

KRW3 Inrichtingsplan Empelse Waard

Rivierkundige berekeningen

Anneke de Joode
rivierkundig advies



Document: rapportage_hydraulica_KRW3_Empel_20131021.doc

Documentstatus: Definitief

Project: KRW 3 Maas

Deelproject: Inrichtingsplan Empelse Waard

Opdrachtgever : Grontmij Nederland B.V.

Datum: 21 oktober 2013

	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld	A. de Joode (Rivierkundig Advies)		21-10-2013
Goedgekeurd	R. Raaijmakers (Grontmij Nederland B.V.)		21-10-2013

Inhoud

Inhoud	3
1 Inleiding	5
2 De ingreep	6
3 Schematisaties en simulaties.....	9
4 Resultaten, toets aan de criteria.....	11
4.1 Hinder of Veiligheid tegen overstromen	11
4.2 Schade aan andere functies.....	12
4.3 Bodemligging en morfologie	13
5 Conclusie	15
6 Referenties	16
Bijlagen	
Bijlage 1: Maatregel_lijst voor de aangepaste referentie KRW3_00	17
Bijlage 2a: Absolute waterstand (m) referentie (KRW3_00) – Q = 3.435 m ³ /s.....	18
Bijlage 2b: Absolute stroomsnelheid (m/s) referentie (KRW3_00) – Q = 3.435 m ³ /s	19
Bijlage 2c: Absolute waterstand (m) referentie (KRW3_00) – Q = 4.000 m ³ /s.....	20
Bijlage 2d: Absolute stroomsnelheid (m/s) referentie (KRW3_00) – Q = 4.000 m ³ /s	21
Bijlage 3a: Absolute waterstand (m) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 3.435 m ³ /s.....	22
Bijlage 3b: Waterstandsverschil (m) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 3.435 m ³ /s.....	23
Bijlage 3c: Waterstandsverschil (m) > 1mm Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 3.435 m ³ /s.....	24
Bijlage 3d: Absolute stroomsnelheid (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 3.435 m ³ /s.....	25
Bijlage 3e: Stroomsnelheidsverschil (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 3.435 m ³ /s	26
Bijlage 4a: Absolute waterstand (m) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 4.000 m ³ /s.....	27
Bijlage 4b: Waterstandsverschil (m) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 4.000 m ³ /s.....	28
Bijlage 4c: Waterstandsverschil (m) > 1mm Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 4.000 m ³ /s.....	29
Bijlage 4d: Absolute stroomsnelheid (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 4.000 m ³ /s.....	30
Bijlage 4e: Stroomsnelheidsverschil (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 4.000 m ³ /s	31

1 Inleiding

De Empelse waard is gelegen nabij Oud Empel langs de Getijdenmaas en is in eigendom en beheer bij Natuurmonumenten. In de Empelse waard ligt een oude Maasarm, die in de loop van de tijd sterk is verland met rivierslib [Ref 1]. De plannen om de geul uit te baggeren zijn door Rijkswaterstaat opgenomen als onderdeel van Kaderrichtlijn water. In 2011 is een ontwerp gemaakt voor het natuurontwikkelingsproject Empelse waard waar het uitbaggeren van de geul onderdeel van uitmaakte. Echter, bij de uitvoering in 2012 bleken een aantal bezwaren waardoor het project is stop gezet en besloten is een aangepast ontwerp te maken.

Op 26 maart 2013 is een aangepast ontwerp opgesteld. Het project heeft geen rivierkundige doelstelling. Wel dient het project vergunbaar te zijn. Voor de beoordeling van het inrichtingsplan wordt gebruik gemaakt van het Rivierkundig Beoordelingskader (versie 2.01, 1 juli 2009). In dit beoordelingskader zijn de aspecten en beoordelingscriteria opgenomen die onderzocht worden bij een vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet.

Het inrichtingsplan bestaat uit het ondiep uitbaggeren van de verlandde geul, het maken van een in- en uitstroombrempel en de aanleg van een natuurvriendelijke oever langs een groot deel van het traject.



Figuur 1 Ligging van de ingreep (Achtergrond Google Maps)

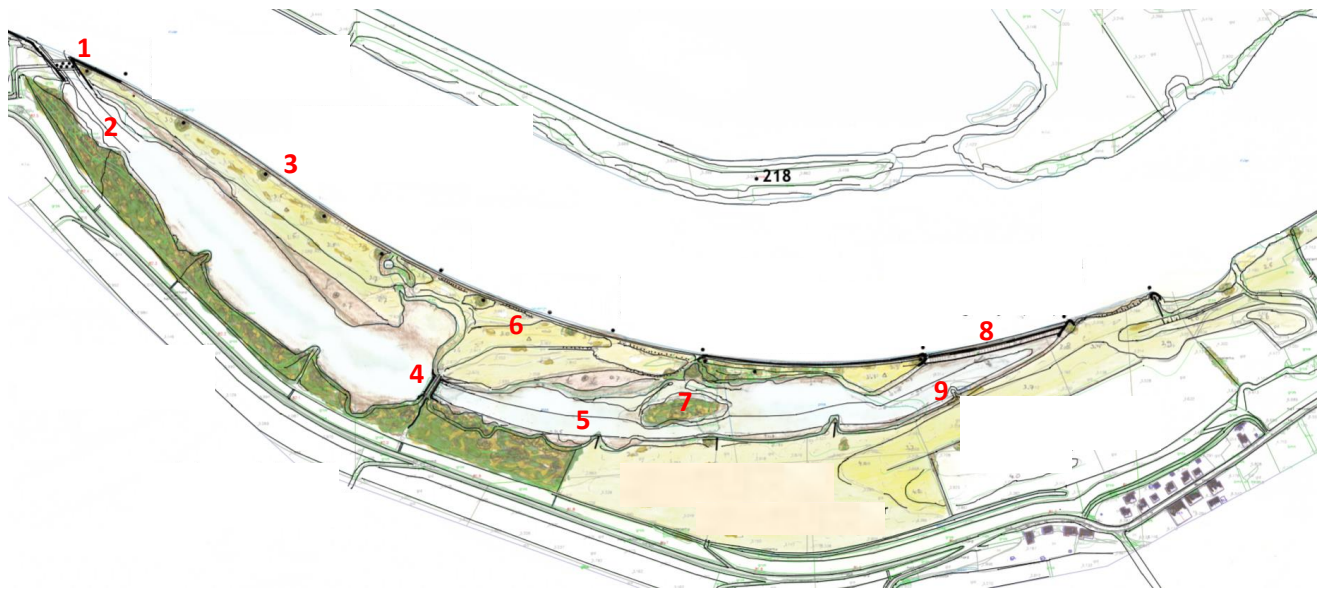
Op basis van het schetsontwerp en de beschrijving [Ref 1] is het inrichtingsplan met behulp van Baseline geschematiseerd ten behoeve van de hydraulische berekeningen met WAQUA. De schematisatie van het aangepaste ontwerp is uitgevoerd door Anneke de Joode, Rivierkundig Advies. De hydraulische berekeningen zijn uitgevoerd door Ron Agtersloot van Agtersloot Hydraulisch Advies.

In de rapportage wordt eerst het inrichtingsplan besproken. Vervolgens worden de berekeningsresultaten weergegeven.

2 De ingreep

De Empelse waard is gelegen nabij Oud Empel ter hoogte van rkm 217,6 en 218,8 langs de Getijdenmaas. In de huidige situatie is er sprake van 2 langgerekte plassen die onder normale omstandigheden niet in verbinding staan met de rivier. Tussen de twee plassen is sprake van een dam. Tussen de plassen en het zomerbed ligt een hogere oever (stroomrug). Ongeveer halverwege de oostelijke plas heeft zich een ooibos ontwikkeld.

Het inrichtingsplan bestaat uit een aantal ingrepen. In Figuur 2 is het schetsontwerp weergegeven. Met nummers zijn de wijzigingen aangeduid en worden hieronder beschreven.



Figuur 2 Schetsontwerp Empelse waard d.d. 26 maart 2013 [Ref 1]. Nummers geven wijzigingen aan die in de tekst worden beschreven

1. Aanleg drempel in de monding van de geul op een hoogte van 0,3 m+NAP. De drempel is zowel in de bodemligging als ook in de overlaten/drempels (Baseline: hverschil) van de Baseline-schematisatie opgenomen.
2. Aanleg uitstroomegul tussen de huidige westelijke geul en de nieuwe drempel in de monding. De uitstroom is t.o.v. het oorspronkelijke ontwerp iets verder richting het zomerbed verplaatst zodat deze niet meer in de beschermingszone van de dijk ligt. De bodemligging heeft een hoogte van -0,5 m t.o.v. NAP. De bodemligging van de westelijke geul ligt in de Baseline-schematisatie op -4 m t.o.v. NAP. Dit lijkt een onrealistische hoogte aangezien de geulen aan het verlanden zijn en er veel begroeiing staat. Het hydraulische model komt op deze plek niet overeen met de werkelijkheid, maar is hiervoor niet geactualiseerd omdat de juiste hoogtegegevens hiervoor niet beschikbaar zijn. Door de grote overgang van -0,5 m naar -4 m ontstaat een sprong in de bodem en deze levert lokaal hogere waterstanden op.
3. Langs de oever van rkm 218,05 tot 218,85 wordt een vrij erodeerbare oever aangelegd door het verwijderen van stortsteen boven een hoogte van 0,65 m+NAP. In aanleg ziet deze oever er anders uit dan na enkele jaren van oevererosie. Voor de vergunning uitgegaan van de uiteindelijke situatie waarbij maximale oevererosie is opgetreden. Hiervoor is aangenomen dat

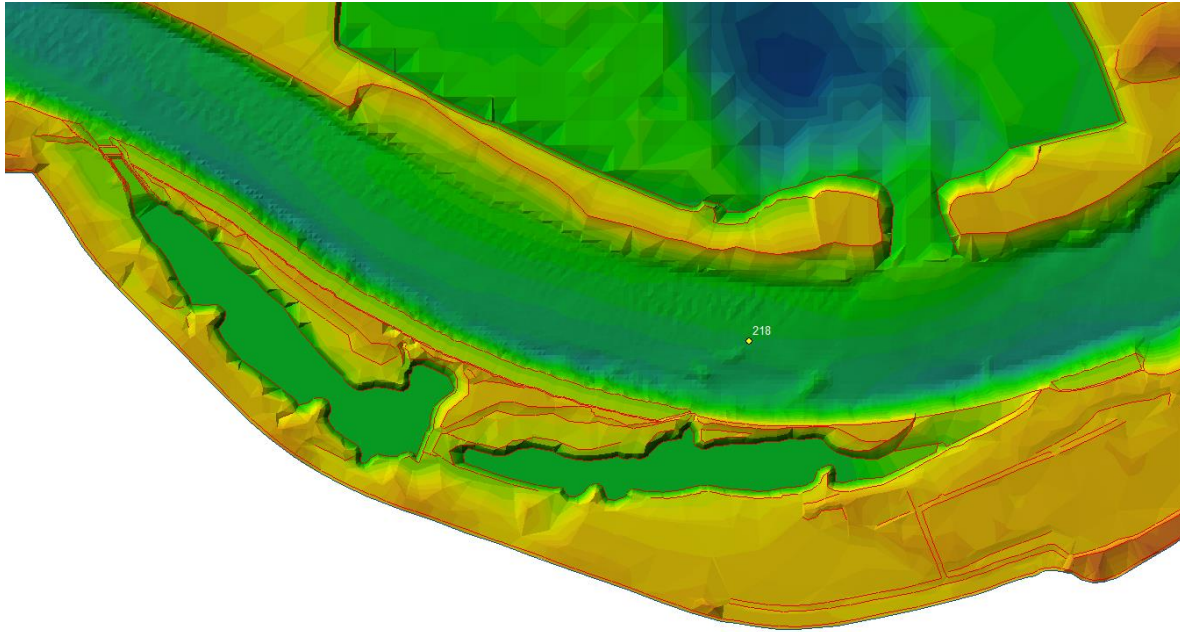
de maximale grens van oever erosie 18 meter landinwaarts ligt. Het profiel heeft een helling van 1:20 en heeft bij de grens van maximale oever erosie een steilrand naar huidig maaiveld.

