

Vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane ved Oslo Lufthavn, Gardermoen

Mars 2006

Vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane ved Oslo Lufthavn, Gardermoen

Mars 2006

<i>Rapport tittel:</i> Vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane ved Oslo Lufthavn, Gardermoen	
<i>Skrevet av</i> Sivilingeniør Frode Voldmo	
<i>Prosjektnr:</i> 4548900	<i>Dato:</i> 14. mars 2006
<i>Oppdragsgiver</i> Samferdselsdepartementet Postboks 8010 Dep. 0030 OSLO	<i>Kontaktperson:</i> Rådgiver Thomas Tørmo Tlf. 22 24 82 50 E-post: thomas.tormo@sd.dep.no
<i>Kort sammendrag</i> Samferdselsdepartementet har gitt Norconsult AS i oppdrag å gjennomføre en uavhengig vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane ved Oslo lufthavn, Gardermoen. Analysen viser at det før eller senere vil bli behov for en tredje rullebane dersom man skal kunne håndtere forventet trafikkutvikling. Tidspunktet for når behovet for en tredje rullebane oppstår vil først og fremst avhenge av økonomisk utvikling, konkurransesituasjonen i luftfarten, avgiftspolitikken og i hvilken grad det i framtiden blir mulig å fordele trafikken over driftsdøgnet. Med en sterk økonomisk utvikling og økt konkurranse mellom flyselskapene vil behovet for en tredje rullebane sannsynligvis melde seg en gang i perioden 2020-2030. Svak økonomisk utvikling, kombinert med økte avgifter og mindre konkurranse, innebærer at behovet sannsynligvis melder seg en gang i perioden 2030-2040. For å unngå hyppige trafikkavviklingsproblemer som følge av kapasitetsbegrensning må gjennomføring av optimaliserende tiltak og planlegging av en eventuell tredje rullebane starte i tide. Ved langsiktig strategisk planlegging som berører utvikling av framtidig infrastruktur vil det her være naturlig å forholde seg til et trafikkscenario "over middels". Man bør derfor arbeide ut fra et scenario hvor behov for en tredje rullebane antas å komme før 2030.	
<i>ISBN:</i> 82-7827-041-4 <i>Emneord:</i> Fly, lufthavn, prognose, kapasitet, rullebane, Oslo, Gardermoen	<i>Arkiv:</i> o:\4548900\ rapport\ osl_3RB_rapp7.0_fv140306.pdf
 Norconsult AS Tlf. 67 57 10 00 Fax. 67 54 45 76 e-post: firmapost@norconsult.no Norconsult Hamar Postboks 433, 2303 Hamar Torggata 22, 2317 Hamar Hovedkontor Vestfjordgaten 4 1338 Sandvika	

Forord

Oslo Lufthavn, Gardermoen (OSL) har i dag to rullebaner, som ligger i Ullensaker og Nannestad kommuner. Blant annet med tanke på å avklare behovet for å sikre arealer til en eventuell fremtidig tredje rullebane tok OSL i 2001 initiativ til å utarbeide en egen lufthavnplan for flyplassen på Gardermoen. Lufthavnplanen ble etter styrebehandling i OSL og Luftfartsverket (nå Avinor) oversendt Samferdselsdepartementet vinteren 2003. Senere har både Akershus fylkeskommune og Ullensaker kommune innledet henholdsvis en fylkesdelplanprosess og en kommunedelplanprosess som har til formål blant annet å avklare arealbehovene rundt OSL. Siden begge har stilt seg kritiske til konklusjonene i OSLs lufthavnplan har de etterlyst Samferdselsdepartementets syn på behovet for å sikre arealer til en tredje rullebane. Dette er bakgrunnen for at Samferdselsdepartementet har gitt Norconsult AS i oppdrag å gjennomføre en uavhengig vurdering av behovet for en tredje rullebane.

Oppdragsansvarlig hos Norconsult har vært sivilingeniør Frode Voldmo. Voldmo er forfatter av rapporten og har utarbeidet trafikkprognosene og modellberegninger for innlandstrafikken. Gesellschaft für Luftverkehrsforschung (GfL) ved Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke har vært Norconsults underleverandør i forbindelse med vurdering av kapasitet, utforming av lufthavnen, operative prosedyrer og trafikkstruktur. En delrapport fra GfL finnes som vedlegg tilgjengelig på engelsk, og de mest sentrale delene er oversatt og innarbeidet i denne hovedrapporten.

Cand. oecon. Harald Thune-Larsen ved Transportøkonomisk institutt har bidratt med synspunkter og beregninger vedrørende passasjerprognoser for utlandstrafikken.

Fra Samferdselsdepartementet har rådgiver Thomas Tørmo og rådgiver Morten Foss vært kontaktpersoner.

Hamar, 14. mars 2006
Norconsult AS

Innhold

Sammendrag.....	1
1. Innledning.....	3
2. Prognosemodeller for reiseetterspørsel	5
2.1 Faktorer som påvirker flyreiseetterspørselen.....	5
2.2 Den nasjonale persontransportmodellen NTM5	6
2.3 Den internasjonale persontransportmodellen ITM	8
2.4 Luftfartsmodellen FØNIKS - internasjonale reiser.....	9
3. Prognoseforutsetninger	10
4. Trafikkprognoser for OSL.....	11
4.1 Trafikkutviklingen fram til 2005	11
4.2 Passasjerprognose år 2020	11
4.3 Prognoseusikkerhet og alternativ utviklingsbaner 2005-2035.....	12
4.4 Prognose flybevegelser 2005-2035.....	14
5. Banekapasitet ved OSL	17
5.1 Kapasitetsbegrepet	17
5.2 Nåværende kapasitet	17
5.3 Optimaliserende tiltak ved eksisterende rullebanesystem	19
6. Behov for eventuell tredje rullebane	21
6.1 Forventet trafikk i dimensjonerende maksimaltime	21
6.2 Vurdering av usikkerhet og ulike faktors relative betydning	23
Referanser.....	26
Vedlegg: Delrapport fra GfL	27
"Assessing the potential need of a third runway at Oslo Airport Gardermoen".....	27

Sammendrag

Oslo Lufthavn, Gardermoen (OSL) har i dag to rullebaner, som ligger i Ullensaker og Nannestad kommuner. Blant annet med tanke på å avklare behovet for å sikre arealer til en eventuell fremtidig tredje rullebane tok OSL i 2001 initiativ til å utarbeide en egen lufthavnplan for flyplassen på Gardermoen. Lufthavnplanen ble etter styrebehandling i OSL og Luftfartsverket (nå Avinor) oversendt Samferdselsdepartementet vinteren 2003. Senere har både Akershus fylkeskommune og Ullensaker kommune innledet henholdsvis en fylkesdelplanprosess og en kommunedelplanprosess som har til formål blant annet å avklare arealbehovene rundt OSL. Siden begge har stilt seg kritiske til konklusjonene i OSLs lufthavnplan har de etterlyst Samferdselsdepartementets syn på behovet for å sikre arealer til en tredje rullebane. Dette er bakgrunnen for at Samferdselsdepartementet har gitt Norconsult AS i oppdrag å gjennomføre en uavhengig vurdering av behovet for en tredje rullebane. Gesellschaft für Luftverkehrsforschung (GfL) har vært underleverandør til Norconsult.

Utredningen besvarer følgende spørsmål:

- Vil det i fremtiden oppstå behov for en tredje rullebane på Oslo Lufthavn, Gardermoen.
- Dersom det første spørsmålet besvares bekreftende; når vil i så fall behovet for en tredje rullebane oppstå?

Analysen viser at det første spørsmålet kan besvares bekreftende. Tidspunktet for når behovet for en tredje rullebane oppstår vil først og fremst avhenge av økonomisk utvikling, konkurransesituasjonen i luftfarten, avgiftspolitikken og i hvilken grad det i fremtiden blir mulig å fordele trafikken over driftsdøgnet.

Trafikkprognoser

For å kunne vurdere framtidig trafikkutvikling på OSL er det utarbeidet prognoser over antall flypassasjerer ved hjelp av den nasjonale persontransportmodellen (NTM5) og modellen for internasjonale flyreiser til og fra Norge (Fønix). I tillegg er det utnyttet data fra den internasjonale persontransportmodellen (ITM), som for tiden er under utvikling i regi av Nasjonal transportplan. Passasjerprognosene er omsatt til prognoser over antall flybevegelser, hvor det er tatt hensyn til en estimert utvikling når det gjelder forholdet mellom frekvensøkning, flystørrelse og antall passasjerer per flygning.

Trafikkprognosene er utarbeidet med hensyn til tre alternative utviklingsbaner (høy, middels og lav), hvor det tas utgangspunkt i ulike scenarier vedrørende økonomisk utvikling, konkurransesituasjonen og avgiftsnivå i luftfarten.

Kapasitet med to rullebaner

Det er gjennomført en analyse av hvilket optimaliseringspotensial som ligger i videre utnyttelse av eksisterende rullebanesystem med to rullebaner. Vurdering av banekapasiteten er nærmere dokumentert i en vedleggsrapport (Fricke, Gronak og Fiedler 2006). Kapasitetsvurderingen baseres blant annet på opplysninger og materiale mottatt fra Avinor og OSL, og det er gjennomført tre møter med lufthavnens operative ledelse i løpet av prosjektperioden. Beregningsforutsetninger og vurderinger knyttet til bruk av grunnlagsdata er således avklart i forhold til Avinor/OSL.

Kapasitetsbegrepet reflekterer trafikksystemets evne til å håndtere trafikkavviklingen over en gitt tidsperiode. Med trafikksystem mener vi her rullebanesystem, apron (forplass/ekspedisjonsplattform) og terminal. Tidsperioden er vanligvis uttrykt som et år, de seks travleste månedene i et år, et døgn eller en time. For at systemet skal kunne utnytte *maksimal* kapasitet må det finnes et jevnt behov for trafikkavvikling. Innen luftfarten er det i praksis umulig å ha et kontinuerlig avviklingsbehov gjennom hele betjeningstiden, noe som ville innebære at det hele tiden finnes fly som er klare for take-off eller landing uten at det forekommer forsinkelser. Ved planlegging av flyplasser må man ta hensyn til at det skal være tilstrekkelig kapasitet for å kunne håndtere svingninger i "etterspørselen". Man må med andre ord holde et tilfredsstillende servicenivå slik at man oppnår god punktlighet og ikke overskrider grensen for hva som aksepteres av akkumulerte forsinkelser. Det må likevel forutsettes at en forholdsvis høy andel av trafikken til en viss grad vil kunne forårsake forsinkelser. Denne kapasiteten kan beskrives som *praktisk* kapasitet.

Det er i utredningen identifisert relevante optimaliseringstiltak knyttet til luftromstruktur, oppgradering av flyplassens taksebanesystem, redusert atskillelse mellom flyene og trafikksamsetning. Andre byggetiltak enn bygging av en tredje rullebane er vurdert som nødvendige, men ikke kritiske med hensyn til å øke kapasiteten siden det ikke er her de fundamentale flaskehalsene ligger.

Ved vurdering av flyplassens kapasitet sammenlignet med forventet trafikkmengde er det nødvendig å forholde seg til kapasitet per time (dimensjonerende maksimaltime). Drøfting av kapasiteter per år (årskapasitet) vil ikke være hensiktsmessig siden andelen trafikk som belaster dimensjonerende maksimaltime erfaringsmessig variere med total trafikkmengde på flyplassen. Dette henger sammen med i hvilken grad det lar seg gjøre å utnytte driftsperioden ved å operere med flere trafikktopper og mer eller mindre "kontinuerlig" høy trafikkavvikling.

Lufthavnplanen for 2001 (Oslo lufthavn 2002) viste et kapasitetspotensial i praktisk ruteplansammenheng på 85 flybevegelser per time. Våre kapasitetsberegninger viser et motsvarende kapasitetspotensial på mellom 85 og 90 flybevegelser per time. Trafikkprognosen er brutt ned fra trafikk per år til antall flybevegelser i typisk maksimaltime, og beregningene tar implisitt utgangspunkt i en trafikkfordeling over døgnet som er basert på erfaringstall fra andre sammenlignbare lufthavner. Med antatt *middels* trafikkutvikling forventes inntil 90 flybevegelser i typisk maksimaltime i år 2030, hvilket innebærer at kapasitetsgrensen innhentes.

Konklusjon

Med en sterk økonomisk utvikling og økt konkurranse mellom flyselskapene vil behovet for en tredje rullebane sannsynligvis melde seg en gang i perioden 2020-2030. Svak økonomisk utvikling, kombinert med økte avgifter og mindre konkurranse, innebærer at behovet sannsynligvis melder seg en gang i perioden 2030-2040. For å unngå hyppige trafikkavviklingsproblemer som følge av kapasitetsbegrensning må gjennomføring av optimaliserende tiltak og planlegging av en eventuell tredje rullebane starte i tide. Ved langsiktig strategisk planlegging som berører utvikling av framtidig infrastruktur vil det her være naturlig å forholde seg til et trafikkscenario "over middels". Man bør derfor arbeide ut fra et scenario hvor behov for en tredje rullebane antas å komme før 2030. Vurdering av usikkerheten i beregningene tilsier at behovet tidligst vil melde seg etter år 2020.

1. Innledning

Oslo Lufthavn, Gardermoen (OSL) har i dag to rullebaner, som ligger i Ullensaker og Nannestad kommuner. Blant annet med tanke på å avklare behovet for å sikre arealer til en eventuell fremtidig tredje rullebane tok OSL i 2001 initiativ til å utarbeide en egen lufthavnplan for flyplassen på Gardermoen. Lufthavnplanen ble etter styrebehandling i OSL og Luftfartsverket (nå Avinor) oversendt Samferdselsdepartementet vinteren 2003. Senere har både Akershus fylkeskommune og Ullensaker kommune innledet henholdsvis en fylkesdelplanprosess og en kommunedelplanprosess som har til formål blant annet å avklare arealbehovene rundt OSL. Siden begge har stilt seg kritiske til konklusjonene i OSLs lufthavnplan har de etterlyst Samferdselsdepartementets syn på behovet for å sikre arealer til en tredje rullebane. Dette er bakgrunnen for at Samferdselsdepartementet har gitt Norconsult AS i oppdrag å gjennomføre en uavhengig vurdering av behovet for en tredje rullebane.

Utredningen besvarer følgende spørsmål:

- Vil det i fremtiden oppstå behov for en tredje rullebane på Oslo Lufthavn, Gardermoen?
- Dersom det første spørsmålet besvares bekreftende; når vil i så fall behovet for en tredje rullebane oppstå?

Det første spørsmålet kan besvares bekreftende om man har et tilstrekkelig langt tidsperspektiv å forholde seg til. For at analysen skal ha relevans i strategisk arealplanlegging på lokalt, regionalt og nasjonalt nivå er det imidlertid naturlig å forholde seg til en tidshorisont som strekker seg maksimalt 25-30 år fram i tid. En videre framskriving er mulig, men vi havner da utenfor det tidsperspektivet hvor det med rimelig grad av troverdighet vil være forsvarlig å gi prediksjoner på de forklaringsfaktorene som påvirker reiseetterspørselen. Det vil også være meget vanskelig å forutse hvilken teknologisk utvikling vi kan forvente etter år 2030.

Man må være oppmerksom på at verken trafikkprognoser eller kapasitetsvurderinger er en eksakt vitenskap, til det finnes alt for mange utfordringsbare faktorer som kan påvirke utviklingen. Det er imidlertid mulig, under gitte forutsetninger, å beskrive en *sannsynlig* utvikling for dermed å kunne identifisere potensielle kapasitetsproblemer. Med tanke på videre strategisk planlegging av lufthavnen vil det i denne sammenhengen være tilstrekkelig at et mulig kapasitetsbehov blir sannsynliggjort slik at man tidsnok kan iverksette nødvendige tiltak.

Trafikkprognosen i denne utredningen bygger på økonometriske prinsipper vedrørende samvirkning mellom tilbud og etterspørsel. For innlandsprognosene er det benyttet et modellsystem som over flere år er utviklet og anvendt i regi av Nasjonal transportplan, det vil si den nasjonale persontransportmodellen (NTM). Den internasjonale persontransportmodellen (ITM), som fortsatt er under utvikling, er imidlertid kun benyttet til nettverkshåndtering av flytilbudet. Disse modellene håndterer lange reiser over 10 mil, og det beregnes reiseetterspørsel totalt, geografisk fordeling av reiser mellom "transportsoner", transportmiddelfordeling og rutevalg (herunder passasjerenes valg av flyplass). Modellene tar hensyn til økonomisk utvikling, befolkningsutvikling, planlagte infrastrukturtiltak samt endring i rutetilbud for fly og øvrige kollektive transportmidler. Modellen FØNIKS er for øvrig benyttet til etterspørselsprognoser for internasjonale reiser til og fra Norge. Transportmodellene beskrives nærmere i Kapittel 2.

Når man skal besvare spørsmålene, om og når det vil oppstå behov for en tredje rullebane, må man ta hensyn til hvilket potensial det ligger i å videreutvikle og optimalisere utnyttelsen av det eksisterende anlegget på lufthavnen. Samtidig vil en optimalisering av anlegget på OSL, med etterfølgende muligheter for å utvide flytilbudet til og fra lufthavnen, i seg selv kunne bidra til en økning i reiseetterspørselen. Denne balansen mellom tilbud og etterspørsel håndteres på en konsistent måte, selv om det er den generelle økonomiske utviklingen i samfunnet (sammen med prisutvikling på transporttjenester) som vil være den viktigste drivkraften i markedet for flytransport.

Ved vurdering av flyplassens kapasitet sammenlignet med forventet trafikkmengde er det nødvendig å forholde seg til kapasitet per time (dimensjonerende maksimaltime). Drøfting av kapasiteter per år (årskapasitet) vil ikke være hensiktsmessig siden andelen trafikk som belaster dimensjonerende maksimaltime erfaringsmessig variere med total trafikkmengde på flyplassen. Dette henger sammen med i hvilken grad det lar seg gjøre å utnytte driftsperioden ved å operere med flere trafikktopper og mer eller mindre ”kontinuerlig” høy trafikkavvikling.

2. Prognosemodeller for reiseetterspørsel

2.1 Faktorer som påvirker flyreiseetterspørselen

Flyprognoser som er utarbeidet ved hjelp av den nasjonale persontransportmodellen har tidligere vært gjenstand for evaluering i forbindelse med vurdering av trafikkutviklingen på Stavanger lufthavn Sola (Denstadli og Voldmo 2000). Vår generelle tolkning av hvor godt modellen håndterer etterspørselsmekanismene i flymarkedet når det gjelder Oslo lufthavn Gardermoen er i det følgende delvis hentet fra disse vurderingene.

Det vil være en rekke faktorer som påvirker folks reiseatferd. Dersom man velger å gjennomføre en flyreise vil det antagelig være på bakgrunn av forhold som:

- Hvem som eventuelt skal reise (personlige egenskaper og sosioøkonomisk status)
- Hvorfor man ønsker å reise
- Hvor man reiser fra
- Hvor man ønsker å reise
- Total reisetid, reisekostnad og bekvemmelighet ved å benytte fly
- Total reisetid, reisekostnad og bekvemmelighet ved å benytte andre transportmidler

I den nasjonale persontransportmodellen (se Kapittel 2.2) er det forsøkt å ta hensyn til faktorer som langt på veg dekker disse punktene. Selv om de aktuelle atferdsrelevante faktorene håndteres i modellen som egne variable vil vi uansett være usikre på om modellens følsomhet overfor endringer i variablene gjenspeiler realistiske effekter. Det finnes samtidig flere forhold som vi i dag vet påvirker reiseetterspørselen på fly, men som ikke håndteres av modellsystemet. Hvilke faktorer som kan tas med i modellen er blant annet begrenset av hvilke data som finnes tilgjengelig. Dette gjelder først og fremst mangel på data for bruk i estimeringsarbeidet, men også bristende tilgang på gode prognoser for eksogene variable som kan tenkes å endre seg i løpet av prognoseperioden.

Det vil i denne rapporten føre for langt å gå inn på samtlige av de variablene som i modellen på en eller annen måte påvirker flyreiseetterspørselen. Hvilke faktorer som vurderes som kritiske i prognosesammenheng vil være sterkt avhengig av eksogene prognoser og øvrige forutsetninger som ligger til grunn for de scenariene man regner på. Etter en del års erfaring med bruk av modellen er det tydeliggjort, slik modellen er formulert pr i dag, hvilke faktorer som er mest sentrale. Til en viss grad har vi en oppfatning av hvilke faktorer som undervurderes, overvurderes eller urettmessig utelates i modellen. Slike svakheter ved modellen kan være vanskelig å håndtere, nettopp på grunn av dårlig kvalitet på data eller manglende tilgang på data. Faktorer/variable som ikke er spesifisert eksplisitt fanges opp ved hjelp av konstantledd i modellens nyttefunksjoner. Konstantene er i utgangspunktet estimert på grunnlag av reisevaneundersøkelsen, men senere kalibrert (tilordnet nye verdier) slik at modellen gjenskaper observert transportmiddelfordeling og totalt antall reiser innenfor hvert reiseformål. Ideelt sett bør man på sikt forsøke å fange opp flere faktorer på en bedre måte innenfor modellsystemet. Modellverktøyet kommer til kort i de tilfeller man har en oppfatning om at bestemte faktorer kommer til å endres i løpet av prognoseperioden, men hvor faktorene ikke inngår som egne variable i modellen. Med utgangspunkt i dagens modellverktøy (og datatilgang) må man i en del tilfeller basere seg på alternative vurderinger av visse faktors innvirkning på etterspørselen.

