

# NOTAT

PROSJEKT Landmannstorget Skien – kapasitetsberegninger buss	PROSJEKTLEDER Vegard Brun Saga	DATO 04.05.2017 REVIDERT DATO 06.06.2017
PROSJEKTNUMMER 29341001	OPPRETTET AV Stein Emilsen	KONTROLLERT AV Vegard Brun Saga
TIL           Structor AS		

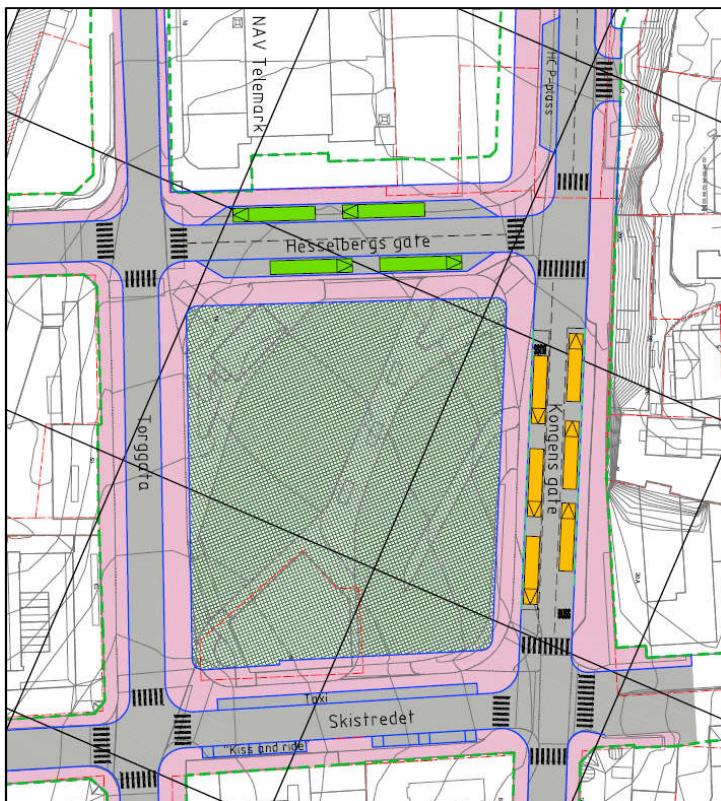
## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

I forbindelse med arbeid med forprosjekt for Landmannstorget i Skien har Structor AS engasjert Sweco for å utføre kapasitetsberegninger av henholdsvis holdeplassene/stoppestedene og ventearealet. Foreliggende notat dokumenterer beregningene som er gjort. Notatet er av teknisk karakter, og det forutsettes at leseren er kjent med planprosessen.

### 1.2 Presentasjon av mulig løsning

En illustrasjon av mulig løsning er vist i figur 1. Det legges opp til to par holdeplasser, som begge har to oppstillingsplasser for buss i hver retning. Plassene merket med oransje på figuren, er tiltenkt metrobussene og pendelbussene. De grønne plassene er tiltenkt ekspressbussene.