4. Aanleg van een vaste dam met een kruinhoogte van 1,2 m+NAP. Er is sprake van een steil talud van ongeveer 1:5. Dit betekent dat de dam als overlaat (Baseline: kade) is opgenomen in de schematisatie.
5. Ondiep uitbaggeren van de oostelijke geul over een breedte van 20 m tot een hoogte van -0,5 m t.o.v. NAP. Omdat ook hier in de referentie Baseline-schematisatie sprake is van een bodemligging van de geul van -4 m t.o.v. NAP is het niet mogelijk deze aanpassing goed op te nemen in de modellering. Wanneer de bodemhoogte namelijk gewijzigd zou worden in -0,5 m t.o.v. NAP dan wordt hiermee de bodem in het model opgehoogd, terwijl er in werkelijkheid juist sprake is van baggeren met een bodemverlaging tot gevolg. De ingreep is daarom niet opgenomen. Het effect van het uitbaggeren van de oostelijke geul komt daarom niet in de resultaten terug. Dit betekent voor de waterstandseffecten dat de huidige schematisatie een minder grote waterstandsvaling geeft.
6. De stroomrug wordt op meerdere plaatsen verlaagd naar 2,2 tot 2,7 m+NAP. Deze te verlagen stroomrug ligt in de zone van de erodeerbare oever van 18 m en is in het eindbeeld van het inrichtingsplan niet zichtbaar omdat op deze plek de oever verder geërodeerd is als gevolg van het mogelijk maken van vrije oevererosie. Deze aanpassing is dus niet opgenomen in de modellering omdat deze wordt "overschreven" door de natuurvriendelijke oever.
7. Realiseren van een bebost eiland door verwijderen van een deel van de beplanting en de aanleg van een doorgaande ondiepe geul aan de rivierzijde van het eiland. In de huidige Baseline schematisatie (geactualiseerde referentie) is de bodemligging ter plaatse van het eiland -4 m t.o.v. NAP, gelijk aan de bodemligging van de oostelijke geul. Er is in het model dus geen sprake van een (schier) eiland. Wanneer er wel een eiland in de schematisatie van de ingreep aangebracht wordt, betekent dit een ophoging t.o.v. het referentiemodel met een opstuwung van de waterstanden tot gevolg. In werkelijkheid is er juist sprake van enige rivierverruiming omdat er aan de rivierzijde een ondiepe geul wordt aangelegd. Om deze reden is de bodemligging op deze plek ongewijzigd gelaten. In de vegetatie/ruwheden in het referentiemodel is op deze plek wel sprake van een bos. Ter plaatse van de doorgaande ondiepe geul aan de rivierzijde is het bos weggehaald zodat in de vegetatie/ruwheden wel een eiland zichtbaar is.
8. Aanleg van een bovenstroomse instroomdrempel tussen de Maas en het oostelijke deel van de geul. De instroomdrempel heeft een kruinhoogte van 1,5 m+NAP. Hierdoor zal de geul 20 dagen per jaar meestromen. Aan de Maaszijde is sprake van een steil talud (ongeveer 1:3), aan de geulzijde is sprake van een flauw talud (1:30). De drempel is in de schematisatie zowel in de bodemligging als in de overlaten (Baseline: hverschil) opgenomen.
9. Aan de stroomopwaartse zijde van de oostelijke geul/plas wordt de geul verlengd tot aan de nieuwe instroomdrempel. De nieuwe bodemhoogte wordt -0,5 m t.o.v. NAP.

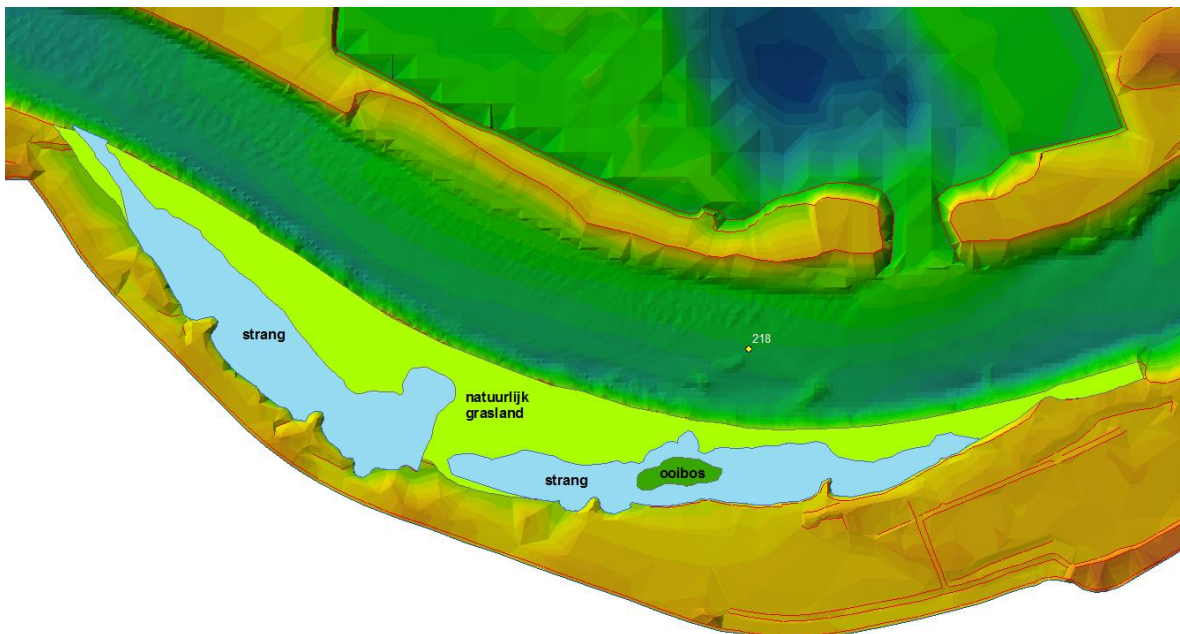
Zoals uit de hierboven beschreven ingrepen blijkt is het niet mogelijk om het schetsontwerp volledig over te nemen in de modellering. De oorzaak ligt deels in het feit dat in het rivierkundige referentiemodel de bodemligging van de oostelijke en westelijke geul veel lager ligt dan in werkelijkheid. Met name het aansluiten van de nieuw te graven in- en uitstroomopeningen, de uit te baggeren ondiepe geul en het realiseren van een bebost eiland (in de bodemligging) zijn daarom niet of in aangepaste vorm opgenomen in de schematisatie. Daarnaast geeft het ontwerp de situatie van aanleg aan terwijl voor de

vergunningaanvraag wordt uitgegaan van de toekomstige situatie oftewel het eindbeeld. Hierdoor wijkt de modellering ter plaatse van de natuurvriendelijke vrij erodeerbare oever af van het schetsontwerp.

In onderstaande figuren zijn de bodemligging en vegetatiesituatie van het inrichtingsplan zoals opgenomen in de Baseline-schematisatie weergegeven:



Figuur 3 Bodemligging Baseline-schematisatie ingreep Empelse waard (KRW3_21)



Figuur 4 Gewijzigde vegetatie Baseline-schematisatie ingreep Empelse waard (KRW3_21)

3 Schematisaties en simulaties

Voor het bepalen van hydraulische effecten van ingrepen in de rivier wordt gebruik gemaakt van het rekenmodel WAQUA. De geometrie en ruwheden waarop het WAQUA-model is gebaseerd is opgenomen in een ruimtelijke/geografische database (Baseline). De standaard database, ook wel Baseline-schematisatie genoemd, is de HR2006_4. Voor dit project is een geactualiseerde Baseline-schematisatie gemaakt die de situatie na Maaswerken beschrijft [Ref 2]. Deze geactualiseerde Baseline-schematisatie heeft de naam KRW3_00 en is de referentie voor het bepalen van de hydraulische effecten. In bijlage 1 is de maatregel_lijst van KRW3_00 opgenomen waarin alle actualisaties en aanpassingen beschreven staan.

De geografische data worden voor het doorrekenen met WAQUA op een WAQUA-rooster geprojecteerd. Voor dit project is het standaard WAQUA-rooster voor de Maas (maas40m_1a.rgf) twee keer verfijnd. Dit verfijnde rooster heet maas20m_1a.rgf. Met dit verfijnde rooster zijn de ingrepen langs de oever (natuurvriendelijke oevers) als onderdeel van KRW3 Maas beter te beoordelen.

Door deze referentie situatie (KRW_00) door te rekenen met WAQUA worden waterstanden bepaald, die als referentiewaterstanden dienen voor het bepalen van de effecten van het inrichtingsplan.

Het inrichtingsplan van de Empelse waard is geschematiseerd in de vorm van een Baseline-maatregel en deze is opgenomen in de geactualiseerde referentie. Op deze manier ontstaat er een Baseline-variant waarmee een WAQUA-berekening is uitgevoerd. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 4.

Voordat de definitieve variant (KRW3_16) is geschematiseerd en doorgerekend is voor de optimalisatie ook nog een tussenvariant (KRW3_15) doorgerekend. Daarnaast is het definitieve ontwerp aangepast op verzoek van het waterschap zodat de ingreep buiten de beschermingszone van de dijk ligt (KRW3_21). Tabel 1 geeft een overzicht van de gemaakte Baseline-maatregelen, varianten en WAQUA-simulaties. Voor beide Baseline varianten geldt dat KRW3_00 als basis heeft gediend.

Vanwege de omvang van het totale WAQUA-model van de Maas met verfijnd rooster en de lange rekentijden die daarmee gepaard gaan, is voor de Empelse waard gerekend met een WAQUA-deelmodel die alleen het benedenstroomse deel van de Maas bevat. De resultaten van dit deelmodel wijken niet af van de resultaten van het totale model voor de Maas.

Tabel 1 Overzicht van de uitgevoerde Baseline-maatregelen en WAQUA-simulaties

Omschrijving	Baseline maatregel	Baseline variant	WAQUA-code
Referentie	-	HR2006_4	-
Geactualiseerde referentie	Divers (bijlage1)	KRW3_00	MB_00
Empelse waard - eerste voorlopige variant	ma_krw3emp_a1	KRW3_15	MB_15
Empelse waard - definitieve variant	ma_krw3emp_a2	KRW3_16	MB_16
Empelse waard – aangepaste definitieve variant (waterschap)	ma_krw3emp_a3	KRW3_21	MB_21

De Baseline werkzaamheden zijn uitgevoerd met Baseline 4.03. Vanwege het verfijnde rooster is het aantal roostercellen groter dan 9.999. De standaard baswaq versie (omzetten van gis-bestanden op het WAQUA-rooster) binnen Baseline 4.03 kan hiermee niet overweg. Daartoe is een nieuwe baswaq-versie (1.4115) gebruikt voor de conversie naar WAQUA.

