

Capaciteit bij Werk-In-Uitvoering op Nederlandse Snelwegen

Thijs Homan MSc.
ARCADIS

Dr. Tom Thomas
Universiteit Twente

Samenvatting

Wat is de capaciteitsreductie bij Werk-In-Uitvoering en welke factoren hebben hier invloed op? Dit onderzoek laat de resultaten zien van een empirisch onderzoek naar de capaciteitsreductie bij een dertiental Werk-In-Uitvoeringsituaties op Nederlandse snelwegen. Uit dit onderzoek blijkt dat bij faseringen met gesplitste rijstroken de capaciteitsreductie significant hoger is dan bij andere faseringen. Ook laat dit onderzoek zien dat er vier situatie specifieke factoren zijn die significante invloed uitoefenen op de capaciteit bij WIU, namelijk het percentage vrachtverkeer, de aanwezigheid van toe- en afritten stroomopwaarts ($\leq 500\text{m}$), de aanwezigheid van toe- en afritten stroomafwaarts ($\leq 500\text{m}$) en de lengte van het werkvak.

Trefwoorden

Werk-In-Uitvoering, capaciteitsreductie, invloed van variabelen, empirisch onderzoek.

1. Introductie

Om de groei in mobiliteit in Nederland in de komende tijd te kunnen faciliteren, hebben er de laatste jaren veel werkzaamheden op de Nederlandse snelwegen plaatsgevonden. Hoewel veel van de werkzaamheden bedoeld zijn om de capaciteit van het wegvak uit te breiden, is er tijdens de werkzaamheden een aanzienlijke afname van de capaciteit van het wegvak en dit zorgt voor congestie en vertragingen. Daarom is het van belang kennis te hebben van de capaciteitsreductie bij Werk-In-Uitvoering (WIU).

Er is echter nog weinig bekend over de daadwerkelijke effecten van faseringen en de invloed van verschillende variabelen op de capaciteit bij WIU-situaties zoals ze “buiten” optreden. Het handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011) is een leidraad voor de effecten van faseringen en verschillende variabelen op de capaciteit bij WIU, maar deze is hoofdzakelijk gebaseerd op modelsimulaties en niet op “echte” situaties. Ook de daadwerkelijke importantie van verschillende situatie specifieke variabelen wordt hierin nauwelijks benoemd.

Om de kennis hieromtrent te vergroten en de capaciteitsreductie bij WIU in de toekomst beter in te kunnen schatten, is empirisch onderzoek gedaan naar de effecten van verschillende faseringen en variabelen op de capaciteitsreductie bij “echte” WIU-situaties op snelwegen in Nederland. In dit onderzoek is voor een dertiental WIU-situaties de capaciteit vastgesteld en de capaciteitsreductie ten opzichte van de “normale situatie” berekend. Ook is onderzocht welke faseringen een duidelijk grotere capaciteitsreductie hebben dan andere. Daarnaast is vastgesteld welke situatie specifieke variabelen een significante invloed hebben op deze capaciteitsreductie.

Wat is capaciteit?

Om de capaciteit bij Werk in Uitvoering te onderzoeken is het van belang om te weten wat de capaciteit van een weg of wegvak precies is. De definitie van capaciteit uit het CIA handboek is als volgt:

