

Simulatie van de Houtribcentrale



Beeld van Houtribsluizen bij het binnenvaren van schepen

Een detailstudie naar de relatie tussen capaciteitsinzet van sluismeesters en de gevolgen op de wachttijden van schepen voor de Houtribcentrale in Lelystad bij toepassing van de arbeidsmiddelenrichtlijn.

September 2011
Dr. A.N. Gijsberts



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat



internationaal
hoger onderwijs
Breda

Titel rapport: Simulatie van de Houtribcentrale

Nadere omschrijving:

Een detailstudie naar de relatie tussen capaciteitsinzet van sluismeesters en de gevolgen op de wachttijden van schepen voor de Houtribcentrale in Lelystad bij toepassing van de arbeidsmiddelenrichtlijn.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat IJsselmeergebied
Zuiderwagenplein 2
8224 AD Lelystad

Contactpersoon: Ing. A (Arnold) Kruidhof
arnold.kruidhof@rws.nl

Onderzoeksinstituut: NHTV internationaal hoger onderwijs Breda
Advies- & Innovatiecentrum Stedenbouw, Logistiek en
Mobiliteit
Postbus 3917
4800 DX Breda
T 076 5332605
E [bastiaansen.n\(at\)nhtv.nl](mailto:bastiaansen.n(at)nhtv.nl)
W www.vitalelogistiek.nl

Auteur: Drs. A.N. (André) Gijsberts
gijsberts.a@nhtv.nl

Onderzoekperiode: augustus 2011-september 2011
Oplevering rapport: oktober 2011

1 Het Houtribmodel

Doel van het Houtribmodel is om zichtbaar te maken wat er gebeurt als sluismeesters bepaalde taken niet meer simultaan kunnen uitvoeren. Het Houtribmodel is een uitbreiding van het eerdere Sluizenmodel¹.

1.1 Algemene opzet van het Houtribmodel²

Het Houtribmodel representeert de situatie van een vaarweg met sluisgolven met daaroverheen een brug met autoverkeer, waarbij sluismeesters taken rondom deze processen uitvoeren. Van tijd tot tijd moet deze brug open omdat schepen in de sluis te hoog zijn om onder de brug door te kunnen. Het model registreert de wachttijden van zowel het autoverkeer als het scheepvaartverkeer.

De volgende algemene keuzes zijn gemaakt:

- Ter wille van de duidelijkheid is de waterweg in Noord-Zuid richting gelegd (lees: benoemd) en de brug in Oost-West richting. We spreken dan ook van wachttijden voor schepen in Noord-Zuid of Zuid-Noord richting, en voor autoverkeer in Oost-West of West-Oost richting.
- De wachttijden van de schepen en de auto's worden in minuten op het modelscherm bijgehouden



Figuur 1.1 Modelvoorbeeld van gemeten wachttijden

- In de visualisatie zijn beroepsvaart, pleziervaart en auto's herkenbaar weergegeven, evenals de omgevingscomponenten zoals brug, weg en waterweg, conform de ontwerpvoorschriften. Een instelbare parameter geeft het percentage beroepsvaart (en daarmee pleziervaart): op basis hiervan worden visuele iconen van de pleziervaart of de beroepsvaart gegenereerd.
- Er is een overzichtelijk parameterscherm waarin gemiddelde aankomsttijden en gemiddelde procestijden worden opgegeven. Naast constante intensiteiten over de dag kunnen er ook intensiteiten op uurbasis ingesteld worden. Hiermee kunnen bijvoorbeeld bij Rijkswaterstaat bekende dagpatronen (met variabele uurintensiteiten) doorgerekend worden. Deze intensiteiten kunnen ook met copy & paste vanuit Excel ingevoerd worden.

¹ Zie Capaciteitsmanagement van Bruggen en Sluizen, maart 2011 door A. Gijsberts

² Alle modellen zijn gebouwd in de simulatiesoftware Flexsim (www.flexsim.com). Talumis in Utrecht is leverancier van deze software in Nederland (www.talumis.com)