De simulaties zijn uitgevoerd op het rekencluster van Agtersloot Hydraulisch Advies.

Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

SIMONA	2007-01
Randvoorwaarden	$Q = 3.435$ en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$
WAQUA-model	deelmodel, maas20m_1a.rgf

4 Resultaten, toets aan de criteria

Voor het beoordelen van de ingreep wordt gebruik gemaakt van het Rivierkundig Beoordelingskader (versie 2.01, 1 juli 2009). In dit beoordelingskader zijn de aspecten en beoordelingscriteria opgenomen die onderzocht worden bij een vergunningaanvraag. Er wordt gekeken naar:

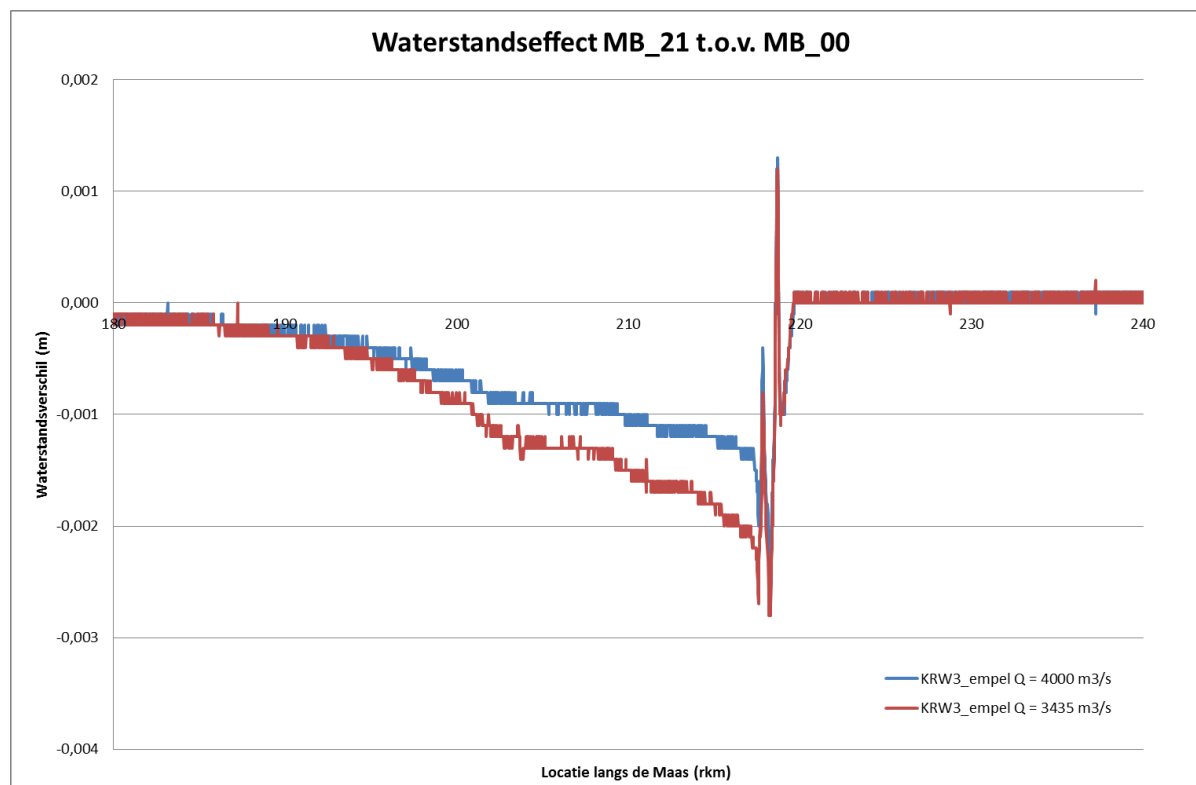
1. Hinder of veiligheid tegen overstromen
2. Schade aan andere functies
3. Bodemligging en morfologie

De bijbehorende aspecten worden hieronder beschreven op basis van de beschikbare berekeningsresultaten. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 2 verschillende maatgevende afvoeren die corresponderen met een situatie die 1 keer in de 250 en 1 keer in de 1250 jaar voor komt.

4.1 Hinder of Veiligheid tegen overstromen

- 1) Effect op de maatgevende hoogwaterstand op de as van de rivier

In Figuur 5 is het waterstandseffect van het inrichtingsplan op de as van de rivier weergegeven ten opzichte van de aangepaste referentie (KRW3_00). In de grafiek is zowel het effect bij een afvoer van 1/250 (3.435 m³/s) als die van 1/1250 (4.000 m³/s) weergegeven.



Figuur 5 Grafiek met waterstandseffect (m) op de as van de Maas (rkm) (afvoer 1/250 en 1/1250)

Uit de grafiek blijkt dat het waterstandseffect bij een afvoer van 4.000 m³/s op rkm 218.2 op de Maas -2,5 mm bedraagt. Het maximaal waterstand verhogend effect op de as van de rivier treedt op op rkm 218.7 en is 1,3 mm groot. Deze is het directe gevolg van een extra afvoer die op deze locatie vanuit de uiterwaard via de nieuw aangelegde uitstroom weer het zomerbed inkomt. Deze extra zijdelingse afvoer zorgt voor een lokale waterstandsverhoging.

In eerste instantie was deze lokale piek hoger namelijk 1,8 mm (berekening KRW3_15). Dit werd veroorzaakt door een onnauwkeurigheid in de schematisatie op de overgang van de natuurvriendelijke oever naar de bestaande oever ter hoogte van de uitstroom van de westelijke geul en door de steile overgang van de nieuwe uitstroomgeul naar de bestaande plasdiepte. Beide aanpassingen zijn geoptimaliseerd. Voor de overgang in bodemligging van de nieuwe uitstroom naar de bestaande plas/geul is de overgang verlegd naar het begin van de bestaande plas. Hierdoor ontstaan minder grote verschillen in bodemligging tussen de huidige en de nieuwe situatie met een geleidelijker verloop van de waterstanden tot gevolg.

Voor de afvoer van 3435 m³/s is een vergelijkbaar beeld zichtbaar. De verlagende werking is nog iets groter tot maximaal 2,8 mm op rkm 218.2. Ook hier is sprake van een benedenstrooms piekje van 1,2 mm.

In het rivierkundig beoordelingskader is de norm voor het effect op de maatgevende hoogwaterstand op de as van de rivier 1 mm opstuwing. Uitgezonderd het benedenstroomse piekje zijn de waterstandseffecten lager dan 1 mm. In overleg met Rijkswaterstaat zal bekeken moeten worden of dit benedenstroomse piekje een bezwaar vormt en of verdere optimalisatie wenselijk is.

2) Effect op de maatgevende hoogwaterstand buiten de as van de rivier

Uit het ruimtelijk beeld met waterstandsverschillen (in de kaart van bijlage 4b en 4c) blijkt dat er langs de bandijk geen sprake is van opstuwing. Wel treedt er lokaal in de uiterwaard ter plaatse van de instroom en de uitstroom opstuwing op. Deze opstuwing is zeer lokaal en bedraagt slechts op enkele plekken meer dan 1 mm. Omdat dit gebied in eigendom is van Natuurmonumenten en geen nadelige gevolgen heeft voor derden is dit geen bezwaar.

4.2 Schade aan andere functies

1) Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard

In de huidige situatie is onder normale omstandigheden sprake van een geïsoleerde strang waardoor het proces van verlanding zich kan voortzetten. In het inrichtingsplan is er, vanwege de verlaagde drempel in de uitstroom van de westelijke geul, een dagelijkse uitwisseling van water mogelijk tussen het zomerbed en de uiterwaard en ontstaat een getijden- en hoogwatergeul. Door de verlaagde instroom zal de uiterwaard eerder en vaker gaan meestromen dan in de huidige situatie.

Dit betekent een toename van de inundatiefrequentie. De peilschommelingen onder normale omstandigheden komt de natuurwaarden ten goede. Daarnaast zorgt het frequenter mee kunnen stromen van de geulen voor het verkleinen van de kans op verdere verlanding.

De wijzigingen in inundatiefrequentie dragen dus bij aan het behalen van de projectdoelstellingen en dit aspect vormt daarom geen bezwaar.

2) Stroombeeld in de uiterwaard

In het stroombeeld (zie bijlage 3e en 4e) is voor beide afvoeren zichtbaar dat in de oostelijke geul en op de stroomrug ter hoogte van deze geul de stroomsnelheid afneemt met ongeveer 0,1 m/s ten opzichte van de

referentiesituatie. Het is dan ook mogelijk dat er op deze locaties wat meer aanzanding optreedt, al zijn de verschillen beperkt. De stroomsnelheden nemen af van ongeveer 0,7 tot 0,6 m/s. Ook in de monding van de uitstroom treedt een stroomvertraging op. Net bovenstrooms ervan nemen ter plaatse van de natuurvriendelijke oevers de stroomsnelheden juist toe waardoor materiaal, dat op de natuurvriendelijke oevers erodeerd, weer in de monding kan sedimenteren.

3) Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul

Door het verbinden van de plassen met het zomerbed kan bij lagere hoogwaters het stroombeeld wijzigen doordat er meer zijdelingse stroming optreedt. Hierdoor is het mogelijk dat de eventuele dwarsstroming wijzigt. Indien de dwarsstroming plotseling optreedt en groter is dan 0,3 m/s dan kan de scheepvaart daar hinder van ondervinden.

Deze dwarsstroming is met name interessant bij hogere afvoeren die vaker voorkomen en waarbij nog scheepvaart mogelijk is.

De dwarsstroming ter hoogte van de instroom lijkt zeer beperkt te wijzigen tijdens maatgevende omstandigheden. Bij de uitstroom wijzigen zowel de richting en de grootte van de stroomsnelheid. In het referentiemodel is de dwarsstroming naar het zomerbed gericht en ligt rond de norm van 0,3 m/s. Als gevolg van de ingreep nemen de absolute stroomsnelheden beperkt toe op de normaallijn ter hoogte van de uitstroom (maximaal 0,5 m/s). De stroomrichting komt iets meer parallel met de normaallijn te liggen (richting wijzigt in de orde van 1 graad, maximaal 4 graden) en dat is weer gunstig voor de dwarsstroming. De verwachting is dat de dwarsstroming vrijwel gelijk blijft met de dwarsstroming in de referentiesituatie. Ook bij lagere afvoeren (waarbij scheepvaart nog mogelijk is), is te verwachten dat de dwarsstroming wijzigt. Indien bij lagere afvoeren de stroomsnelheden lager zijn dan tijdens maatgevende condities, dan zal de dwarsstroming waarschijnlijk net onder de norm van 0,3 m/s blijven.

4.3 Bodemligging en morfologie

1) Aanzanding en erosie van het zomerbed (en oevers)

Als gevolg van de ingreep treedt een verandering in de stroomsnelheid op in het zomerbed tussen -0,02 en 0,02 m/s (bijlage 4d). De afname van de stroomsnelheid bedraagt maximaal -0,05 m/s en bevindt zich in het benedenstroomse deel van het traject van de Empelse waard langs de rechteroever. In het benedenstroomse deel van de natuurvriendelijke oever treedt ook in het zomerbed nog een toename op van de stroomsnelheden. Dit is in de orde van maximaal 0,08 m/s. Ten opzichte van de huidige situatie zijn deze verschillen beperkt en de wijzigingen in stroomgedrag als gevolg van het inrichtingsplan hebben zodoende een beperkt effect op de bodemligging (erosie/aanzanding) van het zomerbed.

2) Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen

Wijzigingen in stroomsnelheid in de plassen is beperkt. Er is sprake van een lichte afname waardoor meer sedimentatie mogelijk is. Opgemerkt wordt dat de bodemligging ter plaatse van de geulen in de modelschematisatie niet gewijzigd is. In werkelijkheid zal de geul deels verdiept worden ten opzichte van de huidige situatie waardoor de afvoer door de geulen en daarmee de stroomsnelheid in de praktijk juist iets toe zal nemen. Ter plaatse van de natuurvriendelijke oevers en de stroomrug nemen de stroomsnelheden toe. De absolute stroomsnelheden zijn hier in de orde van 0,9 m/s en bij een begroeiing van natuurlijk grasland, waar in het eindbeeld van uit wordt gegaan, is er bij deze stroomsnelheden geen erosie te verwachten. In de periode van aanleg en vlak daarna, wanneer de bodem nog niet bedekt is en

tijdelijk een extra toevoer van sediment in de geul te verwachten is, is dit een punt van aandacht in het beheerplan.

In de uitstroom treden ook hoge stroomsnelheden op in de orde van maximaal 1,1 m/s. Er van uitgaande dat de taluds van de uitstroom verdedigd worden zal erosie hier geen rol spelen. Net aan bovenstroomse zijde van de uitstroom op de hogere oever zijn de stroomsnelheden ook nog groot in de orde van 1 m/s (maximaal 1,11 m/s). In de referentie komen vergelijkbare stroomsnelheden voor (maximaal 1,15 m/s). Indien de bekleding/vegetatie van het talud gelijk blijft met de referentiesituatie en er in de huidige situatie geen problemen van erosie optreden, dan zijn deze in de toekomstige situatie ook niet te verwachten. Indien er wel problemen optreden in de huidige situatie kan het wellicht zinvol zijn de oeververdediging ter plaatse van de uitstroom uit te breiden in bovenstroomse richting.

Bij de instroomdrempel zijn geen problemen te verwachten gezien de lagere absolute stroomsnelheden en deels verdedigde oever.

5 Conclusie

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat het inrichtingsplan van de Empelse waard een waterstandsverlaging tot gevolg heeft van maximaal 2,5 mm ter hoogte van rkm 218.2 bij een maatgevende afvoer van 4000 m³/s. Als gevolg van deze verruiming treedt een benedenstrooms piekje op. Door optimalisatie van het ontwerp is dit piekje terug gebracht tot 1,3 mm. Deze opstuwing is zeer lokaal. Nabij de bandijk en in de uiterwaard is er geen sprake van ongewenste opstuwing.

De dwarsstroming ter hoogte van de uitstroom is een aandachtspunt omdat deze in de huidige situatie onder maatgevende condities ($Q = 3.435 \text{ m}^3/\text{s}$) rond de norm van 0,3 m/s schommelt. Als gevolg van de ingreep blijft de dwarsstroming onder maatgevende condities vrijwel gelijk. Ook bij lagere afvoeren (waarbij de scheepvaart nog in functie is), is te verwachten dat de dwarsstroming niet veel zal wijzigen. Uitgaande van lagere absolute stroomsnelheden zal de dwarsstroming iets afnemen.

Wat betreft het beheer zijn er een aantal aandachtspunten. Dit betreft mogelijke erosie van de natuurvriendelijke oever vlak na aanleg wanneer de oever nog niet begroeid is. Uiteraard is dit juist het doel van deze ingreep, echter een te veel aan erosie en daardoor mogelijke sedimentatie in het zomerbed heeft tijdelijk nadelige gevolgen voor de scheepvaart. Door het aanbrengen van verdedigde taluds in de uitstroom is hier geen erosie te verwachten.

Indien lodinggegevens van de huidige bodemligging van de plassen beschikbaar zijn, wordt aangeraden hiermee de bodemligging van het gebruikte referentiemodel te actualiseren. Hiermee worden de berekeningsresultaten realistischer en zullen met name lokale effecten beter in beeld gebracht kunnen worden.

6 Referenties

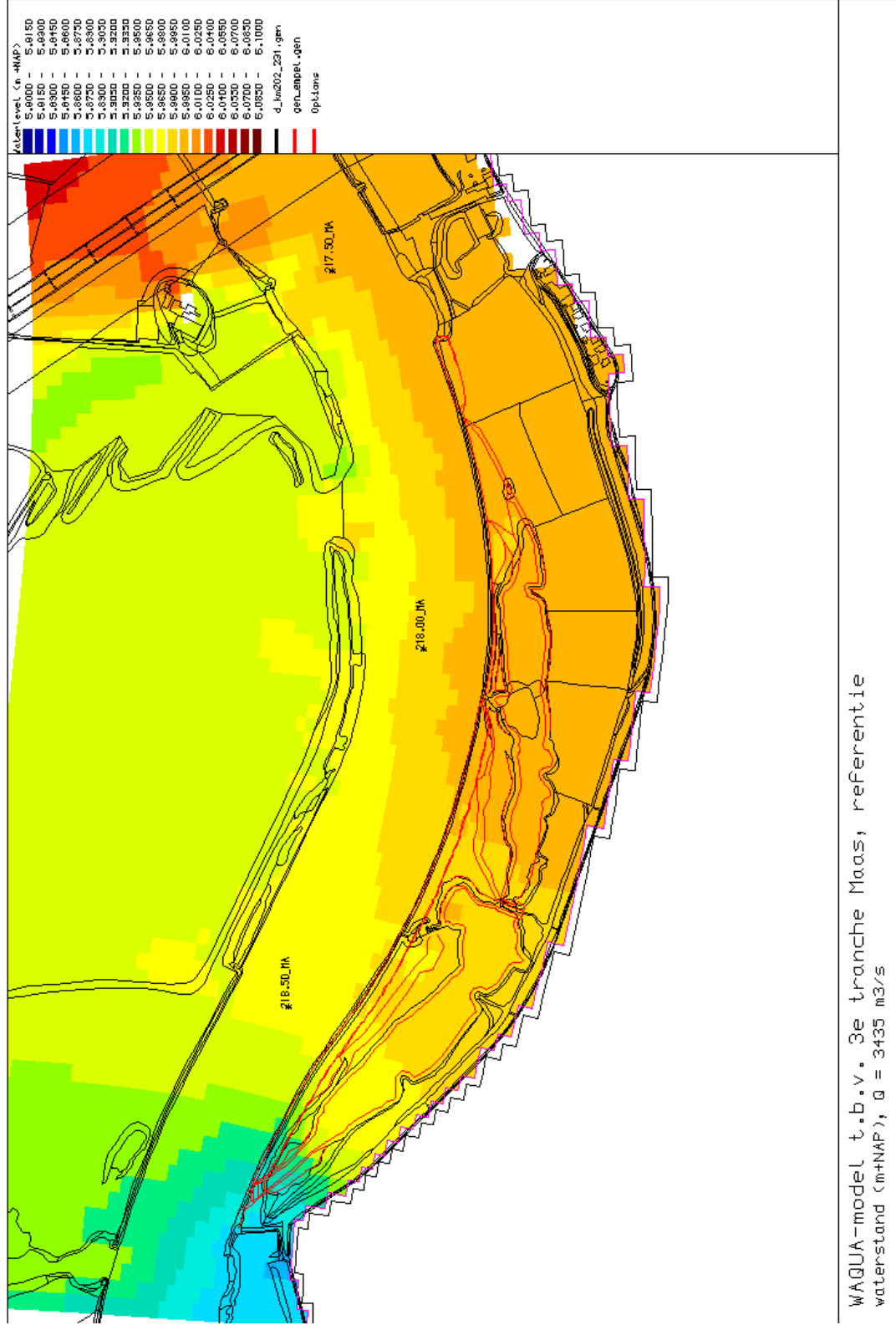
Ref 1: Inrichtingsplan Empelse Waard, Rademakers J.G.M. In op dracht van Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat. 26 maart 2013

Ref 2: Verslag overleg Grontmij en RWS van 26 augustus 2012: Afstemming uitgangspunten rivierkundige modellen KRW3. Document: verslag_KRW3_uitgangspunten_modellen_20120905.pdf

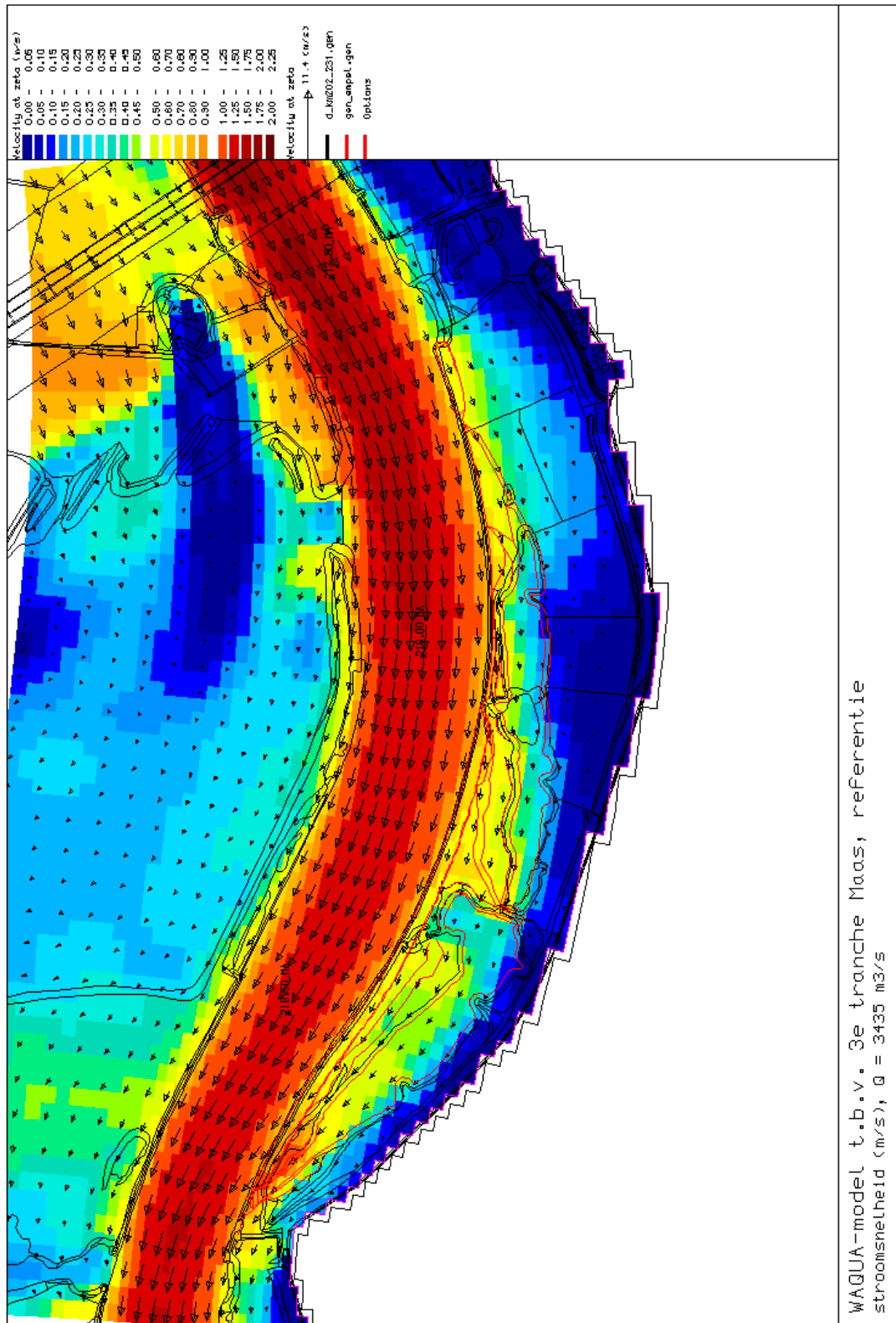
Bijlage 1: Maatregel_lijst voor de aangepaste referentie KRW3_00

```
#
# De naam voor deze variant is : krw3_00
# De basis voor deze variant is : hr2006_4
#
# Variant staat onder D:\baseline\maas
# Maatregelen staan onder D:\baseline\maas_maatr
#
# Maatregelen afhankelijk van volgorde
#
../maas_maatr/bm_ovediep_a2
../maas_maatr/bm_zbbma11_a2
../maas_maatr/ma_gen11_a1
../maas_maatr/ma_havenha_a1
../maas_maatr/ma_hegheum_a1
../maas_maatr/ma_hgball_a1
../maas_maatr/ma_hmwa11_a1
../maas_maatr/ma_igpmaas_a4
../maas_maatr/ma_igpmaas_a5
../maas_maatr/ma_igpmaas_a6
../maas_maatr/ma_igpmaas_a8
../maas_maatr/ma_igpmaas_b2
../maas_maatr/ma_keentf1_a1
../maas_maatr/ma_koornwa_a1
../maas_maatr/ma_oeffelt_a1
../maas_maatr/ma_overdm_a1
../maas_maatr/ma_owkb2e_a1
../maas_maatr/ma_paall1_a1
../maas_maatr/ma_vtp11_a1
../maas_maatr/ma_zbbel11_a2
../maas_maatr/ma_zbgra11_a2
../maas_maatr/ma_zbgrv12_a2
../maas_maatr/ma_zbgty11_a2
../maas_maatr/ma_zbhgtst_a2
../maas_maatr/ma_zbli11_a2
../maas_maatr/ma_zbroe11_a2
../maas_maatr/ma_zbsam11_a2
../maas_maatr/ma_zwvaart_a1
../maas_maatr/ma_stgrave_a2
../maas_maatr/ma_tbmzgzl_a1
../maas_maatr/ma_kadmwl3_a1
# correctie stuw grave
../maas_maatr/ma_stuwgra_a1
# Einde van de maatregel lijst
```