Eksempel på forhold som eventuelt kan påvirke flyreiseetterspørselen, men som ikke fanges opp i modellen, er blant annet i hvilket omfang videokonferanser vil spille en rolle i fremtiden. Tidligere undersøkelser viser imidlertid at det er lite trolig at dette i løpet av de nærmeste årene vil erstatte reisebehovet merkbart (Denstadli og Haukeland 1999). Det faktiske tidspunktet på dagen for flyavgangene vil også spille en rolle for etterspørselen. Dette tar heller ikke modellen hensyn

til, den regner med gjennomsnittlig antall avganger i løpet av et driftsdøgn. Her kan vi for øvrig regne med at flyselskapene ønsker å velge optimale avgangstidspunkt for sine flygninger, uavhengig av hvilken tidshorisont vi studerer. Et annet spørsmål er om eventuell standardheving av terminalbygg etc. vil påvirke flyreiseetterspørselen direkte. Slike forhold er vanskelig å ta modellmessig hensyn til, men vår vurdering er at det først og fremst vil være kapasitetsutvidelsene knyttet til utbygging som vil være etterspørselsdrivende. I den grad terminalbygg og omgivelser i seg selv vil påvirke etterspørselen må vi forutsette at en viss standardheving og bedre komfort vil komme innenfor samtlige transportslag, og at det totale reisebehovet stort sett påvirkes av andre mer grunnleggende faktorer. Økning i antall avganger forutsettes å øke i trafikkprognosen som en følge av etterspørselsøkning, og vil utgjøre en del av transportkvaliteten. Bonusordninger er et forhold som ikke fanges godt nok opp av modellen, siden den opererer med gjennomsnittlig rabattnivå på solgte billetter for tjenestereiser og det private reisemarkedet.

Et viktigere forhold som ikke fanges opp i den nasjonale persontransportmodellen er eventuelle endringer i befolkningens preferanser. Her er det viktig å skille mellom preferanseendringer og endringer i "omgivelsene" (reisetid, reisekostnad, inntekt etc). Modellen er estimert på tverrsnittsdata fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen for individer for et bestemt år. Slik fanger man opp preferansene i forhold til endringer i omgivelsene ved at man har en variasjon i den situasjonen respondentene fra reisevaneundersøkelsen har å forholde seg til. Endringer i befolkningens sammensetning fanges opp i modellen, men befolkningens preferanser er i bunn og grunn låst til den gjeldende situasjonen da reisevaneundersøkelsen ble gjennomført. Dersom det i fremtiden skjer endringer i folks oppfatninger, uavhengig av deres sosioøkonomiske situasjon eller omgivelsene for øvrig, kan vi si at preferansene endrer seg. Dette kan være ulike trender som er under utvikling, for eksempel at det kan bli en trend å reise på storbyferie eller en trend å velge miljøvennlige alternativer (tross en betydelig oppofrelse). Ofte vil trender ha sammenheng med folks økonomiske handlefrihet, eller omgivelser generelt, og det kan være vanskelig å skille preferanseendringer fra endringer i handlemønster som egentlig er situasjonsbetinget. I en tverrsnittsmode, som den nasjonale persontransportmodellen, vil ikke preferanseendringer fanges opp. I en tidsseriemode tas det derimot også hensyn til slike endringer, men siden det er historiske data man forholder seg til er det likevel lite trolig at man klarer å ta hensyn til preferanseendringer som kanskje kommer 10-20 år fram i tid bedre enn i en tverrsnittsmode.

2.2 Den nasjonale persontransportmodellen NTM5

Nedenfor gis en beskrivelse av den nasjonale persontransportmodellen. Beskrivelsen av modellen og dens mulighet for langsiktige luftfartsprognoser er blant annet basert på tidligere dokumentasjon (Voldmo m.fl. 1999) og (Denstadli og Voldmo 2000). Se også dokumentasjon av NTM5 (Hamre 2002).

Den nasjonale persontransportmodellen NTM er utviklet ved Transportøkonomisk institutt (TØI). Arbeidet med utvikling av NTM ble i sin tid initiert av Samferdselsdepartementet. Senere har den tverretatlige arbeidsgruppen under Nasjonal transportplan (NTP Transportanalyser) overtatt ansvaret for videreutvikling og vedlikehold. Modellsystemet er under stadig utvikling, og flere fagmiljøer har deltatt i varierende grad.

Modellsystemet består av en sekvens disaggregerte statistiske tverrsnittsmodeller hvor dels husholdninger og dels personer er analyseenheten. Total reiseaktivitet og reiseatferd finnes ved å aggregere opp enkelte "personers" beslutninger om å reise, og i så fall hvor og på hvilken måte. Modellsystemet er utviklet for å kunne kvantifisere reisevolumer mellom tettstedsbaserte transportsoner og analysere konsekvenser av bestemte tiltak eller gitte endringer av faktorer som på lang sikt forventes å påvirke reiseatferd. Typiske eksogene variable vil være sosioøkonomiske og demografiske størrelser, og transporttilbud gitt ved endringer i infrastruktur, transportmidlers tilgjengelighet, reisetider, avgangsfrekvenser og priser. I sin oppbygning ligner modellen mye på

en tradisjonell 4-trinns modell (reisegenerering, destinasjonsvalg, transportmiddelvalg og rutevalg). Hovedforskjellen er at modellen benytter en relativt fin inndeling på reiseformål og markedssegmenter og gjør systematisk bruk av sammenkoblede logitmodeller når det gjelder reisemiddelvalg og destinasjonsvalg (se for eksempel Ben-Akiva og Lermann 1985).

Ved formulering av modellene i NTM forutsettes bruk av økonomisk konsumentteori og antagelse om at konsumentene (potensielle brukere av transporttjenester) gjør rasjonelle valg, tatt i betraktning individuelle preferanser og sosioøkonomisk status. Det tas i bruk teori om konsumentenes nyttemaksimering, i den mening at individene vurderer konsekvensene av sine valg og handler deretter. Rasjonaliteten i individenes atferd vil neppe være "perfekt", men begrenset av tilgang på informasjon og evne til å håndtere informasjonsmengden. Individene antas å ha konsistente og transitive preferanser. Under identiske forutsetninger vil et individ alltid velge samme alternativ. Dersom fly foretrekkes foran tog, og tog foretrekkes foran bil, vil også fly foretrekkes foran bil. Befolkningens preferanser i disaggregerte etterspørselsmodeller, som den nasjonale persontransportmodellen, kan estimeres på individdata fra reisevaneundersøkelser. I den nåværende modellversjonen (NTM5) er parametrene estimert på grunnlag av den nasjonale reisevaneundersøkelsen fra 1997/98. Ved bruk av logitfunksjoner for ulike segmenter beregnes personers, eller husholdningers, valgsannsynligheter. Disse aggregeres opp til total reiseaktivitet.

Den enkleste formen for logitfunksjon beskriver valgsituasjonen mellom to alternativer (A og B). Det tas i bruk eksponentialuttrykk for å representere alternativenes attraktivitet i forhold til hverandre.

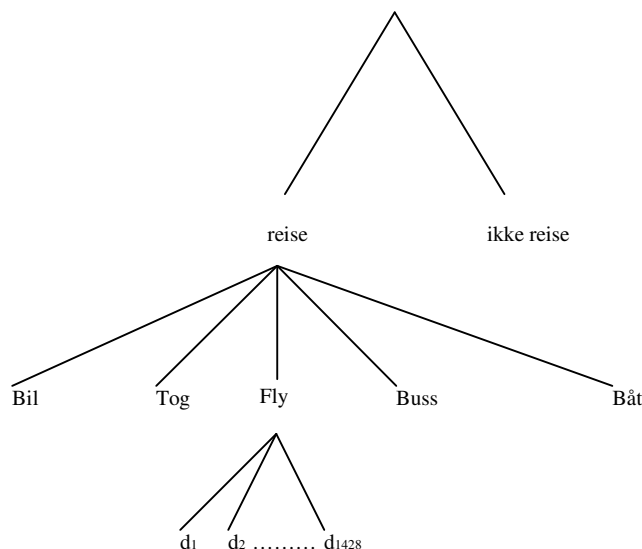
Sannsynligheten P_A for å velge alternativ A, kan beregnes som:

$$P_A = \frac{e^{U_A}}{e^{U_A} + e^{U_B}}$$

hvor U_A er nytten av å velge alternativ A, og U_B er nytten av å velge alternativ B.

Nytten U for hvert av alternativene beregnes på grunnlag av alternativenes egenskaper, som reisetid, frekvens og reisekostnad. Man kan ved beregning av nytten også trekke inn variable som ikke direkte relateres til alternativene som sådan, men som likevel har betydning for konsumentenes oppfatning av alternativenes nytteverdi. Eksempel på dette kan være konsumentenes kjøpekraft (disponibel realinntekt).

I den nasjonale persontransportmodellen benyttes en struktur av logitmodeller som innebærer at det finnes en tilbakekobling fra destinasjonsvalg (d_1 - d_{1428} i Figur 2.1) til reisemiddelvalg (bil, tog, fly, buss og båt), og fra reisemiddelvalg til reisegenerering.



Figur 2.1: Logitmodellenes struktur (nivåer av valgsannsynligheter) i den nasjonale persontransportmodellen.

For hvert av reisemålene tjenestereiser, ferie- og fritidsreiser, besøksreiser og andre private reiser benyttes trestrukturer som i Figur 2.1. At reisemiddelvalget ligger før destinasjonsvalget, som beregnes for hvert av transportmidlene, forklares med at denne formuleringen gir bedre statistisk signifikans ved estimering av modellens parametere. Dette har altså ingen sammenheng med intuitiv forståelse av i hvilken "rekkefølge" passasjerene tar stilling til valg av transportmiddel og reisemål. I tillegg til de tre nivåene reisegenerering, reisemiddelvalg og destinasjonsvalg foretas rutevalg (herunder valg av flylinjer og avreiseflyplass) ved hjelp av nettverksmodellen Emme/2 (EMMA).

I prosjektet har vi inkludert oppdateringer av modellen som er utført i november/desember 2005 av Møreforskning Molde, blant annet når det gjelder senere års prisutvikling på flybilletter (Rekdal 2006). Vi har i tillegg endret beregningsprosedyrene i modellen slik at samvirkning mellom etterspørselsøkning (antall passasjerer) og tilbudsforbedring (antall flyavganger) nå håndteres spesifikt på de enkelte flystrekningene. Bruken av såkalt "frekvensmultiplikator" beskrives nærmere i Kapittel 4.4.

2.3 Den internasjonale persontransportmodellen ITM

Den internasjonale persontransportmodellen ITM utvikles på oppdrag for NTP Transportanalyser. Modellen er fortsatt under utvikling, og Norconsult AS har hatt ansvar for transportnett og rutevalgmodulen, mens svenske Transek AB står for estimering av etterspørselsmodulen i modellsystemet. Modellens rutevalg- og nettverksdel er allerede operativ, men arbeidet med estimering av etterspørselsmodellene er forsinket og i skrivende stund ikke avsluttet. Vår intensjon om å basere oss på ITMs prognosedel i arbeidet med vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane har derfor ikke fullt ut vært mulig å oppfylle innenfor tidsrammen for prosjektet. Etterspørselsprognosene for internasjonale reiser er derfor basert på FØNIKS (se Kapittel 2.4). Vi har imidlertid benyttet ITM i forbindelse med håndtering av det samlede flytilbudet, samt til generering av transportkvalitetsvariable som nå benyttes ved estimering.

Modellen ITM utvikles med utgangspunkt i samme modellfilosofi som den nasjonale modellen, og estimeres på grunnlag av den nasjonale reisevaneundersøkelsen fra 2001/2002 samt Avinors reisevaneundersøkelse på fly fra 2003. Modellen håndterer lange grenseoverskridende reiser til og

fra Norge. Ved å utnytte nettverksmodellen CUBE Voyager til modellens rutevalg er det lagt spesiell vekt på å håndtere valg av avreiseflyplass og fordeling på alternative flylinjer på en realistisk måte. Således tas det hensyn til prisdifferensiering mellom ulike selskaper som flyr på samme strekninger, men som benytter forskjellige flyplasser. Dermed kan modellen håndtere konkurranseforholdet mellom Oslo Lufthavn Gardermoen, Torp, Rygge og utenlandske flyplasser på en konsistent og realistisk måte. Faktorer som billettpris, tilbringerreise, flytid og avgangsfrekvenser vil dermed påvirke passasjerenes valg av operatør og reiserute.

2.4 Luftfartsmodellen FØNIKS - internasjonale reiser

Modellen FØNIKS er utviklet ved Transportøkonomisk institutt og oppdatert i regi av Luftfartsverket, senere Avinor. Modellen håndterer flytransportmarkedet både innenlands og internasjonalt (reiser til/fra Norge), men i forbindelse med vurdering av behovet for en eventuell tredje rullebane på OSL er det kun den delen som håndterer utenlandsmarkedet som her er benyttet til å utarbeide passasjerprognoser. Innlandsprognosene er håndtert ved hjelp av NTM5 (se Kapittel 2.2).

Utenlands rutetrafikk bestemmes i FØNIKS slik (Thune-Larsen 1991):

$$\ln Z_{it} = \alpha_{Zi} + \rho_Z \cdot \ln(R_{it} \cdot B_{it} \cdot R_{Zt}) + \pi_Z \cdot \ln(P_{Zt}) + U_{Zit}$$

Z_{it} er passasjertallet (kommet/reist) med utenlandsrute på flyplass i , år t . R_{Zt} er brutto nasjonalprodukt i OECD-området, regnet i faste priser, P_{Zt} er en realprisindeks for utenlandsreiser med rutefly, og U_{Zit} "hvit støy". α_{Zi} , ρ_Z og π_Z er parametere. ρ_Z og π_Z er estimert på grunnlag av en tilsvarende modell for utenlandstrafikken over alle flyplasser total, der produktet $R_{it}B_{it}$ ble satt lik brutto nasjonalprodukt for Norge. α_{Zi} er fastsatt slik at modellen stemmer i basisåret. En tilsvarende modell for utenlands charterreiser finnes også i FØNIKS, men i passasjerprognosen for OSL er antall charterreiser holdt på et konstant nivå.

3. Prognoseforutsetninger

De økonomiske prognoseforutsetningene som er benyttet i denne utredningen er de samme som tidligere er benyttet i forbindelse med grunnprognosene for utvikling i innenlands persontransport (Gjelsvik 2002) og utredning av sivil lufthavndrift ved Rygge lufthavn (Bråthen, Larsen og Rekdal 2004). Grunnlaget for disse forutsetningene er beregninger fra Finansdepartementet som viser økonomisk utvikling i prosentvise vekstrater, bearbeidet slik at de kan benyttes som inngangsdata til den nasjonale persontransportmodellen. Prisutviklingen på reisekostnader gjenspeiler kostnadsutviklingen for de innsatsfaktorer som skal til for å produsere transporttjenestene for de ulike transportformene som inngår i modellsystemet. Forutsetningene er også konsistente med økonomiske inngangsdata til Fønix, basert på Regjeringens perspektivmelding (St.meld. nr. 8 (2004-2005)).

Forutsetningene innebærer en gjennomsnittlig årlig vekst på 2 prosent i BNP for Norge og 2.4 prosent for Norges handelspartnere i perioden 2005-2020. Realdisponibel inntekt for husholdningene forutsettes å øke med gjennomsnittlig 2.3 prosent, og realprisen for flybilletter innenlands er i henhold til Finansdepartementets prognoser forutsatt å øke med 0.4 prosent i gjennomsnitt per år i perioden. Vi forutsetter imidlertid ingen realprisendring for utenlands flygninger. Prisutvikling og vekst i økonomien er gjenstand for følsomhetsanalyse når vi ser på alternative utviklingsbaner.

Forutsatt befolkningsutvikling er i samsvar med alternativ "MMMM" fra SSBs befolkningsprognoser (middels alternativ), fordelt på kommuner etter kjønn og alder. Antall arbeidsplasser etter næring, sentralitetsindikator og bruttoinntekt per person er etablert på transportsonenivå i den nasjonale persontransportmodellen, men reelle næringsprognoser er ikke innarbeidet for framtidige prognoseår.

Den nasjonale persontransportmodellen håndterer dagens infrastruktur og rutetilbud samt effekter på reiseetterspørselen som følge av endringer i løpet av prognoseperioden. Det tas i modellen hensyn til såkalt "kjente" endringer for alternative transportformer i henhold til forutsetningene i tidligere grunnprognoser for Nasjonal transportplan (Gjelsvik 2002). Sivil lufthavndrift ved Rygge lufthavn er ikke innarbeidet spesifikt i modellkjøringene for Oslo lufthavn Gardermoen, men vi justerer beregningsresultatene med hensyn til resultatene fra tidligere utredning (Bråthen, Larsen og Rekdal 2004).

Når det gjelder den siste tids utvikling i befolkningens kjøpekraft og prisutvikling på transporttjenester har vi i den nasjonale persontransportmodellen innarbeidet oppdaterte 2001- og 2004-data fra SSB, bearbeidet av Møreforskning Molde (Rekdal 2006). Prisutviklingen for flyreiser er implementert for private reiser og tjenestereiser spesifisert på ulike strekninger, det vil si på et aggregeringsnivå i samsvar med de restriksjoner som er knyttet til bruk av datamaterialet.

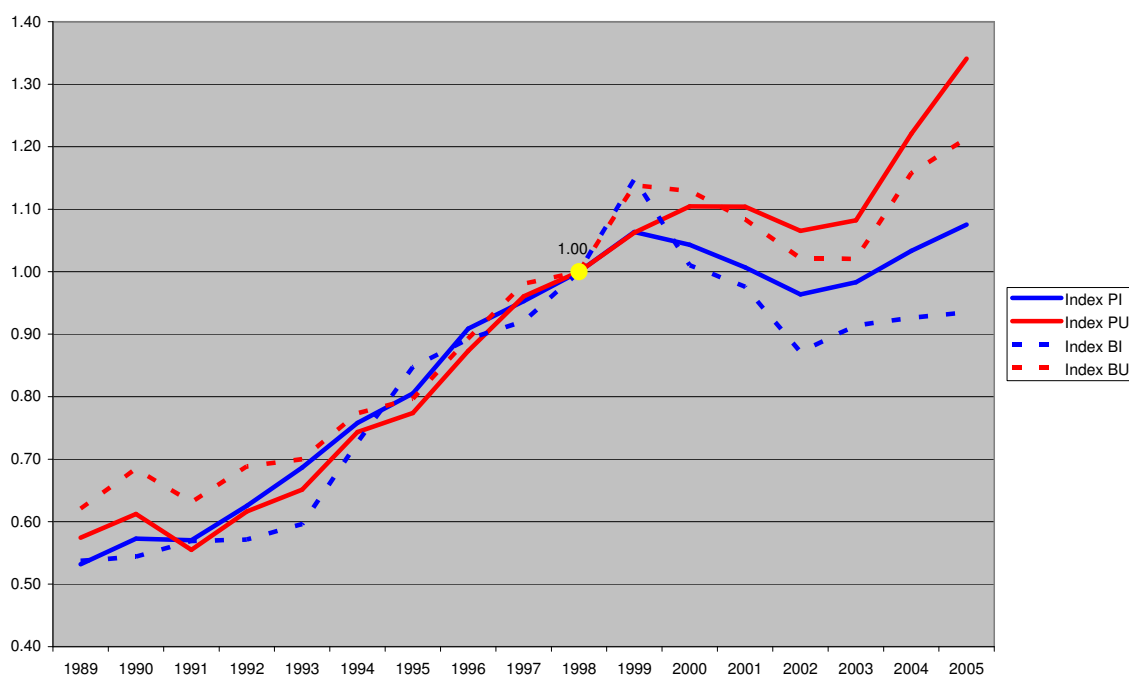
I den nasjonale persontransportmodellen har vi oppdatert beskrivelsen av flytilbudet mellom lufthavner i Norge med utgangspunkt i uttak fra databasen OAG-MAX. Flytilbudet i prognosesituasjonen er etablert ved at det forutsettes en viss økning i antall flygninger som følge av underliggende vekst i reiseetterspørselen. Denne frekvensøkningen forårsaker flere flyreiser som i sin tur gir ytterligere frekvensøkning osv. Denne bruken av såkalt "frekvensmultiplikator" utnytter modellens implisitte frekvenselastisitet og vi har implementert dette strekningsspesifikt i modellen. Frekvensøkningen er forutsatt med hensyn til implisitt antatte endringer i flystørrelse og endring i gjennomsnittlig antall passasjerer per flygning.

4. Trafikkprognoser for OSL

4.1 Trafikkutviklingen fram til 2005

Når man studerer trafikkutviklingen ved Oslo lufthavn kan man se et tydelig trendbrudd i perioden rundt 1998 (se Figur 4.1). Perioden fram til flytting av hovedflyplassen fra Fornebu til Gardermoen var preget av noenlunde lik relativ vekst i antall innenlands og utenlands passasjerer, mens antall innenlands flygninger økte noe raskere enn antall utenlands flygninger.

I forbindelse med åpningen av ny hovedflyplass ble også konkurransesituasjonen endret og det kom en kraftig økning i antall flygninger både på innland og utland. Dette flytilbudet var overdimensjonert i forhold til reiseetterspørselen, noe som førte til en tilpassing i markedet. De siste årene er flytilbudet redusert betraktelig, men først og fremst gjelder dette på strekninger innenlands. Utenlandsmarkedet har fortsatt oppturen og ser ut til få en dominerende rolle når det gjelder vekst og videre utvikling, selv om også innlandsmarkedet nå opplever framgang. Strekninger med konkurranse har gitt reduserte billettpriser og styrket utviklingen i antall passasjerer. Ved OSL var det i 2005 omtrent like mange flygninger på utland som innland, til sammen 195 000 flybevegelser (rute, charter og frakt). Antall terminalpassasjerer (inklusive transfer) var 15.9 millioner, hvorav 48.6 prosent var passasjerer på innland.



