

UNIVERSITEIT GENT
Faculteit Toegepaste Wetenschappen
Vakgroep Civiele Techniek
Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning

Analyse van het concept ‘turborotonde’ en onderzoek naar de toepasbaarheid in Vlaanderen.

Student
Steppe Philip

Promotor
Prof. Lauwers D.

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van
gediplomeerde in de aanvullende studies GAS – Ruimtelijke Planning

Academiejaar 2005-2006

De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder m.b.t. de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

Steppe Philip, 6 juni 2006

WOORD VOORAF

Een scriptie schrijf je niet alleen. Daarom wil ik graag iedereen bedanken die geholpen heeft bij het tot stand komen van dit werk.

Een eerste woord van dank gaat uit naar prof. Lauwers, die mij gedurende dit jaar de juiste richting uitstuurde om de vooropgestelde doelstellingen te realiseren. Daarnaast wil ik ook graag Stijn Goossens van het AWV bedanken voor het verzorgen van de telgegevens. Ook Danielle Devriese van TV3V, Yvo Wolfs van studiebureau Arcadis Gedas en Filip Sleecks van studiebureau S.C.E.S. nv verdienen hiervoor een woord van dank.

De laatste, maar daarom zeker niet onbelangrijkste dankbetuigingen zijn voor mijn ouders, mijn vriendin en mijn vrienden die ervoor zorgden dat ik dit jaar steeds opnieuw heb kunnen doorzetten.

Philip Steppe

juni 2006

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING	7
DEEL I: THEORETISCHE ACHTERGROND	10
1 Ontstaan van rotondes	10
1.1 De eerste ronde verkeerspleinen	10
1.2 Van verkeersplein naar rotonde	11
1.3 De meerstrooksrotonde	12
1.4 Het ontstaan van de turborotonde	13
2 Toepasbaarheid van rotondes en turborotondes	14
2.1 Terminologie	14
2.2 Positionering van rotondes	14
2.3 Situering binnen het Vlaams beleidskader	16
2.3.1 Vademecum Rotondes	16
2.3.1.1 Toelichting	16
2.3.1.2 Verkeersomgevingen	16
2.3.1.3 Basistypes van rotondes	16
2.3.1.4 Criteria op macroniveau	17
2.3.1.5 Criteria op microniveau	17
2.3.2 Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen	18
2.3.2.1 Toelichting	18
2.3.2.2 Functies van het wegennet	18
2.3.2.3 Categorisering van de wegen	19
2.3.2.4 Positionering van rotondes	19
2.3.3 Handboek secundaire wegen	19
2.3.3.1 Toelichting	19
2.3.3.2 Categorisering volgens type	20
2.3.3.3 Categorisering volgens regime	20
2.3.3.4 Positionering van rotondes	21
2.4 Positionering van turborotondes	24
2.4.1 Kenmerken van spiraalbelijnde rotondes	24
2.4.2 Types spiraalbelijnde rotondes	25
2.4.2.1 Eirotonde	25

2.4.2.2	Turborotonde	26
2.4.2.3	Knierotonde	26
2.4.2.4	Spiraalrotonde	27
2.4.2.5	Rotorrotonde	27
2.4.3	Besluit	28
3	Verkeersveiligheid	29
3.1	Conflictpunten	29
3.2	Ongevallenonderzoek	29
3.3	Factoren die de (on)veiligheid op de rotonde bepalen	30
3.3.1	Intensiteit	30
3.3.2	Grootte	30
3.3.3	Vrachtverkeer	30
3.3.4	Zwakke weggebruikers	31
3.3.4.1	Voetgangers	31
3.3.4.2	Fietzers	31
3.4	Turborotondes	32
4	Capaciteit	33
4.1	Capaciteitsberekening van rotondes in Vlaanderen	33
4.2	Richtwaarden voor de capaciteit van rotondes	33
4.3	Methode van Bovy voor rotondes	34
4.3.1	Inleiding	34
4.3.2	Capaciteit van de toerit	35
4.3.3	Capaciteit van de ring	36
4.3.4	Capaciteit van de rotonde	36
4.3.5	Opmerkingen	36
4.4	Aangepaste methode van Bovy voor turborotondes	38
4.4.1	De karakteristieke variabelen α , β en γ	38
4.4.1.1	De karakteristieke variabele α	38
4.4.1.2	De karakteristieke variabele β	39
4.4.1.3	De karakteristieke variabele γ	39
4.4.2	Aangepaste formules van Bovy voor meerstrooksrotondes volgens Fortuijn	40
4.4.3	Rijstrookkeuze	41
4.4.4	Berekeningsmethodiek	42
4.4.5	Waarde van de karakteristieke variabelen α en β in de aangepaste formules van Bovy	44

4.4.6	Toetsingscriteria	44
4.5	Capaciteitsvergelijking tweestrooksrotonde – turborotonde	45
4.6	Capaciteitsberekening met microsimulatie	46
4.6.1	Vergelijking met de methode van Bovy	46
4.6.2	Capaciteit van een rotorrotonde	47
5	Vormgeving van rotondes	48
5.1	Enkelstrooksrotondes	48
5.1.1	Ontwerpelementen	48
5.1.1.1	Breedte van de toe- en afrit	48
5.1.1.2	Aansluitbogen van de toe- en afrit	48
5.1.1.3	Rijbaanbreedte op de rotonde	49
5.1.1.4	Buitenstraat	49
5.1.1.5	Binnenstraat	49
5.1.1.6	Middengeleiders	49
5.1.1.7	Overrijdbaar gedeelte van het middeneiland	49
5.1.2	Verbanden tussen de verschillende ontwerpelementen	50
5.2	Rotondes met bypasses	51
5.3	Tweestrooksrotondes	52
5.4	Turborotondes	53
5.4.1	Inleiding	53
5.4.2	Ontwerprichtlijnen voor turborotondes	53
5.4.2.1	Inleiding	53
5.4.2.2	Translatie-as	53
5.4.2.3	Verhoogde rijstrookscheiding	55
5.5	Ruimtebeslag van rotondes	57
5.6	Controle van de ontwerpsnelheid	59
5.6.1	Enkelstrooksrotondes	59
5.6.2	Tweestrooksrotondes	60
5.6.3	Turborotondes	61
5.7	Fietsvoorzieningen	62
5.7.1	Verschillende types fietsoversteken	62
5.7.1.1	Rotonde met gemengde verkeersafwikkeling	62
5.7.1.2	Rotonde met een fietsstrook	62
5.7.1.3	Vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang	62
5.7.1.4	Vrijliggend fietspad met fietsers uit de voorrang	63

5.7.2	Aanbevolen fietsoversteek bij een turborotonde	64
5.7.3	Fietsrokades	64
6	Besluit van het onderzoek naar het concept 'turborotonde'	65
	DEEL II: METHODE VAN DE UITWERKING	66
1	Ontwerpsituatie	66
1.1	Inleiding	66
1.2	Situatie	66
2	Tweestrooksrotonde	67
2.1	Ontwerp	67
2.2	Capaciteitsberekening	68
2.2.1	Tak II en IV	68
2.2.2	Tak I en III	70
2.2.3	Berekening van de verzadigingsgraden	71
2.2.4	Resultaten	72
3	Turborotonde	73
3.1	Ontwerp	73
3.2	Capaciteitsberekening	74
3.2.1	Tak II en tak IV	75
3.2.2	Tak I en tak III	76
3.2.3	Berekening van de verzadigingsgraden	77
3.2.4	Resultaten	78
4	Vergelijking van de resultaten	79
	DEEL III: CASE STUDIES	
1	Rotonde op de N47 te Zele	80
1.1	Situering	80
1.1.1	Ruimtelijke situering	80
1.1.2	Verkeersintensiteit	80
1.2	Bestaande situatie	83

1.2.1	Situatieschets	83
1.2.2	Capaciteitsberekening	83
1.3	Turborotonde	86
1.3.1	Ontwerp	86
1.3.2	Capaciteitsberekening	86
1.4	Vergelijking van de resultaten	89
2	Op- en afrit van de E314 te Diest	90
2.1	Situering	90
2.1.1	Ruimtelijke situering	90
2.1.2	Toelichting van het project	90
2.1.3	Verkeersintensiteit	91
2.2	Tweestrooksrotonde	92
2.2.1	Ontwerp van TV3V	92
2.2.2	Ontwerpsnelheid	92
2.2.3	Capaciteitsberekening	92
2.2.4	Verzadiging van de toeritten	93
2.3	Turborotonde	94
2.3.1	Ontwerp	94
2.3.2	Ontwerpsnelheid	94
2.3.3	Capaciteitsberekening	94
2.3.4	Verzadiging van de toeritten	95
2.4	Vergelijking van de resultaten	96
3	Kruispunt Boslaan – Siemenslaan te Dilsen – Stokkem	97
3.1	Situering	97
3.1.1	Ruimtelijke situering	97
3.1.2	Toelichting van het project	97
3.1.3	Verkeersintensiteit	98
3.2	Tweestrooksrotonde	99
3.2.1	Ontwerp	99
3.2.2	Capaciteitsberekening	99
3.2.3	Verzadiging van de toeritten	100
3.3	Turborotonde	101
3.3.1	Ontwerp	101
3.3.2	Capaciteitsberekening	101

3.3.3	Verzadiging van de toeritten	102
3.4	Uitweefrotonde	103
3.4.1	Ontwerp	103
3.4.2	Capaciteitsberekening	103
3.4.3	Verzadigingsgraden van de toeritten	104
3.5	Vergelijking van de resultaten	105
4	Kruispunt Martelarenlaan – Grootzand te Dendermonde	106
4.1	Situering	106
4.1.1	Ruimtelijke situering	106
4.1.2	Toelichting van het project	106
4.1.3	Verkeersintensiteit	107
4.2	Capaciteitsberekening van de rotonde	108
4.2.1	Grondplan	108
4.2.2	Capaciteitsberekening	108
4.2.3	Verzadigingsgraden van de toeritten	109
4.3	Capaciteitsberekening van de turborotonde	110
4.3.1	Capaciteitsberekening	110
4.3.2	Verzadigingsgraden van de toeritten	110
4.4	Conclusie	111
5	Conclusie van de casestudies	112
	ALGEMEEN BESLUIT	113
	LIJST VAN DE FIGUREN	114
	LIJST VAN DE TABELLEN	116
	BIJLAGEN	118

INLEIDING

Turborotondes zijn een vorm van spiraalbelijnde meerstrooksrotondes. De bestuurders kiezen een richting voor ze de rotonde oprijden en worden door middel van de spiraalbelijning op de rotonde ook 'gedwongen' om deze richting te volgen. Het grote voordeel van spiraalbelijning is dat de rijstroken van de rotonde optimaal belast worden zodat een maximale capaciteit bereikt wordt. Door het duidelijk presenteren van conflictpunten scoort de turborotonde ook goed qua verkeersveiligheid. Het principe van de spiraalbelijnde meerstrooksrotonde werd in Nederland ontwikkeld door L.G.H. Fortuijn, en werd daar al in enkele pilootprojecten uitgetest. In Vlaanderen werd het principe tot op heden nog niet toegepast.

Het doel van dit werk is te onderzoeken of het concept 'turborotonde' toepasbaar is in het Vlaamse wegennet. Om de positionering van dit type van spiraalbelijnde rotondes te bepalen wordt het concept eerst grondig geanalyseerd. In deze analyse worden de verschillen tussen de conventionele één- en meerstrooksrotondes en de spiraalbelijnde rotondes toegelicht. Aan de hand van de verschillen tussen de concepten zal duidelijk worden wat de meerwaarde is van de turborotonde en in welke situaties het concept zijn meerwaarde maximaal kan laten gelden.

Na de theoretische analyse wordt een fictief ontwerp volledig uitgewerkt om een beeld te geven van hoe de ontwerpfase verschilt van die van conventionele rotondes.

Uiteindelijk worden enkele case studies uitgewerkt. Bestaande (en toekomstige) tweestrooksrotondes in Vlaanderen worden vervangen door spiraalbelijnde rotondes, waarna de verschillen geanalyseerd worden.

DEEL I: THEORETISCHE ACHTERGROND

1 Ontstaan van rotondes

1.1 De eerste ronde verkeerspleinen

De twee eerste vormen van rotondes waren 'Place de L'Etoile' in Parijs (aangelegd in 1907), nu gekend als 'Place Charles de Gaulle' en 'Columbus Circle' in New York (aangelegd in 1904). Het knooppunt in Parijs werd bedacht door de architect en planoloog Eugène Hénard (1849 – 1923) en was onderdeel van zijn stedenbouwkundig plan om de verkeersdoorstroming door de stad te verbeteren. 'Columbus Circle' werd bedacht door architect William Phelps Eno (1858 – 1945) in zijn stedenbouwkundig plan voor de stad New York. Toen de ene stad dit van de andere te weten kwam, ontstond de discussie over wie nu de echte uitvinder van de 'rotonde' (volgens de huidige terminologie zijn deze knooppunten geen rotondes maar wel 'verkeerspleinen met rondgaand verkeer') was. Uiteindelijk zou blijken dat zowel Hénard als Eno elk tot het concept van het rondgaand verkeer gekomen zijn. Ook in andere steden ontstonden verkeerspleinen met rondgaand verkeer.



Figuur 1: links: Columbus Circle, New York; rechts: Place de l'Etoile, Paris

Doordat het verkeer in die tijd lang niet zo druk was, was er toen nog geen sprake van voorrangsregels of rijstroken. In 1913 ontstond de 'voorrang van rechts' regel. In 1929 stelde Eno reeds voor om aan de verkeerspleinen met rondgaand verkeer voorrang van links in te voeren. Hij kon de verkeerstechnische ingenieurs echter niet overtuigen.

Toen het autoverkeer begon toe te nemen eind jaren '40, kwamen de technische mankementen en de veiligheidsproblemen van deze knooppunten aan het licht. Het verkeer liep er vast, waardoor de cirkels steeds groter werden ontworpen. Sommige 'verkeerscirkels' werden uitgerust met een lichtenregeling (bvb. Ellisburg traffic circle in New Jersey). Door de slechte ervaringen ging de populariteit van het concept, vooral in de Verenigde Staten, sterk achteruit in de jaren '50. Vaak werden ze vervangen door lichtengeregelde kruispunten.

(Lounsbury & Associates, 2006)



Figuur 2: verkeer op Place de l'Etoile, gezien vanop Arc de Triomphe

1.2 Van verkeersplein naar rotonde

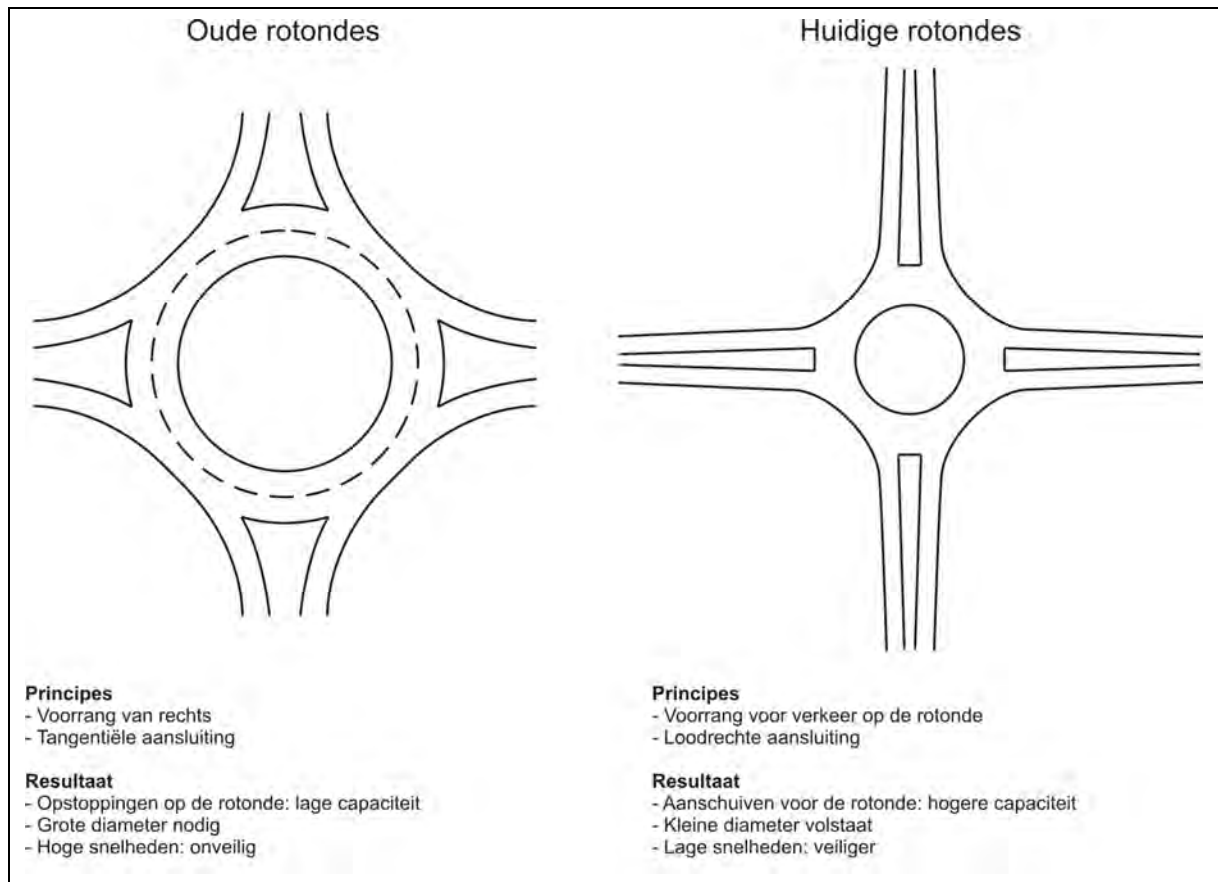
Ook in Groot-Brittannië had men sinds de jaren '20 ervaring met de eerste vorm van rotondes, deels door de samenwerking met William Phelps Eno. De Britse ingenieurs begonnen zich al in de jaren '50 vragen te stellen bij de Amerikaanse gigantische verkeerspleinen. Ze ontdekten dat de 'verweving' van het verkeer aan de ingang van de rotondes voor de grootste problemen zorgde. Uit onderzoek van het 'Road Research Laboratory' (nu gekend als Transport Research Laboratory) bleek dat de capaciteit met 10% kon stijgen door het verlenen van voorrang aan de voertuigen op het verkeersplein (de zgn. 'priority-to-the-circle' rule). In de praktijk verminderden de vertragingen met 40% en ook het aantal ongevallen daalde met 40%. In 1966 werd deze regel ingevoerd in Groot-Brittannië.

Het ontwerp van rotondes veranderde volledig door het invoeren van voorrang voor verkeer op de rotonde. De binnencirkel van de rotonde kon kleiner ontworpen worden, omdat de congestie op de rotonde zelf aanzienlijk verminderd werd. Hierdoor ontstond meer ruimte voor de aanleg van bredere toeritten. Het principe van verweving op de rotonde werd vervangen door het principe van 'stop and go' voor de rotonde. De toe- en afritten werden in functie van de zichtbaarheid en de veiligheid radiaal (in plaats van tangentieel) aangesloten. De snelheid op de rotonde verlaagde, waardoor de capaciteit steeg (door een regelmatigere verkeersstroom). De rotonde werd ook veiliger voor zwakke weggebruikers en motorrijders. De compacte rotonde zoals ze nu nog steeds wordt toegepast was geboren.

De eerste ontwerprichtlijnen voor rotondes werden in 1971 opgesteld. In de jaren '70 en '80 werd het principe van de compacte rotonde eerst ingevoerd in Australië en Frankrijk. Daarna volgden ook vele andere landen, waaronder ook België. De nieuwe voorrangsregel werd een succes, aangezien bijna overal in Europa de 'voorrang van rechts' regel al standaard was.

(Lounsbury & Associates, 2006)

Er ontstonden rotondes in verschillende maten en vormen. Op kleine kruispunten werden minirotondes ontworpen. Op de kruising van belangrijke verkeersaders werden meerstrooksrotondes aangelegd.



Figuur 3: Voordelen van de compacte rotonde t.o.v. het verkeersplein met rondgaand verkeer

1.3 De meerstrooksrotonde

Omdat het principe van de enkelstrooksrotonde in Vlaanderen en Nederland in sommige gevallen de gewenste capaciteit niet meer kon bieden werd de meerstrooksrotonde ontwikkeld. Deze vorm van rotonde kent echter enkele belangrijke nadelen zoals de toename van het aantal conflictpunten (vergelijkbaar met de weefconflicten van de vroegere verkeerspleinen met rondgaand verkeer) en de verhoogde snelheid bij weinig verkeer.

Daarom werd er verder geëxperimenteerd met het principe van de rotonde. Rotondes met bypasses voor het rechtsafslaand verkeer zijn hier een voorbeeld van.

In Nederland werd het principe van de turborotonde bedacht, gebaseerd op het principe van de spiraalbelijning dat op grote verkeerspleinen in Nederland reeds als standaard aanvaard werd.

1.4 Het ontstaan van de turborotonde

Turborotondes werden voor het eerst gepresenteerd door de Nederlanders Fortuijn L.G.H. en Harte V.F. op de Verkeerskundige Werkdagen van het CROW in 1997. Door spiraalbelijning bij meerstrooksrotondes toe te passen ontstond de turborotonde.

De turborotonde was de eerste '*meerstrooksrotonde met spiraalbelijning*'. Daarna werden nog andere spiraalbelijnde rotondes bedacht (bijvoorbeeld de rotorrotonde, de knierotonde...). De verzamelnaam '*meerstrooksrotonde met spiraalbelijning*' wordt daarom wel eens veralgemeend tot '*turborotonde*', alhoewel de turborotonde eigenlijk een specifiek type van de meerstrooksrotondes met spiraalbelijning is (zie ook 2.4).

Fortuijn L.G.H. vroeg voor het principe van deze spiraalbelijnde meerstrooksrotondes op 2 april 1997 een patent aan. Op 5 oktober 1998 werd dit opgenomen in de lijst van het European Patent Office (application number: NL19971005703 19970402). Op 1 november 2001 is dit patent evenwel vervallen.

2 Toepasbaarheid van rotondes en turborotondes

2.1 Terminologie

Eerst en vooral dient gewezen te worden op de verschillende soorten kruispunten met rondgaand verkeer. In Vlaanderen worden deze als volgt gedefinieerd in het Vademecum Rotondes van de administratie Wegen en Verkeer, afdeling Verkeerskunde:

- **Attentiepunt:** Een kruispuntoplossing in gebieden met lage verkeersintensiteit en gemengd verkeer, waarbij het kruisingsvlak zodanig wordt geaccentueerd dat het verkeer visueel rondom een centraal punt wordt geleid.
- **Ronde verkeersgeleiders** vervullen ongeveer dezelfde functie als attentiepunten, maar zijn evenmin rotondes in strikte zin.
- **Stedelijke pleinen met rondgaand verkeer** komen vooral voor in gebieden met veel activiteiten en met een sterke integratie van verkeer en omgeving. De verkeersvoorziening verloopt rondom een centraal element dat zeer uiteenlopend van omvang kan zijn en ook niet altijd een ronde vorm heeft. Het centraal element kan zowel een relatief klein plantsoen zijn als een marktplein waarop zich veel activiteiten afspelen. Ook hier kunnen we niet van een rotonde spreken, omdat de rondgaande weg niet de vereiste vorm heeft.
- **Verkeerspleinen:** Dit zijn grootschalige verkeerswisselaars met rondgaand verkeer, dikwijls bij autosnelwegen. Ook deze oplossing weerhouden we niet als rotondes.
- **Rotondes:** Onder rotondes worden alleen die verkeersvoorzieningen verstaan die duidelijk ingericht zijn als rondgaande rijbaan en ook als zodanig gesignaleerd zijn. Noodzakelijke elementen in de inrichting zijn: een middeneiland, een buitenrand die cirkelvormig dient te zijn, kanalisering en markering op de aanvoerwegen.

(Vanreusel J., 1997)

In de Nederlandse voorschriften wordt een rotonde gedefinieerd als *'een plein waar het verkeer op het plein voorrang heeft en waarop de wegen radiaal aansluiten'*. De term 'plein' verwijst hier naar 'verkeersplein', dat gedefinieerd wordt als *'gelijkvloers kruispunt waar het verkeer in een rondgaande beweging wordt afgewikkeld'*. (CROW, 1998)

2.2 Positionering van rotondes

In de literatuur worden tal van criteria opgesomd die worden toegepast om uit te maken of rotondes al dan niet een geschikte oplossing vormen op bepaalde kruispunten. De criteria hebben zowel betrekking op veiligheidsaspecten als op capaciteitselementen, maar in sommige gevallen ook op stedenbouwkundige en verkeersplanologische overwegingen.

Ogden (1996) somt een aantal situaties op waarin rotondes wenselijk zijn:

- Voorrangskruispunten waar de verkeersintensiteit tot onaanvaardbaar lange wachttijden zou leiden voor het verkeer op de ondergeschikte takken of waar verkeerslichten tot een verhoging van de wachttijd op alle takken zouden leiden.
- Kruispunten met veel linksafslaand verkeer.
- Kruispunten met meer dan 4 takken, waardoor een voorrangsregeling onmogelijk wordt en verkeerslichten weinig efficiënt zijn, omwille van het grotere aantal fasen dat benodigd is.
- Kruispunten tussen verzamelwegen of tussen verzamelwegen en lokale wegen, waar een verhoogd ongevalrisico bestaat.
- Op lokale wegen, als onderdeel van een strategie om de snelheid laag te houden.
- Op landelijke kruispunten.
- Op kruispunten waar de hoofdstroom van het verkeer een bocht van 90 graden maakt.
- Waar hoofdwegen overgaan in een Y- of T-vormig kruispunt.

Rotondes zijn volgens de auteur minder geschikt in volgende situaties:

- Een aangepaste geometrie is onmogelijk omwille van gebrek aan ruimte of topografische beperkingen.
- Kruispunten met sterk ongelijke verkeersstromen uit de verschillende richtingen.
- Kruispunten tussen hoofdwegen en sterk ondergeschikte wegen waardoor een onaanvaardbare vertraging zou ontstaan voor het verkeer op de hoofdweg.
- Kruispunten met veel voetgangersbewegingen in combinatie met hoge voertuigintensiteiten of hoge snelheden.
- Op een geïsoleerd kruispunt in een netwerk van opeenvolgende kruispunten met verkeerslichten.
- Op kruispunten waar het verkeer dat de rotonde verlaat op korte afstand dient te stoppen voor een verkeerslicht waardoor het verkeer op de rotonde zelf zou stremmen.

(Ogden, 1996)

2.3 Situering binnen het Vlaams beleidskader

2.3.1 Vademecum Rotondes

2.3.1.1 Toelichting

Het Vademecum Rotondes werd in 1997 gepubliceerd in opdracht van het ministerie van de Vlaamse overheid. Het werd geschreven door verschillende auteurs die elk een facet van de rotonde als verkeerswisselaar toelichtten. In deel 2 licht Vanreusel J. toe in welke situaties rotondes wenselijk zijn.

2.3.1.2 Verkeersomgevingen

De ruimtelijke omgeving en de stedenbouwkundige inpassing van wegen bepaalt enerzijds *verkeersgebieden* en anderzijds *verblijfsgebieden*.

Hoofdwegen en primaire wegen worden in principe ingericht als verkeersgebied, lokale wegen als verblijfsgebied. De secundaire wegen worden onderverdeeld in twee types. Bij secundaire wegen van type I wordt de gebiedsontsluiting gemengd met een lokale verbindingsfunctie, vooral gericht naar het hoofdwegennet. De erffunctie blijft bestaan op deze wegen, maar moet worden beperkt en waar mogelijk afgebouwd. Bij secundaire wegen van type II wordt prioriteit gegeven aan de verblijfskarakteristieken, met een beperkte gebiedsontsluitingsfunctie.

Sommige verkeerssituaties hebben zowel verkeers- als verblijfskenmerken. Daarom werden de *overgangsgebieden* bepaald. Zij verzorgen de overgang tussen de verkeersgebieden en de verblijfsgebieden.

Deze drie soorten verkeersomgevingen hebben elk hun eigen inrichtingskenmerken. Ook de inrichting van rotondes is dus afhankelijk van de verkeersomgeving.

(Vanreusel J., 1997)

2.3.1.3 Basistypes van rotondes

Naast het onderscheid in verkeersomgeving, worden ook drie basistypes rotondes onderscheiden: de minirotonde, de compacte rotonde en de grote rotonde. Een minirotonde heeft een buitendiameter van 18m tot 25m, een compacte rotonde van 25m tot 40m en een grote rotonde van 35m tot 50m. Naast de afmetingen is ook het verkeersgedrag op de rotonde verschillend. Bij de minirotonde en de compacte rotonde is het kruispunt in zijn geheel te overzien, terwijl een grote rotonde eerder wordt ervaren als een opeenvolging van verschillende kruispunten.

Deze basistypes zouden in de drie omgevingstypes kunnen toegepast worden. Sommige combinaties zijn echter niet wenselijk, zodat er zes types rotondes overblijven.

	Minirotondes	Compacte rotondes	Grote rotondes
Verblijfsgebieden	Ja	Ja	Neen / uitzonderlijk
Overgangsgebieden	Ja	Ja	Neen / uitzonderlijk
Verkeersgebieden	Neen / uitzonderlijk	Ja	Ja

Tabel 1: Basistypes van rotondes (Vanreusel J., 1997)

2.3.1.4 Criteria op macroniveau

In verband met de functionele categorisering van de wegen in Vlaanderen kan gesteld worden dat rotondes voornamelijk zullen voorkomen op secundaire wegen en lokale wegen. Bij hoofdwegen en primaire wegen zal de rotonde eerder een uitzondering zijn, wanneer alle andere mogelijkheden uitgesloten zijn.

Rotondes zullen voornamelijk toegepast worden op gewestwegen of wegen buiten de centra van steden. Op gemeentelijke wegen en in centrumgebieden zullen rotondes slechts beperkt toegepast worden. Meestal kan een attentiepunt of een stedelijk plein met rondgaand verkeer een interessante oplossing zijn voor kruispunten in deze gebieden.

Om te bepalen welk type rotonde mogelijk is moet onderzocht worden of het betrokken kruispunt in een verkeersgebied, een verblijfsgebied of een overgangsgebied ligt. In hoger vermeld schema wordt aangeduid welke types van toepassing zijn in welke omgeving.

Uiteraard zal ook een gedetailleerde analyse van de ruimtelijke structuur en de verkeersstructuur nodig zijn. Hiervoor kunnen topografische kaarten en luchtfoto's nuttige informatie bieden. Deze analyse moet leiden tot een typologie van kruispunten, met aanduiding van de kruispunten die in aanmerking komen voor een inrichting als rotonde, en andere die er niet voor in aanmerking komen. Weggebruikers moeten een bepaalde logica ervaren in de kruispunten die als rotonde zijn ingericht. Er moet een logisch systeem van rotondes ontstaan, dat de ruimtelijke structuur versterkt en de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid bevordert.

(Vanreusel J., 1997)

2.3.1.5 Criteria op microniveau

Naast een analyse van de regio, moet ook van elk kruispunt een gedetailleerde analyse worden gemaakt. Eerst wordt onderzocht of wel het mogelijk is om op het knooppunt een rotonde aan te leggen. Daarna moet worden nagegaan of het kruispunt voldoet aan een aantal voorwaarden:

- Een rotonde vereist een zeker evenwicht in de intensiteit op de verschillende takken

- Kruispunten met een uitgesproken piekverkeer (bvb. industrieterrein, winkelcentrum...) kunnen beter niet als rotonde ingericht worden.
- Een rotonde wordt beter niet aangelegd in de nabijheid van een lichtengeregeld kruispunt. Beide systemen zouden elkaar kunnen blokkeren.
- Op wegen met doorgaand verkeer liggen kruispunten met rotondes best niet te dicht bij elkaar.
- Bij hoge verkeersintensiteiten kan het nodig zijn om op toeritten en afritten meerdere rijstroken te voorzien.
- Wanneer op een kruispunt een groot aantal fietsers passeert, moet hier speciale aandacht aan gegeven worden.
- Een kruispunt met meer dan vier takken is aangewezen om als rotonde in te richten. De capaciteit neemt evenredig met het aantal takken toe.

(Vanreusel J., 1997)

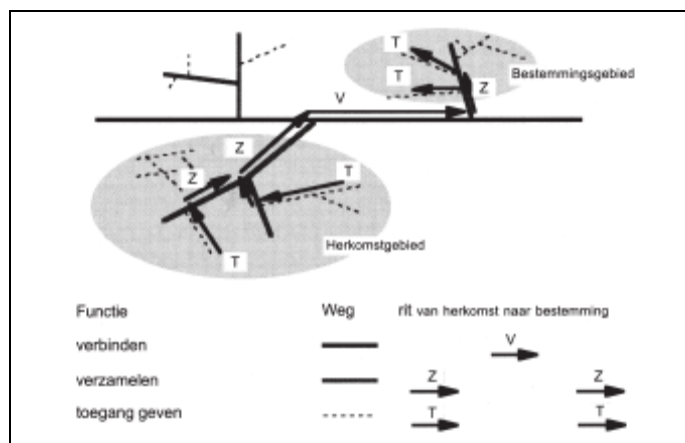
2.3.2 Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen

2.3.2.1 Toelichting

Het ruimtelijk structuurplan Vlaanderen is een wetenschappelijk onderbouwde visie over hoe de Vlaamse Overheid wil omgaan met de schaarse ruimte in Vlaanderen. Het ging van kracht in 1997 en is voor tien jaar geldig. In 2007 zal een nieuw structuurplan van kracht worden tot 2017. Onder de gewenste ruimtelijke structuur, onderdeel lijninfrastructuur, worden uitspraken gedaan over hoe de verkeersinfrastructuur in Vlaanderen dient te evolueren.

2.3.2.2 Functies van het wegennet

Het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen bepaalt verschillende functies in het wegennet. De *verbindingsfunctie* enerzijds laat hoge snelheden toe. Tegemoetkomend, kruisend en overstekend verkeer wordt zoveel mogelijk vermeden. De *erffunctie* anderzijds voorziet in de ontsluiting van woningen en combineert een diversiteit aan functies. De *verzamelfunctie* legt verbinding tussen de twee vorige functies. Ze takt aan op de wegen met een erffunctie en bundelt deze tot op de verbindingswegen. Door de vele vertakkingen worden hoge snelheden ook hier uitgesloten. (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)



Figuur 4: Functies van de wegen (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)

2.3.2.3 Categorisering van de wegen

Aan de hand van deze verschillende functies kan het wegennet gecategoriseerd worden. De wegen in Vlaanderen worden onderverdeeld in hoofdwegen, primaire wegen, secundaire wegen en lokale wegen. De onderverdeling gaat van uitsluitend verbindingsfunctie tot uitsluitend erffunctie.

CATEGORIE	HOOPDFUNCTIE	Aanvullende functie	INRICHTING
HOOPDWEG	VERBINDEN op internationaal niveau	Verbinden op Vlaams niveau	Autoanelweg, naar Europese normen
PRIMAIRE WEG Categorie I	VERBINDEN op Vlaams niveau	Verzamelen op Vlaams niveau	Autoanelweg/stedelijke autoanelweg Autoweg (2x2 of 2x1) Weg (2x2 of 2x1) met gescheiden verkeersafwikkeling
PRIMAIRE WEG Categorie II	VERZAMELEN op Vlaams niveau,	Verbinden op Vlaams niveau	Autoweg (2x2 of 2x1) Weg (2x2 of 2x1) met gescheiden verkeersafwikkeling
SECUNDAIRE WEG	Verbinden en/of verzamelen op lokaal en bovenlokaal niveau	Toegang geven	Weg (2x1 of 2x2) niet noodzakelijk met gescheiden verkeersafwikkeling Doortochten in bebouwde kern
LOKALE WEG	Toegang geven		Weg (2x1) met gemengde verkeersafwikkeling

Figuur 5: Categorisering van de wegen (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)

2.3.2.4 Positionering van rotondes

Het ruimtelijk structuurplan op zich stelt geen richtlijnen op over waar rotondes van toepassing zijn. Het vormt wel een kader waarin verdere studies uitgevoerd kunnen worden. Het handboek secundaire wegen is een studie die zo opgevat kan worden.

2.3.3 Handboek secundaire wegen

2.3.3.1 Toelichting

Het handboek secundaire wegen is een studie van TRITEL in samenwerking met IRIS CONSULTING, in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Het doel van de studie was het

opstellen van eenvormige ontwerprichtlijnen gekoppeld aan de wegcategorisering van het RSV. Het plan en ontwerpproces wordt stap voor stap beschreven waarna er een aantal concrete inrichtingsprincipes voor secundaire wegen voorgesteld worden.

Het planproces wordt opgevat als een stappenplan. Voor de opbouw van het verkeersplanologisch streefbeeld worden vier opeenvolgende stappen voorgesteld: de keuze van de *ontwerpsituatie*, de samenstelling van het *programma van eisen*, de opmaak van het *conceptstreefbeeld* en de opmaak van het *verkeersplanologisch streefbeeld* (zie Figuur 6). Voor de verdere uitwerking van het planproces wordt verwezen naar de eindnota van het onderzoek.

2.3.3.2 Categorisering volgens type

De secundaire wegen worden in het onderzoek verder gecategoriseerd. Naargelang de hoofdfunctie worden ze onderverdeeld in 3 types:

- Type 1: De hoofdfunctie van deze wegen is verbinden op bovenlokaal niveau voor het autoverkeer op basis van mobiliteitsgenererende activiteiten op provinciaal niveau. Indien de weg een maas verkleint moeten filters of weerstanden worden ingebouwd zodat kortsluiting tussen twee hoofd- of primaire wegen, waardoor de weg als primaire as gaat functioneren, vermeden wordt. Bijkomend kan de weg ook een belangrijke functie hebben voor het openbaar vervoer en/of fietsverkeer op bovenlokaal of provinciaal niveau.
- Type 2: De hoofdfunctie van deze wegen is verzamelen op bovenlokaal niveau voor het autoverkeer. Dit type heeft slechts in tweede instantie een verbindende functie. Het toegang geven neemt hier een belangrijkere plaats in dan in de categorie secundair van het type 1. Bijkomend kan de weg ook een belangrijke functie hebben voor het openbaar vervoer en/of fietsverkeer op bovenlokaal of provinciaal niveau.
- Type 3: De hoofdfunctie van deze wegen is verbinden voor het openbaar vervoer en/of het fietsverkeer op bovenlokaal en provinciaal niveau. De weg heeft daarbij voor het autoverkeer slechts een aanvullende verbindende en/of verzamelende functie op (boven)lokaal niveau

(Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)

2.3.3.3 Categorisering volgens regime

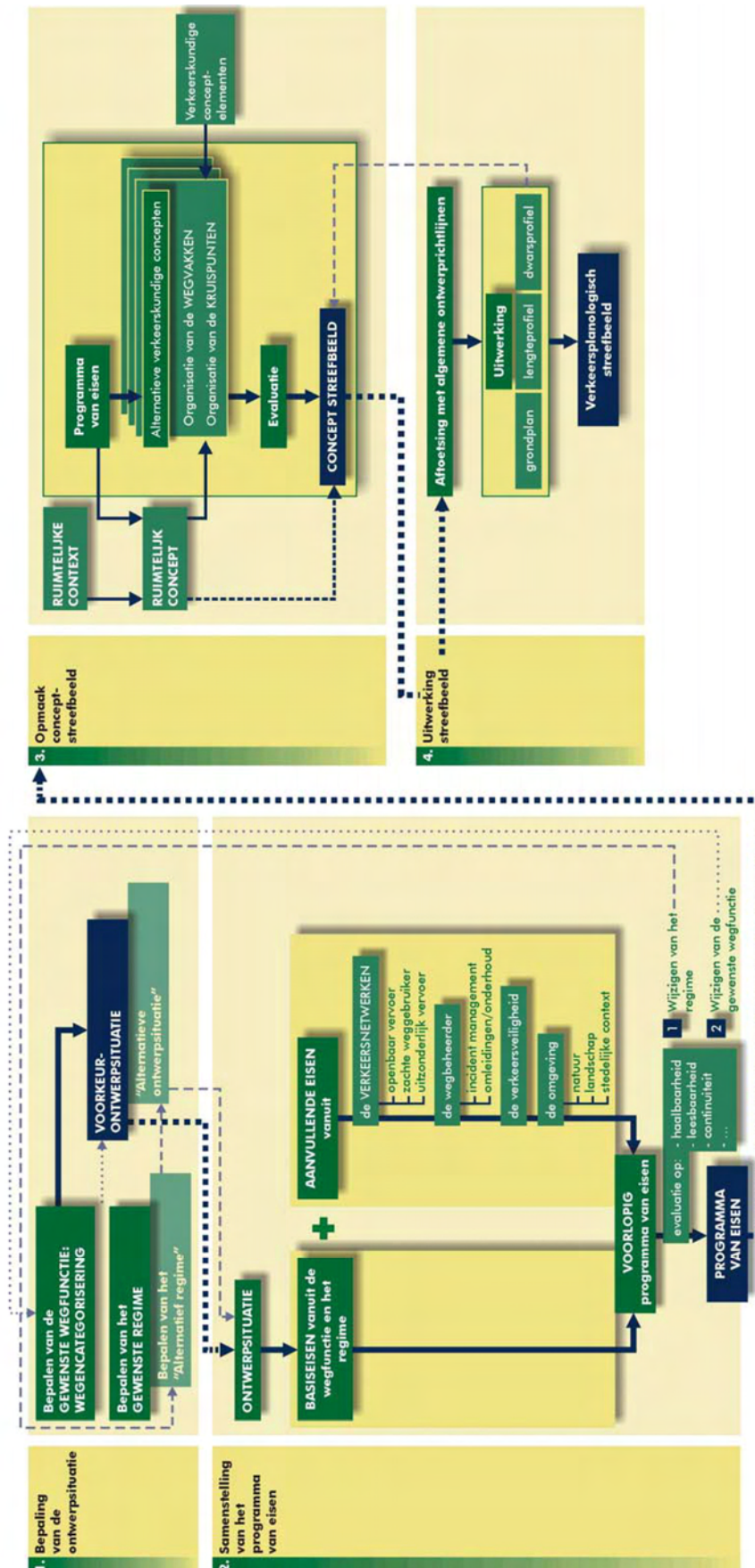
Naast de onderverdeling volgens hoofdfunctie en aanvullende functie worden de secundaire wegen ook opgedeeld in 9 regimes, afhankelijk van de status van de weg, de toegelaten snelheid en de ligging binnen of buiten de bebouwde kom.

	Regime	Status	Snelheidsregime
Buiten bebouwde kom (bubeko)	1	Autosnelweg	120 km/u
	2	Autosnelweg	100 km/u
	3	Autoweg	110 km/u
	4	Autoweg	90 km/u
	5	Weg van gemengd verkeer	90 km/u
	6	Weg van gemengd verkeer	70 km/u
Binnen bebouwde kom (bibeko)	7	Autoweg	70 km/u
	8	Weg van gemengd verkeer	70 km/u
	9	Weg van gemengd verkeer	50 km/u

Tabel 2: Verschillende regimes van secundaire wegen ((Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)

2.3.3.4 Positionering van rotondes

Voor de opmaak van het concept streefbeeld worden de mogelijke oplossingen van de kruisingen van de verschillende wegentypes en -regimes in het handboek secundaire wegen opgesomd. De mogelijkheden worden geklasseerd volgens voorkeursontwerp en alternatief ontwerp. (zie Figuur 7)



Figuur 6: Schematische voorstelling van het plan- en ontwerpproces (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)

2.4 Positionering van turborotondes

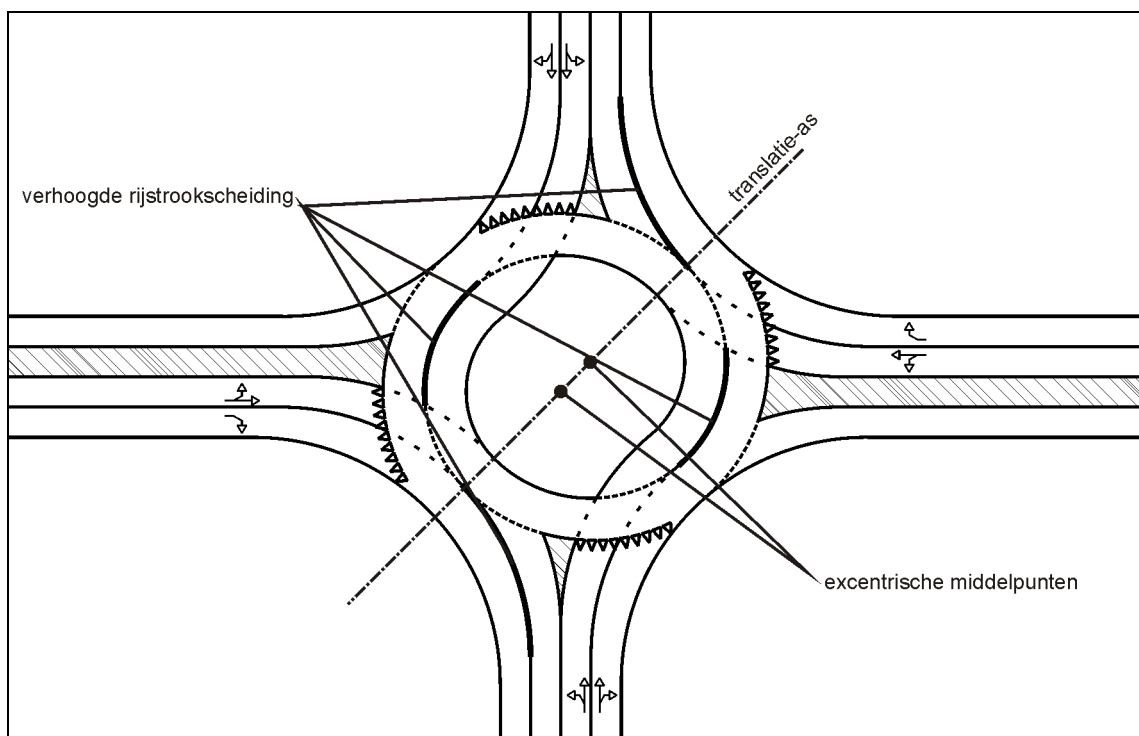
Omdat de turborotonde binnen het Vlaams beleidskader nog niet aangehaald wordt, zal het nodig zijn om op basis van de specifieke kenmerken te onderzoeken in welke situaties de turborotonde wenselijk is. Daarom worden de algemene kenmerken van spiraalbelijnde rotondes hier eerst toegelicht.

