

Routeoptimalisatie

Ǝen financiële analyseƎ



Sebastiaan Keus

MasterƎ Thesis



vrije Universiteit

amsterdam



Routeoptimalisatie

ˆEen financiële analyseˆ

Sebastiaan Keus

Masterˆ Thesis



vrije Universiteit *amsterdam*

Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Exacte Wetenschappen
De Boelelaan 1081
1081 HV Amsterdam
Studie: Master mathematics
Begeleider: Dr. Sandjai Bhulai
Tweede lezer: Dr. Iris F.A. Vis



Corus
Wenckebachstraat 1
1951 JZ Velsen-Noord
Begeleiders: André Gillebaart
& Jean-Pierre Westerveld

November 2008

Voorwoord

Binnen de masteropleiding mathematics is er een mogelijkheid om te kiezen tussen een afstudeeropdracht en een scriptie. Mijn keuze is hierbij gevallen op de afstudeeropdracht om zo praktijkervaring op te doen en op zoek te gaan naar een potentiële werkgever voor de toekomst. Het bedrijf waar deze stage plaatsvond was Corus op de afdeling Finance & Control Projects.

Het probleem dat centraal stond bij deze stage komt voort uit het feit dat er bij Corus verschillende productieroutes mogelijk zijn voor het produceren van eenzelfde product. De keuze voor een route is vaak van te voren vastgesteld, waarbij kwaliteitseisen en logistieke randvoorwaarden een rol spelen. Financiële redenen voor de routekeuze spelen een ondergeschikte rol. De bedoeling van de stage was om te onderzoeken of er financiële redenen zijn om tot een routekeuze te komen. Daarbij wilde Corus dat er een model ontwikkeld werd om door middel van vuistregels tot deze routekeuze te komen mochten er significante verschillen te vinden zijn.

Op deze plaats wil ik graag een aantal mensen bedanken. Vanuit Corus zijn dit de mensen van de projectgroep waarmee veelvuldig afspraken zijn gemaakt om het onderwerp te sturen en mensen te interesseren, zodat er verder wordt gegaan met het onderwerp wanneer deze stage wordt beëindigd. Deze projectgroep bestond uit: Gabby Limpens, Jos Aalders, Ardy Duwel en Jean-Pierre Westerveld. Daarbij wilde ik de mensen op de afdeling Projects bedanken voor de leuke periode die ik heb gehad tijdens de stage en mijn begeleiders André Gillebaart en Jean-Pierre Westerveld voor het beantwoorden van alle vragen. Speciaal wilde ik hiervan Jean-Pierre bedanken, omdat hij het grootste gedeelte van de begeleiding op zich heeft genomen. Verder wilde ik van de Vrije Universiteit mijn begeleider Sandjai Bhulai bedanken voor de hulp bij deze stage en Iris Vis in haar rol van tweede lezer.

Sebastiaan Keus
November 2008

Samenvatting

Het probleem dat centraal staat in dit onderzoek komt voort uit het feit dat er bij Corus verschillende productieroutes mogelijk zijn voor het produceren van eenzelfde product. De keuze voor een route is vaak van te voren vastgesteld, waarbij kwaliteitseisen en logistieke randvoorwaarden een rol spelen. Financiële redenen voor de routekeuze spelen een ondergeschikte rol. De bedoeling van dit onderzoek is om te onderzoeken of er financiële redenen zijn, voor het verzinkte pakket, om tot een routekeuze te komen. Daarbij wilde Corus dat er een model ontwikkeld werd om door middel van vuistregels tot deze routekeuze te komen mochten er significante verschillen te vinden zijn.

Om dit te analyseren zijn er 2 modellen gemaakt; het RCO-model en het RPO-model. Bij beide modellen is de dekkingsbijdrage als objectfunctie gebruikt. Het RPO-model is gebruikt om tot de beoogde vuistregels te komen. Het is een lineair programmeringsmodel waarmee de productieorders de mogelijkheid krijgen om een alternatieve route te kiezen. Op deze manier wordt er onderzocht hoe deze productieorders beter ingedeeld hadden kunnen worden, waarmee er vuistregels kunnen worden gemaakt voor de volgende periode. Binnen het model wordt er rekening gehouden met o.a.: variabele kosten, rendementen, installatiecapaciteit, tempo, installatielimieten, het orderpakket, bottlenecks en of een route wordt toegestaan door Receptuur.

Met het herindelen van de productieroutes is er een winst te behalen van 1,05 miljoen euro per kwartaal, waarbij de euro is geschaald zijn om het verslag publiekelijk te maken. Dit komt door te besparen op variabele kosten en door de capaciteit die ontstaat op te vullen met plak. Er zijn dus financiële redenen om tot een routekeuze te komen. Aan de hand van deze herindeling van de productieorders worden er in dit onderzoek vuistregels gemaakt voor de producten DX51D en H340LAD. Ook kan geconcludeerd worden dat de verdringingskosten en dus de marktontwikkeling en de bezettingsgraad van de installaties belangrijk zijn voor de herindeling van de orders.

Een aanbeveling is om dit onderzoek uit te breiden naar het hele orderpakket zodat er niet alleen op het verzinkte pakket heringedeeld kan worden, maar op alle producten. Op deze manier heeft het model meer keuzevrijheid waardoor er meer capaciteit vrij kan komen. Een andere aanbeveling is om dit onderzoek regelmatig te evalueren, omdat het afhankelijk is van de marktontwikkeling, hierdoor kunnen de vuistregels veranderen in de loop van de tijd.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting.....	iii
Inhoudsopgave.....	iv
Hoofdstuk 1: Inleiding.....	1
1.1 Algemene informatie Corus	1
1.2 Probleemstelling	2
1.3 Plaats van onderzoek binnen organisatie	4
1.4 Structuur van verslag.....	5
Hoofdstuk 2: Het productieproces	8
Hoofdstuk 3: Literatuur.....	16
Hoofdstuk 4: Mathematisch Programmeren.....	21
4.1 Lineair programmeren (LP).....	21
4.1.1 <i>Simplex Methode</i>	22
4.2 Mixed integer programming (MIP)	24
4.2.1 <i>Branch-and-Bound</i>	25
4.3 Gevoeligheidsanalyse.....	26
4.3.1 <i>Schaduw prijzen en gereduceerde kosten</i>	27
4.4 Verdringingskosten	28
4.5 Toepassing.....	30
Hoofdstuk 5: Modellen	39
5.1 Input Modellen.....	39
5.2 Het RCO-Model.....	41
5.2 Het RCO-Model.....	42
5.2.1 <i>Toelichting Model RCO</i>	42
5.2.2 <i>Complete RCO Model</i>	48
5.3 Het RPO-Model	49
5.3.1 <i>Toelichting Model RPO</i>	50
5.3.2 <i>Complete RPO Model</i>	53
5.4 Rekening.....	54
Hoofdstuk 6: Resultaten	55
6.1 Resultaten RCO-Model.....	55
6.1.1 <i>Werking Modellen</i>	55
6.1.2 <i>Toepassing RCO-Model</i>	57
6.2 Resultaten RPO-Model.....	59
6.2.1 <i>Tijden en volumes</i>	59
6.2.2 <i>Dekkingsbijdrage</i>	65

6.2.3 Route-indeling DX51D	68
6.2.4 Vuistregels DX51D	73
6.2.5 Route-indeling H340LAD	76
6.2.6 Vuistregels H340LAD.....	78
6.2.6 Koudwalsgrens.....	79
Hoofdstuk 7: Variaties op modellen	81
7.1 WSN gewichtsrestrictie	81
7.2 KW21 ook bottleneck	82
7.3 DVL3 in model	84
7.4 Potentiële toepassingen	87
Hoofdstuk 8: Conclusies en aanbevelingen.....	89
8.1 Conclusies	89
8.2 Aanbevelingen.....	90
Bronvermelding.....	91
Appendix A: CSPIJ flowchart	93
Appendix B: Tempomodellen	94

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Algemene informatie Corus

Corus is een Nederlands-Brits-Indiaas multinational en een groot staalconcern binnen Europa. Op de wereldranglijst is Corus op de achtste plaats te vinden. Corus IJmuiden wordt soms ook wel Hoogovens genoemd, wat verwijst naar de vroegere naam van het Nederlandse deel.

Corus ontstond in oktober 1999 door een fusie tussen Koninklijke Hoogovens en British Steel. Dit bedrijf werd in 1988 onder de regering van de Britse premier Margaret Thatcher geprivatiseerd. De fusie zorgde voor veel commotie onder de Nederlanders, omdat zij wederom een Nederlandse gigant zagen verdwijnen in (gedeeltelijk) buitenlandse handen. Echter dit gold ook voor de Britten.

Corus heeft belangrijke productielocaties in Nederland, het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, België, Frankrijk en Noorwegen. Het hoofdkantoor staat in Londen. Bij Corus werken 41.000 mensen in meer dan veertig landen, waarvan ongeveer 9.100 in Nederland.

Het Indiase staalbedrijf Tata Steel heeft Corus op 3 april 2007 overgenomen voor een bedrag van 8,1 miljard euro. Met deze overname is Tata-Corus op de wereldranglijst van staalproducenten gestegen van de achtste plaats naar de vijfde plaats. Tata heeft de overname gedaan omdat het past in de ambitie om haar staalvolume te vergroten tot 40 miljoen ton per jaar. Tata beschikt over mijnen en is bezig haar productiecapaciteit uit te breiden door nieuwe fabrieken neer te zetten in India. Corus zal gaan profiteren van betere toegang tot erts en kolen uit eigen mijnen of van de halffabricaten die door de nieuwe fabrieken worden geleverd. Via Corus heeft Tata toegang tot de Europese markt, hoogwaardige technologie en wordt een grote stap gezet in Tata's ambitie om snel te groeien.

Ook het Braziliaanse staalbedrijf CSN was in Corus geïnteresseerd, in november 2006 heeft CSN een bod op Corus uitgebracht. Door middel van een veiling heeft de Britse fusie autoriteit op 31 januari 2007 duidelijkheid gebracht over de overname. Tata Steel kwam als winnaar uit de bus.

Corus IJmuiden is het grootste aaneengesloten bedrijfsterrein van Nederland. De oppervlakte is 750 hectare, wat te vergelijken valt met de gemeente Bussum of 1154 voetbalvelden. Het ligt aan beide kanten van de sluizen van IJmuiden, dus zowel de binnenvaart als de zeevaart kan aanmeren aan één van de vier havens om hun lading te laden of te lossen. Binnen Nederland produceert Corus vooral hoogwaardig bekleed staal in de vorm van rollen. De staalproductie van

Corus in Nederland is ongeveer 6,9 miljoen ton staal. Het wordt vooral gebruikt in de auto-industrie, de bouw en de verpakkingindustrie (denk aan blikjes en spuitbussen). Met een jaaromzet van 3,2 miljard euro is Corus IJmuiden één van de grootste Nederlandse bedrijven en daarnaast een van de weinige grote Nederlandse bedrijven actief in de basisindustrie. De winst over 2007 bedroeg 700 miljoen euro.

