

Kapasitet på jernbanestrekninger.

Utarbeidet for
NSB Banedivisjonen, Teknisk kontor
av
Svein Skartsæterhagen,
Institutt for energiteknikk.

Innholdsfortegnelse.

1	Kapasitetsbegrepet.	1
1.1	Avgrensning.	1
1.2	Teoretisk og praktisk kapasitet.	1
1.3	Oversikt over notatets innhold.	2
2	Kapasitet på dobbeltspor, gitt togfølgetider.	3
2.1	Enslartet trafikk.	3
2.2	Blandet trafikk.	5
2.2.1	Generelt.	5
2.2.2	To tog-grupper.	7
2.2.3	Ruteplanens innvirkning på kapasiteten.	8
2.2.4	Utbygging fra 2 til 4 spor.	9
2.3	Praktisk kapasitet.	10
2.4	Lengre strekninger.	12
3	Signalsystem og togfølgetid dobbeltspor.	13
3.1	Elementene som inngår i minste togfølgetid.	13
3.1.1	Siktavstand.	13
3.1.2	Blokkstrekninger og bremselengde.	14
3.1.3	Toglengde.	14
3.2	Omtale av ulike signalsystem.	15
3.3	Beregning av togfølgetider ved konstant hastighet og blokk lengde.	18
3.3.1	Strekning uten stopp.	18
3.3.2	Strekning med stopp.	19
3.4	Togfølgetider mer generelt.	21
3.5	Kapasitetsøkning ved overgang fra 3 til fler-begrep system.	29
3.5.1	Strekning uten stopp.	29
3.5.2	Strekning med stopp.	29
3.5.3	Blandet trafikk.	31
3.6	Innføring av 4-begrep signalsystem som ledd i hastighetsøkning.	33
4	Kapasitet på enkeltspor.	34
4.1	Utseende av en typisk enkeltsporstrekning.	34
4.2	Dimensjonerende strekningsavsnitt og teoretisk kontra praktisk kapasitet.	36
4.3	Idealisert tilfelle.	37
4.4	Fullstendig kapasitetsberegning etter UIC 405E.	40
4.4.1	Midlere togfølgetid.	40
4.4.2	Togfølgetid ved kjøring i samme retning.	42
4.4.3	Togfølgetid ved bytte av retning.	43
4.4.4	Virkning av samtidig innkjøring på stasjoner.	44
4.5	Mer detaljert framstilling av tidsforbruket ved en kryssing.	45
4.6	Effekt av stive ruter.	48
4.7	Kapasitetsøkende tiltak på enkeltspor.	49
	Referanser.	51

1 Kapasitetsbegrepet.

1.1 Avgrensning.

Først skal vi gjøre en avgrensning siden kapasitetsbegrepet brukes i mange sammenhenger.

Ordet kapasitet betyr egentlig evne til å romme/yte. I vår sammenheng kan vi kanskje si at kapasitet betyr evne til å transportere.

Også innen jernbane-virksomhet omtaler man kapasiteten av mange ulike enheter. Man kan snakke om et *togs* kapasitet (antall passasjerer eller tonnasje som toget kan "romme"), en *skiftestasjons* kapasitet (antall vogner den kan behandle pr. tidsenhet) og en enkelt *strekning*s eller et helt *nettverks* kapasitet (hva strekningen/nettverket evner å transportere). Sistnevnte kan uttrykkes som antall tog pr. tidsenhet, passasjerer pr. tidsenhet (nærtrafikk, T-bane), vogner pr. tidsenhet (baner som overveiende transporterer gods) eller tonn pr. tidsenhet (f.eks. malmbaner). I dette notatet skal vi konsentrere oss om kapasiteten av en enkelt strekning og det i form av antall tog pr. tidsenhet.

Kapasiteten på en strekning avhenger ikke bare av strekningens utforming, men også av egenskapene til de togene som skal trafikkere den. Videre har rekkefølgen av ulike togslag ("ruteplanen") stor betydning for kapasiteten. Dette skal vi se tydelig i kap. 2. Man kan altså endre en strekning's kapasitet uten å endre noe ved selve strekningen. Det kan også anslås en kapasitet uten kjennskap til togenes rekkefølge ved å anta alle muligheter som like sannsynlige. I dette notatet vil vi holde oss til metoder basert på ruteplaner.

1.2 Teoretisk og praktisk kapasitet.

Begrepsmessig skiller man ofte mellom den teoretiske (maksimale) kapasitet og den praktisk nyttbare kapasitet.

Når det gjelder den teoretiske kapasitet, tenker man seg at de aktuelle togslag i den aktuelle rekkefølge kjøres så tett som signalsystemet tillater, men likevel slik at togene kan kjøre med full hastighet. I dette ligger det altså ingen marginer som kan fange opp forsinkelser slik at nesten enhver forsinkelse vil forplante seg til flere (i verste fall alle) andre tog. En strekning kan vanskelig drives med en slik trafikkmengde i praksis, derav betegnelsen teoretisk og maksimal kapasitet.

I begrepet praktisk kapasitet trekkes det inn at transporten må skje med en viss kvalitet, i denne sammenheng særlig i form av punktlighet. Det må altså være mindre enn et visst maksimum av forsinkelser (eller forstyrrelser for å bruke et mer generelt ord) for at vi skal kunne si at vi opererer innenfor en gitt kapasitet. Når forsinkelser stadig er uakseptabelt store, er det et tegn på at man overskrider strekningens (praktiske) kapasitet. Vi vil derfor sette opp følgende generelle definisjon av den praktisk nyttbare kapasitet:

Kapasiteten av en strekning er evnen til å fremføre tog med en akseptabel punktlighet.

Denne definisjonen er ikke-operasjonell og inneholder et element av skjønn i og med uttrykket "akseptabel". Den praktisk nyttbare kapasitet er således ikke et skarpt definert begrep.

Man kan belaste en strekning ut over den praktiske kapasitet, men ikke ut over den teoretiske kapasitet (uten å øke kjøretider, bryte sikkerhetsbestemmelser o.l., altså bryte noen av forutsetningene kapasiteten er beregnet på grunnlag av).

Uttrykket forsinkelser må presiseres som tilleggs-forsinkelser påført på den aktuelle strekning, altså sekundære forsinkelser (dvs. forsinkelser som skyldes andre togs forsinkelser). Forsinkelser fra utgangsstasjonen, forsinkelser pga. uhell etc. sier selvsagt ikke noe om en streknings kapasitet. Men i hvor stor grad slike primære forsinkelser sprer seg til andre tog sier noe om strekningens kapasitet.

Det som vi her har omtalt som den teoretiske kapasitet kan oftest tallfestes forholdsvis eksakt. Dette skal vi vise metoder for i de følgende kapitler. For å få et tall for den praktiske kapasitet må man inkludere skjønnsmessige anslag; som oftest uttrykt i form av hvor stor del av den teoretiske kapasitet man kan utnytte. For grundigere studier vil bruk av simuleringsmodeller ofte være aktuelt.

1.3 Oversikt over notatets innhold.

Vi tar først opp kapasitet på dobbeltspor fordi dette er lettest å framstille, og fordi det fins enkle formler som gir en god indikasjon på kapasiteten. Mesteparten av arbeidet med beregningen av kapasiteten ved slike formler går med til beregning av de såkalte togfølgetidene. I første omgang forutsettes derfor at disse er kjent (kap. 2) for å få introdusert det viktigste på en lettfattelig måte. I kap. 3 tar vi opp beregning av togfølgetider og noe mer om kapasitetsforhold på dobbeltspor.

For kapasitetsberegninger på enkeltsporede strekninger er de formlene man kan bruke, noe mer kompliserte og neppe så representative som ved anvendelse på dobbeltspor. Behandlingen av enkeltspor i kap. 4 er derfor noe enklere enn behandlingen av dobbeltspor. Det er også lagt større vekt på aktuelle tiltak for kapasitetsøkning siden dette ofte er den mest aktuelle problemstillingen for enkeltspor.

Mye av framstillingen bygger på ref. / 1 /, / 2 / og / 3 /. Det første er et UIC-dokument som beskriver en metode for å anslå kapasitet i antall tog pr. tidsenhet. Fordi den er beskrevet i dokument 405E omtales den også som UIC 405E. Dokumentet er skrevet på tysk og er noe tungt tilgjengelig. Derimot er ref. / 2 / og / 3 / mye enklere å tilegne seg og er skrevet på engelsk. De omhandler britiske forhold med størst vekt på togfølgetid og 4-begrep signalsystem. Fremstillingen i dette notatet er vesentlig enklere enn i ref. / 1 /, og det er lagt vekt på de faktorer som er aktuelle for norske forhold.

2 Kapasitet på dobbeltspor, gitt togfølgetider.

Vi ser her på kapasiteten av ett spor med all trafikk i samme retning.

Mesteparten av kapitlet omhandler beregning av den teoretiske kapasitet. Praktisk kapasitet omtales i et eget avsnitt. Alle relative forhold (endringer i kapasitet pga. ulike faktorer) som omtales er imidlertid like gyldige enten man ser på den teoretiske eller den praktiske kapasitet.

Med minste togfølgetid (engelsk "headway") menes den minste tidsavstanden som kan opprettholdes mellom to tog slik at det andre toget på betryggende måte kan kjøre med maksimal hastighet. Eller noe annerledes uttrykt: den minste tidsavstanden hvor det andre toget kan kjøre uhindret av det første. Denne tidsavstanden må regnes mellom samme punkt (vanligvis fronten) på begge togene. I det følgende vil ofte bare togfølgetid bli brukt selv om det menes minste togfølgetid.

I dette kapitlet fortsettes stort sett at togfølgetidene er kjent. I neste kapittel går vi nærmere inn på beregning av togfølgetider.

For mesteparten av dette kapitlet gjør vi følgende forutsetninger og forenklinger for strekningen vi ser på:

- Det er ikke avgreninger eller separate forbikjøringsspor underveis.
- Sporforbindelser mellom de to sporene til bruk ved enkeltsporet drift og andre unormale situasjoner regnes ikke som forbikjøringsspor.
- Alle togene trafikkerer hele strekningen.

2.1 Ensartet trafikk.

Vi ser først på det enkleste tilfellet hvor alle togene er (tilnærmet) like og framføres med samme hastighet og stoppmønster.

Dette er typisk for spesielle dobbeltsporstrekninger som T-baner og strekninger med bare en trafikktype (forekommer ikke ved NSB, men er vanlig i mange andre land). Videre er dette typisk for 4-spors strekninger som er vanlig rundt store byer i Europa og som det nå også planlegges for rundt Oslo.

Den minste togfølgetiden vil da være den samme mellom alle togene, og den påvirkes ikke av togenes kjøretid fordi alle togene har samme kjøretid. Den teoretiske maksimalkapasiteten K i et tidsrom T er da ganske enkelt

$$K = T / t$$

der t er den minste togfølgetiden mellom togene av den aktuelle type.

Beregning av togfølgetider kommer vi tilbake til i neste kapittel, men vi skal her bare foregripe med en enkel beregning for å finne den hastighet som gir maksimal kapasitet.

Vi ser da på en strekning uten stopp hvor togene har konstant hastighet v over hele strekningen. Det foregår altså ingen akselerasjon eller retardasjon noe sted på strekningen. Videre forutsetter vi 3-begrep signalering med blokk lengde b .

Togenes lengde kalles l , og det antas at bremsing innledes en avstand $t_s v$ før et restriktivt signal. Togfølgetiden kan da uttrykkes

$$t = (l + 2b) / v + t_s$$

Strekningsskapasiteten blir da

$$K = Tv / (l + 2b + vt_s)$$

I dette enkle tilfelle skal vi finne den optimale hastighet, i betydningen den hastighet som gir maksimal kapasitet. Det må da forutsettes en sammenheng mellom blokk lengde og hastighet; blokk lengden settes i prinsippet lik bremselengden, men i praksis vil det alltid være en noe uspesifikk påplussing som kan være konstant eller hastighetavhengig. For denne beregningen vil vi velge et konstant tillegg s . Ved konstant retardasjon r blir blokk lengden da

$$b = (v^2 / 2r) + s$$

Ved innsetting for b i uttrykket for K får vi

$$K = Tv / (l + 2s + (v^2/r) + vt_s)$$

Ved derivasjon av K m.h.p. v får vi at den optimale hastighet er gitt ved

$$v^2 = (l + 2s)r$$

Eks.

$$s = 200 \text{ m}, v = 88 \text{ km/h}$$

$$s = 50 \text{ m}, v = 62 \text{ km/h}$$

Ved å sette inn data for et typisk nærtrafikk tog ($l = 200 \text{ m}$, $r = 1 \text{ m/s}^2$), og skjønnsmessig sette s til 100 m får vi en optimal hastighet på 20 m/s (72 km/h).

Som det fremgår av det ovenstående er det flere valg som er gjort i denne utledningen; dette gjelder uttrykkene for siktavstand (her valgt proporsjonal med hastigheten; størrelsen faller da bort ved utledning av den optimale hastighet) og uttrykket for blokk lengde. Alternative måter å uttrykke disse på gir varierende optimal hastighet, men i alle tilfelle blir den optimale hastighet så lav at den som oftest vil være markedsmessig helt uinteressant.

Vi skal likevel nevne et tilfelle (forekommer ikke i Norge) hvor en slik optimal hastighet kan være interessant. Det gjelder en situasjon hvor to sterkt trafikkerte dobbeltspor har en kort felles strekning uten stopp. For å slippe en utvidelse til 4 spor kan det da være et alternativ å signalere en slik kort strekning for maksimal kapasitet selv om det betyr redusert hastighet. Tall-eksempelet ovenfor gir da en teoretisk maksimal kapasitet på ca. 70 tog/time for hvert spor! Blokk lengden blir bare 300 m. Selv om dette stort sett må betraktes som en kuriositet, nevnes det likevel for å vise hvor høyt opp i kapasitet man kan komme under slike helt spesielle forhold.

I praksis vil man således nesten alltid drive en dobbeltsporstrekning med en hastighet godt over den hastighet som er optimal med hensyn på kapasitet. Av den siste formelen for kapasitet ser vi at i dette normale hastighetsområdet synker kapasiteten med økende hastighet. Dette skyldes at bremselengden normalt er proporsjonal med kvadratet av hastigheten. Ved vesentlig hastighetsmessig oppgradering av et dobbeltspor vil man altså normalt få lavere kapasitet.

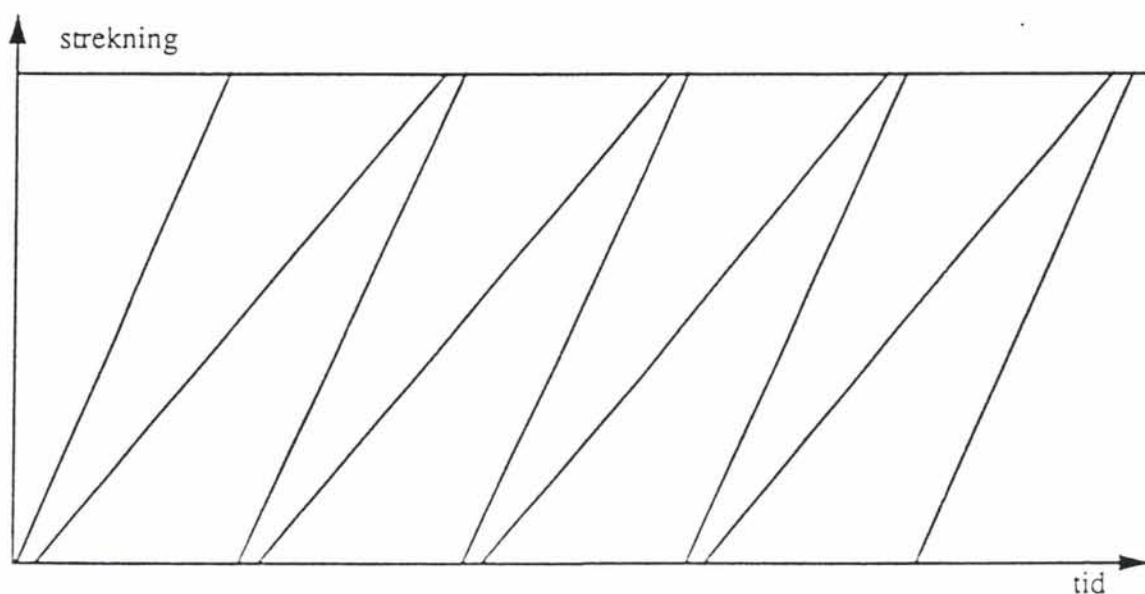
Konsekvensen av å innføre et stopp på en slik strekning skal vi se på i kap. 3 under beregning av togfølgetider.

2.2 Blandet trafikk.

Dette er situasjonen på NSBs dobbeltspor og den typiske situasjonen for et dobbeltspor generelt.

2.2.1 Generelt.

Med blandet trafikk blir kapasiteten vesentlig lavere enn ved ensartet trafikk. Dette kan man lett forstå kvalitativt bare ved å se på et tid-veg-diagram (grafisk rute) for de to situasjonene. Et typisk eksempel med langsomme og raske tog annenhver gang er vist nedenfor.



Figur 1 Grafisk rute (tid-veg diagram) ved maksimalt blandet trafikk.

Et raskt tog (representert ved de sterkest stigende linjene på figuren) vil kjøre fra et langsommere, og det blir en stor tidsluke ved ankomst til ende-stasjonen. Tilsvarende må et raskt tog starte langt bak et langsomt tog for å kunne kjøre uhindret. Den signalmessige

minste togfølgetid blir bare utnyttet over en liten del av strekningen, og det er lange tidsrom hvor sporet ikke kan benyttes. Dette gir selvsagt plass til vesentlig færre tog enn ved ensartet trafikk, og kapasiteten blir vesentlig lavere.