	Auto W-O	Auto O-W	Schip N-Z	Schip Z-N
00.00-1.00	60.000	60.000	1.000	1.000
1.00-2.00	60.000	60.000	1.000	1.000
2.00-3.00	60.000	60.000	1.500	1.500
3.00-4.00	60.000	60.000	2.000	2.000
4.00-5.00	60.000	60.000	2.000	2.000
5.00-6.00	60.000	60.000	2.000	2.000
6.00-7.00	60.000	60.000	2.000	2.000
7.00-8.00	120.000	120.000	2.000	2.000
8.00-9.00	120.000	120.000	2.000	2.000
9.00-10.00	120.000	120.000	3.000	3.000
10.00-11.00	120.000	120.000	3.000	3.000
11.00-12.00	120.000	120.000	3.000	3.000
12.00-13.00	120.000	120.000	4.000	4.000
13.00-14.00	120.000	120.000	4.000	4.000
14.00-15.00	120.000	120.000	4.000	4.000
15.00-16.00	120.000	120.000	3.000	3.000
16.00-17.00	120.000	120.000	3.000	3.000
17.00-18.00	120.000	120.000	3.000	3.000
18.00-19.00	120.000	120.000	2.000	2.000
19.00-20.00	60.000	60.000	2.000	2.000
20.00-21.00	60.000	60.000	2.000	2.000
21.00-22.00	60.000	60.000	2.000	2.000
22.00-23.00	60.000	60.000	2.000	2.000
23.00-24.00	60.000	60.000	1.000	1.000

Figuur 1.2. Gemiddelde intensiteiten op uurbasis

1.2 Het Houtribmodel in meer detail

A. Globale Procesbeschrijving van een schip

1. Aankomst

Een schip komt aangevaren uit een van beide richtingen, dit is op het scherm visueel te zien. Voor de sluis is een buffer ingebouwd waar schepen zich op volgorde van binnenkomst in een wachtrij verzamelen. De wachttijd op het modelscherm is de gemiddelde wachttijd van de schepen in deze N-Z of Z-N buffer.

2. Invaren

Als sluisdeuren na verloop van tijd open gaan, begint het proces van invaren. Op het scherm is te zien hoe een aantal schepen *en bloc* in de sluiscolk geplaatst worden. Dit proces van invaren is dus niet geleidelijk gevisualiseerd zoals het aankomstproces hierboven.

Het eerste schip van een nieuwe schutcyclus triggert diverse zaken: het begin en duur van de invaarcyclus, het aantal schepen dat in deze cyclus in de sluis past, het aantal schepen dat deze cyclus maximaal meegenomen wordt, en het al dan niet openen van de brug gedurende deze schutcyclus.

Toelichting: de invaartijd bij een cyclus is afhankelijk van vele factoren zoals de grootte van de schepen (capaciteit sluis), het aantal dat voor de sluis ligt te wachten, de behendigheid van de schippers, de toewijzing van plaats door de sluismeester en of er nog net een schip komt aanvaren die toegelaten wordt. Dit menselijke gedrag valt nooit 1 op 1 te modelleren, dus er zijn op iets hoger niveau keuzes gemaakt: het eerste schip loot het aantal schepen dat in die cyclus in de sluis past, een getal tussen 1 en het maximum aantal schepen dat in de sluis past. Is dit aantal bv. 5 en liggen er 3 in de wachtrij te wachten, dan worden deze 3 schepen samen in de sluiscolk geplaatst bij aanvang van de invaartijd. Komt er binnen de gelote invaartijd

nog een vierde of vijfde schip aan, dan gaat deze mee in de cyclus; het zesde schip moet wachten.

De invaarcyclus begint dus met de aankomst van een eerste schip in de sluis en eindigt wanneer de sluismeester de deuren begint te sluiten.

3. Nivelleren

Het nivelleerproces is verdeeld in drie afzonderlijke activiteiten:

1. Het sluiten van de sluisdeuren
2. Het verhogen/verlagen van het waterniveau
3. Het openen van de sluisdeuren

Het nivelleerproces begint met het sluiten van de deuren en eindigt dus wanneer de sluisdeuren weer open zijn voor het uitvaren van schepen.

De modelgebruiker kan van ieder van deze deelprocessen de tijdsverdeling aangeven (en daarnaast aan welk deelproces de sluismeester zijn onverdeelde attentie moet geven d.w.z. geen andere activiteiten mag uitvoeren)

4. Uitvaren

Het uitvaren begint na het openen van de sluisdeuren en eindigt met het uitvaren van het laatste schip in de sluis. Hierna kan er leeg omgeschut worden of blijft de sluis open voor een nieuwe cyclus uit tegengestelde vaarrichting.