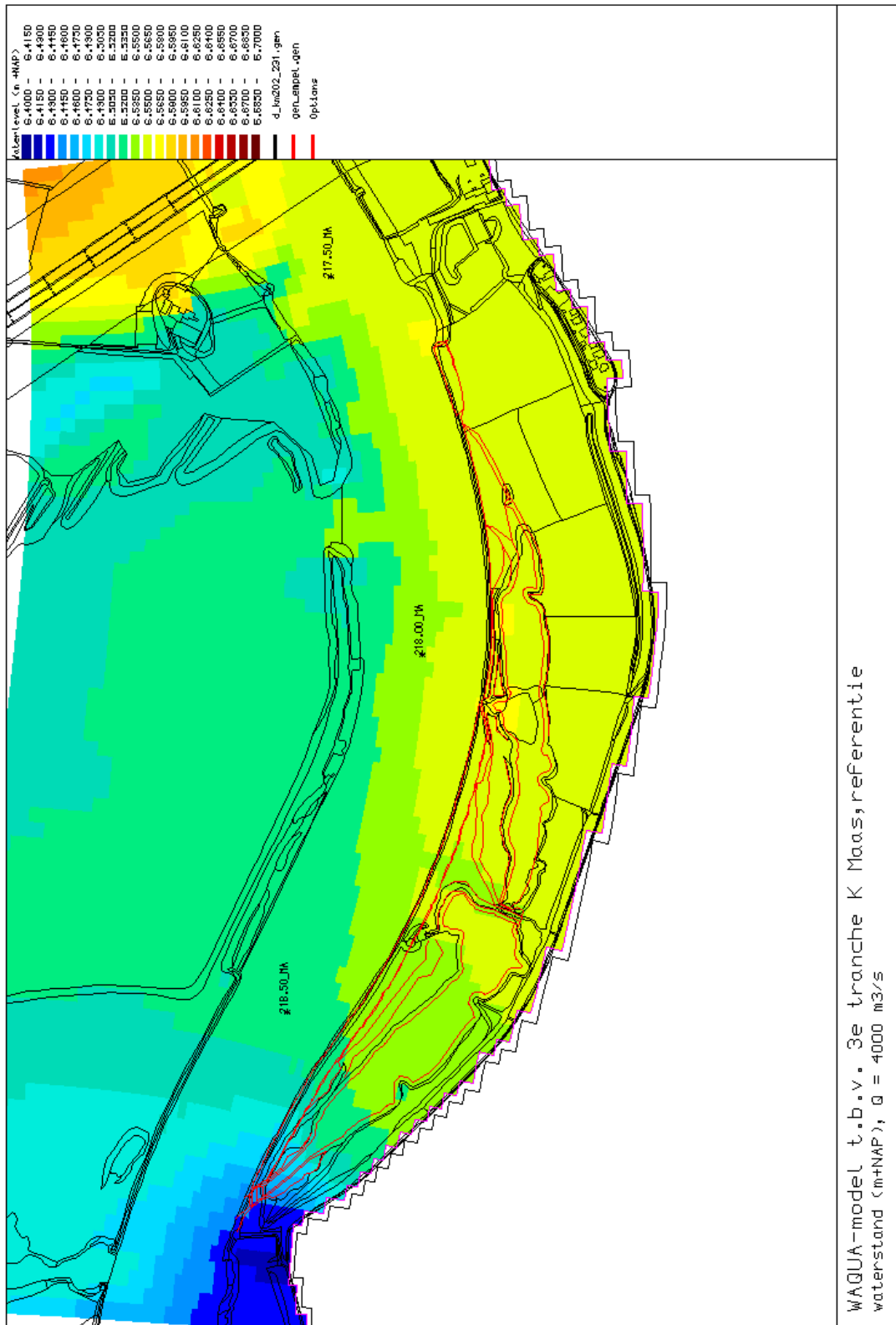
Bijlage 2a: Absolute waterstand (m) referentie (KRW3_00) – Q = 3.435 m³/s



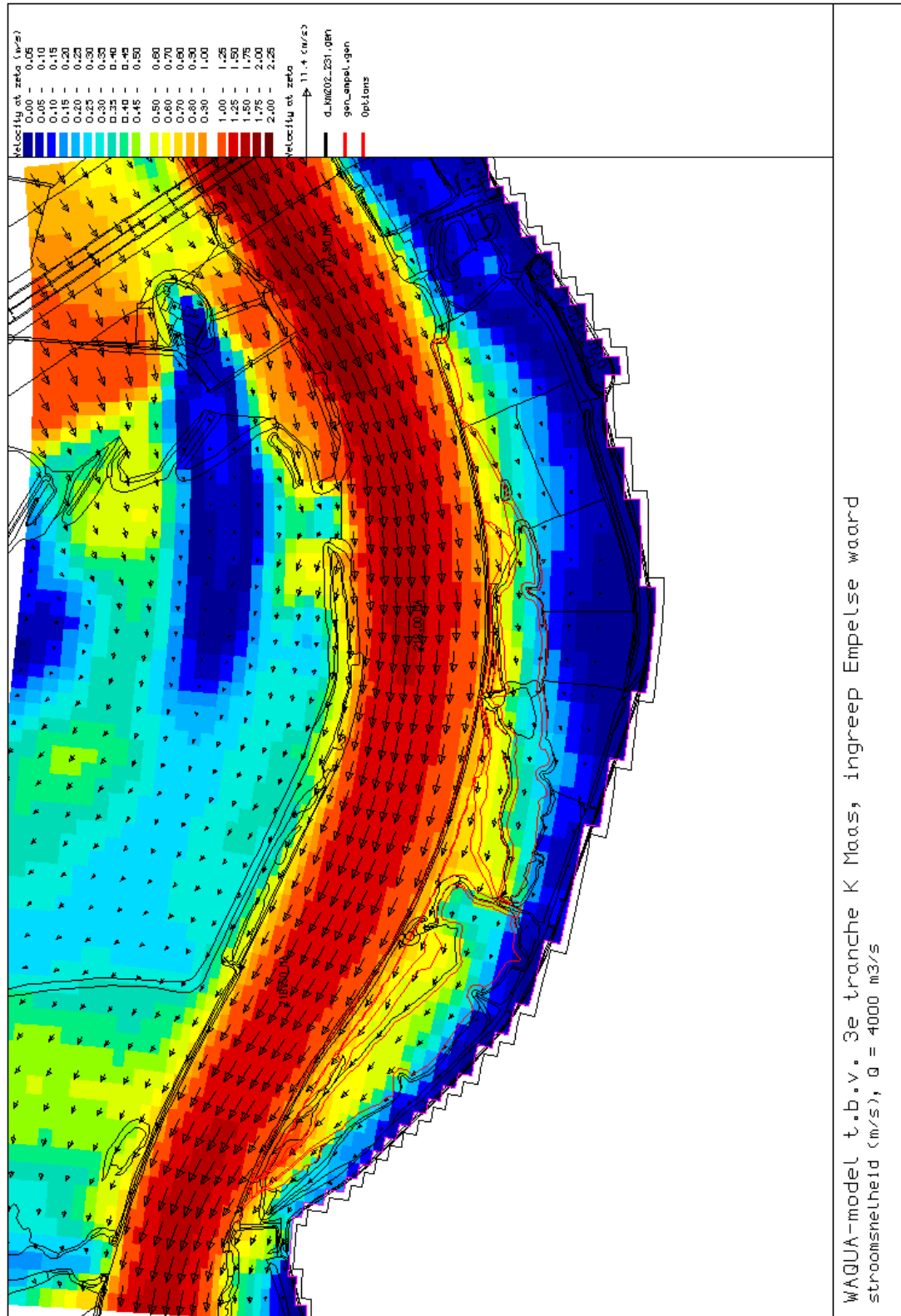
Bijlage 2b: Absolute stroomsnelheid (m/s) referentie (KRW3_00) – $Q = 3.435 \text{ m}^3/\text{s}$



