

BA

**stichting  
mathematisch  
centrum**



---

AFDELING MATHEMATISCHE BESLIJKUNDE

BW 6/71

JANUARI

J.H. VAN FRANKENHUYSEN en A.W. SCHURINGA  
WACHTTIJDEN BIJ LIFTTRANSPORT IN EEN HOOG KANTOORGEBOUW  
Een simulatiestudie voor spitsuursituaties

BA

---

**2e boerhaavestraat 49 amsterdam**

BIBLIOTHEEK MATHEMATISCH CENTRUM  
AMSTERDAM

Printed at the Mathematical Centre, 49, 2e Boerhaavestraat, Amsterdam.

The Mathematical Centre, founded the 11-th of February 1946, is a non-profit institution aiming at the promotion of pure mathematics and its applications. It is sponsored by the Netherlands Government through the Netherlands Organization for the Advancement of Pure Research (Z.W.O), by the Municipality of Amsterdam, by the University of Amsterdam, by the Free University at Amsterdam, and by industries.

INHOUD

blz.

1. Samenvatting	2
2. Taakverdeling binnen de werkgroep	2
3. Basisgegevens	4
3.1. Aankomstverdelingen	4
3.2. Vertrekverdelingen	5
3.3. Het Schindler Supermatic besturingssysteem	6
3.3.1. Inleiding	6
3.3.2. Besturingsdiscipline voor de oppiek	7
3.3.3. Besturingsdiscipline voor de neerpiek	8
3.4. Definitie van wachttijd, transporttijd en totale tijd	9
4. Simulatie van de oppiek	10
4.1. Keuze van de besturingsdiscipline	10
4.2. Het computerprogramma voor de oppiek	11
4.2.1. Beschrijving	11
4.2.2. Invoer van gegevens	14
4.2.3. Uitvoer van resultaten	15
4.3. Opmerkingen over de zonegrens	16
4.4. Opmerkingen over de goederenlift	16
5. Simulatie van de neerpiek	18
5.1. Het computerprogramma voor de neerpiek	18
5.1.1. Inleiding	18
5.1.2. Beschrijving	19
5.1.3. Invoer van gegevens	21
5.1.4. Uitvoer van resultaten	22
5.2. Goederenlift en zesde lift	22
6. Voorlopige resultaten en conclusies van de oppiek-simulatie	24
7. Betrouwbaarheid van de resultaten van de oppiek-simulatie	27
8. Voorlopige resultaten van de neerpieksimulatie	29
8.1. Inleiding	29
8.2. Keuze van de parameters	30
8.3. Vergelijking van de resultaten	32

## 1. Samenvatting.

In dit rapport wordt een onderzoek beschreven naar de toereikendheid van het liftensysteem dat gepland was voor de Rijkskantoorflat, te bouwen te Utrecht voor diensten van de Cultuurtechnische Dienst, Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer.

Het onderzoek werd verricht door een werkgroep, opgericht op initiatief van de rekenafdeling van de Cultuurtechnische Dienst uit medewerkers van het Bouwcentrum, het Mathematisch Centrum en de Bouwcommissie van de Cultuurtechnische Dienst.

Doel van het onderzoek was na te gaan of het genoemde liftensysteem aan redelijkerwijs te stellen eisen zou kunnen voldoen. Dit kan beoordeeld worden aan de hand van de wachttijd welke door niet meer dan 5% van de personen wordt overschreden. De berekening van de wachttijd en de transporttijd geschiedde door de bewegingen van de liften na te spelen op de EL-X8 rekenautomaat van het Mathematisch Centrum, met behulp van een simulatie-model, dat zich beperkte tot de pieksituaties in opgaande en neerwaartse richting.

Uit de resultaten blijkt dat in ieder geval werktijdenspreiding zal moeten worden toegepast om de wachttijd binnen aanvaardbare grenzen te houden. Doordat een breed gamma van kansverdelingen voor aankomst- resp. vertrektijdstippen werd doorgerekend, geeft dit rapport een goede eerste indruk van de gevolgen van de wijze waarop de werktijden worden vastgesteld.

De bestaande programma's kunnen voorts goede diensten bewijzen bij de evaluatie van de uiteindelijke keuze van de werktijden, de capaciteit van de cantine, e.d.

## 2. Taakverdeling binnen de werkgroep.

Omdat voor de bestudeerde gecompliceerde wachttijdsituatie geen formules bestaan zijn door het Mathematisch Centrum, voor oppiek en neerpiek afzonderlijk, simulatie-modellen opgesteld aan de hand waarvan computer-programma's zijn vervaardigd. Deze modellen sluiten aan bij de technische beschrijving van het Supermatic besturings-systeem van Schindler.

De door de Bouwcommissie verstrekte gegevens werden door de importeur van de liften nader mondeling en schriftelijk toegelicht. Teneinde het onderzoek op een objectieve wijze te kunnen verrichten zijn door het Bouwcentrum in vergelijkbare gebouwen metingen verricht aan tijden welke bij de lift-beweging optreden. Gegevens omtrent de bezetting van het gebouw en de bouwtechnische mogelijkheden werden door de Bouwcommissie verzorgd. De coördinatie van de werkzaamheden berustte bij de Cultuurtechnische Dienst.

### 3. Basisgegevens

#### 3.1. Aankomstverdelingen

De wachttijden welke bij een gegeven liftensysteem optreden hangen in belangrijke mate af van de wijze waarop de personen aankomen tijdens de piekuren.

Naast de vorm van de kansverdeling van het aankomsttijdstip speelt het aantal personen dat moet worden vervoerd een rol. In dit rapport is het aantal te verwerken aankomsten - behoudens een enkele uitzondering - steeds gesteld op 737, dat is 75% van de geplande bezetting van het gebouw. Dit houdt in dat, in verband met ziekte, verlof, dienstreizen, e.d. steeds 25% van de bezetting van het gebouw afwezig is verondersteld.

De kansverdeling van het tijdstip van aankomst kan zeer uiteenlopende gedaantes aannemen, als gevolg van het al dan niet toepassen van werktijdenspreiding, het verschil tussen de ochtendpiek en de lunchpiek, de discipline en de mate van toezicht op het tijdig aanwezig zijn, de invloed van de verkeerssituatie rond het gebouw op verschillende uren van de dag, etc. Een aantal van bovengenoemde factoren, zoals werktijdenspreiding en de mate van toezicht, kan gebruikt worden om tot redelijke wachttijden te geraken. Voordat daartoe wordt overgegaan is het echter gewenst te weten welke aankomstverdelingen tot aanvaardbare wachttijden leiden en welke beslist niet. Teneinde hierin meer inzicht te verkrijgen is de simulatie van de oppiek uitgevoerd voor tien verschillende aankomstverdelingen (zie bijlage 1A).

Een van de aankomstverdelingen is gebaseerd op in 1969 door het Bouwcentrum verrichte metingen bij een kantoorgebouw, waar geen werktijdenspreiding werd toegepast. (zie verdeling 3 uit bijlage 1A).

De verdelingen voor situaties met werktijdenspreiding zijn - wegens het ontbreken van een betere methode - opgebouwd uit aankomstverdelingen per shift, waarbij per shift steeds hetzelfde aankomst-

patroon werd gebruikt. (De percentages van het totale aantal aankomsten zijn per shift enigszins verschillend tengevolge van kleine verschillen in aantallen personen per shift).

Het precieze tijdstip van de aanvang en het einde van de werkzaamheden is in dit rapport nergens aangegeven daar dit tijdstip geen enkele invloed heeft op de wachttijd of op de overige tijden: Als alle personen een half uur eerder aankomen, dan verschuift het gehele gesimuleerde proces een half uur naar voren.

In dit rapport wordt de lunchpiek niet afzonderlijk behandeld. Hiervoor waren ook nog niet voldoende gegevens omtrent de kantine bekend. Onder de gesimuleerde situaties zijn evenwel gevallen opgenomen welke als realistische weergave van de situatie in de lunchpauze kunnen worden beschouwd.

### 3.2. Vertrekverdelingen

Het aantal in het gebouw aanwezige personen is weer gesteld op 75% van de geplande bezetting. Aangenomen wordt, dat in het opgaand piekverkeer alle personen gebruik maken van de lift, maar dat in de neerpiek bij de aanvang van de lunch en aan het eind van de werkdag een gedeelte van het personeel op de lagere etages via de trap naar de begane grond gaat.

Om een indruk te krijgen van het aantal trappenlopers zijn in het Transitorium te Den Haag metingen verricht. Aan de hand daarvan is voor dit rapport een ruwe schatting gemaakt van de vermindering van passagiersaanbod ten gevolge van trappenlopen (bijlage 4). Het aantal te transporteren personen in de neerpiek bedraagt daardoor 599.

Om een inzicht te krijgen in de vorm en vooral de spreiding van de vertrekverdeling, zijn, eveneens in het Transitorium te Den Haag, op een aantal verdiepingen metingen verricht. De vorm van de verdeling is natuurlijk afhankelijk van de aard van het werk van het personeel, van de manier waarop van hogerhand het vertrektijdstip

wordt gecontroleerd e.d. Daardoor zullen per verdieping in het nieuwe gebouw verschillen optreden welke onmogelijk vooraf berekend kunnen worden. In dit rapport zijn de vertrekverdelingen daarom beperkt tot de klasse van normale verdelingen (bijlage 1b). De vier waargenomen frequentieverdelingen sluiten daarbij redelijk goed aan (bijlage 1b). Het neerpiekprogramma is zo ingericht dat per verdieping de verwachting en spreiding van de normale verdeling, volgens welke het vertrektijdstip verdeeld is, kunnen worden ingelezen. Daardoor kan het effect van werktijdenspreiding ook in de neerpiek onderzocht worden.

### 3.3. Het Schindler Supermatic besturingssysteem.

#### 3.3.1. Inleiding.

Het Schindler Supermatic besturingssysteem is een systeem voor groepsbesturing voor 2 tot 6 liften, dat speciale besturingsdisciplines kent voor

- a) opwaarts piekverkeer
- b) neerwaarts piekverkeer
- c) verkeer tussen etages onderling
- d) nachtverkeer

In eerste instantie reageert het besturingssysteem automatisch op grote veranderingen in het passagiersaanbod met het overschakelen naar een beter passende discipline. Dit automatisme kan worden uitgeschakeld door op het bedieningstableau met de hand een discipline in te stellen. Het systeem werkt dan tot nader order volgens die discipline.

In dit rapport worden alleen de besturingsdisciplines a) en b) besproken.

Bij de bespreking van de simulaties wordt op de keuze van de besturingsdiscipline nog nader ingegaan (zie par. 4.1). In bijlage 2 worden de bij de Supermatic optredende tijden voor de liftbewegingen besproken.



### 3.3.2. Besturingsdiscipline voor de opplek.

Kenmerkend voor deze discipline zijn de volgende eigenschappen:

- 1) Een lift kan niet zonder meer op iedere etage stoppen. Het gebouw wordt nl. verdeeld in twee zones: een lage en een hoge zone, welke (behalve de begane grond) slechts één etage gemeen hebben. Deze gemeenschappelijke etage heet de zonegrens. Een lift is òf aan de lage òf aan de hoge zone toegewezen.

#### Lage zone:

Een lift welke aan de lage zone is toegewezen kan alleen op de etages 0 tot en met de zonegrens stoppen. Tijdens de oprit van de lift kan worden ingestapt op de begane grond en voorts door personen die, vanaf een etage uit de lage zone, de lift hebben opgeroepen voor een rit omhoog.

Een passagier die in de lage zone instapt met een bestemming boven de zonegrens moet bij de zonegrens overstappen.

Tijdens de neerit kan (bij het bedienen van oproepen van buiten voor een rit omlaag) uitsluitend in de lage zone worden in- of uitgestapt.

#### Hoge zone:

Een lift welke aan de hoge zone is toegewezen kan tijdens zijn oprit alleen stoppen op etages uit de hoge zone - d.w.z. vanaf de zonegrens tot en met de hoogste etage en op de begane grond -, zowel voor in- als voor uitstappen.

Tijdens de neerit kan (bij het bedienen van oproepen van buiten voor een rit omlaag) op alle etages worden in- of uitgestapt.

- 2) Een lift kan na terugkeer op de begane grond niet onmiddellijk zijn volgende oprit beginnen. Zodra nl. de eerste passagier in de cabine de knop heeft ingedrukt van zijn bestemmingsetage, begint een "wekker" te lopen. De deuren kunnen niet eerder beginnen met zich te sluiten dan wanneer òf de wekker is afgelopen òf (vóór het aflopen van de wekker) een bepaald aantal personen in de cabine staat.

### 3.3.3. Besturingsdiscipline voor de neerpiek.

Ook bij de neerpiek kunnen de etages in zones ingedeeld worden. Deze verdeling is nu echter veel verfijnder dan bij de oppiek. De verdiepingen worden in groepen (zones) van direkt boven elkaar liggende etages verdeeld en bij elke zone hoort precies één lift. Een voorbeeld is de verdeling van 21 etages over 5 liften in de zones:

21-18, 17-14, 13-10, 9-6, 5-1.

De functie van de zones is de volgende: wanneer een lift beneden aangeland is en leeg naar boven gaat, vertrekt hij naar één van de etages van zijn zone, mits daar oproepen zijn.

Zijn in zijn eigen zone op dat moment geen oproepen, dan gaat de lift naar de hoogste oproep onder zijn zone. Vanaf deze eerste etage die bezocht wordt, gaat de lift naar beneden, onderwijl elke etage, waar oproepen zijn, bedienen. Overschrijdt de belading een zeker gewicht (in ons geval te vergelijken met een bezetting van 19 personen), dan gaat hij zonder verder te stoppen naar de begane grond. In dat geval wordt de eerstvolgende lagere verdieping, waar op dat moment oproepen zijn, voorbestemd, mits deze verdieping zich in de zone van de betreffende lift bevindt.

Dit betekent, dat de lift, na op de begane grond de passagiers afgeleverd te hebben, het eerst naar de voorbestemde verdieping gaat, die prioriteit geniet boven de andere. Deze voorbestemming wordt opgeheven, wanneer de verdieping intussen door een andere lift bediend is.

Om een maximale benutting van de liften voor neerwaarts verkeer te bereiken kan de besturing zo ingericht worden, dat de liften niet reageren op oproepen naar boven op de verdiepingen. Wél kan een passagier in de oprit vanaf de begane grond de lift naar elke willekeurige etage sturen. In deze besturing stijgt een lift alleen boven zijn zone uit, wanneer een op de begane grond ingestapte passagier zich naar een boven de zone gelegen etage laat vervoeren.

### 3.4. Definitie van wachttijd, transporttijd en totale tijd.

Beschouw één passagier en de rit van de lift waarmee hij naar de door hem gewenste etage wordt vervoerd.

De gevolgde berekeningswijze voor wacht- en transporttijd demonstreren we met behulp van onderstaande figuur.



Hierin stelt  $s$  het tijdstip voor waarop de lift met deuren open - op de vertreketage van de passagier - tot stilstand was gekomen, terwijl  $u$  het tijdstip voorstelt waarop - op de bestemmingsetage van de betrokken passagier - het uitstappen was voltooid.

We onderscheiden nu twee mogelijkheden:

- a) de passagier kwam op de etage van vertrek bij de liften aan vóór tijdstip  $s$  (dus voordat de lift er was), zeg op tijdstip  $a$ ,
- b) hij kwam aan na tijdstip  $s$  (dus toen de lift er al was), zeg op tijdstip  $b$ .

In het eerste geval bedraagt de door ons in rekening gebrachte, wachttijd  $s-a$  seconden en de transporttijd  $u-s$  seconden. In het tweede geval zijn deze tijden resp.  $0$  en  $u-b$  seconden. In beide gevallen is de totale tijd welke met lift-transport verloren gaat gelijk aan  $u$ , verminderd met de tijd van aankomst ( $a$  resp.  $b$ ).

We merken op dat de aldus berekende wachttijd in feite slechts een deel is van de tijd welke met wachten verloren gaat. Daar echter het wachten op het instappen van andere passagiers doorgaans als minder hinderlijk wordt ervaren dan het wachten op de lift, hebben wij het wachten op andere passagiers in de transporttijd opgenomen. De totale tijd wordt uiteraard niet beïnvloed door de keus van de grens tussen wacht- en transporttijd.

#### 4. Simulatie van de oppiek.

##### 4.1. Keuze van de besturingsdiscipline.

Bij de in dit hoofdstuk beschreven simulatie hebben wij de besturingsdiscipline voor de oppiek, zoals beschreven in par. 3.2.2, als met de hand ingestelde discipline gekozen. Deze keuze wordt hieronder gemotiveerd.

Uit de beschrijving van de besturingsdiscipline blijkt dat de begane grond bij de oppiek-discipline met hogere prioriteit wordt behandeld dan bij de andere disciplines.

Derhalve mag worden verwacht dat de oppiek-discipline gunstiger wachttijden op de begane grond zal opleveren dan een van de andere disciplines.

Bovendien zijn de wachttijden op de etages doorgaans niet langer dan die op de begane grond, zoals blijkt uit de volgende overwegingen:

Een lift stopt voor het bedienen van een oproep op een etage indien zijn zone-indeling dat toelaat en hij bovendien niet "vol" is. Een lift heet in dit verband "vol" wanneer hij tenminste 19 personen vervoert. Tijdens de oppiek-situatie zal een lift redelijkerwijs

- a) in zijn neerrit nooit "vol" zijn
- b) in zijn oprit slechts "vol" zijn als hij "vol" vanaf de begane grond is vertrokken en er daarna zeer weinig passagiers zijn uitgestapt.

Dit betekent dat een oproep op een etage vrijwel steeds kan worden bediend door de eerste lift die deze etage (in de juiste richting) nadert en, gezien zijn zone, op die etage kan stoppen. De wachttijd op een etage wordt dus hoofdzakelijk bepaald door de tijd tussen twee opeenvolgende liften met de juiste richting en de juiste zone. Voor de wachttijd op de begane grond geldt een dergelijke redenering.

Fixeren we de besturingsdiscipline derhalve op die voor de oppiek en zijn de daarbij optredende wachttijden op de begane grond acceptabel, dan zijn de wachttijden op de etages tijdens de oppiek dat eveneens. De wachttijden op de etages worden daarbij - omdat ze op dezelfde tijd van de dag betrekking hebben - uiteraard volgens dezelfde norm beoordeeld als de wachttijden op de begane grond.

Opmerking:

Voor personen die zich tijdens de oppiek van een etage uit de lage zone naar een etage uit de hoge zone begeven, en die dus op de zonegrens moeten overstappen, treedt tweemaal een wachttijd op. In verband hiermee is het aan te bevelen de norm voor de toelaatbare wachttijd bij toepassing van een indeling van het gebouw in zones niet te ruim te stellen.

Werkt men zonder zone-indeling, hetgeen bij werktijden-spreiding de beste resultaten geeft (verg. par. 4.3), dan treedt deze complicatie niet op. Overigens betreft dit meestal slechts enkele personen per dag.

#### 4.2. Het computerprogramma voor de oppiek.

##### 4.2.1. Beschrijving.

De besturingsdiscipline welke aan dit programma ten grondslag ligt is beschreven in par. 3.2.2.

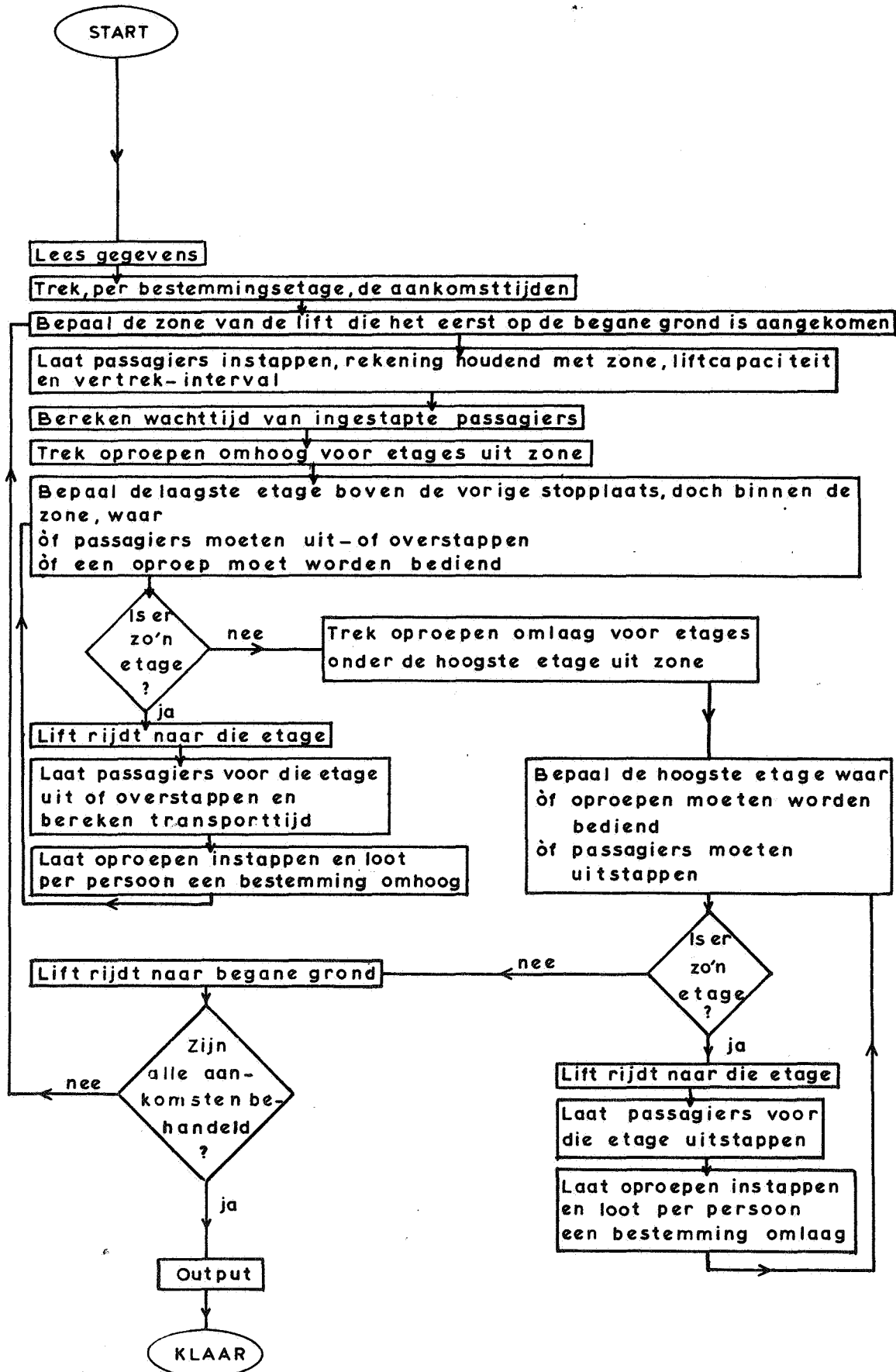
Eerst worden de gegevens ingelezen (zie par. 4.2.2.).