Figur 1 – Illustrasjon av mulig løsning

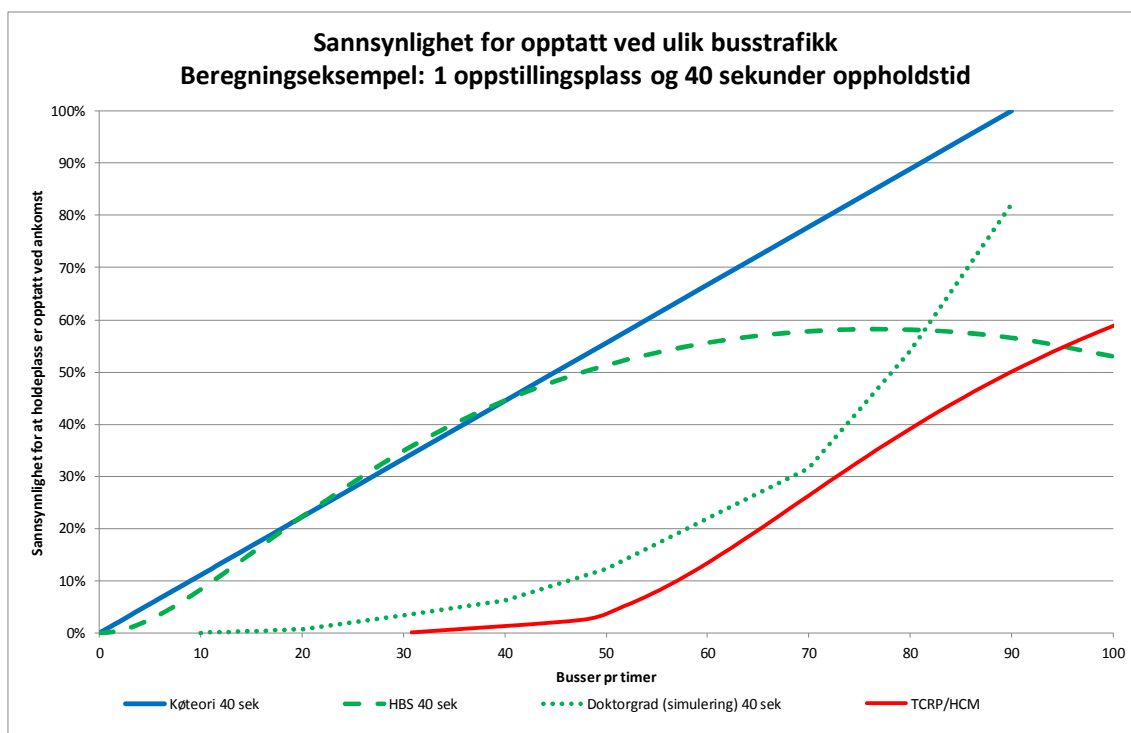
## 2 Metodebeskrivelse

### 2.1 Holdeplasskapasitet

For å vurdere holdeplasskapasitet har vi støttet oss på rapporten «Kapasitet på holdeplasser og i kollektivfelt», utarbeidet av Sweco og datert 08.01.2013. Rapporten dokumenterer et litteratursøk som ble utført som et innspill til revisjon av håndbok V123 «Kollektivhåndboka». I rapporten er det sett på fire metoder for beregning av sannsynlighet for at en holdeplass er opptatt. De fire metodene er:

- Køteori
- Gjennomsnittsbetraktning (HCM/TCRP)
- Empirisk metode (HBS)
- Simulering (doktorgradsarbeid)

Alle metodene har sine sterke og svake sider. Forskjellen mellom metodene vises best med et eksempel som er presentert i figur 2. Eksempelet viser sannsynligheten for at holdeplassen er opptatt ved ankomst for 1 oppstillingsplass og 40 sekunders oppholdstid. Vi henviser til Swecos rapport fra 2013 for en teknisk beskrivelse av beregningsmetodene.



Figur 2 – Sannsynlighet for opptatt holdeplass er beregnet med fire forskjellige metoder

Med 40 sekunders oppholdstid er maksimal kapasitet 90 busser per time ( $3600/40$ ). Alle kurvene burde derfor nå 100 % sannsynlighet for opptatt holdeplass ved 90 busser per time. Av de fire metodene er det kun køteorien som gjør dette. Vi ser også at køteorien er den metoden som jevnt over beregner størst sannsynlighet for opptatt holdeplass ved forskjellig busstrafikk. Dette skyldes at metoden forutsetter tilfeldig ankomstfordeling (poissonfordeling). Kapasiteten på holdeplass er sterkt avhengig av adkomstfordelingen og i hvor stor grad denne er tilfeldig

2 (10)

NOTAT  
04.05.201

eller ikke. Systemer med forutsigbar fremkommelighet og ankomsttid gir redusert fare for forsinkelse på holdeplass.