Corus produceert in hoofdzaak voor klanten in drie markten: de verpakkingindustrie, de bouw en de automobielindustrie. Daarnaast levert het bedrijf aan klanten die actief zijn in markten voor onder meer huishoudelijke apparaten, industrievoertuigen, machines en gereedschappen. Voorbeelden van aansprekende toepassingen waarin staal van Corus is verwerkt, zijn de Renault Clio (Europese auto van het jaar 2006) en het hoofdkantoor van ING in Amsterdam, de Amsterdam Arena, het nieuwe AZ-stadion in Alkmaar, de nieuwe pieren van Schiphol en de Erasmusbrug in Rotterdam.

De afdeling waaronder deze stage valt is: F&C-PRJ (Finance & Controle - Projects) en heeft de taken: het doen van bedrijfseconomische / technisch economische analyses ten behoeve van de business unit Corus Strip Products IJmuiden (CSPY), zoals (niet uitputtend):

- Financiële beoordeling voorgenomen investeringen,
- Evaluatie gedane investeringen,
- Financiële aantrekkelijkheid van strategische ontwikkelingen en plannen,
- Business cases van nieuw te ontwikkelen producten,
- Kostprijsvergelijkingen met andere staalbedrijven binnen en buiten Corus,
- Beoordelen financiële aantrekkelijkheid joint ventures en acquisities,
- Concurrentieanalyse en
- Product-mix optimalisatie.

Naast CSPY bestaat in IJmuiden ook de business unit Corus Packaging Plus (CPPY), waar rollen staat geproduceerd worden voor de verpakkingindustrie.

1.2 Probleemstelling

Corus is een geïntegreerd staalbedrijf dat via verschillende fabrieken diverse producten maakt. De productie van staal bij Corus wordt getriggerd door de vraag naar een specifiek product. Dit product wordt gekarakteriseerd door technische eisen, zoals dikte of beheersing van het materiaal of mechanische eigenschappen. De manier om aan deze eisen te voldoen is door een serie van productiestappen te doorlopen om zo van ruw materiaal tot een eindproduct te komen. Een dergelijke serie van productiestappen wordt ook wel een (productie)route genoemd. Er zijn vaak verschillende productieroutes mogelijk voor het produceren van eenzelfde product. De keuze voor een route is vaak van te voren vastgesteld, waarbij kwaliteitseisen en logistieke

randvoorwaarden een rol spelen. Financiële redenen voor de routekeuze spelen momenteel een ondergeschikte rol. Het kan dus zo zijn dat om financiële redenen andere routekeuzes gemaakt zouden worden. Door de komst van nieuwe fabrieken wordt het aantal parallelle routes nog groter en is er gebrek aan overzicht over de optimale benutting van de verschillende installaties. Ook wordt er bij Corus uitgegaan van het idee; 'Langste route vol'. Dit houdt in dat Corus de installaties verder in de productie keten zo vol mogelijk wil hebben. Men denkt dat dit altijd het beste is voor het bedrijf, maar is dit ook zo? Er zal worden onderzocht hoeveel producten in het begin van het productieproces moeten gaan opbrengen om het materiaal niet meer verder downstream te sturen.

Voor Corus is het van belang dat de routes optimaal worden gebruikt, op deze manier kan er meer winst worden gemaakt. In deze stageopdracht zal er vooral gekeken worden naar wat de financiële voordelen zijn voor de verschillende routes en niet specifiek naar de logistieke planning van de orders. Essentiële aspecten van de logistieke planning zullen wel meegenomen worden, maar de meer specifieke eisen per fabriek zullen verwaarloosd worden; bijvoorbeeld aan het vliegereffect op de walsinstallaties en de oneindige band bij de beitsbanen zal geen aandacht worden besteed. Met het vliegereffect wordt bedoeld dat de volgorde van het produceren van verschillende producten afhangt van het slijten van de wals. Als er een nieuwe wals geplaatst wordt kan er in eerste instantie alleen smal materiaal worden geproduceerd, vervolgens wordt dit steeds dikker en op een gegeven moment wordt dit weer smaller, waardoor het effect wordt verkregen van een vlieger. Ook de oneindige band heeft te maken met volgorde van het produceren. In de beitsbanen worden de rollen staal aan elkaar gelast om zo een oneindige band te krijgen en het proces vloeiend te laten verlopen. Echter, niet elk product kan aan elk ander product worden gelast. Dit ligt aan de breedte en de dikte van de verschillende opeenvolgende rollen.

De bedoeling is om een model op te zetten en zo de financiële routekeuze te onderzoeken. Het zal een eerste stap zijn in de ontwikkeling van een bruikbare financiële tool voor routeoptimalisatie. Met dit model zal de volgende onderzoeksvraag worden geanalyseerd:

Wat zijn de financieel optimale productieroutes voor orders bij een gegeven orderpakket en capaciteitsbenutting van de installaties?

Het model moet voeding geven aan algemene richtlijnen over routekeuzes, het moet komen tot vuistregels van bepaalde producten over de indeling van de productieroutes. Hierbij wordt onderzocht of er een ranking is te maken van financiële factoren. In dit onderzoek zullen vooral 2 producten worden bekeken, namelijk de DX51D en de H340LAD.

De voorwaarden waar rekening mee wordt gehouden zijn:

- Variabele kosten (De productiekosten per fabriek, voorraadkosten, transportkosten, legeringskosten en energiekosten)
- Materiaalverliezen per productiestap (rendementen),
- Installatiebeschikbaarheid,
- Snelheid waarmee de productie plaatsvindt op een installatie, impliciet zullen hier ook de omsteltijden worden meegenomen,
- De installatielimieten die een fabriek met zich meebrengen,
- Orderpakket,
- Maximale hoeveelheid te produceren staal,
- Bottlenecks,
- Een order moet over dezelfde lijn,
- Receptuur¹.

Het model zal flexibel opgezet worden, zodat specifieke logistieke details in een later stadium alsnog meegenomen kunnen worden. Hierdoor kan het model realistisch en bruikbaar worden gemaakt voor Corus.

De cijfers in dit onderzoek zijn versleuteld zodat het in een scriptie gepubliceerd kan worden. De werkelijke getallen zijn vertrouwelijk. Hierbij moet gedacht worden aan kostprijzen, opbrengsten, dekkingsbijdrage, gereduceerde kosten etc. De euro's in dit rapport zijn fictief.

1.3 Plaats van onderzoek binnen organisatie

Zoals eerder vermeld worden er nieuwe fabrieken gebouwd op het corus terrein, daarom zijn er meerdere projecten die in die richting opereren. Zo loopt er een project *flexibele route keuze* (FRK), waarbij ze de organisatie binnen Corus willen veranderen. Op het moment is het namelijk zo dat de afdeling sales geen eindproducten verkoopt, maar *installatiecapaciteit* wat dus inhoudt dat ze daar de routes kiezen. Dit willen ze reorganiseren.

Het moet zo gaan veranderen dat verschillende afdelingen adviezen gaan geven over wat de afdeling sales voor eindproduct moet gaan verkopen. Zo worden er voorspellingen gedaan door:

- Sales (Wat is de verwachte vraag voor komende tijd?),
- Financieel (Welke producten leveren het meeste op met de huidige vraag?),
- Supply Chain Planning (SCP) (Welke routes moeten worden gebruikt?).

Met lopende contracten moet ook rekening worden gehouden.

¹ Met Receptuur wordt bedoeld dat de routes worden goedgekeurd door de afdeling receptuur. Dit is productafhankelijk, omdat niet ieder product over iedere route geproduceerd mag worden.

Daarbij is er een vaste Product Specificatie (PS) wat inhoudt dat er per product met bepaalde eigenschappen wordt vastgesteld welke routes er mogelijk zijn. Het gaat dus over de maakbaarheid van het product. Vervolgens moet uit deze routes een keuze worden gemaakt. Dit zal gebeuren door adviezen van Supply chain planning en door *Financiële Routekeuze*. Dit laatste zal misschien in de uitkomst zijn van deze stage opdracht. Uit deze adviezen zal een hoofdroute voorkeur bepaling komen die wordt doorgegeven aan de sales afdeling. Echter kan het ook zo zijn dat een klant een specifieke installatie wil gebruiken, dan kan sales het alsnog omzetten mits er voldoende capaciteit is om die installatie te gebruiken (of de doorlooptijd moet worden verhoogd). Zo komt de sales afdeling tot 1 hoofdroute die zal worden doorgegeven aan ORBE om het vervolgens door te geven aan receptuur die de productieroute in gebruik zal stellen, en terug zal sturen naar ORBE. ORBE staat voor ordeberekening, hier worden alle orders bij elkaar gezet in een programma en worden de routes doorgerekend.

Echter zullen via productspecificaties de mogelijke routes en via sales de verkoopgegevens nog wel worden opgeslagen in product routes. Dit zal worden gedaan zodat in geval van;

- Onbalans (Bijvoorbeeld een installatie zit te vol),
- Calamiteit (Bijvoorbeeld een installatie valt uit),
- Gepland onderhoud,

de route alsnog kan worden omgezet, maar wel in een route die in overeenstemming is met de productspecificaties en de voorwaarde van de klant. Dit is waar het project flexibele route keuze om draait. Men wil logistiek zonder commercie of andere partijen routes kunnen herzien/omzetten in geval van onbalans, calamiteit of gepland onderhoud.

