltrafikkmengder.....	7
2.3 Arealbruk: tetthet og lokalisering.....	8
2.4 Utvikling av transportsystemene.....	9
2.5 Oppsummering.....	11
2.6 Gods- og næringstrafikk.....	14
<b>3 LUTI –modeller .....</b>	<b>16</b>
3.1 Innledning.....	16
3.2 Litt historie .....	16
3.3 Rammeverk .....	17
3.3.1 Feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk .....	17
3.3.2 Aktører og markeder.....	19
3.3.3 Urbane prosesser .....	20
3.3.4 Databehov .....	21
3.4 Klassifiseringer av LUTI-modeller .....	23
3.4.1 Interaction-location versus location-interaction .....	27
3.4.2 Statistiske versus (kvasi-)dynamiske modeller.....	28
3.4.3 Aggregerte versus agentbaserte, mikrosimulerte modeller.....	29
3.5 26 LUTI-modeller oppsummert og sammenlignet .....	30
3.5.1 Inkluderte prosesser.....	33
3.5.2 Modellstruktur .....	35
3.5.3 Teoretisk fundament.....	35
3.5.4 Modelleringsteknikker.....	36
3.5.5 Dynamikk .....	37
3.6 Oppsummering.....	37
<b>4 Analyse .....</b>	<b>42</b>
4.1 Vurderingskriterier .....	42
4.1.1 Kriterier for modellenes evne til å beskrive samspillseffekter.....	43
4.1.2 Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet	44
4.1.3 Modellenes egnethet til bruk i norske byområder .....	44
4.2 Analyse av metoder og modeller.....	45
4.2.1 A: Dagens transportmodeller .....	45
4.2.2 B: Dagens transportmodeller med eksogene arealbruksendringer	47
4.2.3 C: GIS-baserte planleggingsverktøy: ATP-modeller .....	48
4.2.4 D: Aggregert arealbruksmodell koblet til RTM (LUTI) .....	52

4.2.5	E: Disaggregert LUTI-modell: UrbanSim-MatSim .....	60
4.3	Komparativ analyse.....	67
<b>5</b>	<b>Mulighet for å inkludere godstransport i LUTI-modeller.....</b>	<b>73</b>
5.1	Bakgrunn – gods i en tilpasset firetrinns transportmodell .....	73
5.2	Muligheter i Norge .....	75
5.2.1	Mulighet for å inkludere godstransport i en transportmodul .....	75
5.2.2	Mulighet for å inkludere godstransport i en arealbruksmodul.....	77
5.2.3	Oppsummering og anbefalinger.....	77
<b>6</b>	<b>Oppsummering og anbefalinger.....</b>	<b>79</b>
6.1	Dagens LUTI-modeller: en litteraturstudie .....	80
6.2	Forslag til en norsk LUTI-modell.....	81
6.3	Mulighet for å inkludere godstransport.....	82
6.4	Generelle anbefalinger og forslag til videre arbeid .....	83
6.4.1	Hva slags metode/modell burde tas i bruk?.....	84
6.4.2	Før det skal utvikles en LUTI-modell .....	85
6.4.3	Om det skal utvikles en LUTI-modell .....	86
	<b>Referanser .....</b>	<b>88</b>



**Sammendrag:**

# Vurdering av metoder og modeller for å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, transporttetterspørsmål og infrastruktur i byområder

TØI rapport 1415/2015

Forfattere: Bjørn Gjerde Johansen, Wiljar Hansen og Aud Tennøy  
Oslo 2015 96 sider

Transportøkonomiske institutt (TØI) har, på oppdrag fra Vegdirektoratet og med bistand fra Centrum for Transport Studier (CTS) i Sverige, vurdert metoder og modeller for analyse av samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transporttetterspørsmål i byområder. Rapporten viser at LUTI-modeller (Land-Use and Transport Interaction) er egnet for å predikere endringer i urbane systemer over tid, både fordi samspillet mellom transport og arealbruk blir tatt eksplisitt hensyn til i modellene, og fordi det vil være mulig å beregne brukernytte til nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger basert på modellens prognoser og scenariokjøring.

Målet med denne rapporten er todelt: (1) å presentere en oppdatert litteraturgjennomgang av LUTI-modeller, med et mål om å identifisere gjeldende kunnskap og gjeldene klasser av LUTI-modeller og hva disse er i stand til å gjøre; og (2) å sammenligne LUTI-modeller med andre metoder og modeller når det kommer til muligheter for å analysere forholdet mellom arealbruk og transport, basert på evalueringskriterier spesielt utformet for å fange modellens egnethet for implementering i Norge. Siden LUTI-modeller både er krevende å utvikle og bruke, foreslår og sammenligner vi flere alternativer med varierende kompleksitet – fra en fullskala LUTI-modell, til en metode for å beregne brukernytte fra dagens transportmodeller med eksogene endringer i arealbruken på.

## Bakgrunn

Samordnet areal- og transportplanlegging har vært en viktig strategi for å redusere transportbehov og biltrafikk gjennom flere tiår. Dette har blant annet vært knyttet til målsettinger om bedre bo- og bymiljø, mindre kø og forsinkelser i trafikken, bedre tilgjengelighet for alle, redusert arealforbruk og reduserte klimagassutslipp. De siste årene har dette blitt aktualisert blant annet gjennom Stortingets klimamelding, målformuleringer i Nasjonal Transportplan (NTP), Miljøverndepartementets prosjekt *Framtidens byer* og klare målformuleringer i fylkesplaner og kommuneplaner. Her sies det at transportveksten i byene skal tas med kollektivtrafikk, sykkel og gange. Dette skal i hovedsak oppnås ved en mer konsentrert arealutvikling som fortetting i tunge kollektivknutepunkter, styrking av kollektivtrafikken, fysisk tilrettelegging for sykling og gåing og bruk av restriktive virkemidler mot biltrafikken.

I dag blir imidlertid både generelle trafikkprognoser og prognoser til konsekvensutredninger og nytte-kostnadsanalyser av forskjellige tiltak som regel beregnet ved hjelp av konvensjonelle, firetrinns transportmodeller. I disse firetrinns transportmodellene vil ikke arealbruken være påvirket av endringer i transporttilbudet. Dette fører til at prognosene vil inneholde en skjevhet, fordi individers og bedrifters reaksjon når det kommer til arealbruk etter at et tiltak er gjennomført ikke blir tatt hensyn til.

Ved å bruke ekspertkunnskap for å si noe om hvordan arealbruken vil endre seg av et gitt tiltak, kan denne endringen bli lagt inn eksogent i transportmodellene. Med dagens modeller er det dermed mulig å prognostisere trafikk gitt den nye arealbruken. Det er imidlertid ikke mulig å bruke gjeldende metoder for å beregne brukernytte av et tiltak i en situasjon hvor arealbruken er endret. Dette er fordi situasjoner med endret arealbruk krever flere komponenter i brukernytten enn kun trafikantnyttene. En LUTI-modell blir derfor foreslått som et mer realistisk alternativ for å predikere endringer i urbane systemer over tid, både fordi spillet mellom transport og arealbruk blir tatt eksplisitt hensyn til, og fordi det vil være mulig å beregne brukernytte til nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger basert på de nye prognosene. Slike modeller er imidlertid krevende å utvikle og bruke. Derfor foreslår og sammenligner vi flere alternativer med varierende kompleksitet – fra en fullskala LUTI-modell, til en metode for å beregne brukernytte fra dagens transportmodeller med eksogene endringer i arealbruken på.

## Dagens LUTI-modeller

En litteraturstudie er gjennomført basert på metodikken fra Wegener (2004); 26 av dagens LUTI-modeller ansett som mest relevante er evaluert. I tråd med Berglund (2014) observerer vi tre hovedtrender når det kommer til LUTI-modeller:

- *Trend 1:* Fra makro til mikrosimulering (fra en ovenfra-og-ned-tilnærming til en nedenfra-og-opp-tilnærming). Fra statiske, aggregerte arealbruksmodeller, til komplekse, agentbaserte mikrosimuleringsmodeller. Agentbaserte modeller ser ut til å vokse i popularitet i områder med komplekse planleggingsutfordringer.
- *Trend 2:* Som en mulig reaksjon til utviklingen av mer komplekse modeller, er det en parallell strømning mot å bygge enklere, raskere og mer visuelt tilgjengelige planleggingsverktøy. Slike verktøy er basert på mindre data-intensive og mindre teoririke tilnærminger (regelbaserte eller GIS-baserte verktøy).
- *Trend 3:* Det er også en økende bevissthet rundt viktigheten av en integrert tilnærming for arealplanlegging. Det er imidlertid også en oppfatning blant mange beslutningstakere om at de enkleste LUTI-modellene ikke egner seg for alle typer scenarioanalyser, mens de mest komplekse LUTI-modellene trenger ekspertkunnskap som beslutningstakerne selv ikke har.

Vi argumenterer med at dette ikke burde bli tolket som en innvending mot LUTI-modeller generelt, men heller som et tegn på hvor komplekse urbane systemer er, og hvor vanskelig det er å få oversikt over årsakssammenhengene som spiller inn. Denne kompleksiteten gjør ikke LUTI-modeller mindre relevante, men viser hvor viktig det er å være klar over forutsetningene og manglene til modellene som blir brukt.

Følgelig er disse tre trendene med på å belyse hva som ser ut til å være den største utfordringen når det kommer til integrert arealbruks- og transportmodellering; basert på brukerbehovet og krav til analysen, hva er det mest hensiktsmessige kompleksitetsnivået å kreve av en modell? Denne utfordringen er med på å motivere den neste delen av rapporten.

## **En sammenligning av metoder og modeller for å analysere samspillet mellom transport og arealbruk**

Basert på litteraturstudien foreslår vi to versjoner av LUTI-modeller vi mener har potensiale for å bli implementert i Norge, og sammenligner disse med andre metoder og modeller. Disse fem scenariene er kort oppsummert under:

**Scenario A – Dagens firetrinns transportmodeller med eksogen arealbruk:** Dette er nullscenariet. I dagens situasjon er det mulig å beregne endringer i brukernytte som følge av endringer i transportsystemet når arealbruken holdes uendret. Det er også mulig å prognostisere trafikk i situasjoner hvor arealbruken endres eksogent. Det er imidlertid ikke mulig å beregne brukernytte i situasjoner hvor arealbruken er endret.

**Scenario B – En metodikk for å beregne brukernytte fra eksogene endringer i arealbruken for dagens transportmodeller:** For å beregne brukernytten i situasjoner hvor arealbruken er endret eksogent basert på ekspertvurderinger, foreslår vi en metodikk basert på Minken et al. (2003). Når arealbruken endres oppstår det to nye kilder til brukernytte (i tillegg endringen i generaliserte transportkostnader); en destinasjonsnytte (nytten av å ha mulighet til å endre destinasjonsvalg basert på det nye arealbruksmønsteret) og en lokalitetsnytte (nytten av å ha mulighet til å flytte til en ny destinasjon). Hovedfordelen med metodikken beskrevet i Minken et al, er at den skisserer hvordan disse nyttekomponentene kan bli beregnet basert på attraktivitetsvariable som allerede er del av transportmodellen. For å klare å kvantifisere disse tre nyttekomponentene er det nødvendig å implementere en enkel valgmodell hvor den nye arealbruken (basert på ekspertvurderinger) er resultatet av enkeltindividers nyttemaksimering. Hovedutfordringen ved denne metodikken er å finne de nødvendige vektene for attraktivitetsvariablene i destinasjons- og lokalitetsnyttekomponentene.

**Scenario C – Et enkelt, regel-basert og GIS-basert planleggingsverktøy:** I dette scenariet blir modeller i samme kategori som ATP vurdert.<sup>1</sup> Dette er enkle, GIS-baserte modeller som basert på arealbruks-, reise- og infrastrukturdata visualiserer endringer for forskjellige scenarier ved hjelp av enkle og klart definerte adferdsregler. Disse modellene tar ikke eksplisitt hensyn til feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk. Fordelene er imidlertid at de er (1) raske å bruke, så et vidt spekter av scenarier med varierende arealbruk kan kjøres og resultatene kan sammenlignes, og (2) at modellene ikke krever ekspertbrukere; det er enkelt å kjøre modellene, kommunisere resultatene og kommunisere forutsetningene bak disse.

**Scenario D – En aggregert, makroskopisk LUTI-modell:** I dette scenariet blir det foreslått en enkel arealbruksmodell som (1) baseres på representative agenter i hver sone, (2) kan bli koblet til en allerede eksisterende transportmodell (RTM), (3) har en forenklet representasjon av boligmarkedet og nybygging/tomteutvikling, og (4) er basert på nyttemaksimering og løses i likevekt. Dette er ment som en enkel, operasjonell modell hvor feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk er inkludert, og hvor det er mulig å beregne brukernytte ved forskjellige modellscenarier.

---

<sup>1</sup> ATP: Areal- og Transportplanlegging. Dette er en modell utarbeidet av Asplan Viak. Se for eksempel: <http://www.asplanviak.no/index.asp?id=27183>

**Scenario E – En disaggregert, mikroskopisk LUTI-modell:** I dette scenariet er det foreslått en mer kompleks LUTI-modell, som er en kobling mellom den agentbaserte trafikkmodellen MatSim og den agentbaserte arealbruksmodellen UrbanSim. Dette er en dynamisk mikrosimuleringsmodell på både transport- og arealbrukssiden, og denne koblingen har tidligere blitt testet i Nicolai et al. (2011). I tillegg holder TØI på å teste ut trafikkmodeller i MatSim (se Flügel et al. 2014). Agentbaserte modeller gjør det mulig å eksplisitt ta hensyn til effekten av kø, noe som ikke er mulig i tradisjonelle firetrinnsmodeller. Dette gjør disse modellene spesielt relevante for urbane strøk.

Disse scenariene er evaluert basert på tre hovedkriterier:

1. Modellens evne til å beskrive samspillseffekter mellom transport og arealbruk;
2. Databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet; og
3. Egnethet i norske byområder, herunder:
  - a. Hva slags tiltak modellen er egnet til å belyse;
  - b. Modellfleksibilitet;
  - c. Krav til brukere av modellen;
  - d. Kommunikasjon av resultater og modellforutsetninger (transparens);
  - e. Muligheter for å bruke resultatene i nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger.

Modellene er sammenlignet i figuren under basert på de tre evalueringskriteriene på en skala fra **0** til **xxx**. For å tydeligere vise resultatene av sammenligningen er det brukt fargekoder, fra «negativt» (rød) og «middels» (gul), til «litt bra» (lys grønn) og «veldig bra» (grønn). Det er viktig å understreke at dette ikke er en kvantitativ analyse, men en ordinal sammenligning. For mer informasjon om hva de faktiske forskjellene mellom metodene og modellene er, se resten av rapporten.

Tabell 1. Komparativ analyse av fem arealbruksmodellscenarier.

	Baseline	Andre metoder og modeller		LUTI	
Scenario:	A	B	C	D	E
Aggregeringsnivå	Makro	Makro	Meso/ mikro	Makro	Meso/ mikro
Dynamikk	Statisk	Statisk	Statisk	Statisk	Dyna- misk
Deterministisk/ stokastisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Stokastisk
Attraktivitets- eller aktivitetsbasert	Attraktivitet	Attraktiv- itet	Attraktiv- itet	Attraktiv- itet	Aktivitet
Mekanismer og samspillseffekter	0	x	x	xx	xxx
Databehov	0	x	x	xx	xxx
Egnethet til norske byområder	x	xxx	xx	xx	xx
Krav til bruker	Middels	Middels	Lav	Høy	Høy
Egnet til NKA og konsekvensanalyse	Nei	Ja	Nei	Ja	Ja

## Anbefalinger

Hovedkonklusjonene fra denne analysen er at den beste tilnærmingen i stor grad er avhengig av brukerens behov. Mens LUTI-modellene er de eneste tilnærmingene hvor feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk blir modellert eksplisitt, vil det ikke nødvendigvis alltid lønne seg å utvikle en slik modell. Blant annet vil kostnadene, databehov og krav til bruker være høyere, og fleksibiliteten være lavere. Det er viktig at kostnadene ved å utvikle en modell blir veid mot nytten en slik modell kan gi, og at styrker og svakheter ved en modell kommer tydelig fram. Derfor er vår viktigste anbefaling at det blir gjennomført en målstudie, hvor man går grundig gjennom krav til fremtidige analyser:

- For å analysere tiltak hvor det ikke forventes større endringer i arealbruks-systemet, kan dagens transportmodeller brukes (scenario A). I så fall burde analysen suppleres med en diskusjon knyttet til potensielle arealbruksendringer

av tiltaket (som transportmodellen per definisjon ikke fanger opp), og i hvilken retning disse vil påvirke resultatene. Om man har en formening om hva den nye arealbruken etter innføring av et tiltak vil bli, kan transportmodellene kjøres med ny arealbruk lagt inn eksogent. Det vil imidlertid ikke være mulig å beregne brukernytte for scenarier hvor arealbruken er endret.

- Den billigste og raskeste måten å beregne brukernytten av tiltak hvor man tror man vet hva endringen i arealbruken blir, er å benytte løsningen fra scenario B. Dette er en god løsning for konsekvensutredninger og nytte-kostnadsanalyser dersom man ikke finner det formålstjenlig å investere i en LUTI-modell. Om denne metoden skal innføres som standard anbefales det likevel at det gjennomføres en del casestudier først, da metoden enda ikke har blitt testet i virkelige scenarier.
- Om målet er at planleggere enkelt skal kunne teste effekter av ulike tiltak for å optimere arealbruken, uten at det er nødvendig å regne ut brukernytte for konsekvensutredninger, og uten at analysene trenger å være komplementære med for eksempel RTM, anbefales ATP-modellen. Denne er billig å bruke, enkel, rask og visuelt tilgjengelig. Det er også enkelt å både endre og kommunisere hva forutsetningene er. ATP-modellen er også et godt komplementerende verktøy til andre og mer komplekse modeller og metoder.
- En LUTI-modell vil være dyrere enn foregående alternativer, men det eneste alternativet som eksplisitt modellerer samspillseffekter mellom transport og arealbruk. Dette anbefales for å analysere komplekse scenarier hvor det på forhånd er vanskelig å forutsi hva disse samspillseffektene vil være. Valg av type LUTI-modell vil i hovedsak være avhengig av krav til transportmodell-delen av modellsystemet. Om det utvikles en agentbasert mikrosimuleringsmodell for bytransport, anbefales scenario E. Om, på den andre siden, dagens transportmodeller blir ansett som gode nok, anbefales scenario D. Se Flügel et al. (2014) for mer informasjon om forskjellene mellom forskjellige transportmodeller.

Om det blir bestemt at det skal utvikles en LUTI-modell for norske byer, anbefaler vi at en del forarbeid blir gjort først. Dette gjelder spesielt to områder. Dette er nødvendig for en velfungerende LUTI-modell, i tillegg til at det kan gi nyttig informasjon i seg selv.

- Det burde gjennomføres et prosjekt for å kartlegge, samle inn og formatere arealbruksdata nødvendig for en LUTI-modell. Dette er spesielt motivert av at Bedrifts- og foretaksregisteret har vist seg lite hensiktsmessig ved tidligere anledninger. Det er uvisst hvor mye manuelt arbeid som må gjennomføres for å (1) sørge for en mer hensiktsmessig næringsinndeling og (2) korrigere for «hovedkontoreffekten», altså at bedriftsøkonomiske størrelser i noen tilfeller blir koblet med hovedkontorets geografiske komponent, og ikke anlegget hvor produksjon eller salg skjer. Et slikt prosjekt vil være nyttig uavhengig av en potensiell LUTI-modell, da det også vil muliggjøre andre empiriske analyser knyttet til transport og arealbruk.

- Det anbefales at det gjennomføres et prosjekt for å finne de beste tilgjengelighetsindikatorerne for å predikere fremtidig arealbruk. Slike tilgjengelighetsindikatorer er den viktigste koblingen fra transportmodulen til arealbruksmodulen av en LUTI-modell. Gode tilgjengelighetsindikatorer er dermed essensielt for en pålitelig LUTI-modell. Det er viktig at modellsystemet utformes på en slik måte at tilgjengelighetsindikatorer kan beregnes basert på resultatene fra transportmodulen. Å finne ut mer om hvilke slike indikatorer som påvirker arealbruken og på hvilken måte vil være nyttig uavhengig av om det utvikles en LUTI-modell, da det vil gi økt kunnskap om sammenhengen mellom transport og arealbruk i norske byer generelt.





**Summary:**

# **Evaluation of models and methods for analyzing the interaction between land-use, infrastructure and traffic demand in urban areas**

TØI Report 1415/2015

Authors: Bjørn Gjerde Johansen, Wiljar Hansen and Aud Tenøy  
Oslo 2015, 96 pages Norwegian language

---

*Institute of Transport Economics Norway has been assigned by the Norwegian Public Roads Administration, with help from the Centre for Transport Studies in Sweden, to evaluate methods and models for analysing interaction effects between land use, infrastructure and transport demand in urban areas. The report identifies LUTI models (Land-Use and Transport Interaction) as suitable to predict the changes in urban systems over time, both because the feedback cycle between land-use and transport is taken explicitly into account in the models and because it will be possible to calculate user benefits for cost-benefit analyses based on forecasts and scenario evaluations.*

*The aim of this report is two-fold: (1) to present an updated literature review on LUTI models, with the intention of identifying recent trends in land use modelling and the capabilities of state of the art LUTI models; and (2) to contrast and compare state of the art LUTI approaches to other approaches for analysing the relationship between land-use and transport, based on evaluation criteria meant to capture the suitability for implementation in Norway. Since LUTI models are both expensive and labour intensive to develop, we propose and compare various alternative methodologies as well; from a full-scale LUTI model, to a method for calculating user benefits from traffic model results where the land use has been changed exogenously based on expert judgement.*

## **Background**

Coordinated land use and transport planning has been an important strategy for reducing transport demand and car dependency through decades. This has for instance been connected to an objective of better living conditions, improved urban environments, less congestion and traffic delay, better accessibility for everyone and reduced greenhouse gas emissions. The last couple of years, this has been actualized through, amongst others, a Norwegian white paper on climate change, stated goals in the National Transport Plan, the project “Cities of the future”, initiated by the Ministry of Environment, and clear objectives in county and municipal master plans. It is clearly stated that the growth in transport demand should be covered by public transport, cycling and walking as opposed to a growth in car traffic. This will mainly be achieved by more concentrated land use development, for instance by densification around public transport hubs, strengthening of the public transport

systems, physical adjustments to improve the situation for cyclists and pedestrians, and use of restrictive measures towards car traffic.

However, today both baseline traffic forecasts and scenario traffic forecasts for various policies or measures are calculated by means of a four step transport model in which land use is an exogenous component. These traffic projections are again used to calculate the user benefits of various policies and measures. By excluding the feedback cycle between land use and transport, as the Norwegian transport models do, it may lead to seriously biased results in cost benefit analyses since individuals' and firms' reactions when it comes to land use in a future scenario for a policy/measure is not taken into account.

By using expert judgment for changing the land use exogenously in the models, traffic data that takes the change in land use into account may be estimated. However, it will be impossible to use the current methods for calculating user benefits, since current methods are based on traffic costs. User benefits in a situation with changed land use will not only consist of traffic benefits, but also locational benefits. A LUTI model is proposed as more realistic modelling systems for predicting changes in the urban environment over time; however, such models are expensive and labour-intensive to develop. Therefore, we propose and compare various alternative methodologies; from a full-scale LUTI model, to a method for calculating user benefits from traffic model results where the land use has been changed exogenously based on expert judgment.

### **The state-of-the-art LUTI models**

A literature survey has been carried out in line with that of Wegener (2004); 26 of the LUTI models considered to be most relevant for a state of the art modelling system have been evaluated. In line with Berglund (2014), we observe three trends when it comes to LUTI models:

- Trend 1: From a macro to a micro approach: The first LUTI models were static and macroscopic. However, the new LUTI models are complex, agent-based micro-simulation models on a spatial level with a high degree of disaggregation.
- Trend 2: Possibly as a reaction to trend 1, there is a parallel movement towards simpler, faster and more visually accessible land use planning tools. These planning tools are based on less data intensive and less theory rich approaches, mainly rule based and/or GIS-based. Some of these tools try to include the feedback cycle between transport and land use, while others rely on exogenous assumptions about how the land use will be affected by the transport system.
- Trend 3: There is a growing consciousness about the importance of integrated approaches for transport and land use policies in general. At the same time, we see that some planners and decision makers are skeptical towards LUTI models. It seems like a lot of planners and decision makers that have knowledge about LUTI models in line with trend 1 thinks the models are too complex to understand, while those that have knowledge about LUTI models in line with trend 2 thinks the models are too simple to capture all the urban processes.

We argue that this not should be interpreted as an argument against LUTI models, but rather as a crystallization of the inherent complexity of urban systems in general. This complexity does not make modelling the urban system less relevant, but makes it even more important to be aware of the assumptions and shortcomings behind the models that are used.

Consequently, these three trends jointly highlight what seems to be the biggest challenge for integrated land use and transport modeling; for each analysis, what is the appropriate level of model complexity? This challenge motivates the next section of the report.

## **Methods for analyzing land-use and transport systems, contrasted and compared**

In this section, we compare five different approaches based on three main evaluation criteria. The different approaches are:

- **A – The baseline scenario – today’s four step transport models with exogenous land-use:** In this scenario, it is possible to calculate user benefits of changes in the transport system when the land use is fixed (based on transport costs). It is also possible to forecast traffic in situations where the land-use changed exogenously. However, it is not possible to calculate user benefits in situations where the land use is changed.
- **B – A methodology for calculating user benefits from exogenous changes in land use in today’s traffic models:** For calculating user benefits in situations where the land use is changed exogenously based on expert judgment, we propose a method based on Minken et al. (2003). When changing the land use, two additional sources of user benefit in addition to the change in transport cost arise; namely, a destination benefit (the user benefit from being able to change the destination choice based on the new land-use pattern) and an origin benefit (the user benefit from being able to re-locate to a new destination). The main strength of this method it to outline how destination and origin benefits can be calculated based on attraction variables that are already a part of the transport model. To be able to quantify these three sources of utility, it is necessary to implement a simple choice model in which the new land-use (based on expert judgment) is the result of individuals’ utility maximization. The complication of this method lies in deriving the necessary weights to put on the various attraction variables in the destination and origin choice models.
- **C – A simple rule-based and GIS-based planning tool:** This scenario evaluates the use of GIS-based models that based on land-use, travel and infrastructure data visualizes changes in various scenarios by use of simple and clearly defined behavioral rules. These models do not explicitly model the land-use and transport feedback cycle. However, advantages are (1) that they are quick, a wide range of land use scenarios can be run, and the results can be compared visually, and (2) that these models do not rely on expert users; it is simple to run the models, communicate the results as well as to communicate all the assumptions behind the results.

- **D – An aggregated, macroscopic LUTI model:** In this scenario, a simple land-use model is proposed, which is (1) based on representative agents in each zone, (2) can be connected to an already existing transport model, (3) have a simplistic representation of housing and land development and (4) is based on utility maximization and runs to equilibrium. This is meant as a simple, operational modelling alternative in which the land-use and transport feedback cycle is included, and where it is possible to calculate user benefits from various scenarios.
- **E – A disaggregated, microscopic LUTI model:** In this scenario, a more complex LUTI model is proposed, which is a connection between the agent based traffic model MatSim and the agent based land-use model UrbanSim. This is a dynamic micro-simulation modelling system, which has been tested in Nicolai et al. (2011). Furthermore, TØI is in the process of implementing a MatSim model in Norway (see Flügel et al. 2014). Agent based models makes it possible to explicitly take into account the effect of congestion, which is not possible in traditional four-step traffic models. This makes it particularly relevant in urban settings.

These scenarios are ordered from simple to complex (and consequently from cheap to expensive) to implement. They are evaluated based on the main evaluation criteria below:

1. The model's adequacy for describing the **interaction between transport and land use**;
2. **Data needs, data availability and data quality**;
3. **Suitability for Norwegian urban areas**, including:
  - Relevance in general (what kind of policies and measures can the models assess?);
  - Modelling flexibility;
  - Required user competence;
  - Communication of results and modelling assumptions (transparency); and
  - Possibilities for using the results in cost benefit analyses and impact assessment studies.

The models are analyzed in the figure below based on the three evaluation criteria on a scale from **0** to **xxx**. To highlight the result of the analysis a color scheme is used, from bad (red) and medium (yellow) to good (light green) and very good (green). We emphasize that this is not a quantitative assessment, but rather an ordinal comparison. For more information regarding the differences between the models, the reader is referred to the full report.

Table 1. Comparative analysis of five methods and models for analysing transport and land use.

	Baseline	Other methods and models		LUTI	
Scenario:	A	B	C	D	E
Level of aggregation	Macro	Macro	Meso/micro	Macro	Meso/micro
Dynamics	Static	Static	Static	Static	Dynamic
Deterministic/stochastic	Deterministic	Deterministic	Deterministic	Deterministic	Stochastic
Attraction or activity based	Attraction	Attraction	Attraction	Attraction	Activity
Transport/land use interaction	0	x	x	xx	xxx
Data needs	0	x	x	xx	xxx
Suitability for Norway	x	xxx	xx	xx	xx
User expert level	Medium	Medium	Low	High	High
Suitability for cost-benefit analyses	No	Yes	No	Yes	Yes

## Recommendations

The main conclusion from this analysis is that the best approach is highly dependent on user and analysis needs. While the LUTI models (D and E) are the only approaches where the feedback cycle is modelled explicitly, this is not always the most suitable method, and the costs of developing an advanced model must be weighed against the added benefits such a model can yield. Therefore, our main recommendation is that an objective study is conducted, in which the analysis needs as well as the budget is properly assessed:

- To analyse measures where no large land use changes are expected, today's transport models may be used (scenario A). In this case, the analysis should be supplemented by a qualitative analysis where potential

land use changes (and how these would affect the results) are discussed. If the future land use can be predicted based on expert judgement, the transport models can be run with the new land use added exogenously. This will produce new traffic flows. However, it will not be possible to use this as a basis for predicting user benefits.

- The cheapest and fastest way proposed to calculate user benefits of measures from which the new land use pattern can be predicted based on expert judgement, is presented in scenario B. This solution is well adapted for cost benefit analyses if a LUTI model is not available. However, if this method is going to be used it is recommended that some case studies are conducted first, considering that this method has not yet been tested in real-life scenarios.
- If the purpose is that multiple planners should be able to test effects of various land use measures, without needing to calculate user benefits, and without needing complementarity with existing transport models, the ATP model is recommended (scenario C). This is cheap to use, simple, fast and visually accessible. It is easy to both change and communicate the assumptions behind the model. The ATP model is also suitable as a supplement to other methods and models.
- LUTI models (scenarios D and E) will be more expensive and complex than the previous alternatives; however, such models will explicitly take into account the feedback cycle between transport and land use. These models are recommended for analysing complex scenarios in which it is difficult to know what the results will be in advance. The choice of LUTI-model will be highly dependent on the choice of (and requirements to) the transport model of the modelling system. If a working agent-based micro simulation traffic model is developed, scenario E is recommended. However, if today's macroscopic four step transport models are considered appropriate, scenario D is recommended. See Flügel et al. (2014) for more information regarding the difference between these models.

If it is decided to develop a LUTI model for Norwegian urban areas, we recommend that some preparatory work is carried out first. This is in particular two preliminary studies that are vital for a successful LUTI model, as well as interesting by their own merits.

- Firstly, a project should be conducted to map, collect and format the relevant land use data that is available in Norway. It is difficult to predict how labour intensive this process will be. The main challenges are related to right formatting of the data, including geographical components, meaningful and consistent business categories and avoiding “the central office effect”, namely that for some registers all sales and production is located at the geographical location of the central office. Such a project will be useful independent of a potential LUTI model, as it will lay the ground for other empirical land use analyses as well.
- Secondly, a project should be conducted to identify the most suitable accessibility indicators for Norwegian conditions. These accessibility indicators are important for connecting the transport part and the land use part of a LUTI model. It is important that the modelling system is designed

in such a way that accessibility indicators can be calculated based on the transport part of the modelling system. It will be beneficial independent of a potential LUTI model to gain additional insights as to how the land use is affected by such indicators, as it will yield additional knowledge and insights to the connection between transport and land use in Norway in general.





# Begrepsavklaring

Aktivitets-basert modell	Dette er typisk dynamiske transportmodeller. Disse er enten tur-basert eller basert på en fulldags reiseplan. Dermed predikerer disse modellene sekvenser av reiser som har en tidsmessig struktur. Muligheten til å koble turer sammen sikrer også at turene er logisk konsistente, for eksempel at det ikke er mulig å starte på tur nummer to før man er ferdig med tur nummer én, eller at det å kjøre til et kjøpesenter også krever at man velger bil som transportmiddel på tilbakeveien (Flügel m.fl., 2014).
Arealbruk/ arealanvendelse	Arealbruk vil i denne rapporten henvise til omfanget av aktiviteter et gitt areal muliggjør for innbyggerne, tilstanden til eventuelle bygninger, og naturmessige aspekter ved arealet som vil påvirke disse størrelsene (som for eksempel topografi).
Attraktivitet	Et mål på hvor enkelt det er å gjennomføre bestemte aktiviteter i en gitt sone med utgangspunkt i lokalisering i andre soner.
Bid-rentteori	En teori som prøver å forklare hvordan pris og etterspørsel etter eiendom endrer seg med utgangspunkt i avstanden til sentrum (central business district). Kjøperen med det høyeste budet kjøper en eiendom, og butikker vil som regel være villige til å betale mer enn husholdninger for en sentral tomt. Se Alonso (1964) for mer informasjon.
Deterministisk	I en deterministisk modell er det ingen tilfeldige elementer. Formelt kan man si at hvis en modell gir det samme resultatet for hver kjøring så lenge input-dataene er de samme, er modellen deterministisk. I en deterministisk modell går det ikke an å ta hensyn til usikkerhet.
Diskret valg-teori	Teori for å predikere sannsynlighetene for en uttømmende liste av diskrete valg ved hjelp av en nyttefunksjon som blir delt opp i en deterministisk og en stokastisk komponent. Den deterministiske komponenten fanger opp observerbare forskjeller, både når det gjelder individer og valgalternativer, mens den stokastiske komponenten fanger opp usikkerhet, utelatte variable, ukjent smaksheterogenitet mellom individer og (tilsynelatende) irrasjonelle valg.
Dynamiske modeller	Dynamiske modeller tar eksplisitt hensyn til tidsdimensjonen og tidsavhengigheten mellom forskjellige prosesser i modell-systemet. På transporttettersspørselssiden vil dette si at sekvensen av aktiviteter som gjennomføres må være konsistent med tidsstrukturen. Dynamiske nettverkutleggingspakker kan for

	eksempel ta hensyn til tidsavhengigheten når det gjelder antall biler som starter i et bestemt OD-par, og modellerer den tidsavhengige utviklingen av kø og forsinkelser som dermed vil oppstå (Flügel m.fl., 2014).
Eksogen	Begrep som betyr "utenfor" og "oppstå fra". Brukes om noe som er generert på utsiden av modellsystemet.
Endogen	Motsatt betydning fra eksogen, og brukes om noe som er generert eksplisitt av modellsystemet.
Entropi-modell	Kan beskrives som et prosedyre hvor man finner et statistisk gjennomsnitt av en stor populasjon av enheter med en viss grad av interaksjon
Firetrinnsmodell	Disse er tradisjonelt statiske og tur-baserte transportmodeller. Firetrinnsmodeller blir dermed tilpasset en diskret analyseperiode, som morgen- eller kveldsrushet, hvor de predikerer raten individer reiser mellom hvert sonepar på med forskjellige transportmidler. Det er mulig å modellere transportetterspørselen uavhengig for hver analyseperiode, men det er ikke mulig å etablere en gjensidig avhengighet mellom turer i hver enkelt analyseperiode (Flügel m.fl., 2014).
Likevektsmodell	Likevektsmodeller er statiske modeller som sier noe om en hypotetisk situasjon hvor systemet er i balanse. I økonomiske modeller vil dette som regel si at det er likhet mellom tilbud og etterspørsel.
Makro-nivå	Definert basert på aggregerte kvanta. På transportetterspørsels-siden utgjør dette reisefrekvenser. Makroskopiske transportmodeller er ofte spesifisert som systemer av ligninger, og prediksjoner kan gjøres ved å løse disse ligningene gjennom teknikker for matematisk programmering. (Flügel m.fl., 2014).
Meso-nivå	Karakterisert ved at en form for aggregering skjer innenfor et ellers mikroskopisk modellsystem. Et eksempel er aggregering av individuelle biler på en vei, til en funksjon som simultant beskriver bevegelsesmønsteret til grupper av biler. (Flügel m.fl., 2014).
Mikro-nivå	Slike modeller opprettholder integriteten til alle enheter gjennom hele modelleringsprosessen. Enheter vil typisk være reisende på transportsiden, og husholdninger og bedrifter på arealbrukssiden. I en fullt disaggregert modell er det vanlig å kalle enhetene for "agenter". Mikroskopiske modeller blir som regel evaluert ved å eksplisitt simulere interaksjonen mellom alle agentene modellen representerer (Flügel m.fl. 2014).
Statisk modell	Inkorporerer ikke tidsperspektivet. Alle modellerte prosesser skjer momentant. Hendelser skjer ikke på definerte tidspunkter. Hvis variasjon mellom forskjellige tidspunkter på dagen skal modelleres, må det defineres forskjellige tidsperioder og kalibreres en ny modell for hver tidsperiode (Flügel m.fl., 2014).

Stokastisk	Stokastiske modeller inneholder tilfeldige elementer. Hvis man er usikker på hvordan noe ser ut i virkeligheten kan man representere det i en modell med en sannsynlighetsfordeling, og modellen vil da være stokastisk. En stokastisk modell må kjøres flere ganger (simuleres), og fordelingen av simulerte resultater kan tolkes som sannsynlighetsfordelingen for at visse resultater skal bli det faktiske utfallet.
Tilgjengelighets-indikator	Et mål på hvor enkelt det er å gjennomføre bestemte aktiviteter med utgangspunkt i lokalisering i en sone.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Transportøkonomiske institutt (TØI) har, på oppdrag fra Vegdirektoratet og med bistand fra Centrum for Transport Studier (CTS) i Sverige, vurdert metoder og modeller for analyser av samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transportetterspørsel i byområder.

Samordnet areal- og transportplanlegging har vært en viktig strategi for å redusere transportbehov og biltrafikk gjennom flere tiår. Dette har blant annet vært knyttet til målsettinger om bedre bo- og bymiljø, mindre kø og forsinkelser i trafikken, bedre tilgjengelighet for alle, redusert arealforbruk og reduserte klimagassutslipp. De siste årene har dette blitt aktualisert blant annet gjennom Stortingets klimamelding, målformuleringer i Nasjonal Transportplan (NTP), Miljøverndepartementets prosjekt Framtidens byer og klare målformuleringer i fylkesplaner og kommuneplaner. Her sies det at transportveksten i byene skal tas med kollektivtrafikk, sykkel og gange. Dette skal i hovedsak oppnås ved en mer konsentrert arealutvikling som fortetting i tunge kollektivknutepunkter, styrking av kollektivtrafikken, fysisk tilrettelegging for sykling og gåing og bruk av restriktive virkemidler mot biltrafikken.

I prinsippet finnes det tre hovedmetoder for å forutsi virkninger av tiltak i integrert areal- og transportplanlegging (Wegener 2004):

1. gjennom spørreundersøkelser hvor respondentene blir spurt om hvordan de vil endre sin lokalisering- og mobilitetsadferd ved endringer i faktorer som transportkostnader, arealregulering etc. (stated preference - SP).
2. gjennom å trekke konklusjoner basert på observert individ-adferd under relevante forhold (revealed preference, RP).
3. gjennom simulering av menneskelig adferd i matematiske modeller

Disse tre metodene har alle fordeler og ulemper. SP-undersøkelser kan avsløre subjektive faktorer som påvirker lokalitets- og mobilitetsvalg, men siden individer kun kan gjette på hvordan de faktiske kommer til å handle i usikre situasjoner, er validiteten av slike resultater usikre. Empiriske studier (RP-data) kan gi detaljerte og pålitelige resultater, men de er strengt tatt kun gyldige i den konteksten dataene er samlet inn i. Siden virkeligheten er kompleks og det alltid vil være uobserverbare faktorer som endrer seg over tid, er det også vanskelig å identifisere de korrekte årsak-virkningsforholdene basert på RP-data alene.