I foreliggende notat har vi valgt å bruke metoden køteori, noe som begrunnes med at det reduserer farene for at vi beregner for gode forhold for busstrafikken. Vi understreker at resultatene som presenteres, trolig viser for høy sannsynlighet for forsinkelse for beregningene med dagens busstrafikk. Køteorien er basert på eksponentiellfordelte oppholdstider og poissonfordelt ankomstfordeling. Den nå utdaterte håndbok 232 «Tilrettelegging for kollektivtransport på veg» (forgjengeren til håndbok V123) påpeker at en Poisson-fordeling er riktig ved relativt høy busstetthet på mer enn 10 avganger per kvarter (40 per time) og dersom bussankomstene ikke har fullstendig regularitet. Som vi skal se senere, har vi færre avganger enn dette i dagens situasjon.

Metodene beregner altså ikke holdeplasskapasitet direkte. Derimot kan man definere en grense for hvor stor sannsynlighet man godtar at bussen må vente på ledig plass. Hvilken sannsynlighet som kan aksepteres for opptatt holdeplass, varierer fra kilde til kilde:

- Gjeldende håndbok V123 viser en beregnet teoretisk kapasitet forutsatt at inntil 10 % av bussene er forsinket.
- Den utdaterte håndbok 232 viser et regneeksempel der kun 5 % av bussene kan forsinkes.
- I Sweco-rapporten fra 2013 henvises det til at amerikanske kilder anbefaler at det benyttes verdier på mellom 7,5 % og 25 %.

Vi ser av det ovenstående at det ikke er noen konsensus om hvilken sannsynlighet for forsinkelse som bør brukes som grense, og vi har i foreliggende notat valgt å presentere resultater i form av sannsynlighet for forsinkelse.

## 2.2 Kapasitet på venteareal

Tabell 1 viser hvor mange stillestående eller gående personer det kan være på en holdeplass til enhver tid ved forskjellige servicenivåer. Servicenivå A er best, altså minst trengsel, mens servicenivå F er dårligst, det vil si med mest trengsel.

Tabell 1 – Antall personer per kvadratmeter ved forskjellige servicenivåer (Kilde: tabell 7, håndbok V123)

Servicenivå	Antall fotgjengere pr m <sup>2</sup>	
	Stillestående	Gående
 A	<0,8	<0,5
 B	0,8–1,1	0,5–0,7
 C	1,1–1,8	0,7–0,9
 D	1,8–3,6	0,9–1,4
 E	3,6–5,5	1,4–2,1
 F	>5,5	>2,1

Håndbok V123 «Kollektivhåndboka» anbefaler at tallene midt i servicenivå B, altså 0,95 stillestående eller 0,6 gående, bør være et mål. Vi har ikke tall for antall passasjerer og gående

for øvrig på Landmannstorget. I foreliggende notat har vi derfor valgt å presentere en beregning som viser hvor mange stillestående og gående hver enkelt plattform gir plass til.

### 3 Resultater

#### 3.1 Holdeplasskapasitet

##### 3.1.1 Forutsetninger

Følgende tre parametere benyttes som inngangsdata i beregningsmetoden:

- Trafikkvolum: Antall busser per time per retning
- Betjeningssteder: Dette er antall busser som betjener holdeplassen samtidig. Hvis to busser slipper av og på passasjerer samtidig, har holdeplassen to betjeningssteder. Hvis holdeplassen har plass til oppstilling av tre busser, men kun de to fremste bussene «får lov til» å slippe av og på passasjerer, har holdeplassen fremdeles kun to betjeningssteder.
- Betjeningstid: Dette er tiden hver buss benytter på betjeningsstedet.