Wanneer leegom schutten aangevinkt is, wordt in het model naar de andere sluisgekeken: is deze open in dezelfde vaarrichting of is er een cyclus bezig die in dezelfde vaarrichting zal uitmonden, dan wordt er direct leeg om geschut. De sluismeester heeft dan dezelfde taken als bij een normale schutcyclus.

B. Globale Procesbeschrijving van de brug

Het brugproces is verdeeld in drie afzonderlijke activiteiten:

1. Het wegvak vrijmaken en ophalen van de brug
2. Het openstaan van de brug zodat schepen onderdoor kunnen passeren
3. Het neerhalen van de brug

Zoals gezegd wordt een brugopening getriggerd door het eerste schip van een schutcyclus. Met een bepaalde kans, ingesteld door de modelgebruiker, wordt geloot of de brug open gaat of niet. Wanneer de brug open moet, dan stopt in het model eerst het autoverkeer. Het wegvak wordt vrijgemaakt en de brug opgehaald. De schepen varen onderdoor, deze passagetijd wordt door de modelgebruiker ingesteld, vervolgens wordt de brug neergehaald.

De modelgebruiker kan van ieder van deze deelprocessen de tijdsverdeling aangeven (en daarnaast of de sluismeester aan het eerste en derde deelproces zijn onverdeelde attentie moet geven).

De brug is visueel naast de sluis geplaatst. In het Houtribcentrale ligt deze op ongeveer 2/3 op de N-Z-richting.

Dit betekent dat vanuit het Noorden in de sluis meer plaats is en de schepen i.h.a. voor de brug liggen met de volgorde: Invaren, Nivelleren, *Brug openen*, Uitvaren.

Vanuit het Zuiden liggen de schepen i.h.a. achter de brug met de volgorde: *Brug openen*, Invaren, Nivelleren, Uitvaren.

C. Globale Procesbeschrijving van de sluismeester

In het model worden voorafgaand aan een simulatie het aantal sluismeesters ingesteld. De modelgebruiker vinkt aan bij welke activiteiten een sluismeester vereist is (deze mag dan geen andere activiteiten verrichten!!)

De volgende taken kunnen toegekend worden:

- Brug openen
- Brug sluiten
- Sluisdeuren openen
- Sluisdeuren sluiten
- Nivelleren

Ieder van die taken kan uit deelhandelingen bestaan die wel of niet meegenomen kunnen worden door de gebruiker. Zo kan bijvoorbeeld bij de brug openen de tijd van het wegvak vrijmaken wel of niet in de procestijd verdisconteerd worden. In de praktijk is nog onduidelijk of nivelleren wel of geen technische taak is, maar ook hier is de gebruiker vrij om de sluismeester wel of niet exclusief aan nivelleren toe te kennen.

Wanneer een taakverzoek gedaan wordt en er is een sluismeester beschikbaar, wordt uit de beschikbare sluismeesters gekozen. Is er niemand beschikbaar, dan moet er gewacht worden tot er weer een beschikbaar komt. De taakverzoeken worden op volgorde van binnenkomst afgewikkeld.

Visueel is zichtbaar met welke taak iedere sluismeester bezig is. Daarnaast is er een taartdiagram beschikbaar waar een procentueel overzicht van de bezigheden van de sluismeester staat.

D. Overig

In twee tabellen worden aankomst- en vertrektijden van afzonderlijke schepen in N-Z en Z-N richting weggeschreven. Hiermee is de hele simulatierun controleerbaar. Belangrijker is dat nu ook per zelf gekozen dagdeel analyses over gemiddelde wachttijden gemaakt kunnen worden. Dit kan door de hele tabel in Excel te kopiëren en vervolgens deze analyse uit te voeren.

Een andere mogelijkheid is het variëren van de inzetbaarheid van sluismeesters over de dag. Een standaardkeuze voor 1, 2 of 3 betekent dat deze constante bezetting de gehele dag aanwezig is. De software beschikt echter ook over kalenders waarmee de beschikbaarheid genuanceerd kan worden: een tweede sluismeester kan dan ook van 9.00-17.00 ingepland worden.

2 Opzet en uitvoering van de simulatiestudie

In overleg met RWS is gekozen voor een dataset. Deze is te zien in bijlage 1 en gebaseerd op een standaarddag in september 2009 (de oorspronkelijke dataset bevatte maandgegevens over 2009).

