

SINTEF A27631 - Åpen

Rapport

Mer presis modellering av gåing og grunnkretsinterne reiser i RTM

Forfattere

Olav Kåre Malmin

Petter Arnesen

Yngve Frøyen (NTNU)



Foto: Olav Kåre Malmin

SINTEF Teknologi og samfunn

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim
Sentralbord: 73593000
Telefaks:

ts@sintef.no
www.sintef.no
Foretaksregister: NO 948 007 029 MVA

EMNEORD:
Transportmodeller, Regionale
persontransportmodeller,
Gange, Tilgjengelighet

Rapport

Mer presis modellering av gåing og grunnkretsinterne reiser i RTM

VERSJON
1.0

DATO
15. april 2016

FORFATTERE
Olav Kåre Malmin
Petter Arnesen
Yngve Frøyen (NTNU)

OPPDRAAGSGIVER
KS

OPPDRAAGSGIVERS REFERANSE
Hilde Ravnaas

PROSJEKT
102011071

ANTALL SIDER OG VEDLEGG
42 +5

SAMMENDRAG

I dette prosjektet ble det utviklet metoder for bedre modellering av grunnkretsinterne avstander i RTM med spesielt fokus på gange. I dagens RTM er internavstanden den samme for bil, gange og sykkel, og dette gir bil en uforholdsmessig fordel i konkurranse med andre reisemiddel. For eksempel er gange som transportmiddel, i motsetning til bil, ikke avgrenset til et nettverk. Store offentlige parker kan for eksempel forseres av gående i en rett linje, noe som resulterer i en vesentlig kortere avstand enn om vegenettet rundt benyttes. Det var derfor behov for å utvikle nye metoder for beregning av grunnkretsinterne avstander til RTM. For modellering av gange er det et stort potensial i å benytte en rastermetodikk, og metoden er en interessant kandidat for videre utprøving mot RTM.

UTARBEIDET AV
Olav Kåre Malmin

SIGNATUR


KONTROLLERT AV
Unn Karin Thorenfeldt

SIGNATUR


GODKJENT AV
Roar Norvik

SIGNATUR


RAPPORTNUMMER
SINTEF A27631

ISBN
9788214060348

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	06.12.2015	Utkast til gjennomlesing av oppdragsgiver
1.0	15.04.2016	Endelig rapport
1.1	13.05.2016	Endelig rapport med KS-logo

Innhold

1	Bakgrunn	1
1.1	Om Regionale persontransportmodeller (RTM)	1
1.2	Gange i RVU	5
1.3	Problemstillinger rundt modellering av gange	5
2	Grunnkretsinterne gangturer i RTM	10
2.1	Forbedringer av etterspørselsmodellen	12
2.2	Forbedringer av nettverksbeskrivelsen i RTM	14
2.3	Forbedringer i beregning av internavstand	14
2.4	Endret sonestruktur	15
3	Alternative metoder for beregning av internavstand	15
3.1	Metode for beregning av internavstand langs nettverk	16
3.2	Metode for beregning av internavstand i luftlinje	17
3.3	Avstand langs nettverk sammenlignet med avstand i luftlinje	17
3.4	Rasterbasert tilgjengelighetsmetode for gående	20
3.5	Eksempel på etablering av avstandsrunder	22
4	Oppsummering og videre arbeid	32
4.1	Forslag til videre arbeid	34
	Referanser	35

VEDLEGG

Anbefalt litteratur

Forord

Prosjektet ”Mer presis modellering av gåing og grunnkretsinterne reiser i RTM” har vært utført høsten 2015 av SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Transportforskning. Prosjektleder var Olav Kåre Malmin og Petter Arnesen og An-Magritt Kummeneje har bidratt. Prosjektet har blitt gjennomført i samarbeid med NTNU Institutt for byforming og planlegging ved Professor Yngve Frøyen. Oppdragsgiver for prosjektet var KS (Kommunesektorens interesse- og arbeidsgiverorganisasjon) med kontaktpersoner Kjetil Bjørklund og Hilde Ravnaas.

Prosjektet er et KS-FoU-prosjekt, og ble gjennomført som en del av samarbeidet mellom KS, KMD og Vegdirektoratet i KIT-prosjektet (Karakteristika I Transportmodeller). Hensikten med samarbeidet er å videreutvikle de regionale transportmodeller (RTM) med vekt på delområdemodeller for storbyområdene. De ulike prosjektene i forskningssamarbeidet er:

- FoU 1a: Arealbruk i RTM
- FoU 1.1: Prognoser for arealbruk på grunnkretsnivå
- FoU 1b: Sykkel i RTM
- FoU 1c: Kollektivtrafikk i RTM
- FoU 2: Gåing og grunnkretsinterne reiser i RTM (Denne rapporten)

Sammendrag

I dette prosjektet ble det utviklet metoder for bedre modellering av grunnkretsinterne avstander i RTM med spesielt fokus på gange. I dagens RTM er internavstanden den samme for bil, gange og sykkel, og dette gir bil en uforholdsmessig fordel i konkurranse med andre reisemiddel. For eksempel er gange som transportmiddel, i motsetning til bil, ikke avgrenset til et nettverk. Store offentlige parker kan for eksempel forseres av gående i en rett linje, noe som resulterer i en vesentlig kortere avstand enn om vegnettet rundt benyttes. Det var derfor behov for å utvikle nye metoder for beregning av grunnkretsinterne avstander til RTM.

I denne rapporten ble det fokusert på gangavstander fra boligadressepunkt til adressepunkter med næringsklassifisering (NACE) som omfatter dagligvarehandel, grunnskoler, post og barnehager. Tre metoder for beregning av gangavstander ble utviklet og testet:

- Avstand beregnet fra nettverk.
- Avstand beregnet i luftlinje.
- Avstand beregnet fra tilgjengelighetsanalyse i raster-GIS.

Mens de to første av disse metodene ble benyttet til å sammenligne maksimal gangavstand (langs nettverket) med minimal gangavstand (langs luftlinjen) mellom to adressepunkt, gav den siste av disse metodene et direkte estimat på den samme avstanden.

I rastermetodikken splittes interesseområdet opp i et finmasket rutenett hvor hver enhet i rutenettet tilegnes en gangbarhet. Ved å benytte rutenettets gangbarheter ble korteste rute mellom to punkt beregnet på en slik måte at det var arealbruken og ikke vegnettet som satt begrensninger for hvor gående kan bevege seg.

Som et eksempel ble grunnkretsene i Trondheim studert. For alle de tre metodene over ble gjennomsnittlig avstand fra alle boligadressepunkt i en grunnkrets til nærmeste adresse med en av de valgte næringsklassifikasjonene beregnet. I tillegg ble også grunnkretsenes oppfyltingsgrad til 10-minuttersbyen undersøkt, samt at gjennomsnittlig avstand til bussholdeplass i hver grunnkrets ble beregnet.

Arbeidet viste en signifikant forskjell i avstander beregnet med de tre metodene, og fremhevet med dette behovet for en bedre behandling av grunnkretsinterne reiser i RTM. For modellering av gange er det et stort potensial i den utarbeidede rastermetodikken og metoden er en interessant kandidat for videre utprøving mot RTM.

Summary

In this project we developed methods in order to better model trips within transport zones in RTM, and in particular we focus on walking. In the current version of RTM the traveling distance within transport zones are equal for driving by car, walking and bicycling. However, this gives driving by car an unfair advantage compared to other modes of transportation. In opposite to car driving, walking is for instance not a mode of transportation restricted to a transport network. Large public parks can for instance be crossed by walking in a straight line, as oppose to using the network around the park, that would result in a longer traveling distance. Therefore it was necessary to develop new methods for calculating traveling distances within transport zones in RTM.

In this report we focused on the walking distance from addresses with private housing to addresses with a statistical classification of economic activities (NACE) related to shopping, schools, post offices and kindergartens. Three methods to calculate the distance by walking was developed and tested:

- Distance calculated using a network.
- Distance calculated using a straight line.
- Distance calculated from an accessibility analysis in raster-GIS.

While the first two of these methods were used to compare the maximal walking distance (using the network) to the minimal walking distance (using a straight line) between points of interest, the third method gave a more unbiased estimate of the same distance.

In the raster methodology the area of interest is split into a lattice with high resolution, and each unite within this lattice is assigned with value of walkability. By using the walkability of the lattice, the shortest route between two points is calculated. This way the non-walkable barriers within the area of interest becomes the limitation for walking, as oppose to restricting walkability to a network.

As an example the transport zones within the area of Trondheim was studied. For all three methods above the average walking distance within each transport zone between private houses and addresses with the chosen NACE-codes were calculated. In addition we studied each zones fulfilment to the "10-minutes city"-requirement, and calculated the average distance to a bus stop for each transport zone.

This work shows a significant difference between the developed methods for calculating distance, and highlights the need for better modelling of trips within transport zones in RTM. Modelling walking by the developed raster methodology shows great potential and further testing of this method in RTM seems like an appealing next step.

1 Bakgrunn

De ulike transportmodellene som har vært benyttet til transportanalyser og konsekvensutredninger i Norge har i stor grad vært utviklet og rettet mot beregning biltrafikk og til dels kollektivtrafikk. Gange, sykkel og bilpassasjer har vært med i modellene for å kunne beregne en total reisemiddelfordeling som er sammenlignbar med reisevaneundersøkelsene (RVU). Kalibrering av modellene for et modellområde har fokusert på at reisemiddelfordelingen er riktig i forhold RVU, mens trafikk på lenker har vært kalibrert for å stemme best mulig for trafikktegninger for bil. Det har inntil nylig ikke vært tilgjengelige kollektivtegninger som har vært egnet for kalibrering av kollektivtrafikken, og trafikkstrømmer for gange og sykkel finnes det lite informasjon om bortsett fra et lite utvalg sykkeltegninger.

I tillegg foregår de aller fleste gangturene og i litt mindre grad sykkelturene internt i grunnkretsene, slik at dette er turer som ikke blir lagt ut på et nettverk.

1.1 Om Regionale persontransportmodeller (RTM)

Modellsystemet Regionale persontransportmodeller (RTM) har vært utviklet siden 2002. Modellsystemet består av en etterspørselsmodell *Tramod_By* (Madslie et al., 2005; Rekdal et al., 2012) og ulike overbygginger i ulike transportmodellprogramvare for brukergrensesnitt, nettverksanalyse, matriseberegning og nettutlegging. Det modellsystemet som er mest i bruk er RTM i programvaren Cube¹ (Tørset et al., 2008; Malmin, 2009a; Tørset, 2013; Malmin, 2013). For Oslo og Akershus finnes det et eget modellsystem basert på programpakken *Emme*² med navn *RTM23+* og denne modeller er beskrevet i Rekdal (2007).

Beregningsgangen foregår overordnet i følgende rekkefølge:

1. Innlesing av nettverk, kollektivrutebeskrivelser, sonedata og andre nødvendige inndata
2. Beregning av kostnader mellom grunnkretser (LoS-data)
3. Etterspørselsmodellen beregner turer mellom alle grunnkretser for ulike transportmiddel og reisehensikter.
4. Nettutlegging av trafikk på nettverk

Nettverksanalyser i transportmodellen produserer kostnadsmatriser, også kalt LoS-data (Level of service data), mellom alle grunnkretser. Det er ulike kostnadskomponenter for ulike reisemiddel:

Bil Avstand, tidsbruk, bompenger og fergekostnader.

Kollektiv Gangtid til holdeplass, ventetid, byttetid, antall bytter, tid om bord og takster.

Gange og sykkel Avstand.

Kostnadene mellom to grunnkretser beregnes ved at det utføres et rutevalg for å finne beste rute mellom to grunnkretser. Beste rute er den ruten som gir minst generalisert kostnad. Generalisert kostnad beregnes ved å omregne avstand og tidsbruk til et antall kroner ved å multiplisere avstand og tidsbruk med en kilometerkostnad og tidskostnad. Langs den beste ruten blir så hver enkelt kostnadskomponent akkumulert og til slutt skrevet til en fra-til-matrise. Diagonalen i kostnadsmatrisene inneholder de ulike kostnadskomponentene forbundet med interne reiser i en grunnkrets.

De ulike kostnadene leses av etterspørselsmodellen, og dette benyttes sammen med data for de ulike grunnkretsene til å produsere etterspurte turer for ulike reisemiddel og reisehensikter. Data som beskriver grunnkretsene inneholder blant annet befolkning inndelt i kjønn og aldersgrupper, arbeidsplasser i ulike kategorier og parkeringskostnader.

Turmatriser produseres for følgende reisemiddel:

¹www.citilabs.com

²www.inrosoftware.com

- Bilfører
- Bilpassasjer
- Kollektiv
- Gange
- Sykkel

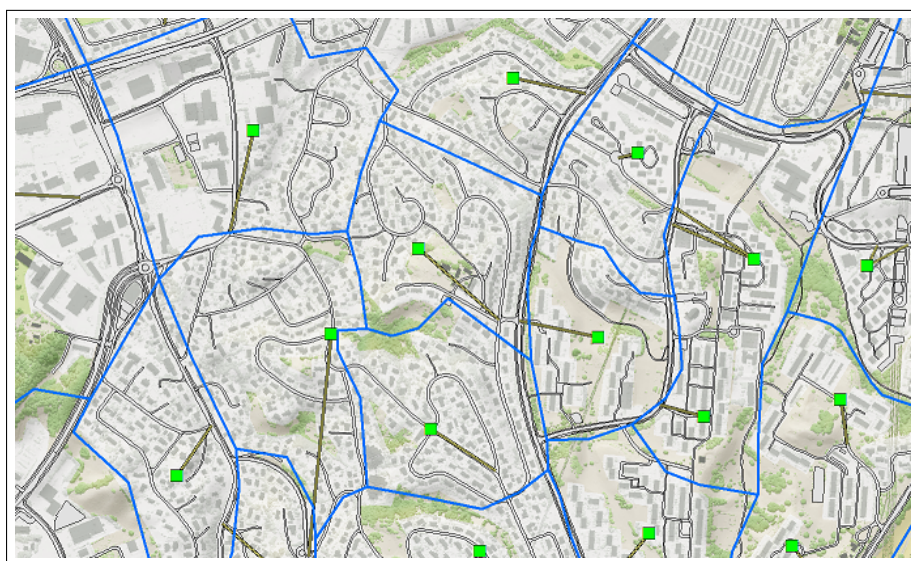
Reisehensiktene i modellen er:

- Til/fra arbeid
- I tjeneste
- Private reisemål, som innkjøp og andre nødvendige reiser
- Hente og bringe
- Andre private reiser, fritidsreiser

1.1.1 Soner, internavstand og sonetilknytninger

Den minste geografiske enheten i transportmodellene vi bruker i Norge er SSB sin grunnkretsinnndeling (Statistisk sentralbyrå, 1999, s. 67). I transportmodellterminologi kalles dette soner, og vi kan si at soneinndelingen i en modell er lik grunnkretsinnndelingen. Grunnkretser har en inndeling som ideelt skal gi mest mulig uniform bebyggelse og mest mulig likt antall beboere i hver grunnkrets. Inndelingen av grunnkretser er ikke gjort med tanke på at denne geografiske inndelingen skal benyttes til modellering av transport.

Figur 1 viser ulike grunnkretser på Nidarvoll og Risvollan i Trondheim. Grensene for grunnkretsene er markert med blå strek. I hver grunnkrets er det plassert en sone til transportmodellen vist med grønne firkanter. Fra hver sone finnes det en eller flere lenker som knytter sonen til resten av vegnettet (sonetilknytning). Sonetilknytningen kobles til nettverket der de som bor i grunnkretsen må kjøre for å komme inn i grunnkretsen. Sonetilknytningene har en fysisk avstand som representerer gjennomsnittsavstanden alle som bor i grunnkretsen må forflytte seg fra der sonetilknytningen er koblet til nettverket og til boligen. Siden sonetilknytningene representerer alle reisende inn og ut av en grunnkrets er plasseringen svært viktig. Dette arbeidet utføres ved bruk av skjønn og lokalkjennskap, og kan være svært tidkrevende.



Figur 1: Grunnkretser, soner og sonetilknytninger

Når det skal beregnes avstander mellom to grunnkretser, enten dette er nabogrunnkretser eller grunnkretser med en viss avstand vil alle måtte følge sonetilknytningene ut på nettverket fra sonen, og inn igjen til ny sone fra nettverket. Dette gjør at avstander mellom spesielt nabogrunnkretser kan bli beregnet for lang.

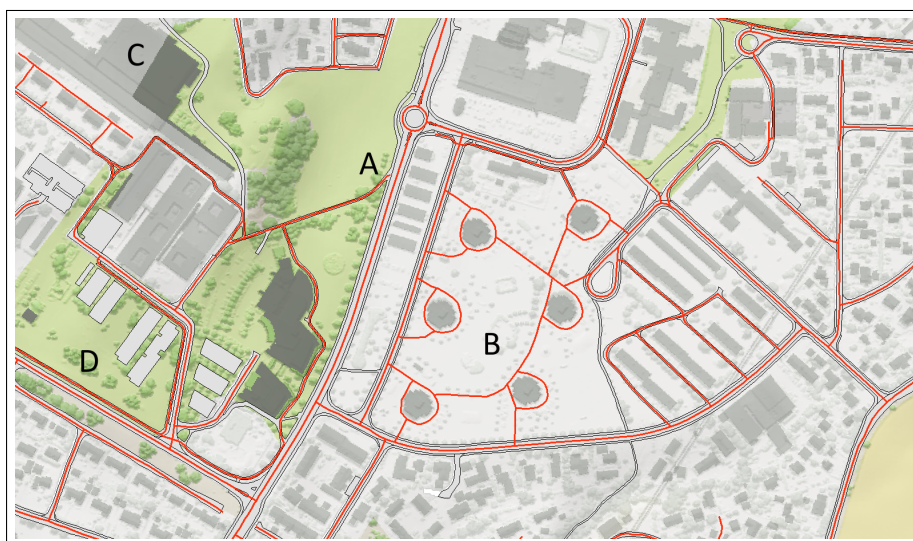
Internavstanden i en grunnkrets er den avstanden som gjennomsnittlig må tilbakelegges når turen ikke forlater grunnkretsen. Internavstanden kan ikke uttrykkes direkte i nettverket, men er en egenskap knyttet til hver enkelt sone i transportmodellen. I RTM (fra versjon 3.9) leses internavstanden inn fra en tabell over alle grunnkretser i modellområdet. Denne tabellen inneholder internavstand for alle reisemiddel. Det kan settes ulike verdier for hvert reisemiddel slik at bil kan ha en annen internavstand enn gange og sykkel. I det offisielle inndatasettet til RTM er internavstanden for alle reisemiddel lik. Det kan ikke settes ulike internavstand for ulike reiseformål. Dette betyr i praksis at det i modellen er like langt å gå til en butikk som til skole internt i grunnkretsen.