I foreliggende notat har vi kalt oppstillingsplasser, som ikke benyttes til betjening av passasjerer, for «ventesteder». Vi har gjennomført en rekke beregninger med varierende inngangsparametre:

##### Trafikkvolum

Vi har mottatt data om antall bussavganger på Landmannstorget gjennom uken. Ut fra dette har vi forutsatt følgende busstrafikk i dagens situasjon:

- Grønn holdeplass: 5 avganger i én retning i største time, som er klokken 1400–1500.
- Oransje holdeplass: 26 avganger i én retning i største time, som er klokken 1600–1700.

Vi har gjennomført beregninger med henholdsvis dagens busstrafikk, 50 % økning og 100 % økning i busstrafikken.

##### Betjeningssteder

Det er gjennomført beregninger for fire scenarier. Holdeplassene er like i scenariene, men bruken er forskjellig:

- 1 betjeningssted + 1 «ventested»: Kun bussen lengst frem slipper på passasjerer. Plassen bak denne benyttes som kømagasin. Eventuelle ytterligere busser blir stående og vente i gaten.
- 1 betjeningssted + 2 «ventesteder»: Kun bussen lengst frem slipper på passasjerer. De to plassene bak denne benyttes som kømagasin. Eventuelle ytterligere busser blir stående og vente i gaten
- 2 betjeningssteder: Begge bussene på holdeplassen slipper på passasjerer. Eventuelle ytterligere busser blir stående og vente i gaten.
- 2 betjeningssteder + 1 «ventested»: De to fremste bussene slipper av og på passasjerer. Plassen bak disse benyttes som kømagasin. Eventuelle ytterligere busser blir stående og vente i gaten.

I beregningene med 2 betjeningssteder forutsetter beregningsmetoden at bakerste buss kan kjøre ut uavhengig av det står noen på plassen lengst frem.

##### Betjeningstid

4 (10)

NOTAT  
04.05.201

Det er forutsatt at ekspressbussene (grønn holdeplass) har en betjeningstid på 10 minutter. For øvrige busser har vi gjennomført beregninger med henholdsvis 45 og 60 sekunders betjeningstid.

#### Forsinkelser og vente i gaten

I beregningene skiller vi på straksbetjening, vente på holdeplass og vente i gaten. Forsinkelser innebærer summen av sannsynlighet for at en buss venter på holdeplass og venter i gaten, altså alle busser som ikke får straksbetjening. De bussene som venter i gaten, vil være til hinder for øvrig trafikk.

### **3.1.2 Resultater for metro- og pendelbusser**

#### Beregningsrunde 1 – Fire forskjellige måter å bruke holdeplassen på

For den første beregningen har vi sett på fire forskjellige løsninger for holdeplassen:

- 1 betjeningssted + 1 ventested
- 1 betjeningssted + 2 ventesteder
- 2 betjeningssteder
- 2 betjeningssteder + 1 ventested

I disse beregningene er det forutsatt dagens busstrafikk og 60 sekunders betjeningstid. Resultatet fra beregningene er vist i tabell 2.

*Tabell 2 – Resultat fra beregning 1*

1 betjeningssted + 1 ventested Sannsynlighet for			1 betjeningssted + 2 ventesteder Sannsynlighet for			2 betjeningssteder Sannsynlighet for			2 betjeningssteder + 1 ventested Sannsynlighet for		
Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten	Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten	Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten	Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten
58 %	24 %	17 %	58 %	34 %	7 %	93 %	0 %	7 %	93 %	5 %	1 %

Beregningen viser at betjening av en buss av gangen (1 betjeningssted + «ventested») gir stor sannsynlighet for forsinkelse. 58 % bussene får straksbetjening, noe som betyr at 41 % av bussene forsinkes. 17 % av bussene må vente i gaten når det er 1 betjeningssted og 1 ventested.

Med to betjeningssteder reduseres sannsynligheten for at en buss blir forsinket, til 7 %. Som tidligere nevnt forutsetter beregningsmetoden for to betjeningssteder at bakerste buss kan kjøre ut fra holdeplassen uten å vente på bussen foran.