Parameterinstellingen zijn als volgt gekozen:

Invaren	tussen 5 en 9 minuten ³
Sluisdeuren openen	tussen 1 en 2 minuten
Nivelleren	tussen 2 en 3 minuten
Sluisdeuren openen	tussen 1 en 2 minuten
Uitvaren	tussen 3 en 4 minuten

Brug openen	1.75 minuten (45 seconden wegvak vrijmaken, 1 minuut openen)
Brug sluiten	1 minuut
Passagetijd brug	tussen 1 en 2 minuten
Aantal sluismeesters	<i>variabel te kiezen van 1 tot 3</i>

Dit betekent dat het normaal schutproces zonder vertragingen gemiddeld 16 minuten bedraagt. Leeg omschutten is ingesteld, omdat dit de praktijk is en omdat uit eerdere simulaties bleek dat het niet toestaan van leegom schutten sterk negatief uitwerkt op de wachttijden. De duur van leeg omschutten is tussen 4 en 5 minuten gekozen. Het aantal sluiscolken staat op twee en de kans op een brugopening is op 50% gesteld.

De passagetijd van de brug is de tijdsduur van het onderdoorvaren van te hoge schepen. Deze zit tussen het ophalen en neerlaten van de brug.

De sluismeester is aan alle mogelijke taken gekoppeld: sluisdeuren openen en sluiten, brug openen en sluiten en ook aan nivelleren.

Met deze basisconfiguratie zijn er dus 3 experimenten met resp. 1, 2 en 3 sluismeesters. In de huidige praktijk geldt nivelleren (nog?) niet als technische taak, maar door het hier mee te nemen is er al een soort 'worst case' zichtbaar. Hetzelfde geldt ook voor de schatting van het aantal brugopeningen. Dit onbekende praktijkpercentage zal wat lager dan 50% zijn.

Daarnaast zijn uiteraard talloze varianten denkbaar: ophogen van de scheepvaart met 10 tot 20%, langere procestijden voor in- en uitvaren, specifieke drukke dagen invoeren of de inzet van sluismeesters over de dag variëren.

Naast het instellen van de modelparameters is een duidelijk experimentontwerp nodig: een enkele run van 1 dag kan sterk vertekenen. Bij alle experimenten is daarom gekozen voor een herhaling van 30 keer. Drukke en rustige dagen worden hiermee gemiddeld.

De uitkomsten van deze runs worden via statistische analyses vertaald in betrouwbaarheidsintervallen.

³ In de simulatiestudie in maart 2011 zonder sluismeesters is de tijd voor het openen en sluiten van de sluisdeuren meegenomen bij het invaren, terwijl deze in het Houtribmodel apart gedefinieerd wordt; hierdoor ligt de gemiddelde tijdsduur van het invaren in deze studie gemiddeld 3 minuten lager!

3 Resultaten van de simulatiestudie

Alle modellen gerund volgens de gekozen experimentopzet. Daarna wordt ingegaan op extra mogelijkheden van het model.

3.1 Uitkomsten simulatie

	1 sluismeester	2 sluismeesters	3 sluismeesters
Aantal schepen N-Z	89	92	91
Aantal schepen Z-N	229	188	187
Gem. wachttijd N-Z (sec)	90	91	89
Gem. Wachttijd Z-N (sec)	217	153	160
Gem. Wachttijd voor sluisen (min)	3,7	2,8	2,9
Gem. wachttijd in sluis (min)	1,8	0	0
Totale wachttijd (in min)	5,5	2,8	2,9

Figuur 3.1 Uitkomsten simulatie

Conclusie 1

De inzet van een derde sluismeester heeft geen enkele meerwaarde in termen van wachttijdverkorting. Een verdubbeling van 1 naar 2 sluismeesters halveert de gemiddelde wachttijd van schepen.

De afweging van de inzet van 1 of 2 sluismeesters hangt af van de gewenste servicegraad van RWS naar de scheepvaart toe. Daarnaast spelen hierbij ook andere overwegingen een rol: bij korte afwezigheid van de sluismeester is in het geval van de inzet van 1 sluismeester de toren even niet bereikbaar. In de huidige praktijk wordt echter ook regelmatig met 1 sluismeester gewerkt en is dit probleem niet onoverkoombaar.

De overbodigheid van de derde sluismeester voor wachttijdreductie is ook verklaarbaar: in principe kunnen de andere twee sluismeesters zich ieder om één sluisolk bekommeren, terwijl ze om en om een keer de brug openen. De effecten hiervan op de wachttijd zijn verwaarloosbaar.

