

Overlappende stationsoplande: Bestemmelse af passagerpotentialer

Valdemar Warburg, stud.polyt., valde@post.com

Iben Rue, stud.polyt., ibenrue@hotmail.com

Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

Resumé

Ved planlægning af kollektive trafik anlæg indgår bestemmelse af passagergrundlaget som en vigtig del. Passagergrundlaget defineres ved hjælp af passagerpotentialet, som antallet af potentielle passagerer i stationernes oplande. Når flere stationers oplande overlapper, kompliceres situationen, idet der nu opstår konkurrence mellem linierne. Formålet med denne artikel er derfor at opstille nogle generelle formler til beregning af potentialet af overlappende oplande. Disse formler skal bygge på en række antagelser om, hvad der sker i forbindelse med overlap.

Der gøres to vigtige antagelser i den forbindelse. Den første er, at der vil ske en forøgelse af antallet af rejser i områder, som ligger i oplandet for mere end én linie (station). Den anden er, at stationer, hvis oplande overlapper, konkurrerer om kunderne, og at forøgelsen dermed ikke kan overstige 100 %. Forøgelsesprocenten præsenteres herefter som en eksponentielt aftagende funktion af antallet af overlap med den begrundelse, at den skal gå mod 0, når antallet af overlap stiger, men samtidig ikke må blive negativ. For at bestemme de forskellige liniers andele af potentialekoefficienten er der udviklet en funktion, som fastsætter andelen ud fra liniernes attraktivitetsgrader og de overlappende zonekoefficienter.

Potentialet har hidtil, som i Jacobsen og Larsen (1999), været defineret på baggrund af antal arbejdspladser og boliger. I denne artikel foreslås det, at udtrykket udvides med et såkaldt kundeattraktionsled, for at tage hensyn til den andel af rejser, som ikke er bolig-arbejdsstedsrejser. Der kan dog være en del datavanskeligheder forbundet derved.

De udledte formler for potentialerne anvendes i en case med en letbanestrækning i det indre København, hvor der opstilles fem scenarier med forskellige stationsplaceringer. Forskellen mellem den traditionelle oplandsinddeling i nær- og fjernopland, og en mere detaljeret oplandsinddeling med 10 oplandszoner undersøges, og der bliver desuden taget hensyn til overlap i den detaljerede inddeling. Resultaterne viser tydelige forskelle på scenariernes rangorden samt deres indbyrdes afvigelser i potentiale. Dette hænger dog i høj grad sammen med, i hvor høj grad stationsoplandene på en given linie overlapper.

Keywords: Stationsoplande, overlap, passagerpotentialer, potentialekoefficient, kundeattraktion, tilbringergeografi, letbaner, linieføring, attraktivitetsgrad, oplandszone, kollektiv trafik.

1 Indledning

I forbindelse med planlægning af den kollektive trafik er undersøgelser af passagergrundlaget til en given linieføring en vigtig del. Passagergrundlaget er afgørende for bl.a. forventede bil-

letindtægter, og ved valg mellem flere forskellige linier eller linieføringer kan passagergrundlaget vise hvilken løsning, der vil give flest passagerer for pengene. Ofte bruges betegnelsen *stationspotentiale* som mål for passagergrundlaget, og det er beregning af dette potentiale som er hovedformålet med denne artikel.

Den eksisterende litteratur er forholdsvis sparsom på teori om stationsoplande. Der er dog gjort en del betragtninger, navnlig når det gælder spørgsmålet om, hvor langt passagerer er villige til at gå til en station. Ege (1995) har undersøgt tilbringergeografien for 15 forskellige S-togsstationer, og er kommet frem til, at godt 40 % af passagererne går til stationen. Han konkluderer endvidere at gang er dominerende for afstande indtil 600 m fra stationen, og stadig størst indtil 900 m, hvorefter cykel overtager. O'Sullivan og Morrall (1996) beregner en gennemsnitlig gåafstand til stationen på 649 m for byen Calgary som helhed, og på 326 m for dens centrale letbanestationer. Christiansen (2000) får tilsvarende værdier i sin undersøgelse af busstoppesteder. Københavns Kommune (2005) benytter et stationsopland på 600 m i deres planredegørelse for metroringen, mens HUR (2000) definerer en radius på 1000 m fra stationerne i deres stationsnærhedsprincip.

Et relateret emne, som næsten ikke er blevet undersøgt, er, hvordan overlappende stationsoplande bør behandles, både for stationer på den samme linie samt for forskellige linier. Dette har stor betydning når det samlede potentiale for en linie beregnes, idet oplandene ellers vil tælle dobbelt. Schittenhelm og da Silva (2002) bruger en fordelingsnøgle med vurderede vægtninger, som bygger på attraktivitetsgrader for henholdsvis en letbane og et S-tog, samt på to forskellige oplandsafstande. Der regnes dog ikke med en generel potentialeforøgelse pga. bedre tilgængelighed. Rue og Warburg (2004), Johansen (2005) og Andersen (2006) regner også med to oplandszoner (nær- og fjernopland) og indfører en generel (men dog vurderet) potentialeforøgelse for overlap, og Rue og Warburg (2004) lader endvidere de forskellige liniers egenandele blive en funktion af attraktivitetsgrad og oplandsafstand.

Formålet med denne artikel er at forsøge at opstille nogle generelle formler, der kan bruges til at bestemme passagerpotentialer i områder med overlappende stationsoplande, uden brug af på forhånd fastsatte antagelser om for eksempel afstande. Således søges antagelserne ovenfor udvidet til at indeholde et vilkårligt antal overlap, et vilkårligt antal oplandszoner med vilkårlig radius, og ydermere bliver potentialeforøgelsen en funktion af de overlappende oplande. Da udtrykkene udelukkende skal bruges som beslutningsgrundlag for sammenligningen af forskellige linieføringer, er det dog underordnet om det er potentialer eller faktiske passagertal som benyttes, da det vil være differenser, der arbejdes med. Fokus ligger desuden på det samlede potentiale for hvert givent scenarium, dvs. passagergrundlaget for hele linien og ikke fordelt på de enkelte stationer.

Artiklen er opbygget i fire dele. I afsnit 2 defineres begreberne opland og potentiale, som de anvendes i artiklen og det diskuteres, hvilke faktorer der genererer og attraherer passagerer; arbejdspladser, befolkning og den såkaldte kundeattraktionsfaktor. I afsnit 3 gennemgås selve problemstillingen med overlappende stationsoplande, og der udledes matematiske udtryk for den potentialeforøgelse der forekommer ved overlap mellem et vilkårligt antal oplande. I afsnit 4 gennemgås en case fra København, som har til formål at afprøve de formler, der blev udledt i afsnit 3. Afsnit 5 konkluderer på resultaterne.