1.1.2 Gange i nettverksmodellen

Mulighetene til å gå internt i en grunnkrets i RTM-modellen analyseres ikke spesielt. Det ble utført et arbeid i forbindelse med den første etableringen av RTM i 2003 hvor internavstand for alle grunnkretser ble beregnet i en enkel GIS-analyse basert på avstand mellom alle adressepunkt. Denne analysen tok ikke hensyn til verken gangbarhet eller nettverk. De internavstandene som ble beregnet brukes fortsatt i RTM. Internavstanden er den samme for både bil, gange og sykkel.

Avstander mellom grunnkretser beregnes i RTM ved å benytte et nettverk bestående av alle veger fra Nasjonal vegdatabank(NVDB)³ og inneholder private veger, kommunal veger, fylkesveger, riksveger og europaveger. I tillegg inneholder nettverket separate gang- og sykkelveger. Fortau er ikke med som separate lenker. Nettverket fra NVDB inneholder ikke restriksjoner for gange og sykkel, men dette kan kodes manuelt.

Det har vist seg å være en utfordring å benytte NVDB-nettverk til en ganganalyse fordi nettverket spesielt for gange og sykkel ikke henger godt sammen. En nettverksanalyse krever at all bevegelse skal skje langs det definerte nettverket, og dette krever at nettverket henger sammen. I løpet av de siste 20 årene har bilvegnettet blitt kvalitetssikret og justert slik at dette er tilfelle for bilveger, men det har ikke vært den samme tradisjonen for å kvalitetssikre nettverk for gående og syklende, og derfor består nettverk fra NVDB for gange av mange hull og mangler. Figur 2 viser dette spesielt godt. Kartet viser en større park og et borettslagområde med store asfaltflater. Kartet over vegen viser hvor det er fortau og hvor det er gang- og sykkelveg. Det røde nettverket på kartet viser transportnettverket fra NVDB som benyttes i transportmodellen.



Figur 2: Nettverk for bil, gange og sykkel på Valentinlyst i Trondheim. Rød strek er nettverket i modellen

³<http://www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Nasjonal+vegdatabank>

Hvis nettverket skal benyttes for å beskrive en gangtur fra punkt **A** i figuren til punkt **B**, **C** eller **D** vil det i alle disse tre tilfelle bli beregnet for lange avstander. Mellom **A** og **B** vil rutevalget gå nordover til rundkjøringen og ta til høyre og videre til høyre sørover og inn på det lokale gatenettet i borettslagområdet. Det mest naturlige for dette området er krysse de store parkeringsplassene diagonalt. En gangtur mellom bygningene rundt **B** vil også være spesielt lang fordi det ikke er mulig å krysse arealet merket **B** i nettverksmodellen. Rutevalget mellom **A** og **C** blir også galt fordi gangvegen nordvestover ikke er representert i nettverket. Her vil rutevalget gå helt ut av kartet på figuren og rundt hele parkområdet. Det siste problemet i dette eksempelet er rutevalget mellom **A** og **D**. Figur 3 viser området rundt punkt **A** med større målestokk. Fortau ikke er representert i NVDB, og veglenken i nettverket som representerer hele vegen blir plassert på senterlinja av vegen. Gang- og sykkelvegen fra sørvest går ikke lenger enn til fortauet, og det oppstår et hull i nettverket her. For å regne avstand mellom **A** og **D** vil ikke denne gangvegen kunne benyttes og korteste avstand mellom disse to punktene blir beregnet langs bilvegen.



Figur 3: Gang og sykkelveg koblet til fortau i NVDB. Rød strek er nettverket i modellen

Siden det spesielle nettverket for gående og syklende inneholder hull og mangler medfører bruk av dette nettverket fra NVDB stor usikkerhet i avstandsregningen for gående og syklende, både internt i en grunnkrets og mellom grunnkretser. Det er også tilfeldig hvor disse hullene befinner seg. Noen områder kan få veldig riktig avstandsregning for gående og syklende mens noen områder ender opp med å gi avstander tilsvarende avstandene forbundet med bilbruk.

1.1.3 Gange i etterspørselsmodellen

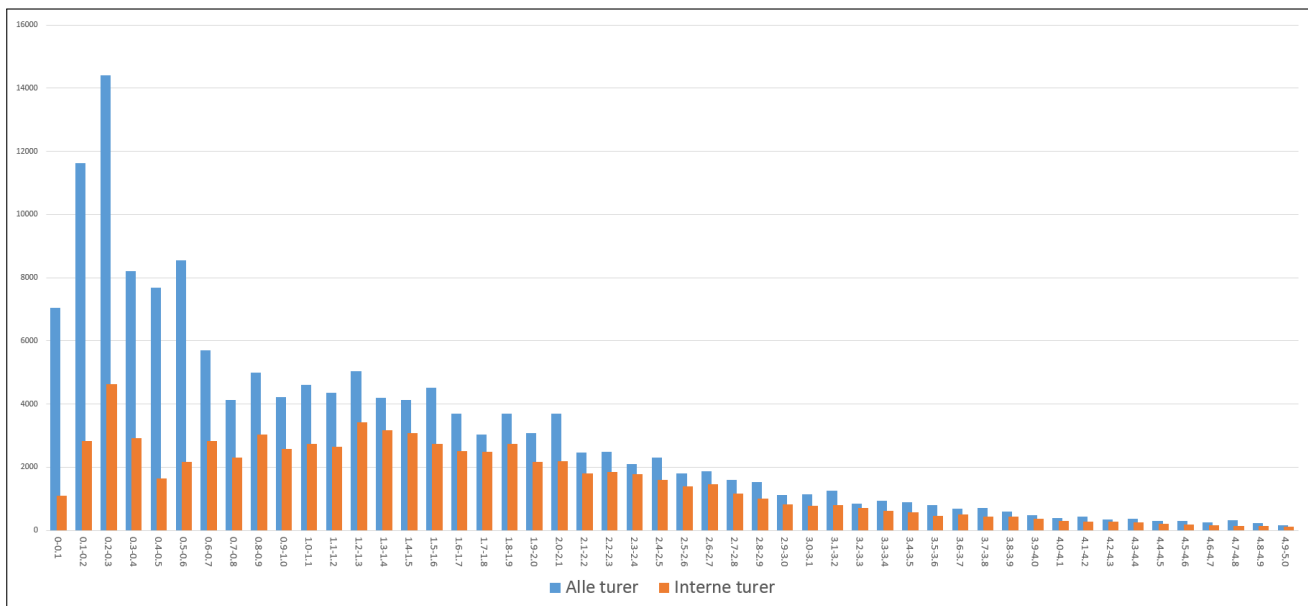
Etterspørselsmodellen *Tramod_By* beregner gangturer som et mulig valgbart transportmiddel for hver reisehen-sikt. Valgmodellen utfører et samtidig valg av reisemiddel og destinasjon, slik at den avgjør valget mellom å kjøre til kjøpesenteret eller gå til nærbutikken. Hva som styrer de ulike valgene avhenger av både reisehensikter, egenskaper med grunnkretsene og ikke minst de ulike kostnadene forbundet med hvert reisemiddel. For gange (og sykkel) er den eneste beskrivende kostnaden for en reise avstanden mellom eller internt i soner. Den viktigste årsaken til at kun distanse beskriver gange er at distanse er oppgitt med rimelig god nøyaktighet for reisene i reisevaneundersøkelsen etterspørselsmodellen er estimert fra.

Det er samme avstandsvariabel som beskriver både gange og sykkel. Dette gjør at rene sykkeltiltak som sykkelspressveg som vil redusere reisetiden er vanskelig å modellere virkninger av siden dette vil påvirke beregningen av turer for både gange og sykkel.

1.1.4 Ganglengder i RTM

Fordi gangturer som regel har begrenset distanse er gangturer i RTM i stor grad interne turer i en grunnkrets. Figur 4 viser reiselengdefordelingen for gangturer i Trondheim i delområdemodellen for Trondheimsregionen

(DOM Nidaros). Grafen viser antall gangturer fordelt på avstandsintervall på 100 meter, inndelt i alle gangturer og grunnkretsinterne turer. 51% av gangturene i Trondheim i RTM er grunnkretsinterne.



Figur 4: Reiselengdefordeling for gangturer beregnet i Trondheimsmodellen

For de korte reiselengdene under en kilometer må vi anta at en større andel av gangturene går ut av grunnkretsen, mens de lengre reisene i stor grad er påvirket av internavstanden i grunnkretsen. Når internavstanden i en grunnkrets er stor vil også de interne turene i denne grunnkretsen får stor reiselengde. I tillegg er det slik at store grunnkretser også har stor avstand til nabogrunnkretsen. Derfor blir det stort sett bare produsert grunnkretsinterne gangturer i store grunnkretser.

1.2 Gange i RVU

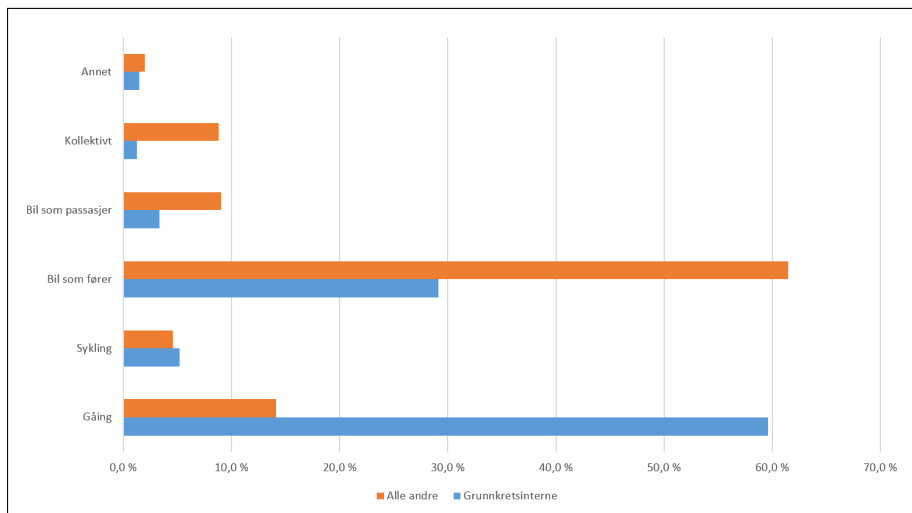
Figur 5 viser andel grunnkretsinterne reiser fordelt på ulike reisemiddel fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen (NRVU) 2013/14 (Hjorthol et al., 2014). Figuren viser at nesten 60% av gangturene er grunnkretsinterne. Noe som er påfallende er at 29% av bilturene også er grunnkretsinterne. En av årsakene til den høye andelen grunnkretsinterne bilturer kan være at det utenfor by er ganske store grunnkretser i areal.

Figur 6 viser reisemiddelvalget for handle- og servicereiser fra NRVU2013/14. Figuren viser hvordan andelen gangturer avtar kraftig når reiselengden nærmer seg 2 kilometer.

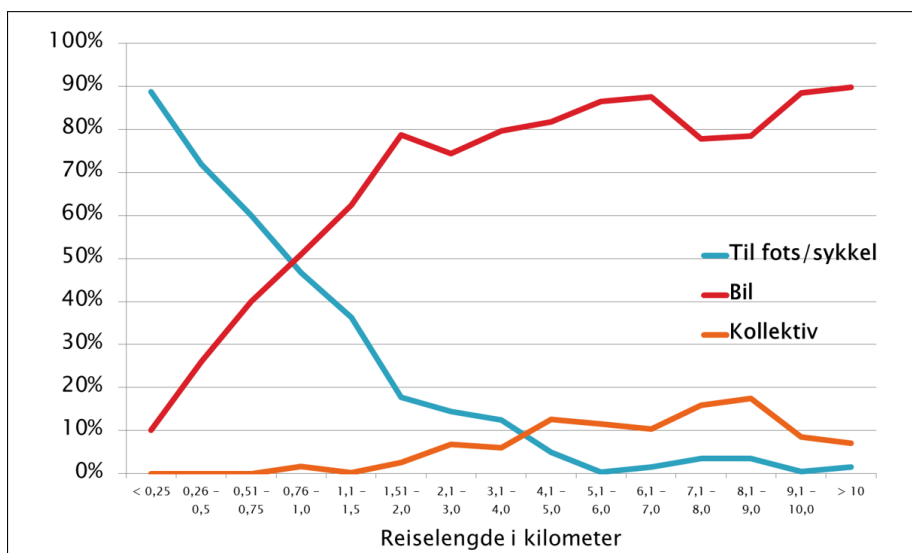
1.3 Problemstillinger rundt modellering av gange

1.3.1 Modellverktøy i en tid der ikke-motoriserte transport får økt oppmerksomhet

Det er et voksende behov for å kunne modellere ikke-motoriserte transport, bl.a. fordi politiske målsettinger om endrede reisemønstre og transportmiddelfordeling i byer krever at planlagte tiltak kan vurderes med tanke på hvordan de slår ut for gåing og sykling. Med byenes gradvise dreining av planlagt utviklingsretning, fra det bilbaserte og utoverrettede, til tettere strukturer og høyere arealintensitet, med større vekt på knutepunkt og lokalsenterutvikling med funksjonsblanding, følger også behov for verktøy med større treffsikkerhet enn dagens når det gjelder å kunne forutsi omfang og reisemiddelfordeling på korte reiser. Det vi vet om vilkårene for reisemiddelvalg, slik som reisevaneundersøkelser og andre kvantitative datainnsamlinger gir oss anledning til å studere, er at mønstrene som kommer til syne for de relativt korte forflytningene er dramatisk forskjellig



Figur 5: Andel grunnkretsinterne reiser fordelt på reisemiddel



Figur 6: Reisemiddelvalg for handle- og servicereiser

fra det som gjelder de litt lengre reisene. Det synes som turlengder rundt 1 kilometer representerer et slags vippepunkt på kurva for reisemiddelfordeling; ved turer som er kortere enn dette er gåing den alt overskyggende preferansen, mens like over 1-kilometersmerket vipper det hele over til å bli en valgsituasjon der bilen har førsteprioritet hos flertallet. I noen områder melder også sykkel seg inn i konkurransen, og særlig i større byer spiller kollektivtransport en rolle. Det er lite oppsiktsvekkende i disse observasjonene, slik har hovedtrekkene vært så lenge vi har kunnet dokumentere fordelingsmønstrene ved hjelp av reisevanestudier eller andre tellinger. Men dette 1-kilometers vippepunktet gir utfordringer for den som skal lage modeller som håndterer de korte reisene, dersom sonestørrelsene og tilknytningsslenkene er i det samme størrelsesområdet. Det er tilfellet med dagens regionale transportmodell (RTM).

1.3.2 Noen betraktninger om å modellere gåing

En fotgjengerstrøm har mange frihetsgrader, flere enn en samling av biler på et vegnett (som har restriksjoner når det gjelder plassering, retning, hastighet), og enda flere igjen enn aktørene i et kollektivsystem (som i tillegg må følge en stramt fastlagt ruteplan og bare kan utveksle reisende med omgivelsene på bestemte punkter –

holdeplassene eller terminalene).



Figur 7: Fotgjengerstrøm på mikronivået - stokastisk kaos?

Ta som et eksempel fotgjengerstrømmen på figur 7. Den kan bestå av tusenvis av menneskers individuelle valg av retning, plassering og hastighet, dels bestemt av ytre og overordna hovedmål (hvor starter denne turen? hvor skal den ende? hva er formålet med den?), dels av ytre faktorer som kan variere fra dag til dag, fra time til time: hvordan er lyset, nedbøren, temperaturen, føret? Og dels av detaljerte, gjensidige påvirkninger helt nede på lokalt mikronivå: er her trangt eller rommelig? hva oppfattes i øyeblikket som den mest interessante eller den tryggeste stien å velge? hvilke andre mennesker og kjøretøy krysser (eller kommer til å krysse) din rute? ser du noen du vil treffe – eller noen du helst ikke vil treffe og så videre?

Ingenting av dette lar seg beskrive og modellere deterministisk: systemets tilstand i det ene øyeblikket lar seg ikke eksakt videreføre til situasjonen i det neste, uansett hvor mange variable du klarer å definere og samle inn om de som beveger seg i strømmen og omgivelsene de beveger seg i. Men sannsynlighetene knyttet til tilstanden og tilstandsdynamikken kan la seg observere, noen faktorer lar seg beskrive og noen sammenhenger kan la seg modellmessig estimere. Som for eksempel sannsynligheten for at det befinner seg mennesker på et gitt sted på et bestemt tidspunkt, eller for at volumet av fotgjengerstrømmen over et definert snitt er større enn en gitt verdi.

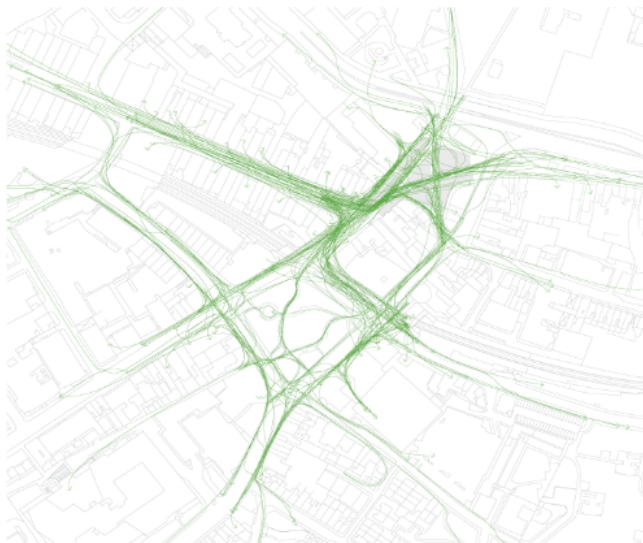
I regionale transportmodeller blir gange behandlet på ulike måter, men den vanligste er å beskrive slike forflytninger på samme måte og med samme metodikk som motorisert ferdsel, i et nettverk av lenke-node-typen, og der forflytningene skjer mellom soner med fast avgrensing. Flere har påpekt svakhetene med slike tilnærminger, som dels skyldes at node-lenke-nettverk vanskelig kan framstilles til et detaljeringsnivå og med en fullstendighet som gjenspeiler frihetsgradene som fotgjengerbevegelser har, som vist i figur 8. Dels skyldes det at ikke-motorisert ferdsel, og særlig gange, har egenskaper som gjør at modellering ved hjelp av soner som i utstrekning og med interne avstander like store og større enn de distansene som vanligvis tilbakelegges til fots, etterlater problemer med både å kalibrere og å bruke slike modeller.

Problemet er påpekt av flere som har forsøkt å bruke bilorienterte regionale transportmodeller, for eksempel Schneider (2015) som bl.a foreslår å endre sonestruktur og sonestørrelse for å få til en bedre representasjon av korte reiser i den regionale transportmodellen som brukes i Portland, Oregon.

1.3.3 Om soner og sonestørrelser i transportmodeller

Soneinndelinger slik de benyttes i transportmodeller (som RTM) er alltid aggregater som innebærer større eller mindre forenklinger. Valget av sonestruktur er en konvensjon som gjerne er basert på det som kan kalles «modelløkonomi». I dette begrepet modelløkonomi inngår faktorer som

- Hvilke data finnes, hvor lett tilgjengelige er de og til hvilket aggregeringsnivå, som beskriver transport-system, aktivitet og befolkning i området som modellen skal dekke.