Figur 4.1: Relativ vekst i antall passasjerer og flybevegelser ved OSL 1989-2005, normert til 1998. Indeks for innland passasjerer (PI), utland passasjerer (PU), innland flybevegelser (BI) og utland flybevegelser (BU).

4.2 Passasjerprognose år 2020

Passasjerprognosene baseres på beregninger med den nasjonale persontransportmodellen NTM5 og FØNIKS, markedsmodellen for flytransport (se Kapittel 2.2 og 2.4). Modellberegningene er

her utarbeidet med utgangspunkt i forutsetninger som representerer hva vi kan kalle et forenklet *nøytralt* scenario, i den mening at vi etter år 2020 ekstrapolerer modellenes vekstrater uten justering. De mest sentrale forutsetningene for modellberegningene er nærmere gjengitt i Kapittel 3.

Samlet sett bedømmer vi dette teoretiske beregningsalternativet som ”høyt” når det gjelder trafikkvekst etter 2020. Det kan diskuteres hvordan markedsmekanismene opptrer i en framtidig situasjon, og vi presenterer derfor alternative utviklingsbaner hvor resultatene er justert med hensyn til forutsetninger som antas å bremse eller akselerere veksten i reiseetterspørsel. Alternative utviklingsbaner presenteres i Kapittel 4.3.

Tabell 4.1: Passasjerprognose 2005-2020 nøytralt alternativ, ekstrapolerte vekstrater etter 2020. Millioner passasjerer per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	7.7	10.8	12.1	13.6	15.2
Utland	8.1	14.8	18.2	22.5	27.6
Sum	15.9	25.6	30.3	36.0	42.8

Passasjerprognosen i Tabell 4.1 representerer en gjennomsnittlig årlig vekst på 3.2 prosent terminalpassasjerer ved OSL, hvorav innland øker med 2.2 prosent og utland 4.1 prosent per år. Både utland- og innlandsprognosen baseres på modellkjøring fram til år 2020. De tre siste kolonnene i tabellen viser en teoretisk framskriving (ikke prognose) hvor den gjennomsnittlige relative veksten per år i perioden 2005-2020 er forlenget fram til 2035. Passasjerprognoser for perioden 2020-2035 presenteres i Kapittel 4.3.

Resultatene i Tabell 4.1 er nedjustert med hensyn til effekten av sivil lufthavndrift ved Rygge lufthavn, det vil si i samsvar med utredning gjennomført av Møreforsking Molde (Bråthen, Larsen og Rekdal 2004). Det er da tatt utgangspunkt i såkalt ”lavt” rutescenario innland for Rygge, noe som innebærer 1.3 prosent nedjustering av antall innlandspassasjerer på OSL fra 2020 og 1.2 prosent fra 2030. Antall utlandspassasjerer på OSL er tilsvarende nedjustert med 1.9 prosent fra 2020 og 1.6 prosent fra 2030 med hensyn til ”overført” trafikk til Rygge. I passasjerprognosene i Kapittel 4.3 er imidlertid ikke disse justeringene inkludert. Usikkerhet og effekten av overført trafikk til Rygge kommenteres i Kapittel 6.2.

4.3 Prognoseusikkerhet og alternativ utviklingsbaner 2005-2035

Når det gjelder passasjerprognosene er det en reell usikkerhet knyttet til langsiktige utviklingstrekk, som i vårt nøytrale alternativ hovedsakelig er basert på en forlengelse av vekstrater. Modellen for internasjonale flyreiser har en formulering som forårsaker en progressiv vekst. Selv om det historisk sett har vært samsvar i forholdet mellom estimerte vekstrater og registrert trafikkutvikling kan det være omstendigheter som tilsier en mer moderat utvikling når vi har et tilstrekkelig langt tidsperspektiv. Den nasjonale persontransportmodellen er imidlertid estimert på tverrsnittsdata hvor eksogene prognoser for økonomisk utvikling, prisutvikling, befolkningsutvikling, infrastrukturbygging og flytilbud styrer utfallet når det gjelder passasjermengdene i en prognosesituasjon. Men også for innlandsprognosene er usikkerheten stor når vi skal predikere trafikkutviklingen etter år 2020. Det er i dag ikke etablert demografiske data eller andre eksogene prognosevariable i modellen for den tidshorisonten vi her snakker om.

De *nøytrale* modellberegningene tar høyde for en utvikling i reisekostnader som i hovedsak gjenspeiler prisutviklingen i de innsatsfaktorer som skal til for å produsere ulike typer transporttjenester. Dersom markedet for flytransport tilpasser seg et fortsatt prisfall, slik at

operatørene kan drive flytransport til en lavere kostnad, kan dette gi en større effekt på antall etterspurte reiser enn hva vi har beregnet med utgangspunkt i de overordnede økonomiske prognosene. Priselastisiteten for antall flyreiser er estimert til rundt regnet -0.4, både på innland og utland.

Om vi isolert sett tar hensyn til usikkerheten i de økonomiske prognosene er det klart at en mer moderat utvikling i BNP og realdisponibel inntekt for husholdningene enn forventet kan bremse tilveksten i antall etterspurte flyreiser. Motsatt vil en høyere vekst i økonomien bidra til en kraftigere økning i antall flyreiser. Inntektselastisiteten for flyreiser i Norge er tidligere beregnet til 0.6 ved hjelp av NTM5 (Hamre 2002). I tillegg kommer effekten av tilbudsendringer som følge av endring i underliggende etterspørselsvekst. En forenklet tolkning av dette tilsier at 1 prosent økning/reduksjon i realdisponibel inntekt medfører 0.6 prosent økning/reduksjon i antall flyreiser innenlands. For utlandstrafikken er det i Fønixs estimert en elastisitet med hensyn til $BNP_{Norge} * BNP_{OECD}$ lik 2.0, noe som tilsier at dersom BNP i Norge eller OECD øker med 1 prosent så vokser trafikken med 1 prosent. Hvis BNP i både Norge og OECD øker med 1 prosent så vokser trafikken med 2 prosent.

Modellkjøringer for år 2010 med den nasjonale persontransportmodellen indikerer en degressiv utvikling i innlandsmarkedet de neste femten årene, mens den internasjonale modellen gir en progressiv utvikling. Det er problematisk å gjennomføre reflekterte følsomhetsberegninger med modellene når tidsperspektivet er 25-30 år frem i tid, både fordi demografiske data for denne perioden ennå ikke er etablert i den nasjonale modellen, men også fordi det mangler entydige verdier som kan definere de eksogene variabelenes utvikling under bestemte scenarier. Vi har derfor valgt å antyde alternative utviklingsbaner hvor vi baserer oss på en tolkning av modellenes variasjonsområde når det gjelder påvirkning av økonomisk utvikling og billettprisendringer.

Middels trafikkutvikling

Det forutsettes en vekst i realdisponibel inntekt og BNP i henhold til prognoser fra Finansdepartementet (se Kapittel 3). Det forutsettes imidlertid ingen realprisendring for flybilletter, verken for innland eller utland. Vi tolker den degressive utviklingstakten fra den nasjonale persontransportmodellen som at inntektselastisiteten for innenlands flyreiser er avtagende i et langt tidsperspektiv, alt ettersom kjøpekraften blir høyere. Det kan være grunn til å anta at en tilsvarende effekt vil gjøre seg gjeldende for utenlandsmarkedet, og at BNP-elastisiteten også avtar etter hvert. Modellberegningene med NTM5 indikerer at den gjennomsnittlige veksttakten i antall flyreiser innenlands reduseres etter 2010, noe som motsvarer en relativ årlig vekst som ligger 40 prosent lavere når vi ser på en lineær framskriving fra 2020 til 2030. Vi antar samme type utflating også i passasjerprognosen for utland, og forutsetter en vekst etter år 2020 som tilsvarer absolutt vekst (ikke relativ vekst) for perioden 2010-2020. Således brytes den eksponentielle utviklingen generert i modellen Fønixs, og vi får i utlandsprognosen en relativ årlig vekst i antall passasjerer som ligger 33 prosent lavere enn hva som gjelder for perioden fram til år 2020.

Lav trafikkutvikling

Alternativet for *middels* trafikkutvikling modifiseres her med hensyn til en antatt økning i realprisen for flybilletter de nærmeste årene som følge av redusert konkurranse (15 prosent økning) og eventuelle avgiftsøkninger (12 prosent). Deretter forutsetter vi realprisendring i prognoseperioden etter 2010 i henhold til utviklingen i *middels*-alternativet. Vi forutsetter samtidig en svakere økonomisk utvikling enn hva som ligger i de opprinnelige prognosene fra Finansdepartementet, det vil si vi antar 0.4 prosentpoeng lavere vekst per år i realdisponibel inntekt samt BNP for Norge og OECD. Med utgangspunkt i vår tolkning av avtagende BNP- og

inntektselastisitet (som i *middels*-alternativet) vil en svakere økonomisk utvikling føre til en lavere trafikkvekst, og utflating av veksten inntreffer på et senere tidspunkt

Høy trafikkutvikling

Vi antar reduserte billettpriser som følge av oppblomstring av lavprisselskaper, og forutsetter til sammen 15 prosent realprisreduksjon på flybilletter for innland og utland de nærmeste årene. Deretter forutsetter vi realprisendring i prognoseperioden etter 2010 i henhold til utviklingen i *middels*-alternativet. Vi antar samtidig en sterkere økonomisk utvikling enn hva som ligger i de opprinnelige prognosene fra Finansdepartementet, det vil si vi antar 0.4 prosentpoeng høyere vekst per år i realdisponibel inntekt samt BNP for Norge og OECD (analogt med 0.4 prosentpoeng reduksjon i *lav*-alternativet). Dette kan synes vel optimistisk, men alternativet representerer således en konsistent "ekstremsituasjon" jf. alternativet for *lav* trafikkutvikling. Med utgangspunkt i vår tolkning av avtagende BNP- og inntektselastisiteter (som i *middels*-alternativet) vil en sterkere økonomisk utvikling føre til raskere trafikkvekst fram til 2020, men med tilsvarende utflating etter år 2020. Antall terminalpassasjerer ligger da på et nivå i 2030 som samsvarer omtrent med den nøytrale framskrivingen av transportmodellenes gjennomsnittlige vekstrater (ekstrapolering).

Tabell 4.2: Middels utvikling antall terminalpassasjerer, transfer inkludert. Millioner passasjerer per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	7.7	10.9	11.7	12.5	13.4
Utland	8.1	15.2	17.7	20.3	22.9
Sum	15.9	26.1	29.5	32.8	36.2

Tabell 4.3: Høy utvikling antall terminalpassasjerer, transfer inkludert. Millioner passasjerer per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	7.7	12.0	13.1	14.1	15.1
Utland	8.1	17.9	21.2	23.8	26.3
Sum	15.9	29.9	34.3	37.9	41.5

Tabell 4.4: Lav utvikling antall terminalpassasjerer, transfer inkludert. Millioner passasjerer per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

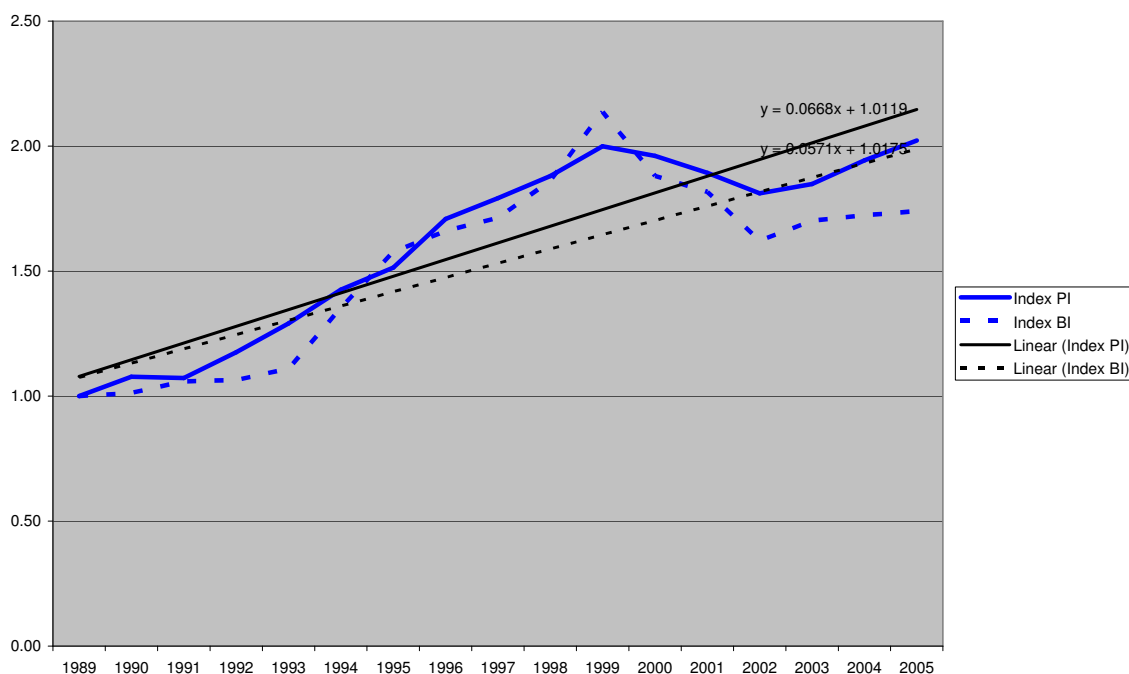
	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	7.7	9.8	10.5	11.3	12.1
Utland	8.1	12.7	15.2	18.2	20.8
Sum	15.9	22.4	25.7	29.5	32.9

4.4 Prognose flybevegelser 2005-2035

Prognosene for antall flybevegelser baseres på visse forutsetninger vedrørende dagens situasjon og antatte endringer til en framtidig prognosesituasjon. Faktorer som antas å påvirke antall flybevegelser vil først og fremst være underliggende vekst i reiseetterspørsel, men også kapasitet på lufthavner og i luftrommet samt flyselskaperens vurdering vedrørende økonomien i å anskaffe og benytte større fly eller økt avgangsfrekvens vil ha betydning.

I våre beregninger er det passasjerprognosen som danner grunnlaget for å vurdere veksten i antall flybevegelser. Det finnes imidlertid en "tilbakevirkning" ved at økt antall flygninger i sin tur gir høyere etterspørsel, hvilket det er tatt hensyn til i passasjerprognosen. Vekst i reiseetterspørsel medfører ikke bare økt frekvens, men også større fly. Man må i denne sammenhengen være oppmerksom på at det er de langsiktige utviklingstrekk i markedet vi ønsker å beskrive. I realiteten vil det fra år til år forekomme større eller mindre sprang i gjennomsnittlig kabinfaktor så vel som gjennomsnittlig antall passasjerer per flygning. Etter hvert som markedet for flytransport endres i takt med konjunkturer og trender vil vi se etablering av en del nye flyruter og eventuelt nedleggelse av andre ruter. Endringer i flytilbudet vil ikke nødvendigvis ligge helt i fase med etterspørselsendringen målt i antall passasjerer.

Prognosemodellen Fønix håndterer ikke avgangsfrekvensen som eksogen variabel, men for innlandsprognosen benyttes det relative forholdet mellom vekst i antall passasjerer og vekst i antall flybevegelser (se Figur 4.2) til å utlede den såkalte "frekvensmultiplikatoren" som benyttes i den nasjonale persontransportmodellen NTM5.



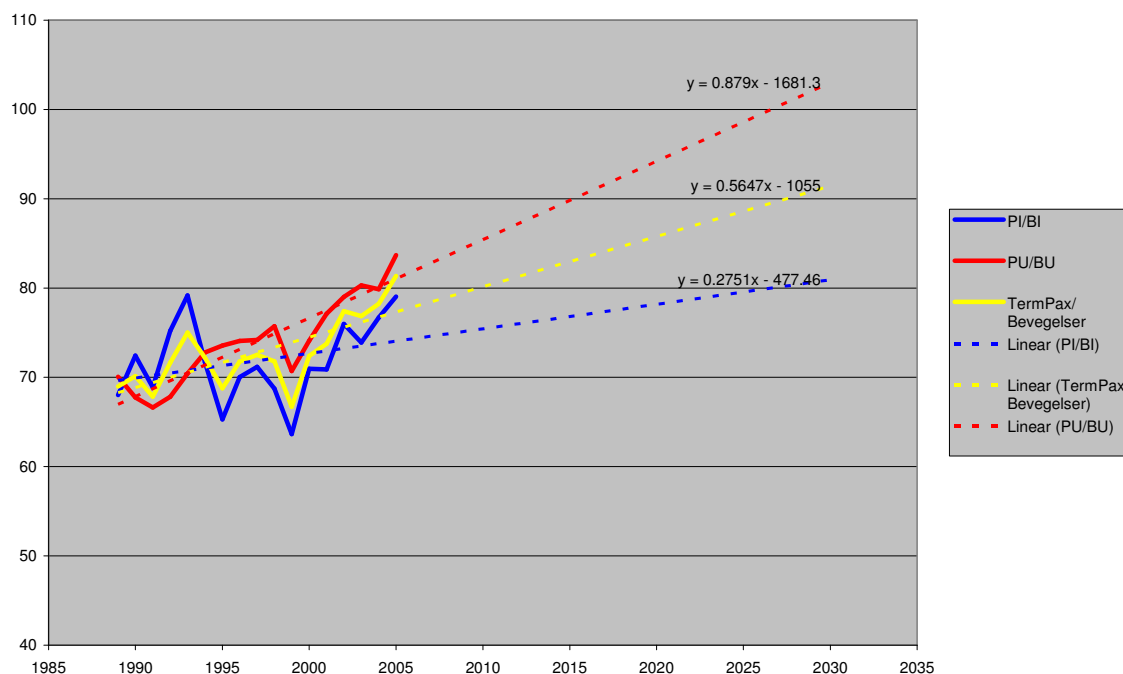
Figur 4.2: Registrert vekst i antall passasjerer (PI) og antall flybevegelser (BI) innenlands i perioden 1989-2005, normert til 1989. Estimert lineær trend til utledning av "frekvensmultiplikator" i NTM5.

I denne type langsiktige prognoser vil det ikke være korrekt å anta at kapasiteten ved Oslo lufthavn i seg selv bidrar til å begrense den etterspurte frekvensøkningen fra markedets side, da det nettopp er kapasitetsbehovet vi ønsker å identifisere i utredningen. Vi forutsetter i utgangspunktet at den registrerte veksten i gjennomsnittlig antall passasjerer per flybevegelse de siste femten årene er en trend som vil fortsette også i prognoseperioden, under antagelsen lineær utvikling.

Sammenhengen mellom passasjervekst og antall flybevegelser utledes på basis av den observerte utviklingen i perioden¹ 1989-2005 (rute, charter og frakt), spesifisert på innland og utland. Ved

¹ Statistikken vi har mottatt viser antall flybevegelser på innland og utland tilbake til 1989, "Historie pr lufthavn.xls" (Avinor/ Øystein Tvetene, 9. februar 2006).

omregning fra passasjerprognose til flybevegelsesprognose benyttes framskriving av den estimerte trenden (se Figur 4.3). Siden statistikken som benyttes omfatter rute-, charter- og fraktflygninger forutsetter vi implisitt at antall fraktflygninger følger samme utviklingsbane som passasjertrafikken.



Figur 4.3: Registrert utvikling i gjennomsnittlig antall passasjerer per flybevegelse i perioden 1989-2005. Innenlands (PI/BI), utenlands (PU/BU) og sum terminalpassasjerer innland og utland (TermPax/Bevegelser). Estimert lineær trendframskriving.

Tabell 4.5: Middels utvikling antall flybevegelser per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	97600	139 400	147 300	154 900	162 300
Utland	97400	161 100	179 800	196 900	212 700
Sum	195000	300 500	327 100	351 900	375 000

Tabell 4.6: Høy utvikling antall flybevegelser per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	97600	154 000	164 000	173 900	183 700
Utland	97400	189 700	215 100	230 800	245 100
Sum	195000	343 600	379 100	404 600	428 800

Tabell 4.7: Lav utvikling antall flybevegelser per år på Oslo lufthavn, Gardermoen.

	2005	2020	2025	2030	2035
Innland	97600	124 700	131 800	139 300	146 900
Utland	97400	134 200	153 900	176 800	193 300
Sum	195000	258 900	285 600	316 000	340 200

5. Banekapasitet ved OSL

5.1 Kapasitetsbegrepet

Vurdering av banekapasiteten er nærmere dokumentert i vedleggsrapporten (Fricke, Gronak og Fiedler 2006). Kapasitetsvurderingen baseres på opplysninger og materiale mottatt fra Avinor og OSL, og det er gjennomført tre møter med lufthavnens operative ledelse i løpet av prosjektperioden. Beregningsforutsetninger og vurderinger knyttet til bruk av grunnlagsdata er således avklart i forhold til Avinor/OSL.

Geometriske data (utforming av lufthavnen) baseres på offisielt publiserte data dokumentert i siste versjon av AIP for Norge. Driftsmessige data er i sin helhet hentet fra år 2004, og dekker total mengde flygninger håndtert gjennom året, samt de seks travleste månedene. Sistnevnte data er standard input for støy- og kapasitetsanalysen og er også benyttet til støyberegninger for OSL. Dataene er spesifisert med tanke på trafikkstruktur, trafikkvolum, døgnfordeling samt fysisk omfordeling over rullebaner og ruter. I tillegg er det benyttet data som beskriver nåværende prosedyrer for trafikk kontroll, tekniske forhold og aktuelle restriksjoner.

Når vi skal sammenfatte resultatene som viser kapasitetsforbedrende tiltak for rullebanesystemet på OSL er det verdt å merke seg følgende²: *"Runway 01R and 19R are preferential runways for landings and runway 01L and 19L are preferential runways for take-offs..."*. Begrepet "preferential" (fortrinnsberettiget) er her antatt å være en strikt forutsetning når det gjelder rullebaner for rene landinger og avganger i driftsmessig modus for både nord og syd. En konsekvens av dette er at rullebanesystemets kapasitet vil være summen av den beregnede kapasiteten for de enkelte rullebaner.