2 Oplande og potentialer

Et *opland* (eller *stationsopland*) er et areal rundt om en station, hvorfra den kollektive trafiklinie kan forventes at hente sine lokale passagerer. Der ses i denne forbindelse bort fra passa-

gerer der skifter transportmiddel på den pågældende station. Oplandet afgrænses enten ved en cirkel med en given radius, eller en "amøbeform" fremkommet ved beregning af tidsafstand til stationen ved gang (Landex et al., 2006). Oplandet afgrænses sædvanligvis af antagelser om, hvor langt de potentielle passagerer er villige til at gå for at komme til stationen, alternativt hvor meget tid de er villige til at bruge på at komme til stationen. Desuden inddeles oplandet ofte i et nær- og et fjernopland som det ses i for eksempel Landex (2003), Rue og Warburg (2004) og Andersen (2006), men det kan principielt set inddeles i vilkårligt mange *zoner*, dvs. ringe rundt om stationen (se eventuelt principskitsen på Figur 1). Da det desuden antages, at andelen af passagerer i en zone, som er villige til at gå (eller evt. cykle) til stationen, er mindre jo længere væk fra stationen zonen ligger, knyttes der til hver zone en såkaldt *zonekoefficient*, for at tage højde for dette. Zonekoefficienten er en konstant mellem 0 og 1, hvor den nærmeste zone sædvanligvis vil have koefficienten 1. Dette svarer til en antagelse om at 100 % af potentialet bliver udnyttet, når området ligger lige ved siden af stationen.

Potentialet (eller *passagerpotentialet*) angiver et mål for hvor mange potentielle passagerer der er i et givent område. Som det fremgår af nedenstående afsnit, udregnes potentialet som en vægtet sum af antallet af boliger og arbejdspladser i området.

2.1 Befolkning og arbejdspladser

Potentialet skal afspejle de forskellige turformål, passagererne har. I traditionelle trafikmodeller indgår bolig-arbejdsstedsrejser ofte som den væsentligste bidragsyder til den totale trafikmængde (Foller, 1999). De to væsentlige faktorer i potentialet er derfor befolkningsantal og arbejdspladser. Beboede områder genererer ture, og arbejdspladser attraherer ture. Arbejdspladser genererer dog også ture (for eksempel rene erhvervsture), ligesom befolkede områder attraherer ture (for eksempel i form af sociale ture). Arbejdspladser attraherer ydermere passagerer, som ikke er ansatte, men som for eksempel er kunder i butikker. Således synes arbejdspladser at attrahere flere passagerer end befolkningen genererer. Med denne antagelse som baggrund har Jacobsen & Larsen (1999) defineret følgende formel til beregning af potentialet:

$$\text{Potentiale} = \text{Befolkning} + 1,75 \cdot \text{Arbejdspladser} \quad (1)$$

2.2 Kundeattraktion

Den førnævnte tiltrækning af ikke-ansatte til arbejdspladser, kan kaldes for en kundeattraktion. I (1) tages der dog ikke højde for, at rekreative områder også attraherer passagerer. Eksempler på dette er parker, strande og idrætsfaciliteter. Disse områder har ingen eller meget få arbejdspladser, men tiltrækker alligevel passagerer. Derudover antager (1) også at kundeattraktionen er proportional med antallet af arbejdspladser. Dette er måske en realistisk antagelse, når det gælder butikker, hvor der ofte vil være et tilnærmelsesvis konstant antal medarbejdere per kunde. Men ved fx. stadions, teatre, museer og lignende vil der oftest være et andet forhold mellem antal arbejdspladser og antal brugere (kunder). Der kan derfor argumenteres for, at indsætte et ekstra led i (1) som korrigerer for kundeattraktion, der er uafhængigt af antal arbejdspladser. Dermed bliver udtrykket for potentialet:

$$\text{Potentiale} = c_1 \cdot \text{Befolkning} + c_2 \cdot \text{Arbejdspladser} + c_3 \cdot \text{Kundeattraktion} \quad (2)$$

Alternativt kan arbejdspladserne deles op i typer alt efter hvor mange kunder, der attraheres til arbejdspladsen. Dermed kan rekreative arealer anses for at være arbejdspladser med meget få medarbejdere men til gengæld mange "kunder". Dermed ville arbejdspladsleddet se ud som

følger: $c_k \cdot \text{Arbejdsplads}_{\text{type } k}$. Her skal arbejdspladser forstås i en meget bred betydning, således at fx parker og strande også anses for arbejdspladser.

Et andet problem med nogle rekreative områder er, at de oplever en spidsbelastning i en enkelt periode og næsten ingen passagerer i andre perioder. Eksempler på sådanne steder er Parken på Østerbro, Roskilde Festivalplads og Fælledparken på 1. maj. For befolkningsområder gælder det især sommerhusområder, som kun sæsonmæssigt er beboet. Her skal det vurderes hvorvidt spidsbelastningen er stor nok til, at der skal regnes med ekstra passagerer.

Der er således en del usikkerheder forbundet med udtrykket for potentiale, og konstanterne, c_1 , c_2 og c_3 , bør vurderes for hvert enkelt projekt, og hver enkelt by. Problemet med kundeattraktionsleddet er dog, at det ofte vil være svært at finde data. En mulig datakilde for danske projekter er CVR-registret, hvor hver eneste virksomhed er registreret sammen med antallet af medarbejdere. Her kunne virksomhederne opdeles efter type og antal arbejdspladser, og dermed tildeles kundeattraktionsfaktorer. CVR-registret skal dog så overføres til GIS, hvilket er en omfangsrig opgave. Dette taler for at sætte c_3 til 0 og dermed udelukke leddet. Sættes $c_1 = 1$, $c_2 = 1,75$ og $c_3 = 0$ vi ligning (2), fås ligning (1).

3 Potentialekoefficienten for overlappende stationsoplade

Når to eller flere stationers oplade dækker det samme område, kaldes det som nævnt overlappende oplade. Her kan de førnævnte zonekoefficienter ikke bruges, idet der jo er to eller flere zonekoefficienter i det samme område. Der må derfor være en vægtning af zonekoefficienterne, kaldet potentialekoefficienten P_n , hvor n er antallet af stationer, der ligger på forskellige linier, og hvis oplade overlapper.