Som omtalt tidligere er køteoriberegningen «streng». Det er derfor mulig at løsningen med 1 betjeningssted vil fungere noe bedre enn det beregningen viser. Håndbok 232 påpeker at en enkelt holdeplass i by, med en del påstigning, har en praktisk kapasitet på 18–20 busser per time. Dette er likevel lavere enn trafikkmengden på Landmannstorget, hvor det altså er inntil 26 avganger per time i største retning, og støtter at 1 betjeningssted uten venteplass vil ha for liten kapasitet.

#### Beregningsrunde 2 – Variasjon i inngangsparametre

Etter beregningsrunde 1 ble gjennomført, ble det klart at det er plass til tre oppstillingsplasser for buss i Kongens gate. I beregningene som er presentert videre i notatet, har vi kun beregnet med de to scenariene

- 1 betjeningssted + 2 ventesteder

- 2 betjeningssteder + 1 ventested

Tabell 3 viser beregningsresultater for situasjonen med 1 betjeningssted og 2 ventesteder. Tabell 4 viser beregningsresultater for situasjonen med 2 betjeningssteder og 1 ventested.

Tabell 3 – Resultat fra beregning med 1 betjeningssted og 2 ventesteder

Forutsetninger	1 betjeningssted + 2 ventesteder					
	Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten	Sum forsinket	Forsinkelse [sek]	
					Forsinkete	Alle busser
26 ank/time, 60 sek. HPL-tid	58 %	34 %	7 %	42 %	103	43
26 ank/time, 45 sek. HPL-tid	69 %	28 %	3 %	31 %	65	20
40 ank/time, 60 sek. HPL-tid	35 %	38 %	27 %	65 %	171	111
40 ank/time, 45 sek. HPL-tid	51 %	37 %	12 %	49 %	88	43
52 ank/time, 60 sek. HPL-tid	15 %	24 %	61 %	85 %	400	340
52 ank/time, 45 sek. HPL-tid	36 %	38 %	26 %	64 %	124	79

Beregningene med 1 betjeningssted viser stor sannsynlighet for forsinkelse. Selv med dagens trafikk og 45 sekunders betjeningstid, er det 31 % sannsynlighet for at en ankommende buss blir forsinket. De bussene som blir forsinket, blir omkring 65 sekunder forsinket, men gjennomsnittet for alle busser blir på 20 sekunder forsinkelse. Beregningsmetoden kan dessverre ikke si noe om hvordan forsinkelsen fordeler seg mellom ventested og gaten.

Tabell 4 – Resultat fra beregning med 2 betjeningssteder og 1 ventested

Forutsetninger	2 betjeningssteder + 1 ventested					
	Straks- betjening	Vente på holdeplass	Vente i gaten	Sum forsinket	Forsinkelse [sek]	
					Forsinkete	Alle busser
26 ank/time, 60 sek. HPL-tid	93 %	5 %	1 %	7 %	38	3
26 ank/time, 45 sek. HPL-tid	96 %	3 %	1 %	4 %	26	1
40 ank/time, 60 sek. HPL-tid	85 %	10 %	5 %	15 %	44	7
40 ank/time, 45 sek. HPL-tid	91 %	7 %	2 %	9 %	30	3
52 ank/time, 60 sek. HPL-tid	75 %	14 %	10 %	25 %	51	13
52 ank/time, 45 sek. HPL-tid	85 %	10 %	5 %	15 %	33	5

Med 2 betjeningssteder synker sannsynligheten for forsinkelse betraktelig. Med dagens trafikk er det kun 4 % av bussene som blir forsinket forutsatt en betjeningstid på 45 sekunder. De bussene som blir forsinket, blir omkring 26 sekunder forsinket, men gjennomsnittet for alle busser blir på 1 sekund forsinkelse.

Med 50 % økning i busstrafikken (40 ank/time) blir 9–15 % av bussene forsinket. De bussene som blir forsinket, blir omkring 30–44 sekunder forsinket, men gjennomsnittet for alle busser blir på 3–7 sekund forsinkelse.