Figur 8: Detaljer i bevegelsesmønstre.

- Hvilken kunnskap, på hvilke geografiske nivå, finnes om reismønstre – og hvordan kan dette benyttes for å kalibrere modellens parametere.
- Hvor «tung» (kjørbar) er selve modelloppbyggingen gitt datatilfangets detaljnivå. Regneinnsatsen i en transportmodell øker som regel proporsjonalt med antall mulige fra-til-forbindelser, som tilnærmet kan uttrykkes som kvadratet på antall soner.

I tillegg til disse modelløkonomiske avveiningene vil man vanligvis også vurdere sonenes form, soneintern befolknings- og aktivitetsfordeling, og sonenes tilknytning til transportsystemet, med formål å gi en presis transportgeografisk representasjon. For eksempel: den konsentrerte, sirkelformede sonen, som har få punkter å entre transportnettverket fra, er langt å foretrekke framfor en langstrakt, tynt befolket sone med lange internavstander og mange entrepunkter til veg- eller kollektivsystemet.

Betraktningene om soneinndelinger, størrelse og form er *ikke uavhengig* av hvilke transportmidler vi ønsker å håndtere i modeller. Tradisjonelt har både norsk og internasjonal modellutvikling lagt hovedvekt på biltransport og kollektivtransport. Hva vi empirisk vet om slike reiser er at relativt få av dem er korte, langt de fleste går over avstander på 2-3 kilometer og mer (3 av 4 er lenger enn 2 km i Trondheimsregionen). Når vi benytter soneinndeling lik grunnkretser ivaretas dermed mange av vurderingspunktene over, i hvert fall i tett bebygde byområder der grunnkretsene har liten utstrekning. Bilturer flest tilbakelegger mange grunnkretser mellom start- og endepunkt, så geografisk presisjon er dermed mindre kritisk for nøyaktigheten i avstands- og tidsuttrykk som hovedbestanddel i modellenes beskrivelse av transporttilbudet.

De ikke-motoriserte transportene er derimot mye kortere (3 av 4 er under 2 km i Trondheimsregionen). Når RTM brukes som modellverktøy, og det forutsettes at grunnkrets er transportsone, medfører det at en høy andel særlig av gangturene skjer soneinternt, eller de krysser bare et fåtall sonegrenser (1 av 3 gangturer skjer soneinternt i Trondheimsregionen). Spørsmålet om hvor stor del av transportene som faktisk skjer til fots, og hvordan disse kan modelleres, blir dermed også i høy grad avgjort av rent soneinterne faktorer. Det fanges i mindre grad opp av variable som beskriver transporttilbudet mellom soner – altså nettverket.

I dette prosjektet er vi på jakt etter de faktorene som er best egnet til å gi styrkede estimater på gangtrafikken i eller til/fra soner, og kanskje særlig variable som uttrykker egenskaper som er mulig å påvirke gjennom fysisk planlegging, altså arealbruk, lokaliseringsvalg, og fysisk organisering av bebyggelse, aktiviteter og transportnettverk. Det er i seg selv en utfordring at sonestørrelsen (for eksempel målt som gjennomsnittlig største lengde), eller soneskiftets lengde (tilknytningslenken mellom sonen og resten av nettverket) er i samme størrelsesorden som lengden på de reisene som vi prøver å modellere. Det betyr at modellens hovedvariable dannes og brukes

uten at det nødvendigvis ligger fysisk målbare størrelser i nettverket til grunn. Det er videre en modellteknisk utfordring, ikke minst ved parameterestimeringen, at hver grunnkrets representeres bare med en enkelt aggregert variabel, mens det samtidig er grunn til å tro at soneintern spredning er høy. Dette er vist i eksempel i tabell x.

Endelig er det en utfordring at de internavstandene som benyttes i RTM er de samme uansett reisemål. Særlig i de tilfellene det ligger mulige reisemål inne i sonen, eller i nabosonen, er det liten grunn til å feste lit til en felles standardverdi.

1.3.4 Faktorer i omgivelser og nettverk som befordrer gåing

Dersom byplanleggingens målsettinger også innebærer overgang fra motoriserte til ikke-motoriserte transporter, og fra individuell motorisert til kollektivtransport, ligger virkemidlene dels i transporttilbudet (nettverk, tilgjengelighet, reisetid, frekvens og priskriterier), og dels i arealbruken. Etablert kunnskap om reisemiddelvalg framhever tilgjengelighet, altså avstands- og reisetidsfaktorer som essensielle, men når det gjelder gåing har vi relativt lite spillerom for å påvirke denne transportformen ved hjelp av særskilte virkemidler i nettverket for gående isolert sett. Vi kan øke kvaliteten på tilbudet, sørge for flere fortau og gangveger, separasjon mot annen transport, bedre kryssinger og overganger mv., men avstander er det relativt lite å gjøre med så lenge arealbruken ellers ikke endres. Avstand kan jo ellers betraktes som en variabel som bestemmes av tettheten, og på aggregert nivå viser resultatene fra RVU at tetthet spiller en rolle (for eksempel ved at de største – og tetteste – byene har høyere gangandeler enn de minste, og at de store bykommunene har høyere gangandeler enn sine respektive omlandskommuner). I nyere litteratur om gåing som transportform dokumenteres sammenhenger mellom arealbruk, funksjonsblanding og tetthet. En artikkel fra 2008 (Saelens & Handy, 2008), er en metastudie som dokumenterer en rekke statistiske funn, og gode oppsummeringer finnes f.eks i Cervero & Kockelman (1997) og Cervero & Duncan (2003), også Walberg (2015) siterer flere kilder. En inspirerende, nesten populærvitenskapelig kilde innrettet mot planleggere er Jeff Specks bok «Walkable city» (Speck, 2012), som løfter fram begrepet «walkability» som en planleggingsnorm, og refererer til en rekke kilder både som motivasjon for å promotere gåing som transportform, og hvilke faktorer som kan spille en rolle for at folk kan velge denne forflytningsmåten.

Arealbruksvirkemidlene som planleggingen står overfor kan for eksempel være

- Tetthet (befolknings- og boligtetthet, arbeidsplassetetthet, tetthet av publikumsattraherende funksjoner)
- Områdeinterne lokaliseringsvalg (hvor plasseres skoler, barnehager, butikker, offentlige servicetilbud, kollektivknutepunkter etc., i forhold til befolkningsfordelingen)
- Fysisk organisering av bebyggelsen og vegsystemet (utenfra-innenfra-mating, blindveger eller sammenbundet nettverk, bebyggelse som sperrer for ferdsel eller som tillater at snarveger etableres mv)
- Funksjonsblanding eller homogene områder
- Parkeringstilbudet – omfang og lokalisering

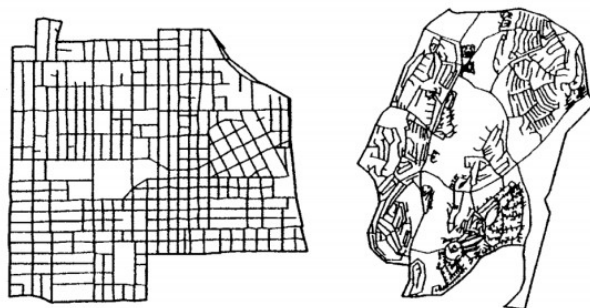
1.3.5 Funksjonsblanding og veg/gatestruktur

Tetthetsregulering (fortetting) alene har ofte blitt framstilt som det grunnleggende «byreparasjonstiltaket» som kan endre transportmønstre, men man har ikke kunnet konkludere utvetydig med at fortetting duger som tilstrekkelig virkemiddel i seg selv. Et rent boligområde med lav tetthet som øker antall leiligheter og innbyggere vil øke trafikkgenereringen, men bare en liten del av økningen vil ha innretning internt: besøksreiser til andre lokalt bosatte. I beste fall økes områdets kundemasse for kollektivtransport så mye at det gir grunnlag for en tilbudsendring i form av nye linjer eller økt frekvens. Men den øvrige veksten i reiseaktivitet vil fortsatt rette seg ut av området, og ikke befordre vesentlig mer gange og sykkeltrafikk. Dette gjelder så lenge ikke antallet lokale målpunkt også økes (typisk butikker og service, skoler og barnehager) – og i dette ligger altså nøkkelen: Gjennom å øke funksjonsblandingen, gir vi anledning til at en høyere andel daglige reiser kan foretas lokalt over

korte avstander, og dermed presumptivt med ikke-motoriserte transportmidler. Slik tar vi også bort behovet for noen av de lengre turene med bil, for eksempel til innkjøpsreiser.

Et eget forskningstema har vært hvordan man kan gå fram for å beskrive, måle eller kategorisere funksjonsblanding (diversitet, «arealbruksmiks») på en slik måte at det for eksempel kan la seg benytte i modellering. Et slikt uttrykk er for eksempel «entropi» eller «entropiindeks» som ble utviklet av Cervero (1989), og som senere har blitt brukt både i empirisk forskning og modelleringsforsøk. I masteroppgaven sin fra 2015 går Runar Walberg grundig gjennom flere ulike metoder for karakterisering av diversitet, og forskning som sammenholder disse med gangandeler i trafikken, og påviser at relativt høye elastisiteter er funnet i flere arbeider (Walberg, 2015).

I Walberg (2015) er det også en grundig oppsummering av temaet veg- og gatestrukturens innvirkning på tilbøyeligheten til å velge gåing som transportmåte, og også hva det har å si for vegvalget. Bidragene er tatt både fra et normativt ståsted (som Buchanan (1963) eller Jacobs (1961)), og fra et mer systematisk empirisk. Den velkjente «klassiske» figuren fra McNally & Kulkarni (1997) viser godt hva dette temaet kan dreie seg om, se figur 9. I tabell 1 fra Walberg (2015) oppsummeres også en rekke empiriske funn, flere av dem med høye elastisiteter.



Figur 9: Gate/kvartalsstruktur kan være bestemmende for interne avstander i et byområde, og følgelig også hvor attraktivt gåing kan være (McNally & Kulkarni, 1997).

1.3.6 Område- eller sonetypologisering som utgangspunkt for å estimere gåing som transportform

Som vist over har arealbrukskarakteristika som tetthet og funksjonsblanding/funksjonsseparasjon betydning for hvilke avstander som dannes i fra-til-mønsteret i en bydel, og følgelig også hvilke andeler av reisene som kan foregå til fots. Gatemønsteret har også betydning, særlig hvordan organiseringen av nettverket tillater eller forhindrer forkortning av vegalternativene. Kombinasjonen lav tetthet, homogene områder med lite innslag av annen arealbruk, og glissent vegnett med mange blindveger og få snarveger, er de minst gunstige for gåing. Eksempelet i figur 10 illustrerer noe av problematikken, hvor stort område kan ca 10 minutters gange (600 m) dekke, og hvor mange funksjoner kan du nå?

En sonetypologisering bør ta utgangspunkt i faktorer som ivaretar flere hensyn:

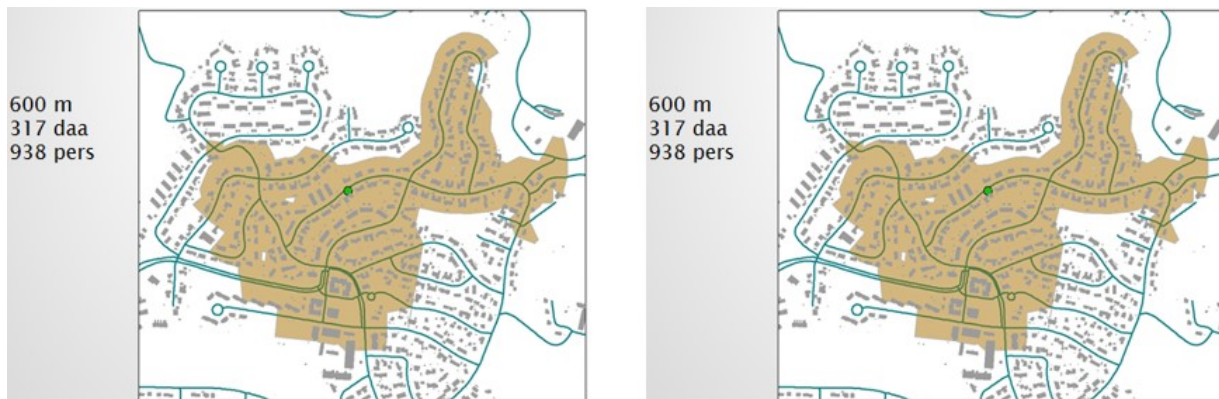
- forskning (litteraturgjennomgang) dokumenterer at de spiller en rolle
- datatilfanget på sonenivå (grunnkrets nivå) er godt nok, og lett nok tilgjengelig
- det er faktorer som vi kan påvirke gjennom fysisk planlegging/arealplanlegging og endringer i transport-systemet.

2 Grunnkretsinterne gangturer i RTM

Det finnes en rekke tiltak som kan utføres i et område for å øke andelen gangturer. Dette er tiltak som enten bedrer tilgjengeligheten eller øker trivsel og trygghetsfølelse for gående. I transportmodellen beregnes turer med ulike

Tabell 1: Empiriske resultater fra forskning om kvartalsstruktur/nettverk og sammenhengen med gåing som transportform (Walberg, 2015).

<i>Variabel</i>	<i>Benevning</i>	<i>Kilde</i>	<i>Transportvariabel</i>	<i>Elastisitet</i>
<i>Direkthet</i>	Fugleavstand Nettverksavstand	(Rodríguez og Joo 2004)	Andelen fotgjengerreiser på pendlereiser	0,03
		(Soltani og Allan 2006)	Andelen sykkel- og fotgjengerreiser	0,11
<i>Blindgater</i>	Andelen blindgater	Zhang 2004)	Antall fotgjengerreiser i arbeid	-0,07
			Antall fotgjengerreiser ikke-arbeid	-0,05
<i>Kvartallengde</i>	Gjennomsnittlig kvartallengde	(Targa og Clifton 2005)	Antall fotgjengerreiser	-0,32
		(Hess et al. 1999)	Antall fotgjengerobservasjoner per time	-0,35
<i>Krysstetthet</i>	Antall kryss per flate	(Boarnet et al. 2008)	Avstand tilbakelagt til fots	0,45
		(Ewing et al. 2010)	Andelen fotgjengerreiser	0,43
<i>Fortaudekning</i>	Andel gater med fortau	(Ewing et al. 2010)	Andelen fotgjengerreiser	0,27
		(Rodríguez og Joo 2004)	Andelen fotgjengerreiser på pendlereiser	1,23
<i>Fortaubredde</i>	Antall fortaukilometer per flate	(Fan 2007)	Reisetid til fots	0,12
	Gjennomsnittlig fortaubredde	(Cervero og Kockelman 1997)	Antall ikke-motoriserte reiser	0,09



Figur 10: Området innenfor 10 minutter gange.

reisemiddel basert på kostnadene de ulike reisemidlene har i forhold til hverandre og hvilke egenskaper eller typologier som finnes i grunnkretsen til destinasjonen for turer. Hvis et område skal gjøres mer attraktive for gangturer må beskrivelsen av kostnader eller typologier for grunnkretsen turen skal gå til, være uavhengig av tilsvarende beskrivelser for bruk av bil eller kollektivtrafikk. Et tiltak i transportmodellen som skal fremme gange må bare gi bedre forhold for gange og ikke samtidig bedre forhold for bilbruk. Samtidig er det viktig at de faktorene som beskriver en gangtur er faktorer som man fysisk kan gjøre noe med. Noe vi ikke kan gjøre noe med høydeforskjeller, men store høydeforskjeller vil kunne forklare hvorfor gange og spesielt sykkel ikke er spesielt attraktivt i eller mellom to grunnkretser.

2.1 Forbedringer av etterspørselsmodellen

Avsnitt 1.1 viser til at det i dag kun er avstand som beskriver en gangtur i RTM. Dette betyr at den eneste måten vi i dag benytter for å gjøre et område mer attraktivt for gange er å redusere gangavstanden mellom grunnkretser eller internt i en grunnkrets. En bivirkning i etterspørselsmodellen p.d.d. er at reduksjon i gangavstand også gir bedre forhold for sykling. Det er som regel en sammenheng mellom muligheter for å gå og sykle, men i tilfelle utbygging av rulletrapp vil dette være et tiltak som ikke gagnar syklistene.

Etterspørselsmodellen inneholder ikke noen variable som beskriver typologier i destinasjonsgrunnkretsen eller internt i grunnkretsen for beregning av gående. Dette betyr at alle grunnkretser er like attraktive for gangturer hvis avstanden ellers er lik. I teorien kunne ulike typologier som beskriver forhold for gående vært benyttet inn i en etterspørselsmodell ved at det estimeres en attraktivitetsparameter for tilstedeværelse av gangtiltak i en sone. I etterspørselsmodellen i RTM beregnes valg av destinasjon og reisemiddel i samme uttrykk, men det følgende eksemplet er svært skjematisk forenklet. Formel 1 viser svært forenklet sannsynlighet for valg av reisemiddel mellom grunnkrets i og grunnkrets j .

$$P_{m,ij} = \frac{e^{U_{m,ij}}}{\sum_m e^{U_{m,ij}}} \quad (1)$$

$P_{m,ij}$ Sannsynlighet for valg av reisemiddel m for tur mellom i og j

$U_{m,ij}$ Nyttefunksjon for reisemiddel m for tur mellom i og j

Valg av et reisemiddel m er lik eksponenten av nyttefunksjonen for reisemiddel m delt på summen av eksponenten for nyttefunksjonen for alle reisemiddel. Nyttefunksjoner for ulike reisemiddel kan uttrykkes slik:

$$U_{bil,ij} = C_{bil} + \beta_{D,bil} \cdot D_{ij,bil} + \beta_{T,bil} \cdot T_{ij,bil} + \beta_{K,bil} \cdot K_{ij,bil} \quad (2)$$

$$U_{gange,ij} = C_{gange} + \beta_{D,gange} \cdot D_{ij,gange} \quad (3)$$

C_m	Konstant for reisemiddel m
$\beta_{D,m}$	Parameter for distanse for reisemiddel m
$\beta_{T,m}$	Parameter for tidsbruk for reisemiddel m
$\beta_{K,m}$	Parameter for kostnader for reisemiddel m
$D_{ij,m}$	Distanse mellom grunnkrets i og j for reisemiddel m
$T_{ij,m}$	Tidsbruk mellom grunnkrets i og j for reisemiddel m
$K_{ij,m}$	Kostnad mellom grunnkrets i og j for reisemiddel m

Nyttefunksjonene for hvert reisemiddel vist i formel 2 og 3 inneholder de ulike kostnadskomponentene som i modellen beskriver en tur mellom to grunnkretser. For hver kostnadskomponent er det estimert en parameterverdi som multipliseres med kostnaden. Denne parameteren er negativ slik at økt kostnad gir lavere nytte og videre mindre sannsynlighet for valg av reisemiddelet mellom to grunnkretser. Konstantene benyttes til å justere andelen til hvert reisemiddel i henhold til observert fordeling.