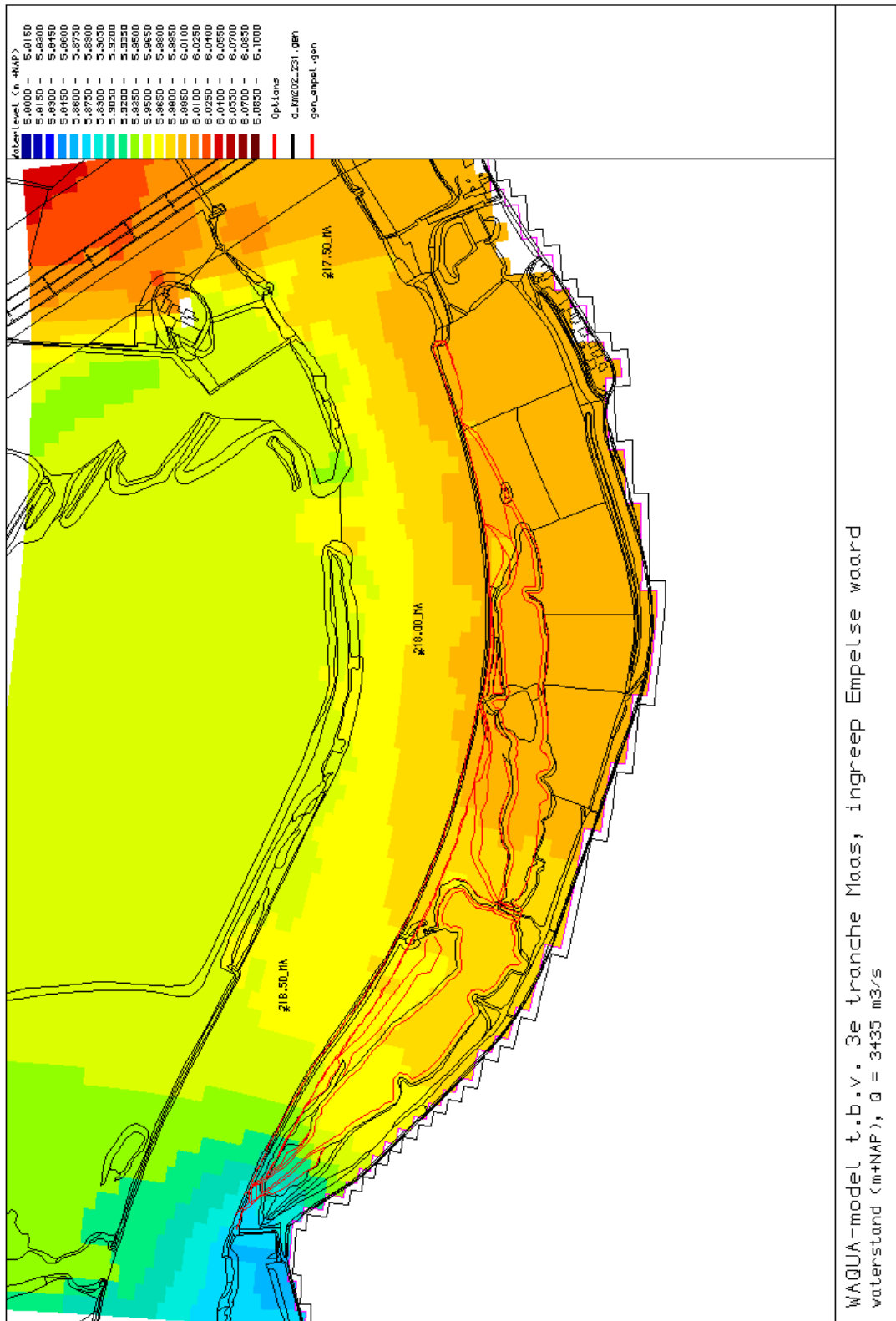
Bijlage 2c: Absolute waterstand (m) referentie (KRW3_00) – Q = 4.000 m³/s



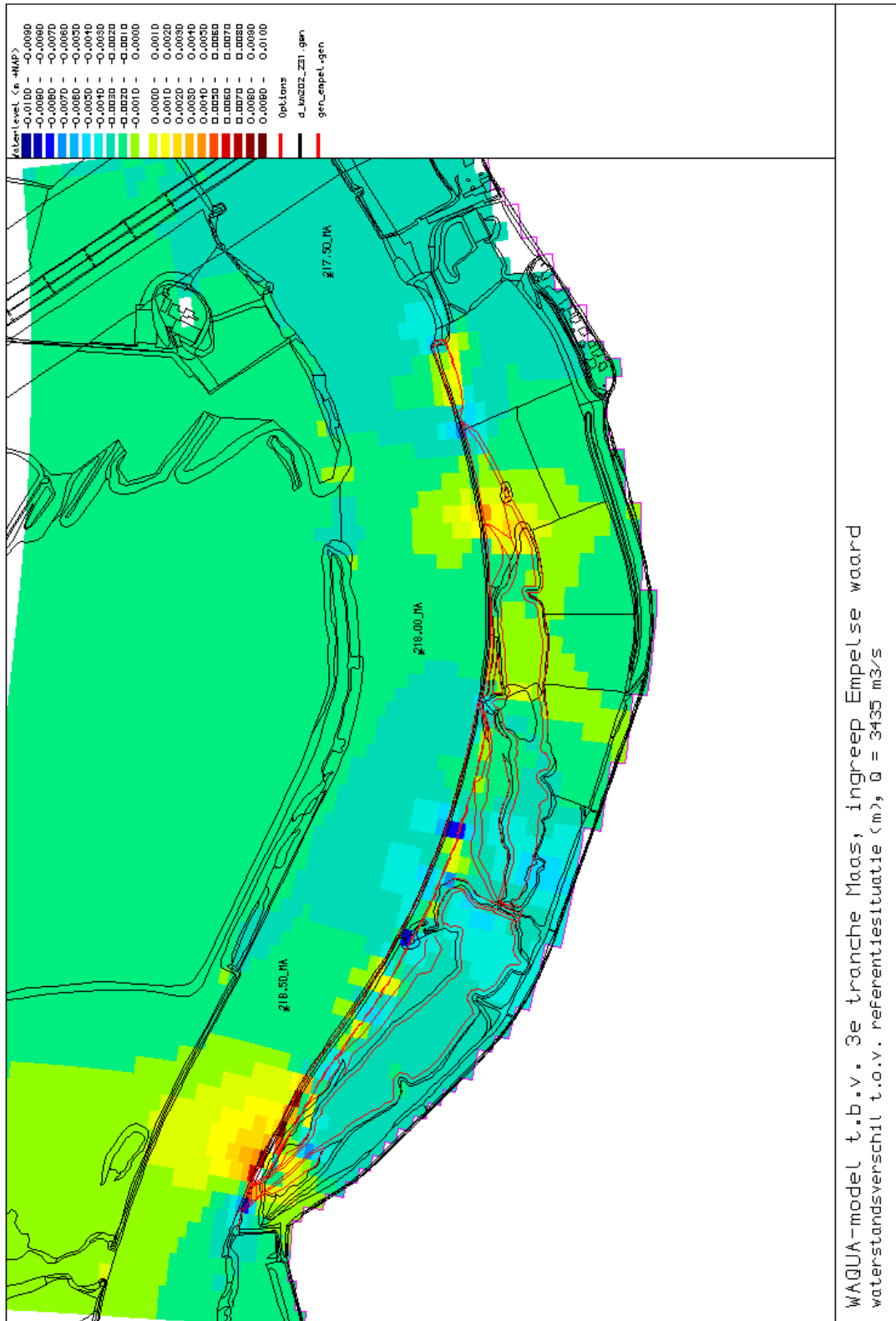
Bijlage 2d: Absolute stroomsnelheid (m/s) referentie (KRW3_00) – Q = 4.000 m³/s



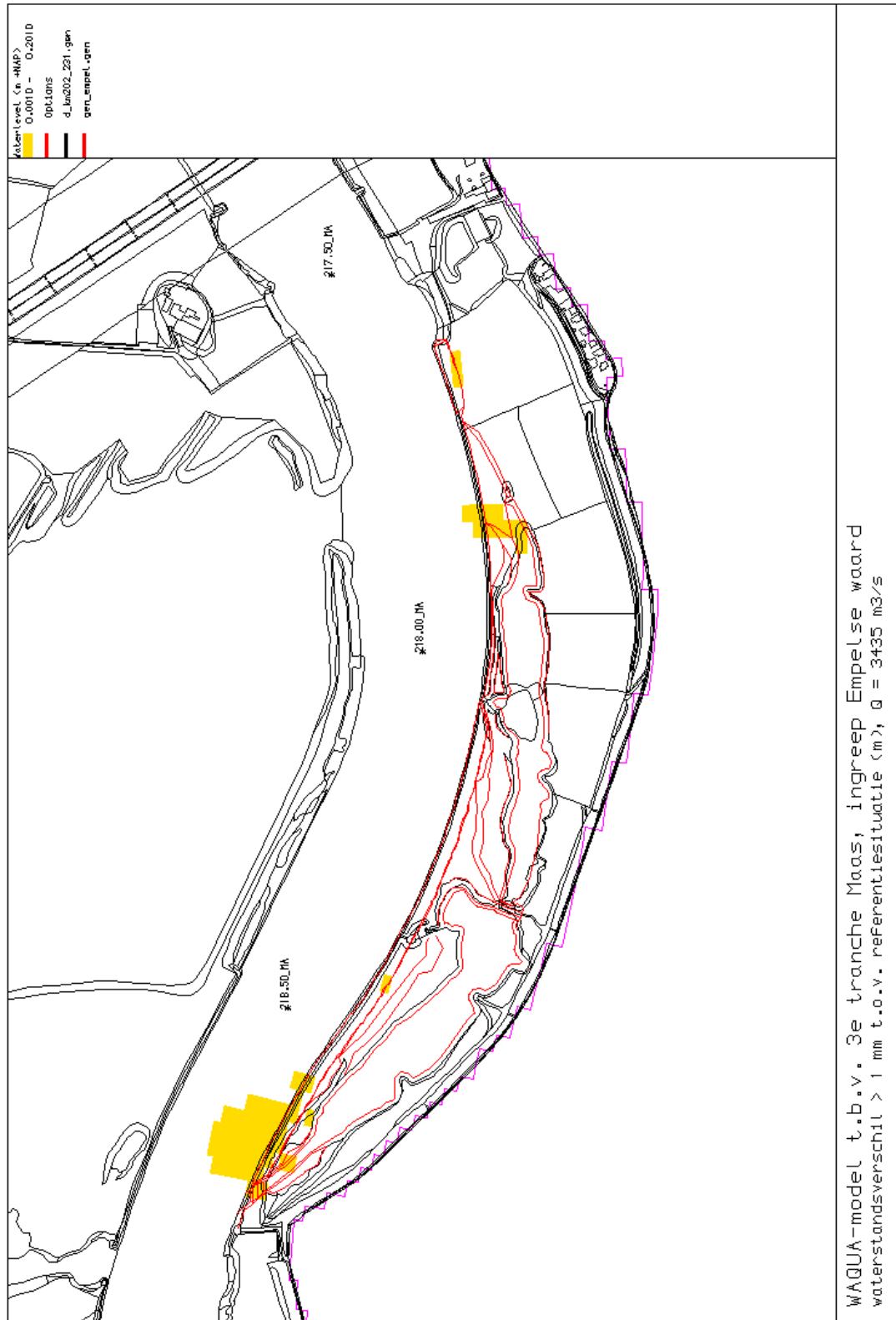
Bijlage 3a: Absolute waterstand (m) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 3.435 m³/s