3.1 Grundlæggende antagelser

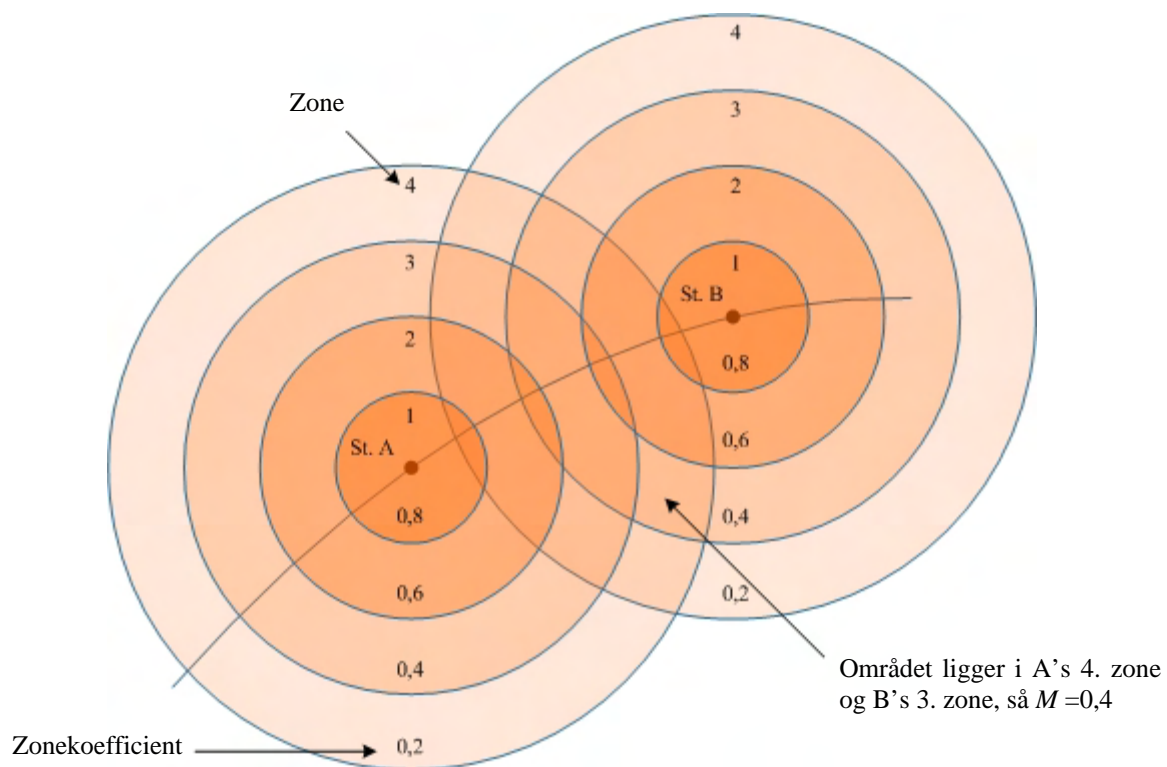
Modellen, som er beskrevet i denne artikel, er opstillet på baggrund af følgende grundlæggende antagelser:

- A. Et overlap mellem to eller flere stationers oplade, hvor stationerne ikke ligger på samme linie, vil skabe en forøgelse i antallet af rejser. For et overlap mellem n stationer fra forskellige linier betyder det, at potentialekoefficienten altid vil være større eller lig den potentialekoefficient, der ville fremkomme, hvis der var en station mindre, dvs.:

$$P_n \geq P_{n-1}$$

- B. Et overlap mellem stationer på samme linie vil ikke skabe en forøgelse. I stedet antages det at passagererne vil vælge den station, som ligger nærmest, og dermed vil den station, der har den zone, der ligger nærmest stationen, og dermed den højeste zonekoefficient, så at sige "vinde" passagerne. Dette er illustreret i Figur 1. Det defineres således at:

$M_i =$ den højeste zonekoefficient i de zoner på samme linie i som overlapper et givent område.



Figur 1 Principskitse af overlap mellem to stationer på samme linie.

- C. Passagererne har aftagende marginal nytte af ekstra stationer (nye linier), hvilket betyder, at forøgelsen omtalt ovenfor vil være aftagende jo flere stationer, der har opland i området. Dvs. at der gælder:

$$P_{n+1} - P_n \rightarrow 0 \text{ for } n \rightarrow \infty$$

- D. Forøgelsen ved overlap, f , er ikke konstant pga. antagelse C, men derimod en eksponentielt aftagende funktion af antallet af overlap. Forøgelsen for det i 'te overlap, f_i , er givet ved:

$$f_i = f_2 \cdot e^{-c(i-2)}$$

hvor c er en konstant, der bestemmer hvor hurtigt f_i skal gå mod nul. Jo større c er, desto hurtigere går f_i mod nul. Og når f_i går mod nul, går $P_n \rightarrow P_{n-1}$, jævnfør antagelse C ovenfor. f_2 er defineret som den procentvise forøgelse af potentialet, der antages at ske ved overlap af to stationers oplande, og den kan vælges arbitrært. At funktionen er eksponentiel skyldes at den ikke må blive negativ, da dette ville stride mod antagelse A.

Det kan argumenteres for, at det ikke er antallet af kollektive linier men derimod antallet af "daglige" rejsemål, som afgør hvornår den marginale nytte af en ekstra kollektiv linie bliver nul. Det sker ud fra antagelsen om, at de fleste mennesker kun har et vist antal rejsemål i det daglige som kan betjenes kollektivt, og når alle disse bliver besørget af kollektive linier, vil ankomsten af en ny linie ikke forbedre nytten for den pågældende. Forudsætningen for en potentialeforøgelse er således, at folk kan bruge den nye linie til forholdsvis hyppige rejser. Konstanten c skal fastsættes på baggrund af dette.

- E. Potentialekoefficienten for et område med overlap kan aldrig blive mindre end den højeste af zonekoefficienterne for de enkelte oplade, da det strider mod A, dvs.:

$$P_n \geq \text{Max}(M_1, \dots, M_n)$$

- F. Stationer, hvis oplade overlapper, konkurrerer om bestemte områder, og det betyder at P_n i disse områder aldrig kan blive større end summen af zonekoefficienterne, som er repræsenteret i området, dvs.:

$$P_n \leq \sum_{i=1}^n M_i$$

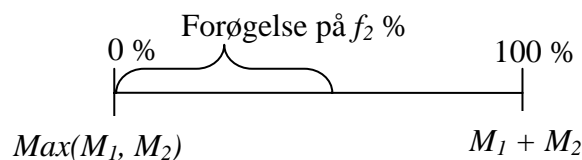
3.2 Bestemmelse af potentialekoefficienter

I det følgende beskrives funktionerne for udregning af potentialekoefficienter i områder, hvor der er overlap mellem to eller flere forskellige liniers oplade.