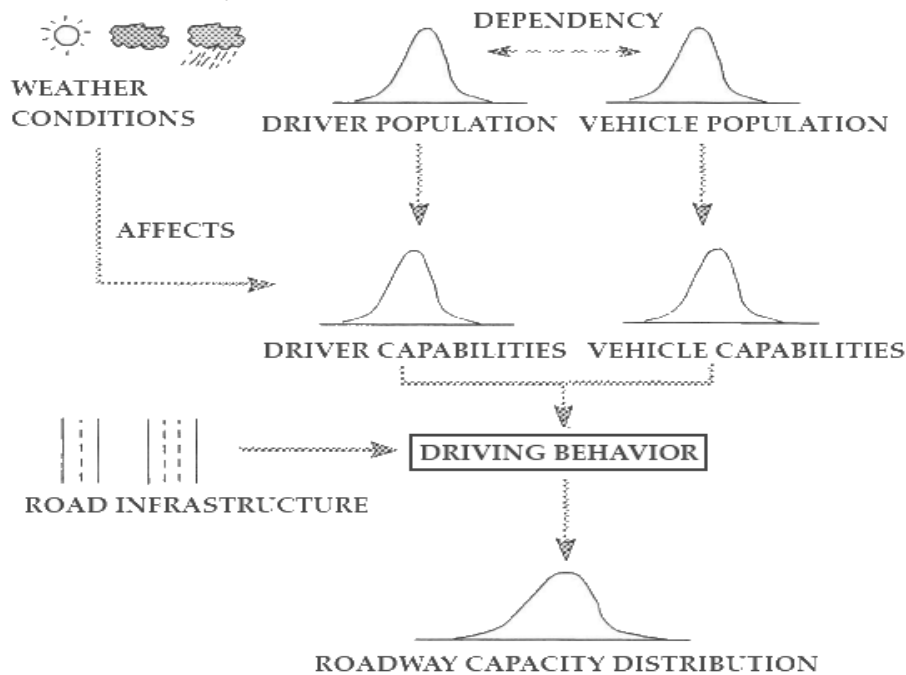
“Capaciteit is het maximaal aantal motorvoertuigen per tijdseenheid (meestal uitgedrukt in motorvoertuigen per uur) waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen dat ze een doorsnede of uniform segment van een strook of een rijbaan kunnen passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode onder de heersende weg-, verkeers-, en beheerscondities.”

Hierin valt een aantal woordgroepen op:

- *het maximaal aantal motorvoertuigen per tijdseenheid*; dit geeft aan hoe capaciteit wordt uitgedrukt, normaal gesproken in motorvoertuigen per uur [mvt/u].
- *in redelijkheid*; deze toevoeging geeft aan dat er blijkbaar meerdere maximale hoeveelheden kunnen zijn, met andere woorden de capaciteit is een distributie en geen vaststaand getal.
- *Onder de heersende weg-, verkeers- en beheerscondities*; dit geeft aan dat de capaciteit beïnvloed kan worden door verschillende variabelen en dus anders kan zijn in elke specifieke situatie.

Belangrijk om te weten is dat capaciteit geen vaststaand getal is, maar een distributie die beïnvloed wordt door rijgedrag van de bestuurders die het wegvak passeren. Dit rijgedrag wordt op zijn beurt weer beïnvloed door verschillende factoren: het rijvermogen van de

bestuurder, het rijvermogen van het voertuig en de weginfrastructuur. Onderstaand figuur geeft deze invloed op capaciteit goed weer:



Figuur 1: Factoren met invloed op de capaciteitsdistributie

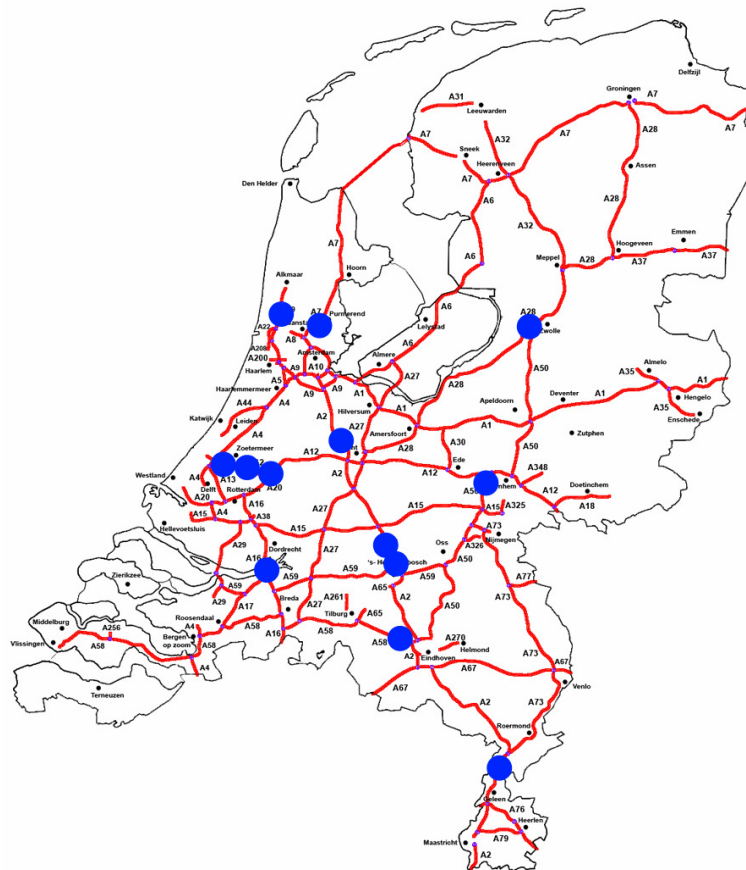
De capaciteit van een wegvak is de maximale intensiteit die het wegvak kan verwerken. De capaciteit van een wegvak wordt bereikt op het punt waar het aantal motorvoertuigen dat maximaal kan passeren het laagst is, de zogeheten bottleneck. De capaciteit van de bottleneck is de maat voor de capaciteit van het gehele wegvak. Werkvakken zijn een duidelijke vorm van bottlenecks en daarom is de capaciteit hiervan leidend voor het hele wegvak. Hierdoor is het belangrijk om kennis te hebben van capaciteiten bij Werk-in-Uitvoering.

2. Onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek zijn voor zes verschillende en vaak voorkomende faseringen van WIU situaties (dertien cases in totaal) capaciteiten berekend. In tabel 1 zijn de onderzochte faseringen weergegeven. De locaties van de dertien cases liggen verspreid over heel Nederland en zijn weergegeven in figuur 2.

Tabel 1: onderzochte faseringen

Type fasing	Aantal cases
Afgesloten vluchtstrook	3
Rijstrookversmalling – 2 rijstroken	2
Rijstrookversmalling – 3 rijstroken	2
3-1 systeem (rijstrookverschuiving)	2
4-0 systeem (rijstrookverschuiving)	2
4-2 systeem (rijstrookverschuiving)	2



Figuur 2: Onderzoeklocaties

Capaciteitsbepaling

Omdat WIU situaties duidelijke vormen van bottlenecks zijn, is de empirische distributiemethode gebruikt om de capaciteit te bepalen. De empirische distributiemethode berekent aan de hand van de mediaan van alle congestiemetingen en een cumulatieve capaciteitsdistributie een waarde voor de capaciteit. Dit houdt in dat de methode alleen metingen meeneemt waarbij congestie optreedt en dus de daadwerkelijke maximale intensiteit die een bottleneck kan verwerken wordt berekend. Voor deze berekeningen zijn gegevens uit detectielussen gebruikt die per 1 minuut de intensiteit en snelheid op een wegdoorsnede berekenen.

Om de capaciteit te kunnen berekenen, is een aantal aannames gedaan:

- Congestie treedt op bij 50 km/u;
- Intensiteiten worden berekend in een 5 minuten interval;
- Alleen spitsperiodes zijn gebruikt voor een uniform weggebruikersbeeld;
- Geen extreme weersomstandigheden (regen/mist/sneeuw).

De capaciteiten van deze WIU situaties zijn vergeleken met de standaardwaarde voor desbetreffend wegvak uit het CIA-handboek. De berekende capaciteitsreducties zijn vervolgens vergeleken en de verschillen zijn geanalyseerd.

Analyse van verklarende variabelen

Uit de literatuur komen 31 verschillende variabelen naar voren die volgens de verschillende studies allemaal invloed uitoefenen op de capaciteit van WIU situaties. In dit onderzoek is op basis van die literatuur een selectie gemaakt van de meest belangrijke situatie specifieke variabelen, deze zijn weergegeven in tabel 2. Voor deze variabelen is onderzocht of deze daadwerkelijk invloed hebben op de capaciteit bij Werk-In-Uitvoering. Dit is gedaan door middel van de capaciteit en de bijbehorende waarde van de variabele te vergelijken met de standaardwaarde uit het CIA handboek. Met behulp van een toets op multicollineariteit en lineaire regressie is vastgesteld welke variabelen een significante invloed hebben op de capaciteit bij Werk-In-Uitvoering in het algemeen. Daarnaast is per fasering onderzocht of er andere variabelen significante invloed hebben op de capaciteit. Ook is er met een goodness-of-fit analyse onderzocht wat de verklarende kracht van de combinaties van variabelen is.