De echte vraag is dus: wanneer kunnen we met 1 sluismeester toe en wanneer met 2? Hiervoor is ook geëxperimenteerd met de inzet van een twee sluismeester, maar alleen gedurende 9.00-17.00. De gemiddelde wachttijd van 5,5 minuten bij 1 wachtmeester gedurende 24 uur daalde naar een gemiddelde wachttijd van 4,3 minuten (dus ergens tussen de fulltime inzet van 1 en 2 sluismeesters in).

Conclusie 2

De arbeidsmiddelenrichtlijn heeft voor de Houtribcentrale nauwelijks consequenties⁴

De gemiddelde wachttijden blijven relatief laag, ook als sluismeesters hun taken niet meer mogen onderbreken. De resultaten worden nog positiever als het nivelleren zelf niet als technische taak aangemerkt zou worden.

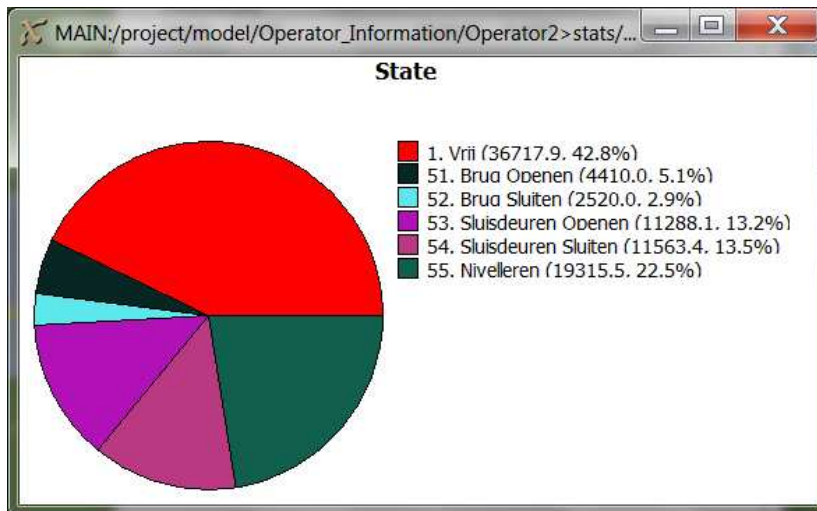
⁴ Zie ook nogmaals de analyse in paragraaf 2.8 van het eerste rapport uit maart 2011

Aanbeveling 1

Experimenteer in de praktijk met variabele bezetting (1 of 2 sluismeesters) over de dag en met toepassing van werken volgens de arbeidsmiddelenrichtlijn. Analyseer de gevolgen en de reacties van de sluismeesters.

3.2 Overige analyses

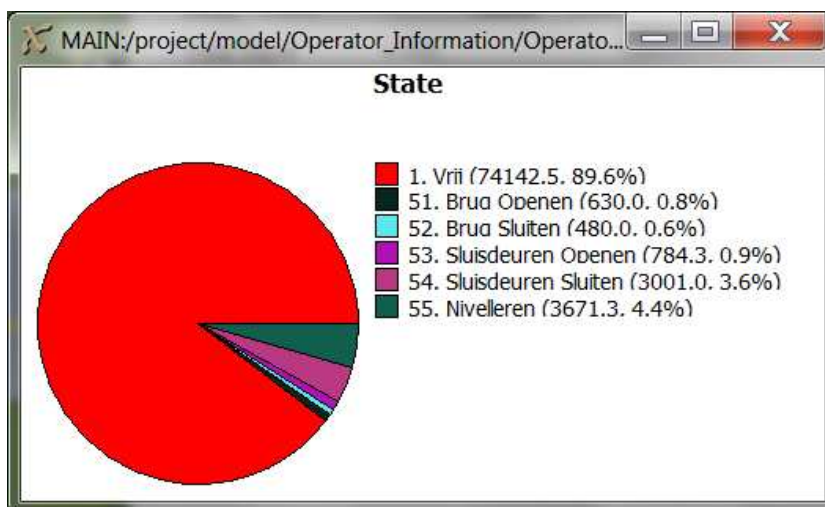
Het is mogelijk om de uitgevoerde taken van de sluismeester in een taartdiagram zichtbaar te maken.