Kapasitetsbegrepet reflekterer trafikksystemets evne til å håndtere trafikkavviklingen over en gitt tidsperiode. Med trafikksystem mener vi her rullebanesystem, apron og terminal. Tidsperioden er vanligvis uttrykt som et år, de seks travleste månedene i et år, et døgn eller en time. For at systemet skal kunne utnytte *maksimal* kapasitet må det finnes et jevnt behov for trafikkavvikling. Innen luftfarten er det i praksis umulig å ha et kontinuerlig avviklingsbehov gjennom hele betjeningstiden, noe som ville innebære at det hele tiden finnes fly som er klare for take-off eller landing uten at det forekommer forsinkelser.

Ved planlegging av flyplasser må man ta hensyn til at det skal være tilstrekkelig kapasitet for å kunne håndtere svingninger i "etterspørselen". Man må med andre ord holde et tilfredsstillende servicenivå slik at man oppnår god punktlighet og ikke overskrider grensen for hva som aksepteres av akkumulerte forsinkelser. Det må likevel forutsettes at en forholdsvis høy andel av trafikken til en viss grad vil kunne forårsake forsinkelser. Denne kapasiteten kan beskrives som *praktisk* kapasitet.

5.2 Nåværende kapasitet

Ved bruk av kapasitetsmodellene FIM³ og SAM⁴ er det beregnet timekapasiteter for OSL. Praktisk kapasitet for det eksisterende rullebanesystemet, som vil være dimensjonerende for trafikkavviklingen, er vist i Tabell 5.1. Den maksimale kapasiteten (Tabell 5.2) er høyere, men

² Avinor, AIP Norway, AMDT 07/05 - 29. september 2005

³ FIM - "First come, first served model" (se Fricke, Gronak og Fiedler 2006)

⁴ SAM - "Pre-emptive space arrival model" (se Fricke, Gronak og Fiedler 2006)

kan ikke være dimensjonerende da maksimal kapasitet kun kan utnyttes sporadisk i spesielle situasjoner.

Tabell 5.1: Praktisk kapasitet ved eksisterende rullebanesystem. Kapasitet per rullebane.

Rullebane	Avganger / time	Ankomster / time
01L	27	40
01R	24	40
19L	30	39
19R	24	39

Den totale praktiske kapasitet blir dermed:

retning 01:	67 flybevegelser (27 avganger på 01L og 40 landinger på 01R)
retning 19:	69 flybevegelser (30 avganger på 19L og 39 landinger på 19R)

Tabell 5.2: Maksimal kapasitet ved eksisterende rullebanesystem. Kapasitet per rullebane.

Rullebane	Avganger / time	Ankomster / time
01L	32	45
01R	29	45
19L	35	45
19R	29	45

Den totale maksimale kapasiteten blir dermed:

retning 01:	77 flybevegelser (32 avganger på 01L og 45 landinger på 01R)
retning 19:	80 flybevegelser (35 avganger på 19L og 45 landinger på 19R)

OSL har tidligere ved hjelp av FAAs beregningsmodell⁵ anslått 72 til 84 flybevegelser som nåværende praktiske kapasitet for rullebanesystemet (se Oslo Lufthavn 2001), det vil si med og uten gjeldende restriksjoner, men uten hensyn til eventuelle optimaliserende tiltak. Våre kapasitetsberegninger ligger med andre ord i utgangspunktet noe lavere enn OSL-tallene.

Et eventuelt behov for tredje rullebane er også undersøkt med hensyn til flystøy. Vi har gjennomført simulering av eksisterende situasjon (2005) og sammenlignet med simuleringer for en prognosesituasjon 2005 forutsatt inntil 10 prosent økt nattrafikk, og en prognosesituasjon 2030 med 1.75 prosent trafikkøkning per år. Resultatene *indikerer* følgende:

- Støykurvene for 45 dB (A) og 55 dB (A) får en signifikant økning i nord- og sydlig retning (avhengig av rullebanesystemet). Sonen for 55 dB (A) øker med 55 prosent, mens sonen for 45 dB (A) øker med kun 22 prosent.
- Scenariene for 2005, med økt nattrafikk (mellom 5 og 10 prosent) viser imidlertid en begrenset effekt på støysituasjonen rundt lufthavnen, det vil si en økning av støysonene på under 2 prosent.

En samlet vurdering tilsier at en tredje rullebane vil innebære en større spredning av støyfordelingen, sammenlignet med den eksisterende rullebaneløsningen hvor støy som følge av trafikkøkning vil konsentreres og i stor grad belaste de nære omgivelsene til Gardermoen.

⁵ FAA - Federal Aviation Administration (amerikanske Luftfartstilsynet). Beregningsmodell for kapasitet av rullebaner.

5.3 Optimaliserende tiltak ved eksisterende rullebanesystem

Vurdering av potensialet for optimaliserende tiltak ved det eksisterende rullebanesystemet har avdekket følgende forhold:

- Luftromstruktur:

Nåværende TMA⁶ har en maksimal planleggingskapasitet på 60 flybevegelser i timen grunnet komplekse inn og utflygingsruter samt til tider overbelastet luftrom vest av flyplassen. En annen struktur på luftrommet i Osloområdet er undersøkt og simulert av Avinor i SOLNORSIM-prosjektet. Dette luftrommet er testet for opptil 90 flybevegelser i timen når visse bemanning og utstyrmessige kriterier er oppfylt.

- Oppgradering av flyplassens taksebanesystem:

Lokalisering av de eksisterende avkjøringer fra rullebanene indikerer et potensial for optimalisering for medium jet fly. Denne flytypen som representerer 85 prosent av den totale trafikken og er i stand til å benytte avkjøringer fra rullebanene som ligger 4000 til 5000 fot fra baneterskel for landing, spesielt når avkjøringen(e) er tilpasset ICAO⁷ kriterier for utforming av høyhastighetsavkjøringer (Gardermoen avkjøringer samsvarer ikke med disse i dag).

Ved å forandre de eksisterende avkjøringer til slike høyhastighetsavkjøringer innenfor den nevnte rekkevidden, kan luftfartøyenes tid på rullebanen (ROT⁸) reduseres ned til 50 sekunder eller lavere, hvilket er en forutsetning for å kunne benytte redusert atskillelse ned til 2.5 NM mellom ankommende luftfartøy til samme bane.

- Redusert atskillelse mellom luftfartøy:

Dersom gjennomsnittlig ROT ligger lavere enn 50 sekunder (og oppdateringsraten på innflygningskontrollradaren tillater en oppdatering raskere enn 5 sekunder, hvilket er bekreftet av Avinor) kan atskillelse mellom ankommende luftfartøy til samme rullebane reduseres fra 3 til 2.5 NM (for tiden er dette i bruk ved for eksempel Frankfurt/Main Airport, London Heathrow, København Kastrup m.fl.).

Dette tiltaket vil kunne gi en optimaliserende gevinst på rundt 7 ankomster per time og rullebane.

- Trafikksammensetning:

OSL trafikkdata fra 2004⁹ viser ca. 4 prosent småflytrafikk. Ettersom innflygningshastigheten for små fly er signifikant lavere enn for store og mellomstore fly, vil denne faktoren være avgjørende for innflygningskapasiteten. Ved å utelukke småflytrafikk på OSL kan ankomstkapasiteten økes med inntil 6 ankomster per time. Avgangskapasiteten vil også kunne bli berørt, da det gjelder strengere krav til atskillelse av avgående småfly etter større fly grunnet faren for vingeirvler (*wake vortex*).

⁶ TMA - *Terminal Control area*. Et kontrollområde, vanligvis etablert der flere ATS-ruter løper sammen i nærheten av en eller flere større flyplasser

⁷ ICAO - *International Civil Aviation Organisation*.

⁸ ROT - *Runway Occupancy Time*.

⁹ Oslo Gardermoen Airport, Traffic Data Environment 2004,

”Traffic_Data_Environment_OS�_6VRMonate_2004_te161205.xls”, 16.12.2005.

Med hensyn overordnede tekniske og driftsmessige optimaliseringstiltak¹⁰ kan vi konkludere med at den praktiske kapasiteten ved OSL kan bli som vist i Tabell 5.3.

Tabell 5.3: Praktisk kapasitet ved optimalisert rullebanesystem (to rullebaner). Kapasitet per rullebane.

Rullebane	Avganger / time	Ankomster / time	Flybevegelser / time
01L	43	47	46
01R	39	47	44
19L	39	46	43
19R	39	46	42

At kapasiteten er forskjellig for retningene skyldes at forutsetninger for kapasitetsfølsomme parametre som benyttes i beregningene er forskjellig. Beregningene beskrives nærmere i vedleggsrapporten (Fricke, Gronak og Fiedler 2006). Rullebanesystemets samlede kapasitet er summen for retning 01 (01L+01R) eller for retning 19 (19L+19R). Avhengig av retningsfordeling vil kapasiteten dermed ligge på mellom 85 og 90 flybevegelser per time.

¹⁰ Det er ikke tatt hensyn til eventuell mulighet for å utelukke småflytrafikk helt og holdent, da dette er en prinsipiell problemstilling som bør håndteres uavhengig av kapasitetsstudien.

6. Behov for eventuell tredje rullebane

6.1 Forventet trafikk i dimensjonerende maksimaltime

Når vi skal anslå tidspunktet for når behov for en tredje rullebane melder seg er det strengt nødvendig å forholde seg til trafikkmengde per time, målt i antall flybevegelser. Trafikken i dimensjonerende maksimaltime er avhengig av årsvariasjoner, ukevariasjoner og døgnvariasjoner. Det er vanlig praksis å framstille disse variasjonene som forholdet mellom trafikkmengde i en typisk maksimaltime og den totale trafikkmengden i løpet av ett år. Dersom årsvariasjonen og ukevariasjonen antas tilnærmet konstant vil det i prinsippet være døgnvariasjonene som blir bestemmende for hvor mange flybevegelser trafikksystemet klarer å håndtere i løpet av ett år. Det vil også forekomme svingninger i antall passasjerer per flybevegelse, spesielt vil det i høysesongen vil være en høyere kabinfaktor. I de fleste tilfeller vil disse svingningene være av mindre betydning, slik at divergens i omregningsfaktorer for antall passasjerer og antall flybevegelser ikke påvirker forventningsverdien på flybevegelser i dimensjonerende time (DeNeufville og Odoni 2003). For å evaluere kapasitetspotensialet relatert til forventet trafikkmengde er årstrafikken regnet om til typisk maksimaltime, i henhold til ICAO definisjon (inntreffer minst 30 ganger per år).

For å bestemme omregningsfaktoren mellom antall flybevegelser per år og antall flybevegelser i dimensjonerende maksimaltime tar vi utgangspunkt i erfaringstall fra sammenlignbare lufthavner. Tabell 6.1 illustrerer at lufthavner med store trafikkmengder har en forholdsvis lavere andel av trafikken i dimensjonerende maksimaltime. For praktisk planleggingsformål vil omregningsfaktorene kunne benyttes for passasjermengder så vel som for flybevegelser. Maksimaltimebelastningen vil ikke nødvendigvis være sammenfallende for avgang, ankomst, innland og utland, men siden sammensetningen varierer sterkt er det lite hensiktsmessig å "konstruere" denne fordelingen med hensyn til de enkelte typer flygninger med forholdstall mellom passasjerer og flybevegelser for en prognosesituasjon 25-30 år fram i tid. Omregningsfaktorene benyttes derfor som gjennomsnittsverdier for typisk maksimaltime. Usikkerhet knyttet til antall passasjerer per flybevegelse kommenteres i Kapittel 6.2.

I 2005 hadde Oslo lufthavn 195 000 flybevegelser og 15.9 millioner passasjerer. Med 65 flybevegelser i typisk maksimaltime gir dette en trafikkfaktor på 0.033 prosent, hvilket samsvarer godt med nivået angitt i Tabell 6.1. Analyse av et utvalg lufthavner i USA (DeNeufville og Odoni 2003) viser at lufthavner med 10-20 millioner passasjerer per år har mellom 8 og 12 prosent av de daglige trafikkmengdene i typisk maksimaltime. Dette bekreftes av statistikk fra OSL hvor gjennomsnittlig 9 prosent av døgntrafikken, på virkedager i representative uker 2004 og 2005, foregår i typisk maksimaltime.

Tabell 6.1: Omregningsfaktorer for å estimere antall passasjerer i dimensjonerende maksimaltime fra antall passasjerer per år (DeNeufville og Odoni 2003).

Totalt antall passasjerer per år	Antall passasjerer i dimensjonerende maksimaltime. Prosent av totalt antall per år.
Mer enn 20 mill.	0.03 %
10 - 20 mill.	0.035 %
1 - 10 mill.	0.040 %
500 000 - 1 mill.	0.05 %

Det finnes imidlertid en del lufthavner med store trafikkmengder hvor trafikkandelen i dimensjonerende time er lavere, for eksempel London Heathrow og Frankfurt (ned mot 0.02 prosent). Disse lufthavnene opererer på kapasitetsgrensen det meste av dagen, med flere trafikktopper. Dette er imidlertid ekstreme verdier og det vil være naturlig å anta at trafikkandelen

i dimensjonerende time på Oslo lufthavn i prognosesituasjonen vil ligge et sted mellom dagens nivå (0.033 prosent) og ekstresituasjonen (0.02 prosent), avhengig av scenario for trafikkutvikling.

Med utgangspunkt i disse omregningsfaktorene for ulike nivåer på trafikkmengder antar vi andel av trafikken i dimensjonerende time som funksjon av trafikkmengde per år, estimert mot gjennomsnittsverdiene i Tabell 6.1 og en antatt nedre grenseverdi på 0.02 prosent. Andelen er avhengig av hvor mange trafikktopper man har innenfor driftsperioden, og det er høyst usikkert hvordan dette vil arte seg i framtiden. Dette er ikke kun et spørsmål om driftsmessige forhold, men er også avhengig av hvilke markedssegmenter som forventes å øke mest. En relativt sett sterk økning i privatreisemarkedet som følge av utvikling i lavpristilbud *kan* tilsi at en fordeling på flere trafikktopper er gunstig med hensyn til variasjon i reiseetterspørselen, men vi har ikke tilstrekkelig empirisk grunnlag til å slå fast i hvilken grad dette vil påvirke omregningsfaktorene.

Andel flybevegelser i dimensjonerende maksimaltime (y) beregnes som:

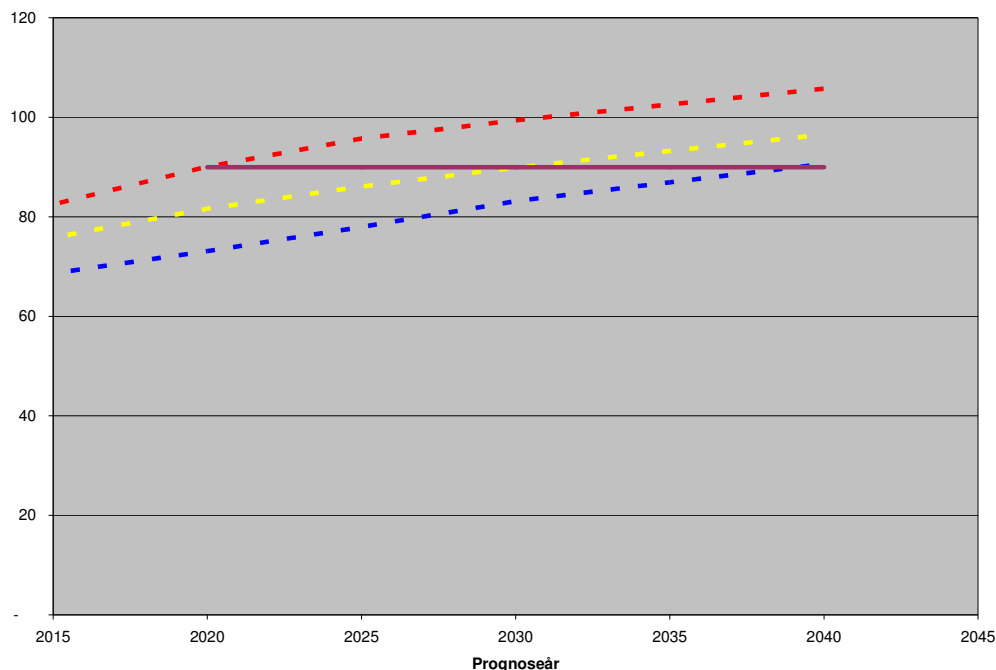
$$y = -7 \cdot 10^{-5} \ln(x) + 0.0005$$

hvor x er antall flybevegelser per år.

Med 351 900 flybevegelser per år, som i trafikkprognosens alternativ *middels* i år 2030 (se Kapittel 4.4), gir dette en omregningsfaktor på 0.026 prosent og 90 flybevegelser i dimensjonerende maksimaltime i år 2030. I disse beregningene ligger en forutsetning om at trafikken i framtiden, i større grad enn i dagens situasjon, vil fordele seg jevnere over driftsdøgnet. Den implisitt antatte døgnfordelingen i prognosesituasjonen tillater med andre ord at det med hensyn til en gitt kapasitetsgrense (antall flybevegelser per time) kan avvikles større trafikkmengder per år enn hva som vises i Tabell 6.1. Hvorvidt den optimaliserte timekapasiteten kan tillate avvikling av forventet trafikkmengde vil blant annet være avhengig av i hvilken grad det lar seg gjøre å operere med flere trafikktopper over døgnet. Dette er en kritisk faktor som påvirker tidspunktet for når det blir nødvendig med en tredje rullebane for å kunne håndtere trafikkveksten.

Kapasitetsberegningene som er utført av GfL (Fricke, Gronak og Fiedler 2006) viser at den praktiske timekapasiteten (for ruteplanlegging) med to rullebaner vil ligge på 85-90 flybevegelser per time etter optimalisering av trafikksystemet (se Kapittel 5.3), hvilket er marginalt høyere enn hva som kom fram i Lufthavnplan 2001 (85 flybevegelser i praktisk ruteplansammenheng).

Figur 6.1 viser forventet trafikkutvikling i henhold til prognosen, samt øvre kapasitetsgrense på 90 bevegelser ved bruk av to rullebaner etter gjennomføring av optimaliserende tiltak. Den dimensjonerende kapasiteten vil i realiteten ligge mellom 85 og 90. I Kapittel 6.2 drøftes usikkerhet knyttet til visse sentrale beregningsforutsetninger, og i hvilken grad denne usikkerheten påvirker tidspunktet for når det vil bli behov for en tredje rullebane.



Figur 6.1: Prognose antall flybevegelser i dimensjonerende maksimaltime - høy, middels og lav trafikkutvikling. Praktisk kapasitetsgrense på 90 flybevegelser per time (90 ATM), etter optimaliserende tiltak med to rullebaner.

Med utgangspunkt i Figur 6.1 kan vi tolke beregningsresultatene, gitt de forutsetninger som er beskrevet tidligere i denne rapporten. Det er overveiende sannsynlig at behov for en tredje rullebane vil melde seg en gang mellom år 2020 og 2040.

Med en sterk økonomisk utvikling og økt konkurranse mellom flyselskapene vil behovet for en tredje rullebane sannsynligvis melde seg en gang i perioden 2020-2030. Svak økonomisk utvikling, kombinert med økte avgifter og mindre konkurranse, innebærer at behovet sannsynligvis melder seg en gang i perioden 2030-2040. Behovet for økt kapasitet vil melde seg gradvis ved at man oftere og oftere opplever at trafikksystemet i perioder ikke klarer å håndtere trafikketterspørselen. For å unngå hyppige trafikkavviklingsproblemer som følge av kapasitetsbegrensning må gjennomføring av optimaliserende tiltak og planlegging av en eventuell tredje rullebane starte i tide. Ved langsiktig strategisk planlegging som berører utvikling av framtidig infrastruktur vil det her være naturlig å forholde seg til et trafikkscenario "over middels". Man bør derfor arbeide ut fra et scenario hvor behov for en tredje rullebane antas å komme før 2030.

6.2 Vurdering av usikkerhet og ulike faktors relative betydning

For å kunne besvare spørsmålene 1) om det i fremtiden vil oppstå behov for en tredje rullebane på OSL, og 2) når vil i så fall behovet for en tredje rullebane vil oppstå, har vi behandlet en rekke faktorer som påvirker trafikkutvikling. Den relative betydningen av de aktuelle faktorene kan være vanskelig å bedømme da de delvis er innbyrdes avhengig av hverandre. Nedenfor omtales de mest sentrale usikkerhetsfaktorene, og en samlet vurdering tilsier at den største usikkerheten ligger i prognosen for reiseetterspørsel og trafikkfordeling over døgnet. Således vil de aktuelle trafikkscenariene representere en realistisk spennvidde når det gjelder mulig trafikkutvikling, med utgangspunkt i et sannsynlig *middels* scenario.

Reiseetterspørsel og trafikkutvikling

Når det gjelder trafikkutviklingen har vi under forutsetning av tre alternative scenarier vist at usikkerheten for når kapasitetsgrensen innhentes ligger på +/- 10 år, med utgangspunkt i et middels beregningsalternativ. Usikkerheten vedrørende reiseetterspørsel er først og fremst knyttet til økonomisk utvikling representert ved vekst i BNP og realdisponibel inntekt hos husholdningene. Også usikkerheten knyttet til konkurransesituasjonen og avgiftspolitikken, via realprisindekser, er fanget opp i den totale usikkerheten ved trafikkutvikling.