Matematiske modeller er også basert på SP og/eller RP-data. Forskjellen er at matematiske modeller prøver å forenkle den observerte virkeligheten ved å bare fokusere på de forholdene som er ansett som viktige for analysen, og gjør dette innenfor et rammeverk basert på visse antakelser. Matematiske modeller kan være en formalisert måte for å utlede hvilken effekt enkelte faktorer har på et forhold, ved at det er mulig å holde andre faktorer uendrete. Modeller gjør også at konklusjonene fra analyser kvantifiserbare. Det er likevel viktig å huske på at dette ikke gjør konklusjonene mer robuste eller gyldige enn dataene de er bygget på, og at gyldigheten til modellene også vil være avhengig av gyldigheten til modellens antakelser.

Denne rapporten vil konsentrere seg om den siste av disse metodene og i hovedsak vurdere egnetheten til LUTI-modeller som støtteverktøy i en integrert transport- og arealbrukspolitikk.

## 1.2 Problemstilling, tilnærming og metode

Formålet med dette oppdraget er å vurdere styrker og svakheter ved LUTI (Land-Use and Transport Interaction) –modeller i forhold til mer tradisjonelle transportmodeller av den typen som benyttes i dag.

Følgende underpunkter søkes besvart:

- Vurdere styrker og svakheter med integrerte arealbruks- og transportmodeller når det gjelder å kunne analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transporttettersspørsmål i byområder
- Vurdere integrerte arealbruks- og transportmodeller opp mot tradisjonelle transportmodeller som er etablert i dag, kan det være samspillseffekter her?
- Få fram hvilken type data som kreves for å bruke slike modeller
- Vurdere hvordan disse modellene kan brukes i Norge, herunder hvordan de kan brukes i konsekvensanalysesammenheng/ samfunnsøkonomiske analyser.

Arbeidsmetoden i dette prosjektet har i stor grad vært gjennomgang av eksisterende faglitteratur og komparative studier av relevante metoder, modeller og datagrunnlag med mål om å vurdere de ulike modelltypenes egnethet i Norge og i konsekvensanalyser/samfunnsøkonomiske analyser for norske byer.

## 1.3 Avgrensning

Denne rapporten fokuserer i hovedsak på arealbruksdelen av LUTI-modeller. For status og utviklingsmuligheter for transportmodellsystemer, henviser vi til Flügel m.fl. (2014)<sup>1</sup>.

## 1.4 Rapportens oppbygging

Rapportens kapittel 2 presenterer kunnskapsstatusen for samspillseffekter mellom arealutvikling, transporttettersspørsmål og infrastruktur i byområdet. I kapittel 3 gis det en framstilling av LUTI-modeller som verktøy og denne type modeller sin evne til å analysere samspillseffektene som diskuteres i kapittel 2. Innledningsvis i kapittel 4 presenteres det sett av vurderingskriterier vi har vektlagt i analysen av ulike modeller og metoder for analyser av samspillseffektene, denne analysen gjennomføres i kapittel 4.2 og en komparativ sammenligning presenteres i kapittel 4.3. I kapittel 5 diskuteres mulighetene og vanskelighetene ved å integrere godstransport i en integrert arealbruks- og transportmodell. Rapporten oppsummeres og anbefalinger for videre arbeid er presentert i kapittel 6.

---

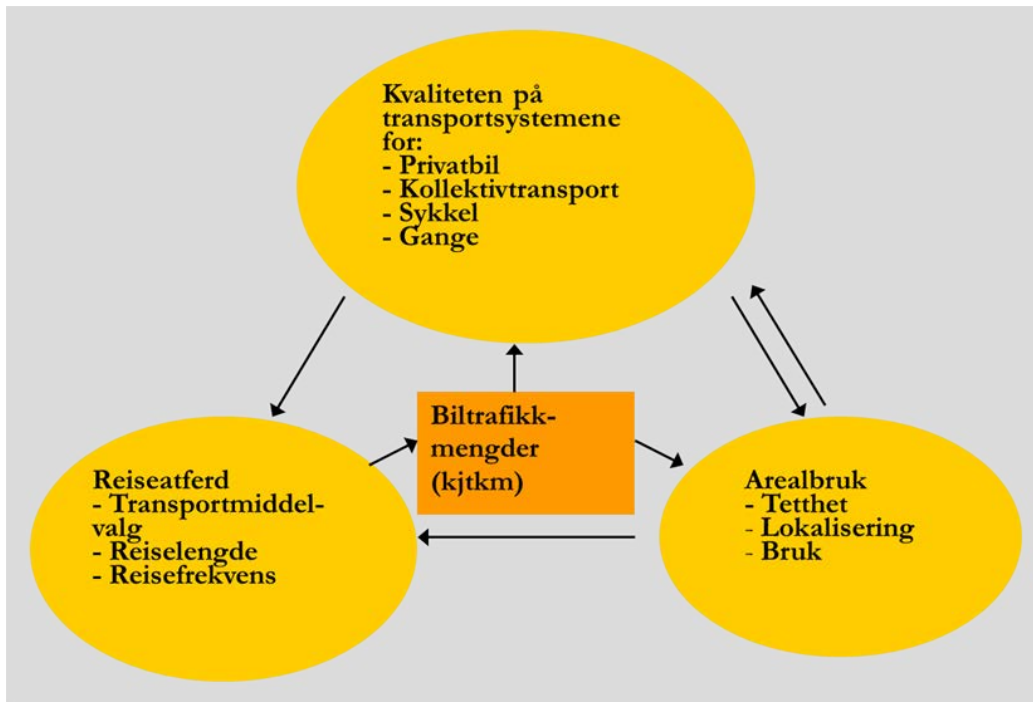
<sup>1</sup> Flügel, S., G. Flötteröd, et al. (2014). *Evaluation of methods for calculating traffic assignment and travel times in congested urban areas with strategic transport models*. TØI-rapport 1358/2014, Transportøkonomisk institutt.

## **2 Kunnskapsstatus: Samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transporttettersspørsmål i byområder**

### **2.1 Innledning**

En reise har et startpunkt og et bestemmelsessted, og en reisebeslutning er et resultat av avveiningen mellom mulighetene som kan realiseres på bestemmelsesstedet og kostnaden ved å reise. Reisetid, pålitelighet og bekvemmelighet inngår i kostnaden, i tillegg til direkte reiseutlegg og distanseavhengige kjøretøyskostnader. Få folk eller varer har selve forflyttingen som mål, og i de aller fleste tilfeller reiser folk og gods for å realisere muligheter på andre lokaliteter. Denne reiseaktiviteten er avledet av etterspørselen etter andre varer og aktiviteter i økonomien.

Transportbehovene, reiseatferden og biltrafikkmengdene i en by bestemmes i stor grad av den romlige organiseringen av byen sammen med kvaliteten på de ulike delene av transportsystemet. Byene og transportsystemene utvikles hele tiden. Noen typer arealutvikling og utvikling av transportsystemene bidrar til økt transportbehov og biltrafikk, mens andre bidrar til dette i mindre grad eller til reduksjon. Utviklingen av transportsystemene, arealstrukturen, reiseatferden og biltrafikkmengdene er gjensidig avhengig av hverandre (Owens 1995, Banister 2012, Litman 2012, Tennøy 2012). Endringer i én av disse variablene vil medføre endringer i de øvrige variablene, som illustrert i figur 2.1.



Figur 2.1: Forenklet modell av hvordan arealbruk, transportsystemer, reiseatferd og biltrafikkmengder, og utvikling av disse, påvirker hverandre, og hvordan areal- og transportplanlegging påvirker dette (basert på Tennøy 2009).

Hovedidéen er at aktørene vil forsøke å maksimere sin nytte med tanke på for eksempel muligheten til å velge en bra og godt avlønnet jobb, å redusere tidsbruken på arbeidsreiser og andre reiser, nærhet til skole og servicetilbud, kultur, fritidsaktiviteter og natur, eller å bo på et bestemt sted. Dette vil (sammen med en del andre faktorer, som for eksempel inntekt, verdier, sosial tilhørighet, etc.) påvirke reiseatferden (hvor de reiser, hvor ofte, med hvilket transportmiddel). På lengre sikt påvirker dette også arealstrukturen og transportsystemene (hvor folk bosetter seg, hvor bedrifter lokaliserer seg, hvordan transportinfrastrukturen utvikles, hvor utbyggere bygger), samt faktorer som holdninger og vaner. Summen av aktørenes valg påvirker arealstrukturen og kvaliteten på transportsystemene, og definerer reisemønstrene og biltrafikkmengdene.

## 2.2 Biltrafikkmengder

Om vi fokuserer på persontransport, og holder godstransport og varelevering utenfor diskusjonen, defineres biltrafikkmengdene (i den mørkeste boksen i figur 2.1) av befolkningsmengden og befolkningens gjennomsnittlige reiseatferd. Befolkningens gjennomsnittlige reiseatferd defineres gjennom:

- reisefrekvens (hvor ofte vi reiser)
- reiselengde (hvor vi reiser)
- transportmiddelvalg (andeler av reisene som gjennomføres som sjåfør i privatbil)

Arealstrukturen og kvaliteten på de ulike transportsystemene påvirker kostnaden ved å reise, som igjen påvirker konsumet av transport (Boarnet and Crane 2001). Arealbruk påvirker reiseadferden gjennom avstanden til og tilgjengeligheten av realiserbare muligheter. Reiseadferd avhenger også av generelle individkarakteristika som alder, kjønn, inntekt og yrke, samt karakteristikk som verdisyn, normer, livsstil,

bekjentskapskrets og sosiale forpliktelser (Naess 2012). Reiseadferd dreier seg om hvor ofte folk reiser, hvor langt de reiser, valg av reiserute og transportmiddel. Utviklingen av arealstrukturen og utviklingen av transportsystemene påvirker hverandre gjensidig, som illustrert med piler i figuren. Biltrafikkmengdene i byen påvirker arealutviklingen (utbygging og bruk) og kvaliteten på transportsystemene. Dette systemet er komplekst, iterativt og meget dynamisk.

Transportmønstrer som vokser frem reflekterer ulike nivåer i reisebeslutningsprosessen (frekvens, transportform, destinasjons- og rutevalg), og er et resultat av folks behov, ønsker og tilgjengelige ressurser, samt de restriksjonene og mulighetene som finnes i arealbruken og i den tilgjengelige infrastrukturen.

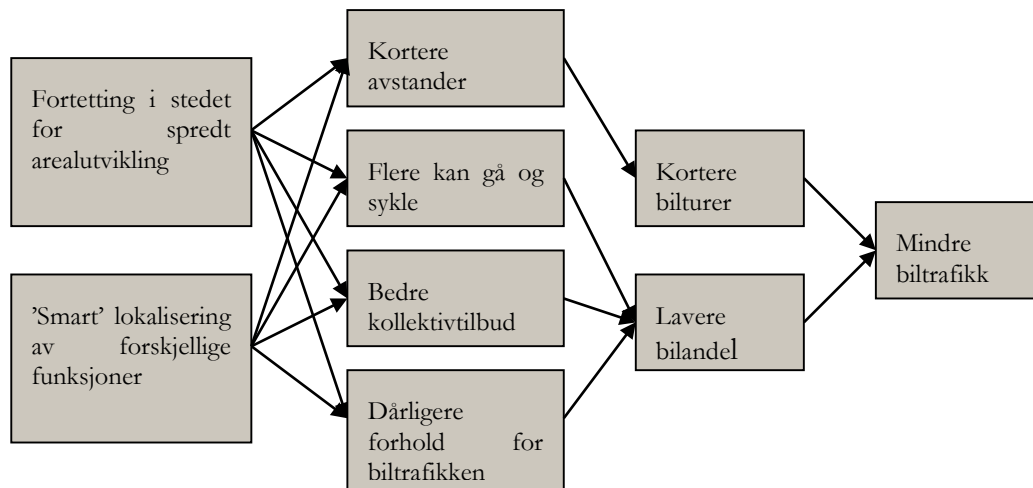
### **2.3 Arealbruk: tetthet og lokalisering**

*Arealbruk* omhandler fysiske bygde strukturer og hvordan disse anvendes (hvilke aktiviteter som er lokalisert hvor og i hvilke forhold til hverandre, hvor intensivt de brukes, etc.). Endringer i arealbruk, eller arealutvikling, dreier seg om lokalisering av nye bygninger og lignende og utvikling av nye områder, men også om endringer i hvordan befolkningen bruker de fysiske strukturene.

Hvordan byene utvikles, og hvor nye boliger, arbeidsplasser, handel, mv. lokaliseres har stor innvirkning på hvor mye biltrafikk som produseres. Kompakt byutvikling og «smart lokalisering» (lokalisering som gir mange god tilgjengelighet uten bil) gir kortere reiseavstander og større muligheter for å reise til fots, med sykkel eller med kollektivtrafikk. Dette gir kortere turer og lavere bilandeler, og dermed mindre biltrafikk, enn om arealutviklingen foregår som spredning og med «feil» lokalisering av funksjoner.

Sammenhengene mellom arealutvikling og reiseatferd dreier seg i hovedsak om nærhet og tilgjengelighet. *Tett arealbruk* gir gjennomsnittlig kortere avstander og reiselengder mellom funksjoner/aktiviteter i by enn spredt arealbruk. De kortere avstandene gjør det mulig og attraktivt å gå eller sykle på større andel av reisene, samt at bilturene blir gjennomsnittlig kortere. Tett arealbruk gir også mulighet for et mer konkurransedyktig kollektivtilbud, ved at det er enklere og rimeligere å betjene flere godt med kollektivtransport i et område der folk bor relativt tett og der arbeidsplasser, handleområder, etc. ligger i klynger enn i mer spredtbygde byer. Tett arealbruk medfører ofte dårligere forhold for biltrafikken, slik som forsinkelser på grunn av kø og redusert tilgang på eller dyrere parkeringsplasser (i hvert fall i byer av en viss størrelse). Til sammen bidrar dette til mindre bilbruk i tette enn i spredte byer, som illustrert i figur 2.2.





Figur 2.2: Arealstrukturen (lokalisering og tetthet) påvirker reiseatferden gjennom flere mekanismer (Tennøy, Holden Hoff et al. 2009).

Det er gjennomført en rekke studier for å undersøke disse teoretisksammenhengene. Newman og Kenworthy (1989) fant sterk samvariasjon mellom tetthet og energiforbruk til motorisert transport da de gjorde sammenlignende analyser av de største byene på ulike kontinenter. McIntosh et al. (2014) har undersøkt disse sammenhengene ytterligere basert på empiriske data for 26 byer over 40 år. De har basert på dette estimert elastisiteter for hvordan tettheten og kollektivtrafikktilbudet gjensidig påvirker hverandre, og hvordan dette direkte påvirker bilturlengden per innbygger. Næss, Sandberg og Røe (1996)<sup>2</sup> fant de samme tendensene da de undersøkte sammenhenger mellom tetthet og årlig energiforbruk til transport per person i 22 nordiske byer. De fant at jo tettere bystrukturene (jo mindre tettstedsarealet per innbygger) er, dess lavere er det gjennomsnittlige energiforbruket til transport.

Hvor ulike aktiviteter (boliger, arbeidsplasser, handel, service, mv.) lokaliseres i byen har stor betydning for hvor mye biltrafikk den nye utviklingen genererer. Ulike undersøkelser har vist at jo mer sentralt boliger, arbeidsplasser, handel, mv. er lokalisert, jo mindre biltrafikk genererer de.

Sammenhenger mellom lokalisering og transportmengder er også påvist med data fra de norske reisevaneundersøkelsene (RVU) kombinert med data som beskriver bystrukturen (blant annet Engebretsen 2003, Engebretsen 2005, Engebretsen med flere 2010, Engebretsen og Christiansen 2011). Generelt viser undersøkelsene at jo lengre fra sentrum folk bor, desto mer brukes bil for de daglige reisene. Jo større tetthet og nærhet til service og arbeidsplasser, desto mindre brukes bilen.

## 2.4 Utvikling av transportsystemene

Selv om arealstrukturen i stor grad påvirker transportbehov, bilavhengighet og biltrafikkmengder, har den absolutte og relative kvaliteten på de ulike transportmidlene også effekt. Om man ønsker en utvikling mot mindre biltrafikk ved å få større andeler

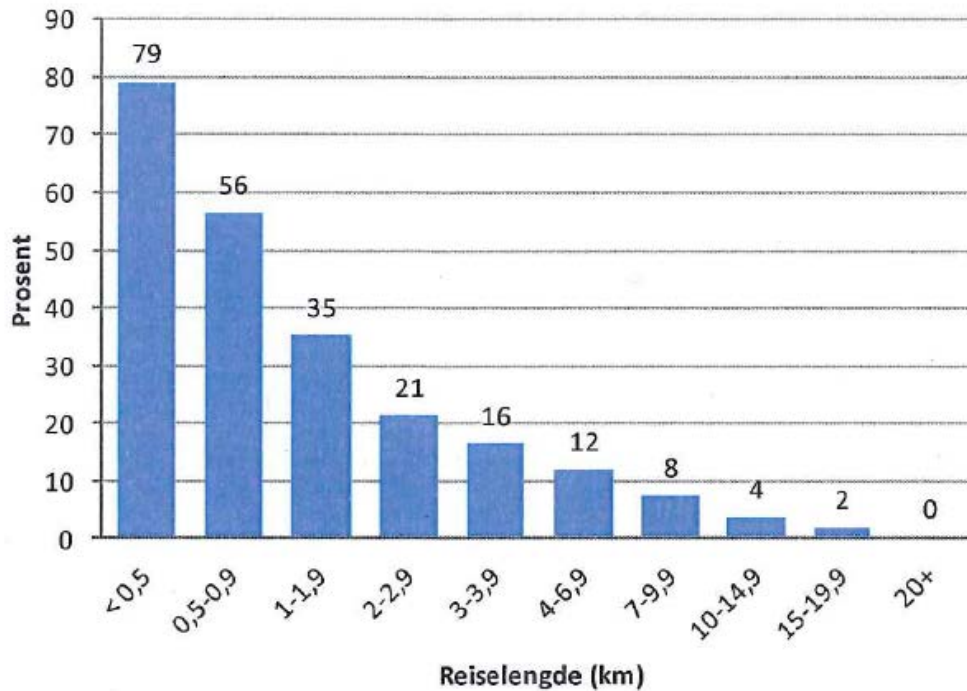
<sup>2</sup> Næss, P. Sandberg, S. L. og Røe, P. G. (1996): "Energy Use for Transportation in 22 Nordic Towns". *Scandinavian Housing & Planning Research*, 13, s. 79-97.

av transportarbeidet over på andre transportmidler, må disse transportmidlenes konkurranseevne forbedres relativt til personbilen.

Ulike undersøkelser viser at kvaliteten på kollektivtilbudet påvirker bruken av kollektivtrafikken. Nordbakke og Vågane (2007) fant for eksempel at kvaliteten på kollektivtilbudet har stor effekt på kollektivandeler på arbeidsreisen. Blant de som har best kollektivtilbud er kollektivandelen 54 %, mens den har sunket til 9 % for de som har middels godt kollektivtilbud. Chen mfl.(2008) og Chatman (2003) påpeker at reisetidsdifferansen mellom bil og andre transportformer påvirker reisemiddelvalg. Blir det relativt raskere å reise kollektivt sammenlignet med å kjøre bil vil flere reise kollektivt. Omvendt vil flere kjøre bil om dette blir relativt raskere sammenlignet med å reise kollektivt. Hvorvidt folk velger å gå og sykle avhenger i stor grad av avstandene som skal tilbakelegges, og dermed av arealutviklingen. Kvaliteten på omgivelser og på infrastrukturen spiller også rolle.

Det er også godt dokumentert, teoretisk, empirisk og gjennom modellkjøringer, at økt veikapasitet i byområder med press på biltransportssystemet gir vekst i biltrafikken (se (Strand, Næss et al. 2009) eller Litman 2013 for litteraturgjennomgang). I større byområder med press på veisystemene (kø) vil bedre tilrettelegging for biltrafikken (reduisert reisetid, bedre tilgjengelighet) føre til at flere velger bil og at biltrafikken øker. På kort sikt skjer dette ved at redusert reisetiden med bil øker bilens konkurransekraft, slik at folk som før brukte andre transportmidler begynner å kjøre bil, samt at folk reiser lengre. På lang sikt vil bedre tilrettelegging for biltrafikk bidra til en mer spredt, utflytende og bilbasert arealutvikling, som gir økt transportbehov, større bilavhengighet og vekst i biltrafikken. Dette gjelder blant annet tiltak som utviding av veikapasitet, bedre parkeringstilgang og reduksjon i bompenger og lignende (se blant annet Downs (1962), Noland og Lem (2002), Litman 2013). På samme måte vil tiltak som øker reisetiden og/eller reduserer tilgjengeligheten med bil bidra til reduksjon av biltrafikken (Cairns mfl. (1998), Kenworthy 1990).

Hvorvidt folk velger å gå og sykle avhenger i stor grad av avstandene som skal tilbakelegges, og dermed av arealutviklingen. Kvaliteten på omgivelser og på infrastrukturen spiller også rolle. I en analyse av den nasjonale reisevaneundersøkelsen fant Vågane (2006) at den gjennomsnittlige gangturen var 1,7 km og varte i 22 minutter. Den gjennomsnittlige sykkelturen var 3,2 km og varte i 16 minutter. Dette betyr at det i hovedsak er på relativt korte turer at gange og sykkel er aktuelle transportmidler. For å oppnå høyere gang- og sykkelandeler, må man derfor sørge for en arealutvikling som gir kortest mulig avstand mellom forskjellige funksjoner. Elsykkelenes økende popularitet kan gjøre sykkel til et transportmiddel for lengre strekninger, og også for grupper som tidligere ikke har syklet. Figur 2.3 viser at andelen som velger å gå på en reise er klart forbundet med hvor lang reisen er.



Figur 2.3: Andelen reiser til fots for ulike reiselengder (Vågane mfl. 2011).

Av figuren ser vi at andelen som går er høy på korte reiser, men allerede for reiser på rundt en kilometer foregår halvparten av reisene med andre transportmidler enn til fots.

## 2.5 Oppsummering

Basert på gjeldende teoretisk og empirisk forskning, er litteraturen i all hovedsak samstemt i anbefalingene om hva slags areal- og transportutvikling som gir de laveste biltrafikkmengdene og størst mulighet til å redusere biltrafikkmengdene (målt som totalt antall kjøretøykilometer med bil i regionen):

- Arealbruken styres mot sentral foretting, mot biluavhengig lokalisering og styrking av sentrum og lokalsentre – ikke byspredning
- Kollektivtilbudet bedres (frekvens, hastighet, punktlighet, flatedekning)
- Det legges bedre til rette for å gå og sykle
- Restriktive virkemidler mot biltrafikken tas i bruk; både fysiske (veikapasitet, parkeringskapasitet) og økonomiske (parkeringsavgifter, veiprising, bompenger)

Under presenteres to tabeller som sammenfatter de empiriske sammenhengene mellom henholdsvis i) arealbruk og reiselengde, frekvens og transportmiddelvalg, ii) endringer i transportsystemet og arealbruk, og iii) endringer i transportsystemet og reiselengde, frekvens og transportmiddelvalg.

Tabell 2.1: observerte virkninger fra empiriske studier av arealbruk på transport (Wegener and Fürst 2004)

Retning	Faktor	Virkning på	Observert effekt	
Arealbruk ↓ Transport	Boligtetthet	Reiselengde	En rekke studier støtter hypotesen om at høyere tetthet kombinert med en blandet arealutnyttelse, fører til kortere reiselengder. Svakere sammenhenger dersom det også kontrolleres for forskjeller i reisekostnad (som for eksempel drivstoffutgifter)	
		Reisefrekvens	Liten observert effekt	
		Transportmiddelvalg	Hypotesen om at boligtetthet er korrelert med høy kollektivandel og negativt korrelert med bilbruk, har bred støtte.	
	Arbeidsplass-tetthet	Reiselengde	I flere studier bekreftes hypotesen om at en balansert mix av arbeidsplasser og boliger gir lavere reiselengder, andre studier finner ingen slik sammenheng. Monofunksjonelle arbeidsplass-sentre og pendlerforsteder/sovebyer har signifikant lengre reiser	
		Reisefrekvens	Ingen signifikant effekt funnet	
		Transportmiddelvalg	Høyere arbeidsplass-tetthet leder til økt kollektivandel	
	Nabolags- utforming	Reiselengde	Amerikanske studier har bekreftet at «tradisjonelle» nabolag har kortere reiser enn bilorienterte forsteder. Lignende resultater for Europa	
		Reisefrekvens	Ingen rapporterte effekter	
		Transportmiddelvalg	«Tradisjonelle» nabolag (eldre boligstrøk) har signifikant høyere kollektivandel og gang- og sykkelandel. Svekket signifikans dersom det kontrolleres for sosioøkonomisk karakteristikk i befolkningen	
	Lokalisering	Reiselengde	Avstand til arbeidsplass-sentre er bestemmende for reiselengde	
		Reisefrekvens	Ingen observerte effekter	
		Transportmiddelvalg	Lokaliseringer nært holdeplasser og stasjoner for offentlig kommunikasjon har større andel kollektivtransport	
	Bystørrelse	Reiselengde	Gjennomsnittlig reiselengde er lavest i større byer og høyest i utkantstrøk	
		Reisefrekvens	Ingen observerte effekter	
		Transportmiddelvalg	Kollektivandelen er høyest i større byer og lavest i utkantstrøk	

Tabell 2.2: observerte virkninger fra empiriske studier av transportendringer (Wegener and Fürst 2004)

Retning	Faktor	Virkning på	Observert effekt
Transport ↓ Arealbruk	Tilgjengelighet	Lokalisering: boligområder	Boligområder med god tilgjengelighet blir utviklet raskere. Hvis tilgjengeligheten for hele regionen øker vil boligutviklingen skje mer spredt.
		Lokalisering: industri	Lite empiri på sammenhengen mellom tilgjengelighet og industrilokalisering. Sammenheng funnet for høyteknologisk industri og service bedrifter
		Lokalisering: kontorbygninger	Utbygging av kontorbygninger skjer i hovedsak i indre-by med høy grad av tilgjengelighet, eventuelt i urbane ytterpunkt-lokaliteter med god motorveitilgjengelighet
		Lokalisering: butikker o.l.	Utvikling av handelsområder enten i høyt tilgjengelige indre-byområder, eller i ytterpunkt-lokaliteter med gode parkeringsmuligheter og god bil-tilgjengelighet
Transport ↓ Transport	Tilgjengelighet	Reiselengde	Forstadsutvikling akselerert av god tilgjengelighet til bykjernen genererer lengre arbeids- og handelsreiser.
		Reisefrekvens	Ingen kjente systematiske studier av reisefrekvens
		Transportmiddelvalg	Ulikheter i tilgjengelighet
	Reisekostnader	Reiselengde	Pris-elasticiteten for reiselengde er beregnet til rundt -0.3
		Reisefrekvens	Ingen kjente systematiske studier av reisefrekvens som funksjon av reisekostnad
		Transportmiddelvalg	Forskjeller i reisekostnad påvirker valg av transportmiddel; ved å gjøre kollektivtrafikken gratis vil ikke føre til massiv overgang fra bil til kollektivtransport, men trolig fra gå og sykkel og over til kollektivtransport
	Reisetid	Reiselengde	Reisetidsgevinster som følge av infrastrukturutbedring blir delvis bruk på lengre reiser
		Reisefrekvens	Reisetidsbesparelser som følge av infrastrukturutbedringer blir delvis benyttet på økt reisefrekvens
		Transportmiddelvalg	Reisetidsbesparelser for et transportmiddel påvirker transportmiddelvalget

## 2.6 Gods- og næringstrafikk

Godstransport og næringstrafikk blir ofte neglisjert eller behandlet separat i transport- og arealplanleggingen i byområder. Økonomisk vekst og inntektsøkning gir økt handel og økt varespekter, som i sin tur gir økt godstransport, returlogistikk og avfallshåndtering. Når i tillegg befolkningen i de største byene er forventet å øke, og for noen byer forventet å øke kraftig, gir dette økt godstrafikk på veiene, økte køproblemer og økte miljøskadelige utslipp. I mange tilfeller skjer godsdistribusjonen og innhentingene i rushtiden, noe som i seg selv øker både kø- og miljøkostnadene. Eksempelvis viser tall fra NHO Logistikk og Transport at de store speditørene til sammen har ca. 600 distribusjonsbiler i Oslo og ca. 170 i hver av byene Bergen og Trondheim (Spurkeland and Andersen 2014). Til sammen er dette over 900 lastebiler i de tre største byene i Norge. I tillegg kommer andre transportører og egentransport, som er langt flere.

I tillegg til den trafikale virkningen av godstransport i by, båndlegger utvikling av eksisterende og etablering av nye terminaler med arealer for transport- og logistikkfunksjoner – logistikknutepunkter- betydelige arealer. Godsterminaler er gjerne arealkrevende og står for relativt lav verdiskapning per arealenhet, noe som i mange tilfeller medfører at arealkrevende terminalfunksjoner flytter ut av de mest pressede urbane områdene. I mange tilfeller så etableres det intermodale terminaler og distribusjonssentre i ytterkant av byområdene, og i noen tilfeller også utenfor bygrensene, noe som i seg selv bidrar til en spredt arealutvikling.

Infrastrukturinvesteringer påvirker lokaliseringen av engroslager og godsterminaler, som igjen påvirker både lokal godstransport og gjennomgående godstransport som har disse terminalene som del av sin transportkjede. Utvikling av Oslo-området til en flerkjernet by hvor senterstrukturen konsentreres rundt flere sentrumskjerner påvirker også lokaliseringen av lager, terminaler og andre logistikkfunksjoner.

Det er en målsetning om å få mer av de lange godstransportene mellom landsdelene og til/fra utlandet over fra veg til sjø- og jernbanetransport. I gjennomføringen av en slik målsetning vil lokaliseringen av jernbaneterminaler og avstanden fra disse og til engroslager og godsterminaler være en viktig faktor. På den ene siden påvirkes effektiviteten i godstransporten av en rekke parametere (for eksempel kvaliteten på infrastrukturen, industristruktur etc), på den annen side påvirker godstransporten en rekke parametere (for eksempel tilgjengelighet, kø, forurensning). Det er også en gjensidig avhengighet i årsaks- og virkningsforholdene. For eksempel vil mer kø medføre en mindre effektiv varedistribusjon og vice versa.

TØI har ledet det europeiske forskningsprosjektet STRAIGHTSOL (Strategies and measures for smarter urban freight solutions), et demonstrasjonsprosjekt som ser på miljøvennlig og effektiv bylogistikk. Resultater fra prosjektet viser at samarbeidsfora som involverer alle berørte parter – lokale myndigheter, transportører, handel og varemottakere, gårdeiere og andre aktører – fremstår som en viktig suksessfaktor i byer som har evnet å forbedre måten varelevering gjennomføres på (Andersen and Eidhammer 2014).

### 2.6.1 Håndverks- og servicetransporter: små varebiler

Per i dag er kjøreturer knyttet til håndverks- servicenæringene verken en del av Logistikkmodellen eller det norske modellsystemet for persontransport, og faller dermed utenfor. Med en oversikt over mengden trafikk fra servicenæringen, hadde det imidlertid vært mulig å knytte denne til OD-par basert på økonomiske data.

Det er generelt lite kunnskap om håndverks- og servicetransporter, til tross for at disse utgjør en betydelig andel av trafikken, spesielt på hverdagene mandag-fredag. Tall fra SSB viser at anslagsvis 10% av arbeidsstyrken i Norge jobber innen håndverksyrker som snekkere, elektrikere, installatører, rørleggere m.v. Data fra *Kjøretøyregisteret* viser at små varebiler vokser i antall, og bilgruppen har de siste årene fått en stadig større betydning for gods- og varetransport. En vesentlig andel av disse bilene er knyttet til transport av håndverkere og utstyr. Det er ventet fortsatt økning i antallet små varebiler, og særlig i de store byene.

Et pågående forskningsprosjekt ved TØI «Innovating for more efficient and sustainable transportation among Norwegian craftsmen» (CRAFTTRANS)<sup>3</sup> viser at en betydelig andel av transportomfanget i de største byene er knyttet til håndverkertransporter (Denstadli, Vågane et al. 2014):

Tabell 2.3: Andel håndverkertransport av totaltrafikken i Oslo, Bergen og Trondheim. Prosent. (Denstadli, Vågane et al. 2014)

	Oslo	Bergen	Trondheim
Beregnet ut fra bompasseringer	11	15	5
Beregnet ut fra trafikk generert i kommunen	15	15	5

For Oslo utgjør håndverkertransporter 11 prosent av passeringene i bomsnittene på en gjennomsnittlig hverdag (mandag-fredag). Dette tilsvarer drøyt 50 000 passeringer (estimert på bakgrunn av trafikken i september 2013). Håndverkernes andel av trafikken som genereres internt i Oslo er noe høyere (15 prosent). Dette synes rimelig ettersom trafikken fra Akershus og andre steder utenfor Oslo nok domineres av privatbilister.

For Bergen er det beregnet at håndverkertransportene utgjør 15 prosent av passeringene i bomsnittene på en hverdag. I alt utgjør dette ca. 24 000 passeringer. Beregninger basert på trafikk generert innenfor Bergen kommune gir tilsvarende andel.

Estimatene for Trondheim gir en vesentlig lavere andel håndverkertransport. Kun fem prosent av passeringene i bomsnittene kan knyttes til håndverkerbiler. På en gjennomsnittlig hverdag utgjør dette anslagsvis 7 600 turer. Ut fra grunnlagstallene er det to forklaringer på den lave andelen i Trondheim: (I) varebiler utgjør en vesentlig lavere andel av den totale bilparken i Trondheim sammenlignet med Oslo og Bergen, og (II) en større andel av varebilene i Trondheim er registrert på privatpersoner.

Håndverkertransporter foregår «lokalt» – bare i begrenset grad krysser de fylkesgrenser. Av håndverkertransporter som startet i Oslo, gikk 80 prosent innenfor fylket (68 prosent av kjørte km) og 12 prosent til Akershus (16 prosent av kjørte km). Så godt som all kjøring med utgangspunkt i Bergen og Trondheim ble kjørt innen henholdsvis Hordaland og Sør-Trøndelag, og den gjennomsnittlige transportlengden per tur for håndverkertransporter som starter i Oslo er 27 km, i Bergen 25 km og i Trondheim med 22 km (Denstadli, Vågane et al. 2014).

<sup>3</sup> CRAFTTRANS er finansiert av Forskningsrådet, Statens vegvesen Vegdirektoratet, Oslo kommune, Bymiljøetaten og Renault Norge, og vil avsluttes i løpet av 2015. Mer informasjon og rapportering er tilgjengelig på prosjektets hjemmeside: <https://www.toi.no/handverkeres-transporter/category1445.html>

## 3 LUTI –modeller

### 3.1 Innledning

Land-Use/Transport Interaction (LUTI) –modeller er en modellklasse som søker å estimere den langsiktige byutviklingen gjennom samspillet mellom tre hovedfaktorer: transport-tjenester, befolkningsvekst og arealutvikling gitt visse eksogene faktorer som for eksempel inntektsutviklingen. En LUTI-modell består tradisjonelt av en transportkomponent og en arealbrukskomponent. Disse to separate modellkomponentene er linket sammen for å fange samspillet mellom arealutvikling og transporttettersspørsmål.

En modell er en forenkling av virkeligheten. En LUTI-modell er en forenkling av det urbane systemet, og en forenkling av samspillseffektene mellom arealbruk, transporttettersspørsmål og infrastruktur. En modell vil aldri favne alle aspekter ved virkeligheten, til det er virkeligheten alt for kompleks.

### 3.2 Litt historie

LUTI –modeller oppsto i sin «moderne» form på 60 tallet. Den første modellen som vakte oppsikt utenfor en snever krets av byplanleggere var Lowrys Metropolismodell (Lowry, 1964). Denne bestod av en enkelt gravitasjonsmodell (se avsnitt 3.4 for mer informasjon) for innbyggernes bosted, og en enkel gravitasjonsmodell for butikkers beliggenhet, koblet sammen. Modellen kan skrives med moderne notasjon (etter Wegener, 2014) som:

$$T_{ij} = \frac{R_i \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_i R_i \exp(-\beta c_{ij})} E_j$$
$$S_{ij} = \frac{W_j \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_i W_j \exp(-\beta c_{ij})} P_i$$

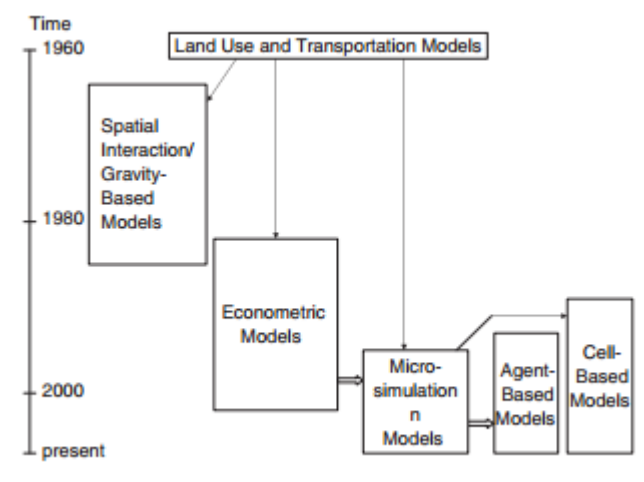
Her er  $T_{ij}$  arbeidsreiser mellom boligsonen  $i$  og arbeidssonen  $j$ , og  $S_{ij}$  er handlereiser mellom boligsonen  $i$  og butikker i sonen  $j$ .  $E_j$  er arbeidere i sonen  $j$  og  $P_i$  er befolkning i sonen  $i$ , og  $R_i$  er boliger i sonen  $i$  mens  $W_j$  er butikker i sonen  $j$ .  $c_{ij}$  er reisetiden (eventuelt den generaliserte reisekostnaden) mellom sonene  $i$  og  $j$ .  $\beta$  indikerer sensitiviteten til reisekostnad, og det negative fortegnet betyr at destinasjoner med en høy reisekostnad sjeldnere blir valgt enn destinasjoner med lavere reisekostnad.

Disse to modellene er linket sammen ved hjelp av antakelser om hvor mange innbyggere som «kan opprettholdes» per arbeider og hvor mange arbeidere i detaljhandelsektoren som kan lønnes per innbygger. Modellen itereres ved at antall arbeidere ( $E_j$ ) og antall innbyggere ( $P_i$ ) i hver sone oppdateres til modellen er i likevekt. Denne modellen ble mye brukt både i USA og i Europa, men mange av implementeringene var lite vellykkete på grunn av mangel på data og trege datamaskiner på det tidspunktet.



I tillegg har modellen åpenbare mangler, hovedsakelig knyttet til forenklinger, og det eneste den egner seg til å studere er urban vekst.

Modellen til Lowry var den første i en generasjon av modeller basert på teorier omkring romlig interaksjon (*spatial interaction*), en modellklasse som også inkluderer gravitasjonsmodeller, som på samme tidspunkt hadde sin storhetstid innen den mer kvantitative delen av samfunnsgeografien. Denne modellklassen ble utover 80-tallet avløst av modelltyper basert på stokastisk nytteteori (*random utility theory*) og økonometriske metoder.



Figur 3.1: Tidslinje av den historiske utviklingen i LUTI-modellering, hentet fra (Iacono, Levinson et al. 2008)

Arealbruksdelen av LUTI-modellsystemet har utviklet seg fra enkle og aggregerte fremstillinger, til komplekse økonomiske og økonometriske modeller av markedsmekanismer. Transportmodellene på sin side har utviklet seg fra enkle gravitasjonsmodeller til den klassiske fire-trinns tilnærmingen til transportmodellering, og videre til dagens «state of the art» aktivitetsbaserte transporttettermodellering, og fremtidens aktivitetsbaserte mikrosimuleringsmodeller.