Tabel 2: Situatie specifieke variabelen

Variabelen
Percentage vrachtverkeer
Rijstrookbreedte links/midden/rechts
Aanwezigheid van een toe- of afrit stroomopwaarts
Aanwezigheid van toe- of afrit stroomopwaarts
Lengte van het werkvak
Vertrouwd met filerijden in normale situatie
Maximale helling van het werkvak

Effect van externe variabelen

Voor twee externe variabelen, namelijk regen en de duur van de werkzaamheden, is onderzocht wat het effect is op de capaciteit van de WIU situatie.

Voor het effect van regen is voor elke situatie waarin de neerslag meer dan 2 mm per uur was, de capaciteit op dezelfde manier berekend als in de droge situatie. Deze capaciteit tijdens neerslag is vervolgens vergeleken met de situatie zonder neerslag en het verschil tussen de natte en droge situatie is per case geanalyseerd en getest op significantie.

Het effect van de duur van de werkzaamheden op de capaciteit is onderzocht door per case de capaciteit te berekenen in de eerste, tweede en derde maand. De verschillen tussen de berekende capaciteiten zijn vervolgens geanalyseerd en getest op significantie.

3. Capaciteit bij Werk-In-Uitvoering

De resultaten van de capaciteitsberekeningen laten zien dat er veel verschillen zijn tussen de berekende capaciteiten. In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven voor alle locaties. De capaciteitsreductie ten opzichte van de standaardwaarde voor het wegvak verschilt van 11% tot 43%. De grootste afname in capaciteit is gevonden bij de gesplitste richting van de 3-1 en 4-2 fasering. De capaciteitsreductie bij deze faseringen liggen tussen de 32% en 43%. De andere faseringen hebben een capaciteitsafname van tussen de 11% en 28%.

Het enige wat de bovenstaande twee faseringen onderscheidt van de andere faseringen is dat de rijstroken in het werkvak gesplitst worden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij

faserings waarbij de rijstroken gesplitst zijn, de capaciteitsreductie significant groter is dan bij faserings waar de rijstroken niet gesplitst worden.

Tabel 3: Capaciteiten bij Werk-In-Uitvoering

Locatie	WIU faserings	Capaciteit	Vershil met CIA waarde standaard	Vershil met CIA waarde faserings
A9 Uitgeest – Alkmaar	Rijstrookversmalling (2 rijstroken)	3744	-10,9%	+17,0%
A12 Zoetermeer – Zevenhuizen	4 – 0 systeem (vershoven richting)	3660	-12,9%	+7,7%
A58 Batadorp – Oirschot	Afgesloten vluchtstrook	3636	-13,4%	+1,0%
A2 Lage Weide – Utrecht Centrum	Rijstrookversmalling (3 rijstroken)	5292	-16,0%	+17,6%
A2 Zaltbommel – Kerkdriel	4 – 0 systeem (vershoven richting)	3516	-16,3%	+3,4%
A12 Zevenhuizen – Zoetermeer	4 – 0 systeem (niet-vershoven richting)	3366	-19,9%	-1,0%
A28 Hattermerbroek – Zwolle Zuid	4 – 2 systeem (niet-vershoven richting)	4896	-22,3%	+8,8%
A15 Klaverpolder – 's Gravendeel	4 – 2 systeem (niet-vershoven richting)	4704	-25,3%	+4,5%
A50 Heteren – Renkum	3 – 1 systeem (niet-vershoven richting)	3105	-26,1%	-8,7%
A2 Roosteren – Echt	Afgesloten vluchtstrook	3048	-27,4%	-15,3%
A7 Zaandijk – Zaandam	Afgesloten vluchtstrook	3030	-27,9%	-15,8%
A12 Zevenhuizen – Gouwe	Rijstrookversmalling (2 rijstroken)	3018	-28,1%	-5,7%
A12 Zoetermeer Centrum – Nootdorp	Rijstrookversmalling (3 rijstroken)	4518	-28,3%	+0,4%
A2 Kerkdriel – Empel	3 – 1 systeem (vershoven richting)	2868	-31,7%	-4,4%
A50 Renkum – Heteren	3 – 1 systeem (vershoven richting)	2724	-35,1%	-9,2%
A28 Zwolle Zuid – Hattermerbroek	4 – 2 systeem (vershoven richting)	4080	-35,2%	-5,1%
A16 's Gravendeel – Klaverpolder	4 – 2 systeem (vershoven richting)	3576	-43,2%	-16,8%