For et område, hvori kun ét oplad indgår, eller for områder med overlap mellem stationer på samme linie, gælder det ifølge antagelse B, at områdets potentialekoefficient er lig den maksimale zonekoefficient i området:

$$P_1 = M_1$$

For et område, der indeholder oplade fra to forskellige linier, gælder ifølge antagelserne E og F, at potentialekoefficienten, $P_2(M_1, M_2)$, er mindst lig med den maksimale zonekoefficient og højst lig med summen af de to zonekoefficienter. Forøgelsen vil således ligge på et interval mellem disse to værdier, jævnfør Figur 2.



Figur 2 Principtegning af det interval, overlapsforøgelsen ligger i

Den præcise beliggenhed bestemmes hermed af forøgelsesprocenten f_2 , hvilket vil sige at:

$$P_2(M_1, M_2) = \text{Max}(M_1, M_2) + f_2 [M_1 + M_2 - \text{Max}(M_1, M_2)]$$

I det følgende antages at $M_1 \geq M_2$, og da fås:

$$P_2(M_1, M_2) = M_1 + f_2 \cdot M_2 \quad , \quad M_1 \geq M_2$$

Ved tre overlappende oplade bliver forøgelsen dermed:

$$P_3(M_1, M_2, M_3) = P_2(M_1, M_2) + f_3 \cdot M_3 = M_1 + f_2 \cdot M_2 + f_3 \cdot M_3 \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq M_3$$

For fire stationer gælder, ved brug af samme antagelser som ovenfor, at:

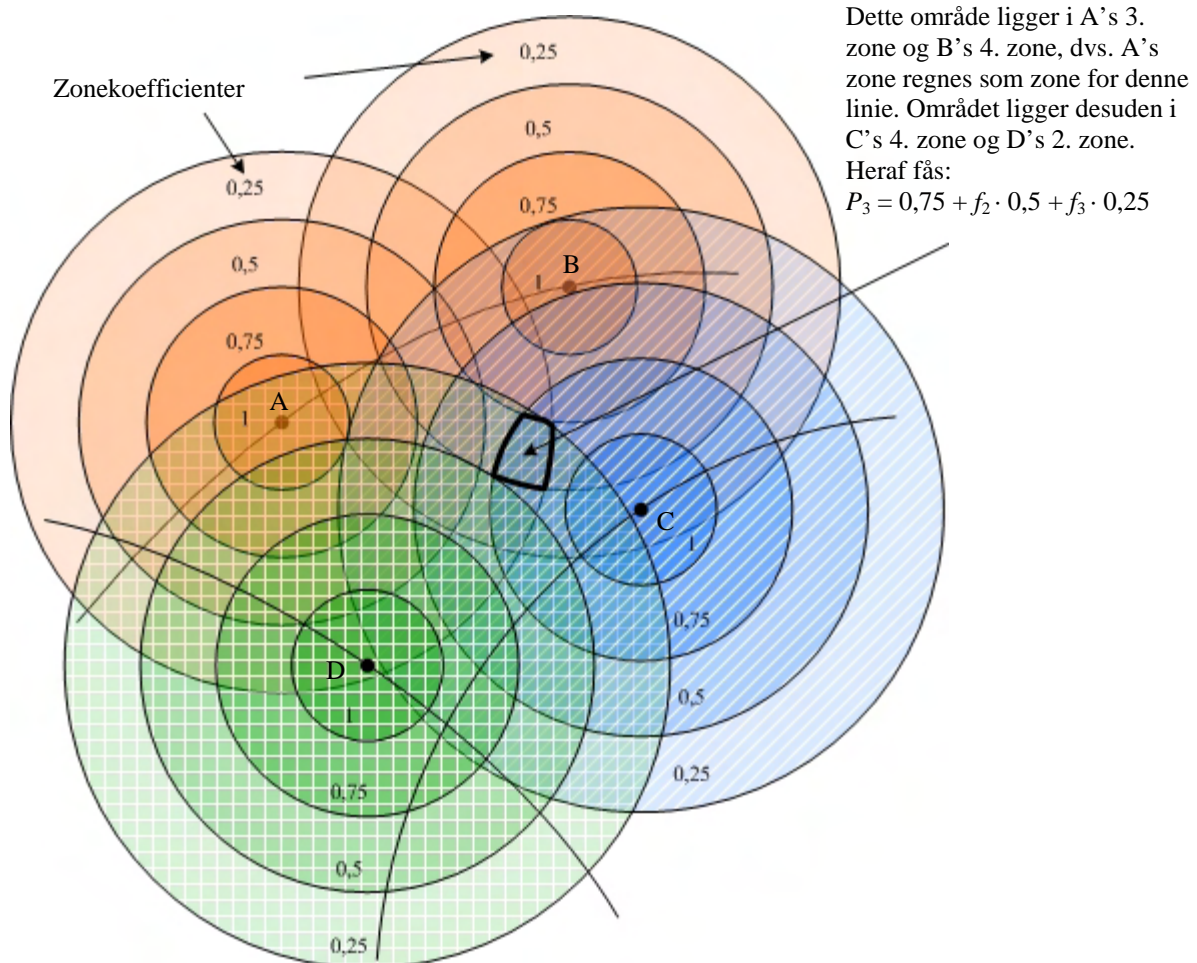
$$\begin{aligned} P_4(M_1, M_2, M_3, M_4) &= P_3(M_1, M_2, M_3) + f_4 M_4 = M_1 + f_2 M_2 + f_3 M_3 + f_4 M_4 \\ &= M_1 + \sum_{i=2}^4 f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq M_3 \geq M_4 \end{aligned}$$

Tilsvarende formler kan udledes for flere oplande, og en generaliseret formel for n overlappende oplande kan da opstilles som:

$$P_n(M_1, \dots, M_n) = M_1 + \sum_{i=2}^n f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq \dots \geq M_{n-1} \geq M_n \quad (3)$$

Grunden til at M 'erne rangordnes er, at antagelse A siger, at den samlede potentialekoefficient altid skal være mindst lige så stor som potentialekoefficienten for alle de overlappende oplande, undtagen den "sidste" tilkommende opland. Derfor bliver det mindste opland nødvendigvis defineret som det "sidste", det næstmindste som det næstsidste osv.¹

Figur 3 viser et eksempel på udregning af potentialekoefficienten i et overlapsområde, hvor der er tre forskellige linier (orange, blå og grøn), dvs. $n = 3$, fordi station A og B ligger på den samme linie.



Figur 3 Eksempel på udregning af potentialekoefficienten for tre overlappende oplande

¹ Bemærk at det egentlig ikke giver mening at tale om det "sidst tilkommende" opland, idet alle oplande antages at være "til stede" fra start af.