Tidligere beregninger med den nasjonale persontransportmodellen har vist forholdsvis små konkurranseflater mot andre transportmidler. I den grad det forekommer konkurranseflater av noen betydning er det først og fremst endring i generaliserte reisekostnader (vektet sum av reisetid og reisekostnader) ved bruk av privatbil som på enkelte reiserelasjoner kan påvirke antall reiser med fly (Denstadli og Voldmo 2000). Når vi skal bedømme trafikkutviklingens betydning for behov for en tredje rullebane vurderes denne type effekter som marginale i sammenhengen.

Vedrørende konkurranse fra andre flyplasser er dette delvis håndtert for innenlandsmarkedet i den nasjonale persontransportmodellen. Usikkerheten er nok størst i forbindelse med etablering av sivil lufthavndrift ved Rygge lufthavn, men vi kan slå fast at denne effekten vil være forholdsvis liten sammenlignet med øvrige usikkerhetsfaktorer. På basis av resultatene fra en tidligere utredning (Bråthen, Larsen og Rekdal 2004) kan vi konkludere med at et par prosent "overførte" passasjerer til Rygge vil ha marginal betydning for når behovet for tredje rullebane ved OSL vil oppstå, i størrelsesorden 1-2 år senere sammenlignet med en situasjon uten forutsatt lufthavndrift ved Rygge lufthavn.

Befolkningens reisevaner og preferanser er fanget opp i transportmodellenes parametere, som for den nasjonal persontransportmodellen er estimert på tverrsnittsdata fra den nasjonale reisevaneundersøkelse fra 1998, mens Fønix for utenlands flyreiser er estimert på tidsseriedata. Når det gjelder usikkerhet i disse dataene henvises til dokumentasjon av transportmodellene (Hamre 2002 og Thune-Larsen 1991). Demografiske prognoser inngår som eksogene variable i transportmodellene. De eksogene prognosene for befolkningsutvikling osv. representerer også en usikkerhet, men det har ikke vært mulig å vurdere denne type usikkerhet innenfor rammen av prosjektet.

Kapasitetsøkende tiltak

Kapasitetsøkende tiltak (Fricke, Gronak og Fiedler 2006) vil utsette behovet for en tredje rullebane, men tidsperspektivet avhenger sterkt av trafikkens døgnfordeling og mulighet for eventuelt å operere med flere trafikktopper. Den praktiske timekapasitet er beregnet til 85-90 flybevegelser, avhengig av retning. Dersom vi antar at retningsfordeling på trafikken begrenser muligheten til å avvikle flybevegelsene henhold til beregnet kapasitetsgrense på 90 bevegelser, vi antar 50/50-prosent fordeling på retning, innebærer dette gjennomsnittlig 2.5 færre avviklede flybevegelser i dimensjonerende maksimaltime. Isolert sett medfører dette at behovet for en tredje rullebane melder seg omtrent fem år tidligere.

Trafikkfordeling over døgnet

Relativt sett vurderer vi flybevegelsenes fordeling over døgnetimer som en av de viktigste (mest kritiske) enkeltfaktorene, ikke bare fordi den er avhengig av trafikkutviklingen, men også fordi den er uforutsigbar og at det fortsatt er knyttet stor usikkerhet til i hvilken grad det er mulig å spre trafikken over døgnet. Døgnfordeling er ikke kun en driftsmessig problemstilling, da også reiseetterspørsel og markedets behov bidrar til å styre den operative håndteringen av

trafikkvariasjoner over døgnet. Følsomhetsberegninger med utgangspunkt i variasjonsområdet for omregningsfaktorer for årstrafikk og trafikk i dimensjonerende maksimaltime tilsier likevel at denne usikkerheten ikke overstiger usikkerheten knyttet til reiseetterspørsel og trafikkutvikling.

Flystørrelse og frekvensøkning

For å bestemme sammenhengen mellom vekst i antall passasjerer og vekst i antall flygninger er det benyttet lineær trendframskriving av antall passasjerer per flybevegelse, hvilket skal fange opp en langsiktig trend hvor deler av dagens flypark gradvis erstattes av større fly. For år 2030 tilsier dette i gjennomsnitt 81 passasjerer på innenlands flygninger og 103.1 passasjerer på utenlands flygninger, noe som tilsvarer 93.3 passasjerer per flygning i gjennomsnitt for innland og utland. I dagens situasjon ligger passasjerantallet per pr. flygning høyere enn trendlinjen, spesielt på innland, men det er grunn til å regne med en nedjustering etter hvert som man når et metningspunkt i kabinfaktor og antall flybevegelser øker som følge av underliggende vekst i reiseetterspørselen.

Vi kan vanskelig bedømme usikkerheten i disse forutsetningene, men dersom vi antar gjennomsnittlig 10 prosent færre passasjerer per flygning enn beregnet (tilsvarer 84 passasjerer i 2030, sum innland og utland) vil kapasitetsgrensen innhentes anslagsvis 10 år tidligere. Tilsvarende vil en sterkere økning i antall passasjerer per flygning medføre en mer moderat vekst i antall flybevegelser og behovet for tredje rullebane vil melde seg på et senere tidspunkt. I 2005 var gjennomsnittlig antall passasjerer per flygning 81 (innland og utland).

Det er i prognosene ikke innarbeidet effekten av eventuell tilflytting av militær virksomhet og økt antall militære flygninger. Heller ikke økning på grunn av eventuell overført småflytrafikk er vurdert. Denne type trafikk vil imidlertid bidra til å belaste kapasiteten ved OSL ytterligere.

Referanser

- Ben-Akiva, M.E. og Lermann, R. (1985)
Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand. The MIT Press, The Massachusetts Institute of Technology. ISBN 0-262-02217-6.
- Bråthen, S., O.I. Larsen og J. Rekdal (2004)
Sivil lufthavndrift ved Rygge lufthavn. Møreforskning Molde. Rapport 0401.
- De Neufville, R. og A.R. Odoni (2003)
Airport Systems - Planning, design, and management. New York, McGraw-Hill, 2003. ISBN 0-07-138477-4.
- Denstadli, J.M. og F. Voldmo (2000)
Trafikkutviklingen på Stavanger lufthavn Sola 2000-2010. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 486/2000.
- Denstadli, J.M. og J.V. Haukeland (1999)
Videokonferanser - en ny møteplass for næringslivet? Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 426/1999.
- Fricke, H., N. Gronak og D. Fiedler (2006)
Assessing the potential need of a third runway at (OSL) Oslo Airport Gardermoen. Berlin, Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH. 13. mars 2006.
- Gjelsvik, I. (2002)
Grunnprognoser for utvikling i innenlands persontransport i Norge 2001-2020. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 582/2002.
- Hamre, T.N. (2002)
NTM5 - Den nasjonale persontransportmodellen - versjon 5. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 555/2002.
- Oslo lufthavn (2001)
Kapasitet 2-banekonseptet på OSL. Oslo lufthavn AS. Notat, 3. september 2001.
- Oslo lufthavn (2002)
Lufthavnplan 2001. Plan for langsiktig utvikling i perioden 2001-2030. Oslo lufthavn AS. Rapport, 4. desember 2002.
- Rekdal, J. (2006)
Evaluation of the Norwegian long distance transport model (NTM5). Møreforskning Molde. Kommende rapport under utgivelse, 2006.
- Thune-Larsen, H. (1991)
Flypassasjerprognoser for Oslo 1990-2025. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 0095/1991.
- Voldmo, F. m fl (1999)
Den nasjonale persontransportmodellen - Fase 4c. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI notat 1125/1999.

Vedlegg: Delrapport fra GfL

**”Assessing the potential need of a third runway at Oslo Airport
Gardermoen”**



Assessing the potential need of a third runway at (OSL)

Oslo Airport Gardermoen

here:

Capacity Assessment of the Current Runway System Final Report

Contractor: Norconsult AS
Torggt. 22
Postboks 433
NO-2303 Hamar, Norway

Editor: Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH
Prof. Dr. Hartmut Fricke
Dipl.-Ing. Norbert Gronak
Dipl.-Ing. Daniel Fiedler

Seeburger Str. 25
13581 Berlin
Tel. +49 (0)30 / 797 00 755
Fax +49 (0)30 / 797 00 756
www.gfl-consult.de
info@gfl-consult.de

Berlin,
March 13th 2006

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Fricke'.

(Signature)

Size:

This report covers 48 pages.

Document Name: OSL_3rdRWY_FinalReport_4.8_hf130306.doc



**Gesellschaft für
Luftverkehrsforschung mbH**

Seeburger Str. 25
13581 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 797 00 755

Fax.: +49 (0)30 / 797 00 756

URL: www.gfl-consult.de

Email: info@gfl-consult.de

Content

Content	5
Glossary.....	7
Executive Summary.....	9
1 Scope of Work.....	13
1.1 Work Breakdown Structure	13
1.2 Structure of this Report.....	13
2 Used Operational and Infrastructural Data.....	15
2.1 Airport Data.....	15
2.2 Operational Data.....	18
3 Capacity Assessment.....	23
3.1 Relevance for Capacity Determination to Airports	23
3.2 Capacity and Delay - Definitions.....	23
3.2.1 The Ultimate Capacity	23
3.2.2 The Practical Capacity	23
3.2.3 Comparing Ultimate and Practical Capacity.....	23
3.3 Formulation of Capacity through Statistical Queuing Modelling	24
3.3.1 Isolated Arrival or Departure Queues: The FIM Model.....	24
3.3.2 Mixed Operations: The SAM Model	25
3.4 Capacity of the Current OSL Runway System.....	26
3.4.1 Constraints	26
3.4.2 Determination of the Practical Capacity	26
3.4.2.1 Arrival Capacity	26
3.4.2.1.1 Operational Rules	26
3.4.2.1.2 Exit-Probability and runway occupancy time.....	27
3.4.2.1.3 Minimum Distances.....	29
3.4.2.1.4 Results	31
3.4.2.2 Departure Capacity	32
3.4.2.2.1 Separation for departing aircraft.....	32
3.4.2.2.2 Vertical Separation.....	33
3.4.2.2.3 Longitudinal separation	34
3.4.2.2.4 Use of departure routes	35
3.4.2.2.5 Results	36
3.4.3 Determination of the Ultimate Capacity.....	37
3.5 Optimization Potential	37
3.5.1 Factors influencing the runway capacity	37
3.5.2 Enhanced Taxiway System.....	38
3.5.3 Reduced Separation.....	39
3.5.4 Airspace Structure.....	40
4 Impact on Aircraft Noise	41
4.1 Methods of Aircraft Noise Calculation.....	41
4.2 Qualitative aircraft noise analysis	42
4.2.1 Introduction	42

4.2.2	Area of examination.....	42
4.2.3	Scenario 2005	42
4.2.3.1	Noise Calculation.....	42
4.2.3.2	Effects of increasing traffic at night.....	44
4.2.4	Forecast Scenario	44
4.2.4.1	Noise Calculation.....	44
4.2.4.2	Effects of noise concentration against noise distribution	44
Index and References.....		45
Abbreviations.....		45
Figures		46
Tables.....		47
References		48

Glossary

Runway in Use

The individual direction of using the runway both for departures and arrivals. At OSL this is either "01" or "19" referring to both runways (either 01L/R or 19L/R)

Airport Reference Point

Geographic reference point of the airfield as being published in the Aeronautical Information Publication (AIP) of Norway.

Traffic Scenario

Data set describing an expected yearly air traffic demand, expressed in passengers per year or air traffic movements per year.

Practical Capacity

Calculated figure for a system's permanent capacity (here the individual runway) including effects of saturation expressed as maximum allowed delay per aircraft. Used for long term (yearly) capacity expressions.

Ultimate Capacity

Calculated figure for a system's maximum capacity (here the individual runway) neglecting effects of saturation and as such expressing a temporarily reachable capacity.

Executive Summary

This study explores both the technical or ultimate and the operationally usable or practical capacity of the current runway system at Oslo/Gardemoen (OSL) Airport. It presents herein the data gathering process to perform this capacity assessment of the existing configuration, the applied computation methods, and the local specifics at OSL influencing the calculation.

The data collection was performed with the kind and pro-reactive support of AVINOR and OSL Airport Authorities. The geometric data used (airport facilities layout) refers to official publication as found in the AIP of Norway, latest release. The operational data entirely refers to the year 2004. It covers the total amount of flight operations handled both over the entire year and the 6 busiest months of that year. The latter is the standard input for noise and capacity analyses and was applied for associated noise calculations at OSL. The data enumerates into traffic structure, volume, daily and spatial repartition (over runways and routes). Further it includes the current Air Traffic Control procedures, technologies and constraints in use.

To summarize the capacity results gained for the OSL runway system it must be noticed that *“Runway 01R and 19R are preferential runways for landings and runway 01L and 19L are preferential runways for take-offs...”* [2]. The wording “preferential” is here taken as an always true condition, coming up to a pure landing and a departure runway for both north and south operational modes. Consequently, the capacity of the runway system is mathematically the sum of the calculated specific runway capacities.

This given, the capacity assessment models FIM and SAM (see chapter 3) did result in the following hourly capacities for OSL:

1. Practical capacity (for definition see chapter 3.2.2):

- a. Capacity per runway:

Runway	departures / h	arrivals / h
01L	27	40
01R	24	40
19L	30	39
19R	24	39

- b. Capacity of the runway system:

direction 01: 67 movements (Departure + Arrivals),
direction 19: 69 movements

2. Ultimate capacity (for definition see chapter 3.2.1):

a. Capacity per runway:

Runway	departures / h	arrivals / h
01L	32	45
01R	29	45
19L	35	45
19R	29	45

b. Capacity of the runway system:

direction 01: 77 movements (Departure + Arrivals),
direction 19: 80 movements

The airport itself states within the OSL Capacity Concept [6] 72 to 84 movements as the given practical capacity of the present runway system without considering any optimization potential. So, the capacity figures are slightly below the OSL data. The potential of 12 additional movements by allowing mixed operations (in contrast to the noise abatement procedure mentioned above) could not be verified. This measure will add 3 movements as a maximum.

The potential need of a third runway was also investigated from the aircraft noise point of view (see WP 3). Performed fast time simulations for the existing situation (2005) compared to both a forecast scenario 2005 with up to 10% increased night traffic and a forecast scenario 2030 with 1.75% traffic increase per year showed the following trends:

- The dimensions of the 45 dB (A) and 55 dB (A) noise contours will both increase significantly in the north/south directions (aligned with the runway system). The 55 dB (A) zone will grow up to 55% whereas the 45 dB (A) will increase by 22%, only.
- The scenarios 2005 plus additional traffic at night (between 5% and 10%) did show a very limited impact on the noise situation around OSL Airport (increase below 2%), only.

Altogether it came clear, that a 3rd runway will lead to a more “democratic” noise repartition compared to the runway status quo scenario, where the near surrounding of Gardemoen would have to take the noise burden of further traffic growth at Gardemoen alone.

Concerning any technical and operational optimization potential for the existing runway system, this study explored the following areas (see chapter 3.5):

- Airspace structure:

The current TMA is twofold into a WEST and EAST sector along the runway system. This induces extended separation requirements for departing aircraft of minimum 5 NM. A more centralized TMA design together with a free routing concept as investigated in the NORSIM Project will allow reducing the minimum separation down to 3 NM for all traffic in the TMA. It would further allow to better making use of the currently limited hand over APP capacity of 60 to 65 aircraft per hour. The runway capacity could come up to 10 to 15 more departures per hour and runway if this optimization is being realized.

- Enhanced Taxiway System:

The location of the exit taxiways shows potential for optimization for medium jet aircraft. This type of aircraft, which represents 85% of the total traffic, is able to use exits at 4.000 to 5.000ft away from the landing threshold, especially when they are fully compliant to ICAO high speed exit design criteria.

By converting the existing exits into high speed exits and/or by adding additional exits in the range mentioned above, the runway occupancy time (ROT) can be brought down to 50 seconds and below, a pre-requisite for reduced separation application.

- Reduced separation:

If the mean ROT lays below 50 sec (and the refresh rate of the terminal radar provides update rates below 5 sec, which is granted from AVINOR at present) the wake vortex separation can be reduced from 3 to 2,5 NM (currently in operation at e.g. Frankfurt/Main Airport).

The capacity gain reached through this measure lays around 7 arrivals per hour and runway.

- Traffic Mix:

The OSL traffic data as of 2004 [4] shows Light Traffic of about 4%. As the approach speed of light aircraft is significantly below those of medium and heavy aircraft, this figure is crucial for approach capacity. By omitting Light Traffic at OSL completely, arrival capacity can be enhanced by up to 6 arrivals per hour. Departure capacity is not influenced in that way, because speeds do not differ alike and the common segments, on which aircraft follow each other and on which separation has to be maintained, are already quite short at this time.

To conclude, the practical capacity of OSL existing runway system can be brought – the major technical and operational optimization potential considered¹ – up to the following:

Runway	departures / h	arrivals / h	movements / h
01L	43	47	46
01R	39	47	44
19L	39	46	43
19R	39	46	42

The different figures for both runway directions result from varying input parameters sensitive to the capacity such as the different length of the straight outbound segment for 01 and 19. To finally come the OSL's capacity of the runway system, the "movements/h" mentioned above must be summed either for direction 01 as 01L+01R or for 19 as 19L+19R.

¹ Potential resulting from fully eliminating LIGHT traffic is not being considered, since this is a rather political issue.

1 Scope of Work

1.1 Work Breakdown Structure

According to contractual project organization, GfL acts as subcontract to Norconsult within the project “Assessing the potential need of a third runway at Oslo Airport Gardermoen (OSL)”, the Work Breakdown Structure (WBS) of this report consists of 2 main Work Packages (WP), covering the following activities:

- WP 1. Assess the ultimate and practical capacity of OSL existing runway system
- WP 2. Discuss the noise impact of traffic growth onto OSL surrounding environment.

1.2 Structure of this Report

This report provides a complete summary of all work performed by GfL for this project. With regard to the WBS presented in chapter 1.1, this report strictly adheres to this structure to facilitate reading.

As such, the report delivers the final figures found for the specific capacities (practical and ultimate) of the runway system and discusses all relevant technical and operational aspects having potential for enhancing the found capacities (WP1).

It further provides findings about the noise impact onto different traffic growth scenarios developed by Norconsult for the existing runway system (WP2).

2 Used Operational and Infrastructural Data

2.1 Airport Data

This analysis focuses on Norway's Airport Oslo/Gardemoen, OSL, with the following formal characteristics:

- ICAO Reference Code: ENGM.
- Two parallel runway system, oriented north/south (016°/196°).

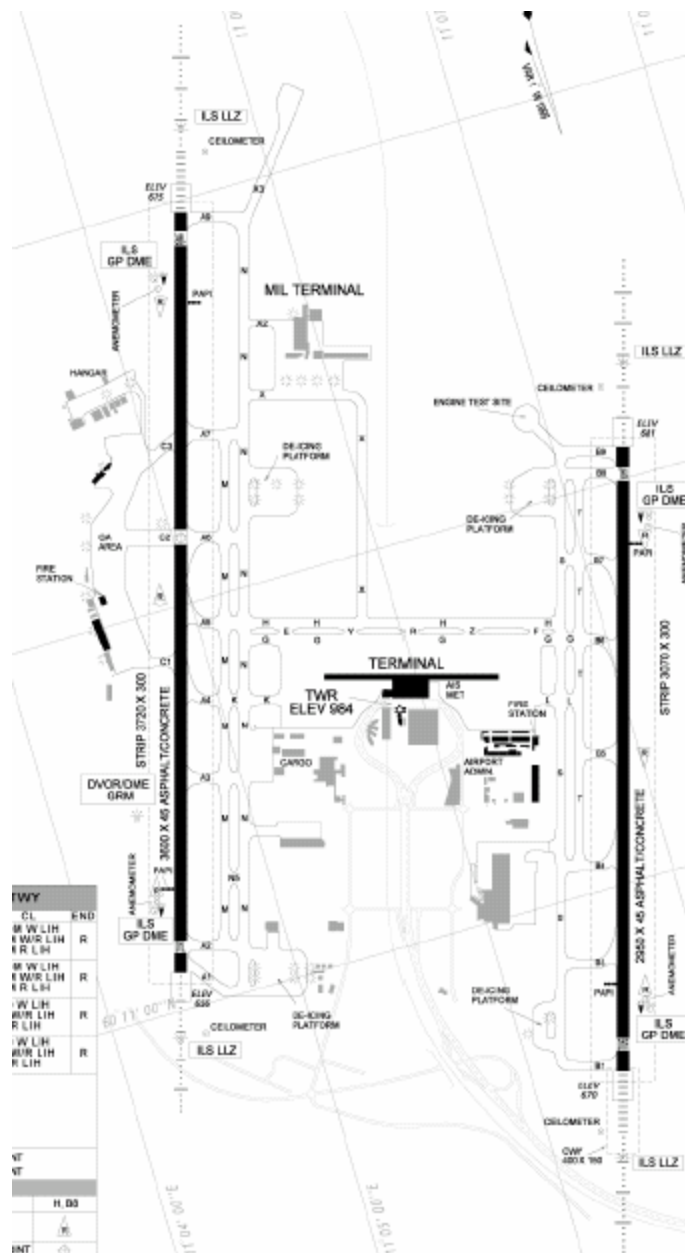


Figure 1 General layout of the Airport Oslo/Gardemoen, OSL [2]

- Runway Identifier: 01R/19L and 01L/19R, dimensions are as follows:

RWY	BRG (GEO)	THRESHOLD		BEARING STRENGTH	DECLARED DISTANCES			
					TORA	ASDA	TODA	LDA
01R	016.04	601032.72 N	0110628.01 E	PCN 75/F/A/W/T	2950	2950	2950	2950
19L	196.06	601204.35 N	0110720.95 E	PCN 75/F/A/W/T	2950	2950	3350	2950
01L	016.01	601106.00 N	0110425.48 E	PCN 75/F/A/W/T	3600	3600	3600	3600
19R	196.03	601257.84 N	0110529.99 E	PCN 75/F/A/W/T	3600	3600	3600	3600