2.4.1 Kenmerken van spiraalbelijnde rotondes

Rotondes met spiraalbelijning zijn rotondes met meerdere rijstroken op de rotonde. In tegenstelling tot de in Vlaanderen reeds bekende meerstrooksrotondes zal het verkeer bij een spiraalbelijnde rotonde een richting moeten kiezen vóór het de rotonde oprijdt. Hierdoor zullen de rijstroken op de rotonde optimaal gebruikt worden.

Qua ruimtegebruik zijn spiraalbelijnde rotondes te vergelijken met de bekende meerstrooksrotondes. De rijstroken worden bepaald door halve cirkels waarvan het middelpunt verschoven is langs een translatie-as. Hierdoor zijn ze iets smaller en iets hoger dan de 'concentrische' meerstrooksrotondes.

Om het verkeer te 'dwingen' de gekozen richting te volgen worden de rijstrookscheidingen op de rotonde verhoogd. In uitzonderlijke situaties zijn deze rijstrookscheidingen overrijdbaar.



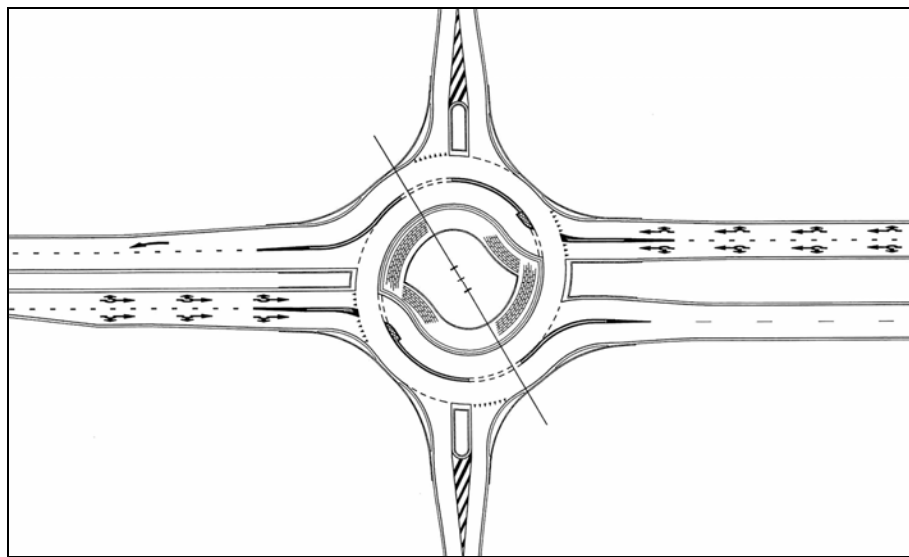
Wanneer de intensiteiten op een bestaand verkeersknooppunt gekend zijn kan de spiraalbelijnde rotonde zo ontworpen worden dat de richtingen met de grootste intensiteiten ook de grootste capaciteit krijgen. Deze rotondes kunnen zo op maat van de verkeerssituatie ontworpen worden.

2.4.2 Types spiraalbelijnde rotondes

Fortuijn ontwikkelde verschillende types meerstrooksrotondes die gebaseerd zijn op het principe van spiraalbelijning. Bij elk type hebben de verschillende takken van de rotonde een andere capaciteit. De verschillende types spiraalbelijnde meerstrooksrotondes worden hierna besproken.

2.4.2.1 Eirotonde

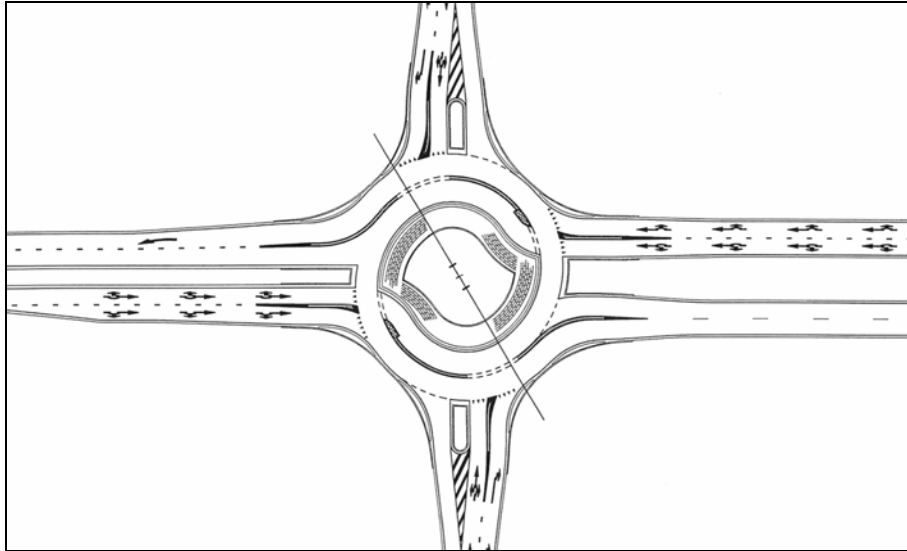
De eirotonde is de eenvoudigste spiraalbelijnde rotonde. De twee rijstroken van de hoofdweg lopen als het ware door over de rotonde, terwijl de zijwegen aansluiten met één rijstrook. Deze rotonde is van toepassing wanneer een belangrijke weg kruist met een minder belangrijke weg. De doorstroming zal zo vlotter zijn dan wanneer men een lichtengeregeld kruispunt aanlegt.



Figuur 8: Eirotonde (Fortuijn, 1997)

2.4.2.2 Turborotonde

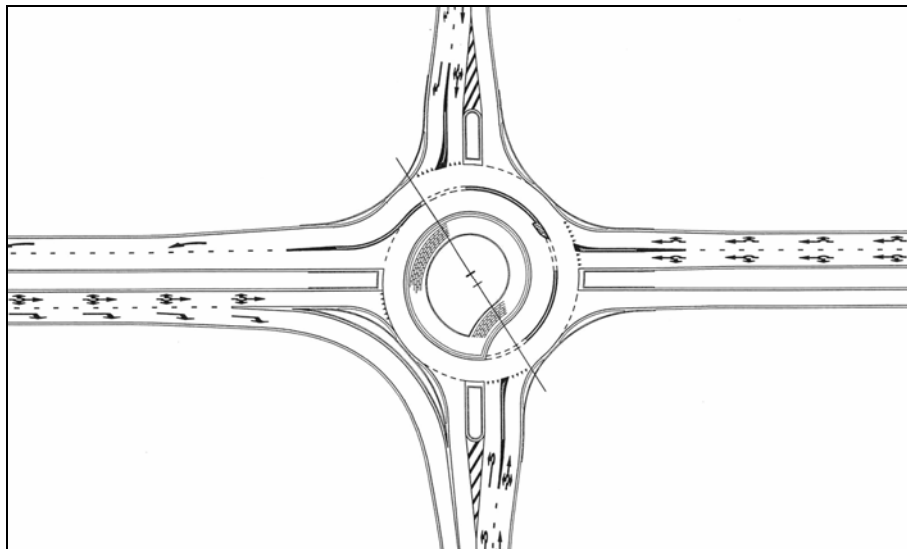
De hoofdwegen takken op dezelfde manier aan als bij de eirotonde, maar de zijwegen sluiten hier ook aan met twee rijstroken. De capaciteit op de zijstroken wordt op deze manier verhoogd.



Figuur 9: Turborotonde (Fortuijn, 1997)

2.4.2.3 Knierotonde

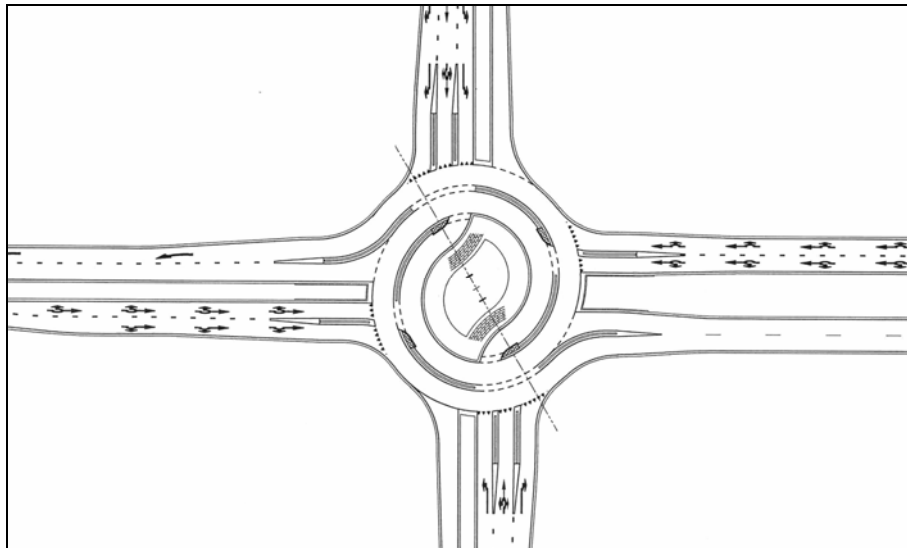
De linksafbeweging bestaat hier uit twee doorlopende rijstroken. De tegenrichting wordt over een passeerbaan geleid. Deze rotonde wordt voornamelijk toegepast wanneer de linksafbeweging een grote intensiteit heeft, bijvoorbeeld wanneer de hoofdweg een bocht van 90° maakt.



Figuur 10: Knierotonde (Fortuijn, 1997)

2.4.2.4 Spiraalrotonde

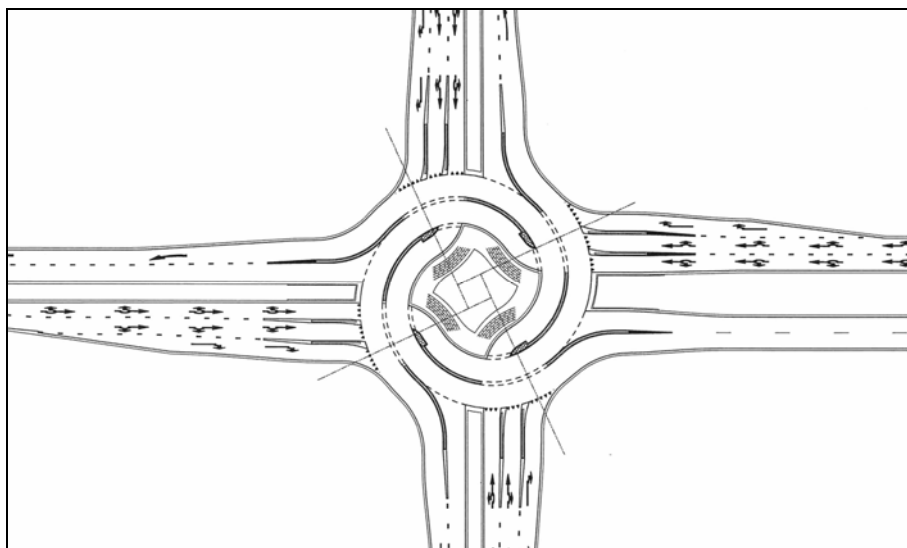
De spiraalrotonde is een turborotonde waar de zijrichtingen voorzien worden van 3 rijstroken. De meest rechtse rijstrook is uitsluitend voor het rechtsafslaand verkeer. Door deze extra rijstrook wordt de capaciteit van de zijrichtingen verhoogd.



Figuur 11: Spiraalrotonde (Fortuijn, 1997)

2.4.2.5 Rotorrotonde

De rotorrotonde heeft op alle takken 3 rijstroken voor toevoer en 2 rijstroken voor de afvoer. De capaciteiten op de verschillende takken zijn dus gelijk. Deze rotonde kan een zeer grote intensiteit verwerken, maar neemt wel veel ruimte in beslag.



Figuur 12: Rotorrotonde (Fortuijn, 1997)

2.4.3 Besluit

Aan de hand van hun typerende kenmerken (hoge capaciteit, veel ruimtebeslag) kan gesteld worden dat spiraalbelijnde rotondes voornamelijk toepasbaar zullen zijn in verkeersgebieden (bepaald door het RSV), op knooppunten waar een grote capaciteit gewenst is (bijvoorbeeld op kruisingen van secundaire wegen buiten de bebouwde kom).

Binnen de terminologie van het Vademecum Rotondes zouden ze geklasseerd kunnen worden als grote rotondes. Aangezien de spiraalbelijning ontwikkeld is om een vlottere doorstroming op meerstrooksrotondes te bieden, zullen ze op dezelfde plaatsen als de klassieke meerstrooksrotondes gepositioneerd kunnen worden.

Doordat de mogelijkheid bestaat om te 'spelen' met de capaciteit zal de turborotonde (als deel van de groep spiraalbelijnde rotondes) in het bijzonder geschikt zijn bij de kruising van een hoofdweg (bijvoorbeeld secundaire weg) en een andere weg (bijvoorbeeld lokale verbindingsweg).

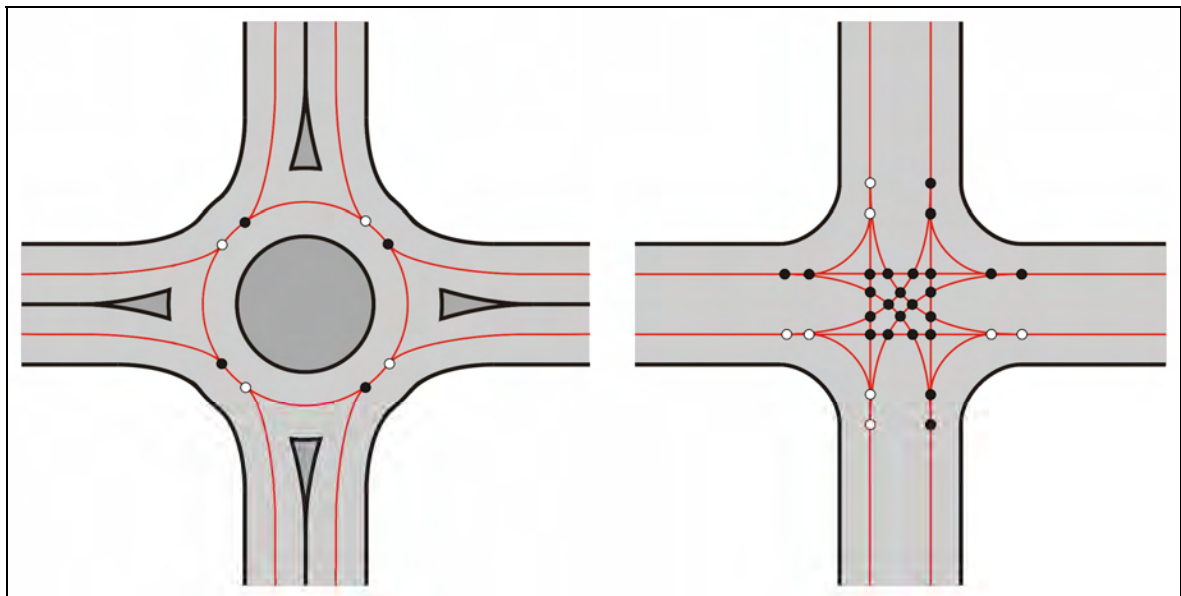
3 Verkeersveiligheid

3.1 Conflictpunten

Wanneer een rotonde goed wordt aangelegd, zal de veiligheid op het verkeersknooppunt aanzienlijk stijgen. Het aantal ongevallen daalt, en, minstens even belangrijk, ook de ernst van de ongevallen daalt. De verhoogde verkeersveiligheid kan verklaard worden door volgende factoren:

- Vermindering van het aantal conflictpunten (van 32 naar 8)
- Splitsing van de conflictpunten op twee plaatsen per tak
- Vereenvoudiging van de conflictsituaties (T-kruispunten)
- Verhoging van de aandacht van de bestuurder door het verkeerskundig concept van de rotonde
- Verlaging van de rijnsnelheid door de verplichting tot voorrang verlenen, de asverschuiving en het gebruik van kleine bochtstralen
- Uitsluiting van gevaarlijke conflicten zoals haakse en frontale aanrijdingen met voertuigen die linksaf slaan

(Donné V., 1997)



Figuur 13: Conflictpunten op rotondes (8 conflicten) en kruispunten (32 conflicten)

3.2 Ongevallenonderzoek

De Brabander et al. (2005) onderzochten de invloed van het aantal letselongevallen op de Vlaamse gewestwegen na inplanting van 95 rotondes tussen 1994 en 1999. De empirische resultaten laten een gemiddelde daling van 34% in het aantal letselongevallen in het eerste jaar na de aanleg van de rotonde zien (variërend tussen 15 en 59%). Het aantal letselongevallen met enkel lichtgewonden daalt met 30% (14-45%). Het aantal letselongevallen met minstens één zwaargewonde daalt met 38% (27-72%). (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**)

Speed limit (km/h) – major road x adjacent road	Reduction in the number of accidents ^a	Reduction in the number of light injury accidents ^a	Reduction in the number of serious injury accidents ^a
50x50	39% (24% , 50%)*	37% (19% , 51%)*	28% (-29% , 60%)
70x50	15% (-5% , 30%)	14% (-12% , 33%)	36% (-4% , 60%)
70x70	42% (17% , 59%)*	42% (14% , 61%)*	50% (-13% , 78%)
90x50	55% (18% , 76%)*	45% (-7% , 72%)	54% (-17% , 82%)
90x70	59% (44% , 71%)*	40% (8% , 61%)*	72% (42% , 86%)*
90x90	18% (-24% , 46%)	7% (-48% , 42%)	27% (-77% , 70%)
All locations	34% (43% , 28%)*	30% (19% , 39%)*	38% (15% , 54%)*

Tabel 3: Vermindering van het aantal ongevallen na aanleg van een rotonde (De Brabander et al., 2000)

3.3 Factoren die de (on)veiligheid op de rotonde bepalen

3.3.1 Intensiteit

Het aantal ongevallen neemt toe met de intensiteit van het verkeer op de rotonde. Tot een bepaalde drempelwaarde stijgt het aantal ongevallen ongeveer evenredig met de intensiteit. Eenmaal deze kritische drempel overschreden stijgt het aantal ongevallen plots sneller. In Vlaanderen stelt men deze waarde op 12500 voertuigen per dag.

Een verschillende intensiteit op de verschillende toeritten van de rotonde leidt niet tot een grotere onveiligheid. De capaciteit van de rotonde gaat hierdoor wel achteruit.

3.3.2 Grootte

De grootte van de rotonde staat recht evenredig met het aantal ongevallen. Rotondes met een binnenstraal van meer dan 20 m kennen de meeste ongevallen. Grote rotondes worden meestal aangelegd om te voldoen aan grotere intensiteiten. In een Frans onderzoek blijkt echter dat rotondes met de grootste intensiteiten van alle grootteordes zijn. Wanneer grote rotondes dus niet gepaard gaan met grote intensiteiten, zullen de snelheden hoger liggen. Dit verklaart de hogere onveiligheid.

Meerstrooksrotondes leiden tot hogere afrijnsnelheden en bijkomende weefbewegingen op de rotonde. Vooral het aantal kop-staartbotsingen op de toeritten stijgt. Er gebeuren ook meer ongelukken op de rotonde zelf. Een ander nadeel is dat de wachtende voertuigen elkaar het zicht belemmeren.

(Donné V., 1997)

3.3.3 Vrachtverkeer

Een toename van het vrachtverkeer op een rotonde resulteert in zwaardere ongevallen. Vooral op rotondes met een fietsstrook gebeuren veel ongevallen met vrachtwagens. (Daniels S. & Wets G., 2006)

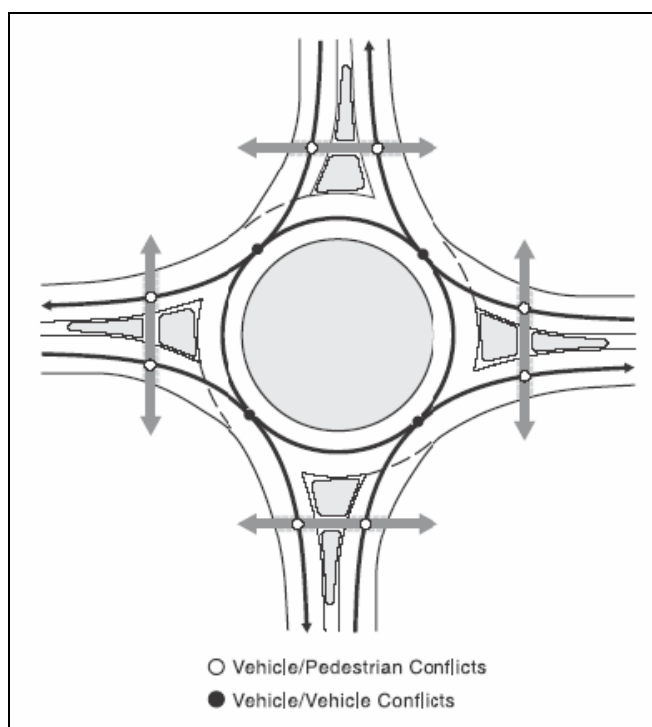
3.3.4 Zwakke weggebruikers

Fietsers en voetgangers kunnen op rotondes terecht komen in specifieke conflictsituaties. In vergelijking met verkeerslichtengeregelde kruispunten hebben rotondes als nadeel dat de conflicten tussen gemotoriseerde voertuigen en zwakke weggebruikers niet kunnen geregeld worden door een groen- en roodfasering. (Daniels S. & Wets G., 2006)

3.3.4.1 Voetgangers

Rotondes leveren voor voetgangers een vergelijkbaar aantal conflictmogelijkheden op dan klassieke voorrangsgeregelde of ongeregelde kruispunten (zie Figuur 14). Rotondes sluiten sommige conflicten tussen gemotoriseerde voertuigen en voetgangers uit die bestaan bij verkeerslichtengeregelde kruispunten (FHWA, 2000):

- Zijdelingse aanrijdingen ten gevolge van roodlichtnegatie.
- Conflict tussen rechtsafslaand verkeer en overstekende voetganger bij groen licht.
- Conflict tussen linksafslaand verkeer en overstekende voetganger bij groen licht.



Figuur 14: Conflicten tussen voetgangers en voertuigen op een enkelstrooksrotonde (FHWA, 2000)

3.3.4.2 Fietsers

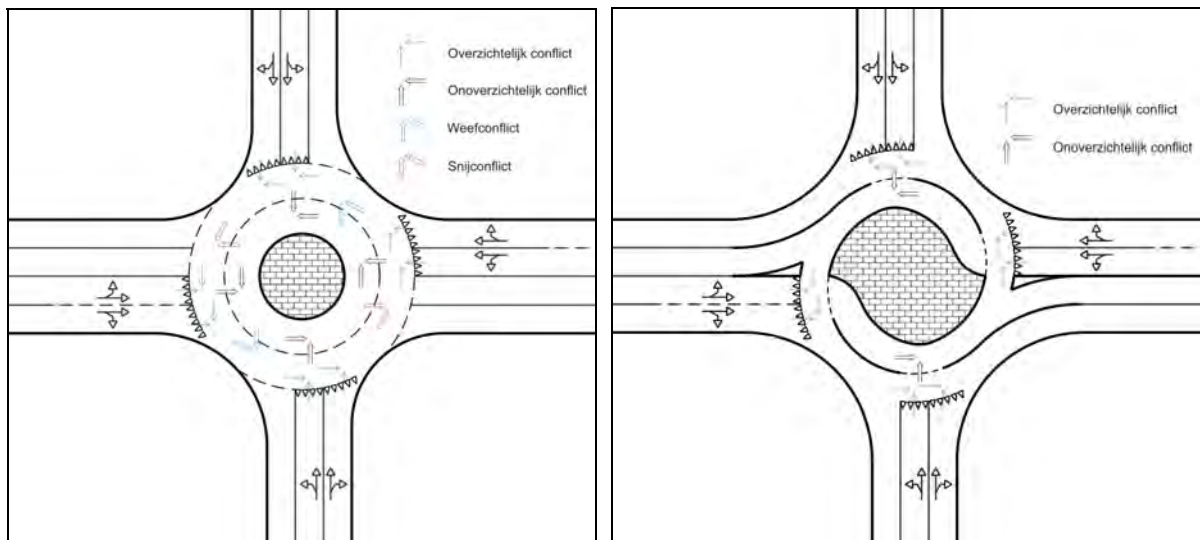
De conflicten voor fietsers hangen af van de vormgeving van de rotonde. Indien er geen specifieke fietsvoorzieningen aanwezig zijn (gemengd verkeer) of indien het fietspad aanliggend is hebben fietsers in principe dezelfde conflictpunten als het gemotoriseerde verkeer. Niettemin kan het aantal conflicten groter zijn omwille van de geringere zichtbaarheid en het grotere snelheidsverschil (Brown, 1995 en FHWA, 2000).

3.4 Turborotondes

Wanneer de verkeersveiligheid op een turborotonde vergeleken wordt met deze op een meerstrooksrotonde (bvb. 2 stroken), worden de voordelen van de spiraalbelijning duidelijk. De voertuigen weven niet in een bocht maar over een kleine, vast bepaalde afstand. Het aantal conflictpunten vermindert en de conflictsituaties zijn duidelijk zichtbaar voor de bestuurders. Vooral de weefconflicten worden duidelijker gepresenteerd.

Op een turborotonde zijn er voor het autoverkeer tien conflictpunten, terwijl er dat op een rotonde met concentrische belijning zestien zijn. Vier van deze conflictpunten zijn op een gewone rotonde niet duidelijk naar plaats of tijd gedefinieerd. Zo zijn er twee weefconflicten bij rijstrookwisseling en twee onvoorspelbare snijconflicten bij het verlaten van de rotonde. Deze snijconflicten zullen vaak voor problemen zorgen. Voorzichtige bestuurders die moeite hebben met weven, zullen de buitenste rijstrook blijven gebruiken, zelfs wanneer ze linksaf moeten. Andere chauffeurs maken wel gebruik van de binnenste rotondestrook. Wanneer deze terug willen keren naar de buitenste rijstrook om de rotonde te verlaten, zal er een conflict ontstaan tussen beide bestuurders. Een rotonde met spiraalbelijning kent dit probleem niet. De verkeersafwikkeling wordt hierdoor beter voorspelbaar. (Fortuijn L.G.H. & Carton P.J., 2000)

De turborotonde is dus verkeersveiliger omdat de verkeerssituatie overzichtelijker wordt en omdat de snelheid op conflictpunten verlaagd wordt.



Figuur 15: Conflictpunten op een tweestrooksrotonde en een turborotonde

Experimenteel onderzoek naar de verkeersveiligheid van turborotondes werd tot op heden nog niet uitgevoerd.

4 Capaciteit

4.1 Capaciteitsberekening van rotondes in Vlaanderen

Zoals reeds aangehaald heeft de ring bij een moderne rotonde voorrang op de toeritten (voorrang van links). Een rotonde kan dan beschouwd worden als een opeenvolging van T-kruispunten. Voor elk van deze kruispunten kan de klassieke theorie voor het bepalen van de capaciteit van kruispunten zonder lichtsignalisatie toegepast worden. Hierbij zijn twee methodes gangbaar: de probalistische en de empirische.

De probalistische benadering gaat uit van een gekend aankomstpatroon van het verkeer op de ring. Rekening houdend met de duur van de door de secundaire richting geaccepteerde hiaten en volgtijden kan een wiskundig verband gevonden worden tussen het conflicterend verkeer op de rotonde en het naderend verkeer op de toerit (cf. Gap Acceptance Theory). Deze benaderingswijze in Vlaanderen en de ons omringende landen niet gebruikelijk.

De empirische benadering gaat uit van metingen op bestaande rotondes waarvan één of meerdere toeritten verzadigd zijn. Uit deze gegevens wordt een wiskundig verband afgeleid, rekening houdend met een aantal variërende geografische kenmerken. Dit verband kan lineair of negatief - exponentieel zijn.

In het Vademecum Rotondes wordt de methode van Bovy als meest geschikte methode voor de berekening van de capaciteit van compacte rotondes voorop gesteld.

(De Baetselier Y., 1997)

4.2 Richtwaarden voor de capaciteit van rotondes

Volgende vuistregels (gebaseerd op gegevens van bestaande rotondes) kunnen gehanteerd worden om na te gaan of een rotonde toegepast kan worden:

- Bij intensiteiten tot 15000 voertuigen per 24 u kan zonder meer een enkelstrooksrotonde worden toegepast. Voor tweestrooksrotondes ligt deze grens op 18000 voertuigen per 24 u. Hierbij kan nog een redelijk groot aantal fietsers verwerkt worden.
- De Nederlandse ervaring leert dat enkelstrooksrotondes in de meeste situaties tot 20000 voertuigen per 24 u kunnen verwerken.
- De maximale capaciteit (bij gelijke belasting van de armen van de rotonde) bedraagt 25000 tot 28000 voertuigen voor een enkelstrooksrotonde en 35000 à 40000 voertuigen per 24 u voor een tweestrooksrotonde.
- Bij hoge spitsuurbelastingen en/of ongelijkmatige verdeling van het verkeer kan men een afrijcapaciteit van 1100 à 1300 voertuigen per uur voor een enkelstrooksrotonde beschouwen.

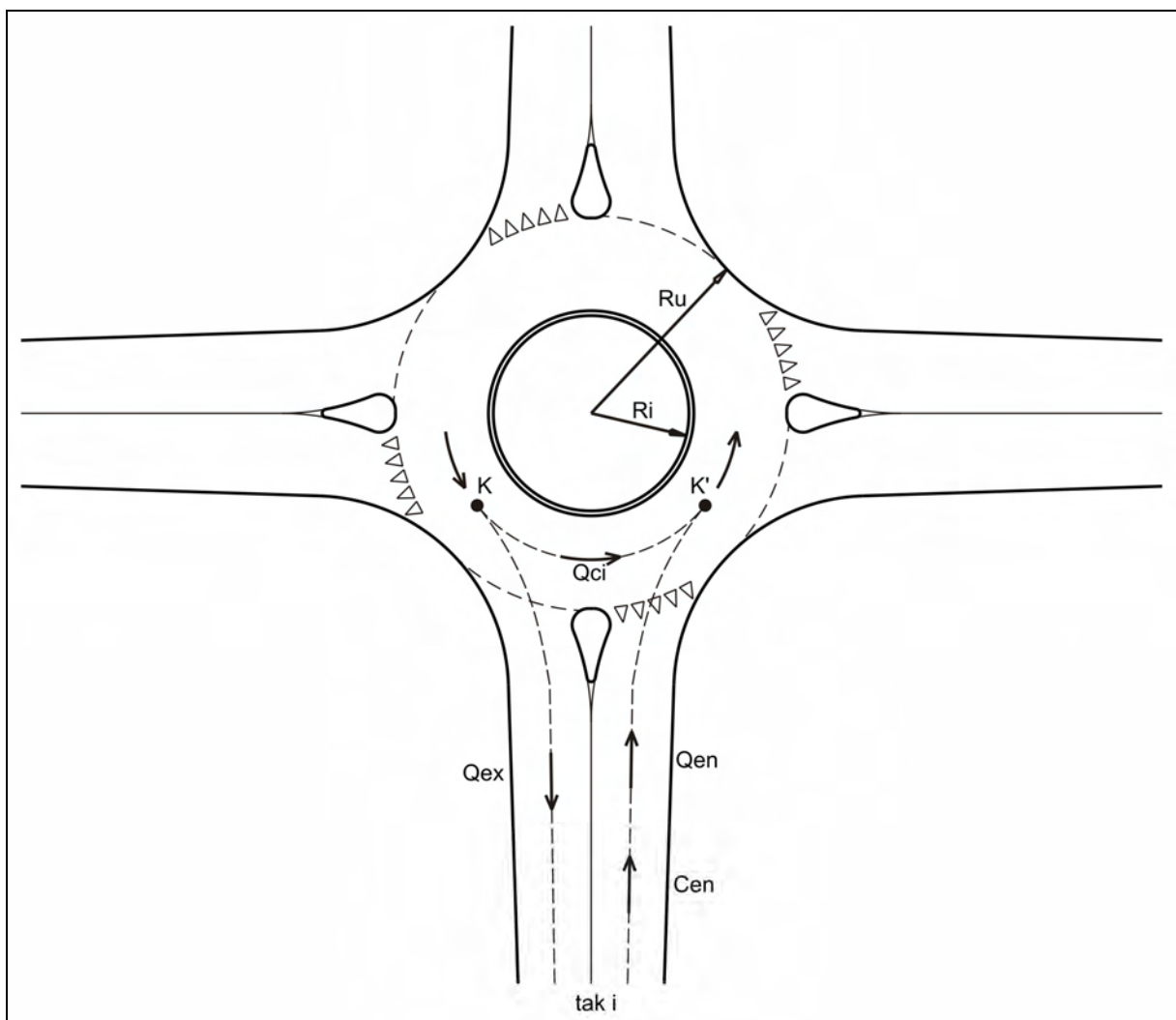
(Lauwers D., 1997)

4.3 Methode van Bovy voor rotondes

4.3.1 Inleiding

De methode van Bovy is dus een empirische benaderingsmethode. Uit verkeerstellingen op bestaande rotondes werd een wiskundig verband afgeleid, rekening houdend met een aantal geometrische kenmerken. In de eerste fase van het ontwerp liggen de geometrische kenmerken (aantal rijstroken, diameter...) nog niet vast. Door toepassing van de formules kan een gepast ontwerp voor elke situatie van tevoren bepaald worden.

Met de methode van Bovy kan de theoretische capaciteit van een rotonde te berekend worden. Eerst wordt de capaciteit van elke toerit berekend. Deze cijfers worden dan samengevoegd zodat de capaciteit van de ring bepaald kan worden. Uiteindelijk wordt de capaciteit van de rotonde bepaald.



Figuur 16: Methode van Bovy

4.3.2 Capaciteit van de toerit

De methode van Bovy geeft een lineair verband tussen de capaciteit $C_{en}(i)$ van toerit i en de intensiteit van het conflicterend verkeer $Q_{co}(i)$ voor die toerit.

$$C_{en}(i) = \left(\frac{1}{\gamma_i} \right) (K - k \cdot Q_{co}(i))$$

$$\text{waarin } Q_{co}(i) = \beta_i \cdot Q_{ci}(i) + \alpha_i \cdot Q_{ex}(i)$$

De variabelen in de formule worden als volgt verklaard:

$C_{en}(i)$	capaciteit van toerit i
$Q_{co}(i)$	intensiteit van het conflicterend verkeer voor toerit i
$Q_{ex}(i)$	intensiteit van het verkeer dat de rotonde verlaat vóór toerit i
$Q_{ci}(i)$	intensiteit van het verkeer op de ring ter hoogte van toerit i
α_i	maat voor de impact van het afrijdend verkeer op tak i op het toekomstig verkeer dezelfde tak i . Afhankelijk van de grootte van en de snelheid op het kruispunt ligt α tussen 0,8 en 0. Een typische waarde is 0,3.
β_i	maat voor het gebruik van de rijstroken op de rotonde. Wanneer het aantal rijstroken toeneemt, zal het gemiddeld gebruik per rijstrook dalen. 1 rijstrook op de rotonde: $0,9 \leq \beta \leq 1,0$ 2 rijstroken op de rotonde: $0,6 \leq \beta \leq 0,8$ 3 rijstroken op de rotonde: $0,5 \leq \beta \leq 0,6$
γ_i	factor die rekening houdt met het aantal rijstroken van toerit i : 1 rijstrook op de toerit: $\gamma = 1,0$ 2 rijstroken op de toerit: $0,5 \leq \gamma \leq 0,6$ 3 rijstroken op de toerit: $\gamma = 0,5$
K en k	coëfficiënten: $K = 1500$ en $k = 8 / 9$

De restcapaciteit R_{en} van de toerit is het verschil van de capaciteit en de intensiteit op tak i .

$$R_{en}(i) = C_{en}(i) - Q_{en}(i)$$

Theoretisch zou $R_{en} > 0$ volstaan. In de praktijk stelt men een marge voor van $R_{en} > 100$ pae.

De verzadigingsgraad X_{en} is de verhouding van de intensiteit tot de capaciteit op tak i . De reservefactor $RF_{en}(i)$ is hier het omgekeerde van.

$$X_{en}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{en}(i)} \text{ en } RF_{en}(i) = \frac{C_{en}(i)}{Q_{en}(i)} = \frac{1}{X_{en}}$$

Ook hier stelt men een marge voor om tot een vlotte verkeersdoorstroming te komen:

$$X_{en} < 0,9 \text{ of } RF_{en}(i) > 1,1$$

4.3.3 Capaciteit van de ring

De capaciteit van de ring $C_{ri}(i)$ ter hoogte van toerit i bedraagt:

$$C_{ri}(i) = \frac{K}{\gamma_i + k \cdot \frac{Q_{co}(i)}{Q_{en}(i)}}$$

Hier bedraagt de restcapaciteit van de ring $R_{ri}(i)$ het verschil tussen de mogelijke capaciteit op de ring en de werkelijke intensiteit op toerit i.

$$R_{ri}(i) = C_{ri}(i) - Q_{en}(i)$$

De verzadigingsgraad $X_{ri}(i)$ is de verhouding van de intensiteit tot de capaciteit. De reservefactor $RF_{ri}(i)$ is hier het omgekeerde van.

$$X_{ri}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{ri}(i)} \text{ en } RF_{ri}(i) = \frac{C_{ri}(i)}{Q_{en}(i)} = \frac{1}{X_{ri}}$$

Voor een vlotte verkeersdoorstroming stelt men volgende marges voor:

$$R_{ri}(i) > 100 \text{ pae}$$

$$X_{ri}(i) < 0,9 \text{ of } RF_{ri}(i) > 1,1$$

4.3.4 Capaciteit van de rotonde

Voor elke toerit wordt nu de reservefactor van de ring $RF_{ri}(i)$ berekend. De capaciteit van de rotonde is dan het product van de kleinste reservefactor met de som van de intensiteiten van alle toeritten.

$$C_{rot} = RF_{ri}(x) \cdot \sum_{i=1}^n Q_{en}(i)$$

met x de tak met de kleinste intensiteit op de toerit

en n het aantal takken die aansluiten op de rotonde.

4.3.5 Opmerkingen

Over het algemeen zal de capaciteit van de ring kleiner zijn dan de capaciteit van de toerit. De voorwaarden voor R_{ri} , X_{ri} en RF_{ri} zullen dus steeds strenger zijn. Daarom volstaat het om enkel deze voorwaarden te controleren.

De voorwaarden voor R , X en RF stellen dat de rotonde het waargenomen verkeer zal kunnen verwerken. Indien men rekening wil houden met een toename van het verkeer in de toekomst, zullen de voorwaarden dus strenger worden. De gemiddelde afschrijvingstermijn voor wegenwerken bedraagt 15 jaar. Indien men verwacht dat het verkeer zal stijgen met ongeveer 40 % in deze 15 jaar, dan zal de rotonde aan volgende voorwaarde moeten voldoen:

$$RF_{ri}(i) > 1,5$$

De veiligheidsmarge van de methode van Bovy voldoet in *normale omstandigheden* ruimschoots. De methode houdt echter wel geen rekening met weersomstandigheden, een eventuele helling van de toerit, een mogelijke blokkering van de afritten, de invloed van (brom)fietzers en vrachtwagens, enz.

(De Baetselier, 1997)

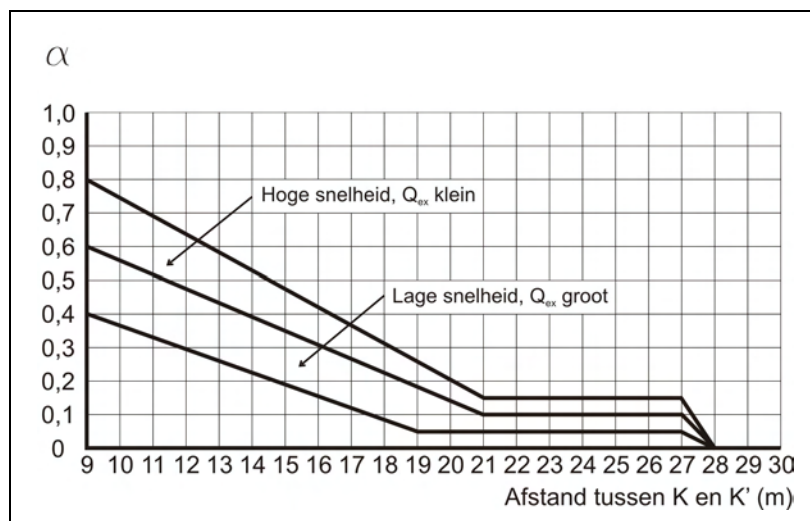
4.4 Aangepaste methode van Bovy voor turborotondes

4.4.1 De karakteristieke variabelen α , β en γ

Om de capaciteit van een turborotonde te berekenen met de methode van Bovy zal eerst de impact van de karakteristieke variabelen α_i , β_i en γ_i op het resultaat geanalyseerd worden, daarna wordt een specifieke formule voor turborotondes opgesteld.

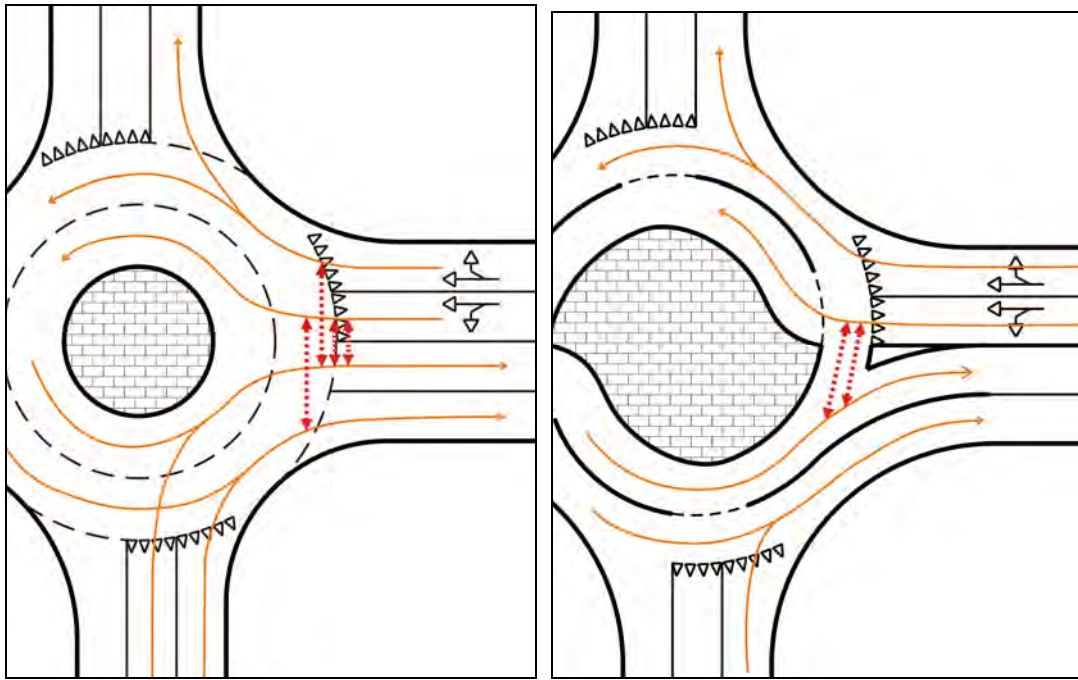
4.4.1.1 De karakteristieke variabele α

α_i brengt de invloed van het afrijdend verkeer op een tak op het toekomstig verkeer op dezelfde tak in rekening. Bestuurders zullen, afhankelijk van het ontwerp van het kruispunt, een zekere terughoudendheid ervaren bij een afslaand voertuig. Er ontstaat een 'gevoelsmatig conflict', want ongevallen zullen zich hier uiteraard nooit voordoen. Wanneer de diameter van de rotonde toeneemt, zal de waarde van α_i afnemen, omdat de afstand tussen het afslaand en het toekomstig verkeer (KK') groter wordt. α_i is ook afhankelijk van de snelheid op de rotonde. Bij hogere snelheden zal de drempel groter worden. De waarde van α_i is dus niet eenduidig te bepalen. Onderstaande grafiek geeft wel een richtlijn. Uiteindelijk is er steeds nog een marge, afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.