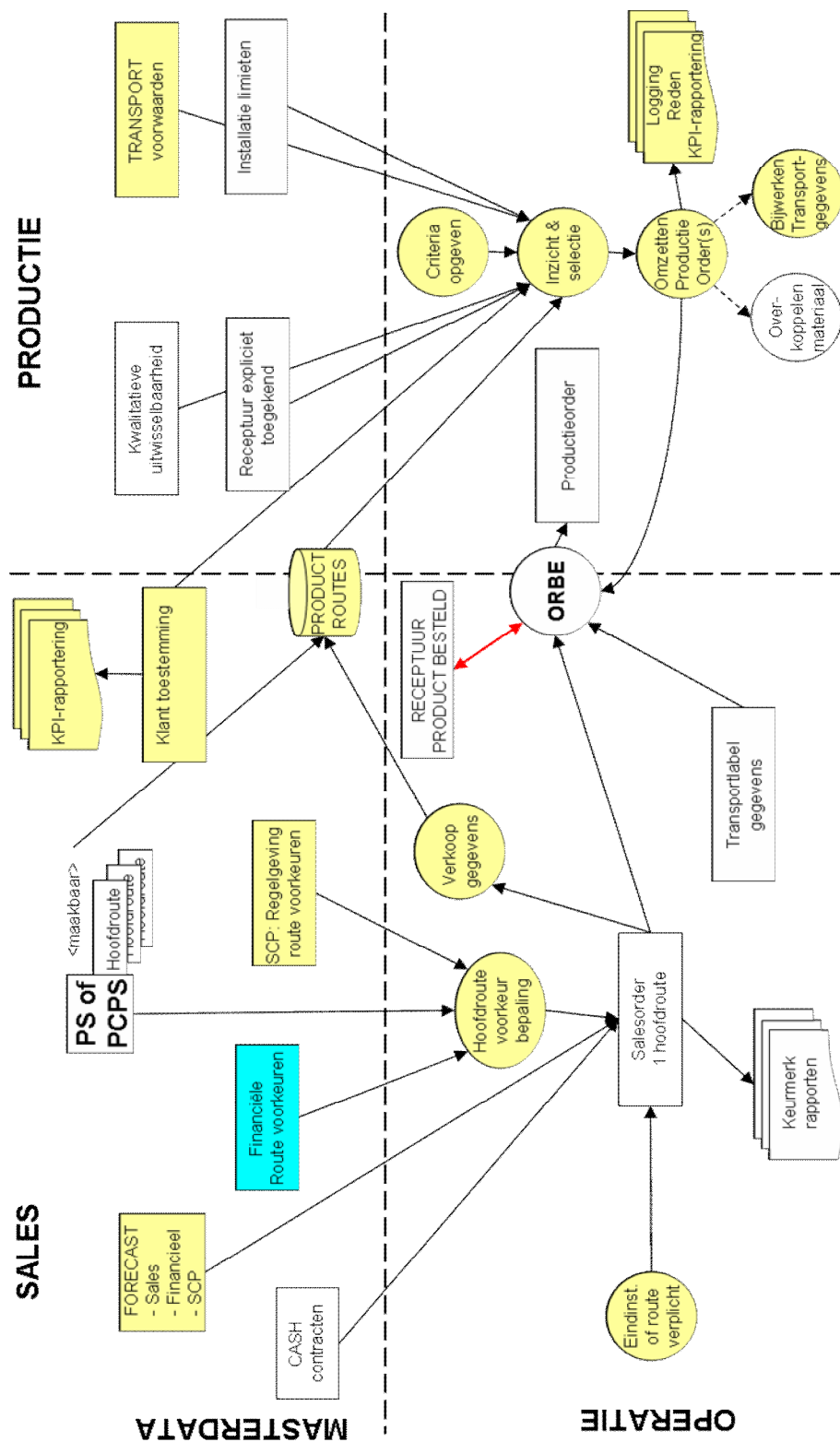
Dit wordt aan de kant van productie in figuur 1.1 weergegeven met verschillende ballonnetjes. Daar is te zien dat er met de gestelde eisen een terugkoppeling is naar ORBE, waar de productieorder zal worden omgezet. Het begin van dit verhaal wordt beschreven aan de Sales kant van de afbeelding. Met een groenblauwe kleur is dit project opgenomen in de afbeelding.

Het is niet de bedoeling om het gehele proces met alle voorwaarden te optimaliseren. Maar het moet een advies worden voor de afdeling Sales.

1.4 Structuur van verslag

In dit onderzoek zal eerst in hoofdstuk 2 worden uitgelegd hoe het productieproces bij Corus in elkaar zit. Er wordt uitgelegd welke installaties er zijn en wat deze doen. De bedoeling van dit hoofdstuk is om te begrijpen hoe het produceren van staal tot stand komt. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een literatuurstudie gedaan naar verwante artikelen aan dit onderzoek. Dan zal in hoofdstuk 4 uitgelegd worden wat voor wiskundige methodes er nodig zijn om tot de oplossing van het onderzoek te komen. Hierin zullen vooral LP- en MIP-modellen worden uitgelegd. In

hoofdstuk 5 worden de gebruikte modellen uitgelegd met de specifieke eisen die aan ieder model wordt gesteld, om vervolgens in hoofdstuk 6 de resultaten te bespreken. Dan worden er nog enkele belangrijke variaties op de modellen in hoofdstuk 7 besproken en tenslotte komen de conclusies en aanbevelingen aan bod in hoofdstuk 8.



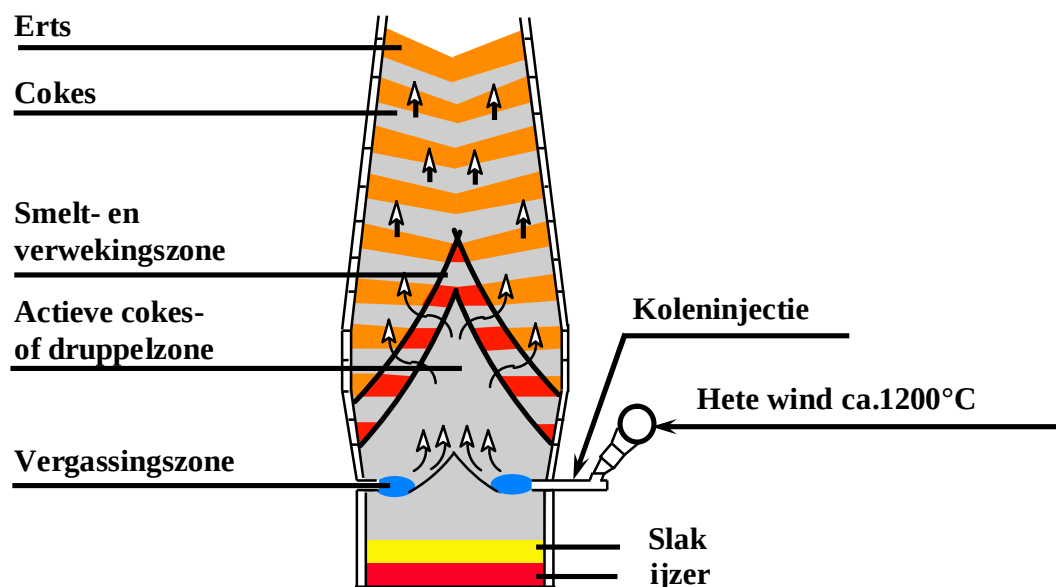
Figuur 1.1: Schema van orderplanning en orderberekening.
Bron: presentatie FRK met aanpassing van blauwe vakje.

Hoofdstuk 2: Het productieproces

Het produceren van de verschillende staalproducten begint met het voorbereiden van de verschillende grondstoffen. Dit gebeurt in de sinter-, pellets- en cokesfabriek. Door precies in de juiste proporties te mengen kan Corus een bepaalde ijzerkwaliteit garanderen. Dit gedeelte van het productieproces is echter niet van belang voor dit onderzoek, en daarom zullen de details van dit gedeelte niet verder omschreven worden.

Een hoogoven is een installatie waarin ijzererts en koolstof worden gemengd en zo sterk worden verhit dat via een aantal chemische reacties vloeibaar ijzer ontstaat dat vervolgens kan worden afgetapt. De koolstof dient tegelijkertijd als brandstof voor de verhitting en als reductiemiddel van het ijzererts. Onder reduceren verstaan we het onttrekken van zuurstof aan de ijzer-zuurstof verbinding in het ijzererts.

Bovenaan de hoogoven worden afzonderlijke lagen cokes, sinter, pellets & stukerts geladen. Beneden, aan de blaasmonden, wordt hete wind (ongeveer 1200°C) en poederkool ingeblazen, eventueel verrijkt met zuurstof. De zuurstof uit de wind vergast de koolstof uit de cokes en poederkool, onder vorming van koolstofmonoxide (CO). Het CO gas, dat een temperatuur van ongeveer 2200-2400 °C heeft, stijgt op door de lagen cokes en erts. De ijzeroxiden in de sinter, pellets en stukertsen reduceren onder deze omstandigheden tot ijzer, en smelten tot vloeibaar ijzer. Dit vloeibare ruwijzer sijpelt nu door de cokeslagen naar beneden en verzamelt zich onder in de hoogoven. Wanneer er voldoende vloeibaar ruwijzer onderaan is verzameld, wordt de



Figuur 2.1: Werking produceren van ruwijzer in hoogovens.

hoogoven onderaan opengeboord en stroomt het vloeibare ruwijzer via het tapgat naar buiten. Daar wordt het opgevangen in de torpedo treinen, die hun naam verlenen aan de vorm die ze hebben. Deze hebben een vuurvaste binnenbekleding zodat het vloeibare ijzer getransporteerd kan worden naar de staalfabriek voor verdere verwerking. Wanneer het ruwijzer uit de hoogoven is afgetapt, wordt het tapgat weer dichtgemaakt. Het aftappen duurt ongeveer 90 minuten. In figuur 2.1 is te zien hoe dit proces in zijn werk gaat.

Naast dit ruwijzer worden ook bijproducten geproduceerd als hoogovenslak en hoogovengas. Zoals uit figuur 2.1 blijkt is wordt de hoogovenslak onderin de hoogoven geproduceerd en wordt het hoogovengas boven aan de ovens opgevangen. Hoogovenslak wordt tegenwoordig gebruikt in het produceren van hoogovencement door de ENCI. Ook wordt het gebruikt als stukslak in de wegenbouw. Verder wordt een deel van het hoogovengas al dan niet verijkt met een ander gas verwerkt in het eigen bedrijf. Het overige gas wordt afgevoerd naar de elektriciteitscentrale in Velsen-Noord, die het gebruikt om energie op te wekken.

Staal is smeedbaar en vervormbaar ijzer. Deze korte algemene definitie geeft aan dat niet alles wat ijzer genoemd wordt smeedbaar en vervormbaar is. Het ruwijzer dat de hoogovens produceert heeft deze eigenschap niet. De voornaamste reden dat staal beter te vervormen is, is omdat het koolstofgehalte lager is. Hierbij geldt hoe lager het koolstofgehalte hoe beter het staal te vervormen is. Onder de 1,9% koolstof wordt het staal genoemd en daarboven ijzer.

Om van het ruwe ijzer uit de hoogovens staal te maken gaat dit naar de oxystaalfabriek. Hier wordt het ruwe ijzer met zuurstof geraffineerd tot staal en in deze fase van het proces wordt het nog oxystaal genoemd. Tijdens het staalproces in de oxystaalfabriek worden elementen als koolstof, silicium, fosfor, zwavel, mangaan, titaan, vanadium en chroom uit het ruwijzer geoxideerd (verwijderd). Bij dit oxideren komt zo enorm veel warmte vrij, het kan oplopen tot 2000 graden, dat ze naast het vloeibare ijzer uit de hoogovens ook vast materiaal toevoegen. In de praktijk is dit gewoonlijk staalschroot of erts. Eigenlijk kan het vaste materiaal dus gezien worden als een koelmiddel. Men gaat uit van een globale verhouding van 80% ruw ijzer en 20% schroot. Dit mengen gebeurt in de zogenaamde converter welke in de oxystaalfabriek staat.