Figure 2 Dimensions of the runways [2]

- Taxiways / Exits from/to the runways²:

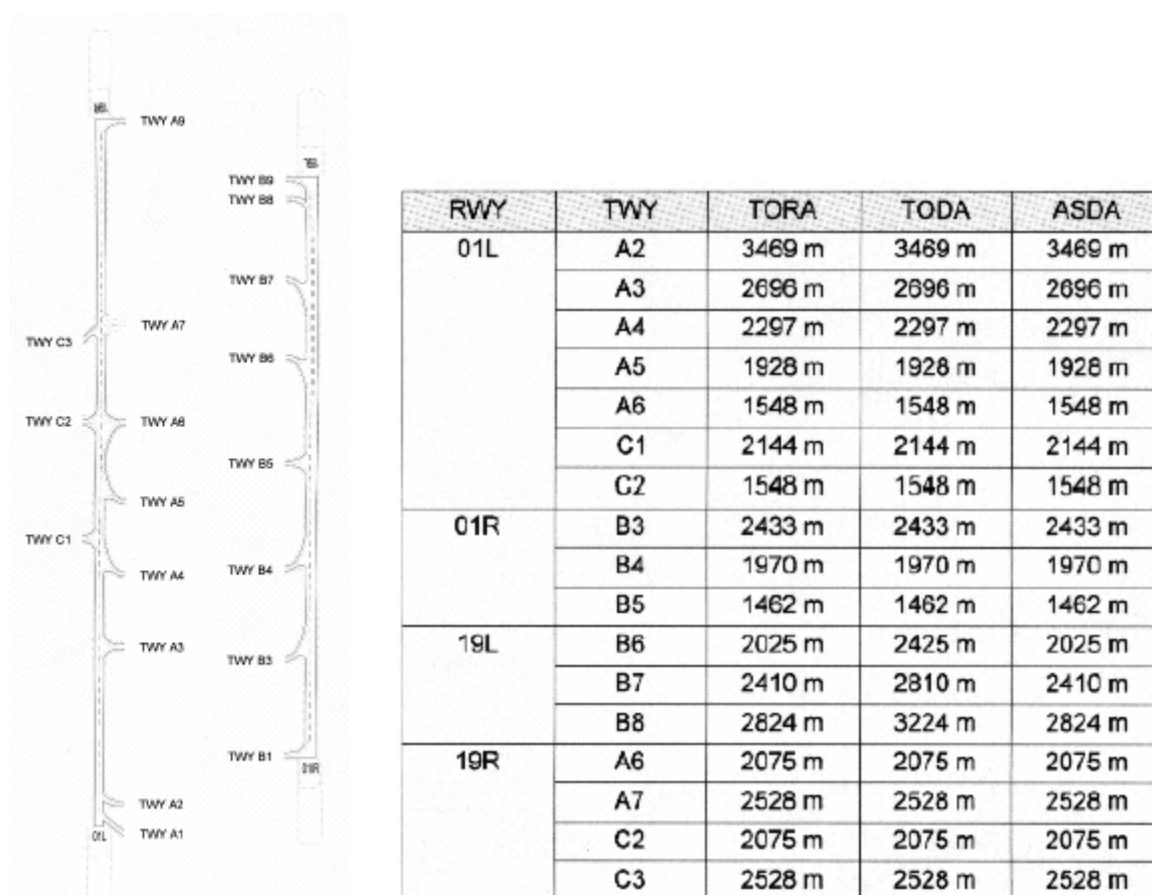


Figure 3 Runway exits and available Take-off Distances [2]

² The here applied exact distances of the exits are calculated from CAD-files, see Table 5.

Airport Data

- Approach Procedures:
 - o 01R: Instrument Landing System (ILS) Precision Approach
 - o 19L: ILS Precision Approach
 - o 01L: ILS Precision Approach and VOR/DME Approach
 - o 19R: ILS Precision Approach and VOR/DME Approach
- Departure Routes:

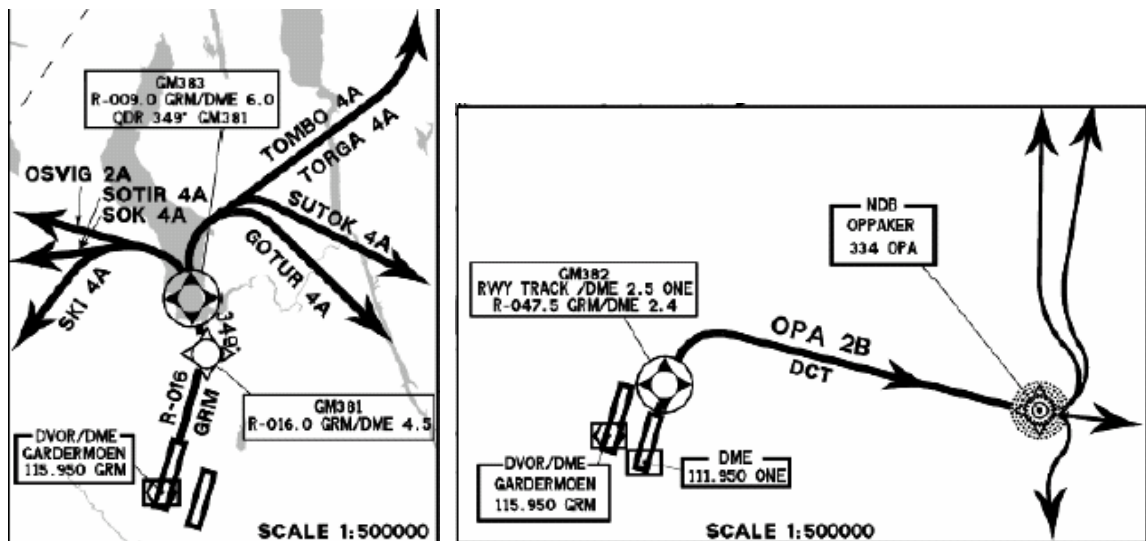


Figure 4 Departure routes (runway 01L, 01R) [2]

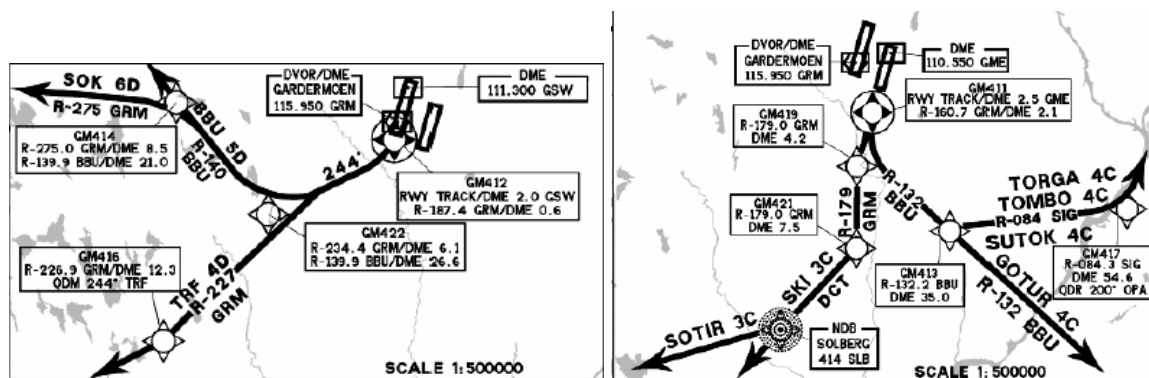


Figure 5 Departure routes (runway 19R, 19L) [2]

- [illegible]

2.2 Operational Data

As a result, 72 movements have been put through during the peak hour in 2004 at OSL. In the same hour 42 departures were recorded. The peak hour for arrivals did show 35 arrivals.

Operational Data

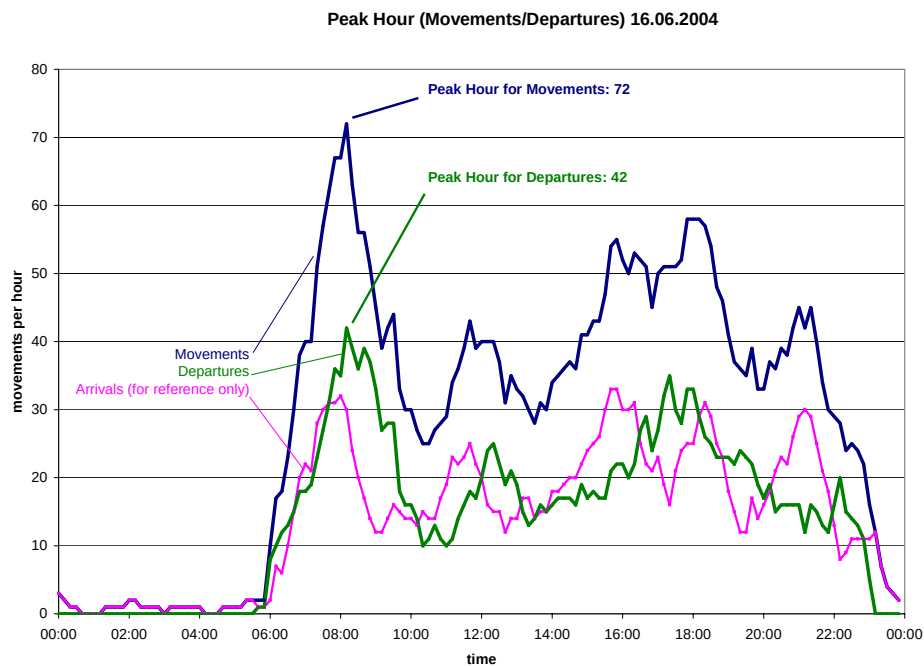


Figure 7 Peak Hour 2004 (concerning Movements and Departures) from [3]

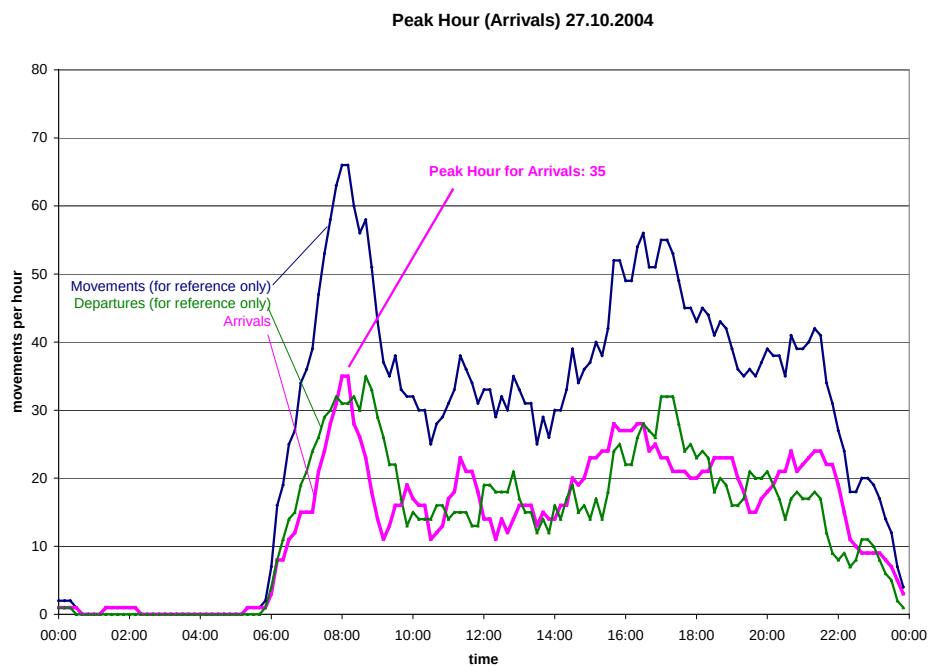


Figure 8 Peak Hour 2004 (concerning Arrivals) from [3]

- Elaboration of representative modes of operation of the runway system (relative distribution of arrival and landings on each runway)

runway	departures	arrivals
01L	51%	4%
01R	1%	47%
19L	36%	7%
19R	11 %	43 %

Table 1 Distribution of departures and arrivals in 2004 (six busiest months) [4]

The distribution presented in Table 1 reflects the general concept of using the runway system. According to the noise abatement procedures described in the AIP ENGM AD 2.21 [2]

“Runway 01R and 19R are preferential runways for landings and runway 01L and 19L are preferential runways for take-offs...” The wording “preferential” is here taken as an always true condition, coming up to a pure landing and a departure runway for both north and south operational modes.

- Distinction between day and night traffic, considering the daily period from 06:00 AM until 24:00 PM as relevant for this study, here being used to determine the traffic structure.
- Depiction of the quoting for the individual Standard Instrument Departure (SID) routes used for departures with regard to the runway (direction) used, so 19 / 01.
- Depiction of the aircraft type quoting operating at the airport. This quote of individual aircraft types is being used to derive the so called ATC Traffic Mix at the airport. The ATC Traffic Mix distinguishes according to ICAO regulations between
 - o LIGHT Traffic (aircraft up with to 7 to Maximum Take Off Mass (MTOW))

The traffic data provided [4] shows Light Traffic of about 4% (about 3.850 movements in the six busiest months of 2004).

- o MEDIUM PROP Traffic (Prop aircraft with more than 7 to and up to 136 to MTOW)
- o MEDIUM JET Traffic (Jet aircraft with more than 7 to and up to 136 to MTOW)
- o HEAVY Traffic (Jet aircraft with more than 136 to MTOW)

Operational Data

Traffic-Mix	Heavy (H)	Medium Jet (MJ)	Medium Prop (MP)	Light
2004	2,562 %	84,643 %	8,763 %	4,032 %

Table 2 ATC Traffic-Mix in 2004 (May until October) from [4]

An analysis of the traffic peak hours represented in Figure 7 and Figure 8 showed a similar distribution to that one of average demand.

3 Capacity Assessment

3.1 Relevance for Capacity Determination to Airports

Plans for the development of the different components of an airport, specifically the runway system depend to a large extent upon the current or forecasted activity levels. Since the purpose of the airport is to process aircraft, passengers, freight, and ground transport devices in an efficient and safe manner (whereas Safe means compliance to international regulations and recommendations), its effectiveness is commonly measured in terms of its ability to cope with the current respectively future demand. The future demand being determined within WP1, this chapter looks at the capacity side.

3.2 Capacity and Delay - Definitions

3.2.1 The Ultimate Capacity

The term capacity reflects the processing capability of a service facility (here mainly the runway system, the apron and the terminal) over a given period of time, most commonly expressed over a year, the 6 busiest months of a year, a day or an hour. However, for a service facility to realize its maximum or *ultimate capacity* there must be a continuous demand for service. In aviation, it is virtually impossible to have a continuous demand throughout the operating period (in Oslo mainly from 06:00 AM until 24:00 PM). Even if a continuous demand were artificially created by causing a baglog at adjacent service units (e.g. the ATC approach sector for arrivals or the apron for departures), the delays in these units would result in such deterioration in service quality as to judge the situation unacceptable.

The continuous demand of service means that there always aircraft ready to take off or land. This definition has been referred to in several ways, namely as the *ultimate capacity* or *saturation capacity* or *maximum throughput rate*.

Obviously the *ultimate capacity* does not include delay and reflects the capability of the airfield to accommodate aircraft during peak periods of operations.

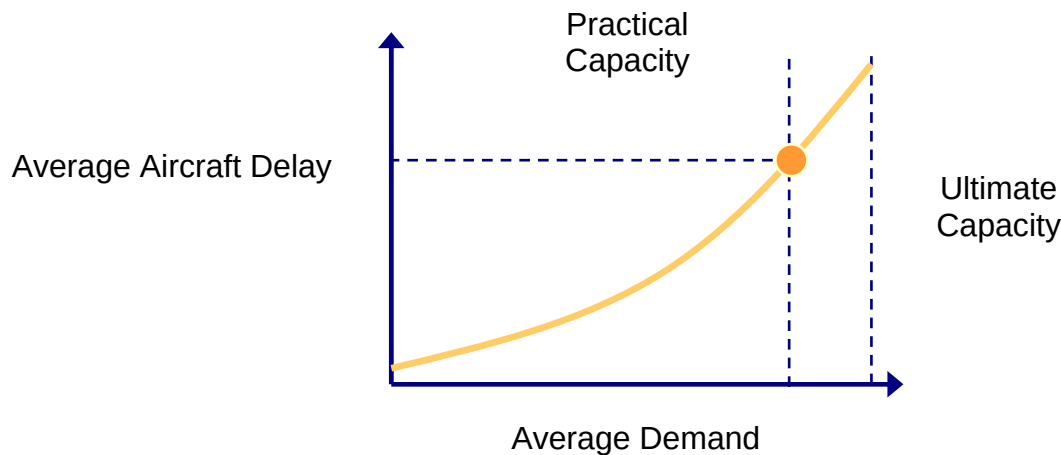
3.2.2 The Practical Capacity

Therefore, the airport planning process shall also consider sufficient capacity to accommodate fluctuating demand with an acceptable level of quality or service, typically expressed as punctuality or reversely as maximum acceptable delay. As such, it shall be granted that a relatively high percentage of the demand will be subjected to some minimal amount of delay. This capacity will be referred to as *practical capacity*. Typically, this acceptable limit of delay ranges around **4 min** on average over all operations.

3.2.3 Comparing Ultimate and Practical Capacity

Experience has shown that the ultimate capacity figures are slightly larger than those including delay in terms of practical capacity, but the difference are not large, typically below 10% of aircraft movements.

The following graph depicts the relationship of average aircraft delay and possible throughput, identifying the ultimate and practical capacity:



3.3 Formulation of Capacity through Statistical Queuing Modelling

To estimate the runway capacities both ultimate and practical, commonly mathematical models are being used referring to (steady-state) queuing theory. Essentially there are two main models, one for runways serving either arrivals or departures (single way of operation), based on the first come **F**irst served discipline of today's Air Navigation Service Provider policy and therefore called FIM. The demand process for arrivals and departures here is characterised as a Poisson distribution with a specified mean arrival or departure service time and its standard deviation.

3.3.1 Isolated Arrival or Departure Queues: The FIM Model

The demand process for arrivals and departures in the FIM is characterised as a Poisson distribution with a specified mean arrival or departure service time and its standard deviation.

The functional relationship between delay and capacity for arrivals may be expressed as follows:

$$W_a = \frac{\lambda_a \cdot (\delta a^2 + \mu a^2)}{2 \cdot (1 - (\lambda_a \cdot \mu a))}$$

with:

W_a : Mean delay to arriving aircraft

λ_a : Mean arrival rate of aircraft (Landings/h)

μ_a : Mean service Time for arrivals

σ_a : Standard Deviation of Mean service Time of arriving aircraft

The Mean service Time may be the runway occupancy time (ROT) of the time separation in the air at threshold, whichever value is larger.

The model for departures is identical to that for arrivals accept for a change in subscripts. The following equation is therefore used for the departure capacity / delay relationship:

$$W_d = \frac{\lambda_d \cdot (\sigma_d^2 + \mu_d^2)}{2 \cdot (1 - (\lambda_d \cdot \mu_d))}$$

with:

- W_d : Mean delay to departing aircraft
- λ_d : Mean departure rate of aircraft (departures/h)
- μ_d : Mean service Time for departures
- σ_d : Standard Deviation of Mean service Time of departing aircraft.

3.3.2 Mixed Operations: The SAM Model

For mixed operations, when a runway is used for both takeoff and landings, a pre-emptive **Spaced Arrival Model** is being used. In this model, arrivals have priority over departures for use of the runway. The takeoff demand process is modelled as following a Poisson distribution whereas the landing process reflects a non Poisson, airborne queuing system output.

As such the functional relationship between delay and capacity for arrivals is identical to the one presented in chapter 3.3.1. However, the delay – capacity relationship for departures:

$$W_d = \frac{\lambda_d(\sigma_j^2 + j^2)}{2(1 - \lambda_d j)} + \frac{g(\sigma_f^2 + f^2)}{2(1 - \lambda_d f)}$$

- W_d : Mean delay to departing aircraft
- λ_a : Mean arrival rate of aircraft (Landings/h)
- λ_d : Mean departure rate of aircraft (departures/h)
- j : Mean interval of time between two successive departures
- σ_j : Standard Deviation of mean interval of time between two successive departures
- g : Mean rate at which gaps between two successive departures occur.
- F : Mean interval of time within which no departure can be released.
- σ_f : Standard Deviation of interval of time in which no departure may be released.

During busy periods the second term in above equation is expected to be zero if it is assumed that aircraft are in queue at the end of the runway and are always ready to go when ATC permission is granted.

3.4 Capacity of the Current OSL Runway System

3.4.1 Constraints

The hourly capacity of the OSL runway system is the maximum number of aircraft operations that can take place in an hour, either for a pre-set average delay (practical capacity) or regardless the delay (ultimate capacity). Both figures are being calculated including the following conditions:

- Ceiling and visibility conditions
- Physical configuration of the runway system
- Air Traffic Control (ATC) Separation Rules
- Runway use strategy (mode of operation)
- Mix of aircraft using the runway system ("ATC Traffic Mix")
- Ratio of arrivals to departures (basically set to balanced conditions)
- Number and location of exits from the runway system
- Number of touch-and-go operations (mainly by general aviation, so not considerable)

3.4.2 Determination of the Practical Capacity

3.4.2.1 Arrival Capacity

3.4.2.1.1 Operational Rules

The arrival capacity of a runway is limited by two main criteria. These are the runway occupancy time (over flight of the threshold to leaving the runway) which is influenced substantially by the system of runway exits available and the specified minimum separation between two aircraft.

The criteria to be used are based on the modes of operations of AVINOR.

- Landing permission may be given to an arrival only if the leading aircraft has left the runway.
- Application of radar separation (in the context of this report radar minimum separation of 3 NM is examined). This wake turbulence separation in principle is taken into account, this leads to increased separation values of up to 6 NM.