Een andere bevinding uit dit deel van het onderzoek is dat er een grote spreiding bestaat tussen de berekende capaciteiten, ook wanneer deze vergeleken worden met de richtwaarden voor de betreffende faserings uit het CIA handboek. Slechts vier van de zeventien berekende capaciteiten wijken niet significant af van de corresponderende richtwaarde uit het CIA handboek. De andere dertien zijn allemaal significant verschillend van de richtwaarde en de verschillen lopen uiteen van -17% tot +18%. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er grote verschillen bestaan tussen capaciteiten van verschillende Werk-In-Uitvoeringssituaties en dat deze lang niet altijd overeenkomen met de theoretische waarden uit het CIA.

4. Invloed van Situatie Specifieke Variabelen

De analyse van de capaciteit bij Werk-In-Uitvoering laat zien dat er grote variatie bestaat tussen de berekende capaciteiten. Daarom is de invloed van situatie specifieke variabelen onderzocht. In tabel 2 staan de variabelen die in dit onderzoek meegenomen zijn. Met behulp van lineaire regressie is gekeken welke variabelen invloed hebben op de capaciteit bij WIU.

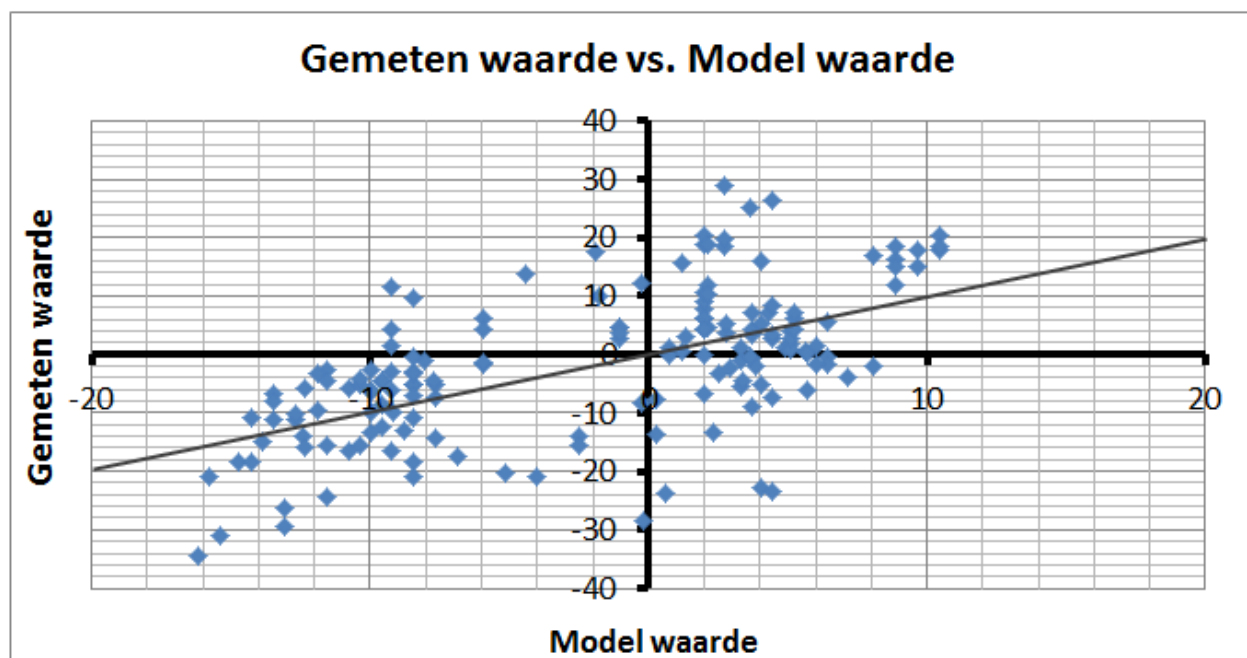
Uit deze analyse blijkt dat er slechts vier situatie specifieke variabelen zijn met een significante invloed op de capaciteit. Deze zijn:

- Het percentage vrachtverkeer;
- Aanwezigheid van een toe- of afrit stroomopwaarts (binnen 500m);
- Aanwezigheid van een toe- of afrit stroomafwaarts (binnen 500m);
- De lengte van het werkvak.

De invloed van het percentage vrachtverkeer op de capaciteit is negatief, dat betekent dat als het percentage vrachtverkeer hoger is, de capaciteit lager is. De invloed van de aanwezigheid

van een toe-of afrit (zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts) binnen 500 meter van het werkvak heeft ook een negatieve invloed op de capaciteit. De lengte van het werkvak heeft een positieve invloed op de capaciteit, dat wil zeggen dat een langer werkvak een hogere capaciteit heeft. De mate van invloed van deze vier variabelen kan echter niet vastgesteld worden in dit onderzoek. Uit dit onderzoek blijkt ook dat er geen verschillen bestaan tussen faseringen met betrekking tot welke variabelen invloed uitoefenen.

In figuur 3 is te zien wat de spreiding van de gemeten waarden van de capaciteit is ten opzichte van de berekende waarde van het model met de vier variabelen met significante invloed. In dit figuur is goed te zien dat de waarden van het model met de vier variabelen behoorlijk verspreid liggen ten opzichte van de lijn die een perfect verklarend model voorstelt. De goodness-of-fit analyse laat zien dat de vier variabelen samen 37,5% van de variatie verklaren en dat alle vier variabelen belangrijk zijn voor het verklaren van de variatie in capaciteit.



Figuur 3: Spreiding van gemeten capaciteiten t.o.v. waarden van 4-variabelen-model

5. Invloed van externe variabelen

Voor een tweetal externe variabelen is de invloed op de capaciteit bij Werk-In-Uitvoering berekend.

Regen zorgt voor een afname in capaciteit van 4% tot 9% bij werkvakken. Literatuur laat zien dat het effect van regen op capaciteit in normale situaties tussen de 5% en 10% is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de invloed van regen bij WIU niet anders is dan in normale situaties.

De analyse naar het effect van de duur van werkzaamheden op de capaciteit laat geen eenduidig beeld zien. In de tweede maand is er bijna geen verschil in capaciteit ten opzichte van de eerste maand. In de derde maand is er in enkele gevallen een toename in capaciteit, maar in de meeste gevallen is er geen verschil ten opzichte van de capaciteit in de eerste

maand. Uit dit onderzoek komt dus geen duidelijke conclusie met betrekking tot het effect van de duur van werkzaamheden op de capaciteit.

6. Conclusies en discussie

Dit onderzoek naar de capaciteit bij Werk-In-Uitvoering heeft enkele interessante conclusies opgeleverd. Hieronder zijn deze conclusies samengevat:

De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek is dat de capaciteitsreductie bij faseringen met gesplitste rijstroken significant groter is dan de capaciteitsreductie bij alle andere faseringen. Uit dit onderzoek blijkt dat de afname in capaciteit ten opzichte van de “normale” situatie bij de gesplitste richting van de 4-2 en 3-1 faseringen tussen de 32% en 43% ligt. Bij alle andere faseringen uit dit onderzoek ligt de afname in capaciteit tussen de 11% en 28%.

Een andere conclusie is dat er grote variatie is in de capaciteitsreductie bij Werk-In-Uitvoering, ook bij situaties met hetzelfde type fasering. Dertien van de zeventien onderzochte cases verschillen significant van de standaardwaarde uit het CIA-handboek. Het verschil van de capaciteit van de onderzochte cases met de standaardwaarde voor de betreffende fasering uit het CIA-handboek ligt tussen de -17% en +18%.