3.3 Bestemmelse af liniernes andele af potentialekoefficienten

Den samlede potentialekoefficient for det overlappende område, som blev bestemt i afsnit 3.2 kan deles mellem de konkurrerende linier, for derved at kunne bestemme de enkelte liniers potentiale. Hvordan disse andele bestemmes, udredes i dette afsnit. Der gælder at potentialekoefficienten P_n er lig summen af de enkelte stationers potentialekoefficienters andele, p_i , det vil sige:

$$P_n = p_1 + p_2 + \dots + p_i + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

Fra (4) kan det udledes at en vilkårlig potentialekoefficientandel p_i har værdien:

$$p_i = P_n - p_n - p_{n-1} - \dots - p_2 - p_1 = P_n - \sum_{j \neq i} p_j \quad (5)$$

Der gælder to antagelser om de forskellige andeles vægning i forhold til hinanden:

- G. Transportmidlet, som andelen hører til, har en attraktivitetsgrad, som er kendetegnet ved afstanden A_i fra stationen til den yderste oplandszone (dvs. den maksimale afstand passagererne er villige til at gå). Der gælder derfor at linie i 's andel er A_i/A_j så stor som linie j 's andel. Alternativt kan A_i vælges som en arbitrær konstant for hver linie.
- H. De zoner for henholdsvis linie i og linie j , med zonekoefficienterne M_i og M_j , som det overlappende område indeholder, afgør et yderligere attraktivitetsforhold. Der gælder derfor at linie i 's andel er M_i/M_j så stor som linie j 's andel (udover antagelse G).

Fra de to antagelser fås, at potentialekoefficientandelen for linie i er:

$$p_i = \frac{A_i}{A_j} \cdot \frac{M_i}{M_j} p_j \quad \forall \quad i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (6)$$

Af (5) og (6) fås:

$$p_i = \frac{P_n}{1 + \frac{\sum_{j \neq i} A_j M_j}{A_i M_i}} \quad (7)$$

Potentialekoefficientandelen for en vilkårlig linie kan således udregnes ved brug af den totale potentialekoefficient (P_n), attraktivitetsgraderne for de overlappende linier ($A_1 \dots A_n$) samt de overlappende zonekoefficienter ($M_1 \dots M_n$).

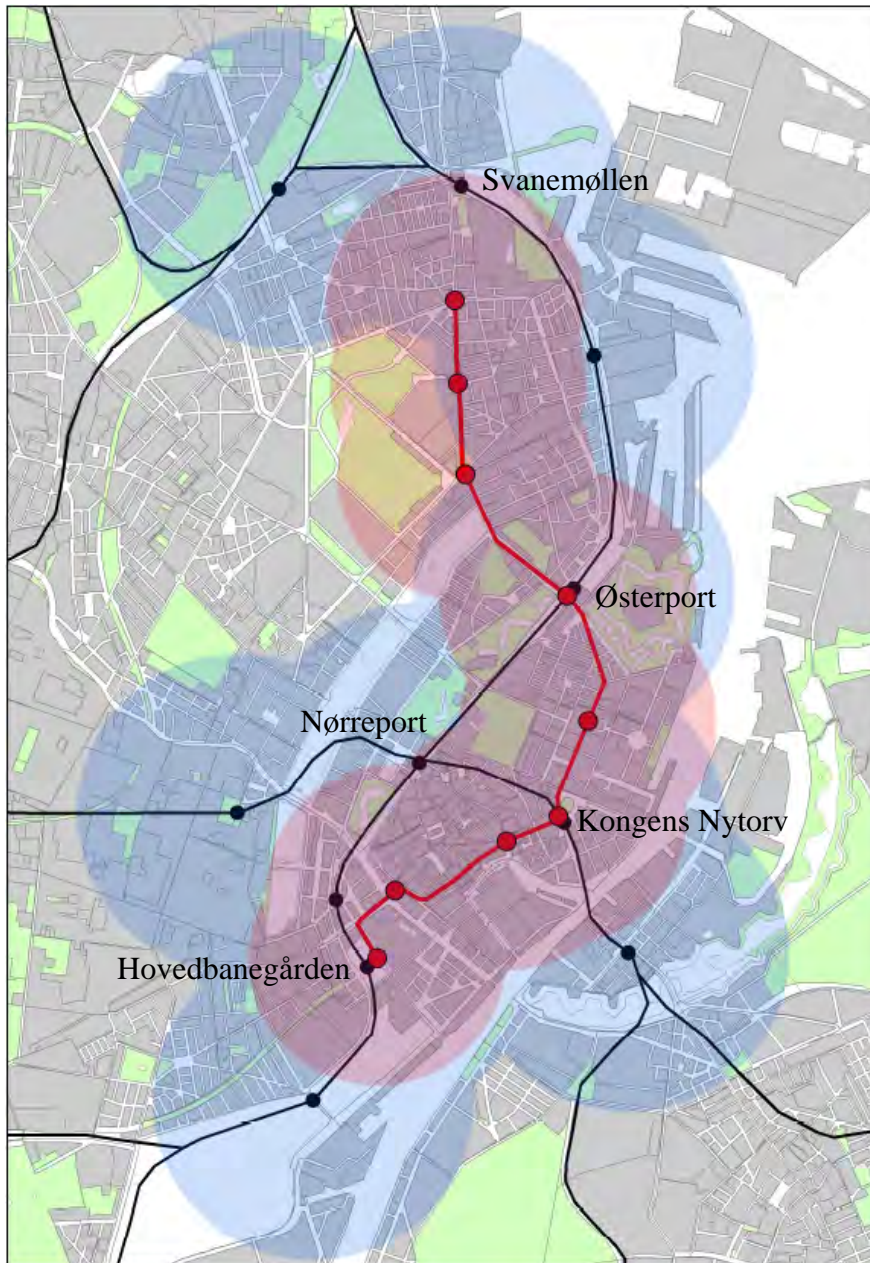
Potentialekoefficientandelen skal derefter ganges på rejsepotentialet som udtrykt i (2). Af (2) og (7) fås herved den samlede potentialeandel for linien i :

$$\text{Potentialeandel for } i = p_i(c_1 \cdot \text{Befolkning} + c_2 \cdot \text{Arbejdspladser} + c_3 \cdot \text{Kundeattraktion}) \quad (8)$$

4 Case: Kollektiv trafikløsning i det indre København

Som case er det valgt at arbejde med en højklasset skinnebåren kollektiv trafikløsning i det indre København. Linieføringen ligner på visse punkter linieføringen for den kommende me-