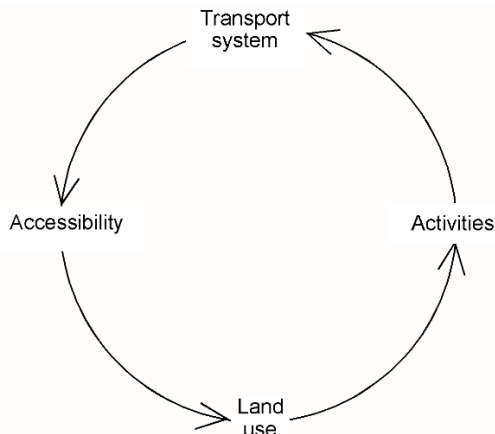
### 3.3 Rammeverk

#### 3.3.1 Feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk

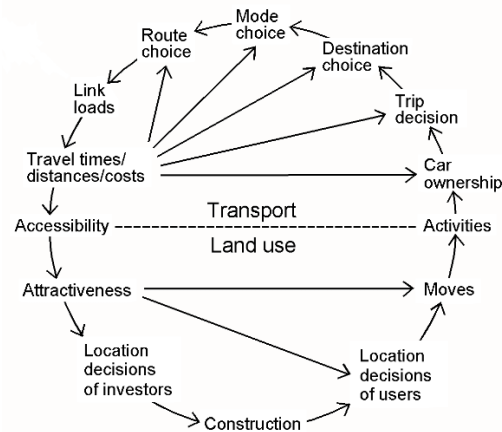
I konvensjonelle transportmodeller inngår arealbruken som eksogen forklaringsvariabel for å predikere transportarbeidet. Dette blir gjort ved å inkludere plasseringen til forskjellige aktiviteter (hjem, arbeid, butikker, osv.), og generere eller fordele turer ut fra plasseringen til og avstanden mellom disse aktivitetene. Det som skiller en LUTI-modell fra en normal transportmodell er at selve plasseringen til forskjellige aktiviteter (arealbruken) blir gjort endogen, ved å bli påvirket av transportsystemet. Dermed vil modellen ikke bare predikere transportsystemet, men også arealbrukssystemet. Fremstillingen av disse to systemene, som gjensidig avhengig av hverandre, utgjør det som ofte blir kalt feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk.<sup>4</sup> Ulempen med dette er at sammenhengene modellen skal predikere blir mer komplekse. Dette gir

<sup>4</sup> Denne gjensidige avhengigheten mellom transport og arealbruk ble diskutert på et generelt plan i kapittel 2.

utfordringer, både knyttet til databehov, regnekapasitet og forståelighet når resultatene skal tolkes. Fordelen er imidlertid at effektene av transportsystemet på arealbruken også vil bli inkludert i modellresultatene. Dette blir som regel gjort ved hjelp av tilgjengelighetsindikatorer («accessibility» på engelsk og i figurene under), som sier noe om hvordan attraktiviteten til forskjellige områder blir påvirket av transportsystemet. Figur 3.2 viser i en enkel fremstilling hvordan denne feedbacksyklusen virker, og samtidig hvordan LUTI-modeller er bygget opp. Figur 3.3 viser den samme sammenhengen, men her er også en del av de modellerte prosessene inkludert.



Figur 3.2. Feedback mellom transport og arealbruk – enkel fremstilling (Wegener and Fürst 2004).



Figur 3.3. Feedback mellom transport og arealbruk – kompleks fremstilling (Wegener and Fürst 2004).

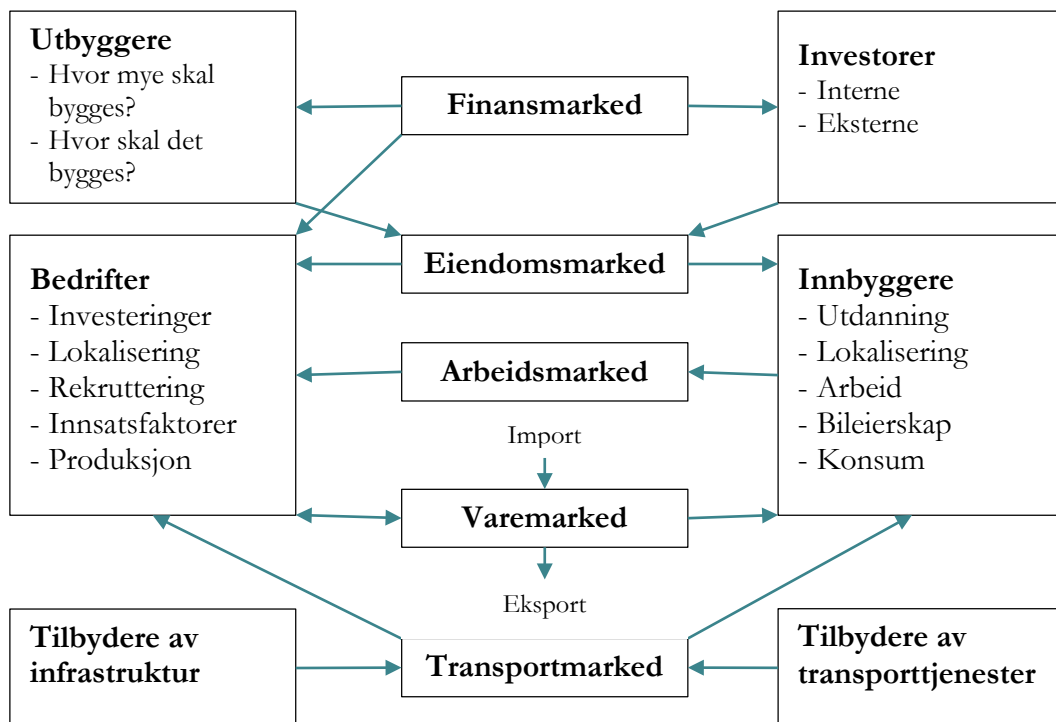
I konvensjonelle transportmodeller går kausaliteten fra arealbruk til transportsystemet (det vil si uten de to pilene på venstre side i Figur 3.2), mens i LUTI-modeller blir transportsystemet linket sammen med arealbruk igjen gjennom «tilgjengelighet». Dermed vil måten tilgjengelighet er definert på være avgjørende for hvordan forskjellige modeller virker, samt for tolkningen av modellenes mekanismer. Generelt kan fire typer tilgjengelighetsmål identifiseres (Geurs og van Wee, 2004):

- Infrastruktur-baserte tilgjengelighetsindikatorer, for å beskrive de generaliserte reisekostnadene mellom ulike soner, som indikatorer for kømengde og gjennomsnittsfart.
- Område-avhengige tilgjengelighetsindikatorer, som beskriver tilgjengeligheten til andre aktiviteter, for eksempel «antall jobber innen en radius på 30 minutters reisetid».
- Individ-avhengige tilgjengelighetsindikatorer, som beskriver tilgjengeligheten på et individuelt plan. Dette kan for eksempel være «antall aktiviteter et gitt individ kan velge mellom på et gitt tidspunkt».
- Nytte-baserte tilgjengelighetsindikatorer, for eksempel den predikerte nytten befolkningen opplever ved den tilgangen de har til forskjellige aktiviteter.

Disse tilgjengelighetsindikatorer vil styre etterspørselen etter areal/tomter/gulvplass, og dermed prisen, og tilbudet av nye bygninger, og dermed den generelle byutviklingen. Mekanismene som tilgjengelighetsindikatorer representerer virker i begge retninger i et marked: arbeidstakernes tilgjengelighet til jobber og kundenes tilgjengelighet til butikker, men også arbeidsgivernes tilgjengelighet til arbeidskraft og butikkenes tilgjengelighet til kunder. Dette vil igjen bestemme hvilken aktør som til enhver til disponerer et hvert areal, altså arealbruken.

### 3.3.2 Aktører og markeder

Av de ulike prosessene som adresseres av denne modellklassen, er samspillet og koblingen mellom informasjonen fra arealbrukssystemet til transportsystemet, og vice versa, det viktigste. Dette reflekterer påvirkningen arealbruken har på mobilitetsmønsteret og utviklingen av transportsystemet, men også hvordan transportsystemet har en påvirkning på hvordan byrommet utvikles og hvordan aktører tilpasser sin arealbruk. Det er imidlertid få begrensninger for hvilke systemer og prosesser som kan inkluderes. I figuren under skisseres de fem viktigste markedene og de seks viktigste aktørgruppene som man ofte finner i LUTI-modeller. Denne figuren er en sammenstilling av Simmonds og Feldman (2011) og Department of Transport (2014). Elementene i denne figuren er verken nødvendige eller uttømmende; for eksempel er det flere LUTI-modeller som ikke tar eksplisitt hensyn til varemarkedet. Se diskusjonen rundt Tabell 3.3 for mer informasjon om dette. Boksene i midten av figuren er markeder, mens boksene på sidene er aktører. Pilenes retning viser leveranser av faktorer, varer og tjenester, mens betaling for denne leveransen går mot pilens retning.



Figur 3.4. Oversikt over noen potensielle aktører og markeder i en LUTI-modell.

I LUTI-modeller opptrer det tre hovedaktører:

- befolkningen, som individer, husholdninger eller representative konsumenter;
- bedrifter, som den produserende sektoren og som etterspør arbeidskraft; og
- myndigheter, selv om de ikke er tegnet inn som en egen aktørgruppe i figuren.

I tillegg er fire andre aktørgrupper inkludert:

- Utbyggere av forskjellige typer bruksareal, som boliger og arbeidsplasser;
- Investorer, som både kan være interne (aktører som opptrer i modellen) og eksterne (for eksempel aktører fra andre byer eller andre land);

- Tilbydere av infrastruktur, her transportrelatert infrastruktur som veier, jernbaner og flyplasser; og
- Tilbydere av transporttjenester, som for eksempel Ruter i Oslo.

Det er viktig å legge merke til at en aktør godt kan opptre i flere aktørgrupper. En selvstendig næringsdrivende er både innbygger og bedrift, og både innbyggere og bedrifter kan opptre som investorer (respektivt gjennom sparing og akkumulasjon av kapital). Myndighetene er ikke en egen aktørgruppe fordi de opptre i modellstrukturen som del av de andre aktørgruppene, som for eksempel bedrifter (en arbeidsplass for innbyggerne og tilbyder av diverse tjenester), utbygger, investor, tilbyder av infrastruktur og/eller tilbyder av transporttjenester. I tillegg påvirker myndighetene markedene direkte via skatter, subsidier og restriksjoner på transaksjoner, og indirekte via restriksjoner på arealutnyttelsen.

De tre første markedene, finansmarkedet, eiendomsmarkedet og arbeidsmarkedet, definerer de konvensjonelle innsatsfaktorene i vareproduksjon, altså kapital, land og arbeidskraft. Innbyggere og bedrifter samhandler hovedsakelig i tre markeder:

- Eiendomsmarkedet,
- Arbeidsmarkedet og
- Varemarkedet.

Interaksjon i disse markedene blir indirekte påvirket av endringer i transportmarkedet, gjennom for eksempel å endre attraktiviteten til tomter, å endre kostnaden (i tid eller penger) for å komme seg til og fra jobb, eller gjennom endring i reelle varepriser på grunn av en endring i transportkomponenten av kostnaden. Mens tilbudet av transport blir bestemt av tilbydere av infrastruktur og transporttjenester, kan etterspørselen av transport deles opp i fem komponenter, som gjort i Department of Transport (2014):

- Transporttetterpørsel knyttet til vare- og tjenestemarkedet. Dette omfatter både godstransport til varemottakene, og persontransport av individer som skal kjøpe varer eller tjenester.
- Transporttetterpørsel knyttet til arbeidsmarkedet. Dette vil hovedsakelig si reiser til og fra jobb.
- Annen transporttetterpørsel knyttet til produsentene. Dette gjelder hovedsakelig forretningsreiser.
- Den resterende transporttetterpørselen fra innbyggere, altså alle fritidsreiser som verken knytter seg til arbeidet eller vare- og tjenestemarkedet.
- Transporttetterpørsel knyttet til transporttilbudet i seg selv. Dette er hovedsakelig transport som blir gjennomført for vedlikehold eller utbygging av transportinfrastrukturen.

Det går også an å inkludere varer og tjenester som blir levert ved hjelp av andre mekanismer enn markeder (som offentlig utdanning, offentlige helsetjenester eller et trykkesystem), men dette er ikke tegnet inn i figuren.

### **3.3.3 Urbane prosesser**

LUTI-modeller er et verktøy for slike helhetlige analyser av samspillet mellom transporttetterpørsel og arealbruk. Som man ser er arealutvikling en dynamisk prosess, og transport er bare én av faktorene som påvirker hvordan arealbruken endres. Hvordan en integrert arealbruks- og transportmodell behandler de øvrige faktorene, som demografisk utvikling, byutviklingsprosesser etc., er blant de faktorene som skiller ulike modeller fra hverandre.

Figuren fra forrige avsnitt viser forskjellige aktører og markeder som samhandler i en LUTI-modell. Samhandlingen mellom disse aktørene leder over tid til endringer i forskjellige urbane prosesser. Basert på Wegener (2004) tar vi utgangspunkt i åtte slike urbane prosesser for å klassifisere ulike LUTI-modeller. Disse prosessene er sortert etter hastigheten de endres i, fra veldig trege endringer til momentane endringer, og oppsummert i Tabell 3.1.

Tabell 3.1. Urbane prosesser, sortert etter hastigheten de endres i.

Veldig treg endring	Nettverk	Urbant transportnettverk, kommunikasjon og nettverk av tjenester, som skoler og sykehus
	Arealanvendelse	Den generelle arealanvendelsen (boligstrøk, industri, kommersielt osv.) i en by er relativt stabil, og endres bare gradvis
Treg endring	Fysiske arbeidsplasser	Bygninger (boliger, fabrikker, varehus, kjøpesentre, kontorer osv.) eksisterer ofte lengre enn bedriftene som holder til i dem
	Boliger	
Rask endring	Sysselsetting	Bedrifter går konkurs, ekspanderer eller flytter avhengig av omgivelser og andre eksterne faktorer, og dette påvirker sysselsettingen
	Befolkning	Husholdninger tar i alle faser av livet valg betinget på deres omgivelser som reflekterer deres endrete behov, om for eksempel valg av bolig, arbeid og bileierskap
Momentan endring	Godstransport	Avstanden mellom tilbyder og etterspørter, og mellom boliger, arbeidsplass og andre aktiviteter påvirker etterspørselen etter gods- og persontransport. Mengden transport på en gitt veg kan endres i løpet av minutter eller timer, som svar på endringer i kødannelse eller endringer i etterspørselen
	Persontransport	

Denne klassifiseringen av urbane prosesser kommer til å bli brukt senere i rapporten, når det kommer til sammenligning av forskjellige eksisterende og operative LUTI-modeller (se Tabell 3.3).

### 3.3.4 Databehov

Databehovet i slike modeller varierer åpenbart med hvilke typer urbane prosesser modellen eksplisitt representerer, og med hvor raffinerte årsakssammenhengene og adferden til modellens aktører blir modellert. Likevel kan man til en viss grad dele inn det viktigste nødvendige datamaterialet for LUTI-modellering i tre kategorier:

- **Implementeringsdata:** Data nødvendig for å implementere modellen. Dette er variablene som må introduseres for at modellen skal representere den valgte byen eller regionen. Disse variablene er enten direkte inndata til modellen, eller variable modellen skal reprodusere.

- **Kalibreringsdata:** Tilleggsinformasjon nødvendig for å kalibrere modellen for at den skal klare å reprodusere de forskjellige aktørenes adferd, og dermed gjenskape de observerte prosessene i utgangsscenarioet. Dette er hovedsakelig data nødvendig for å tallfeste modellens parametere gitt den funksjonelle formen som er blitt bestemt.
- **Valideringsdata:** Data uavhengig av kalibreringsdata som kan brukes for å vurdere hvor godt modellen egner seg til å reprodusere dagens situasjon.

To andre typer data burde også legges merke til:

- Spekteret av verdier for de eksogene variablene som er nødvendig som input i modellen for å spesifisere visse framtidsscenarioer.
- Spekteret av tiltak som kan testes med modellen.

Databehovet kommer an på hvordan hver enkelt modell er utformet og hva den skal brukes til, og i de fleste tilfeller vil også implementering av modellen kunne tilpasses hvilke type data som er tilgjengelig. Generelt er kravene til *implementeringsdata* relativt rigide. Man er nødt til å ha data for hver variabel i hver sone. Det er imidlertid mange muligheter for å tilpasse modellens variable til den dataen som er tilgjengelig tidlig i modelleringsprosessen, som for eksempel i det man bestemmer hvor mange husholdningsgrupper eller hvor mange arbeidskategorier modellen skal inneholde. Kravene til *kalibreringsdata*, derimot, er mindre strenge. Det finnes ofte flere fremgangsmåter for å kalibrere verdier på en modells koeffisienter, som baserer seg på forskjellige typer data. Department of Transport (2014) gir et eksempel på grunnleggende data som er nødvendig for å estimere en arealbruksmodell som kan knyttes til en eksisterende transportmodell:

- Befolkning per sone
- Arbeidsplasser per sone
- Yrkesstatusen til innbyggere i en sone
- OD-matriser med bolig-arbeidsplass
- OD-matriser med aktiviteter
- Arealbruk etter type (bolig, arbeidsplass, eventuelt andre typer) per sone
- Leiepriser per sone / (eiendomspriser)
- Husholdningsinntekter
- Byggeprosjekter som er underveis i basisåret til modellen

Historisk sett har databehovet til LUTI-modeller vært en stor utfordring. Dette har i stor grad bedret seg, hovedsakelig på grunn av to ting: (1) mer og mer data blir samlet inn og jevnlig oppdatert av lokale myndigheter. Mye av denne dataen kan bli brukt som datagrunnlag i modeller, spesielt data om befolkning, boliger, arealbruk generelt og om transport. (2) Dagens modeller er mer sparsommelige når det gjelder databehov.

Eksempler på dette er teknikker for å generere regionale input-output-matriser fra nasjonale input-output-matriser og regionale aggregerte størrelser ved hjelp av skaleringsmetoder, eller teknikker for å skape et utvalg av kunstig mikro-data (for eksempel syntetiske befolkninger) med utgangspunkt i aggregerte data (Wegener, 2004).

### 3.4 Klassifiseringer av LUTI-modeller

LUTI-modeller klassifiseres ofte etter hvilken teoriretning modellen tilhører. I dette kapitlet vil vi gå gjennom de forskjellige teoriene som ligger til grunn for denne klassifiseringen.

De tre første (gravitasjonsmodeller, entropi-maksimerende modeller og cellular automata-modeller) er analogiske modeller, eller strukturforklarende modeller. Disse modellene er opprinnelig fra andre vitenskaper, og blir brukt som en analogi til transport- og arealbrukssystemer for å prøve å predikere aggregerte størrelser. Disse modellene predikerer altså bare utfallet av en viss modellstruktur uten å være forankret i adferdsteori. Resten av teoriene som blir forklart tar i stedet utgangspunkt i teori om menneskelig adferd eller markedsmekanismer, slik at det som blir predikert også er meningsfullt på et mikronivå. Fordelen med strukturforklarende modeller er at de ofte er enklere å estimere og trenger mindre inputdata. På den andre siden er de ofte mindre sensitive for ulike policy-scenarier, siden adferdsendringer ikke blir representert eksplisitt i modellene.

**Gravitasjonsmodeller:** Dette er utgangspunktet for de første modellene for å beskrive romlig interaksjon. Gravitasjonsmodeller er hentet direkte fra fysikken, og baserer seg på ideen om at kraften (transportstrømmen) mellom to legemer (soner) er proporsjonal med deres masse (størrelse) og omvendt proporsjonal med avstanden mellom dem. Disse modellene har blitt brukt mye for å predikere både transportstrømmer og handelsstrømmer mellom soner. Den enkleste formen å skrive disse modellene på er som følger:

$$F_{ij} = \frac{M_i^\alpha M_j^\beta}{D_{ij}^\gamma}$$

Hvor  $F_{ij}$  er den predikerte mengden («Force») mellom sone  $i$  og sone  $j$ ,  $D_{ij}$  står for den generaliserte reisekostnaden mellom dem («Distance») og  $M$  står for de respektive sonenes størrelse («Mass»). I transportmodeller er dette gjerne innbyggere og/eller arbeidsplasser.  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$  er parametere som må estimeres eller kalibreres slik at modellen skal passe overens med de predikerte mengdene man observerer i virkeligheten.

Det finnes flere måter å raffinere slike modeller på (se begynnelsen av dette kapitlet for en enkel LUTI-modell med bakgrunn i gravitasjonsmodellen), men de vil aldri kunne ta utgangspunkt i eller forklare menneskelig oppførsel; det blir i stedet brukt en analogi fra fysikken for å predikere de aggregerte størrelsene som observeres. På tross av dette har slike modeller ofte rimelig god predikeringskraft, tatt i betraktning modellsystemets enkelhet, de lave kravene til datakraft og de lave kravene til inputdata. Selv om dette ser trivielt ut sammenlignet med dagens modeller, hender det fortsatt at gravitasjonsmodeller blir brukt i visse deler av en aggregert modellstruktur hvor det

enten er lite data tilgjengelig, eller der den menneskelige oppførselen er for kompleks til å kunne bli modellert på en tilfredsstillende måte med de dataene man har.

**Entropi-maksimerende modeller:** Bruken av entropimodeller når det kommer til transport- og arealbruksmodellering oppsto i en periode hvor de fleste modeller var formulert som et rent matematisk optimeringsproblem (lineær programmering). Entropi-modeller søker å tilnærme seg det vi observerer i virkeligheten ved å legge til grader av spredning («dispersion») i modellresultatene. Dette er basert på modeller fra fysikken som beskriver hvordan gasspartikler sprer seg i et lukket rom. Modellen kan beskrives som et prosedyre hvor man finner et statistisk gjennomsnitt av en stor populasjon av enheter med en viss grad av interaksjon, for eksempel mennesker i byer (Wilson, 1998). Entropi-modeller var populære en lang periode, til en viss grad fordi de er lette å modifisere og generalisere. Entropi-modeller ble blant annet brukt i flere av undermodellene til Lowrys Metropolismodell (begynnelsen av dette kapittelet), og det viste seg at dette forbedret modellens predikeringskraft.

**Cellular automata-modeller:** Disse modellene predikerer romlig interaksjon uten å ta utgangspunkt i enkelte aktører, men ved å dele opp geografiske områder i et rutenett. Ved hjelp av deterministiske overgangsregler er det mulig å predikere hvordan en celle endrer verdi basert på verdien til nærliggende celler. Verdi kan her enten bety en kontinuerlig verdi, som tomteverdien, eller en diskret verdi, som for eksempel «bolig», «kontorlokale» eller «butikk». Slike modeller er ikke basert på økonomisk teori, men heller historiske trender. CA-modeller har vist seg å kunne predikere faktiske endringer i arealbruk med overraskende stor nøyaktighet.

**Input-output-modeller:** I/O-modeller er hovedsakelig økonometriske modeller som er utviklet ved å identifisere aktører, konseptualisere driverne for deres økonomiske valgprosess, finne variabler som reflekterer disse driverne og utvikle statistiske metoder for å teste diverse hypoteser (Berglund, 2014). De predikerte modellene kan deretter bli brukt for å komme med prognoser om hvordan arealbruken endres for det området modellene er utviklet for. Interaksjonen slike modeller prøver å predikere er mellom produsenter av varer og tjenester og konsumenter, og deres lokaliteter. Det er altså økonomiske aktiviteter og plasseringen av disse som er fokusområdet. Alle kjente I/O-modeller er Interaction-Location-modeller (se avsnitt 3.4.1). Den viktigste ligningen i denne typen modeller kan skrives på formen (Wegener, 2014):

$$X_{irs} = X_{ir} A_{ir} f(c_{ir} + g_{irs}) Z_{is}$$

Hvor  $X_{irs}$  er leveranser i sektor  $i$  fra sone  $r$  til sone  $s$ ,  $X_{ir}$  er tilbudet av varer fra sektor  $i$  i sone  $r$  og  $Z_{is}$  er etterspørselen etter denne typen varer i sone  $s$ .  $c_{ir}$  er produksjonskostnader per enhet og  $g_{irs}$  er transportkostnaden.  $A_{ir}$  er en balanserende faktor som sørger for at de totale varestrømmene fra region  $r$  er lik produksjonen i sonen.

Den største begrensningen til slike modeller er at de ofte krever data som sjeldent er tilgjengelig på regionsnivå. I tillegg vil slike økonometriske modeller ha problemer med å predikere adferd som avviker fra det som er den historiske normen, i og med at modellene kun er kalibrert basert på data om tidligere romlig økonomisk interaksjon.

**Bid-rent-modeller:** En teori som prøver å forklare hvordan pris og etterspørsel etter eiendom endrer seg med utgangspunkt i avstanden til sentrum («central business district»). Kjøperen med det høyeste budet leier en gitt eiendom, og budet vil typisk være proporsjonalt til økningen i konsument- eller produsentoverskudd et gitt individ eller en gitt butikk ville fått ved å flytte dit. Butikker med en høy verditetthet på varene



sine (verdi per kvadratmeter), som for eksempel smykkebutikker, vil dermed typisk være villige til å betale mye for en tomt som ligger i sentrum, hvor mange mennesker går forbi hver dag. Industri, og butikker som selger varer med lavere verditetthet, som for eksempel byggevarer, vil tilpasse seg lengre unna sentrum. Bak disse modellene ligger det altså en antakelse om at jo mer tilgjengelig et område er, jo mer profitt kan aktører forvente ved å lokalisere seg der (Alonso, 1964).

Disse modellene fører ofte til en tredelt by:

- Butikker med relativt høy verditetthet ligger mest sentralt (i forhold til «central business district»);
- Deretter havner den hoveddelen av boligområdene i en ring rundt sentrumsbutikkene;
- Industri, og en del butikker med lavere verditetthet (butikker som krever mye gulvareal) havner utenfor dette igjen.

Slike modeller kan bli spesifisert på mange forskjellige måter. En av de vanlige spesifikasjonene for stokastiske bid-rent-modeller tar utgangspunkt i den betingede sannsynligheten for at en tomt med visse karakteristikker blir benyttet av en viss aktørtype. I motsetning til RUM-modeller (se neste avsnitt), som predikerer sannsynligheten for at en viss aktør velger en viss type tomt, vil altså bid-rent-modeller predikere at en gitt tomt er benyttet av en viss type aktør (Sivakumar, 2007).

**RUM-modeller:** «Random Utility Models» eller «Random Utility Maximization» (RUM) betegner en statistisk metode utviklet av McFadden på 70-tallet som predikerer aktørers diskrete valg på individnivå, forankret i adferdsmessig teori med utgangspunkt i nyttemaksimering. Teorien separerer individ  $i$ s nytte av valgalternativ  $j$ ,  $U_{ij}$  i to deler:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Hvor  $V_{ij}$  er en deterministisk komponent som estimeres basert på observerbare individ- og alternativspesifikke variable, og  $\varepsilon_{ij}$  er en stokastisk, uobserverbar komponent, som reflekterer både ikke-observerbare karakteristikker og heterogenitet mellom individer. Det stokastiske feilleddet gjør det mulig å predikere en spredning i aktørers valg som observerbare variabler ikke klarer å forklare. Med visse antakelser om  $\varepsilon_{ij}$  er det mulig å predikere individers valgsannsynlighet. Antakelsen om ekstremverdifordelte feilledd vil for eksempel gi en multinomisk logitmodell, med en valgsannsynlighet på formen:

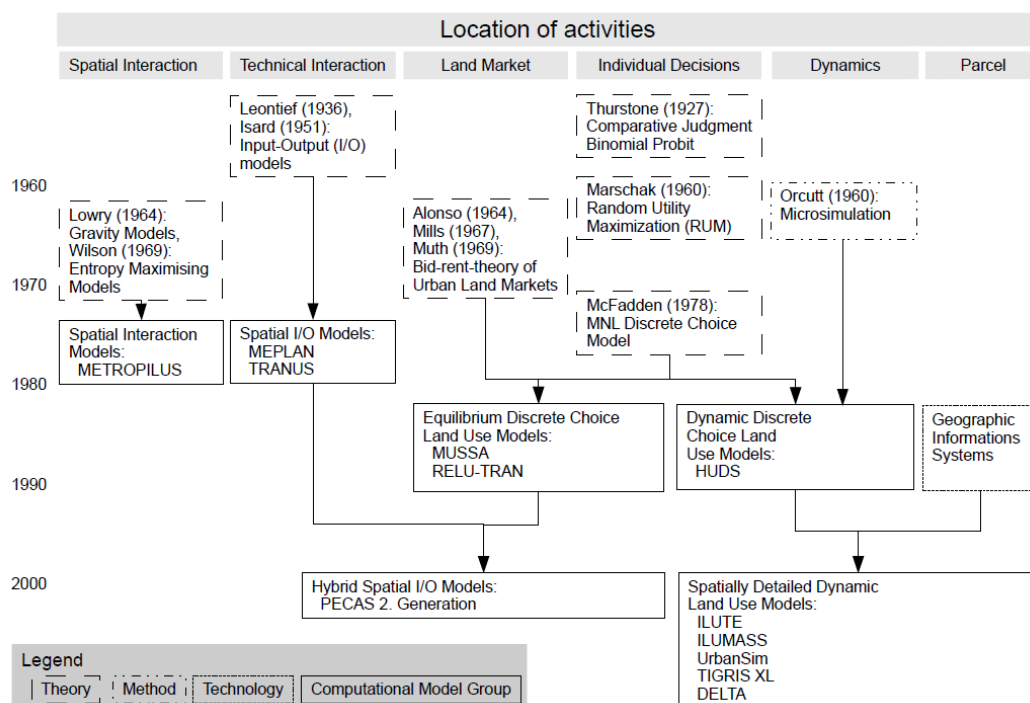
$$p_{ij} = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{j \in C} e^{V_{ij}}}$$

Hvor  $p_{ij}$  er valgsannsynligheten og  $C$  er valgsettet til individ  $i$ .

Man kan notere at entropimaksimerende modeller og RUM-modeller er nært beslektede. Maximum likelihood-estimering av en multinomisk logitmodell og kalibrering av en entropimaksimeringsmodell på samme aggregerte data leder til samme modellspesifisering (Anas, 1983). Det er snarere hvordan man vil spesifisere sin modell og om man har tilgang til disaggregerte data eller ikke, enn iboende strukturelle egenskaper hos modellklassene, som avgjør egenskapene til de respektive modellene.

**Aktivitets-baserte modeller:** Aktivitetsbaserte modeller er en fellesbetegnelse på alle modeller som tar utgangspunkt i aktiviteter de forskjellige agentene vil gjennomføre, og predikerer andre variabler betinget på dette. Man kan argumentere for at denne tilnærmingen er mer realistisk enn å ta utgangspunkt i attraktivitetsbaserte modeller (som man for eksempel gjør i gravitasjonsmodeller, eller i klassiske firetrinns transportmodeller). Blant annet gir det modellens aktører mulighet til å planlegge rundturer, med flere aktiviteter. I tillegg gir det mulighet til å skape konsistens i modellsystemet, både når det gjelder det totale tidsbudsjettet (en aktør kan ikke gjennomføre reiser og aktiviteter som tar mer enn 24 timer i løpet av et døgn) og når det gjelder spesifikke tidspunkt for aktiviteter/reiser (en aktør kan ikke gjennomføre en reise/aktivitet før den forrige reisen/aktiviteten har sluttet).

En del av disse teoriene, og måten de har påvirket grener av LUTI-modeller på, er avbildet i Figur 3.5, hentet fra Renner m.fl. (2014). Her er det også inkludert eksempler på LUTI-modeller tilhørende hver enkelt kategori. Flere av disse LUTI-modellene blir nevnt igjen i avsnitt 3.5.



Figur 3.5. Oversikt over utviklingen av LUTI-modeller fra Renner m.fl. (2014).

I resten av dette kapitlet vil vi diskutere forskjellige hovedskiller når det kommer til utformingen av en LUTI-modell. Det første skillet er mellom interaction-location-modeller (IL-modeller) og location-interaction-modeller (LI-modeller). Dette er et modell-teknisk skille som ikke har mye å si for hva modellen kan gjøre, men avhenger av hvilke type data som er tilgjengelig og påvirker fleksibiliteten i modelleringen og muligheten til å koble opp en arealbruksmodell til en eksisterende transportmodell. Deretter vil vi diskutere to andre skiller, som både gjelder LUTI-modeller og transportmodeller generelt, og som også blir framhevet som de to viktigste debattene når det kommer til god modellering, både teoretisk og operasjonelt, av Wegener (2014). Det første skillet tar for seg statiske likevektsmodeller på den ene siden, og en mer dynamisk tilnærming til modellering hvor markeder ikke nødvendigvis er i likevekt på den andre siden. Det andre skillet tar for seg makrobaserte modeller med

representative aktører på den ene siden, og mikrobaserte modeller som prøver å fremheve interaksjonen mellom enkeltindivider på den andre siden.

### 3.4.1 Interaction-location versus location-interaction

Modeller kan bli klassifisert basert på måten de kobler plasseringen til ulike aktiviteter med den romlige interaksjonen mellom aktiviteter (Department of transport, 2014).

**IL-modeller:** Den første fremgangsmåten gjør interaksjonen mellom aktiviteter for ulike aktører til de viktigste variablene. Disse interaksjonsvariablene blir predikert i modellen, og deretter blir plasseringen til ulike aktiviteter regnet ut basert på det totale nivået på interaksjon. Eksempelvis kan antall husholdninger i en spesifikk sone bli regnet ut basert på antall arbeidere som pendler fra sonen til alle mulige arbeidsplasser. Man må da bruke pendlerturer fra sonen til å finne det totale antallet arbeidere, og deretter predikere antall husholdninger basert på dette. Denne tilnæringsmåten kalles «IL» («the interaction-location approach», altså interaksjon-lokalitetstilnærming). Grunnen til dette er at hovedkjennetegnet til denne modelltypen er at interaksjonen bestemmer plasseringen av forskjellige aktiviteter. Denne typen modeller blir ofte kalt integrerte modeller, siden fordelingen av transportetterspørsel blir fullt ut predikert innenfor rammene av arealbruksmodellen. Dette betyr at transport- og arealbrukskomponentene i modellsystemet ikke kan separeres.

**LI-modeller:** Den andre fremgangsmåten predikerer plasseringen til forskjellige arealanvendelsesaktiviteter først, for deretter å modellere interaksjonen mellom aktivitetene. Dette blir kalt en «LI»-tilnærming (the location-interaction approach, eller plassering-interaksjonstilnærming). Denne modellgruppen tillater at både antallet av og plasseringen til de forskjellige typene av aktiviteter kan bli bestemt i undermodeller, altså separate moduler. Her kan forskjellige typer samspillseffekter modelleres. En vanlig metode er å inkludere tilgjengelighetsindikatorer per sone. Eksempelvis kan en undermodell for befolkningsfordeling inkludere mål på tilgjengelighet til arbeidsplasser, og mål på tilgjengelighet til andre plasseringer hvor det foregår relevante aktiviteter. Interaksjonen mellom aktiviteter blir dermed kontrollert av den relative plasseringen av forskjellige aktiviteter. Denne tilnærmingen lar fordelingen av transportetterspørsel utover soneparene bli bestemt hovedsakelig av transportmodellen. Modellsystemet består dermed av en komplett transportmodell koblet til arealbruksmodeller, i motsetning til en transportmodell som er kodet inn som en del av en arealbruksmodell. LI-tilnærmingen blir derfor ofte kalt «koblet» (linked), i motsetning til «integrert» (integrated, altså IL-tilnærmingen beskrevet over).

En IL-modell er mest fordelaktig hvis man ikke har transportetterspørselsmatriser i utgangspunktet. For Norge, derimot, hvor vi allerede har transportmodeller, kan man tenke seg at en LI-tilnærming er mer gunstig:

- LI-tilnærmingen trenger ikke å ha likevekt mellom plasseringen til og antallet av forskjellige aktiviteter. For eksempel kan en LI-modell predikere en økning i arbeidstilbudet i et område hvor det er en reduksjon i etterspørselen (noe som resulterer i arbeidsledighet). I en IL-modell derimot, hvor husholdninger blir generert basert på etterspørselen etter arbeidskraft, og etterspørselen etter arbeidskraft igjen er delvis avhengig av husholdningers etterspørsel etter varer og tjenester, er modellen nødt til å kjøres til likevekt. Hvis ikke ville husholdninger og jobber forsvunnet fra modellen. Situasjoner hvor markeder er utenfor likevekt er realistiske, og det er derfor en fordel å ha muligheten til å inkorporere dem i en LUTI-modell.

- I en LI-tilnærming er halve arbeidet gjort allerede, siden en slik modell kan bygges på en eksisterende transportmodell. For en IL-tilnærming derimot, måtte både arealbruks- og transportdelen av modellen blitt kodet fra bunnen av.
- Konseptet med et modellrammeverk koblet sammen av forskjellige moduler gjør også LI-tilnærmingen mer fleksibel; det er mye enklere å starte med noen få, enkle moduler og deretter gjøre modellen mer sofistikert ved enten å legge til moduler, eller å bytte ut eksisterende moduler med mer avanserte.

Siden en LI-tilnærming inneholder en fullverdig transportmodell, er det enkelt å komme med prognoser hvor man bare kjører transport-delen av modellen. Disse prognosene kan deretter sammenlignes med LUTI-prognosene, og det vil være enkelt å se hvordan feedbacken fra arealbruk til transport påvirker modellsystemet. Med en IL-tilnærming vil det derimot ikke være mulig å kjøre bare transportdelen av modellen, men det vil være mulig å legge inn en eksogen restriksjon på at arealbruken ikke skal endre seg. Sånn sett vil man få et resultat som er sammenlignbart med en transportmodell uten en tilkoblet arealbruksmodell.

### 3.4.2 Statiske versus (kvasi-)dynamiske modeller

Dette avsnittet vil dreie seg om skillet mellom statiske modeller som beskriver en likevektssituasjon på den ene siden, og dynamiske modeller hvor tiden er kontinuerlig på den andre siden. En kategori av modeller som faller et sted mellom disse to er kvasi-dynamiske modeller, hvor tiden er diskret, og hvor det er mulig å se endringer fra én tidsperiode til en annen (Wegener, 2014).

**Statiske likevektsmodeller:** De første LUTI-modellene var statiske likevektsmodeller. I denne typen modeller blir det generert et urbant miljø på et ikke-definert tidspunkt, hvor de endogene variablene har verdier som sørger for likevekt i alle modellerte markeder. Rene likevektsmodeller gir altså et stillbilde av en hypotetisk situasjon «en gang i framtiden», men vektlegger ikke når, hvordan eller i det hele tatt om man vil ende opp i denne situasjonen. Denne grenen av modeller baserer seg på teorien om at alle markeder beveger seg mot likevekt, og at likevektssituasjonen dermed blir den mest hensiktsmessige tilpasningen å ta i betraktning når det kommer til nytten av forskjellige tiltak innenfor transport eller arealbruk.

**Dynamiske modeller:** En annen gren av modeller fokuserer i stedet på de urbane prosessene som foregår, som kan lede til likevekt, men ikke nødvendigvis gjør det (se avsnitt 3.3.3). Denne grenen av modeller er påvirket av teorier om komplekse systemer, som viser til at et hvert marked på et visst tidspunkt er påvirket av forskjellige urbane prosesser i stadig endring, i tillegg til eksogene sjokk (uforutsigbare endringer i de variablene som modellen ikke er ment å predikere, som for eksempel politiske beslutninger, ulykker eller forskjellige teknologiske nyvinninger). Dette gjør en situasjon hvor markedene er i likevekt, ikke minst over en lengre tidsperiode, svært usannsynlig. Dermed blir det mer interessant å modellere disse urbane prosessene, og hvilken hastighet de foregår i, for å kunne predikere situasjoner utenfor likevekt.