For the calculation method the aforementioned separation criteria are converted to interval times. This way the comparability is given with the runway occupancy times.

In the context of the capacity calculation the greater of the two times (mean service time for arrivals versus ROT) is authoritative and is consulted in the FIM for calculation of the arrival capacity.

In the calculation model, delays may and most certainly will appear anytime during flight. These delays are caused by the appearance of queues at a certain movement density (number of flight movements per time unit). As internationally acceptable value a delay of 4 minutes is set.

3.4.2.1.2 Exit-Probability and runway occupancy time

By means of statistical identification values exit-probabilities and runway occupancy times are determined for the aircraft categories listed in Table 2. In Table 3 and Table 4 the values are presented in dependence of the distance of the exit of the respective arrival threshold as well as the type and the meteorological state of the taxiways. To increase the precision, interpolation between the values is performed linearly.

distance threshold to exit (ft)	wet runway				dry runway							
					Regular Exit				High-Speed Exit			
	Heavy	Med Jet	Med Prop	Light	Heavy	Med. Jet	Med Prop	Light	Heavy	Med. Jet	Med Prop	Light
1000	0	0	0	4	0	0	0	6	0	0	0	13
2000	0	0	0	60	0	0	1	84	0	0	1	90
3000	0	0	10	96	0	0	39	100	0	0	40	100
4000	0	1	80	100	0	8	98	100	3	26	98	100
5000	0	12	100	100	9	49	100	100	55	76	100	100
6000	10	48	100	100	71	92	100	100	95	98	100	100
7000	64	88	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100
8000	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Table 3 Exit probabilities (in %) [1]

Where the exit-probability reaches 100% for a given distance, the runway occupancy time does not change any more for larger distances since all aircraft have virtually left the runway up to this distance.

distance threshold to exit (ft)	wet runway				dry runway							
	Heavy	Med Jet	Med Prop	Light	Regular Exit				High-Speed Exit			
					Heavy	Med. Jet	Med Prop	Light	Heavy	Med. Jet	Med Prop	Light
1000	--	--	--	24	--	--	27	24	--	--	24	27
2000	--	--	27	34	--	--	27	34	--	--	24	35
3000	--	30	37	44	--	29	37	44	35	35	32	43
4000	--	38	47	55	38	38	46	55	35	35	41	>43
5000	47	47	56	65	47	47	56	65	44	44	49	>43
6000	56	56	65	76	56	56	65	76	54	54	>49	>43
7000	65	65	99	99	65	65	75	>76	63	63	>49	>43
8000	73	73	>99	>99	73	73	>75	>76	>63	>63	>49	>43
9000	82	82	>99	>99	82	82	>75	>76	>63	>63	>49	>43
10000	>82	>82	>99	>99	85	85	>75	>76	>63	>63	>49	>43
11000	>82	>82	>99	>99	90	90	>75	>76	>63	>63	>49	>43

Table 4 Runway occupancy times (in seconds) ³ [1]

The distances from arrival threshold to the beginning of the respective exit are as follows⁴. All exits are classified as regular exit according to information from OSL [10].

RWY 01L		RWY 01R		RWY 19L		RWY 19R	
Exit	distance (ft)	exit	distance (ft)	exit	Distance (ft)	exit	distance (ft)
A3 (r)	2.710	B4 (r)	3.114	B6 (r)	2.933	A7 (r)	3.130
A4 (r)	4.177	B5 (r)	4.626	B5 (r)	4.462	C3 (r)	3.318
C1 (r)	4.577	B6 (r)	5.738	B4 (r)	5.554	A6=C2 (r)	4.747
A5 (r)	5.384	B7 (r)	6.998	B3 (r)	7.073	A5 (r)	5.417
A6 (r)	5.804	B8 (r)	9.022	B1 (r)	9.347	A4=C1 (r)	6.627
C2 (r)	6.548	B9 (r)	9.347			A3 (r)	8.510
A7=C3 (r)	8.074					A2 (r)	11.132
A9 (r)	11.480					A1 (r)	11.467

(hs=high speed Exit, r = regular Exit.)

Table 5 Distances from exit to respective arrival threshold [8]

Based on these data, the distribution of the aircraft using the exits available is determined, e.g. for large aircraft, the probability for that aircraft to use an exit close to the arrival threshold is less than for small and light aircraft. The use of regular and high speed exits is split up for the dry runway case (see Table 5 and Table 6). For the wet runway case, the type of exit empirically does not matter.

³ Runway occupancy times are given for aircraft categories even if exit-probability is 100% according to Table 3. Taken into account is that the next possible exit is not available in this distance so extended taxiing has to be carried out.

⁴ "High speed exit" distances are taken from the AIP [2], regular exit distances are calculated from CAD-files of OSL [8]. Nevertheless all exits are specified as regular [10].

The weighted mean ROT⁵ is calculated by applying the traffic mix to the individual ROTs of each category and taking into account the weather conditions.

The exits C1, C2 and C3 heading westwards off the runway 01L/19R to the general aviation terminal are assumed to be used by light aircraft exclusively⁶.

Meteorological data were submitted by AVINOR for the years 1999 up to 2005 [5]. These data show a mean ratio of 9,26% wet conditions. To the purpose described above, all time periods when 'precipitation' was indicated, were set to "wet conditions". A more detailed analysis showed a maximum ratio of 14,2% wet periods was recorded in 1999 whereas the minimum of 6,75% was recorded in 2002.

Runway	ROT (wet)	ROT (dry)	Weighted mean ROT
01L	66,15 seconds	55,99 seconds	56,93 seconds
01R	63,46 seconds	54,64 seconds	55,46 seconds
19L	63,92 seconds	55,16 seconds	55,97 seconds
19R	64,04 seconds	54,81 seconds	55,66 seconds

Table 6 Runway Occupancy Time

It can be stated that these values match exactly with the respective data from OSL [9].

3.4.2.1.3 Minimum Distances

As mentioned in chapter 3.4.2.1.1, the radar separation minima have to be converted to interval times between two arrivals. The consideration of separation minima is based on the avoidance of risks which are caused by wake vortices of aircraft. The appearing vortices are dependent on size and weight of the aircraft. Safety in final approach is ensured by adequate separation minima which are ruled and applied by AVINOR. Separation values for the typical separation of 3 NM are presented exemplarily in Table 7.

⁵ The position of the exits in Table 5 is the beginning of the curved segment. An aircraft has to taxi for another 3 seconds to leave the runway entirely (3.1 seconds at a taxi-speed of 25 kts correspond to a distance of 40m). Therefore The ROTs presented in Table 6 have been corrected by 3 seconds.

⁶ As a simplification, no light aircraft is assumed to use the exits heading to the main terminal.

σ [NM]		1. aircraft			
		H	MJ	MP	L
2. air- craft	H	4	3	3	3
	MJ	5	3	3	3
	MP	5	3	3	3
	L	6	5	5	3

H := aircraft category Heavy

MJ := aircraft category Medium Jet

MP := aircraft category Medium Prop

L := aircraft category Light

Table 7 Separation minima according to aircraft wake vortex category [11]

Due to the different flight performances the individual aircraft categories are based on different approach speeds. In contrast, according to information by OSL [7], all aircraft categories were characterized with the same approach speed data.

Due to the equal speeds given for all aircraft categories a constant arrival flow is assumed. Therefore a higher capacity arises from the calculations. A mean arrival speed of 150 kts for medium prop traffic gives one arrival less per hour. For the following calculations the speeds provided were used, completed with an assumption of 100 kts as mean arrival speed for light traffic.

Approach speed (kts)	8 NM to threshold	6 NM to threshold	4 NM to threshold	2 NM to threshold	Mean (kts)
Heavy (H)	180	170	160	130	160
Med Jet (MJ)	180	170	160	130	160
Med Prop (MP)	180	170	160	130	160
Light (L)	115	105	95	85	100

Table 8 Approach speeds for different aircraft categories [7]

Finally the lengths of the common final approach segments are of importance. For OSL the following values are given [2]:

Approach direction	length (NM)
Runway 01L	10,7
Runway 01R	9,2
Runway 19L	12,4
Runway 19R	12,4

Table 9 Length of the common final approach segment [2]

3.4.2.1.4 Results

Due to different speeds of the aircraft on the final approach segment (see Table 8), its length being displayed in Table 9 for the individual approach direction, the interval time A_i arise from the arrival sequence. The distinctions are necessary since a following faster aircraft would constantly get closer to the leading one and a following slower aircraft would cause an unnecessary distance since it falls behind.

$$A_i = \frac{\sigma}{v_2} \quad \text{for } v_2 \geq v_1$$

$$A_i = \frac{\sigma}{v_2} + \gamma \cdot \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \quad \text{for } v_2 < v_1$$

A_i	: interval time
v_1	: speed of the leading aircraft
v_2	: speed of the following aircraft
γ	: length of the common segment of the glide path
σ	: minimum separation

The probabilities (P_{ij}) of any arrival sequence are determined from the traffic mix based on the interval times⁷:

$$P_{ij} = TM_i \cdot TM_j \quad \text{with } i = \text{heavy...light}; j = \text{heavy...light}$$

To get the weighted interval time, the individual interval times are multiplied by the respective probability of the arrival sequence.

$$A = \sum_{i=H}^L \sum_{j=H}^L A_{ij} \cdot P_{ij} \quad \text{with } i = \text{heavy...light}; j = \text{heavy...light}$$

Finally, the ROT is compared to the weighted interval time. The greater of both values is used as μ_a to calculate the average arrival delay W_a (see chapter 3.3.1).

By iteration the arrival rate is increased until the delay to arriving aircraft W_a exceeds the maximum pre-set delay rate (here 4 minutes). The highest integer number at which the delay criterion is just being violated is the resulting number of arrivals which can be dealt with by the runway system without taking into account the influence of departures.

⁷ The proportional shares of the corresponding aircraft category are TM_i and TM_j .

Runway	service time	arrivals / h
01L	78,64 seconds	40
01R	77,85 seconds	40
19L	79,53 seconds	39
19R	79,53 seconds	39

Table 10 Isolated Arrival Capacity without influence of departures

3.4.2.2 Departure Capacity

3.4.2.2.1 Separation for departing aircraft

The mean weighted interval time between two departing aircraft is decisive for the departure capacity. The radar separation minima between departures have to be adhered to in principle. To derive the time separation, which is necessary for the calculation model, a conversion has to be applied in analogy to chapter 3.4.2.1. This is being modelled though the application of “vertical” and/or “longitudinal” separation. It shall made clear at this point, that these wordings nonetheless take operationally radar separation into consideration.

According to these guidelines an aircraft may only begin with its take-off run if the aircraft departed before is over flying the end of the runway and initiated a turn.

In case the two aircraft following each other intend to use the same departure route, this criterion is not sufficient, since in the further course of the departure route a violation of the separation minimum must be taken into consideration.

Therefore the interval time of two departing aircraft also depends on the use of the SIDs available.

Moreover, different lift-off speeds of aircraft are crucial to capacity. Due to the departing sequence the closing case mentioned above can arise. It can lead to increased departure time intervals since the minimum separation has to be adhered all along the extended departure route.

According to experience gained in various projects the following departure speeds are considered in the calculations⁸.

Departure speed (kt)	speed 0 - 2,5 NM (v_2+10 kt) (from threshold)	speed 2,5 - 5 NM (increased) (from threshold)
Heavy	140	180
Medium (Jet/Prop)	130	170
Light	100	140

Table 11 Departure speeds

⁸ These speeds were accepted by AVINOR and OSL (meeting of 19/01/06)

To determine the interval times, the parts of the departure routes are set on which the defined separation is to be maintained.

The following table shows the distance of the threshold to the respective point of the departure routes where the routes are splitting off.

Runway	Distance threshold to split off point [NM]
01L	5,3
01R	13,8
19L	1,6
19R	3,8

Table 12 Distance to split off point

In case two aircraft use different departure routes, longitudinal separation must be maintained on the common segment of the routes.

In case two aircraft use the same departure route, then longitudinal separation must be maintained until vertical separation is possible. As a reference point for the realization of vertical separation reaching the Transition Altitude is assumed (TA = 7,000 ft). This height is reached at an average distance of approx. 7 NM from the departure end of runway.

In the following two chapters the use of vertical and longitudinal separation is described in principle.

As the OSL TMA is split into two sectors (WEST and EAST), extended radar separation of 5 NM has to be applied to all aircraft using the same sector (even after splitting off to two SIDs within the same sector).

3.4.2.2.2 Vertical Separation

In the following the calculation method to determine the required interval time for departures considering vertical separation is explained. According to the explanations given above, this method has always to be applied if the segment of the departure route used by two aircraft succeeding each other is longer than 7 NM. At present, these facts are given for direction 01R. For direction 19R all SIDs are within the WEST sector, so up to 7 NM, an extended radar separation of 5 NM has to be maintained as well.

The times necessary for the aircraft to travel along the segments - dependant of the individual category - are represented in fig. 3 for the extended radar separation of 5 NM.

In the most favourable case (opening case, leading aircraft is faster, represented by ATC category heavy) the interval time is 114 seconds since appearance of the closing effect (of the slower category medium) is impossible. In the unfavourable case (light following heavy aircraft), the necessary interval time is 155 seconds (206 – 51, see Figure 10). Due to the traffic mix, which shows 93,41 % ATC category medium (see Table 2), the interval time for runway 01R and 19R is calculated to 122,5 seconds.

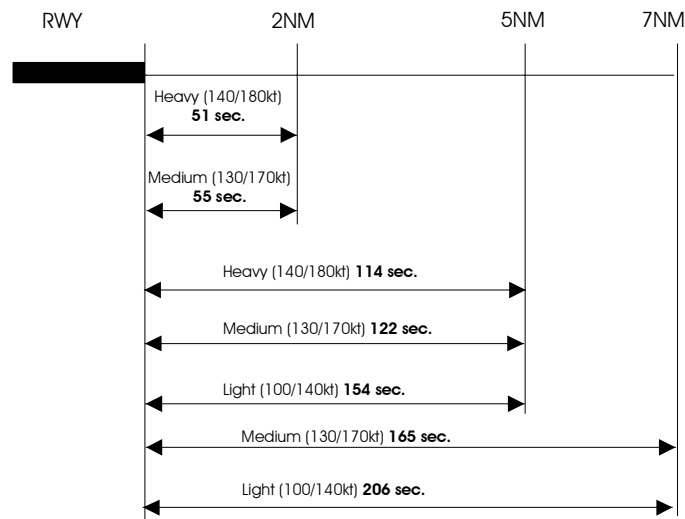


Figure 9 Use of vertical separation after 7NM (5 NM extended radar minimum separation)

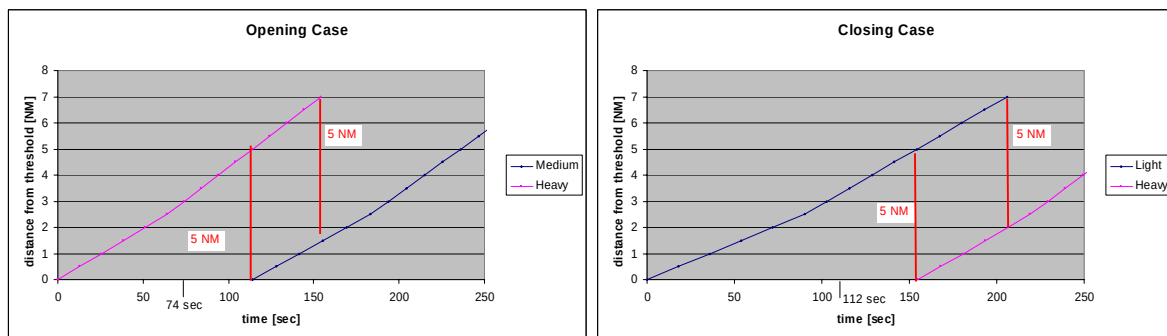


Figure 10 Separation of departures Opening and Closing case

3.4.2.2.3 Longitudinal separation

For the other runways longitudinal separation has to be maintained.

Longitudinal separation can be used if two aircraft succeeding one another use different departure routes. Radar minimum separation must be maintained until the leading aircraft has passed the separating point.

Due to the airspace structure an extended minimum radar separation of 5 NM has to be maintained until the SIDs separate to different TMA sectors.

For direction 19L the split off point is approx. 1.6 NM away from the departure end of runway.

Theoretically an interval time arises which corresponds to 1.6 NM of flight time. Since this procedure leads to unrealistically short departure interval times (the routes are splitting off in a smooth curve, so separation must be maintained regarding the slant range of aircraft) it is assumed that the common departure segment on which longitudinal separation must be maintained corresponds to the radar minimum separation of 3 NM.

The following figure shows the times needed for the 3NM segment.

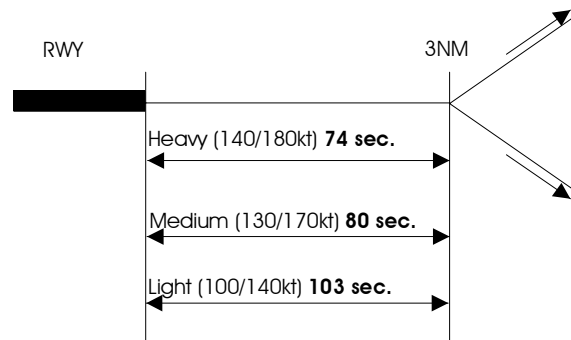


Figure 11 Use of longitudinal separation (3 NM radar minimum separation, separating point 3NM out)

An interval time of 80, 60 seconds is calculated based on the given traffic mix.

For direction 01L a non published additionally SID for light and medium prop aircraft which turns left at approx. 1 NM away from the departure end of runway was included in the calculations. All light and medium prop traffic is supposed to use this route.

The split off point for the published SIDs is approx. 5.3 NM away from the departure end of runway.

3.4.2.2.4 Use of departure routes

If different departure speeds and different time intervals are assumed, the respective probability has to be calculated.

Considering the traffic distribution onto the individual departure route [4], this leads to the following quotas for two successive departures using the same or a different departure route:

Runway	Using the same departure route (W1)	Using different departure routes (W2)
01L	52%	48%
01R	100%	0%
19L	50%	50%
19R	77%	23%

Table 13 Probabilities of using the same or different departure routes

3.4.2.2.5 Results

Using the probabilities in accordance with Table 13 the mean weighted interval time between two departures (S2) is being determined as follows

$$S2 = W1 * \text{mean weighted interval time (vertical separation)} + \\ W2 * \text{mean weighted interval time (longitudinal separation)}$$

The following interval times are determined:

Runway	Interval time [min:sec]
01L	1:50
01R	2:02
19L	1:41
19R	2:02

Table 14 Interval times for departures

As applied in the case of arrivals (see chapter 3.4.2.1.4), the time showed in Table 14 is used in the formula given in chapter 3.3.1 as μ_d to calculate the departure delay.

Again, the departure rate is increased until the delay exceeds the pre-set criterion (4 min.). This rate represents the possible number of departures which can be dealt with by the runway system without taking into account the influence of arrivals.

Runway	departures / h
01L	27
01R	24
19L	30
19R	24

Table 15 Isolated Departure Capacity without influence of arrivals

3.4.3 Determination of the Ultimate Capacity

As stated above, the ultimate capacity does not contain any delay constraint. Based on large experience gained with computer simulation programs developed for that purpose and by constraining the above mentioned parameters which might affect the runway capacity, the ultimate capacity is being calculated as follows:

As stated in chapter 3.2.2, the acceptable delay for calculating the practical capacity is set to 4 min. To derive the ultimate capacity from that figure, the acceptable delay has to be extended to large figures (> 20 min). It comes to:

Runway	arrivals / h	departures / h
01L	45	32
01R	45	29
19L	45	35
19R	45	29

Table 16 Ultimate arrival and departure capacity

The difference between practical and ultimate capacity is about 10%.

3.5 Optimization Potential

3.5.1 Factors influencing the runway capacity

In order to figure out any potential to increase the capacity found here, the main factors influencing the capacity of the airfield are being summarised hereafter. They comprise

- The configuration, number, spacing and orientation of the runway system;
- The size and mix of aircraft using the facilities (referred to as ATC Traffic Mix)
- The configuration, number and location of taxiways and runway exits;
- The arrangement, size, and number of gates in the apron area;
- The runway occupancy time for arriving and departing aircraft;
- Weather, particularly ceiling and visibility, since ATC procedures do differ in good weather compared to Low visibility conditions. At OSL, especially snow, rain and strong winds do often impact the operations;
- Noise Abatement Procedures which may limit the type, amount and timing of operations on available runways or departure / arrival routes;
- Within the wind and noise abatement constraints, the modes of operations of the runway system being chosen from the ATC Controllers.
- Operational restrictions related to topography in the vicinity of the airport.

- The frequency of touch and go operations of general aviation
- The existence and frequency of wake vortices which require greater separations when aircraft of reducing size are following each other on the (final) approach or (initial) departure track;
- The existence and nature (quality / availability / integrity) of existing navigational aids
- The structure of the surrounding airspace constraining the placing of arrival and departures routes
- The nature of the ATC facilities (equipment, Tower location...).

In the following chapters, the specifically relevant at and promising factors for OSL are being discussed.

3.5.2 Enhanced Taxiway System

Location of Exits

The location of exit taxiways depends heavily on the ATC traffic mix (see above), and thus on applied approach and touchdown speeds, and the deceleration which in turn may depend on the runway condition (dry, wet, icy, covered with snow).

As the ATC Traffic Mix is not expected to alter significantly over the forecast period, optimization potential may directly be derived from the status quo situation at OSL.