I denne situasjonen vil tidsavstanden mellom to ulike tog variere over strekningen. Togfølgetiden vi skal bruke i kapasitetsberegningen, må da bety den minste tidsavstanden mellom to tog et fast sted på strekningen forutsatt at det andre toget kan kjøre uhindret *over hele strekningen*. Det er ofte praktisk å benytte strekningens begynnelse som det punkt togfølgetidene refererer til. I denne situasjonen kommer altså togenes kjøretider med i togfølgetiden, i tillegg til den tidsavstand mellom togene som kommer fra signalene. Den tidsavstand mellom togene som kan holdes på et gitt sted på strekningen, vil vi kalle den signalmessige minste togfølgetid. Togfølgetiden for et langsomt tog etter et raskt vil da i hovedsak bli bestemt av signaleringen ut fra utgangsstasjonen (samt hastighetsforhold her og togenes akselerasjon). Denne togfølgetiden kaller vi t som før. Togfølgetiden for et raskt tog etter et langsomt vil være minst ved ankomst til endestasjonen, og det er signaleringen her (samt hastighetsforhold og togenes retardasjon) som bestemmer den signalmessige minste togfølgetid i dette tilfellet. Men togfølgetiden ved utgangsstasjonen vil bestå av denne signalmessige togfølgetiden samt differansen i kjøretid mellom de to togene (se figuren ovenfor).

For den tallmessige beregning deler vi togene inn i klasser eller grupper med like eller tilnærmet like egenskaper. Typiske grupperinger er stoppende persontog, direkte persontog, godstog. Det trengs nå togfølgetider for alle de kombinasjoner av togfølger som finnes i ruteplanen. Man trenger ikke en fullstendig ruteplan, men man må ha rekkefølgen av tog fra de ulike grupperinger. Man teller opp antall tilfeller av de ulike kombinasjoner og beregner en midlere togfølgetid:

$$t_m = \sum n_{ij} t_{ij} / \sum n_{ij}$$

Her betyr

n_{ij} : antall togfølgetilfeller hvor et tog fra gruppe j kommer etter et fra gruppe i

t_{ij} : minste togfølgetid for et tog fra gruppe j etter et fra gruppe i

Summen tas over alle kombinasjoner av i og j . Opptellingen av tilfeller gjøres for et tidsrom av tilstrekkelig lengde til å få med alle aktuelle situasjoner.

Deretter beregnes den teoretiske kapasiteten som før:

$$K = T / t_m$$

2.2.2 To tog-grupper.

Som oftest vil man bare ha to eller tre tog-grupper. Vi skal se nærmere på tilfellet med to grupper, f.eks. stoppende og direkte persontog. Dette er typisk for NSBs dobbeltsporstrekninger i rushtiden. For enkelhets skyld lar vi det være like mange tog i de to gruppene.

Markedsmessig er det for mange togtyper ønskelig at de kjører med fast frekvens (stiv ruteplan). Dette medfører at man får stoppende og direkte tog annenhver gang, som på foregående figur. Videre forutsetter vi at den signalmessige minste togfølgetid t er den samme over hele strekningen. I tall-eksempler vil vi bruke $t = 2$ min. (typisk verdi på NSBs dobbeltsporstrekninger er 1.5 - 4 min.).

Differansen i kjøretid mellom tog fra de to gruppene er den variabelen som betyr mest for kapasiteten i slike situasjoner. Vi kaller den her for Δt , og typisk verdi på forstads-strekningene rundt Oslo er ca. 10 min. (effektive nærtrafikktoget taper ca. 1 min. pr. stopp).

Togfølgetiden for et stoppende tog etter et direkte blir da t , og for den motsatte situasjonen blir togfølgetiden $t + \Delta t$. Siden begge situasjonene forekommer like ofte, blir den midlere togfølgetid

$$t_m = 0.5(t + t + \Delta t) = t + 0.5\Delta t$$

Den teoretiske kapasiteten blir da

$$K = T / (t + 0.5\Delta t)$$

Vi ser straks at blandet trafikk gir en drastisk lavere kapasitet enn ensartet trafikk siden differansen i kjøretid mellom ulike togtyper (Δt) normalt er mye større enn den signalmessige togfølgetiden t . Av samme grunn innser vi at differansen i kjøretid er den parameteren som betyr mest for kapasiteten.

Tallverdiene ovenfor gir en teoretisk kapasitet på ca. 9 tog/time. Som kontrast ville ensartet trafikk gitt en teoretisk kapasitet på 30 tog/time ved samme togfølgetid.

En dramatisk forbedring av den signalmessige togfølgetid fra 2 til 1 min. har i denne situasjon liten innvirkning på kapasiteten: den øker bare fra 9 til 10 tog/time. Tilsvarende effekt ville kunne oppnås ved 2 minutters reduksjon av kjøretidsdifferansen (Δt).

Ved høy frekvens for den stoppende togtypen (15 minutters intervall er ofte ønskelig i rushtidene), får man behov for å kjøre 8 tog pr. time (eller flere, da det ofte vil være behov for mer enn 4 direkte tog pr. time siden disse dekker mange ulike destinasjoner). Man får da en kapasitetsutnyttelse som ligger altfor nær den teoretiske maksimalkapasitet, og punktligheten blir dårlig. Et vanlig "triks" er da å øke kjøretiden for de direkte tog. Kjøretidsdifferansen blir da mindre og kapasiteten høyere. Dette er mye benyttet på NSBs forstadsstrekninger.

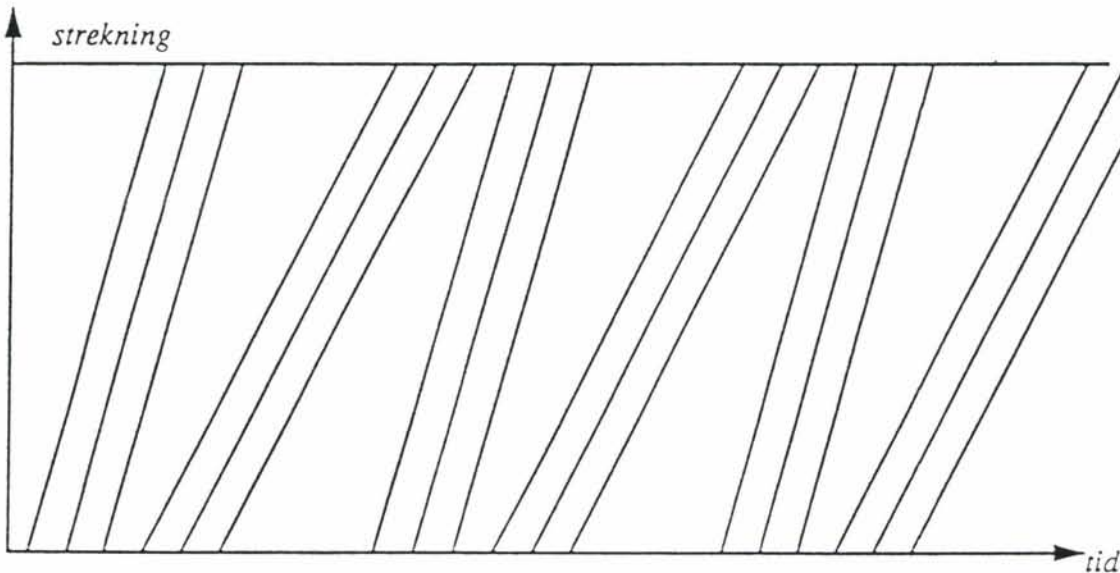
Slike kunstig forlengede kjøretider for de raskeste togene er et typisk tegn på manglende strekningskapasitet.

Hvis man i en slik situasjon isteden prøver å øke kjøretiden for de langsomme togene, kan man komme ille ut å kjøre, fordi kapasiteten da vil bli redusert pga. den økte kjøretidsdifferansen. Hvis kjøretiden for de langsomme togene økes (for å prøve å bedre punktligheten eller pga. langsommere materiell), må kjøretiden for alle de raske togene økes like mye hvis kapasiteten ikke skal reduseres. I en situasjon med anstrengt kapasitet vil det således være viktig å holde forholdsvis stramme ruter for de langsomme togene.

Redusert kjøretid for de langsomme togene vil av samme grunn være et meget effektivt tiltak for å øke kapasiteten.

2.2.3 Ruteplanens innvirkning på kapasiteten.

Vi skal så se litt på ruteplanens effekt på kapasiteten. Det tilfellet vi nå har sett mye på, er den situasjonen som gir lavest kapasitet. Straks man har mulighet til å kjøre to like tog etter hverandre, øker kapasiteten fordi man da får flere tilfeller med den minste togfølgetiden. Hvis vi vekselvis kjører n tog fra hver gruppe (figuren nedenfor viser $n = 3$), blir det $2n-1$ tilfeller med den minste togfølgetid t for hvert tilfelle med togfølgetid $t + \Delta t$.



Figur 2 Grafisk rute (tid-veg diagram) med 3 tog i hver pulje.

Den midlere togfølgetid blir da

$$t_m = [(2n - 1)t + (t + \Delta t)] / 2n = t + \Delta t / 2n$$

Den teoretisk kapasiteten blir

$$K = T / (t + \Delta t/2n)$$

Ved små n vil kapasiteten øke raskt med n , særlig i den vanlige situasjonen hvor Δt er betydelig større enn t .

En slik samling av like tog kalles puljekjøring, "batching" eller "flighting". I praksis vil en slik ruteplan ofte være markedsmessig ugunstig og av den grunn ikke gjennomførbar. Men der hvor dette er mulig å gjennomføre, er det et effektivt tiltak for å øke kapasiteten.

Vi har nå sett mye på situasjonen med bare to tog-grupper. Ved flere enn to tog-grupper bør man på samme måte tilstrebe å ha færrest mulig tilfeller med et av de raskeste togene rett etter et av de langsomste. I hovedsak blir konklusjonene og resultatene for flere tog-grupper av samme type som for to selv om tallverdiene selvsagt blir noe forskjellig.

Som vi har sett flere eksempler på i det foregående, vil det ofte være en konflikt mellom markedsmessige krav til fast frekvens (stive ruter) og korte kjøretider på den ene siden og kravet til kapasitet på den andre siden. Pga. kapasitetens betydning for punktligheten, kan man si at dette til syvende og sist blir en avveining mellom ulike markedsmessige forhold.

2.2.4 Utbygging fra 2 til 4 spor.

Vi skal også kort omtale konsekvensene av en utbygging fra 2 til 4 spor.

Kapasitets-økningen ved en slik utbygging er sterkt avhengig av rutemønsteret:

- Hvis det i utgangspunktet er ensartet trafikk på dobbeltsporet, blir selvsagt kapasiteten pr. spor uendret ved utbygging til 4 spor, og den totale kapasiteten blir doblet.
- Ved blandet trafikk av i hovedsak to tog-grupper, vil man få ensartet eller tilnærmet ensartet trafikk på hvert spor etter utbygging. Som vi har sett i det foregående, blir det en stor kapasitets-økning *pr. spor* ved overgang fra blandet til ensartet trafikk. Ved maksimalt blandet trafikk (raske og langsomme tog annen hver gang) blir kapasiteten pr. spor mer enn doblet ved en utbygging fra 2 til 4 spor, og *den totale kapasitet blir da mer enn 4-doblet!*

2.3 Praktisk kapasitet.

Den teoretiske kapasitet, som vi har behandlet i det foregående, er tilstrekkelig for f.eks. å sammenlikne ulike utbyggingsalternativer m.h.p kapasitet.

Men når man vil vite hvor mange tog det er forsvarlig å belaste en strekning med i praktisk drift, må vi anslå den praktiske kapasitet. Som nevnt innledningsvis, må det da trekkes inn skjønsmessige forhold, oftest i form av erfaringstall ("tommelfingerregler").

Den praktiske kapasitet (K_p) kan uttrykkes som en viss andel (n) av den teoretiske kapasitet (K_t):

$$K_p = nK_t$$

Denne andelen eller utnyttelsesgraden (n) angir hvor mye av den teoretiske kapasitet som det anses forsvarlig å utnytte.

En annen uttrykksmåte for dette (hentet fra ref. / 1 /) er å gi den midlere togfølgetiden et tillegg (t_b) uttrykt som en fraksjon (f) av midlere togfølgetid ($t_b = ft_m$). Dette tillegget kalles ofte buffertid og gir uttrykk for at tidsavstanden mellom togene i praksis må være noe større enn den minste togfølgetiden som teknisk er mulig. Den praktiske kapasiteten blir da

$$K_p = T / (t_m + t_b)$$

Sammenhengen mellom utnyttelsesgraden n og faktoren f i buffertiden kan lett finnes ved å sette de to uttrykkene for praktisk kapasitet lik hverandre og sette inn for den teoretiske kapasitet. Vi får da likningen

$$T / (t_m + t_b) = nT / t_m$$

Herav får vi

$$t_m = n(t_m + t_b)$$

og videre

$$t_b = (1 - n)t_m / n$$

Faktoren f som gir forholdet mellom buffertiden og midlere togfølgetid kan altså uttrykkes ved utnyttelsesgraden n som

$$f = (1 - n) / n$$

Følgende erfaringstall for utnyttelsesgraden er gjengitt i ref. / 1 / og stammer visstnok fra DB (Deutsche Bundesbahn):

- døgnkapasitet: 60% (3/5) utnyttelse av teoretisk kapasitet
- timekapasitet: 75% (3/4) utnyttelse av teoretisk kapasitet

Ved kortere intervall for max belastning kan enda høyere utnyttelse benyttes. Ved T-banen i Oslo setter man vanligvis 80% utnyttelse i max-kvarteret som den maksimale praktiske kapasitet.

Hvilken utnyttelsesgrad man bør legge seg på (de ovenfor eller andre), avhenger først og fremst av hvor god punktlighet man tilstreber, men også av påliteligheten til alt det tekniske utstyret, dvs. hvor ofte det oppstår primære forsinkelser. Videre spiller det inn hvor dyktige operatørene (toglederne) er i å hindre at (primær-)forsinkelser sprer seg til andre tog.

På NSBs forstadsstrekninger har man i rushtiden noe omkring 75% utnyttelse av teoretisk kapasitet (kjøretidene for direkte tog er da økt som omtalt foran). En slik utnyttelsesgrad gir altså ingen særlig god punktlighet med de tekniske og personalmessige ressurser som NSB disponerer.

I situasjoner hvor man ønsker vesentlig bedre punktlighet enn det NSB har i dag (tilbringertjeneste til en ev. hovedflyplass er et aktuelt eksempel), bør man legge seg på en lavere utnyttelse enn det som er anført ovenfor.

2.4 Lengre strekninger.

På lengre strekninger er det ofte avgrensinger, større stasjoner hvor tog starter eller ender, forbikjøringsmuligheter (for rutemessig bruk) o.l. For å finne kapasiteten for slike lengre strekninger deles strekningen inn i strekningsavsnitt hvor hvert strekningsavsnitt oppfyller de betingelser nevnt innledningsvis i kapitlet. Deretter beregner man kapasiteten for hvert strekningsavsnitt for seg.

Den teoretisk kapasitet for hele strekningen vil da være lik kapasiteten til det strekningsavsnitt med lavest kapasitet, *det dimensjonerende strekningsavsnitt*.

For den praktisk kapasitet kan det være nødvendig å trekke inn totalstrekningens lengde. Det synes jo rimelig at det er vanskeligere å framføre tog med en viss punktlighet over en lang strekning enn over en kort. Dette er særlig aktuelt hvis kapasiteten er omtrent like stor på de ulike strekningsavsnittene.

Hvis strekningsavsnittet med lavest kapasitet har markert lavere kapasitet enn de øvrige ("flaskehals"), synes det derimot rimelig å la den praktisk kapasitet for strekningsavsnittet også bli den praktiske kapasitet på totalstrekningen.

Med de dobbeltsporstrekninger som NSB i dag har, er de vurderingene som er gjort her lite aktuelle, men i forbindelse med de store utbygginger som nå planlegges vil man få lengre dobbeltsporstrekninger, og da vil slike vurderinger kunne komme inn.

Under behandlingen av enkeltspor vil vi omtale betydningen av antall strekningsavsnitt og dimensjonerende strekningsavsnitt noe mer da disse begrepene spiller en større rolle ved enkeltspor slik som forholdene er i Norge.

På mange hovedstrekninger på kontinentet er det blandet trafikk av hurtige persontog (IC) og godstog. Det er da vanlig med regelmessige forbikjøringsspor (3. spor) plassert med jevne mellomrom omtrent som kryssingsspor på enkeltsporede strekninger. Ved kapasitetsberegning for slike strekninger må man finne dimensjonerende delstrekning og ta hensyn til antall strekningsavsnitt på analog måte som her beskrevet for enkeltspor (kap. 4.2).

3 Signalsystem og togfølgetid Jobbeltspor.

I dette kapitlet skal vi gå nærmere inn på beregning av togfølgetider. Det blir derfor nødvendig å beskrive ulike typer signalsystem da disse har stor betydning for togfølgetidene og dermed for kapasiteten. En del av de kapasitetsmessige betraktninger fra forrige kapittel er det naturlig å videreføre i dette kapitlet.

3.1 Elementene som inngår i minste togfølgetid.

Den minste togfølgetiden for en strekning er den minste tidsavstanden mellom to tog slik at det andre toget på betryggende måte kan holde sin maksimale hastighet (samme hastighet som det første toget).

Hvis tog 2 skal beholde sin konstante hastighet og dermed konstant (minimum) togfølgetid etter tog 1, må alle signaler vise grønt før toget når fram til dem. Hvis ikke dette er tilfelle, vil tog 2 begynne å bremse, og tidsavstanden mellom togene vil øke.

Det basale sikkerhetskravet er at det alltid skal være minst en bremselengde fritt spor foran toget. Avhengig av det signalsystemet som benyttes, vil det i praksis bli et større eller mindre tillegg til dette basis-kravet. Figur 4 m.fl. viser de elementene som inngår i den minste togfølgetiden.

side 18

I det følgende omtales de enkelte elementene i togfølgetiden.