Figuur 17: De waarde van α bij gewone rotondes (De Baetselier, 1997)

Doordat de conflictpunten op een turborotonde beter zichtbaar zijn, kan deze factor verlaagd (of zelfs nul) worden. De spiraalbelijning maakt het voor de bestuurders op de toekomstige tak duidelijker welke richting het verkeer op de rotonde volgt.



Figuur 18: α -conflicten op een rotonde en een turborotonde

4.4.1.2 De karakteristieke variabele β

De factor β_i is afhankelijk van het aantal rijstroken op de rotonde. Wanneer het aantal rijstroken toeneemt, zal de capaciteit van de rotonde duidelijk ook toenemen. Bij een conventionele meerstrooksrotonde zullen de binnenste rijstroken echter nooit zo intensief gebruikt worden als de buitenste. Het gebruik van de binnenste rijstroken zorgt ook voor extra conflicten en hindert het verkeer op de buitenste ring. De factor β_i brengt deze fenomenen in rekening:

- 1 rijstrook op de rotonde: $0,9 \leq \beta \leq 1,0$
- 2 rijstroken op de rotonde: $0,6 \leq \beta \leq 0,8$
- 3 rijstroken op de rotonde: $0,5 \leq \beta \leq 0,6$

Bij een turborotonde worden de bestuurders verplicht om alle rijstroken van de rotonde te gebruiken. De linksafbeweging is bijvoorbeeld onmogelijk via de buitenste ring. Om de bestuurders te verplichten om in hun rijstrook te blijven worden de rijstrookscheidingen (volle lijnen) verhoogd. Omdat de binnenste rijstrook bij een turborotonde op die manier meer gebruikt wordt, zal de β_i waarde dus hoger zijn dan bij de conventionele meerstrooksrotondes. Ook hier kunnen er geen absolute voorwaarden opgesteld worden voor de waarde van β_i . De waarde is verschillend voor elk ontwerp.

4.4.1.3 De karakteristieke variabele γ

De invloed van γ_i is vergelijkbaar met die van β_i . De aanleg van meerdere rijstroken op de toeritten van een rotonde zal de capaciteit verhogen. De tweede (en evt. derde) rijstrook zal echter minder gebruikt worden. Het gebruik van deze extra rijstroken kan het verkeer op de eerste rijstrook hinderen. De factor γ_i corrigeert dit fenomeen bij de capaciteitsberekening van een rotonde:

- 1 rijstrook op de toerit: $\gamma = 1,0$
- 2 rijstroken op de toerit: $0,5 \leq \gamma \leq 0,6$
- 3 rijstroken op de toerit: $\gamma = 0,5$

Bij een turborotonde worden de bestuurders verplicht om voor te sorteren. De verschillende rijstroken zullen dus optimaal gebruikt worden. Eenmaal een toerit gekozen, ligt het tracé op de rotonde ook vast. Het verkeer op de verschillende toeritten hindert elkaar dus minimaal. De waarde van γ_i zal dalen, waardoor de capaciteit van de turborotonde toeneemt.

4.4.2 Aangepaste formule van Bovy voor meerstrooksrotondes volgens Fortuijn

Bij de conventionele formule van Bovy wordt er gerekend met intensiteiten en capaciteiten die betrekking hebben op totale hoeveelheden per richting, ook als het gaat om meerdere richtingen. Uit 4.4 blijkt dat de karakteristieke variabelen α , β en γ niet eenduidig bepaald kunnen worden. De invloed van deze variabelen is echter zeker niet verwaarloosbaar. Wanneer van tevoren bekend is dat de verschillende rijstroken niet gelijkmatig belast zullen worden, kan deze formule aangepast worden zodat er per rijstrook gerekend wordt.

Voor de capaciteit van de rechter rijstrook van een tweestrooksrotonde ziet de formule van Bovy er dan als volgt uit:

$$C_{en,r}(i) = K - k \cdot Q_{co}(i)$$

$$\text{waarin } Q_{co}(i) = \beta_{i,in,r} \cdot Q_{ci,in}(i) + \beta_{i,out,r} \cdot Q_{ci,out}(i) + \alpha_{i,in,r} \cdot Q_{ex,in}(i) + \alpha_{i,out,r} \cdot Q_{ex,out}(i)$$

De variabelen in de formule worden als volgt verklaard:

$C_{en,r}(i)$	capaciteit van de rechter rijstrook van toerit i
$Q_{co}(i)$	intensiteit van het conflicterend verkeer voor toerit i
$Q_{ci,in}(i)$	intensiteit van het verkeer op de binnenste rijstrook van de rotonde ter hoogte van toerit i
$Q_{ci,out}(i)$	intensiteit van het verkeer op de buitenste rijstrook van de rotonde ter hoogte van toerit i
$\beta_{i,in,r}$	factor voor de invloed die het verkeer op de buitenste rotondestrook heeft op de capaciteit van de rechter rijstrook van toerit i
$\beta_{i,out,r}$	factor voor de invloed die het verkeer op de binnenste rotondestrook heeft op de capaciteit van de rechter rijstrook van toerit i
$Q_{ex,in}(i)$	intensiteit op de binnenste afvoerstrook van toerit i
$Q_{ex,out}(i)$	intensiteit op de buitenste afvoerstrook van toerit i

$\alpha_{i,in,r}$	factor voor de invloed van het verkeer dat de rotonde verlaat van de binnenste rijstrook via de binnenste (linker) afvoerstrook van toerit i op de capaciteit van de rechter rijstrook van toerit i
$\alpha_{i,out,r}$	factor voor de invloed van het verkeer dat de rotonde verlaat van de buitenste rijstrook via de buitenste (rechter) afvoerstrook van toerit i op de capaciteit van de rechter rijstrook van toerit i
K en k	coëfficiënten: $K = 1500$ en $k = 8 / 9$

(Fortuijn L.G.H., 1997)

De formules voor de verzadigingsgraad worden dan als volgt aangepast:

$$X_{en}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{en,l}(i) + C_{en,r}(i)} \quad \text{verzadigingsgraad van tak i, zonder onderscheid naar rijstrook}$$

$$X_{en,l}(i) = \frac{Q_{en,l}(i)}{C_{en,l}(i)} \quad \text{verzadigingsgraad van de linker rijstrook van tak i}$$

$$X_{en,r}(i) = \frac{Q_{en,r}(i)}{C_{en,r}(i)} \quad \text{verzadigingsgraad van de rechter rijstrook van tak i}$$

4.4.3 Rijstrookkeuze

Omdat het gebruik van de verschillende stroken op de aanvoertak bij meerstrooksrotondes niet volledig vrij is, maar ook niet volledig vast ligt, werden ook formules voor de rijstrookkeuze ontwikkeld. Deze wordt uitgedrukt als een factor f_n , die aangeeft welke fractie van een bepaalde verkeersstroom n gebruik maakt van de rechter rijstrook van de toerit. Uit het stelsel van vergelijkingen zal blijken dat het soms nodig is om f_n via iteratie te bepalen.

Op de turborotonde kan enkel het doorgaand verkeer op de hoofdweg zich vrij verdelen over de linker en de rechter rijstrook. Het rechtsafslaand verkeer is verplicht de rechter rijstrook van de toerit te gebruiken, terwijl het linksafslaand verkeer verplicht de linker rijstrook moet gebruiken.

Uitgaande van de veronderstelling dat in een zwaar belaste situatie de rijstrookkeuze sterk afhankelijk is van de wachtrij op de toevoerstroken, geldt dat de verzadigingsgraden van de linker en de rechter rijstrook in deze situatie gelijk zijn, of: $X_{i,l} = X_{i,r}$ (waarbij i het nummer van de toerit is).

$$\text{uit } X = \frac{Q}{C} \text{ volgt dat } \frac{Q_{i,r}}{C_{i,r}} = \frac{Q_{i,l}}{C_{i,l}}$$

Daarnaast geldt voor elke hoofdtak met dubbele toevoer dat de intensiteit van de tak de som is van drie verschillende verkeersstromen (links, rechts en rechtdoor). De intensiteit op de rechter rijstrook

zal dan gelijk zijn aan de som van de intensiteiten van de rechtsafbeweging en een deel van de rechtdoorbeweging:

$$Q_{i,r} = Q_{rechtsaf} + f_n \cdot Q_{rechtdoor}$$

De intensiteit op de linker rijstrook bedraagt dan het verschil van de totale intensiteit met de intensiteit van de rechter rijstrook.

$$Q_{i,l} = Q_i - Q_{i,r}$$

$$\text{of ook: } C_{i,l} = C_i - C_{i,r}$$

Uit bovenstaande formules volgt:

$$\frac{(Q_{rechtsaf} + f_n Q_{rechtdoor})}{C_{i,r}} = \frac{(Q_{rechtsaf} + Q_{rechtdoor} + Q_{linksaf} - Q_{rechtsaf} - f_n Q_{rechtdoor})}{C_{i,l}}$$

$$Q_{rechtsaf} \cdot C_{i,l} + f_n \cdot Q_{rechtdoor} \cdot C_{i,l} = Q_{rechtdoor} \cdot C_{i,r} + Q_{linksaf} \cdot C_{i,r} - f_n \cdot Q_{rechtdoor} \cdot C_{i,r}$$

$$f_n = \frac{Q_{rechtdoor} \cdot C_{i,r} + Q_{linksaf} \cdot C_{i,r} - Q_{rechtsaf} \cdot C_{i,l}}{Q_{rechtdoor} \cdot (C_{i,l} + C_{i,r})}$$

$$f_n = \frac{Q_{rechtdoor} \cdot C_{i,r} + Q_{linksaf} \cdot C_{i,r} + Q_{rechtsaf} \cdot C_{i,r}}{Q_{rechtdoor} \cdot (C_{i,l} + C_{i,r})} - \frac{Q_{rechtsaf} \cdot C_{i,r} + Q_{rechtsaf} \cdot C_{i,l}}{Q_{rechtdoor} \cdot (C_{i,l} + C_{i,r})}$$

$$f_n = \frac{Q_i \cdot C_{i,r}}{Q_{rechtdoor} \cdot C_i} - \frac{Q_{rechtsaf}}{Q_{rechtdoor}}$$

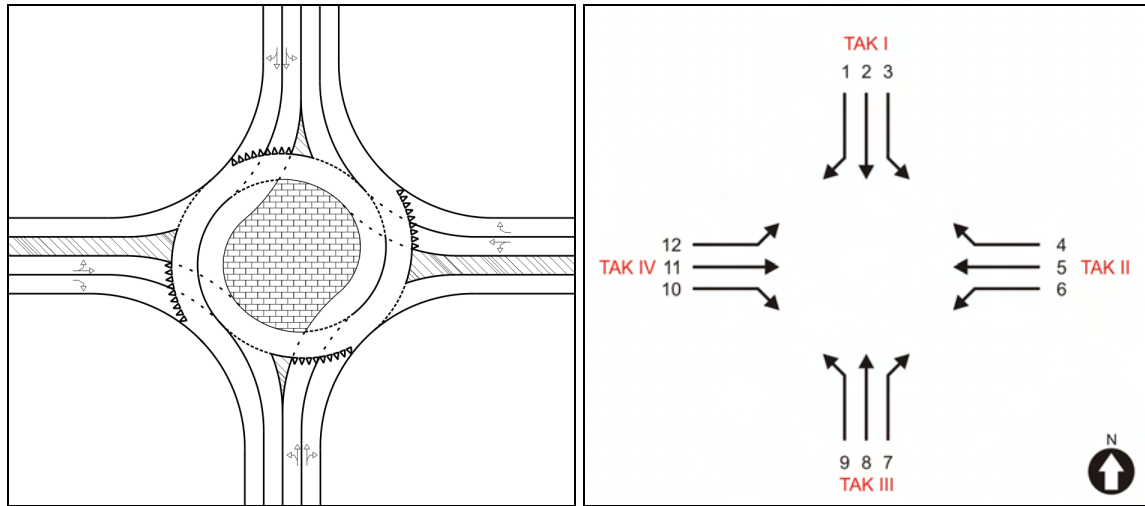
$$f_n = \frac{1}{Q_{rechtdoor}} \cdot \left(\frac{Q_i \cdot C_{i,r}}{C_i} - Q_{rechtsaf} \right)$$

(Fortuijn L.G.H., 1997)

In deze formule staat n voor de verkeersstroom, en i voor de tak van waaruit deze stroom vertrekt. Voor alle kruispuntrichtingen waarvoor uit verschillende rijstroken gekozen kan worden, kan volgens deze werkwijze de factor f_n bepaald worden.

4.4.4 Berekeningsmethodiek

De berekeningsmethodiek wordt geïllustreerd aan de hand van een standaard turborotonde. De hoofdweg is noord – zuid georiënteerd en de wegen sluiten onder een hoek van 90° aan. Eerst en vooral is het handig om alle verkeersstromen te nummeren. Hiervoor wordt uitgegaan van de gebruikelijke nummering van verkeersregelininstallaties. Wat het belastingspatroon betreft wordt er van uitgegaan dat de zwaarste stroom uit het noorden komt en richting het zuiden gaat.



Figuur 19: Nummering van de verkeersstromen

Voor de capaciteit van de noordelijke aanvoertak (tak I) geldt nu:

$$C_{I,r} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_I (Q_5 + Q_6 + Q_9) + \alpha_{I,out,r} (Q_4 + f_8 \cdot Q_8 + Q_{12}) + \alpha_{I,in,r} (1 - f_8) Q_8)$$

$$C_{I,l} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_I (Q_5 + Q_6 + Q_9) + \alpha_{I,out,l} (Q_4 + f_8 \cdot Q_8 + Q_{12}) + \alpha_{I,in,l} (1 - f_8) Q_8)$$

De capaciteit van de zuidelijke aanvoertak (tak III) kan als volgt berekend worden:

$$C_{III,l} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_{III} (Q_3 + Q_{10} + Q_{11}) + \alpha_{III,out,l} (Q_{12} + f_2 \cdot Q_2 + Q_6) + \alpha_{I,in,l} (1 - f_2) Q_2)$$

$$C_{III,r} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_{III} (Q_3 + Q_{10} + Q_{11}) + \alpha_{III,out,r} (Q_{12} + f_2 \cdot Q_2 + Q_6) + \alpha_{I,in,r} (1 - f_2) Q_2)$$

Bij de berekening van $C_{I,l}$ en $C_{I,r}$ kan 0,5 als startwaarde voor f_8 gekozen worden. f_2 kan dan berekend worden met de formule voor de rijstrookscheiding:

$$f_2 = \frac{1}{Q_2} \cdot \left(\frac{Q_I \cdot C_{I,r}}{C_I} - Q_1 \right)$$

Nu kunnen $C_{III,l}$ en $C_{III,r}$ berekend worden met de berekende f_2 – waarde. f_8 kan nu berekend worden met de formule voor de rijstrookscheiding:

$$f_8 = \frac{1}{Q_8} \cdot \left(\frac{Q_{III} \cdot C_{III,r}}{C_{III}} - Q_7 \right)$$

Deze bewerkingen kunnen herhaald worden tot de gewenste nauwkeurigheid bereikt is. Voor de berekening van de capaciteit van de zijtakken is het belangrijk om nauwkeurige f_n – waarden te berekenen.

De capaciteit van de oostelijke tak (tak II):

$$C_{II} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_{II,out} (f_8 \cdot Q_8 + Q_{12}) + \beta_{II,in} ((1 - f_8) Q_8 + Q_9) + \alpha_{II} (Q_7 + Q_{11} + Q_3))$$

De capaciteit van de westelijke tak (tak IV):

$$C_{IV} = 1500 - \frac{8}{9} (\beta_{IV,out} (f_2 \cdot Q_2 + Q_6) + \beta_{IV,in} ((1 - f_2) Q_2 + Q_3) + \alpha_{IV} (Q_1 + Q_5 + Q_9))$$

(Fortuijn L.G.H., 1997)

4.4.5 Waarde van de karakteristieke variabelen α en β in de aangepaste formule van Bovy

De waarde van α is voornamelijk afhankelijk van de afstand tussen de oprit en de afrit. De breedte van de middengeleider speelt hierbij een grote rol. Voor de buitenste rijstrook van de toerit zal α tussen 0,25 en 0 liggen, voor de binnenste rijstrook tussen 0,28 en 0,41. (Fortuijn L.G.H., 1997)

In het onderzoek van Bovy is voor β bij tweestrooksrotondes een gemiddelde waarde van 0,7 gemeten (met een bovenwaarde van 0,8 en een onderwaarde van 0,6). De laagste waarde zal samenhangen met een optimaal gebruik van beide stroken. Indien de totale verkeersstroom zich op de rechter rijstrook zou afwikkelen, dan zou de waarde van β 0,9 bedragen. Gebaseerd op deze waarden maakt wordt β als volgt opgesplitst (Fortuijn L.G.H., 1997):

- Voor de buitenste strook van de rotonde: $\beta_{in} = 0,9$
- Voor de binnenste strook van de rotonde: $\beta_{out} = 0,4$ à $0,5$

4.4.6 Toetsingscriteria

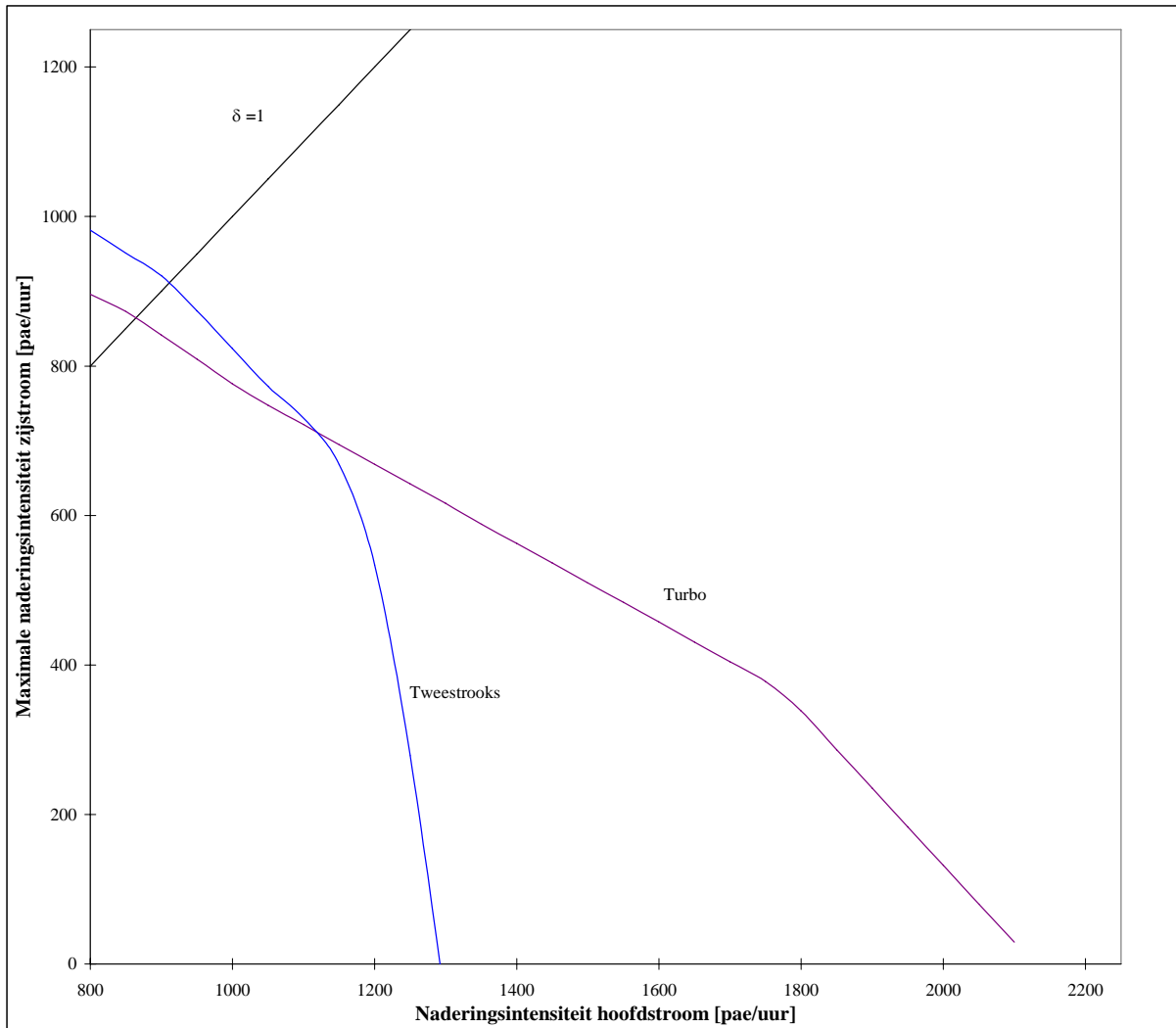
In Nederland stelt men als toetsingscriterium voor dat de verzadigingsgraad van de *toerit* kleiner is dan 80%. Dit komt in de meeste gevallen vrij goed overeen met de Belgische norm waar de verzadigingsgraad van de *ring* ter hoogte van de toerit kleiner moet zijn dan 90%. Voordeel van de Nederlandse methode is dat de capaciteit van de ring niet berekend moet worden, en dat er dus ook geen uitspraak moet gebeuren over de waarde van γ_i .

$$\text{NL: } X_{en}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{en,l}(i) + C_{en,r}(i)} < 0,8$$

$$\text{B: } X_{ri}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{ri}(i)} < 0,9 \text{ waarin } C_{ri}(i) = \frac{K}{\gamma_i + k \cdot \frac{Q_{co}(i)}{Q_{en}(i)}}$$

4.5 Capaciteitsvergelijking tweestrooksrotonde – turborotonde

Fortuijn en Carton vergeleken de capaciteit van een tweestrooksrotonde met die van een turborotonde met behulp van de aangepaste formule van Bovy. Ze stelden daarvoor een belastingspatroon op waarbij de intensiteit van de zijstroom met een factor δ kan variëren ten opzichte van de intensiteit van de hoofdstroom. De resultaten worden voorgesteld in onderstaande grafiek.



Figuur 20: Capaciteitsvergelijking tweestrooksrotonde – turborotonde (Fortuijn L.G.H. & Carton P.J.)

Het valt hier meteen op dat de turborotonde vooral nut heeft wanneer de hoofdstroom zwaarder belast is dan de zijstroom. De turborotonde kan een veel grotere intensiteit op de hoofdweg verwerken. Op het vlak van capaciteit is de turborotonde dus bijzonder geschikt op de kruising van een zwaar belaste hoofdweg en een minder belaste weg van lagere categorie.

4.6 Capaciteitsberekening met microsimulatie

4.6.1 Vergelijking met de methode van Bovy

Yperman en Immers onderzochten de nauwkeurigheid van de methode van Bovy met het simulatieprogramma Paramics. Daarvoor berekenden ze de capaciteit van een aantal Belgische rotondes met de methode van Bovy en met behulp van microsimulatie. De standaardafwijking was nooit hoger dan 2%. (Yperman & Immers, 2003)

Onderstaande tabel toont aan dat de capaciteit van de toeritten van een driestrooksrotonde berekend met de methode van Bovy vergelijkbaar is met de capaciteit berekend met microsimulatie. Wanneer de parameters MDRT (mean driver reaction time = gemiddelde reactietijd van de bestuurder) en MTH (mean target headway = gemiddelde afstand tussen 2 voertuigen, uitgedrukt in seconden) gelijk gesteld worden aan 0,8 s, bedraagt het verschil tussen de methode van Bovy en microsimulatie maximaal 2,7%. De standaardafwijking bedraagt hier 1,9%.

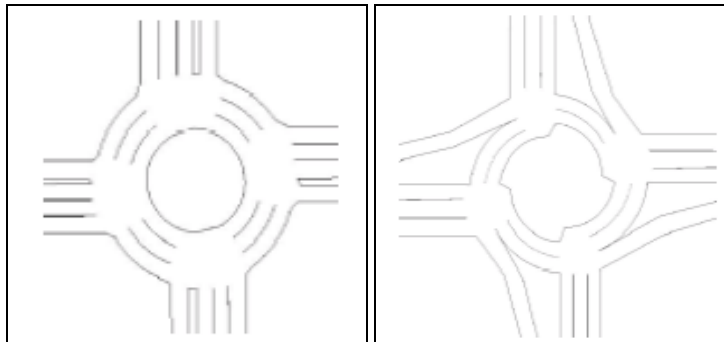
MDRT and MTH (s)		1	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
northern approach	Cen,model (pae/h)	1221	1282	1271	1325	1290	1357
	Cen,Bovy (pae/h)	1354	1362	1315	1292	1288	1262
	proportional dev (%)	-9.8	-5.9	-3.3	2.6	0.2	7.5
eastern approach	Cen,model (pae/h)	1299	1289	1408	1347	1406	1440
	Cen,Bovy (pae/h)	1392	1371	1407	1353	1364	1326
	deviation (%)	-6.7	-6.0	0.1	-0.4	3.1	8.6
southern approach	Cen,model (pae/h)	1280	1261	1244	1330	1299	1357
	Cen,Bovy (pae/h)	1417	1341	1335	1327	1312	1306
	deviation (%)	-9.7	-6.0	-6.8	0.2	-1.0	3.9
western approach	Cen,model (pae/h)	1304	1384	1390	1385	1425	1407
	Cen,Bovy (pae/h)	1423	1390	1373	1424	1357	1298
	deviation (%)	-8.4	-0.4	1.2	-2.7	5.0	8.4
mean square dev (%)		8.7	5.1	3.8	1.9	3.0	7.4

Tabel 4: Capaciteitsvergelijking tussen de methode van Bovy en microsimulatie voor een driestrooksrotonde (Yperman & Immers, 2003)

De nadruk dient wel gelegd te worden op het feit dat de methode van Bovy enkel geometrische kenmerken beschouwt. Er wordt bijvoorbeeld geen rekening gehouden met weersomstandigheden of een eventuele helling van een toerit. Daarom moeten de resultaten van de methode van Bovy voorzichtig geïnterpreteerd worden. (Yperman & Immers, 2003)

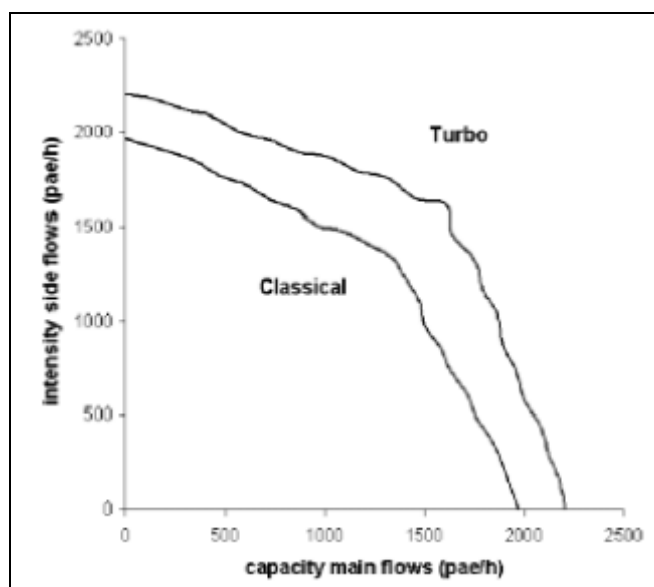
4.6.2 Capaciteit van een rotorrotonde

Yperman en Immers onderzochten eveneens het verschil in capaciteit tussen een klassieke driestrooksrotonde en een tweestrooks rotorrotonde. Deze kruispuntoplossingen zijn vergelijkbaar qua ruimtegebruik en capaciteit. (Yperman & Immers, 2003)



Figuur 21: Driestrooksrotonde en tweestrooks turborotonde in Paramics (Yperman & Immers, 2003)

De resultaten worden voorgesteld in volgende grafiek:



Figuur 22: Vergelijking van de capaciteit van een driestrooksrotonde en een tweestrooks turborotonde

Wanneer de intensiteit van de zijrichting gelijk gesteld wordt aan nul, is de capaciteit van de rotorrotonde 12% groter dan die van een klassieke rotonde. Wanneer de intensiteiten van de zij- en hoofdrichting gelijk zijn, stijgt het capaciteitsverschil zelfs tot 20%. Het geforceerd gebruik van de binnenste rijstroken heeft dus zeker zijn effect op de capaciteit. Omdat er geen nood is om te weven wordt deze binnenste rijstrook ook veel aantrekkelijker. (Yperman & Immers, 2003)

Bovenstaande grafiek toont ook aan dat de capaciteit van een rotonde toeneemt wanneer de intensiteit gelijk verdeeld is over de verschillende takken. Bij de gewone rotonde bedraagt het verschil 35%, bij de rotorrotonde 45%. (Yperman & Immers, 2003)

5 Vormgeving van rotondes

5.1 Enkelstrooksrotondes

Het ontwerp van een enkelstrooksrotonde wordt in eerste plaats bepaald door volgende ontwerpelementen: de buitenstraal, de binnenstraal, de rijbaanbreedte, de aansluitbogen van de toe- en afrit, de breedte van de toe- en afrit en de middengeleiders. De aangewezen maten voor deze grootheden werden voor Vlaanderen opgenomen in het Vademecum Rotondes, deel 4: verkeerstechnisch ontwerp.

5.1.1 Ontwerpelementen

5.1.1.1 Breedte van de toe- en afrit

Brede toe- en afritten zorgen voor een betere berijdbaarheid voor vrachtverkeer en openbaar vervoer. Voor de oversteekbaarheid voor fietsers en voetgangers zijn de toe- en afritten best zo smal mogelijk. De breedtes worden dus zeker nooit te breed gedimensioneerd. Ze worden afgestemd volgens het maatgevend voertuig (volgens de norm van de EG een vrachtwagen van maximum 16,5 m lang).

De basismaat voor de breedte van de toerit bedraagt 3,20 m à 3,70 m. De basismaat voor de breedte van de afrit bedraagt 3,5 m à 4 m. Op voorwaarde dat de fietsers ongelijkvloers of op een vrijliggend fietspad worden opgevangen kan de toerit in verkeersgebieden verbreed worden tot 4 m. Voor de afrit bedraagt deze maximum waarde 4 m 50. Deze 'overbreedte' wordt best uitgevoerd als een overrijdbare strook naast de basismaat.

(Lauwers D., 1997)

5.1.1.2 Aansluitbogen van de toe- en afrit

Deze bogen zijn van invloed op de berijdbaarheid van de rotonde voor vrachtverkeer. Te kleine stralen geven problemen voor vrachtwagens, te grote stralen leiden tot te hoge snelheden van de personenwagens.

De aansluitbogen van de toeritten kunnen variëren tussen 8 m en 12 m waarbij volgende maatvoering aanbevolen is:

- geen middengeleider: 8 m
- middengeleider en gemengd fietsverkeer: 10 m
- middengeleider en fietsverkeer gescheiden: 10 m à 12 m (uitzonderlijk tot 15 m)

Wat betreft de aansluitbogen van de afrit dient men deze in ieder geval kleiner te houden dan 20 m. Volgende maatvoering wordt aanbevolen:

- zonder middengeleider: 12 m
- met middengeleider: 15 m

Wanneer veel fietsers en voetgangers de afrit oversteken beperkt men de straal van de aansluitboog best tot 8 à 12 m.

Wanneer een niet-overrijdbare middengeleider is voorzien moet een controle van de berijdbaarheid door zwaar verkeer zeker gedaan worden bij toepassing van bogen kleiner dan 15 m en breedtes kleiner dan 4 m.

(Lauwers D., 1997)

5.1.1.3 Rijbaanbreedte op de rotonde

De rijbaanbreedte is bij een enkelstrooksrotonde het verschil tussen de buitenstraal en de binnenstraal. Ze is bepalend voor de berijdbaarheid van de rotonde. Wanneer de rijbaanbreedte te groot wordt gedimensioneerd leidt ze tot hogere snelheden. Het toepassen van rijbaanbreedten groter dan 6 m en kleiner dan 5 m wordt afgeraden. (Lauwers D., 1997)

5.1.1.4 Buitenstraal

De buitenstraal is de afstand tussen het middelpunt van de rotonde en de buitenkant van de verharding. Ze wordt voornamelijk bepaald door de beschikbare ruimte op het knooppunt.

5.1.1.5 Binnenstraal

De binnenstraal is de afstand tussen het middelpunt van de rotonde en de buitenkant van het middeneiland (inclusief de verhoogde overrijdbare strook). Ze is bepalend voor de afsluiting van de doorgaande weg en de berijdbaarheid van de rotonde. De binnenstraal heeft een belangrijke invloed op de snelheid op de rotonde.

5.1.1.6 Middengeleiders

De aanleg van middengeleiders staat in directe relatie met de afmetingen van het middeneiland en de boogstralen van de toe- en afrit. Bij grote rotondes is de aanleg van middengeleiders op de aansluitende wegen aan te raden. Bij kleinere rotondes (diameter tot dan 15 m) is de aanleg van middengeleiders af te raden. Wanneer dit wel gebeurt is de afbuiging van de rijcurve te klein waardoor de snelheid op de rotonde toeneemt.

Middengeleiders zijn niet enkel positief voor de verkeersveiligheid, ze verhogen ook de capaciteit van een rotonde. Het opkomend verkeer kan het gedrag van de automobilisten op de rotonde zo beter inschatten, waardoor de α_i -waarde verlaagt. Indien de fietsers buiten de rotonde worden gehouden, dient de middengeleider minimum 2,50 m breed te zijn. (Lauwers D., 1997)

5.1.1.7 Overrijdbaar gedeelte van het middeneiland

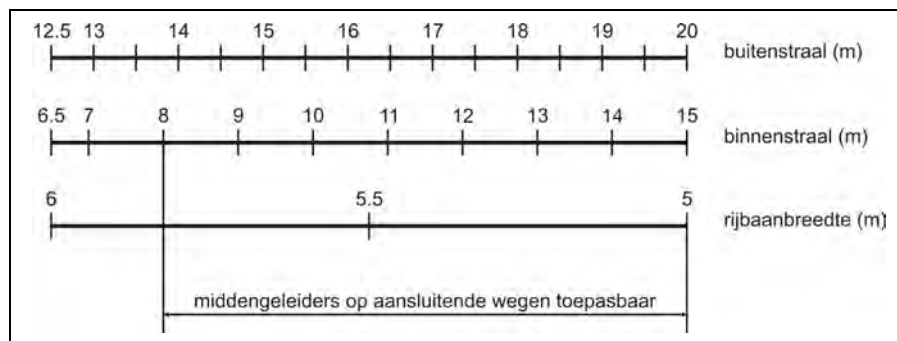
Deze strook wordt steeds aangelegd aan de binnenkant van de rotonde, en wordt als onderdeel van het middeneiland beschouwd.

Volgens de aanbevelingen van het CROW wordt deze strook aangelegd met een helling van 1/20 en een breedte van 1,50 m. Het hoogteverschil tussen de rijbaan en het begin van het overrijdbaar deel (de 'knik') bedraagt 0,02 à 0,04 m. Overrijdbare stroken die slechts zeer zelden worden gebruikt kunnen breder (tot 6 m) en sterker verhoogd worden uitgevoerd.

(Lauwers D., 1997)

5.1.2 Verbanden tussen de verschillende ontwerpelementen

In onderstaande figuur is het verband tussen de buitenstraal, binnenstraal en rijbaanbreedte van een rotonde weergegeven. De voorkeurswaarde van de buitenstraal van rotondes binnen de bebouwde kom bedraagt 16 m. Buiten de bebouwde kom bedraagt deze waarde 18 m. De waarde van de overige ontwerpelementen kan afgeleid worden uit de figuur. (CROW, 1998)

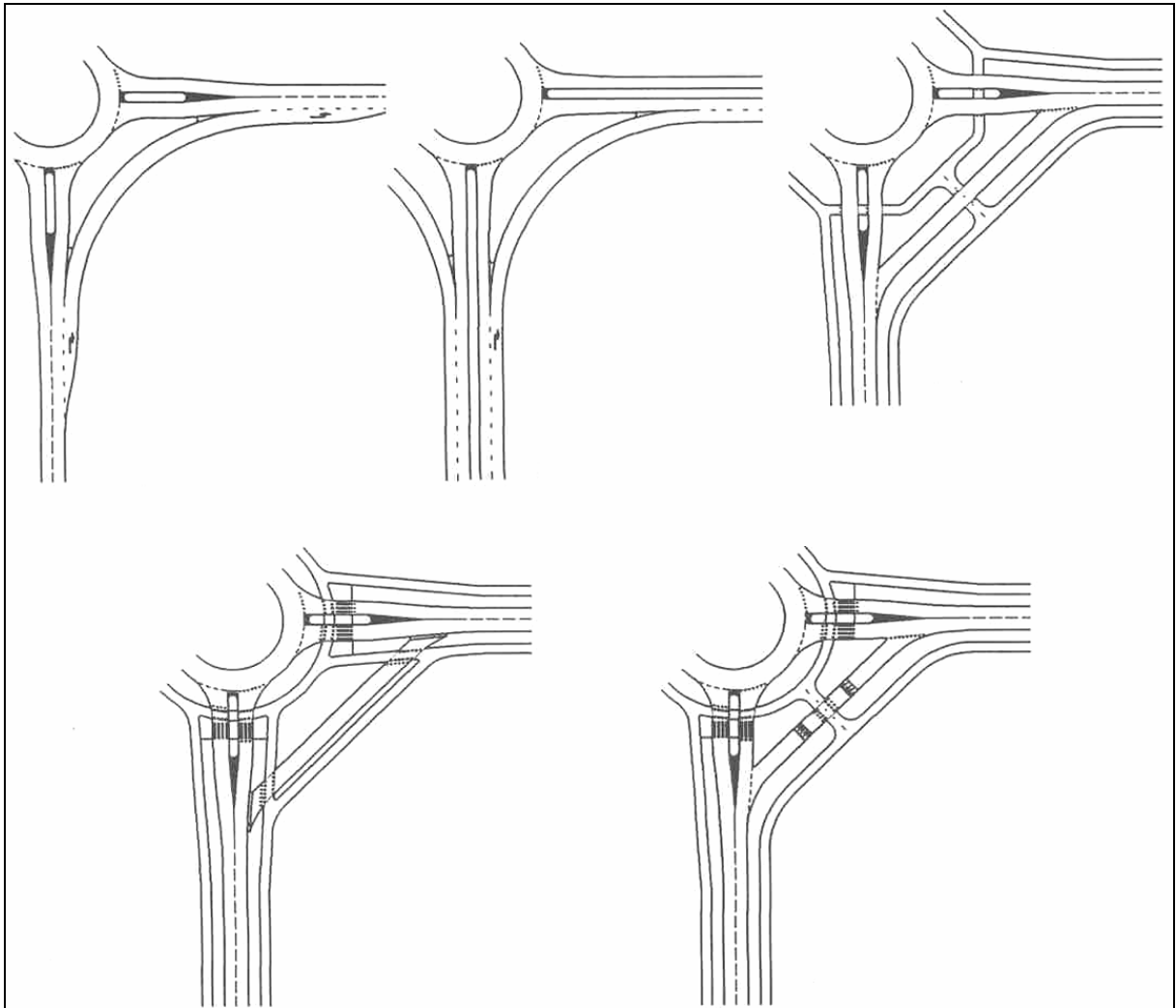


Figuur 23: Onderlinge samenhang en toepassing van basisontwerpelementen (CROW, 1998)

De maximale maat voor de binnen en buitenstraal dienen niet te absoluut te worden opgevat. Grotere rotondes komen regelmatig voor en functioneren naar behoren indien de overige maatvoering op deze grote afmetingen is afgestemd. Bij een buitenstraal van 15 m of meer zijn afwijkingen van maximum 1 m voor de binnenstraal acceptabel. Bij een buitenstraal van minder dan 15 m kunnen afwijkingen van maximaal 0,5 m worden getolereerd. (Lauwers D., 1997)

5.2 Rotondes met bypasses

Bij deze rotondes gebeuren één of meerdere bewegingen niet op de rotonde. Hiertoe worden passeerbanen of bypasses aangelegd. De rechtsaf beweging en de rechtdoorgaande beweging bij rotondes met drie takken zijn de mogelijke bewegingen die afgesloten kunnen worden met een bypass.



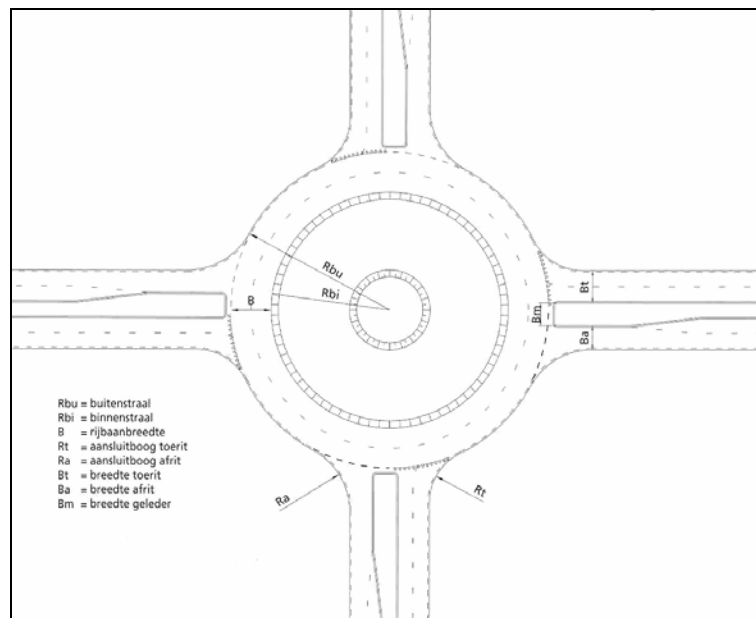
Figuur 24: Mogelijke vormgeving van de bypasses (CROW, 1998)

De bypasses kunnen volgens verschillende principes worden aangelegd. Aan het begin van de bypass kan men ofwel een extra uitvoegende rijstrook voorzien, ofwel een van de twee aanvoerende rijstroken laten afbuigen. De beëindiging van de bypass kan gebeuren via een aparte invoegstrook, kan doorlopen in een tweede rijstrook, of kan (zo haaks mogelijk) aansluiten op de aftakkende rijstrook van de rotonde. (van Rest, 2003)

5.3 Tweestrooksrotondes

Tweestrooksrotondes zijn rotondes met 2 rijstroken op de rotonde. Ze worden toegepast wanneer enkelstrooksrotondes of passeerbaanrotondes niet genoeg capaciteit bieden. De capaciteit neemt op deze manier toe met zo'n 60%. Nadelig is dat deze rotondes meer ruimte in beslag nemen, en dat ze minder veilig zijn (vnl. voor fietsers en voetgangers).

De ontwerpelementen 'breedte van de rijbanen op de rotonde' en 'breedte van de toe- en afritten' zullen afwijken van de waarden voor de enkelstrooksrotondes. Volgens het Vademecum Rotondes functioneert een rotonde als een tweestrooksrotonde van zodra de rijbaan op de rotonde meer dan 8 m breed is. De aan- of afwezigheid van markeringen hebben daar geen invloed op. De afmetingen van het middeneiland en de bogen van de toe- en afritten zullen de uiteindelijke snelheid van het verkeer op de rotonde bepalen. (Lauwers D., 1997)



Figuur 25: Tweestrooksrotonde

Tweestrooksrotondes vereisen enkele specifieke maatregelen wat betreft de veiligheid voor de zwakke weggebruiker. Vrijliggende fietspaden met aparte fietsoversteken zijn noodzakelijk om voldoende verkeersveiligheid te garanderen. Wanneer de wachttijd aan deze fietsoversteken te groot wordt, zal het risico opnieuw toenemen. Bij grote intensiteiten zal dus best gekozen worden voor een ongelijkvloerse kruising. (van Rest, 2003)

Volgens het CROW (1998) bestaan er drie soorten tweestrooksrotondes:

- Tweestrooksrotonde met enkelstrooks toe- en afritten
- Tweestrooksrotondes met tweestrookstoeritten en enkelstrooksafritten
- Tweestrooksrotondes met tweestrooks toe- en afritten

5.4 Turborotondes

5.4.1 Inleiding

Deze rotondes werden, zoals eerder al aangehaald, ontwikkeld als alternatief op de tweestrooksrotondes met concentrische belijning. De spiraalbelijning zorgt ervoor dat de bestuurders niet meer van rijvak moeten wisselen eenmaal ze op de rotonde zijn. In sommige gevallen voldoet belijning hier echter niet. Om echt zeker te zijn dat bestuurders niet gaan afsnijden en verwisselen van rijstrook legt men een fysieke scheiding aan tussen de rijstroken.