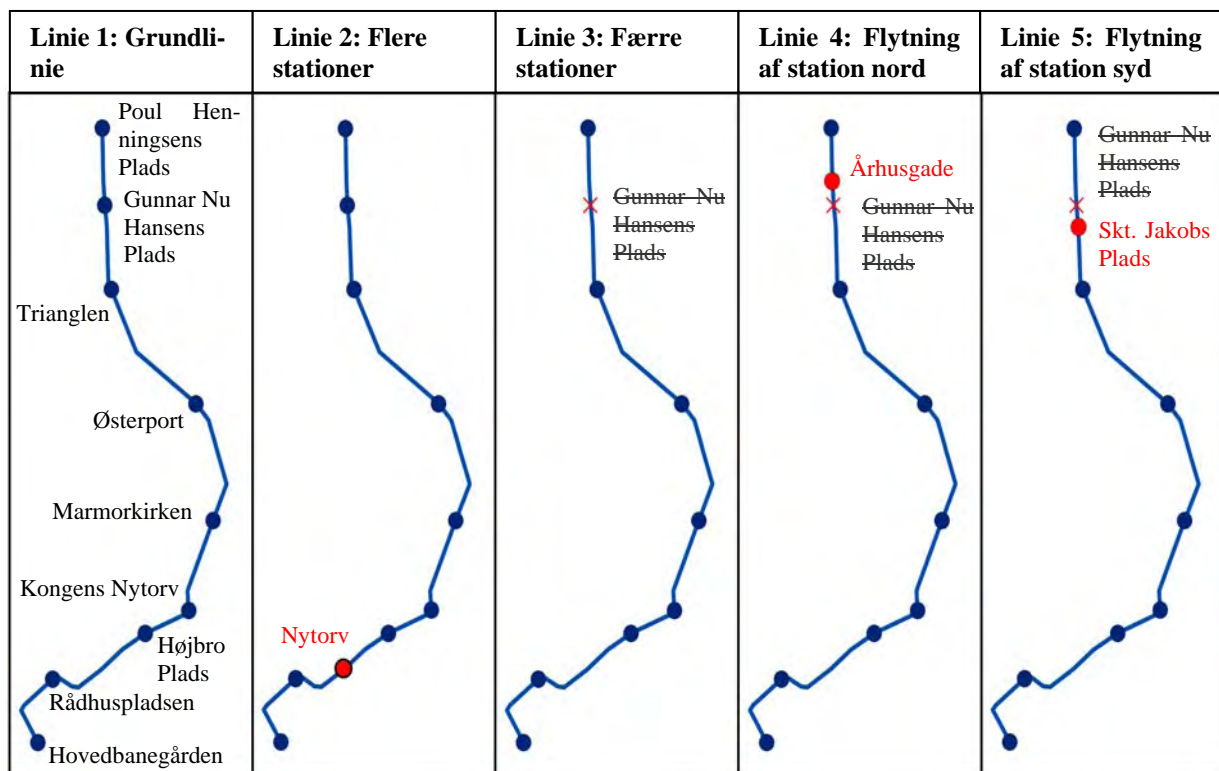
trolinie, Cityringen (Transport- og Energiministeriet *et al.*, 2005), men vil i denne artikel blive omtalt som en letbane. Da casens formål er at undersøge potentialer, er transportmidlet imidlertid underordnet. Letbanens linieføring er vist på Figur 4 sammen med S-togs- og metronettet. For de to sidstnævnte gælder, at oplandets yderste grænse ligger ved 1000 m fra stationen (som i HUR, 2000). I princippet kan denne afstand dog vælges frit, og letbanens ydre oplandsgrænse er valgt til 800 m, ud fra en antagelse om, at den ikke er så højklasset (attraktiv) som de andre (se Rue og Warburg, 2004).



Figur 4 Den valgte linieføring med afstanden til yderste oplandszone indtegnet

Letbanens linieføring er valgt således, at hovedparten af dens opland overlapper med oplandene fra S-tog og metro. Det er desuden valgt at undersøge fem scenarier for fordeling af stationerne på linien. De fem scenarier er beskrevet i Figur 5, og de består af en grundlinie samt fire alternative standsningsmønstre, kaldet alternativscenarierne. I to af alternativscenarierne er der fjernet eller tilføjet en station, og i to er en stations placering flyttet. Dette er gjort for at

tydeliggøre, hvilken effekt ændringer af en enkelt station har i forhold til det samlede potentiale.



Figur 5 Oversigt over de fem scenarier

Der er i denne case ikke regnet med et kundeattraktionsled ved udregning af potentialet. Dette skyldtes mangelfulde data, idet CVR-registret ikke er overført til GIS. I stedet er formel (1) benyttet. Det er desuden valgt at arbejde med cirkulære oplande i stedet for tidsafhængige oplande som i Landex *et al.* (2006). Casen skal nemlig tydeliggøre konsekvensen af at regne med overlappende oplande, og her er princippet det samme, uanset om der bruges cirkulære eller tidsafhængige oplande.

4.1 Grov eller fin oplandsinddeling

Der regnes på to forskellige oplandsinddelinger, en grov og en fin inddeling. Den afgrænsede afstand, vist på Figur 4, er den samme for de to inddelingsformer, hvilket gør det hensigtsmæssigt at sammenligne de to.

Den grove oplandsinddeling er kendetegnet ved at S-togs- og metrooplandene inddeles i et næropland og et fjernopland, afgrænset ved henholdsvis 500 og 1000 m. Letbaneoplandene inddeles i et næropland og fjernopland, afgrænset v. hhv. 400 og 800 m. For alle oplande gælder det at næroplandet har potentialekoefficienten 0,8 og fjernoplandet 0,3. Der regnes ikke med forøgelse af potentialet ved overlap.

For den fine oplandsinddeling gælder det, at S-togs- og metro-oplandene inddeles i ti zoner hver på 100 m. Letbaneoplandene inddeles i ti zoner hver på 80 m. For alle oplandene gælder det, at den inderste zone har potentialekoefficienten 1, den næste 0,9 osv. ud til yderste zone, som har koefficienten 0,1. Der regnes med forøgelse ved overlap som angivet i afsnit 3.1, f_2 er her sat til 40 %, hvilket giver følgende formel for f_i :

$$f_i = 0,4 \cdot e^{-\frac{1}{2}(i-2)}$$

At konstanten c er sat til $\frac{1}{2}$ medfører at f_i vil være tæt på 0 for $n = 7$, hvilket virker fornuftigt ud fra den betragtning at det syvende transportmiddel kun udgør en marginal lille ekstra nytte.

4.2 Resultater

Resultaterne af beregningerne kan for alle scenarierne udtrykkes som en samlet potentialeandel til letbanen, som udregnet i (8). Disse er vist i Tabel 1.