Doordat bij het oxideren de eerder genoemde elementen verwijderd worden krijgt het ruwijzer een hogere stoltemperatuur en wordt het staal. De productie van staal uit ruwijzer behelst dus in de eerste plaats een vergaande ontkoling van ruwijzer. Dit is mogelijk door gebruik te maken van de sterke aantrekkingskracht die koolstof en zuurstof bij hoge temperaturen op elkaar uitoefenen. Corus produceert zijn producten op klantenorder, waarbij de oxystaalfabriek het zogenaamde klantenorder-ontkoppelpunt is. In deze fabriek worden de samenstellingen van het staal al aangepast naar de wensen van de klant door bepaalde stoffen aan het ruwijzer toe te voegen of juist te onttrekken. In iedere fabriek erna wordt gewerkt aan de eisen van de klant, denk hierbij aan breedte, dikte, oppervlaktekwaliteit etc. Over het algemeen valt het ontkoppelpunt samen

met het hoofdvoorraadpunt [1]. Bij Corus is dit echter een probleem, omdat het in dat stadium een vloeibaar product is, daarom ligt het hoofdvoorraadpunt van Corus elders.

Vervolgens gaat dit oxystaal naar een panoven. Dit is een installatie die staal in de gietpan op temperatuur kan houden, maar ook extra kan verhitten. Hierdoor ontstaat er een buffermogelijkheid tussen de converters en de gietinstallatie (wat de volgende stap is in het proces).



Figuur 2.2: Continugietmachines.

Vanuit de panoven gaan we naar de continugietmachines. Zoals de naam doet vermoeden wordt hier het vloeibare staal continu gegoten in plakken. Deze gietmachines staan ook in de oxystaalfabriek. In figuur 2.2 is te zien hoe de plakken uit de continugietmachines komen. Vervolgens worden de plakken in de afdeling rafwerking, opslag en verzending gelegd om te wachten op het volgende proces, namelijk de warmbandwalserij.

Tussen de gietmachines en de warmbandwalserij wordt een weekvoorraad aan plak gelegd. De reden hiervoor is dat wanneer de oxystaalfabriek stil komt te liggen, niet het hele bedrijf hiermee wordt geconfronteerd. De fabrieken

vanaf de warmband kunnen dan nog een week aan het werk. Mocht het hele bedrijf een week stilliggen zou dit rampzalige gevolgen kunnen hebben voor Corus. Echter deze opslag kost veel energie en tijd, omdat de plakken ondertussen afkoelen, terwijl het in de volgende stap van het proces (de warmbandwalserij) weer moet worden opgewarmd.

Een voordeel van het afkoelen van de plakken is wel dat ze dan gecontroleerd kunnen worden, mocht er dan een eventuele oppervlaktefout worden geconstateerd dan kan de plak bewerkt worden. Mocht er iets fout zijn dan kan dit dus ook eerder in het proces sneller worden hersteld.

In de warmbandwalserij worden de plakken vervolgens verwerkt tot rollen. In deze walserij kunnen de plakken zowel in breedte als in dikte worden gereduceerd. Daarnaast wordt gewerkt aan mechanische eigenschappen, staalvorm, profiel en oppervlak van het staal. Hierdoor kunnen verschillende soorten staal worden gemaakt, van zeer sterk tot dun vervormbaar staal. Deze rollen kunnen zo verkocht worden, maar het kan ook worden gebruikt als ingangsmateriaal voor de volgende schakel in de productieketen, namelijk de beitsbanen of het service center van de warmbandwalserij. In figuur 2.3 zijn de walsen te zien in de warmbandwalserij. In de afbeelding gaat er gloeiend staal door de walsen terwijl het wordt afgekoeld door het koelwater.

In het service center bevinden zich de volgende installaties: rollenopslag met koelbakken, nawals, strokenknipbaan, opslag en verzending. In de koelbakken worden een groot aantal rollen versneld afgekoeld. Om een indicatie te geven duurt het normaal afkoelen van een rol 4 tot 5 dagen, en in de afkoelbakken duurt het 6 uur. Door dit koelproces wordt de doorlooptijd verkort en dit verlaagt de tussenvoorraad. Tevens is nu een versnelde kwaliteitsinspectie mogelijk en kunnen fouten in het walsproces sneller worden teruggekoppeld. Hierdoor kan de afkeur van grote partijen voorkomen worden.

De snelheid van het koelen hangt af van de rolafmeting, materiaaldikte en oproltemperatuur. Het aantal kwaliteiten dat geforceerd gekoeld mag worden is echter beperkt, omdat de eigenschappen van staal beïnvloed worden door de snelheid waarmee het staal wordt afgekoeld.

Vanuit de rollenopslag kunnen de rollen naar een van de volgende bestemmingen worden afgevoerd: een interne of externe klant, een beitsbaan of een installatie binnen het servicecenter. Binnen het warmgewalst productenpakket kan een onderscheid gemaakt worden tussen: zwart, gebeitst en gebeitst geolied materiaal.



Figuur 2.3: Walsen in warmbandwalserij.

We vervolgen nu de weg van het staal naar de beitsbanen, hiervan zijn er 3 op het Corus terrein, die echter tot verschillende resultaatseenheden behoren. 2 van de 3 beitsbanen vallen onder Corus Strip IJmuiden, de andere valt onder CPP IJmuiden (verpakingsstaal). In een beitsrij wordt de oxidehuid van het in de warmbandwalserij of gietwalsinstallatie² geproduceerde materiaal verwijderd. De oxidehuid ontstaat doordat zuurstof uit de lucht bij hoge temperaturen gemakkelijk een verbinding aangaat met ijzer van het plaatoppervlak. Het ijzeroxide wordt vervolgens als bulkgoed in silowagens en bigbags naar verschillende klanten in diverse industrieën getransporteerd. De gebeitste rollen kunnen verder nog, door middel van kantscharen op de juiste breedte worden gebracht en eventueel worden voorzien van een oliefilm. Dit is afhankelijk van de volgende eventuele bewerkingen of de wens van de klant. Men wil de kantscharen echter zoveel mogelijk vermijden, omdat hier hoogwaardig materiaal bij verloren gaat. Dus Corus wil liever de juiste breedte elders goed krijgen door middel van walsen.

Om het proces zoveel mogelijk continu en met constante snelheid door een aantal beitsbaden te laten lopen, worden kop en staart van de rollen aan de intreezijde met een lasmachine aan elkaar gelast, waardoor er min of meer een r̃oneindige band ontstaat. Om een breuk in de lange band

² De gietwalsinstallatie wordt later nader beschreven.

te voorkomen zijn de breedte en diktesprongen tussen de opeenvolgende rollen daarbij beperkt. Verder is de beitsnelheid afhankelijk van diverse factoren, namelijk:

- De breedte en dikte van het product;
- De samenstelling van de oxidelaag van de te beitsen staalplaat;
- Activiteit van het zuurbad;
- De mate waarin het beitszuur dat direct in aanraking komt met de staalplaat steeds kan worden $\bar{n}$ ververstò(grenslaagverversing);
- De concentratie van de aanwezige ijzerzouten in het bad;
- De temperatuur en concentratie van het zuurbad.

Als het staal gebeitst is kan het materiaal verkocht worden of het kan naar de koudbandwalserij



Figuur 2.4: Fabriekshal Koudbandwalserij 21.

gebracht worden, waar nu één walserij van ter beschikking staat voor Corus Strip IJmuiden. In figuur 2.4 is de fabriekshal te zien van de koudwals 21. Op de voorgrond liggen een aantal walsen te wachten voor gebruik. Op het moment wordt er gebouwd aan een tweede koudbandwalserij, die in december 2008 in productie zal worden genomen. Het doel van het koudwalsen is de dikte van het gebeitste, warmgewalste materiaal koud verder te reduceren naar de

wens van de klant. Er zijn een aantal redenen waarom het voor een product noodzakelijk is om na de warmbandwalserij ook nog door de koudbandwalserij te gaan:

- Bij het koudwalsen is een nauwkeuriger maatvoering (dikte) mogelijk. Warmwalsen is mogelijk tot ongeveer een dikte van min 1,27 mm. Dunner warmwalsen geeft meer problemen ten aanzien van de mechanische eigenschappen en de diktebeheersing van het materiaal.
- Om dunner staal te kunnen warmwalsen zonder dat de temperatuur onder een aanvaardbaar minimum daalt, zijn zeer hoge walssnelheden nodig. Dit stelt extreem hoge eisen aan de bedrijfsvoering. Om deze reden wordt veelal gekozen voor een verdere reductie door middel van koudwalsen. Tijdens het koudwalsen wordt het warmgewalste gebeitste materiaal verder gereduceerd van bijvoorbeeld 2 mm naar 0,2 mm (in koudbandfabriek 21) of van 5 mm naar 1,5 (in koudbandfabriek 22).
- Het koudwalsen geeft aan het staal een fraaier oppervlak dan het warm gewalste product dat iets ruwer is.

- Doordat het staal is afgekoeld krijgt het materiaal, na het gloeien en het nawalsen, de gewenste mechanische eigenschappen. Ook de vervormbaarheid van het product is bij verdere verwerking beter dan van de warmgewalste band.
- Er kan een betere bandvorm worden verkregen dan bij het warmwalsen.
- Een aantal klanten wenst warmgewalst materiaal dat echter ontdaan is van de oxidehuid. Het materiaal dient dan te worden gebeitst. 2 van de 3 beitsbanen maken deel uit van de koudbandwalserijen.

Tijdens het koudwalsen wordt de materiaalstructuur flink verstoord. De korrels, waaruit de vaste vorm van een metaal bestaat, worden in elkaar geplet en in de walsrichting uitgerekt; er ontstaan dan langgerekte kristallen. Hierdoor is het materiaal wel enorm verstevigd, maar is er weinig mee te beginnen. Er is namelijk een zeer hard en bros product ontstaan. Echter door warmtebehandeling (gloeien) en opnieuw nawalsen wordt ervoor gezorgd dat de korrels zich heroriënteren, waardoor de vereiste vervormbaarheid wordt verkregen. Tijdens het gloeien worden de verschillende staalrollen wederom aan elkaar vast gelast om zo een continu proces te vormen.

Als het product uit de koudbandwalserij komt zijn er nog een aantal opties om het materiaal verder te bewerken. Dit wordt ook wel het bekleden van het staal genoemd.