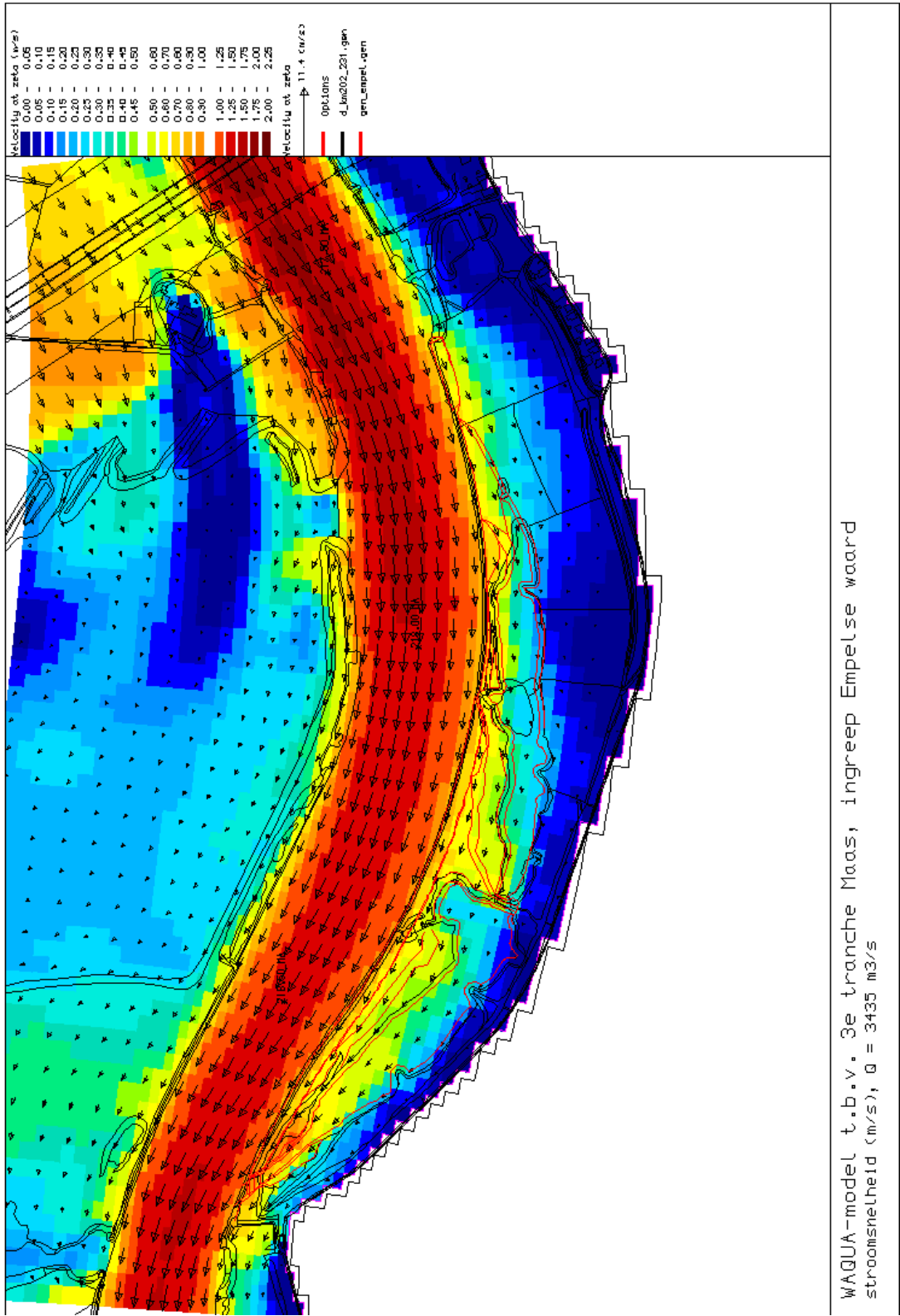
Bijlage 3b: Waterstandsverschil (m) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 3.435 m³/s



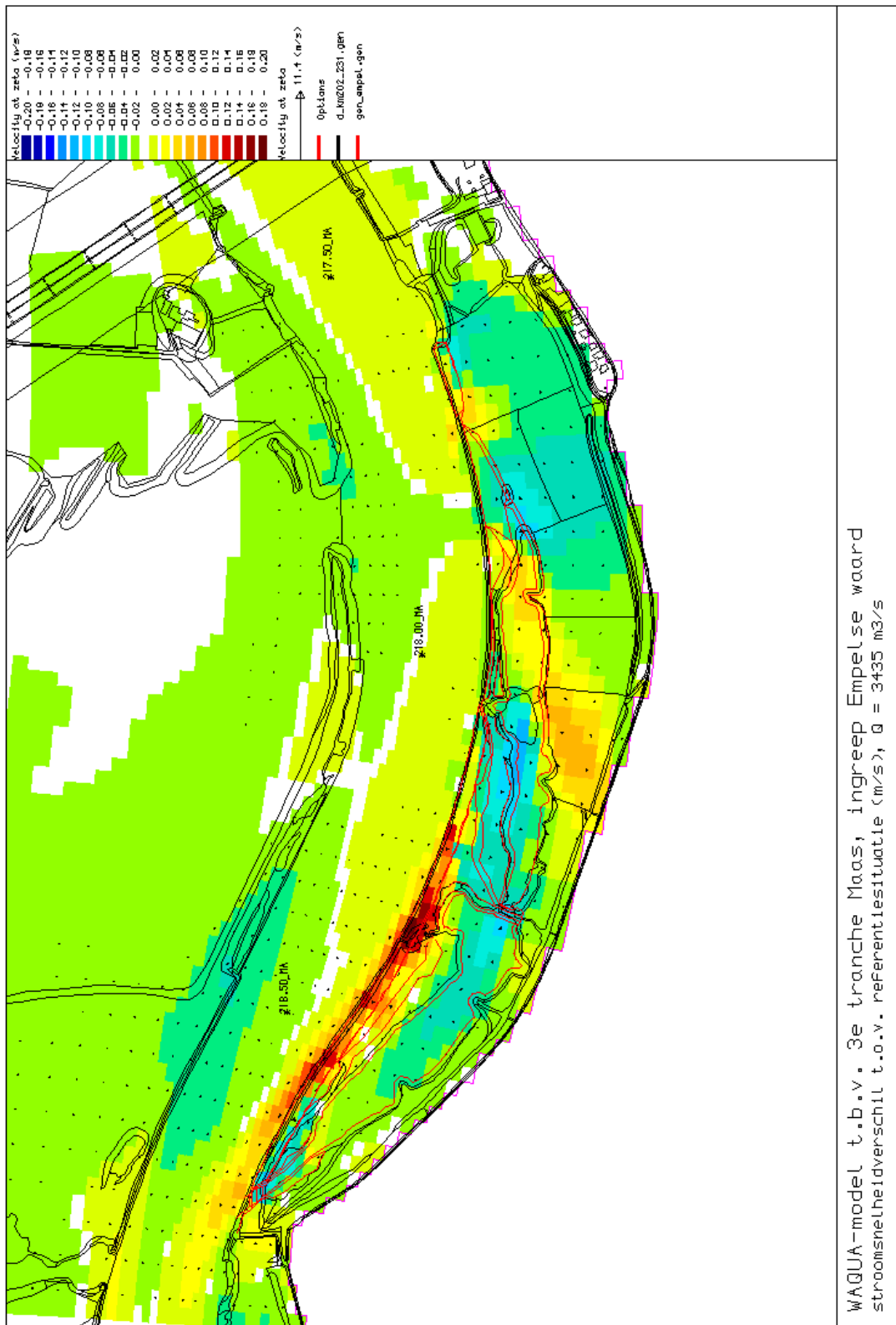
**Bijlage 3c: Waterstandsverschil (m) > 1mm Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie –
Q = 3.435 m³/s**



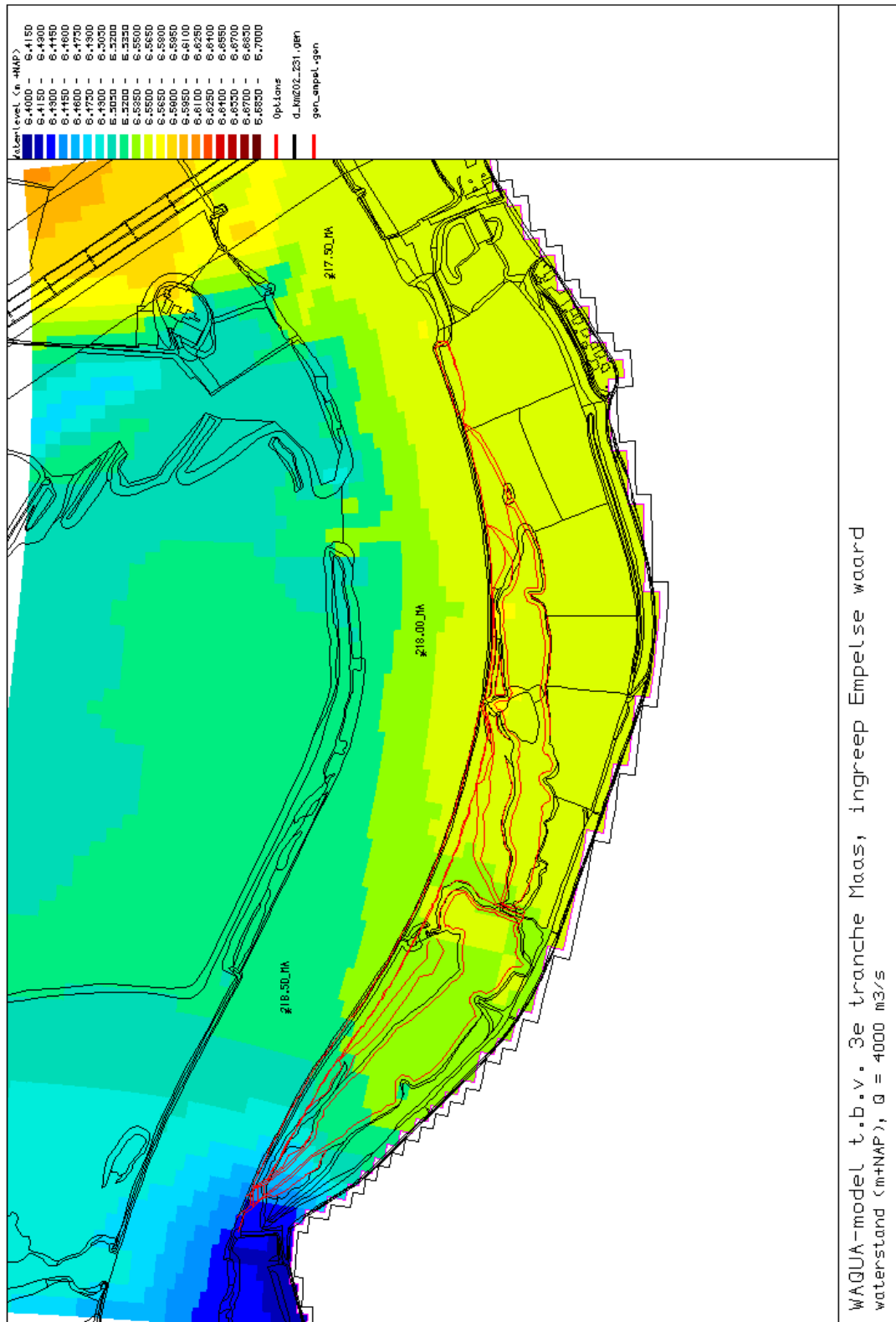
Bijlage 3d: Absolute stroomsnelheid (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 3.435 m³/s