3.1.1 Siktavstand.

Selv om det alltid er tilstrekkelig bremselengde fra det første restriktive signal til stoppunktet, vil en lokomotivfører normalt begynne å redusere hastigheten et stykke før signalet istedenfor nøyaktig der signalet står. Dette kan dels skyldes forsiktighet, dels det forhold at bremsing øker sannsynligheten for at signalet skifter til grønt før toget passerer det slik at full hastighet kan gjenopptas. Det punktet hvor bremsing innledes kalles iblant - særlig i engelsk litteratur - for siktpunktet, og avstanden til signalet for siktavstanden ("sighting point / distance"). I denne betydning av ordet er siktavstanden ofte kortere enn avstanden fra det punkt hvor føreren først ser signalet. I andre sammenhenger, f.eks. vurdering av signalplassering ute i terrenget, brukes ordet siktavstand i den sistnevnte og mer naturlige betydningen. I dette notatet vil vi bruke ordet i den førstnevnte betydningen. Det samme gjelder også når man gir inn data til en del simuleringsmodeller som regner så nøyaktig at de tar hensyn til dette forholdet.

Siktavstanden i førstnevnte betydning vil variere fra fører til fører og fra strekning til strekning. Den kan angis som en lengde eller relateres til tid, altså hvor *lenge* før signalet føreren vil begynne å bremse. Bruk av tidsavstand synes oftest som det mest rimelige, spesielt i slike teoretisk betraktninger som her.

For tallberegninger kan 10 sekunder anses som en rimelig verdi.

Et moment som ikke er vist på figurene, er den tekniske reaksjonstiden, dvs. tiden fra et tog frigir en blokkstrekning til dette vises på signalene bak toget. Denne tiden er normalt så liten at den kan neglisjeres i beregningene.

3.1.2 Blokkstrekninger og bremselengde.

Denne delen av togfølgetiden består av avstanden fra det første restriktive signalet til stopp-punktet (rødt signal). Den består av et antall blokkstrekninger; antallet avhenger av signalsystemet. Den kan ikke under noen omstendighet være kortere enn bremselengden for det toget som har lengst bremselengde av de togene som tillates å trafikkere strekningen (det dimensjonerende toget). I situasjoner hvor det ikke er behov for å utnytte strekningen maksimalt kan denne avstanden være vesentlig lengre, noe som gir et rimeligere signalanlegg.

Sammenhengen mellom blokkstrekning og bremselengde varierer med type signalsystem og omtales under de enkelte signalsystemene.

Ved NSB er det på de fleste eksisterende strekninger brukt en "standard" bremselengde på ca. 800m. Dette har sammenheng med at både persontog med toppfart 120-130km/h og godstog med toppfart 80-90km/h har omtrent denne bremselengde. Ved andre forvaltninger er det vanlig at man har bremsekurver/tabeller med bremselengde som funksjon av hastighet og stigning/fall. Ved planlegging av nyanlegg og oppgradering av eksisterende anlegg regner man også i NSB med betydelig høyere hastigheter og lengre bremselengder.

Denne avstanden (fra det første restriktive signalet til stopp-punktet) utgjør nesten alltid hoveddelen av togfølgetiden, og det er denne avstanden man kan påvirke gjennom valg av signalsystem og signalplassering.

Ved design av et signalanlegg må man velge dimensjonerende hastighet og dermed bremselengde. Strekningen kan da normalt ikke trafikkere av tog med høyere toppfart med mindre disse tog har så gode bremsere at de kan stoppe fra sin toppfart innen det dimensjonerende togets bremselengde.

3.1.3 Toglengde.

Toglengden er den siste faktoren som inngår i togfølgetiden. For persontrafikk, hvor togene normalt er forholdsvis korte, har den ganske liten innflytelse på resultatet rent tallmessig. Et klart unntak er situasjoner med ekstremt korte blokkstrekninger slik som f.eks. i beregningen av den optimale kapasitet i kap. 2.1.

For godstog som normalt er vesentlig lengre og har lavere hastighet, vil toglengden gi et vesentlig bidrag til togfølgetiden. Derfor er vanligvis togfølgetiden mellom to godstog vesentlig større enn mellom to persontog.

3.2 Omtale av ulike signalsystem.

Det aller enkleste form for signalsystem (med lys) består av bare en type signaler som kan vise to signalbilder:

- rødt (stopp) når det er et tog på strekningen fram til følgende signal
- grønt (kjør) når tilsvarende strekning er ledig.

Dette er et system med 2 begrep (= signalbilder), og det kan kun brukes for systemer hvor hastigheten er så lav at det er tilstrekkelig å bremse når man ser det røde signalet (f.eks. trikkelinjer). Hvert signal er logisk (og elektrisk) knyttet til den etterfølgende strekning fram til neste signal. En slik strekning kalles ofte blokkstrekning (et eller flere elektrisk isolerte sporfelt), og når det er et tog på denne strekningen viser signalet alltid rødt.

Tog har generelt lange bremsestreknings pga. den lille friksjonen det er mellom stålhjul og stålskinne. Det skal derfor ikke særlig høy hastighet til før bremselengden blir så lang at det er nødvendig å begynne å bremse før føreren ser det røde signalet. Det må da settes opp et signal på det stedet hvor bremsing må starte, som gir et forvarsel om at neste signal viser stopp. Et slikt signal kalles et forsignal, mens de opprinnelige kalles hovedsignaler. Et forsignal er logisk knyttet til etterfølgende hovedsignal og ikke til noe eget sporfelt.

NSBs ordinære signalsystem består av slike forsignaler og hovedsignaler. Hovedsignalet har 3 lys med følgende signalbilder og betydninger:

- rødt: stopp (tog på neste blokkstrekning)
- et grønt: kjør med lav hastighet (fordi det er en sporveksel i avvik på neste blokkstrekning)
- to grønne: kjør med full hastighet (ingen sporveksel i avvik på neste blokkstrekning)

Forsignalet har to lys med følgende signalbilder og betydninger:

- blinkende gult: tilhørende hovedsignal viser rødt
- blinkende gult og grønt: tilhørende hovedsignal viser ett grønt
- blinkende grønt: tilhørende hovedsignal viser to grønne

NSBs signalsystem med separate for- og hovedsignaler er typisk egnet for enkeltspor. På dobbeltsporstrekninger med tett trafikk trenger man korte blokkklengder (dvs. ikke vesentlig lengre enn dimensjonerende togs bremsestrekning), og da må forsignalet settes på foregående hovedsignals mast. Man får da et såkalt 3-begrep signalsystem, men med 5 lys fordi informasjon om ev. avvikende sporveksel fortsatt er med. I et rent 3-begrep signalsystem brukes vanligvis bare 3 lys med følgende betydninger (vanlig fargebruk er også angitt):

- rødt: stopp (tog på neste blokkstrekning)
- gult: vent stopp (neste signal viser nå stopp, dvs. det er en bremselengde til stopp-punktet, og bremsing må umiddelbart iverksettes)
- grønt: kjør (neste signal viser minst gult, dvs. det er minst to bremselengder til forangående tog, og full hastighet kan holdes fram til neste signal)

De kapasitetsmessige forhold avhenger ikke av hvordan man signalerer de ulike begrepene. I det følgende vil de sistnevnte betegnelsene brukes, og når det trengs forkortelser (figurer o.l.) brukes for enkelhets skyld de engelske forkortelsene R, Y og G.

Ved 3-begrep signalering er det alltid minst en bremselengde (for dimensjonerende tog) mellom signalene. Hvis det trengs høyere kapasitet, må avstanden mellom togene reduseres. Dette kan gjøres ved å innføre et 4. begrep, dvs. forsignalering over to blokkstrekninger. Da begynner toget å bremse to blokkklengder før stopp-punktet, og dermed kan blokkklengden reduseres til halvparten av dimensjonerende togs bremselengde.

For 4-begrep systemer varierer signalbildene mer fra land til land. I det følgende beskrives de engelske signalbilder. Det brukes der 4 lys med følgende signalbilder (vanlig forkortelse er også angitt):

- rødt (R): stopp (tog på neste blokkstrekning)
- et gult (Y): vent stopp (neste signal viser nå stopp, dvs. det er mindre enn en bremselengde til stopp-punktet; fortsatt bremsing)
- to gule (YY): innled bremsing (det er en bremselengde til stopp-punktet)
- grønt (G): kjør (neste signal viser minst to gule, dvs. full hastighet kan holdes fram til neste signal)

4-begrep signalsystem er til nå ikke tatt i bruk ved NSB. Det foreligger innidertid et forslag om anvendelse av nåværende signalbilder til 4-begrep signalering. Dette forslaget innebærer at ett grønt lys i hovedsignalet også kan bety at det er mindre enn en bremselengde til stopp-punktet, altså at hastigheten må være lavere enn maksimalhastigheten.

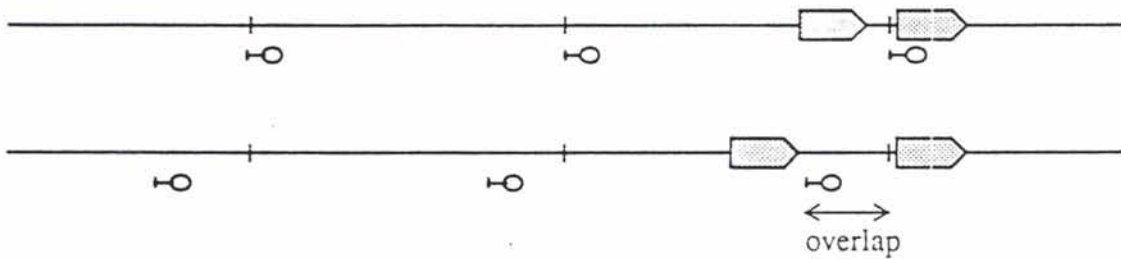
Togfølgetidene kan ytterligere reduseres og kapasiteten økes ved å innføre enda flere begrep. Generelt kan man snakke om n-begrep signalering. Så vidt vi vet, er $n > 4$ ikke i bruk noe sted med utvendige signaler, men bare sammen med et system for innvendig signalering (førerrom-signalering, "cab signalling"). Det brukes da oftest hastighet direkte istedenfor signalbilder.

Systemer som gir lokomotivføreren kontinuerlig informasjon om avstanden til forangående tog, omtales som systemer med rullende eller dynamisk blokk (i motsetning til den ordinære statiske blokkdelingen). Ved bruk av slike systemer kan det tillates at avstanden mellom to tog bringes ned mot *en* dimensjonerende bremselengde. Rent matematisk kan dette betraktes som et system med svært mange begrep (n tilnærmet uendelig).

Hvis systemer er slik at denne bremselengden ikke er relatert til det dimensjonerende toget for strekningen slik som ved en statisk blokkdeling, men beregnes kontinuerlig ut fra hastigheten for det *aktuelle* toget, betegnes systemet som kjoring på *elektronisk sikt*. Avstanden mellom togene kan altså da være kortere enn bremselengden for det dårligst bremsende tog som tillates på strekningen. Videre er denne bremselengden og dermed den minimale avstanden til forangående tog også avhengig av den aktuelle hastigheten slik at avstanden til forangående tog kan reduseres når togets hastighet reduseres.

For disse systemer er det selvsagt kun aktuelt med innvendig signalering (selv om det ofte også fins et vanlig ytre system som tjener som reserve, samt som signalering for tog uten det kontinuerlige systemet). Vi vil her ikke gå nærmere inn på virkemåten for slike systemer. I det følgende vil kontinuerlige systemer (eller uendelig mange blokkstrekninger) bli brukt som grensetilfelle for den minste togfølgetid som kan oppnås.

Tradisjonelle ytre signaler er alltid relatert til en blokkstrekning (ett eller flere isolerte sporfelt). Men det er noe ulik praksis når det gjelder plassering av signalet i forhold til det fysiske delepunkt mellom blokkstrekningene ("isolert skjøt"). Ved NSB skal signalet plasseres ved dette delepunktet. Ved en del andre jernbaner, bl.a. BR (British Railways), plasseres signalet alltid et stykke før den (logisk) tilhørende blokkgrense, se figur nedenfor.



Figur 3 Signalplassering i forhold til blokkgrense, ved NSB (øverst) og BR (nederst). Figuren viser også teoretisk minste togseparasjon (ved stillstand).

Avstanden fra signalet til blokkgrensen kalles i britisk litteratur for "overlap". Denne utgjør en sikkerhetssone fra signalet til togvegens slutt, og er den minste separasjonen som kan oppnås mellom to tog (dvs. ved stillstand). Ved BR har denne sonen en lengde på 2-300 yards. Den inngår alltid i togfølgeberegninger. Bruk av en slik sone medfører at blokkleddene strikt kan fastlegges etter dimensjonerende togs bremselengde uten noe sikkerhetsmessig "påslag". På alle figurer som i det følgende er hentet fra britisk litteratur, vil man finne denne sonen.

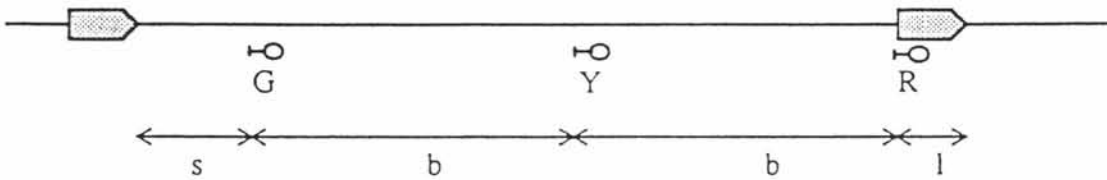
3.3 Beregning av togfølgetider ved konstant hastighet og blokk lengde.

Når en strekning har konstant hastighet og like lange blokk lengder, er det enkelt å beregne togfølgetidene.

Denne type beregninger er hovedsaklig egnet til å anslå kapasitet før en endelig signalplassering er fastlagt eller som grove overslag uten å gå inn på detaljer i signalplasseringen. Videre er de egnet til generelt å demonstrere den kapasitetsmessige virkning av slike ting som å innføre stopp, endre signalsystemet fra 3- til 4-begrep o.l.

3.3.1 Strekning uten stopp.

I denne situasjonen forutsetter vi at det ikke foregår noen akselerasjon eller retardasjon noe sted på strekningen. Med 3-begrep signalering blir situasjonen ved minste togfølgetid da som på figuren nedenfor.



Figur 4 Minste togfølgetid ved 3-begrep signalering.

Her betegner b blokk lengden som i dette tilfellet er identisk med en standard bremselengde. Togenes lengde kalles l , og togfølgetiden uttrykkes da ofte som

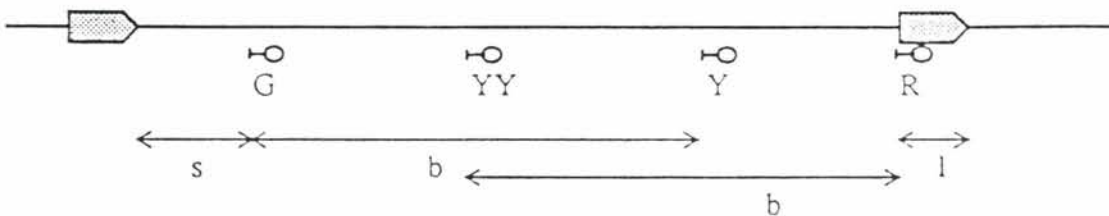
$$t = (l + 2b + s) / v$$

hvor s er siktavstanden, og det forutsettes da at lokføreren begynner å bremse denne avstanden før et restriktivt signal. Det virker kanskje mer rimelig at denne avstanden er proporsjonal med hastigheten, og togfølgetiden kan da uttrykkes

$$t = (l + 2b) / v + t_s$$

hvor t_s er "siktavstanden", dvs. tiden som går med til å kjøre siktavstanden ($t_s = s/v$).

Ved 4-begrep signalering blir situasjonen som vist nedenfor:



Figur 5 Minste togfølgetid ved 4-begrep signalering.

b betegner fortsatt en standard bremselengde, men denne tilsvarer nå 2 blokkstrekninger. Med for øvrig de samme betegnelsene som ovenfor blir minste togfølgetid

$$t = (l + 1.5b) / v + t_s$$

Generelt har vi for et n -begrep system (forsignaling over $n-1$ blokkstrekninger) at togfølgetiden blir

$$t = [l + b(n-1)/(n-2)] / v + t_s$$

Når n er meget stor, blir togfølgetiden tilnærmet

$$t = (l + b) / v + t_s$$

Man snakker da om kontinuerlige systemer eller dynamisk (rullende) blokk.

3.3.2 Strekning med stopp.

Vi ser nå på en strekning hvor det fortsatt er (tilnærmet) like tog med konstant hastighet v og bremselengde (blokk lengde) b , men hvor *alle* tog har et stopp. Det er altså fortsatt snakk om ensartet trafikk. Videre forutsetter vi her konstant akselerasjon (a) og retardasjon (r).

Innføring av et stopp (i hovedsporet, altså uten noen ekstra spor) fører til at togfølgetiden øker vesentlig fordi blokkstrekningen som inneholder stoppestedet, blir belagt i vesentlig lengre tid. Dette er illustrert i Figur 10.

Togfølgetiden med stopp kan uttrykkes som togfølgetiden uten stopp samt et tillegg. Dette tillegget består av det økte tidsforbruket pga. akselerasjon og retardsjon, samt oppholdstiden ved plattform (t_0).

Tidstillegget pga. en retardsjon og akselerasjon er

$$(v/r) + (v/a)$$

Togfølgetiden for en strekning med stopp blir da ved 3-begrep signalering

$$t = (l + 2b) / v + (v/r) + (v/a) + t_0 + t_s$$

Ved 4-begrep signalering blir den tilsvarende

$$t = (l + 1.5b) / v + (v/r) + (v/a) + t_0 - t_s$$

Ved flere begrep generaliseres uttrykket på samme måte som uten stopp.