IJzer en staal zijn slecht bestand tegen een corrosief milieu, wat een enorm nadeel is. De oxidelaag die op staal gevormd wordt, heeft een groter volume dan het staal zelf en vormt daardoor geen beschermde afsluitende laag. Dit in tegenstelling tot een oxidelaag bij aluminium. Voor veel toepassingen van staal is het daarom nodig het product tegen het oxideren te beschermen. De belangrijkste methoden hiervoor zijn: het oppervlak bedekken met een laagje zink, het oppervlak bedekken met verf of een combinatie van die twee. Zink is een onedeler metaal dan ijzer, waarop de bescherming gebaseerd is. Omdat het zink oplost is de bescherming van de zinklaag slechts tijdelijk. De snelheid van het oplossen van de zinklaag is sterk afhankelijk van de klimaatomstandigheden waarin het zich begeeft. Daarom kan de dompelverzinklijn (DVL) het staal van verschillende dikte zink voorzien. Dikkere zinklagen bieden in het algemeen een bescherming tegen corrosie van het staal tot 20 jaar. Ook is het mogelijk om verschillende soorten zinklagen aan te brengen. Omdat de vraag meer en meer toenam naar deze producten zijn er samenwerkingen aangegaan met Wuppermann Staal Nederland (WSN) om zo meer van dit soort producten te kunnen maken. Daarnaast heeft CSPY ook een fabriek in Segal (Luik, België). Op het moment wordt er gebouwd aan een DVL3 op het terrein van Corus IJmuiden zelf. Deze zal op korte termijn in gebruik worden genomen. DVL1 en 2 staan al in dienst van Corus Strip IJmuiden.



Figuur 2.5: Verfininstallatie.

Tenslotte is er ook nog een mogelijkheid om het product te verven in de verflijn. Het doel van zo een verflijn is rollen staal, al dan niet bekleed met zink, te voorzien van een of meer organische verflagen. Voorbeelden waar dit soort producten worden gebruikt zijn bouwtoepassingen, elektrotechnische apparatuur en meubelen. Corus heeft twee van deze verflijnen. In figuur 2.5 is een verfininstallatie te zien.

Zoals eerder vermeld, valt deze stageopdracht onder Corus Strip IJmuiden die alleen rollen staal produceren. Echter, er staan ook twee vertinnerijen op het Corus terrein. Deze behoren tot de resultaatseenheid Corus Packaging Plus (CPP) en heeft als doel de koudgewalste metaalband te voorzien van een laagje tin of chroom; we spreken dan van vertind of verchroomd ϕ lik. Een deel van de productie van de warmband moet echter wel naar deze divisie toe.

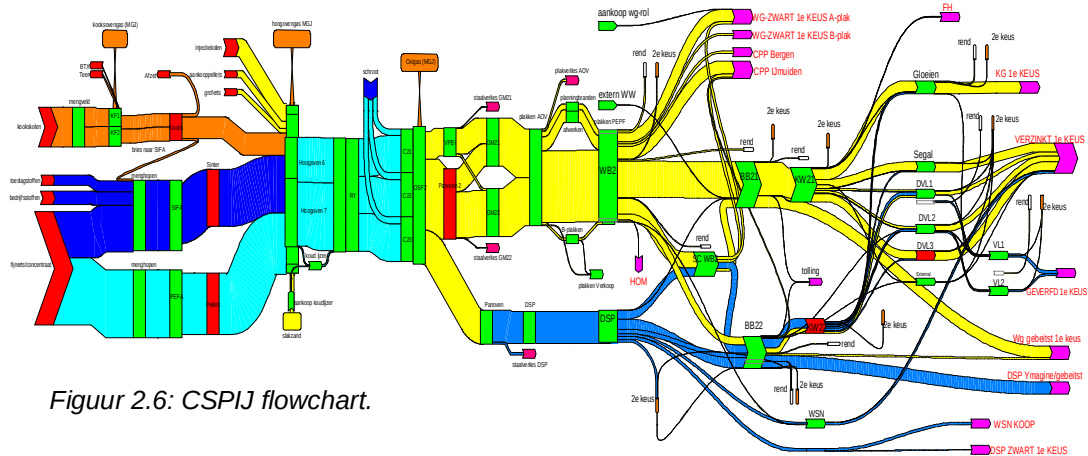
Corus beschikt ook over een *Gietwalsinstallatie* (DSP=Direct Sheet Plant). Met deze installatie is het mogelijk, rechtstreeks en in één lijn vanuit vloeibaar staal, warmgewalst staal te produceren. Het product kan qua dimensies en producteigenschappen zelfs concurreren met een deel van het pakket koudgewalst materiaal. Ten aanzien van het conventionele proces (plakgieten en warmwalsen) geeft dit de volgende voordelen:

- Compacte installatie en daarmee geringere specifieke investeringskosten van de installatie;
- Infrastructuur voor transport en opwarmen van plakken is overbodig;
- Aanzienlijke besparing operationele kosten;
- Vanwege het lagere energieverbruik per ton staal milieuvriendelijker en goedkoper;
- Geen tussentijdse opslag.

Vanuit de DSP kan een deel al direct verkocht worden, een ander deel gaat naar de beitsbaan en weer een ander deel gaat naar het service center van de warmbandwalserij.

Onderweg gaat er veel materiaal verloren door afval, maar ook door afgekeurde producten. Zo kan het zo zijn dat een klant een rol staal wenst met een bepaalde dikte en daarbij een bepaald tolerantie. Mocht de rol staal nu buiten deze tolerantie vallen, dan wordt de rol afgekeurd en daalt de prijs van de rol staal enorm. Ook kan het zo zijn dat materialen al worden verkocht aan fabrieken waar bepaalde afspraken mee lopen. Zo wordt er goedkoop DSP materiaal verkocht aan Wupperman Steel en in ruil daarvoor mag Corus een deel van hun productielijn gebruiken.

Hierboven staat vooral beschreven hoe staal gemaakt wordt. In figuur 2.6 is het productieschema te zien van Corus Strip Products IJmuiden om een goed overzicht te krijgen hoe het kan lopen van ijzererts tot de verschillende soorten staal.



Figuur 2.6: CSPIJ flowchart.

RY	= Ruw ijzer	Gloeien	= Gloeierij
C21, 22, 23	= Converters	DVL1,2,3	= Dompelverzinklijn
OSF2	= Oxystaalfabriek 2	VL1,2	= Verflijn
GM21, 22	= Continugietmachines	Segal	= Verzinklijn (Belgie)
DSP	= Direct Sheet plant	KW21,22	= koudbandwalserij
WB2	= Warmbandwalserij 2	BB21,22	= Beitsbaan
SCWB 2	= Service centre Warmbandwalserij 2	WSN	= Verzinklijn (Rotterdam)

Aan de hand van figuur 2.6 zal het model worden opgesteld. Echter, dit zal zo gebeuren dat wanneer er een verbinding niet meer mogelijk is of de verbinding niet handig is in de productielijn deze dan uit het model kan worden gehaald. Ook kunnen er verbindingen worden toegevoegd. Zoals eerder vermeld, wordt het begin van deze afbeelding niet in ogenschouw genomen, vanaf de oxystaalfabriek wordt het pas interessant voor het project. Deze afbeelding is ook op A4 formaat opgenomen in appendix A.

De informatie over het productieproces van Corus komt van het intranet van Corus [16] en de Productie informatiecycclus Corus Staal BV [14].

Hoofdstuk 3: Literatuur

Ondanks dat staal een basisindustrie is voor de groei van een land zijn er relatief weinig toepassingen van beschreven in vergelijking met andere industrieën als olie- en luchtvaartmaatschappijen [2]. Het wordt steeds belangrijker om de processen binnen de staalindustrie te optimaliseren door de wereldwijde groeiende concurrentie, zeker met de sterk opkomende landen als China en Zuid-Korea. In deze landen liggen de productiekosten veel lager dan bij Corus. Er zijn een aantal onderdelen van het productieproces waar interessante artikelen en boeken over te vinden zijn met toepassingen van wiskunde. Hiervan worden een aantal artikelen besproken in dit hoofdstuk.

Het proces van het mengen van de grondstoffen voordat deze de Hoogovens ingaan is een interessant onderwerp. Een gedeelte hiervan wordt besproken in het artikel *A model-based expert control strategy using neural networks for the coal blending process in an iron and steel plant* [3]. Hierin gaat het over het toevoegen van cokes aan de hoogovens. Cokes speelt een belangrijke rol in de staalindustrie doordat het als een soort brandstof fungeert om het ijzererts te doen smelten, maar het dient ook als een soort bron om de gassen in de hoogovens te verminderen. Cokes wordt gemaakt van kolen die aan specifieke eisen moeten voldoen. Omdat de kolen in het algemeen niet aan al deze eisen voldoen moeten verschillende soorten kolen in bepaalde percentages worden gemengd om tot deze gestelde eisen te komen. In het artikel worden twee belangrijke aspecten van dit proces beschreven. Ten eerste wordt de berekening van het doelpercentage van de kwaliteitseisen van cokes behandeld en ten tweede het mengen van de verschillende soorten kolen in die percentages. Om dit goed te doen zijn zeer nauwkeurige voorspellingsmodellen nodig. Er worden neural networks, mathematische modellen en regelmodellen geconstrueerd gebaseerd op statistische data en empirische kennis van het proces om dit te bewerkstelligen. Vervolgens wordt er een *expert control systeem*³ gemaakt om het probleem op te lossen, wat een krachtige techniek is om een complex proces te controleren met niet lineaire verbanden en onzekerheden binnen het model.

Dit artikel ging alleen over het mengen van kolen voor de cokes, maar er zijn ook artikelen die over het mengen van verschillende grondstoffen gaan als input voor de hoogoven, waaronder de cokes. Deze worden over het algemeen geformuleerd als een minimale kosten LP-model, waarbij

³ Een expert systeem is software die probeert om de prestaties van één of meerdere menselijke deskundigen, meestal in een specifiek probleemdomain, te reproduceren en is een traditionele toepassing en/of een deelgebied van de kunstmatige intelligentie is. Een expert systeem dat is ontworpen om de deskundigheid van deskundigen en mensen met ervaring na te streven in het uitvoeren van controle activiteiten wordt een *expert control systeem* genoemd.

de thermochemische metallurgische processen in hoogovens, cokesovens en staalgieterijen worden uitgedrukt als een reeks beperkingen in een lineair programmeringsprobleem. Een voorbeeld hiervan is het artikel "*an application of mixed integer linear programming in a steel mill*" [4].