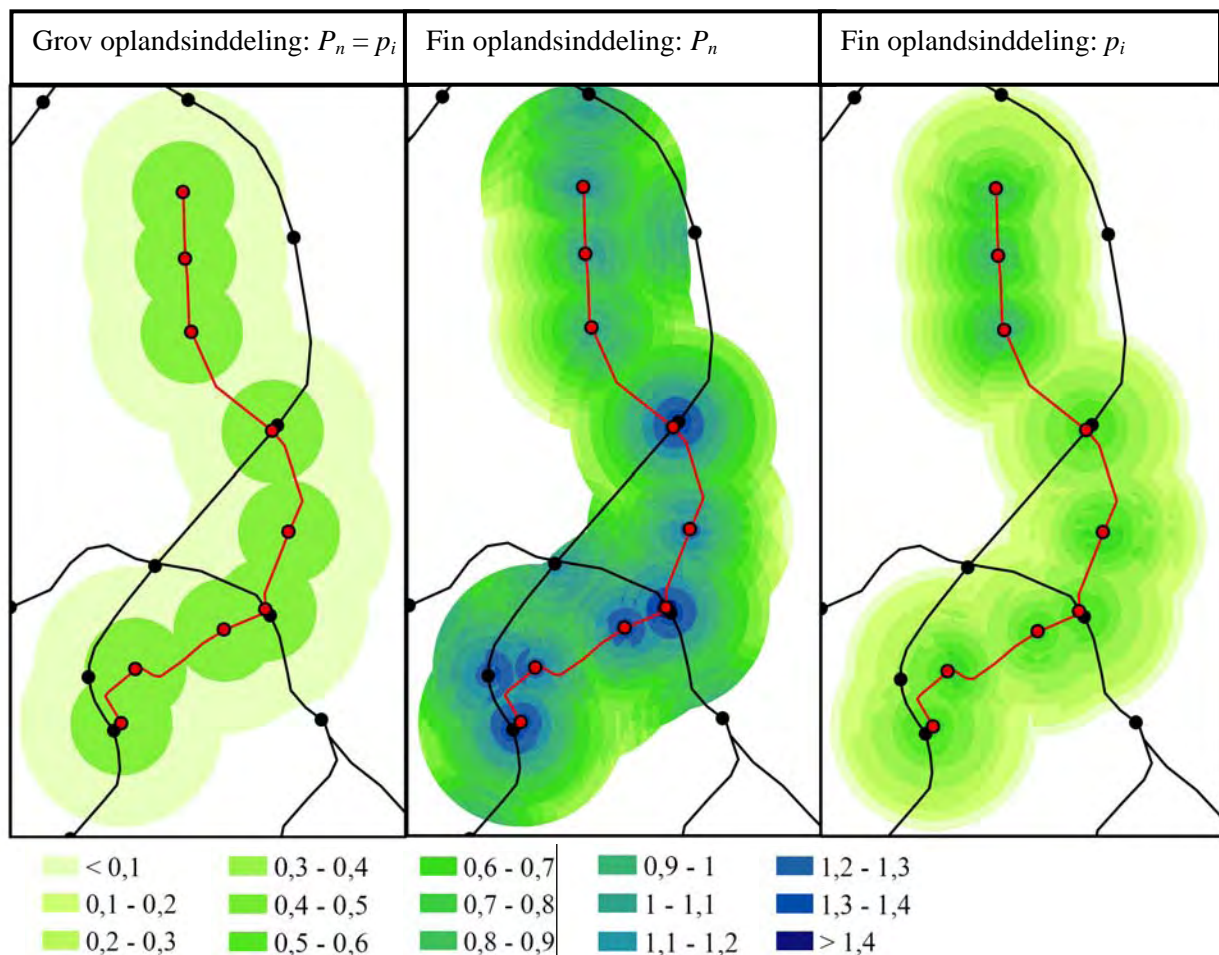
Samlet potentialeandel for letbanen samt procentvis differencer mellem scenarierne					
Oplandsinddeling	Linie 1: Grundlinie	Linie 2: Flere stationer	Linie 3: Færre stationer	Linie 4: Flytning af station nord	Linie 5: Flytning af station syd
Grov oplandsinddeling	269.573	269.717 (+0,053 %)	268.559 (-0,376 %)	269.531 (-0,015 %)	269.512 (-0,022 %)
Rangorden	2	1	5	3	4
Fin oplandsinddeling	123.457	126.667 (+2,601 %)	119.984 (-2,813 %)	123.088 (-0,299 %)	123.315 (-0,115 %)
Rangorden	2	1	5	4	3

Tabel 1 Resultatskema med samlet potentialeandel for letbanen og procentvise afvigelser fra grundlinien

Det ses af Tabel 1, at potentialeandelene er meget forskellige, alt efter om den grove eller den fine oplandsinddeling benyttes. Ved den grove oplandsinddeling er tallene omtrent dobbelt så store som ved den fine. Dette skyldes formentlig, at der ved den grove metode ikke afgives potentiale til de konkurrerende linier, og derfor bliver tallene højere. Det er dog vigtigt at nævne, at det ikke er værdierne i sig selv, der er interessante, men derimod forholdet mellem dem, som muliggør en enkel sammenligning af de forskellige scenarier.

Med hensyn til de procentvise afvigelser (angivet i parentes i Tabel 1) synes den fine oplandsinddeling også at give mere fornuftige resultater. Det er mere realistisk med en forøgelse i potentialet på ca. 2,6 % end på 0,053 % ved indføring af en ekstra station, idet der i alt er 9 stationer, og derfor måtte en intuitiv, simpel vurdering ligge nærmere $1/9 = 11$ % forøgelse (forudsat at alle stationer bidrager lige meget, og at de slet ikke overlapper, men er komplet isolerede fra hinanden). En forøgelse på en halv promille svarer til at en ekstra station blev tilføjet til en linie med 2000 stationer (igen forudsat at alle stationer bidrager lige meget til potentialet). Den store forskel i variationerne skyldes, at der i den grove oplandsinddeling ikke regnes med konkurrerende oplande, og derfor ændres den eksisterende sum af oplandene for de fælles stationer næsten ikke, selvom der tilføjes eller fjernes en enkelt station. Den fine oplandsinddelings potentialekoefficienter ændres derimod ved, at der kommer en ekstra station, idet disse nu både bliver forøget, og kommer til at konkurrere. En grov oplandsinddeling kan således lede til den konklusion, at det ikke spiller en større rolle hvilket scenarium der vælges, idet de procentvise afvigelser fra grundlinien er meget små. Forskellen mellem de to metoder ville dog nok ikke være så stor, hvis letbanen var lagt i et område uden konkurrence fra andre linier, idet resultaterne vil afhænge af, dels hvor stort arealet af overlappende oplande er, og dels hvor mange oplande, som overlapper på et givent sted.

I Figur 6 vises de udregnede potentialekoefficienter (P_n) samt letbanens potentialekoefficient-andele (p_i) både for den fine og den grove oplandsinddeling for Grundlinien.