Hvis vi introduserer typologier som bedre forklarer attraktivitet for gående, kan dette gjøres etter samme metode som benyttes for å beskrive attraktiviteten til bruk av ulike innfartsparkeringsplasser. Tilstedeværelse av hver typologi i en grunnkrets gis verdien 1 og fravær gis verdien 0 (Rekdal et al., 2014). Ved å summere opp alle disse attraktivitetsvariablene får vi en total attraktivitetsvariabel. Det må også estimeres en parameterverdi som tar attraktivitetsvariabelen inn i nyttefunksjonen. Dette krever at det finnes data som underbygger hvor attraktivt det er å gå hvis ulike typologier er til stede.

En attraktivitetsvariabel kan beskrive forhold i grunnkretsen for både opprinnelse og destinasjon for turen. Nyttefunksjonen for gående (formel 3) utvides så til formel 4

$$U_{gange} = C_{gange} + \beta_{D,gange} \cdot D_{ij,gange} + \beta_G \cdot G_i + \beta_G \cdot G_j \quad (4)$$

β_G	Parameter for attraktivitetsvariabel for gange
G_i	Attraktivitetsvariabel for gange for grunnkrets i
G_j	Attraktivitetsvariabel for gange for grunnkrets j

Parameterverdien for valg av gange må være positiv slik at gange blir mer attraktivt etter hvor mange innslag av ulike attraktivitetsfaktorer som finnes i grunnkretsen. Ved bruk av formel 4 inn i reisemiddelvalget i formel 1 vil sannsynligheten for valg av gange øke hvis utgangspunkt eller destinasjonen inneholder faktorer som gjør gange mer attraktivt.

I dette eksempelet benyttes en beskrivelse av grunnkretsen for utgangspunkt og destinasjon, men tar ikke hensyn til hvordan gangbarheten er mellom to grunnkretser. Det blir derfor problematisk å beregne gangturer mellom grunnkretser etter denne metoden. Beregningen kan brukes på interne turer, men det vil være problematisk i en transportmodell å ha en beregningsmetode for interne turer og en annen metode for turer mellom grunnkretser. Det må derfor legges til en komponent i nyttefunksjonen som sier noe om gangbarhet mellom grunnkretser. Formel 5 viser en mulighet for å ta inn gangbarhet på ruter mellom grunnkretser i nyttefunksjonen som beskriver gange.

$$U_{gange} = C_{gange} + \beta_{D,gange} \cdot D_{ij,gange} + \beta_G \cdot G_i + \beta_G \cdot G_j + \beta_W \cdot W_{ij} \quad (5)$$

β_W	Parameter for gangbarhet mellom grunnkretser
W_{ij}	Attraktivitetsvariabel for gangbarhet mellom i og j

Det finnes p.d.d. ingen funksjonalitet i etterspørselsmodellen *Tramod_By* som gir mulighet til å endre på beregningsrutinene. Utvidelse av nyttefunksjonene i valgmodellen lar seg derfor ikke endre på kort sikt.

2.2 Forbedringer av nettverksbeskrivelsen i RTM

Kapittel 1.1.2 viser til utfordringene som finnes ved å benytte nettverk fra NVDB til å beregne riktige rutevalg for gangtrafikk. ATP-modellen (Statens forurensningstilsyn, 2001) tar også utgangspunkt i det samme nettverket med for de byer hvor ATP-modellen er implementert har det blitt lagt ned et betydelig manuelt arbeid med å komplettere nettverkene ved å knytte sammen lenker som henger løst, vist i figur 3, og lagt inn snarveger, gangstier og sykkelstier som ikke finnes i det opprinnelige nettverket. Det finnes også andre datakilder som inneholder ekstra nettverk for gange.

Felles for de ulike datakildene for supplerende nettverk er at de har blitt konstruert manuelt etter lokale initiativ. Hvis supplerende nettverk skal brukes i RTM blir det en utfordring med forvaltning av disse. Det har blitt etablert en gjennomarbeidet dataflyt fra grunnlagsdata i NVDB til ferdige nettverk klargjort for transportmodellen. Denne dataflyten tilrettelegger for oppretting og revisjon av datasettet. Nettverkene som supplerer med ganglenker manuelt kodet for ulike byer har ikke denne dataflyten. Bruk av disse nettverkene vil kreve et omfattende arbeid med etablering av system for forvaltning før det er praktisk å ta dem inn i transportmodellene.

Nettverk med supplerende gang- og sykkelenker er ikke bearbeidet for bruk i transportmodellene. Et nettverk for transportmodeller består av noder og lenker koblet mellom nodene. Nettverk i ATP-modellen har ikke en slik node- og lenkestruktur. Forskjellen ligger i at GIS-verktøyet som ATP-modellen benytter, *ArcGIS Network Analyst*⁴ kan beregne avstander langs et nettverk uten noder. Konsekvensen av dette er at nettverk fra ATP-modellen og lignende manuelt må bearbeides til et node/lenkenett.

2.3 Forbedringer i beregning av internavstand

Internavstand i en grunnkrets i transportmodellen representerer den gjennomsnittlige avstanden en må forflytte seg fra en bolig til et målpunkt i same grunnkrets. Hvilke målpunkt som er aktuelle vil variere med hvilken hensikt turen har: skole, handel, service eller besøke andre boliger i samme grunnkrets. Det er vanlig i transportmodellene at kostnader til etterspørselsmodellen ikke varierer mellom ulike reisehensikter. Vi kan ikke ha en internavstand for skole og en annen for butikk. En grunnkrets med stor funksjonsblanding vil være mer attraktiv for interne gangturer enn en mer homogene grunnkrets som nesten bare består av boliger eller arbeidsplasser (Berge et al., 2012). Internavstanden bør gjenspeile dette slik at en grunnkrets med funksjonsblanding får lavere internavstand enn et rent boligfelt, selv om boligfeltet er tettbebygd.

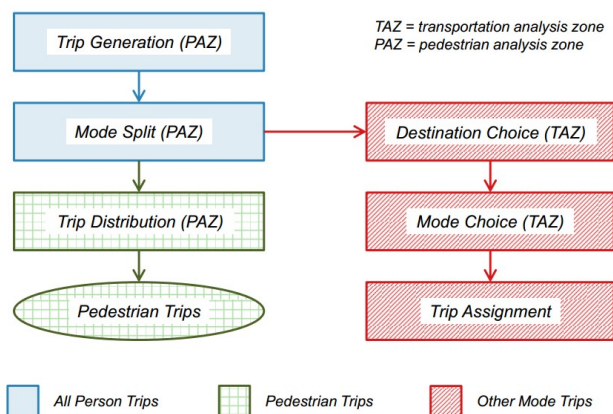
Internavstanden skal i utgangspunktet være den gjennomsnittlige avstanden for interne turer i grunnkretsen. Men hvis denne internavstanden skal beregnes som et gjennomsnitt avstanden fra et boligpunkt til et bedriftspunkt av interesse vil en streng tolkning av grunnkretsen gi uheldige resultater. Den personen som utfører en tur forholder seg ikke til grunnkretsen, men gjør en vurdering på om reisemålet skal være i det umiddelbare nabolaget eller et stykke unna. Ved beregning av gjennomsnittlig reiseavstand for en grunnkretsintern reise må det tas stilling til følgende problemstillinger:

- Hvis boligen som har utgangspunkt for turen ligger i nærheten av grensen for grunnkretsen, og nærmeste målpunkt, for eksempel en butikk, ligger nær grensen til nabosonen bør denne avstanden inngå i beregning av gjennomsnittsavstanden. Hvis nærmeste butikk må befinne seg i samme grunnkrets vil to situasjoner oppstå: Den gjennomsnittlige internavstanden kan bli kunstig høy, og det vil oppstå et problem hvis grunnkretsen ikke inneholder noen målpunkt.
- Et stort antall grunnkretser inneholder ikke noen målpunkt kan danne grunnlag for avstandsberegning. Da må internavstanden beregnes som gjennomsnittlig avstand til et målpunkt i nabogrunnkretsene. Den gjennomsnittlige internavstanden vil da bli veldig høy. Hvis det for eksempel ikke finnes butikker i en grunnkrets vil det i etterspørselsmodellen ikke være mulig å produsere interne turer til butikk.

⁴<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst>

2.4 Endret sonestruktur

I Portland, Oregon har det gjennom noen år pågått interessant arbeid med å forbedre transportmodelleringen, særlig med tanke på de korteste reisene. Bakgrunnen er helt sammenfallende med vårt prosjekt, og de har foreløpig endt opp med å foreslå at modellen opereres med et to-nivåsystem for sonestruktur: en ordinær «Transportation Analysis Zone» (TAZ) med klare likhetstrekk til våre RTM grunnkretssoner, og en «Pedestrian analysis zone» (PAZ) som er en underinndeling med høy geografisk oppløsning: kvadratiske «celler» med 80 meter sidelengde. Den konseptuelle modellkonstruksjonen som dette leder til er illustrert i figur 11. Gåing blir



Figur 11: Modell for gåing inkorporert i en regional transportmodell, eksempel fra Portland, Oregon (Clifton et al., 2015).

her håndtert i et «pre-trinn», men likevel på en slik måte at totalresultatet kan inngå i f.eks nytteberegninger.

3 Alternative metoder for beregning av internavstand

De tre mulighetsrommene for endringer av RTM omtalt i kapittel 2 viser at det er lite vi, uten vesentlige endringer i etterspørselsmodellen, kan gjøre for å forbedre modellen med hensyn på gående. Den beste muligheten for forbedring av RTM ligger i å etablere en ny metode for å beregne internavstand. En mer detaljert beregning av internavstand kan benyttes av RTM direkte uten noen endringer i modellsystemet siden internavstander for både bil, gange og sykkel leses inn som separate verdier i RTM.

Hensikten med en forbedret metode for beregning av internavstand er å bedre kunne skille på avstand for bilbruk internt i en grunnkrets og gangavstand. Dette vil gjøre grunnkretser med mange snarveier for gående mer attraktive for gange enn grunnkretser som er dårligere tilrettelagt. Denne metoden vil ikke kunne ta til seg faktorer som opplevd trygghet og andre tiltak, men fokusere på den fysiske beskrivelsen av en grunnkrets.

I RTM er hvert modellområde kalibrert til å ha en reisemiddelfordeling som er lik reisemiddelfordelingen i reisevaneundersøkelsen. Hensikten med å modellere gange mer attraktivt er ikke å få flere gangturer i modellen, men mer av de riktige gangturene. Når modellen kalibreres mot reisevaneundersøkelsen (rammetallskalibrering) blir antall gangturer det samme, men det vil være en større andel gangturer i de grunnkretsene hvor det faktisk er en høyere gangandel.

Norge består av ca. 14000 grunnkretser. Av disse er 557 grunnkretser i Oslo, og 329 i Trondheim. Det store antallet grunnkretser gjør at beregning av egenskaper for de gående i modellen må utføres maskinelt med datakilder som ikke krever lite manuell tilpasning. Ved å bruke en maskinell beregningsmetodikk sikres konsistens i kvaliteten på resultatet.

Mellom to vilkårlige punkt i en grunnkrets vil det lengste, men ikke urimelige, reiseruten være langs nettverket. Dette vil være reiselengden for bilbruk og lengste mulige reiserute å gå. Korteste mulige rute er luftlinje.

Dette er i de aller fleste tilfelle ikke mulig, men det definerer den korteste mulige reiseruten å gå. Den riktige gangavstanden befinner seg et sted mellom disse to avstandene. I et konsentrert byområde med store bygninger vil den riktige gangavstanden være nær lik avstanden langs nettverk, mens i boligområder med parklignende arealbruk vil riktig gangavstand være nærmere luftlinjeavstand. I et boligområde med få samleveger og mange private hager vil også nettverksavstand gi en tilnærmet riktig beskrivelse av gangavstand.

Avsnitt 3.1 og avsnitt 3.2 beskriver en enkel metode for å finne gjennomsnittlig reiselengde langs nettverk og gjennomsnittlig avstandstand i luftlinje i en grunnkrets. For å beregne er riktigere gangavstand i en grunnkrets har vi i dette prosjektet sett på mulighetene til å utvikle en metode for å beregne avstand ved hjelp av raster-GIS. Her gir vi bort fra nettverksmodeller og ser på muligheter for bevegelse over flater som inneholder større eller mindre grad av hindringer. Dette arbeidet er beskrevet i avsnitt 3.4.

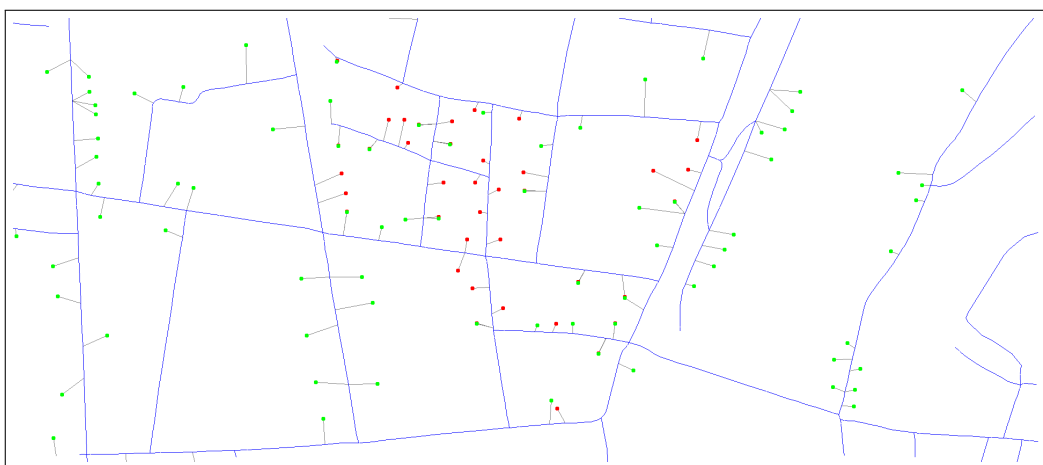
3.1 Metode for beregning av internavstand langs nettverk

Den maksimale avstanden mellom to interessepunkt i en grunnkrets er avstand langs et nettverk. Avstanden i nettverk beregnes ved å benytte algoritmer for å finne korteste rute i et nettverk. Den korteste ruten mellom to punkt kan beregnes i ulike programsystem, for eksempel:

1. Transportmodellprogramvare, for eksempel *Cube Voyager* eller *Emme*.
2. GIS, for eksempel *ArcGIS Network Analyst*
3. Graf-funksjoner i programmeringsspråk som for eksempel *Python*.

I dette prosjektet ble korteste rute beregnet ved å benytte programvaren *Cube Voyager*. Dette er samme system som benyttes i de regionale persontransportmodellene (RTM). For å beregne korteste rute mellom adressepunkt må disse punktene kobles til et nettverk. Et nettverk som brukes i en transportmodell er tradisjonelt et nettverk av noder og lenker hvor nodene representerer kryss, og lenkene representerer veg eller gate mellom kryss. I et slikt nettverk vil alle punkt som kobles til nettet kobles til nærmeste kryss. Dette fungerer i overordnede modeller hvor grunnkrets er minste størrelse på transportsoner, men siden vi skal se på avstander internt i en grunnkrets vil nærmeste kryss ikke gi god nok oppløsning. Hvert adressepunkt ble koblet til det nærmeste knekkpunktet (*vertex*) på hver lenke istedenfor kryss. Slikt ble hvert adressepunkt koblet tilnærmet normalt til vegnettet.

Figur 12 viser boliger (rød prikk) for en grunnkrets i Trondheim sentrum (16011211), og adressepunkt for bedrifter i grunnkretsen og nabogrunnkretser (grønn prikk).



Figur 12: Soner koblet til nettverk i grunnkrets

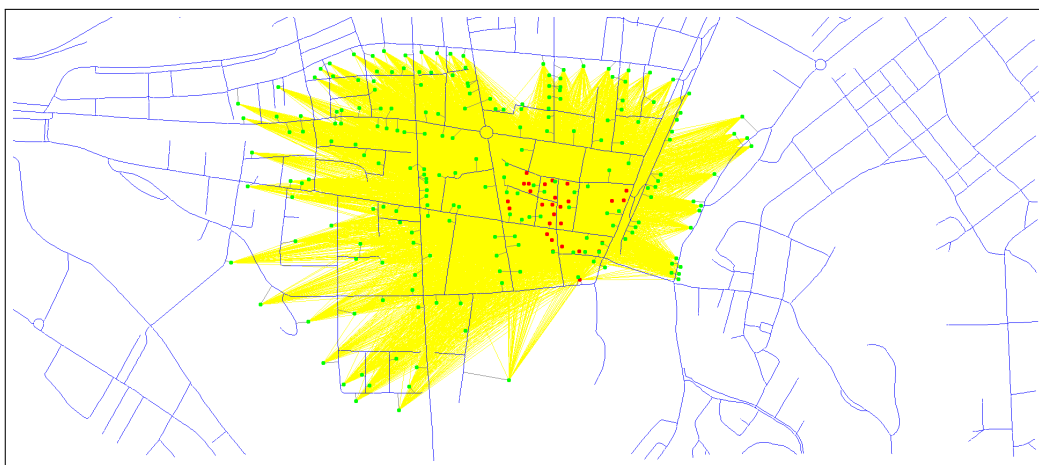
Nettverksanalysen er i denne studien svært forenklet med følgende forbehold:

- Ingen restriksjoner på kryssing av veg. I en mer detaljert analyse kan det legges inn forbehold om at en veg kun kan krysses der det finnes fotgjengerovergang, gangbru eller lignende. Hvis data for dette ikke foreligger kan det antas at kryssing kun kan foregå i nærheten av kryss.
- Enveiskjøring må respekteres. Ulempen er at dette også gjelder gange langs nettverket.
- I denne svært enkle analysen er det ingen restriksjoner på gatebruk. Bil og gange kan benytte alle lenker.
- Kun korteste avstand bestemmer rutevalget mellom to punkt.

Nettverksanalysen beregner avstander langs nettverket fra alle boligpunkt i hver grunnkrets til alle bedriftspunkt i samme grunnkrets og nabogrunnkretser. En mellomregningsfil som brukes til den videre analysen skrives ut med alle kombinasjoner av avstander mellom boliger og bedrifter, hvilke grunnkrets boligen og bedriften befinner seg i, NACE-kode til bedriften og antall bosatte i boligen. Boligpunktene er ikke stedfestet med koordinat eller gitt annen sporbar referanse, slik at antall bosatte er anonymisert.

3.2 Metode for beregning av internavstand i luftlinje

Avstand langs nettverket representerer den maksimale avstanden mellom bolig og bedriftspunkt. For å finne den absolutt korteste mulige avstand mellom to interessepunkt beregnes luftlinjeavstand. Dette utføres også i *Cube Voyager*. Fra hvert boligadressepunkt i en grunnkrets trekkes en rett linje til alle bedriftsadressepunkt i samme grunnkrets og nabogrunnkretsene. Avstanden til denne linjen regnes ut fra koordinatene. Beregningen av avstand i luftlinje tar ikke hensyn til høydeforskjeller. Figur 13 viser alle mulige kombinasjoner av luftlinje fra alle boliger til alle bedrifter.