Tot nu toe ging het over het optimaliseren van het mengen van grondstoffen, in het volgende gedeelte zal het over *productieplanning* gaan. Doordat de continu gietmachines meestal een bottleneck zijn, wordt in het artikel "A mixed-integer linear programming model for the continuous casting planning" [5] een MIP-model beschreven voor de productieplanning om de productiviteit te maximaliseren met de bijbehorende beperkingen. In dit MIP-model wordt rekening gehouden met groepen orders, technologische onderlinge afhankelijkheid, geen productiestilstanden in een groep orders en dynamische productietijd van de verschillende orders. In het model is de doelfunctie het minimaliseren van de totale tijd van de orders in het productieproces. Hier wordt echter niet gekeken naar het gehele proces, maar alleen naar het gedeelte van de Converter en de Continu gietmachines. Verder wordt er geen rekening gehouden met de kosten die het productieproces met zich mee brengen, maar alleen aan de logistieke kenmerken van het proces. In "A mathematical programming model for scheduling steelmaking-continuous casting production" [6], wordt wederom naar hetzelfde gedeelte van het productieproces gekeken als in artikel [5], met het verschil dat in artikel [6] de objectfunctie het minimaliseren van de kosten bij een niet-lineair dynamisch model. Dit komt al dicht bij het onderwerp van routeoptimalisatie doordat de kosten mee worden genomen. In beide artikelen wordt uitgegaan van het "Just in Time" productie concept. Dit is een techniek om de prestaties van virtuele machines te verbeteren in gegevens bewerking.

Er zijn ook artikelen/boeken te vinden over het produceren van staal op nationaal niveau, binnen deze modellen wordt samengewerkt tussen fabrieken binnen een land. Dit gebeurt in het boek "The planning of Investment Programs in the Steel Industry" [7]. Hierin worden 2 modellen beschreven, geformuleerd als lineair programmeringmodellen, over "product mix" en transportproblemen in staalfabrieken in Mexico. Tenslotte wordt er in dit boek nog een dynamisch model geformuleerd en als MIP probleem beschreven over het analyseren van investeringen.

In het eerste model wordt het onderwerp product-mix verbetering aangesneden, dit houdt in "het bepalen van de optimale productie volumes voor verschillende producten in de verschillende fases van het productieproces". Voor een staalbedrijf is dit van groot belang, omdat de winst gevoelig is voor de product-mix en minder voor de totale volume productie. Hiermee wordt bedoeld dat het niet altijd voordelig is om zoveel mogelijk downstream te produceren, maar dat het belangrijker is om te analyseren welke producten er geproduceerd moeten worden. Het kan dan voorkomen dat producten niet altijd het gehele productieproces doorlopen. De optimale

oplossing van deze product-mix verandert van maand tot maand, omdat de oplossing afhangt van de beschikbaarheid van de fabrieken en de vraag naar producten door de huidige markt. De product-mix optimalisatie modellen in India houden ook rekening met energie. In India is de toevoer van energie niet altijd gegarandeerd, waardoor er vaak tekorten ontstaan. De slechte levering van de energiecentrales maakt het produceren op de energieverblindende installaties erg moeilijk. Met deze restrictie zullen producten die eerder in het productieproces als eindproduct verkocht kunnen worden beter uit de bus komen, omdat deze minder energie verbruiken. De nieuwe eigenaar van Corus; Tata steel, maakt gebruik van een model om de winst te maximaliseren waarvan één van de restricties de energielimiet is. [8]

Dan wordt er in [7] ook een model beschreven over het minimaliseren van de kosten bij transport. Dit model gaat over de transportkosten tussen de fabrieken op verschillende locaties. Er wordt minder gekeken naar de transportkosten binnen een locatie. Tenslotte is er in het boek ook nog een dynamisch model om capaciteitsuitbreiding te vinden welke de groeiende markt verzadigt met de minste kosten. Het programma kan gebruikt worden bij:

- Toevoegen van capaciteit voor huidige fabrieken,
- Toevoegen van nieuwe fabrieken,
- Technologie keuze,
- Grootte van toegevoegde capaciteit,
- Berekenen binnen welke tijd capaciteit moet worden toegevoegd,
- Transport.

In een ander artikel "A linear programming model for integrated steel production and distribution planning" [9] wordt de productieplanning in een grote staalfabriek in Canada besproken. Hierbij is er één grote hoogoven en verschillende andere fabrieken om het product af te maken op andere locaties. Er wordt uitgegaan van het hele productieproces, met het verschil dat er alleen over halffabricaten en eindproducten wordt gesproken. Specifieke eindproducten worden niet aangehaald. Binnen het LP-model wordt rekening gehouden met de installatiecapaciteit, welke in goede economische tijden cruciaal is voor de winst. Hierdoor wordt er ook rekening gehouden met de snelheid waarmee de verschillende producten door de fabrieken gaat. Er wordt in dit artikel uitgegaan van een algemene snelheid per productsoort. Verder worden de productiekosten en transportkosten meegenomen en is de objectfunctie het maximaliseren van de winst. In het artikel wordt ook toegelicht dat niet alleen de snelheid belangrijk is, maar dat dit belangrijk is in combinatie met de kosten en de winst van het product. Kort gezegd komt het erop neer dat wanneer een product veel opbrengt maar niet snel geproduceerd kan worden dat het dan toch niet zo gunstig is als een product dat minder duur verkocht wordt, maar niet zoveel tijd op de installaties vergt. In het model van artikel [9] worden niet specifieke orders op een andere

route ingedeeld, maar wordt berekend welke volumes van producten over welke fabrieken moeten gaan.

Het productiegedeelte over de grondstoffen toevoer voor de hoogovens wordt niet meegenomen in het onderzoek routeoptimalisatie, in dit onderzoek wordt namelijk het gedeelte vanaf de hoogovens onderzocht. Echter om te laten zien waar wiskunde een rol speelt binnen het productieproces wordt het hier toch vermeld.

Omdat het productieproces van de hoogovens naar de continugietmachines een cruciale fase is voor een staalfabriek zijn er verhoudingsgewijs veel artikelen verschenen over alleen dit stuk van de productieketen. Het doel van de meeste artikelen is om de producten zo snel mogelijk te produceren, waarbij er geen rekening wordt gehouden met de kosten. In het onderzoek routeoptimalisatie wordt er juist gekeken naar de indeling van de routes over het gehele productieproces en niet zozeer naar de ordervolgorde op bepaalde installaties.

Bij product-mix optimalisatie wordt er onderzocht welke volumes er op de verschillende installaties geproduceerd moeten worden in verschillende fases van het productieproces. Met dit onderzoek is het juist de bedoeling om een soort indeling te krijgen voor nieuwe klantenorders en niet de volumes vrij te laten zodat het model kan kiezen welke volumes van bepaalde producten geproduceerd mogen worden. In het RPO-model zou er na het indelen van de orders wel overcapaciteit kunnen ontstaan, waarbij het model de volumes van een aantal $\bar{r}$ bpvulorders vrij kan kiezen om de overcapaciteit optimaal te gebruiken. In dit gedeelte wordt dus wel degelijk gebruik gemaakt van product-mix optimalisatie. Het model is eenvoudig om te schrijven naar een model om product-mix optimalisatie toe te passen.

Een overeenkomst tussen het model in [7] en dit onderzoek is dat de modellen afhankelijk zijn van de productie van een periode, er zal rekening worden gehouden met de productieorders van het afgelopen kwartaal. Deze afhankelijkheid wordt bij het onderzoek betrokken, omdat er in verschillende periodes andere samenstellingen van het orderpakket kunnen ontstaan. Dit wordt gezien als de vraag van de markt en door deze vraag in bepaalde segmenten te variëren kan er onderzocht worden of de routekeuze afhangt van de vraag.

Een verschil met de modellen in [7] is dat er daar per stap gekozen kan worden naar welke vervolgfabriek een product gaat, hiermee wordt bedoeld dat ze beginnen met de productie, maar dan nog niet weten door welke fabrieken het product zal worden geproduceerd. Terwijl in dit onderzoek de routes van te voren geheel worden geselecteerd op maakbaarheid (dus kijken of het technisch kan qua installatie-eisen: dikte, breedte, etc.), om vervolgens op te zoeken welke routes volgens receptuur zijn toegestaan. Als ze daarna worden opgenomen in het model weten we dus zeker dat het eindproduct aan de specifieke eisen van de klant zal voldoen.

Het artikel dat het dichtst bij dit onderzoek komt is artikel [9]. Hierin wordt ook rekening gehouden met de transportkosten en installatiecapaciteit met een algemene snelheid per productsoort. Echter, in dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van de snelheid van een specifieke order welke afhankelijk kan zijn van dikte, breedte, zinklaag, etc. Een verschil tussen de modellen is dat het model in het artikel gebaseerd is op de hele productieketen, terwijl er in dit onderzoek wordt gekeken vanaf het klantontkoppelpunt, namelijk de hoogovens. Daarbij moet wel vermeld worden dat er in het artikel wordt gepraat over halffabricaten en eindproducten en dus niet over specifieke producten net als in dit onderzoek. In dit onderzoek worden alle producten vermeld en kunnen de mogelijke routes per specifieke order worden berekend. Verder wordt in het artikel [9] uitgegaan van dezelfde prijzen voor klanten in eenzelfde gebied omdat de transportkosten naar eenzelfde gebied gelijk zijn. Terwijl in dit onderzoek de prijzen per order worden meegegeven zodat prijsafspraken tussen klant en verkoper kunnen worden gemaakt.

Wat nog wel een goede optie zou zijn voor het model is om de transportkosten naar de klant toe ook mee te nemen. Op deze manier zal het model nog beter worden doordat er 2 fabrieken buiten IJmuiden gebruikt worden die in Rotterdam (WSN) en Luik (Segal) staan. Als klanten dicht bij deze fabrieken gevestigd zijn, kunnen de transportkosten een rol gaan spelen. Het kan ook andersom werken doordat een product dat bijvoorbeeld naar Amerika verscheept moet worden, niet eerst in België wordt geproduceerd om vervolgens weer terug naar IJmuiden te moeten zodat deze via de boot naar Amerika kan worden getransporteerd. Dit viel echter buiten het bestek van deze opdracht, maar zou zeker een mooie vervolgstap zijn voor de uitbreiding van het model.

Over het algemeen gaan de artikelen specifiek over de logistieke planning, waarbij het zoveel mogelijk produceren prioriteit krijgt boven het produceren van producten op een financieel voordelige manier. De bedoeling van dit onderzoek is juist om deze logistieke planning los te laten en wat algemener te kijken naar de routeplanning. Hiermee kunnen vuistregels gemaakt worden die aangeven welk product het beste over welke route geproduceerd kan worden in het volgende kwartaal. Vervolgens wordt het verschil in opbrengst berekend tussen de mogelijke routes, waardoor niet altijd de voorkeursroute gekozen hoeft te worden. Er kan dan ook worden gekozen voor één van de alternatieven als het verschil in kosten binnen de gestelde grenzen blijft.

Hoofdstuk 4: Mathematisch Programmeren

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat de theorie is achter het oplossen van de modellen in Xpress-MP. Het is een theoretisch hoofdstuk met daarbij achtergrondinformatie over de methodes die gebruikt worden, waarbij de methodes zelf wiskundig beschreven worden. De theorie zal aan de hand van een voorbeeld uitgelegd worden in het laatste gedeelte van dit hoofdstuk.