Per persoon wordt, aselect, een tijdstip getrokken uit de aankomstverdeling. Hierbij wordt opgeteld het aanvangstijdstip van de werktijd dat geldt voor de etage waarop de betrokken persoon is gehuisvest.

De aldus verkregen aankomsttijdstippen worden opklimmend gerangschikt.

De gerangschikte aankomsttijdstippen worden, samen met de corresponderende etage-nummers, in het geheugen opgeslagen.

Blokdiagram van het oppiek-programma



In het oppiek-programma voeren de liften één voor één een rondrit uit. Aan het eind van iedere rondrit wordt de lift geselecteerd welke het eerst op de begane grond was aangekomen. In deze lift laten we, op de begane grond, passagiers instappen. Omdat de lift aan een bepaalde zone is gebonden, beschouwen we daarbij alleen personen met een bestemming binnen de zone van de betrokken lift.

Als eerste passagier stapt de vroegst-aangekomene van deze categorie nog niet vervoerde personen in. Zodra deze zich in de lift bevindt, vangt het interval aan waarin een lift met minder dan 16 personen op de begane grond wordt vastgehouden.

Nu stappen (reeds wachtende of nieuw-aangekomen) personen in totdat òf het interval is verstreken òf zich 16 personen in de lift bevinden. Vervolgens stappen nog personen in die met instappen op hun voorganger moesten wachten, mits daardoor de maximale kooibezetting niet wordt overschreden. (Bijvoorbeeld kan de 18e passagier nog mee indien hij aankomt vóórdat de 17e passagier klaar is met instappen, want bij aankomst van de 18e passagier staan de liftdeuren nog open). Voor iedere ingestapte passagier wordt direct de wachttijd berekend. Kan niemand meer volgens bovenstaande regels instappen, dan gaan de deuren zich sluiten en kan de oprit beginnen.

Eerst worden echter nog oproepen voor opwaarts transport vanaf de etages binnen de betrokken zone geloot. (Op de wijze van loting wordt ingegaan in bijlage 3a). De lift maakt nu een rit naar de laagste etage waarop gestopt moet worden om een passagier te laten uitstappen en/of om een oproep te bedienen. Zodra een oproep is beantwoord, wordt voor de zojuist ingestapte passagier(s) een bestemming geloot. Voor uitgestapte passagiers, voorzover deze op de begane grond waren ingestapt, wordt nu de transporttijd berekend. De lift maakt vervolgens weer een rit naar de laagste, boven zijn huidige stopplaats gelegen, etage waarop uit- of ingestapt moet worden. Dit herhaalt zich totdat er geen passagiers meer in de lift zijn en ook geen oproepen meer op de etages boven de laatste stopplaats. Op dat moment begint de neerrit. Bij het begin van de neerrit worden oproepen voor neerwaarts transport

vanaf de etages geloot. De loting van de (neerwaartse) bestemming van een oproep geschiedt weer direct na het instappen. De oproepen worden nu, van boven naar beneden in het gebouw, afgewerkt. Is de lift leeg en zijn er tussen zijn laatste stopplaats en de begane grond geen oproepen meer te bedienen, dan keert de lift naar de begane grond terug. Hiermee is de rondrit voltooid. De berekening wordt herhaald met de thans eerst-aangekomen lift, totdat alle aankomsten zijn verwerkt.

#### 4.2.2. Invoer van gegevens.

De belangrijkste variabelen welke voor dit programma als invoer worden gebruikt zijn

- 1) de zonegrens en, voor iedere personenlift, de te bedienen zone.
- 2) de hoogste van de door de goederenlift te bedienen etages.
- 3) het interval gedurende hetwelk een lift op de begane grond wordt vastgehouden zolang er minder dan  $n$  personen zijn ingestapt, en de waarde van  $n$ . (in dit rapport is het interval steeds 25 sec. en  $n = 16$ ).
- 4) de oproepkans (in dit rapport steeds  $10^{-5}$ , zie ook bijlage 3a).
- 5) de kansverdeling der aankomsttijdstippen en de wijze waarop hieruit moet worden getrokken.
- 6) de aanvangstijd voor iedere etage.

In een vroegere versie van het programma, kunnen aanzienlijk meer grootheden als variabele worden ingevoerd, zoals de deeltijden voor de liftbeweging, de bezetting van de etages, het aantal liften, het aantal etages, het maximale aantal personen per kooi. Daar deze gegevens tijdens de loop van het onderzoek bekend werden, zijn ze in de laatste versie van het programma vast ingevoerd.



#### 4.2.3. Uitvoer van resultaten.

De uitvoer van het oppiek-programma bevat:

- 1) Een overzicht, waaruit op eenvoudige wijze alle ingevoerde gegevens kunnen worden afgelezen.
- 2) Voor alle ritten van liften, in chronologische volgorde van de ritten:
  - . de bediende zone
  - . het nummer van de lift
  - . het aankomst- en vertrektijdstip van de lift op de begane grond
  - . het aantal passagiers bij vertrek van de begane grond
  - . het totaal aantal verwerkte aankomsten
  - . de etages waarop de lift achtereenvolgens stopt in zijn volgende rondrit
  - . het aantal tijdens de oprit, resp. de neerrit bediende oproepen, per etage
- 3) Een tabel met per persoon:
  - . het nummer in de rij van aankomsten
  - . het aankomsttijdstip
  - . de wachttijd
  - . de transporttijd
  - . de totale tijd (= wachttijd + transporttijd)
  - . het tijdstip waarop is uitgestapt
  - . de etage van bestemming
- 4) Per etage:
 

de cumulatieve kansverdeling en het gemiddelde van

  - . wachttijd
  - . transporttijd
  - . totale tijd
- 5) Per zone cq. per shift:
 

De gemiddelde wachttijd, transporttijd en totale tijd en het aantal personen.

- 6) De cumulatieve kansverdeling, voor alle etages samen, met gemiddelde en standaardafwijking, van de wachttijd.
- 7) Als 6) voor de totale tijd.
- 8) De cumulatieve kansverdeling, voor alle etages samen, van het tijdstip van uitstappen.

Alle tijden worden afgedrukt in seconden.

Aankomst- en uitstaptijden zijn gemeten vanaf het meest linkse punt in de aankomst-verdeling (het tijdstip 0 in de figuren van bijlage 1a). Wachttijd, transporttijd en totale tijd zijn berekend volgens de definities van deze tijden in par. 3.4.

#### 4.3. Opmerkingen over de zonegrens.

Indien voor verschillende etages verschillende werktijden gelden, dan werkt een indeling van het gebouw in zones averechts: iedere shift kan slechts dat deel van de liften gebruiken dat op de betrokken etages kan stoppen. Bij de simulatie van situaties met werktijdenspreiding is de zone-indeling dan ook steeds achterwege gelaten.

(Dit wordt bereikt door de zonegrens op de begane grond te leggen en alle liften aan de hoge zone toe te wijzen).

#### 4.4. Opmerkingen over de goederenlift.

De goederenlift heeft in de oorspronkelijke opzet een eigen, onafhankelijke, besturing en een eigen zone. Het laatste houdt in dat wij de goederenlift bv. alleen op een aantal laaggelegen etages kunnen laten stoppen. In de oorspronkelijke opzet was dit ook gewenst omdat voor de goederenlift een lagere snelheid was voorzien. Daar de goederenlift de etages trager afwerkt en om tweemaal overstappen te vermijden, hebben wij bij de simulaties geen oproepen laten bedienen door de goederenlift (dit is technisch ook uitvoerbaar).

Op grond van voorlopige resultaten van de simulatie is later overwogen de goederenlift als zesde personenlift aan de groepsbesturing toe te voegen, met een hoger hefvermogen. Deze situatie is eveneens gesimuleerd. Bij de resultaten staan voor dit geval 6 personenliften vermeld.

5. Simulatie van de neerpiek.

5.1. Het computerprogramma voor de neerpiek.

5.1.1. Inleiding.

De simulatie van ingewikkelde processen, die niet of zeer moeilijk in een analytisch hanteerbaar wiskundig model te vangen zijn, kan op twee verschillende manieren geschieden;

- A. Men kan op equidistante tijdstippen, b.v. van seconde tot seconde het gehele proces bijhouden door de veranderingen en de onderlinge invloeden van de onderdelen van het proces op elkaar na te rekenen.
- B. Men kan zich ook beperken tot die tijdstippen, waarop ergens, in een onderdeel van het proces iets gebeurt, dat van invloed is op andere delen van het proces. Dit is een beperking tot de niet van te voren vastgelegde tijdstippen, waarop direct of indirect de onderdelen van het proces elkaar beïnvloeden.

Bij het kiezen van het tijdmodel volgens A of B zal men in de regel ook rekening moeten houden met de variabelen die men wil beschouwen. Wanneer de onderdelen van het proces duidelijk onderscheidbaar zijn, en elkaar niet continu beïnvloeden, zoals bij de liftbeweging het geval is, ligt een keuze van B voor de hand.

De onderdelen van het neerpiekproces zijn de liften. De tijdstippen waarop een lift beschouwd wordt, zijn de momenten waarop deze in neergaande beweging een etage bereikt, waar op dat moment passagiers staan te wachten. Op deze momenten beïnvloeden de liften elkaar, doordat een andere lift juist eerder deze etage zou kunnen aandoen, zodat de later aangekomen lift dan zijn afdeling kan vervolgen. Ook worden de liften beschouwd op het tijdstip, waarop ze geheel leeg, van de begane grond naar een etage in of onder hun zone gaan. De keuze van deze etage wordt ook beïnvloed door de verrichtingen van de andere liften.

Een onderdeel van het proces (een lift) wordt in zijn autonome beweging gevolgd, totdat het in een situatie komt, waar het vervolg afhankelijk is, van wat de andere onderdelen van het proces tot dat tijdstip gedaan hebben. Dit zijn ook de tijdstippen, waarop overgesprongen wordt naar het volgen van de beweging van een ander onderdeel; n.l. datgene dat het minst ver in de tijd is bijgehouden.

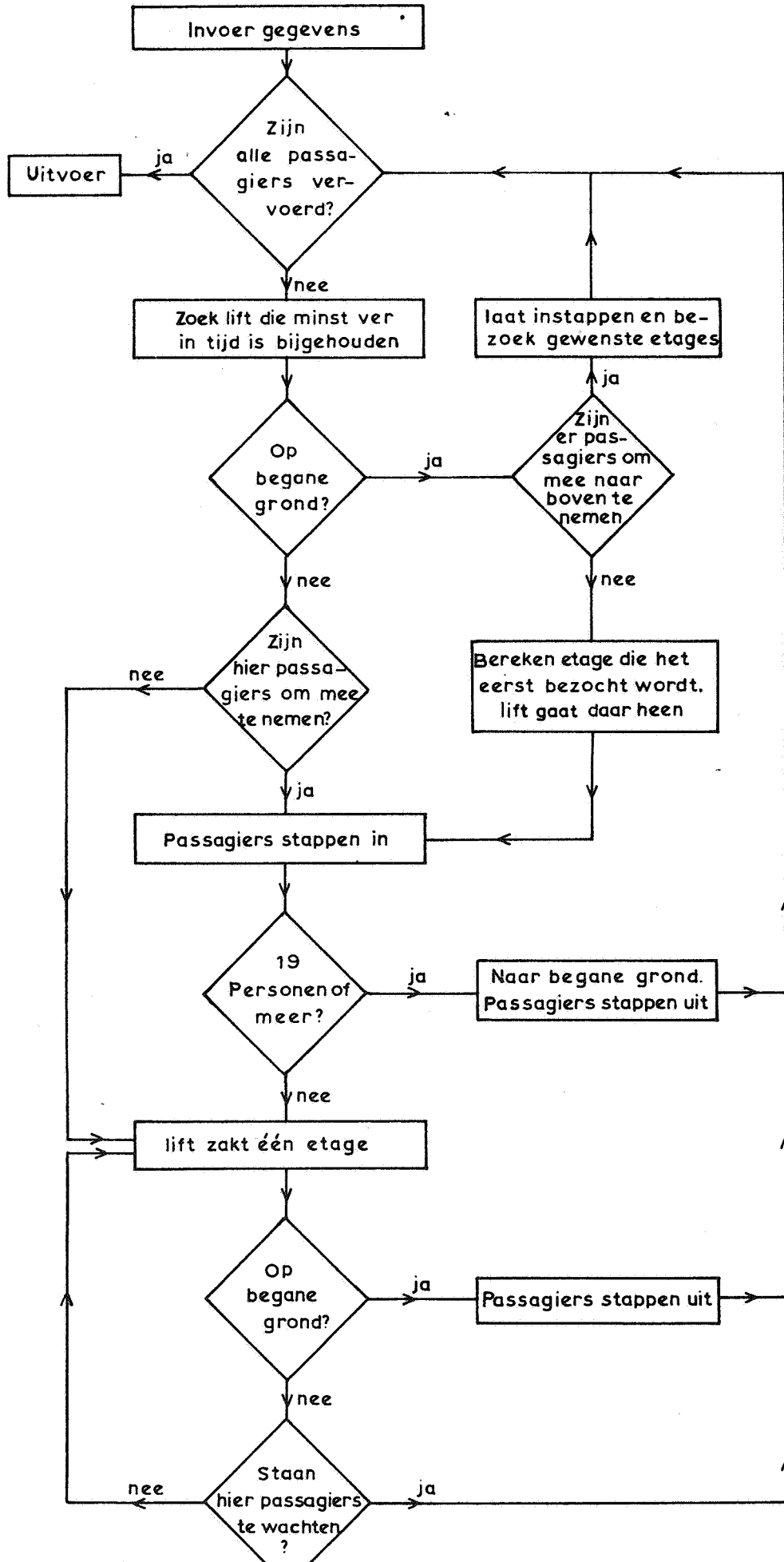
Men ziet eenvoudig in dat bij de liftbewegingen de onderlinge beïnvloeding van de liften niet continu is; immers, een lift, die bij een etage uit stilstand vertrekt, of een etage passeert, en waarvan de direkte bestemming nog kan veranderen, zal zich ongeacht wat de andere liften doen, over een zekere afstand verplaatsen (minstens één verdieping), vóórdat de vraag zich voordoet, of hij al of niet zal stoppen.

#### 5.1.2. Beschrijving.

In te lezen grootheden zijn: het aantal liften, de zonegrenzen per lift, het aantal etages, het aantal personen per etage en tenslotte de aankomsttijdstippen van deze personen bij de liftschacht. Deze aankomsttijdstippen zijn steeds getrokken uit normale verdelingen met per etage te kiezen verwachting en spreiding.

Bovendien kan gerekend worden met personen die zich vanaf de begane grond naar boven laten vervoeren. Hiermee kan de storende werking van deze passagiers op een regelmatige liftbeweging nagegaan worden. Bij het begin van de simulatie bevinden de liften zich op de hoogste etage van hun zone. Het programma beschouwt een lift, welke afdaalt naar de begane grond, totdat hij een etage bereikt, waar op dat moment een oproep is. Het programma beëindigt nu, vóórdat de lift gestopt heeft om passagiers in te laten stappen, de beschouwing van deze lift en gaat over op een andere lift, en wel diegene die het minst ver in de tijd is bijgehouden. De beweging van deze andere lift wordt ook weer bijgehouden, totdat hij bij een etage komt waar op dat moment een

blokdiagram van het neerpiekprogramma



oproep is, of totdat hij de begane grond bereikt. In dat laatste geval stappen de passagiers uit (herkomst en transporttijd van deze passagiers worden bepaald), maar op het moment dat de lift naar boven zou vertrekken, breekt het programma de beschouwing van deze lift weer af. Natuurlijk moeten alle karakteristieke gegevens, zoals tijdstippen, plaats, inhoud aan passagiers e.d. op de betreffende adressen in het geheugen opgeborgen worden, voordat het programma overstapt naar het beschouwen van een andere lift.

De organisatie van het programma is zodanig, dat bij overgang van beschouwing van de ene op de andere lift, daarvoor altijd die lift wordt gekozen die het verst achter was in tijd. Hij bevindt zich dan òf

- a) op de begane grond en staat op het punt leeg naar boven te vertrekken.

De keuze van de etage kan nu eenvoudig aan de hand van de oproepen vastgesteld worden, òf

- b) de lift is bij een verdieping aangekomen waar passagiers stonden te wachten. Wanneer deze op een vroeger tijdstip door een andere lift zijn meegenomen is de oproep opgeheven, en vervolgt de lift zijn tocht naar beneden, tot de eerstvolgende etage met oproep. In het programma wordt geen tijdverlies voor afremmen, stoppen en versnellen in rekening gebracht als de lift in werkelijkheid niet stopt. Wanneer er nog wel passagiers aanwezig zijn, worden deze door de lift meegenomen. Tijd voor afremmen, instappen, deuren sluiten en versnellen wordt nu wel in rekening gebracht.

### 5.1.3. Invoer van gegevens.

De variabelen, die bij het draaien van het programma ingevoerd moeten worden zijn.

1. aantal liften
2. aantal etages

3. zônegrenzen
4. aantal personen dat zich vanaf begane grond naar boven laat vervoeren, evenals begin- en eindpunt van de driehoeksverdeling
5. per etage: bezetting, verwachting en spreiding van de (normale) vertrekverdeling.

#### 5.1.4. Uitvoer van resultaten.

De uitvoer van het neerpiekprogramma bevat achtereenvolgens:

1. Een lijst van de etages en liftnummers die aangeeft welke lift waar stopt om passagiers in- of uit te laten stappen, het aantal in- of uitstappers en het eerstvolgende traject van de lift.
2. Per etage: de vertrektijd, wachttijd en transporttijd van alle passagiers en een frequentieverdeling van de wachttijd.
3. Gemiddelde wachttijd en transporttijd per etage.
4. Gemiddelde wachttijden per zône.
5. 90, 95 en 100% punt van de wachttijdverdeling per zône.

#### 5.2. Goederen en zesde lift.

In de neerpiek is de goederenlift aanvankelijk buiten beschouwing gelaten. Ook werd geen rekening gehouden met verkeer tussen de verdiepingen. Oproepen naar boven worden in de neerpiek alleen door de goederenlift beantwoord. Wegens het ontbreken van gegevens over de frequentie van deze oproepen kan de werking van de goederenlift niet worden nagegaan. We nemen daarom aan dat de goederenlift het verkeer tussen de verdiepingen boven de begane grond en het opwaartse verkeer vanaf de begane grond geheel voor zijn rekening neemt.

Deze redenering gaat natuurlijk niet meer op bij het simuleren van de verrichtingen van 6 liften in de neerpiek. De goederenlift is dan vervangen door een zesde lift, die zich met dezelfde snelheid als de andere beweegt, en alleen een groter hefvermogen heeft.



Dit laatste speelt bij het personenvervoer geen rol. Deze zesde lift heeft een besturing conform de andere vijf, en wordt in de neerpiek geheel benut voor het afvoeren van het personeel.

Om nu een situatie te creëren, die enigszins vergelijkbaar is met de aanvankelijk geplande 5 liften + goederenlift, is het noodzakelijk ook rekening te houden met de storende werking van het verkeer tussen de etages en opwaarts verkeer vanaf de begane grond. Wegens het ontbreken van gegevens over het verkeer tussen verdiepingen (een prognose is zeer moeilijk te maken), beperkt dit rapport zich tot de storende tegenstroom van opwaarts verkeer vanaf de begane grond. Omdat de vergaderzalen zich op de begane grond bevinden, is hiermee de grootste storingsbron in rekening gebracht.

De aankomsttijdstippen bij de lift van de passagiers op de begane grond die zich naar boven laten vervoeren, zijn getrokken uit een driehoeksverdeling (zie bijlage 1b). Dit is in overeenstemming met de veronderstelling dat het aanbod van deze passagiers afneemt, naarmate het later wordt. Begin- en eindpunt van deze verdeling kunnen in het programma ingelezen worden. De bestemmingsetage wordt geloot uit de 21 aanwezige verdiepingen.

Het aantal vanaf de begane grond naar boven te transporteren personen is een grootheid, die bij het programma ingelezen wordt. Dit aantal is, tamelijk willekeurig, gesteld op 12% van de aan de neerpiek deelnemende personen.

## 6. Voorlopige resultaten en conclusies voor de oppiek-simulatie.

Een overzicht der uitgevoerde simulaties is gegeven in tabel 1 (zie blz. 35). De belangrijkste resultaten per gesimuleerde situatie zijn in tabel 2 vermeld. Ter wille van de overzichtelijkheid zijn de situaties daarbij gerangschikt naar het 95e percentiel van de wachttijd (dat is de wachttijd welke door hoogstens 5% van alle personen wordt overschreden).

De norm voor het 95e percentiel van de wachttijd is voor kantoorgebouwen in Europa 45 seconden. Deze norm wordt slechts in de gevallen Z, F en E niet overschreden.

Uit tabel 2 blijkt dat bij de beoordeling van een situatie de wachttijd (in het bijzonder het 95e percentiel van de wachttijd) in eerste instantie als criterium kan worden gebruikt. De transporttijd en de totale tijd blijken nl., op enkele uitzonderingen na, ook van links naar rechts in de tabel toe te nemen.

Een aantal situaties is gesimuleerd voor 3 verschillende steekproeven uit de aankomstverdeling. Resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 3. Er treden soms niet verwaarloosbare verschillen op tussen de runs voor dezelfde situatie. Hierop wordt nader ingegaan in par. 7.

Tabel 2 geeft dus vooral een idee van de orde van grootte van de verschillen tussen situaties onderling. Een verantwoorde keuze tussen situaties die onderling slechts in details verschillen is slechts mogelijk op basis van een groter aantal simulatie-runs dan ten behoeve van dit rapport werden uitgevoerd.