Figur 13: Soner koblet til bedrifter, luftlinje

Avstander fra alle boligadressepunkt i en grunnkrets til alle bedrifter i grunnkretsen og nabogrunnkretsene beregnes. Denne beregningen krever ikke noe rutevalg siden det opprettes direkte forbindelse fra alle boliger til bedrifter. Avstandene skrives til samme mellomregningsfil som fra nettanalysen i forrige avsnitt.

3.3 Avstand langs nettverk sammenlignet med avstand i luftlinje

Metodene omtalt i avsnitt 3.1 og 3.2 ble benyttet til å finne avstanden mellom alle boligadressepunkt i en grunnkrets til alle bedriftspunkt i samme grunnkrets eller nabogrunnkrets for alle grunnkretser i Trondheim kommune. Analysen ble begrenset til å se på bedriftspunkt med NACE-koder:

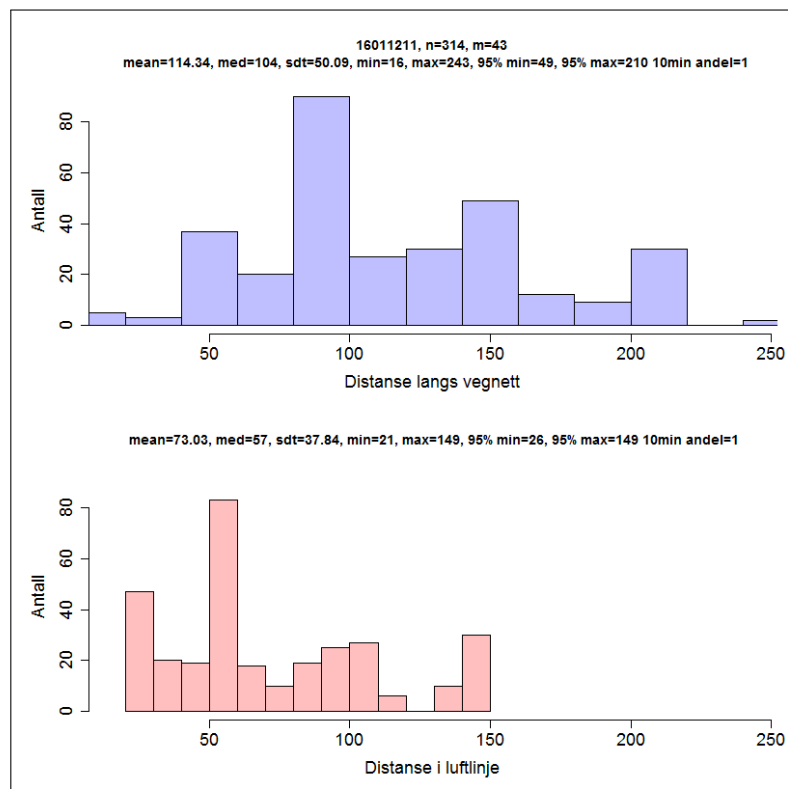
- 47.10-47.29: butikker
- 85.2: grunnskoler

- 53.1: post
- 88.91: barnehager

I første omgang fokuseres det på bedriftspunkter med de oppgitte NACE-kodene, og for hver grunnkrets ble det generert avstandshistogrammer og regnet ut følgende statistiske måltal både for avstanden langs nettverket og for luftlinjeavstanden:

- Total befolkning i grunnkretsen (n)
- Antall boligpunkt i grunnkretsen (m)
- Gjennomsnittsavstanden til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene for alle beboerne i grunnkretsen (mean)
- Medianavstanden til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (med)
- Standardavvik for avstanden til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (std)
- Minimal avstand til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (min)
- Maksimal avstand til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (max)
- Nedre 95 % persentilen for avstand til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (95 % min)
- Øvre 95 % persentilen for avstand til den nærmeste bedriften med en av de valgte NACE-kodene (95 % max)
- Hvor stor andel av grunnkretsens befolkningen som bor i en avstand maksimalt 10 minutters gange unna målpunktene (andel). Det antas en fart på 5 km/t ved gange.

Figur 14 viser et eksempel på en slik analyse for grunnkrets 16011211 i Trondheim sentrum. Som vi ser av

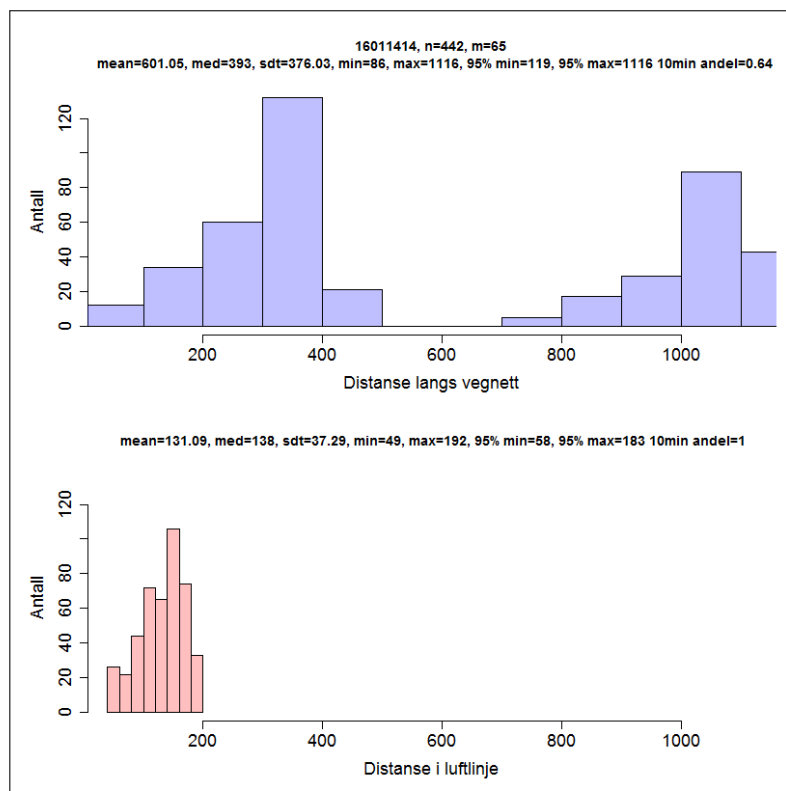


Figur 14: Gjennomsnittlig avstand fra boligadressepunkt til målpunkter for grunnkrets 16011211.

avstandshistogrammene er det en naturlig forskjell mellom avstanden langs vegnettet og avstanden i luftlinje, men under de antagelsene gitt i kapittel 3.1 og 3.2 er det opplagt at den faktiske gjennomsnittlige internavstanden ligger et sted mellom disse to ekstremtilfellene (i dette tilfellet 73 og 114 meter). Om den faktiske avstanden

er nærmere distanse langs vegnett eller luftlinjedistansen er avhengig av utformingen av grunnkretsen, og da spesielt med tanke på ulike typer barriere. For eksempel vil en grunnkrets i midtbyen ha en distanse nærmere vegnettsdistansen, da mesteparten av arealet rundt vegnettet er fullt med bebyggelse, mens en grunnkrets på Tyholt kan inneholde store grøntarealer som kan fritt forseres og dermed gi en internavstand nærmere luftlinjeavstanden. Man kan tenke seg at vektingen av disse ekstremavstandene (det vil si hvilken avstand man faktisk er nærmest), kan estimeres ved hjelp av lett tilgjengelige parametre som arealbruk og forekomsten av barrierer som elver osv, men denne metoden har vi ikke sett detaljert på i dette prosjektet.

Formen på avstandshistogrammene og hvor nære de to gjennomsnittsinternavstandene er hverandre kan fortelle mye om grunnkretsen. Vi ser fra figur 14 at dette er en grunnkrets med korte avstander og at denne avstanden er relativt lik for alle beboerne i grunnkretsen. Et eksempel hvor avstandene er noe lengre er grunnkrets 16011414 på Buran, se figur 15. Her er avstandene langs vegnett i tillegg delt i to *grupper*, men luftlinjeavstanden ser ut til å være kort for alle adressepunkt. Dette antyder at en del av befolkningen i denne grunnkretsen må kjøre



Figur 15: Avstandshistogram og statistikk for grunnkrets 16011414

lengre langs vegnettet for å nå et målpunkt enn resten av befolkningen, men at gangavstanden har potensiale til å være lav også for de som må kjøre langt. Gjennomsnittlig internavstand for gange har her et potensial til å være nærmere 130 meter sammenlignet med gjennomsnittlig reiseavstanden for bil som vil være 600 meter.

I dette siste eksempelet ser vi også et tilfelle hvor valget av måltall for internavstanden kan ha stor betydning. For de fleste i denne grunnkretsen vil avstand langs vegnettet være et godt stykke unna 600 meter, da denne verdien ligger mellom de to omtrent like store gruppene. Man kan dermed spørre seg om gjennomsnittsavstanden er representativ i dette tilfellet. Derimot vil medianen på om lag 400 meter være et godt mål for de som befinner seg i den første gruppen, men passe svært dårlig for beboerne i den andre. Dette er noe av utfordringene man står ovenfor når grunnkretser er valgt som minste enhet.

3.3.1 10-minuttersbyen

Det har i den siste tiden vært fokus på 10-minuttersbyen, hvor man ønsker at de tilbudene man trenger i hverdagen skal ligge i 10-minutters gangavstand for alle beboere. For å undersøke dette defineres det her at en beboer oppfyller kravet i 10-minuttersbyen dersom personen kan gå til en av bedriftspunktene definert over og/eller en holdeplass i løpet av 10 min. Vi antar her at alle gående holder en konstant fart på 5 km/t, men i en mer detaljert studie bør denne hastigheten korrigeres for stiging osv. Avstander langs nettverk og i luftlinje til holdeplasser fra hver bolig er funnet etter samme metode som avstander fra boliger til bedrifter. I denne analysen telles antall grunnkretser hvor andelen av befolkningen som oppfyller kravet til 10-minuttersbyen er mindre 0.1, mellom 0.1 og 0.2, mellom 0.2 og 0.3 og så videre opp til mellom 0.9 og 1. Resultatene er presentert i tabell 2 og tabell 3.

Tabell 2: Antall grunnkretser i DOM Nidaros hvor andel av befolkningen oppfyller kravene i 10-minutters byen når målpunktene er butikk, skole, barnehage eller post

	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
Langs vegnett	18	2	3	2	1	6	5	6	14	172
Luftlinje	3	1	0	1	2	1	0	2	3	216

Tabell 3: Antall grunnkretser i DOM Nidaros hvor andel av befolkningen oppfyller kravene i 10-minutters byen når målpunktene er butikk, skole, barnehage, post eller holdeplass

	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0
Langs vegnett	1	1	1	2	1	0	2	3	4	221
Luftlinje	1	0	0	0	1	0	3	2	1	228

Som vi ser av disse tabellene er det et stort antall grunnkretser hvor flesteparten (90 % til 100 %) av befolkningen har oppfylt kravet til 10-minuttersbyen. Vi fokuserer her på korteste avstand til et av målpunktene, og det kan argumenteres for at dette kravet ikke er strengt nok for en 10-minutters by der "alle" ønskede tilbud skal være mindre enn 10-minutter unna. Poenget er imidlertid å presentere metoden, mer enn den faktiske analysen, da de utarbeidede rutinene direkte kan overføres til analyser av 10-minuttersandelene med hensyn på andre, og potensielt strengere, krav.

3.4 Rasterbasert tilgjengelighetsmetode for gående

3.4.1 Alternative tilnærminger til avstandsbegrepet

Nettverket egner seg fortsatt til å beskrive avstander i modeller, men der det er mest behov for en komplett graf er den relativt sett minst komplett. For de aller korteste turene har antakelig det eksisterende nettverket mindre å bety for hvilke avstander som inngår i folks vurderinger omkring mål- og reisemiddelbeslutninger. Lokalt, internt i boligområder og bydeler, finnes det som regel mange muligheter for forflytning som ikke beskrives godt i nettverksterminologi. Vi kan tenkte oss å følge flere ulike strategier for å komme videre fra dette faktum.

1. En åpenbar mulighet, men som ikke nødvendigvis er den mest kostnadseffektive på kort sikt, er å komplettere nettverket med enda bedre grunnlagsdata om lenkestrukturen, inklusive snarveger. Det vil kreve massivregistreringer, med dagens verktøy sannsynligvis ut over hva som i dag er teknisk mulig å få til med flyfoto eller laserscanning alene. I praksis vil det bety omfattende arbeid i felt (for eksempel med GPS).
2. Et alternativ er å endre noe på datamodellen som står til rådighet for å beskrive gang- og sykkel lenker i NVDB. Eksempel på et slikt arbeid pågår for tiden som ledd i utviklingen av et rutevalgverktøy for sykling i regi av Statens vegvesen (ref. Jetlund etc). Dagens enerådende prinsipp, lenke-node-struktur som utgangspunkt for å generere grafer, er der supplert med såkalte «frinavigeringssoner». I dette inngår

polygoner avgrenset digitalt i kartet der sykling (og evt. gåing) kan foregå ubeskrænket, uavhengig av hvilke fysiske nettverksstrukturer som måtte eksistere innenfor sonen. Framgangsmåten vil kreve noe supplering av dagens datatilfang, men sannsynligvis vil det by på mindre registreringsarbeid og lavere oppdateringskostnader enn en heldekkende nettverksoppgradering.

3. Et tredje alternativ er å delvis å forlate lenke-node-prinsippet lokalt, for de turbeslutningene som trolig kan omfatte de korteste turene. I så tilfelle åpner rasterbaserte overflatemodeller seg som et lovende alternativ.

Rasterbaserte tilgjengelighetsmodeller er bl.a. foreslått som metode av Walberg (Walberg, 2015), men ble ikke der undersøkt videre. En kilde som har benyttet metodikken og sammenliknet raster- og nettverksmodeller er (Delamater et al., 2012). Videre i kapittelet vil vi se på hvordan en rasterbasert forflytnings- eller tilgjengelighetsmodell kan tenkes brukt, og hvordan produksjonen av den kan automatiseres ved hjelp av eksisterende og i prinsippet lett tilgjengelige datakilder fra offentlige kartverk og registre.

3.4.2 Prinsippene i en rasterbasert modell for forflytning

I en rasterbasert modell for forflytning følges prinsippet om at bevegelse kan skje fra en celle i rasteret til en nabocelle, og at det følgelig bare er 8 mulige retninger for forflytning, se figur 16. Avstanden mellom en

1	2	3
4	0	5
6	7	8

Figur 16: Naboceller i rasteret.

celle og nabocellen er enten 1 (forflytning rett horisontalt eller vertikalt), eller kvadratroten av 2 ($\approx 1,41$) når forflytningen er på skrå. Hvor godt et raster er i stand til å «etterligne» bevegelse i et lenke-node-nettverk, og estimere avstander, kommer blant annet an på hvilken oppløsning rasteret har (størrelsen på en rastercelle) sammenlignet med dimensjonene på de lenkekomponentene som utgjør nettverket. Et finmasket raster kan gjengi vektorbaserte nettverk med svært små avvik. I den modelloppstillingen vi har brukt som grunnlag for denne rapporten er rasterdimensjonen 1×1 meter.

Avvikene i distanse mellom en euklidsk rettlinjet bevegelse og en bevegelse i tråd med rasterprinsippet er typisk ganske små, som illustrert i denne figuren. Her er beregnet relativ differanse mellom de to avstandsmålene, fra et origo i øverste venstre hjørne til alle celler i et 10×10 cellers raster. En forflytning nøyaktig langs diagonalen vil gi samme avstand uavhengig om den måles rettlinjet euklidsk eller i rasteret, mens alle andre forflytninger vil gi små differanser, typisk mellom 0% og 8%, se figur 17. Bevegelsen mellom en celle og nabocellen kan påføres hastighet, eller (vanligere) større eller mindre grader av motstand, avhengig av egenskapene som arealet i rastercellene er tillagt, og faktorer som terreng/stigning. I denne sammenhengen vil rastercellenes egenskaper dreie seg om i hvilken grad arealet i cellen er tilrettelagt for eller tillater forflytning, og data som grunnlag for denne antakelsen vil da kunne være hentet fra standardiserte, kartfestede attributter fra norske digitale kilder, som FKB-kart. Bevegelsesmotstanden, uttrykt for eksempel som en hastighetsfaktor, varierer fra 0 (ingen forflytning er mulig, som der det er bygninger eller vann), til 1 (der det er fri, uhindret ferdsel, som på en gangveg). Rasterlaget der bevegelsesmotstand er utledet kalles ofte kostnadsraster.

Bevegelseskostnaden kan både være en funksjon av vertikal motstand (på grunn av at terrenget i seg selv koster energi å forsere), og horisontal – ved at ulike typer arealkarakteristika gir ulik bevegelsesfrihet i seg selv, eller at overgangen fra en type areal til en annen i noen tilfeller også kan betraktes som en kostnad.

En tilgjengelighetsanalyse som er rasterbasert kombinerer alle disse faktorene, og i motsetning til en «klassisk» nettverksberegning, som forutsetter at forflytning bare skjer i lenke/node-forbindelsene, vil alle rasterets (tilgjengelige) celler kunne representere et sted der det er mulig å bevege seg. De kritiske, og ofte feilfølsomme,

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0 %	8 %	8 %	7 %	6 %	5 %	5 %	4 %	4 %	4 %
2	8 %	0 %	6 %	8 %	8 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %
3	8 %	6 %	0 %	5 %	7 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
4	7 %	8 %	5 %	0 %	4 %	6 %	7 %	8 %	8 %	8 %
5	6 %	8 %	7 %	4 %	0 %	3 %	5 %	7 %	8 %	8 %
6	5 %	8 %	8 %	6 %	3 %	0 %	3 %	5 %	6 %	7 %
7	5 %	8 %	8 %	7 %	5 %	3 %	0 %	3 %	4 %	6 %
8	4 %	7 %	8 %	8 %	7 %	5 %	3 %	0 %	2 %	4 %
9	4 %	7 %	8 %	8 %	8 %	6 %	4 %	2 %	0 %	2 %
10	4 %	6 %	8 %	8 %	8 %	7 %	6 %	4 %	2 %	0 %

Figur 17: Differanse mellom avstander målt i rasteret og euklidisk rettlinje.

topologiegenskapene til lenke-node-nettverket får redusert betydning, men forsvinner selvsagt ikke helt, det er fortsatt viktig at rasteret vedlikeholder sammenhengene på kritiske punkter, særlig ved overanger/broer/gangfelt og andre deler av transportnettverket der antallet frihetsgrader er lite.

3.5 Eksempel på etablering av avstandsraster

De følgende avsnittene beskriver eksempel på hvordan avstandsmål fra et rasterkart kan produseres fra tilgjengelige datakilder.

3.5.1 Framgangsmåten som er brukt for å lage et avstandsraster

Definere hvilke arealer som kan ha/ikke kan ha ferdsel

Avstand måles altså over et «kostnadsraster», der kostnaden gjøres til en funksjon av topografi, vegtilgjengelighet, naturgitte absolutte skranker (som elver, vann, skrenter) eller tilsvarende bygde skranker (hus, murer), som ikke tillater forflytning gjennom.