Figuur 26: Verhoogde rijstrookscheiding bij spiraalbelijnde rotondes

Aangezien de bestuurders voor ze de rotonde oprijden een richting moeten kiezen, is duidelijke markering, bebakening en bewegwijzering noodzakelijk. (van Rest, 2003)

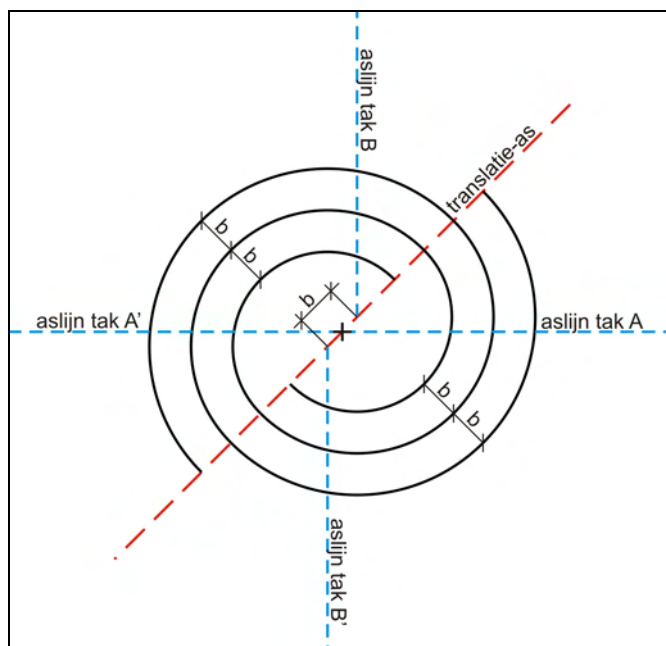
5.4.2 Ontwerprichtlijnen voor turborotondes

5.4.2.1 Inleiding

De ontwerprichtlijnen voor turborotondes zullen hier nader toegelicht worden. Het ontwerp van andere spiraalbelijnde meerstrooksrotondes (zie 2.4) is vrijwel gelijklopend. Bijzondere elementen van het ontwerp zijn de translatie-as en de verhoogde rijstrookscheiding.

5.4.2.2 Translatie-as

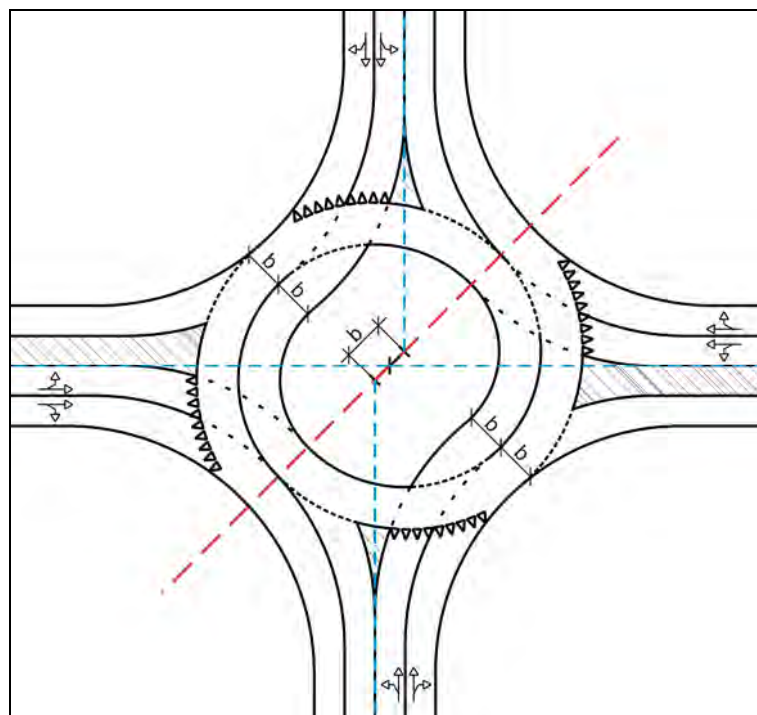
De rotonde wordt ontworpen door het tekenen van halve cirkels met hun middelpunt gelegen op een translatie-as. Deze ligt in de ideaalsituatie (twee wegen die elkaar loodrecht kruisen) onder een hoek van 45° met de aansluitende richtingen. De ligging van de middelpunten op de translatie-as wordt bepaald door de toe te passen rijstrookbreedte op de rotonde. De afstand tussen de middelpunten is gelijk aan de breedte van de binnenste rijstrook. Door de grotere straal is het mogelijk om de buitenste stroken smaller uit te voeren. De middelpunten van die halve cirkels worden dan iets naar binnen verschoven. (Fortuijn, 1997)



Figuur 27: Ontwerpprincipe van een turborotonde

De aslijnen van de hoofdrichting (vertikaal, takken B en B') staan loodrecht op de dwarsrichting en lopen door de middelpunten van de buitenste halve cirkels die aansluiten op de richting.

Eenmaal deze halve cirkels getekend zijn, is het ontwerp vrijwel gelijklopend aan het ontwerp van een reguliere rotonde (buitenstraal, binnenstraal, aansluitbogen enz.).

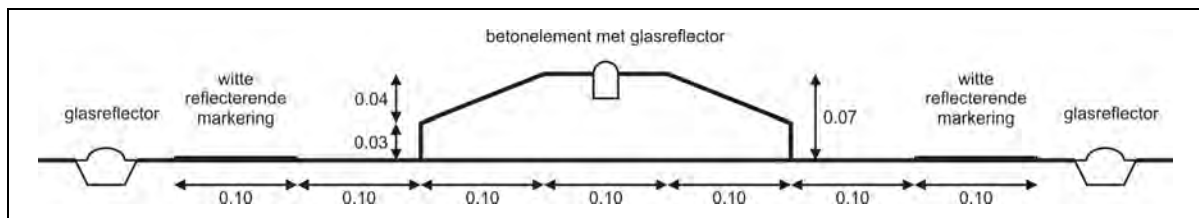


Figuur 28: Uitgewerkt ontwerp van een turborotonde

5.4.2.3 Verhoogde rijstrookscheiding

Door de aanleg van verhoogde rijstrookscheidingen wordt het principe van de turborotonde duidelijker ervaren door de bestuurder. Ook de verkeersveiligheid heeft er baat bij. De verhoogde rijstrookscheiding moet voldoen aan volgende eisen:

- De rijstrookscheiding bestaat uit een betonnen band van 7 cm hoog en 30 cm breed, die voldoende afsteekt tegen het wegdek.
- De rijstrookscheiding moet goed zichtbaar zijn. Dit kan bereikt worden door een inleidende markering en de plaatsing van reflectoren naast en bovenop de rijstrookscheiding.
- De rijstrookscheiding moet goed bevestigd worden. De betonnen band moet op de onderlaag van de verharding geplaatst worden, en mag niet vastgeplakt worden op de deklaag. De praktijk leert dat deze in de laatste situatie door vrachtverkeer vaak los gereden wordt.



Figuur 29: Aangewezen ontwerp verhoogde rijstrookscheiding

Naast de ontwerpeisen moet het naderend verkeer op alle richtingen duidelijk geïnformeerd worden op de verhoogde rijstrookscheiding. Dit is zeker van belang voor motorrijders. Hiertoe dienen waarschuwingsborden geplaatst te worden op 200 m voor de rotonde, op 50 à 100 m voor de rotonde en op het rotondebord op de rotonde. (van Rest, 2003)



Figuur 30: Verhoogde rijstrookscheiding

De opening tussen het beginpunt van de verhoogde rijstrookscheiding en het middeneiland is bij een turborotonde vrij groot omdat het berekend wordt aan de hand van rijspoorsimulaties van vrachtverkeer. Hierdoor zouden niet bedoelde verkeersbewegingen kunnen gebeuren. Bestuurders die de rotonde naderen op de rechter rijstrook zouden zo toch de binnenste rijstrook van de rotonde kunnen oprijden. Rechtsafslaand verkeer zou van op de linker toerit toch rechts kunnen afslaan. Om

deze verkeersbewegingen uit te sluiten wordt aanbevolen om de verhoogde rijstrookscheiding door te trekken met behulp van overrijdbare puntstukken, bestaande uit kasseien. (van Rest, 2003)



Figuur 31: Mogelijke foute bewegingen en hun oplossing door de aanleg van overrijdbare puntstukken

5.5 Ruimtebeslag van rotondes

Een minder gunstig aspect van een rotonde als kruispuntoplossing is het ruimtegebruik. Over het algemeen nemen rotondes meer plaats in dan gewone of lichtengeregelde kruispunten. Binnen de huidige Vlaamse ruimte zal het ruimtebeslag van rotondes in vele situaties dus een belangrijke factor zijn. Daarom zal het ruimtebeslag van de verschillende typologieën van rotondes hier vergeleken worden.

Het Vademecum maakt volgende classificatie:

- Mini rotondes: buitendiameter van 18 m tot 25 m
- Compacte rotondes: buitendiameter van 25 m tot 40 m
- Grote rotondes: buitendiameter van 35 m tot 50

Afhankelijk van de grootte zijn deze types rotondes wenselijk in verblijfsgebieden, overgangsgebieden of verkeersgebieden. (Vanreusel J., 1997)

Het CROW hanteert volgende richtlijnen:

- Enkelstrooksrotonde in stedelijk gebied 32 m
- Enkelstrooksrotonde buiten stedelijk gebied 36 m.

In de Nederlandse provincie Zuid-Holland worden volgende maten over het algemeen gebruikt (Fortuijn L.G.H., 2003):

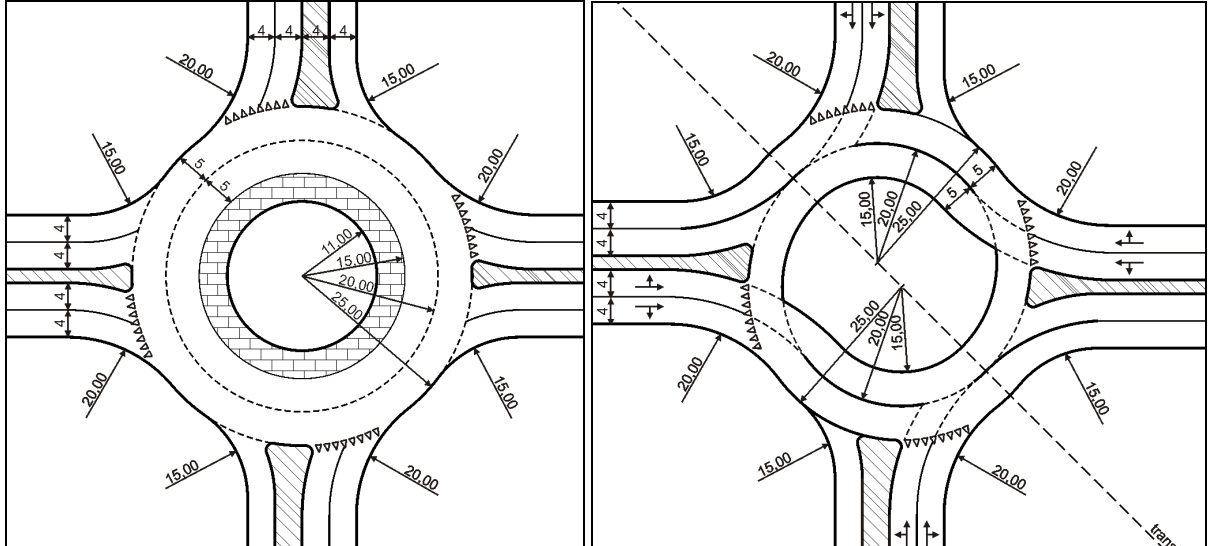
- Enkelstrooksrotonde: 37,40 m
- Tweestrooksrotonde of turborotonde: 50 m

Het FHWA (Federal Highway Association, US) stelt volgende richtlijnen voorop:

	Inscribed circle diameter	Inner radius of circulatory roadway
Urban Single-Lane	30 to 40 m	9,5 to 14,5 m
Rural Single-Lane	35 to 40 m	11,5 to 14,5 m
Urban Double-Lane	45 to 55 m	13,5 to 18,5 m
Rural Double-Lane	55 to 60 m	18,5 to 21,5 m

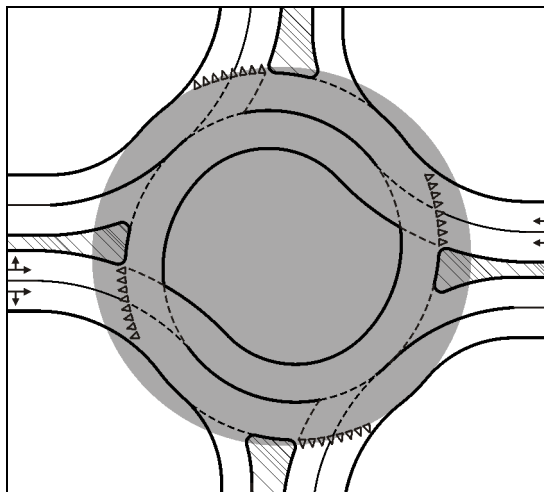
Tabel 5: Afmetingen van rotondes volgens FHWA (US)

Een tweestrooks turborotonde gebruikt ongeveer evenveel ruimte als een conventionele tweestrooksrotonde. De turborotonde is niet cirkelvormig maar eerder eivormig, zoals blijkt uit volgende oppervlaktevergelijking. Langs de translatie-as is de turborotonde even breed, loodrecht op de translatie-as is ze de breedte van een rijstrook smaller.



Figuur 32: Ruimtegebruik van een tweestrooksrotonde en een turborotonde

De buitenste afmetingen van de tweestrooksrotonde zijn in het grijs aangeduid op het grondplan van de turborotonde.



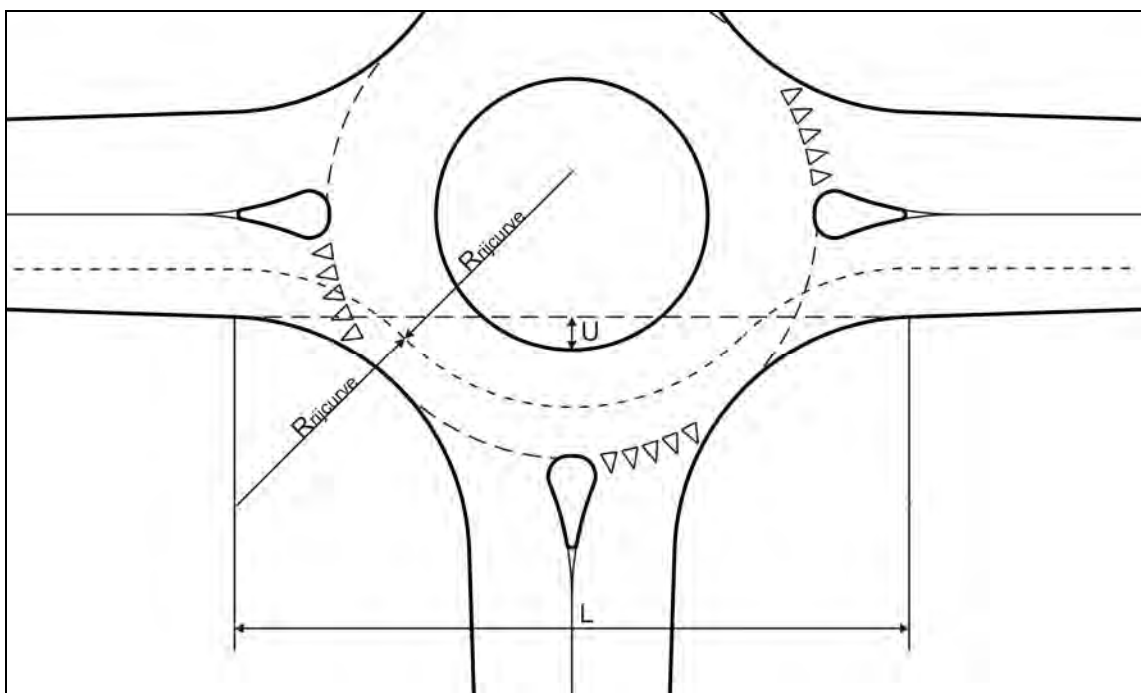
Figuur 33: Ruimtelijke vergelijking van een tweestrooksrotonde en een turborotonde

5.6 Controle van de ontwerpsnelheid

Bij het ontwerp van een rotonde is de ontwerpsnelheid een zeer belangrijk gegeven. Als uitgangspunt stelt men dat de snelheid van het verkeer op de rotonde niet hoger mag zijn dan 30 à 35 km/h. Aan de hand van onderstaande methode kan de rijnsnelheid snel en eenvoudig gecontroleerd worden.

5.6.1 Enkelstrooksrotondes

Eerst dienen twee maten bepaald worden: de afstand tussen het tangentialpunt van de boogstraal van de toerit en het tangentialpunt van de boogstraal van de afrit (lengte L) en de afstand tussen de rand van het middeneiland en de rechterkant van de rijstrook van de toerit (uitwijking U). Het effect van de maat U op de snelheidsverlagende werking blijkt groter te zijn dan het effect van de maat L. Om dezelfde verlaging te bereiken is een veel grotere afname van L nodig dan een toename van U.



Figuur 34: Bepaling van L en U

Uit L en U kan vervolgens de straal van de rijcurve berekend worden. Bij een goed ontwerp zal $R_{RIJCURVE}$ 22,00 à 23,00 m bedragen. (CROW, 1998)

$$R_{RIJCURVE} = \frac{(0,25 \cdot L)^2 + (0,50 \cdot (U + 2))^2}{U + 2}$$

Het verband tussen de snelheid in de boog en de boogstraal kan nu berekend worden. In deze formule wordt $R_{RIJCURVE}$ uitgedrukt in meter, en de snelheid in km/h. (CROW, 1998)

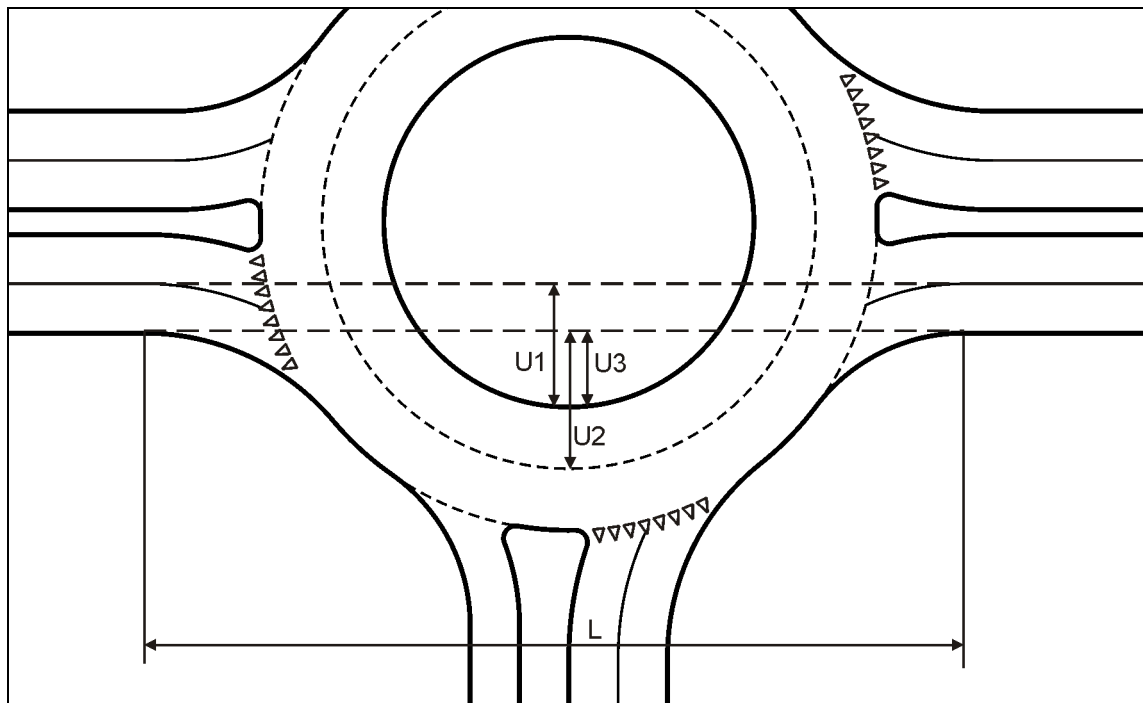
$$snelheid = 7,4 \cdot \sqrt{R_{RIJCURVE}}$$

Wanneer deze berekende snelheid hoger is dan 35 km/h, wordt aangeraden om het ontwerp te veranderen. Deze formule is daarnaast ook handig om het effect te bepalen wanneer de ontwerpparameters veranderd worden. Verschillende ontwerpen kunnen zo vergeleken worden.

5.6.2 Tweestrooksrotondes

Voor tweestrooksrotondes wordt dezelfde methodiek gebruikt om de ontwerpsnelheid te berekenen. Er dienen hier wel drie rijbewegingen gecontroleerd te worden, nl:

- overal wordt op de binnenste rijstrook gereden (U_1)
- overal wordt op de buitenste rijstrook gereden (U_2)
- de ideale rijcurve wordt gevolgd: van de buitenste rijstrook van de toerit naar de binnenste rijstrook van de rotonde naar de buitenste rijstrook van de afrit (U_3)

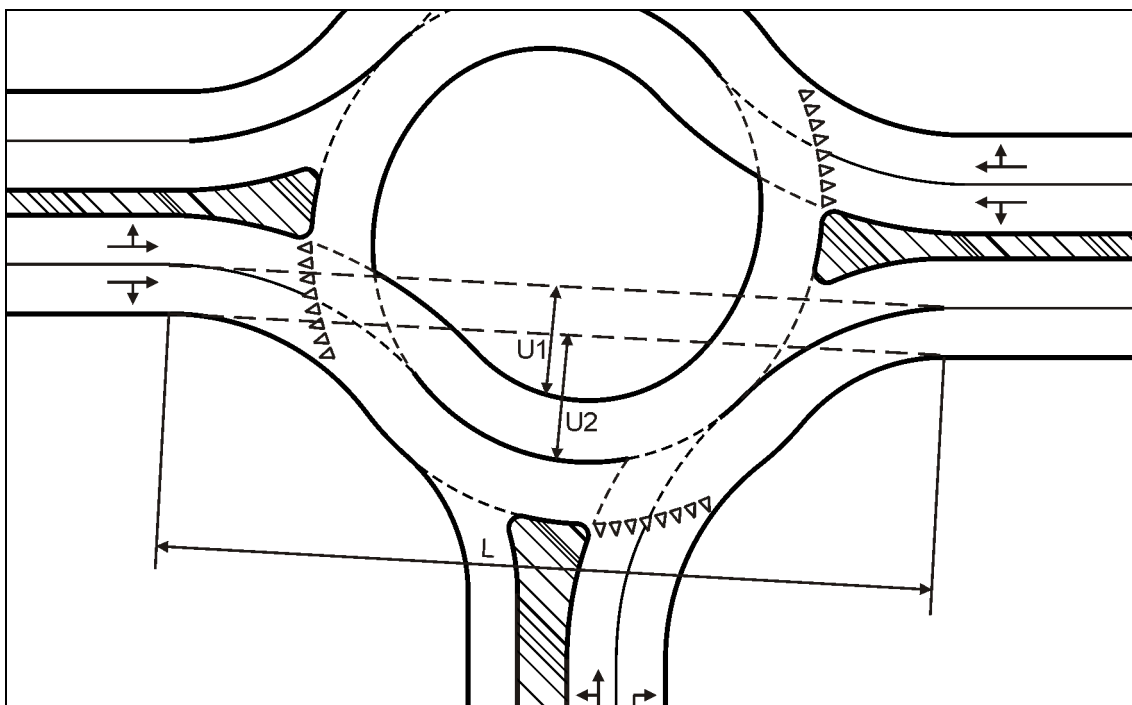


Uit de toepassing van deze methodiek blijkt dat de vrij gekozen snelheid voor doorgaand verkeer op tweestrooksrotondes mits een goed ontwerp beperkt kan worden tot 43 km/h. De ontwerpsnelheid is dus hoger dan bij een enkelstrooksrotonde. Bij weinig verkeer resulteert dit in hoge snelheden, wat de verkeersveiligheid voor zwakke weggebruikers zeker niet ten goede komt.

(Lauwers D., 1997)

5.6.3 Turborotondes

Bij turborotondes is het niet mogelijk om van de buitenste rijstrook van de toerit de binnenste rijstrook van de rotonde op te rijden. De uitwijking U blijft hierdoor groot. De snelheid op een turborotonde is daardoor vergelijkbaar met die op een enkelstrooksrotonde. Bij een goed ontwerp kan de ontwerpsnelheid op een turborotonde dus ook onder de 35 km/h blijven. Dit komt de verkeersveiligheid ten goede.



Figuur 35: Berekening van de ontwerpsnelheid bij turborotondes

5.7 Fietsvoorzieningen

Bij het kruisen van meer dan één rijstrook wordt over het algemeen aanbevolen om fietsoversteken ongelijkvloers te laten gebeuren. De rotonde wordt dan voorbehouden aan het autoverkeer. In vele situaties is dit tegen maatschappelijk aanvaardbare kosten echter niet te realiseren. In het Vademecum Rotondes worden daarom een aantal oplossingen voorgesteld voor een gelijkvloerse afwikkeling van het fietsverkeer. (Lauwers D., 1997)

5.7.1 Verschillende types fietsoversteken

5.7.1.1 Rotonde met gemengde verkeersafwikkeling

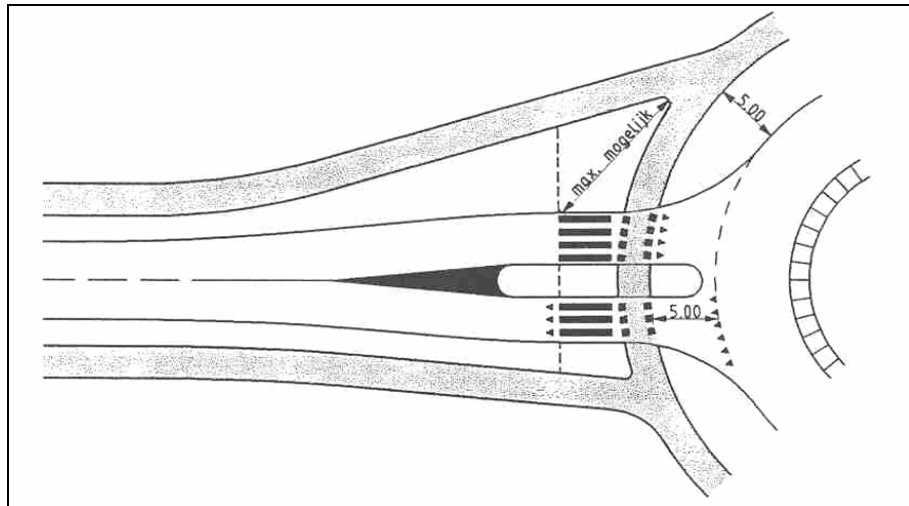
Op rotondes met gemengde verkeersafwikkeling moet de rijbaanbreedte op de rotonde en op de toe- en afritten voldoende smal gehouden worden, zodat fietsers en personenwagens zoveel mogelijk en fietsers en zwaar verkeer in elk geval achter elkaar moeten rijden. De rijbaan zal in geen geval breder uitgevoerd worden dan 6 m. Bij voorkeur past men de minimum maatvoering toe, en legt men een overrijdbaar deel van het middeneiland aan. Bij tweestrooksrotondes is deze oplossing met het oog op de verkeersveiligheid twijfelachtig. (Lauwers D., 1997)

5.7.1.2 Rotonde met een fietsstrook

Rotondes met een fietsstrook worden met het oog op verkeersveiligheid afgeraden, omdat een fietsstrook de rijbaan van de rotonde breder maakt. Zo worden hogere snelheden voor personenauto's mogelijk. Deze oplossing kan enkel worden toegepast als proefproject. Daarbij wordt een fysieke scheiding aangebracht tussen de fietsstrook en de rijbaan. Deze scheiding bestaat bij voorkeur uit een smalle verhoogde tussenberm van 0,5 m à 1 m breed. Ook in de toe- en afritten is het aanbevolen een smalle fysieke scheiding aan te leggen. (Lauwers D., 1997)

5.7.1.3 Vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang

Om te accentueren dat het vrijliggend fietspad een onderdeel vormt van de rotonde en dat de fietsers net als de auto's op de rotonde voorrang hebben op het verkeer dat de rotonde nadert of verlaat, dient het fietspad volledig rond en evenwijdig met de rijbaan van de rotonde aangelegd te worden. De afstand tussen de rotonde en het fietspad bedraagt hierbij circa 6 m. De voorrang van de fietsers moet zo duidelijk mogelijk worden benadrukt door gepaste bebording en markering.

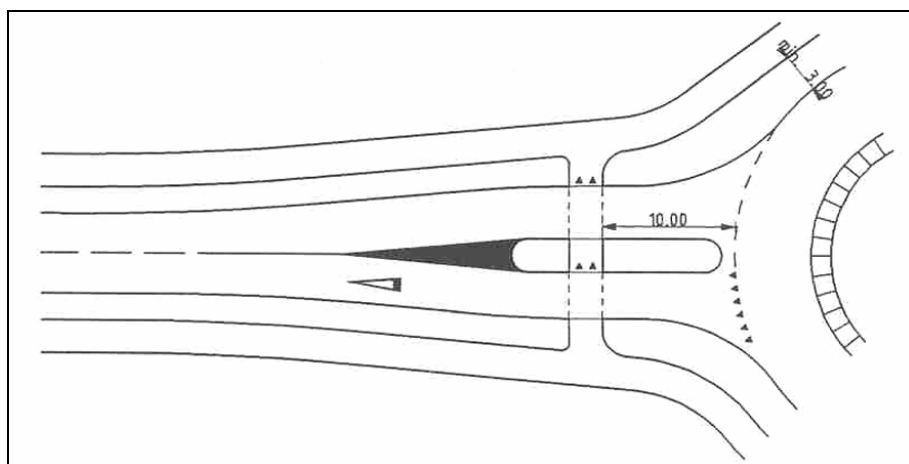


Figuur 36: Vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang (CROW, 1998)

Bij rotondes met tweestrookstoeritten wordt deze oplossing afgeraden. In andere gevallen kan ze toegepast worden als proef. (Lauwers D., 1997)

5.7.1.4 Vrijliggend fietspad met fietsers uit de voorrang

Deze oplossing vertoont veel gelijkenissen met deze van een vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang. Toch zijn er een aantal belangrijke verschillen. Zo wordt het fietspad zodanig aangelegd dat haakse oversteken ontstaan. Het doorgaand karakter van het fietspad wordt zo geminimaliseerd. Om te voorkomen dat het fietspad geblokkeerd wordt, wordt ook hier een afstand van 6 m tussen de fietsoversteek en de rotonde aanbevolen. De voorrang van het autoverkeer dient hier zoveel mogelijk benadrukt te worden door markering en bebording (de afwijkende kleur van het fietspad mag bijvoorbeeld niet doorgetrokken worden over de oversteekplaats).



Figuur 37: Vrijliggend fietspad met fietsers uit de voorrang (CROW, 1998)

Deze oplossing wordt aanbevolen in verkeersgebieden en zal ook in overgangsgebieden veelal te verkiezen zijn. (Lauwers D.,1997)

5.7.2 Aanbevolen fietsoversteek bij een turborotonde

Gezien het principe van de turborotonde (spiraalbelijning) is het onmogelijk om een gemengde verkeersafwikkeling of een fietsstrook te voorzien. Het doel van de turborotonde (capaciteit en verkeersveiligheid van een meerstrooksrotonde verhogen) zou hierdoor ook volledig teniet gedaan worden.

Een vrijliggend fietspad is dus aanbevolen. Gezien de turborotonde zich vrijwel uitsluitend buiten de bebouwde kom zal bevinden, zal een vrijliggend fietspad met fietsers *uit* de voorrang in de meeste situaties de beste oplossing bieden. Om de verkeersveiligheid te verhogen wordt aangeraden om deze oversteek uit te rusten met een rocade.

5.7.3 Fietsrokades

Omdat het oversteken van dubbele rijstroken sowieso gevaarlijker is dan het oversteken van een enkele rijstrook, is het van belang dat tussen de twee cycli van waarnemen tot actie voor die twee oversteken ten minste twee seconden ligt. Daarnaast is het van belang de fietser ook voor de tweede oversteek zodanig te positioneren dat deze het autoverkeer goed in beeld heeft. Daarom wordt aanbevolen deze oversteken te voorzien van een rocade. Hiervan mag een aanzienlijke daling van het ongevalrisico verwacht worden. (Fortuijn L.G.H. & Carton P.J., 2000)



Figuur 38: Turborotonde uitgerust met fietsrocade (Ronde N441/Hogendorpweg, Rotterdam) (van Rest, 2003)

6 Besluit van het onderzoek naar het concept 'turborotonde'

Uit de analyse van het concept van de turborotonde blijkt dat deze vorm van rotonde zeker toekomst kan hebben in Vlaanderen.

Wat betreft de positionering komen de voordelen van het concept het best tot uiting op kruispunten van drukke wegen (richtwaarde 1200 tot 1800 p.a.e.) met wegen met een lagere capaciteit (richtwaarde 400 tot 800 p.a.e.). Om de positionering van de turborotonde te integreren binnen het Vlaams beleidskader zou een verkeersstudie binnen het kader van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen uitgewerkt kunnen worden (bijvoorbeeld een herziening van het handboek secundaire wegen).

Uit hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 blijkt dat de turborotonde, wanneer toegepast in een gepaste situatie, een verhoogde verkeersveiligheid én een verhoogde capaciteit biedt ten opzichte van de conventionele meerstrooksrotonde. De aangepaste formule van Bovy is een goede richtlijn om de meerwaarde van een turborotonde te evalueren. Het toepassingsgebied van deze formule is echter beperkt. In ingewikkelde situaties en om alle factoren in rekening te brengen wordt daarom aangeraden om een ontwerp indien mogelijk te evalueren met microsimulatie.

Ontwerprichtlijnen voor turborotondes zijn in Vlaanderen nog niet uitgewerkt. Bij een herziening van het Vademecum Rotondes zou het daarom nuttig zijn om deze hierin te integreren. De voordelen en nadelen van het concept komen op die manier bij de ontwerpers terecht. Het opstarten van een pilootproject dat goed gemonitord wordt is eveneens een manier om het concept 'turborotonde' in Vlaanderen te lanceren.

Tot slot is het ook belangrijk om de chauffeurs over dit nieuw verkeerskundig concept voor te lichten, aangezien zij nog altijd de hoofdrol spelen wat betreft de verkeersdoorstroming. Een degelijk ontwerp valt of staat met de leesbaarheid voor de weggebruiker. Duidelijke bebording en markeringen zijn dan ook aangewezen. Ook de media kan een rol spelen bij het toelichten van het concept.

DEEL II: METHODE VOOR DE PRAKTISCHE UITWERKING

1 Ontwerpsituatie

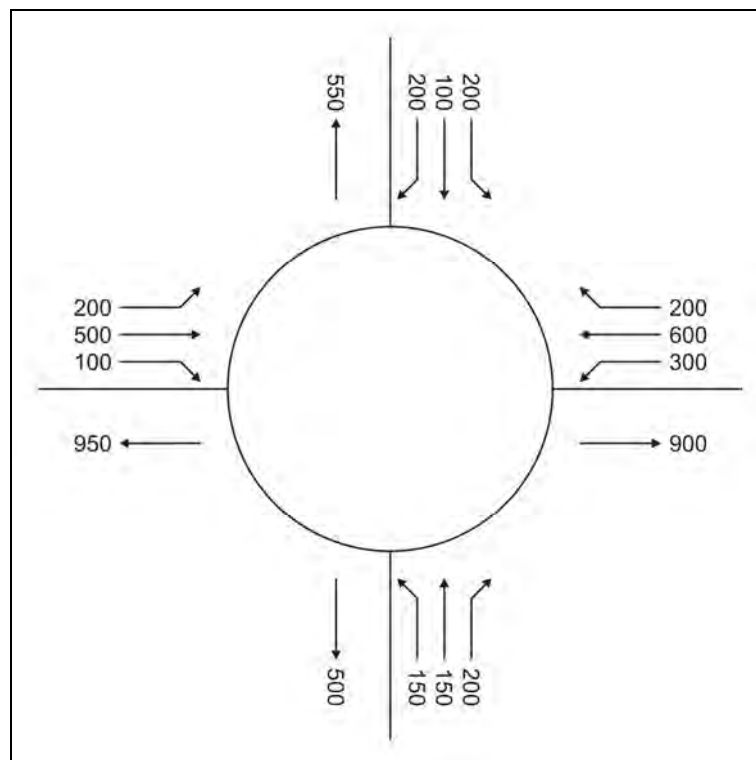
1.1 Inleiding

In dit onderdeel zal de capaciteit van een conventionele tweestrooksrotonde met die van een turborotonde vergeleken worden. De uitwerking zal geïllustreerd worden door het inpassen van deze twee types rotondes in eenzelfde (fictieve) ontwerpsituatie.

De capaciteit zal berekend worden met de aangepaste formule van Bovy (zie deel I). Deze formule werd opgesteld in Fortuijn L.G.H, 1997. De verzadigingsgraden van de rijstroken van de toeritten en de rotonde kunnen dan vergeleken worden, afhankelijk van de vooraf bepaalde intensiteiten.

1.2 Situatie

We beschouwen een kruispunt van een hoofdweg met een weg van lagere categorie. De hoofdweg is ter hoogte van het kruispunt opgebouwd uit twee maal twee rijstroken en is voorzien van een middenberm. De kruisende weg heeft een één maal twee profiel zonder middenberm. Ter hoogte van het kruispunt worden de toeritten verbreed tot twee rijstroken. Het belastingspatroon is in onderstaande figuur weergegeven.



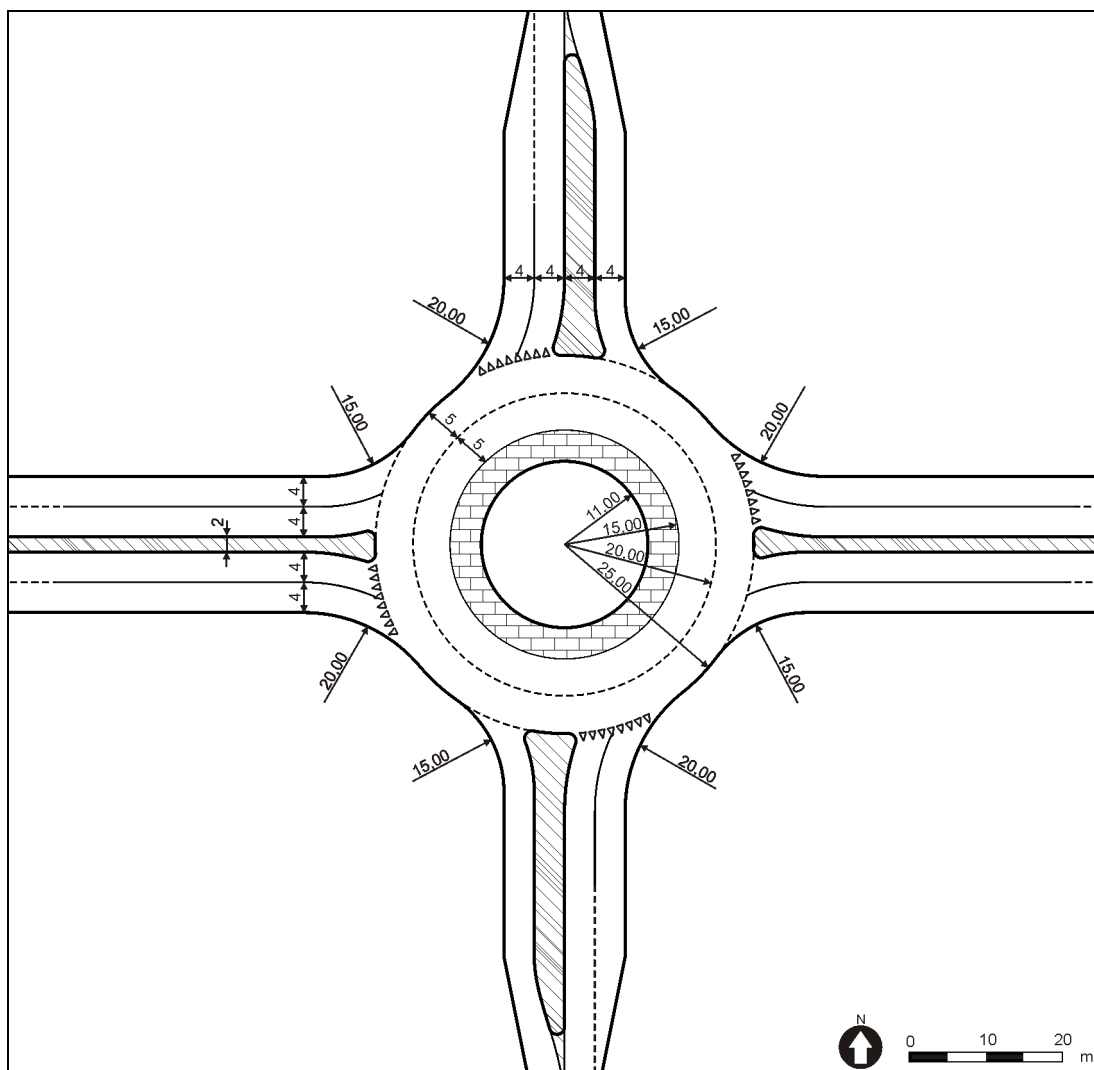
Figuur 39: Belastingspatroon

2 Tweestrooksrotonde

2.1 Ontwerp

Bij dit ontwerp zijn de toeritten en de afritten 4,00 m breed. Op deze manier is de rotonde vlot toegankelijk voor zwaar verkeer. Op de rotonde zelf zijn de rijbanen beide 5,00 m breed. Op de het middeneiland is er een overrijdbare strook van 4,00 m voorzien voor uitzonderlijk transport. De buitendiameter bedraagt zo 50,00 m.

De boogstralen van de toeritten bedragen 20,00 m, die van de afritten 15,00 m. Deze zijn aan de hoge kant, maar zijn te verantwoorden door de grote uitwijking ten opzichte van het middeneiland.



Figuur 40: Ontwerp tweestrooksrotonde

Bij controle van de ontwerpsnelheid zijn $U_1=10,00$ m, $U_2=11,18$ m en $U_3=6,17$ m. De waarde van L bedraagt 60,4 m. Na invulling van de waarden in de berekening van de ontwerpsnelheid wordt de meest kritische waarde 44 km/h (in de situatie waar de bestuurder gebruik maakt van de buitenste toe- en afrit en de binnenste strook op de rotonde).

2.2 Capaciteitsberekening

De voor de berekening wordt de aangepaste capaciteitsformule van Bovy gebruikt. Met deze formule is het mogelijk om de capaciteit van elke rijstrook van de toeritten afzonderlijk te berekenen. De formules voor de capaciteit van de rijstroken van tak i zijn hieronder in hun algemene vorm weergegeven. De verklaring van de symbolen is terug te vinden in deel I onder 4.4.2.

$$C_{en,r}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,r} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,r} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,r} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,r} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

$$C_{en,l}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,l} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,l} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,l} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,l} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

Het verkeer dat de rotonde oprijdt zal zich verdelen over de twee toeritten. Dit fenomeen wordt uitgedrukt door f_n (de rijstrookkeuze). f_n drukt uit welk aandeel van verkeersstroom n de rechter strook van de toerit zal gebruiken. Er wordt verondersteld dat het verkeer dat de rechter toerit gebruikt ook op de buitenste strook van de rotonde zal rijden en de rotonde zal verlaten langs de rechter strook van de afrit. Omgekeerd wordt ook verondersteld dat het verkeer dat de linker toerit gebruikt op de binnenste strook van de rotonde zal rijden en de rotonde zal verlaten langs de linker strook van de afrit. De factor f_n is voor elke verkeersstroom verschillend.

Omdat elk voertuig op een tweestrooksrotonde in theorie de keuze heeft om de linker of de rechter rijstrook van de toerit te gebruiken, moet f_n bij elke term in de formule meegenomen worden. De waarden van f_n worden arbitrair bepaald. De formules voor de rijstrookkeuze kunnen hier niet toegepast worden omdat er te veel variabelen zijn.