De juistheid van de keuze van de zonegrens resp. de groepering van etages in shifts kan, globaal, worden beoordeeld met behulp van tabellen 4 en 5.

Zoals hierboven reeds werd opgemerkt, is de wachttijd een goede leidraad bij de vergelijking van de verschillende situaties. Teneinde een indruk te geven van de wachttijd en de factoren welke deze beïnvloeden zijn in figuur 1 t/m 6 uitgezet de per-

centages der aankomsten met een wachttijd groter dan  $t$ , als functie van de tijd  $t$ . Uit figuur 1 (zie blz. 40) kan men bijvoorbeeld aflezen dat in situatie O 25% der personen langer dan 20 sec. moet wachten, 5% langer dan 67 sec., 55% der personen niet behoeft te wachten, etc. In de figuren is het 95e percentiel van de wachttijd met een cirkeltje aangegeven, evenals de norm (45 sec.) voor het 95e percentiel.

In figuur 1 is een aantal situaties geschetst welke alle dezelfde aankomstverdeling hebben, en wel de aankomstverdeling welke gebaseerd is op de metingen welke in december 1969 werden verricht bij het gebouw van het Bouwcentrum. Referentie-curve is A. N verschilt van A door het vervallen van de zone-indeling. O verschilt van A doordat de goederenlift als personenlift is uitgevoerd.

K verschilt van A doordat het aantal aankomsten 90% van de bezetting van het gebouw is in plaats van 75%.

M en L verschillen van A doordat de goederenlift, resp. een personenlift buiten werking is.

Bovendien is in M en L de zone-indeling vervallen teneinde geen onevenwichtige toewijzing van de liften aan de zones te krijgen.

In figuur 2 vinden alle aankomsten plaats binnen 1 minuut.

In figuur 3 vinden alle aankomsten binnen een kwartier plaats, zoals het geval zou kunnen zijn aan het eind van de lunchpauze indien - ten onrechte - geen spreiding van de lunchtijd zou worden toegepast.

In figuur 4 vinden, eveneens zonder werktijdspreiding, alle aankomsten binnen een half uur plaats. Hiermee zijn geen betere resultaten te verkrijgen dan in situatie D, waar de aankomsten zo regelmatig plaatsvinden als maar mogelijk is.

Figuur 5 geeft de situatie weer, waarin aankomsten binnen een kwartier (resp. 45 min.) plaatsvinden, maar voor Rijkswaterstaat in een ander kwartier (resp. 45 min.) dan voor de overige diensten.

Figuur 6, tenslotte, geeft een beeld van de wachttijd wanneer met 4 shifts wordt gewerkt, die elkaar gedeeltelijk overlappen en waarbij alle aankomsten binnen 45 minuten plaatsvinden. Deze situatie zou, bij het eind van de lunchpauze bijvoorbeeld, tot zeer acceptabele wachttijden leiden.

In figuur 7 t/m 11 is de gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages per etage uitgezet.

Uit figuur 7 blijkt dat de verdeling van het gebouw in zones een gunstige invloed heeft op de transporttijd voor de etages boven en op de zonegrens. Dit verschil in transporttijd is belangrijk groter dan het verschil (in tegenovergestelde richting) in de wachttijd (verg. tabel 2). Uit figuur 8 en 9 blijkt dat het toepassen van werktijdenspreiding - waarbij het gebruiken van een zone-indeling geen zin heeft - bij 2 shifts de langste transporttijden nog langer maakt, maar bij 4 shifts transporttijden oplevert welke gunstiger zijn dan bij situatie A (2 zones, geen werktijdenspreiding).

Uit figuur 10 blijkt dat verkleining van de range van de aankomstverdeling niet alleen langere wachttijden maar ook langere gemiddelde transporttijden ten gevolge heeft. Dit is begrijpelijk omdat een kleinere range leidt tot vollere liften en dus tot vaker en/of langduriger stoppen.

Figuur 11 tenslotte laat zien hoe groot de transporttijden worden in de ongunstigst denkbare situatie: geen zones en alle personen willen in dezelfde minuut naar boven.

## 7. Betrouwbaarheid van de resultaten van de oppiek-simulatie.

Voorafgaande aan de oppiek-simulatie wordt voor iedere persoon uit de aankomstverdeling een aankomsttijdstip getrokken.

De aldus ontstane steekproef correspondeert met de aankomsten zoals die op één bepaalde dag zouden kunnen plaatsvinden. Van dag tot dag kunnen de aankomsten uiteraard verschillen vertonen, ook als uit dezelfde aankomstverdeling wordt getrokken. Deze verschillen hebben, zoals ook blijkt uit tabel 3, invloed op de optredende wacht- en transporttijden. In verband hiermee is het gewenst een situatie over een wat langere termijn te beoordelen. Hiervoor zijn echter herhalingen van de simulatie nodig met andere steekproeven uit de aankomstverdeling.

In de fase van het onderzoek waarover dit rapport verslag uitbrengt hebben wij gemeend in eerste instantie te moeten volstaan met de simulatie op basis van één steekproef per aankomstverdeling. Het alternatief, alle simulaties een behoorlijk aantal keren herhalen, zou veel extra rekentijd hebben gevraagd, met name ook voor aankomst-situaties welke, op grond van ons in dit stadium nog niet bekende overwegingen, bij de uiteindelijke beslissing voor werktijden-spreiding, e.d., als niet haalbaar terzijde moeten worden geschoven. Wanneer, mede op grond van de in dit rapport vermelde resultaten, een beperking van het aantal te onderzoeken alternatieve situaties tot stand is gekomen, zou, in een volgend stadium van het onderzoek, het aantal simulatie-runs voor die situaties kunnen worden uitgebreid.

Teneinde nu reeds enig inzicht te verkrijgen in de verschillen tussen de tijden bij verschillende steekproeven uit de aankomstverdeling hebben wij voor de in tabel 3 vermelde situaties per situatie 3 of 4 runs uitgevoerd. Bij nadere analyse van de oorzaak van de optredende verschillen blijkt dat de relatief lange wachttijden ontstaan in gevallen waarin de liften die een bepaalde zone bedienen enkele malen met grote tussenpozen op de begane grond zijn aange-

komen. Daar dit een gevolg is van, toevallige, variaties in de rondritttijd i.v.m. het aantal stopplaatsen en het aantal passagiers bij vertrek van de begane grond, zullen dergelijke lange wachttijden in de praktijk ook voorkomen. Hoe vaak dergelijke uitschieters zich voordoen kan slechts voorspeld worden wanneer meer runs per situatie zijn uitgevoerd.

Tenslotte is de invloed van wijziging van de oproepkans en/of de wijziging van het interval gedurende hetwelk een lift op de begane grond wordt vastgehouden niet nader geanalyseerd.

Samenvattend kan gezegd worden dat de resultaten uit dit rapport een goede eerste indruk kunnen geven van de tijden die optreden bij het beschreven liftensysteem. Bij een definitieve keuze uit een klein aantal alternatieven is uitbreiding van het aantal simulaties echter zeker aan te bevelen.

## 8. Voorlopige resultaten van de neerpiek-simulatie.

### 8.1. Inleiding.

In de neerpiek zijn een aantal verschillende situaties gesimuleerd. Deze verschillen onderling in minstens één van de volgende parameters:

1. aantal liften,
2. zôneverdeling,
3. spreiding van vertrektijdstoppen,
4. verwachting van vertrektijdstoppen (werktijdenspreiding),
5. bezettingsgraad van het gebouw,
6. aantal passagiers dat vanaf de begane grond naarboven vervoerd wordt.

In elk van de simulaties hebben deze zes parameters een bepaalde waarde. Tabel V geeft een overzicht van de parameters van de in de figuren 12 t/m 20 (zie blz. 52) weergegeven simulaties. Elke simulatie is slechts éénmaal uitgevoerd. Veel van de grootheden die bij de simulatie gebruikt worden staan zelf immers niet exact vast. Zo zal de bezettingsgraad niet precies 75% zijn, wat in vrijwel alle simulaties verondersteld is, en zal het aantal mensen dat van de trap gebruik maakt niet elke dag hetzelfde zijn. Ook de kansverdeling van de vertrektijdstoppen zou in de praktijk aanzienlijk kunnen verschillen van de veronderstelde normale verdeling met bepaalde verwachting en spreiding. Gezien al deze onzekere factoren, die ongetwijfeld van invloed zijn op de prestaties van de groep liften, heeft het weinig zin om voor elke keuze van de parameters de verdeling van de wachttijden uit te rekenen, door een aantal malen een zelfde situatie te simuleren. Het is daarentegen wel zinvol, om onder gelijkblijvend passagiersaanbod de gesimuleerde resultaten van diverse besturingssystemen, werktijdenspreiding en verschillende aantallen liften te onderzoeken. Deze resultaten van verschillende situaties zijn onderling vergelijkbaar, wanneer het passagiersaanbod in al die situaties hetzelfde is. Daarom zijn voor elke simulatie met een 75% bezetting dezelfde

21 steekproeven uit een standaard normale verdeling gebruikt voor de vertrektijdstoppen op de etages. Door een lineaire transformatie heeft elke etage de juiste verwachting en spreiding van de vertrektijdstoppen.

## 8.2. Keuze van de parameters.

### 1. Aantal liften.

Aanvankelijk zijn 5 liften plus een goederenlift gepland. Deze laatste neemt tijdens de neerpiek het verkeer tussen de verdiepingen voor zijn rekening en speelt geen rol in het vervoer naar de begane grond (zie 5.2). Daarnaast is ook de situatie onderzocht van zes gelijke liften zonder goederenlift. Nu moet wel met opgaand verkeer tijdens de neerpiek gerekend worden. Ten slotte zijn twee simulaties uitgevoerd voor vier liften; dit om een indruk te krijgen van de optredende wachttijden bij het in ongereede raken van een lift en om de marginale waarde van een lift te schatten.

### 2. Zôneverdeling.

Een gebruikelijke verdeling van 21 verdiepingen in 5 zônes is 5 verdiepingen in de laagste zône en 4 verdiepingen in elke zône daarboven. Dit levert van boven naar beneden de zôneverdeling 44445 ofwel 21-18, 17-14, 13-10, 9-6, 5-1. Bij de geplande bezetting van het gebouw (bijlage 4), zijn er in deze zône 147, 83, 159, 141 en 69 personen in de neerpiek. De bovenste zône is daarbij nogal in het nadeel wegens de grote bezetting; bovendien kan deze zône slechts door één lift bediend worden (een lift stijgt niet boven zijn zône uit). Daarom zijn ook andere zôneverdelingen gesimuleerd. Een verdeling van de etages die rekening houdt met de af te leggen afstanden is b.v. 23457 of 21-20, 19-17, 16-13, 12-8, 7-1 met bezetting 107, 69, 85, 205, 133. Dit leidt dus ook tot grote bezettingsverschillen. Een gelijke verdeling van passagiers leidt tot de zôneverdeling 25437 of 21-20, 19-15, 14-11, 10-8, 7-1 met bezetting 107, 107, 128, 124, 133.



De beproefde zôneverdeling bij 6 liften is 233445 of 21-20, 19-17, 16-14, 13-10, 9-6, 5-1 met bezetting 107, 69, 54, 159, 141, 69.

Een nadeel van het invoeren van gescheiden zônes is dat een lift nooit boven zijn zône uit kan stijgen om hogere oproepen te beantwoorden. Daardoor is het aantal liften dat de hogere etages kan bezoeken veel kleiner dan het aantal liften dat de lagere etages bedient. Een ander bezwaar is dat een defecte lift - een situatie die wel voorkomt - onevenredig lange wachttijden veroorzaakt. De hoogste zône wordt zelfs helemaal niet bediend, wanneer zijn lift defect is, zodat in dat geval op een ander en langzamer besturingsmechanisme overgeschakeld moet worden. Het zônebesturingsmechanisme is daarom ook onderzocht bij zônes die alle etages bevatten. De zônes zijn dan alle dezelfde en lopen van de 21<sup>e</sup> verdieping tot de begane grond. Beide bezwaren tegen gescheiden zônes zijn dan ondervangen.

### 3. Spreiding van vertrektijdstippen

De spreiding van de vertrektijdstippen rond het gemiddelde zal per verdieping en van dag tot dag verschillen. Een norm van 3,5 minuut werd alleszins aanvaardbaar geacht. Dit betekent dat +65% van de vertrekken op een etage in een tijdsverloop van 7 minuten plaatsvindt, +95% binnen een tijdsverloop van 14 minuten en 99% (= nagenoeg alle) binnen een tijdsverloop van 21 minuten.

Ook werd een simulatie uitgevoerd met grotere spreidingen n.l. van 7,5 en 10 minuten.

4. In de neerpiek is de werktijdenspreiding beperkt tot 15 minuten: de gemiddelde vertrektijdstippen op de etages kunnen 15 minuten uit elkaar liggen. Rond deze verwachting treedt natuurlijk nog de normaal verdeelde afwijking op. Er zijn vier verschillende werktijdenspreidingen bekeken:

- a. Geen werktijdenspreiding.
- b. Eerst verdieping 1 t/m 8, na 15 minuten verdieping 9 t/m 21.
- c. Eerst verdieping 9 t/m 21, na 15 minuten verdieping 1 t/m 8.
- d. Eerst 16/21, na 5 minuten 10/15, na 10 minuten 5/9, na 15 minuten 1/4.

In b, c en d is de spreiding van de vertrektijdstoppen op een etage steeds 3,5 minuut. Dan vindt 99% van de vertrekken op een etage plaats binnen 21 minuten en 99% van de vertrekken in het hele gebouw binnen 36 minuten.

- 5. De bezettingsgraad van het gebouw is steeds gesteld op 75% (zie 3.1). Toch zullen ook pieken optreden; daarom is ook een simulatie uitgevoerd voor een 90% bezetting.
- 6. Aantal van beneden naar boven gaande passagiers.  
Bij simulaties van 5 liften + goederenlift is dit aantal steeds 0. Bij simulaties van 6 liften is het 0 of 70 (10% van de bezetting). Voor elk van deze passagiers wordt at random de bestemmingsverdieping getrokken. De aankomsttijdstippen bij de lift worden getrokken uit een driehoeksverdeling, waarvan begin- en eindpunt de  $3\sigma$  grenzen van de vertrekverdeling zijn.

### 8.3 Vergelijking van de resultaten

Een overzicht van de gesimuleerde situaties is te vinden in tabel V (blz. 51). De resultaten van de simulatie staan in figuur 12 t/m 20 (blz. 52-60).

Het criterium waarnaar het resultaat van een simulatie beoordeeld wordt, is het 95% punt van de wachttijd op elke verdieping. De bezettingsgraad van het gebouw is steeds 75%, behalve in figuur 20, waar een bezetting van 90% gesimuleerd is. In de simulaties met vier of vijf liften is geen rekening gehouden met storend verkeer. In alle simulaties met zes liften is het storend verkeer gesteld op 70 personen, die zich vanaf de begane grond naar boven laten vervoeren. Dit is 12% van de personen die in de neerpiek van de lift gebruik maken.

De spreiding in de vertrektijdstippen op een etage is steeds  $3\frac{1}{2}$  minuut, behalve in figuur 12 (blz. 52). Daaruit kan men het effect van de spreiding in vertrektijdstippen per etage aflezen. Dit blijkt zeer groot te zijn. Bij een spreiding van  $3\frac{1}{2}$  minuut treden onaanvaardbaar lange wachttijden op; de liften kunnen het aanbod niet aan, zodat ze op een etage dikwijls slechts een gedeelte van de daar wachtenden mee kunnen nemen. Toch is deze  $3\frac{1}{2}$  minuutspreiding als norm gesteld. Daarom is gezocht naar betere resultaten door een betere zôneverdeling, die de hogere etages niet te zeer benadeeld, en door werktijdspreiding.

In figuur 13 (blz. 53) staan de resultaten van enkele andere zôneverdelingen als de aanvankelijk voorgestelde (13a). In figuur 14 (blz. 54) is deze laatste vergeleken met de situatie zonder zônes. Alle liften bereiken nu alle etages. De wachttijden (die overigens nog te groot zijn) zijn nu evenredig over de etages verdeeld.

Werktijdspreiding levert betere resultaten op. Een maximaal verschil van 15 minuten in de verwachte vertrektijdstippen op de diverse etages geldt daarbij als norm. Een zôneverdeling werkt werktijdspreiding tegen, hetgeen geen verwondering hoeft te wekken, als men bedenkt dat bij zôneverdeling niet alle liften alle etages kunnen bedienen (zie figuur 15, blz. 55). Zonder zôneverdeling komt werktijdspreiding het best tot zijn recht (figuur 16, blz. 56). Dit is tevens het beste resultaat dat met 5 liften behaald kan worden. Op alle hogere etages liggen de wachttijden nog boven de twee minuten.

Met zes liften, werktijdspreiding van 15 minuten en geen zôneverdeling blijkt het het beste te zijn om de onderste etages eerst te laten vertrekken (zie figuur 17, blz. 57). Nu komen de lange wachttijden vrijwel overal onder de 2 minutengrens.

Een extra overweging die tegen zônes pleit, is de rampzalige situatie die optreedt wanneer een lift defect raakt. Het opheffen van de zônes verzacht hier het leed enigszins (zie figuur 19, blz. 59). De afhankelijkheid van de bezettingsgraad kan enigszins blijken uit figuur 20 (blz. 60), waarin de resultaten van een (ongunstige) situatie bij 75 en 90 procent bezettingen staan.

De lifttijd (= tijd die een passagier in de lift doorbrengt), is bij de neerpiek niet in de optimalisatie betrokken, omdat gebleken is dat deze tijd een ondergeschikte rol speelt. Een lift bezoekt in een rondrit slechts een paar opzameladressen en gaat dan naar één bestemmingsetage, dit geheel in tegenstelling tot de oppiek, waar in een rondrit vanuit één opzameladres at random gekozen bestemmingsetages bezocht worden.

TABEL 1. GESIMULEERDE OPPIEK-SITUATIES 1)

a) Invloed van de aankomstverdeling 2)

code	A	K	C	D	E	F	H	I	J	T	Z
aankomstverdeling	3	3	5	6	7	8	10	11	12	13	16
aanwezigheidspercentage	75	90	75	75	75	75	75	75	75	75	75
zonegrens	11	11	11	11	0	0	11	0	0	0	0

b) Invloed van het liftensysteem 3)

code	A	L	M	N	O
aantal personenliften in					
hoge zone	3	4	5	5	3
lage zone	2	0	0	0	3
aantal goederenliften in					
hoge zone	0	1	0	1	0
lage zone	1	0	0	0	0
totaal aantal liften	6	5	5	6	6
zonegrens	11	0	0	0	11
verschil met situatie A:	-----	1 personenlift defect	goederenlift defect	geen zone-indeling	goederenlift heeft dezelfde snelheid als personenliften

1), 2), 3) zie volgende blz.

- 1) Voor alle gesimuleerde oppiek-situaties geldt:
  - . tijden van de liftbeweging volgens bijlage 2.
  - . aantallen personen per etage volgens bijlage 4.
  - . het interval gedurende hetwelk een lift op de begane grond wordt vastgehouden bedraagt 25 seconden.
  - . een lift kan direct van de begane grond vertrekken bij 16 of meer passagiers.
  - . de "oproepkans" bedraagt  $10^{-5}$  (verg. bijlage 3), hetgeen gemiddeld één oproep per rondrit inhoudt.
  - . in een lift kunnen zich maximaal 19 personen bevinden.
  - . de nummers van de aankomstverdelingen corresponderen met bijlage 1.
  
- 2) Voor de situaties onder a) geldt naast punt 1):
  - . er zijn steeds 5 personenliften en 1 goederenlift.
  - . indien de zonegrens op etage 0 ligt, dan bedienen alle liften alle etages.
  - . indien de zonegrens op etage 11 ligt, dan bedienen 3 liften de hoge zone (etages 11 t/m 21),  
2 liften de lage zone (etages 1 t/m 11) en dan bedient de goederenlift de etages 1 t/m 10.
  
- 3) Voor de situaties onder b) geldt naast het in 1) opgemerkte:
  - . de aankomstverdeling is 3.
  - . het aanwezigheidspercentage is 75.

TABEL 2. OVERZICHT VAN TIJDEN IN DE OPPIEK (gerangschikt naar het 95e percentiel van de wachttijd).

CODE	F	Z <sup>1)</sup>	E	O <sup>2)</sup>	N <sup>2)</sup>	A <sup>2)</sup>	D	K	M <sup>2)</sup>	J	L <sup>2)</sup>	C	I	H	T
aankomstverdeling	8	16	7	3	3	3	6	3	3	12	3	5	11	10	13
WACHTTIJD															
gemiddeld	2	3	2	14	13	17	23	28	30	32	41	55	38	180	736
95e percentiel	14	18	21	67	70	75	79	100	113	135	137	146	192	515	1541
TRANSPORTTIJD															
gemiddeld	85	87	83	89	112	90	104	98	120	106	124	110	111	115	143
TOTALE TIJD															
gemiddeld	87	90	85	103	125	107	127	126	150	138	165	165	149	295	879
95e percentiel	166	175	156	198	256	213	225	249	286	284	320	288	348	639	1728

1) De getallen in deze kolom zijn gebaseerd op 4 simulatie-runs.

Voor resultaten per afzonderlijke run zie Tabel 3.

2) De getallen in deze kolom zijn gebaseerd op 3 simulatie-runs.

TABEL 3. TIJDEN PER AFZONDERLIJKE SIMULATIE-RUN IN DE OPPIEK.

CODE	Z					O				N			
	run1	run2	run3	run4	4runs	run1	run2	run3	3runs	run1	run2	run3	3runs
WACHTTIJD													
gemiddeld	1	2	5	3	3	12	15	15	14	20	12	9	13
95e percentiel	11	12	35	23	18	55	76	70	67	100	60	47	70
TRANSPORTTIJD													
gemiddeld	86	84	89	91	87	90	89	87	89	110	115	111	112
TOTALE TIJD													
gemiddeld	87	86	94	94	90	102	104	102	103	130	127	120	125
95e percentiel	168	164	199	179	175	191	198	207	198	270	253	237	256

CODE	A				M				L			
	run1	run2	run3	3runs	run1	run2	run3	3runs	run1	run2	run3	3runs
WACHTTIJD												
gemiddeld	19	14	17	17	16	46	27	30	38	54	30	41
95e percentiel	81	65	79	75	67	133	104	113	135	145	105	137
TRANSPORTTIJD												
gemiddeld	92	89	90	90	122	123	116	120	123	126	122	124
TOTALE TIJD												
gemiddeld	111	103	107	107	138	169	143	150	161	180	152	165
95e percentiel	216	197	222	213	257	324	279	286	310	343	279	320



TABEL 4. GEMIDDELDE TIJDEN PER ZONE IN DE OPPIEK.