**Kvasi-dynamiske modeller:** Sanne, dynamiske modeller er vanskelige å modellere i praksis. Kvasi-dynamiske, også kalt rekursive, modeller er et forsøk på å operasjonalisere dynamikken ved å dele inn tiden i diskrete tidsperioder heller enn å representere den som en kontinuerlig akse. Dette er den vanligste fremgangsmåten når det kommer til LUTI-modeller. I denne typen modeller lar man resultatet fra én

simuleringsperiode være input i den neste simuleringsperioden. Ved å sammenligne resultatene fra forskjellige simuleringsperioder kan man se endring over tid. Lengden på en simuleringsperiode vil på denne måten sette en nedre grense for hvor lang tid det tar før en endring i ett marked manifesterer seg i de andre markedene. Det er også mulig å implementere virkninger som tar lengre tid. Hvis man for eksempel mener det tar tre år å bygge boliger, og tidsperiodene modellen opererer med er ett år lange, kan man la det ta tre tidsperioder før boliginvesteringer i én sone manifesterer seg i eiendomsmarkedet gjennom et økt antall boliger. På denne måten kan rekursive modeller etterligne syklusene vi observerer i visse markeder i virkeligheten, med vekselvis etterspørselsoverskudd og tilbudsoverskudd.

### **3.4.3 Aggregerte versus agentbaserte, mikrosimulerte modeller**

En viktig debatt når det kommer til modelleringsvalg er hvilket aggregeringsnivå som er mest hensiktsmessig. Spørsmålet om hvilket aggregeringsnivå eller hvilken oppløsning en modell burde ha kan potensielt ha en rekke med svar, fra én representativ husholdning og én representativ bedrift fordelt mellom soner på den ene siden, til å eksplisitt modellere hvert enkelt individ (eller husholdning) og deres interaksjon på den andre siden. De mest disaggregerte modellene kan også implementeres på tomte-nivå, noe som gjør den romlige oppløsningen svært høy, men også krever mye data.

Tradisjonelle transportmodeller har opplevd en stor økning i mengden data som er tilgjengelig, for eksempel fra RVU-er. Dette har gjort det mulig å gå fra enkle gravitasjonsmodeller for å predikere antall turer mellom sonepar, til standard firetrinnsmodeller, til aktivitetsbaserte modeller som predikerer rundturer mellom soner avhengige av hvilke aktiviteter aktørene skal gjennomføre og hvor disse aktivitetene er lokalisert. Med utgangspunkt i denne utviklingen har flere transportmodeller en stadig større grad av disaggregering, helt ned til aktivitetsbasert mikrosimulering på individnivå.<sup>5</sup>

De første arealbruksmodellene var, akkurat som transportmodellene, aggregerte modeller delt inn i store, statistiske soner. Ettersom veksten i datakraft og disaggregert GIS-basert<sup>6</sup> data økte, var det også mulig å la modellens soneinndeling være mer disaggregert. For å klare å utnytte dette har flere metoder blitt tatt i bruk. Dette inkluderer for eksempel Cellular automata-modeller, som er en analogisk metode, og Bidrentteori og diskrete valgmodeller, som i større grad baserer seg på teorier om individers valg (se starten av avsnitt 3.4 for forklaringer av disse begrepene).

Disse metodene kan implementeres med representative aktører heller enn enkeltindivider, men modellering på mikronivå sørger for at interaksjonen mellom enkeltindivider blir fanget opp av modellen på en realistisk måte. I tillegg taler oppfatningen om at modeller burde være atferdsmessig realistiske generelt, og ikke minst fange opp atferdsmessig heterogenitet, for at mikrosimulering burde benyttes. Som et resultat av dette har også flere LUTI-modeller som opprinnelig var aggregerte, kommen ut på nytt i mikrosimuleringsformat.

Det er imidlertid flere problemer knyttet til mikrosimulering. Dette inkluderer åpenbare problemer knyttet til store datakrav og lang estimeringstid, men også mer konseptuelle problemer. Det viktigste av disse er mangel på stabilitet i resultatene.

---

<sup>5</sup> Se Flugel m.fl (2014) for mer informasjon.

<sup>6</sup> GIS: Geografiske informasjonssystemer

Rekken av simuleringer vil gi en fordeling av fremtidsscenarioer, som kan tolkes som sannsynlighetsfordelingen for hvilket framtidsscenario som kommer til å oppstå basert på modellens tolkning av inndataene. Den stokastiske variasjonen mellom hver simulering vil være relativt liten når mange aktører med klare preferanser velger mellom et lite sett av alternativer, men vil øke hvis preferansene er usikre, hvis antall alternativer øker eller hvis antall aktører reduseres. Det er prøvd å illustrere dette i Tabell 3.2.

Tabell 3.2. Stokastisk variasjon i mikrosimulering.

	Liten stokastisk variasjon	Stor stokastisk variasjon
Aktører	Mange aktører	Få aktører
Preferanser	Klare preferanser	Uklare preferanser
Alternativer	Få alternativer	Mange alternativer

I noen tilfeller vil støyen denne stokastikken skaper være så stor at sannsynlighetsfordelingen over resultater blir veldig usikker, og i verste fall vil man ikke kunne skille effekten av forskjellige tiltak fra hverandre (Wegener, 2014).<sup>7</sup> Antall alternativer i arealbruksdelen av modellen (for eksempel valget av hvilken tomt man skal kjøpe) vil typisk være mye større enn antall alternativer i transportdelen (for eksempel valg av transportmiddel). Preferansene vil som regel også være mer usikre, siden det generelt er flere aspekter knyttet til valg av bolig enn valg av transportmiddel, som modellene ikke klarer å fange opp. Dette taler for at simulering på individnivå i transportdelen av en LUTI-modell vil gi relativt bedre resultater enn simulering på individnivå i arealbruksdelen. I tillegg er det grunn til å tro at veien fra makro til mikro i transportdelen vil ha en relativt større effekt på resultatene, gjennom for eksempel eksplisitt modellering av kødannelse.

### 3.5 26 LUTI-modeller oppsummert og sammenlignet

Dette delkapittelet er en litteraturgjennomgang av allerede eksisterende LUTI-modeller. Denne gjennomgangen er hovedsakelig en oppsummering av de viktigste funnene fra Wegener (2004), Hunt m.fl. (2005), Sivakumar (2007) og Berglund (2014). For mer utfyllende informasjon angående punktene under, refereres leseren dit. Spesielt Berglund (2014) trekkes fram som en oppdatert og grundig gjennomgang med utfyllende deskriptiv informasjon beskrevet i vedleggene.

Her vil 26 LUTI-modeller, delvis hentet fra de foregående kildene og delvis lagt til enkeltvis, bli beskrevet og sammenlignet med hensyn på inkluderte prosesser, modellstruktur, teoretisk fundament, modelleringsteknikker og dynamikk. Modellene er kort nevnt under, med aktuelle kildehenvisninger inkludert.

ASEM «A Spatial Equilibrium Model», en rekursiv, romlig likevektsmodell. (Jin m.fl., 2013)

<sup>7</sup> Det finnes flere måter å begrense effektene av den stokastiske støyen på. For eksempel kan modellen kjøres flere ganger, og man kan la det endelige resultatet være et gjennomsnitt av hver kjøring. Dette blir imidlertid sjeldent gjort i praksis på grunn av lang estimeringstid.

BOYCE	En kombinert modell for lokalisering og reisevalg utviklet av Boyce (Boyce m.fl. 1983, 1985; Boyce og Mattsson, 1991; Boyce m.fl. 1992).
CUFM	California Urban Futures Model, utviklet på University of California på Berkeley (Landis 1992, 1993, 1994; Landis og Zhang, 1998a, 1998b).
DELTA	En arealanvendels- og økonomisk utviklingspakke utviklet av David Simmonds Consultancy i Cambridge, UK (Simmonds og Still, 1998; Simmonds, 2001; Simmonds og Feldman, 2005).
ILUTE	En integrert arealbruks-, transport- og miljømodell utviklet som et samarbeid mellom flere kanadiske universiteter (Miller og Salvini, 2001; Salvini, og Miller, 2005; Miller m.fl., 2011).
IMREL	En integrert modell for lokalisering av befolkning og arbeidsplasser, utviklet på KTH i Stockholm av Anderstig og Mattsson (1991, 1998).
IRPUD/ ILUMASS	En modell over Dortmundregionen utviklet på University of Dortmund (Wegener, 1982a, 1982b, 1985, 1986a; Wegener m.fl. 1991; Wegener, 1996, 1998b; Wagner og Wegener, 2007).
ITLUP	En integrert transport- og arealbrukspakke utviklet av Putman (1983, 1991, 1998), som består av DRAM (lokalisering av innbyggere) og EMPAL (lokalisering av arbeidere).
KIM	En ikke-lineær urban likevektsmodell utviklet på University of Illinois av Kim (1989) og Rho og Kim (1989).
LILT	Leeds Integrated Land-Use/Transport-modellen utviklet på University of Leeds av Mackett (1983, 1990c, 1991a, 1991b).
MEPLAN	En integrert modellpakke utviklet av Marcial Echenique & Partners (Echenique m.fl., 1969; Echenique og Williams, 1980; Echenique, 1985; Hunt og Echenique, 1993; Hunt og Simmonds, 1993; Williams 1994; Hunt, 1994).
METROSIM	En mikroøkonomisk arealbruks- og transportmodell utviklet for New York av Anas (1992, 1994, 1998).
MUSSA	«The 5-Stage Land-Use Transport Model» utviklet for Santiago de Chile av Martinez (1991, 1992a, 1992b; Martinez og Donoso, 1995; Martinez, 1996, 1997a, 1997b).
PECAS	Production, Exchange and Consumption Allocation System, utviklet på University of Calgary (Parsons Brinckerhoff Ohio and Hunt Analytics 1999; Hunt og Abraham, 2003).
POLIS	Projective Optimization Land Use Information System, utviklet av Prastacos for Association of Bay Area Governments (Prastacos, 1986; Caindec og Prastacos, 1995).
RAMBLAS	En mikro-simulert LUTI-modell implementert i Nederland (se Veldhuisen m.fl., 2000).
REGENT	En relativt ny LUTI-modell implementert i Sverige (se <a href="http://regent-docs.azurewebsites.net/">http://regent-docs.azurewebsites.net/</a> )

RELU-TRAN	En romlig generell likevektsmodell implementert i Chicago-regionen og Paris-regionen. Se Anas og Liu (2007) Anas og Hiramatsu, (2012, 2013) og Anas (2013).
RETRO	En integrert modell for lokalisering av befolkning og arbeidsplasser, basert på IMREL-modellen men tilpasset for Oslo (Vold, 2005).
RURBAN	Random Utility URBAN-modellen, utviklet av Miyamoto (Miyamoto m.fl. 1986; Miyamoto og Kitazume, 1989; Miyamoto og Udomsri, 1996).
SIMULACRA	Ikke en modell, men en fleksibel modellstruktur for enkelt å bytte ut eller legge til undermodeller (Batty m.fl, 2013).
STASA	En masterligningsbasert transport og urban/regional modell utviklet for Stuttgart av Haag (1990). Begrepet masterligning kommer fra fysikken, og refererer til et sett av differensialligninger som beskriver et system som utvikler seg ved å endre tilstand over tid, og hvor valg av tilstand beskrives med sannsynligheter.
TLUMIP	LUTI-modellen som Oregon utviklet i Oregon Transport and Land Use Model Integration Program (ODOT, 2002).
TRANUS	LUTI-modellen utviklet av de la Barra (de la Barra, 1982; de la Barra m.fl. 1984; de la Barra 1989, 1998).
TRESIS	Transportation and Environment Strategy Impact Simulator, utviklet på University of Sydney av Hensher og Ton (2001).
URBANSIM	Den mikroøkonomiske modellen for lokaliseringvalg for husholdninger og bedrifter, skapt av Waddell (1998a, 1998b, 2002; Wadell m.fl., 1998).

Av de gjennomgåtte modellene er det senere valgt å fokusere på URBANSIM spesielt (se kapittel 4.2.5 for mer om denne modellen). Om det ved en senere anledning besluttes å satse på å utvikle en LUTI-modell for Norge, er det like fullt andre av disse modellene som kan være av spesiell interesse. Tre modeller, i tillegg til URBANSIM, som vi mener er av spesiell interesse for Norge er kort beskrevet under.

- RELU-TRAN (Regional Economy, Land Use and Transportation) er en romlig, generell likevektsmodell, hvor likevekt i transportmarkedet, arbeidsmarkedet og boligmarkedet bestemmes simultant, konsistent med neoklassisk økonomisk teori om produsenters og konsumenters adferd. Modellen er kalibrert for Chicago-regionen og for Paris-regionen. Den holder også på å bli implementert for Los Angeles-regionen. Eksempler på problemstillinger som modellen er brukt til å belyse er bensinprisens påvirkning på reise- og lokaliseringmønster; hvordan reisetider, bensinforbruk og utslipp utvikles over tid når befolkningen vokser og forstedene ekspanderer; og hvilke effekter en tollring har på transport og arealbruk sammenlignet med kjøprising.
- ASEM (A Spatial Equilibrium Model) er en annen enklere, rekursiv romlig likevektsmodell for planlegging av store byendringer. Modellen bygger på drastiske forenklinger, som gjør den mindre datakrevende og enklere å implementere enn RELU-TRAN. Disse forenklingene legger naturligvis også



begrensninger på hvilke spørsmål som kan analyseres og hvor detaljerte svar som kan gis.

- SIMULACRA er en modellstruktur snarere enn en modell. Tanken er at strukturen skal være så fleksibel at man enkelt kan bytte ut eller legge til ulike delmodeller. I utgangspunktet er delmodellene statiske, og simulerer utviklingen for et spesifikt år. I tilpasningene som er gjort har det hovedsakelig blitt brukt en Lowry-lignende modellstruktur (se avsnitt 3.2). Til modellstrukturen kobles et verktøy som gjør at brukeren interaktivt kan spesifisere inndata til scenariene som skal analyseres, og resultatene blir visualisert. Modellstrukturen er blant annet brukt for å analysere konsekvensene av alternative lokaliseringer av en ny flyplass i London-regionen. Modelloppbygningen er enkel, noe som både er dens styrke og svakhet. Det burde ikke kreve alt for mye ressurser for å implementere en enkel modell for en norsk by ved hjelp av denne modellstrukturen.

### **3.5.1 Inkluderte prosesser**

Av de 26 modellene er det bare seks (ILUTE, MEPLAN, STASA, PECAS, TLUMIP og TRANUS) som inkluderer alle de åtte urbane prosessene. Omtrent halvparten av modellene skiller ikke mellom aktiviteter (sysselsetting og befolkning) og fysiske størrelser (fysiske arbeidsplasser og boliger). Seks av modellene (DELTA, CUFM, MUSSA, POLIS, RURBAN og URBANSIM) modellerer ikke transportstrømmer i seg selv, men er avhengige av interaksjon med eksisterende transportmodeller. Bare DELTA, ILUTE, IRPUD, LILT og URBANSIM modellerer demografiske endringer og tilblivelsen av husholdninger. Tabell 3.3 oppsummerer de 26 modellene og hvilke prosesser, i form av urbane systemer (se Tabell 3.1) som er representert.

Tabell 3.3. Oversikt over 26 LUTI-modeller, og hvilke urbane systemer de representerer. Basert på Wegener (2004) og oppdatert med nyere modeller.

Modeller	Veldig treg		Treg		Rask		Momentan	
	Nettverk	Areal- anvendelse	Fysiske arbeidsplasser	Boliger	Sysselsetting	Befolkning	Gods- transport	Person- transport
ASEM	+	+			+	+		+
BOYCE	+				+	+		+
CUFM	(+)	+	+	+	+	+		(+)
DELTA	(+)	+	+	+	+	+		(+)
ILUTE	+	+	+	+	+	+	+	+
IMREL	+	+	+	+	+	+		+
IRPUD/ILUMASS	+	+	+	+	+	+		+
ITLUP	+	+			+	+		+
KIM	+				+	+	+	+
LILT	+	+	+	+	+	+		+
MEPLAN	+	+	+	+	+	+	+	+
METROSIM	+	+	+	+	+	+		+
MUSSA	(+)			+	+	+		(+)
PECAS	+	+	+	+	+	+	+	+
POLIS	(+)	+			+	+		(+)
RAMBLAS	+	+	+	+	+	+		+
REGENT	+	+			+	+		+
RELU-TRAN	+	+	+	+	+	+		+
RETRO	+	+	+	+	+	+		+
RURBAN	(+)	+			+	+		(+)
SIMULACRA								
STASA	+	+	+	+	+	+	+	+
TLUMIP	+	+	+	+	+	+	+	+
TRANUS	+	+	+	+	+	+	+	+
TRESIS	+	+	+	+	+	+		+
URBANSIM	(+)	+	+	+	+	+		(+)

- (+) betyr at denne prosessen er en del av en sammenkoblet transportmodell.
- SIMULACRA har ingen urbane prosesser inkludert, da dette kun er et verktøy for å sette sammen enkeltstående moduler. Det er imidlertid mulig å inkludere alle de urbane prosessene i en LUTI-modell som er bygget på SIMULACRA.

### 3.5.2 Modellstruktur

Modellene kan hovedsakelig deles inn i to grupper. Den ene gruppen består av store, helhetlige modeller, mens den andre gruppen består av et hierarkisk system av underordnede modeller, knyttet sammen, men med uavhengig intern struktur (på engelsk 'unified' og 'composite' models, se Wegener m.fl., 1986). Ni av modellene er helhetlige modeller (BOYCE, MUSSA, KIM, MEPLAN, METROSIM, PECAS, RUBAN, TRANUS og STASA), mens de resterende er sett av underordnede modeller. Dette har stor betydning, både for modelleringsteknikk og for modellenes dynamiske oppførsel.

### 3.5.3 Teoretisk fundament

I løpet av de siste 40-50 årene har det blitt gjort store fremskritt når det gjelder å forklare romlige valg, og når det gjelder å kalibrere romlige valgmodeller. I dag er det bred enighet om hva som utgjør en state-of-the-art arealanvendelsesmodell. Bortsett fra én av modellene (CUFM), som bruker allokeringsregler, baserer alle modellene seg på diskret valg-teori for å forklare og forutsi oppførselen til modellenes forskjellige aktører. Diskret valg-teori predikerer valgsannsynligheter ved å anta nyttemaksimerende aktører, og deler opp nytten i en deterministisk komponent og en stokastisk komponent. Mens den deterministiske komponenten fanger opp observerbare forskjeller mellom både individer og alternativer, fanger den stokastiske komponenten opp effekter knyttet til uobserverbare attributtverdier, uobserverbare smaksforskjeller mellom individer og usikkerhet knyttet til modellen og modellrammeverket generelt. Bak denne overordnede uniformiteten er det imidlertid store forskjeller:

- Minst elleve av modellene (ASEM, DELTA, IMREL, KIM, MEPLAN, METROSIM, MUSSA, PECAS, RELUTRAN, RURBAN, TLUMIP, TRANUS og TRESIS) representerer markedet for land (eller gulvareal eller boliger) med endogene priser og markedsklarering i hver periode. Minst tre av modellene (ILUTE, IRPUD og URBANSIM) har endogene land- og boligpriser med forsinket prisjustering. Disse modellene er påvirket av, eller tar utgangspunkt i, bid-rent teori (se Alonso, 1964). Dette er en teori som prøver å forklare hvordan pris og etterspørsel etter eiendom endrer seg med utgangspunkt i avstanden til sentrum (central business district). Resten av modellene er ikke likevektsbaserte, men tar utgangspunkt i nyttemaksimering og diskret valg-teori. Tre av modellene (MUSSA, RURBAN og STASA) er hybrider mellom bid-rent- og diskret valg-teori. Alle modellene med underordnede transportmodeller bruker enten diskret valg-teori eller entropi-teori for å modellere valg av transportmiddel og destinasjon.
- Det er bare fire modeller (ASEM, KIM, METROSIM og RELU-TRAN) hvor den generelle likevekten for både transport og arealanvendelse blir bestemt simultant med endogene priser. Andre modeller gir likevekt for kun transporten (for eksempel ILUTE, IRPUD, ITLUP og TLUMIP), for transporten og arealanvendelsen separat (for eksempel IMREL, MEPLAN, PECAS, TRESIS og TRANUS), eller av transport og arealanvendelse kombinert, men med eksogene priser (for eksempel BOYCE og LILT). Seks modeller bruker enten konseptet «locational surplus» (IMREL, POLIS; se

neste kulepunkt), nyttemaksimering (DELTA, IRPUD og ITLUP) eller lønnsomhet (CUFM) for å lokalisere aktiviteter. METROSIM kan vise den langsiktige likevekten eller konvergens mot en stasjonært tilstand år for år. STASA beskriver den kortsiktige omfordelingen av befolkningen i løpet av en dag som følge av transporthendelser.

- IMREL er den eneste sanne optimeringsmodellen; den bruker likevektmekanismen til å bestemme hvilken fordeling av boliger som maksimerer «locational surplus». Dette konseptet er definert som nyttevirkingen en innbygger opplever ved å bli værende i sin nåværende bolig/soner. De andre modellene derimot, simulerer bestemte scenarier.
- Flere andre teoretiske elementer er bygget inn i modellene. For eksempel bruker MEPLAN, METROSIM, PECAS og TRANUS eksportbasert teori for å sammenkoble befolkningen og sysselsettingen over et visst terskelnivå til eksogene prognoser for forskjellige eksportindustrier. DELTA, ILUTE, IRPUD, LILT, TLUMIP og URBANSIM bruker demografiske konsepter og sammenhenger i undermodellene for befolkningsprognoser og husholdningsdannelse. IRPUD bruker også konsepter fra tidsgeografi, som tids- og pengebudsjetter, til å bestemme handlingsrommet for reisende i undermodellen for transport.

### **3.5.4 Modellerings teknikker**

I alle 20 modellene er byen representert som et sett av flere eller færre diskrete soner. Tid er typisk delt inn i flere diskrete perioder på ett til fem år. Dermed kan alle modellene, bortsett fra IMREL, som i ett steg optimerer bostedslokaliseringen for et gitt framtidsår, klassifiseres som rekursive simuleringsmodeller:

- STASA bruker en ettårsperiode for urban/regional modellering og en éntimesperiode for omfordelingseffekter som følge av transporthendelser. I ni av modellene (BOYCE, IMREL, KIM, LILT, MEPLAN, METROSIM, PECAS, RURBAN og TRANUS) blir transportarbeid og arealanvendelse simultant bestemt i romlige modeller hvor aktiviteter blir lokalisert ut fra bestemmelsesstedet til en reise. I resten av modellene (og i IMRELs undermodell for lokalisering av arbeidere) påvirker transport arealbruk gjennom tilgjengelighetsindikatorer. I de fleste modellene hvor nettverket er representert eksplisitt blir nettverkslikevekten brukt for å allokere turer til de forskjellige lenkene. En svakhet med dette er at på tidspunkter uten kø vil alle velge den samme ruta, slik at den naturlige spredningen over veinettet vi ser i virkeligheten ikke vil finne sted. Bare ITLUP, MEPLAN, STASA og TRANUS lar hvert individ potensielt velge flere ruter i hver simulering basert på en sannsynlighetsfordeling, og tillater på den måten en spredning over veinettet, og bare ILUTE og TLUMIP bruker aktivitets-basert turgenerering.
- For å representere godsstrømmer er det vanligst å bruke kryssløps-/input-output-metoder. DELTA, KIM, MEPLAN, PECAS og TRANUS bruker enten kryssløpskoeffisienter eller etterspørselsfunksjoner for godsstrømmer mellom sektorer, og enten diskret valg- eller entropi-modeller for å spre disse ut mellom sonene. MEPLAN, PECAS og TRANUS lar industrier og

husholdninger konsumere og produsere «faktorer», noe som resulterer i godsstrømmer eller reiser.

- Bortsett fra CUFM, en versjon av UrbanSim og RAMBLAS er alle modellene aggregert til mesonivå (mellom mikro og makro), altså blir resultatene oppgitt for middels store soner og for aggregater av bedrifter og husholdninger. CUFM, ILUTE, TLUMIP, RAMBLAS og en versjon av URBANSIM er disaggrigerte modeller, altså modeller som bruker mikrosimuleringsteknikker. Mikrosimulering vil si at deler av modellene er simulert for de minste enhetene og deretter aggregert, altså enkelte husholdninger, enkelte kjøretøy eller enkelte bedrifter. CUFM bruker detaljert kartinformasjon, generert fra et GIS-system. IRPUD starter med aggregerte data, men bruker mikrosimulering i undermodellen for boligmarkedet. ILUTE og URBANSIM bruker en soneinndeling på meso-nivå, men bruker mindre romlige enheter i noen av undermodellene, som rutenett eller til og med faktiske tomter.

### 3.5.5 Dynamikk

Likevektsmodeller er basert på forutsetningen om at endogene modellvariable, som priser, tilbud og etterspørsel, tilpasser seg likevekts situasjonen momentant, eller, hvis det er lagt inn en forsinkelse, at variablene beveger seg gradvis mot likevekt. Dynamiske modeller, på den andre siden, er basert på at noen endringer virker raskere enn andre, og at forskjellene i tilpasningstempoet er så store at urbane systemer normalt er utenfor likevekt. De fleste modellene er rekursive simuleringsmodeller. Dette vil si at de er kvasi-dynamiske (selv om de viser utviklingen i byer over tid, vil resultatene for én spesifikk simuleringsperiode være et tverrsnitt). De enkleste modellene er imidlertid statiske likevektsmodeller, mens de mest kompliserte modellene (i hovedsak modeller fra 2005 og fram til i dag) er dynamiske. I disse modellene kan enkeltagenter følges fra periode til periode. Eksempler på dette er RAMBLAS og UrbanSim.

## 3.6 Oppsummering – hva kjennetegner dagens og fremtidens LUTI-modeller?

Dagens operasjonelle LUTI-modeller, uansett om de er dynamiske eller statiske, består av en transportkomponent og en arealbrukskomponent. Koblingene mellom disse to komponentene prøver å fange interaksjonene mellom transport- og arealbruksmarkedet. Den vanligste koblingen er en som prøver å fange tilgjengelighet; tilgjengelighetsmål utregnet i arealbruksmodellen blir brukt som input i transportetterspørselsmodellene, og en feedbacksyklus sørger for å oppdatere disse tilgjengelighetsmålene som følge av endringene i transportetterspørselsmodellene.

Hunt m.fl. (2005) identifiserte flere styrker som karakteriserte dagens modeller allerede for et tiår siden:

- Generelt solide mikroøkonomiske formuleringer av markedsprosessene som styrer arealbruk;
- Et helhetlig rammeverk for å ta innover seg transport- og arealbruksinteraksjoner;

- Gode muligheter for å analysere effektene av endringer i forskjellige transportmidler på arealbruken.

De identifiserte også seks områder hvor de fleste av datidens modeller ikke holdt mål, og som de argumenterer for at burde bli spesielt fokusert på i fremtiden. Dette er:

1. For aggregert soneinndeling;
2. Mange modeller er avhengige av forutsetninger og statisk likevekt. Dette innebærer som regel også store hopp i tid, og lite tidsavhengighet i variablene som endres;
3. For aggregerte representasjoner av husholdninger og bedrifter. I tillegg er det ofte ikke mulig å skille individer fra husholdninger når det kommer til adferd;
4. Mangel på endogene demografiske prosesser;
5. Mangel på endogene prosesser i bileierskapsmodeller;
6. Arealbruksmodellene er i for stor grad avhengige av firetrinns transportmodeller.

Disse seks punktene har blitt stående som viktige fokusområder når det gjelder modellutvikling, og er ofte referert til i nyere internasjonal litteratur. Det er imidlertid skjedd mye de siste årene, spesielt når det gjelder agentbaserte mikrosimuleringsmodeller. Figur viser hvordan Wegener (2004) mente samspillet mellom transportmodeller og arealbruksmodeller har utviklet seg og kom til å utvikle seg i framtiden, hvor cellen (L6,T4) viser koblingen mellom de mest komplekse transportmodellene og de mest komplekse arealbruksmodellene.

Transport model		T1	T2	T3	T4
Land-use model		No public transport, no modal split	Public transport, no logit, 24 h	Public transport, logit, peak hour	Multimodal, activity-based
L1	None				
L2	Activity and judgement				
L3	No market-based land allocation				
L4	Logit allocation with price signals				
L5	Market-based land-use model				
L6	Activity-based land-use model				

Figur 3.6. Oversikt over den dynamiske utviklingen til LUTI-modeller. Wegener (2004)

Det vi observerer er at den nyeste generasjonen med LUTI-modeller både nærmer seg (L6,T4) og på samme tid klarer å adressere Hunt m.fl. (2005) sine seks innvendinger. Denne nye generasjonen av LUTI-modeller er agentbaserte mikrosimuleringsmodeller med en stadig større grad av romlig disaggregering. Dette inkluderer for eksempel de nye modellene ILUTE, ILUMASS, TLUMIP og RAMBLAS. I tillegg, og vel så viktig, har eldre, mer etablerte LUTI-modeller begynt å komme ut i agentbaserte versjoner. Dette inkluderer for eksempel modellene UrbanSim og MUSSA. UrbanSim er den eneste modellen identifisert i denne litteraturstudien som prøver å bygge et integrert rammeverk hvor både arealbruksmodellen og transportmodellen er aktivitetsbasert og mikrosimulert. For UrbanSim i sin nyeste form vil ingen av de seks innvendingene til Hunt m.fl. (2005) gjelde.

Samtidig, og mer eller mindre unngåelig, gjør kompleksiteten i LUTI-modeller det vanskelig å sørge for at modellenes samspillseffekter er transparente nok. Dette gjør det vanskelig for beslutningstakere å få oversikt over hva modellresultatene kommuniserer, og hva modellen har utelatt.

Berglund (2014) identifiserer tre trender når det gjelder utviklingen av dagens arealbruksmodeller, som alle er knyttet til utviklingen som er beskrevet over:

- *Trend 1: Fra makro til mikrosimulering (fra en ovenfra-og-ned-tilnærming til en nedenfra-og-opp-tilnærming).* Fra statiske, aggregerte arealbruksmodeller, til komplekse, agentbaserte mikrosimuleringsmodeller. Agentbaserte modeller ser ut til å vokse i popularitet i områder med komplekse planleggingsutfordringer.

- *Trend 2:* Som en mulig reaksjon til utviklingen av mer komplekse modeller, er det en parallell strømning mot å bygge enklere, raskere og mer visuelt tilgjengelige planleggingsverktøy. Slike verktøy er basert på mindre data-intensive og mindre teoririke tilnærminger (regelbaserte eller GIS-baserte verktøy). Noen av disse verktøyene er enkle LUTI-modeller, mens andre kun er planleggingsverktøy hvor eksogene forutsetninger om arealbruk må gjøres. Disse er derfor ikke beskrevet her.<sup>8</sup>
- *Trend 3:* Det er også en økende bevissthet rundt viktigheten av en integrert tilnærming for arealplanlegging. Det er imidlertid også en oppfatning blant mange beslutningstakere om at de enkleste LUTI-modellene ikke egner seg for alle typer scenarioanalyser, mens de mest komplekse LUTI-modellene trenger ekspertkunnskap som beslutningstakerne selv ikke har.

Basert på disse tre trendene virker det som om hovedutfordringen LUTI-modeller har i framtiden er å finne ut hvor det er best å plassere seg på akse som går fra kompliserte modeller til enkle og forståelige modeller.

Til slutt i dette avsnittet presenteres det en figur som er ment å gi et overblikk over hvilke tiltaksanalyser en LUTI-modell egner seg til å gjennomføre. Denne figuren er basert på og tilpasset fra Sivakumar (2007). Det må legges til at egnetheten for å analysere effekten av forskjellige transporttiltak i hovedsak vil være betinget av transportmodellen, og ikke arealbruksdelen av modellsystemet. En mye grundigere gjennomgang av transporttiltak i tilknytning til forskjellige transportmodeller er inkludert i (Flügel, Flötteröd et al. 2014). En kolonne for transporttiltak er imidlertid inkludert her for fullstendighets skyld.

---

<sup>8</sup> Et slikt planleggingsverktøy er beskrevet senere i kapittel 4.2.3, altså ATP-modellen utviklet av Asplan Viak.



Tabell 3.7. Eksempler på tiltak som kan analyseres i en generell LUTI-modell (en utvidelse basert på Sivakumar, 2007).

<b>Tiltakskategori</b>	<b>Arealbrukstiltak</b>	<b>Transporttiltak</b>	<b>Andre tiltak</b>
<b>Prising</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skatt: eiendomsskatter</li> <li>• Subsidier: Reutvikling av byområder</li> <li>• Utviklingsavgifter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomringer/køprising</li> <li>• Bensinskatt</li> <li>• Gjennomgangavgifter</li> <li>• Parkeringsprising</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skatt på bilkjøp</li> <li>• Avdrag for arbeidsreiser ved inntektsbeskatning</li> <li>• Lisensavgifter</li> <li>• Inntektsfordelingstiltak (som endring i inntektsskattens progressivitet, eller andre velferdsoverføringer)</li> </ul>
<b>Infrastruktur og tjenester</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunale boliger</li> <li>• Andre infrastrukturtiltak, for eksempel knyttet til kloakk, strøm eller vannforsyning</li> <li>• Offentlige bygninger/ andre nullprofitt-institusjoner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veibygging- eller utviding</li> <li>• Endring i kollektivtransporttilbudet</li> <li>• Endring i antall ladestasjoner for elbil</li> <li>• ITS-systemer</li> <li>• Flere eller færre parkeringsplasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endring av åpningstider for butikker, tidspunkt på dagen når barnehager åpner og når skolen begynner</li> </ul>
<b>Reguleringstiltak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonelovgivning (både bruk av areal og knyttet til tetthet)</li> <li>• Problemstillinger knyttet til mikrodesign i nabolag, for eksempel villaområde versus bykvarter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulering av parkeringsmuligheter</li> <li>• Veiregler (fartsgrenser, gateparkering, dedikerte kjørefelt, osv.)</li> <li>• Ikke-prisdrevne tiltak for å regulere trafikketterspørsel (for eksempel oppfordring til hjemmekontor i visse bedrifter)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standarder for luftkvalitet (område-spesifikke)</li> <li>• Standarder for utslipp (kjøretøy-spesifikke)</li> <li>• Støy</li> <li>• Sikkerhetstiltak</li> <li>• Bilteknologistandarder (for eksempel for elektriske biler eller Euro-klasse)</li> </ul>
<b>Utdanning/ markedsføring</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endring av holdninger (hva skjer hvis man klarer å endre individers holdninger eller følsomheter, som for eksempel tidsverdi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endring av holdninger (hva skjer hvis man klarer å endre individers holdninger eller følsomheter, som for eksempel tidsverdi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endring av holdninger (hva skjer hvis man klarer å endre individers holdninger eller følsomheter, som for eksempel tidsverdi)</li> </ul>

## 4 Analyse

Oppdraget består i å vurdere styrker og svakheter ved integrerte arealbruks- og transportmodeller med tanke på:

- deres evne til å analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transportetterspørsel;
- hvilke typer data som kreves; og
- hvordan modellene kan brukes i Norge.

I dette ligger også en sammenligning med tradisjonelle transportmodeller.

I avsnitt 4.1 har vi definert et sett med vurderingskriterier som vi har brukt som rammeverk i gjennomgangen av de ulike metodene og modellene, samt i analysen. Vurderingskriteriene er definert med utgangspunkt i oppdragsgivers beskrivelser og i forskningslitteratur knyttet til vurdering av metoder og modeller.

I avsnitt 4.2 blir disse vurderingskriteriene brukt til å evaluere dagens transportmodeller med eksogen arealbruk, noen utvalgte former for LUTI-modeller basert på avsnitt 3.5 samt andre utvalgte metoder og modeller.

Når det kommer til faktiske LUTI-modeller har vi valgt å ta utgangspunkt i to alternativer. Det første er en form for aggregert arealbruksmodell som kan kobles opp mot RTM (Regional transportmodell) slik den er i dag. Dette er den enkle formen for LUTI-modell, både når det gjelder beskrivelse av årsakssammenhenger og når det gjelder krav til inndata og prosessorkraft. Det andre alternativet er en arealbruksmodell på mikronivå med utgangspunkt i UrbanSim som er tenkt å kunne kobles opp mot en agentbasert, mikrosimulert transportmodell (ref. Flügel et al. 2014). Dette legger opp til en mer avansert form for LUTI-modell, hvor enkeltaktørers handlinger, både når det gjelder reisevaner og valg som fører til endret arealbruk, mikrosimuleres. Dermed vil krav til inndata bli høyere, og årsakssammenhengene som modelleres mer komplekse.

Disse LUTI-modellene er sammenlignet med basisscenariet (transportmodeller med eksogen arealbruk) og de andre evaluerte metodene og modellene i en komparativ analyse i avsnitt 4.3.

### 4.1 Vurderingskriterier

Vi har valgt å basere evalueringen av metodene og modellene, samt den komparative analysen, på tre sett av vurderingskriterier. Det første handler om modellens evne til å beskrive samspillseffekter (se avsnitt 4.1.1), det andre handler om modellens krav til inngangsdata (se avsnitt 4.1.2), og det siste er en generell vurdering på egnethet i norske byområder (se avsnitt 4.1.3). Denne generelle vurderingen inkluderer blant annet kostnader ved å utvikle en modell, transparens i modellstrukturen, krav til brukere samt mulighet for å benytte modellsystemet i konsekvensutredninger og nytte-kostnadsanalyser.

#### 4.1.1 Kriterier for modellenes evne til å beskrive samspillseffekter

Samspillet mellom arealutvikling, infrastruktur og transporttetter er komplekst, ikke minst fordi det inkluderer effekter både på kort, mellomlang og lang sikt (som skissert i kapittel 2). Man kan ikke forvente at noen modeller inkluderer alle slike effekter. Desto viktigere er det at de beskriver så korrekt som mulig de viktigste og sterkeste effektene. De Jongh (1988) bygger på egen og andres forskning når han diskuterer ulike årsaker til usikkerhet i ulike typer modellberegninger. Han viser til at de som lager og bruker modellene hele tiden må gjøre en rekke subjektive beslutninger om hvordan modellene skal bygges. I dette arbeidet begås det særlig tre typer 'strukturelle feil' som har innvirkning på hvor godt modellene beskriver virkeligheten; *prosessfeil* – modellen forenkler virkeligheten ved å anta at bare enkelte sammenhenger er viktige, og den utelater vesentlige sammenhenger; *funksjonsfeil* – modellen beskriver ikke årsak-virkningsforholdene riktig for de sammenhengene som tas med i modellen, og; *feil bruk av modellen* – modellen er ikke gyldig for den aktuelle problemstillingen. I følge De Jongh (*ibid*) forklarer slike strukturfeil mye av usikkerheten i modeller (gitt som avvik mellom beregninger før tiltak gjennomføres og målt effekt etter at tiltaket er gjennomført). Dette er bekreftet blant annet i studier av usikkerheter i modellberegninger knyttet til store infrastrukturprosjekter i ulike deler av verden (Flyvbjerg 2005, Flyvbjerg mfl. 2003). Det er også påvist at slike strukturfeil gir usikkerheter knyttet til transportmodeller, luftforurensingsmodeller og modeller for geohydrologiske effekter i Norge (Tennøy mfl. 2006). Avvik på bakgrunn av strukturelle feil har to hovedårsaker. Den ene årsaken kan klassifiseres som funksjonsfeil; altså at modellen ikke klarer å representere en viktig mekanisme tilstrekkelig godt. For å minske risikoen for funksjonsfeil er det viktig at modellen er godt validert. Den andre årsaken er at den antatte utviklingen i eksogene faktorer ikke stemmer overens med den reelle utviklingen. Dette kan gjelde inntekt, bensinpriser, skatter og avgifter eller andre kostnader, demografiske endringer, teknologiske endringer også videre. Dette er et fundamentalt problem, som det ikke går an å løse på noen enkel måte. Med sensitivitetsanalyser kan man imidlertid undersøke hvor usikre resultatene er med tanke på usikkerheter i disse eksogene faktorene. Basert på dette definerer vi de følgende kriteriene for modellens evne til beskrive samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastrukturendringer og transporttetter:

- Inkluderes de viktigste årsak-virkningssammenhengene (pilene i figur 1) i selve modellen? Er det redegjort for hvilke årsak-virkningsforhold som er inkludert – hva som er definert eksogent og endogent i modellen?
- Beskrives de ulike årsak-virkningssammenhengene korrekt? Er det redegjort for hvordan de beskrives? Er det redegjort for hvilket teoretisk grunnlag modellene hviler på?
- Er forståelsesmodellene gyldige for den aktuelle problemstillingen? Er gyldighetsområdet definert?
- I hvilken grad er modellene i stand til å inkludere dynamikken i utviklingen, inkludert trendbrudd?
- I hvilken grad inkluderes kumulative effekter og helhetseffekter i modellene?