2.2.1 Tak II en IV

De hoofdweg heeft twee stroken op de oprit en twee stroken op de afrit. Alle termen van de formule zullen dus van toepassing zijn.

$$C_{en,r}(II) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\begin{aligned} &\beta_{II,out,r} \cdot (f_8 \cdot Q_8 + f_9 \cdot Q_9 + f_{12} \cdot Q_{12}) + \\ &\beta_{II,in,r} \cdot ((1-f_8) \cdot Q_8 + (1-f_9) \cdot Q_9 + (1-f_{12}) \cdot Q_{12}) + \\ &\alpha_{II,out,r} \cdot (f_7 \cdot Q_7 + f_{11} \cdot Q_{11} + f_3 \cdot Q_3) + \\ &\alpha_{II,in,r} \cdot ((1-f_7) \cdot Q_7 + (1-f_{11}) \cdot Q_{11} + (1-f_3) \cdot Q_3) \end{aligned} \right)$$

$$C_{en,l}(II) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\begin{aligned} &\beta_{II,out,l} \cdot (f_8 \cdot Q_8 + f_9 \cdot Q_9 + f_{12} \cdot Q_{12}) + \\ &\beta_{II,in,l} \cdot ((1-f_8) \cdot Q_8 + (1-f_9) \cdot Q_9 + (1-f_{12}) \cdot Q_{12}) + \\ &\alpha_{II,out,l} \cdot (f_7 \cdot Q_7 + f_{11} \cdot Q_{11} + f_3 \cdot Q_3) + \\ &\alpha_{II,in,l} \cdot ((1-f_7) \cdot Q_7 + (1-f_{11}) \cdot Q_{11} + (1-f_3) \cdot Q_3) \end{aligned} \right)$$

$$C_{en,r}(IV) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\begin{aligned} &\beta_{IV,out,r} \cdot (f_2 \cdot Q_2 + f_3 \cdot Q_3 + f_6 \cdot Q_6) + \\ &\beta_{IV,in,r} \cdot ((1-f_2) \cdot Q_2 + (1-f_3) \cdot Q_3 + (1-f_6) \cdot Q_6) + \\ &\alpha_{IV,out,r} \cdot (f_1 \cdot Q_1 + f_5 \cdot Q_5 + f_9 \cdot Q_9) + \\ &\alpha_{IV,in,r} \cdot ((1-f_1) \cdot Q_1 + (1-f_5) \cdot Q_5 + (1-f_9) \cdot Q_9) \end{aligned} \right)$$

$$C_{en,l}(IV) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\begin{aligned} &\beta_{IV,out,l} \cdot (f_2 \cdot Q_2 + f_3 \cdot Q_3 + f_6 \cdot Q_6) + \\ &\beta_{IV,in,l} \cdot ((1-f_2) \cdot Q_2 + (1-f_3) \cdot Q_3 + (1-f_6) \cdot Q_6) + \\ &\alpha_{IV,out,l} \cdot (f_1 \cdot Q_1 + f_5 \cdot Q_5 + f_9 \cdot Q_9) + \\ &\alpha_{IV,in,l} \cdot ((1-f_1) \cdot Q_1 + (1-f_5) \cdot Q_5 + (1-f_9) \cdot Q_9) \end{aligned} \right)$$

Wat betreft de rijstrookkeuze worden volgende veronderstellingen gemaakt:

- Het rechtsafslaand verkeer kiest uitsluitend de rechter rijstrook van de toerit. f_4 en f_{10} worden dus gelijk aan 1.
- Het doorgaand verkeer zal zich voor 60% op de rechter rijstrook van de toerit begeven (en dus voor 40% op de linker rijstrook). f_5 en f_{11} worden zo gelijk aan 0,6.
- Het linksafslaand verkeer zal zich voor 60% op de linker rijstrook van de toerit begeven (en dus voor 40% op de rechter rijstrook). f_6 en f_{12} worden zo gelijk aan 0,4.

De waarde van α is afhankelijk van de afstand tussen het oprijdend en het afrijdend verkeer:

- De invloed van het afrijdend verkeer op de buitenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is verwaarloosbaar: we stellen $\alpha_{II,out,r}$ en $\alpha_{IV,out,r}$ gelijk aan 0.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de buitenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is zeer klein: we stellen $\alpha_{II,out,l}$ en $\alpha_{IV,out,l}$ gelijk aan 0,1.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is iets groter: we stellen $\alpha_{II,in,r}$ en $\alpha_{IV,in,r}$ gelijk aan 0,3.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is het grootst: we stellen $\alpha_{II,in,l}$ en $\alpha_{IV,in,l}$ gelijk aan 0,4.

De waarde van β voor het verkeer op de buitenste rijstrook van de rotonde wordt gelijk gesteld aan 0,9. Dit verkeer hindert de linker en rechter rijstrook van de toerit evenveel.

Voor de binnenste strook stelt men β gelijk aan 0,5. Men zou kunnen zeggen dat het verkeer op de binnenste rijstrook minder hinder veroorzaakt voor het verkeer dat op de rechter rijstrook de rotonde oprijdt. Een deel van het verkeer op de binnenste rijstrook van de rotonde zal hier echter de buitenste rijstrook kruisen om de rotonde te verlaten op de volgende afrit. Daarom wordt β even groot beschouwd voor de linker en de rechter rijstrook van de toerit.

Na invullen van de waarden worden volgende resultaten (uitgedrukt in p.a.e.) bekomen:

$$C_{en,r}(II) = 1111$$

$$C_{en,l}(II) = 1031$$

$$C_{en,r}(IV) = 1053$$

$$C_{en,l}(IV) = 968$$

2.2.2 Tak I en III

De zijweg heeft twee rijstroken op de toerit en één rijstrook op de afrit. Het verkeer dat de rotonde verlaat langs de zijweg doet dit dus op dezelfde afritstrook. De twee laatste termen van de capaciteitsformule smelten samen.

$$C_{en,r}(I) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{\beta_{I,out,r} \cdot (f_5 \cdot Q_5 + f_6 \cdot Q_6 + f_9 \cdot Q_9) + \beta_{I,in,r} \cdot ((1-f_5) \cdot Q_5 + (1-f_6) \cdot Q_6 + (1-f_9) \cdot Q_9) + \alpha_I \cdot (Q_4 + Q_8 + Q_{12})}{\alpha_I \cdot (Q_4 + Q_8 + Q_{12})} \right)$$

$$C_{en,l}(I) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{\beta_{I,out,l} \cdot (f_5 \cdot Q_5 + f_6 \cdot Q_6 + f_9 \cdot Q_9) + \beta_{I,in,l} \cdot ((1-f_5) \cdot Q_5 + (1-f_6) \cdot Q_6 + (1-f_9) \cdot Q_9) + \alpha_I \cdot (Q_4 + Q_8 + Q_{12})}{\alpha_I \cdot (Q_4 + Q_8 + Q_{12})} \right)$$

$$C_{en,r}(III) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{\beta_{III,out,r} \cdot (f_{11} \cdot Q_{11} + f_{12} \cdot Q_{12} + f_3 \cdot Q_3) + \beta_{III,in,r} \cdot ((1-f_{11}) \cdot Q_{11} + (1-f_{12}) \cdot Q_{12} + (1-f_3) \cdot Q_3) + \alpha_{III} \cdot (Q_{10} + Q_2 + Q_6)}{\alpha_{III} \cdot (Q_{10} + Q_2 + Q_6)} \right)$$

$$C_{en,l}(III) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{\beta_{III,out,l} \cdot (f_{11} \cdot Q_{11} + f_{12} \cdot Q_{12} + f_3 \cdot Q_3) + \beta_{III,in,l} \cdot ((1-f_{11}) \cdot Q_{11} + (1-f_{12}) \cdot Q_{12} + (1-f_3) \cdot Q_3) + \alpha_{III} \cdot (Q_{10} + Q_2 + Q_6)}{\alpha_{III} \cdot (Q_{10} + Q_2 + Q_6)} \right)$$

Wat betreft de rijstrookkeuze worden volgende veronderstellingen gemaakt:

- Het rechtsafslaand verkeer kiest de rechter rijstrook van de toerit. f_1 en f_7 zijn dus gelijk aan 1.
- Het doorgaand verkeer zal zich voor 60% op de rechter rijstrook van de toerit begeven (en dus voor 40% op de linker rijstrook). f_2 en f_8 worden zo gelijk aan 0,6.
- Het linksafslaand verkeer zal zich voor 60% op de linker rijstrook van de toerit begeven (en dus voor 40% op de rechter rijstrook). f_3 en f_9 worden zo gelijk aan 0,4.

De waarde van α is ook hier afhankelijk van de afstand tot het afrijdend verkeer.

- De invloed van het afrijdend verkeer op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is minimaal door de brede middengeleider: $\alpha_{I,r}$ en $\alpha_{III,r}$ stelt men gelijk aan 0,1.
- De invloed van het afrijdend verkeer op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is iets groter: $\alpha_{I,l}$ en $\alpha_{III,l}$ stelt men gelijk aan 0,25.

Voor β geldt terug dat $\beta_{in} = 0,5$ en $\beta_{out} = 0,9$.

Na invullen van de waarden worden volgende resultaten (uitgedrukt in p.a.e.) bekomen:

$$C_{en,r}(I) = 792$$

$$C_{en,l}(I) = 719$$

$$C_{en,r}(III) = 892$$

$$C_{en,l}(III) = 825$$

2.2.3 Berekening van de verzadigingsgraden

De verzadigingsgraad van de toerit wordt berekend door de aanwezige intensiteit te delen door de mogelijke capaciteit. De verzadigingsgraad kan berekend worden per rijstrook en per toerit.

Als criterium wordt het Nederlands systeem gevolgd. Dit wil zeggen dat de verzadigingsgraad van elke rijstrook en elke toerit kleiner moet zijn dan 80%.

Verzadigingsgraad van de rechter rijstrook van toerit i:

$$X_{en,r}(i) = \frac{Q_{en,r}(i)}{C_{en,r}(i)} < 0,8$$

Verzadigingsgraad van de linker rijstrook van toerit i:

$$X_{en,l}(i) = \frac{Q_{en,l}(i)}{C_{en,l}(i)} < 0,8$$

Verzadigingsgraad van toerit i:

$$X_{en}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{en,l}(i) + C_{en,r}(i)} < 0,8$$

Om de berekeningen overzichtelijk uit te voeren en gemakkelijk te reproduceren in een andere situatie werd een Excel – sheet opgemaakt. Deze is opgenomen in de bijlagen. De resultaten zijn hieronder in tabelvorm weergegeven.

2.2.4 Resultaten

Wanneer de capaciteiten van de rechter en de linker rijstroken van de toeritten opgeteld worden, bekomen we de capaciteiten van de toeritten.

	tak I	tak II	tak III	tak IV
$C_{en,r}$	792	1111	892	1053
$C_{en,l}$	719	1031	825	968
C_{en}	1512	2141	1717	2021

Tabel 6: Capaciteit van de tweestrooksrotonde

De verzadigingsgraden moeten kleiner zijn dan 0,8. Dit is hier overal het geval. De rechter rijstrook van tak 2 is het meest verzadigd (61,22%).

	tak I	tak II	tak III	tak IV
$X_{en,r}$	0,4291	0,6122	0,3924	0,4559
$X_{en,l}$	0,2225	0,4075	0,1817	0,3304
X_{en}	0,3308	0,5137	0,2911	0,3958

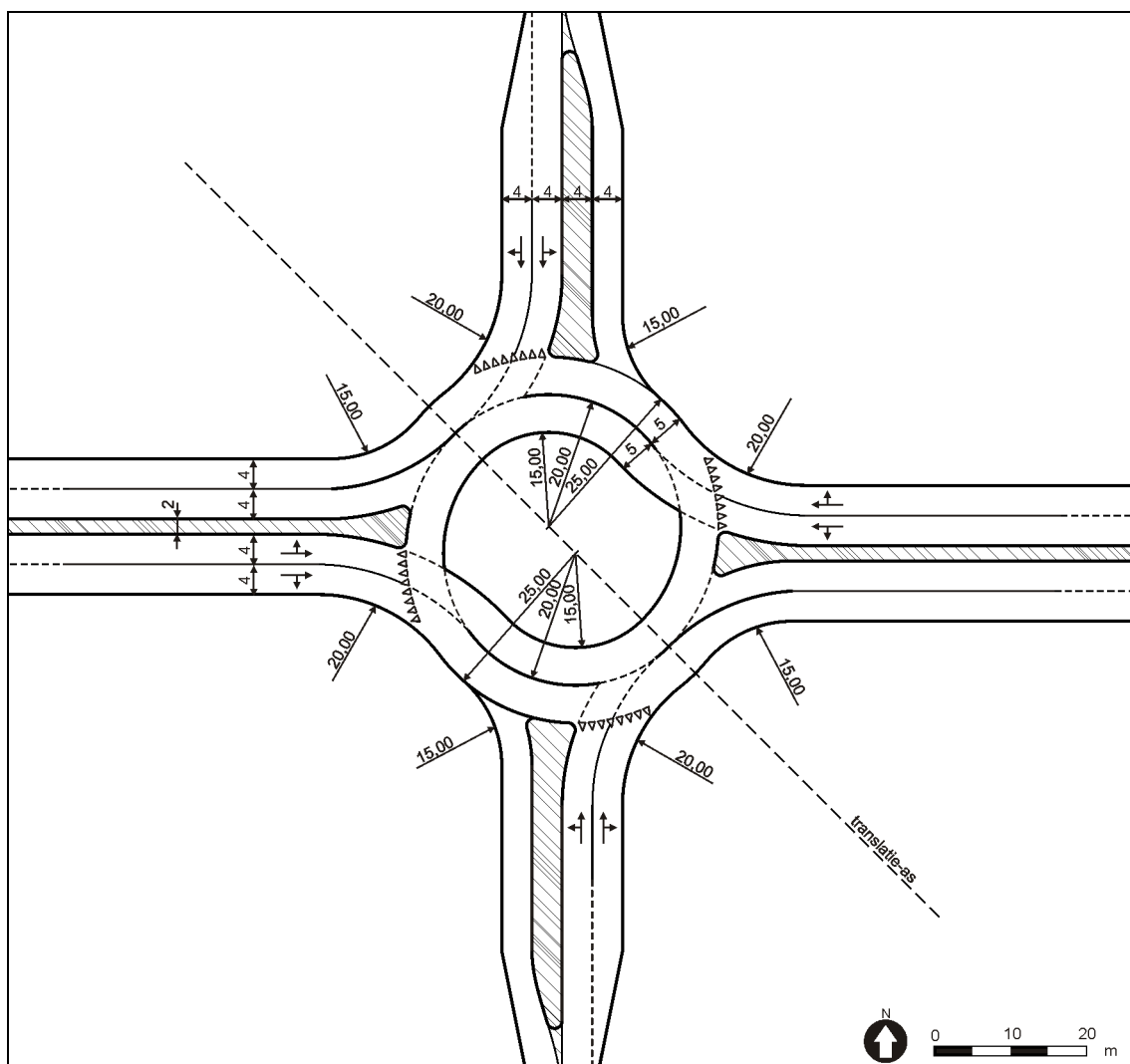
Tabel 7: Verzadigingsgraden van de tweestrooksrotonde

3 Turborotonde

3.1 Ontwerp

Ook hier zijn de toeritten en de afritten 4,00 m breed en de rijstroken op de rotonde 5,00 m breed. Op het middeneiland kan waar nodig een overrijdbare strook voorzien worden voor uitzonderlijk transport. De buitendiameter van de turborotonde is eivormig. Op zijn breedst is de turborotonde 50,00 m breed (langs de translatie-as). Op zijn smalst is de turborotonde 45,00 m breed. De turborotonde zal dus iets minder ruimte gebruiken.

De boogstralen van de toeritten bedragen 20,00 m, die van de afritten 15,00 m. Deze zijn aan de hoge kant, maar zijn te verantwoorden door de grote uitwijking ten opzichte van het middeneiland.



Figuur 41: Ontwerp turborotonde

Wat betreft de ontwerpsnelheid blijkt ook hier het voordeel van de turborotonde. In tegenstelling tot bij de concentrische tweestrooksrotonde kan/mag het verkeer hier van de buitenste strook van de toerit de binnenste strook van de rotonde hier niet gebruiken. De kritische ontwerpsnelheid is 35,8 km/h.

3.2 Capaciteitsberekening

Voor de capaciteitsberekening wordt ook hier gebruik gemaakt van de aangepaste formule van Bovy. De formules voor de capaciteit van de rijstroken van tak i zijn hieronder in hun algemene vorm weergegeven. De verklaring van de symbolen is terug te vinden in deel I onder 4.4.2.

$$C_{en,r}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,r} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,r} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,r} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,r} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

$$C_{en,l}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,l} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,l} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,l} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,l} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

Het verkeer dat de rotonde oprijdt zal zich op een turborotonde niet vrij kunnen verdelen over de twee toeritten. Enkel het doorgaand verkeer van de hoofdweg kan kiezen of het de linker of de rechter rijstrook van de toerit gebruikt.

De factor f_n voor de rijstrookkeuze zal dus enkel aan de termen Q_5 en Q_{11} in de formule toegevoegd worden. Eenmaal een rijstrook van de toerit gekozen ligt het tracé vast. Het voertuig zal dus niet meer moeten weven wanneer het van de binnenste rijstrook van de rotonde naar de afrit wil. Hierdoor wordt de drempel om die binnenste rijstrook te kiezen verlaagd.

Omdat f_n maximum één keer gebruikt wordt per toerit kan de factor berekend worden. Er wordt daarom van uitgegaan dat het doorgaand verkeer op de toerit zal kiezen in functie van de vlotte doorstroming op het kruispunt. In zwaar belaste situaties kan men dus veronderstellen dat de verzadigingsgraad op de rijstroken van de toerit gelijk is.

$$\frac{Q_{i,r}}{C_{i,r}} = \frac{Q_{i,l}}{C_{i,l}}$$

$$\text{of voor toerit II geldt: } \frac{Q_4 + f_5 Q_5}{C_{II,r}} = \frac{(1 - f_5) Q_5 + Q_6}{C_{II,l}}$$

$$\text{voor } f_5 \text{ geldt na uitwerking: } f_5 = \frac{1}{Q_5} \cdot \left(\frac{Q_{II} \cdot C_{II,r}}{C_{II}} - Q_4 \right) \quad (\text{zie deel I, 4.4.3})$$

$$\text{voor } f_{11} \text{ wordt dit: } f_{11} = \frac{1}{Q_{11}} \cdot \left(\frac{Q_{IV} \cdot C_{IV,r}}{C_{IV}} - Q_{10} \right)$$

Uit de formule blijkt dat de capaciteit van de toerit eerst gekend moet zijn. Daarom zal deze eerst berekend worden met geschatte startwaarden voor f_5 en f_{11} , daarna worden f_5 en f_{11} gecorrigeerd met bovenstaande formules.

Als startwaarde voor f_5 en f_{11} wordt 0,5 gekozen.

3.2.1 Tak II en tak IV

De toeritten en de afritten van de hoofdweg tellen beiden twee rijstroken. Vóór de toerit heeft de rotonde slechts één rijstrook. De capaciteiten van de rijstroken van toerit II worden dus met volgende formules berekend:

$$C_{en,r}(II) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{II,r} \cdot (Q_8 + Q_9 + Q_{12}) + \alpha_{II,out,r} \cdot (Q_7 + f_{11}Q_{11} + Q_3) + \alpha_{II,in,r} \cdot (1 - f_{11})Q_{11})$$

$$C_{en,l}(II) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{II,l} \cdot (Q_8 + Q_9 + Q_{12}) + \alpha_{II,out,l} \cdot (Q_7 + f_{11}Q_{11} + Q_3) + \alpha_{II,in,l} \cdot (1 - f_{11})Q_{11})$$

Voor toerit IV geldt:

$$C_{en,r}(IV) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{IV,r} \cdot (Q_2 + Q_3 + Q_6) + \alpha_{IV,out,r} \cdot (Q_1 + f_5Q_5 + Q_9) + \alpha_{IV,in,r} \cdot (1 - f_5)Q_5)$$

$$C_{en,l}(IV) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{IV,l} \cdot (Q_2 + Q_3 + Q_6) + \alpha_{IV,out,l} \cdot (Q_1 + f_5Q_5 + Q_9) + \alpha_{IV,in,l} \cdot (1 - f_5)Q_5)$$

De waarde van α is afhankelijk van de afstand tussen het oprijdend en het afrijdend verkeer:

- De invloed van het afrijdend verkeer langs de buitenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer langs beide stroken van de toerit is verwaarloosbaar door de aanleg van de verhoogde rijstrookscheiding. $\alpha_{II,out,r}$, $\alpha_{II,out,l}$, $\alpha_{IV,out,l}$ en $\alpha_{IV,out,r}$ worden dus 0.
- De invloed van het afrijdend verkeer langs de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer langs de rechter strook van de toerit is iets kleiner dan die bij een tweestrooksrotonde: $\alpha_{II,in,r}$ en $\alpha_{IV,in,r}$ stelt men gelijk aan 0,25.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is vergelijkbaar aan de invloed bij een tweestrooksrotonde: $\alpha_{II,in,l}$ en $\alpha_{IV,in,l}$ stelt men dus gelijk aan 0,4.

Aangezien het verkeer voor de toeritten van de hoofdweg op één rijstrook rijdt, is de waarde van β hier overal gelijk aan 0,9.

Na invullen van de waarden worden volgende (voorlopige) resultaten (uitgedrukt in p.a.e.) bekomen:

$$C_{en,r}(II) = 1044$$

$$C_{en,l}(II) = 1011$$

$$C_{en,r}(IV) = 953$$

$$C_{en,l}(IV) = 913$$

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen de waarden van f_5 en f_{11} gecorrigeerd worden:

Na de eerste iteratie wordt $f_5 = 0,5981$ en $f_{11} = 0,6171$.

Na een tweede iteratie (d.w.z. capaciteiten berekenen met verbeterde f – waarden en dan opnieuw f – waarden berekenen) wordt $f_5 = 0,5945$ en $f_{11} = 0,6135$.

Na een volgende iteratie veranderen de waarden slechts minimaal.

De gecorrigeerde capaciteiten van tak II en tak IV kunnen nu berekend worden met de juiste f – waarden:

$$C_{en,r}(II) = 1057$$

$$C_{en,l}(II) = 1031$$

$$C_{en,r}(IV) = 966$$

$$C_{en,l}(IV) = 933$$

3.2.2 Tak I en tak III

Nu de juiste waarden van de rijstrookkeuze berekend zijn, kunnen de capaciteiten van de toeritten van de weg van lagere categorie berekend worden. De zijstraat heeft twee rijstroken op de toeritten en één rijstrook op de afrit. De termen in α smelten dus samen. Hier zijn er wel twee rijstroken op de rotonde ter hoogte van toeritten. β zal dus gesplitst worden in β_{out} en β_{in} .

De capaciteit van de noordelijke tak (tak I):

$$C_{I,r} = 1500 - \frac{8}{9}(\beta_{II,out,r}(f_5 \cdot Q_5 + Q_9) + \beta_{II,in,r}((1 - f_5) \cdot Q_5 + Q_6) + \alpha_{II,r}(Q_4 + Q_8 + Q_{12}))$$

$$C_{I,l} = 1500 - \frac{8}{9}(\beta_{II,out,l}(f_5 \cdot Q_5 + Q_9) + \beta_{II,in,l}((1 - f_5) \cdot Q_5 + Q_6) + \alpha_{II,l}(Q_4 + Q_8 + Q_{12}))$$

De capaciteit van de zuidelijke tak (tak III):

$$C_{III,r} = 1500 - \frac{8}{9}(\beta_{IV,out,r}(f_{11} \cdot Q_{11} + Q_3) + \beta_{IV,in,r}((1 - f_{11}) \cdot Q_{11} + Q_{12}) + \alpha_{IV,r}(Q_{10} + Q_2 + Q_6))$$

$$C_{III,l} = 1500 - \frac{8}{9}(\beta_{IV,out,l}(f_{11} \cdot Q_{11} + Q_3) + \beta_{IV,in,l}((1 - f_{11}) \cdot Q_{11} + Q_{12}) + \alpha_{IV,l}(Q_{10} + Q_2 + Q_6))$$

De waarde van α wordt bepaald door de afstand tussen het oprijdend en het afrijdend verkeer:

- De invloed van het afrijdend verkeer op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is iets kleiner dan die bij een tweestrooksrotonde: we stellen $\alpha_{II, r}$ en $\alpha_{IV, r}$ gelijk aan 0,25.
- De invloed van het afrijdend verkeer op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is vergelijkbaar aan de invloed bij een tweestrooksrotonde: we stellen $\alpha_{II, l}$ en $\alpha_{IV, l}$ gelijk aan 0,4.

β is een maat voor de invloed van het verkeer op de rotonde op het verkeer op de toerit:

- De invloed van het verkeer op de buitenste rijstrook van de rotonde op het verkeer op beide toeritten is even groot. $\beta_{II, out, r}$ en $\beta_{II, out, l}$, $\beta_{IV, out, r}$ en $\beta_{IV, out, l}$ zijn hier gelijk aan 0,9.
- Het verkeer op de binnenste rijstrook van de rotonde heeft hier enkel invloed op het verkeer op de linker rijstrook van de toerit. Aangezien het verkeer op de linker rijstrook van de toerit op de binnenste rijstrook van de rotonde moet rijden, stellen we $\beta_{II, in, l}$ en $\beta_{IV, in, l}$ ook gelijk aan 0,9. $\beta_{II, in, r}$ en $\beta_{IV, in, r}$ zijn hier gelijk aan 0.

Na invullen van de waarden zijn dit de resultaten:

$$C_{en,r}(I) = 972$$

$$C_{en,l}(I) = 658$$

$$C_{en,r}(III) = 983$$

$$C_{en,l}(III) = 742$$

3.2.3 Berekening van de verzadigingsgraden

De verzadigingsgraad van de toerit wordt berekend door de aanwezige intensiteit te delen door de mogelijke capaciteit. De verzadigingsgraad kan berekend worden per rijstrook en per toerit.

Als criterium wordt ook hier het Nederlands systeem gevolgd. Dit wil zeggen dat de verzadigingsgraad van elke rijstrook en elke toerit kleiner moet zijn dan 80%.

Verzadigingsgraad van de rijstroken van toerit i:

$$X_{en,r}(i) = \frac{Q_{en,r}(i)}{C_{en,r}(i)} < 0,8$$

$$X_{en,l}(i) = \frac{Q_{en,l}(i)}{C_{en,l}(i)} < 0,8$$

Verzadigingsgraad van toerit i:

$$X_{en}(i) = \frac{Q_{en}(i)}{C_{en,l}(i) + C_{en,r}(i)} < 0,8$$

Om de berekeningen overzichtelijk uit te voeren en gemakkelijk te reproduceren in een andere situatie werd een Excel – sheet opgemaakt. Deze is opgenomen in de bijlagen. De resultaten zijn hieronder in tabelvorm weergegeven.

3.2.4 Resultaten

Wanneer de capaciteiten van de rechter en de linker rijstroken van de toeritten opgeteld worden, bekomen we de capaciteiten van de toeritten.

	tak I	tak II	tak III	tak IV
$C_{en,r}$	972	1057	983	966
$C_{en,l}$	658	1031	742	933
C_{en}	1630	2088	1726	1899

Tabel 8: Capaciteit van de turborotonde

De verzadigingsgraden moeten kleiner zijn dan 0,8. Dit is hier overal het geval. Tak 2 is opnieuw het meest verzadigd (52,67%). In onderstaande tabel is ook duidelijk zichtbaar dat de rijstroken van de toeritten gelijk verzadigd zijn.

	tak I	tak II	tak III	tak IV
$X_{en,r}$	0,2057	0,5267	0,2034	0,4211
$X_{en,l}$	0,4562	0,5268	0,4043	0,4212
X_{en}	0,3067	0,5267	0,2898	0,4212

Tabel 9: Verzadigingsgraden van de turborotonde

4 Vergelijking van de resultaten

In onderstaande tabel worden de verzadigingsgraden van de tweestrooksrotonde vergeleken met de verzadigingsgraden van de turborotonde. Het resultaat is opmerkelijk, maar eigenlijk zoals verwacht.

	TAK I			TAK II			TAK III			TAK IV		
	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%
Xen,r	0,4291	0,2057	+35%	0,6122	0,5267	+8%	0,3924	0,2034	+32%	0,4559	0,4211	+4%
Xen,l	0,2225	0,4562	-34%	0,4075	0,5268	-13%	0,1817	0,4043	-38%	0,3304	0,4212	-12%
Xen	0,3308	0,3067	+4%	0,5137	0,5267	-1%	0,2911	0,2898	+0%	0,3958	0,4212	-3%

Tabel 10: Vergelijking van de resultaten

De verzadigingsgraad op de rechterrijstrook neemt bij de aanleg van de turborotonde af. De verzadigingsgraad van de linker rijstrook neemt in dezelfde grootteorde toe. De totale verzadigingsgraad per toerit blijft ongeveer gelijk.

Dit resultaat is te verklaren door het feit dat de turborotonde ervoor zorgt dat de linker rijstrook van de toeritten (en zodoende ook van de rotonde en de afritten) verplicht gebruikt wordt. Daardoor komt er ruimte vrij op de rechter rijstrook. De verzadigingsgraad op de rechter strook zal dus dalen, die van de linker rijstrook zal stijgen.

De maximale verzadigingsgraad van de tweestrooksrotonde bedraagt 61,22% (rechter rijstrook van tak II). Bij de turborotonde is de maximale verzadigingsgraad 52,67% (eveneens rechter rijstrook van tak II). Hoewel de verzadigingsgraad van de tweestrooksrotonde ook binnen de grens van 80% valt, zorgt de turborotonde toch voor een betere doorstroming van het verkeer.

Qua verkeersveiligheid scoort de turborotonde hier duidelijk beter. De ontwerpsnelheid van de tweestrooksrotonde bedraagt 44 km/h, die van de turborotonde 35,8 km/h. Het aantal conflictpunten vermindert en de verkeerssituatie wordt overzichtelijker.

DEEL III: CASESTUDIES

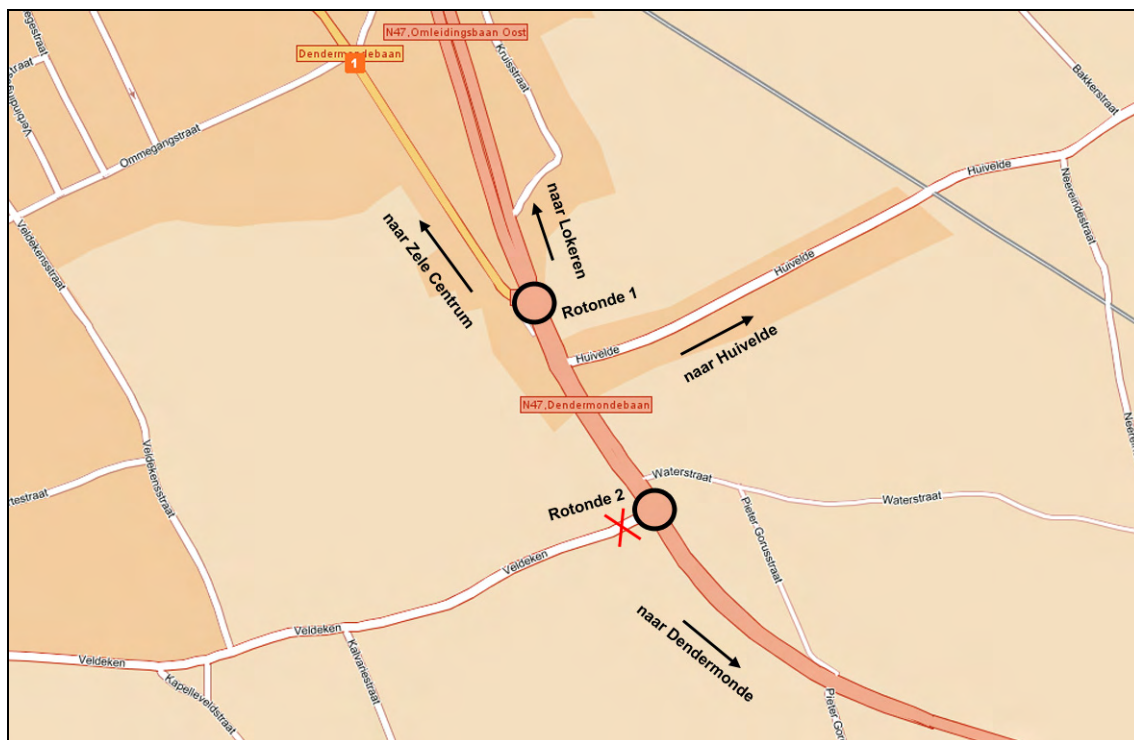
1 Rotonde op de N47 te Zele

1.1 Situering

1.1.1 Ruimtelijke situering

De gevalstudie omvat twee tweestrooksrotondes op de N47 te Zele. De eerste rotonde heeft 3 armen waar continu verkeer in en uit moet. Het verkeer kan hier kiezen tussen de N47 richting Lokeren, de N47 richting Dendermonde en de Dendermondsebaan naar het centrum van Zele.

De tweede rotonde heeft drie armen, waarvan er één is afgesloten. Eigenlijk betreft het hier dus een doorlopende weg met terugdraaimogelijkheid voor het verkeer dat van de eerste rotonde richting Huivelde wil (en omgekeerd). De doorstroming verloopt hier niet optimaal en zou verbeterd kunnen worden via het principe van een turborotonde.



Figuur 42: Situering van de gevalstudie te Zele

1.1.2 Verkeersintensiteit

De verkeersintensiteit op de twee knooppunten werd gemeten tussen 29 maart en 18 april 2006 door de Administratie Wegen en Verkeer, afdeling Verkeerskunde. De tellingen gebeurden per uur en per rijstrook. Voor de gevalstudie werd een moment van zware belasting uit de meetgegevens afgeleid, namelijk op 30 maart tussen 17u en 18u.

De intensiteiten werden gemeten in 10 telposten:

- Telpost 40091-92 tussen Lokeren en rotonde 1 (Tak A van rotonde 1)
- Telpost 42581-82 tussen Zele centrum en rotonde 1 (Tak B van rotonde 1)
- Telpost 42421-22 tussen rotonde 1 en rotonde 2 (Tak C van rotonde 1 en Tak A van rotonde 2)
- Telpost 42579-80 tussen rotonde 2 en Dendermonde (Tak B van rotonde 2)
- Telpost 42583-84 tussen Huivelde en het deel van de N47 dat van rotonde 2 naar rotonde 1 gaat.

meetplaats	richting	u18 (pae)
40092	Dendermonde	986
40091	Lokeren	780
42421	Sint-Niklaas	953
42422	Dendermonde	1112
42579	Lokeren	826
42580	Dendermonde	1009
42581	N47	229
42582	Centrum	235
42583	N47	145
42584	Huivelde	141

Tabel 11: Intensiteiten case Zele

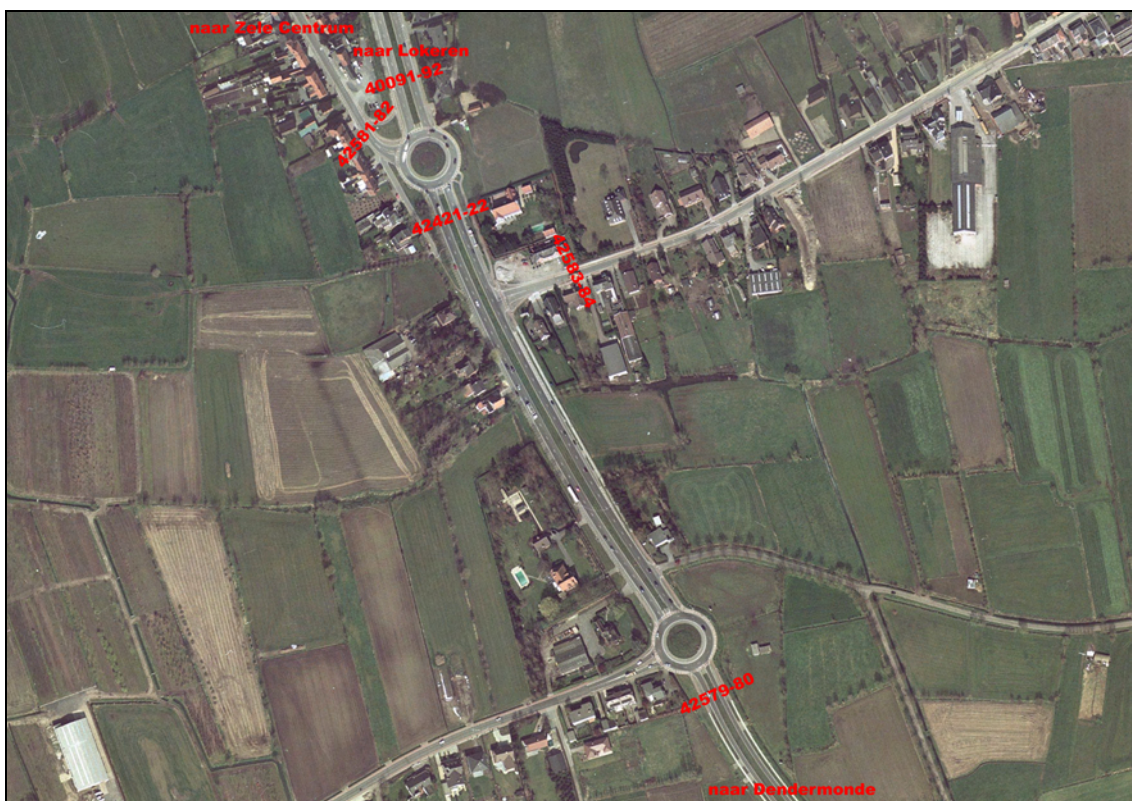
Op de telposten 40091, 40092, 42421 en 42422 werd het verkeer per rijstrook gemeten:

- Telpost 99391 en 99392 vormen samen telpost 40091
- Telpost 99393 en 99394 vormen samen telpost 40092
- Telpost 99389 en 99390 vormen samen telpost 42421
- Telpost 99395 en 99396 vormen samen telpost 42422

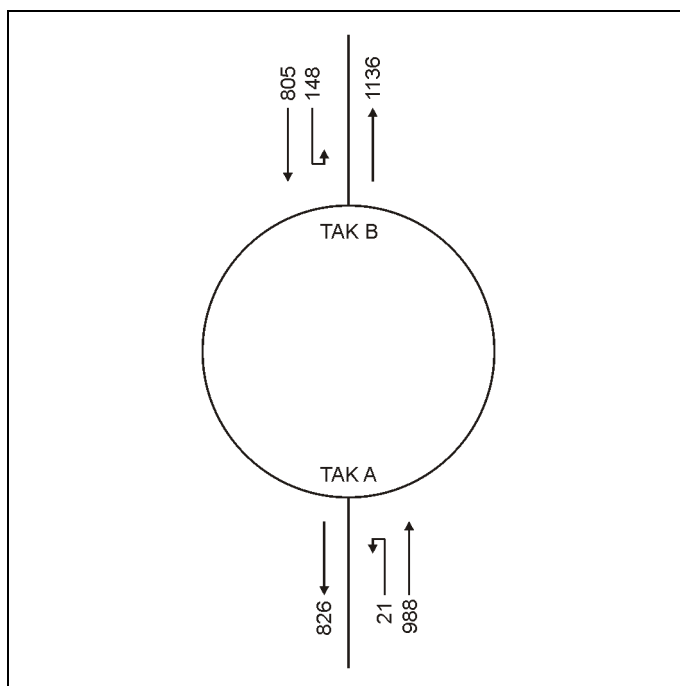
meetplaats	sektie	richting	u18 (pae)
99393	1ste vak	Dendermonde	775
99394	2de vak	Dendermonde	211
99395	1ste vak	Dendermonde	930
99396	2de vak	Dendermonde	183
99389	1ste vak	Lokeren	807
99390	2de vak	Lokeren	147
99391	1ste vak	Lokeren	603
99392	2de vak	Lokeren	177

Tabel 12: Intensiteiten per rijstrook van de case te Zele

De locaties van de telposten zijn op onderstaande luchtfoto aangeduid.



Deze gevalstudie zal het principe van een turborotonde ten opzichte van de bestaande tweestrooksrotonde ter hoogte van de tweede rotonde evalueren. De intensiteiten kunnen als volgt worden voorgesteld:

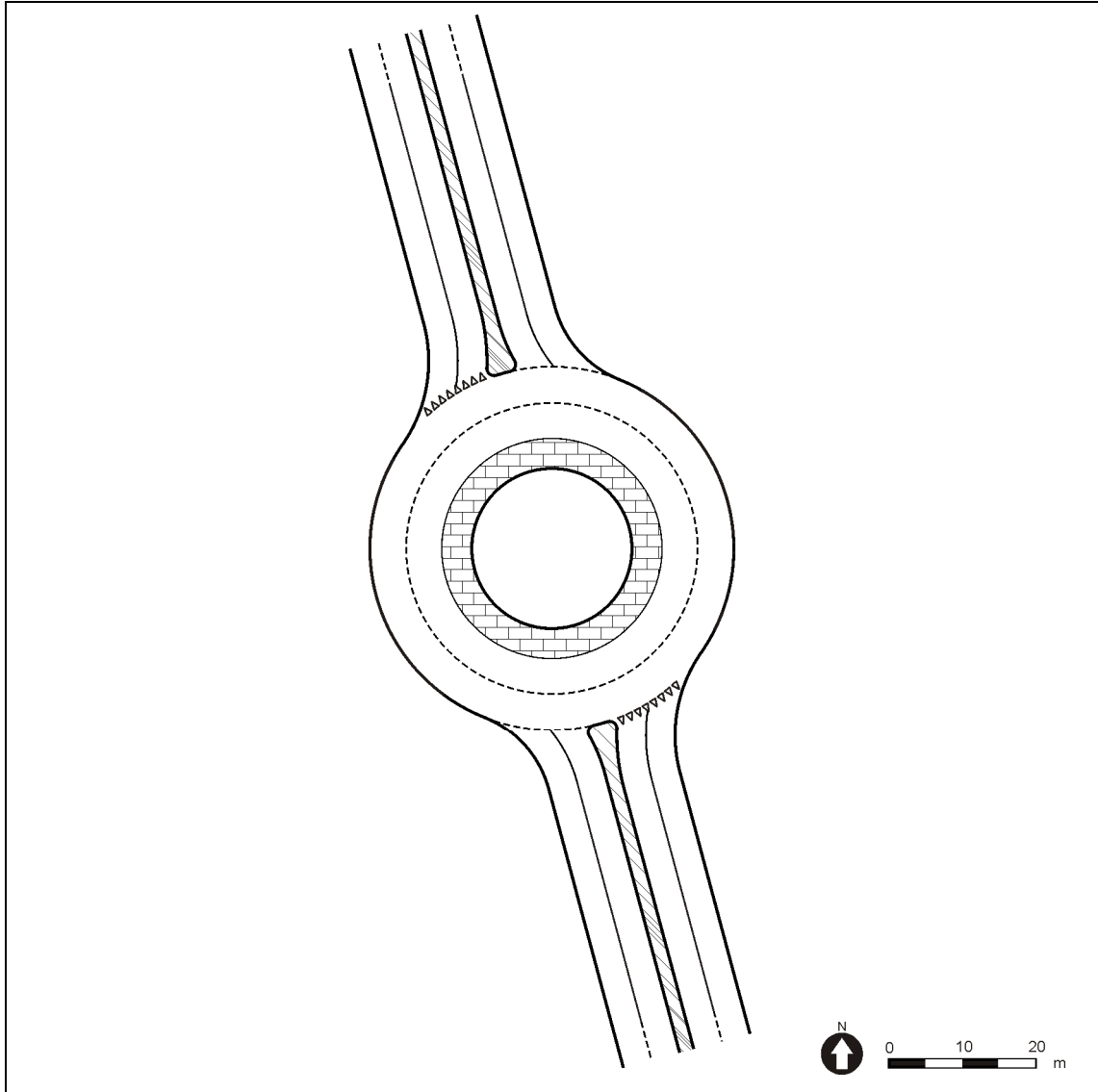


Figuur 43: Belastingpatroon

1.2 Bestaande situatie

1.2.1 Situatieschets

De bestaande situatie wordt als volgt geschetst:



Figuur 44: Situatieschets case Zele

1.2.2 Capaciteitsberekening

Voor de capaciteitsberekening wordt gebruik gemaakt van de aangepaste formule van Bovy. De formules voor de capaciteit van de rijstroken van tak i zijn hieronder in hun algemene vorm weergegeven. De verklaring van de symbolen is terug te vinden in deel I onder 4.4.2.

$$C_{en,r}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,r} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,r} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,r} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,r} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

$$C_{en,l}(i) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (\beta_{i,out,l} \cdot Q_{ci,out}(i) + \beta_{i,in,l} \cdot Q_{ci,in}(i) + \alpha_{i,out,l} \cdot Q_{ex,out}(i) + \alpha_{i,in,l} \cdot Q_{ex,in}(i))$$

Het verkeer dat de rotonde oprijdt kan zich vrij verdelen over de twee rijstroken van de toeritten. Hierdoor ontstaan weefconflicten tussen het verkeer op de twee rijstroken van de rotonde. Er wordt verondersteld dat het doorgaand verkeer voor de 60% gebruik maakt van de rechter rijstrook. $f_{A, rechtdoor}$ en $f_{B, rechtdoor}$ zijn dus gelijk aan 0,6. Het terugkerend verkeer wordt verondersteld om voor 50% gebruik te maken van de rechter rijstrook. $f_{A, terug}$ en $f_{B, terug}$ zijn dus gelijk aan 0,50.