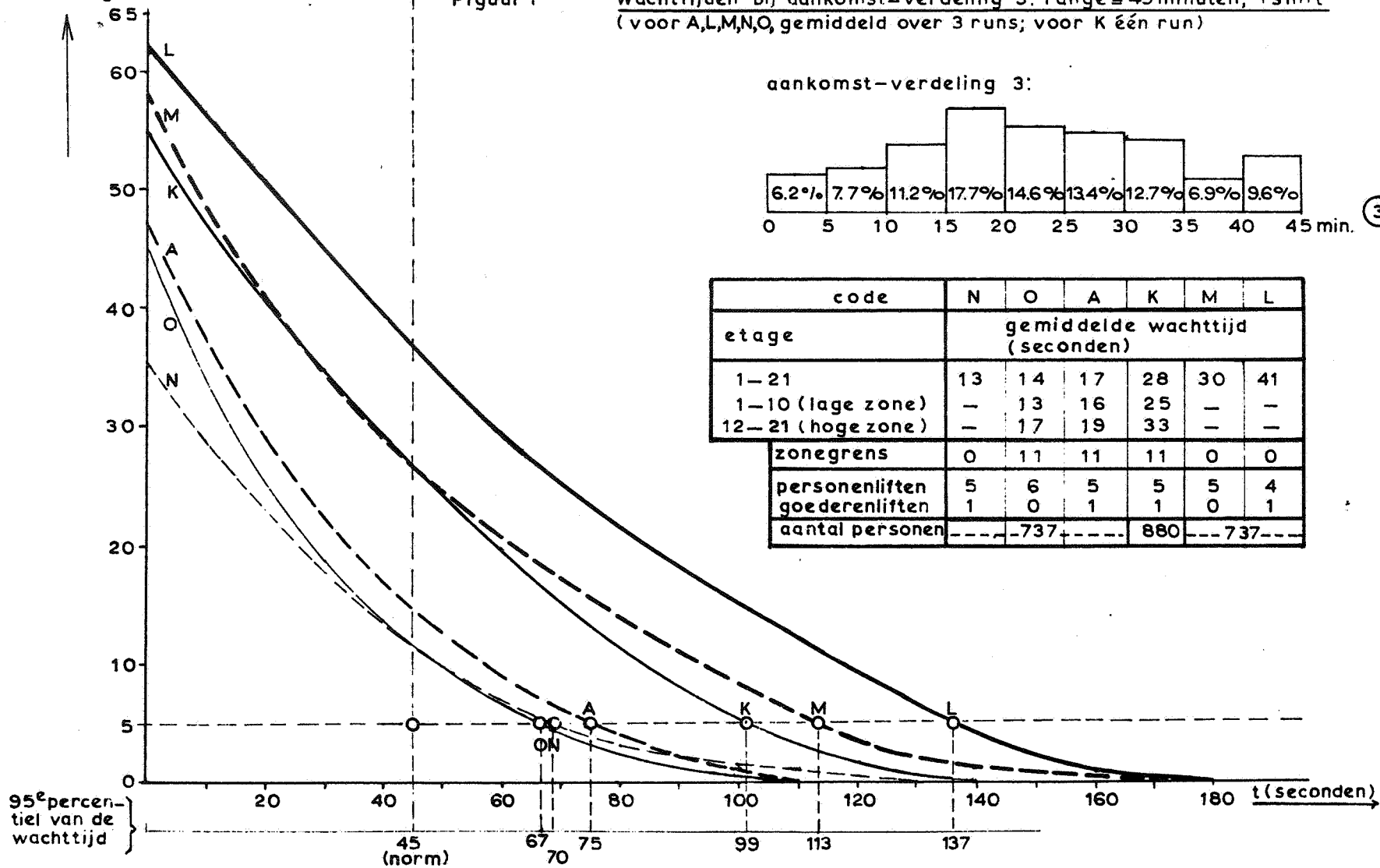
CODE	Q		A		D		K		C		H	
	1-10	12-21	1-10	12-21	1-10	12-21	1-10	12-21	1-10	12-21	1-10	12-21
etage												
gemiddelde wachttijd	13	17	16	19	24	21	25	33	65	41	191	170
gemiddelde transporttijd	78	100	83	101	99	113	88	113	105	119	107	129
gemiddelde totale tijd	91	117	99	120	123	134	113	146	170	160	298	299

TABEL 5. GEMIDDELDE TIJDEN PER SHIFT IN DE OPPIEK.

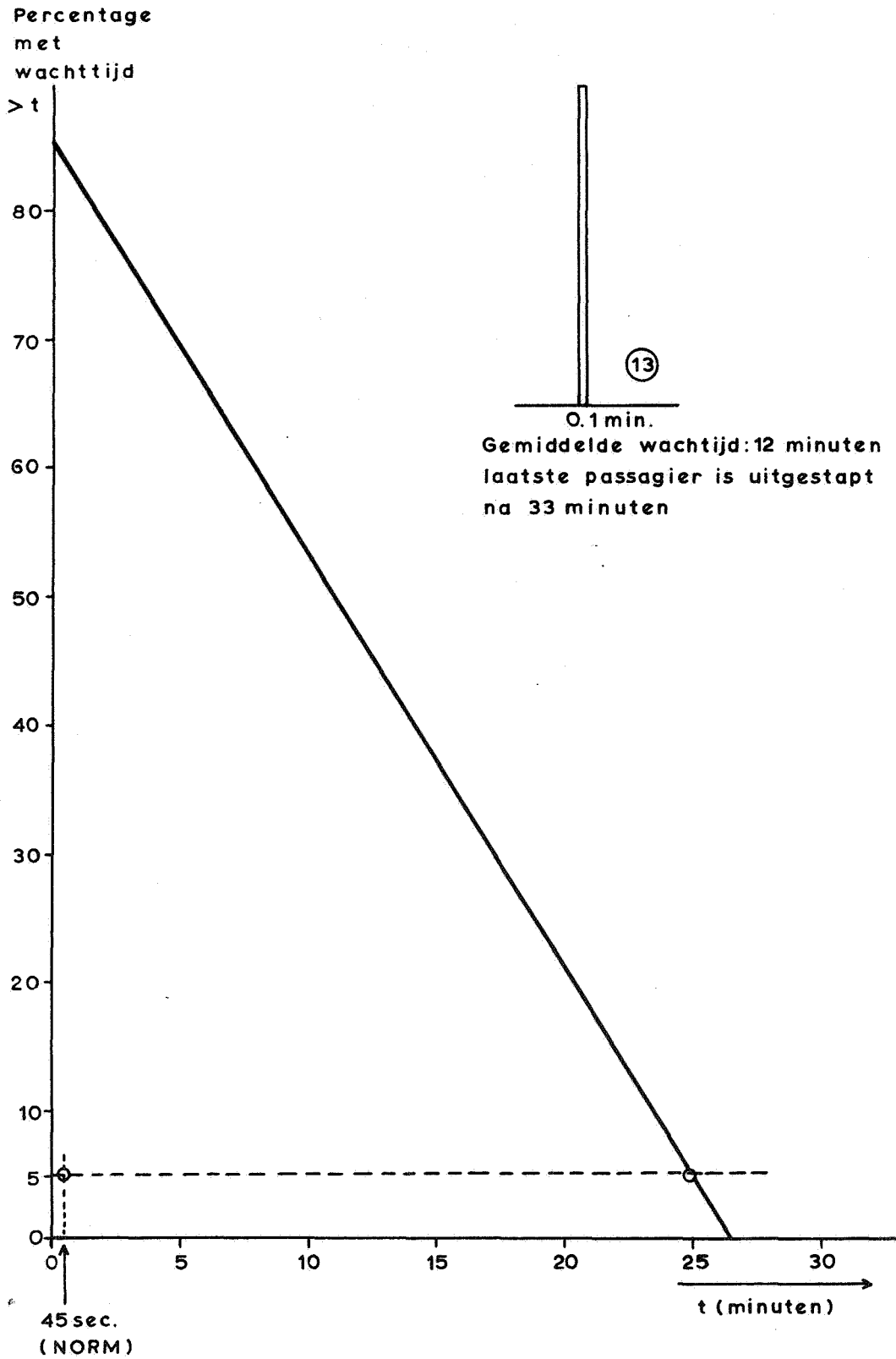
CODE	Z		F				E				I		J	
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2
shift *)														
etage	1-8	9-21	16-21	10-15	5-9	1-4	16-21	10-15	5-9	1-4	9-21	1-8	1-8	9-21
gemiddelde wachttijd	0	4	1	1	3	3	1	3	4	1	39	21	0	65
gemiddelde transporttijd	55	110	100	98	83	55	100	89	82	51	115	95	77	136
gemiddelde totale tijd	55	114	101	99	86	58	101	92	86	52	154	116	77	201

\*) De shift met het laagste nummer begint het vroegst, etc.

percentage met wachttijd > t

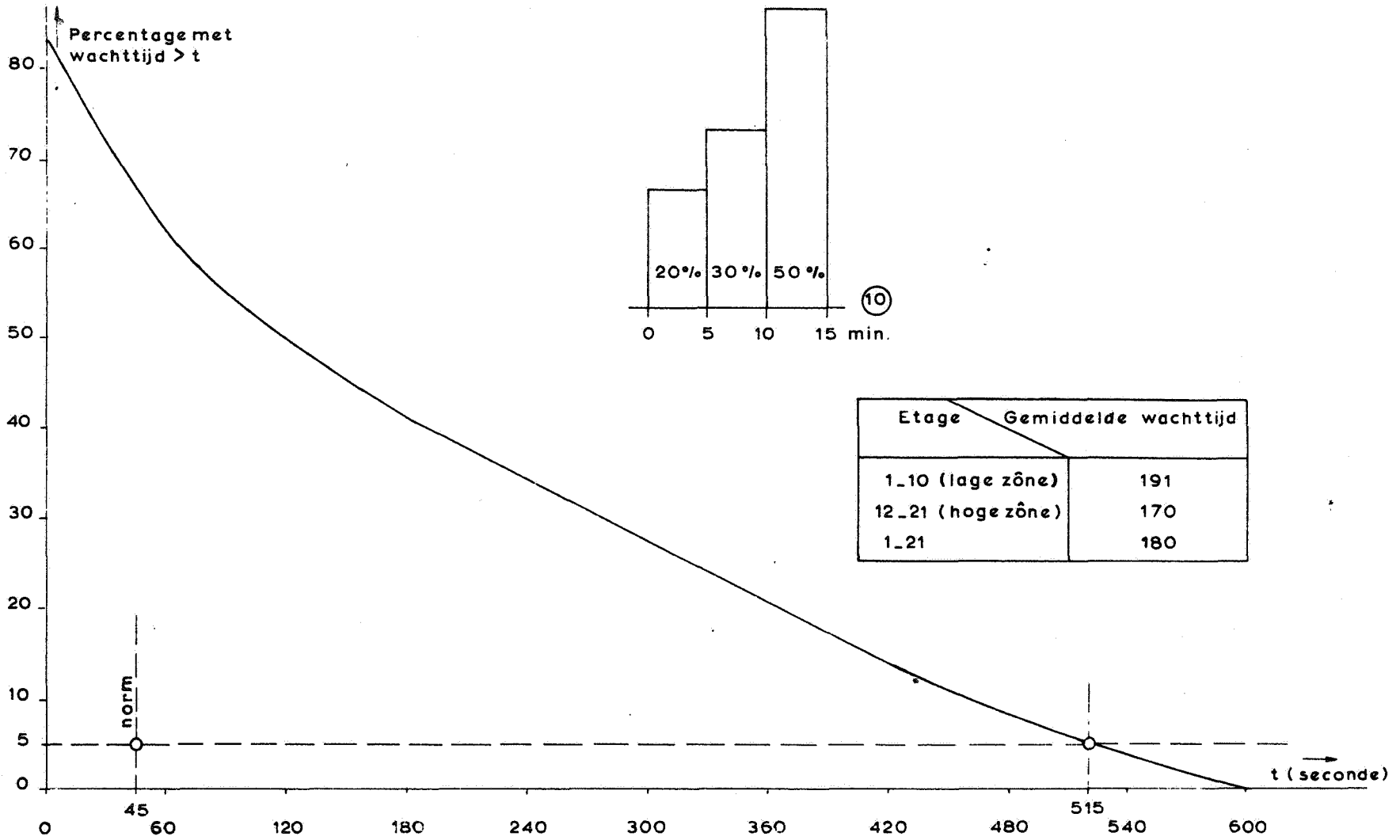


Figuur 2. Wachttijden in situatie T: range = 1 minuut ; 1 shift



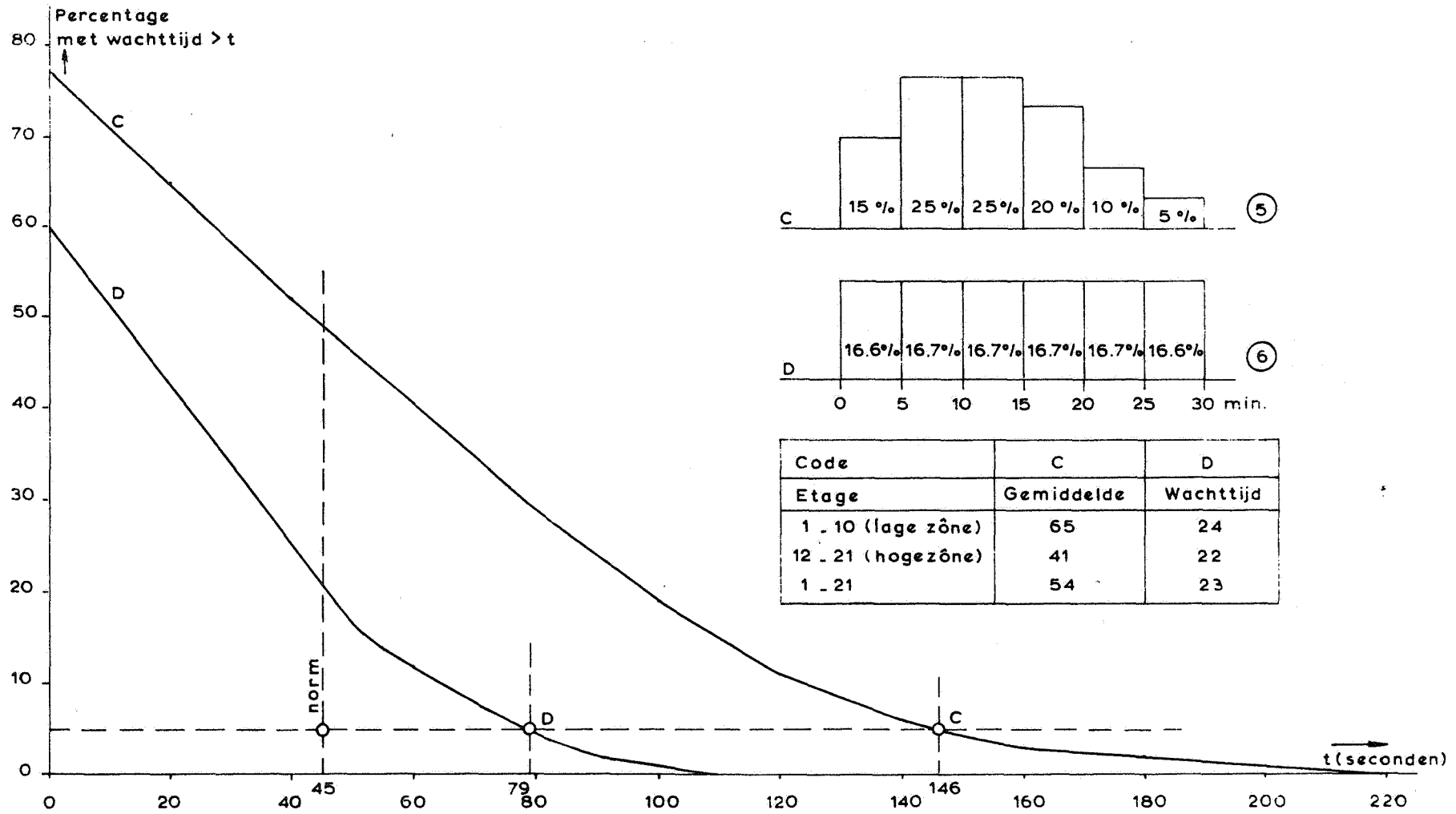
Figuur 3

Wachttijden in situatie H: range=15minuten; 1 shift



Figuur 4

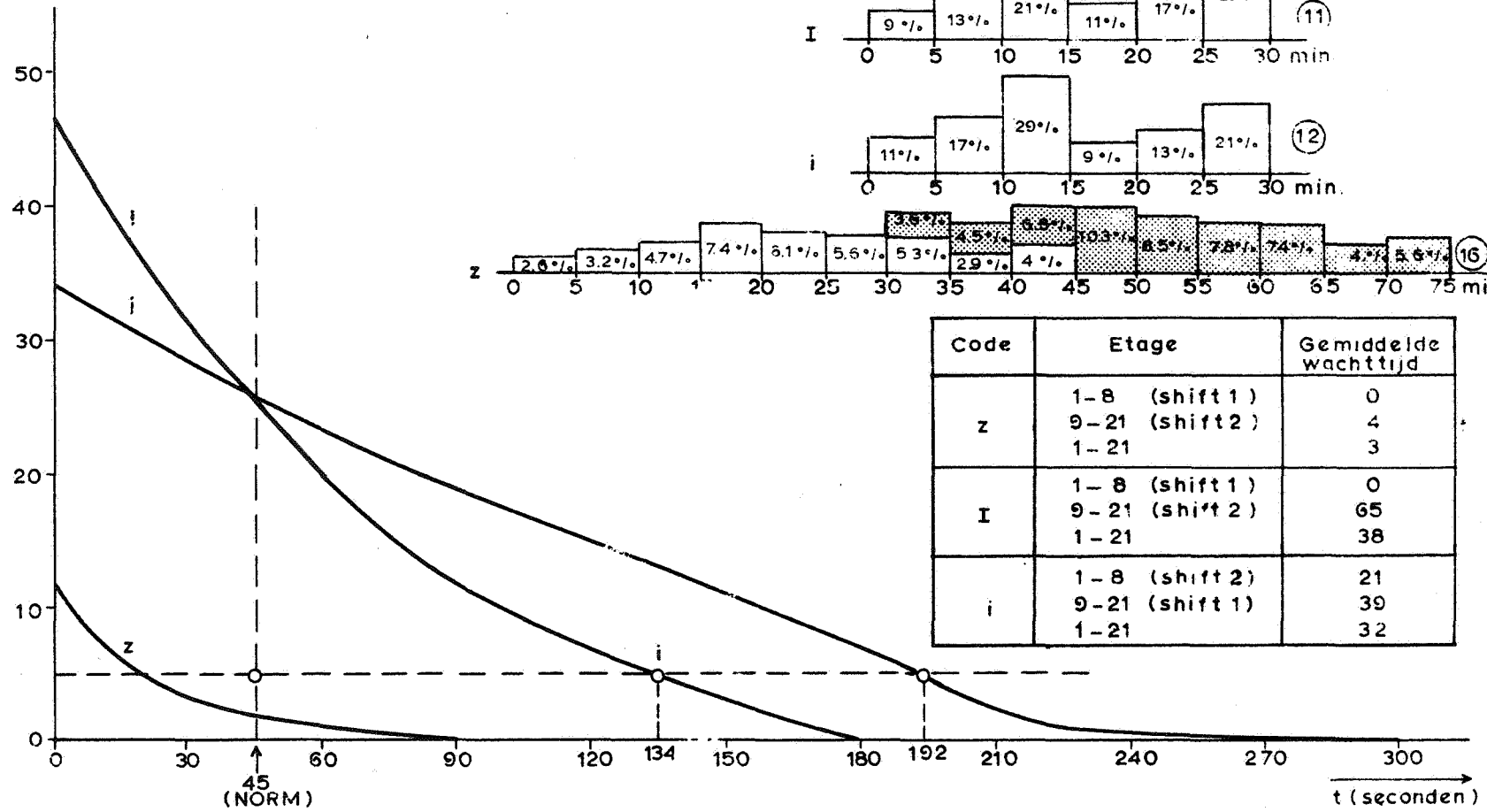
Wachttijden in de situaties C en D: range = 30 minuten; 1 shift



Figuur 5

Wachttijden in situatie z: range = 75 minuten; 2 schiften en wachttijden in de situaties I en i: range = 30 minuten; 2 schiften.