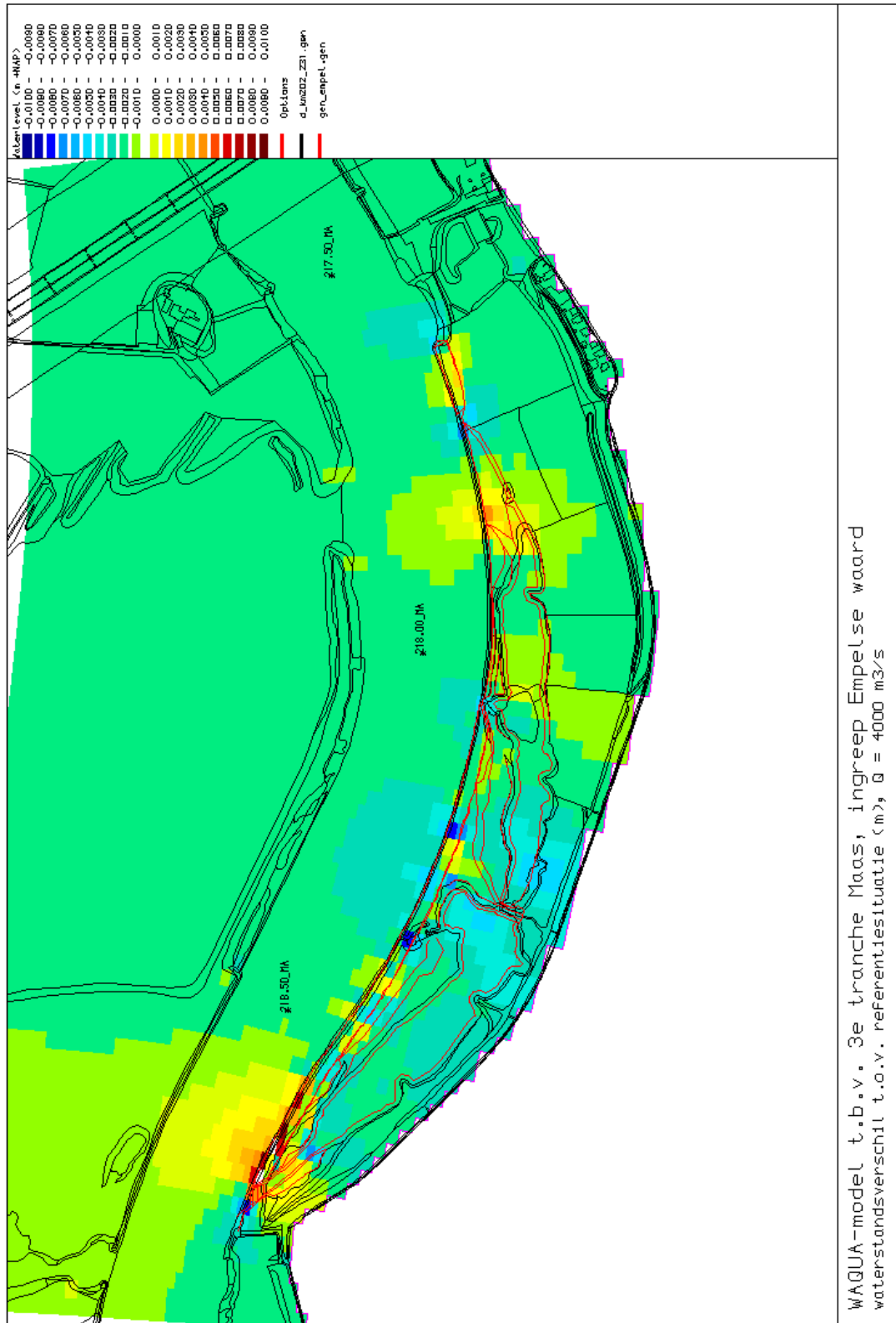
Bijlage 3e: Stroomsnelheidsverschil (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 3.435 m³/s



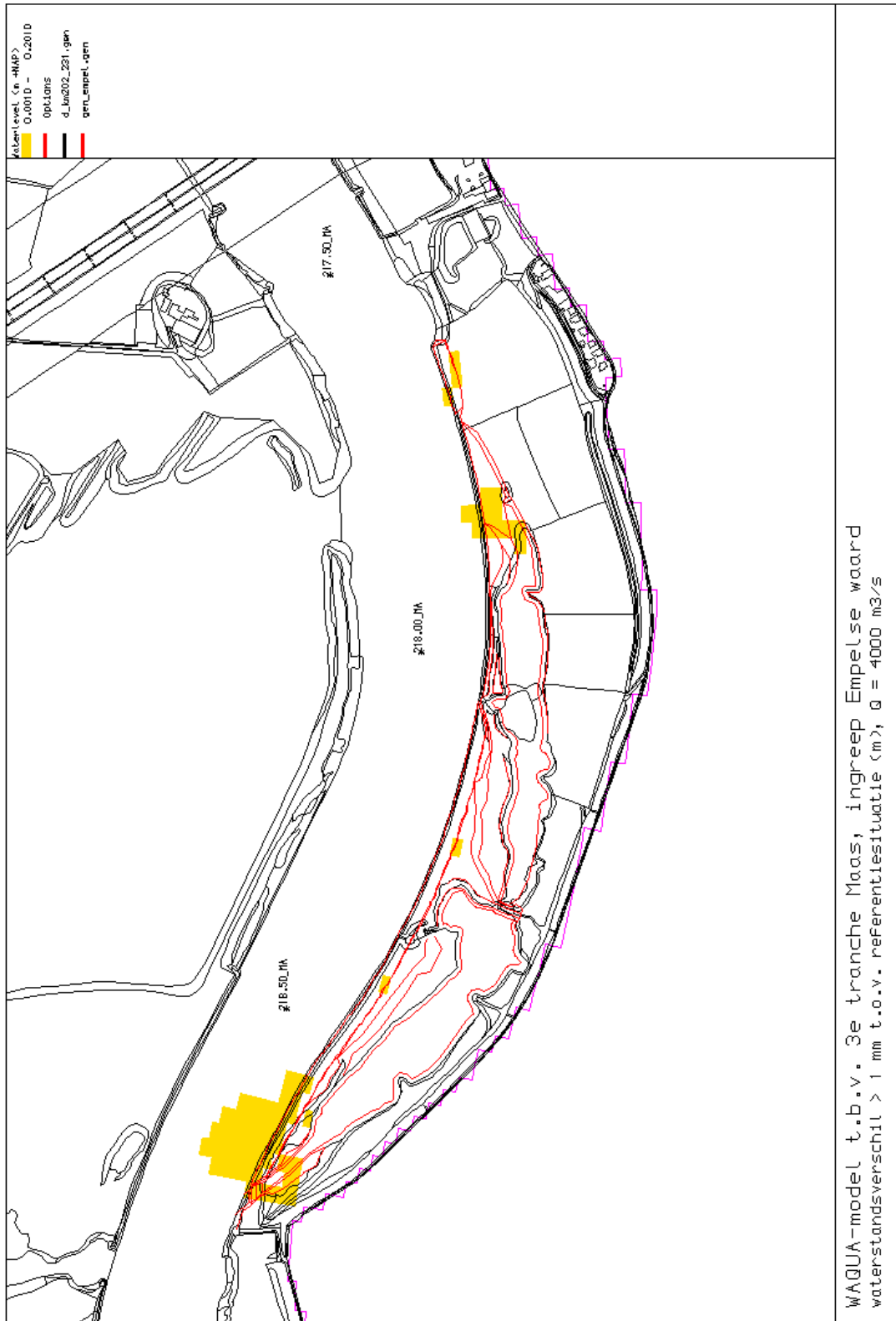
Bijlage 4a: Absolute waterstand (m) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 4.000 m³/s



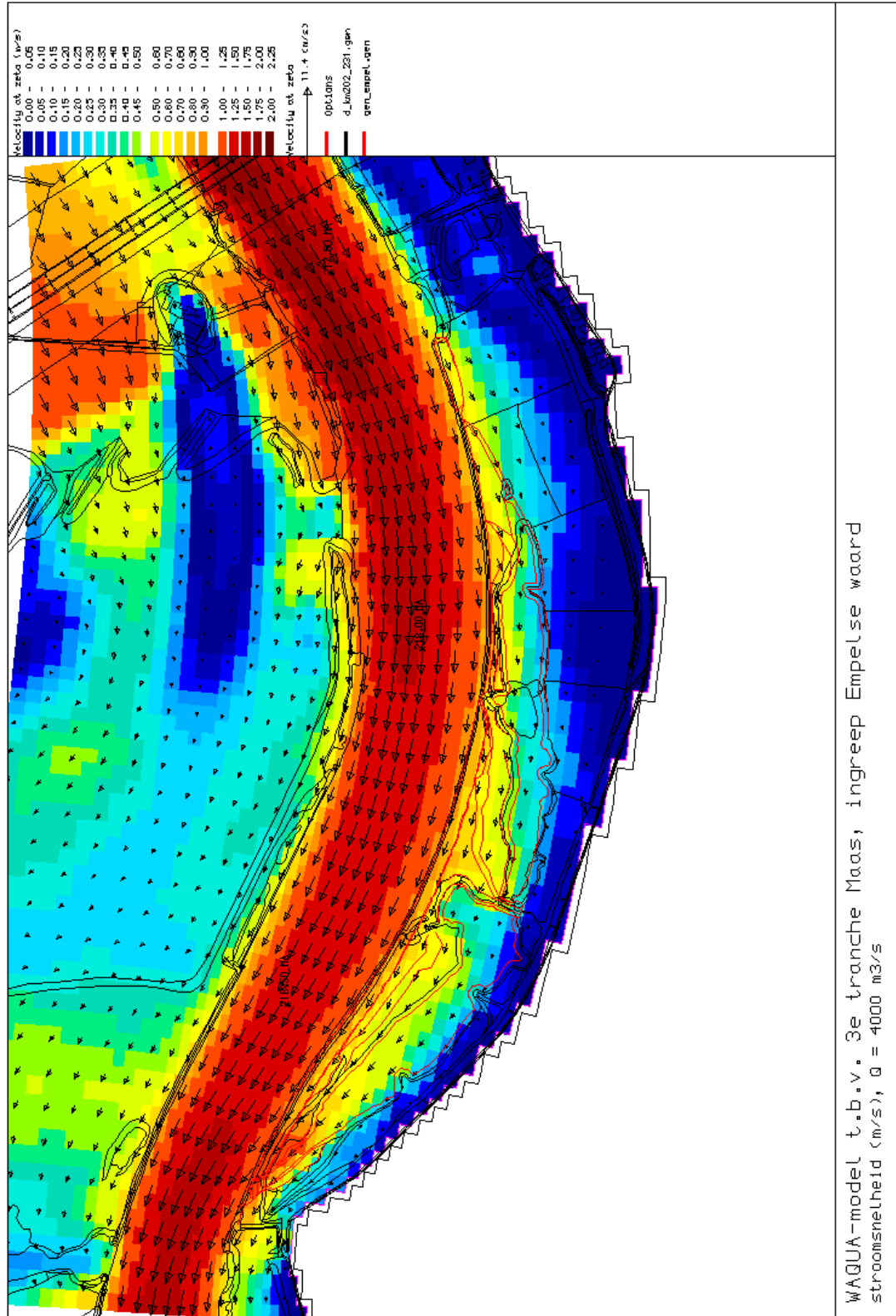
Bijlage 4b: Waterstandsverschil (m) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 4.000 m³/s



**Bijlage 4c: Waterstandsverschil (m) > 1mm Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie –
Q = 4.000 m³/s**



Bijlage 4d: Absolute stroomsnelheid (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) – Q = 4.000 m³/s



Bijlage 4e: Stroomsnelheidsverschil (m/s) Empelse Waard (KRW3_21) t.o.v. referentie – Q = 4.000 m³/s