Figur 6 Oversigt over potentialecoefficenterne (P_n) samt potentialecoefficentandelene (p_i) for fin og grov oplandsinddeling for Grundlinien

Det første kort på Figur 6 viser potentialecoefficenterne for den grove oplandsinddeling. Her er de totale potentialecoefficenter, P_n (0,8 og 0,3) lig med letbanens andel, p_i , idet der ikke regnes med overlap. Det andet kort viser de totale potentialecoefficenter, P_n for den fine inddeling. Her ses det tydeligt, at der er en stor potentialeforøgelse i de områder, hvor to eller flere linier overlapper (for eksempel ved Kongens Nytorv og Østerport). Det tredje kort viser letbanens andel, p_i , for den fine oplandsinddeling. Det er således dette kort, der skal sammenlignes med det første kort, for at klarlægge forskellen mellem den grove og fine inddeling. Det ses, at de områder hvor der ikke er så stor konkurrence fra andre baner (dvs. fra Trianglen til Poul Henningsens Plads) får en højere potentialeandel, end de steder hvor den totale potentialecoefficent på kort 2 er stor, og hvor der dermed er større konkurrence, hvilket giver en mindre potentialeandel til letbanen.

I Tabel 1 er scenarierne rangordnet, og det ses at de rangerer forskelligt i forhold til hinanden alt afhængig af oplandsinddelingsformen – Linie 4 rangerer højere end Linie 5 for den grove oplandsinddeling, mens det omvendte gør sig gældende for den fine oplandsinddeling. Dette er igen et tegn på at der er en forskel mellem at bruge den grove og den fine oplandsinddeling. Konsekvensen kan i sidste ende blive at forskellige stationsplaceringer vælges, alt efter hvilken metode der benyttes.

5 Konklusion og perspektivering

Analysen af stationsoplande bliver i stigende grad brugt ved vurdering af store kollektive trafikprojekter. Ud fra det samlede oplandsareal kan passagerpotentialet beregnes, og således kan forskellige linieførings-scenarier sammenlignes. Der har dog i tidligere litteratur været en udbredt grad af usikre antagelser forbundet hermed. Med denne artikel er det forsøgt at udvikle nogle generelle matematiske udtryk for beregning af potentialer i stationsoplande, navnlig med fokus på overlappende oplande.

De udledte formler har taget udgangspunkt i en række antagelser af, hvad der sker når flere stationers oplande overlapper. De grundlæggende antagelser er, at der sker en forøgelse af antallet af rejser i områder med overlap mellem stationer på forskellige linier, samt at passagererne har aftagende marginal nytte af ekstra stationer. Med hjælp fra disse og andre antagelser opstilles en generel formel for potentialekoefficienten P_n , for n overlap, givet ved:

$$P_n(M_1, \dots, M_n) = M_1 + \sum_{i=2}^n f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq \dots \geq M_{n-1} \geq M_n$$

Ved bestemmelse af de forskellige liniers andele af potentialekoefficienten, p_i , er der udviklet en funktion af liniernes attraktivitetsgrader, A , og de overlappende zonekoefficienter. p_i er givet ved:

$$p_i = \frac{P_n}{\sum_{j=1}^n A_j M_j + \frac{A_i M_i}{1 + \frac{A_i M_i}{A_i M_i}}}$$

For at belyse forskellen mellem den traditionelle oplandsinddeling i nær- og fjernopland og en finere oplandsinddeling samt værdien i at tage hensyn til overlap, er der gennemgået en case med en letbanestrækning i det indre København. Fem scenarier med alternative stationsplaceringer er undersøgt, og resultaterne viser, at rangordenen af scenarierne bliver forskellig, alt efter om den grove eller fine metode benyttes. Endvidere viser resultaterne, at de indbyrdes forskelle mellem potentialerne i scenarierne er urealistisk små (fra 0,02 % til 0,37 % afvigelse) ved den grove metode i forhold til den fine metode (0,12 % til 2,81 %), hvilket primært er relateret til den manglende beregning af potentialeforøgelse og konkurrence ved overlap. Det konkluderes på den baggrund, at den fine oplandsinddeling, hvor der tages højde for overlap, giver mere realistiske resultater.

Selvom det er lykkedes at opstille nogle generelle formler til bestemmelse af potentialet, er der dog stadig emner, som kan udbygges i forhold til de fundne resultater. Det drejer sig blandt andet fastsættelse af konstanten c , som angiver hvor hurtigt overlapsforøgelsen skal gå mod 0, samt empirisk bestemte værdier af selve overlapsforøgelsen, f_2 . Derudover kan det være interessant at sammenligne resultaterne fra casen med tilsvarende lavet med tidsafhængige oplande.

6 Referencer

- Andersen, J. L. E. (2006). *Letbaneprojekt i København – Ring 2½-korridoren*. Eksamensprojekt ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.
- Christiansen, H. (2000). *Tilbringergeografi ved busstoppesteder*. Eksamensprojekt ved Institut for Planlægning, DTU, Lyngby.
- Ege, H. (1995). *Transportmåde til station*. Seminar, DSB S-tog.
- Foller, J. (1999). *TU 1996-97. Resultater fra Transportvaneundersøgelsen*. Vejdirektoratet, København.
- Hovedstadens Udviklingsråd (HUR) (2000). *Trafikplan 2003*. Valby.
- Jacobsen, B. og Larsen, F. (1999). Stationsoplands- og trafikmodelberegninger. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 1999, Aalborg.
- Johansen, H. M. (2005). *Vurdering af Letbane Lyngby-Vedbæk/Skodsborg. Forlængelse af Ring 3*. Studenterrapport ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.
- Københavns Kommune (2005). *Planredegørelse for den kollektive trafik i København*. Københavns Kommune.
- Landex, A. (2003). *To nye S-togsspor gennem København*. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 2003, Aalborg.
- Landex, A., Hansen, S. og Andersen, J. L. E. (2006). Examination of catchment areas for public transport. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 2006, Aalborg.
- O'Sullivan, S. og Morrall, J. (1996). Walking Distance to and from Light-Rail Transit Stations. *Transportation Research Record*, vol. 1538.
- Rue, I. og Warburg, V. (2004). *Letbaneprojekt Buddinge – City – Ny Ellebjerg*. Studenterrapport ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.
- Schittenhelm, R. og da Silva, R. (2002). *Letbanering i indre København*. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet. Aalborg.
- Transport- og Energiministeriet, Finansministeriet, Københavns Kommune, Frederiksberg Kommune, og HUR (2005). *Udredning om Cityringen – Resumérapport*. København.

Forfatterne ønsker at takke Alex Landex, phd-studerende ved Center for Trafik og Transport, DTU for inspirerende samtaler i forbindelse med projektet.