Het RCO-model dat in dit onderzoek gebruikt wordt, valt onder de categorie MIP-modellen, dat staat voor *Mixed Integer Programming*. Zoals de naam al doet vermoeden is het een combinatie van lineair programmeren en geheeltallig programmeren. Daarbij geldt dat geheeltallig programmeren hetzelfde is als lineair programmeren met als extra eis dat sommige beslissingsvariabelen gehele getallen moeten zijn. Voor het gedeelte van geheeltallig programmeren gebruiken we binaire variabelen, waarmee we beslissen welke route van de mogelijke routes de voorkeursroute is onder de gestelde restricties. De keuze voor een MIP aanpak is omdat de beperkingen van het model zich laten beschrijven door lineaire restricties. Daarbij is een MIP-probleem goed op te lossen door huidige technieken en wordt het al moeilijker bij modellen met kwadratische restricties. Voor het RPO-Model is gekozen voor een lineair programmeringsmodel. De reden hiervan is dat er vuistregels uit het model moeten komen voor de routekeuze, waarbij het niet uitmaakt of een order dat op een grensgebied ligt gedeeltelijk over een andere installatie gaat.

4.1 Lineair programmeren (LP)

Bij *lineair programmeren* wordt de optimale waarde bepaald van een lineaire objectfunctie met meerdere beslissingsvariabelen. Deze variabelen moeten voldoen aan een aantal lineaire voorwaarden. De toevoeging *lineair* in *lineair programmeren* wordt dus gebruikt vanwege de lineaire vergelijkingen en lineaire ongelijkheden bij het formuleren van het LP-model. Bij het woord programmering moet niet direct een verband worden gelegd met programmeren op een computer, maar gedacht moet worden aan planning [10].

De eerste die op het onderwerp lineaire programmering kwam was de Sovjet-Russische wiskundige Leonid Kantorovitz. Dit was in 1939 waar hij het besprak in zijn boek; *Wiskundige methoden in de organisatie en planning van de productie*. Het werk van Kantorovitz werd in 1975 gewaardeerd met de Nobelprijs in de economie. Toen hij met het onderwerp LP kwam, werd er verder weinig aandacht besteed doordat er nog geen goede oplosmethodes voor waren. Dit

draaide volledig om toen halverwege de jaren veertig George B. Dantzig⁴ begreep dat veel praktische problemen zich door lineaire ongelijkheden laten beschrijven en verving de tot daartoe gebruikte vuistregels voor het oplossen van planningsproblemen door een lineaire objectfunctie. Daarmee introduceerde hij een duidelijke scheiding tussen het doel van de optimalisatie en de middelen om het planningsprobleem op te lossen. Het jaar 1947 is een gedenkwaardig jaar voor de toegepaste wiskunde, toen publiceerde Dantzig namelijk zijn *simplex methode* welke in staat was om een LP-probleem op te lossen. Dit algoritme is heden ten dage nog steeds één van de meest in praktijk toegepaste wiskundige methode. Het werk van Dantzig werd razendsnel opgepikt door het Amerikaanse leger, als middel om militaire operaties en de logistiek daar omheen verder te verbeteren. Na Dantzig's ontdekking ontwikkelde hij met John von Neumann, Oscar Morgenstern, Tjalling Koopmans en anderen de theorie verder en legden zij ook verbanden met de speltheorie. Men realiseerde dat planningsmethoden die voor militaire doeleinden ontwikkeld waren ook bruikbaar waren voor allerlei planningsproblemen in het bedrijfsleven en de non-profit sector [11].

De simplex methode is rekentechnisch zeer eenvoudig uit te voeren. Alleen de elementaire rekenkundige operaties optellen, aftrekken, delen en vermenigvuldigen worden uitgevoerd op een tableau waarin aanvankelijk de gegevens van het model staan. Het aantal operaties is echter dermate groot dat met pen en papier alleen betrekkelijk kleine modellen kunnen worden opgelost. Wanneer er twee beslissingsvariabelen in een model voorkomen, is er nog wel een mogelijkheid om het via een grafische methode op te lossen. Echter, er is vrijwel geen enkel praktisch probleem dat zich laat beschrijven door slechts twee beslissingsvariabelen. Gelukkigerwijze viel de ontdekking van de simplex methode samen met de opkomst van de computer. Het rekenwerk kon daarom worden geautomatiseerd. Dit opende op den duur de deur naar meer grootschalige toepassingen.

Het software pakket dat Corus ter beschikking heeft, is het programma Xpress-MP⁵. Dit pakket gebruikt net als vele andere programma's de oplossingsmethode van Dantzig (de simplex methode).

4.1.1 Simplex Methode

De simplex methode is een methode die begint met een basisoplossing of extreem punt in de ruimte van toegestane oplossingen⁶ van het LP-probleem. De ruimte van toegestane oplossingen

⁴ **George Bernard Dantzig** (8/11/1914 - 13/05/2005) Amerikaanse wiskundige die wordt beschouwd als vader van de lineaire programmering, door zijn uitvinding van het simplex algoritme.

⁵ Xpress-MP is een optimaliseringsprogramma van Dash Optimization.

⁶ De ruimte van toegestane oplossingen is de verzameling van oplossingen die voldoen aan de restricties.

kan worden gezien als een convex polytoop dat wordt afgebakend door de lineaire restricties. Afhankelijk van het aantal beslissingsvariabelen is het een n – dimensionaal veelvlak, wat voor mensen niet meer voor te stellen is vanaf $n = 3$. Vervolgens zoekt het algoritme een betere oplossing, waarmee we onder betere oplossing een niet-lagere (resp. niet-hogere) waarde van de objectfunctie verstaan in geval we de objectfunctie willen maximaliseren (resp. minimaliseren). In de optimalisatiestappen binnen het algoritme gaat de oplossing van het ene extreme punt naar een ander aangrenzend extreem punt binnen het veelvlak tot het maximum (resp. minimum) is bereikt. Dit komt doordat de oplossing van een LP-probleem altijd te vinden is in een extreem punt van de ruimte van toegestane oplossingen. Mocht deze ruimte leeg zijn, dan heeft het LP-model geen oplossing. Daarna wordt dit concept herhaald totdat de optimale oplossing is gevonden.

Beschouw het volgende standaard lineair programmeringsmodel:

$$\max \{c^T x \mid Ax = b; x \geq 0\}$$

met $b \in R^m$, $c, x \in R^n$ en A een $m \times n$ matrix. Ieder lineair model is terug te schrijven naar dit standaardmodel door het toevoegen van slackvariabelen⁷ of surplusvariabelen⁸. Het model kan worden opgelost met het herziene simplex algoritme, welke gezien kan worden als een gestroomlijnde simplex methode. Het verschil in deze versie is dat hier het inverteren van de matrix vermeden wordt door direct met geïnverteerde matrices te werken in het gehele proces [10]:

1. In de initialisatie stap zoeken we naar een toegestane basisoplossing van het probleem. In deze oplossing moeten m beslissingsvariabelen groter zijn dan 0 (de zogenoemde basisvariabelen) en $n-m$ beslissingsvariabelen gelijk aan 0. Vervolgens definiëren we B als een $m \times m$ matrix met daarin de kolommen van A die horen bij de m basisvariabelen. We zien dan dat $x_B = B^{-1}b$ de vector is met alle basisvariabelen en c_B de vector met alle waarden van c die horen bij de basisvariabelen.
2. In deze stap berekenen we de gereduceerde kosten van alle niet-basisvariabelen. We definiëren deze gereduceerde kosten als: $rk_j = c_B B^{-1} A_j - c_j$. (Later worden de gereduceerde kosten nader uitgelegd).
3. De oplossing is optimaal als voor alle niet-basisvariabelen geldt dat $rk_j \geq 0$. Mocht dit het geval zijn, stop dan het algoritme. Anders ga verder naar stap 4.
4. Maak uit matrix B een matrix B_{new} die één kolom verschilt van B . Breng een kolom A_s in B_{new} , waarbij A_s een kolom uit A is, behorende bij de niet-basisvariabele met

⁷ Slackvariabelen zijn variabelen die worden toegevoegd om de niet benutte capaciteit van de restricties op te vangen.

⁸ Surplusvariabelen worden uitgelegd in het voorbeeld.

negatieve gereduceerde kosten. De kolomvector die uit B moet worden verwijderd is de vector A_l , waarbij de index l gelijk is aan de waarde van:

$$l = \arg \min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{(B^{-1}b)_i}{(B^{-1}A_s)_i} \mid (B^{-1}A_s)_i > 0 \right\}.$$

Keer terug naar stap 2 met de nieuwe basismatrix.

Over het algemeen werkt het simplex algoritme erg goed en zoals eerder vermeld wordt het veelvuldig gebruikt. Echter, in 1972 vonden Klee and Minty een voorbeeld van een LP-model waarvoor het veelvlak een vervorming was van een n – dimensionale kubus, en ze lieten zien dat de simplexmethode alle 2^n hoekpunten afging voordat de optimale oplossing was bereikt. Dit laat zien dat er gevallen zijn waarbij er een exponentieel aantal stappen nodig kan zijn om het algoritme op te lossen. In de praktijk komen deze gevallen (bijna) niet voor en is de simplexmethode opvallend efficiënt.

4.2 Mixed integer programming (MIP)

Voor het oplossen van een MIP probleem is er een andere aanpak nodig dan voor lineair programmeren. In tegenstelling tot de methoden voor lineaire optimalisering, die meestal efficiënt werken en snel tot een optimale oplossing leiden, bestaat er voor de geheeltallige optimalisering geen efficiënte methode. Het afronden van de bijbehorende LP-oplossing kan leiden tot een niet-toelaatbare oplossing, in het geval dat de LP-oplossing wel in de ruimte van toelaatbare oplossingen valt is dit de oplossing. Het is zelfs uiterst onwaarschijnlijk dat er ooit een efficiënte methode voor gevonden kan worden. De reden hiervoor is dat het geheeltallige programmeringsprobleem tot de complexiteitsklasse *NP-Compleet*⁹ behoort. NP staat voor 'niet-deterministisch polynomiaal' en bevat de problemen die in polynomiale tijd kunnen worden geverifieerd. Eenvoudig gezegd wil NP-compleet zeggen dat de oplostijd niet goed meeschaalt met de probleemgrootte. Dus als het probleem twee maal zo groot gemaakt wordt, dan moet men meer dan twee keer zoveel rekenen. En dat maakt het moeilijk om grote problemen op te lossen. De huidige oplosmethode voor het MIP-probleem is het *Branch-and-Bound* algoritme, deze methode maakt ook gebruik van het simplex algoritme.

In 1960 kwam de methode aan het licht en werd gevonden door A.H. Land en A.G. Doig [17]. Het was toen ontwikkeld voor het oplossen van een LP-model.