Med 100 % økning i busstrafikken (52 ank/time) blir 15–25 % av bussene forsinket. De bussene som blir forsinket, blir omkring 33–51 sekunder forsinket, men gjennomsnittet for alle busser blir på 5–13 sekund forsinkelse.

Som sagt er det en forutsetning for beregningene med to eller flere betjeningssteder at bussen lenger bak kan kjøre ut uavhengig av bussen foran. I Kongens gate mot syd er det kun ett felt,

og disse brukes av bussene. Dersom det skal være mulig med to betjeningssteder her, må Kongens gate stenges for biltrafikk, slik at bussene bak kan kjøre forbi bussen foran.

Ideelt sett burde det vært tre betjeningssteder for metrobussene. På den måten kan passasjerer på de tre metrolinjene bytte buss uten ventetid i perioder der bussene ankommer i henhold til rutetabellen. Ulempen med tre betjeningssteder er at det kan bli litt uoversiktlig og litt langt å gå for passasjerene. Det er imidlertid mulig å tenke seg en løsning der buss nummer tre slipper av og på passasjerer på plass tre. Når de to bussene foran har kjørt, kjører buss tre (som nå har blitt buss nummer én) frem til første plass og betjener denne. Denne adferden gir kortere forsinkelse for avstigende passasjerer enn om plass tre kun benyttes til å vente på at det blir klart på en av de to plassene foran. Betjeningstiden på plass én vil dessuten bli kortere, siden noen av passasjerene gikk på eller av bussen allerede på plass tre. Samtidig ivaretas hensynet til passasjerer som ikke klarer å gå så langt, og som derfor velger å oppholde seg på plass én eller to. Vi kan dessverre ikke tallfeste andelen forsinkete passasjerer i dette scenariet, da køteoriberegningene ikke tar høyde for at den samme bussen betjener holdeplassen to ganger.

### 3.1.3 Resultater for ekspressbusser

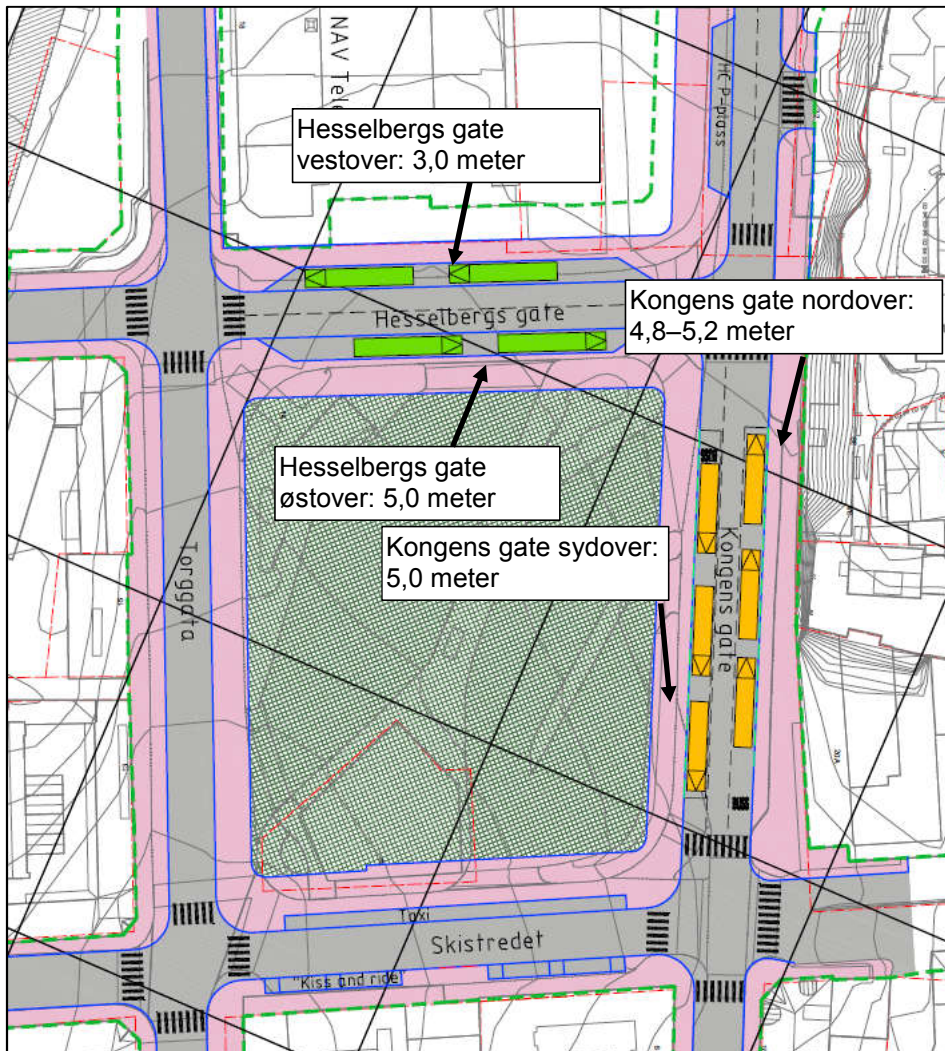
I foreslått løsning er det vist 2 stoppesteder for ekspressbusser. Vi forutsetter at begge benyttes til betjening av holdeplassen, siden betjeningstiden er 10 minutter (600 sekunder).