During the runway capacity assessment presented previously (chapter 3.4), specific data on exit utilization were used, that was collected on various large airports mainly in the US. These data, as shown, present the cumulative percentage of each class of aircraft which have exited the runway at various distances from the arrival threshold. When applying this data for means of optimization, the following options do result:

The location of the exit taxiways seems to be optimized for heavy aircraft. Medium Jet aircraft, which represent 85% of the total traffic in OSL, do have the possibility to use exits from 4000 to 5000ft especially when they are designed as high speed exits.

So an additional exit at 4.100 ft distance from the arrival threshold is suggested for the main arrival runways.

Geometry of Exit Taxiway

The function of exit taxiways or runway turnoffs is to minimize runway occupancy time of the runway, a crucial factor to runway capacity as presented earlier (chapter 3.4). The major findings of exits have been standardized by ICAO (see Annex 14). According to this, exit taxiways can generally be placed at right angles to the runway or at some differing angle to it. When the angle is on the order of 30°, the term *high speed exit* is often used. The optimum angle is hereby a function of aircraft speed (and thus again linked to the aircraft size to a certain extent) and the coefficient of friction f of the pavement, typically in the order of 0.13). To design the curve of an exit best fitting to the aircraft operating on that airfield, it must be noticed that:

- Especially at high speeds, a compound curve is necessary to minimize tire wear on the nose gear, and so the main or central curve Radius R_2 should be preceded by a much larger radius curve R_1 . The correlation is shown in the following figure:

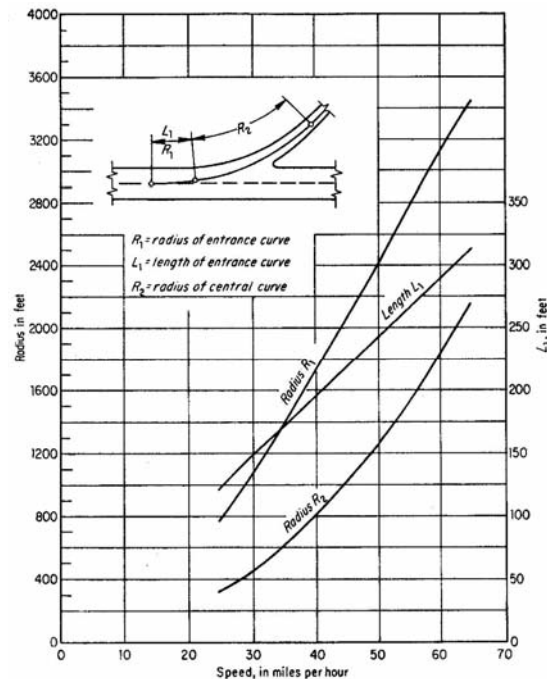


Figure 9-14 Radii of curvature and entrance curves for taxiways.

Figure 12 Radii of curvature and entrances for taxiways

- The optimum radius is given by $R_2 = V^2 [kts] / 15 f$

By converting the existing (between 4.000 and 6.000 ft distance from the arrival threshold) exits and the suggested additional exit to high speed exits, the runway occupancy time (ROT) can be reduced by 5 to 6 seconds to ROTs of 50 seconds and below.

3.5.3 Reduced Separation

The most significant factor which affects runway capacity is the spacing between aircraft. The spacing is depending upon the appropriate air traffic rules, which at OSL refer to standard ICAO regulations and thus ask for spacing between 3 NM up to 6 NM, depending upon the size of the two separated aircraft.

As such, reduced spacing (getting below 3 NM) covers potential for capacity. Spacing can be reduced down to 2.5 NM under the following conditions:

- The mean runway occupancy time lays below 50 sec
- The refresh rate of the terminal radar provides update rates below 5 sec.

These two technical requirements are being placed in order to guarantee for both sufficient situation awareness of ATC controllers in case aircraft do deviate from the intended flight path and sufficient timing and spacing on the runway itself even under enhanced arrival and departure frequencies.

As granted from AVINOR, the radar equipment at OSL is up to date and ready to meet the above technical requirement.

Obviously reduced separation is directly linked to chapter 3.5.2: The ROT is currently not at this level; it rather lays around 56 sec, as chapter 3.4.2.1.2 points out. Through the adoption

of the existing exits with associated taxiways, the ROT can be brought down to the required figure (see chapter 3.5.2).

The capacity gain reached through this measure lays at 7 arrivals per hour and runway.

3.5.4 Airspace Structure

OSL Airport is embedded in a Terminal Manoeuvring Area (TMA) to handle safely departing, arriving and crossing traffic as presented in chapter 2.1. The TMA (APP) is actually split into the sectors WEST and EAST for both modes of operation 01 and 19. The boundary passes in between the runway system and thus following approximately a south-north direction:

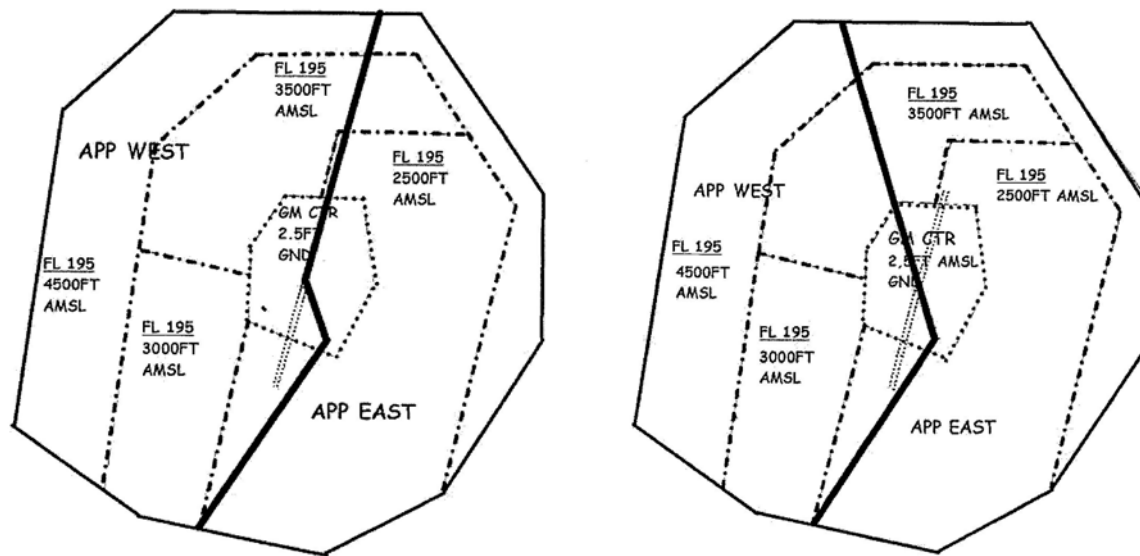


Figure 13 TMA Sectors at OSL: Oslo APP East and APP West (Runway 19 and 01)

4 Impact on Aircraft Noise

Growing demand will naturally induce growing environmental burdens, too. The following chapter analyses the current and forecast noise emissions at OSL.

The analyses performed have been supported by computer simulation models.

4.1 Methods of Aircraft Noise Calculation

An aircraft noise calculation procedure consists of calculation standards as well as on remarkable database application. The calculation standards take into account the modelling of the aircraft as an acoustic source as well as the physical principles of sound propagation. Operational and acoustic data are stored in the database. Type and content of the database are determined and defined by the calculation rules.

The methods of aircraft noise calculation allow producing maps showing contours of equal day-night average sound level (DNL). This metric is typically expressed as L_{AE} (Sound Exposure Level, SEL), L_{DN} or L_{EQ} (Energy Average Sound Level, L_{EKV} in Norwegian).

The Norwegian aircraft noise calculation model, NORTIM, bases on the recommendations from ECAC [20], and thereby also on SAE recommendations [21] [22]. It is therefore comparable to FAA's Integrated Noise Model [23].

NORTIM is a segmented model. Here noise data of overflights for all relevant aircraft types at OSL and for defined engine performances (NPD Noise - Power - Distance tables) are being used. The flight path is split into segments. Through this decrease of engine power after takeoff and in curved segments of the flight path can be modelled reliably.

GfL's software computer model is also based on the recommendations of ECAC [20] but adopted to national regulations.

Besides aircraft noise and performance data the aircraft operational data are necessary for the aircraft noise calculation as follows:

- Physical description of the airport runways, including any displaced takeoff and landing threshold,
- runway utilization percentages,
- number of aircraft operations according to aircraft type,
- day-night split of operations according to aircraft type,
- descriptions of flight corridor and
- flight corridor utilization percentages.

The qualitative aircraft noise analysis of following chapter 4.2 is restricted to the limits of $L_{EQ} = L_{EKV} = 45$ as well as 55 dB (A) which are obligatory to Norway [24].

4.2 Qualitative aircraft noise analysis

4.2.1 Introduction

Besides capacity aspects also aircraft noise may hinder any extension of the airport system. In this chapter all aspects related to noise which are included in the forecast traffic scenario are evaluated on a qualitative basis. The following aspects are examined:

- Effects of increasing traffic at night,
- effects of noise concentration against noise distribution.

Qualitative aircraft noise calculations were carried out. With the size of the noise protected areas (here 45 and 55 dB (A)) the consequences of the forecast scenario (increase of flight movements) as well as the influence of the traffic distribution were analysed.

4.2.2 Area of examination

For the aircraft noise calculations a square area of examination (30 x 30 NM) centred on the aerodrome reference point (ARP, airport Reference point, see chapter 2.1) is defined.

Further input data are route structure of Oslo Gardermoen airport as well as flight movements in the relevant time period (see chapter 2.1).

4.2.3 Scenario 2005

4.2.3.1 Noise Calculation

For this scenario 2005 qualitative aircraft noise calculations are carried out for approx. 100.000 movements for the busiest 6 months of a year. According to [4], the following traffic distribution was found out:

	Day 6:00 am to 18:00 pm	Evening 18:00 pm to 22:00 pm	Night 22:00 pm to 06:00 am
Scenario 2005	68 %	25 %	7 %

Table 17 Traffic distribution for the 6 busiest months 2005

All follow-up assumptions are based on this traffic distribution as well as reference time period mentioned above.

GfL's software computer model relies strictly to the German Law and as such differs slightly from the Integrated Noise Model (INM) alike calculation methods to be formally applied in Norway⁹.

⁹ There is not only a distinction made between noise emissions during day and night time but additionally also during the evening (see [25]). The noise is calculated as L_{DEN} .

Altogether the day level L_{day} , the evening level L_{evening} and the night level L_{night} are combined in L_{DEN} .

The noise calculations for 2005 show an area of about 250 km² for the so-called *outer zone* ($45 \text{ dB(A)} < L_{\text{DEN}} < 55 \text{ dB(A)}$) as well as an extension of about 80 km² for the so-called *inner zone* (the $L_{\text{DEN}} > 55 \text{ dB(A)}$).

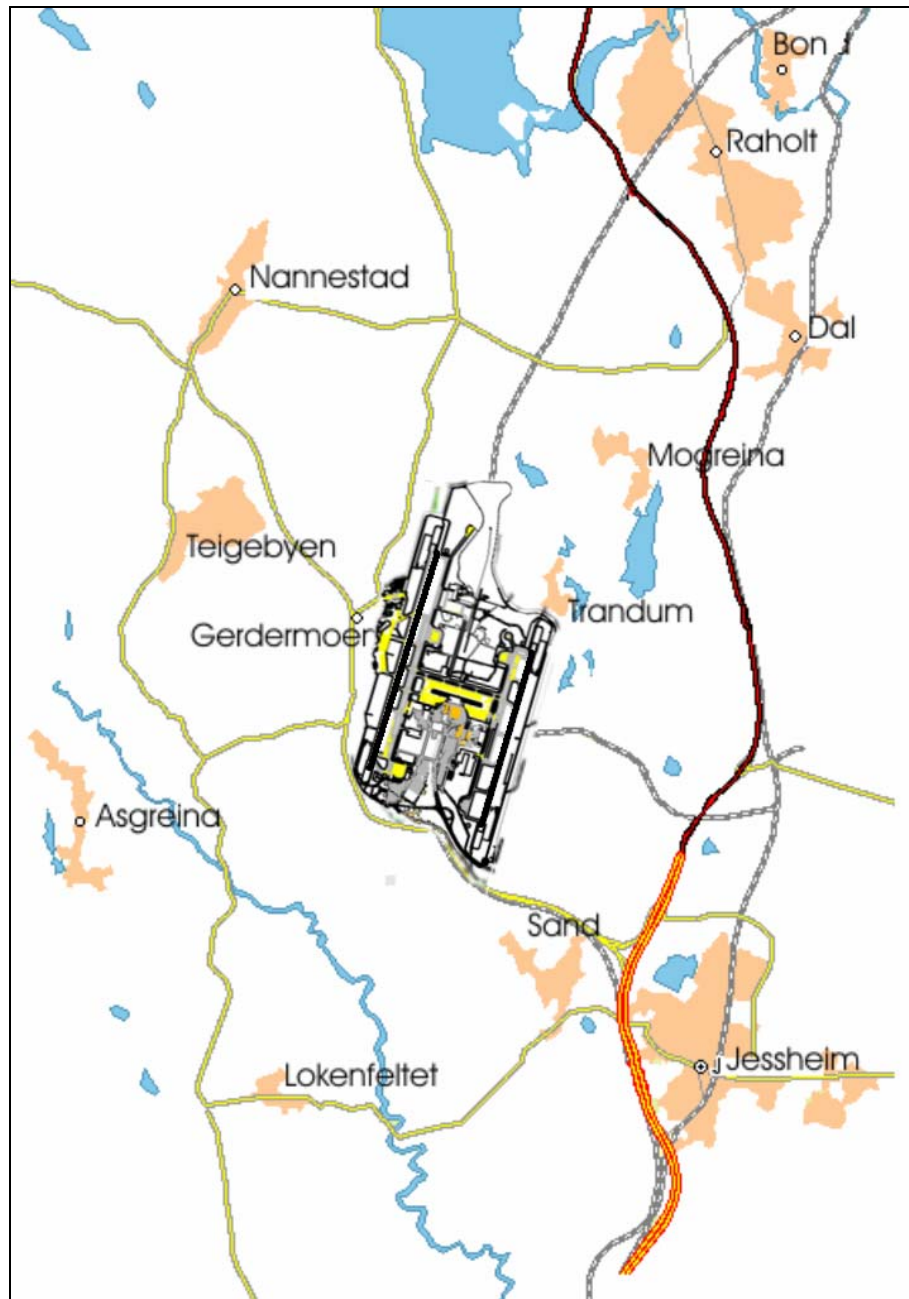


Figure 14 Villages surrounding Oslo-Gardermoen Airport

Figure 14 shows the villages surrounding Oslo-Gardermoen Airport. For scenario 2005 the results of noise calculation show a coverage of the villages of Lokenfeltet and Raholt by the outer zone ($> 45 \text{ dB(A)}$) however Trandum, Mogreina, Sand and Gardermoen are situated in the inner zone ($> 55 \text{ dB(A)}$).

4.2.3.2 Effects of increasing traffic at night

Assumed increase of night traffic leads naturally to an extension of noise contours. In particular one will conclude that:

1. "Scenario 2005 + 5% night traffic", an extension of the outer and inner zone is below 1% (consequently to be seen as static) whereas for the
2. "Scenario 2005 + 10% night traffic, the extensions raise up to 2% for the inner zone and keep at 1% for the outer zone (effects of noise concentration).

4.2.4 Forecast Scenario

4.2.4.1 Noise Calculation

For the forecast scenario 2030, the following assumptions were made:

- Traffic increase of 1.75 % per annum on average
- unchanged traffic mix (compared to scenario 2005)
- unchanged traffic distribution on SIDs and STARs.

The noise calculation shows the following results:

- An extension of the outer zone to approx. **22 %** and
- an extension of the inner zone to approx. **55 %**.

Therefore the scenario 2030 clearly identifies – as certainly expected – a noise concentration for high sound levels (55 dB (A)) around Gardemoen.

4.2.4.2 Effects of noise concentration against noise distribution

The results in chapter 4.2.4.1 point out that with no additional runway further traffic increase clearly penetrates the surrounding of Gardemoen Airport.

If a third runway is realized at Oslo airport, this effect will substantially be avoided. Especially the option "Alternativ 4 /1525" [24] seems to provide potential for a reduced growing of the high level noise contours, assuming the traffic growth mentioned above within the next years. Hence, this option would of course induce a growing of the lower sound level contours thus probably catching villages such as Raholt and Dal north of the airport as well as Jessheim south of the airport.

Altogether it could be demonstrated, that a 3rd runway would lead to a more democratic noise repartition compared to the runway status quo scenario, where the near surrounding of Gardemoen would have to bear the noise burden of further traffic growth only.

Index and References

Abbreviations

AIP	Aeronautical Information Publication
ARP	Airport Reference Point
ARL	ICAO Reference Code for Arlanda
ATC	air traffic control
DER	Departure End of Runway
ENGM	ICAO Reference Code for Oslo Gardermoen
FIM	First come, first served model
ft	feet
h	hour
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILS	Instrument Landing System
LHR	ICAO Reference Code for London Heathrow
MSL	Mean Sea Level
MTOW	Maximum Take Off Weight
MUC	ICAO Reference Code for Munich
NM	Nautical Mile (equals 1.852 km)
kts	Knots (NM per hour)
OSL	Oslo Airport Gardermoen
ROT	Runway Occupancy Time
SAM	Pre-emptive space arrival model
SID	Standard Instrument Departure Route
STAR	Standard Arrival Route
TMA	terminal control area
VOR/DME	VHF omnidirectional radio range / distance measuring equipment
WBS	Work Breakdown Structure
WP	Work Package

Figures

Figure 1	General layout of the Airport Oslo/Gardermoen, OSL [2]	15
Figure 2	Dimensions of the runways [2]	16
Figure 3	Runway exits and available Take-off Distances [2]	16
Figure 4	Departure routes (runway 01L, 01R) [2]	17
Figure 5	Departure routes (runway 19R, 19L) [2]	17
Figure 6	Airspace structure [2]	18
Figure 7	Peak Hour 2004 (concerning Movements and Departures) from [3]	19
Figure 8	Peak Hour 2004 (concerning Arrivals) from [3]	19
Figure 9	Use of vertical separation after 7NM (5 NM extended radar minimum separation)	34
Figure 10	Separation of departures Opening and Closing case.....	34
Figure 11	Use of longitudinal separation (3 NM radar minimum separation, separating point 3NM out)	35
Figure 12	Radii of curvature and entrances for taxiways.....	39
Figure 13	TMA Sectors at OSL: Oslo APP East and APP West (Runway 19 and 01)	40
Figure 14	Villages surrounding Oslo-Gardermoen Airport.....	43

Tables

Table 1	Distribution of departures and arrivals in 2004 (six busiest months) [4].....	20
Table 2	ATC Traffic-Mix in 2004 (May until October) from [4].....	21
Table 3	Exit probabilities (in %) [1].....	27
Table 4	Runway occupancy times (in seconds) [1].....	28
Table 5	Distances from exit to respective arrival threshold [8].....	28
Table 6	Runway Occupancy Time	29
Table 7	Separation minima according to aircraft wake vortex category [11].....	30
Table 8	Approach speeds for different aircraft categories [7]	30
Table 9	Length of the common final approach segment [2]	30
Table 10	Isolated Arrival Capacity without influence of departures	32
Table 11	Departure speeds.....	32
Table 12	Distance to split off point	33
Table 13	Probabilities of using the same or different departure routes.....	36
Table 14	Interval times for departures	36
Table 15	Isolated Departure Capacity without influence of arrivals	36
Table 16	Ultimate arrival and departure capacity.....	37
Table 17	Traffic distribution for the 6 busiest months 2005	42

References

- [1] Swedish, William J., *Upgraded FAA Airfield Capacity Model*, FAA-Report-No.: FAA-EM-81-1, Volume I, Washington 1981
- [2] AVINOR, AIP Norway, AMDT 07/05 - 29 SEP 2005
- [3] Oslo Gardermoen Airport, Flight Movements June – October 2004 „Flugbewegungen_Juni_OKtober2005_fv011205.xls“, 30/11/2005
- [4] Oslo Gardermoen Airport, Traffic Data Environment 2004, „Traffic_Data_Environment_OSL_6VRMonate_2004_te161205.xls“, 16/12/2005
- [5] Oslo Gardermoen Airport, Meteo Data 1999 - 2005 “Meteo_Data_1999_2005_te260106.xls”, 26/01/2006
- [6] Oslo Gardermoen Airport, OSL Capacity Concept, Chapter "Runway Capacity of OSL's 2 parallel runways", 2005
- [7] Oslo Gardermoen Airport, email from Mr. Kjell Arne Sakshaug, 29/11/2005
- [8] Oslo Gardermoen Airport, CAD-Files
- [9] Oslo Gardermoen Airport, “Gemittelte_ROTs_Apr_Okt05_fv301105.xls“, 30/11/2005
- [10] Statement given from Airport Authorities Representative Mr. Kjell Arne Sakshaug, K.O. Meeting Dec. 2005, Oslo
- [11] ICAO Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (PANS-ATM), Doc 4444, 14th Edition, 2001
- [20] ECAC, CEAC Doc 29, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports Doc 29, 2nd Edition 3/7/97
- [21] SAE AIR 1751: Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise During Takeoff and Landing Warrendale, Pennsylvania, March 1981
- [22] SAE AIR 1845: Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the vicinity of Airports Warrendale, Pennsylvania, March 1986
- [23] J. Guilding et al.: Integrated Noise Model (INM) Version 6.0 User's Guide Federal Aviation Administration, Report No.: FAA-AEE-99-03. Washington DC, September 1999
- [24] Oslo Airport, “Miljøstatus og. vurdering 3. rullebane” , December 2002
- [25] Recommendation of the commission of August 6th, 2003 over guidelines for the changed temporary calculation methods for industry, flight-, traffic and railway noise and issue data regarding this (2003/613/EC), Brussels 2003