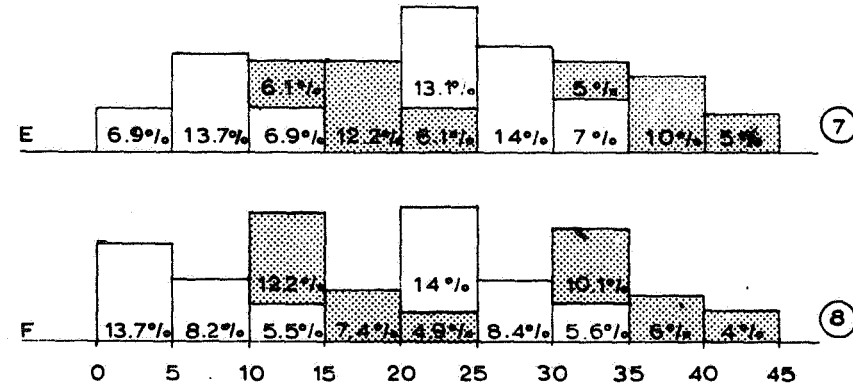
Percentage met wachttijd > t



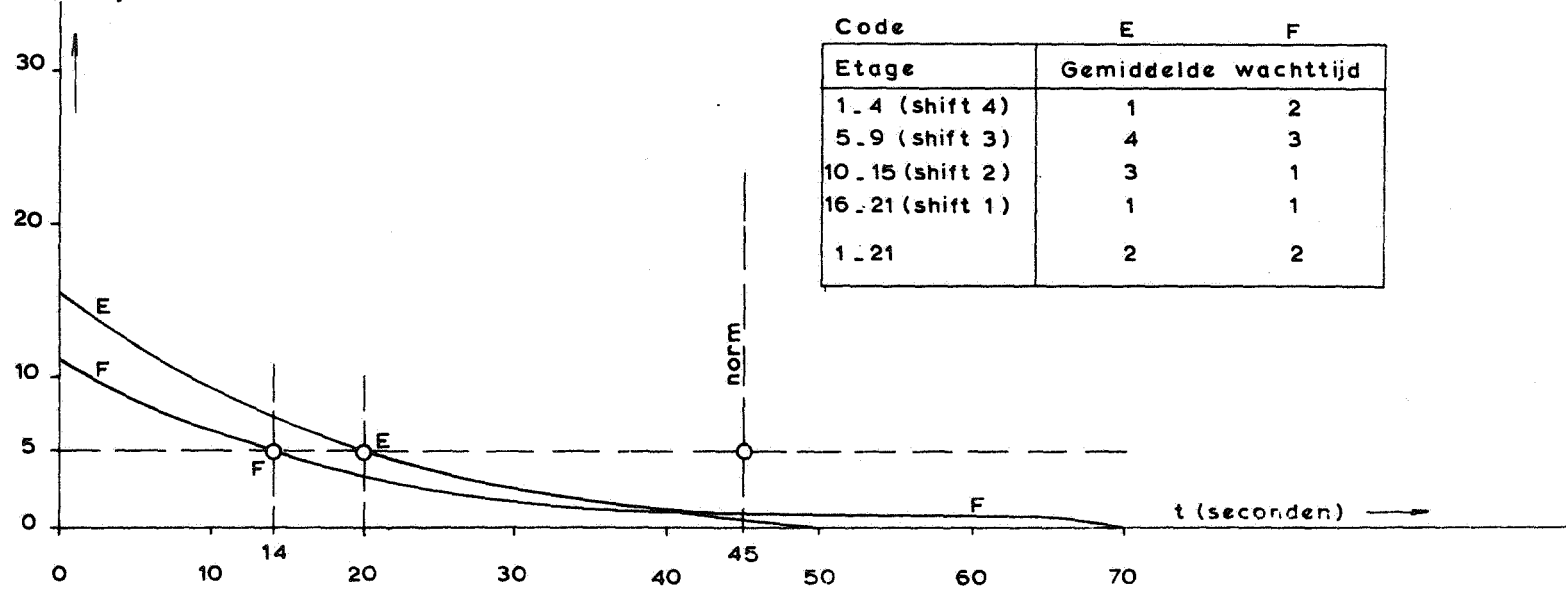
111

Figuur 6.

Wachttijden in de situaties E en F: range = 45 minuten; 4 shifts



Percentage met  
wachttijd > t

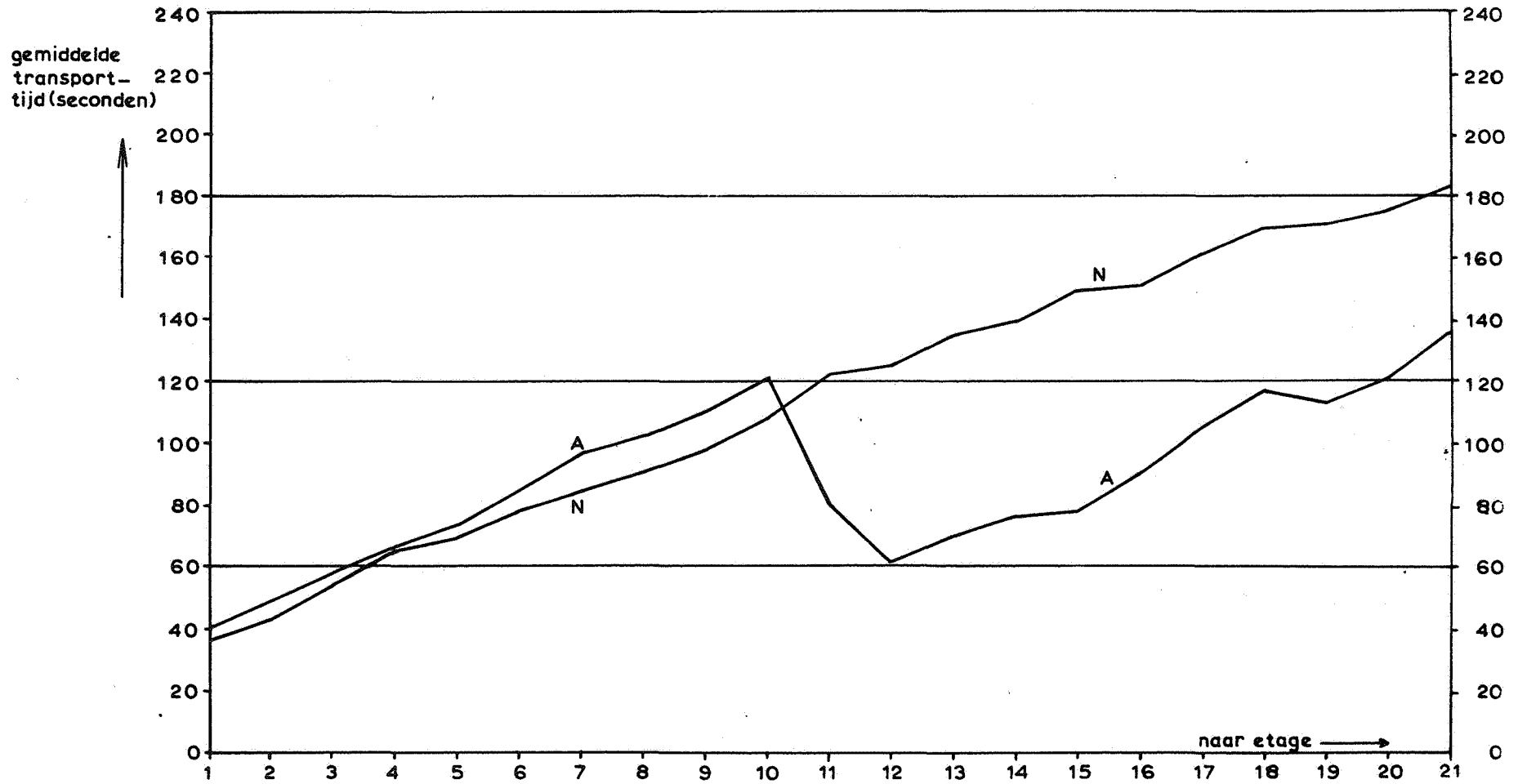


Code	E	F
Etage	Gemiddelde wachttijd	
1-4 (shift 4)	1	2
5-9 (shift 3)	4	3
10-15 (shift 2)	3	1
16-21 (shift 1)	1	1
1-21	2	2

Figuur 7

Gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages voor aankomstverdeling 3

A : zonegrens op etage II  
N : zonegrens op begane grond



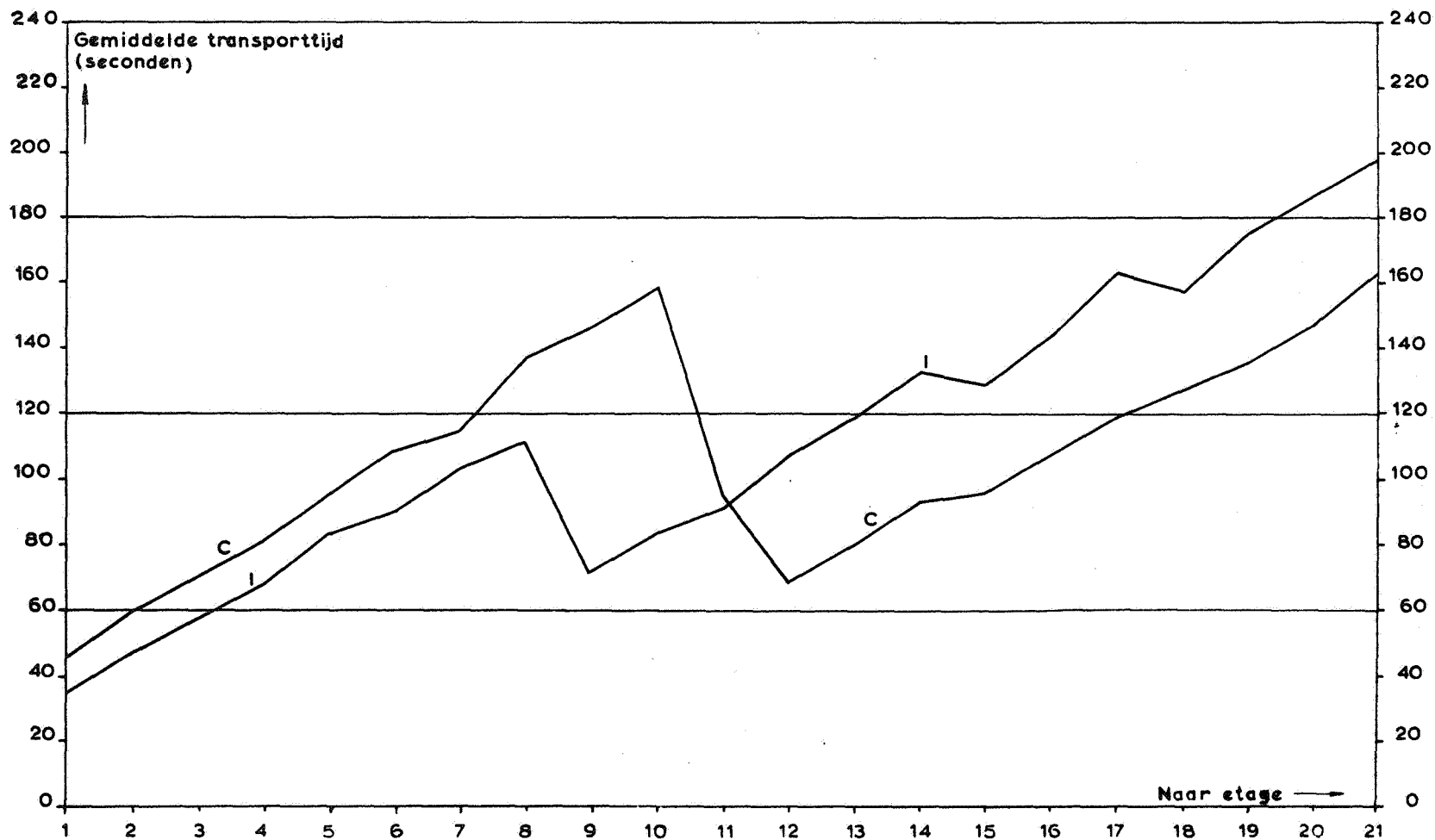


Figuur 8

Gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages voor  
aankomstverdelingen met een range van 30 minuten

C: geen werktijdenspreiding (aankomstverdeling 5)

I: 2 shifts (aankomstverdeling 11)

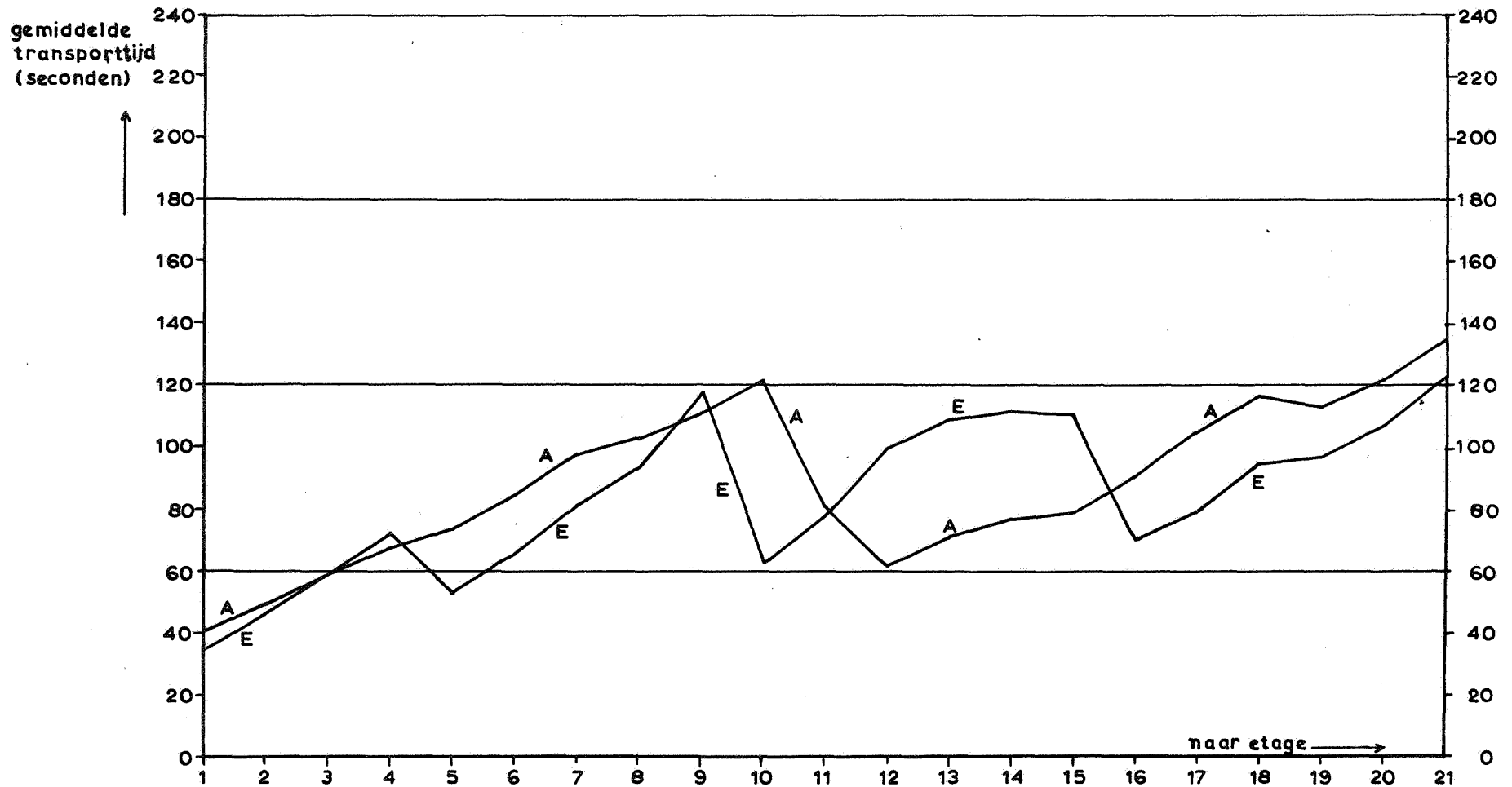


Figuur 9

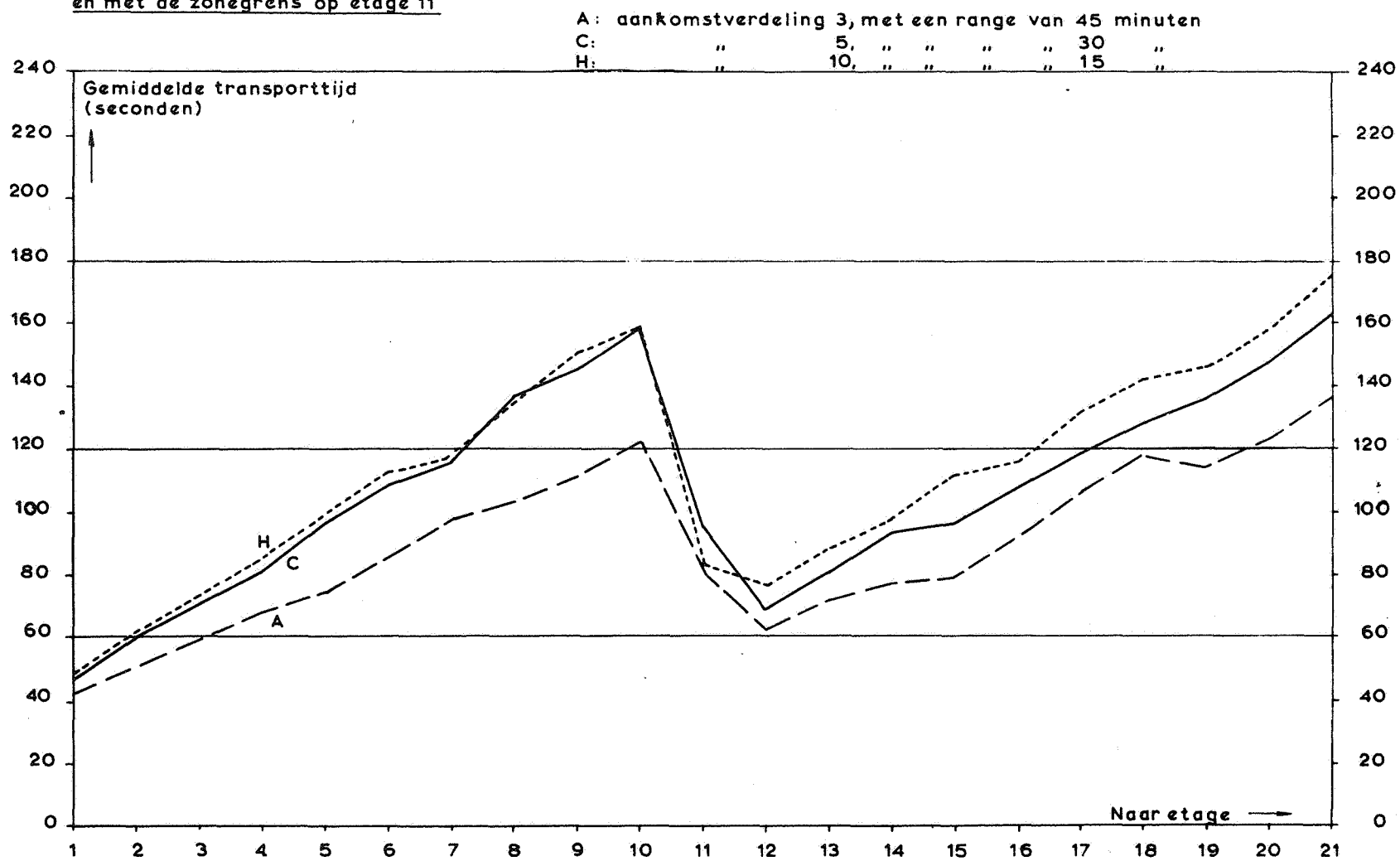
Gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages voor aankomstverdelingen met een range van 45 minuten.

A : geen werktijdspreiding (aankomstverdeling 3)

E : 4 shifts (aankomstverdeling 7)



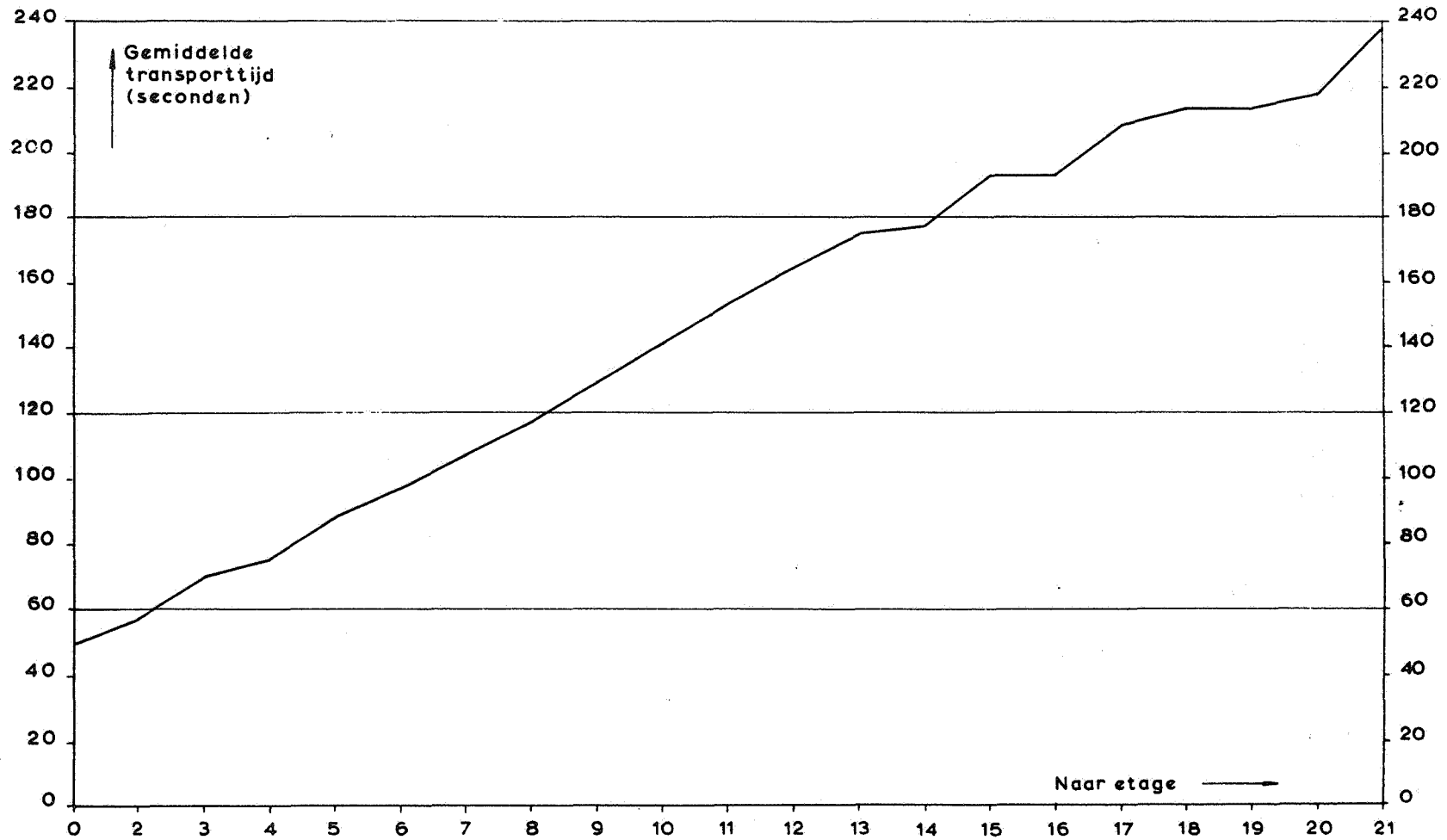
Figuur 10. Gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages voor situaties zonder werktijdenspreiding en met de zonegrens op etage 11