#### 4.1.2 Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet

Hvor brukbare modellene er i praksis, og hvor godt de kan beskrive virkeligheten, avhenger blant annet av databehov, datatilgjengelighet og kvaliteten på tilgjengelige data. Feil i grunnlagsdata og forutsetninger er viktige usikkerhetsfaktor i modeller (De Jongh 1988). Dersom modellene krever data som er lett tilgjengelige, som oppdateres jevnlig og som er sikre og robuste, reduseres feilkildene og unøyaktighetene og modellene blir mer brukbare. For hver modell undersøker og vurderer vi:

- Hvilke typer data krever modellene?
- Er slike data lett tilgjengelige? Kreves det tilleggsundersøkelser for hvert enkelt tilfelle? Hvor lett og vanskelig er det å skaffe slike data? Hvor resurskrevende er det å rette og ajourholde nødvendige data?
- Hvor god er kvaliteten på den type data som kreves, i Norge? Hva er de viktigste usikkerhetsfaktorene og unøyaktighetene i dataene som trengs?
- Krever modellene data som ikke eller vanskelig kan fremskaffes i/for norske byer?
- Hvilke typer eksogene forutsetninger må gjøres?
- Hvor godt er kunnskapsgrunlaget for å kunne gjøre nødvendige forutsetninger? Hva slags usikkerheter innebærer det å gjøre slike forutsetninger (mtp. at modellene skal brukes i ulike kontekster, tidsperspektiver, mv.)?
- I hvilken grad kan og vil forståelsen til de som lager og kjører modellene innvirke på hva slags resultater modellen genererer?

#### 4.1.3 Modellenes egnethet til bruk i norske byområder

Viktige kriterier knytter seg også til hvor egnet de ulike modellene er i norske byområder og i ulike plan- og beslutningsprosesser. Dette dreier seg både om hvilken ekspertise brukerne av modellene må ha for å kunne bruke dem på forsvarlige måter, om modellene lett kan tilpasses ulike byer, hvor enkelt det er å endre forutsetninger og data som er lagt inn i modellene, i hvilken grad andre enn de som kjører modellene kan forstå og etterprøve hvilke typer sammenhenger og data som er lagt inn i modellene, og om ikke-eksperter som andre fagfolk og beslutningstakere kan forstå modellenes virkemåte og de resultatene de produserer. For hver modell vil vi undersøke og vurdere:

- Hvor lette og vanskelige er modellene å bruke? Hvem kan være brukere av modellene? Hvilket ekspertnivå kreves? Hvilken støtte finnes det for å unngå og oppdage feil ved kjøring av modellene?
- Hvor generelle er modellene? Kan de enkelt tilpasses de ulike kontekster (byer) de benyttes i?

- Hvor fleksible er modellene? Det vil si, hvor enkelt er det å legge inn endringer i forutsetninger om arealbruk, parkeringstilgjengelighet, veikapasitet, mv.?
- Hvor etterprøvbare er modellene? I hvilken grad kan andre enn de som lager og kjører modellene etterprøve hva som er gjort i modellen, hvilke data som er brukt, mv.
- Hvor forståelige er modellene og resultatene? Hvor enkelt kan fagfolk og beslutningstakere forstå hvilke data og forutsetninger som er lagt inn, hvilke årsak-virkningsmekanismer som er inkludert, hvilke og hvor store usikkerheter som ligger i modellene, hva modellene er (over-)følsomme for, hva resultatene betyr?
- Sist, men ikke minst: hvor egnet er modellene til bruk i nytte-kostnadsanalyser (NKA) og konsekvensutredninger?

## 4.2 Analyse av metoder og modeller

I denne delen av rapporten vil vi sammenligne ulike metoder og modeller for analyser av samspillseffekter mellom arealbruk, transporttettersspørsel og infrastruktur i byområder. Vi har valgt å se på følgende metode- og modellalternativer:

- A. Dagens transportmodeller med eksogen arealbruk
- B. Dagens transportmodeller med eksogen endring i arealbruk
- C. GIS-baserte planleggingsverktøy: ATP-modeller
- D. Aggregert arealbruksmodell koblet til RTM
- E. Disaggregert LUTI-modell: UrbanSim-MatSim

Her er de to siste modellalternativene to ulike varianter av LUTI-modeller. Sammenligningen er foretatt i henhold til vurderingskriteriene diskutert i kapittel 4.1.

### 4.2.1 A: Dagens transportmodeller

Scenario A beskriver dagens bruk av det norske transportmodellsystemet.

Dagens norske persontransportmodeller er tradisjonelt statiske og tur-baserte transportmodeller som bruker stokastisk nytteteori til å modellere antall reiser i de ulike reisemarkedene. Et reisemarked er i denne forbindelsen kjennetegnet ved en startzone, en destinasjonszone, en reisehensikt og en transportmåte. (I noen modeller er også tida på dagen da reisen foregår, et kjennetegn.) Ny/forbedret infrastruktur eller endringer i transportpolitikken vil endre de generaliserte reisekostnadene i de berørte reisemarkedene. Disse endringene påvirker både reisebeslutningen, destinasjonsvalget, transportmiddel- og rutevalget. På grunnlag av kostnadsendringen og atferdsendringen som den gir opphav til, er det mulig å beregne trafikantenes nytte av tiltaket. I en nyttekostnadsanalyse (NKA) av tiltaket, vil vanligvis trafikantnyttens utgjøre det viktigste nytte-elementet.

Trafikantnytt (eller brukernytten) assosiert med et tiltak i transportsystemet er målt ved det konsumentoverskuddet som tiltaket genererer. En vanlig metode for å beregne konsumentoverskuddet i NKA er å benytte «the rule of half» (RoH). La etterspørselen etter reiser være gitt ved  $T_{ijm}$ , hvor  $i$  og  $j$  betegner start- og slutt punkt for reisen og  $m$  betegner transportmiddel.  $T_{ijm}$  vil være en funksjon av de generaliserte transportkostnadene  $c_{ijm}$ . Toppskriftene 0 og 1 betegner henholdsvis før- og ettersituasjonen.

$$S_T = \sum_{i,j,m} \frac{1}{2} (T_{ijm}^0 + T_{ijm}^1) (c_{ijm}^1 - c_{ijm}^0) \quad (1)$$

## Modellens evne til å beskrive samspillseffekter

I disse modellene blir ikke samspillseffekter mellom transport og arealbruk modellert overhodet. I konvensjonelle transportmodeller inngår arealbruken som eksogen forklaringsvariabel for å predikere transportarbeidet. Dette blir gjort ved å inkludere plasseringen til forskjellige aktiviteter (hjem, arbeid, butikker, osv.), og generere eller fordele turer ut fra plasseringen til og avstanden mellom disse aktivitetene. Kausaliteten går fra arealbruk til transportsystemet, det vil si at det ikke er noen samspillseffekter mellom transportetterspørsel, arealbruk og infrastruktur.

I scenarioanalyser av den typen som er beskrevet over, kan arealbruken endres eksogent. Det vil si at arealbruken som inngår som forklaringsvariabel i transportmodellen endres utenfor modellsystemet, og da gjerne på grunnlag av ekspertvurderinger, eller i noen tilfeller på grunnlag av andre supplerende metoder og modeller. Når arealbruken endres eksogent, kompliserer det beregningen av brukernytten av transportforbedringen. Grunnen er at eksogent bestemte endringer i hvor folk kan bo, arbeide og drive fritidsaktiviteter, nødvendigvis vil innebære nytteendringer i mange andre markeder enn akkurat bare reisemarkedene. Men ved å bruke formel (1), har vi satt nytten eller kostnadene av disse endringene til null.

Vi trenger altså en teori om hvordan folk vil oppleve og utnytte de eksogent bestemte transport- og arealbruksendringene, dersom vi skal kunne beregne konsumentoverskuddene også i disse markedene. Vil de finne grunn til å flytte? Vil det bli nybygging og nyetableringer? Bare dersom de eksogene endringene vi har forutsatt i arealbruksmarkedene samsvarer med endringene som aktørene selv vil ønske å sette i gang, er det et solid grunnlag for å beregne hvilken nytte de vil ha av disse endringene.

Men selv om vi skaffer oss en slik teori, er ikke problemene slutt, for det dukker opp et spørsmål om nytten i arealbruksmarkedet kommer i tillegg til trafikantnytt, eller om den, helt eller delvis, er trafikantnytt i en annen form. For eksempel må vi regne med at tiltaket i transportsektoren gjør enkelte destinasjoner mer attraktive enn før. Flere vil slå seg ned eller besøke disse sonene, og det vil endre prisnivået på bolig eller forretningseiendom i sonene, gi grunnlag for nybygg og nyetableringer osv. Er dette bare trafikantnytt i en ny form, eller er det ringvirkninger med nytte ut over den opprinnelige nytten i transportmarkedene?

Det oppstår risiko for dobbelttelling. Allerede hos (Mohring 1961) bemerkes det at en økning i tomteprisene som følge av ny infrastruktur, hvis markedene er perfekte, kun er en omfordeling av den brukernytten som beregnes i NKA og ikke en økning i netto nytte.

## Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet

I dette scenariet, nullscenariet, foreligger all nødvendig data på forhånd, som del av transportmodellen. Baksiden er, som beskrevet over, at man er nødt til å forutsette konstant arealbruk. En annen måte å si dette på er at modellens aktører pålegges en urealistisk restriksjon (de er pålagt å bo der de bor i modellens basisår), og dette samsvarer dårlig med virkeligheten.

## Modellens egnethet til bruk i norske byområder

Det er denne metoden som allerede er i bruk i norske byområder. Det foreligger et nytteberegningsverktøy til RTM og NTM, men denne brukernytten består kun av trafikantnytte basert på trafikknyttmoduler og kollektivnyttmoduler, og forutsetter at arealbruken holdes uendret. Denne metoden egner seg dermed kun til å evaluere tiltak som ikke har en langsiktig påvirkning på arealbruken.

### 4.2.2 B: Dagens transportmodeller med eksogene arealbruksendringer

Det er imidlertid rom for å legge inn eksogene endringer i arealbruken i dagens persontransportsystem. Som vist i avsnitt 4.2.1, lar det seg ikke gjøre å beregne nytteeffekter av endret arealbruk som følge av en transportforbedring gjennom den tradisjonelle metoden for beregning av konsumentoverskudd.

Det er derimot fullt mulig å utlede et modellsystem som er konsistent med prinsippene for nyttemaksimering og som tar inn over seg eksogent endret arealbruk (Martinez and Araya 2000; Minken, May et al. 2003). I kapittel 9 i Minken et al. presenteres en utledning av konsumentoverskuddet i en integrert arealbruks og transportmodell, hvor total brukernytte er dekomponert i ytterligere 2 delkomponenter i tillegg til endringer i de generaliserte reisekostnadene (ligning 1). Summen av de tre nyttekomponentene utgjør i denne metoden den totale nytten av ny infrastruktur og endret arealbruk.

$S_D$  utgjør noe vi kan kalle destinasjons-nytt, hvor  $w_j$  er attraktiviteten i destinasjonen (i monetære verdier) som inngår som argument i nytten av destinasjonsvalget. Vanligvis er dette relatert til antall arbeidsplasser og andre attraktiviteter i sonen.

$$S_D = \sum_{i,j,m} \frac{1}{2} (T_{ijm}^0 + T_{ijm}^1) (w_j^1 - w_j^0) \quad (2)$$

Tilsvarende beregnes lokalitetsnytt  $S_O$ , altså nytten innbyggere opplever av å være lokalisert i en gitt sone, som:

$$S_O = \sum_i \frac{1}{2} (H_i^0 + H_i^1) (U_i^1 - U_i^0) \quad (3)$$

Her er  $H_i$  antall innbyggere i  $i$ ,  $U_i$  er nytten av hjemmesoneaktiviteter, inkludert miljøfaktorer og sonestørrelse (også her attraktivitet).

Denne metoden kan sammenfattes i 4 trinn:

- a) Benytt NKA til å vurdere tiltaket uten å ta hensyn til endringer i arealbruken
- b) Utform ny arealbruk basert på for eksempel ekspertvurderinger

- c) Kjør transportmodellen på nytt gitt ny arealbruk, og beregn konsumentoverskudd som følge av endrede generaliserte reisekostnader
- d) Beregn i tillegg konsumentoverskudd som følge av endret arealbruk både i startsonene og i destinasjonssonene etter oppskriften fra Minken et al.

Legg merke til at hvis du ikke tar med (d), blir det like feil å gjennomføre (a), (b), (c) som å bare gjennomføre (a). Om du altså ikke beregner de to nye nytteelementene, må du nøye deg med å holde arealbruken fast under nytteberegningene.

Ved å gjennomføre (a)-(c) kan trafikk tallene sammenlignes mellom de to scenarioene, men det kan ikke foretas en nytte vurdering med mindre også trinn (d) inkluderes. Trinn (a)-(c) kan eksempelvis benyttes for å sammenligne trafikkutvikling i et fremtids-scenario hvor man, på bakgrunn av ekspertvurderinger, antar økt befolkningsvekst i ett område på bekostning av andre områder. Men for å beregne brukernytten i scenariet med økt befolkningsvekst må også (d) gjennomføres.

### Modellens evne til å beskrive samspillseffekter

En slik modell inkluderer ikke samspillseffektene mellom arealbruk og transport, men forutsetter at disse bestemmes på forhånd ut fra ekspertvurderinger. Om ekspertvurderingene er realistiske, vil imidlertid denne metoden klare å fange opp nytteeffekter av tiltak både på transportsiden og arealbrukssiden.

### Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet

Dersom man (a) kan gi et begrunnet anslag på endringene som tiltaket fører til når det gjelder befolkningen i startsonene og attraksjonselementene i destinasjonssonene, (b) kan finne et pengemessig uttrykk for nytten av disse endringene i startsonene og på destinasjonene, samt (c) anslå hvor elastisk nytten i hvert av disse to tilfellene er for endringer i transportsystemet, kan den norske persontransportmodellen produsere det som ellers trenges av input til nytteberegninger både for til- og fra-sonen, i tillegg til den tradisjonelle nytteberegningen av endrede generalisert reisekostnader. Det anbefales å følge oppskriften i kapittel 9 i Minken et al så nøye som mulig, og ikke minst være klar over det skjønsmessige i en slik framgangsmåte, spesielt hvis den ikke bygger på en utprøvd og validert arealbruksmodell. Det kompliserende elementet ligger i å utlede vekstsystemet til attraktivitetsvariablene i destinasjonsvalgmodellen for å beregne  $W_j$ , samt å skape en enkel modell for å beregne  $U$ .

### Modellens egnethet til bruk i norske byområder

En slik framgangsmåte er godt egnet i norske byområder, siden den baserer seg på allerede eksisterende transportmodeller, samt gir en mulighet til å utlede brukernytte som er konsistent med den nye arealbruken et tiltak har ført til.

#### 4.2.3 C: GIS-baserte planleggingsverktøy: ATP-modeller

De seneste årene har man sett en dreining fra fokus på *mobilitet (mobility)* til fokus på *tilgjengelighet (accessibility)*, både i forskning om samordnet (eller integrert) areal- og transportplanlegging og i praksis. Mens mobilitet i hovedsak dreier seg om å frakte mennesker og varer enkelt og raskt fra sted til sted, dreier tilgjengelighet seg mer om hvor enkelt det er å få gjennomført ulike aktiviteter (Karou og Hull, 2012). Forskning og praksis knyttet til tilgjengelighet er derfor mer opptatt av hvordan ulike aktiviteter er lokalisert i forhold til hverandre (arealbruk), mens forskning og praksis knyttet til



mobilitet er mer opptatt av transportsystemene. Dette gjenspeiles blant annet i målsettinger om *kortreist hverdag* i flere kommuneplaner.

Sammen med fokuset på tilgjengelighet, har man også sett en fremvekst av GIS-baserte tilgjengelighetsmodeller, som kan brukes til å vurdere samspillseffekter mellom endringer i arealutvikling, infrastruktur og reiseatferd. I en nylig avsluttet COST-action samarbeidet forskere fra en rekke europeiske land og Australia om å beskrive state-of-the-art når det gjelder tilgjengelighetsmodeller (*accessibility instruments for planning practice*). 22 modeller ble presentert og diskutert (Hull, Silva og Bertolini, 2012). Disse var ulike på en rekke måter, blant annet ved hvilke problemstillinger de er rettet inn mot og hvor komplekse de er. Noen modeller er enkle tilgjengelighetsverktøy som for eksempel viser hvor mange som bor innenfor gangavstand til et påtenkt kjøpesenter, mens andre inneholder mer modellering og resulterer i prognoser for købelastning i veisystemer.

I Norge har Asplan Viak har utarbeidet en GIS-basert modell kalt ATP (Areal- og TransportPlanlegging), som etter hvert har blitt tatt i bruk og videreutviklet i en rekke norske byer. ATP-modellen er utviklet som en metode eller verktøy for samordnet areal- og transportplanlegging.<sup>9</sup> Den er utviklet for å analysere transporteffekter og effekter på arealutviklingen av endringer i arealbruk, endringer i transportsystemene og andre relevante endringer, og kombinasjoner av disse.

ATP-modellen er i prinsippet en tilgjengelighetsmodell. Den gjør bruk av stedfestede/geokodede data om bosetting, arbeidsplasser, mv., som kombineres med data om transportsystemene/nettverkene for alle transportmidler. Andre typer stedfestede data kan legges inn hvis ønskelig. Man kan legge inn data om dagens situasjon, eller data om en valgt fremtidig situasjon som man ønsker analysert (et annet kollektivnett, et nytt kjøpesenter eller boligområde, en viss befolkningsvekst i en definert del av byen, ny veikapasitet, en ny sykkelbro, mv.). Modellen brukes både til detaljerte og strategiske analyser.

### Modellens evne til å beskrive samspillseffekter

GIS-baserte modeller inkluderer ikke feedbacksyklusen mellom arealbruk og transport. Det er altså ikke mulig å modellere direkte hvordan arealbruken endres endogent i modellen for forskjellige scenarioer. Til gjengjeld kan man legge inn kausal effekter basert på forskningsbasert kunnskap om hvordan ulike endringer i arealbruken påvirker trafikk og transportsystemer, og vice versa. Det er dermed et verktøy som egner seg godt til å sammenligne ulike fremtidige scenarier med ulike endringer i arealutviklingen og i transportsystemene. Siden det er lite avansert modellering, er det uproblematisk å kjøre modellene flere ganger og la arealbruk, så vel som transport mengder og –systemer variere eksogent, og sammenligne resultatene.

ATP-modellen er, som nevnt, i prinsippet en tilgjengelighetsmodell. Den beregner trafikantenes reiserute, reiselengde og reisetid med kollektivtrafikk, sykkel, til fots og med bil. I sin enkleste form brukes den blant annet til å beregne – for dagens situasjon eller et valgt fremtidig scenario:

- Korteste reiserute i tid eller avstand i transportnettverk, gjennomsnittlig reiselengde til flere/ alle målpunkt
- Forskjeller i reisetid mellom to punkter/ områder med ulike transportmidler

<sup>9</sup> <http://www.asplanviak.no/index.asp?id=27183>

- Trafikantenes rekkevidde i transportsystemet fra et gitt punkt/ område, med ulike transportmidler, ut fra reisetid eller reiselengde (influensområde)
- Rekkevidde gitt som antall bosatte (kjønn, alder, arbeidssted), arbeidsplasser (kjønn, alder, bosted), mv. innenfor en viss rekkevidde - f.eks. 10 minutter med kollektivtransport (tilgjengelighet)
- Kan gi mål på potensielle transportstrømmer (f.eks. på en veglenke) ved å aggregere antall passeringer på en transportlenke

Det kan også legges inn logaritmer for kjente (eller valgte) årsak-virkningsmekanismer i modellen, f.eks.:

- Alle sysselsatte som bruker dobbelt så lang tid eller mer med kollektivtrafikk som med bil på sin arbeidsreise til sentrum velger kollektivtrafikk. Hvilke kollektivandeler får vi i dagens situasjon? Og i en fremtidig situasjon med vesentlige forbedringer i kollektivsystemet og reduksjon i veikapasiteten med ett felt i hver retning? Hva er da bilandelen og biltrafikkmengdene i rush i en fremtidig situasjon? Et realistisk eksempel kunne vært Ring 3 i Oslo.
- Gitt kjente eller definerte sammenhenger mellom attraksjon og resistans – hvem (bosatte i hvilke områder) vil bruke et nytt stort kjøpesenter i en gitt lokalitet, hvilke transportmidler vil de velge, hvilke endringer i totalt trafikkarbeid vil dette gi, hvordan vil dette påvirke totale klimagassutslipp fra transport i byen?
- All ny utbygging av arbeidsplasser foregår i sentrum de neste 10 år. Hva blir belastningen (gitt definerte forutsetninger for valg av transportmiddel) på de ulike transportsystemene? Hvordan blir totale biltrafikkmengder på veiene inn mot sentrum dersom man gjør endringer i ulike deler av transportsystemene (bygger mer veikapasitet versus øker frekvens, kapasitet, flatedekning, fremføringshastighet og punktlighet for kollektivtrafikken versus bygger supersykkelveier fra alle deler av byen inn mot sentrum)?
- Gitt kjente teoretiske og empiriske sammenhenger mellom utvikling av arealbruk, transportsystemer og reiseatferd – hvilke endringer i totale biltrafikkmengder (kjtkm) vil man få i ulike scenarier der både arealutviklingen og utviklingen av transportsystemene varierer?
- Gitt kjente teoretiske og empiriske sammenhenger mellom utvikling av arealbruk, transportsystemer og reiseatferd – hvilke kombinasjoner av endringer i arealbruk og transportsystemer kan totalt sett gi som resultat at all vekst i transportbehovet tas med kollektivtrafikk, sykkel og gange? Her vil man måtte prøve seg frem med ulike kombinasjoner og styrker.
- Hvilket transportarbeid med bil får man ved ulike lokaliseringer av f.eks. nytt sykehus?
- Hvilke endringer i konkurransesituasjonen mellom bil og sykkel får man ved full utbygging av høystandard sykkelnett?

Man kan få ulike typer output med slike modeller: Tilgjengelighet til områder eller aktiviteter fra ulike områder i byen og med ulike transportmidler, konkurranseforhold mellom bil- og kollektivtransport på reiser til ulike deler av byen, transportmiddel-fordeling, trafikkmengder, belastning og forsinkelser i veinettet, mv.

## Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet

Modellen gjør bruk av tilgjengelige, geokodede registerdata for bosetting, bosatte og arbeidsplasser. Det er ofte nødvendig å legge inn data manuelt, f.eks. om skoler, barnehager eller legesentre. Slike data fremskaffes vanligvis enkelt i samarbeid med kommunen. Arealbruksdataene kombineres med data om transportsystemene. Slike data hentes fra tilgjengelige kilder:

- Gangnett: NVDB/ Elveg/ vbase – supplert med gang- og sykkelenker hentet fra f.eks. FKB og ortofoto. Hastighet fastsettes – normalt til 5 km/t.
- Sykkelnett: NVDB/ Elveg/ vbase med høydeinformasjon – supplert med gang- og sykkelenker og ortofoto. Hastighet varierer med helning.
- Bilnett: NVDB/ Elveg, eventuelt supplert med kjøretidsmålinger (i/utenfor rush). Hastighet defineres ut fra skiltet hastighet/ kjøretidsmålinger
- Kollektivnett: NVDB/ Elveg/ Vbase, samt informasjon (for den enkelte by) om rutestruktur, frekvens og holdeplasser. Basis er ofte et ferdig gangnett.
- Kan kombineres med RVU-data.

Dette grunnlaget ligger mer eller mindre ferdig for mange norske byområder, og oppdateres jevnlig. I analyser av ulike fremtidsscenarier, defineres data og legges inn i modellen.

## Modellens egnethet til bruk i norske byområder

ATP-modellen egner seg godt i norske byområder, da det er dette den er utviklet for. Det generelle problemet med ATP-modellen sammenlignet med LUTI-modeller, som diskutert tidligere, er at den ikke endogeniserer arealbruken. Det er imidlertid flere fordeler med ATP-modellen og lignende verktøy, som gjør seg gjeldene i norske settinger:

- Det er enkelt å forklare hvilke data og sammenhenger (samspillseffekter) som er lagt inn i modellen til andre fagfolk, politikere, mv. Dermed fremgår det tydelig hvilke sammenhenger som er og ikke er inkludert, og hvordan sammenhengene er definert. Da kan også flere vurdere om modellen er gyldig for situasjonen den brukes i.
- Modellen og metoden kommuniserer resultater på en lett forståelig måte
- Modellen er utviklet for å være enkel å bruke, og den er allerede i bruk i de større byene i Norge
- Modellen er like sterk/god på alle transportmidler
- Den krever i hovedsak lett tilgjengelige data, og det er lett å oppdage det hvis datagrnnlaget er feil eller hvis resultatene er urimelige
- Det er enkelt (relativt lite arbeidskrevende) å endre scenarier og forutsetninger i modellen – dermed er det enkelt å gjøre følsomhetsanalyser og å prøve seg frem til bedre løsninger (gitt som arealutvikling eller utvikling av transportsystemer)

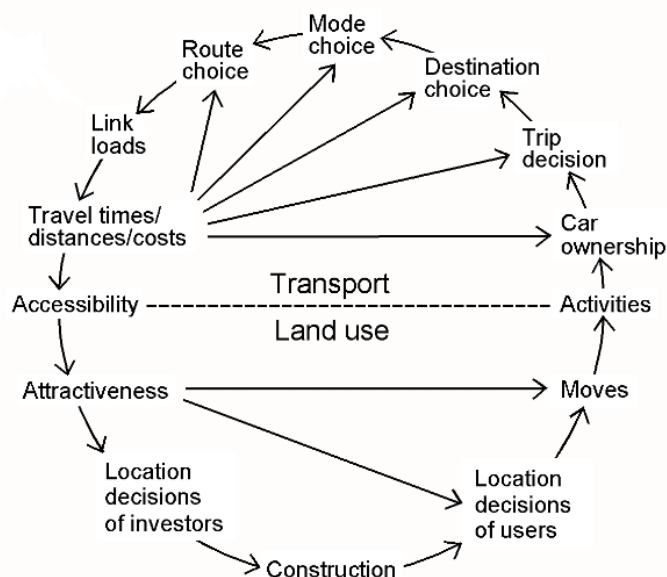
I den tidligere nevnte COST action ble det gjennomført 17 workshops i ulike land hvor planleggere (i hovedsak) vurderte brukbarheten og nytten av ulike tilgjengelighetsmodeller brukt på lokale planleggingsproblemer (se Brömmelstroet, Silva, Bertolini, 2014). Resultatene viste at planleggerne mente at modellene /verktøyene var brukbare og relevante, og at de bidro til bedre forståelse av planleggingsproblemene de jobbet med. Mange fremhevet fordelene med at resultatene presenteres som kart, og på måter

som er lett forståelige. Dette gjør det enklere å kommunisere problemstillinger, scenarier og konsekvenser. De viktigste barrierene lå i at mange planleggere og fagfolk ikke hadde kompetanse til å bruke verktøyene selv.

#### 4.2.4 D: Aggregert arealbruksmodell koblet til RTM (LUTI)

I dette scenariet er det tenkt at det utvikles en egen arealbruksmodul for aggregerte soner som kan kobles sammen med en allerede eksisterende transportmodell (RTM). Dette er det første forslaget til en LUTI-modell, og den enkle formen, både når det gjelder modellerte sammenhenger og krav til inngangsdata. Merk at 'enkel' her ikke er ment som mindreverdig, og fordeler og ulemper med en enkel tilnærming er beskrevet senere i kapittelet.

Figur 3.3 fra delkapittel 3.3.1 er gjengitt under for å oppsummere sammenhengene i en LUTI-modell. Det kan være nyttig å ha denne figuren i bakhodet for det neste avsnittet, der scenario D beskrives nærmere.



Figur 3.3 fra tidligere i rapporten, feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk (Wegener and Fürst 2004).

Vi kommer ikke til å skissere en full modell her, men det er lagt opp til en arealbruksmodul (altså den nederste halv sirkelen av figur 3.3) med hovedtrekkene beskrevet under:

- **Representative, aggregerte aktører i hver sone:** et alternativ hvor alle innbyggere er representert ved hjelp av mikrosimulering er skissert i scenario F. Dette alternativet legger opp til en enklere framstilling med representative aktører (tilsvarende som i RTM). Representative aktører betyr at alle modellerte innbyggere innenfor hver aktørgruppe handler likt, og det er derfor mulig å representere hver aktørgruppe med en aggregert nyttefunksjon.
- **Samme soneinndeling som transportmodellen:** dette sørger for samsvar mellom modellene, og at mest mulig informasjon fra arealbruksmodellen blir brukt som input i transportmodellen, og vice versa, ved hver iterering. Dermed unngår man tap av informasjon og ved modellkjøringer. Se (Flügel, Flötteröd et al. 2014) for mer informasjon om dette.

- **Forenklet modellering av utbygging:** Et mindretall av arealbruksmodeller inkorporerer eksplisitt investorer som aktører, og dette er enda mindre viktig i Norge enn i USA, hvor flertallet av eksisterende LUTI-modeller er utviklet; der er eiendomsutvikling i større grad markedsstyrt. I norske byer vil eiendomsutvikling i stor grad være bestemt av myndighetene, og de restriksjonene de pålegger eiendomsmarkedet, og dette inngår eksogent i modellen.
  - Man kan tenke seg en sterkt forenklet LUTI-modell, hvor «location decisions of investors» og «construction» fra Figur ikke inngår overhodet. Dermed vil arealbruksmodulen kun ta for seg bruk av allerede eksisterende bygninger, eller anta eksogen utbygging.
  - Eventuelt kan man tenke seg en svakt forenklet LUTI-modell, hvor eiendomsutvikling kun inngår indirekte, ved at indikatorer om lønnsomheten ved å bygge ut i en sone bestemmer utbyggelsesgraden innenfor en øvre grense, hvor den øvre grensen reflekterer den maksimale potensielle utbyggelsesgraden innenfor det som er tillatt av myndighetene.
- **En modell som baseres på nyttemaksimering og løses i likevekt:** Det er ikke mulig å la EFFEKT bestemme nytten i forskjellige scenarier for en LUTI-modell. For å kunne beregne brukernytte overhodet, må alle aktørers handlinger innad i modellen basere seg på nyttemaksimering.<sup>10</sup> Fordelen med en likevekstmodell er at det gir muligheten til å beregne nytten i den nye likeveksten direkte i modellen,<sup>11</sup> og nytteberegningene blir dermed gjort uavhengige av EFFEKT. Det er mer komplisert (og ikke nødvendigvis entydig) å skulle beregne total nytte i en modell som ikke ender i likevekt. Derfor forutsetter vi at scenarie E, som er den 'enkle' versjonen av en LUTI-modell, løses i likevekt.

## Modellens evne til å beskrive samspillseffekter

Hovedformålet med en LUTI-modell er å representere samspillseffekter mellom transport og arealbruk, som i Figur . Dette skiller dem fra modellene beskrevet for scenarier A, B og C, hvor arealbruken er eksogen. Spørsmålet er imidlertid i hvilken grad samspillseffektene blir representert på en tilfredsstillende måte. Her vil vi konsentrere oss om hvilke muligheter man har innenfor det modellrammeverket som er beskrevet over.

Det er dokumentert flere eksempler på at aggregerte LUTI-modeller klarer å predikere en del av samspillseffektene som oppstår på en tilfredsstillende måte. Dette krever imidlertid at to hovedkriterier er møtt:

- **Endringer er ikke for store.** Alle modeller må kalibreres til en bestemt setting basert på allerede eksisterende data. Dermed vil modellene kun være gyldige så

---

<sup>10</sup> Dette er fordi nye nyttekomponenter som EFFEKT ikke dekker vil oppstå når man endogeniserer arealbruken; aktører vil flytte hvis de oppnår en høyere nytte for de aktivitetene de skal gjennomføre i den nye lokaliteten. Dette vil slå ut på reisetiden. I EFFEKT er det kun nytten av reisetid som blir beregnet, og dermed vil EFFEKT's nytteberegninger bare reflektere én av komponentene modellens aktører tar inn over seg.

<sup>11</sup> Nytten vil per definisjon være lik verdien på den maksimerte nyttefunksjonen som fører til likeveksten.

lenge verdiene på forklaringsvariablene holdes innenfor det intervallet som er observert i virkeligheten, altså det intervallet som modellen er kalibrert for. Vi vet for eksempel mye om hvordan aktører reagerer når de står ovenfor små endringer i relative priser, men dersom disse prisendringene overgår det som er observert i tidligere kan vi ikke lenger stole fullt på resultatene fra modellen.

- **Endringene skyldes endringer i variabler som er inkludert i modellen** (for eksempel befolkningsvekst eller endring i veikvalitet), og ikke eksogene sjokk som modellen umulig kan predikere (dette vil for eksempel typisk være overraskende endringer i reguleringer eller investeringer fra myndighetenes side, ny teknologi, en plutselig endring i husholdningers preferanser eller en boligprisboble som sprekker). Det er viktig å erkjenne at mange av endringene vi observerer i virkeligheten skyldes forhold som modellen ikke har som mål å si noe om, og disse endringene vil heller ikke bli fanget opp av en modell.

Samspillseffektene som en LUTI-modell av denne typen kan være god på å forklare, er for eksempel:

- Hvordan tilgjengeligheten til forskjellige aktiviteter påvirker den generelle attraktiviteten til et område;
- Hvordan attraktiviteten påvirker den aggregerte etterspørselen etter boliger, butikker og kontorlokaler i området, og (gitt tilbudet) hva det endelige antallet boende og arbeidende blir;
- Hvordan endringer i lokaliteter påvirker sannsynligheten for antall biler en husholdning velger å holde;
- Hvordan endringer i lokaliteter og bilhold påvirker individer på alle plan når det gjelder reisevalg (gjennom transportmodellen), og hva den endelige transportmiddelfordelingen og mengden kjtkm blir.

Det er imidlertid også noen problemer knyttet til denne typen arealbruksmodeller, når det gjelder å beskrive samspillseffektene:

- Oppfatningen om at modeller burde være adferdsmessig realistiske taler for at mikromodeller burde benyttes heller enn makromodeller med representative aktører, fordi det reduserer abstraksjonsnivået. I tillegg vil mikromodeller i større grad klare å fange opp både valgheterogeniteten og interaksjonen mellom individer som man observerer i virkeligheten (Wegener, 2014).
- Et problem som henger sammen med det forrige, er at for slike aggregerte modeller vil en medvirkende årsak til endret arealbruk være tilgjengelighetsindikatorer (se avsnitt 3.3.1 for en forklaring av begrepet). Tilgjengelighetsindikatorer med forskjellig vektning blir gjerne brukt som en proxy for valgprosessen enkeltindivider går gjennom, og er sånn sett en forenkling av virkeligheten som ikke beskriver samspillseffektene mellom arealbruk og transport direkte. En mikromodell hvor bevegelsesmønsteret til hver enkeltaktør blir simulert basert på aktivitetene han vil foreta seg (aktivitetsbasert modell), og hvor en nytte genereres ut fra dette, vil på en mer direkte måte ta inn over seg årsaken til hvorfor individer velger å flytte. Det er

viktig å presisere at aktivitetsbasert mikrosimulering ikke nødvendigvis gir mer presise prediksjoner, men fremgangsmåten er mer konsistent med virkeligheten.

- Likevektsmodeller er nyttige, siden de til et hvert tidspunkt gir en representasjon av virkeligheten med en viss intern konsistens. For å sammenligne visse scenarier kan det være bedre å se hva brukernytten i likevekt blir, enn å skulle prøve å predikere den faktiske situasjonen med en høy grad av usikkerhet. Likevekter er likevel strengt tatt ikke-eksisterende, og snarere teoretiske begrep. Ulempen med dette er at potensielle endringer som skjer fordi man befinner seg utenfor likevekt vil skjules av modellen. Sann sett tenderer likevektsmodeller mot å gi mer konservative anslag enn andre typer modeller (Minken mfl., 2003).
- For en god del av de gjennomgåtte modellene kan arealbruken i en celle bare ta én diskret verdi. Dette fører til to hovedproblemer: (1) modellene er mindre gode på situasjoner hvor et lite areal deles mellom flere forskjellige bruksområder, og (2) modellene kan være dårlige til å predikere fortetting, og overdriver ofte sannsynligheten for urban vekst i ytterkantene av de urbane områdene. Dette burde imidlertid i liten grad være problematisk så lenge man er bevisst på det, og tar det inn over seg i formuleringen av en ny modell.

Det siste punktet som må nevnes i denne sammenhengen er utbygging. En modell etter dette rammeverket vil ikke ta inn over seg samspillseffektene når det gjelder utbygging på en tilfredsstillende måte. Spørsmålet blir da i hvilken grad dette er et problem. De fleste eksisterende LUTI-modeller hvor utbygging inngår endogent er amerikanske. I USA er arealbruken i større grad markedsdrevet enn i de nordiske landene. Grovt sett kan man si at markedsmekanismene som påvirker utbygging vil være en endogen komponent i modellen (altså påvirket av alt det andre som skjer), mens planer og restriksjoner fra lokale myndigheter vil være en eksogen komponent i modellen (altså fast; det er ingen grunn til å la disse størrelsene bli bestemt av modellen). Berglund (2014) konkluderer med at i LUTI-modeller for nordiske land, hvor markedspåvirkningene når det gjelder utbygging er relativt små, er det ikke nødvendigvis hensiktsmessig å skulle prøve å modellere disse.<sup>12</sup> Det vil være enklere å la kapasiteten for forskjellige typer arealbruk variere etter klart definerte regler. Det kan også kunne gi like gode resultater som et eksplisitt modellert utbyggingsmarked. Slike regler må defineres innenfor restriksjonene lokale myndigheter pålegger, og etter den byutviklingen som lokale myndigheter legger opp til.

### **Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet**

I dette avsnittet vil vi først beskrive hvilke data som er nødvendig for arealbruksmodulen av en LUTI-modell som beskrevet over, hvor RTM står for transportmodulen av modellen. I RTM er soneinndelingen på grunnkrets nivå, noe som vil si at arealbruksdata på grunnkrets nivå er en målsetning for å oppnå full komplementaritet.

---

<sup>12</sup> Dette gjelder spesielt for byer som Oslo, hvor utstrekningen i stor grad er begrenset av topografiske forhold (med Oslofjorden på den ene siden og markagrensen på den andre siden).

Tabell 4.1 viser datakravene fra avsnitt 3.3.4 (hentet fra Department of Transport, 2014), samt hvorvidt disse dataene er tilgjengelige og hvor de er tilgjengelige fra. I tillegg til datakravene i tabellen under, vil også andre typer data være nødvendig for en modell av denne typen. Andre slike nødvendige datakilder er diskutert etter tabellen.

Tabell 4.1. Forslag til datakrav for arealbruksdelen av en LUTI-modell, fra Department of Transport (2014).

Datakilder	Tilgjengelighet
Befolkning per sone	Allerede inngangsdata i RTM
Arbeidsplasser per sone	Allerede del av RTM, men kan raffineres ved hjelp av bedrifts- og foretaksregisteret. En del arbeid knyttet til riktig formatering av disse dataene kan forventes.
Yrkesstatusen til innbyggere i en sone	Allerede inngangsdata i RTM.
OD-matriser med bolig-arbeidsplass	Hentes fra transportmodellen (RTM).
OD-matriser med bolig-andre aktiviteter	Hentes fra transportmodellen (RTM).
Arealbruk etter type per sone	Allerede en del av RTM (målt i antall innbyggere og antall arbeidsplasser). Burde ideelt sett forbedres, for eksempel med bedrifts- og foretaksregisteret og mer detaljert GIS-data.
Leiepriser/eiendomspriser	Tilgjengelig på tomtenivå, men må kjøpes. En del arbeid knyttet til riktig formatering av dataene kan forventes.
Husholdningsinntekter	Allerede inngangsdata i RTM
Byggeprosjekter underveis i basisåret til modellen	Burde skaffes informasjon om. Burde være relativt lett å få tak i, men finnes mest sannsynlig ikke på et format som passer til modellering, så mye arbeid knyttet til riktig formatering av dataene kan forventes.