Naturgitte beskrankninger kan i noen tilfeller betraktes som absolutte. Viktigst her når det gjelder områders egnethet for gåing er vannflater. Dessuten kan vi utelukke skrenter/skråninger som er for bratte til at ferdsel er praktisk mulig. Hvor denne praktiske grensen går, varierer noe i ulike kilder. Ved denne første metodeutprøvingen har vi satt skillet ved 30 grader, altså at areal brattere enn dette ikke betraktes som egnet for ikke-motorisert ferdsel. Vi har likevel gjort det mulig å inkludere gangveger som er brattere enn denne grensen over kortere strekninger.

Vegetasjonen kan være en modellmessig så vel som datamessig utfordring. Variasjonsområdet for vegetasjonsdekkets påvirkning av egnethet for gåing er etter alt å dømme stort. Den kan kanskje sees på som et «semipermeabelt» stengsel; i noen tilfeller utgjør glisne lunder med store lauvtrær knapt noe hinder for bevegelse, mens tett plantet granskog, eller lauvskog i form av orekratt, i praksis vil fungere som en ugjennomtrengelig sone. Men uansett om man kommer til kunnskap om ulike vegetasjonstypers effekt på ferdselen, vil modellen anvendelsen stå og falle på tilgjengeligheten til gode og oppdaterte datakilder med tilstrekkelig detaljeringsnivå både kategorisk og geografisk. Den mest tilgjengelige kilden til slik informasjon var Markslagskartet (fra økonomisk kartverk - ØK), som nå er på veg til å bli utfaset og erstattet med dets kategorimessig noe forenklede slektning AR5. Sistnevnte tilbys gjennom Norge Digitalt som del av FKB (Felles KartBase). Begge har kategorier som lar seg bruke med noen forbehold, blant annet arealressurskategorisering og bonitetsinformasjoner. Krav til enkelhet

og automatiserbarhet gjør at vi i denne utprøvingen velger å arbeide videre bare med arealkategoriene «åpen fastmark» og «bebygd». Skog betraktes ikke som ferdselsområde i modellen uten at det finnes gangveger, stier eller traktorveger som støtter gåing.

Krav til enkelhet og automatiserbarhet gjør at vi i denne utprøvingen velger å arbeide videre bare med arealkategoriene «åpen fastmark» og «bebygd». Skog betraktes ikke som ferdselsområde i modellen uten at det finnes gangveger, stier eller traktorveger som støtter gåing.

For å forenkle analysen har vi valgt å klassifisere all skog som ferdselshindrende, men det vil på et senere tidspunkt kunne prøves ut tilsvarende analyser med bruk av treslag- og bonitetsinformasjonen i arealressurskartet AR5 fra NIBIO.

Arealkategorien «Åpen fastmark» er definert som ferdselsområde. Her inngår typisk parker i urbane områder, plener og friområder med beskjedne vegetasjon i boligstrøk. I figur 18 er «åpen fastmark» markert med en skravur, og representerer her områder som for en stor del er mulig å bevege seg i relativt fritt i. Plassen til venstre er imidlertid karakterisert som «Bebygd og samferdsel» i AR5, og er her et rent «frinavigeringsområde», uten hinder for ferdsel til fots. Den skrå linjen over plassen vitner da også om at dette er et mye brukt rutevalg for ikke-motorisert ferdsel.



Figur 18: Eksempel på frinavigeringsområde i bystrøk - kategoriene «åpen fastmark» og «bebygd» i AR5

Hensikten med «Vekt»-faktoren er å gi prioritet til de delene av områder der gående kan ferdes som også er særskilt tilrettelagt for formålet. Der det f.eks finnes en gangveg gjennom en park, vil gangveggruten tjene som førstevalg framfor plenen, men når spart avstand blir større enn vektdifferansen, kan alternativ rute velges.

Rasterlaget som framstiller områder der gåing er mulig må i hovedsak betraktes som et uttrykk for maksimal mulig tilgjengelighet. I de områdene der ferdselsadgangen er framstilt ut fra rene samferdselsformål, slik som fortau eller gangveger, vil kildegrunnlaget være relativt pålitelig, og om noe vil det underestimere egnetheten for gåing (typisk vil ikke alle gangveger eller fortau finnes registrert i sine respektive FKB-kartkilder).

Der ferdselsadgangen er framstilt ut fra fortolkning av andre arealressurskategorier, som «åpen fastmark» eller «bebygd areal» utenom bygninger, vil det kunne eksistere ferdselshinder som ikke finnes registrert i noen kartkilder – typisk gjerder, eller uklassifisert vegetasjon. Dette vil medføre at tilgjengeligheten blir overvurdert.

Tabell 4: Areal- og linjetyper fra kartgrunnlaget, som benyttes i utkast til tilgjengelighetsmodell

Areal/vegtype, datakilde	Kategoribeskrivelse	Hastighetsfaktor («vekt» - gåing på gangveg, uhindret fortau = 1,0)	Merknad
Helning (%) (TIN-modell generert fra FKB høydedata)	Brattere enn 30 grader	0	Grenseverdien bygger ikke på empiriske undersøkelser, og bør kunne justeres med utgangspunkt i forskningskilder
Veglinje fra FKB	Fortauskant, FortauskantYtre, GangSykkelvegkant, Gangvegkant, Traktorvegkant, AnnetvegarealAvgrensing	1,0	FKB inneholder ikke fortau som flatetema, men i stedet fortauskant som linjetema.
Veglinje fra FKB	GangfeltAvgrensing	0,6	
Vegflate fra FKB	GangSykkelveg	1,0	Ikke fullstendig i FKB. Andre kilder bør vurderes inkludert(OpenStreetMap, Elveg)
Vegflate fra FKB	Traktorveg	1,0	
Vegflate fra FKB	Parkeringsområde	0,6	Ikke fullstendig i FKB. Viktig i bysentra der parkeringsplasser ofte kan forseres av gående
Vegflate fra FKB	Vegkategori K og P	0,6	Lav vekt for å sikre at bare korte, tverrgående kryssinger prioriteres i modellen, ikke lange, langsgående forflytninger
Bygningsflate fra FKB	Bygning, AnnenBygning	0	
Bygningsflate fra FKB	Takoverbygg	Den faktoren som er gitt av arealet under takoverbygget	Tatt med fordi baldakiner og innbygde gangbroer er mye brukt i bysentra, og virker ikke ferdselshindrende
Vannflate fra FKB	Alle kategorier	0	
Arealressurs AR5 fra NIBIO	Bebygd areal, men som ikke er klassifisert som bygning i FKB (gjørne åpne, tilgjengelige arealer mellom bebyggelse).	0,8	Her finnes mye farbart vegkantareal, for eksempel i boligområder.
Arealressurs AR5 fra NIBIO	Åpen fastmark.	0,8	Her er gjerne parker og andre farbare, ubebygde områder i by
Traktorvegsti_Linje fra FKB	Sti, traktorveg	0,8	

Hvordan håndteres kryssing av veg

En utfordring som gjelder sammenhengen i de områdene som tilbyr egnethet for gåing, er at kjørevegen i større eller mindre grad utgjør en barriere. Krysningpunkter er kartfestet i noen, men slett ikke alle tilfeller. Innenfor tettbebyggelse er gangfelt registrert i FKB-datasettet VegLinje, men stikkprøver basert på ortofoto indikerer at dette ikke er fullstendige data alle steder. I denne sammenhengen er dette en stor utfordring nettopp fordi det er krysningmulighetene som i stor utstrekning definerer sammenhengene og kontinuiteten i nettverket (og på samme måte som manglende topologisk sammenheng i Elveg-nettverket vanskeliggjør dette god representasjon av særlig ikke-motorisert ferdsel).

I den tilgjengelighetsmodellen som her blir prøvd ut har vi søkt å løse dette på følgende måte:

1. Alle gangfelt, gangbruer, gang-sykelbruer, samt fortau tilknyttet ordinære kjørebruer, er definert som potensielle ganglinjer. For å sikre kontinuitet der gangfelt brytes midt i vegbanen på grunn av trafikkøyer, regnes trafikkøyer med til gangfeltene.
2. Alle noder i RTM som er definert som kryss, men som ikke er kryss med motorvegramper el.l., er tildelt en inntil 5 meters buffersone, og lagt til som ferdselsområde med nedjustert hastighet (samme hastighetsfaktor som gangfelt).

De sistnevnte kryssingene vil nødvendigvis overlappe med andre definerte kryssingsområder (som gangfelt), men i tilfelle overlapping gis forrang til de kryssingene som er basert på sikker definisjon fra kartlag i FKB.

Selv med disse kriteriene vil resultatet ikke reflektere gåendes reelle valgmuligheter i alle situasjoner. Særlig synes gangfelt og fortau å være underrepresentert i FKB-datalagene. FKB (SOSI) har for tiden ingen kategori for gågate, noe som også resulterer i «hull» i nettverket, særlig i sentrale bystrøk der gågater benyttes mest. Relativt nylig er kategorien gågate innført som del av SOSI-standard for Vegnett, og produksjon vil trolig bli satt i verk i løpet av 2016.

I prinsippet er det også mulig å la tilgjengelighetsmodellen tillate at lite trafikkerte gater kan brukes til kryssing der det ellers ikke finnes andre muligheter, eller der det er lang avstand til nærmeste tilrettelagte kryssingssted (som i boligkater). Dette er en forutsetning som trolig samsvarer ganske godt med faktisk atferd svært mange steder. I det tilgjengelige datamaterialet har vi små muligheter til å foreta eksakt filtrering av gatenettet på et slikt grunnlag. I stedet gjør vi følgende tilpasning av gatearealet i modellen: Vegflater i FKB som representerer gater som ikke går i tunell, som ikke er av kategori Riks-, Europa- eller Fylkesveg, og som heller ikke er inkludert i andre kategorier for gange (se tabell i neste kapittel), tillater kryssing. Hastighetsfaktor (vekt) settes lavt (for eksempel 0,6), slik at enhver mulighet for langsgående ferdsel (f.eks på fortau eller gangveg) prioriteres i modellen framfor bevegelse i kjørebane. Dermed tillates kryssing i prinsippet på vilkårlig sted (i rastermodellen helst der kjørebane er på det smaleste slik at tidstapet minimaliseres), men hoveddelen av forflytningen vil foregå der det er raskest.

En foreløpig uløst vanskelighet med rasterbasert tilgjengelighetsmål er at modellen i utgangspunktet ikke håndterer «veg-over-veg», for eksempel der en gangveg krysser i bro over en annen veg der det også er mulig å gå. Med den forenklete modelloppstillingen vi har prøvd i dette prosjektet vil ett av to skje: enten tillates bevegelser fritt mellom alle lenkene i krysset, selv om de i realiteten er helt separerte fra hverandre i høydedimensjonen (dette er analogt med at det i en nettverksmodell lages en 4-arms kryssingsnode uten restriksjoner der to veger krysser planskilt). Alternativt så vil høydeforskjellen i krysningpunktet medføre at bevegelsen brytes på den ene av lenkene, selv om den i virkeligheten skulle tillate ferdsel.

3.5.2 Produksjon av en lokal tilgjengelighetsmodell kan automatiseres med eksisterende datagrunnlag

Eksempelet i de etterfølgende avsnittene er basert på et utsnitt fra Trondheim, som er valgt slik at det skal inneholde et relativt bredspektret utvalg av egenskaper som vi vil inkorporere i tilgjengelighetsmodellen:

- Det har alle grader av terrenghelning, fra helt flatt til områder som er teknisk sett for bratte til ferdsel.

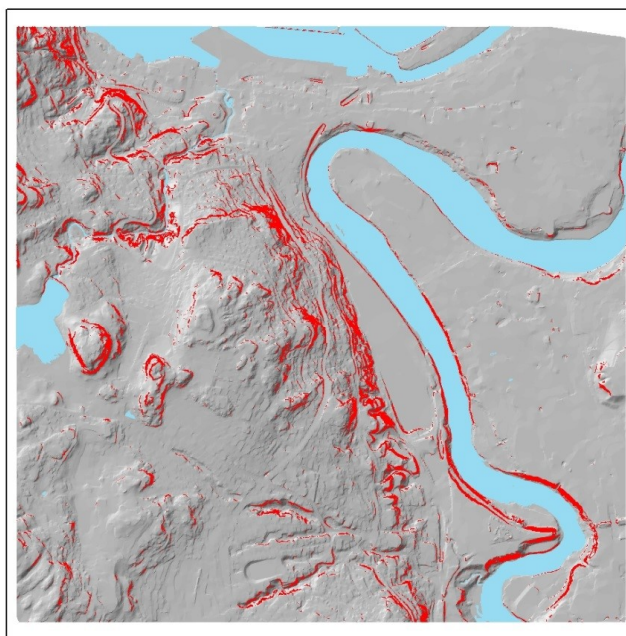
- Det veksler mellom bymessig kvartalsstruktur, med ulike tettheter i nettverket, via forstadsbebyggelse med mer eller mindre sammenhengende nettverksstrukturer, til ubebygde natur-/rekreasjonsområder i byperiferien.
- Det gjennomskjæres av naturlige barrierer (Nidelva, kanalen), av menneskeskapte barrierer (bygninger, høytrafikkerte veger, jernbane), og av områder og årer med større eller mindre grad av tilrettelegging for ferdsel.

Lage en terrengmodell for studieområdet

Vegdata med opprinnelse i NVDB (Vbase, Elveg) har i hovedsak høydedimensjonen på plass i koordinatene. Det samme er for en stor del tilfelle med FKB-datasett for veger. Ettersom tilgjengelighetsmodellen skal tillate ferdsel også utenfor det definerte vegnettet, er det nødvendig å produsere en digital terrengmodell (DTM). Denne operasjonen kan trolig enklest gjøres ved å ta utgangspunkt i FKB høydekurver, som i bystrøk oftest har 1 m eller 0,5 m ekvidistanse. Teknisk sett ville modellens høydeinformasjon bli forbedret om også vannflater ble inkludert, men ettersom vannflater i transportøyemed er absolutte barrierer har vi utelatt dem fra generering av høydemodell.

De fleste GIS-verktøy har funksjonalitet for å generere høydemodeller, enten i form av TIN-representasjon (Triangulated Irregular Network – eller «trekantmodeller»), eller i form av høyderaster. Den høydemodellen som tilbys nedlastbar gjennom Statens kartverk/Norge digitalt er et raster med en oppløsning på 10 meter, noe som blir for grovt til det som trengs i vår modellframstilling, der målestokken må være innrettet mot god beskrivelse av variable som påvirker gåing.

I eksemplet er det generert en DTM på et regulært raster med rutestørrelse/oppløsning 1 m. Alle høyder, helningsgrader, forflytningsmotstand m.v. er beregnet med utgangspunkt i dette rasteret. Figuren 19 viser høydemodellen, med markering for områder som har helning brattere enn 30 grader.



Figur 19: Eksempelområdet med digital terrengmodell, framstilt som relieff. Områder brattere enn 30 grader er markert med rødt

Høydemodellen er i seg selv input til flere av de etterfølgende analysefunksjonene, fordi både avstander og forflytningsmotstand er direkte avhengig av topografien. Hellingensgraden virker inn på to andre variable i modellen: direkte på avstandsuttrykket ved at avstand langs bakken i skrått terreng er lenger enn i det projiserte 2D-kartet,

og dessuten som en faktor som påvirker rutevalgets hastighet, og indirekte attraktivitet. Høyderasteret er altså et «kostnadsgrunnlag» i modellen, der kostnaden er en funksjon av terrengmotstanden. Flere kilder peker på at helningsgrad mindre enn 2 grader ikke regnes som bevegelsesmotstand, mens brattere terreng gir gradvis høyere motstand. Vi har ikke oversikt over litteratur som beskriver funksjonsformen, men for denne modelloppstillingen har vi gått ut fra at det i området mellom 2 grader og 30 grader er en lineært økende motstand.

Identifisere naturbaserte hindre, bygninger og menneskeskapte barrierer

En basisforutsetning for den rasterbaserte tilgjengelighetsmodellen er at den tillater gåing overalt hvor det ikke eksplisitt framgår at det er umulig å bevege seg. Startpunktet er følgelig å utelate arealer som ikke egner seg for gåing. Disse finnes der det er for bratt (se forrige avsnitt), der det er vann, og der det er bygninger (og andre fysiske strukturer som ikke tillater ferdsel).

Alle disse egenskapene lar seg lett automatisk filtrere ut fra FKB-datasettene. Når det gjelder vannflater har vi i denne sammenheng antatt at alle vil utgjøre uoverstigelige barrierer, og at de bare kan krysses dersom det eksplisitt framgår at det finnes en bro tilgjengelig for gående.

Bygningsflate-laget i FKB inneholder ikke bare «solide» bygninger, men også takoverbygg. Vi har i denne første modelloppstillingen antatt at disse kan forseres av gående, men denne forutsetningen kan muligens raffineres noe til senere modellversjoner. Men særlig i bysentra der baldakiner og overbygde gangbroer kan krysse gater og fortausareal uten å påvirke muligheten for å gå (eller tvert om: av og til vil baldakinen gjøre gåing mer fristende), er det hensiktsmessig å se bort fra takoverbygg som ferdselshindre.

Gjennomgangsveger for gående som befinner seg inne i det som defineres som bygninger (arkader, passasjer, bygninger som er konstruert med vide utgansdører i en åre for gangferdsel – slik som f.eks «Byhaven» eller «Trondheim Torg») har vi små muligheter for å representere i denne metodikken, med foreliggende datagrunnlag.

Disse barrierene settes sammen til følgende binære rasterkart vist i figur 20.



Figur 20: Binært kart – grått er områder uten mulighet for ferdsel pga naturgitte og bygde barrierer. Elva og kanalen har flere mulige kryssinger, men slike behandles som egne lag i modellen, og overstyrer barrierelaget.

Områder som i større eller mindre grad er egnet for ferdsel (gåing) prioriteres i rekkefølge i modellen (med vektor

som vist i tabell 4). Hver rastercelle tildeles den høyeste hastighetsfaktoren (vekten) som finnes i datagrunnlaget. Det ivaretar at en og samme rastercelle kan ha flere egenskaper som påvirker ferdselsmuligheten, både fordi gridoppløsningen gjør at flere kartobjekter kan berøre samme celle, og fordi egenskapene finnes i ulike kartlag. Dersom for eksempel en celle er klassifisert som bebygd område utenom bygningene (med hastighetsfaktor vekt 0,8) samtidig som den er berørt av en gangveg (vekt 1,0) tildeles sistnevnte vekt, fordi gangvegen tillater forflytning med større hastighet, selv om det øvrige arealet kanskje har større frihetsgrad med hensyn på retning. Dersom en celle ligger i en bygning eller på vannflate der ferdsel ikke er mulig, blir cellen tilordnet vekt 0, altså uendelig bevegelsesmotstand.

Til sammen vil dette danne et kontinuerlig raster der alle celler er tildelt en bevegelsesmotstand avhengig av terrengform/stigning, og av type arealbruk.