Vanligvis er retardasjonen for et tog noe høyere enn akselerasjonen fordi et tog normalt bremses på alle aksler, men ikke har trekk-kraft på alle. For overslagsberegninger slik som her, og for nåværende norske hastighetsforhold er det likevel en god tilnærming å sette akselerasjonen lik retardasjonen. Det vil vi gjøre i de fleste tallberegninger i det følgende.

Vi skal nå se på optimalisering av kapasiteten på samme måte som i kap. 2.1, dvs. vi skal finne den hastighet som gir maksimal kapasitet når det er et stoppested på strekningen hvor alle tog stopper. Som forrige gang, gjør vi dette for 3-begrep signalering og setter bremselengden (og blokk lengden) til

$$b = (v^2 / 2r) + s$$

For enkelhets skyld setter vi $a = r$, og uttrykket for den teoretiske kapasiteten blir da

$$K = Tv / (1 + 2s + 3(v^2 / r) + (t_0 + t_s)v)$$

Ved derivasjon m.h.p. v og noe regning kommer vi fram til at den optimale hastigheten nå er gitt ved

$$v^2 = (1 + 2s)r / 3$$

Ved bruk av de samme tallverdier som tidligere får vi at den optimale hastighet nå bare er 11.5 m/s (42 km/h) mot nesten det dobbelte i tilfellet uten stopp. En så lav hastighet er selvfølgelig helt uinteressant i praksis. Den teoretiske maksimalkapasiteten har sunket fra ca. 70 tog/time uten stopp til ca. 30 tog/time med stopp. Det er da brukt en oppholdstid på 40 s.

Hvis vi bruker den optimale hastigheten (og bremselengden) for situasjonen uten stopp som ble funnet i kap. 2.1, synker den teoretiske kapasiteten ytterligere, til ca. 27 tog/time. At reduksjonen ikke er større, skyldes at blokk lengdene her er så (urealistisk) korte at det konstante tillegget (s) som vi satte til 100 m utgjør en stor del av blokk lengden.

Vi har altså sett at det å innføre et stopp (for alle tog) på en strekning hvor det før ikke var stopp, fører til en drastisk reduksjon av kapasiteten. Et stopp i hovedsporet på en dobbeltsporstrekning kan altså betraktes som en (lokal) flaskehals fordi togene oppholder seg så mye lengre der enn ellers på strekningen. Skal kapasiteten opprettholdes på omtrent samme nivå ved innføring av stopp, må stoppestedet/stasjonen ha flere spor, altså økt kapasitet i flaskehalsen.

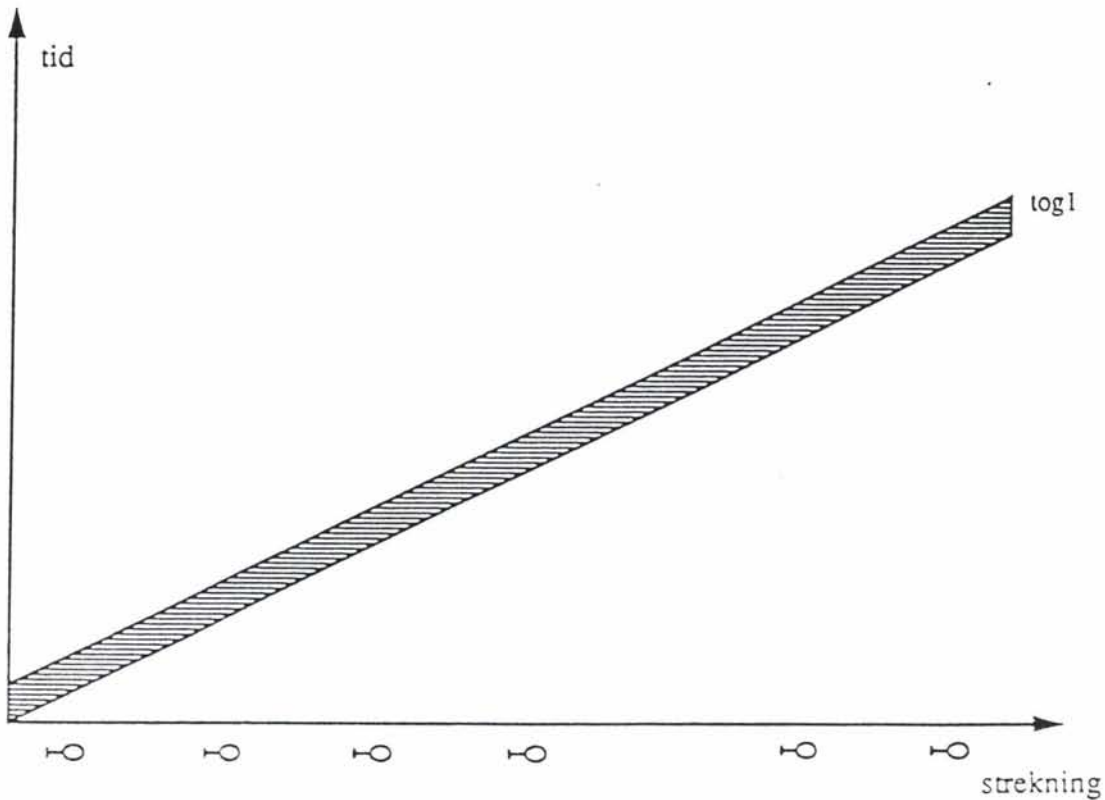
Uttrykkene for togfølgetid og kapasitet blir de samme hvis det er flere stopp for alle tog på strekningen. Stoppestedet med lengst oppholdstid er da bestemmende for kapasiteten.

3.4 Togfølgetider mer generelt.

I det foregående har vi forutsatt at både hastighet og blokk lengde er konstante over en lengre strekning. I mange andre land er det ofte konstant maksimalhastighet over lange strekninger, og siktforholdene er gode slik at signalene kan plasseres med jevne intervaller. I Norge er hastighetsstandarder - i tillegg til å være lav - også meget varierende. Det er sjelden mer enn noen få km i trekk med samme hastighet. Pga. terrenget er det ofte vanskelig å plassere signaler slik at det blir tilstrekkelig sikt, og blokk lengden (signalavstanden) vil derfor i praksis variere fra signal til signal. Beregningene i foregående avsnitt kan derfor bare benyttes til overslag. Hvis man skal ha mer nøyaktige togfølgetider, må man gå grundigere til verks.

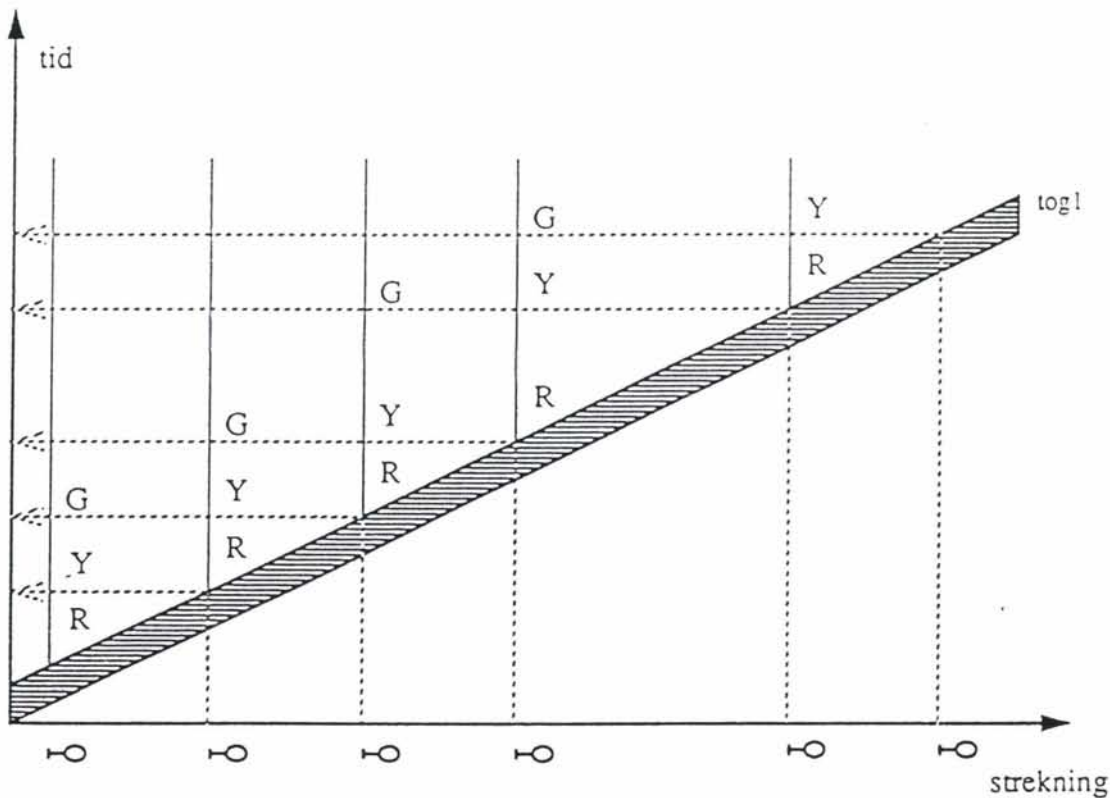
I det følgende vil vi vise noen eksempler på hvordan man kan finne togfølgetider ut fra grafer. Det brukes da detaljerte tid-veg diagrammer, ikke skjematisk (grafiske ruter) som vist tidligere.

Først vises over fire figurer hvordan man tegner et slikt togfølge-diagram. I disse figurene er det konstant hastighet uten stopp, men signalavstandene er ujevne. Man begynner med å tegne aksene, og signalplasseringen markeres på strekning-aksen. Så tegnes en nøyaktig kurve som viser både fronten og enden av det første toget. Følgende figur viser dette.



Figur 6 Begynnelsen av togfølge-diagram.

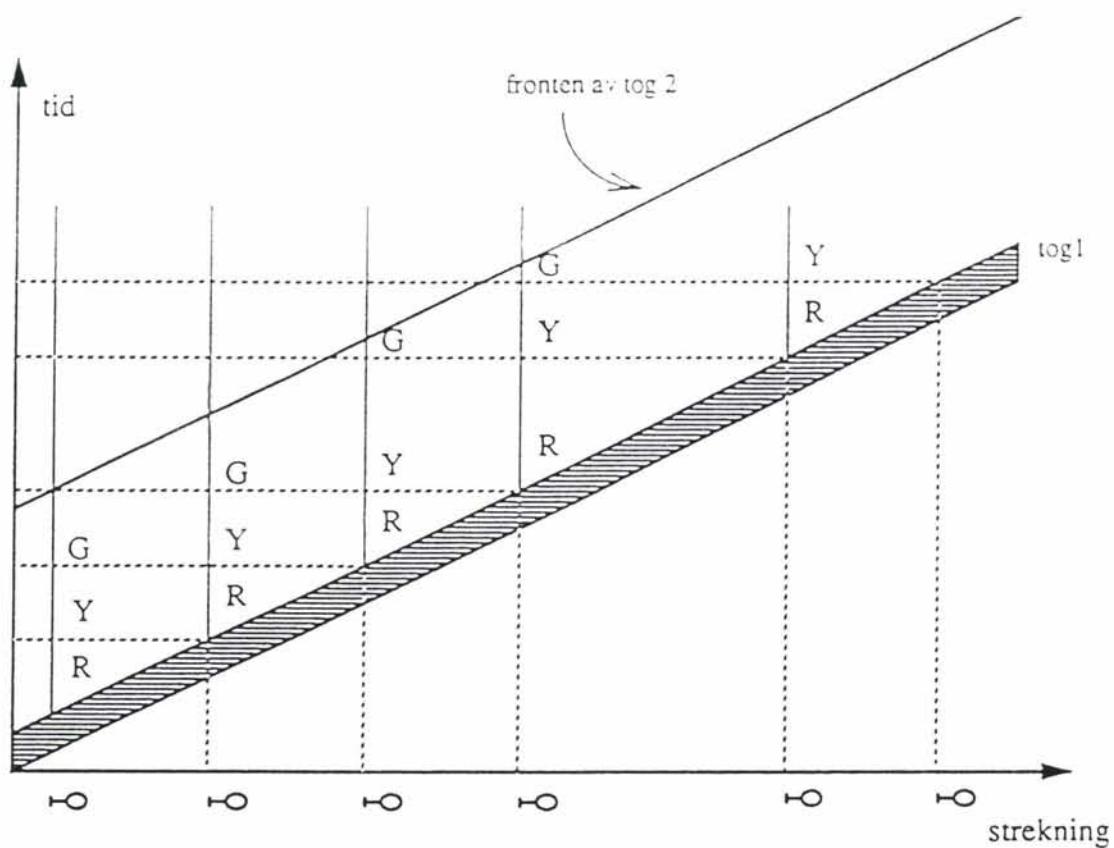
Videre tegnes for hvert blokkskille en vertikal linje opp til kryssingspunktet med linjen som markerer enden av det første toget, og deretter føres linjen horisontalt bort til tidsaksen. Disse linjene er stiplet på figuren nedenfor. I denne figuren er det forutsatt at signalet står ved blokkskillet (norske forhold). Disse horisontale linjene markerer når hvert signal skifter mellom de ulike begrepene fra stopp (rødt) til høyeste begrep (grønt). Signaltidene er også påført figuren.



Figur 7 Togfølge-diagram med første tog og signalbilder bak toget.

Man har nå de nødvendige opplysninger for å plassere kurven for fronten av det andre toget slik at man oppnår minimal togfølgetid. Det kan kreve noe prøving og feiling å finne den plassering av kurven som gir minimal togfølgetid hvis det ikke er opplagt hvor det kritiske punktet (signalet) er. I figuren ovenfor er det selvsagt den lengste blokkstrekningen som er dimensjonerende, og vi ser at dette gir seg utslag ved at det tar vesentlig lengre tid å få grønt i de to signalene rett for denne blokkstrekningen enn i de øvrige signalene.

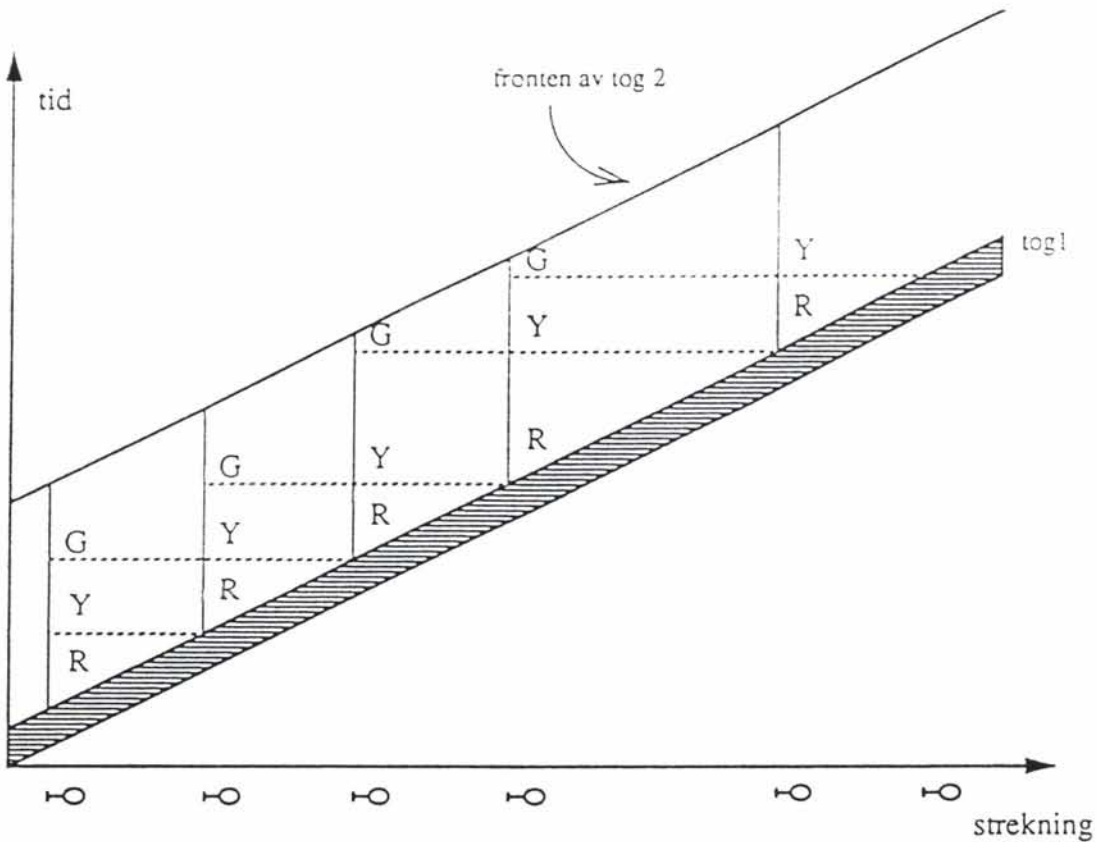
I neste figur er kurven for fronten av det andre toget plassert. Siktavstand må medtas når man plasserer denne kurven.



Figur 8 Fullstendig togfølge-diagram inklusive hjelpelinjer.

Man kan nå direkte lese av togfølgetiden på tidsaksen.

I den neste figuren er hjelpelinjene fjernet for å vise hvordan togfølge-diagrammene ofte framstår.