Koblingen av bedrifts- og foretaksregisteret mot RTM anses som spesielt nyttig for hvordan sysselsetting kan representeres i modellen, siden dette registeret har antall sysselsatte, gjennomsnittslønn og næringsinndeling for alle bedrifter på grunnkrets-nivå. Tilgang til dette registeret koster penger, men TØI har per dags dato tilgang til mange av variablene. TØI jobber med å få tilgang til hele databasen, som også inkluderer omsetning per bedrift og foretak.

Annen nødvendig data som må samles inn er:



- En oversikt over lokale myndigheters restriksjoner og planer når det gjelder utbygging, om utbygging skal være en del av modellen. En del arbeid knyttet til riktig formatering av dataene kan forventes.

Myndigheters restriksjoner og planer vil inngå eksogent i modellen, og vil representere den delen av arealbruken det er knyttet minst usikkerhet til. For den endogene delen av arealbruken må det først og fremst samles data om:

- En oversikt over alle forhold som påvirker mulighetene for at type arealbruk kan endres.

Basert på dette kan mulighetsrommet aktører må handle innenfor defineres (for eksempel maksimalt antall butikker i en sone gitt utbyggelsesgraden). Det er anbefalt at dette gjøres på en enkel måte (for eksempel  $\pm X$  % av nåværende mengde), men at mye manuelt arbeid legges i å finne realistiske grenser for hver sone. Tilsvarende må gjøres når det er snakk om utbygging. Det vil være nødvendig å samle inn data om:

- En oversikt over andre forhold som begrenser mulighetene for utbygging, om utbygging skal være en del av modellen.
- En oversikt over alle forhold som påvirker i hvor stor grad antall bosatte eller antall sysselsatte per kvadratmeter av forskjellige typer allerede eksisterende bruksareal kan økes eller reduseres.
- Eventuelt kostnader for nybygging (eller forskjellen i disse) per sone i modellen.

Basert på slik data kan det utvikles et sett øvre grenser per sone for utbygging på tilsvarende måte (for eksempel  $X$  % av nåværende mengde), for å representere hva modellutvikleren tror er realistisk. En slik grense vil være null, eller nær null, i sentrumsområdene, og høyere lengre ute. Med all denne dataen på plass, er det minst én type informasjon som mangler:

- Data for å tallfeste tilgjengelighets- og attraktivitetsindikatorer.

En del indikatorer vil kunne beregnes fra LoS-data<sup>13</sup> fra RTM. Andre indikatorer må imidlertid samles for å få en realistisk forklaring på verdsettingen av tomter i forskjellige soner, representert ved boligprisene. Slike attraktivitetsindikatorer må variere mellom innbyggere og forskjellige næringer, og med husholdningstype. Viktige attraktivitetsindikatorer for noen husholdningstyper kan for eksempel være avstand til skole, avstand til marka, befolkningstetthet, luftkvalitet, sjøutsikt og avstand til arbeidsplasser. For butikker vil den viktigste attraktivitetsindikatoren være hvor mange mennesker som passerer lokalet hver dag. Hvilken effekt forskjellige slike forhold har på total attraktivitet kan for eksempel estimeres ved hjelp av minste kvadraters metode på kvadratmeterpris, hvor attraktivitetsindikatorer er forklaringsvariablene.

For å oppsummere, vil dataene i Tabell 4.1 være relativt enkle å få tak i. Dette er også data som vi i Norge har tilgjengelig i relativt god kvalitet og med høy oppløsning. Dette er i hovedsak implementeringsdata. Dataene i kulepunktene derimot, i hovedsak kalibreringsdata, er noe mer komplisert. Problemene med disse dataene kan oppsummeres som:

---

<sup>13</sup> LoS: Level of Service. Slik data omfatter blant annet reisetider og reisekostnader mellom soner.

- **Data vanskelig å anskaffe:** Det må gjøres arbeid knyttet til å vurdere hva de viktigste datakildene er, å skaffe seg dataen fra de forskjellige kildene, og å kombinere og formatere dataene slik at de passer til en modell.
- **Subjektive indikatorer:** Det finnes ingen fasit på hva som er gode tilgjengelighets- og attraktivitetsindikatorer. Hvilke data som samles inn, hva som fokuseres på og hvilke valg som gjøres i modelleringen med tanke på rollen til de forskjellige datakildene vil i stor grad være opp til forskeren. Forskeren må også finne måter å kvantifisere de mer kvalitative attraktivitetsindikatorerne på.
- **Subjektive beslutningsregler for arealbruk:** I en aggregert modell som dette kan det være vanskelig å skulle definere mulighetsrommet som visse typer arealbruk kan falle innenfor, så vel som maksimal utbyggelsesgrad. Dette mulighetsrommet vil være definert av (1) lokale myndigheters reguleringer og planer, eller (2) andre fysiske og topografiske forhold. Der hvor (1) gjelder vil dette være uproblematisk, så lenge man gjør en antakelse om hvorvidt myndigheters reguleringer og planer endrer seg med tiden. Der hvor (2) gjelder, vil det i hvert tilfelle være en vurdering i hvilken grad det er mulig å bygge ut en gitt sone.

### **Modellens egnethet til bruk i norske byområder**

Det er flere valg som må gjøres i utviklingen av en modell av denne typen, som påvirker dens egnethet i norske byområder. En del av disse valgene blir diskutert under:

- Er dynamikken i bykjernen det viktigste, kan pendlingsgraden modelleres som eksogent, eller som en enkelt ligning. Vil man derimot (noe som er mer sannsynlig) at modellen skal kunne si noe om hvordan forskjellige tiltak påvirker vekst i utkantsområder, og dermed pendlingsgraden, på en tilfredsstillende måte, må også utkantstrøk modelleres som en del av byen. Dette vil drastisk øke arbeidet knyttet til å samle og formatere data for alle soner, men vil også øke spekteret av problemstillinger modellen er egnet til å belyse.
- Desto mer sofistikerte årsakssammenhengene er modellert, desto vanskeligere blir det å forstå og etterprøve hva som er gjort. Dette er to hensyn som veier i hver sin retning. Et eksempel på dette er kapitalnivå – lar man bedriftenes produktivitet avhenge av kapitalnivået (som er en realistisk forutsetning) vil plutselig flere forhold påvirke total produksjon, som den relative prisen på kapital i forhold til arbeidskraft. Dette er igjen avhengig av både sysselsettingsandelen og rentenivået i økonomien. Poenget med eksempelet er å vise at ved å inkludere én ny årsakssammenheng, vil man være nødt til å innføre flere implisitte sammenhenger. Dette gjør fort mekanismene i modellen lite oversiktlige, selv for de som har skapt den.
- Generelt vil imidlertid årsakssammenhengene i en aggregert likevektsmodell, som dette er lagt opp til, være relativt oversiktlige. Dette er fordi det endelige resultatet er et produkt av aggregerte størrelser i seg selv, og ikke en aggregering over et antall individer som handler mer eller mindre tilfeldig hver for seg. Det burde for eksempel være relativt enkelt å spore en økning av en viss husholdningsgruppe i en sone tilbake til en økning i attraktivitetsindikatorerne for den husholdningsgruppen i den sonen. Det må presiseres at intern konsistens i et modellsystem er modellutviklerens ansvar, og at intern konsistens er en avgjørende faktor for at årsakssammenhengene skal være

forståelige. Blir modellsystemet for komplisert, er det fort gjort at modellutvikleren må ty til ad hoc-løsninger som strider mot den interne konsistensen. Dette vil ikke nødvendigvis redusere modellenes forklaringskraft i de aktuelle scenariene, men det vil gjøre årsakssammenhengene vanskeligere å følge.

- Å validere en modell vil i hovedsak si å se hvor godt den er egnet til å reprodusere observerte data. Det må gjøres et valg i løpet av modelleringsprosessen når det gjelder i hvor stor grad modellen skal valideres. Det ideelle ville vært å først kalibrere en modell med historiske data, og se i hvor stor grad modellen er i stand til å reprodusere det som observeres i nåtiden. Tre aspekter burde imidlertid nevnes angående dette: (1) en slik prosess er arbeidskrevende, og med et begrenset budsjett må man ta stilling til graden av validering. Det er ikke alltid en fullstendig validering av modellen kan forsvares innenfor de økonomiske rammene; (2) tidshorisonten man velger i en slik prosess vil også være tidshorisonten modellen blir validert for. Om man for eksempel velger å ikke inkludere utbygging som en del av modellen, kan modellen valideres innenfor en kortere tidshorisont. For å validere utbyggingsmodulen av en modell, derimot, må tidshorisonten være så lang at man faktisk observerer nybygg; og (3) en slik validering vil ikke ta hensyn til eksogene sjokk, altså forhold som ikke inngår endogent (som en årsakssammenheng) i modellen. En modell vil ikke klare å reprodusere en arealbruk som skyldes ytre forhold, og en validering av modellen kan dermed ikke kreve at modellen er i stand til å reprodusere all arealbruk perfekt. Derfor blir også valideringsprosessen til en viss grad skjønnsbasert. Dette impliserer imidlertid at det lønner seg å velge en tidsperiode for validering hvor færrest mulig ytre sjokk er observert.
- Et modellsystem kan i utgangspunktet brukes i flere byer. En stor del av modellutviklingen vil imidlertid være knyttet til datainnsamling og dataformatering, og dette vil ofte være byavhengig. Om man har et ønske om å utvikle et rammeverk som skal være mulig å implementere i flere byer, kan det imidlertid gjøres tilpasninger knyttet til hvor mange av parameterne som er generiske for Norge, og hvor mange som er byavhengige. Eksempelvis kan elastisiteter være generiske, mens all sone-spesifikk informasjon må være byavhengig.
- Brukeren av en modell av denne typen er vanligvis modellutvikleren, eller en som har god kjennskap til programmeringsspråket modellen er kodet i. Det er imidlertid mulig å utvikle mer brukervennlige og visuelle brukergrensesnitt, hvor det bare er mulig å endre en del nøkkelvariable. To innvendinger til dette må likevel nevnes: (1) det kan være kostbart å teste og utvikle et brukergrensesnitt som er enkelt og forståelig nok, og (2) i et brukergrensesnitt vil det være vanskelig å validere modellresultatene; siden en del variable og parametere ikke vil være mulig å endre, blir det vanskelig å gjennomføre sensitivitetsanalyser på en fleksibel måte. Et siste moment i tilknytning til dette er at hvis et enkelt brukergrensesnitt skal utvikles, burde årsakssammenhengene i modellen være så enkle å forstå at andre enn eksperter også klarer å oppdage feil ved kjøringene.

#### 4.2.5 E: Disaggregert LUTI-modell: UrbanSim-MatSim

I dette avsnittet vil vi diskutere et modellforslag som er disaggregert, mikrosimulert og aktivitetsbasert. Dette er en sammenkobling av en disaggregert transportmodell kodet i MatSim og en disaggregert arealbruksmodell kodet i UrbanSim. Konseptet med transportmodeller i MatSim er forklart i (Flügel, Flötteröd et al. 2014). I dette avsnittet vil vi derfor fokusere på implementering av arealbruk i UrbanSim, samt koblingen mellom UrbanSim og MatSim. Grunnen til at MatSim er valgt til dette scenarioet, er fordi det er en transportmodell hvor reisende blir modellert som enkeltagenter, og dermed vil det være mulig med en én-til-én-kobling mellom agentene i transportmodellen og agentene i arealbruksmodellen (se resultater fra SustainCity WP2 i Morand, m.fl., 2010; Flötteröd og Nagel, 2010; Coulombel, 2010). Grunnen til at UrbanSim ble valgt, er fordi det er den mest omfattende og mest brukte agentbaserte mikrosimuleringsmodellen.

UrbanSim ble initiert av Department of Urban Design and Planning på University of Washington på slutten av 1990-tallet (Waddell, 2002). UrbanSim er en av arealbruksmodellene som oftest blir oppdatert, og den er fortsatt under utvikling. UrbanSim er en dynamisk arealbruksmodell som ikke er avhengig av å være i likevekt, kan prognostisere for mange forskjellige tidshorisonter og trenger data på et veldig disaggregert nivå. Modellen er modulær og har åpen kildekode, og dette gjør den både fleksibel og anvendelig. Det er den mest brukte arealbruksmodellen, med applikasjoner i blant annet Springfield (Oregon), Salt Lake City (Utah), Seattle (Washington), San Francisco (California), Paris (Frankrike), Zürich (Sveits) og Brussel (Belgia). De viktigste egenskapene og kjennetegnene til UrbanSim er oppsummert under (hentet fra Waddell, Wang et al. 2008).

##### Karakteristikker ved modellen UrbanSim:

- Modellen simulerer viktige beslutninger hos modellens aktører som påvirker byutvikling; hovedsakelig mobilitet- og lokalitetsvalg for husholdninger og bedrifter, og utbyggingsvalg for utbyggere og investorer;
- Modellen tar eksplisitt hensyn til topografi, bygninger og aktører (husholdninger og bedrifter);
- Modellen simulerer byutvikling som en dynamisk prosess over tid og rom, i motsetning til en tverrsnitts- eller en likevektstilnærming;
- Modellen simulerer arealbruksmarkedet som interaksjonen mellom etterspørsel (lokalitetspreferanser til bedrifter og husholdninger) og tilbud (allerede eksisterende bygninger, nye bygninger og reinvestering i gamle bygninger), med priser som tilpasser seg markedslikevekten;
- Modellen tar eksplisitt hensyn til lokale myndigheters planer, og kan evaluere arealbrukspolitikk ved å modellere hvordan arealbruksmarkedet responderer på den;
- Modellen baserer seg på diskret valgteori (det vil si «random utility theory», eller RUM-teori) og bruker logitmodeller for å implementere viktige etterspørselskomponenter;
- Modellen er utviklet for et høyt disaggreeringsnivå, både når det gjelder arealbruk og aktiviteter, med et sonesystem som skal tilsvare sonene i en transportmodell;

- Modellen kan ta hensyn til både nybygging og ombygging på tomtenivå.

#### **Karakteristikker ved softwareimplementering av UrbanSim:**

- Modellen og brukergrensesnittet er på det nåværende tidspunktet kompatibelt med Windows95 og nyere, Unix, Macintosh og andre plattformer som støtter Java JDK 1.2; rapporteringsverktøy er implementert i Excel;
- Brukergrensesnittet fokuserer på policyforutsetninger og evaluering av forskjellige scenarier;
- Modellen er implementert ved bruk av objektorientert programmering for å maksimere fleksibilitet;
- Både input og resultater kan bli vist ved bruk av ArcView, Arc/Info eller annen GIS-programvare;
- Modellresultater er skrevet som ASCII-koder, med tabulatorgrensetegn, for ekstern bruk.

#### **Kobling mellom UrbanSim og MatSim:**

Dette avsnittet forklarer en kort mulig kobling mellom UrbanSim og MatSim. Denne koblingen er kodet, testet og validert i Nicolai m.fl. (2011). Mens UrbanSim itereres fra periode til periode (vanlig intervall mellom hver iterering er et år), henter den data fra MatSim ved jevne intervaller om trafikknnettverket. Hver agent har en personlig ID, som gjør en én-til-én-kobling mellom agentene i UrbanSim og MatSim mulig. MatSim, på den andre siden, henter ny informasjon og bolig- og arbeids-lokalisering fra UrbanSim for hver kjøring. På denne måten kan MatSim generere nye sone-til-sone-matriser over tidsbruk og generaliserte kostnader, og tilgjengelighetsindikatorer. UrbanSim bruker disse som input i neste iterering. MatSim vil med andre ord kjøres på samme måte som forklart i (Flügel, Flötteröd et al. 2014), men før hver kjøring genererer den agenter basert på utgangsdata fra UrbanSim.

#### **Modellens evne til å beskrive samspillseffekter**

Denne gjennomgangen av samspillseffekter fra UrbanSim er i stor grad basert på Efthymiou m.fl (2013). UrbanSim er modulær, og integrerer de følgende undermodellene:

- **Demografiske og økonomiske overgangsmoeller:** disse modellene beskriver utviklingen for hver agent, definert som husholdninger og bedrifter, over tid. Dette inkluderer formasjonen av nye husholdninger og bedrifter;
- **Utviklingsmoeller:** disse modellene beskriver hvordan nye bygninger genereres, både boliger og andre bygninger;
- **Omplasseringsmoeller:** I disse modellene blir agents beslutning om å flytte fra deres nåværende lokalisering simulert;
- **Beliggenhetsvalgmoeller:** I disse modellene blir den romlige fordelingen til både nye agenter og agenter som omplasseres bestemt, ut fra nye eller allerede eksisterende tilgjengelige lokaliteter. Alle disse modellene er multinomiske logitmodeller, altså diskretvalgmodeller, hvor aktører velger fra et utvalg av tilgjengelige alternativer. Markedsklarering er definert slik at i situasjoner hvor flere aktører velger samme lokalitet, vil modellen tilfeldig velge én av dem;

- **Prismodeller:** Disse modellene predikerer eiendomspriser. Eiendomspriser per kvadratmeter predikeres basert på en regresjon hvor områdespesifikke variabler og andelen ledige tomter inngår som forklaringsvariable:

$$\ln(p_{vit}) = \alpha + \delta \left( \frac{Q_v^s - Q_{vt}^c}{Q_v^s} \right) + \beta X_{vit}$$

Her er  $\ln(p_{vit})$  den naturlige logaritmen av prisen per kvadratmeter for utviklingstype  $v$  i området  $i$  og på tidspunkt  $t$ ,  $Q_{vt}^c$  er den nåværende andelen ledige tomter og  $Q_v^s$  er den langsiktige, strukturelle ledighetsraten.  $X_{vit}$  er en vektor med attributter ved bygningen.  $\alpha$ ,  $\delta$  og  $\beta$  er parameterne som dermed estimeres.

Disse fem modellgruppene samhandler for hver simuleringsperiode, og genererer en ny tilstandsbeskrivelse som blir brukt som startpunkt (input-data) for neste simuleringsperiode. I begynnelsen av hver simuleringsperiode blir nye husholdninger og bedrifter (etterspørselssiden) generert av overgangsmoellene, samtidig som nye bygninger blir generert i utviklingsmodellene (tilbudssiden). Nye aktører og aktører som omplasseres velger ny lokalitet utfra fordelingen som blir definert i beliggenhetsvalgmodellene. Til slutt blir nye priser utregnet i prismoellene, og bygningsattributter og lokalitetsattributter (som attraktivitetsindikatorer) blir oppdatert, for å inngå som input-data i neste simuleringsperiode.

Når det gjelder samspillseffekter, er UrbanSim den arealbruksmodellen som i minst grad er troende til å gjøre *prosessefeil*, altså å utelate vesentlige årsakssammenhenger. Dette har to hovedgrunner: (1) UrbanSim er en aktivitetsbasert mikrosimuleringsmodell, altså inngår hver agent, både husholdninger og bedrifter, som en separat enhet i modellen. Dette gjør at samspillet mellom husholdninger og samspillet mellom bedrifter representeres på en måte som ligger nært opp til virkeligheten; og (2) UrbanSim tillater modellering på et ekstremt disaggregert nivå, helt ned til tomte- eller bygningsnivå. Litteraturstudien fant ingen andre modeller som tilsvarte UrbanSim på disse to punktene.

Dette øker imidlertid kravet til data og til antallet parametere som må estimeres eller kalibreres, og dermed sannsynligheten for *funksjonsfeil* – sannsynligheten for at noen av årsakssammenhengene er modellert feil.

UrbanSim-modeller er, i likhet med transportmodeller i MatSim, dynamiske modeller – det betyr at forutsetningen om likevekt ikke trenger å være oppfylt. Problemet med dette er at det kan være uklart hvordan resultatet av modellen skal tolkes. Dynamiske modeller er basert på mikrosimulering, altså vil et gitt scenario simuleres flere ganger, og det endelige resultatet er sannsynlighetsfordelingen over resultatene fra hver simulering. Dette er realistisk, med tanke på at fremtidige prediksjoner alltid er usikre, og sånn sett alltid burde inneholde et sannsynlighetsintervall. Det åpner også for muligheten for interaksjon over tid mellom modellens agenter, på en måte som ikke er mulig i statiske modeller. Hovedproblemet er imidlertid at disse sannsynlighetsfordelingene kan være ustabile, og det er ikke et klart svar på hvor mange simuleringer som er nødvendig for å tilnærme seg den «sanne» sannsynlighetsfordelingen. Mer inngående diskusjon rundt dynamikk er presentert i avsnitt 3.4.2, og problemet rundt stabilitet for mikrosimuleringsmodeller er diskutert i avsnitt 3.4.3.

SustainCity-prosjektet har identifisert noen av samspillseffektene i UrbanSim som har forbedringspotensiale. Det må presiseres at dette ikke nødvendigvis vil forbedre modellens prediksjonsevne signifikant, men det understreker at modellen fortsatt har

et forbedringspotensiale når det gjelder å modellere samspillseffektene på en realistisk måte. Dette inkluderer:

- UrbanSim (og andre LUTI-modeller) velger tilfeldig hvilke agenter som relokaliseres i omplasseringsmodellen. Dette er en unødvendig forenkling: husholdninger tar et valg om å flytte som er forbundet med endringer i behov, preferanser eller restriksjoner (for eksempel en inntektsøkning eller endring i husholdningsstørrelse). Dette kan bli eksplisitt modellert.
- Den enkle «ett-trinns» valgprosessen som ligger til grunn for de multinomiske logitmodellene som bestemmer ny lokalitet kan ikke ta inn over seg flertrinnsvalgprosesser. Et eksempel på dette er å først velge en sone i en by, og deretter velge et spesifikt hus. Slike valgprosesser kan modelleres, for eksempel med en nested logit-modell.
- I UrbanSim velger husholdninger ny lokalitet basert på et tilfeldig utvalg av tilgjengelige tomter. Dette kan forbedres ved å definere valgsett som er basert på husholdningsspesifikke karakteristika og tidligere lokalitet.
- Å modellere uobserverbare attributter, som holdninger og oppfatninger til agenter, har vist seg å forbedre kvaliteten på valgmodeller. Dette kan implementeres i husholdningers lokalitetsvalg ved å ta hensyn til uobserverbar heterogenitet gjennom latente klasser eller latente variabler som påvirker valget.
- En mulig forbedring vil være å ta utgangspunkt i individer istedenfor husholdninger. Ser man på husholdninger som den laveste enheten, ignorerer man de komplekse forhandlingsprosessene som foregår mellom medlemmene i hver husholdning. Med data på individnivå, kan husholdningers lokalitetsvalg bli modellert som en valgprosess mellom husholdningens medlemmer.

### Kriterier knyttet til databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet

UrbanSim krever mye data på høy oppløsning for å kunne kjøre. Dette er negativt med tanke på tiden det tar å samle og formatere data, men positivt siden det også gir resultater på et mer disaggregert nivå. UrbanSim kan kjøres på tre nivåer: sone-nivå, rutenettnivå og tomtenivå. Dette valget vil styre hvor disaggregert den romlige input-dataen trenger å være. Mens sone-nivå vil være et naturlig valg for kobling med transportmodeller som også er på sone-nivå (som RTM), vil tomte-nivå være et naturlig valg for agentbaserte transportmodeller.

I transportmodeller som kjøres på individnivå (som MatSim-modellene) er det vanlig å generere en syntetisk populasjon basert på aggregerte karakteristika. Dette er nødvendig for å slippe å samle data for hvert enkelt-individ. På samme måte er det mulig å generere et syntetisk arealbruksmønster på tomtenivå basert på aggregerte karakteristika om arealbruken. To ting må nevnes når det gjelder denne metodikken: (1) den er per dags dato under utvikling, og man kan forvente bedre og bedre metoder for å gjøre dette i fremtiden; og (2) det kan skape en illusjon av nøyaktighet – det er viktig å være klar over at modellen da vil være basert på de aggregerte karakteristikkene, og ikke på faktisk informasjon på tomtenivå eller individnivå. Tabell 4.2 gir en oversikt over romlig og ikke-romlig data nødvendig for å kunne bruke UrbanSim.

Tabell 4.2. Input-data nødvendig for UrbanSim.

Romlig data	Ikke-romlig data
Syssettingsdata	Eksogene resultater fra en transportmodell
Husholdningsdata	Eksogene resultater fra en makro-økonomisk modell
Database over tomter	Befolkningsprognoser
Oversikt over myndigheters arealbruksplaner	Syssettingsprognoser
Soneinndeling – «Traffic Analysis Zones» fra en transportmodell	Reguleringer, avgifter og kostnader knyttet til eiendomsutvikling
Kartlag i GIS angående type område, topografi, reguleringer, etc.	Regionaløkonomiske prognoser

Tilgjengeligheten til nødvendig data for LUTI-modeller er beskrevet i avsnitt 4.2.4. All data beskrevet der vil også være nødvendig å samle inn for en UrbanSim-modell. Det er imidlertid noen hovedforskjeller, hovedsakelig knyttet til at UrbanSim er agent-basert og eksplisitt modellerer markedet for eiendomsutbygging:

- Siden både transport- og arealbruksmodellen i dette tilfellet er en disaggregert modell, må inngangsdataen være på agentnivå. For husholdningsdata er dette mer eller mindre uproblematisk, da slik data (hentet fra en syntetisk populasjon) uansett må være på plass i en velfungerende transportmodell (MatSim). For bedriftsdata kreves det mye jobb knyttet til formatering og geokoding. Å benytte bedrifts- og foretaksregisteret til dette kan være hensiktsmessig.<sup>14</sup>
- Brukergrensesnittet baserer seg i stor grad på GIS. For romlig data som allerede er geokodet vil dette være en fordel. Det kan imidlertid føre til en større jobb knyttet til formatering av data som ikke allerede finnes i et format som er kompatibelt med GIS (for eksempel data om reguleringer i forskjellige deler av en by).
- Siden markedet for eiendomsutvikling blir eksplisitt modellert i UrbanSim, kreves det mer nøyaktig informasjon knyttet til kostnader, muligheter og begrensninger ved å bygge ut, og kostnader ved å rive eksisterende bygninger.
- Eksplisitte prismodeller for eiendomspriser krever også mer data for å kunne estimeres. Dette knytter seg både til informasjon om faktiske eiendomspriser for forskjellige typer bygninger, og til egenskaper ved disse bygningene. Slike prismodeller er spesielt vanskelige å estimere, på grunn av problemer knyttet til romlig korrelasjon og romlig heterogenitet (se resultater fra SustainCity WP2 i Morand, m.fl., 2010; Flötteröd og Nagel, 2010; Coulombel, 2010).

<sup>14</sup> Det er imidlertid verdt å merke seg at Bedrifts- og foretaksregisteret er innrettet på en måte som gjør at det vil være mye arbeid knyttet til formatering, også ved bruk av dette registeret. Dette er fordi næringsgrupperingen er lite hensiktsmessig utformet.



## Modellens egnethet til bruk i norske byområder

Dette avsnittet vil ta for seg hvordan en mikrosimulert UrbanSim-modell, koblet sammen med en MatSim-transportmodell, er egnet til bruk i norske byområder. Det første punktet som tas opp her er vanskelighetene med å formulere, kalibrere og validere en slik modell for norske forhold. Berglund (2014) tar for seg kostnadene ved å utvikle en UrbanSim-modell, og disse er gjengitt i Tabell 4.3.

Tabell 4.3. Oversikt over kostnader for en UrbanSim-modell (Berglund, 2014). Merk at disse kostnadene er beregnet ut fra amerikanske pris- og lønnsforhold og applikasjoner fra USA. De faktiske kostnadene for norske forhold vil dermed avvike noe.

	Lav /moderat /høy	Utgiftsposter	Kostnader i euro
<b>Bruks- kostnader</b>	Høy	Lisens	Gratis
		Modellutvikling	300-400.000 (basert på tilfeller fra USA)
		Scenariokjøring (med en ferdig utviklet modell)	50-75.000 (per scenario)
		Ekspertgruppe nødvendig for å sette opp og bruke modellen, burde kunne feltene byplanlegging, statistikk, demografi, modellering (koding) og GIS (typisk fire personer)	
<b>Vedlikeholds- kostnader</b>	Moderat	Standard vedlikehold av modellkode	?
<b>Opplærings- kostnader</b>	Høy	Opplæring av fire personer	100.000

Det er viktig å merke seg at disse kostnadene bare inkluderer UrbanSim-modulen, og arbeidet som eventuelt oppstår knyttet til å tilpasse transportmodellen slik at de to modellene er integrerbare, må legges til ved siden av. Det er ikke mange av UrbanSims applikasjoner som kobles til mikrosimulerte transportmodeller, men det Europeiske forskningsprosjektet SustainCity (<http://www.sustaincity.org>) fokuserer på akkurat dette (Nicolai og Nagel, 2010). I prosjektet SustainCity har også modellene MatSim og UrbanSim blitt koblet sammen på en vellykket måte, og det går dermed an å benytte denne metoden for en eventuell implementering i Norge. Kostnader knyttet til dette vil likevel være usikre.

En annen ting man må merke seg med Figur , er at kostnadene er estimert basert på amerikanske lønns- og kostnadsnivå, og situasjoner hvor amerikanske data samles inn og tilpasses modellen. Amerikanske forskningsmiljøer har også generelt mer kunnskap om LUTI-modeller enn norske, da et flertall av alle eksisterende LUTI-modeller er skapt i USA. Det er dermed vanskelig å vite om, og i hvilken grad, disse kostnadene underestimerer de faktiske kostnadene ved en norsk implementering.

UrbanSim blir generelt regnet som en av de arealbruksmodellene med høyest implementeringskostnad. Dette er fordi modellen krever så disaggregerte data, og prøver å predikere samspillseffekter på et disaggregert nivå. Som det også fremgår av Figur , krever utvikling av en slik modell et høyt ekspertnivå. En fordel med UrbanSim er imidlertid at den har åpen kildekode og har blitt implementert i mange settinger og

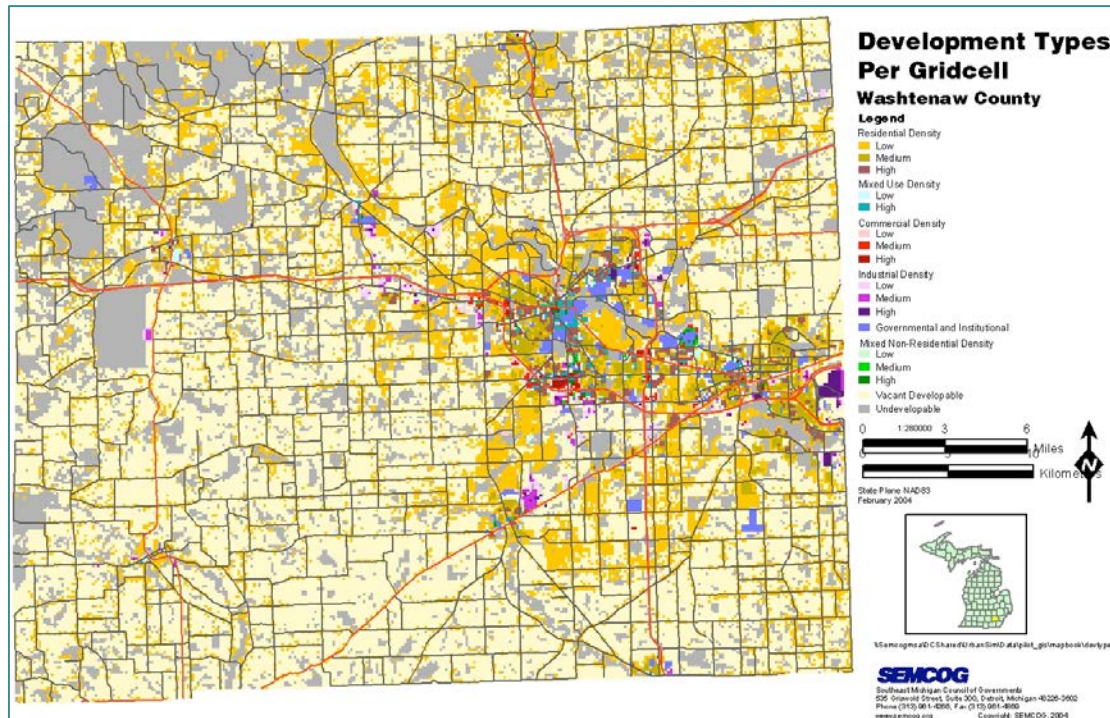
i mange forskningsmiljøer allerede. Det er, basert på litteraturstudien, den modellen med mest omfattende brukermanual og brukerstøtte. Sånn sett vil det være gode muligheter til å få støtte i prosessen med å utvikle en slik modell, spesielt hvis modellutviklingen skjer i samarbeid med et internasjonalt fagmiljø som har kjennskap til programvare og UrbanSim-modeller fra før.

Et stort fortrinn ved UrbanSim er modulen som predikerer utbygging av tomter ved hjelp av markedspriser. Dette kommer imidlertid ikke til sin fulle rett i en nordisk setting, hvor byutvikling ikke er like markedsstyrt som i USA. Det tidligere nevnte prosjektet, SustainCity, har imidlertid utviklet en europeisk versjon av UrbanSim, UrbanSim-E, for å tilpasse modellen til europeiske forhold. Andre forskjeller UrbanSim-E tar hensyn til inkluderer (Morand, m.fl., 2010; Coulombel, 2010):

- Europeiske byer er mer kompakte enn amerikanske. Dette kan være en konsekvens av høyere transportkostnader, høyere eiendomskostnader og strengere reguleringer. Dette fører generelt til kortere reiser, en større andel leiligheter sammenlignet med eneboliger og høyere tomteverdier.
- Europeiske byer er i større grad konsentriske, siden de ofte har utviklet seg rundt mindre, historiske byer. Amerikanske byer, på den andre siden, er ofte basert rundt et rutenett av veier. Dette gjør ofte bysentra i europeiske byer til en mer attraktiv lokalitet enn i amerikanske byer. Derfor er lavinntektsgrupper i europeiske byer oftere lokalisert i utkantstrøk. Et aspekt som imidlertid kan skille norske byer fra andre byer, både amerikanske og europeiske, er at inntektsfordelingen er jevnere.

Selv om UrbanSim ikke er utviklet til en nordisk setting, vil altså resultater fra SustainCity-prosjektet knyttet til å tilpasse modellen til europeiske forhold, i stor grad bidra til å tilrettelegge for en norsk implementering.

Selv om det er komplisert å implementere en UrbanSim-modell, kan det være lettere å kommunisere resultatene med denne modellen enn med en aggregert modell. Dette har to hovedgrunner: (1) Det faktum at modellen er agentbasert gjør årsaks-sammenhengene mer intuitive å forstå, fordi aktørene handler på en måte som ligger tettere opp til virkeligheten (det er mulig å følge hver agent i modellen, og skjønne hvorfor den gjør den dynamiske tilpasningen ut fra agentens estimerte preferanser); og (2) Siden brukergrensesnittet allerede er koblet opp mot GIS-verktøy på en god måte, er det lett å kommunisere aggregerte modellresultater med forståelige kartfigurer. For eksempel viser Figur 4.14 hvordan arealbruken på et gitt tidspunkt er fordelt mellom boliger, butikker, industri, offentlige bygninger og blandet arealbruk, med henholdsvis lav, medium og høy tetthet.







Figur 4.14. Resultater fra UrbanSim vist i et GIS-brukergrensesnitt: Washtenaw County oppdelt i boligområder, industriområder, butikkområder, ubrukte områder og områder til blandet bruk etter «lav», «middels» eller «høy» tomteverdi.

Lignende figurer kan enkelt lages for å vise andre typer modellresultater, for eksempel hvor forskjellige inntektsgrupper eller aldersgrupper velger å bosette seg, eller hvordan kvadratmeterprisen varierer.

### 4.3 Komparativ analyse

I dette kapittelet har vi satt opp de fem evaluerte scenariene ved siden av hverandre med det formål å gjøre en mer strukturert sammenligning. Dette er oppsummert i Tabell 44.4, etter fargekodene som er forklart under.

	Negativt
	Middels
	Litt bra
	Veldig bra

I tabellen er «krav til bruker» og «egnet til nytte-kostnadsanalyse (NKA) og konsekvensutredninger» skilt ut som egne rader, i tillegg til de tre vurderingskriteriene. Begge disse kriteriene faller inn under «egnet til norske byområder», slik dette er definert i avsnitt 4.1.3. «Krav til bruker» handler om ekspertnivået som kreves for å håndtere metodene/modellene, mens «egnet til NKA og konsekvensutredninger» er her definert som hvorvidt det er mulig å bruke metoden/modellen til å beregne brukernytte av et tiltak som involverer endringer i arealbruk.

Null betyr «ingen»/«ikke relevant» (i scenarie A er det verken mekanismer og samspillseffekter inkludert, eller krav til nye data). Med unntak av disse cellene er det gjort en tredelt inndeling, fra «i liten grad» (x) til «i stor grad» (xxx). Som det fremgår av tabellen samsvarer dette med skalaen fra negativt til positivt, med unntak av for databehov (stor grad av databehov er vurdert til å være negativt). Den videre teksten er ment som en rettfærdiggjøring og grundigere forklaring av tabellen.

Tabell 4.4. Komparativ analyse av fem arealbruksmodellscenarier.

	Baseline	Andre metoder og modeller		LUTI	
Scenario:	A	B	C	D	E
Aggregeringsnivå	Makro	Makro	Meso/ mikro	Makro	Meso/ mikro
Dynamikk	Statisk	Statisk	Statisk	Statisk	Dyna- misk
Deterministisk/ stokastisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Deter- ministisk	Stokast- isk
Attraktivitets- eller aktivitetsbasert	Attraktivitet	Attrak- tivitet	Attrak- tivitet	Attrak- tivitet	Aktivitet
Mekanismer og samspillseffekter	0	x	x	xx	xxx
Databehov	0	x	x	xx	xxx
Egnethet til norske byområder	x	xxx	xx	xx	xx
Krav til bruker	Middels	Middels	Lav	Høy	Høy
Egnet til NKA og konsekvensanalyse	Nei	Ja	Nei	Ja	Ja

Det er viktig å understreke at dette på ingen måte er ment som en kvantitativ vurdering av hvert enkelt scenario, men en sammenligning av scenariene. Scorene (fra 0 til xxx) er altså ikke ment å være meningsfulle i seg selv, kun for å sammenligne metoder og modeller med hverandre. Likeledes er dette kun ment som ordinale sammenligninger; selv om (xx) er bedre enn (x), kan man ikke slutte at det er dobbelt så bra. Det er med andre ord bare rangeringen av metoder og modeller som uttrykkes ved de forskjellige scorene. Vi mener likevel at figuren gir et godt bilde. For mer informasjon om den

presise forskjellen mellom metoder/modeller, henvises leseren til teksten som beskriver disse metodene/modellene.

## Andre metoder og modeller

**Scenario A** er nullscenariet, transportmodellene slik de er i dag med konstant arealbruk. Disse modellene er gode til å beregne effektene og brukernytten av transporttiltak som ikke fører til arealbruksendringer.

Scenariet får en nullscore **(0)** på mekanismer og samspillseffekter mellom transport og arealbruk, siden disse er fraværende. Argumentene for å bruke et slikt verktøy i situasjoner hvor arealbruksendringer er forventet, selv om resultatene per definisjon vil være feilaktige, er at det er billig og enkelt (metodikken er allerede utviklet for å beregne brukernytten, og dataen er på plass i modellene allerede). Siden dataene allerede er på plass, får modellen også en nullscore for databehov **(0)**. Om denne modellen skal brukes, må det forventes en lengre diskusjon om resultatene, i hvilken grad disse er feilaktige og i hvilken retning denne skjevheten påvirker trafikken og brukernytten. «Egnethet til norske byområder» får en lav score **(x)**, fordi denne metoden strengt tatt bare egner seg for tiltak hvor man ikke forventer en endring i arealbruken. På den andre siden er verktøyet for å beregne brukernytten av slike tiltak på plass allerede.