På kart vist i figur 21 er det samlede kostnadsrasteret uten terrengmotstand framstilt. Jo lavere verdi (mot gult i fargeskalaen) jo lettere tilsier arealbruken at det er å bevege seg:



Figur 21: S sammensatt raster over bevegelsesmotstand, "kostnadsraster". Verdier nær 1 (=gult) betyr at bevegelsen er nær uhindret, for eksempel på en gangveg. Høye verdier (=blå) viser høy kostnad, for eksempel ved kryssing av en veg. Hvitt betyr ingen ferdsel/barrier (høytrafikkert veg, vann, skrent, dyrka mark, skog).

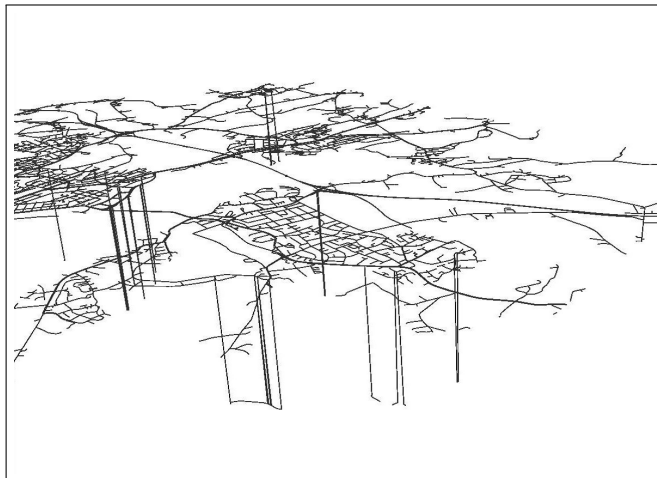
Om framstilling og videre bearbeiding av rasterdatasettet

Hittil i prosessen er det benyttet datasett som hører hjemme under FKB kartdata, tilgjengelige gjennom Norge Digitalt, bearbeidet med funksjoner som de fleste GIS-programmer inneholder, og som dessuten kan automatiseres i ganske høy grad. Det er imidlertid noen feilkilder i data som tilsier at fullføringen av analysen også bør kontrolleres og eventuelt gjennomgå manuelle redigeringer. Det er særlig to sider ved datasettene som kan behøve ekstra ettersyn:

Feil i høydedata

Manglende høyder, eller feil høyder på objekter gir seg utslag i «spikere» over eller under terreng (figur 22). Dersom slike utslag ikke redigeres bort eller glattes vil det kunne resultere i at det stedvis blir generert feil

helninger, og om disse er bratte nok (i eksempelet: over 30 grader) vil ferdselsvegen bli helt avskåret. Det kan altså være behov for manuell kontroll og redigering av høydebasis.



Figur 22: Feil i høydegrunnlaget gir ”spikere” i terrengrasteret

Start og målpunkt må være tilgjengelige

Det er som regel slik at start- og målpunkt i tilgjengelighetsanalyser, på kartet blir liggende inne bygninger, etter- som både befolkningsdata og aktivitetsdata (bedrifter) er adressebaserte. Matrikkelens adressepunkter er nesten alltid sammenfallende med geometrisk tyngdepunkt i bygningene som har adressen tilordnet. Men som det også går fram av beskrivelsen i foregående kapittel, skjer det normalt ingen forflytning gjennom en bygningsflate – bevegelsen har uendelig motstand.



Figur 23: Adressepunkt inne i bygningen, vil ikke få forbindelse med rasteret, og dermed heller ikke få reisetid- eller avstand beregnet

For tilgjengelighetsanalysen innebærer det at for eksempel de punktene som representerer plausible mål, for eksempel forretninger, skoler og annen service, må knyttes til de delene av rasteret som tillater bevegelse. Dette kan etter alt å dømme automatiseres, men for de eksemplene vi legger opp til i denne rapporten har vi i noen tilfeller foretatt manuell flytting av adressepunktene.

3.5.3 Avstandsanalyse, tilgjengelighet framstilt med rastermetode

I eksempelområdet har vi gjennomført en enkel tilgjengelighetskalkulasjon basert på de forutsetningene som er vist i tabell x, samt stigningsfaktoren kalkulert med utgangspunkt i den digitale terrengmodellen. Resultatet er

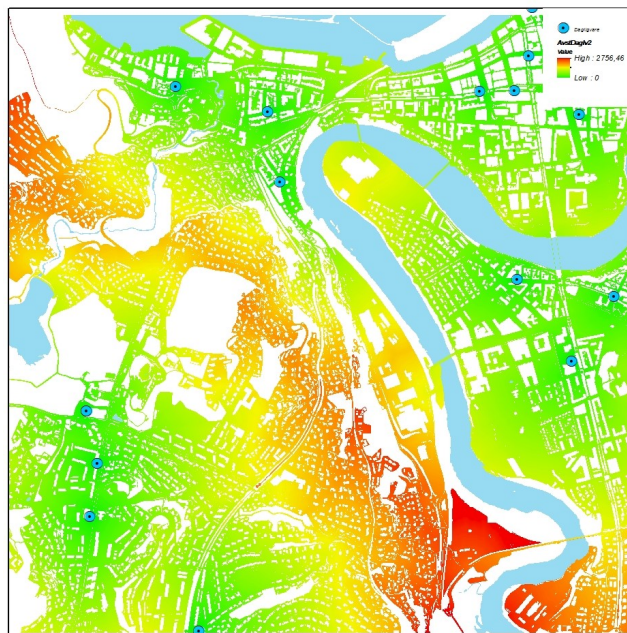


Figur 24: Dagligvareforretning, etter manuell flytting

vist i de etterfølgende kartfigurene.

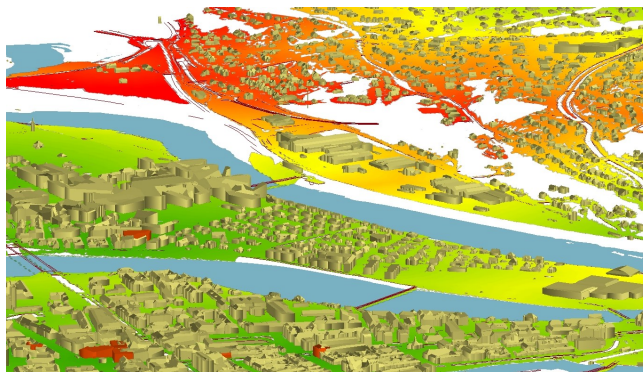
Tilgjengelighet til ett målpunkt: dagligvareforretning

Fra bedriftsregisterdata (uttrekk fra AA-registeret) har vi plukket ut adresser som huser bedrifter med næringsklassifikasjon (NACE) som omfatter dagligvarehandel. Fra disse er rastermetoden brukt for å kalkulere avstander i terrenget, på en slik måte at analysen gir faktisk gangavstand som resultat, vilkåret er at den gående alltid velger retning som gir minst samlet motstand gitt «kostnaden» uttrykt i kostnadsrasteret og terrenghelningen. Gangavstander fra dagligvareforretning er vist i figur 25. Samme beregning, med eksemplet vist som 3D perspektiv sett

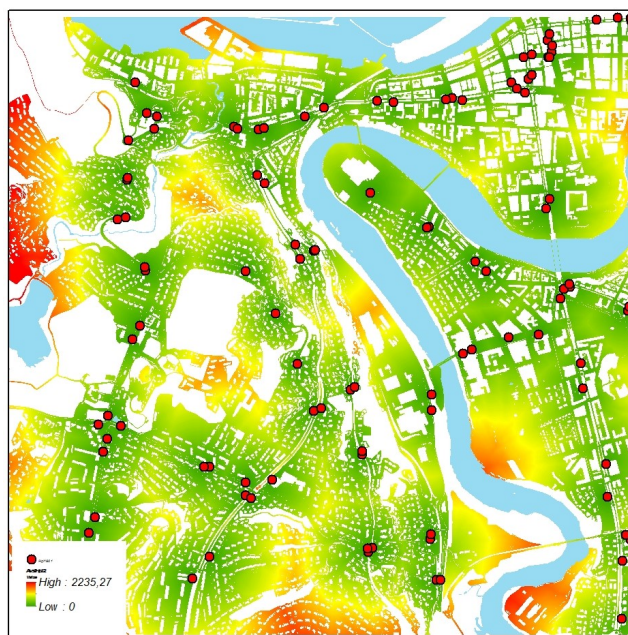


Figur 25: Gangavstand fra dagligvareforretning

fra nord-øst, er vist i figur 26. Dagligvareforretninger markert som røde bygninger: Avstand til bussholdeplass er kalkulert i kartet i figur 27. Her er det ikke differensiert mellom høy- og lavtrafikksholdeplasser, høy eller lav frekvens, men dette er selvsagt mulig dersom man for eksempel legger til et bearbeidet rutedatasett (Regtopp eller GTFS-data) Samme framgangsmåte kan brukes for (f.eks) å beregne en intern gangavstand i kretsene, fra befolkningspunktene til befolkningstyngdepunktet, eller til sonenes påknytningsnoder.



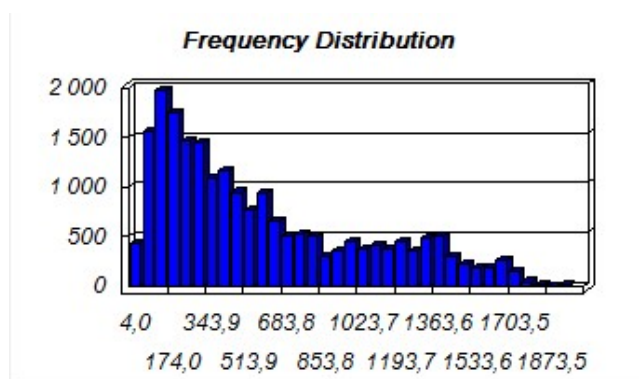
Figur 26: Gangavstand vist i 3d-illustrasjon



Figur 27: Gangavstand til bussholdeplass

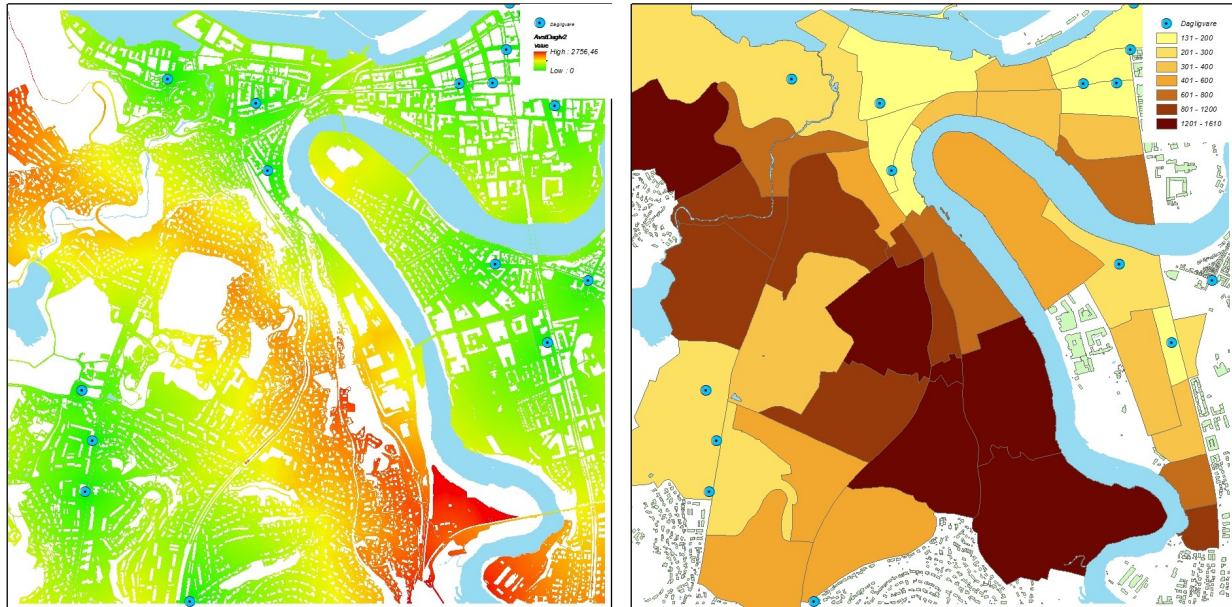
Aggregering av beregningene til grunnkretsnivå

I det kartutsnittet som inngår i eksempelet finner vi fordeling av gangavstand til forretning, se figur 28. I alt



Figur 28: Fordeling av gangavstand til forretning

bor det 21000 mennesker i kartutsnittet, og gjennomsnittlig er gangavstanden bare 582 meter til dagligvareforretning. Legger vi grunnkretskartet oppå utsnittet er det i alt 42 kretser som har størstedelen av sin befolkning innenfor de delene av området der vi har kalkulert gangavstander. Gjennomsnitts gangavstander pr grunnkrets til dagligvareforretning er vist i kartet i figur 29. Aggregering på denne måten vil ikke komme forbi vanskeligheten



Figur 29: Grunnkretsvis gjennomsnittsavstand til dagligvareforretning. Vektet med befolkning pr adresse. Figur 25 gjengitt til venstre.

med at hver grunnkrets (transportzone) blir representert med bare ett uttrykk for internavstand, samtidig som variasjonsområdet innenfor hver sone kan være stort. Dette framgår bl.a. i det neste eksempelet, basert på beregningen av grunnkretsvis avstand til dagligvareforretning. I tabell 5 er vist grunnkretsvis gjennomsnittsverdi, samt største og minste gangavstand til dagligvareforretning målt ved hjelp av rastermetoden. I flere tilfeller er differansen mellom korteste og lengste avstand på over en kilometer. Et gjennomsnittsuttrykk vil følgelig dekke over at valgsituasjonen for den enkelte trafikant kan være svært ulik innenfor hver sone.

4 Oppsummering og videre arbeid

I denne rapporten har vi presentert en metode for å beregne ulik avstand for grunnkretsinterne reiser for bil og gange. Det er viktig at avstander for bil og gange er forskjellig for å kunne modellere konkurranseflaten mellom å kjøre eller å gå korte turer. Metoden baserer seg på tre ulike prinsipper for å beregne gjennomsnittlig avstand for grunnkretsinterne reiser:

1. Avstand beregnet fra avstand i nettverket. Denne avstanden benyttes for bruk av bil og representerer den lengste mulige internavstand.
2. Avstand beregnet fra luftlinje mellom punkt. Dette representerer den absolutt korteste mulige internavstand, men kan ikke benyttes i transportmodellen.
3. Avstand beregnet fra tilgjengelighetsanalyse i raster-GIS. Denne avstanden gir en tilnærming til riktig gangavstand.

Beregning av avstander fra nettverk og avstander fra raster-GIS krever at inndata som benyttes er av best mulig kvalitet og beskriver de hinder som faktisk finnes i en grunnkrets. En spesiell utfordring i inndata til raster-GIS-metoden er manglende datasett som beskriver gjerder og private hager som det ikke er mulig å krysse.

Tabell 5: Gjennomsnittlig, største og minste gangavstand (i meter) til dagligvareforretning, fra hver grunnkrets. Avstanden er vektet med befolkningsmengden i hvert punkt med befolkning

GRUNNKRETS	Befolkning	Snitt avstand	Min avstand	Max avstand
16014101	97	1 120	970	1 356
16011309	80	739	669	814
16015109	562	494	43	1 021
16015108	910	589	276	889
16015103	520	1 552	1 287	1 768
16011307	351	378	237	683
16015121	608	542	181	874
16015120	510	296	83	639
16015110	539	1 252	723	1 743
16015111	27	1 426	1 386	1 465
16015114	910	874	408	1 446
16011306	322	211	82	284
16011304	308	394	152	557
16011305	254	136	64	273
16011117	200	1 610	1 207	1 857
16015116	813	229	17	641
16015112	203	1 093	683	1 395
16015113	571	1 223	745	1 480
16015117	13	346	241	840
16011115	55	853	645	1 080
16015118	428	952	760	1 124
16011116	143	736	303	1 647
16011303	670	245	40	514
16011212	294	607	456	695
16011112	187	1 193	917	1 397
16011111	670	1 005	572	1 295
16011109	227	538	244	1 135
16011301	704	483	120	843
16011210	182	372	276	451
16011108	95	180	63	284
16011107	483	131	5	239
16011209	349	150	39	231
16011208	500	389	228	536
16011106	27	379	317	441
16011207	397	133	6	217
16011110	233	657	339	1 041
16011202	363	393	259	538
16011113	677	1 443	943	1 756
16011203	598	188	49	316
16011105	1102	197	16	414
16011104	1600	285	55	653

Metodene er utviklet for å kunne tas i bruk hvor som helst i Norge og er basert på datakilder som er tilgjengelig uten lokale initiativ og manuelt registreringsarbeid. Ikke alle datakilder er offentlig tilgjengelig, spesielt FKB-data, arbeidsplasser og boliger. Dette er imidlertid data som finnes for hver kommune, og skal kunne være tilgjengelig til enkeltprosjekter. Dette vil derfor ikke være en metode som en konsulent kan åpent benytte uten å ha klartlagt tilgang til data. Dette skiller seg fra RTM-modellen med at det ikke finnes noen restriksjoner på bruk annet enn nødvendige programvarelisenser.

Metodene har blitt utviklet med spesiell tanke på at sensitive inndata er anonymisert og aggregert i sluttresultatet.

4.1 Forslag til videre arbeid

Det har ikke vært rammer eller mandat i dette prosjektet til å etablere en strømlinjet robust arbeidsflyt og applikasjon for å beregne internavstand til en transportmodell. Denne kan benyttes av alle som har tilgang til de nødvendige inndata, og metodikken er mulige å ta i bruk basert på den kildekode som har blitt utviklet i løpet av prosjektet.

Metodene som har blitt utviklet kan benyttes til andre deler av transportmodellen i tillegg til å beregne internavstand. Avsnitt 1.1.1 beskriver blant annet lenken på sonetilknytningene som representerer gjennomsnittavstanden fra tyngdepunktet i sonen til det punktet hvor det kjøres eller gåes inn i grunnkretsen. Denne avstanden kan også beregnes langs nettverk til alle boliger og fra raster-GIS.

Avsnitt 1.1.1 nevner problemstillingen med avstand langs nettverket mellom nabogrunnkretser, hvor forflytningen foregår langs sonetilknytningen ut av grunnkretsen, langs nettverket og inn igjen til nabogrunnkretsen. Dette kan føre til kunstig lange avstander mellom nabogrunnkretser. De beskrevne metodene kan benyttes til å beregne riktigere avstander ikke bare internt men også mellom grunnkretser.

I RTM blir avstand til holdeplasser beregnet som avstanden på sonetilknytningen og videre langs nettverket til en holdeplass. Dette kan gi veldig lange avstander hvis grunnkretsen er stor. Raster-GIS-metoden er velegnet til å beregne avstander til bussholdeplasser (figur 27 i avsnitt 3.5.3).