De capaciteit van de rijstroken van tak A wordt berekend met volgende formules:

$$C_{en,r}(A) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{A,out,r} \cdot f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug} + \beta_{A,in,r} \cdot (1 - f_{B,terug}) \cdot Q_{B,terug} + \alpha_{A,out,r} \cdot (f_{B,rechtdoor} \cdot Q_{B,rechtdoor} + f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug}) + \alpha_{A,in,r} \cdot ((1 - f_{B,rechtdoor}) \cdot Q_{B,rechtdoor} + (1 - f_{A,terug}) \cdot Q_{A,terug}) \right)$$

$$C_{en,l}(A) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{A,out,l} \cdot f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug} + \beta_{A,in,l} \cdot (1 - f_{B,terug}) \cdot Q_{B,terug} + \alpha_{A,out,l} \cdot (f_{B,rechtdoor} \cdot Q_{B,rechtdoor} + f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug}) + \alpha_{A,in,l} \cdot ((1 - f_{B,rechtdoor}) \cdot Q_{B,rechtdoor} + (1 - f_{A,terug}) \cdot Q_{A,terug}) \right)$$

Tak B:

$$C_{en,r}(B) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{B,out,r} \cdot f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug} + \beta_{B,in,r} \cdot (1 - f_{A,terug}) \cdot Q_{A,terug} + \alpha_{B,out,r} \cdot (f_{A,rechtdoor} \cdot Q_{A,rechtdoor} + f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug}) + \alpha_{B,in,r} \cdot ((1 - f_{A,rechtdoor}) \cdot Q_{A,rechtdoor} + (1 - f_{B,terug}) \cdot Q_{B,terug}) \right)$$

$$C_{en,l}(B) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{B,out,l} \cdot f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug} + \beta_{B,in,l} \cdot (1 - f_{A,terug}) \cdot Q_{A,terug} + \alpha_{B,out,l} \cdot (f_{A,rechtdoor} \cdot Q_{A,rechtdoor} + f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug}) + \alpha_{B,in,l} \cdot ((1 - f_{A,rechtdoor}) \cdot Q_{A,rechtdoor} + (1 - f_{B,terug}) \cdot Q_{B,terug}) \right)$$

De waarde van α is afhankelijk van de afstand tussen het afrijdend verkeer en het oprijdend verkeer.

- De invloed van het afrijdend verkeer op de buitenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is zeer klein: we stellen $\alpha_{A, out, r}$ en $\alpha_{B, out, r}$ gelijk aan 0,1.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de buitenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is klein: we stellen $\alpha_{A, out, l}$ en $\alpha_{B, out, l}$ gelijk aan 0,2.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is iets groter: we stellen $\alpha_{A, in, r}$ en $\alpha_{B, in, r}$ gelijk aan 0,25.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is het grootst: we stellen $\alpha_{A, in, l}$ en $\alpha_{B, in, l}$ gelijk aan 0,4.

De waarde van β wordt bepaald door de hinder die het oprijdend verkeer ondervindt van het verkeer op de rotonde ter hoogte van de toerit. De waarde van β voor het verkeer op de buitenste rijstrook van de rotonde wordt gelijk gesteld aan 0,9. Dit verkeer hindert de linker en rechter rijstrook van de toerit evenveel. Voor de binnenste strook stellen we β gelijk aan 0,5.

Na invullen van de waarden worden volgende resultaten bekomen:

$$C_{en,r}(A) = 1290$$

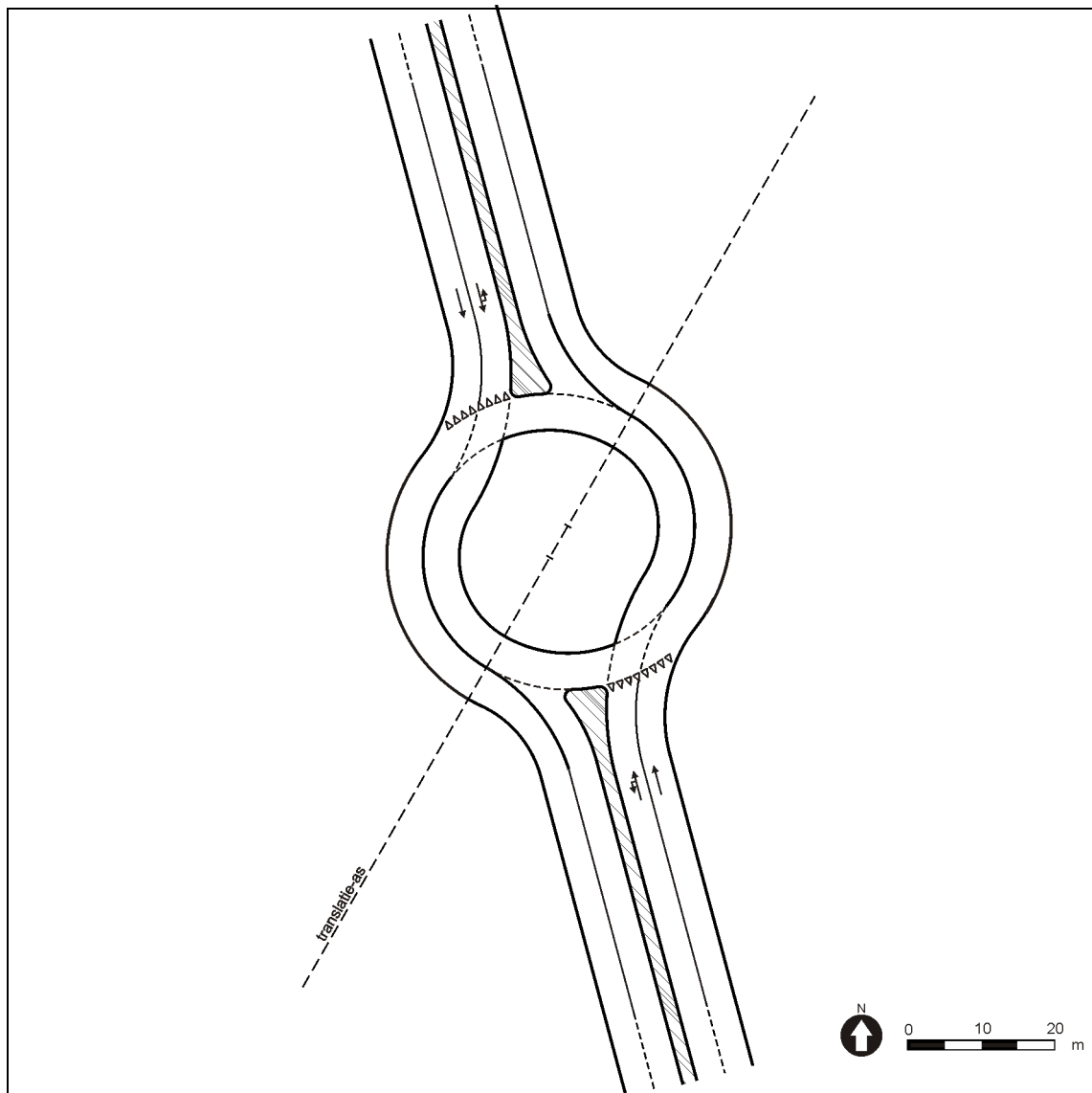
$$C_{en,l}(A) = 1202$$

$$C_{en,r}(B) = 1344$$

$$C_{en,l}(B) = 1172$$

1.3 Turborotonde

1.3.1 Ontwerp



Figuur 45: Ontwerp turborotonde case Zele

1.3.2 Capaciteitsberekening

Voor de capaciteitsberekening wordt ook hier gebruik gemaakt van de aangepaste formule van Bovy. Het verkeer dat de rotonde oprijdt kan zich niet volledig vrij verdelen over de rijstroken van de toeritten. Het terugkerend verkeer moet verplicht gebruik maken van de binnenste rijstrook. Enkel het doorgaand verkeer kan kiezen. Er wordt verondersteld dat het doorgaand verkeer zijn keuze baseert op de verzadiging van de toeritten. Het verkeer zal zodanig kiezen dat de verzadigingsgraad gelijk belast wordt. Voor elke toerit i geldt dus:

$$\frac{Q_{A,r}}{C_{A,r}} = \frac{Q_{A,l}}{C_{A,l}}$$

$$\text{of voor toerit A geldt: } \frac{f_{A,rechtdoor} \cdot Q_{A,rechtdoor}}{C_{A,r}} = \frac{(1 - f_{A,rechtdoor}) Q_{A,rechtdoor} + Q_{A,terug}}{C_{A,l}}$$

$$\text{voor } f_A \text{ geldt na uitwerking: } f_A = \frac{1}{Q_{A,rechtdoor}} \cdot \left(\frac{Q_A \cdot C_{A,r}}{C_A} - Q_{A,terug} \right) \text{ (zie deel I, 4.4.3)}$$

$$\text{voor } f_B \text{ wordt dit: } f_B = \frac{1}{Q_{B,rechtdoor}} \cdot \left(\frac{Q_B \cdot C_{B,r}}{C_B} - Q_{B,terug} \right)$$

Om de exacte waarde van f_A en f_B te berekenen dient de capaciteit van de rijstroken van de toeritten gekend te zijn. We zullen dus eerst de capaciteit berekenen met een geschatte startwaarde van f_A en f_B .

De capaciteit van de rijstroken van tak A wordt berekend met volgende formules:

$$C_{en,r}(A) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{A,r} \cdot f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug} + \alpha_{A,out,r} \cdot (f_{B,rechtdoor} \cdot Q_{B,rechtdoor} + Q_{A,terug}) + \alpha_{A,in,r} \cdot (1 - f_{B,rechtdoor}) Q_{B,rechtdoor} \right)$$

$$C_{en,l}(A) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{A,l} \cdot f_{B,terug} \cdot Q_{B,terug} + \alpha_{A,out,l} \cdot (f_{B,rechtdoor} \cdot Q_{B,rechtdoor} + Q_{A,terug}) + \alpha_{A,in,l} \cdot (1 - f_{B,rechtdoor}) Q_{B,rechtdoor} \right)$$

Tak B:

$$C_{en,r}(B) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{B,r} \cdot f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug} + \alpha_{B,out,r} \cdot (f_{A,rechtdoor} \cdot Q_{A,rechtdoor} + Q_{B,terug}) + \alpha_{B,in,r} \cdot (1 - f_{A,rechtdoor}) Q_{A,rechtdoor} \right)$$

$$C_{en,l}(B) = 1500 - \frac{8}{9} \cdot \left(\beta_{B,l} \cdot f_{A,terug} \cdot Q_{A,terug} + \alpha_{B,out,l} \cdot (f_{A,rechtdoor} \cdot Q_{A,rechtdoor} + Q_{B,terug}) + \alpha_{B,in,l} \cdot (1 - f_{A,rechtdoor}) Q_{A,rechtdoor} \right)$$

De waarde van α is afhankelijk van de afstand tussen het afrijdend verkeer en het oprijdend verkeer.

- Door de aanleg van de verhoogde rijbaanscheiding beïnvloedt het afrijdend verkeer op de buitenste strook van de afrit het oprijdend verkeer van de toerit niet: we stellen $\alpha_{A, out, r}$, $\alpha_{B, out, r}$, $\alpha_{A, out, l}$ en $\alpha_{B, out, l}$ gelijk aan 0.
- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de rechter strook van de toerit is klein: we stellen $\alpha_{A, in, r}$ en $\alpha_{B, in, r}$ gelijk aan 0,2.

- De invloed van het afrijdend verkeer op de binnenste strook van de afrit op het oprijdend verkeer op de linker strook van de toerit is het grootst: we stellen $\alpha_{A, in, l}$ en $\alpha_{A, in, l}$ gelijk aan 0,4.

De waarde van β wordt bepaald door de hinder die het oprijdend verkeer ondervindt van het verkeer op de rotonde ter hoogte van de toerit. Aangezien het verkeer op de rotonde voor de toerit slechts over één rijstrook beschikt, wordt de waarde van β voor het verkeer op de rotonde overal gelijk gesteld aan 0,9. Dit verkeer hindert de linker en rechter rijstrook van de toerit evenveel.

Na invullen van de waarden worden de voorlopige capaciteiten bekomen:

$$C_{en,r}(A) = 1306$$

$$C_{en,l}(A) = 1238$$

$$C_{en,r}(B) = 1369$$

$$C_{en,l}(B) = 1308$$

Nu de voorlopige capaciteiten berekend zijn kunnen de werkelijke waarden voor de rijstrookkeuze berekend worden. Na 3 iteraties geeft dit:

$$f_A = 0,5153$$

$$f_B = 0,6037$$

De werkelijke capaciteiten worden nu:

$$C_{en,r}(A) = 1291$$

$$C_{en,l}(A) = 1268$$

$$C_{en,r}(B) = 1366$$

$$C_{en,l}(B) = 1313$$

1.4 Vergelijking van de resultaten

Het verschil tussen de aanleg van een tweestrooksrotonde en een turborotonde zijn bij deze case niet zo groot. De resultaten geven ook aan dat het knooppunt zeker nog niet volledig verzadigd is. De maximale verzadigingsgraad bij de tweestrooksrotonde bedraagt 46,76%, bij de turborotonde is de maximale verzadigingsgraad 39,42%. Bij grotere intensiteiten zou het principe van de turborotonde zeker zijn nut hebben.

	TAK A			TAK B		
	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%
X_{en,r}	0,4676	0,3942	+9%	0,3901	0,3557	+5%
X_{en,l}	0,3375	0,3942	-8%	0,3379	0,3557	-3%
X_{en}	0,4049	0,3942	+1%	0,3666	0,3557	+2%

Tabel 13: Vergelijking van de resultaten van de casestudy te Zele

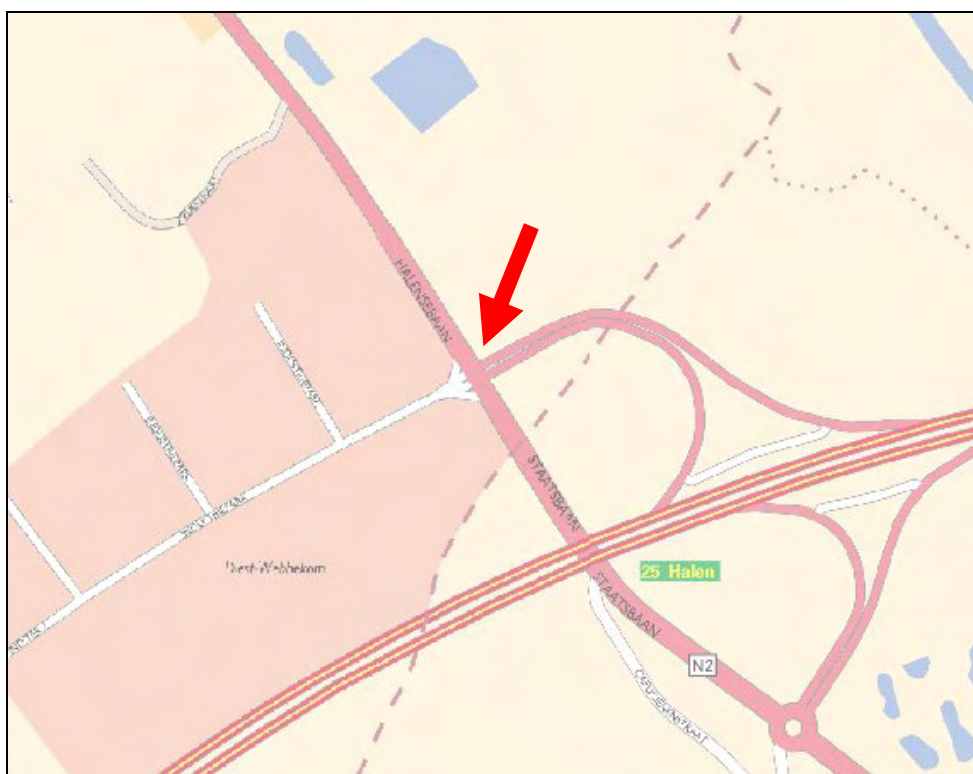
Aangezien de praktijk leert dat de verkeersdoorstroming op dit punt verre van optimaal gebeurt, is de aanpassing van de rotonde tot een turborotonde het overwegen waard. Met een kleine moeite kan de rotonde binnen de bestaande oppervlakte omgevormd worden. Volgens bovenstaande berekeningen zou de doorstroming op die manier toch met ongeveer 9% verbeteren.

2 Op- en afrit van de E314 te Diest

2.1 Situering

2.1.1 Ruimtelijke situering

Deze gevalstudie betreft het kruispunt gelegen aan de afrit van de E314 te Diest. Het kruispunt is opgenomen in de lijst van de zwarte punten die de Vlaamse regering in versneld tempo wenst aan te pakken. De op- en afrit mondt uit op de Halensebaan (N2) en loopt aan de andere zijde door in de ingang van het industriepark van Diest. Vanuit het NO sluit een fietsroute aan op het kruispunt. Het tracé daarvan loopt voort volgens de N2 richting Halen.



Figuur 46: Ruimtelijke situering case Diest (AGIV)

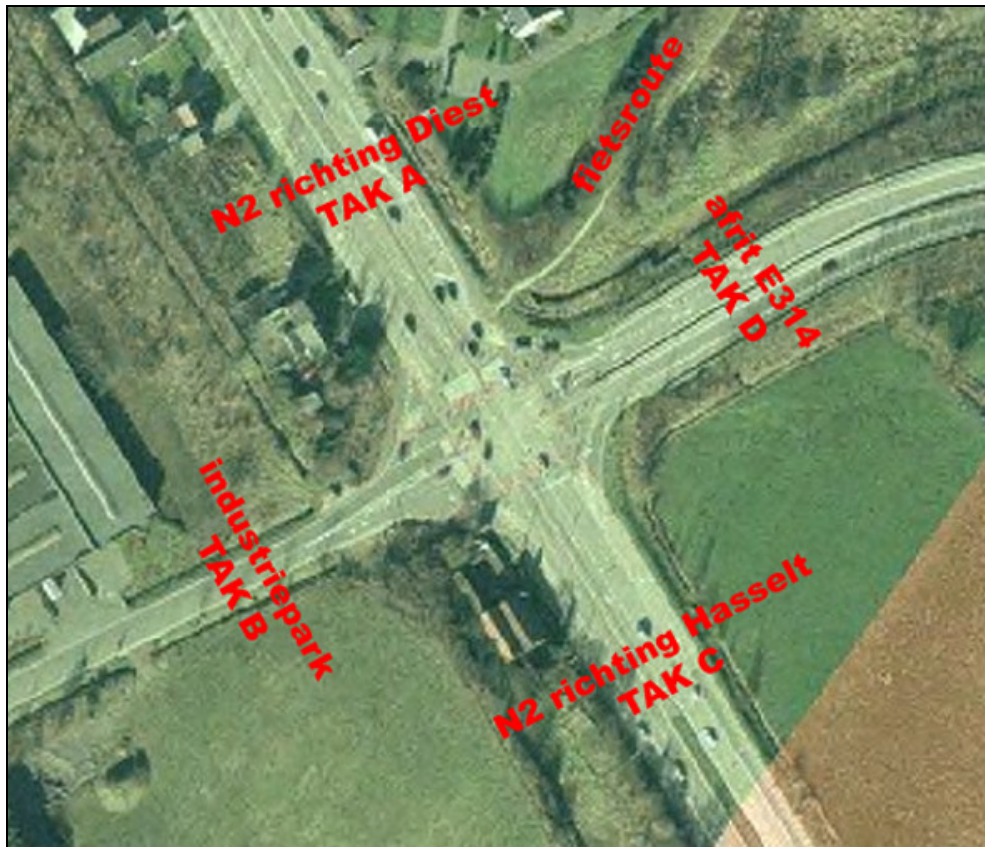
2.1.2 Toelichting van het project

Om de verkeersveiligheid op het kruispunt te verhogen werkte studiebureau Arcadis Gedas in opdracht van de Tijdelijke Vereniging Veilig Verkeer Vlaanderen (TV3V) voor dit kruispunt een tweestrooksrotonde uit die het huidige lichtengeregeld kruispunt moet vervangen. Het project werd midden 2005 aanbesteed. De werken begonnen begin 2006.

In deze casestudy zal het ontwerp van de tweestrooksrotonde aangepast worden tot een turborotonde. Beide kruispuntoplossingen zullen dan vergeleken worden qua capaciteit en verkeersveiligheid.

De projectfiche van TV3V is opgenomen in bijlage.

2.1.3 Verkeersintensiteit



Figuur 47: Luchtfoto case Menen (AGIV)

In opdracht van TV3V werd een verkeerstelling uitgevoerd op 6 mei 2005. Het moment van de zwaarste belasting werd hieruit gebruikt voor de verdere berekeningen. Het betreft de avondspits tussen 16u30 en 17u30, met een totale intensiteit van 2471,8 p.a.e. Uit de telling kan opgemaakt worden dat de hoofdstroom gericht is volgens de N2. De grootste intensiteiten zijn die van tak A naar tak C en omgekeerd.

De telformulieren zijn opgenomen in de bijlagen.

2.2 Tweestrooksrotonde

2.2.1 Ontwerp van TV3V

Het ontwerp omvat een tweestrooksrotonde met tweestrooks toe- en afritten op de N2, de afrit van de E314 heeft twee rijstroken op de toerit en één rijstrook op de afrit, de ingang van het industriepark heeft één rijstrook op de toerit en op de afrit.

Aan de tak richting Halen worden bypasses voorzien. Het rechtsafslaand verkeer van uit het industriepark en het rechtsafslaand verkeer naar de oprit van de E314 hoeven de rotonde dus niet te gebruiken. Omdat het kruispunt op een fietsroute ligt, wordt een fietstunnel diagonaal onder de rotonde aangelegd. Deze tunnel moet de verkeersveiligheid voor fietsers verzekeren. Voor de aanleg van de fietstunnel en de bypass aan het industriepark dient een woning onteigend en afgebroken te worden.

2.2.2 Ontwerpsnelheid

Door de grote diameter van het middeneiland bedraagt de uitwijking voor het verkeer dat van de buitenste rijstrook van de toerit via de binnenste rijstrook van de rotonde terug de buitenste rijstrook van de afrit neemt 14,62 m, en dit over een afstand van 73,12 m. De kritische ontwerpsnelheid bedraagt zo 36,5 km/h, wat zeker aanvaardbaar is voor een tweestrooksrotonde.

2.2.3 Capaciteitsberekening

De capaciteit van de tweestrooksrotonde wordt berekend met de aangepaste formule van Bovy. Op die manier kan de capaciteit vergeleken worden wanneer het ontwerp aangepast wordt tot een turborotonde.

Voor de capaciteitsberekening werd gebruik gemaakt van Microsoft Excel. De sheet is toegevoegd in bijlage. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar deel II. De verkeersstromen die gebruik maken van de bypasses werden gelijk gesteld aan 0 voor de berekening van de capaciteit van de toeritten van de rotonde. De resultaten zijn daardoor licht vertekend, maar vormen een goede basis om de capaciteit van dit ontwerp te vergelijken met het ontwerp van de turborotonde.

De resultaten luiden als volgt:

	tak A	tak B	tak C	tak D
$C_{en,r}$	1286	875	1217	1055
$C_{en,l}$	1213	863	1136	1036
C_{en}	2500	1739	2354	2091

Tabel 14: Capaciteit van de tweestrooksrotonde te Diest

2.2.4 Veriadiging van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de veriadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale veriadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

Uit de resultaten blijkt dat de rechter rijstrook van tak A met 38,00% het meest veriadigd is. Het ontwerp voldoet dus ruimschoots aan de vooropgestelde eis.

	tak A	tak B	tak C	tak D
$X_{en,r}$	0,3800	0,1299	0,2530	0,2561
$X_{en,l}$	0,2713	0,1452	0,1953	0,1026
X_{en}	0,3272	0,1375	0,2251	0,1800

Tabel 15: Veriadigingsgraden van de tweestrooksrotonde te Diest

2.3 Turborotonde

2.3.1 Ontwerp

Om het principe van de turborotonde te toetsen wordt het ontwerp van de tweestrooksrotonde vervangen door een turborotonde, waarbij de hoofdstroom georiënteerd is langs de N2. Het grondplan is toegevoegd in de bijlagen.

De bypasses worden verwijderd uit het ontwerp, maar aan de uitrit van het industriepark wordt de toerit met twee rijstroken aangelegd. Op die manier hoeft het gebouw voor de aanleg van de rotonde niet meer afgebroken worden. Voor de aanleg van de fietserstunnel moet wel nog een andere oplossing gezocht worden.

2.3.2 Ontwerpsnelheid

De kritische ontwerpsnelheid bedraagt hier 31,7 km/h. Deze is lager dan de ontwerpsnelheid bij de tweestrooksrotonde omdat de uitwijking door de aanleg van verhoogde rijstrookscheidingen vergroot tot 17,90 m, terwijl de afstand waarover de uitwijking gebeurt verkleint tot 65,34 m. De turborotonde is dus verkeersveiliger dan de tweestrooksrotonde.

2.3.3 Capaciteitsberekening

De capaciteit van de turborotonde wordt eveneens berekend met de aangepaste formule van Bovy. Voor de berekeningswijze wordt ook hier verwezen naar deel II. De Excel – sheet is toegevoegd in bijlage.

De verkeersstromen die bij de uitwerking van de tweestrooksrotonde gebruik maakten van de bypasses werden hier wel beschouwd voor de berekening van de capaciteit van de toeritten van de rotonde. De rotonde wordt dus zwaarder belast.

De resultaten luiden als volgt:

	tak A	tak B	tak C	tak D
$C_{en,r}$	1246	1033	1189	1165
$C_{en,l}$	1206	793	1143	965
C_{en}	2452	1826	2332	2130

Tabel 16: Capaciteit van de turborotonde te Diest

2.3.4 Veriadiging van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de veriadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale veriadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

Uit de resultaten blijkt dat de rechter rijstrook van tak A met 33,36% ook hier het meest veriadigd is. Het ontwerp voldoet dus ruimschoots aan de vooropgestelde eis.

	tak A	tak B	tak C	tak D
$X_{en,r}$	0,3336	0,3128	0,3066	0,1653
$X_{en,l}$	0,3336	0,3015	0,3065	0,1906
X_{en}	0,3336	0,3079	0,3065	0,1768

Tabel 17: Veriadigingsgraden van de turborotonde te Diest

2.4 Vergelijking van de resultaten

Volgende tabel vergelijkt de resultaten van beide ontwerpen:

	TAK A			TAK B			TAK C			TAK D		
	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%	2-str	turbo	%
Xen,r	0,3800	0,3336	+6%	0,1299	0,3128	-41%	0,2530	0,3066	-10%	0,2561	0,1653	+22%
Xen,l	0,2713	0,3336	-10%	0,1452	0,3015	-35%	0,1953	0,3065	-22%	0,1026	0,1906	-30%
Xen	0,3272	0,3336	-1%	0,1375	0,3079	-38%	0,2251	0,3065	-15%	0,1800	0,1768	+1%

Tabel 18: Vergelijking van de resultaten van de case te Diest

De algemene verzadiging van de armen van de rotonde is bij het ontwerp van de turborotonde over het algemeen groter door het verwijderen van de bypasses. De maximale verzadigungsgraad daalt evenwel met 6% (van 38,00% naar 33,36%).

De doorstroming op het knooppunt zal dus verbeteren bij de aanleg van een turborotonde, ondanks het feit dat de rotonde zwaarder belast wordt. Deze situatie is een goed voorbeeld van waar het principe van de turborotonde een meerwaarde kan bieden.

Naast een betere doorstroming van het verkeer wordt het knooppunt ook verkeersveiliger (de ontwerpsnelheid daalt en het aantal conflictpunten neemt af).

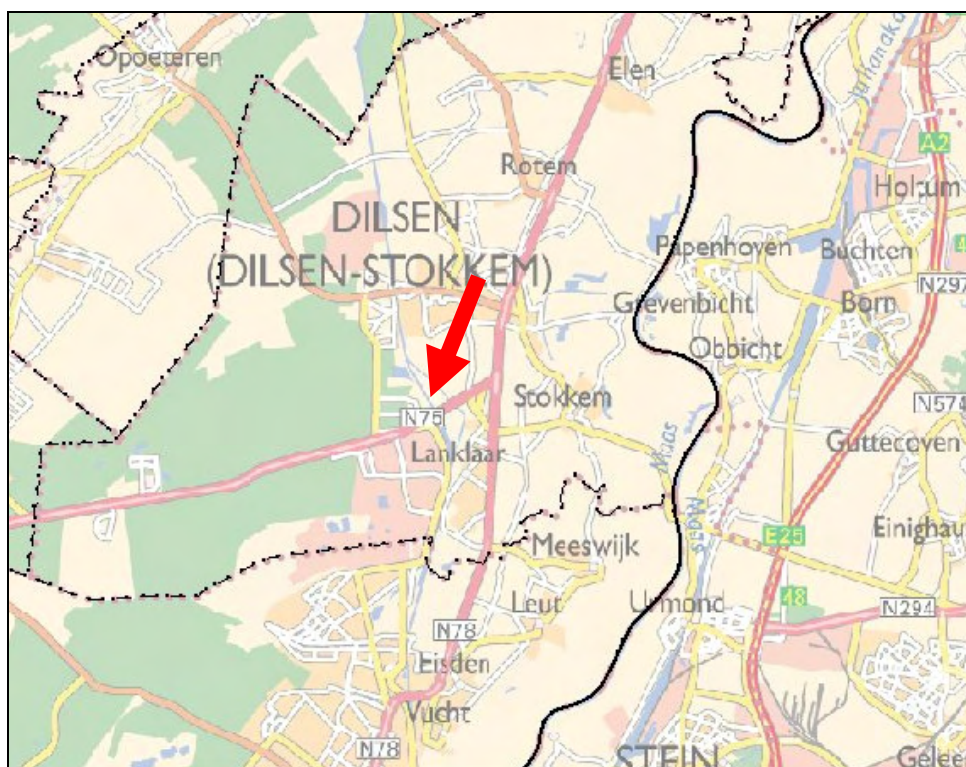
Een laatste, maar zeker niet minder belangrijk voordeel van de turborotonde is hier dat ze minder ruimte gebruikt.

3 Kruispunt Boslaan – Siemenslaan te Dilsen – Stokkem

3.1 Situering

3.1.1 Ruimtelijke situering

Deze gevalstudie betreft het T-kruispunt van de Boslaan (N75) met de Siemenslaan te Dilsen-Stokkem. Het kruispunt is opgenomen in de lijst van de zwarte punten die de Vlaamse regering in versneld tempo wenst aan te pakken. De Boslaan is een tweevaksbaan die Dilsen-Stokkem verbindt met Genk en Hasselt. De Siemenslaan is een één maal twee weg die het verkeer uit de bedrijvenszone van Dilsen verzamelt.



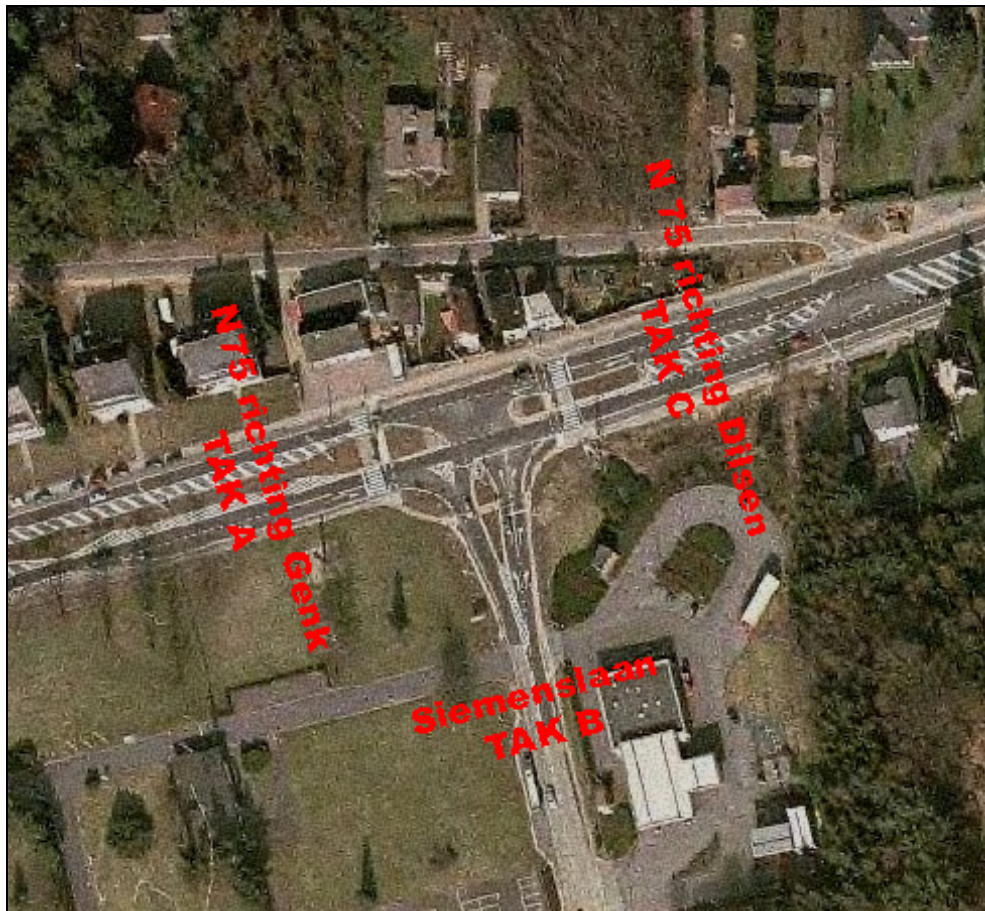
Figuur 48: Situering van de case te Dilsen-Stokkem (AGIV)

3.1.2 Toelichting van het project

Studiebureau Arcadis Gedas werkte voor dit kruispunt een turborotonde uit die het huidig kruispunt moet vervangen. In het ontwerp werd ook het kruispunt van de N75 met de Pannenhuisstraat meegenomen, zoals voorgesteld in de streefbeeldstudie van de N75. Het ontwerp met de turborotondes werd echter niet goedgekeurd zodat de plannen gewijzigd werden tot gewone tweestrooksrotondes. Als 'gouden middenweg' tussen beide ontwerpen werd de tweestrooksrotonde uiteindelijk aangepast tot een uitweefrotonde. Hierbij wordt het principe van de turborotonde deels toegepast door aangepaste markering. Dit plan werd uiteindelijk goedgekeurd.

In deze casestudy zullen de verschillende ontwerpen voor het kruispunt van de N75 met de Siemenslaan vergeleken worden naar intensiteit en verkeersveiligheid.

3.1.3 Verkeersintensiteit



Figuur 49: Luchtfoto case Dilsen-Stokkem (AGIV)

In opdracht van TV3V werd een verkeerstelling uitgevoerd op 17 februari 2005. Het moment van de zwaarste belasting werd hieruit gebruikt voor de verdere berekeningen. Omdat de ochtendspits en de avondspits hier een heel ander beeld geven, worden de berekeningen in beide gevallen uitgevoerd. De ochtendspits tussen 7u15 en 8u15 heeft een totale intensiteit van 1866,2 PAE. De avondspits tussen 16u00 en 17u00 heeft een totale intensiteit van 2056,4 PAE. Uit de telling kan opgemaakt worden dat de hoofdstroom gericht is volgens de N75.

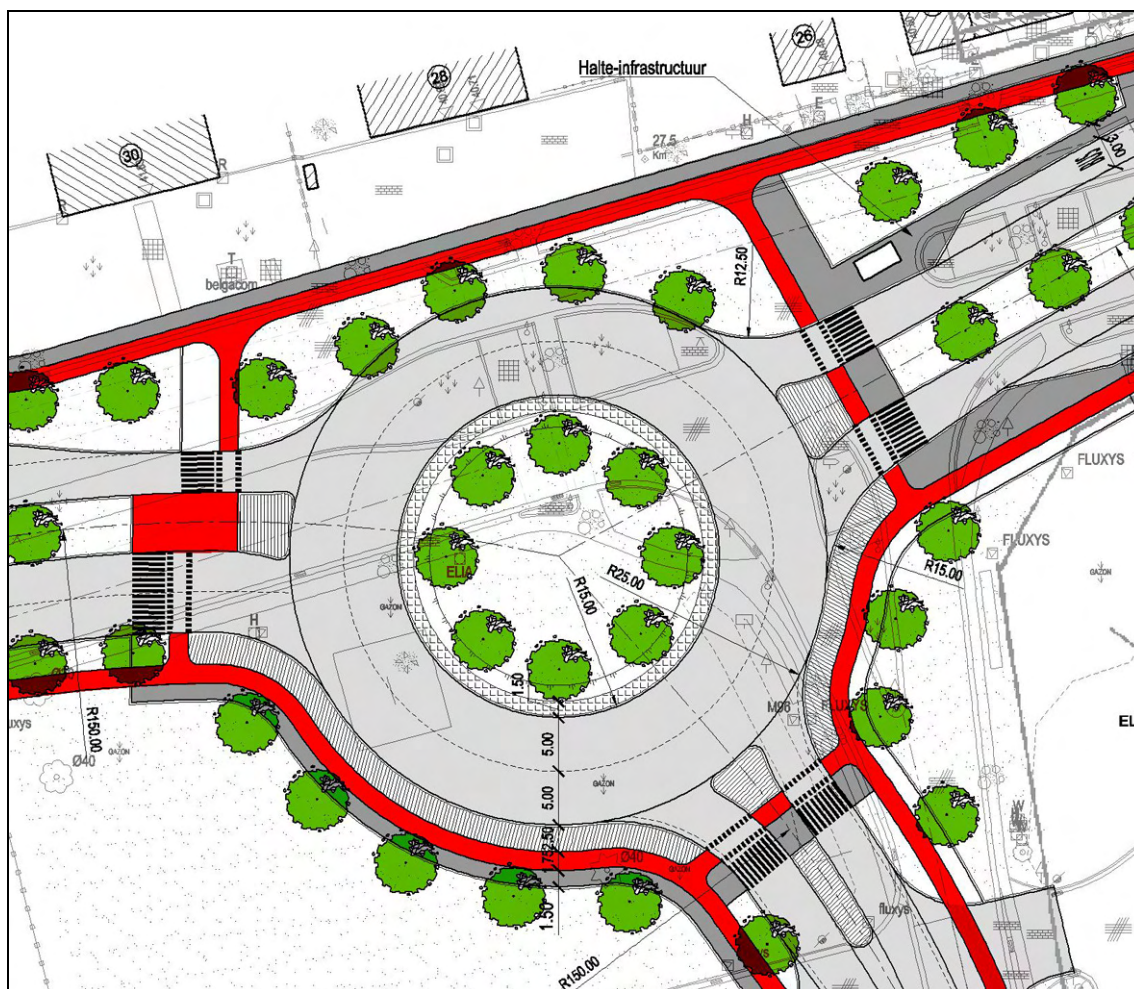
De telformulieren zijn opgenomen in de bijlagen.

3.2 Tweestrooksrotonde

3.2.1 Ontwerp

Het ontwerp voor de tweestrooksrotonde aan het kruispunt van de Boslaan met de Siemenslaan bestaat uit twee rijstroken op de toerit en één rijstrook op de afrit op tak A, tak B en tak C hebben telkens één rijstrook op de toerit en één rijstrook op de afrit. Het fietspad en het voetpad liggen uit de voorrang en zijn op tak A ontworpen met behulp van een rokade. De buitendiameter van de rotonde bedraagt 50 m.

Een uittreksel uit het grondplan is hieronder weergegeven. Het volledige plan is opgenomen in bijlage.



Figuur 50: Tweestrooksrotonde Dilsen

3.2.2 Capaciteitsberekening

De capaciteit van de tweestrooksrotonde wordt berekend met de aangepaste formule van Bovy. Op die manier kan de capaciteit vergeleken worden met de capaciteit van de turborotonde.

Voor de capaciteitsberekening werd gebruik gemaakt van Microsoft Excel. De sheet is toegevoegd in bijlage. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar deel II.

De resultaten voor de ochtendspits en de avondspits zijn weergegeven in onderstaande tabel:

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1186	1083	1237
$C_{en,l}$	1057	-	-
C_{en}	2243	1083	1237

Tabel 19: Capaciteiten Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1240	908	964
$C_{en,l}$	1133	-	-
C_{en}	2372	908	964

Tabel 20: Capaciteiten Dilsen avondspits

3.2.3 Veriadiging van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de veriadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale veriadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven:

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,4433	0,1950	0,7825
$X_{en,l}$	0,1510	-	-
X_{en}	0,3056	0,1950	0,7825

Tabel 21: Veriadigingsgraden Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,5227	0,5694	0,6276
$X_{en,l}$	0,2525	-	-
X_{en}	0,3938	0,5694	0,6276

Tabel 22: Veriadigingsgraden Dilsen avondspits

De maximale veriadigingsgraad bedraagt 78,25% (voor tak C tijdens de ochtendspits). Het ontwerp kan met deze intensiteiten net getolereerd worden.

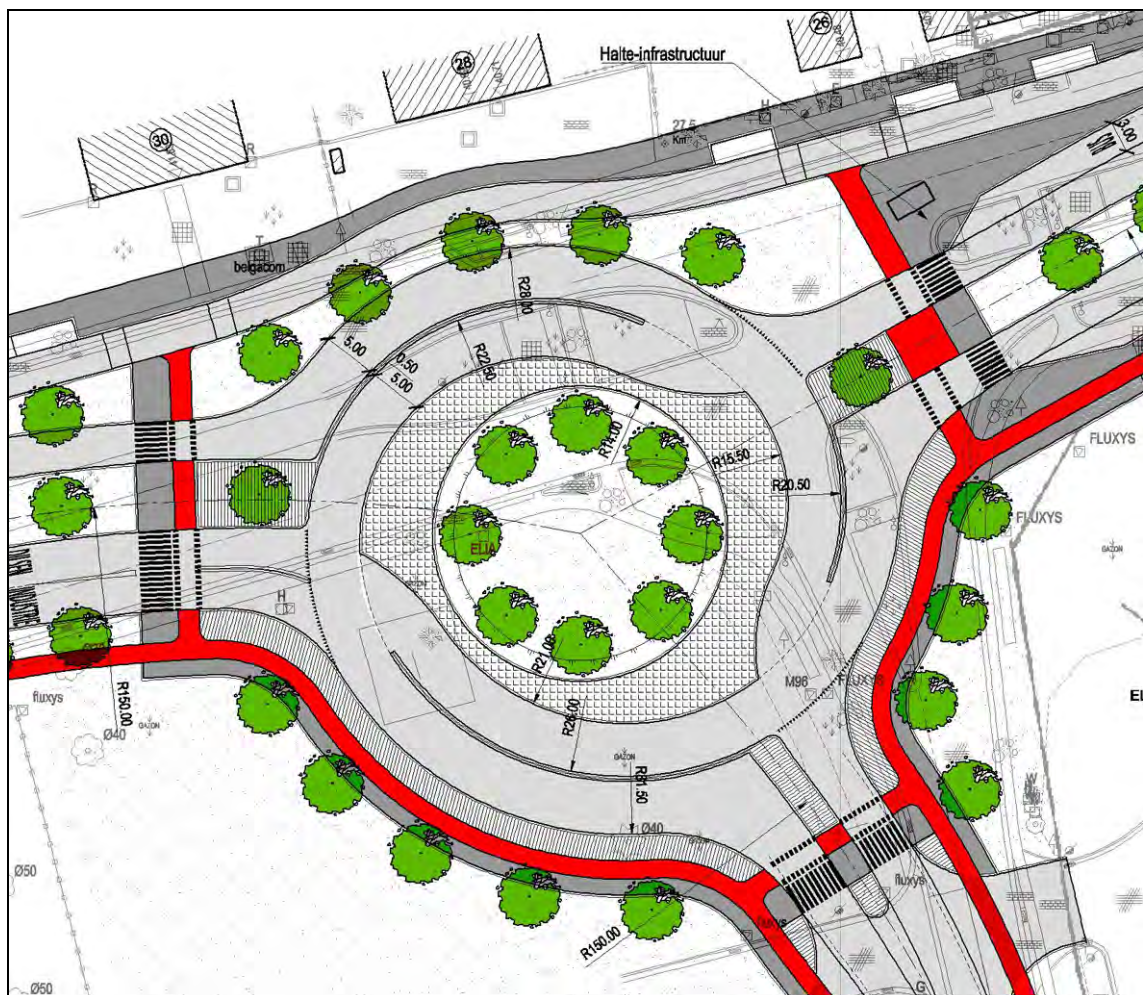
3.3 Turborotonde

3.3.1 Ontwerp

Het ontwerp voor de turborotonde aan het kruispunt van de Boslaan met de Siemenslaan bestaat uit twee rijstroken op de toerit en één rijstrook op de afrit op tak A, tak B en tak C hebben telkens één rijstrook op de toerit en één rijstrook op de afrit. Het verkeer moet hier kiezen welke rijstrook van de rotonde het oprijdt, want het wordt verplicht om een vast tracé te volgen. De omkeerbeweging is bij dit ontwerp niet mogelijk.

Het fietspad en het voetpad liggen uit de voorrang. Op tak A werd hier nog geen rokade ontworpen, hoewel dit wel aangewezen is. De maximale buitendiameter van de rotonde bedraagt 55 m.

Een uitsnede uit het grondplan is hieronder weergegeven. Het volledige plan is opgenomen in bijlage.



Figuur 51: Turborotonde Dilsen

3.3.2 Capaciteitsberekening

De capaciteit van de turborotonde wordt berekend met de aangepaste formule van Bovy. Op die manier kan de capaciteit vergeleken worden met de capaciteit van de turborotonde.

Voor de capaciteitsberekening werd gebruik gemaakt van Microsoft Excel. De sheet is toegevoegd in bijlage. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar deel II.