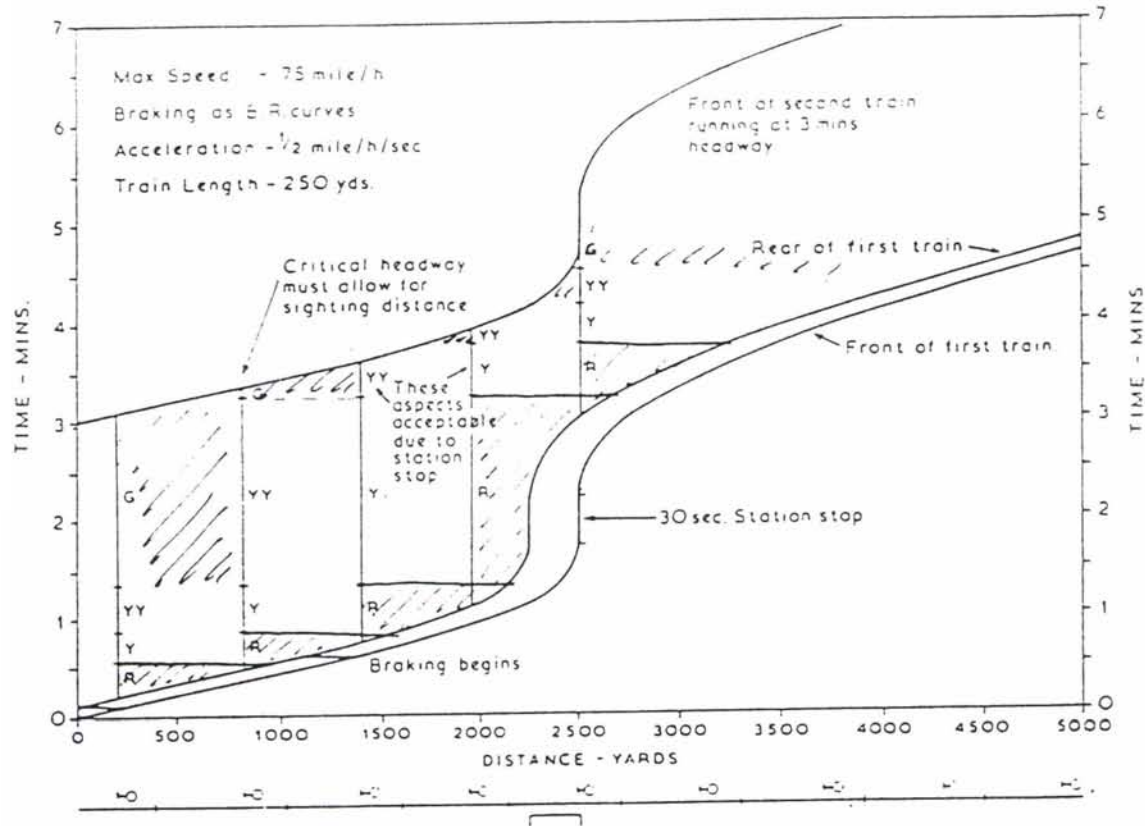


Figur 9 Fullstendig togfølgediagram slik de oftest vises (hjelpelinjer fjernet).

I denne enkle situasjonen vil det, som tidligere nevnt, være den lengste blokkstrekningen som er dimensjonerende, og det kritiske punkt (signal) blir et av de to rett før den kritiske blokkstrekningen.

I det følgende skal vi se på noen ferdige togfølgediagrammer ("headway diagrams") for situasjoner med varierende hastighet, stopp m.m. Figurene er hentet fra ref. / 3 / og gjengir engelske forhold. Det brukes derfor gjennomgående 4-begrep signalering med de vanlige forkortelsene R, Y, YY og G, samt "overlap".

Når man har et stopp i hovedsporet fører dette til vesentlig økt togfølgetid og redusert kapasitet som tidligere omtalt. Følgende figur viser dette tydelig.

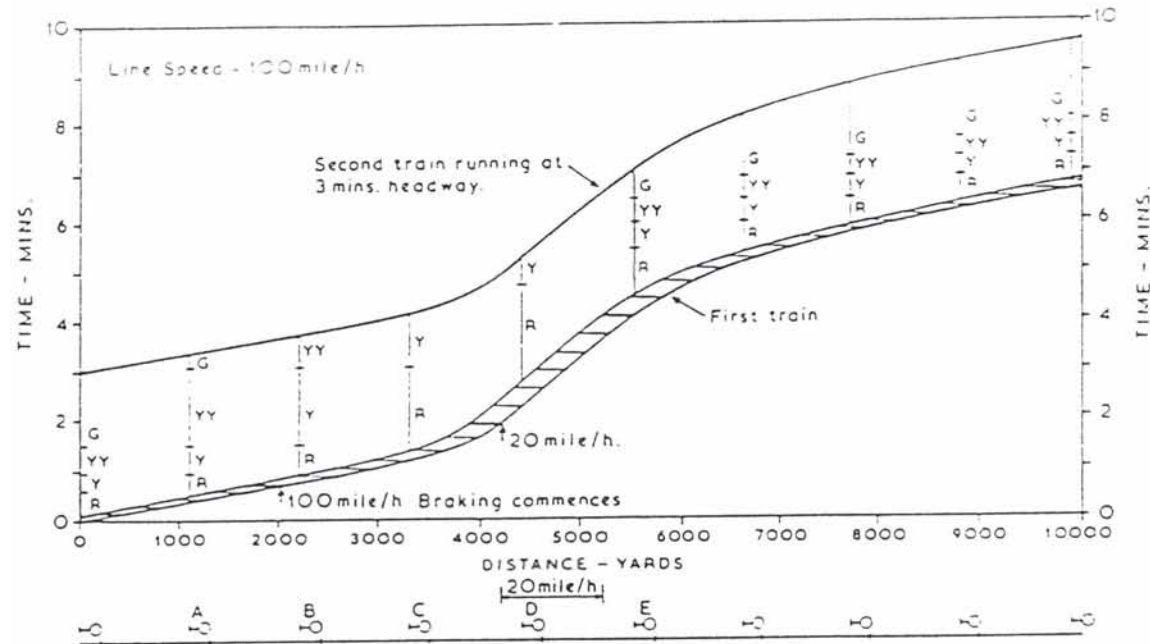


Figur 10 Togfølge-diagram for strekning med konstant hastighet med stopp.

Som man ser helt til venstre i figuren, kunne togfølgetiden i dette tilfellet ha vært ca. 1.5 min. hvis togene ikke hadde hatt stopp, mens den med stopp (den viste linje) er 3 min.

En vesentlig årsak til økningen i togfølgetid er at det vanligvis forutsettes at passerende tog skal kunne holde full hastighet slik at signalavstanden må være den samme som på strekningen for øvrig. Hvis det er en driftsmessig forutsetning at alle tog skal stoppe (kan være aktuelt for T-baner), kan signalavstanden reduseres, og togfølgetiden blir noe mindre. Dette vises det eksempler på senere ved kjøring ut fra eller inn til stasjon.

I neste figur vises effekten av en kraftig hastighetsreduksjon på en strekning med konstant signalavstand.



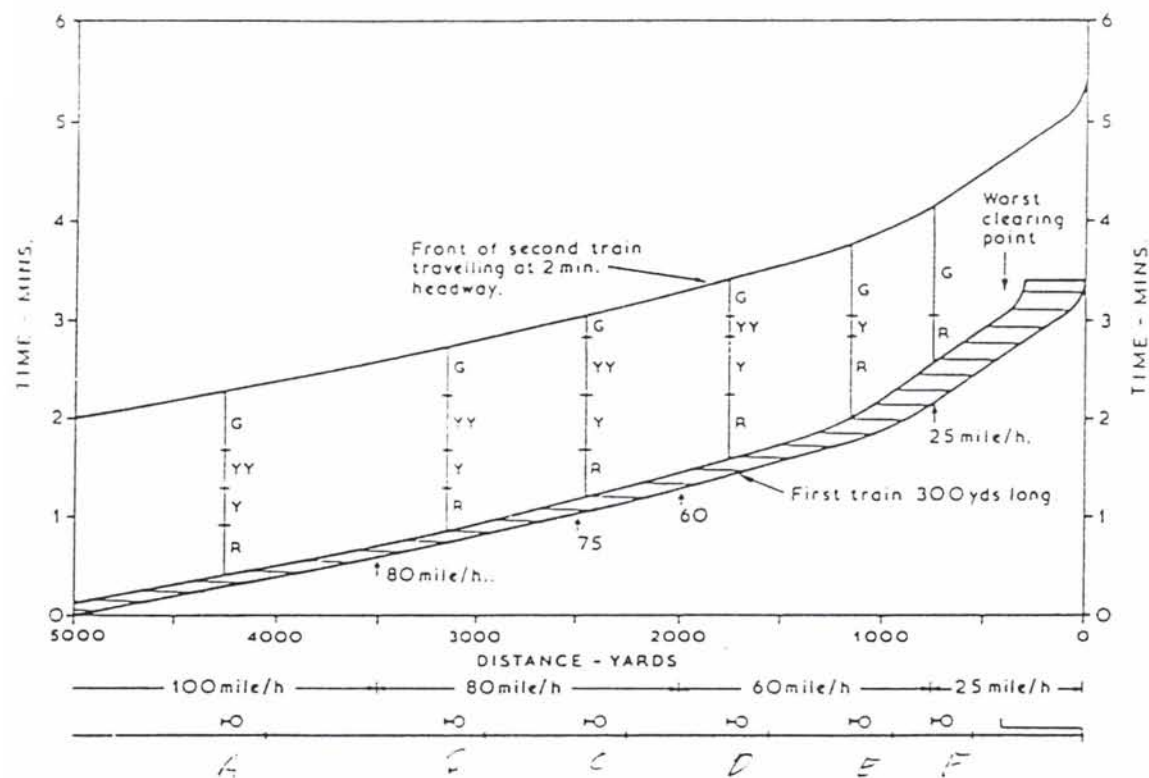
Figur 11 Togfølge-diagram for hastighetsreduksjon og konstant signalavstand.

Vi ser at virkningen blir omtrent som for et stopp (figuren viser et ekstremt eksempel med en hastighetsreduksjon til femteparten av maksimalhastigheten).

De kritiske punktene, som hindrer redusert togfølgetid, er her ved signal A og D. Vi skal se litt nærmere på muligheten for å redusere togfølgetiden ved endret signalplassering. Både strekningene AC og BD må være minst en dimensjonerende bremselengde fordi toget kan ha maksimal hastighet ved sikteavstand på disse signalene. Blokkstrekningen DE kan derimot reduseres, men dette påvirker ikke signaleringen ved A som er kritisk for togfølgetiden. Dermed kan togfølgetiden ikke reduseres fordi eneste mulighet for å få grønt tidligere i signal A ville vært en reduksjon av lengden AD.

Vi ser altså at togfølgetiden blir lengre ved varierende hastighet enn ved konstant hastighet.

Neste figur viser forholdene inn til en liknende stasjon. Det er her forutsatt trinnvis redusert hastighet inn mot stasjonen og signalavstandene minsker i samsvar med dette.



Figur 13 Toggølgediagram for to tog som ankommer en større stasjonen.

Det innerste signalet skifter direkte fra rødt til grønt fordi togene går til hvert sitt spor.

Vi ser at det kritiske punktet er når det andre toget nærmer seg signalet merket C fordi det her er grønt kortest tid. Dette signalet skifter til grønt i det blokkstrekningen EF frigis, og det er altså avstanden fra signal C til F som begrenser toggølgeløstiden i denne situasjonen.

3.5 Kapasitetsøkning ved overgang fra 3 til fler-begrep system.

Vi skal her se på den teoretiske kapasitetsøkning ved overgang fra et 3-begrep signalsystem til et 4-begrep system og til "grenseverdien" dynamisk blokk (uendelig mange begrep). Det forutsettes for det meste konstant blokk lengde, hastighet, akselerasjon og retardasjon slik at uttrykkene som er utledet i kap. 3.3 kan brukes. For mer nøyaktig beregning av kapasitetsøkningen på en konkret strekning må togfølgetidene finnes mer nøyaktig, f.eks. slik som i kap. 3.4.

3.5.1 Strekning uten stopp.

Vi ser først på ensartet trafikk uten stopp. Med togfølgetidene fra kap. 3.3.1 ser vi at den teoretiske kapasiteten for et 3-begrep system blir

$$K_3 = Tv / (1 + 2b + vt_s)$$

For et 4-begrep system får vi tilsvarende

$$K_4 = Tv / (1 + 1.5b + vt_s)$$

Vi ser at kapasiteten øker, men hvor mye den øker avhenger av størrelsen på $1 + vt_s$ i forhold til bremselengden b . Vanligvis er b den dominerende, spesielt ved høye hastigheter.

Den maksimale virkning av overgang fra 3 til 4 begrep får vi når $1 + vt_s$ er neglisjerbar i forhold til b . Togfølgetiden kan altså maksimalt reduseres med 25% ($[2 - 1.5] / 2$), og kapasiteten øker maksimalt med 33% ($2 / 1.5 = 1.33$).

Den maksimale reduksjon av togfølgetiden som det er mulig å oppnå, får man ved et kontinuerlig system hvor togene kan kjøre med ned mot en bremselengdes avstand. Ved korte tog vil togfølgetiden kunne bli redusert til bortimot halvparten med et slikt system sammenliknet med et 3-begrep system. Tilsvarende vil kapasiteten kunne øke til bortimot det dobbelte.

3.5.2 Strekning med stopp.

Vi ser så på ensartet trafikk med stopp for alle tog. Vi bruker også her tilnærmelsen $a = r$.

Med togfølgetidene fra kap. 3.3.2 ser vi at den teoretiske kapasiteten for et 3-begrep system er

$$K_3 = Tv / (1 + 2b + 2(v^2/r) + (t_0 + t_s)v)$$

For et 4-begrep system får vi tilsvarende

$$K_4 = Tv / (1 + 1.5b + 2(v^2/r) + (t_0 + t_s)v)$$

Vi ser at kapasiteten øker, men hvor mye den øker avhenger av størrelsen på bremselengden b i forhold til de andre faktorene.

For å få et inntrykk av den maksimale kapasitetsøkning som kan oppnås ved overgang fra 3 til 4 begrep lar vi som ovenfor $l + vt_0$ være neglisjerbar i forhold til b , og vi lar også oppholdstiden (t_0) være neglisjerbar selv om dette er en atskillig grovere tilnærming. Forholdet (kvotienten) mellom kapasiteten ved h.h.v 4 og 3 begrep blir da

$$K_4/K_3 = (2b + 2v^2/r) / (1.5b + 2v^2/r)$$

Hvis vi videre gjør den vanlige antagelsen $b = v^2/2r$, får vi

$$K_4/K_3 = 3/2.75 = 1.1$$

Vi får altså at kapasitetsøkningen ved overgang fra 3 til 4 begrep maksimalt blir 10% selv om alle tilnærmelsene vi har gjort har bidratt til å øke dette tallet.

Det eneste tilfellet hvor man kunne tenke seg en høyere kapasitetsøkning i denne situasjonen (ensartet trafikk med stopp), er at blokk lengden av en eller annen grunn må holdes vesentlig større enn $v^2/2r$.

Den maksimale reduksjon av togfølgetiden som det er mulig å oppnå, får man ved et kontinuerlig system hvor togene kan kjøre med ned mot en bremselengdes avstand. Den teoretiske kapasiteten i dette tilfellet får man ved å erstatte faktoren 1.5 i K_4 med faktoren 1. Denne kapasiteten sett i forhold til kapasiteten ved 3 begrep blir da

$$K_u/K_3 = (2b + 2v^2/r) / (b + 2v^2/r)$$

Ved samme antagelse som ovenfor ($b = v^2/2r$) ser vi at vi maksimalt kan få

$$K_u/K_3 = 3/2.5 = 1.2$$

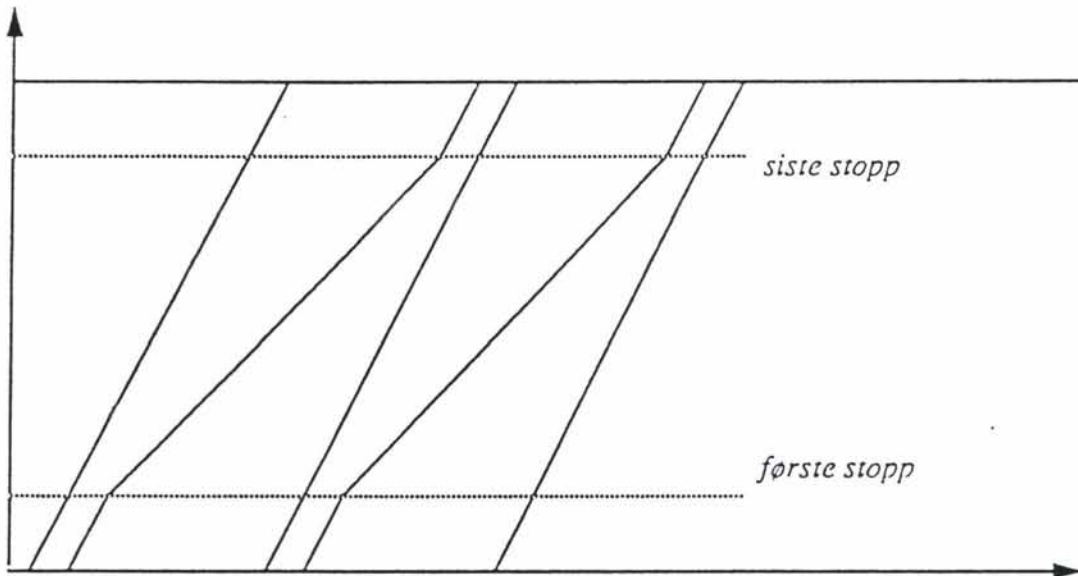
altså maksimalt 20% kapasitetsøkning.

Vi ser altså at ikke bare blir kapasiteten vesentlig lavere på en strekning hvor alle togene har stopp i hovedsporet, men muligheten til å øke kapasiteten ved å innføre mer avansert signalering er også mindre.