Uit dit onderzoek bleek verder dat er vier situatie specifieke variabelen zijn die daadwerkelijk een significante invloed hebben op de capaciteit van een WIU-situatie. Deze vier zijn:

- Het percentage vrachtverkeer (negatieve invloed);
- Aanwezigheid van een toe- of afrit stroomopwaarts binnen 500m (negatieve invloed);
- Aanwezigheid van een toe- of afrit stroomafwaarts binnen 500m (negatieve invloed);
- De lengte van het werkvak (positieve invloed).

Andere variabelen bleken geen significante invloed uit te oefenen op de capaciteit in de onderzochte situaties. De vier hierboven benoemde variabelen verklaren voor 37,5% de spreiding in gemeten capaciteit.

Regenval tijdens Werk-In-Uitvoering blijkt in dit onderzoek een capaciteitsafname van de 4% tot 9% te veroorzaken. In situaties zonder werkzaamheden is de afname in capaciteit tijdens regen tussen de 5% en 10%. Het effect van regen tijdens WIU verschilt dus niet van het effect van regen in normale situaties.

Het effect van de duur van WIU op de capaciteit is ook aan bod gekomen in dit onderzoek. Dit onderzoek liet echter geen duidelijke effect van de duur van werkzaamheden op de capaciteit zien.

Discussie

Voor praktische toepassing van de resultaten van dit onderzoek is het wijselijk een vertaalslag te maken naar het gebruik van waarden voor capaciteit bij Werk-In-Uitvoering. De resultaten geven meer houvast omtrent de te verwachten capaciteit bij het inplannen van toekomstig WIU, maar geven geen nieuwe feitelijkheden wat betreft de waarden voor (reductie van) capaciteit bij WIU.

Uit dit onderzoek blijkt enkel dat bij faseringen waarbij de rijstroken gesplitst zijn de capaciteitsreductie significant groter is dan bij faseringen waar de rijstroken niet gesplitst zijn. Voor praktische toepassing houdt bovenstaande conclusie in dat faseringen met gesplitste rijbanen zo veel mogelijk vermeden moeten worden tenzij de intensiteit dermate laag is dat deze niet in de buurt komt van de capaciteit van het werkvak. Andere verschillen tussen faseringen konden niet aan het licht gebracht worden, maar dat betekent niet dat er ook geen verschillen tussen faseringen zijn.

Met het oog op bovenstaande laat het onderzoek zien dat de waarden in het CIA handboek slechts als richtwaarde dienen en niet als de waarheid moeten worden aangenomen. Uit dit onderzoek blijkt namelijk dat de bandbreedte rondom de richtwaarden voor capaciteiten van faseringen van -17% tot +18% loopt. Concreet houdt dit in dat de capaciteitswaarde bijna een vijfde kan afwijken, zowel positief als negatief, van de richtwaarde uit het CIA handboek.

Uit dit onderzoek komt ook naar voren welke situatie specifieke variabelen significante invloed hebben op de capaciteit bij WIU. Op basis van zeventien cases blijken er vier variabelen significante invloed uit te oefenen op de capaciteit. De mate van invloed kan echter niet vastgesteld worden in het onderzoek. Bij het vaststellen van de (te verwachten) capaciteit van een werkvak is het desondanks verstandig om in ieder geval deze vier variabelen in te schatten en zodoende een inschatting te maken van de afwijking van de richtwaarde uit het CIA handboek.

Dit onderzoek laat zien dat de vier variabelen samen 37,5% van de variatie verklaren. De overige 62,5% van de variatie in capaciteit zal mogelijk verklaard kunnen worden door variabelen die buiten de scope van dit onderzoek vallen. Hierbij kan gedacht worden aan variabelen die meer gerelateerd aan de weggebruiker zijn, zoals verandering in rijgedrag door afleiding door bouwwerkzaamheden of verandering in rijgedrag door een verandering in de omgeving. Ook zal een deel van de variatie toe te schrijven zijn aan de onzekerheid van het vergelijken van echte, oncontroleerbare situaties die niet perfect te vergelijken zijn.