De resultaten voor de ochtendspits en de avondspits zijn weergegeven in onderstaande tabel:

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1381	1181	1378
$C_{en,l}$	1381	-	-
C_{en}	2762	1181	1378

Tabel 23: Capaciteiten Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1402	928	1241
$C_{en,l}$	1402	-	-
C_{en}	2803	928	1241

Tabel 24: Capaciteiten Dilsen avondspits

3.3.3 Veriadiging van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de veriadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale veriadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven:

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,2075	0,1788	0,7023
$X_{en,l}$	0,2890	-	-
X_{en}	0,2482	0,1788	0,7023

Tabel 25: Veriadigingsgraden Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,1564	0,5571	0,4876
$X_{en,l}$	0,5101	-	-
X_{en}	0,3333	0,5571	0,4876

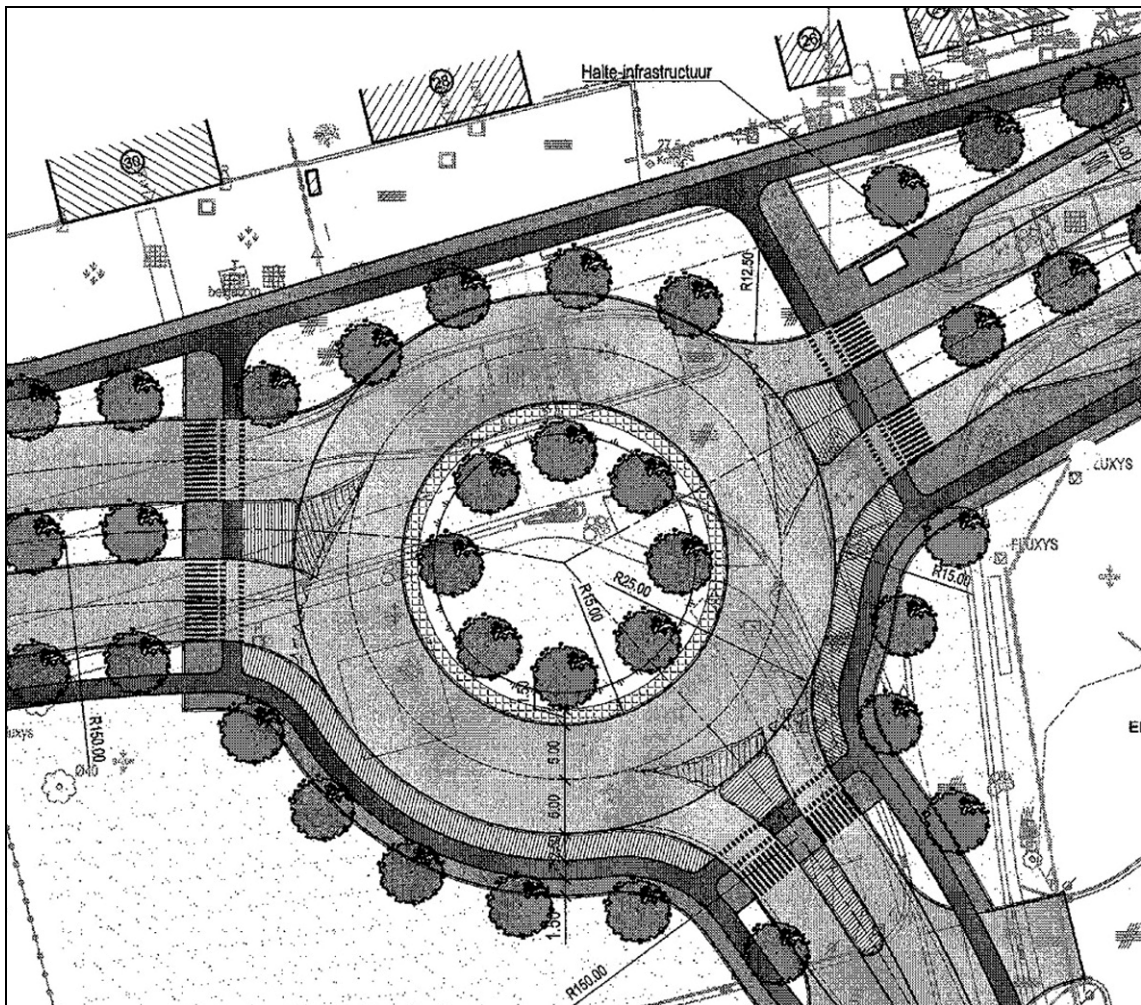
Tabel 26: Veriadigingsgraden Dilsen avondspits

De maximale veriadigingsgraad bedraagt 70,23% (voor tak C tijdens de ochtendspits). Het ontwerp valt dus binnen de tolerantie.

3.4 Uitweefrotonde

3.4.1 Ontwerp

De uitweefrotonde is op dezelfde manier ontworpen als de tweestrooksrotonde, maar heeft een aangepaste markering. Door deze markering wordt het verkeer op de rotonde aangespoord om de binnenste rijstrook te gaan gebruiken en zo de buitenste rijstrook te reserveren voor het afslaand verkeer. De terugkeerbeweging is hier wel mogelijk.



Figuur 52: Ontwerp uitweefrotonde Dilsen

3.4.2 Capaciteitsberekening

De capaciteitsberekening gebeurt quasi gelijklopend met die van de turborotonde, behalve dat de factor α niet volledig gelijk gesteld wordt aan 0. Het afrijdend verkeer veroorzaakt nog enige vorm van terughoudendheid bij de bestuurders die de rotonde oprijden. α wordt daarom gelijkgesteld aan 0,2 voor de linker rijstrook van de toerit en 0,1 voor de rechter rijstrook van de toerit. Wanneer de toerit slechts 1 rijstrook telt wordt de waarde 0,2 voor α aangehouden.

De berekeningen zijn opgenomen in bijlage.

De resultaten zijn weergegeven in volgende tabellen:

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1294	1103	1297
$C_{en,l}$	1208	-	-
C_{en}	2503	1103	1297

Tabel 27: Capaciteiten Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$C_{en,r}$	1330	867	1079
$C_{en,l}$	1258	-	-
C_{en}	2588	867	1079

Tabel 28: Capaciteiten Dilsen avondspits

3.4.3 Verzendingsgraden van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de verzadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale verzadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven:

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,2213	0,1913	0,7464
$X_{en,l}$	0,3302	-	-
X_{en}	0,2739	0,1913	0,7464

Tabel 29: Verzendingsgraden Dilsen ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
$X_{en,r}$	0,1648	0,5962	0,5605
$X_{en,l}$	0,5682	-	-
X_{en}	0,3609	0,5962	0,5605

Tabel 30: Verzendingsgraden Dilsen avondspits

De maximale verzadigingsgraad bedraagt 74,64% (voor tak C tijdens de ochtendspits). Ook het ontwerp van de uitweefrotonde valt dus binnen de tolerantie.

3.5 Vergelijking van de resultaten

De maximale verzadigingsgraden van de verschillende kruispuntoplossingen liggen aan de hoge kant:

- 78,25% voor de tweestrooksrotonde
- 70,23% voor de turborotonde
- 74,64% voor de uitweefrotonde

Omdat de toeritten van tak B en tak C slechts met één rijstrook worden uitgevoerd valt het aan te bevelen om te onderzoeken of de aanleg van twee rijstroken op de toeritten niet mogelijk is. Het verkeer zou zich dan kunnen verdelen over de twee rijstroken en het kruispunt wordt ook overzichtelijker. Rekening houdend met de toenemende verkeersintensiteit in Vlaanderen zou dit zeker voor tak C (de zwaarst belaste tak) geen overbodige luxe zijn.

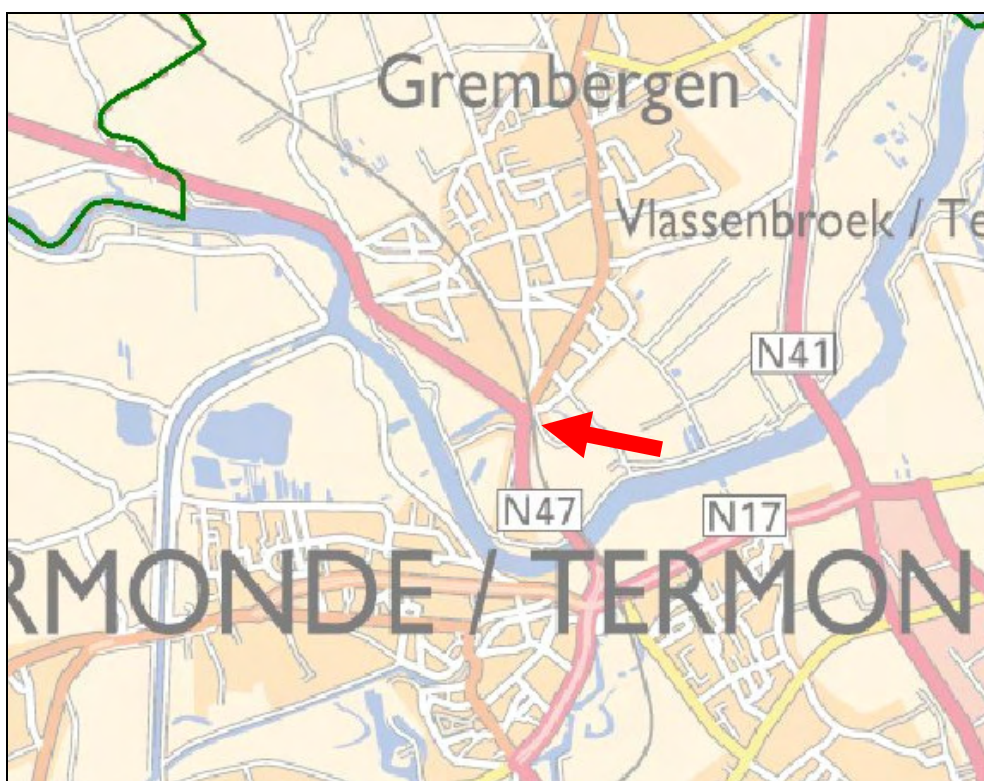
Het principe van de uitweefrotonde biedt qua capaciteit een goed alternatief op de gewone tweestrooksrotonde, op voorwaarde dat de bestuurder goed geïnformeerd wordt door bebording en markering voordat hij de rotonde oprijdt. In tegenstelling tot de turborotonde zijn hier namelijk geen verhoogde rijstrookscheidingen.

4 Kruispunt Martelarenlaan – Grootzand te Dendermonde

4.1 Situering

4.1.1 Ruimtelijke situering

Deze casestudy betreft de bestaande rotonde te Dendermonde. Het kruispunt is opgenomen in de lijst van de zwarte punten die de Vlaamse regering in versneld tempo wenst aan te pakken. Het kruispunt heeft drie armen. Eigenlijk bestaat het uit de aansluiting van de N470 op de N47. De N47 draait op het kruispunt de stad Dendermonde binnen. De drie armen hebben een één maal twee profiel en hebben één rijstrook op de toerit én op de afrit. Het fietsverkeer verloopt op de rotonde, op een aparte fietsstrook.



Figuur 53: Situering van de case te Dendermonde (AGIV)

4.1.2 Toelichting van het project

Omdat de verkeersveiligheid op dit punt te wensen overlaat en omdat de rotonde de aanwezige intensiteit niet meer kan verwerken, besliste TV3V om de rotonde om te vormen tot een lichtengeregeld kruispunt met een bypass op de N47. Dit is de eerste rotonde in Vlaanderen die vervangen wordt door een lichtengeregeld kruispunt.

In deze casestudie zal nagegaan worden of de omvorming van de bestaande rotonde tot een turborotonde een mogelijk alternatief was geweest.

4.1.3 Verkeersintensiteit

Op 25 november 2003 werd op het knooppunt een verkeerstelling uitgevoerd in opdracht van TV3V. Uit deze telling blijkt dat het grootste deel van het verkeer doorgaand verkeer langs de N47 is (van tak A naar tak B en omgekeerd). Op het ogenblikken van de zwaarste intensiteit (ochtendspits van 7u30 tot 8u30 en avondspits van 16u15 tot 17u15) moet de rotonde meer dan 2800 PAE verwerken, waaronder een niet onbelangrijk deel (brom)fietzers.

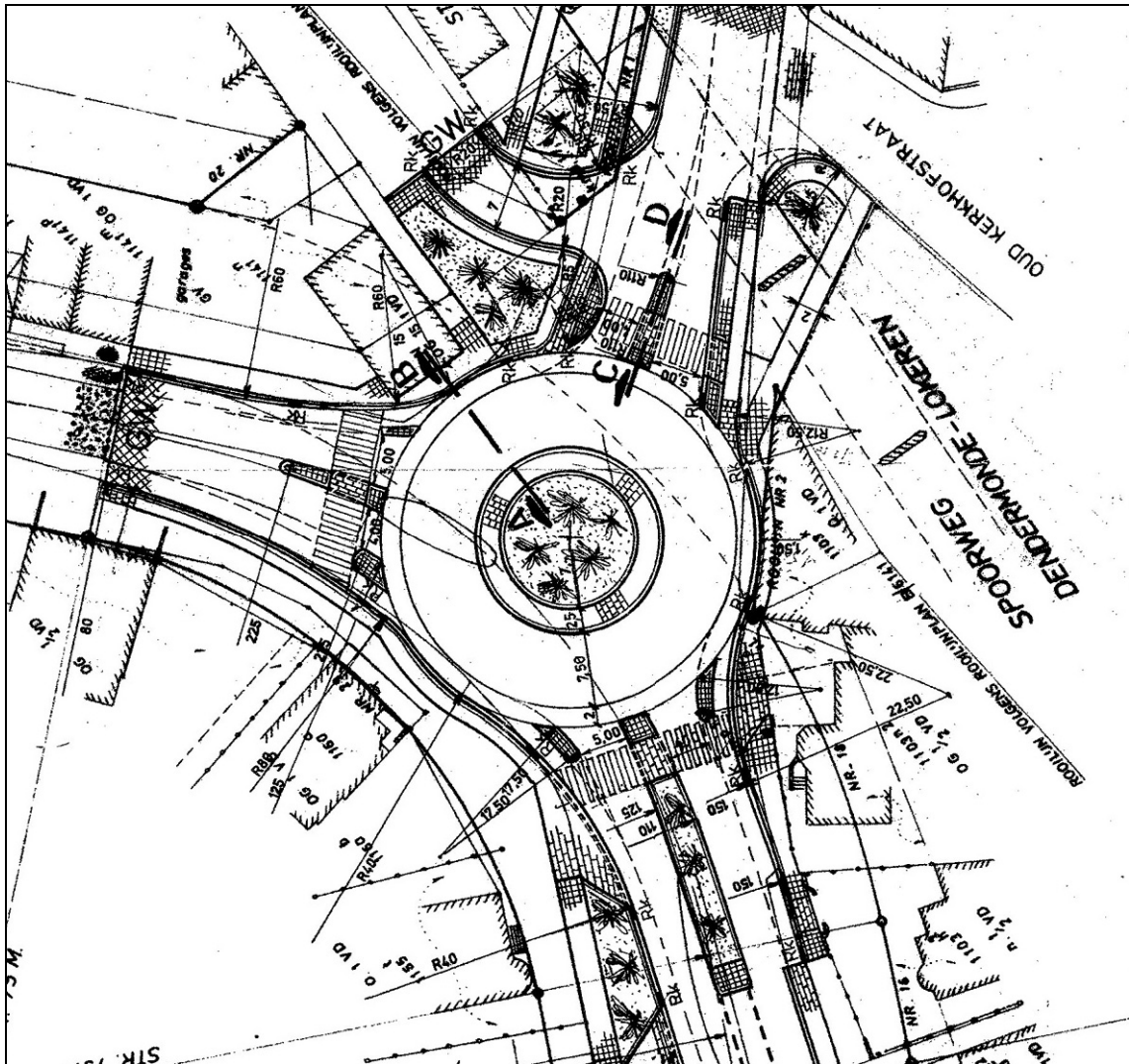


De telformulieren van deze verkeerstelling zijn opgenomen in bijlage.

4.2 Capaciteitsberekening van de rotonde

4.2.1 Grondplan

De rotonde heeft op elk van de takken slechts één rijstrook op de toerit en één rijstrook op de afrit. Op de rotonde zelf is rijbaan 7,50 m breed. Het fietspad, dat zich ook op de rotonde bevindt is nog eens 2,00 m breed en is niet afgescheiden. De bebouwing situeert zich overal vrij dicht bij het verkeersknooppunt.



Figuur 54: Grondplan van de rotonde te Dendermonde

4.2.2 Capaciteitsberekening

Voor de capaciteitsberekening wordt de aangepaste formule van Bovy gebruikt. Zo kan de berekende capaciteit vergeleken worden met die van de turborotonde. Omdat deze rotonde éénstrooks werd uitgevoerd, worden alle verdeelgraden gelijk aan één zodat de capaciteit van de linker rijstrook overal nul wordt.

De resultaten luiden als volgt:

	tak A	tak B	tak C
C_{en}	577	889	729

Tabel 31: Capaciteiten Dendermonde ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
C_{en}	1003	1042	559

Tabel 32: Capaciteiten Dendermonde avondspits

4.2.3 Verzendingsgraden van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de verzadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale verzadigingsgraad dient kleiner te zijn dan 80%.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven:

	tak A	tak B	tak C
X_{en}	1,3736	1,2592	1,2773

Tabel 33: Verzendingsgraden Dendermonde ochtend

	tak A	tak B	tak C
X_{en}	0,8989	1,4654	0,7444

Tabel 34: Verzendingsgraden Dendermonde avond

De verzadigingsgraden zijn bijna overal groter dan 80%. Dit wil zeggen dat een enkelstrooksrotonde wat betreft de capaciteit inderdaad een slechte oplossing is voor dit kruispunt.

4.3 Capaciteitsberekening van de turborotonde

Nu gebleken is dat de capaciteit van de enkelstrooksrotonde niet meer voldoet stelt zich de vraag of de turborotonde een mogelijke oplossing zou bieden in dit geval. Daarom worden eerst de capaciteiten berekend. Indien de capaciteit voldoet kan een ontwerp voor een turborotonde gemaakt worden.

4.3.1 Capaciteitsberekening

De aangepaste methode van Bovy geeft volgende resultaten voor een turborotonde met enkelstrooks toe- en afritten (vergelijkbaar met de turborotonde te Dilsen):

	tak A	tak B	tak C
C_{en}	765	1496	832

Tabel 35: Capaciteiten Dendermonde ochtendspits

	tak A	tak B	tak C
C_{en}	1211	1484	796

Tabel 36: Capaciteiten Dendermonde avondspits

4.3.2 Verzagigingsgraden van de toeritten

Nu de capaciteiten berekend zijn kunnen ook de verzadigingsgraden van de toeritten berekend worden. De maximale verzadigingsgraad dient terug kleiner te zijn dan 80%.

De resultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven:

	tak A	tak B	tak C
X_{en}	1,0356	0,7487	1,1190

Tabel 37: Verzagigingsgraden Dendermonde ochtend

	tak A	tak B	tak C
X_{en}	0,7447	1,0290	0,5226

Tabel 38: Verzagigingsgraden Dendermonde avond

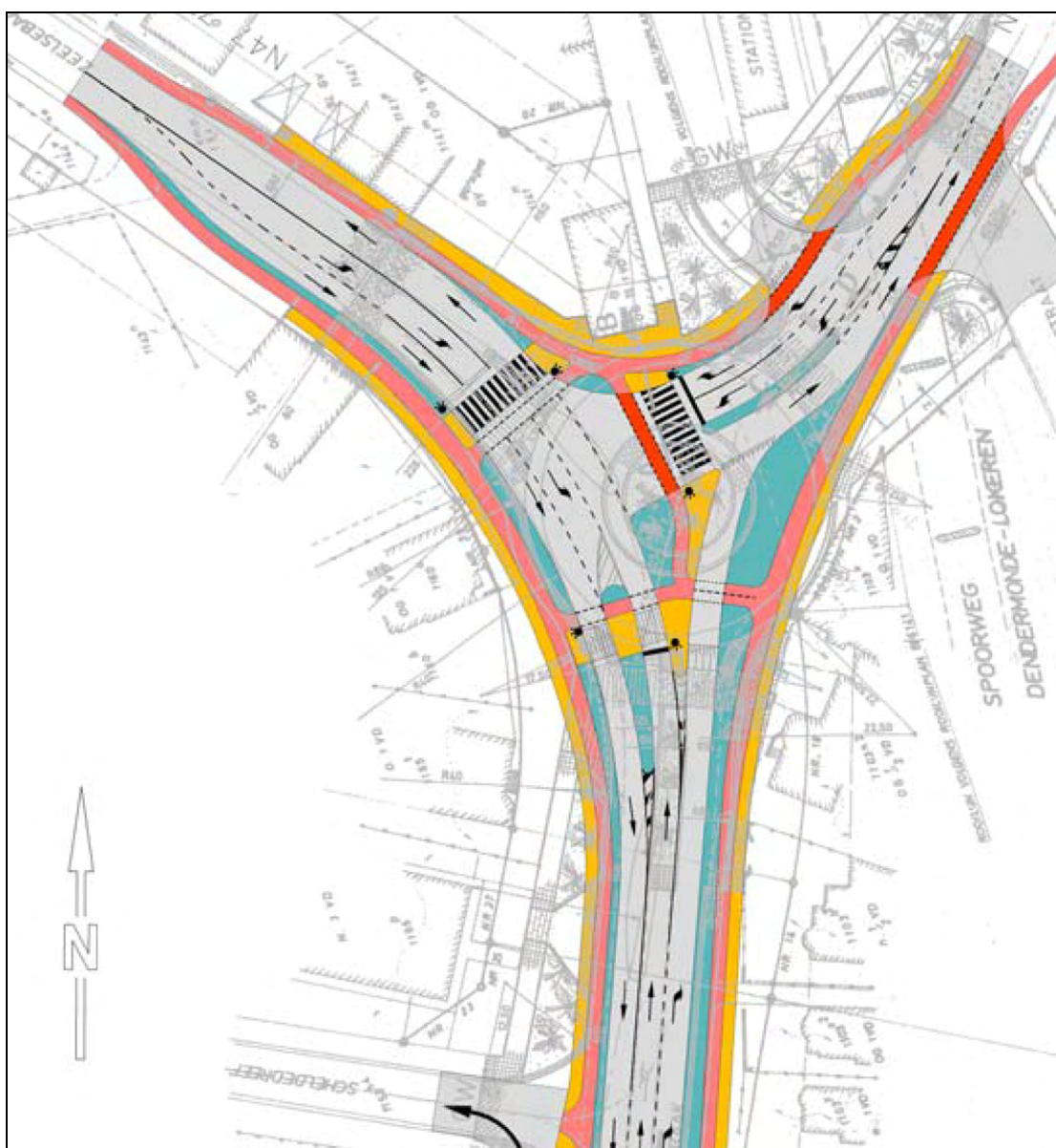
De maximale verzadigingsgraad is ook hier groter dan 80%. Dit wil zeggen dat een turborotonde met enkelstrooks toe- en afritten wat betreft de capaciteit ook geen goede oplossing zou zijn voor dit kruispunt.

4.4 Conclusie

De aanleg van de turborotonde verlaagt de verzadiging van de toeritten wel enigszins, maar niet voldoende om een vlotte doorstroming met de aanwezige intensiteit te verzekeren.

De aanleg van een turborotonde met tweestrooks toe- en afritten zou het probleem kunnen oplossen, maar is onmogelijk door de beperkte ruimte.

Algemeen kan dus geconcludeerd worden dat de oplossing van TV3V de beste oplossing is. Door de lichtenregeling kunnen de groentijden geregeld worden in functie van de intensiteiten. Door het beperkt ruimtegebruik van het lichtengeregeld kruispunt blijft er ruimte over voor de verkeersveilige afwikkeling van fietsers en voetgangers.



Figuur 55: Oplossing met lichtenregeling door TV3V

5 Conclusie van de casestudies

Uit de resultaten van de casestudies kan geconcludeerd worden dat de turborotonde weldegelijk een meerwaarde biedt ten opzichte van de gewone tweestrooksrotondes. Deze meerwaarde uit zich in een verhoogde capaciteit én een verhoogde verkeersveiligheid.

Als conclusie van de capaciteitsberekening worden de maximale verzadigingsgraden van de toeritten van de verschillende ontwerpen hier naast elkaar geplaatst. De maximale verzadigingsgraad daalt gemiddeld met 8,5%.

	Zeie	Diest	Dilsen	Dendermonde
2str	0,4676	0,3800	0,7825	1,4654
turbo	0,3942	0,3336	0,7023	1,1190
%	8,52%	6,50%	5,40%	13,40%

Tabel 39: Vergelijking van de maximale verzadigingsgraden van de casestudies

Deze gebruikte methode van capaciteitsberekening dient beschouwd te worden als een richtlijn. De maximale verzadigingsgraad dient dus best niet te dicht bij 80% te liggen omdat er geen rekening gehouden wordt met externe factoren. Er wordt eveneens best wat reserve voorzien in functie van de toenemende verkeersintensiteit.

Om het knooppunt overzichtelijk te houden wordt aangeraden om turborotondes uit te rusten met minimaal twee rijstroken op de toeritten (zoals bij de casestudies in Zeie en Diest). De bestuurder kan op die manier voorsorteren voor de rotonde. Duidelijke markering en bebording is daarvoor een belangrijke vereiste om het verkeer vlot te laten verlopen.

Het ruimtegebruik van een turborotonde is vergelijkbaar met het ruimtegebruik van een tweestrooksrotonde. Bij de dimensionering dient men extra aandacht te schenken aan zwaar verkeer.

De fietspaden worden bij voorkeur buiten de rotonde en uit de voorrang aangelegd. Dit vraagt wat extra ruimte, maar is een belangrijk gegeven qua verkeersveiligheid. Indien mogelijk is een ongelijkvloerse kruising van fietsers en autoverkeer uiteraard nog veiliger.

ALGEMEEN BESLUIT

In het eerste deel van dit werk werd het concept 'turborotonde' als onderdeel van de meestrooksrotondes met spiraalbelijning geanalyseerd. Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat dit concept van rotondes een meerwaarde biedt tegenover klassieke tweestrooksrotondes. De verkeersveiligheid en de capaciteit van een turborotonde liggen beiden hoger. Tweestrooksrotondes worden aangelegd wanneer de capaciteit van een enkelstrooksrotonde niet meer volstaat. Dit is ook het toepassingsgebied van de turborotonde.

Uit het onderzoek naar de toepasbaarheid van turborotondes in Vlaanderen blijkt dat turborotondes vooral nut hebben wanneer ze geplaatst worden op de kruising van een weg met hoge intensiteit (bijvoorbeeld gewestwegen) en een weg met lagere intensiteit (bijvoorbeeld wegen met een verzamelfunctie en een gebiedsontsluitingsfunctie). Het principe van spiraalbelijning kan ook in andere vormen toegepast worden, specifiek aan de situatie.

Aangezien turborotondes nog niet geïntegreerd zijn in het Vlaams beleid is het nodig om verder onderzoek te verrichten binnen het kader van het RSV. Deze studie vormt daarvoor een mogelijke basis.

De casestudies bewijzen dat de capaciteit van een rotonde verhoogd wordt wanneer men ze aanlegt met spiraalbelijning (door het optimaal gebruik van de rijstroken op de rotonde). Ook de verkeersveiligheid neemt toe (door het dalen van het aantal conflictpunten).

Omdat het principe van spiraalbelijning in Vlaanderen nieuw is, zou het geïntroduceerd kunnen worden door middel van een proefproject. Een goede monitoring en voorlichting van de weggebruiker zijn daarbij onmisbaar.

Een belangrijke voorwaarde voor het slagen van het ontwerp van een turborotonde is een duidelijke bebording en markering. Het knooppunt moet duidelijk leesbaar zijn voor de weggebruiker voordat hij op het knooppunt komt.

Als algemeen besluit kunnen we stellen dat de turborotonde in verschillende verkeerssituaties in Vlaanderen zeker mogelijkheden biedt om het verkeer vlotter en veiliger te laten verlopen. Het integreren van de rotondevorm in het Vlaams verkeerskundig beleid vormt hiervoor de eerste stap.

LIJST VAN DE FIGUREN

Figuur 1: links: Columbus Circle, New York; rechts: Place de l'Etoile, Paris	10
Figuur 2: verkeer op Place de l'Etoile, gezien vanop Arc de Triomphe	11
Figuur 3: Voordelen van de compacte rotonde t.o.v. het verkeersplein met rondgaand verkeer	12
Figuur 4: Functies van de wegen (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)	19
Figuur 5: Categorisering van de wegen (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004)	19
Figuur 6: Schematische voorstelling van het plan- en ontwerpproces (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)	22
Figuur 7: Ontwerpsituaties volgens het handboek secundaire wegen ((Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)	23
Figuur 8: Eirotonde (Fortuijn, 1997)	25
Figuur 9: Turborotonde (Fortuijn, 1997)	26
Figuur 10: Knierotonde (Fortuijn, 1997)	26
Figuur 11: Spiraalrotonde (Fortuijn, 1997)	27
Figuur 12: Rotorrotonde (Fortuijn, 1997)	27
Figuur 13: Conflictpunten op rotondes (8 conflicten) en kruispunten (32 conflicten)	29
Figuur 14: Conflicten tussen voetgangers en voertuigen op een enkelstrooksrotonde (FHWA, 2000)	31
Figuur 15: Conflictpunten op een tweestrooksrotonde en een turborotonde	32
Figuur 16: Methode van Bovy	34
Figuur 17: De waarde van α bij gewone rotondes (De Baetselier, 1997)	38
Figuur 18: α -conflicten op een rotonde en een turborotonde	39
Figuur 19: Nummering van de verkeersstromen	43
Figuur 20: Capaciteitsvergelijking tweestrooksrotonde – turborotonde (Fortuijn L.G.H. & Carton P.J.)	45
Figuur 21: Driestrooksrotonde en tweestrooks turborotonde in Paramics (Yperman & Immers, 2003)	47
Figuur 22: Vergelijking van de capaciteit van een driestrooksrotonde en een tweestrooks turborotonde	47
Figuur 23: Onderlinge samenhang en toepassing van basisontwerpelementen (CROW, 1998)	50
Figuur 24: Mogelijke vormgeving van de bypasses (CROW, 1998)	51
Figuur 25: Tweestrooksrotonde	52
Figuur 26: Verhoogde rijstrookscheiding bij spiraalbelijnde rotondes	53
Figuur 27: Ontwerpprincipe van een turborotonde	54
Figuur 28: Uitgewerkt ontwerp van een turborotonde	54
Figuur 29: Aangewezen ontwerp verhoogde rijstrookscheiding	55

Figuur 30: Verhoogde rijstrookscheiding	55
Figuur 31: Mogelijke foute bewegingen en hun oplossing door de aanleg van overrijdbare puntstukken	56
Figuur 32: Ruimtegebruik van een tweestrooksrotonde en een turborotonde	58
Figuur 33: Ruimtelijke vergelijking van een tweestrooksrotonde en een turborotonde	58
Figuur 34: Bepaling van L en U	59
Figuur 35: Berekening van de ontwerpsnelheid bij turborotondes	61
Figuur 36: Vrijliggend fietspad met fietsers in de voorrang (CROW, 1998)	63
Figuur 37: Vrijliggend fietspad met fietsers uit de voorrang (CROW, 1998)	63
Figuur 38: Turborotonde uitgerust met fietsrokkade (Ronde N441/Hogendorpweg, Rotterdam) (van Rest, 2003)	64
Figuur 39: Belastingspatroon	66
Figuur 40: Ontwerp tweestrooksrotonde	67
Figuur 41: Ontwerp turborotonde	73
Figuur 42: Situering van de gevalstudie te Zele	80
Figuur 43: Belastingspatroon	82
Figuur 44: Situatieschets case Zele	83
Figuur 45: Ontwerp turborotonde case Zele	86
Figuur 46: Ruimtelijke situering case Diest (AGIV)	90
Figuur 47: Luchtfoto case Menen (AGIV)	91
Figuur 48: Situering van de case te Dilsen-Stokkem	97
Figuur 49: Luchtfoto case Dilsen-Stokkem	98
Figuur 50: Tweestrooksrotonde Dilsen	99
Figuur 51: Turborotonde Dilsen	101
Figuur 52: Ontwerp uitweefrotonde Dilsen	103
Figuur 53: Situering van de case te Dendermonde (AGIV)	106
Figuur 54: Grondplan van de rotonde te Dendermonde	108
Figuur 55: Oplossing met lichtenregeling door TV3V	111

LIJST VAN DE TABELLEN

Tabel 1: Basistypes van rotondes (Vanreusel J., 1997)	17
Tabel 2: Verschillende regimes van secundaire wegen ((Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2003)	21
Tabel 3: Vermindering van het aantal ongevallen na aanleg van een rotonde (De Brabander et al., 2000)	30
Tabel 4: Capaciteitsvergelijking tussen de methode van Bovy en microsimulatie voor een driestrooksrotonde (Yperman & Immers, 2003)	46
Tabel 5: Afmetingen van rotondes volgens FHWA (US)	57
Tabel 6: Capaciteit van de tweestrooksrotonde	72
Tabel 7: Verzagingsgraden van de tweestrooksrotonde	72
Tabel 8: Capaciteit van de turborotonde	78
Tabel 9: Verzagingsgraden van de turborotonde	78
Tabel 10: Vergelijking van de resultaten	79
Tabel 11: Intensiteiten case Zele	81
Tabel 12: Intensiteiten per rijstrook van de case te Zele	81
Tabel 13: Vergelijking van de resultaten van de casestudy te Zele	89
Tabel 14: Capaciteit van de tweestrooksrotonde te Diest	92
Tabel 15: Verzagingsgraden van de tweestrooksrotonde te Diest	93
Tabel 16: Capaciteit van de turborotonde te Diest	94
Tabel 17: Verzagingsgraden van de turborotonde te Diest	95
Tabel 18: Vergelijking van de resultaten van de case te Diest	96
Tabel 19: Capaciteiten Dilsen ochtendspits	100
Tabel 20: Capaciteiten Dilsen avondspits	100
Tabel 21: Verzagingsgraden Dilsen ochtendspits	100
Tabel 22: Verzagingsgraden Dilsen avondspits	100
Tabel 23: Capaciteiten Dilsen ochtendspits	102
Tabel 24: Capaciteiten Dilsen avondspits	102
Tabel 25: Verzagingsgraden Dilsen ochtendspits	102
Tabel 26: Verzagingsgraden Dilsen avondspits	102
Tabel 27: Capaciteiten Dilsen ochtendspits	104
Tabel 28: Capaciteiten Dilsen avondspits	104
Tabel 29: Verzagingsgraden Dilsen ochtendspits	104

Tabel 30: Verzendingsgraden Dilsen avondspits	104
Tabel 31: Capaciteiten Dendermonde ochtendspits	109
Tabel 32: Capaciteiten Dendermonde avondspits	109
Tabel 33: Verzendingsgraden Dendermonde ochtend	109
Tabel 34: Verzendingsgraden Dendermonde avond	109
Tabel 35: Capaciteiten Dendermonde ochtendspits	110
Tabel 36: Capaciteiten Dendermonde avondspits	110
Tabel 37: Verzendingsgraden Dendermonde ochtend	110
Tabel 38: Verzendingsgraden Dendermonde avond	110
Tabel 39: Vergelijking van de maximale verzendingsgraden van de casestudies	112

BIJLAGE I

**Berekeningstabellen bij de methode voor de
praktische uitwerking**

TURBOROTONDE

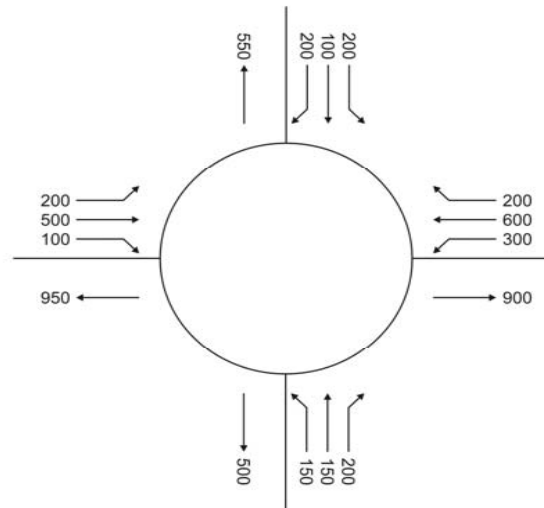
K = 1500
k = 0,888889

TAK I				
Q1	200	f1	1	0
Q2	100	f2	0	1
Q3	200	f3	0	1

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0 beta, in, l = 0,5

TAK IV				
Q10	100	f10	1	0
Q11	500	f11	0,613529	0,386471
Q12	200	f12	0	1

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 beta, in, l = 0
alpha, in, r = 0,25
alpha, in, l = 0,4



TAK II				
Q4	200	f4	1	0
Q5	600	f5	0,594531	0,405469
Q6	300	f6	0	1

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 beta, in, l = 0
alpha, in, r = 0,25
alpha, in, l = 0,4

TAK III				
Q7	200	f7	1	0
Q8	150	f8	0	1
Q9	150	f9	0	1

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0 beta, in, l = 0,5

CAPACITEIT				
	tak I	tak II	tak III	tak IV
Cen,r	972	1057	983	966
Cen,l	658	1031	742	933
Cen	1630	2088	1726	1899

VERZADIGINGSGRAAD				
	tak I	tak II	tak III	tak IV
Xen,r	0,2057	0,5267	0,2034	0,4211
Xen,l	0,4562	0,5268	0,4043	0,4212
Xen	0,3067	0,5267	0,2898	0,4212

TWEESTROOKSROTONDE

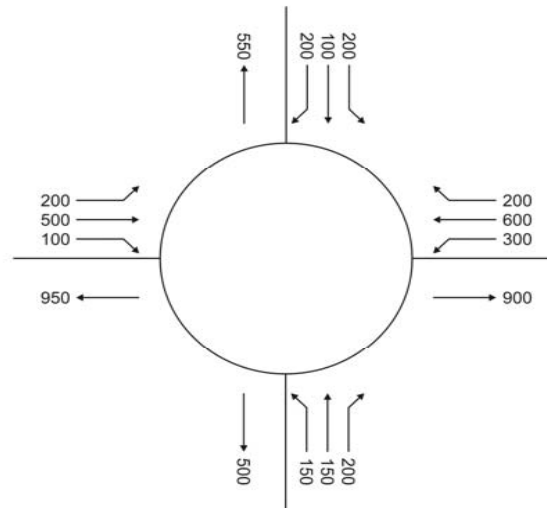
K = 1500
k = 0,888889

TAK I				
Q1	200	f1	1	0
Q2	100	f2	0,6	0,4
Q3	200	f3	0,4	0,6

alpha, r = 0,1 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,25 beta, in, r = 0,5 beta, in, l = 0,5

TAK IV				
Q10	100	f10	1	0
Q11	500	f11	0,6	0,4
Q12	200	f12	0,4	0,6

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0,1 beta, in, r = 0,5
alpha, in, r = 0,3 beta, in, l = 0,5
alpha, in, l = 0,4



TAK II				
Q4	200	f4	1	0
Q5	600	f5	0,6	0,4
Q6	300	f6	0,4	0,6

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0,1 beta, in, r = 0,5
alpha, in, r = 0,3 beta, in, l = 0,5
alpha, in, l = 0,4

TAK III				
Q7	200	f7	1	0
Q8	150	f8	0,6	0,4
Q9	150	f9	0,4	0,6

alpha, r = 0,1 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,25 beta, in, r = 0,5 beta, in, l = 0,5

CAPACITEIT				
	tak I	tak II	tak III	tak IV
Cen,r	792	1111	892	1053
Cen,l	719	1031	825	968
Cen	1512	2141	1717	2021

VERZADIGINGSGRAAD				
	tak I	tak II	tak III	tak IV
Xen,r	0,4291	0,6122	0,3924	0,4559
Xen,l	0,2225	0,4075	0,1817	0,3304
Xen	0,3308	0,5137	0,2911	0,3958

BIJLAGE II

Berekeningstabellen van de casestudy te Zele

TWEESTROOKSROTONDE ZELE

K = 1500

k = 0,888889

TAK B				
QB, rechtdoor	805	fB, recht	0,6	0,4
QB, terug	148	fB, terug	0,5	0,5

alpha, out, r = 0,1

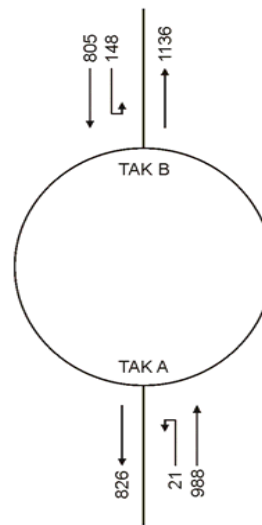
alpha, out, l = 0,25

lpha, in, r = 0

lpha, in, l = 0,4

beta, out = 0,9

beta, in = 0,5



TAK A				
QA, rechtdoor	988	fA, recht	0,6	0,4
QA, terug	21	fA, terug	0,5	0,5

alpha, out, r = 0,1

alpha, out, l = 0,2

lpha, in, r = 0,25

lpha, in, l = 0,4

beta, out = 0,9

beta, in = 0,5

CAPACITEIT		
	tak A	tak B
Cen,r	1290	1428
Cen,l	1202	1172
Cen	2492	2600

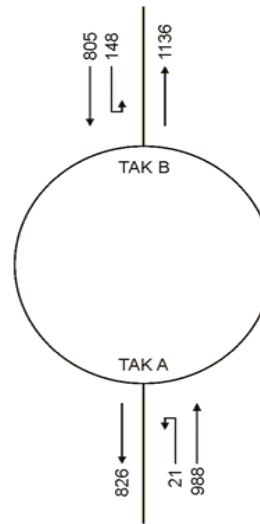
VERZADIGINGSGRAAD		
	tak A	tak B
Xen,r	0,4676	0,3901
Xen,l	0,3375	0,3379
Xen	0,4049	0,3666

TURBOROTONDE ZELE

K = 1500
k = 0,888889

TAK B				
QB, rechtdoor	805	fB, recht	0,603726	0,396274
QB, terug	148	fB, terug	0	1

alpha, out, r = 0 lpha, in, r = 0,2 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 lpha, in, l = 0,4 beta, in = 0



TAK A				
QA, rechtdoor	988	fA, recht	0,515271	0,484729
QA, terug	21	fA, terug	0	1

alpha, out, r = 0 lpha, in, r = 0,2 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 lpha, in, l = 0,4 beta, in = 0

CAPACITEIT		
	tak A	tak B
Cen,r	1291	1366
Cen,l	1268	1313
Cen	2560	2679

VERZADIGINGSGRAAD		
	tak A	tak B
Xen,r	0,3942	0,3557
Xen,l	0,3942	0,3557
Xen	0,3942	0,3557

BIJLAGE III

**Grondplannen en berekeningstabellen van de
casestudy te Diest**



Provincie : Vlaams Brabant
Gemeente : Diest
Kruispunt : E 314 op/afrit – N2
Halensebaan + industriepark



Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Dep. Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Wegen en Verkeer

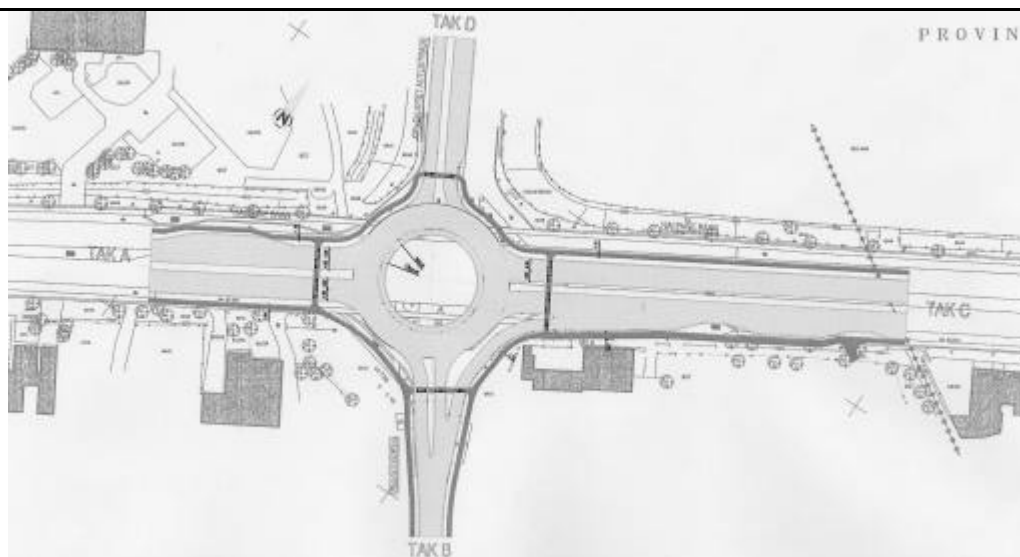
Uitvoering voorzien: begin 2006
Prioriteitsfactor: 28
Projectnummer TV 3V: 2033
Raming: € 2.703.264
Aanbestedingsdatum: midden 2005