Avsnitt 2.4 beskriver utfordringene vi har med grunnkrets som minste geografiske område i en transportmodell. Dette gjelder spesielt for store grunnkretser. Hvis det norske modellsystemet skal ta bedre hensyn til gange, burde det vært sett på om grunnkrets er riktig inndeling av soner, eller om det burde vært laget en finere inndeling av sonene. Mindre soner ville gitt en mer nøyaktig beregning av avstand for gangturer, men vil også by på utfordringer:

- Flere soner i en modell gir større beregningstid.
- Grunnlagsdata som er offentlig tilgjengelig finnes ikke for mindre enheter enn grunnkretser. En oppsplitting av soner krever derfor også en fordeling av grunnkretsdata.

I dette arbeidet har vi kommet fram til ulike metoder for å beregne internavstand for bil og gange. Videre må metodene prøves i en transportmodell for et byområde for å analysere hvordan ny beregning av internavstand slår ut i valg av transportmiddel og reiselengder. Prosjektet viser i tillegg at det er mulig å beregne avstander internt i en grunnkrets som er forskjellig for ulike reiseformål (innkjøp, skole, arbeid) og dette kan vurderes inn i utvikling av neste generasjoner av etterspørselsmodellen.

Referanser

- Berge, Guro, Ellen Haug & Lillebill Marshall (2012): *Nasjonal gåstrategi. Strategi for å fremme gåing som transportform og hverdagsaktivitet*. Rapport 2012/87, Statens Vegvesen Vegdirektoratet, Oslo.
- Buchanan, Colin (1963): *Traffic in towns*.
- Cervero, Robert (1989): *Jobs-housing balancing and regional mobility*. *Journal of the American Planning Association*, 55(2):136–150, doi:10.1080/01944368908976014.
- Cervero, Robert & Michael Duncan (2003): *Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the san francisco bay area*. *American journal of public health*, 93(9):1478–1483, ISSN 0090-0036.
- Cervero, Robert & Kara Kockelman (1997): *Travel demand and the 3ds: density, diversity, and design*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3):199–219, ISSN 1361-9209.
- Clifton, Kelly J., Patrick A. Singleton, Christopher D. Muhs & Robert J. Schneider (2015): *Development of a pedestrian demand estimation tool*. Report, National Institute for Transportation and Communities (NITC).
- Delamater, Paul L, Joseph P Messina, Ashton M Shortridge & Sue C Grady (2012): *Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods*. *International Journal of Health Geographics*, 11(1):15, doi:10.1186/1476-072X-11-15, URL <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-11-15>.
- Hjorthol, Randi, Øystein Engebretsen & Tanu Priya Uteng (2014): *Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2013/14 - nøkkelrapport*. TØI-rapport 1383/2014, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Jacobs, Jane (1961): *The death and life of great American cities*. Random House LLC, ISBN 067974195X.
- Madslie, Anne, Jens Rekdal & Odd I. Larsen (2005): *Utvikling av regionale modeller for persontransport i Norge*. TØI-rapport 766/2005, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Malmin, Olav Kåre (2009a): *Systembeskrivelse Regionalmodell versjon 2.0*. SINTEF-rapport A12849, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.
- Malmin, Olav Kåre (2013): *CUBE-Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell versjon 3.3*. SINTEF-rapport A24718, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.
- McNally, Michael G & Anup Kulkarni (1997): *Assessment of influence of land use-transportation system on travel behavior*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1607(1):105–115, ISSN 0361-1981.
- Rekdal, Jens (2007): *Etablering av RTM for Oslo og omegn (RTM23). Sammenstilling av resultater fra Fredrik, PRVU01 og RTM23*. Rapport 0703, Møreforskning Molde AS, Molde.
- Rekdal, Jens, Tom N. Hamre, Arne Løkketangen, Wei Zhang & Odd I Larsen (2014): *Inkludering av innfartsparkering i Tramod_By: Tramod_IP*. Rapport 1416, Møreforskning Molde AS, Molde.
- Rekdal, Jens, Odd I. Larsen, Arne Løkketangen & Tom N. Hamre (2012): *TraMod_By Del 1: Etablering av nytt modellsystem*. Rapport 1203, Møreforskning Molde AS, Molde.
- Saelens, Brian E. & Susan L. Handy (2008): *Built environment correlates of walking: a review*. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7 Suppl):S550, ISSN 0195-9131, doi:10.1249/MSS.0b013e31817c67a4.
- Schneider, Kelly J. Clifton; Patrick A. Singleton; Christopher D. Muhs; Robert J. (2015): *Development of a pedestrian demand estimation tool*. Report, National Institute for Transportation and Communities (NITC).
- Speck, J. (2012): *Walkable City: How Downtown Can Save America, One Step at a Time*. Farrar, Straus and Giroux, ISBN 9780374285814, URL <http://books.google.no/books?id=DM8AsqteissC>.

Statens forurensningstilsyn (2001): *Samordning av arealbruk og transport - verktøy for planlegging. Utprøving av ATP-modellen i fire fylker – erfaringer og eksempler*. Rapport TA-1834/2001, Oslo.

Statistisk sentralbyrå (1999): *Regionale inndelinger. En oversikt over standarder i norsk offisiell statistikk*.

Tørset, Trude (2013): *CUBE-Regional persontransportmodell versjon 3*. SINTEF-rapport A24717, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.

Tørset, Trude, Olav Kåre Malmin, Snorre Ness, Ina Abrahamsen & Oskar Kleven (2008): *Regionale modeller for persontransport. Modellbeskrivelse*. SINTEF-rapport A3973, SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.

Walberg, Runar (2015): *Fotgjengervennlige omgivelser*. Masteroppgave, NTNU.

Vedlegg: Anbefalt litteratur

- Abbotsford (2015): *Abbotsforward - ocp update*. URL <http://www.abbotsford.ca/Assets/2014+Abbotsford/Planning+and+Development/OCP+Update/Street+Connectivity.jpg>.
- Alfonzo, Mariela A (2005): *To walk or not to walk? the hierarchy of walking needs*. *Environment and Behavior*, 37(6):808–836, ISSN 0013-9165.
- Backer-Grøndahl, A, AH Amundsen, A Fyhri & P Ulleberg (2007): *Trygt eller truende. Opplevelse av risiko på reisen*, 913:2007.
- Baran, Perver K, Daniel A Rodríguez & Asad J Khattak (2008): *Space syntax and walking in a new urbanist and suburban neighbourhoods*. *Journal of Urban Design*, 13(1):5–28, ISSN 1357-4809.
- Bento, Antonio M, Maureen Cropper, Ahmed Mushfiq Mobarak & Katja Vinha (2003): *The impact of urban spatial structure on travel demand in the united states*. *World Bank policy research working paper*, (3007).
- Berge, Guro, Ellen Haug & Lillebill Marshall (2012): *Nasjonal gåstrategi*. Report, Statens Vegvesen.
- Berghauser Pont, MY & Per André Haupt (2009): *Space, Density and Urban Form*. TU Delft, Delft University of Technology, ISBN 9052693757.
- Bjørndal, Marianne Tranberg, Kjersti Nygaard & Tom Erik Julsrud (2013): *Transportundersøkelse for universitetet i oslo*. Report.
- Boarnet, Marlon G, Michael Greenwald & Tracy E McMillan (2008): *Walking, urban design, and health toward a cost-benefit analysis framework*. *Journal of Planning Education and Research*, 27(3):341–358, ISSN 0739-456X.
- Boer, Rob, Yuhui Zheng, Adrian Overton, Gregory K Ridgeway & Deborah A Cohen (2007): *Neighborhood design and walking trips in ten us metropolitan areas*. *American journal of preventive medicine*, 32(4):298–304, ISSN 0749-3797.
- Buchanan, Colin (1963): *Traffic in towns*.
- Cao, Xinyu Jason, Patricia L Mokhtarian & Susan L Handy (2009): *The relationship between the built environment and nonwork travel: A case study of northern california*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(5):548–559, ISSN 0965-8564.
- Cervero, Robert & Michael Duncan (2003): *Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the san francisco bay area*. *American journal of public health*, 93(9):1478–1483, ISSN 0090-0036.
- Cervero, Robert & Kara Kockelman (1997): *Travel demand and the 3ds: density, diversity, and design*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3):199–219, ISSN 1361-9209.
- Cortright, Joe (2009): *Walking the walk: How walkability raises home values in us cities*.
- Delamater, Paul L, Joseph P Messina, Ashton M Shortridge & Sue C Grady (2012): *Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods*. *International Journal of Health Geographics*, 11(1):15, doi:10.1186/1476-072X-11-15, URL <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-11-15>.
- Duany, Andres, Elizabeth Plater-Zyberk & Jeff Speck (2000): *Suburban nation*.
- Duranton, Gilles & Matthew A Turner (2011): *The fundamental law of road congestion: Evidence from us cities*. *The American Economic Review*, pages 2616–2652, ISSN 0002-8282.

- Elvik, Rune & Torkel Bjørnskau (2005): *How accurately does the public perceive differences in transport risks?: an exploratory analysis of scales representing perceived risk*. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6):1005–1011, ISSN 0001-4575.
- Engebretsen, Øystein & Petter Christiansen (2011): *Bystruktur og transport*. Transportøkonomisk institutt. TØI rapport, 1178:2011.
- Evjen, Kristin (2010): *Gående i vestre del av kvadraturen*. Report.
- Ewing, Reid, Michael Greenwald, Ming Zhang, Jerry Walters, Mark Feldman, Robert Cervero, Lawrence Frank & John Thomas (2010): *Traffic generated by mixed-use developments—six-region study using consistent built environmental measures*. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(3):248–261, ISSN 0733-9488.
- Ewing, Reid H (1999): *Pedestrian-and transit-friendly design: a primer for smart growth*.
- Fan, Yingling (2007): *The built environment, activity space, and time allocation: An activity-based framework for modeling the land use and travel connection*. THE UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT CHAPEL HILL, ISBN 0549123865.
- Frank, Lawrence, Mark Bradley, Sarah Kavage, James Chapman & T Keith Lawton (2008): *Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice*. *Transportation*, 35(1):37–54, ISSN 0049-4488.
- Frank, Lawrence D, S Kavage, M Greenwald, J Chapman & M Bradley (2009): *I-place3s health and climate enhancements and their application in king county*. Seattle, WA: King County HealthScape.
- Frank, Lawrence D. & Gary Pivo (1994): *Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: Single-occupant vehicle, transit, and walking*. Report, Transportation Research Board, URL <http://reconnectingamerica.org/assets/Uploads/Frank-and-Pivo.pdf>.
- Fruin, John J (1971): *Pedestrian planning and design*. Report.
- Gehl, Jan (1987): *Livet mellom husene: udeaktiviteter og udemiljøer*. Arkitektens forlag, ISBN 8774070819.
- Gehl, Jan (2010): *Byer for mennesker*. Bogværket, ISBN 8792420117.
- Hagson, Anders (2004): *Stads-och trafikplaneringens paradigm: en studie av SCAFT 1968, dess förebilder och efterföljare*. Chalmers University of Technology, ISBN 917291548X.
- Handy, Susan, Xinyu Cao & Patricia L Mokhtarian (2006): *Self-selection in the relationship between the built environment and walking: Empirical evidence from northern california*. *Journal of the American Planning Association*, 72(1):55–74, ISSN 0194-4363.
- Helsedirektoratet (2008): *Aktivitetshåndboken - fysisk aktivitet i forebygging og behandling*. Report.
- Herrstedt, Lene (1981): *Fodgængertrafik i byområder*. Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Højskole.
- Hess, Paul M, Anne Vernez Moudon, Mary Catherine Snyder & Kiril Stanilov (1999): *Site design and pedestrian travel*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1674(1):9–19, ISSN 0361-1981.
- Hjorthol, Randi, Øystein Engebretsen & Tanu Priya Uteng (2015): *Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2013/14 - nøkkelrapport*. Report, Transportøkonomisk institutt.
- Hjorthol, Randi, Julie Runde Krogstad & Aud Tennøy (2013): *Gåstrategi for eldre - kunnskapsgrunnlag for planlegging i kristiansand*. Report.

- Jacobs, Allan B (1993): *Great streets*. ACCESS Magazine, 1(3).
- Jacobs, Jane (1961): *The death and life of great American cities*. Random House LLC, ISBN 067974195X.
- Jacobsen, Peter L (2003): *Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling*. *Injury prevention*, 9(3):205–209, ISSN 1475-5785.
- Kitamura, Ryuichi, PatriciaL Mokhtarian & Laura Laidet (1997): *A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the san francisco bay area*. *Transportation*, 24(2):125–158, ISSN 0049-4488, doi:10.1023/A:1017959825565, URL <http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1017959825565>.
- Kockelman, Kara Maria (1997): *Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from san francisco bay area*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1607(1):116–125, ISSN 0361-1981.
- Lea, Rolv (2012): *Klimaeffekt av økt sykling og gåing, og suksesskriterier for økt sykling*. Report, Civitas AS.
- Manaugh, Kevin & Tyler Kreider (2013): *What is mixed use? presenting an interaction method for measuring land use mix*. *Journal of Transport and Land Use*, 6(1):63–72, ISSN 1938-7849.
- Manelli, Stefano (2012): *Reconciling urbanism and mobility*. URL http://www.slideshare.net/smanelli_citec/800890-sofia-reconciling-urban-planning-and-transport-citec20121011.
- McNally, Michael G & Anup Kulkarni (1997): *Assessment of influence of land use-transportation system on travel behavior*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1607(1):105–115, ISSN 0361-1981.
- Meland, Solveig & Marianne Elvsaa Nordtømme (2014): *Reisevaneundersøkelse for bergensområdet 2013*. Report.
- Miljødirektoratet (2012): *Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging*. URL <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tjenester-og-verktoy/Veileder/Veiviser-til-stoyregelverket/Stoykilde/Vegtrafikk/>.
- Miljødirektoratet (2015): *Utslipp av klimagasser fra transport*. URL <http://www.miljostatus.no/Tema/Klima/Klimanorge/Kilder-til-utslipp-av-klimagasser/Transport/>.
- Naess, Petter (2006): *Accessibility, activity participation and location of activities: exploring the links between residential location and travel behaviour*. *Urban studies*, 43(3):627–652, ISSN 0042-0980.
- Nistov, Sverre & Asle Farner (1973): *Til fots : planlegging med hensyn til fotgjengeren*. Report.
- Nordahl, Berit (1999): *Tid tilbrakt i boligområdet*. Report.
- Norheim, B & A Ruud (2007): *Kollektivtransport-utfordringer, muligheter og løsninger for byområder*.
- Painter, Kate (1996): *The influence of street lighting improvements on crime, fear and pedestrian street use, after dark*. *Landscape and urban planning*, 35(2):193–201, ISSN 0169-2046.
- Pushkar, Anna O, Brian J Hollingworth & Eric J Miller (????): *A multivariate regression model for estimating greenhouse gas emissions from alternative neighborhood designs*. In *79th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.
- Refsnes, Magne, Marit Låg, Ragna B Hetland & Per E Schwarze (2004): *Helseeffekter av byluftpartikler*. *Norsk epidemiologi*, 14(2), ISSN 0803-2491.

- Rodríguez, Daniel A & Joonwon Joo (2004): *The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2):151–173, ISSN 1361-9209.
- Ruter (2012): *Prinsipper for linjenettet*. Report.
- Samferdselsdepartementet (2013): *Meld. st. 26 - nasjonal transportplan 2014 – 2023*.
- Schneider, Kelly J. Clifton; Patrick A. Singleton; Christopher D. Muhs; Robert J. (2015): *Development of a pedestrian demand estimation tool*. Report, National Institute for Transportation and Communities (NITC).
- Schneider, Robert J (2013): *Theory of routine mode choice decisions: An operational framework to increase sustainable transportation. Transport Policy*, 25:128–137, ISSN 0967-070X.
- Schneider, Robert J, Lindsay S Arnold & David R Ragland (2009): *Methodology for counting pedestrians at intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2140(1):1–12, ISSN 0361-1981.
- Schneider, Robert James (2011): *Understanding sustainable transportation choices: Shifting routine automobile travel to walking and bicycling. University of California Transportation Center*.
- Schoner, Jessica & X Cao (2013): *Walking for purpose and pleasure: Influences of light rail, the built environment, and residential self selection on pedestrian travel*.
- Selberg, Knut (????): *Gater, byforming og volumkontroller*. In *Forskjellen mellom veg og gate - hva er det?*
- Simonsen, Steinar (2014): *Kollektivtransportplanlegging i praksis*.
- Singleton, Patrick Allen (2013): *A Theory of Travel Decision-Making with Applications for Modeling Active Travel Demand*. Thesis.
- Soltani, Ali & Andrew Allan (2006): *Analyzing the impacts of microscale urban attributes on travel: Evidence from suburban adelaide, australia. Journal of urban planning and development*, 132(3):132–137, ISSN 0733-9488.
- Speck, J. (2012): *Walkable City: How Downtown Can Save America, One Step at a Time*. Farrar, Straus and Giroux, ISBN 9780374285814, URL <http://books.google.no/books?id=DM8AsqteissC>.
- Staff, Simen Auli (2010): *Barrierer, fragmentering og ekspansjon. en space syntax-analyse av gatestruktur og sentrumsutvikling i larvik by*.
- Strømmen, Kathrine (2001): *Rett virksomhet på rett sted*.
- Sælensminde, Kjartan & Einar Torkilseng (2010): *Vunne kvalitetsjusterte leveår (qalys) ved fysisk aktivitet*. Report.
- Sørensen, Michael & Marjan Mosslemi (2009): *Subjective and objective safety*.
- Targa, Felipe & Kelly J Clifton (2005): *Built environment and nonmotorized travel: evidence from baltimore city using the nhts. Journal of Transportation and Statistics*, 8:55.
- Thune-Larsen, Harald, Knut Veisten, Kenneth Løvold Rødseth & Ronny Klæboe (2014): *Marginale eksterne kostnader ved vegtrafikk*. Report.
- TØI (2006): *Turproduksjon for boliger i oslo og akershus*. Report 137/2006.
- Universitetet i Bergen (2009): *Reisevaneundersøkelse 2009 - universitetet i bergen*. Report.

- Untermann, R.K. & L. Lewicki (1984): *Accommodating the Pedestrian: Adapting Towns and Neighborhoods for Walking and Biking*. Van Nostrand Reinhold, ISBN 9780442288235, URL <http://books.google.no/books?id=UW1PAAAAAAAJ>.
- Vanberg, Vidar (1990): *Etableringsbetingelser for handel og personlig tjenesteyting*. Oslo.
- Viak, Asplan (2003): *Turproduksjonstall for kontorbedrifter og kjøpesentre*. Report 103/2003.
- Walberg, Runar (2015): *Fotgjengervennlige omgivelser*. Thesis.
- Whyte, William H (1988): *City: Rediscovering the center*. University of Pennsylvania Press, ISBN 081220834X.
- William, Whyte (1980): *The social life of small urban spaces*. Conservation foundation. Washington DC.
- Zhang, Ming (2004): *The role of land use in travel mode choice: evidence from boston and hong kong*. *Journal of the American Planning Association*, 70(3):344–360, ISSN 0194-4363.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no