Figuur 11

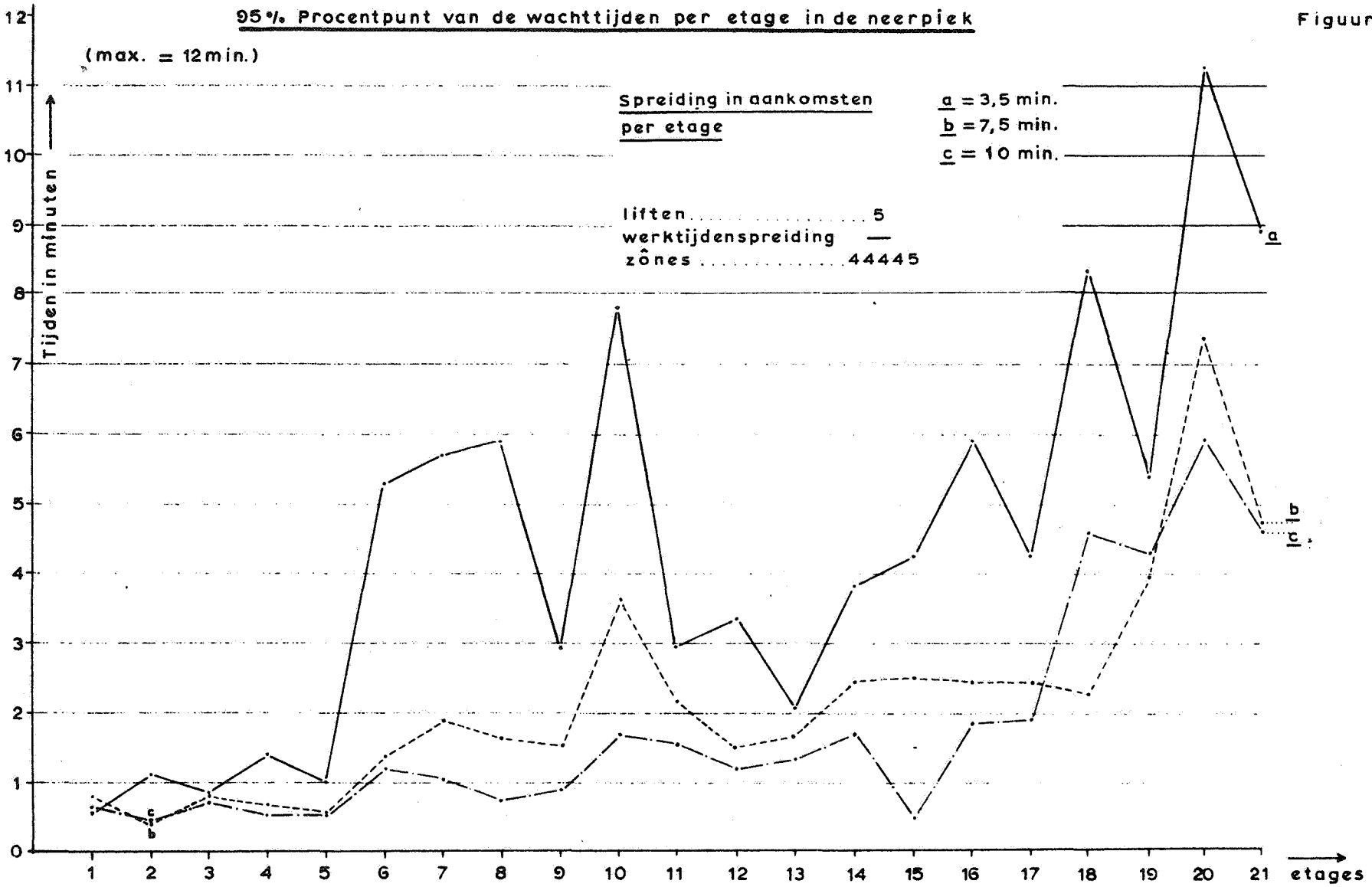
Gemiddelde transporttijd van de begane grond naar de etages voor de ongunstigste situatie

T: aankomsten binnen 1 minuut, geen zônes.



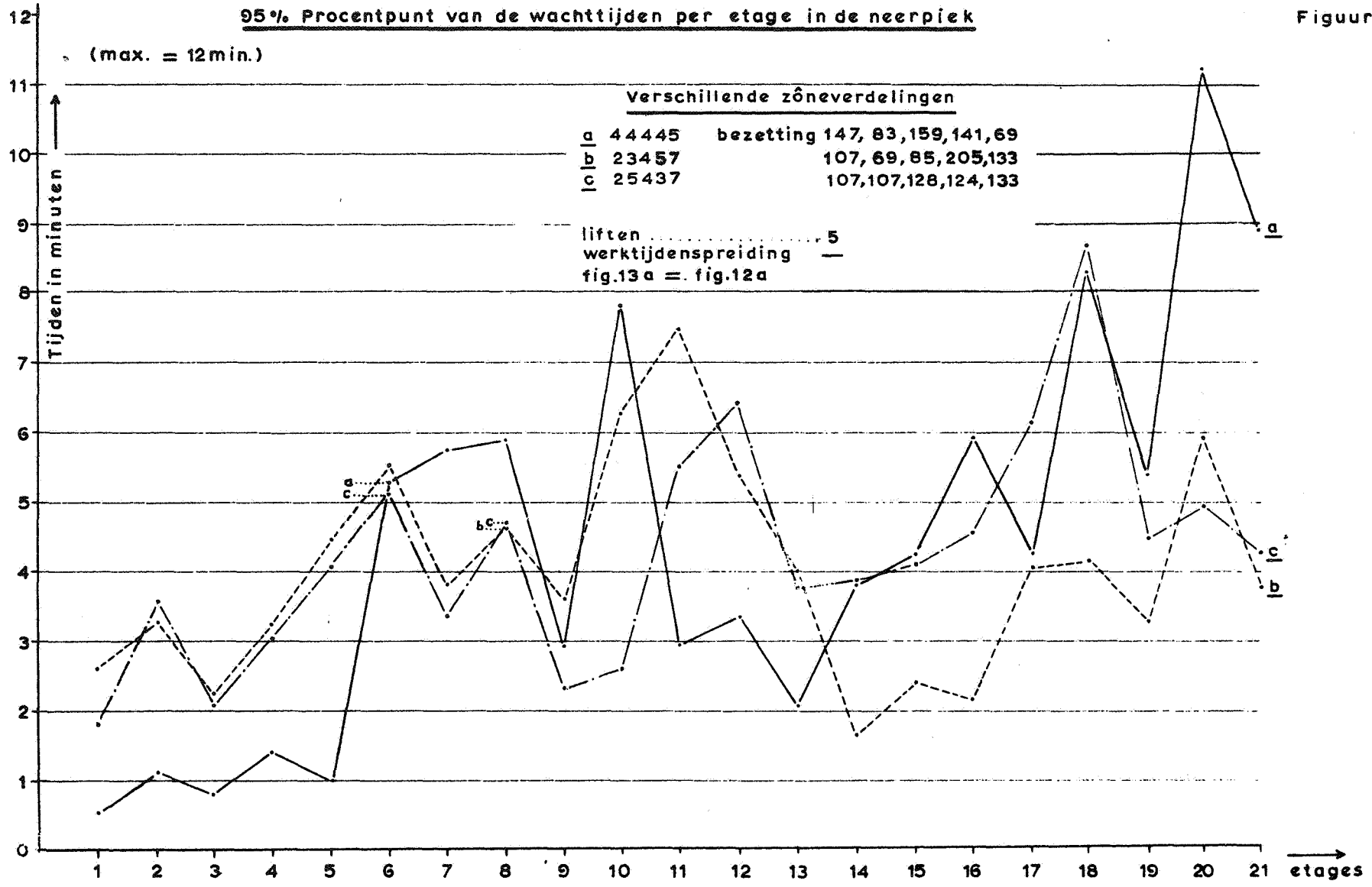
Tabel V. Overzicht van de neerpieksimulaties.

Figuur No.	Liften	Zones	Werktijdspreiding	Spreiding in vertrek	Bezettingsgraad	Opg. Pass.
12a, 13a, 14a, 20b	5	44445	---	3,5 min.	75%	0
12b	5	44445	---	7,5 min.	75%	0
12c	5	44445	---	10 min.	75%	0
13b	5	23457	---	3,5 min.	75%	0
13c	5	25437	---	3,5 min.	75%	0
14b	5	-	---	3,5 min.	75%	0
15a	5	44445	0(1-8), 15(9-21)	3,5 min.	75%	0
15b	5	44445	0(9-21), 15(1-8)	3,5 min.	75%	0
15c	5	44445	0(16-21), 5(10-15), 10(5-9), 15(1-4)	3,5 min.	75%	0
16a, 18b	5	-	0(1-8), 15(9-21)	3,5 min.	75%	0
16b	5	-	0(9-21), 15(1-8)	3,5 min.	75%	0
17a, 18a	6	-	0(1-8), 15(9-21)	3,5 min.	75%	70
17b	6	-	0(9-21), 15(1-8)	3,5 min.	75%	70
19a	4	44445	---	3,5 min.	75%	0
19b	4	-	---	3,5 min.	75%	0
20a	5	44445	---	3,5 min.	90%	0



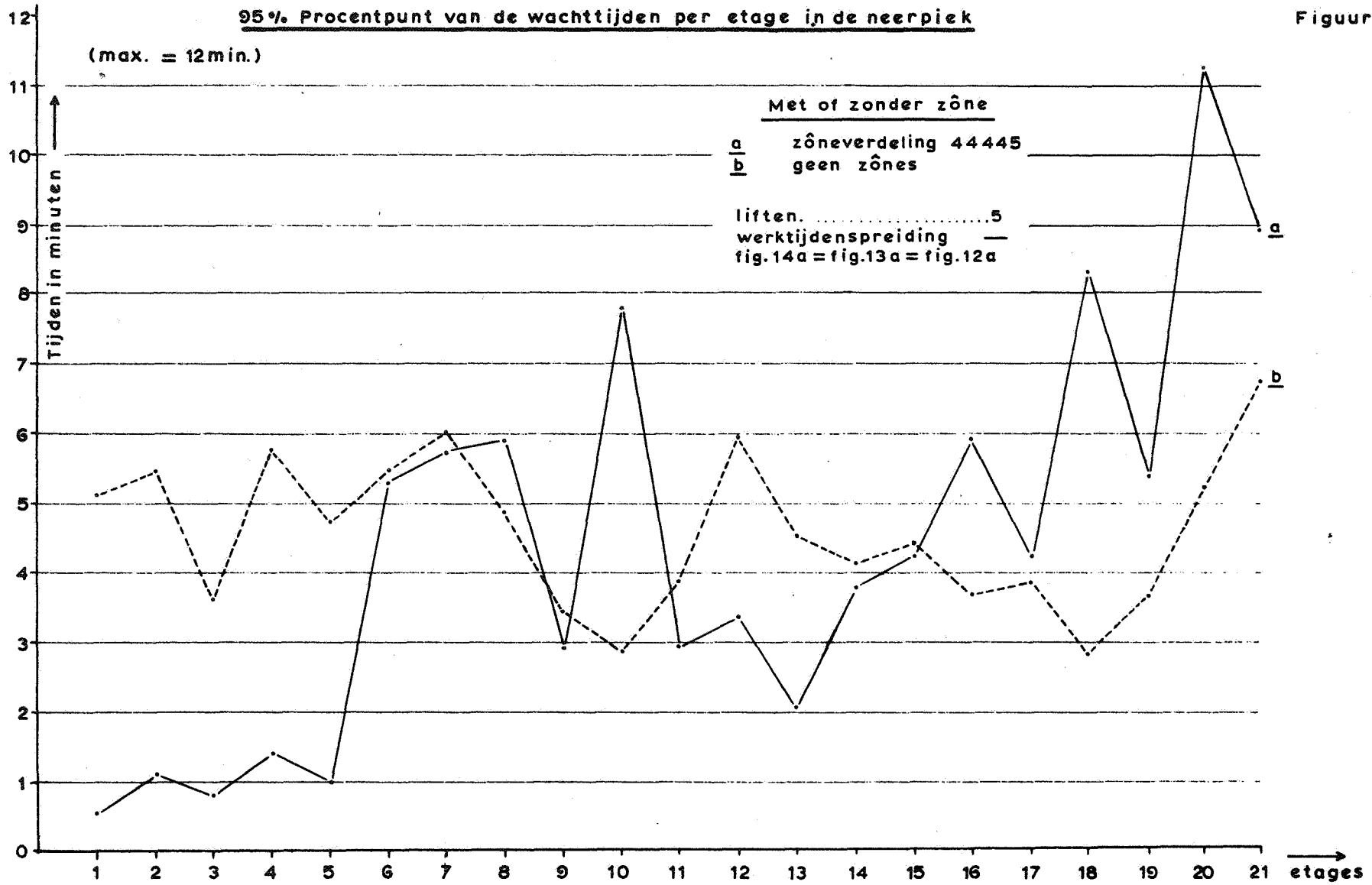
95% Procentpunt van de wachttijden per etage in de neerpiek

Figuur 13

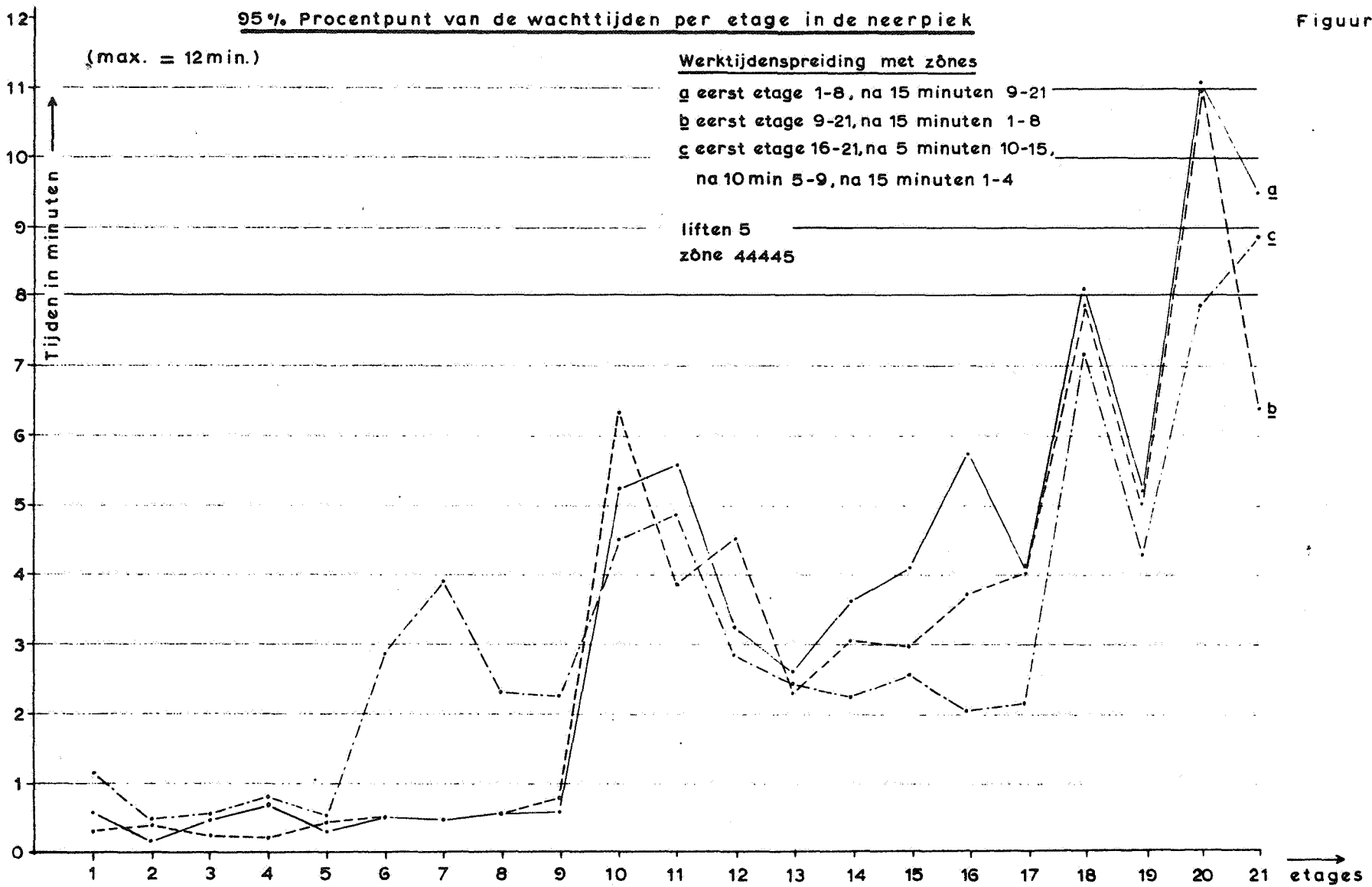


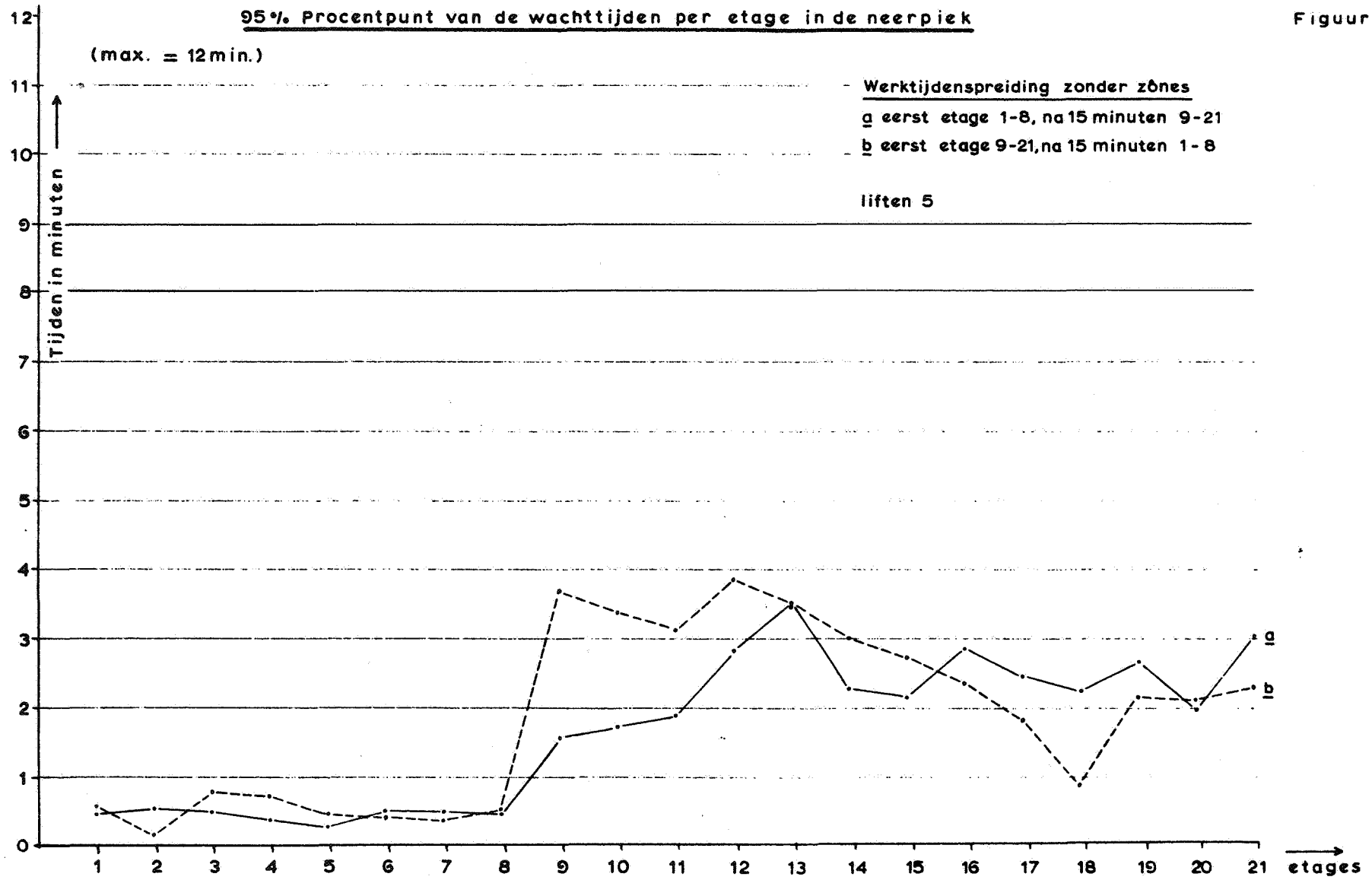
95% Procentpunt van de wachttijden per etage in de neerpiek