Forutsetninger	2 betjeningssteder			
	Sannsynlighet for		Forsinkelse [sek]	
	Straks- betjening	Forsinkelse	Forsinkete	Alle busser
5 ank/time, 10 min. HPL-tid	90 %	10 %	400	40
10 ank/time, 10 min. HPL-tid	47 %	53 %	900	480

Beregningene viser at to betjeningssteder gi 10 % sannsynlighet for forsinkelse. Ved 10 ankomster per time (dobbelte av dagens frekvens) øker sannsynligheten til 53 %. Som nevnt tidligere er ikke metoden god ved få ankomster per time. De beregnede sannsynlighetene for forsinkelse bør kunne unngås ved hjelp av fornuftige rutetabeller. Ved reduksjon i holdeplasstiden vil forsinkelsene gå vesentlig ned.

### 3.2 Kapasitet på venteareal

Vi har forutsatt at passasjerene venter langs en plattformlengde på 40 meter. På tegningen av alternativ B har vi av Structor fått oppgitt bredder som vist i figur 3.



Figur 3 – Bredder på holdeplasser

Vestover i Hesselbergs gate er bredden målt til søylene utenfor NAV. Det vil være mulig å bruke arealet bak søylene også, men vi har i beregningene forutsatt at arealet ikke finnes. Bredden i Kongens gate nordover varierer, og vi har valgt å legge til grunn smaleste punkt i beregningene, da det er her det eventuelt vil oppstå trengsel.

I henhold til beregningsmetoden i håndbok V123 har vi forutsatt at 0,7 meter nærmest kjørebane ikke benyttes av verken stillestående eller gående. Videre er det forutsatt at halvparten av bredden benyttes av stillestående personer mens den andre halvparten benyttes av gående. Med disse forutsetningene kommer vi frem til areal og maksimalt antall stillestående og gående personer som til enhver tid kan befinne seg på plattformen:

8 (10)

NOTAT  
04.05.201



Holdeplass	Areal [m <sup>2</sup> ]	Antall personer		
		Stillestående	Gående	Sum
Hesselbergs gate østover	172	82	25	107
Hesselbergs gate vestover	92	44	13	57
Kongens gate nordover	164	78	23	101
Kongens gate sydover	172	82	25	107

Tabell 5 – Effektivt areal og antall stillestående og gående personer på de fire holdeplassene

Holdeplassen vestover i Hesselbergs gate er smalest og har derfor dårligst kapasitet. På denne holdeplassen er det plass til 44 stillestående personer, altså ventende passasjerer, og i tillegg 13 gående. 13 gående over en lengde på 40 meter tilsier 0,325 gående/meter. Forutsatt en ganghastighet på 1,2 meter/sekund, kommer vi frem til  $0,325 \times 1,2 = 0,39$  gående/sekund. Dette tilsvarer at 1404 gående per time kan passere holdeplassen hver time uten at det oppfattes som trangt.