**Scenario B** er dagens transportmodeller med arealbruk som endres eksogent, basert på ekspertvurderinger. Derfor får dette scenariet en lav score når det gjelder å modellere samspillseffektene **(x)**. Styrken i dette scenariet er at det ikke er nødvendig å utvikle en arealbruksmodell. Ulempen er at validiteten i arealbruksendringene vil avhenge av validiteten i ekspertvurderingene. Her er det to underscenerier:

- B1 – Kun trafikktall: I dette underscenariet er det ikke nødvendig å gjøre noen modifikasjoner, dagens transportmodeller klarer å produsere trafikktall allerede.
- B2 – Trafikktall og brukernytte: I dette underscenariet må det gjennomføres to nye utregninger: (1) endring i brukernytte knyttet til endret lokalisering, og (2) endring i brukernytte knyttet til endring i reisedestinasjoner. Det burde ikke være krevende å utvikle en enkel modell for dette basert på data fra transportmodellene og metodikken i Minken et al (2003). Dermed vil brukernytten ha tre komponenter istedenfor én, (1) trafikknytte (fra transportmodellen), lokalitetsnytte (knyttet til bosted) og destinasjonsnytte (knyttet til reisedestinasjoner).

Dette er en metode for å kunne beregne brukernytten av arealbruksendringer basert på modellsystemene som er i bruk i dag. Derfor er ikke så mye mer data enn for scenario A nødvendig – kun data knyttet til hvordan man tror arealbruken vil endres for et gitt tiltak. Derfor har modellen et lavt databehov **(x)**. Det kan legges til at jo mer realistiske attraktivitetsindikatorer i transportmodellene er, jo mer realistiske vil brukernytteberegningene av lokalitetsnytt og destinasjonsnytt være. Metoden scorer høyt på egnethet i norske byområder **(xxx)**, siden det vil være billig og fleksibelt å kjøre scenarier, og mulig å regne ut brukernytte.

**Scenario C** er bruk av ATP-modellen. Dette er en GIS-basert modell som henter inn data om arealbruk og om transportsystemet, og modellerer endringer i forskjellige scenarier basert på enkle og klart definerte regler om adferd. I denne modellen kan også arealbruk kun endres eksogent, og derfor får modellen en lav score **(x)** når det kommer til mekanismer og samspillseffekter.

Fordelene med denne modellen er (1) at det er enkelt å kjøre forskjellige arealbruksscenarioer og sammenligne resultatene visuelt, og (2) at modellen har det laveste kravet til brukeren av metodene som er sammenlignet. Dermed burde alle relevante aktører kunne være med og diskutere de forskjellige forutsetningene som ligger til grunn i modellen. Modellen er imidlertid en enklere framstilling enn dagens transportmodeller, og vil ikke gi like empirisk forankrede resultater. Det er heller ikke mulig å bruke modellen til å beregne brukernytte. Derfor får den ikke full score i kategorien «egnethet i norske byområder» (**xx**). Dermed vil modellen best egne seg som et tilleggsverktøy til transportmodellene, og som en måte å raskt kunne endre enkle forutsetninger på og få resultatene momentant, uten å trenge å vente på en tungkjørt modell. Knyttet til datakrav kan det nevnes at modellen er ferdigutviklet, men at en del data må legges inn manuelt for hvert enkelt scenario, for eksempel data om skoler, barnehager eller legesentre. Dermed scorer modellen «lavt» på databehov (**x**). Dette er samme score som scenario B (begge disse scenariene baserer seg på å ta i utgangspunkt i en modell hvor all data allerede ligger på plass, og tilføye tilleggsdata).

## LUTI-modeller

Scenariene D og E er LUTI-modellene, henholdsvis en statisk, makroskopisk likevektsmodell og en dynamisk, mikroskopisk aktivitetsbasert modell. Dette er de første scenariene hvor samspillseffektene mellom transport og arealbruk vil være endogene, altså bestemt i modellen. Slik sett stiller de i en egen klasse når det gjelder samspillseffekter. Det er imidlertid viktig å huske på at en del arealbruksendringer i Norge er regulert fra myndighetenes side, og vil derfor alltid være eksogene. Det er kun arealbruksendringer som oppstår på grunn av en markedstilpasning, eller aktørers valg, som kan modelleres som endogene.

### Mekanismer og samspillseffekter

Scenario D er tenkt som at en aggregert, makroskopisk likevektsmodell for arealbruk bygges opp fra grunnen av og kobles sammen med RTM. Derfor er det antatt at soneinndelingen er den samme som i RTM. Her kan nye bygninger modelleres enten eksplisitt, eller implisitt (kun ved bruk av størrelser som «antall innbyggere per sone» eller «antall arbeidsplasser per sone»). I en slik modell vil endringer i arealbruk baseres på attraktivitetsindikatorer for forskjellige aktører i hver sone, og oppstå i tråd med, eller innenfor mulighetsrommet av, (1) myndighetenes (eksogene) restriksjoner og planer og (2) fysiske/topografiske restriksjoner for hver sone. Etterspørselen i hver sone baseres på størrelsen til disse attraktivitetsindikatorerne, og tilbudet baseres på muligheten for og hastigheten til utbyggingen av forskjellige typer areal. Siden samspillseffekter modelleres eksplisitt, men altså med en del forenklinger, får dette scenariet middels score (**xx**).

Scenario E er tenkt som en dynamisk, mikroskopisk aktivitetsbasert arealbruksmodell. Her er det anslått at det mest hensiktsmessige er en kobling av programvaren MatSim (for transportmodellen) og programvaren UrbanSim (for arealbruksmodellen). En én-til-én-kobling mellom MatSims agenter og UrbanSims agenter er gjennomført og validert i EU-prosjektet «SustainCity» for en europeisk kontekst. Hovedforskjellen fra scenario D blir at istedenfor å kun modellere aggregerte sammenhenger basert på attraktivitet, skjer modelleringen på individnivå. På denne måten vil agentenes interaksjon tas eksplisitt hensyn til i modellen, samtidig som at modellen oppnår en høyere grad av dynamikk. I tillegg kreves det ikke lenger en forutsetning om likevekt. Dette er fordi man har mulighet til å følge hver enkelt aktør over tid, istedenfor at

aktørene blir modellert som aggregerte mengder. Derfor har scenario E fått full score (og en høyere score enn scenario D) når det gjelder samspillseffekter (**xxx**).

### **Databehov**

I Norge har vi et fortrinn når det gjelder mikrodata sammenlignet med de fleste andre land. Konklusjonene fra foregående avsnitt er at all nødvendig data for en LUTI-modell er tilgjengelig i Norge. Mye data finnes allerede i transportmodellene. En del annen data må kjøpes, som data fra bedrifts- og foretaksregisteret og data om boligpriser. Det er imidlertid to hovedutfordringer: (1) Mye data finnes som tilgjengelig informasjon, men foreligger ikke nødvendigvis samlet. Dette gjelder for eksempel lokale myndigheters planer, og restriksjoner knyttet til arealbruken. Det er anslått at mye arbeid vil være knyttet til innsamling av slik data fra forskjellige kilder, og formatering av denne. (2) Det vil i mange tilfeller være vanskelig å anslå muligheten for arealutvikling i forskjellige områder, og i hvilken grad denne er hindret av fysiske begrensninger. I noen sentrumsnære områder er det nærliggende å tro at muligheten for utvidelse er nær null, men at denne øker jo lengre ut fra sentrum man beveger seg. Noen forenklingene må lages for å definere muligheten for utbygging i forskjellige soner med forskjellig grad av bygningstetthet. Det vil også være mye manuelt arbeid knyttet til å kode slike grenser, og i flere tilfeller må det være opp til modellskaperen å fastsette hvor slike grenser skal gå på subjektivt grunnlag.

Det er i hovedsak den samme type data som behøves i scenario D og scenario E, men scenario E har fått en høyere score på databehov av tre grunner: (1) Det er forutsatt at dette er en mer disaggregert modell, og mer data vil derfor måtte kodes på et mer disaggregert nivå. Dette er mer arbeidskrevende og setter høyere krav til inngangsdataen. (2) I scenario E er det antatt bruk av en allerede eksisterende programvare. Dette setter høyere krav til *hva slags* inngangsdata som behøves. I scenario D, derimot, kan modellen i større grad tilpasses det beste datagrunnlaget. (3) I scenario E er det mer komplekse moduler knyttet til eiendomsutvikling og utbygging enn det som behøves i scenario D. Derfor kreves det mer data knyttet til kostnader ved å bygge og kostnader ved å rive hus. På bakgrunn av dette får scenario D en middels høy score for krav til inngangsdata (**xx**), mens scenario E får en høy score (**xxx**).

### **Egnethet til norske byområder**

Begge disse LUTI-modellene stiller høye krav til ekspertnivået hos bruker, men er tilgjengelig i stand til å predikere komplekse sammenhenger. Tilpasning til ulike byer er uproblematisk, men en del data, og spesielt all sonespesifikk data, er unik fra by til by. Det vil dermed være en relativt stor jobb å overføre en slik modell fra én norsk by til en annen, og omfanget vil være mer eller mindre proporsjonalt med antall soner. I begge modellene er det mulig å visualisere utfallet i GIS-programvare, og UrbanSim har det fortrinnet at et GIS-brukergrensesnitt allerede er inkludert. Dette gjør det relativt lett å kommunisere resultatene, selv om veien til resultatene kan være vanskeligere å kommunisere til ikke-eksperter. Begge modellscenariene kan brukes i konsekvensanalyser og nytte-kostnadsanalyser, men scenario E, som mikrosimuleres, skiller seg fra de andre scenariene. Her vil resultatet av modellen være en sannsynlighetsfordeling over fremtidsscenarier. Dette er mer realistisk enn kun en likevektsløsning, men siden man ikke ender med ett tall for endelig brukernytte kan det være vanskeligere å kommunisere resultatet til ikke-eksperter. Til slutt må det legges til at transporttiltakene som kan analyseres i LUTI-modeller øker drastisk sammenlignet med scenario A, siden transporttiltak som påvirker arealbruken også er inkludert. I tillegg er dette et godt verktøy for å analysere arealbrukstiltak, og man kan

finne effekten både på den endelige arealbruken og på transporten. Hvilke typer transporttiltak som kan analyseres vil i hovedsak være avhengig av transportmodellen som brukes. Som Flügel m.fl. (2014) konkluderer med, vil scenario E favne om flere tiltak enn scenario D, fordi en agentbasert modell eksplisitt modellerer kø. I begge tiltakene vil det være mulig å beregne brukernytte til nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger. Til tross for de små forskjellene nevnt i dette avsnittet, får begge modellene lik score (**xx**) på «egnethet i norske byområder». Dette er samme score som scenario C, selv om dette er helt forskjellig fra en LUTI-modell. Scenario C er bedre, på den måten at det er lettere å bruke og mindre arbeidskrevende å tilpasse til forskjellige byer, mens det er dårligere når det kommer til nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger, siden det ikke er mulig å beregne en brukernytte. Scenario B scorer høyere enn LUTI-modellen på dette området, siden det både er enkelt, fleksibelt og mulig å beregne brukernytte.



## 5 Mulighet for å inkludere godstransport i LUTI-modeller

### 5.1 Bakgrunn – gods i en tilpasset firetrinns transportmodell

De fleste operasjonelle transportmodeller ser kun på godstransport aggregert sett, og ofte med en lite konsistent ad-hoc-tilnærming. Det har blitt gjort en del forskning for å bedre forstå de forskjellige aspektene knyttet til etterspørselen etter godstransport. Men det har ikke blitt gjort mange forsøk på å utvikle atferdsmessig realistiske etterspørselsmodeller etter godstransport som kan bli integrert inn i et LUTI-rammeverk. Sivakumar (2007) nevner tre hovedårsaker til dette: (1) mangel på forståelse når det kommer til viktigheten av godstransport; (2) mangel på relevante datakilder til å støtte opp om en atferdsmessig forståelse og modellering av godstransporten; og (3) den iboende kompleksiteten når det gjelder godsbevegelser inn til, ut av og innenfor et urbant område. Denne iboende kompleksiteten er prøvd forklart på en strukturert måte i Tabell 5.1. Her er det skissert en standard firetrinns transportmodell som er tilpasset for godstransport.<sup>15</sup> De opprinnelige stegene i en firetrinns persontransportmodell er merket i grønt, mens ekstra steg som er nødvendig for å tilpasse et slikt system til godstransport er merket i grått.

Tabell 5.1. En tilpasset firetrinnsmodell for godstransport.

1	<b>Etterspørselsmodell</b> (knyttet til produksjon av varer)
	Verdi → Vekt
2	<b>Regional fordeling</b> (knyttet til regionalisert etterspørsel etter varer)
	Valg av logistikkjede (for eksempel egentransport eller tredjepartstransport)
	Vekt → Forsendelser (for eksempel antall paller)
	Valg av transportkjede (inkludert omlasting på terminaler)
3	<b>Transportmiddelfordeling</b> (inkludert kjøretøytype)
	Forsendelser → Turer (inkludert tomturer og utnyttelsesgrad)
4	<b>Nettverksutlegging</b>

<sup>15</sup> Merk at ikke alle disse stegene er nødvendige for alle godstransportmodeller. Stegene er imidlertid inkludert her for å tydeliggjøre hva som er vanskelighetene, og for å ha et rammeverk å diskutere dette rundt. Diskusjon rundt hvert enkelt steg følger etter figuren.

Det første problemet når det gjelder godstransport er knyttet til enheter – i persontransportmodeller vil enheten nesten alltid være antall reisende, mens i godstransportmodeller er man som regel nødt til å gjøre omregninger. I en godstransportmodell som skal kobles mot en arealbruksmodell er det viktig at modellen tar inn over seg økonomiske data (verdi). Derfor kan man grovt si at tre omregninger er nødvendige:

- **Verdi → Vekt:** Mye av dataen som vanligvis er nødvendig for etterspørselsmodeller er målt i verdi (for eksempel verdien av produsert mengde). Det er stor forskjell på verditettheten til forskjellige varer, og dermed må enheten omregnes til vekt (som er mer relevant for å modellere transporten).
- **Vekt → Forsendelser:** Når det er snakk om transportmiddelfordeling vil heller ikke vekt være tilstrekkelig. Det er dermed nødvendig å omregne fra vekt til type og antall forsendelser. Noen varer fraktes som stykk gods og noe på paller, og dette vil være avgjørende for transportmåten. I tillegg er volum ofte en like sterk determinant for maksimal forsendelsesstørrelse som vekt.
- **Forsendelser → Turer:** Gitt type transportmiddel og gitt vekt og størrelse på hver forsendelse er det likevel ikke entydig å omregne fra forsendelser til antall turer. Dette er hovedsakelig på grunn av to ting: tomturer og utnyttelsesgrad. Disse to aspektene avhenger også av retningsbalansen på godset generelt, og resten av transportkjeden som forsendelsen er en del av.

De to siste trinnene som må tas hensyn til er valg av logistikk-kjede og valg av transportkjede.

- **Valg av logistikk-kjede** handler om hvem som har ansvaret for forsendelsen på de forskjellige strekningene. Om vareeier benytter seg av egentransport, vil transporten mest sannsynlig enten skje direkte fra produsent/grossist til leveransested i byen, eller fra produsent/grossist og via andre leveranssteder i nærheten. Om vareeier benytter seg av en ekstern transportoperatør, har leveransen mulighet til å gå via denne transportoperatørens terminaler og samlastes med andre forsendelser denne transportoperatøren har ansvaret for. I hvor stor grad transportøren har mulighet til å samlaste, er avgjørende for utnyttelsesgraden.
- **Valg av transportkjede** handler om de fysiske løsningene – gitt logistikk-kjede og forsendelsesstørrelse, hvilke noder (terminaler, varelager eller andre omlastingspunkter) kommer forsendelsene til å fraktes via. Transportmiddelfordelingen vil dermed kunne variere mellom forskjellige noder i nettverket. I Norge er det realistisk å anta at sisteleddstransporten som skjer i urbane områder benytter varebil eller lastebil. Dermed vil transportmiddelfordelingen (trinn tre) ikke i så stor grad dreie seg om forskjellige typer transportmidler, men heller forskjellige typer kjøretøy.

Ytterligere aspekter som er viktig for valg av transport- og logistikkjede, er hva slags krav til transportkvalitet og hvilken «betalingsvilje» godset har. Et eksempel knyttet til dette er hvor raskt varene må transporteres. Ferskvarer må nå sin destinasjon raskt for at kvaliteten ikke skal forringes. Andre varer må transporteres raskt fordi kunden har et akutt behov for dem (for eksempel reservedeler) eller fordi produksjonen er planlagt på en slik måte at den krever kontinuerlig tilførsel av innsatsvarer (just-in-time). Dette aspektet er mange ganger avgjørende for hvordan varene fraktes.

## 5.2 Muligheter i Norge

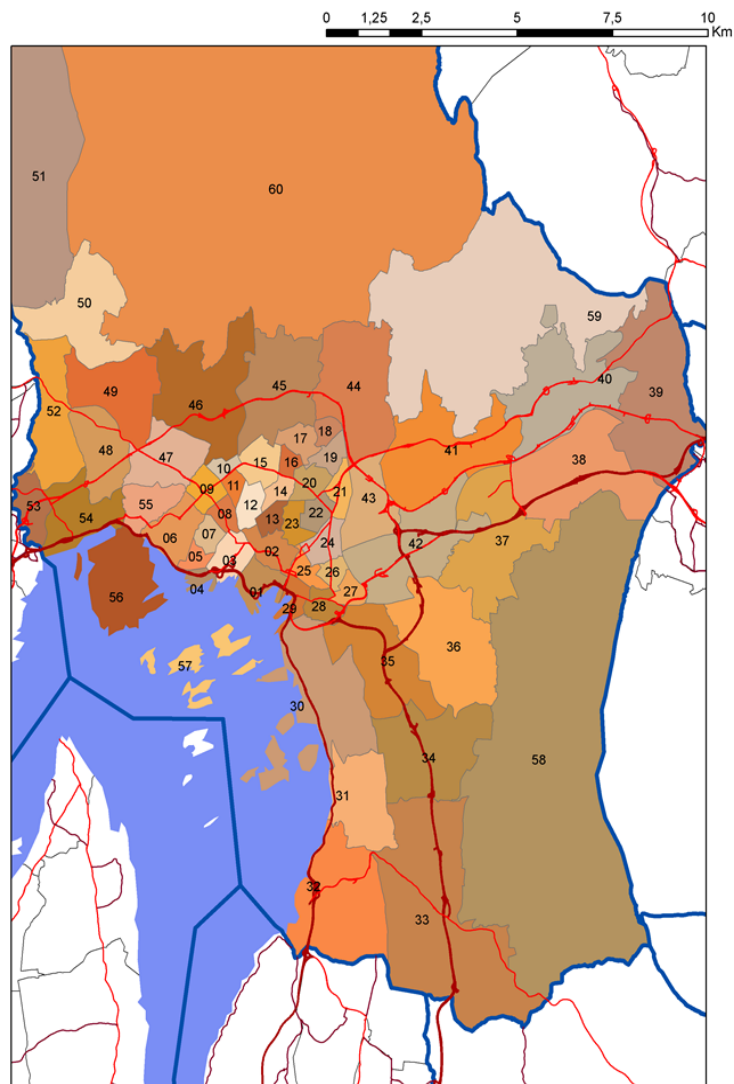
SSB har nylig begynt å gjennomføre varestrømsundersøkelser. Den første varestrømsundersøkelsen ble utført i 2009 (Wethal, 2012). Dette er stratifiserte utvalgsundersøkelser som samler informasjon over alle varestrømmer fra de undersøkte bedriftene i en gitt periode. Formålet med stratifiseringen er å muliggjøre en oppblåsing av resultatene, slik at de kan gjøres representative for hele Norge. Basert på denne varestrømsundersøkelsen, lastebilundersøkelsen, utenrikshandelsstatistikken samt en del andre spesialundersøkelser (for eksempel for tømmer og jordbruksvarer) er det generert fullstendige varestrømsmatriser for 39 varegrupper over alle forsendelser (både innenlandske og grenseoverskridende) til og fra norske bedrifter (Hovi og Johansen, 2013). En varestrømsmatrise er en oversikt over forsendelsesmengder, hvor radene utgjør opprinnelsessonen mens kolonnene utgjør destinasjonssonen. På grunn av varestrømsmatrisene og det detaljerte datagrunnlaget de er bygget på, er vi relativt godt stilt i Norge når det gjelder å modellere godstransport.

### 5.2.1 Mulighet for å inkludere godstransport i en transportmodul

I Norge benytter vi oss av modellverktøyet Logistikkmodellen (Madslien, m.fl., 2012), som er en nasjonal modell for godstransport. Varestrømsmatrisene nevnt i forrige avsnitt blir brukt som input-data i Logistikkmodellen, som basert på kostnadsfunksjoner for forskjellige transportmidler (Grønland, 2011) predikerer transportytelser uttrykt ved transportmiddelfordeling, transportkostnader, tonn-kilometer og kjøretøykilometer. Dette inkluderer sisteleddstransporten inn til butikker i urbane områder. For direkte bruk i en LUTI-modell er det to hovedproblemer med Logistikkmodellen, slik den foreligger i operasjonell versjon per 2014:

- Verken inngangs- eller utgangsdata til/fra Logistikkmodellen har verdi som enhet. Dette er ikke et problem i seg selv, men et problem når det kommer til kompatibilitet med bedriftsøkonomiske data (som er nødvendig for en kobling mellom transportmodulen og arealbruksmodulen). Det er utarbeidet grove konverteringsnøkler fra tonn til verdi for hver varegruppe, men hvor mye informasjon vil gå tapt ved bruk av disse.
- Logistikkmodellen er en nasjonal modell som hovedsakelig er utviklet for å si noe om makro-størrelser. Modellen er sonebasert, men soneinndelingen er ikke ansett som finmasket nok til å si noe om små, korte strømmer innad i byområder.

Det er mulig å lage et modellverktøy tilsvarende Logistikkmodellen med en finere soneinndeling; hovedgrunnen til at dette ikke er gjort allerede er (1) at modellen, som gir en oversikt over alle vareleveringer i Norge, er tungkjørt nok allerede (mer finmaskede modeller burde derfor kun kjøres for mindre geografiske områder); (2) at det ikke hittil har vært et stort nok behov for en så disaggregert modell; og (3) at jo mer disaggregert resultatene blir, jo større vil også usikkerheten rundt hvert enkelt tall være. Det kan også nevnes at Logistikkmodellen er tilrettelagt for en mer detaljert soneinndeling, hvor for eksempel Oslo er delt inn i 60 soner (de samme sonene som for Nasjonal persontransportmodell, NTM). Figuren under viser disse sonene. Denne soneinndelingen er imidlertid verken implementert eller validert enda.



Figur 5.1. Ny potensiell soneinndeling i Oslo for Logistikkmodellen (ikke implementert).

Vi vurderer det sånn at inkludering av gods i transportmodulen av en LUTI-modell (enten basert på en mer finmasket versjon av logistikkmodellen, eller basert på en modell som er spesielt utviklet for å også ta hensyn til økonomiske data) burde være fullt mulig, og noen punkter angående dette er beskrevet under:

- Varestrømsundersøkelsen skal gi en oversikt over alle varestrømmer i Norge på postnummernivå. Å få mer disaggregerte, nøyaktige tall er umulig. Men en større grad av disaggregering kan approksimeres ved å matche varestrømsundersøkelsen med økonomisk data fra for eksempel bedrifts- og foretaksregisteret og med arealbruksdata i GIS over tomter med handelsvirksomhet. Problemet med varestrømsundersøkelsen på et så disaggregert nivå er at den vil være svært mangelfull (siden det er en utvalgsundersøkelse).
- Det finnes mye trafikktekningsdata i og rundt byområder, som klarer å skille lette og tunge kjøretøy. Mye av disse dataene er ikke enda tatt i bruk i modellsystemer, spesielt innenfor storbyene. Slik data kan brukes til å kalibrere eller validere en modell som er basert på varestrømsundersøkelsen.

- Varestrømsundersøkelsen er ikke transportmiddelfordelt. Det gjennomføres lastebiltellinger, men dette er bare kjøretøy med nyttelast over 3,5 tonn (basert på et langt mindre utvalg enn varestrømsundersøkelsen, og med kommunenivå som mest detaljerte geografiske informasjon). Likeledes klarer trafikktegninger å registrere forskjellen på lette kjøretøy og tunge kjøretøy (lastebiler og busser), men ikke å skille mellom personbiler, varebiler og små varebiler/pizzabiler. Med tellinger av alle godskjøretøy samt varestrømsdata kunne man kalibrert seg fram til parametere for å beskrive andel tomturer og utnyttelsesgrad på kjøretøyene. En stor del av bydistribusjonen blir imidlertid gjennomført med varebiler, som vi ikke har tellingsdata for. Dermed må det gjøres noen antakelser om tomturer og utnyttelsesgrad på bilene før det er mulig å regne seg om fra varestrømmer i varestrømsundersøkelsen, til turer med godsbiler i en transportmodell.
- Når det gjelder servicenæringen finnes det ingen tilsvarende data som varestrømsundersøkelsen. Det vil gå an å gjøre noen forutsetninger basert på økonomisk data for å estimere håndverkstransporter og andre kjøreturer knyttet til servicenæring, men disse vil være mye mer usikre enn resultatene for godstransport. Per i dag er kjøreturer knyttet til servicenæringen verken en del av Logistikkmodellen eller det norske modellsystemet for persontransport, og faller dermed utenfor. Med en oversikt over mengden trafikk fra servicenæringen, hadde det imidlertid vært mulig å knytte denne til OD-par basert på økonomiske data.

### 5.2.2 Mulighet for å inkludere godstransport i en arealbruksmodul

Selv om det kan være problematisk å implementere godstransport i en detaljert transportmodell, vil det ikke by på store problemer å tilpasse en arealbruksmodul til en transportmodul hvor både persontransport og godstransport er inkludert. Dette er fordi mye av samme type data er nødvendig for å modellere godstransport og arealbruksendringer. Dette inkluderer:

- Industristatistikk med geografisk komponent;
- Varehandelsstatistikk med geografisk komponent.

Man vil altså spare en del arbeid knyttet til datainnsamling ved å implementere en arealbruksmodell til transportmodell som allerede har godstransport inkludert, siden disse to datakildene vil være implementert allerede.

Hvordan godstransport blir påvirket av endringer i arealbruk kan kalibreres basert på godsbevegelsene og arealbruken i modellens basisår. Dannelsen av nye bedrifter og nye husholdninger med en gitt konsumetterspørsel vil dermed øke etterspørselen etter gods etter mønsteret som er observert i baseåret.

### 5.2.3 Oppsummering og anbefalinger

Den foregående diskusjonen argumenterer for at det er mulig å inkludere godstransport i en transportmodell for en by. Siden det mest detaljerte geografiske nivået i Varestrømsundersøkelsen er postnummernivå (og ikke grunnkrets nivå), og siden en del antakelser må gjøres med hensyn til samlasting, lastegrad og valg av kjøretøy, vil resultatene fra en slik modell imidlertid være mer usikre enn resultater for

persontransport. Siden lite data finnes om tjenestereiser knyttet til servicenæringen, vil en inkludering av slike reiser i en transportmodell være enda mer usikre.

Om målet er en fullverdig LUTI-modell med godstransport inkludert, anbefales det med en trinnvis tilnærming hvor godstransport blir inkludert i en enkeltstående transportmodell først. Modellsystemet kan enten ha enkeltstående moduler for godstransport og persontransport, eller inkludere gods- og persontransport i samme modell. Etter at disse resultatene er validert, kan man prøve å integrere denne transportmodellen med en arealbruksmodell. Dette er fordi en LUTI-modell har mer komplekse årsakssammenhenger enn en enkeltstående transportmodell. Det vil dermed være lettere å validere resultatene fra transportmodellen separat, enn resultatene fra et helt LUTI-modellsystem.

Å koble en arealbruksmodell til en transportmodell med godstransport burde imidlertid ikke by på så store problemer, så lenge transportmodellen er validert. Dette er fordi mye av den samme dataen som trengs for å prognostisere godstrafikken, altså romlig, næringsøkonomiske data, også trengs for å prognostisere arealbruksendringer til industri og butikker. Gitt en transportmodell som på en tilfredsstillende måte klarer å prognostisere godstransport, burde dermed inkludering av godstransport i arealbruksmodellen være uproblematisk.

## 6 Oppsummering og anbefalinger

Hovedmålsetningen i dette prosjektet har vært å vurdere metoder og modeller for analyser av samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transportetterspørsel i byområder. I dette avsluttende kapittelet oppsummeres resultatene fra rapporten, og det presenteres anbefalinger for videre arbeid.

Rapporten vurderer i hovedsak styrker og svakheter ved LUTI (Land-Use and Transport Interaction) –modeller i forhold til mer tradisjonelle transportmodeller av den typen som benyttes i dag.

Følgende underpunkter er søkt besvart:

- Styrker og svakheter med integrerte arealbruks- og transportmodeller når det gjelder å kunne analysere samspillseffekter mellom arealutvikling, infrastruktur og transportetterspørsel i byområder
- Vurdere integrerte arealbruks- og transportmodeller opp mot tradisjonelle transportmodeller som er etablert i dag, kan det være samspillseffekter her?
- Få fram hvilken type data som kreves for å bruke slike modeller
- Vurdere hvordan disse modellene kan brukes i Norge, herunder hvordan de kan brukes i konsekvensanalysesammenheng/ samfunnsøkonomiske analyser.

Arbeidsmetoden i dette prosjektet har i stor grad vært gjennomgang av eksisterende faglitteratur og komparative studier av relevante metoder, modeller og datagrunnlag med mål om å vurdere de ulike modelltypenes egnethet i Norge og i konsekvensanalyser/samfunnsøkonomiske analyser for norske byer. Den rådende litteraturen på feltet ser utviklingen av transportsystemene, arealstrukturen, reiseatferden og biltrafikkmengdene som tett og gjensidig avhengige av hverandre. Rapportens kapittel 2 gir en gjennomgang av kunnskapsstatusen for slike samspillseffekter og basert på gjeldende teoretisk og empirisk forskning, er litteraturen i all hovedsak samstemt i anbefalingene om hva slags areal- og transportutvikling som gir de laveste biltrafikkmengdene og størst mulighet til å redusere biltrafikkmengdene (målt som totalt antall kjøretøykilometer med bil i regionen):

- Arealbruken styres mot sentral fortetting, mot biluavhengig lokalisering og styrking av sentrum og lokalsentre – ikke byspredning;
- Kollektivtilbudet bedres (frekvens, hastighet, punktlighet, flatedekning);
- Det legges bedre til rette for å gå og sykle;
- Restriktive virkemidler mot biltrafikken tas i bruk; både fysiske (veikapasitet, parkeringskapasitet) og økonomiske (parkeringsavgifter, veiprisning, bom-penger).

Tiltak i transport- eller arealbrukssystemet vil ha en gjensidig påvirkning på hverandre. For å kunne vurdere den totale effekten av et tiltak er det nødvendig med et konsistent metodisk rammeverk. Hovedformålet til denne rapporten er å beskrive i hvilken grad LUTI-modeller er i stand til å fylle denne rollen, og redegjøre for hva som er de beste alternativene til LUTI-modeller. Avsnitt 6.1 oppsummerer litteraturstudien av eksisterende LUTI-modeller; avsnitt 6.2 oppsummerer analysen av to varianter av LUTI-modeller sammenlignet med andre metoder og modeller; avsnitt 6.3 redegjør kort for mulighetene for å inkludere godstransport i en LUTI-modell; og avsnitt 6.4 kommer med noen enkle anbefalinger til veien videre.

## 6.1 Dagens LUTI-modeller: en litteraturstudie

I rapporten har vi både gått gjennom rammeverket en LUTI-modell baserer seg på (avsnitt 3.3), forskjellige klassifiseringer av LUTI-modeller (avsnitt 3.4), samt 26 allerede eksisterende LUTI-modeller (avsnitt 3.5). Litteraturstudien viser at den nye generasjonen av LUTI-modeller i hovedsak er agentbaserte mikrosimuleringsmodeller med en stadig større grad av romlig disaggregering. Eksempler på slike nyere modeller er ILUTE, ILUMASS, TLUMIP og RAMBLAS. I tillegg har eldre og mer etablerte LUTI-modeller begynt å komme ut i agentbaserte versjoner. Dette inkluderer for eksempel modellene UrbanSim og MUSSA. UrbanSim er den eneste modellen identifisert i denne litteraturstudien som forsøker å bygge et integrert rammeverk hvor både arealbruksmodellen og transportmodellen er aktivitetsbasert og mikrosimulert.

Det er imidlertid en viktig avveining mellom kompleksitet og transparens. Stadig mer komplekse modellsystemer kommer med en kostnad i form av fallende transparens, hvor det er vanskelig for beslutningstakere å få oversikt over hva modellresultatene kommuniserer, hva modellen har utelatt og hvilke mekanismer og forutsetninger som ligger til grunn for resultatene.

Berglund (2014) identifiserer tre trender når det gjelder utviklingen av dagens arealbruksmodeller, som alle er knyttet til utviklingen som er beskrevet i rapporten:

- *Trend 1:* Fra makro til mikrosimulering (fra en ovenfra-og-ned-tilnærming til en nedenfra-og-opp-tilnærming). Fra statiske, aggregerte arealbruksmodeller, til komplekse, agentbaserte mikrosimuleringsmodeller. Agentbaserte modeller ser ut til å vokse i popularitet i områder med komplekse planleggingsutfordringer.
- *Trend 2:* Som en mulig reaksjon til utviklingen av mer komplekse modeller, er det en parallell strømning mot å bygge enklere, raskere og mer visuelt tilgjengelige planleggingsverktøy. Slike verktøy er basert på mindre data-intensive og mindre teoririke tilnærminger (regelbaserte eller GIS-baserte verktøy).
- *Trend 3:* Det er også en økende bevissthet rundt viktigheten av en integrert tilnærming for arealplanlegging. Det er imidlertid også en oppfatning blant mange beslutningstakere om at de enkleste LUTI-modellene ikke egner seg for alle typer scenarioanalyser, mens de mest komplekse LUTI-modellene trenger ekspertkunnskap som beslutningstakerne selv ikke har.



Basert på disse tre trendene virker det som om hovedutfordringen LUTI-modeller har i framtiden er å finne ut hvor det er best å plassere seg på akse som går fra kompliserte modeller til enkle og forståelige modeller.

Av de 26 LUTI-modellene som omtales i rapporten, har vi valgt å fokusere på UrbanSim modellen spesielt (se kapittel 4.2.5 for mer om denne modellen). Dette valget er basert på den vidstrakte anvendelsen av modellen, fleksibiliteten ved åpen modulær kildekode, samt den stadige videreutviklingen av modellsystemet. Om det ved en senere anledning besluttes å satse på å utvikle en LUTI-modell for Norge, er det like fullt andre av disse modellene som kan være av spesiell interesse. Tre modeller, i tillegg til UrbanSim, som vi mener er av interesse for Norge er RELU-TRAN, ASEM og SIMULARCA.

## 6.2 Forslag til en norsk LUTI-modell

Basert på litteraturstudien foreslår vi to versjoner av LUTI-modeller vi mener har potensiale for å bli implementert i Norge (scenario D og scenario E), og sammenligner disse med andre metoder og modeller (scenario A – C) i kapittel 4. De fem scenariene er kort oppsummert under:

**Scenario A – Dagens firetrinns transportmodeller med eksogen arealbruk:** Dette er nullscenariet. I dagens situasjon er det mulig å beregne endringer i brukernytte som følge av endringer i transportsystemet når arealbruken holdes uendret. Det er også mulig å prognostisere trafikk i situasjoner hvor arealbruken endres eksogent. Det er imidlertid ikke mulig å beregne brukernytte i situasjoner hvor arealbruken er endret.

**Scenario B – En metodikk for å beregne brukernytte fra eksogene endringer i arealbruken for dagens transportmodeller:** For å beregne brukernytten i situasjoner hvor arealbruken er endret eksogent basert på ekspertvurderinger, foreslår vi en metodikk basert på Minken et al. (2003). Når arealbruken endres oppstår det to nye kilder til brukernytte (i tillegg endringen i generaliserte transportkostnader); en destinasjonsnytte (nyttan av å ha mulighet til å endre destinasjonsvalg basert på det nye arealbruksmønstret) og en lokalitetsnytte (nyttan av å ha mulighet til å flytte til en ny destinasjon). Hovedfordelen med metodikken beskrevet i Minken et al, er at den skisserer hvordan disse nyttekomponentene kan bli beregnet basert på attraktivitetsvariable som allerede er del av transportmodellen. For å klare å kvantifisere disse tre nyttekomponentene er det nødvendig å implementere en enkel valgmodell hvor den nye arealbruken (basert på ekspertvurderinger) er resultatet av enkeltindividers nyttemaksimering. Hovedutfordringen ved denne metodikken er å finne de nødvendige vektene for attraktivitetsvariablene i destinasjons- og lokalitetsnyttekomponentene.

**Scenario C – Et enkelt, regel-basert og GIS-basert planleggingsverktøy:** I dette scenariet blir modeller i samme kategori som ATP vurdert. Dette er enkle, GIS-baserte modeller som basert på arealbruks-, reise- og infrastrukturdata visualiserer endringer for forskjellige scenarier ved hjelp av enkle og klart definerte adferdsregler. Disse modellene tar ikke eksplisitt hensyn til feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk. Fordelene er imidlertid at de er (1) raske å bruke, så et vidt spekter av scenarier med varierende arealbruk kan kjøres og resultatene kan sammenlignes, og (2) at modellene ikke krever ekspertbrukere; det er enkelt å kjøre modellene, kommunisere resultatene og kommunisere forutsetningene bak disse.

**Scenario D – En aggregert, makroskopisk LUTI-modell:** I dette scenariet blir det foreslått en enkel arealbruksmodell som (1) baseres på representative agenter i hver sone, (2) kan bli koblet til en allerede eksisterende transportmodell (RTM), (3) har en forenklet representasjon av boligmarkedet og nybygging/tomteutvikling, og (4) er basert på nyttemaksimering og løses i likevekt. Dette er ment som en enkel, operasjonell modell hvor feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk er inkludert, og hvor det er mulig å beregne brukernytte ved forskjellige modellscenarier.

**Scenario E – En disaggregert, mikroskopisk LUTI-modell:** I dette scenariet er det foreslått en mer kompleks LUTI-modell, som er en kobling mellom den agentbaserte trafikkmodellen MatSim og den agentbaserte arealbruksmodellen UrbanSim. Dette er en dynamisk mikrosimuleringsmodell på både transport- og arealbrukssiden, og denne koblingen har tidligere blitt testet i Nicolai et al. (2011). I tillegg holder TØI på å teste ut trafikkmodeller i MatSim (se Flügel et al. 2014). Agentbaserte modeller gjør det mulig å eksplisitt ta hensyn til effekten av kø, noe som ikke er mulig i tradisjonelle firetrinnsmodeller. Dette gjør disse modellene spesielt relevante for urbane strøk.

Disse scenariene er nå sortert fra enkel til kompleks (og dermed også fra billig til dyr) å implementere. De er evaluert basert på tre hovedkriterier beskrevet i avsnitt 4.1:

1. Modellens evne til å beskrive samspillseffekter mellom transport og arealbruk;
2. Databehov, datatilgjengelighet og datakvalitet; og
3. Egnethet i norske byområder, herunder:
  - a. Hva slags tiltak modellen er egnet til å belyse;
  - b. Modellfleksibilitet;
  - c. Krav til brukere av modellen;
  - d. Kommunikasjon av resultater og modellforutsetninger (transparens);
  - e. Muligheter for å bruke resultatene i nytte-kostnadsanalyser og konsekvensutredninger.

Den komparative analysen er beskrevet i avsnitt 4.3.

Hovedkonklusjonene fra denne analysen er at den beste tilnærmingen i stor grad er avhengig av brukerens behov. Mens LUTI-modellene er de eneste tilnærmingene hvor feedbacksyklusen mellom transport og arealbruk blir modellert eksplisitt, vil det ikke nødvendigvis alltid lønne seg å utvikle en slik modell. Blant annet vil kostnadene, databehov og krav til bruker være høyere, og fleksibiliteten være lavere. Det er viktig at kostnadene ved å utvikle en modell blir veid mot nytten en slik modell kan gi, og at styrker og svakheter ved en modell kommer tydelig fram. Vi viser at alle modellene kan være optimale, avhengig av hva som er kravet til modellen, målet med analysen og økonomisk ramme. Det er derfor viktig at man tenker gjennom hva man ønsker å få ut av en slik metodikk og hvor mye man er villig til å betale for det, før man bestemmer seg for veien videre.