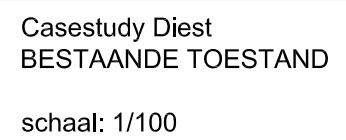


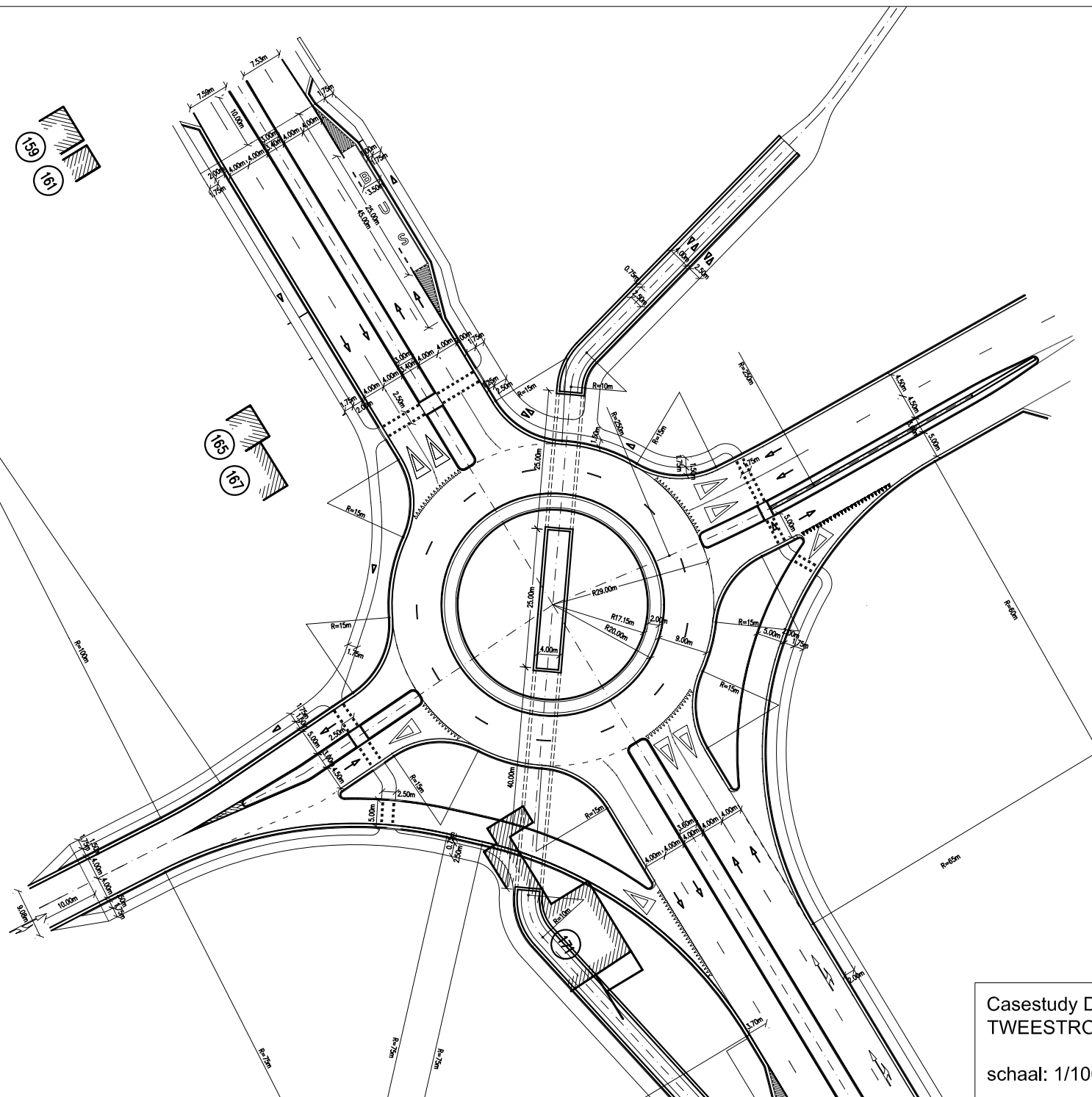
Projectbeschrijving

Het kruispunt wordt op de volgende manier aangepast:

- Inpassing van een tweestrooksrotonde;
- Fietzers op de rotonde uit de voorrang;
- Extra inbreng fietstunnel onder de rotonde; aanleg dubbelrichtingsfietspad vanuit Halen
- Inbreng extra snelheidsmaatregelen (70 km/u op de hoofdas);
- Lichte verschuiving haltes openbaar vervoer

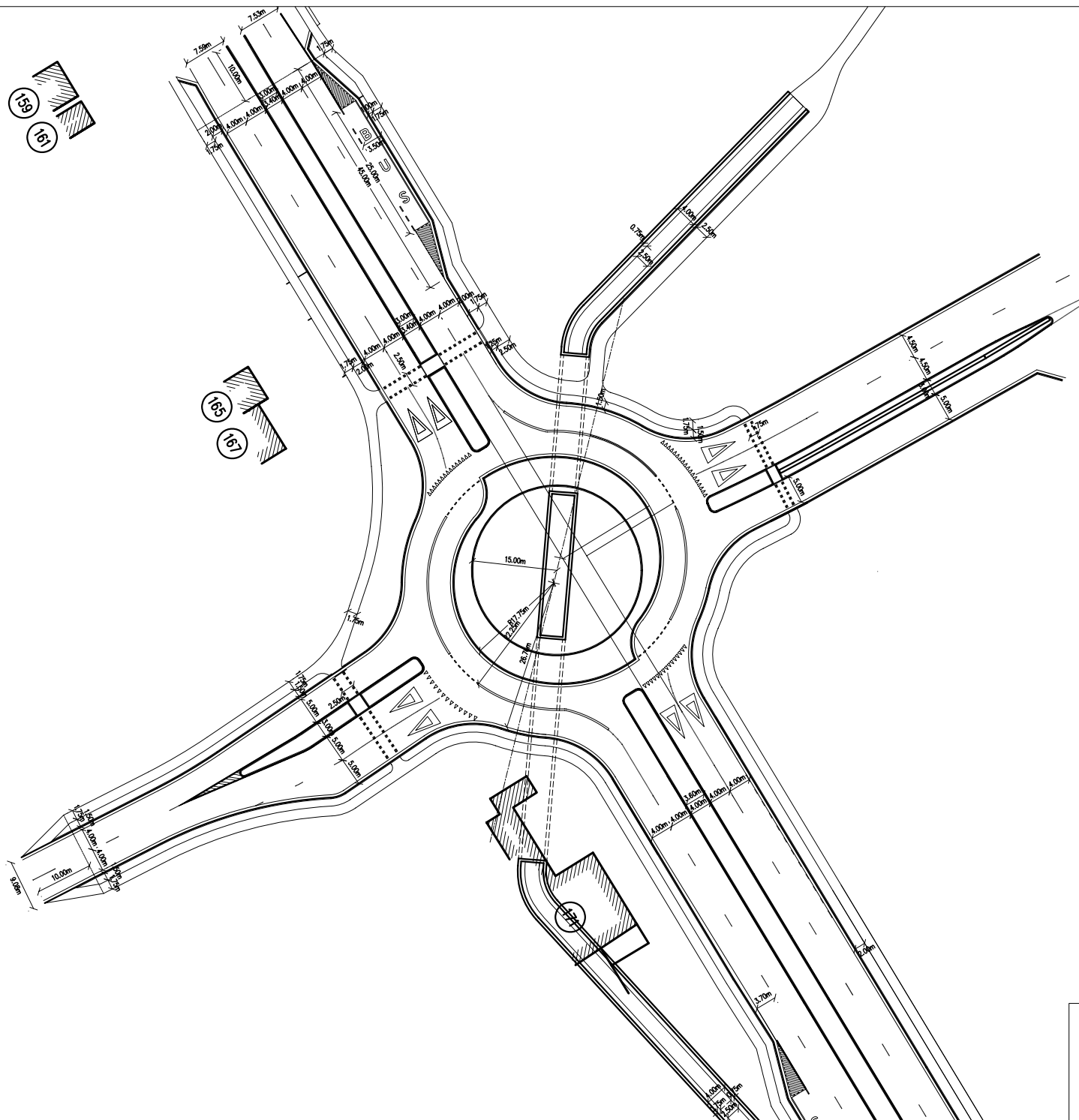






Casestudy Diest
TWEESTROOKSROTONDE

schaal: 1/100



Casestudy Diest
TURBOROTONDE

schaal: 1/100

TWEESTROOKSROTONDE Diest

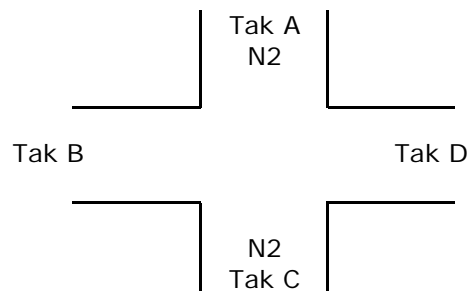
K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	21	f10	1	0
C	744,8	f11	0,6	0,4
D	52,2	f12	0,4	0,6

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0,1 beta, in, r = 0,5
alpha, in, r = 0,3 beta, in, l = 0,5
alpha, in, l = 0,4

TAK B				
C	0	f7	1	0
D	90,5	f8	0,6	0,4
A	148,5	f9	0,4	0,6

alpha, r = 0,1 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,25 beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5



TAK D				
A	192,5	f1	1	0
B	20,5	f2	0,6	0,4
C	163,5	f3	0,4	0,6

alpha, r = 0,1 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,25 beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5

TAK C				
D	0	f4	1	0
A	479,8	f5	0,6	0,4
B	50	f6	0,4	0,6

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0,1 beta, in, r = 0,5
alpha, in, r = 0,3 beta, in, l = 0,5
alpha, in, l = 0,4

CAPACITEIT				
	tak A	tak B	tak C	tak D
Cen,r	1286	875	1217	1055
Cen,l	1213	863	1136	1036
Cen	2500	1739	2354	2091

VERZADIGINGSGRAAD				
	tak A	tak B	tak C	tak D
Xen,r	0,3800	0,1299	0,2530	0,2561
Xen,l	0,2713	0,1452	0,1953	0,1026
Xen	0,3272	0,1375	0,2251	0,1800

TURBOROTONDE Diest

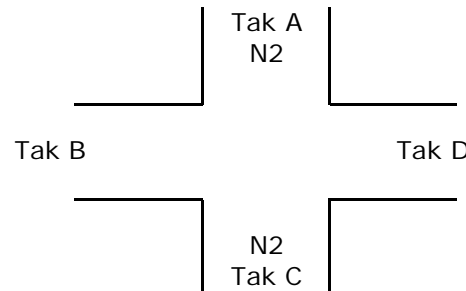
K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	21	f10	1	0
C	744,8	f11	0,529954	0,470046
D	52,2	f12	0	1

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 beta, in, l = 0
alpha, in, r = 0,25
alpha, in, l = 0,4

TAK B				
C	323,2	f7	1	0
D	90,5	f8	0	1
A	148,5	f9	0	1

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0
beta, in, l = 0,5



TAK D				
A	192,5	f1	1	0
B	20,5	f2	0	1
C	163,5	f3	0	1

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0
beta, in, l = 0,5

TAK C				
D	185	f4	1	0
A	479,8	f5	0,374343	0,625657
B	50	f6	0	1

alpha, out, r = 0 beta, out = 0,9
alpha, out, l = 0 beta, in, l = 0
alpha, in, r = 0,25
alpha, in, l = 0,4

CAPACITEIT				
	tak A	tak B	tak C	tak D
Cen,r	1246	1033	1189	1165
Cen,l	1206	793	1143	965
Cen	2452	1826	2332	2130

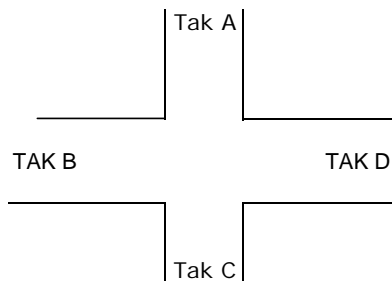
VERZADIGINGSGRAAD				
	tak A	tak B	tak C	tak D
Xen,r	0,3336	0,3128	0,3066	0,1653
Xen,l	0,3336	0,3015	0,3065	0,1906
Xen	0,3336	0,3079	0,3065	0,1768



INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	2033
Kruispunt	N2 Steenweg Diest / Industriepark
postcode + plaatsnaam	Diest
Datum telling	6/mei
Weertype	Droog zonnig

TAK	Naam/nr. weg	Kmpunt
A	N2	52,31 Diest
B	Industriepark	
C	N2	Hasselt
D	Afrit E314	



7:00 - 8:00	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		1	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	8
zwaar verkeer 2 assen		18	22	9	5	4	11	1	31	2	14	1	2	120
licht verkeer		297	290	166	104	66	76	128	368	33	9	16	15	1568
(brom)fietsters		0	18	6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	27
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
PAE		326,5	329,1	188,2	114	74,5	92,5	129,5	417,6	36	30	17,5	18	1773
totaal PAE		843,8			281			583,1			65,5			

7:15 - 8:15	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	2	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	8
zwaar verkeer 2 assen		17	27	7	4	4	7	2	33	2	18	2	2	125
licht verkeer		312	374	197	126	82	89	149	445	36	22	19	20	1871
(brom)fietsters		0	25	6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	34
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
PAE		337,5	424,5	216,2	134,5	90,5	99,5	152	497,6	39	49	22	23	2085
totaal PAE		978,2			324,5			688,6			94			

7:30 - 8:30	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		1	1	1	2	1	0	0	2	0	0	1	0	9
zwaar verkeer 2 assen		14	29	8	2	4	10	3	38	2	17	2	2	131
licht verkeer		331	440	201	139	100	100	150	473	36	30	19	26	2045
(brom)fietsters		0	25	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	30
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
PAE		354,5	491	216,3	147	108,5	115	154,5	535,2	39	55,5	24,5	29	2270
totaal PAE		1062			370,5			728,7			109			

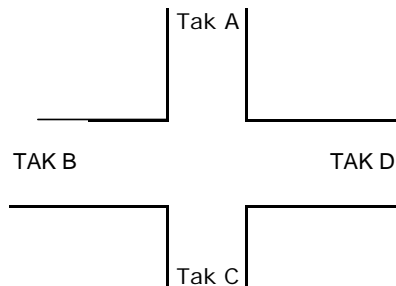
7:45 - 8:45	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	7
zwaar verkeer 2 assen		12	27	6	1	3	13	4	32	2	13	6	1	120
licht verkeer		317	445	159	145	92	109	120	491	30	34	16	30	1988
(brom)fietsters		0	21	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	25
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
PAE		337,5	492,2	171,1	149	96,5	128,5	126	544,2	33	53,5	27,5	31,5	2191
totaal PAE		1001			374			703,2			112,5			

8:00 - 9:00	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	8
zwaar verkeer 2 assen		15	25	7	2	3	13	4	44	1	8	10	0	132
licht verkeer		289	443	123	142	79	111	93	450	28	41	14	29	1842
(brom)fietsters		0	14	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	16
voetgangers		0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
PAE		314	485,8	136,2	147,5	83,5	130,5	99	518,7	32	55,5	31,5	29	2063
totaal PAE		936			361,5			649,7			116			



INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	2033
Kruispunt	N2 Steenweg Diest / Industriepark
postcode + plaatsnaam	Diest
Datum telling	6/mei
Weertype	Droog zonnig



TAK	Naam/nr. weg	Kmpunt
A	N2	52,31 Diest
B	Industriepark	
C	N2	Hasselt
D	Afrit E314	

16:00 - 17:00	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	0	0	1	2	1	0	3	0	1	0	0	8
zwaar verkeer 2 assen		13	13	9	10	7	13	1	25	1	12	1	0	105
licht verkeer		125	412	56	175	12	117	21	642	29	188	72	125	1974
(brom)fietsters		0	13	0	0	0	0	0	27	1	1	0	1	43
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
PAE		144,5	434,1	69,5	192,5	27,5	139	22,5	692,4	30,7	208,7	73,5	125,2	2160
totaal PAE		648,1			359			745,6			407,4			

16:15 - 17:15	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0	0	5
zwaar verkeer 2 assen		9	12	7	10	6	11	2	27	1	9	1	0	95
licht verkeer		147	443	46	173	12	140	25	684	38	226	71	145	2150
brom)fietsters		0	14	0	0	0	0	0	21	0	1	0	0	36
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
PAE		160,5	463,8	56,5	190,5	21	159	28	733,7	39,5	242,2	72,5	145	2312
totaal PAE		680,8			370,5			801,2			459,7			

16:30 - 17:30	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	4
zwaar verkeer 2 assen		10	12	12	8	7	10	2	21	1	10	1	0	94
licht verkeer		170	460	32	178	10	146	18	708	51	308	89	146	2316
(brom)fietsters		0	9	0	0	0	0	0	14	0	1	0	0	24
voetgangers		0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
PAE		185	479,8	50	192,5	20,5	163,5	21	744,8	52,5	323,2	90,5	148,5	2472
totaal PAE		714,8			376,5			818,3			562,2			

16:45 - 17:45	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3
zwaar verkeer 2 assen		11	13	12	5	3	12	3	16	1	6	3	0	85
licht verkeer		187	452	21	175	12	146	16	693	51	245	61	105	2164
(brom)fietsters		0	10	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	24
voetgangers		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
PAE		203,5	473,5	39	185	16,5	164	20,5	719,8	52,5	256,5	65,5	107,5	2304
totaal PAE		716			365,5			792,8			429,5			

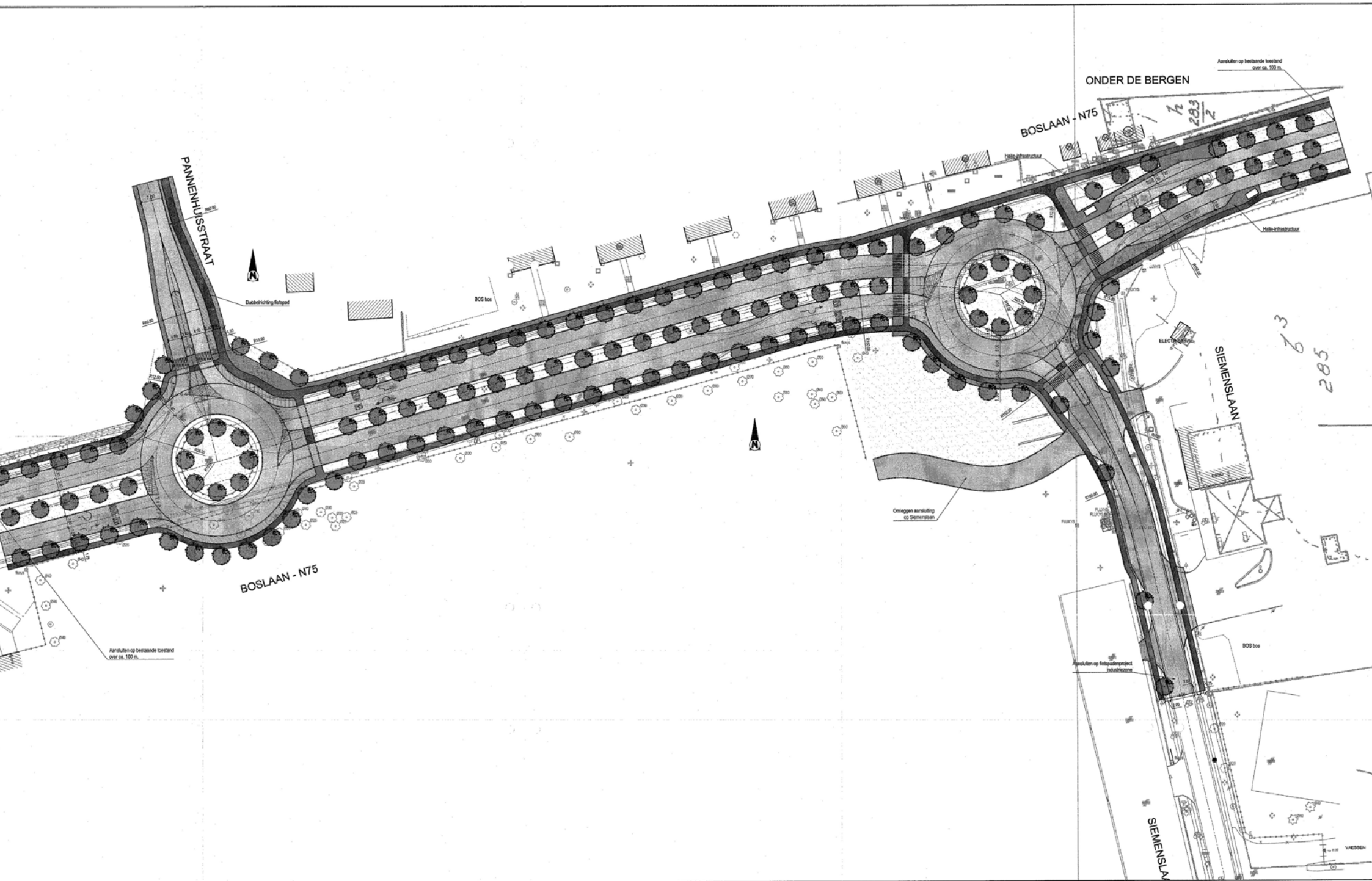
17:00 - 18:00	van:	C			D			A			B			TOT
	naar:	D	A	B	A	B	C	B	C	D	C	D	A	
zwaar verkeer 3+ assen		0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3
zwaar verkeer 2 assen		9	15	12	5	3	12	2	17	0	5	3	0	83
licht verkeer		183	466	19	178	10	150	15	700	52	237	58	89	2157
brom)fietsters		0	14	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	27
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAE		196,5	491,3	37	185,5	17	168	18	728,1	52	247	62,5	91,5	2294
totaal PAE		724,8			370,5			798,1			401			

BIJLAGE IV

**Grondplannen en berekeningstabellen van de
casestudy te Dilsen**





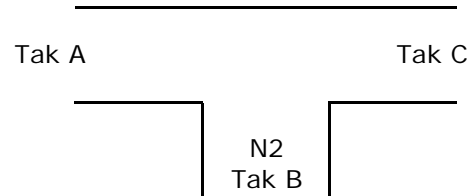


TWEESTROOKSROTONDE Dilsen ochtendspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	286,5	f7	1	0
C	399	f8	0,6	0,4
A	0	f9	0,5	0,5

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5



TAK C				
A	819	f1	1	0
B	149	f2	0,6	0,4
C	0	f3	0,5	0,5

alpha = 0,4 beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

TAK B				
C	59,1	f4	1	0
A	152	f5	0,6	0,4
B	0	f6	0,5	0,5

alpha = 0,4 beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1186	1083	1237
Cen,l	1057		
Cen	2243	1083	1237

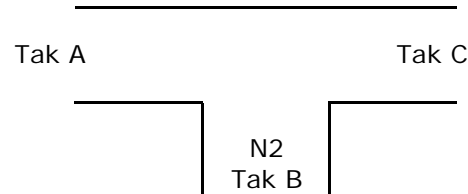
VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,4433	0,1950	0,7825
Xen,l	0,1510		
Xen	0,3056	0,1950	0,7825

TURBOROTONDE Dilsen ochtendspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	286,5	f7	1	0
C	399	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0 beta, r = 0,9
alpha, l = 0 beta, l = 0,9



TAK C				
A	819	f1	1	0
B	149	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0 beta, out = 0,9

TAK B				
C	59,1	f4	1	0
A	152	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0 beta = 0,9

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1381	1181	1378
Cen,l	1381		
Cen	2762	1181	1378

VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,2075	0,1788	0,7023
Xen,l	0,2890		
Xen	0,2482	0,1788	0,7023

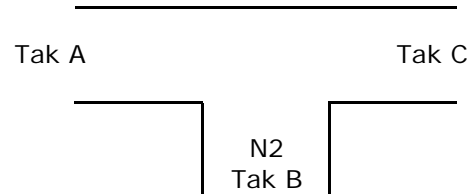
UITWEEFROTONDE Dilsen ochtendspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	286,5	f7	1	0
C	399	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0,1
alpha, l = 0,2

beta, r = 0,9
beta, l = 0,9



TAK C				
A	819	f1	1	0
B	149	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0,2

beta, out = 0,9

TAK B				
C	59,1	f4	1	0
A	152	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0,2

beta = 0,9

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1294	1103	1297
Cen,l	1208		
Cen	2503	1103	1297

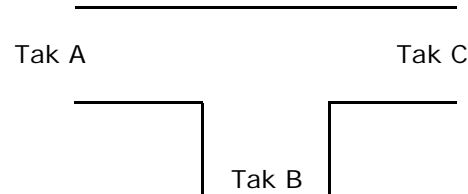
VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,2213	0,1913	0,7464
Xen,l	0,3302		
Xen	0,2739	0,1913	0,7464

TWEESTROOKSROTONDE Dilsen avondspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	219,2	f7	1	0
C	715	f8	0,6	0,4
A	0	f9	0,5	0,5

alpha, r = 0,25 beta, out = 0,9
alpha, l = 0,4 beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5



TAK C				
A	482	f1	1	0
B	123	f2	0,6	0,4
C	0	f3	0,5	0,5

alpha = 0,4 beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

TAK B				
C	193	f4	1	0
A	324	f5	0,6	0,4
B	0	f6	0,5	0,5

alpha = 0,4 beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1240	908	964
Cen,l	1133		
Cen	2372	908	964

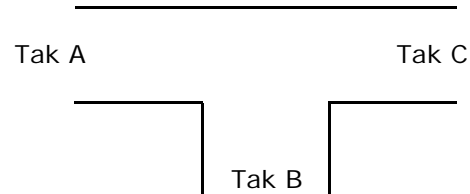
VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,5227	0,5694	0,6276
Xen,l	0,2525		
Xen	0,3938	0,5694	0,6276

TURBOROTONDE Dilsen avondspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	219,2	f7	1	0
C	715	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0 beta, r = 0,9
alpha, l = 0 beta, l = 0,9



TAK C				
A	482	f1	1	0
B	123	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0 beta, out = 0,9

TAK B				
C	193	f4	1	0
A	324	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0 beta = 0,9

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1402	928	1241
Cen,l	1402		
Cen	2803	928	1241

VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,1564	0,5571	0,4876
Xen,l	0,5101		
Xen	0,3333	0,5571	0,4876

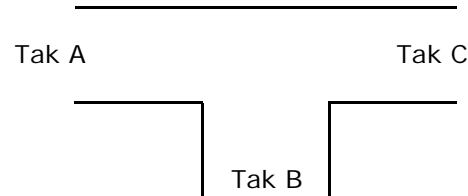
UITWEEFROTONDE Dilsen avondspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	219,2	f7	1	0
C	715	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0,1
alpha, l = 0,2

beta, r = 0,9
beta, l = 0,9



TAK C				
A	482	f1	1	0
B	123	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0,2

beta, out = 0,9

TAK B				
C	193	f4	1	0
A	324	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0,2

beta = 0,9

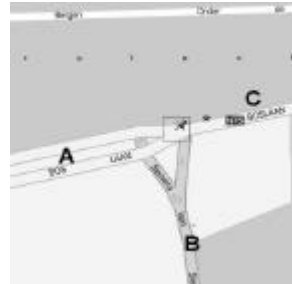
CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1330	867	1079
Cen,l	1258		
Cen	2588	867	1079

VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,1648	0,5962	0,5605
Xen,l	0,5682		
Xen	0,3609	0,5962	0,5605

5.18. VERKEERSTELLINGEN

INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	7026	
Kruispunt	Boslaan	Siemenslaan
postcode + plaatsnaam	Dilsen-Stokkem	
Datum telling	17-02-05	
Weertype	bewolkt	droog fris



TAK	Naam/nr. weg kmp		
A	Boslaan	West	West
B	Siemenslaan		
C	Boslaan	Oost	Oost

7:00 - 8:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		5	12	0	1	4	0	14	6	0	42
zwaar verkeer 2 assen		8	20	0	4	7	0	30	4	0	73
licht verkeer		236	279	0	48	138	0	698	130	0	1529
(brom)fietsters		2	2	0	3	4	0	5	9	0	25
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
PAE		260,9	339	0	57,1	159	0	779	153	0	1748,5
totaal PAE		600			216			932			

7:15 - 8:15	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		7	9	0	2	4	0	11	5	0	38
zwaar verkeer 2 assen		6	19	0	3	7	0	36	5	0	76
licht verkeer		260	348	0	49	131	0	736	128	1	1653
brom)fietsters		0	1	0	3	4	0	6	7	0	21
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
PAE		286,5	399	0	59,1	152	0	819	149	1	1866,2
totaal PAE		686			211			969			

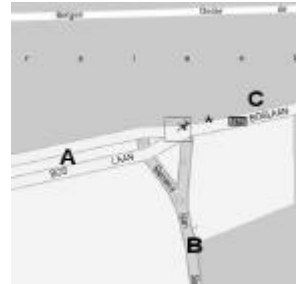
7:30 - 8:30	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		9	7	0	3	4	0	8	4	0	35
zwaar verkeer 2 assen		4	21	0	4	8	0	40	5	0	82
licht verkeer		265	376	0	45	126	0	672	118	1	1603
(brom)fietsters		0	0	0	3	3	0	3	4	0	13
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
PAE		293,5	425	0	59,1	149	0	753	136	1	1816,1
totaal PAE		719			208			890			

7:45 - 8:45	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		8	6	0	3	3	0	9	3	0	32
zwaar verkeer 2 assen		5	27	0	5	8	0	36	5	0	86
licht verkeer		250	367	0	36	98	0	592	111	1	1455
(brom)fietsters		0	0	0	3	1	0	2	1	0	7
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PAE		277,5	423	0	51,6	118	0	669	126	1	1665,4
totaal PAE		700			169			796			

8:00 - 9:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		7	5	0	5	6	0	8	3	0	34
zwaar verkeer 2 assen		4	38	0	4	6	0	45	6	0	103
licht verkeer		223	341	0	30	90	0	528	114	1	1327
brom)fietsters		0	0	0	2	1	0	2	0	0	5
voetgangers		0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PAE		246,5	411	0	48,9	114	0	616	131	1	1567,5
totaal PAE		657			163			747			

INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	7026
Kruispunt	Boslaan Siemenslaan
postcode + plaatsnaam	Dilsen-Stokkem
Datum telling	17-02-05
Weertype	bewolkt droog fris



TAK	Naam/nr. weg kmp		
A	Boslaan	West	West
B	Siemenslaan		
C	Boslaan	Oost	Oost

16:00 - 17:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		6	1	0	3	4	0	5	3	0	22
zwaar verkeer 2 assen		8	38	0	3	7	0	38	4	0	98
licht verkeer		192	655	2	178	303	0	412	109	0	1851
(brom)fietsters		1	0	0	13	1	0	2	0	0	17
voetgangers		0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
PAE		219,2	715	2	193	324	0	482	123	0	2056,4
totaal PAE		936			516			604			

16:15 - 17:15	van: naar:	A			B			C			TOTAAL
		B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		5	0	0	3	1	0	6	4	0	19
zwaar verkeer 2 assen		9	35	0	4	6	0	37	2	0	93
licht verkeer		202	700	3	155	262	0	405	104	0	1831
brom)fietsters		0	1	0	16	1	0	3	0	0	21
voetgangers		0	0	0	1	0	0	2	0	0	3
PAE		228	753	3	172	274	0	476	117	0	2022,2
totaal PAE			984			445			593		

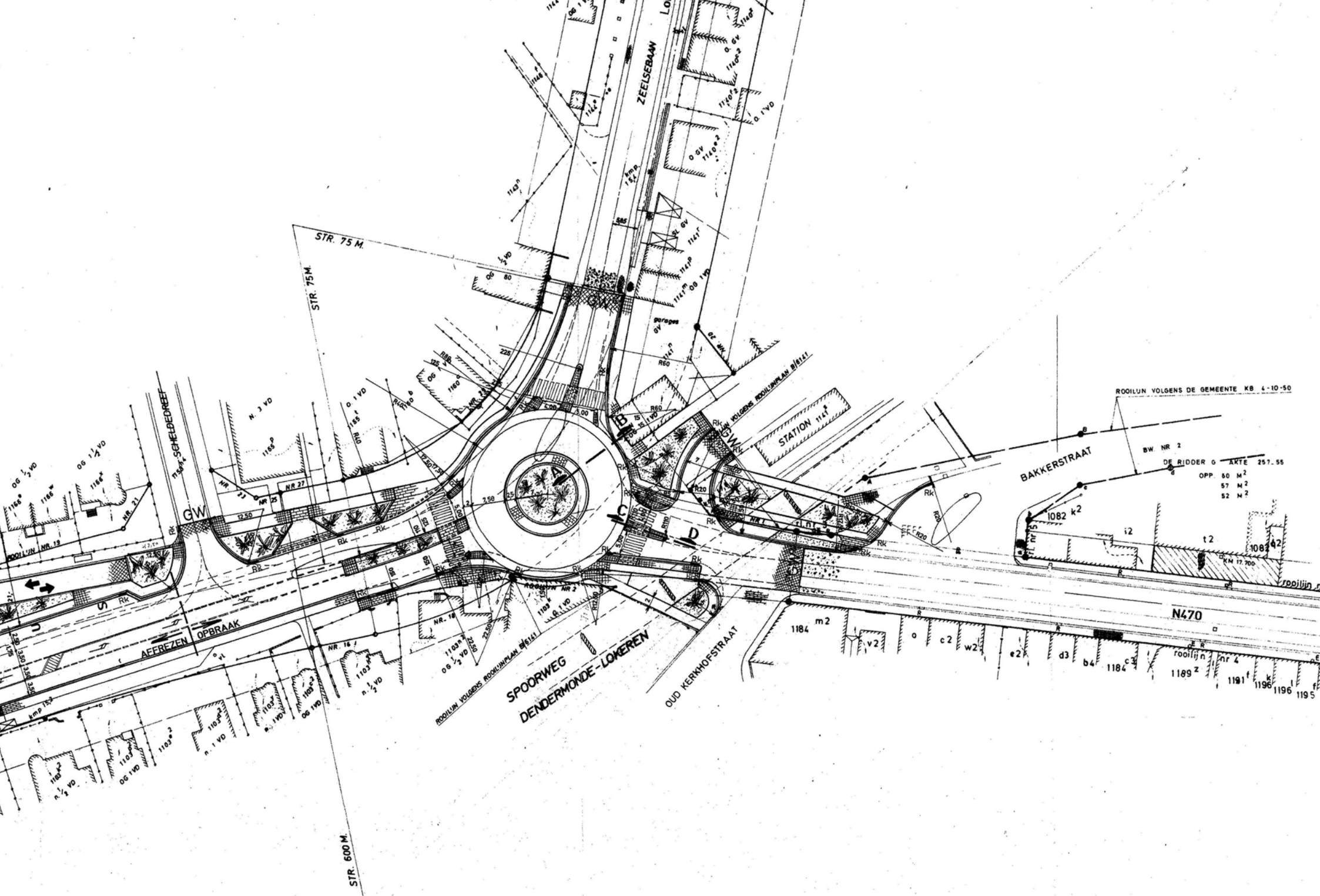
16:30 - 17:30	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		3	0	0	4	0	0	7	3	0	17
zwaar verkeer 2 assen		5	29	0	3	4	0	33	2	0	76
licht verkeer		203	708	3	149	276	0	394	95	0	1828
(brom)fietsters		1	1	0	12	1	0	3	0	0	18
voetgangers		0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
PAE		218,2	752	3	166	282	0	462	106	0	1988,1
totaal PAE		973			448			567			

16:45 - 17:45	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		0	1	0	3	2	0	7	2	0	15
zwaar verkeer 2 assen		3	28	0	3	5	0	30	3	0	72
licht verkeer		204	703	2	128	250	0	429	92	0	1808
(brom)fietsters		1	1	0	9	1	0	4	0	0	16
voetgangers		0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
PAE		208,7	748	2	142	263	0	492	102	0	1956,7
totaal PAE		958			405			594			

17:00 - 18:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen		3	1	0	2	2	0	6	2	0	16
zwaar verkeer 2 assen		3	23	0	2	6	0	24	4	0	62
licht verkeer		197	690	1	102	244	0	427	92	0	1753
brom)fietsters		2	1	0	8	1	0	3	0	0	15
voetgangers		0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
PAE		209,4	727	1	112	258	0	479	103	0	1889
totaal PAE		938			370			582			

BIJLAGE V

**Grondplannen en berekeningstabellen van de
casestudy te Dendermonde**



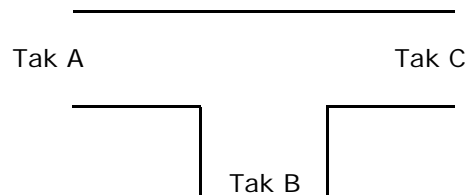
ROTONDE Dendermonde ochtendspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	787	f7	1	0
C	5	f8	1	0
A	0	f9	1	0

alpha, r = 0,25
alpha, l = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5



TAK C				
A	12	f1	1	0
B	919	f2	1	0
C	0	f3	1	0

alpha = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

TAK B				
C	285	f4	1	0
A	835	f5	1	0
B	0	f6	1	0

alpha = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	577	889	729
Cen,l			
Cen	577	889	729

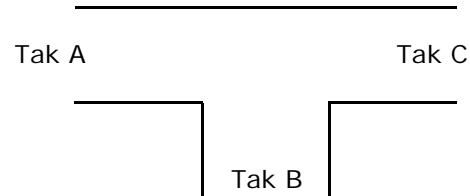
VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	1,3736	1,2592	1,2773
Xen,l			
Xen	1,3736	1,2592	1,2773

TURBOROTONDE Dendermonde ochtendspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	787	f7	1	0
C	5	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0 beta, r = 0,9
alpha, l = 0 beta, l = 0,9



TAK C				
A	12	f1	1	0
B	919	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0 beta, out = 0,9

TAK B				
C	285	f4	1	0
A	835	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0 beta = 0,9

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	765	1496	832
Cen,l			
Cen	765	1496	832

VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	1,0290	0,7487	1,1190
Xen,l			
Xen	1,0356	0,7487	1,1190

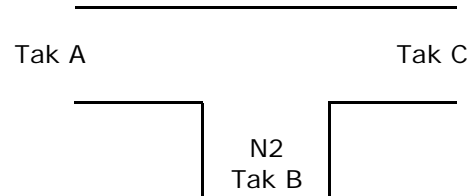
ROTONDE Dendermonde avondspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	882	f7	1	0
C	20	f8	1	0
A	0	f9	1	0

alpha, r = 0,25
alpha, l = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in, r = 0,5
beta, in, l = 0,5



TAK C				
A	55	f1	1	0
B	361	f2	1	0
C	0	f3	1	0

alpha = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

TAK B				
C	647	f4	1	0
A	880	f5	1	0
B	0	f6	1	0

alpha = 0,4

beta, out = 0,9
beta, in = 0,5

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1003	1042	559
Cen,l			
Cen	1003	1042	559

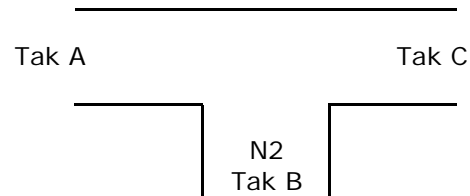
VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,8989	1,4654	0,7444
Xen,l			
Xen	0,8989	1,4654	0,7444

TURBOROTONDE Dendermonde avondspits

K = 1500
k = 0,888889

TAK A				
B	882	f7	1	0
C	20	f8	0	1
A	0	f9	0	1

alpha, r = 0 beta, r = 0,9
alpha, l = 0 beta, l = 0,9



TAK C				
A	55	f1	1	0
B	361	f2	0	1
C	0	f3	0	1

alpha = 0 beta, out = 0,9

TAK B				
C	647	f4	1	0
A	880	f5	0	1
B	0	f6	0	1

alpha = 0 beta = 0,9

CAPACITEIT			
	tak A	tak B	tak C
Cen,r	1211	1484	796
Cen,l			
Cen	1211	1484	796

VERZADIGINGSGRAAD			
	tak A	tak B	tak C
Xen,r	0,7282	1,0290	0,5226
Xen,l			
Xen	0,7447	1,0290	0,5226

INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	4235
Kruispunt	N47 N470
postcode + plaatsnaam	Dendermonde
Datum telling	25-11-03
Weertype	Telling uitgevoerd door AWW

TAK	Naam/nr. weg	Kmpunt
A	N47 Zeelsebaan	
B	N47 Martelarenlaan	
C	N470 Grootzand	

7:00 - 8:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		26	0	0	21	14		2	185	0	248
voetgangers											
PAE		716	4	0	313	803	0	19	629	0	2484
totaal PAE		720			1116			648			

7:15 - 8:15	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		43	0	0	18	13	0	2	404	0	480
voetgangers											
PAE		776	6	0	305	781	0	16	917	0	2801
totaal PAE		782			1086			933			

7:30 - 8:30	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		49	0	0	14	12	0	1	408	0	484
voetgangers											
PAE		787	5	0	285	835	0	12	919	0	2843
totaal PAE		792			1120			931			

7:45 - 8:45	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		46	0	0	11	9	0	1	371	0	438
voetgangers											
PAE		789	5	0	295	838	0	13	863	0	2803
totaal PAE		794			1133			876			

8:00 - 9:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		32	0	0	8	6	0	0	274	0	320
voetgangers											
PAE		856	4	0	308	847	0	17	753	0	2785
totaal PAE		860			1155			770			

INVULFORMULIER TELGEGEVENS

Projectnummer TV3V	4235
Kruispunt	N47 N470
postcode + plaatsnaam	Dendermonde
Datum telling	25-11-03
Weertype	Telling uitgevoerd door AWW

TAK	Naam/nr. weg	Kmpunt
A	N47 Zeelsebaan	
B	N47 Martelarenlaan	
C	N470 Grootzand	

16:00 - 17:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		15	0	0	306	40	0	3	5		369
voetgangers											
PAE		829	23	0	686	864	0	48	362	0	2812
totaal PAE			852			1550			410		

16:15 - 17:15	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		11	0	0	251	39	0	3	8	0	312
voetgangers											
PAE		882	20	0	647	880	0	55	361	0	2845
totaal PAE			902			1527			416		

16:30 - 17:30	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		8	0	0	184	30	0	3	7	0	232
voetgangers											
PAE		867	16	0	580	910	0	50	355	0	2778
totaal PAE			883			1490			405		

16:45 - 17:45	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		8	0	0	174	28	0	1	12	0	223
voetgangers											
PAE		890	16	0	619	817	0	50	363	0	2755
totaal PAE			906			1436			413		

17:00 - 18:00	van:	A			B			C			TOTAAL
	naar:	B	C	A	C	A	B	A	B	C	
zwaar verkeer 3+ assen											
zwaar verkeer 2 assen											
licht verkeer											
(brom)fietsters		8	0	0	115	20	0	1	13	0	157
voetgangers											
PAE		885	15	0	554	834	0	45	376	0	2709
totaal PAE			900			1388			421		

BIBLIOGRAFIE

BROWN M. *'The Design of Roundabouts: State-of-the-art Review.'*, Transport Research Laboratory, London, 1995

CROW, *'Eenheid in rotondes.'*, Publicatie 126, 1998.

DANIELS S. & WETS G., *'Invloed van rotondes op verkeersveiligheid. Overzicht van internationale onderzoeksresultaten en richtlijnen voor ontwerp.'*, Steunpunt verkeersveiligheid – Universiteit Hasselt, 2006.

DE BRABANDER B., NUYTS E., VEREECK L., *'Road Safety Effects of Roundabouts in Flanders.'*, Steunpunt Verkeersveiligheid – Universiteit Hasselt, 2005.

DE BAETSELIER Y., *'Capaciteit van een rotonde.'*, In Vademecum Rotondes, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 1997.

DONNÉ V., *'Verkeersveiligheid en plaats van de fietsers.'*, In Vademecum Rotondes, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 1997.

FORTUIJN L.G.H., *'Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety'*, Annual Meeting 2003 of the Institute of Transportation Engineers (ITE), Seattle, United States, 2003.

FORTUIJN L.G.H. & CARTON P.J., *'Turbopleinen, een beproefd concept in een nieuw jasje'*, Verkeerskundige werkdagen 2000, CROW, Ede, 2000.

FORTUIJN L.G.H. & HARTE V.F., *'Meerstrooksrotondes: verkenning van nieuwe vormen.'* In Verkeerskundige Werkdagen 1997, Deel II, p. 289-315, CROW, Ede, 1997.

FHWA, *'Roundabouts: an Informational Guide.'*, Department of Transportation, Federal Highway Administration, McLean, Virginia, United States, 2000.

LAUWERS D., *'Verkeerstechnisch ontwerp van rotondes.'*, In Vademecum Rotondes, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 1997.

LOUNSBURY & ASSOCIATES, Inc., *'Alaska Roundabouts: History of Roundabouts'*, <http://www.alaskaroundabouts.com/history.html>, [website niet gedateerd], 01.06.2006.

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP, *'Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen'*, gecoördineerde versie, Brussel, 2004.

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP - Administratie Wegen en Verkeer, *'Implementatie van de wegencategorisering – HANDBOEK SECUNDAIRE WEGEN - eindrapport'*, uitwerking door TRITEL m.m.v. IRIS CONSULTING, Brussel, december 2003.

OGDEN, K.W., '*Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*', Hants, England, Ashgate Publishing, 1996.

VAN REST P.J.A., '*Cursus (meerstrooks)rotondes*', DTV Consultants – IBZH Raadgevend Ingenieursbureau BV, Den Haag, 2003

VANREUSEL J., '*Typologie en plaats van rotondes.*', In Vademecum Rotondes, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel, 1997.

YPERMAN I. & IMMERS L. H., '*Capacity of a Turbo-roundabout determined by Micro-simulation*', Katholieke Universiteit Leuven, Department of Civil Engineering – Transportation Planning and Highway Engineering, In 'proceedings of the 10th World Congress on ITS', Madrid, Spain, November 16–20, 2003.