Håndbok V123 påpeker at en økende andel reisende med bagasje, som det sannsynligvis er mange av i Hesselbergs gate, kan kapasiteten være dårligere enn det som er beregnet. Håndboken anbefaler økt bredde i disse tilfellene, men i eksempelet fra håndboken er det forutsatt holdeplassbredde 2,5 meter, noe som er smalere enn våre oppgitte breder.

## 4 Oppsummering og konklusjon

### 4.1 Holdeplasskapasitet

Beregningene av holdeplasskapasitet er utført ved hjelp av såkalt køteori. Metoden bruker antall betjeningssteder (holdeplasser), gjennomsnittlig betjeningstid (tid på holdeplassen) og antall ankomende busser per time som inngangsdata. Beregningsmetoden vurderes å være «streng» ved færre enn 40 avganger per time. Det er forutsatt 26 avganger per time i dagens situasjon, noe som betyr at vi overvurderer sannsynlighet for forsinkelse. I scenariene med økt busstrafikk er derimot metoden å regne som mer presis.

En viktig forutsetning for beregningene er at når det er mer enn ett betjeningssted, forutsettes det at busser lenger bak på holdeplassen kan kjøre videre uten å vente på bussene foran.

Beregningen viser at det bør være minst to betjeningssteder for metro- og pendelbussene. Dette vil gi 4–7 % sannsynlighet for forsinkelse med dagens trafikkvolum (avhengig av betjeningstiden). Beregningene viser at selv to betjeningssteder er i minste laget ved økt trafikkvolum. Dersom antall avganger øker med 50 %, er det 9–15 % sannsynlighet for forsinkelse. Ved 100 % økning i antall avganger er sannsynligheten 15–25 %. Bussene som blir forsinket, blir i henhold til beregningene forsinket med 26–51 sekunder, avhengig av trafikkvolum og holdeplasstid.

Dersom frekvensen i busstilbudet skal økes, må Kongens gate stenges for biltrafikk slik at det er to uavhengige betjeningssteder i begge retninger. Holdeplasstiden bør gjøres så kort som mulig for å redusere sannsynligheten for forsinkelse og størrelsen på denne. Billetteringssystemet har avgjørende betydning for holdeplasstiden.

Det er foreslått tre oppstillingsplasser for buss i hver retning i Kongens gate. Den bakerste plassen er tenkt som «ventested», men vi anbefaler at også bakerste buss slipper av og plukker opp passasjerer. Dette vil gi kortere betjeningstid når det er ledig på holdeplassen lenger frem.

Ekspressbussene bør bruke begge plassene til betjening av holdeplass. Det er beregnet store forsinkelser hvis antall ekspressbussavganger dobles, men beregningsmetoden fungerer dårlig ved så få avganger som her. Likevel bør rutetabellene utarbeides slik at det aldri vil være mer enn to busser på holdeplassene.

### 4.2 Kapasitet på venteareal

Plattformen i Hesselbergs gate er med sine 3 meter smalest og har dårligst kapasitet med tanke på passasjerer og forbipasserende. I henhold til beregningsmetoden fra håndbok V123 «Kollektivhåndboka» er det plass til 44 passasjerer og 13 forbipasserende på plattformen til enhver tid. 13 gående i et «øyeblikksbilde» tilsvarer 1404 gående per time. Området mellom søylene og inngangspartiet til NAV er ikke medberegnet, så holdeplassen vil ha bedre kapasitet enn det som er beregnet. Dette tilsier at det bør være god kapasitet på alle ventearealene.