### 6.3 Mulighet for å inkludere godstransport

I kapittel 5 argumenteres det for at det er mulig å inkludere godstransport i en transportmodell for en by. Siden den beste datakilden for dette er Varestrømsundersøkelsen hvor data er oppgitt på postnummernivå (og ikke grunnkrets nivå), og siden en del antakelser må gjøres med hensyn til samlastning, lastegrad og valg av kjøretøy, vil resultatene fra en slik modell imidlertid være mer usikre enn resultater for

persontransport. Siden lite data finnes om tjenestereiser knyttet til servicenæringen, vil en inkludering av slike reiser i en transportmodell være enda mer usikre.

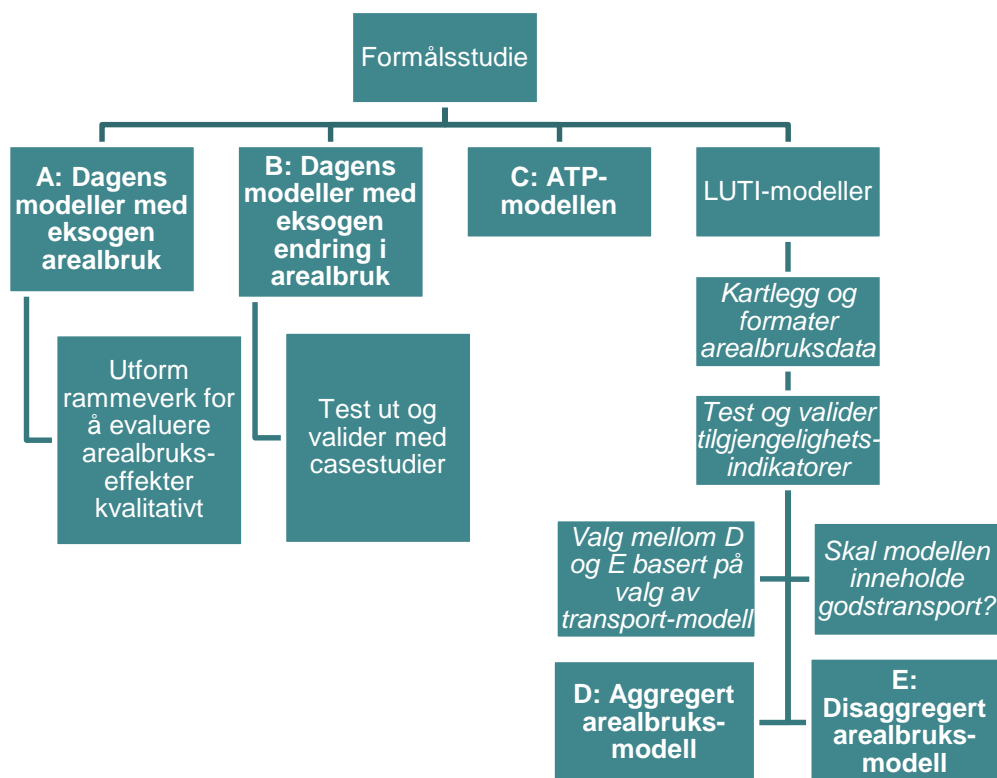
Om målet er en fullverdig LUTI-modell med godstransport inkludert, anbefales det en trinnvis tilnærming hvor godstransport blir inkludert i en enkeltstående transportmodell først. Modellsystemet kan enten ha enkeltstående moduler for godstransport og persontransport, eller inkludere gods- og persontransport i samme modell. Etter at disse resultatene er validert, kan man prøve å integrere denne transportmodellen med en arealbruksmodell. Dette er fordi en LUTI-modell har mer komplekse årsakssammenhenger enn en enkeltstående transportmodell. Det vil dermed være lettere å validere resultatene fra transportmodellen separat, enn resultatene fra et helt LUTI-modellsystem.

Å koble en arealbruksmodell til en transportmodell med godstransport burde imidlertid ikke by på så store problemer, så lenge transportmodellen er validert. Dette er fordi mye av den samme dataen som trengs for å prognostisere godstrafikken, altså romlig, næringsøkonomiske data, også trengs for å prognostisere arealbruksendringer til industri og butikker. Gitt en transportmodell som på en tilfredsstillende måte klarer å prognostisere godstransport, burde dermed inkludering av godstransport i arealbruksmodellen være uproblematisk.

## **6.4 Generelle anbefalinger og forslag til videre arbeid**

I dette avsnittet kommer vi med generelle anbefalinger, hovedsakelig basert på kapittel 4 og kapittel 5. Dette er knyttet til (1) hva slags metode/modell som burde bli tatt i bruk (avsnitt 6.4.1); (2) hvilket forarbeid som burde gjøres før en LUTI-modell eventuelt utvikles (avsnitt 6.4.2); og (3) viktige avveininger som burde gjøres når det kommer til valg av en eventuell modellstruktur for en fremtidig LUTI-modell (avsnitt 6.4.3).

Forslag til veien videre er oppsummert i Figur 6.156.1 under. Først burde det gjennomføres en formålsstudie for å kartlegge formålet med modellen, altså hva som er det reelle behovet. Se avsnitt 6.4.1 for mer om dette. Valg av modell/metode basert på formålsstudien burde være mulig ved hjelp av denne rapporten. Om det skal utvikles en LUTI-modell for norske byer, anbefaler vi at to forprosjekter blir gjennomført først, knyttet til datainnsamling og tilgjengelighetsindikatorer. Se avsnitt 6.4.2 for mer om dette. Flere anbefalinger knyttet til valg av faktisk LUTI-modell (nederst til høyre i figuren) er beskrevet i avsnitt 6.4.3.



Figur 6.15. Forslag til veien videre.

#### 6.4.1 Hva slags metode/modell burde tas i bruk?

Kapittel 4 skisserer en del vidt forskjellige metoder og modeller, og i avsnitt 4.3 viser vi at alle disse metodene/modellene kan være optimale gitt hva behovet er. Det er viktig å tenke over hva som er behovene og formålene, og være klar over at én modell sjeldent kan dekke alle behov. Anbefalinger knyttet til valg av modell/metode er listet opp under:

- For å analysere tiltak hvor det ikke forventes større endringer i arealbruks-systemet, kan dagens transportmodeller brukes (scenario A). I så fall burde analysen suppleres med en diskusjon knyttet til potensielle arealbruksendringer av tiltaket (som transportmodellen per definisjon ikke fanger opp), og i hvilken retning disse vil påvirke resultatene. Om man har en formening om hva den nye arealbruken etter innføring av et tiltak vil bli, kan transportmodellene kjøres med ny arealbruk lagt inn eksogent. Det vil imidlertid ikke være mulig å beregne brukernytte for scenarier hvor arealbruken er endret.
- Den billigste og raskeste måten å beregne brukernytten av tiltak hvor man tror man vet hva endringen i arealbruken blir, er å benytte løsningen fra scenario B. Dette er en god løsning for konsekvensutredninger og nytte-kostnadsanalyser dersom man ikke finner det formålstjenlig å investere i en LUTI-modell. Om

denne metoden skal innføres som standard anbefales det likevel at det gjennomføres en del casestudier først, da metoden enda ikke har blitt testet i virkelige scenarier.

- Om målet er at planleggere enkelt skal kunne teste effekter av ulike tiltak for å optimere arealbruken, uten at det er nødvendig å regne ut brukernytte for konsekvensutredninger, og uten at analysene trenger å være komplementære med for eksempel RTM, anbefales ATP-modellen. Denne er billig å bruke, enkel, rask og visuelt tilgjengelig. Det er også enkelt å både endre og kommunisere hva forutsetningene er. ATP-modellen er også et godt komplementerende verktøy til andre og mer komplekse modeller og metoder.
- En LUTI-modell vil være dyrere enn foregående alternativer, men eksplisitt modellere samspillseffektene. Dette anbefales for å analysere komplekse scenarier hvor det på forhånd er vanskelig å forutsi effektene transport og arealbruk har på hverandre. Om det utvikles en fungerende MatSim-modell for norske byer anbefales det disaggregerte modellalternativet, og i så fall anbefales det at arbeidet med en arealbruksmodell ikke starter før etter at MatSim-modellen er ferdig og validert. Om man ikke ønsker å satse på agentbaserte transportmodeller, men heller ønsker å videreføre dagens transportmodeller, anbefales en aggregert arealbruksmodell som kan kobles mot RTM. For flere anbefalinger knyttet til valg av LUTI-modell, se avsnitt 6.4.3.

#### **6.4.2 Før det skal utvikles en LUTI-modell**

Om det skal utvikles en LUTI-modell for norske byer, er det mye forarbeid som kreves, og spesielt anbefaler vi at to forprosjekter gjennomføres. Dette er to prosjekter som vil legge mye av rammene for hvordan en LUTI-modell skal utvikles, og i tillegg kommer til å gi nyttige resultater i seg selv:

- Det burde gjennomføres et prosjekt for å kartlegge, samle inn og formatere arealbruksdata nødvendig for en LUTI-modell. Dette er spesielt motivert av at bedrifts- og foretaksregisteret har vist seg lite hensiktsmessig ved tidligere anledninger. Det er uvisst hvor mye manuelt arbeid som må gjennomføres for å (1) sørge for en mer hensiktsmessig næringsinndeling og (2) korrigere for «hovedkontoreffekten», altså at bedriftsøkonomiske størrelser i noen tilfeller blir koblet med hovedkontorets geografiske komponent, og ikke anlegget hvor produksjon eller salg skjer. Et slikt prosjekt vil være nyttig uavhengig av en potensiell LUTI-modell, da det også vil muliggjøre andre empiriske analyser knyttet til transport og arealbruk.
- Det anbefales at det gjennomføres et prosjekt for å finne de beste tilgjengelighetsindikatorer for å predikere fremtidig arealbruk (beskrevet i avsnitt 3.3.1). Slike tilgjengelighetsindikatorer er den viktigste koblingen fra transportmodulen til arealbruksmodulen av en LUTI-modell. Gode tilgjengelighetsindikatorer er dermed essensielt for en pålitelig LUTI-modell. Det er viktig at modellsystemet utformes på en slik måte at gode tilgjengelighetsindikatorer kan beregnes basert på resultatene fra transportmodulen. Å finne ut mer om hvilke slike indikatorer som påvirker arealbruken og på hvilken måte vil være nyttig uavhengig av om det utvikles en LUTI-modell, da det vil gi økt kunnskap om sammenhengen mellom transport og arealbruk i norske byer generelt.

### **6.4.3 Om det skal utvikles en LUTI-modell**

Om man bestemmer seg for å utvikle en LUTI-modell for norske byer, er det flere valg som må tas knyttet til modelleringsteknikker, datainnsamling også videre. I dette avsnittet vil vi komme med noen anbefalinger og punkter det er viktig å ha i bakhodet, basert på litteraturstudien i kapittel 3 og den komparative analysen i kapittel 4:

- For å skape en velfungerende LUTI-modell må det være en villighet til kontinuerlig satsing. Det er dyrt å implementere og vedlikeholde en slik modell, og en av de største utgiftspostene er opplæring for å sørge for et godt fagmiljø. Et fagmiljø eksisterer ikke i Norge i dag når det kommer til LUTI-modeller. Av den grunn anbefales også et internasjonalt samarbeid.
- Det er ytterst få LUTI-modeller som er tilpasset nordiske forhold (med unntak av noen svenske). Å etablere et norsk rammeverk for LUTI-modeller vil derfor nødvendigvis kreve en del forskning – det er ikke bare å kalibrere en allerede eksisterende modell med norske data, og anta at den kommer til å være operasjonell.
- Det er viktig å være klar over at sammenlignet med transportmodeller, så har utvikling av arealbruksmodeller kommet kort. Det skal relativt mye mer arbeid og ressurser til for å etablere en velfungerende arealbruksmodell, enn for å etablere en velfungerende transportmodell. Dette er både på grunn av at mindre arbeid er gjort på dette feltet, og fordi flere markeder og flere beslutningsprosesser må modelleres. Arealbruksmarkedet innehar altså mer iboende kompleksitet enn transportmarkedet, både fordi individer står ovenfor flere valg i hver enkelt beslutningsprosess, og fordi de forskjellige valgene er mer heterogene enn for transportmarkedet.
- Det er viktig å være klar over at alle modeller (per definisjon) er feilaktige forenklinger. Derfor må alltid modellresultater sees i sammenheng med annen empiri, sunn fornuft og ekspertkunnskap, og ikke som hele sannheten. Generelt egner LUTI-modeller seg bedre til å evaluere forskjeller mellom forskjellige tiltak enn til å predikere fremtiden. Dette er fordi fremtidsprediksjoner er usikre, og modellen vil mest sannsynlig ikke ta inn over seg de viktigste usikkerhetsfaktorene som bestemmer fremtidig utvikling på en god måte (det er flere slike faktorer modellen ikke har som mål å si noe om, som endringer i lover og regler, teknologivekst, endringer i preferanser, osv.).
- Som nevnt tidligere, vil ikke brukernytten fra LUTI-modeller være direkte sammenlignbar med brukernytten fra dagens transportmodeller med eksogen arealbruk (per definisjon). Dette er fordi flere nyttekomponenter vil oppstå når arealbruken endres (forenklet til de to konseptene destinasjons- og lokalitetsnytte i avsnitt 4.2.2). Trafikkprognoser kan imidlertid sammenlignes. Om det ønskes en mulighet til å sammenligne resultatene fra dagens transportmodeller og transportmodulen fra en LUTI-modell mer inngående, anbefales det at det i en framtidig LUTI-modell er mulig å holde arealbruken uendret (slik som i dagens transportmodeller).
- En LUTI-modell vil kunne predikere effekter av flere forskjellige tiltak. Hvor god den er til å predikere nytten av transporttiltak vil imidlertid i hovedsak

komme an på transportmodell-delen av LUTI-modellen. Dette vil blant annet si at om man ønsker en modell som eksplisitt skal klare å modellere effekten av tiltak som påvirker kødannelse på en realistisk måte, er man nødt til å ha en mikroskopisk trafikkmodul i modellsystemet.

- Det anbefales å først satse på en transportmodell for en by, og deretter implementere en enkel arealbruksmodell til en velfungerende transportmodell. Denne kan utvides og gjøres mer kompleks etter hvert. Dette er fordi det er lettere å validere en transportmodell enn en LUTI-modell, og fordi det er lettere å validere en enkel arealbruksmodell enn en kompleks.
- Det anbefales et modulært modellsystem, da dette er mest fleksibelt og minst sårbart. På denne måten kan moduler legges til, byttes ut eller endres etter behov.
- Når det gjelder godstransport er konklusjonene fra kapittel 5 at det er mulig å inkludere dette i en LUTI-modell, men at resultatene kommer til å bli mer usikre enn for persontransport. Om man vil inkludere godstransport anbefales det at man først implementerer det i en transportmodell for en bysetting. Om dette blir gjort på en tilfredsstillende måte, vil det være relativt enkelt å la dette opptre i en sammenkoblet arealbruksmodell, da godstransport i en transportmodell krever mye av den samme inngangsdataen som bedrifters lokalisering i en arealbruksmodell. Dette vil si økonomiske og næringsinndelte data om bedrifter på mikronivå.
- Om en aggregert eller en disaggregert arealbruksmodell er dyrest/vanskeligst å implementere (gitt at transportmodellen foreligger) er vanskelig å si, da en aggregert modell er mindre kompleks men må kodes fra bunnen av, og en disaggregert modell er mer kompleks men kan i større grad baseres på eksisterende kode (UrbanSim og SustainCity).
- Hvor krevende (og dyrt) det er å utvikle en LUTI-modell for norske forhold er høyst usikkert. Et lite gunstig scenario er å begynne utviklingen av en kompleks LUTI-modell, men måtte avbryte på grunn av større kostnader enn ventet. Dette er et argument for å bygge opp kompetanse ved å utvikle en enkel, aggregert LUTI-modell først, og heller utvikle en disaggregert modell senere som bygger på tidligere erfaringer og kunnskap.

## Referanser

- Alonso, W. (1964) *Location and Land Use* Harvard University Press, Cambridge, MA
- Anas, A. (1983) Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models, *Transportation Research Part B*, **17B**, 13-23.
- Anas, A. (1992) NYSIM (The New York Area Simulation Model): A Model for Cost-Benefit Analysis of Transportation Projects. Research Report, Regional Plan Association, New York.
- Anas, A. (1994) *METROSIM: A Unified Economic Model of Transportation and Land-Use* Alex Anas & Associates, Williamsville, NY.
- Anas, A. (1998) *NYMTC Transportation Models and Data Initiative: The NYMTC Land Use Model* Alex Anas & Associates, Williamsville, NY.
- Anas, A. (2013) A summary of the applications to date of RELU-TRAN, a microeconomic urban computable general equilibrium model, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 40, 959-970.
- Anas, A., Liu, Y. (2007) A regional economy, land use, and transportation model (RELU-TRAN©): Formulation, algorithm design, and testing, *Journal of Regional Science*, vol. 47(3), 415-455.
- Anas, A., Hiramatsu, T. (2012) The effect of the price of gasoline on the urban economy: From route choice to general equilibrium, *Transportation Research Part A*, vol. 46, 855-873.
- Anas, A., Hiramatsu, T. (2013) The economics of cordon tolling: General economics and welfare analysis, *Economics of Transportation*, vol. 2. 18-37.
- Andersen, J. and O. Eidhammer (2014). *STRAIGHTSOL: Mer effektiv og miljøvennlig bylogistikk*. Artikkel i Samferdsel nr. 08/2014, Transportøkonomisk institutt.
- Anderstig, C., Mattsson, L.-G., (1991) An integrated model of residential and employment location in a metropolitan region *Papers in Regional Science*, **70**, 167-84.
- Anderstig, C., Mattsson, L.-G. (1998) Modelling land-use and transport interaction: evaluations and policy analysis. In: *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (L. Lundqvist, L.-G. Mattsson, T.J. Kim, eds.), 308-328. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Banister, D. (2005). *Unsustainable transport: city transport in the new century*, Taylor & Francis.
- Banister, D. (2012) Assessing the reality – Transport and land use planning to to achieve sustainability. *The Journal of transport and land use*, vol. 5 no. 3, 1-14.
- de la Barra, T. (1982) Modelling regional energy use: a land use, transport and energy evaluation model *Environment and Planning B: Planning and Design*, **9**, 429-443
- de la Barra, T. (1989) *Integrated Land Use and Transport Modelling* Cambridge University Press, Cambridge.



- de la Barra, T. (1998) Improved logit formulations for integrated land use, transport and environmental models. In: *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (L. Lundqvist, L.-G. Mattsson, T.J. Ki, eds.), 288-307 Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- de la Barra, T., Pérez, B. Vera, N. (1984) TRANUS-J: Putting large models into small computers *Environment and Planning B: Planning and Design*, **11**, 87-101.
- Batty, M, Vargas, C., Smith, D., Serras, J., Reades, J., Johansson, A. (2013) SIMULACRA: fast land-use—transportation models for the rapid assessment of urban futures, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 40, 987-1002.
- Berglund, L. (2014). *Review of Land-Use Models –Summary and Documentation*. Stockholm, Sweden: WSP Strategy and Analysis.
- Boarnet, M. G. and R. Crane (2001). *Travel by design: the influence of urban form on travel*, Oxford University Press.
- Boyce, D.E., Chon, K.S., Ferris, M.E., Lee, Y.J., Lin, K.T., Eash, R.W. (1985) *Implementation and Evaluation of Combined Models of Urban Travel and Location on a Sketch Planning Network* Working Paper. Department of Civil Engineering, University of Illinois and Chicago Area Transportation Study, Urbana-Champaign/Chicago, IL.
- Boyce, D.E., Chon, K.S., Lee, Y.J., Lin, K.T., LeBlanc, L. (1983) Implementation and computational issues for combined models of location, destination, mode, and route choice. *Environment and Planning A*, **15**, 1219-30.
- Boyce, D., Mattsson, L.-G. (1991) Modeling residential location choice in relation to housing location and road tolls on congested urban highway networks: *Transportation Research B* **33**, 581-591.
- Boyce, D.E., Tatineni, M., Zhang, Y. (1992) *Scenario Analyses of the Chicago Region with a Sketch Planning Model of Origin-Destination Mode and Route Choice* Report to Illinois Department of Transportation. Urban Transportation Center, University of Illinois, Chicago, IL.
- Brömmelstroet, M., Silva, C. og Bertolini, L (2014). Assessing Usability of Accessibility Instruments. COST-action TU 10 02.  
[http://www.cost.eu/COST\\_Actions/tud/Actions/TU1002](http://www.cost.eu/COST_Actions/tud/Actions/TU1002)
- Caindec, E.K., Prastacos, P. (1995) *A Description of POLIS. The Projective Optimization Land Use Information System* Working Paper 95-1. Association of Bay Area Governments, Oakland.
- Cairns, S., C. Hass-Klau, et al. (1998). *Traffic impact of highway capacity reductions: Assessment of the evidence*, Landor Publishing.
- Chatman, D. G. (2003). "How density and mixed uses at the workplace affect personal commercial travel and commute mode choice." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1831(1): 193-201.
- Chen, C., H. Gong, et al. (2008). "Role of the built environment on mode choice decisions: additional evidence on the impact of density." *Transportation* 35(3): 285-299.
- Coulombel, N., (2010) Residential choice and household behavior: State of the Art, *SustainCity Working Paper*, **2.2a**, ENS Cachan.

- Denstadli, J. M., L. Vågane, et al. (2014). Håndverkertransporter i by: Volum- og strukturestimater. TØI rapport 1336/2014 Transportøkonomisk institutt.
- Downs, A. (1962). "The law of peak-hour expressway congestion." *Traffic Quarterly* **16**(3).
- Echenique, M.H. (1985) The use of integrated land use transportation planning models: the cases of Sao Paulo, Brazil and Bilbao, Spain. In: *The Practice of Transportation Planning* (M. Florian, ed.) Elsevier, The Hague 15.
- Echenique, M.H., Crowther, D., Lindsay, W. (1969) A spatial model for urban stock and activity *Regional Studies*, **3**, 281-312.
- Echenique, M.H., Williams, I.N. (1980) Developing theoretically based urban models for practical planning studies *Sistemi Urbani*, **1**, 13-23.
- Flyvbjerg, B. (2005) How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Works Projects? The case of Transportation. *Journal of the American Planning Association*, vol. 71 (2), 147-158.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N. And Rothengatter, W. (2003) *Megaprojects and risk. An anatomy of ambition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Flügel, S., G. Flötteröd, et al. (2014). *Evaluation of methods for calculating traffic assignment and travel times in congested urban areas with strategic transport models*. TØI-rapport 1358/2014, Transportøkonomisk institutt.
- Flötteröd, G. and K. Nagel (2010) Behavioral dimensions in transport microsimulations, *SustainCity Working Paper*, **2.1b**, EPFL & TUB, Lausanne & Berlin.
- Geurs, K.T., B. van Wee (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, **12**, 127-140.
- Grønland, Stein Erik (2011). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk*. TØI-rapport 1127/2011.
- Haag, G. (1990) Master equations. In: *Urban Dynamics. Designing an Integrated Model* (C.S. Bertuglia, G. Leonardi, A.G. Wilson, eds.), 69-83. Routledge, London/New York.
- Hayashi, Y. (1996). Economic development and its influence on the environment: Urbanization, infrastructure and land use planning systems. Chapter 1 in *Transport, Land-use and the environment*.
- Hensher, D., Ton, T. (2001) TRESIS: A transportation, land use and environmental strategy impact simulator for urban areas. Paper presented at the 8th World Conference on Transport Research, Seoul.
- Hovi, Inger Beate, og Bjørn Gjerde Johansen (2013). *Varestrømsmatriser med basisår 2008*. TØI-rapport 1253/2013.
- Hull, A. Silva, C. og Bertolini, L (2012). Accessibility instruments for Planning Practice. COST-action TU 10 02. <http://www.cost.eu/media/publications/Accessibility-Instruments-for-Planning-Practice>
- Hunt, J.D. (1994) Calibrating the Naples land-use and transport model. *Environment and Planning B: Planning and Design* **21**, 569-90.
- Hunt, J.D., Kriger, D.S., Miller, E.J. (2005) Current operational urban land-use–transport modelling frameworks: A review, *Transport Reviews*, vol. 25(3), 329-376.

- Hunt, J.D., Abraham, J.E. (2003) Design and application of the PECAS land use modelling system. Paper presented at the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Sendai, Japan.
- Hunt J.D., Echenique, M.H. (1993) Experiences in the application of the MEPLAN framework for land use and transport interaction modeling. In: *Proceedings of the 4th National Conference on the Application of Transportation Planning Methods*, 723-754 Daytona Beach, FL.
- Hunt, J.D., Simmonds, D.C. (1993) Theory and application of an integrated land-use and transport modelling framework. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **20**, 221-44.
- Iacono, M., D. Levinson, et al. (2008). "Models of transportation and land use change: a guide to the territory." *Journal of Planning Literature* 22(4): 323-340.
- Jin, Y., Echenique, M., Hargreaves, A. (2013) A recursive spatial equilibrium model for planning large-scale urban change, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 40, 1027-1050.
- De Jongh, P. (1988) Uncertainty in EIA. In Wathern, P. (ed.) *Environmental Impact Assessment. Theory and Practice*. London: Routledge.
- Karou, S. og Hull, A. (2012). Accessibility Measures and Instruments. I Hull, A. Silva, C. og Bertolini, L (2012). Accessibility instruments for Planning Practice. COST-action TU 10 02. <http://www.cost.eu/media/publications/Accessibility-Instruments-for-Planning-Practice>
- Kenworthy, J. R. (1990) Don't shoot me I'm only the transport planner (apologies to Elton John), Newman, P., Kenworthy, J. and Lyons, T. (eds.) *Transport Energy Conservation Policies for Australian Cities: Strategies for Reducing Automobile Dependence*. ISTP, Murdoch University.
- Kim, T.J. (1989) *Integrated Urban Systems Modeling: Theory and Applications* Kluwer, Dordrecht.
- Landis, J.D. (1992) *BASS II: A New Generation of Metropolitan Simulation Models*. Working Paper 573 Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, CA.
- Landis, J.D. (1993) *CUF Model Simulation Results: Alternative Futures for the Greater Bay Area Region*. Working Paper 592 Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, CA.
- Landis, J.D. (1994) The California Urban Futures Model: a new generation of metropolitan simulation models *Environment and Planning B: Planning and Design*, **21**, 399-422.
- Landis, J.D., Zhang, M. (1998a) The second generation of the California urban futures model. Part 1: Model logic and theory *Environment and Planning B: Planning and Design*, **25**, 657-666.
- Landis, J.D., Zhang, M. (1998b) The second generation of the California urban futures model. Part 2: Specification and calibration results of the land-use change submodel *Environment and Planning B: Planning and Design*, **25**, 795-824.
- Litman, T. (2012). "Evaluating Accessibility for Transport Planning: Measuring People's Ability to Reach Desired Goods and Activities. Victoria Transport Policy Institute.—Canada." [Victoria](http://www.victoriapolicy.com/Victoria).

- Litman, T. (2013) *Generated Traffic and Induced Travel. Implications for Transport Planning*. Version dated 29 August 2013. Victoria Transport Policy Institute, Victoria.
- Lowry, I.S. (1964) *A Model of Metropolis*. RM-4035-RC. Rand Corporation, Santa Monica, CA.
- Mackett, R.L. (1983) *The Leeds Integrated Land-Use Transport Model (LILT)*. Supplementary Report SR 805 Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- Mackett, R.L. (1990c) The systematic application of the LILT model to Dortmund, Leeds and Tokyo *Transport Reviews*, **10**, 323-38.
- Mackett, R.L. (1991a) A model-based analysis of transport and land-use policies for Tokyo *Transport Reviews*, **11**, 1-18.
- Mackett, R.L. (1991b) LILT and MEPLAN: a comparative analysis of land-use and transport policies for Leeds *Transport Reviews*, **11**, 131-54.
- Madslie, Anne, Christian Steinsland og Stein Erik Grønland (2012). *Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen*. TØI-rapport 1247/2012.
- Martinez, F.J. (1991) Transport investments and land values interaction: the case of Santiago City. In: *Proceedings of the PTRC Summer Annual Meeting*, 45-58. PTRC, London 17.
- Martinez, F.J. (1992a) Towards the 5-stage land-use transport model. In: *Land Use, Development and Globalisation*, Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transport Research, 79-90 Lyon, St.-Just-la-Pendue: Presse de l'Imprimerie Chirat.
- Martinez, F.J. (1992b) The bid-choice land-use model: an integrated economic framework *Environment and Planning A*, **24**, 871-85.
- Martinez, F.J. (1996) Analysis of urban environmental policies assisted by behavioural modelling. In: *Transport, Land Use and the Environment* (Y. Hayashi, J. Roy, eds.), 233-257. Kluwer, Dordrecht.
- Martinez, F.J. (1997a) Towards a microeconomic framework for travel behavior and land use interactions. Paper presented at the 8th Meeting of the International Association of Travel Behavior Research, Austin, TX.
- Martinez, F.J. (1997b) *MUSSA: A Land Use Model for Santiago City* Department of Civil Engineering, University of Chile, Santiago.
- Martinez, F.J., Donoso, P.P. (1995) MUSSA model: the theoretical framework. In: *World Transport Research. Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research* (D.A. Hensher, J. King, eds.), Vol. 2. Pergamon, Oxford.
- Martinez, F. and C. Araya (2000). "Transport and land-use benefits under location externalities." *Environment and Planning A* 32(9): 1611-1624.
- McIntosh, J., Trubka, R., Kenworthy, J., Newman, P. (2014) The role of urban form and transit in city car dependence: Analysis of 26 global cities from 1960 to 2000. *Transportation Research Part D*, **33**, 95-110.
- Miller, E.J., Salvini, P.A. (2001) The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Microsimulation Modelling system: Description and current status. In: *The Leading Edge in Travel Behaviour Research* (D.A. Hensher, ed.), Selected Papers from the 9th International Association for Travel Behaviour Research Conference, Gold Coast, Queensland, Australia.

- Miller, E.J., Farooq, B., Chingcuanco, F., Wang, D. (2011) Historical validation of integrated transport-land use model system, *Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2255, pp. 91-99.
- Minken, H., A. May, et al. (2003). "Developing Sustainable Urban Land Use and Transport Strategies-A Decision Makers' Guidebook." Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds.
- Miyamoto, K., Kitazume, K. (1989) A land-use model based on random utility/rent-bidding analysis (RURBAN). In: *Transport Policy, Management and Technology - Towards 2001*, Selected Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research, Yokohama, Vol. IV, 107-21. Western Periodicals, Ventura, CA.
- Miyamoto, K., Nakamura, H., Shimizu, E. (1986) A land use model based on disaggregate behavioural analyses In: *Proceedings of the Fourth World Conference on Transport Research*, 1535-50.
- Miyamoto, K., Udomsri, R. (1996) An analysis system for integrated policy measures regarding land use, transport and the environment in a metropolis. In: *Transport, Land Use and the Environment* (Y. Hayashi, J. Roy, eds.), 259-280. Kluwer, Dordrecht
- Mohring, H. (1961). "Land values and the measurement of highway benefits." *The Journal of Political Economy*: 236-249.
- Morand, E., L. Toulemon, S. Pennec, R. Baggio, and F. Billari (2010) Demographic modelling: the state of the art, *SustainCity Working Paper*, **2.1a**, Ined, Paris.
- Nicolai, T.W., L. Wang, K. Nagel and P. Waddell (2011) Coupling an urban simulation model with a travel model – A first sensitivity test, *Working Paper*, **6.3**, TU Berlin.
- Noland, R. B. and L. L. Lem (2002). "A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **7**(1): 1-26.
- Nordbakke, S. and L. Vågane (2007). Daglige reiser med kollektivtransport i byområder. *TØI-rapport 877/2007*, Transportøkonomisk institutt.
- Næss, P. (1997). *Fysisk planlegging og energibruk*, Tano Aschehoug.
- Næss, P. (2006). *Urban structure matters: residential location, car dependence and travel behaviour*, Routledge.
- Næss, P. (2012). "Urban form and travel behavior: experience from a Nordic context." *Journal of Transport and Land Use* **5**(2): 21-45.
- Næss, P.; Sandberg, S. L. and Røe, P. G. (1996) Energy Use for Transportation in 22 Nordic Towns. *Scandinavian Housing & Planning Research*, 13, 79-97.
- ODOT - Oregon Department of Transportation (2002)  
<http://www.odot.state.or.us/tddtpau/modeling.html> .
- Owens, S. (1995). "From 'predict and provide' to 'predict and prevent?': pricing and planning in transport policy." *Transport Policy* **2**(1): 43-49.
- Parsons Brinckerhoff Ohio and Hunt Analytics (1999) *Ohio Statewide Travel Demand Model Final Report* PID 17803. Ohio Department of Transportation Office of Technical Services, Columbus, OH.
- Prastacos, P. (1986) An integrated land-use-transportation model for the San Francisco region. *Environment and Planning A*, **18**, 307-322 and 511-528.

- Putman, S.H. (1983) *Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use* Pion, London.
- Putman, S.H. (1991) *Integrated Urban Models 2. New Research and Applications of Optimization and Dynamics* Pion, London.
- Putman, S.H. (1998) Results from implementation of integrated transportation and land use models in metropolitan regions. In: *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (L. Lundqvist, L.-G. Mattsson, T.J. Kim, eds.), 268-287. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Renner, C.Z., T.W. Nicolai og K. Nagel (2014). *Agent-based land use transport interaction modeling: state of the art*. Tilgjengelig fra: [http://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2013/13-21/chapter1-1\\_2014-02-10.pdf](http://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2013/13-21/chapter1-1_2014-02-10.pdf)
- Rho, J.H., Kim, T.J. (1989) Solving a three-dimensional urban activity model of land use intensity and transport congestion *Journal of Regional Science*, **29**, 595-613.
- Salvini, P., Miller, E.J. (2005) ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems, *Networks and Spatial Economics*, vol. 5, 217-234.
- Simmonds, D. & Feldman, O. (2005) Land-Use modelling with DELTA: Update and experience, in *Proceedings of the Ninth International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM)*.
- Simmonds, D. & Feldman, O. (2011). Alternative approaches to spatial modelling. *Research in Transportation Economics*, 31(1), 2-11.
- Simmonds, D.C., Still, B.G. (1998) DELTA/START: Adding land use analysis to integrated transport models. Paper presented at the 8th World Conference on Transport Research, Antwerpen.
- Simmonds D (2001) The objectives and design of a new land-use modelling package: DELTA In: *Regional Science in Business* (G.P. Clarke, M. Madden, eds.), 159-188. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Sivakumar, A. (2007). *Modelling transport: a synthesis of transport modelling methodologies*. Imperial College of London.
- Spurkeland, E. and J. Andersen (2014). "Varetransport i byene." Artikkel i Samferdsel nr. 07/2014.
- Strand, A., P. Næss, et al. (2009). Gir bedre veier mindre klimagassutslipp? TØI-rapport 1027/2009. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Tennøy, A. (2009). "Why do we fail to reduce urban road traffic volumes: The challenge of double complexity." *Kart og Plan* 1-2009.
- Tennøy, A., A. Holden Hoff, et al. (2009). Kunnskapsgrunnlag for areal- og transportutvikling i Buskerudbyen 2025 og 2050, TØI-rapport 1020/2009 Transportøkonomisk institutt.
- Tennøy, A. (2012). "How and Why Planners Make Plans Which, if Implemented, Cause Growth in Traffic Volumes: Explanations Related to the Expert Knowledge, the Planners, and the Plan-Making Processes." Norwegian University of Life Sciences, Ås.

- Tennøy, A., J. Kværner and K.I. Gjerstad (2006) Uncertainty in environmental impact assessment predictions – the need for better communication and more transparency. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24 (1), 45 – 56.
- Veldhuisen, K., Timmermans, H.J.P. og Kapoen, L.L. (2000). RAMBLAS: a regional planning model based on the micro-simulation of daily activity travel patterns, *Environment and Planning A*, 32, pp. 427-443.
- Vold, A. (2005). Optimal land use and transport planning for the Greater Oslo area. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(6), 548-565.
- Vågane, L. (2006) Turer til fots og på sykkel. Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2005. TØI rapport 858/2006.
- Waddell, P. (1998a) An urban simulation model for integrated policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim. Paper presented at the 8th World Conference on Transport Research, Antwerpen.
- Waddell, P. (1998b) UrbanSim Overview: <http://urbansim.org>.
- Waddell, P. (2002) UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation and environmental planning *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 297-314.
- Waddell, P., Moore, T., Edwards, S. (1998) Exploiting parcel-level GIS for land use modeling. In: *Proceedings of the ASCE Conference on Transportation, Land Use and Air Quality: Making the Connection*. ASCE, Portland, OR.
- Waddell, P., L. Wang, et al. (2008). "UrbanSim: an evolving planning support system for evolving communities." *Planning support systems for cities and regions*: 103-138.
- Wagner, P., Wegener, M. (2007) Urban land use, transport and environment models: Experiences with an integrated microscopic approach, *disP - The Planning Review*, vol. 170:3, 45-56.
- Wegener, M. (1982a) A multilevel economic-demographic model for the Dortmund region *Sistemi Urbani*, 3, 371-401.
- Wegener, M. (1982b) Modeling urban decline: a multilevel economic-demographic model of the Dortmund region *International Regional Science Review*, 7, 21-41.
- Wegener, M. (1985) The Dortmund housing market model: A Monte Carlo simulation of a regional housing market. In: *Microeconomic Models of Housing Markets* (K. Stahl, ed.), *Lecture Notes in Economic and Mathematical Systems* 239, 144-191. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Wegener, M. (1986) Transport network equilibrium and regional deconcentration *Environment and Planning A*, 18, 437-56.
- Wegener, M. (1996) Reduction of CO2 emissions of transport by reorganisation of urban activities. In: *Transport, Land Use and the Environment* (Y. Hayashi, J. Roy, eds.), 103-124. Kluwer, Dordrecht.
- Wegener, M. (1998) *The IRPUD Model: Overview*. <http://irpud.raumplanung.unidortmund.de/irpud/pro/mod/mod.htm>.
- Wegener, M. (2004). Overview of Land-use Transport Models. In: *Transport Geography and spatial systems*. Handbook 5 of the *Handbook in Transport* (D.A. Hensher og K. Button, eds.): 127-146. Pergamon/Elsevier Science, Kidlington, UK.

- Wegener, M. (2014). Land-use Transport Interaction Models. Fra: *Handbook of Regional Science* (M.M. Fischer, P. Nijkamp, eds.). 741-758. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wegener, M., Gnad, F. and Vannahme, M. (1986) The time scale of urban change. In: *Advances in Urban Systems Modelling* (B. Hutchinson, M. Batty, eds.), 145-197. North Holland, Amsterdam.
- Wegener, M., Mackett, R.L., Simmonds, D.C. (1991) One city, three models: comparison of land-use/transport policy simulation models for Dortmund *Transport Reviews*, **11**, 107-29.
- Wegener, M. and F. Fürst (2004). "Land-use transport interaction: state of the art." Available at SSRN 1434678.
- Wethal, Asbjørn (2012). *Varestrømsundersøkelse – Dokumentasjon og metode*. SSB-notat 60/2012. Tilgjengelig på: [http://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/notat\\_201260/notat\\_201260.pdf](http://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/notat_201260/notat_201260.pdf).
- Williams, I.W. (1994) A model of London and the South East *Environment and Planning B: Planning and Design*, **21**, 535-53.
- Wilson, A.G. (1998). Land-use/Transportation Interaction Models, Past and Future. *Journal of Transport Economics and Policy* (1998): 3-26.





## Transportøkonomisk institutt (TØI)

### Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside [www.toi.no](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://www.ciens.no)). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

#### Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt  
Gautstadalléen 21  
NO-0349 Oslo

22 57 38 00  
[toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)  
[www.toi.no](http://www.toi.no)