Figuur 14



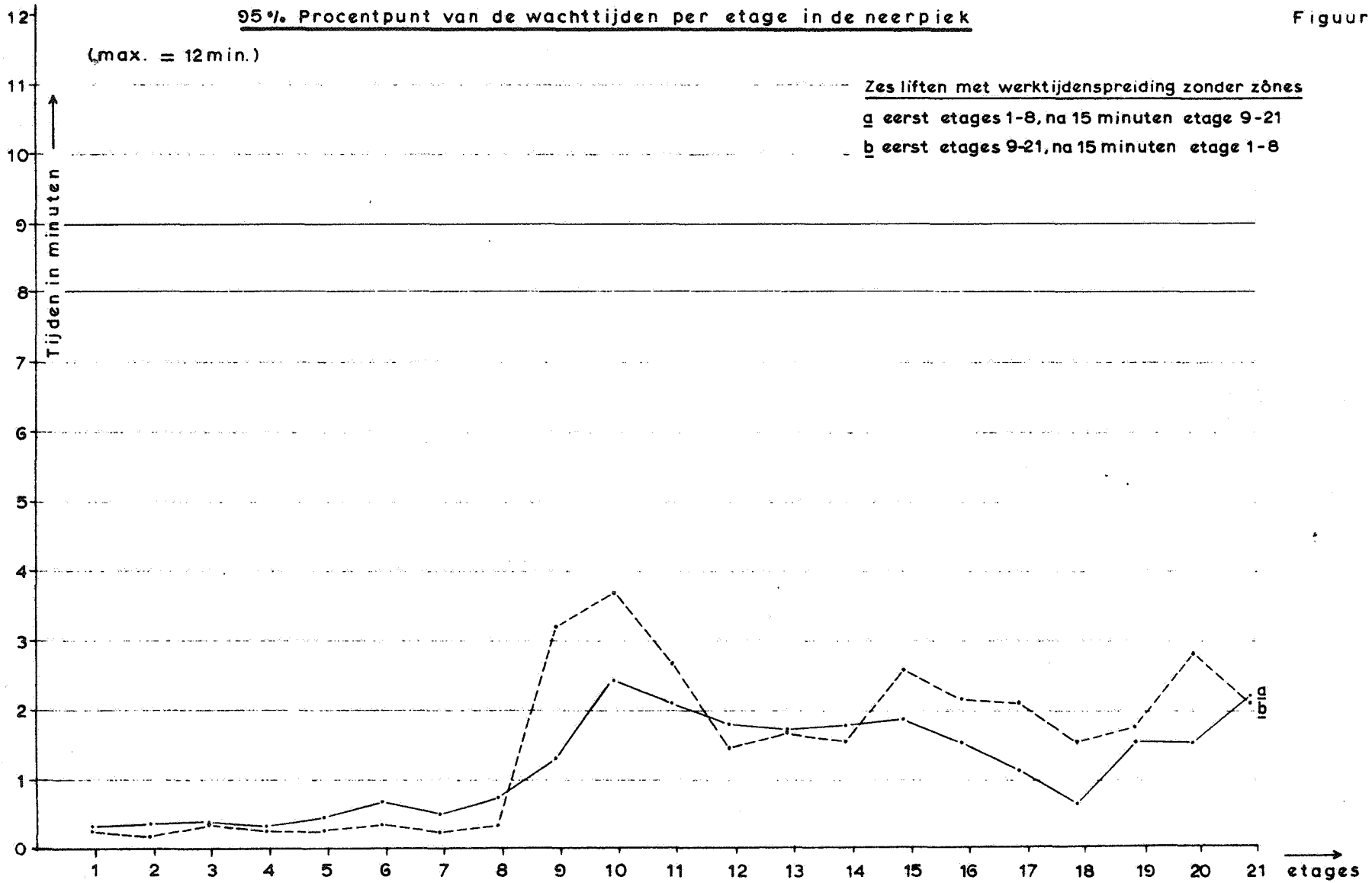


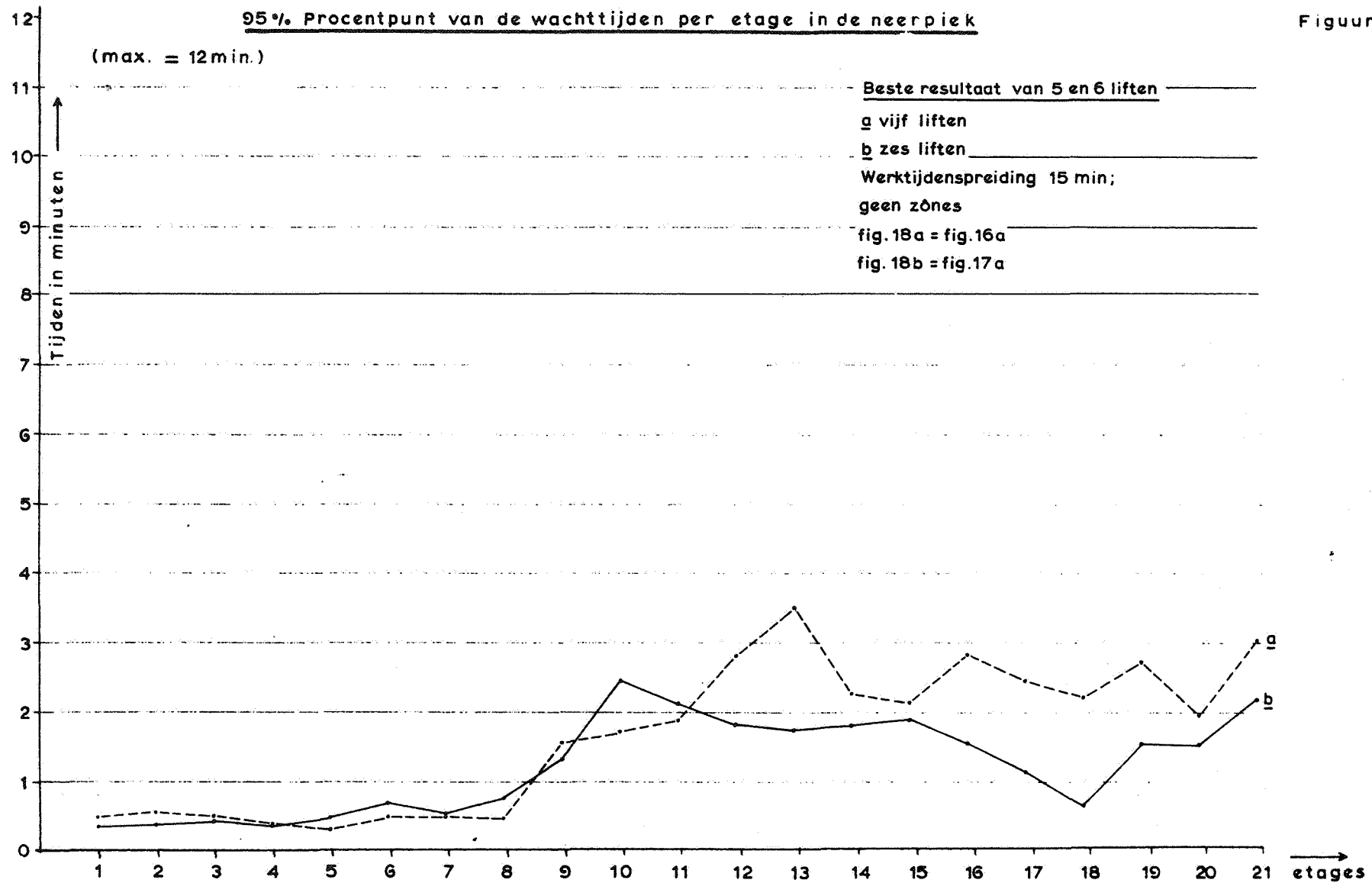


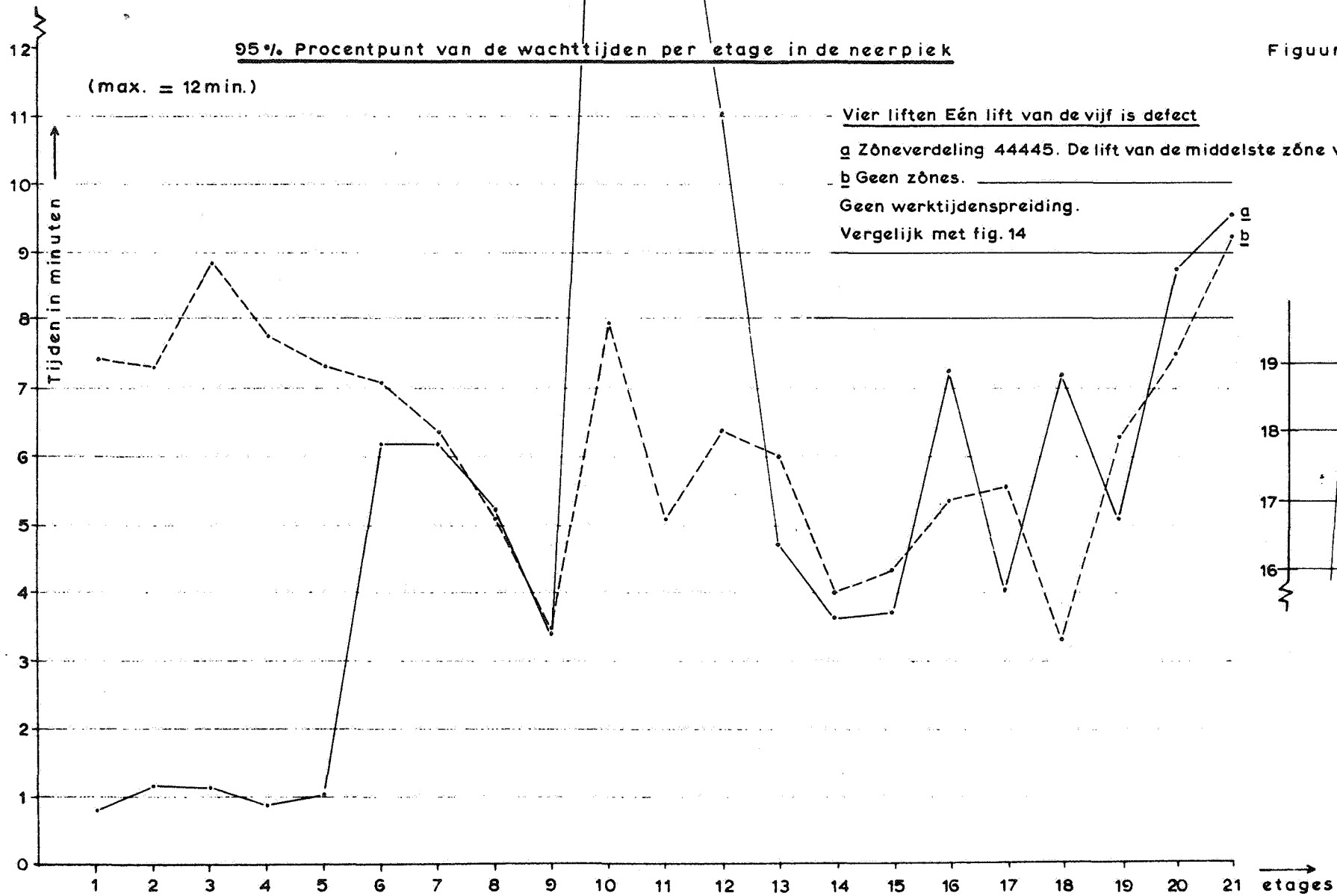


95% Procentpunt van de wachttijden per etage in de neerpiek

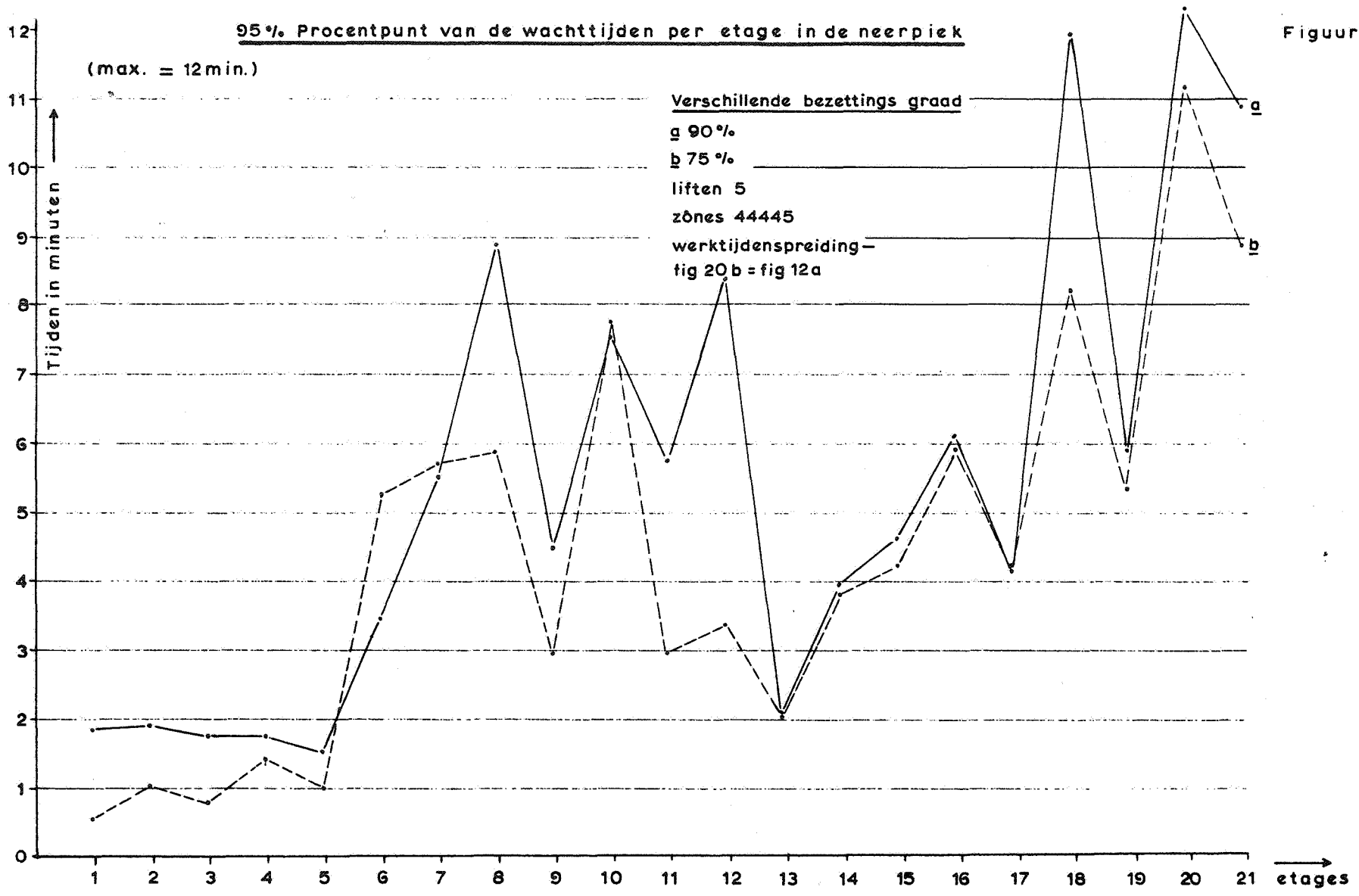
Figuur 17





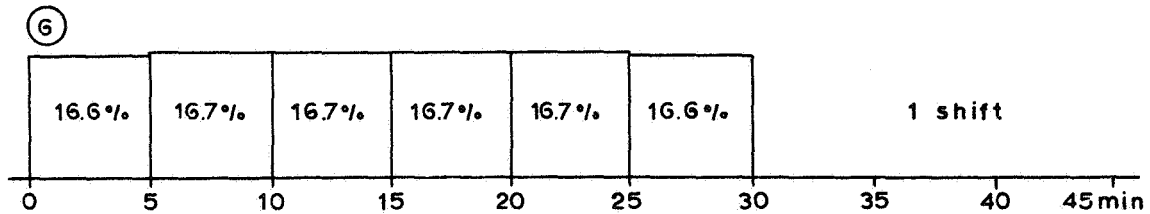
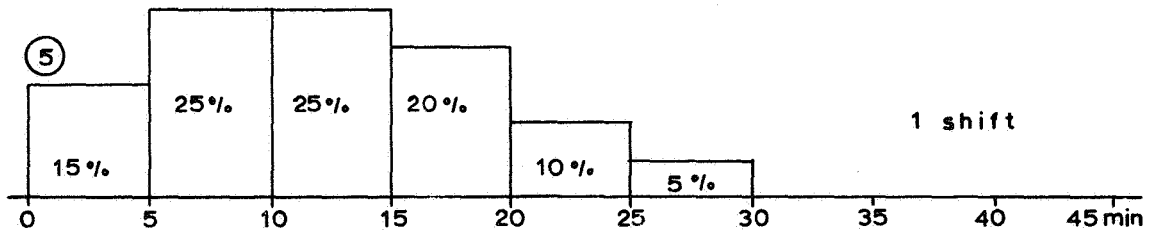
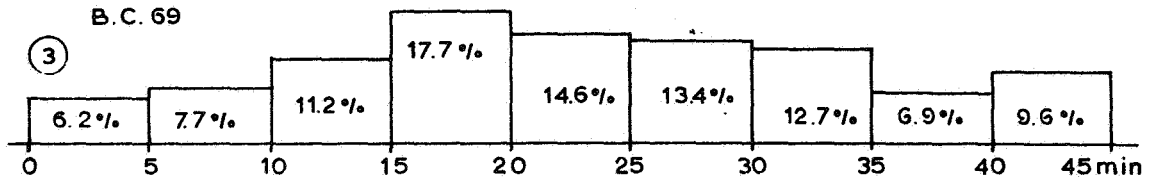


Figuur 19



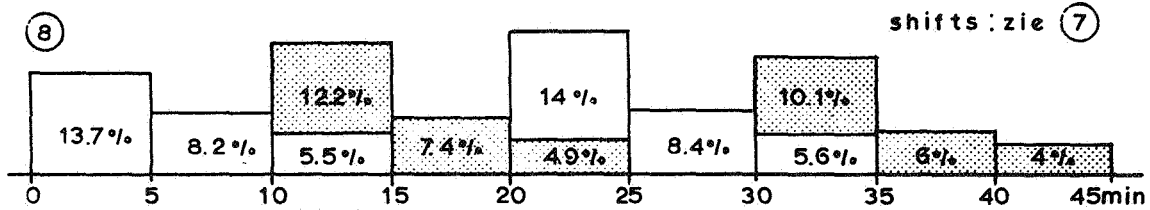
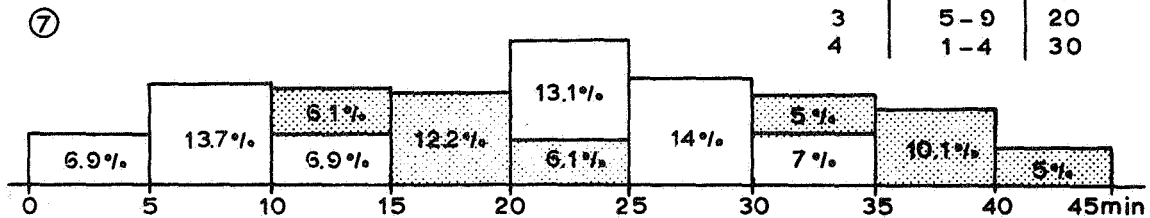
Figuur 20

Bijlage 1<sup>A</sup>  
Aankomstverdelingen

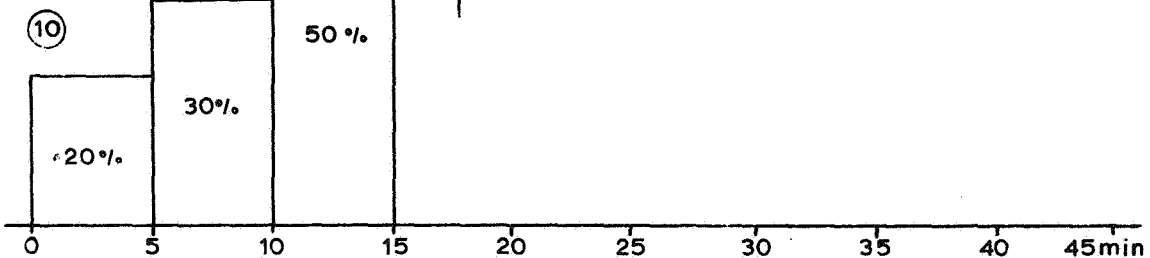


\*)

shift	etage	Δt
1	16-21	0
2	10-15	10
3	5-9	20
4	1-4	30

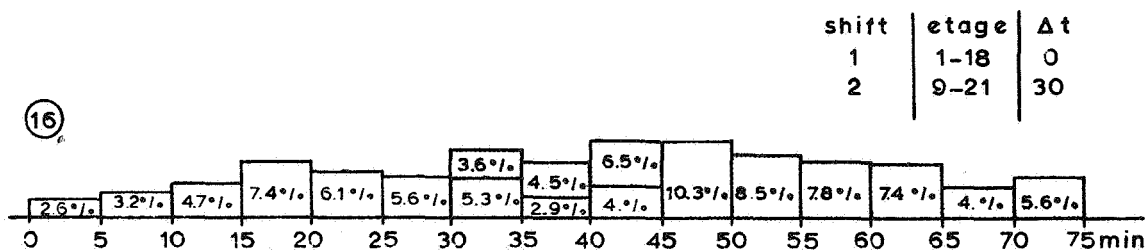
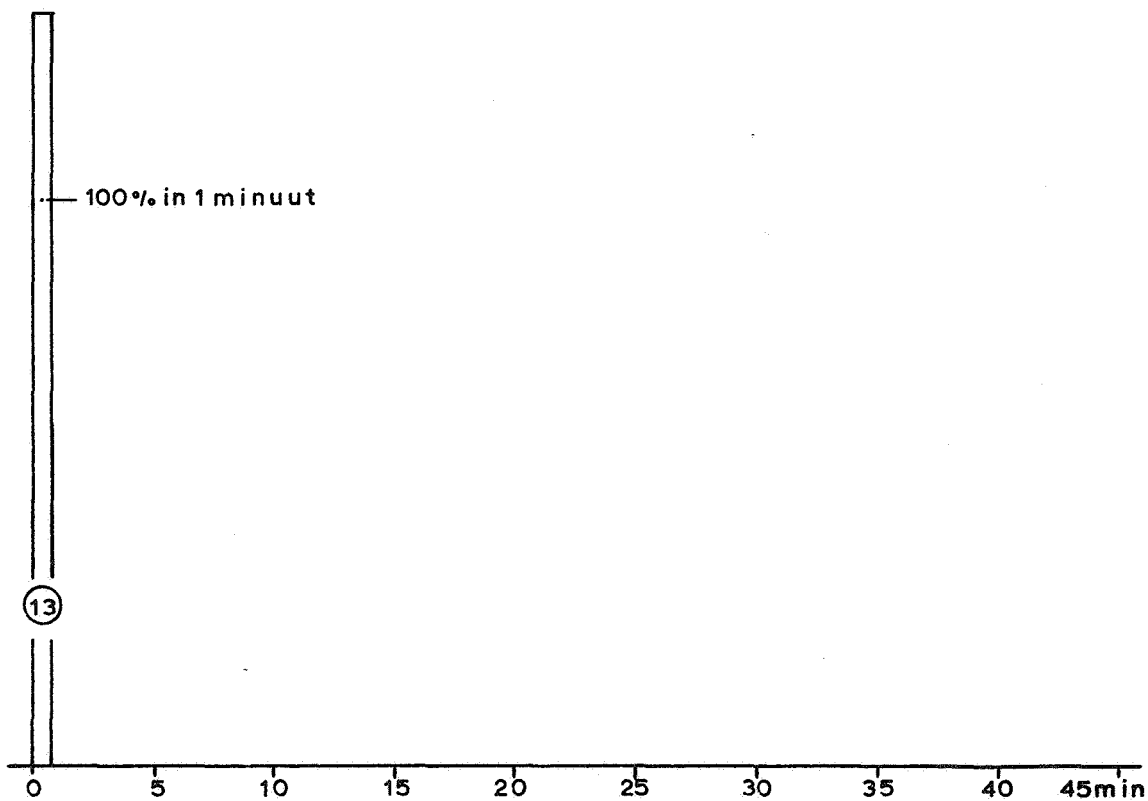
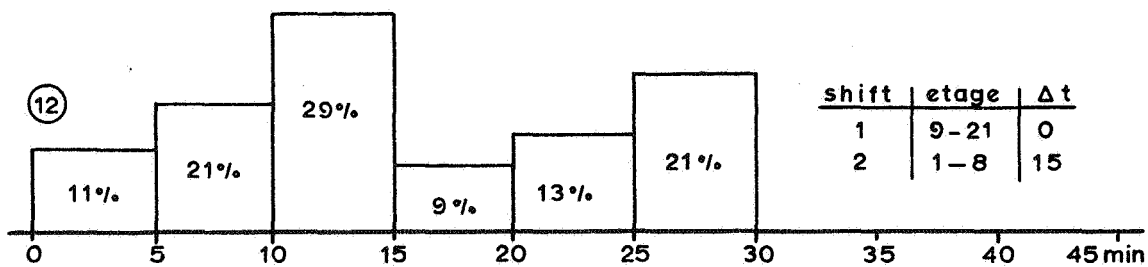
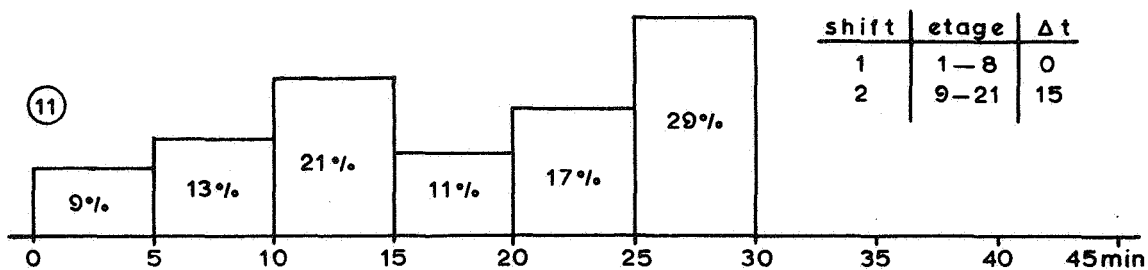