3.5.3 Blandet trafikk.

Vi går så over til å se på blandet trafikk, dvs. blanding av tog som har ulike kjøretider over strekningen. Dette skyldes vanligvis ulikt stoppmønster eller ulik topphastighet. På NSBs dobbeltsporstrækninger er det hovedsaklig ulikt stoppmønster som er årsak til differanse i kjøretid, så vi skal derfor konsentrere oss om dette tilfellet. Situasjonen er imidlertid ganske analog når årsaken er ulik topphastighet.

Vi ser først på maksimal blandet trafikk, dvs. raske og langsomme tog annen hver gang; i praksis vil dette da si stoppende og direkte (eller nesten direkte) tog. Dette er typisk for NSBs dobbeltspor i rushtidene. Et tid-veg diagram for en slik strekning ser da typisk ut som følger:



Figur 14 Mer detaljert grafisk rute med blandet trafikk.

Denne figuren er noe mer detaljert enn de figurene som tidligere er vist for denne situasjonen. Vi har her tatt med at frem til bremsepunktet for første stopp (det punkt der bremsing innledes) har man tilnærmet ensartet trafikk. Dette skyldes at ved NSB har (for tiden) de materielltyper som benyttes i persontog omtrent lik yteevne (toppfart, akselerasjon, retardasjon). I mange andre land vil situasjonen ofte være at de stoppende (lokale) togene har vesentlig lavere topphastighet enn de direkte (f.eks 100 mot 160 eller 200 km/h). Figuren ovenfor er ikke helt representativ for slike situasjoner hvis de direkte togene oppnår en hastighet godt over de stoppende togenes toppfart innen bremsepunktet for første stopp.

For å beregne kapasiteten trenger vi da togfølgetiden for delstrekningen fra utgangsstasjonen til første stoppested (t_1) og for delstrekningen fra siste stoppested til endestasjonen (t_2). Disse to delstrekningene vil bli omtalt som endepartiene av strekningen. Utgangs- og

endestasjonen refererer her til strekningen og ikke til togene. Disse togfølgetidene finnes slik som beskrevet i det foregående. Videre trenger vi differansen i kjøretid mellom de to togtypene over hele strekningen (Δt). Den midlere togfølgetid blir da

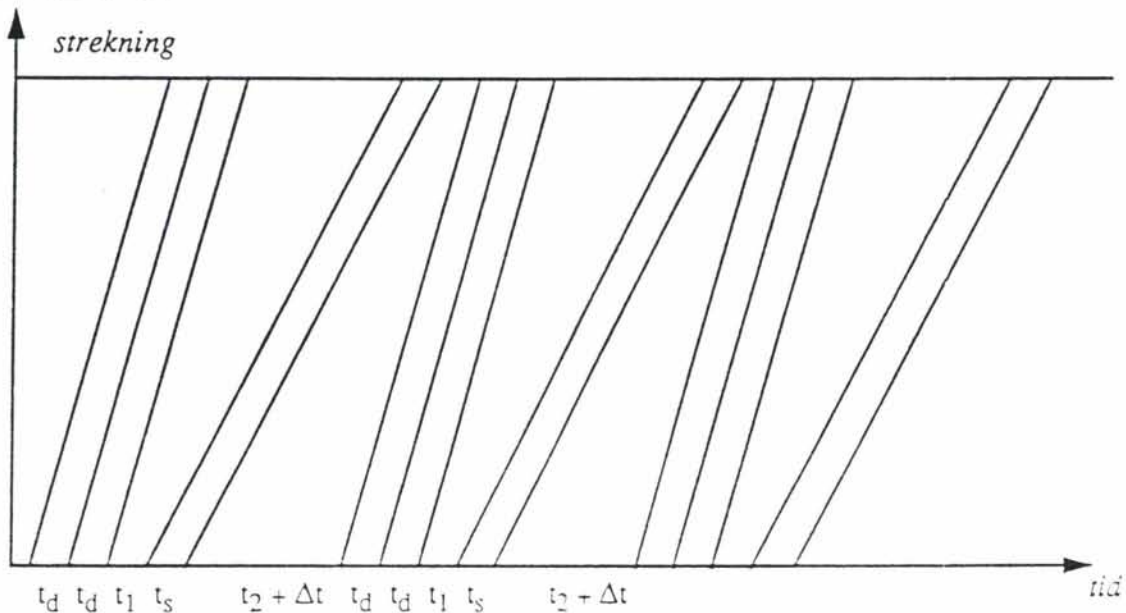
$$t_m = 0.5(t_1 + t_2 + \Delta t)$$

Den teoretiske kapasiteten blir

$$K = T / 0.5(t_1 + t_2 + \Delta t)$$

Mellom første og siste stoppested vil tidsavstanden mellom togene være merkbart større enn på endepartiene fordi hvert stopp medfører et tidstap på ca. 1 min. eller mer. En endring av signalsystemet vil derfor påvirke t_1 og t_2 , men ikke Δt . Den kapasitetsmessige virkning av å innføre et mer avansert signalsystem blir derfor vesentlig mindre ved blandet trafikk enn med ensartet trafikk uten stopp (i hovedsporet). Som vi har sett i det foregående vil man maksimalt kunne halvere togfølgetiden ved å gå fra et ordinært 3-begrep system til et kontinuerlig system (dynamisk blokk). Siden t_1 og t_2 selv med et ordinært 3-begrep system vil kunne få verdier på ca. 2 min., mens Δt vil være vesentlig større (10 min. er en passende verdi for NSBs strekninger), ser vi at kapasiteten ikke øker mer enn i størrelsesorden 10% ved overgang fra det helt enkle signalsystem til det mest avanserte system. Det understrekes at vi her ser på maksimalt blandet trafikk, at togene i hver gruppe er like, trafikkerer hele strekningen osv.

Hvis vi kjører flere like tog etter hverandre, blir kapasiteten høyere som tidligere vist. Vi skal nå se på en situasjon hvor det vekselvis kjøres n direkte tog og m stoppende tog. På følgende figur er vist et eksempel med $n = 3$ og $m = 2$. Videre er togfølgetidene påført. (For NSBs nåværende dobbeltsporstrekninger kan det i praksis neppe tenkes andre tilfeller enn $m=1$.)



Figur 15 Grafisk rute med puljer på 3 direkte og 2 stoppende tog.

Vi har da $n-1$ tilfeller med direkte tog etter direkte (togfølgetid t_d), ett tilfelle med stoppende etter direkte (togfølgetid t_1), $m-1$ tilfeller med stoppende etter stoppende (togfølgetid t_s) og ett tilfelle med direkte etter stoppende (togfølgetid $t_2 + \Delta t$). Den midlere togfølgetid for alle $n + m$ togene blir da

$$t_m = [(n-1)t_d + t_1 + (m-1)t_s + (t_2 + \Delta t)] / (n + m)$$

og kapasiteten blir

$$K = (n+m)T / [(n-1)t_d + (m-1)t_s + t_1 + t_2 + \Delta t]$$

Som vi har sett i det foregående vil overgang fra 3 til 4 begrep redusere t_d , t_1 og t_2 betydelig, t_s noe, mens Δt fortsatt vil være uendret. Kapasitetsøkningen ved bedret signalsystem blir altså noe større når trafikken er mindre blandet.

Som hovedkonklusjon vil vi da si at kapasitetsøkningen ved innføring av fler-begrep signalering er meget stor ved ensartet trafikk uten stopp (eller med stopp bare der det er flere spor slik at kapasiteten på stoppestedene er like stor som på linjen).

I andre situasjoner er kapasitetsøkningen mer begrenset, men kan likevel i mange tilfelle være et kostnadseffektivt tiltak.

3.6 Innføring av 4-begrep signalsystem som ledd i hastighetsøkning.

Vi skal også omtale en spesiell situasjon som har motivert innføring av 4-begrep signalsystem flere steder i utlandet.

Dette gjelder en situasjon hvor man (ofte etter oppgradering av infrastruktur) skal innføre tog med vesentlig høyere hastighet enn tidligere, mens det fortsatt skal gå mange tog med den tidligere toppfarten på strekningen (typiske hastigheter er 200 mot 140/160 km/h). For å tillate en slik hastighetsøkning må man normalt øke blokk lengden betydelig, ofte til bortimot det dobbelte. Dette vil føre til vesentlig økte togfølgetider mellom de "langsomme" togene, og dermed redusert kapasitet.

Et godt alternativ er da å beholde blokkdelingen (og dermed signalplasseringen) og isteden innføre et 4. (høyere) begrep. De(n) opprinnelige togtypen(e) vil da betrakte de to høyeste begrepene som "kjør" og kan kjøre med samme togfølgetider som tidligere. Den raskeste togtypen kan imidlertid bare holde toppfart ved høyeste begrep. I tillegg til å være kapasitetsmessig fordelaktig vil en slik endring av signalsystemet ofte bli rimeligere enn nybygging hvis de opprinnelige signalene (og annet utstyr) fortsatt kan benyttes.

I dette tilfellet benyttes altså 4-begrep systemet ikke primært til kapasitetsøkning, men til å muliggjøre kjøring med høyere hastighet samtidig som kapasiteten beholdes ved kjøring med den opprinnelige topphastigheten.

4 Kapasitet på enkeltspor.

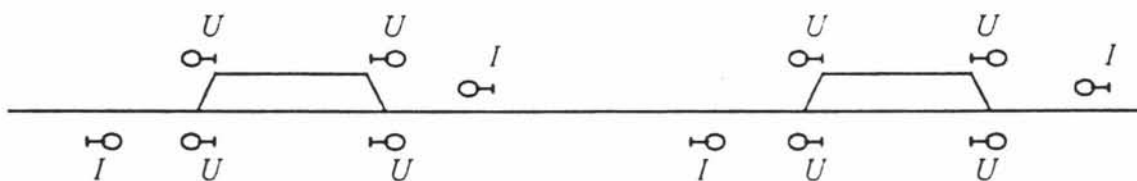
Kapasitetsbetraktninger for enkeltspor blir ofte noe mer komplisert enn for dobbeltspor, og slike enkle uttrykk som er utledet for dobbeltspor, synes kanskje heller ikke like nyttige for enkeltspor. Problemstillingen man møter på enkeltsporede strekninger vil oftest være å finne de(t) tiltak som mest effektivt kan øke kapasiteten framfor å beregne den nøyaktige kapasitet for en gitt utforming.

Vi vil begynne med enkle (idealisererte) tilfeller før vi går til mer realistiske situasjoner.

4.1 Utseende av en typisk enkeltsporstrekning.

Vi vil først gi en kort, skjematisk beskrivelse av hvordan en typisk enkeltsporet strekning ser ut ved NSB.

En enkeltsporstrekning består av stasjoner hvor togene kan møtes ("krysse") og linjen mellom stasjonene. Følgende figur viser en skjematisk fremstilling av en stasjon og hovedsignalenes plassering.



Figur 16 Skjematisk framstilling av en stasjon og hovedsignalenes plassering.

Signalene som angir om et tog får tillatelse til å kjøre inn på stasjonen, kalles innkjørsignaler (I på figuren ovenfor). Disse markerer også stasjonsgrensen, dvs. skillet mellom stasjonen og linjen. Normal plassering er minst 200m utenfor ytterste sporveksel.

Signalene som gir et tog tillatelse til å forlate stasjonen og kjøre ut på strekningen til neste stasjon, kalles utkjørsignaler (U på figuren ovenfor). På tradisjonelle fjernstyrte stasjoner plasseres disse ved (eller noen få meter før) "middelpunktet", dvs. det punkt hvor to tog på hvert sitt spor vil berøre hverandre. På stasjoner uten fjernstyring kan det være et felles utkjørsignal for alle spor som står rett utenfor ytterste sporveksel.

Strekningen mellom to stasjoner kan være delt i to av et signal, kalt blokkpost eller blokk-signal. Dette muliggjør at det kan være to tog etter hverandre på strekningen mellom de to stasjonene, omtrent som på dobbeltspor. Dette gir økt kapasitet hvis det er behov for å kjøre flere tog i samme retning før det kommer et motgående tog.

Alle hovedsignalene på fjernstyrte strekninger har forsignaler plassert på normal forsignalaavstand. Forsignalene for utkjørhovedsignalene plasseres normalt på samme mast som foregående innkjørhovedsignal. Stasjoner uten fjernstyring har oftest ikke forsignal for utkjørhovedsignalene.

For å få grønt (kjør) i et hovedsignal kreves det (bl.a.) at strekningen fram til neste hovedsignal er fri for tog. Når et signal viser grønt, kan man si at etterfølgende strekning (minst til neste hovedsignal) er reservert for det første toget som passerer det grønne signalet. En slik reservert strekning kalles en togveg. En blokkstrekning kan aldri inneholde mer enn ett tog eller en togveg om gangen.

For en stasjon som ikke er fjernstyrt (kalles stasjonsstyrt), gjelder følgende regel ved kryssing: Det andre toget skal ikke gis tillatelse til innkjøring før personalet har forvissnet seg om at det første toget har stoppet.

Da fjernstyring ble innført, måtte denne regelen endres. Bestemmelsen er nå at det skal gå en viss tid fra det første toget er kommet helt inn på kryssingsspor (innenfor "middelpunktet") til det andre toget kan få tillatelse til innkjør. Denne tiden kalles kryssingslåsetid (iblant forkortet x-låsetid). Størrelsen avhenger av sporets lengde, og den skal tilsvare noe mer enn normal kjøretid fra sporets begynnelse til toget har stoppet. Ved NSB er denne tiden 50 - 70 sekunder avhengig av sporenlengden.

Som vi skal se senere i dette kapitlet, fører denne bestemmelsen til at en kryssing tar ganske lang tid. En mer effektiv stasjonsutforming er en som tillater begge tog å kjøre inn uavhengig av hverandre. Innkjørtogvegene kan da legges fra begge sider samtidig. En slik utforming kalles samtidig innkjøring og er vanlig i mange andre land. Stasjonen må da ha en utforming som hindrer kollisjon selv om et av togene skulle gli noe forbi utkjørhovedsignalet. Dette gjøres ved en sikkerhetssone mellom utkjørhovedsignalet og middelpunktet eller ved sporveksler til et buttspor bak utkjørhovedsignalet. NSB har foreløpig kun et fåtall slike stasjoner, men nye stasjoner bygges nå hovedsaklig av denne type.

I det følgende vil vi ofte bruke begrepet kryssingsspor (x-spor) som er en driftsteknisk betegnelse som ofte brukes om 2- eller få-spors stasjoner.

4.2 Dimensjonerende strekningsavsnitt og teoretisk kontra praktisk kapasitet.

Dimensjonerende strekningsavsnitt ble også omtalt under dobbeltspor i kap. 2.4 som strekningsavsnittet med lavest kapasitet.

På enkeltspor vil vi bruke betegnelsen strekningsavsnitt om enhver strekning mellom to etterfølgende stasjoner (inkl. stasjonene). Figuren i forrige avsnitt viser altså et helt strekningsavsnitt og deler av to andre.

Det dimensjonerende strekningsavsnitt er fortsatt det strekningsavsnitt med lavest kapasitet innen strekningen vi ser på. Dette begrepet blir mer sentralt for enkeltspor enn for dobbeltspor fordi det nesten aldri er aktuelt å beregne kapasiteten for en enkeltsporstrekning uten mellomliggende stasjoner.

Det blir dermed også viktigere å få med antall strekningsavsnitt eller totalstrekningens lengde når man skal anslå den praktiske kapasitet.

I UIC-kodex 405E (ref. / 1 /) har man sammen med erfaringstall for buffertid (kapasitetsutnyttelse) som omtalt i kap. 2.3, også anført erfaringstall for å ta hensyn til antall strekningsavsnitt. Dette er gjort i form av et tillegg til midlere togfølgetid og buffertid. Den praktiske kapasitet blir da uttrykt

$$K_p = T / (t_m + t_b + t_l)$$

der t_l er tilleggstiden som er satt proporsjonal med antall strekningsavsnitt. Som erfaringstall anføres at man kan sette

$$t_l = a * 0.25 \text{ min.}$$

der a er antall strekningsavsnitt.

Bruk av dette enkle uttrykk for tilleggstiden forutsetter at det er noenlunde jevn tidsmessig avstand mellom kryssingssporene.

På mange norske strekninger er situasjonen slik at bygging av et nytt kryssingsspor på den dimensjonerende delstrekning gir ingen eller liten økning i kapasiteten i følge denne formelen. Dette er en indikasjon på at strekningen er kapasitetsmessig *balansert*, dvs. at det ikke er noen markerte flaskehalser (i følge denne enkle måte å se det på).

4.3 Idealisert tilfelle.

Vi ser først på et idealisert tilfelle hvor kryssingssporene er så lange at togene kan krysse ved full hastighet og hvor det ikke er noen signalmessige avhengigheter mellom innkjør- togvegene. Dette vil ofte bli betraktet som dobbeltsporede seksjoner på en (i hovedsak) enkeltsporet strekning.

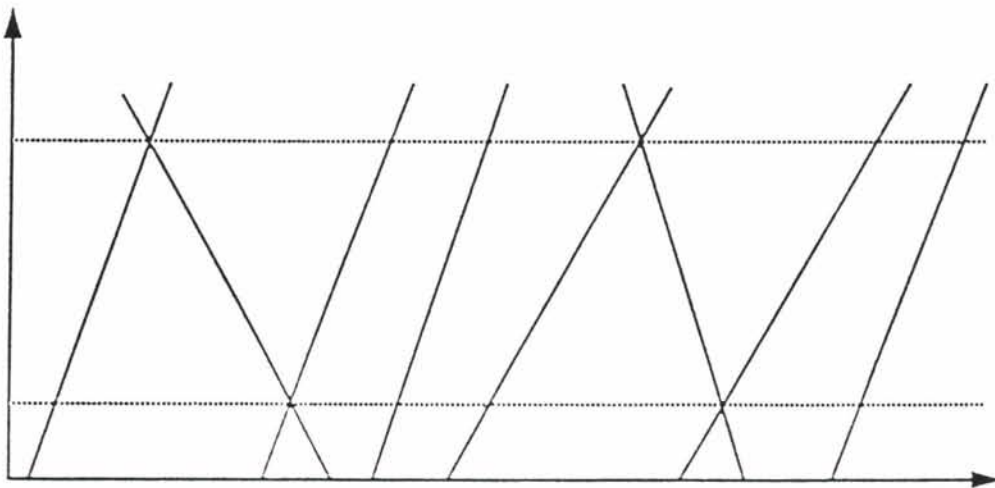
Den viktigste faktoren for kapasiteten i en slik situasjon er selvsagt kjøretiden over det dimensjonerende strekningsavsnittet på strekningen. Hvis vi gir denne kjøretiden en noe utvidet omfang/betydning, blir det den eneste parameteren når dimensjonerende strekningsavsnitt ikke har blokksignaler. Kjøretiden må da regnes fra forsignalet for utkjørsignalet på den ene stasjonen til hele toget er inne på neste stasjon.