Figuur 3.2 Overzicht tijdsverdeling werkdag sluismeester bij inzet van 1 sluismeester

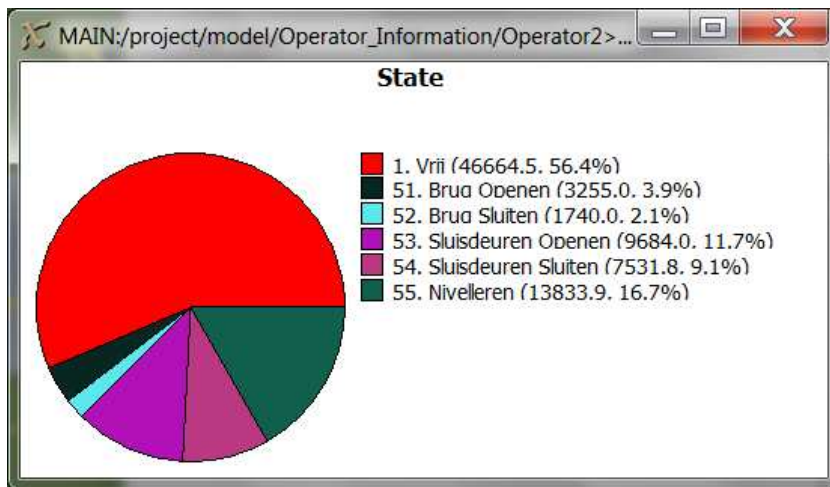
In figuur 3.2 is een typische werkdag van een sluismeester weergegeven bij inzet van 1 sluismeester. Te zien is dat ruim 40% van de tijd niet vastligt in activiteiten: in deze tijd kan bijvoorbeeld het invoeren in IVS 90 geschieden. Merk op dat nivelleren als 'worst case' meegenomen is en dat het schrappen hiervan als technische taak het percentage vrij zal ophogen.

Deze overzichten zijn ook interessant bij de inzet van een tweede sluismeester. Het model is zo ingesteld dat de tweede sluismeester alleen ingeschakeld wordt voor een taak als de eerste bezet is. Hierdoor kunnen we de meerwaarde van de extra sluismeester goed volgen.



Figuur 3.3. Overzicht tijdsverdeling werkdag tweede sluismeester bij inzet van 2 sluismeesters

Het blijkt dat deze sluismeester 90% van de tijd geen technische taken hoeft uit te voeren. De eerste sluismeester zou wel ontlast moeten worden. Dit blijkt ook in figuur 3.4.



Figuur 3.4 Overzicht tijdsverdeling werkdag eerste sluismeester bij inzet van 2 sluismeesters

Naast deze tijdsdiagrammen wordt het proces van alle schepen weggeschreven in twee tabellen voor N-Z en Z-N. Per schip is nu de aankomsttijd in de wachtrij, binnenkomst in de sluis, begin tijdstip van uitvaren bekend. Deze resultaten kunnen nu naar Excel gekopieerd worden om nader te onderzoeken. Belangrijk is dat nu niet alleen daggemiddeldes te bepalen zijn, maar gemiddeldes over iedere gewenste periode.

Bijlage 1 Intensiteiten per uur in het model

	Auto W-O	Auto O-W	Schip N-Z	Schip Z-N
00.00-1.00	120	120	1,6	1,6
1.00-2.00	120	120	1,3	1,3
2.00-3.00	120	120	1,2	1,2
3.00-4.00	120	120	0,5	0,5
4.00-5.00	120	120	1,1	1,1
5.00-6.00	120	120	1	1
6.00-7.00	120	120	2,8	2,8
7.00-8.00	120	120	3,1	3,1
8.00-9.00	120	120	4,9	4,9
9.00-10.00	120	120	5,1	5,1
10.00-11.00	120	120	5,7	5,7
11.00-12.00	120	120	5,9	5,9
12.00-13.00	120	120	5,9	5,9
13.00-14.00	120	120	6,4	6,4
14.00-15.00	120	120	5,7	5,7
15.00-16.00	120	120	5,6	5,6
16.00-17.00	120	120	5,5	5,5
17.00-18.00	120	120	5,5	5,5
18.00-19.00	120	120	5,3	5,3
19.00-20.00	120	120	4,6	4,6
20.00-21.00	120	120	3,8	3,8
21.00-22.00	120	120	3,5	3,5
22.00-23.00	120	120	2,5	2,5
23.00-24.00	120	120	2,6	2,6
			91,1	91,1