\*) Δt = Aantal minuten dat deze shift later aanvangt dan shift 1



Bijlage 1<sup>A</sup>

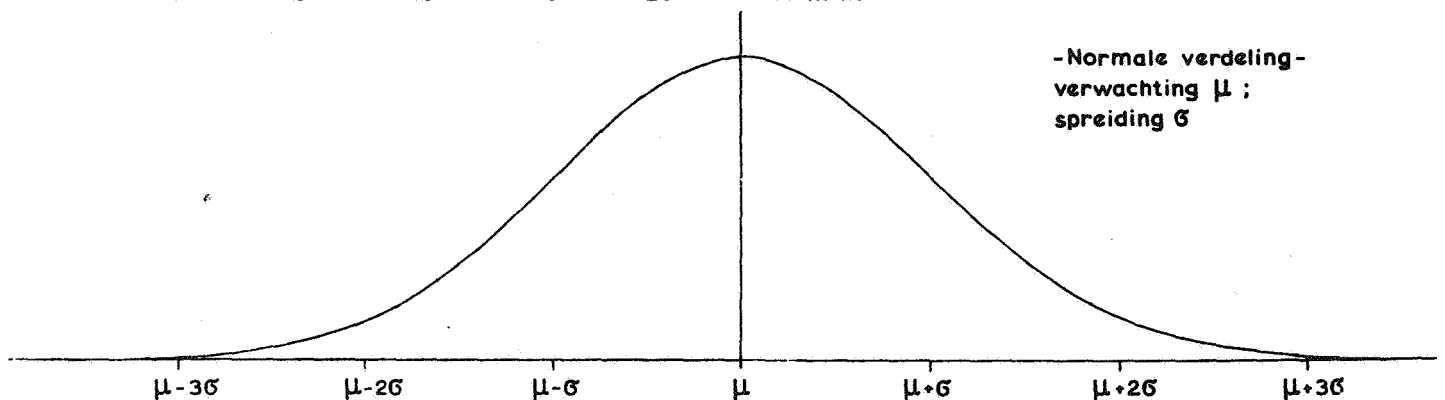
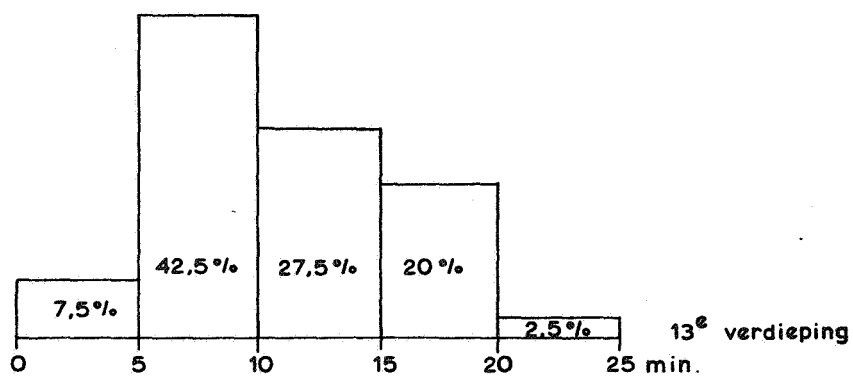
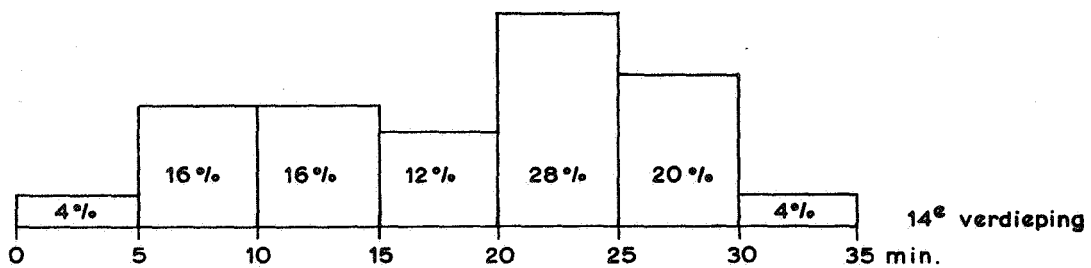
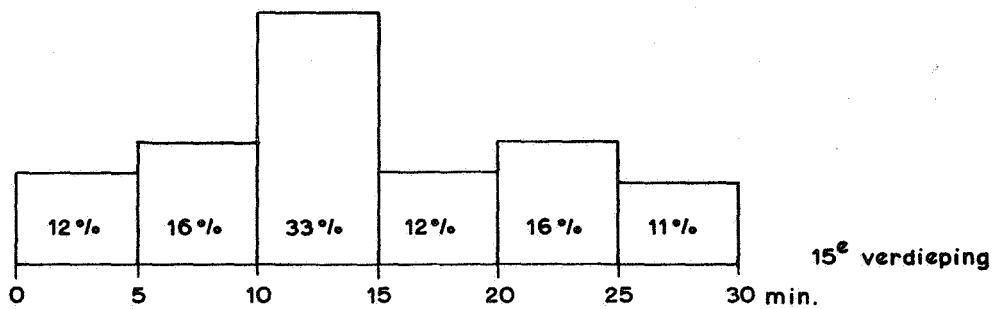
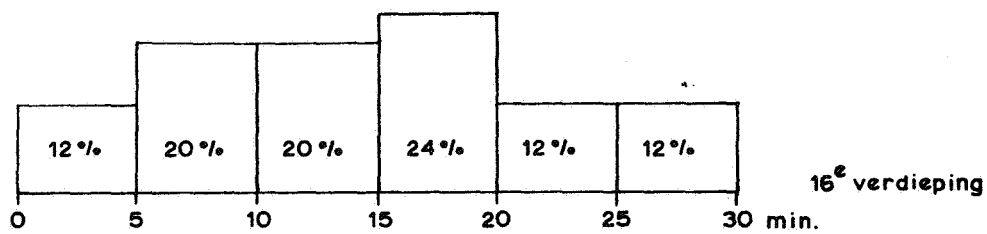
Aankomstverdelingen





Vier frequentieverdelingen van het vertrektijdstip; gemeten op 26-2-1970 in het Transitorium te Den Haag.

Bijlage 1<sup>b</sup>



## Bijlage 2. Tijden bij liftbeweging.

### 1. Liftwerking

In de liftenbeweging zijn de volgende fasen te onderscheiden:

- a. uitstappen
- b. instappen
- c. wachttijd voordat de deuren sluiten (uitsteltijd voor de deur-  
beweging gedurende een zekere tijd, ingaand op het moment dat de  
straal van de foto-elektrische cel niet meer wordt onderbroken).
- d. het sluiten van de deuren
- e. het rijden van de lift en het openen van de deuren

### 2. Deeltijden

Aan de hand van metingen zijn de volgende tijden vastgesteld:

- a. uitstappen:

aangehouden kan worden een gemiddelde uitstaptijd per persoon van  
1,36 sec. (zie ook tabel VI).

- b, c en d. instaptijd + wachttijd + deursluittijd:

aangehouden kan worden een gemiddelde instaptijd per persoon van  
1,78 sec. en als gemiddelde voor wachttijd en deursluittijd samen  
4,66 sec. (zie ook figuur 21)

(afzonderlijke metingen van wachttijd en deursluittijd zijn hiermee  
in overeenstemming).

- e. rijtijd:

de gemiddelde rijtijd over één verdiepingsafstand (3,40m) bedraagt  
8,83 sec.

de gemiddelde rijtijd over twee verdiepingsafstanden bedraagt  
10,00 sec.

Voor n verdiepingsafstanden ( $n \geq 2$ ) bedraagt de gemiddelde rijtijd  
 $10,00 + 1,36 (n-2)$  sec.

Daar de liften met direct floor approach geleverd zullen worden  
dient van bovenstaande rijtijden nog 1.1 sec. te worden afgetrokken.

Voor ritten vanaf de begane grond dient, wegens de grotere ver-  
diepingsafstand (4.80m) hierbij opgesteld te worden: voor een rit

van begane grond naar 1e etage:  $\frac{1.40}{1.5} = 0,93$  sec.

voor overige ritten:  $\frac{1.40}{2.5} = 0,56$  sec.

De metingen zijn door het Bouwcentrum verricht op 21.12.69 in gebouw C.R.M. te Rijswijk en op 7.1.70 in gebouw Transitorium te Den Haag.

Opmerking.

Voor de goederenlift zijn geen metingen verricht. In het programma zijn de volgende (geschatte) tijden aangehouden:

rijtijd over één verdiepingsafstand : 7.73 sec.

rijtijd over twee verdiepingsafstanden: 10.56 sec.

rijtijd over n verdiepingsafstanden :  $10.56 + (n-2) \cdot 2.83$  sec.

Voor ritten vanaf de begane grond wordt bijgeteld:

voor een rit naar de 1e etage: 1,17 sec.

voor overige ritten : 1,08 sec.

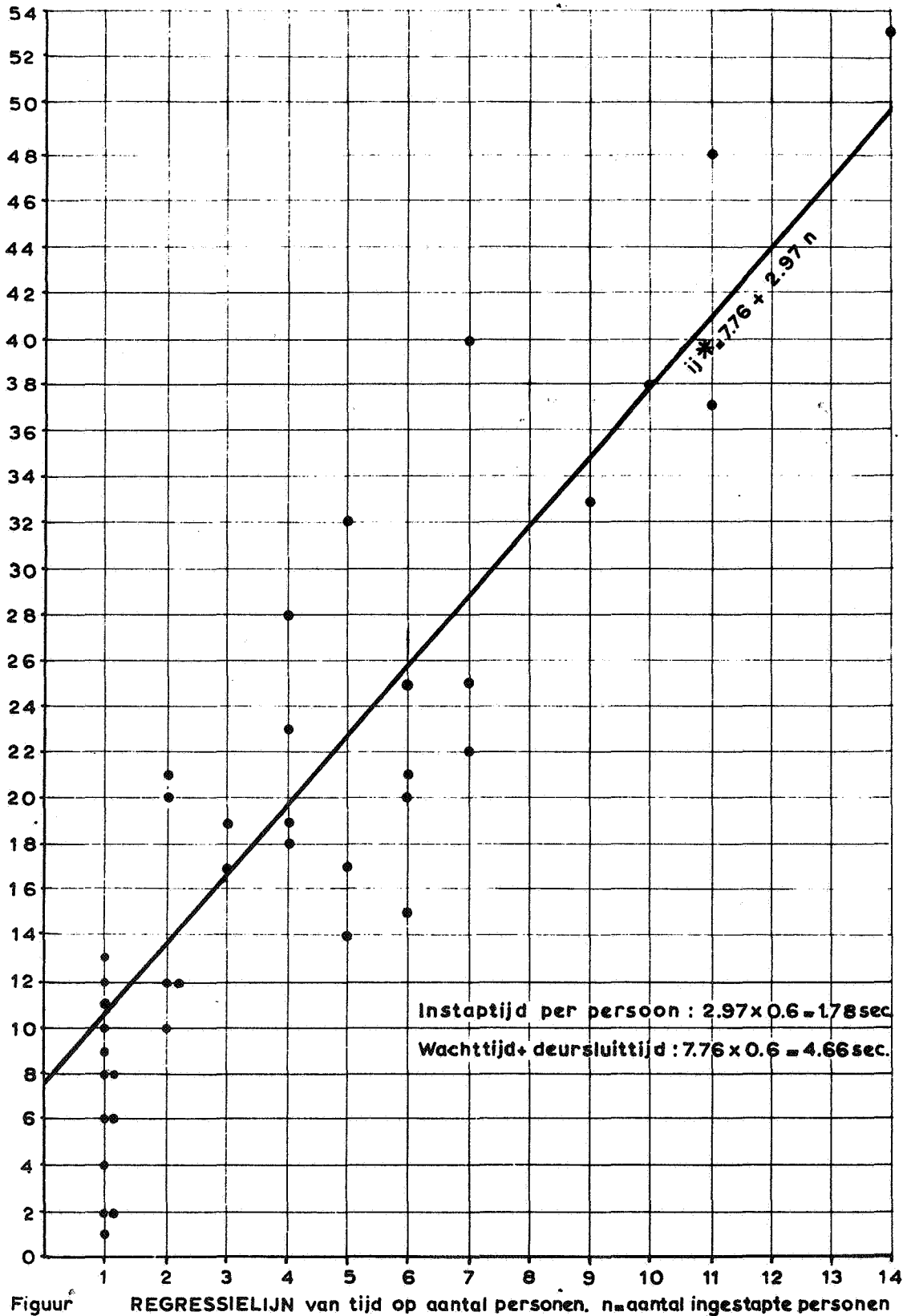
Tabel VI. Aantal waarnemingen van de uitstaptijd per groep personen.

uitstaptijd (minuten)	personen				
	1	2	3	4	5
0,01	10				
0,02	66	1			
0,03	15	4			
0,04	6	17			
0,05		3	5		
0,06			7		
0,07	1	1			
0,08		3		2	1
0,09		1			
0,10			2		
0,11					1
0,12			1		1
0,13					
0,14					
0,15					
0,16		1			

totaal zijn 228 personen uitgestapt in 5.17 minuten,  
dus gemiddelde uitstaptijd per persoon is  $\frac{5,17 \times 60}{228} = 1,36$  sec.

$ij =$  instaptijd + wachttijd  
+ deursluitijd  
(in centiminuten)

Bijlage 2 blad 3  
Tijden bij liftbeweging



figuur 21

Bijlage 3a. Storend verkeer oppiek.Het loten van oproepen

Zij  $p$  de kans dat een persoon een andere persoon wil bezoeken tijdens een bepaalde periode van de dag. Stel dat tijdens de ochtendpiek  $N$  aankomsten plaatsvinden. Veronderstel verder dat, als een fractie  $\alpha$  van de ochtendpiek-duur is verstreken,  $\alpha N$  personen in het gebouw aanwezig zijn, waarvan  $\frac{1}{2}\alpha N$  in de lage zone en  $\frac{1}{2}\alpha N$  in de hoge zone. Per zone be- draagt dan het verwachte aantal oproepen tijdens de volgende rondrit van de lift welke aan de betrokken zone is toegewezen

$$\frac{1}{2}\alpha N \times \alpha N \times p = \frac{1}{2}\alpha^2 N^2 p .$$

De gemiddelde waarde van  $\alpha^2$  over de duur van de ochtendpiek bedraagt  $\frac{1}{3}$ . Dus gemiddeld bedraagt het verwachte aantal oproepen per rondrit  $\frac{1}{6} N^2 p$ . Stellen we nu dat per rondrit gemiddeld één oproep zal plaatsvinden, dan moeten we nemen

$$p = \frac{6}{N^2}$$

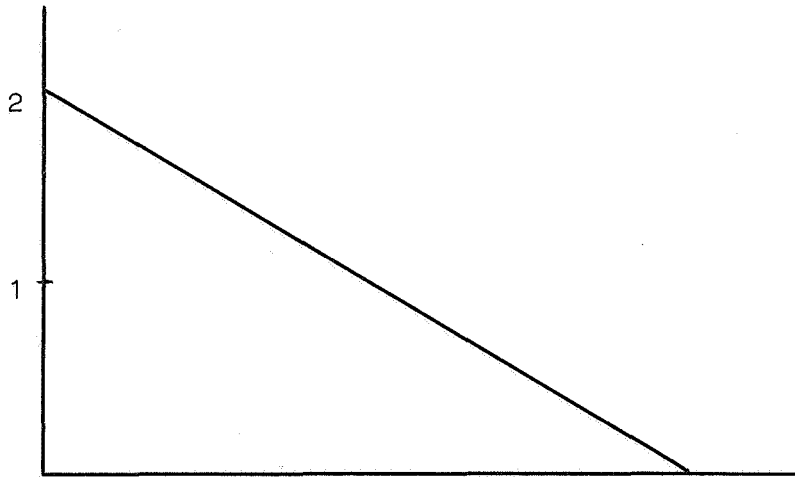
Voor  $N = 737$  levert dit  $p \approx 10^{-5}$ .

Oproepen welke tijdens een bepaalde oprit moeten worden bediend zijn in het ochtendpiek-programma als volgt geloot aan het begin van de rondrit: per etage wordt voor iedere reeds aanwezige met kans  $P$  geloot of deze persoon een oproep voor transport omhoog zal doen. Hierbij is  $P$  gelijk aan  $p$  maal het aantal reeds aanwezige personen in het deel van het gebouw dat boven de beschouwde etage ligt. Na instappen wordt een bestemming geloot (boven de beschouwde etage) waarbij de kans dat de bestemming op een bepaalde etage valt evenredig is met het aantal daar reeds aanwezige personen. Wordt voor een persoon uit de lage zone een bestemming boven de zonegrens geloot, dan laat het programma hem op de zonegrens overstappen. Voor de neerrit worden oproepen op overeenkomstige wijze geloot.

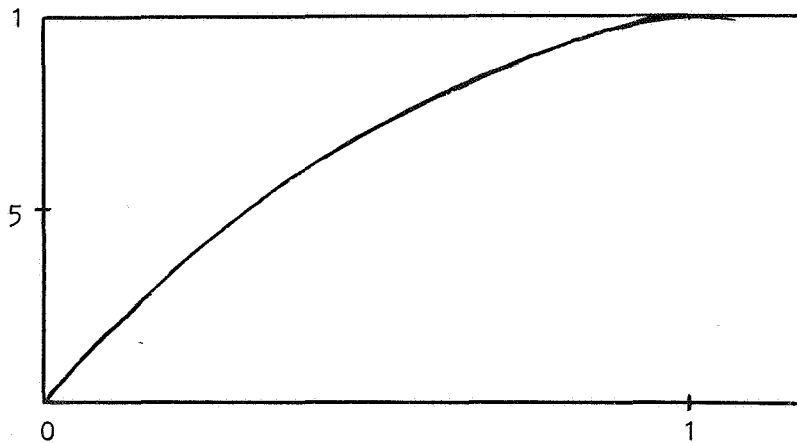
De bovenstaande methode wijkt enigszins af van de werkelijke gang van zaken in het gebouw. Daar, wegens het ontbreken van waarnemingen, niet

meer dan een ruwe schatting van het effect van oproepen tijdens de ochtendpiek verkregen kan worden hebben wij aan de programmeer-technische voordelen van onze methode de voorkeur gegeven boven een schijn-exactheid.

Bijlage 3b. Storend verkeer neerpiek.



Driehoeksverdeling



Verdelingsfunctie van de driehoeksverdeling

Bijlage 4Tabel VII. Aantallen personen per etage.

Etage	Geplande bezetting	90% aanwezig	75% aanwezig	percentage liftgebruikers neerpiek	liftgebruikers neerpiek
1	58	52	43	10	5
2	41	37	31	30	9
3	49	44	37	40	15
4	35	32	26	50	14
5	57	51	43	60	26
6	56	50	42	70	30
7	57	51	43	80	34
8	58	52	44	90	39
9	50 *)	45 *)	38 *)	100	38 *)
10	63	57	47	100	47
11	48	43	36	100	36
12	60	54	45	100	45
13	42	38	32	100	31
14	21	19	16	100	16
15	10	9	8	100	8
16	40	36	30	100	30
17	39	35	29	100	29
18	22	20	17	100	17
19	30	27	23	100	23
20	72	65	54	100	54
21	70	63	53	100	53
1-21	978	880	737		599

De totale bezetting van het gebouw bedraagt 978 + 18 (op begane grond) = 996 personen.

\*) Schatting.