Dermed blir togfølgetiden (t) identisk med kjøretiden over strekningsavsnittet. (Vi har da vært litt upresise med definisjonen av togfølgetid: den refererer ikke noe bestemt sted på strekningen. Under behandlingen av ordinære stasjoner i neste avsnitt gjøres det grundigere.)

Hvis alle tog har tilnærmet lik kjøretid over det dimensjonerende strekningsavsnitt, blir den teoretisk kapasitet over tidsrommet T ganske enkelt

$$K = T / t$$

På følgende figur er vist maksimal utnyttelse (teoretisk kapasitet) av et dimensjonerende strekningsavsnitt, som ikke har blokksignaler, i et tilfelle med to toglag med ulike kjøretider.



Figur 17 Maksimalt tett trafikk over et strekningsavsnitt med idealiserte stasjoner.

I en slik situasjon må vi beregne den midlere togfølgetid (eller midlere kjøretid i dette idealiserte tilfelle). Dette gjøres ved en veid sum på liknende måte som for blandet trafikk på dobbeltspor, omhandlet i kap. 2.2.

Vi deler da togene inn i klasser eller grupper med lik eller tilnærmet lik kjøretid. Det trengs nå togfølgetider for alle de kombinasjoner av togfølger som finnes i ruteplanen. I dette svært forenklede tilfelle er, som tidligere nevnt, togfølgetiden lik kjøretiden for det første toget, og altså uavhengig av det andre toget. Man trenger ikke en fullstendig ruteplan, men man må ha rekkefølgen av tog fra de ulike grupperinger. Man teller opp antall tilfeller av de ulike kombinasjoner og beregner en midlere togfølgetid:

$$t_m = \sum n_i t_i / \sum n_i$$

Her betyr

n_i : antall togfølgetider hvor et tog fra gruppe i er først

t_i : minste togfølgetid når et tog fra gruppe i er først (= kjøretiden for tog fra gruppe i)

Summen tas over alle tog-grupper. Opptellingen av tilfeller gjøres for et tidsrom av tilstrekkelig lengde til å få med alle aktuelle situasjoner.

Deretter beregnes den teoretiske kapasiteten som før:

$$K = T / t_m$$

Uten blokk signaler på det dimensjonerende strekningsavsnittet blir togfølgetiden tilnærmet den samme uavhengig av hvilken retning det andre toget kjører i. Ved innføring av et blokk signal midt på det dimensjonerende strekningsavsnittet, vil togfølgetiden for to tog i samme retning tilnærmet halveres, og kapasiteten på dette strekningsavsnittet øker med økende puljekjøring på liknende måte som ved blandet trafikk på dobbeltspor (kap. 2.2.3). Det er særlig på strekninger hvor det på visse deler av dagen er hovedsaklig ensrettet trafikk (rushtider) at dette kan komme til praktisk nytte.

Ved slik å øke kapasiteten på det dimensjonerende strekningsavsnitt vil man vanligvis raskt komme i den situasjon at et annet strekningsavsnitt har lavere kapasitet og således blir dimensjonerende. For ev. ytterligere å øke kapasiteten må tiltak settes inn på det nye dimensjonerende strekningsavsnitt.

Mer enn ett blokk signal mellom to stasjoner på enkeltspor er ytterst sjelden aktuelt.

Med flere togslag med ulik hastighet og stoppmønster kan det være ett strekningsavsnitt som har lengst kjøretid for et togslag, mens det kan være et annet for det andre togslaget. Bruk av blokk signaler og noe puljekjøring kan også medvirke til at det strekningsavsnittet med lengst kjøretid ikke er dimensjonerende likevel. I slike situasjoner er det nødvendig å gjennomføre kapasitetsberegningen for alle aktuelle strekningsavsnitt.

Fra denne helt enkle formuleringen ser man også at redusert kjøretid direkte slår ut på kapasiteten (i tillegg til at det å redusere kjøretiden i seg selv er meget viktig). Dette gir spesielt stor virkning ved oppgradering av strekninger der linjehastigheten er lavere enn maksimalhastigheten for langsamste togtype da man i slike situasjoner får redusert kjøretid for alle tog. På omtrent alle norske strekninger er det mange hastighetsavsnitt hvor selv godstog ikke kan holde sin toppfart. Ved oppgradering til vesentlig høyere hastigheter enn nåværende maksimalhastighet må kapasitetsmessig virkning av økt forsigningsavstand også medtas, samt konsekvenser av ev. økt differanse i hastighet mellom ulike togslag. Når det nå planlegges hastighetsmessig oppgradering av mange strekninger i Norge, er det viktig å få med at dette også betyr økt kapasitet.

Når man vurderer økt hastighet (reduisert kjøretid) på en hel banestrekning, vil man se denne kapasitetsøkningen f.eks. ved at hvert tog møter færre motgående tog fordi det er ute på strekningen en kortere tid enn før. Man kan dermed øke frekvensen uten at strekningen belastes hardere kapasitetsmessig.

For enkeltsporede strekninger er det altså som hovedregel slik at økt linjehastighet medfører økt kapasitet, mens det for dobbeltspor normalt er slik at økt linjehastighet medfører redusert kapasitet (jfr. beregningene av optimal kapasitet på dobbeltspor).

Det som ovenfor er sagt, gjelder ved hastighetsøkninger som får konsekvenser for alle tog. En helt annen situasjon er det hvis man skal sprengte inn noen få hurtigere tog i mellom mange langsomme tog. En slik situasjon vil kreve en mer omfattende vurdering.

4.4 Fullstendig kapasitetsberegning etter UIC 405E.

Vi går nå over til å se på en mer reell situasjon med ordinære stasjoner slik som det ble beskrevet i begynnelsen av dette kapitlet. Det er da mer omstendelig å beregne togfølgetider, og det blir flere ulike tilfeller som må behandles. Vi vil her gi en forenklet gjengivelse av framstillingen i UIC 405E anvendt på dette tilfellet.

Utover økt detaljering og nøyaktighet er hovedforskjellen fra forrige avsnitt at det tas hensyn til tidsforbruket som skyldes avhengigheten mellom innkjørtogveiene på ordinære stasjoner. Dette krever tilgang til en mer detaljert ruteplan enn bare rekkefølgen mellom ulike togtyper som vi tidligere har klart oss med.

4.4.1 Midlere togfølgetid.

Vi ser da på et strekningsavsnitt hvor vi kaller stasjonene i hver ende for h.h.v. A og B. Videre lar vi a betegne kjøreretningen fra stasjon A til B, og b betegner motsatt retning. Selv med bare en togtype, får vi da fire ulike slag av togfølger, disse kan da benevnes med aa , ab , ba og bb hvor første bokstav betegner kjøreretningen for det første toget og den andre bokstaven for det andre toget. Den midlere togfølgetid over strekningsavsnittet når vi bare har en togtype, blir da

$$t_m = [n(aa)t(aa) + n(ab)t(ab) + n(ba)t(ba) + n(bb)t(bb)] / \sum n$$

hvor betydningen er

$n(xy)$: antall togfølgetilfeller med et tog i retning x før et i retning y

$t(xy)$: togfølgetiden for et tog i retning x før et i retning y

Med flere togtyper må vi som før gruppere togene i grupper med tilnærmet like egenskaper, i denne situasjonen vil egenskaper stort sett bety kjøretid mellom stasjonene A og B. Det må beregnes togfølgetider for alle kombinasjoner som fins i ruteplanen. Man teller opp antall tilfeller av de ulike kombinasjoner og beregner en midlere togfølgetid ved

$$t_m = \sum [n_{ij}(aa)t_{ij}(aa) + n_{ij}(ab)t_{ij}(ab) + n_{ij}(ba)t_{ij}(ba) + n_{ij}(bb)t_{ij}(bb)] / \sum n_{ij}$$

Her er

$n_{ij}(xy)$: antall togfølgetilfeller med et "i-tog" i retning x før et "j-tog" i retning y

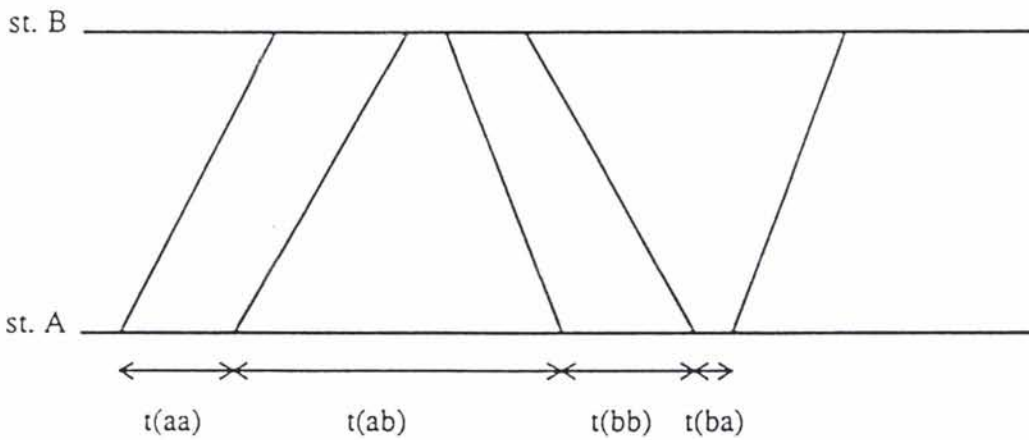
$t_{ij}(xy)$: togfølgetiden for et "i-tog" i retning x før et "j-tog" i retning y

I situasjoner hvor det ikke er opplagt hvilket strekningsavsnitt som er dimensjonerende, må midlere togfølgetid beregnes på denne måten for alle strekningsavsnitt som kan tenkes å være dimensjonerende. Deretter kan man beregne den teoretiske og praktiske kapasitet på samme måte som før, ved hjelp av midlere togfølgetid for det dimensjonerende avsnitt.

Formelen ovenfor kan sammenliknes med formelen i kap. 2.2.1, og vi ser at regnearbeidet er minst firedoblet for enkeltspor.

Vi skal så gå noe inn på beregning av togfølgetider for de fire tilfellene.

Vi vil relatere togfølgetidene til stasjon A. Dette medfører at $t(ab)$ blir stor og $t(ba)$ liten som vist på følgende figur. Hvis man tar utgangspunkt i stasjon B, blir dette motsatt, men den resulterende kapasitet blir selvsagt den samme. Følgende figur viser et eksempel på de 4 ulike togfølgetilfellene

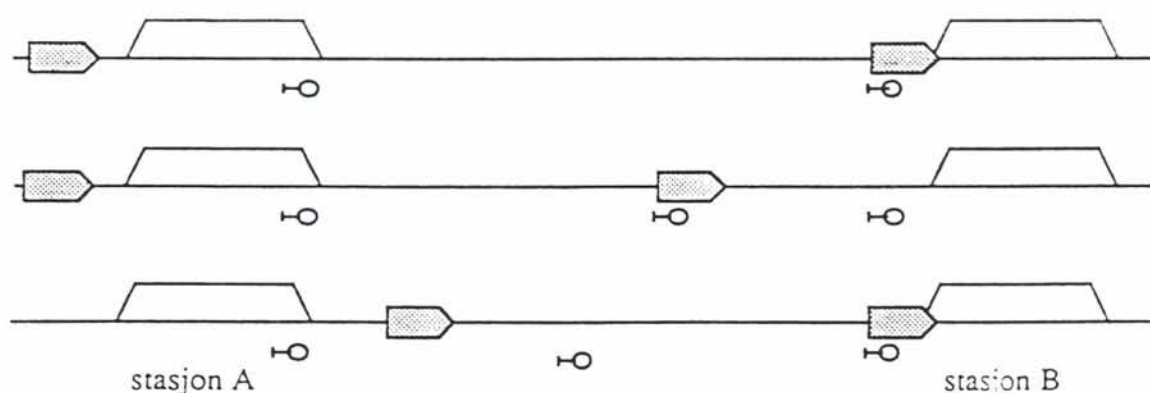


Figur 18 De fire ulike togfølgetilfellene ved enkeltsporet drift.

I det følgende skal vi gå nærmere inn på beregning av disse ulike togfølgetilfellene.

4.4.2 Togfølgetid ved kjøring i samme retning.

Beregningen av togfølgetidene for to tog i samme retning, dvs. $t(aa)$ og $t(bb)$, blir som for dobbeltspor. Følgende figur viser de aktuelle tilfeller. Figuren viser kun hovedsignaler, ikke forsignaler.



Figur 19 Togfølgetider ved kjøring i samme retning på enkeltspor:
 øverst: stasjoner uten mellomliggende blokkpost,
 midt: blokkpost, avstanden fra st. A til blokkpost er dimensjonerende,
 nederst: blokkpost, avstanden fra blokkpost til st. B er dimensjonerende.

Hvis ingen av togene stopper på noen av stasjonene (eller mellom dem) og hastigheten (v) antas konstant, kan togfølgetiden i disse tilfellene uttrykkes

$$t = (l + b_f + b_l) / v + t_s$$

Her betegner som før l tog lengde (for første tog) og t_s siktavstand (tidsmessig). Videre er b_f forsignalavstanden foran det bakerste signalet (signalet foran tog 2), og b_l betegner blokk lengden på linjen. I tilfellet uten blokkpost er den sistnevnte avstanden fra utkjør til neste stasjons innkjør. I tilfellene med blokkpost er den enten avstanden utkjør til blokkpost eller blokkpost til innkjør.

Ved stopp ute på linjen må uttrykket økes med leddene $(v/r) + (v/a) + t_0$ for hvert stopp slik som for dobbeltspor (kap. 3.3.2). Hvis tog 2 har rutemessig stopp på stasjon A, erstattes $(b_f / v) + t_s$ av reaksjonstid ved avgang fra stasjon, samt tidstillegg for akselerasjon.

For enkeltspor vil man ofte bruke de rutemessige kjøretidene mellom stasjonene for å finne togfølgetidene. Man må da legge til et anslag for $(l + b_f) / v + t_s$.

Normalt er b_f av størrelsesorden v^2/r , mens b_l er betydelig større. Togfølgetidene for to tog i samme retning er derfor normalt mye større for enkeltspor enn for dobbeltspor. Selvfølgelig er det teknisk mulig å signalere et enkeltspor slik at togfølgetiden for to tog i samme retning blir like lav som på et dobbeltspor, men dette er sjelden aktuelt i praksis.

4.4.3 Togfølgetid ved bytte av retning.

Ved beregning av togfølgetiden for to tog i hver sin retning, må vi også ta med tidsforbruket ved kryssingen. Togfølgetidene referert stasjon A kan da uttrykkes

$$t(ab) = t_a + t_b + t_{k,B}$$

$$t(ba) = t_{k,A}$$

hvor

t_a er kjøretiden for tog 1 fra stasjon A til B

t_b er kjøretiden for tog 2 fra stasjon B til A

$t_{k,X}$ er tidsforbruket ved kryssing på stasjon X.

Kjøretidene t_a og t_b avhenger av avstanden mellom stasjonene, linjehastigheten og togenes egenskaper. Vi går for øvrig ikke nærmere inn på beregning av disse kjøretidene da de hovedsaklig kan hentes fra ruteplanen.

Tidsforbruket ved kryssingen avhenger av stasjonens utforming og av den tidsmessige forskjellen mellom togenes ankomst til stasjonen. For ordinære stasjoner (med kryssingslåsetid) er den gunstigste situasjonen at det andre toget er like foran (dvs. på siktavstand til) forsignalet for innkjør i det kryssingslåsetiden utløper. I denne situasjonen er tidsforbruket ved kryssingen minst, og denne situasjonen brukes derfor ved kapasitetsberegningen. I neste avsnitt behandles tidsforbruket ved en kryssing mer i detalj.

I UIC 405E brukes to ulike formler for tidsforbruket ved en kryssing, avhengig av om det andre toget skal stoppe på den stasjonen som innleder strekningsavsnittet eller ikke.

Når tog 2 skal passere stasjonen det krysses på, må tog 1 komme inn på stasjonen og kryssingslåsetiden utgå før tog 2 er på siktavstand til FS innkjør, dvs

$$t_k = t_x + t_{iu} + t_s$$

der

t_x kalles togvegleggingstid, utløsetid, blokkbetjeningstid

t_{iu} er kjøretiden fra innkjør forsignal til utkjør hovedsignal

t_s er siktavstanden (i tid)

Når tog 2 også skal stoppe på kryssingsstasjonen, angis

$$t_k = t_x + \text{“avgivelse og opptagelse av avgangssignal”}$$

t_x avhenger sterkt av stasjonsutformingen: ordinær stasjon med kryssingslåsing eller stasjon som tillater samtidig innkjøring. For ordinære stasjoner vil denne tiden videre avhenge sterkt av hvilket tog som i ruteplanen kjører først inn på kryssingsstasjonen. Når tog 1 kjører først inn på kryssingssporet, kommer kryssingslåsetiden (50 - 70s) med i t_x og er det dominerende ledd. Når tog 2 kjører først inn på kryssingssporet, blir t_x nærmest neglisjerbar på fjernstyrte stasjoner med magasinert togveg (den vanligste situasjonen).

Tiden til "avgivelse og opptagelse av avgangssignal" kan bli merkbar på større stasjoner med manuelt avgangssignal (fra togekspeditor til togfører), men for ordinære fjernstyrte kryssingsspor blir dette et nærmest neglisjerbart ledd (som typisk verdi for norske forhold kan antydes 5s for tog uten passasjerutveksling og 15s med passasjerutveksling).

4.4.4 Virkning av samtidig innkjøring på stasjoner.

Som tidligere nevnt, kan stasjoner som tillater samtidig innkjøring, avvikle kryssinger med vesentlig mindre tidstap enn ordinære stasjoner. For å kunne se virkningen av denne mer effektive stasjonsutformingen på beregningene i det foregående, gjør vi en del forenklinger: Vi ser på det enkleste tilfelle med lik kjøretid for alle tog i begge retninger ($t_a = t_b$) og annet hvert tog i hver sin retning, dvs. $n(aa) = n(bb) = 0$ og $n(ab) = n(ba)$. Videre forutsetter vi at begge stasjonene er like, og at tog 1 kjører først inn på kryssingssporet i halvparten av kryssingene på de to stasjonene. Vi neglisjerer også tiden til "avgivelse og opptagelse av avgangssignal" (dvs. t_k er tilnærmet null i halvparten av tilfellene). Da får vi

$$t_m = 0.5[t(ab) + t(ba)] = 0.5[(t_a + 0.5t_k) + (t_b + 0.5t_k)] = t_a + 0.5t_k$$

hvor t_k kun betegner den fulle verdien som typisk settes til ca. 3 min. i ruteplanen for en kryssing mellom to persontog på en ordinær stasjon. For en stasjon med samtidig innkjøring er tidstapet tilnærmet null hvis begge tog har rutemessig stopp, mens det for passerende tog kan antydes ca 0.5 min. (tidstillegg pga. retardasjon og akselerasjon).

For tilfellet med to stoppende tog blir den teoretiske kapasiteten med ordinære stasjoner

$$K = T / (t_a + 0.5t_k),$$

mens det med samtidig innkjøring blir

$$K = T / t_a$$

Som vi ser er kapasitetsgevinsten ved overgang til stasjoner med samtidig innkjøring større jo kortere kjøretiden mellom stasjonene er.

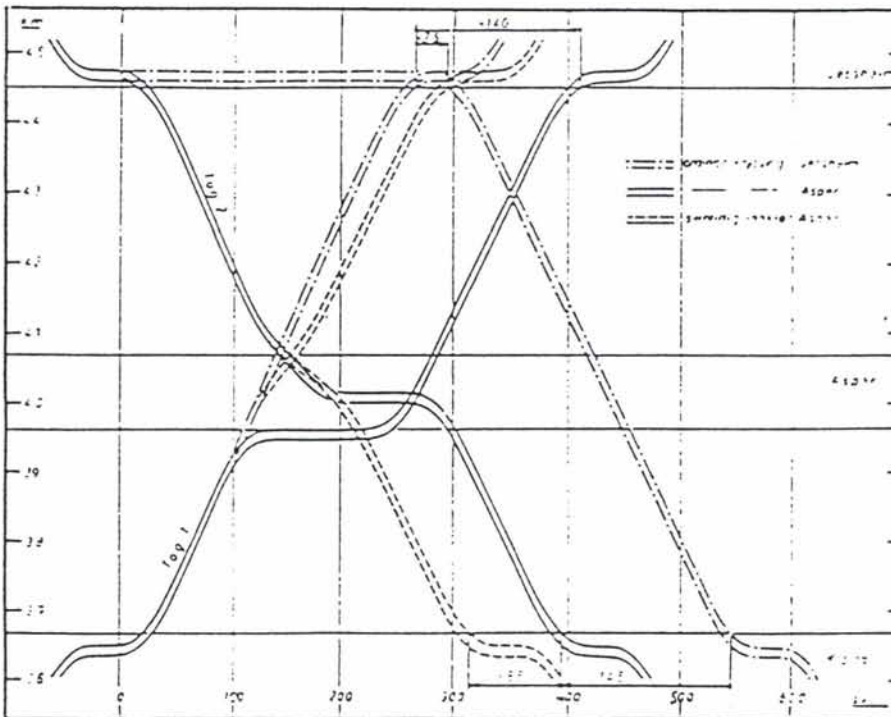
Hvis vi for et talleksempel setter kjøretiden mellom stasjonene til 6 min, blir den teoretiske maksimalkapasiteten 10 og 8 tog/time med h.h.v. uten samtidig innkjøring. Med erfaringstallene fra UIC 405E og hvis antall strekningsavsnitt settes til 8 i dette eksemplet, får vi for den praktiske kapasitet h.h.v. 6 og 5 tog/time i de samme situasjoner. Selv om det her er gjort mange forenklinger, er disse forholdsvist nær vanlig forekommende situasjoner, og resultatene burde derfor være rimelig representative.

4.5 Mer detaljert framstilling av tidsforbruket ved en kryssing.

Vi vil i dette avsnittet beskrive tidsforbruket ved kryssing mer i detalj for et ordinært kryssingsspor og for et som tillater samtidig innkjør. Det virkelige tidsforbruket ved en kryssing sammenliknet med situasjonen på dobbeltspor vil her komme tydeligere fram. Likeledes vil man se fordelene ved samtidig innkjør ut over bortfall av x-låsetiden.

Fremstillingen her bygger på ref. / 4 / som omhandler tidsgevinsten ved samtidig innkjøring. Beregningene der gjelder Asper stasjon, som ligger omtrent midt mellom Kløfta og Jessheim stasjoner, på strekningen Lillestrøm - Eidsvoll. Asper er NSBs første 2-spors kryssingsspor med samtidig innkjør, tatt i bruk i 1984. Figurene i dette avsnittet er hentet fra samme artikkel.

De fleste beregningene her er gjort for NSBs vanlige nærtrafikktoget (type 69). Først vises et detaljert tid-veg diagram over hvordan en kryssing forløper ved ordinær utforming (med kryssingslåsing) og ved samtidig innkjør.

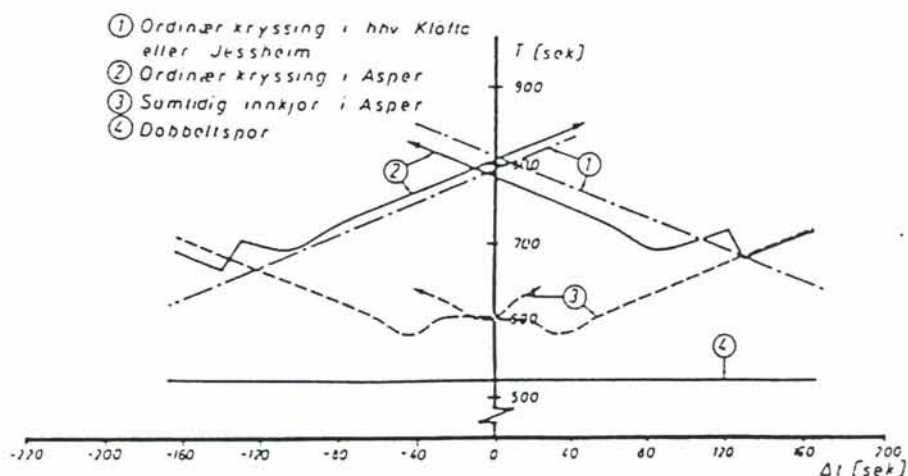


Figur 20 Tid-veg diagram for kryssing mellom to nærtrafikktoget uten rutemessig stopp.

I den viste situasjonen ankommer togene omtrent samtidig til kryssingsstasjonen (Asper på figuren). Med ordinær utforming av denne påføres begge tog et betydelig tidstap (2 - 3 min. pr. tog) sammenliknet med situasjonen uten kryssing eller i forhold til dobbeltspor. Det samlede tidsforbruket er omtrent det samme som hvis kryssingen hadde skjedd på en av nabostasjonene (kryssing på Jessheim er vist på figuren). Hvis derimot kryssingsstasjonen tillater samtidig innkjøring, blir tidstapet bare ca. 0.5 min. pr. tog (og kunne vært

reduisert ytterligere ved bruk av repeterbaliser for ATS-systemet). Det er i denne situasjonen (to tog samtidig klar til avgang fra hver sin stasjon) at man forventer størst nytte av et nytt kryssingsspor mellom disse stasjonene, men det er også i denne situasjonen at tidsforbruket ved kryssing er størst for en tradisjonell stasjon. Dette skyldes at togene kommer samtidig til kryssingsstasjonen, mens det optimale er en differanse på 2 - 4 min. (avhengig av togsalg).

Den forrige figuren viser tidsforløpet for en spesifikk situasjon: begge tog starter samtidig fra nabostasjonene på hver side av kryssingsstasjonen. For å få en oversikt over det samlede tidsforbruket for begge tog i alle situasjoner må tidsforbruket beregnes for ulike situasjoner når det gjelder starttid. Et eksempel på dette er vist i neste figur. Differansen mellom tidspunktet når det ene toget starter fra nabostasjonen i nord (Jessheim på figurene) og tidspunktet når det andre toget starter fra nabostasjonen i syd (Kløfta på figurene) kaller vi for starttidsforskyvningen (Δt). Foregående figur viser altså det detaljerte kryssingsforløp når $\Delta t = 0$. Starttidsforskyvningen angir også hvor på strekningen togene ville møtes hvis det var dobbeltspor. (Med strekningen menes den totale strekningen vi her ser på; Kløfta - Jessheim på figurene.) På neste figur vises det samlede tidsforbruket for de to togene som funksjon av starttidsforskyvningen.



Figur 21 Samlet tidsforbruk (T) som funksjon av starttidsforskyvningen (Δt) for to nærtrafikktoget uten rutemessig stopp.

Denne figuren er egentlig sammensatt av to deler. I høyre halvdel vises forløpet av samlet tidsforbruk (T) som funksjon av starttidsforskyvningen (Δt) for følgende tilfeller:

- kryssing på Jessheim (strek-punktert linje)
- tradisjonell kryssing på Asper hvor toget fra Kløfta kjører først inn og i avvik (heltrukken linje)
- kryssing med samtidig innkjør på Asper hvor toget fra Kløfta kjører i avvik (stiplet linje).

Disse kurvene er ført noe over i venstre halvdel av diagrammet for å vise hvordan tidsforbruket blir hvis denne signalering og sporbruk beholdes når bytting av togrekkefølge og sporbruk ville gitt et raskere forløp.

I venstre halvdel av figuren vises på samme måte kurvene for:

- kryssing på Kløfta
- tradisjonell kryssing på Asper hvor toget fra Jessheim kjører først inn og i avvik
- kryssing med samtidig innkjør på Asper hvor toget fra Jessheim kjører i avvik.

Som referanse vises også tidsforbruket ved dobbeltspor (heltrukken linje).

Av et slikt diagram ser man tidsforbruket for ulike stasjonsutforminger, og de kan sammenliknes med tidsforbruket ved dobbeltspor og ved kryssing på nabostasjon.

For det konkrete tilfellet som figurene her er hentet fra, ser man at bygging av et nytt kryssingsspor (Asper) gir praktisk talt ingen tidsgevinst hvis det utformes på tradisjonell måte (med kryssingslåsing). Dette skyldes at avstanden mellom de opprinnelige stasjonene her er så kort at det samlede tidsforbruket ved kryssingen kan bli omtrent like stort som kjøretiden over den opprinnelige strekningen (uten det nye kryssingssporet). Hva slags utbyggingstiltak som gir best effekt i ulike situasjoner, omtales noe mer i kap. 4.7.

I ref. / 4 / vises også tilsvarende figurer for kryssing mellom to nærtrafikktoget med stopp på strekningen og for to godstog. Dessuten gis en mer detaljert forklaring av hvorfor de ulike kurvene ser ut som de gjør.

En stasjonsutforming som tillater samtidig innkjøring, har også enkelte andre positive virkninger, bl.a. blir det noe enklere for toglederne å treffe optimale beslutninger. Også dette omtales nærmere i nevnte artikkel.

4.6 Effekt av stive ruter.

Ved bruk av stive ruter (dvs. avganger på faste minutt-tall) på enkeltspor vil kryssinger mellom de tog som har faste ruter opptre på de samme stasjoner i hver "syklus". Disse stasjonene får da vesentlig flere kryssinger enn de øvrige på strekningen. Hvis alle togene på strekningen har stive ruter, får de faste kryssingspunktene alle kryssingene rutemessig, og de øvrige kryssingsspor blir bare brukt ved omlegging av kryssinger pga. forsinkelser.

I slike situasjoner med faste kryssingspunkter er det viktig at kryssingene kan avvikles mest mulig effektivt på disse stasjonene, og disse bør derfor ofte bygges ut til en høyere standard enn de øvrige hvis det faste mønster forventes beholdt i mange år framover.

En slik utbygging av de faste kryssingspunktene har vanligvis en stor betydning for punktligheten på strekningen. Men skjematiske beregninger som med UIC 405E tar ikke hensyn til slike faste kryssingspunkter som framkommer ved stive ruter.

Kapasitetsforbedring på slike faste kryssingspunkter kan ha vesentlig bedre virkning på punktligheten enn den formelle kapasitetsøkningen skulle tilsi. Virkningen kommer bedre fram ved å se detaljert på tidsforbruket på de faste kryssingspunktene slik som vist i forrige avsnitt eller ved bruk av simuleringsmodeller for hele strekningen.

4.7 Kapasitetsøkende tiltak på enkeltspor.

Vi vil her gi en kort gjennomgang av aktuelle kapasitetsøkende tiltak på enkeltspor. Kun banetekniske tiltak blir omtalt.

De banetekniske tiltak som er aktuelle for å øke kapasiteten på en enkeltsporet strekning, kan grovt grupperes i tre:

- nye kryssingsspor
- forbedret utforming av kryssingssporene
- økt hastighet

Den første spørsmålsstillingen man bør se på er om det bør bygges nye kryssingsspor eller om man bør effektivisere de man har. Jo lengre kjøretid det er mellom stasjonene, desto større nytte får man av nye kryssingsspor. Jo kortere kjøretid det er mellom stasjonene, desto større nytte får man av effektivisering av de eksisterende stasjonene. For et konkret tilfelle må man se på nytte og kostnad ved de ulike alternativene. Som en grov hovedregel for NSBs strekninger kan man si at på nærtrafikk- og intercity-strekninger vil forbedring av de eksisterende kryssingssporene være mest fordelaktig. Bygging av nye stasjoner av tradisjonell type (uten samtidig innkjør) vil bare være aktuelt på de svakest trafikkerte strekningene.

Et annet alternativ for å redusere den tidsmessige avstanden mellom kryssingssporene er økt hastighet. Mange steder i Norge er det også muligheter for direkte innkorting av linjen mellom to stasjoner i tillegg til hastighetsøkning. Ut fra en isolert kapasitetsmessig betraktning vil økt hastighet sjelden kunne konkurrere med nye kryssingsspor eller ombygging av de eksisterende. Men som et kombinert tiltak som både gir reduserte (netto) kjøretider og økt kapasitet, vil det mange steder være aktuelt.

De forhold ved stasjonsutformingen som har kapasitetsmessig betydning er:

- samtidig innkjøring
- sporveksler som tillater høyere hastighet i avvik
- sporelengde

Av disse er samtidig innkjøring det klart viktigste.

Når en stasjon tillater samtidig innkjør, øker effektiviteten (= reduseres tidstapet ved kryssingen) med økende sporelengde (forutsatt at signalering og sporvekslenes standard "følger med"). For en stasjon med kryssingslåsing betyr økt sporelengde bare at lange godstog kan krysse også på denne stasjonen, men for korte tog blir det ingen forbedring; tvert imot kan man risikere at tidsforbruket ved kryssingen øker fordi kryssingslåsingstiden økes hvis sporforlengelsen er betydelig.

Sporvekslenes maksimale hastighet (i avvik) bør normalt økes med økende sporelengde og med økende antall kryssinger. Men det er sjelden aktuelt å gå opp til linjehastighet.

Hvis et kryssingsspor er så langt at det er aktuelt å dele det i to blokkstrekninger (lengde minst to bremselengder for dimensjonerende tog) og praktisere "alltid høyrekjøring" vil man ofte bruke betegnelsen dobbeltsporet seksjon istedenfor kryssingsspor. Ved en slik utforming kan to tog i prinsippet (dvs. ved samtidig ankomst) krysse uten annen hastighetsreduksjon enn den som skyldes avvikende sporveksel.

For utbygging av en konkret strekning må nytte og kostnad for ulike tiltak vurderes. Det kan ikke sies så mye generelt om hvilke tiltak som er mest kostnadseffektive utover et par momenter:

- På alle tett trafikkerte strekninger vil ombygging av stasjonene til samtidig innkjøring være en viktig kandidat.
- Det vil normalt lønne seg å bygge ut ev. faste kryssingspunkter først og ofte til en høyere standard enn øvrige kryssingsspor. Man må i den sammenheng være klar over at ved ev. senere hastighetsøkning på en strekning med stive ruter flytter de faste kryssingspunktene seg. Man bør derfor vurdere framtidige ruteopplegg, materielltyper og hastighetsøkninger før man går til en omfattende utbygging av faste kryssingspunkter.

Referanser.

- / 1 / UIC-kodex 405E "Methode zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Strecken"
- / 2 / A. Cardani: "Multiple Aspect Signalling (British Practice)", The Institution of Railway Signal Engineers, no14.
- / 3 / R. Pope: "Signalling the Layout, British Railways Practice", The Institution of Railway Signal Engineers, no27.
- / 4 / S. Skartsæterhagen og T. Vasset: "Kapasitetsmessig virkning av samtidig innkjøring på stasjoner.", NSB-teknikk 1984.