⁹ Voor een bewijs dat een MIP-probleem tot de klasse van NP-compleet behoort, zie [15] pagina 32, stelling 2.1.

4.2.1 Branch-and-Bound

Branch-and-bound is een algemene techniek waarmee onder andere gezocht wordt naar een optimale geheeltallige oplossing door het oplossen van een serie LP-relaxaties. Dit houdt in dat de eis van geheeltallige beslissingsvariabelen achterwege gelaten wordt om vervolgens het model op te lossen met de simplexmethode. Mocht er een binaire variabele x in het model voorkomen, dan wordt er in de relaxatie de volgende eis meegegeven: $0 \leq x \leq 1$. Als er een oplossing uitkomt die voldoet aan de restricties van het MIP probleem, dan is deze optimaal. Anders moet er nog een stap worden gedaan met het branch-and-bound algoritme en dan wordt de LP-relaxatie als bovengrens gebruikt. Tijdens het algoritme worden de ondergrenzen bepaald door de waarde van de objectfunctie van reeds toegelaten oplossingen in de deelproblemen.

Het idee is om het oorspronkelijke probleem (P_0) op te splitsen in steeds kleinere deelproblemen (P_1 en P_2), om vervolgens bepaalde deelproblemen te elimineren voor de verdere berekening. Deze eliminatie gebeurt door middel van onder- en bovengrenzen. Als we bijvoorbeeld gaan maximaliseren en de bovengrens van een bepaald deelprobleem (zeg, P_1) is kleiner dan een ondergrens van een ander deelprobleem (zeg, P_2), dan hoeft P_1 niet verder onderzocht te worden.

Om het algoritme te beschrijven wordt het algemene LP-model beschouwd met extra voorwaarde.

$$\max \{c^T x \mid Ax \leq b; x \geq 0\}$$

met $b \in \mathbb{R}^m$, $c \in \mathbb{R}^n$, $x \in \mathbb{Z}^n$ en A een $(m \times n)$ -matrix. De extra voorwaarde is dat x geheeltallig moet zijn. Vervolgens wordt deze opgesplitst in een aantal mogelijke deelproblemen P_n , waarbij de vereniging van deze problemen het oorspronkelijke probleem is. Oftewel wanneer de optimale oplossing voor deze deelproblemen wordt gevonden kan ook de oplossing van het oorspronkelijke probleem worden herleid.

We definiëren L als de verzameling van alle deelproblemen. Voor ieder deelprobleem P_n bestaat er door middel van LP-relaxatie een bovengrens $\bar{B}_n$. Daarbij definiëren we $\underline{B}$ als de tot dan toe beste toelaatbare oplossing als ondergrens. Met deze definities kan het *Branch-and-bound algoritme* worden gedefinieerd [13]:

0. *Initialisatie:*

$$L := \{P_0\}, \bar{B}_0 = -\infty, \underline{B} = -\infty, x = \phi$$

1. *Stopcriterium:*

Als $L = \phi$, dan is x^* de optimale oplossing met optimum $\underline{B}$. (Ingeval $x = \phi$ is er dus geen toelaatbare oplossing).

2. *Deelprobleem selecteren:*

Kies en verwijder een element $P_n \in L$ en kies voor een relaxatie voor P_n .

3. *Evalueren:*

Los de relaxatie van P_n op:

(a) Als P_n ontoelaatbaar is, dan is $\bar{B}_n = -\infty$

(b) Als P_n een oneindige oplossing heeft dan is $\bar{B}_n = +\infty$

(c) Als P_n een eindige oplossing x^n heeft dan is $\bar{B}_n = \lfloor c^T x^n \rfloor$

4. *Snoeien:*

Als $\bar{B}_n \leq \underline{B}$: ga naar stap 1.

Als $\bar{B}_n > \underline{B}$: en x^n geheeltallig en toelaatbaar:

(a) $x^* := x^n$, $\underline{B} := \bar{B}_n$

(b) Verwijder alle problemen P_i met $\bar{B}_n \leq \underline{B}$ uit L .

(c) Ga naar stap 2.

5. *Vertakken:*

Splits P_n in kleinere deelproblemen: $P_{n_1}, P_{n_2}, \dots, P_{n_k}$, waarvoor geldt dat de vereniging van de P_{n_j} gelijk is aan het probleem P_n . Vervolgens worden deze problemen aan de verzameling L toegevoegd en geven deze problemen een bovengrens $\bar{B}_n$. Ga terug naar stap 1.

Uit het algoritme is te zien dat het Branch-and-Bound algoritme niet een standaard algoritme is, maar afhangt van het slim kiezen in de tweede stap.

Voor het oplossen van een MIP probleem wordt hetzelfde algoritme gebruikt, waarbij de beslissingsvariabelen worden gerelaxeerd die aan de eis van geheeltalligheid moeten voldoen. De overige variabelen worden doorberekend.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Een optimale oplossing is alleen optimaal met betrekking tot het gespecificeerde model dat gebruikt is om het werkelijke probleem te beschrijven. Andere redelijke beschrijvingen zouden tot andere optimale oplossingen kunnen leiden. Aangezien het zelden voorkomt dat de data van het model met absolute zekerheid bekend is, is het daarom belangrijk te weten hoe gevoelig de gevonden optimale oplossing is met betrekking tot de probleemspecificatie. Om deze redenen is gevoeligheidsanalyse van groot belang. De analyse van de invloed van veranderingen in de data

op de oplossing van het model staat bekend als gevoeligheidsanalyse. Gevoeligheidsanalyse geeft dus extra informatie zonder dat we het LP model opnieuw hoeven op te lossen.

4.3.1 Schaduw prijzen en gereduceerde kosten

Om gevoeligheidsanalyse toe te passen wordt gebruik gemaakt van het *duale probleem*. Daartoe wordt het volgende algemene (primale) LP-probleem beschouwd:

$$\begin{array}{ll} \text{Maximaliseer} & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{Onder} & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad \text{voor } i = 1, \dots, m, \\ & x_j \geq 0, \quad \text{voor } j = 1, \dots, n. \end{array}$$

Het bijbehorende duale LP-probleem wordt gedefinieerd door:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimaliseer} & \sum_{i=1}^m b_i y_i \\ \text{Onder} & \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \quad \text{voor } j = 1, \dots, n, \\ & y_i \geq 0, \quad \text{voor } i = 1, \dots, m. \end{array}$$

Zonder bewijs zal nu een stelling geformuleerd worden, die aangeeft dat:

*Als het primale probleem een eindige optimale oplossing heeft, dan bezit het duale probleem ook een eindige optimale oplossing. De bijbehorende waarde van de objectfunctie is in beide gevallen dezelfde.*¹⁰

Het duale probleem kan worden opgelost door middel van de simplex methode, waarna de optimale waarden worden berekend voor de variabele $y_1, \dots, y_m$. Deze waarden worden aangeduid met $y_1^*, \dots, y_m^*$ en worden de *schaduw prijzen* genoemd.

De schaduw prijs y_i^* geeft een indicatie met hoeveel de objectfunctie groeit wanneer we 1 eenheid van restrictie i meer ter beschikking zouden hebben naast de reeds aanwezige hoeveelheden.

Met dergelijke schaduw prijzen kunnen de *gereduceerde kosten* worden berekend welke veelvuldig gebruikt zullen worden in dit onderzoek. Deze gereduceerde kosten kunnen berekend worden door:

$$rk_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i^* - c_j.$$

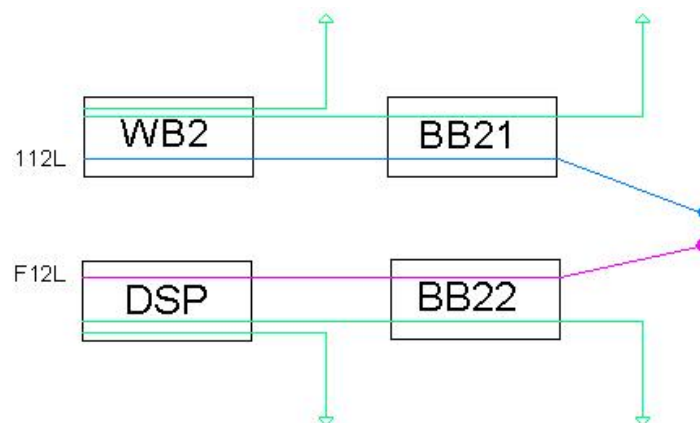
¹⁰ Voor het bewijs van deze stelling zie Kallenberg [12]

Deze waarde geeft het bedrag aan waarmee de winstcoëfficiënt c_j van de variabele x_j in de objectfunctie tenminste moet toenemen om product j op te nemen in de optimale oplossing. Wanneer een variabele x_j wordt opgenomen in de objectfunctie, dan zijn de gereduceerde kosten van de variabele x_j gelijk aan 0.

De gereduceerde kosten zijn alleen gedefinieerd voor een LP-probleem, dit is ook één van de redenen waarom het RCO-model een LP model is. Wanneer er in deze scriptie over gereduceerde kosten in een MIP-probleem wordt gesproken, wordt dit gecontroleerd door het bijbehorende LP-model.

4.4 Verdringingskosten

In deze paragraaf wordt het begrip verdringingskosten uitgelegd. Dit kan het beste worden uitgelegd aan de hand van een concreet voorbeeld. Beschouw daartoe het volgende deel van de productieketen:



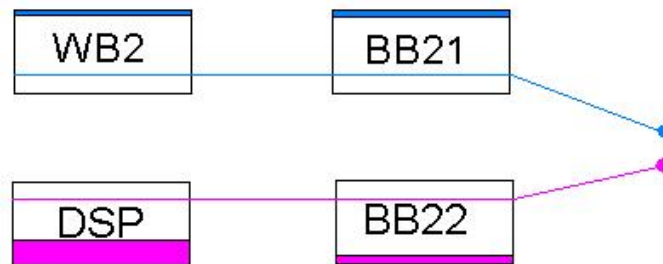
Figuur 4.1: Deel productieproces Corus.

In figuur 4.1 is het begin van het productieproces van Corus te zien, waarbij de rechthoeken de installaties zijn die worden meegenomen in het voorbeeld. In het voorbeeld wordt uitgegaan dat alle installaties een bottleneck zijn, waarmee bedoeld wordt dat de installaties maximaal in gebruik zijn en dat er geen capaciteit meer over is. De groene pijlen zijn de uitgaande producten naar de markt. Stel nu dat er een gebeitst product bij wordt gemaakt en dat de blauwe en de paarse routemogelijkheden toegestaan zijn. Welke route zal dan worden gekozen?

Allereerst wordt aangenomen dat de prijs die een klant betaalt hetzelfde is ongeacht de route. Echter, de variabele kosten kunnen per route verschillen. Zo staan er in figuur 4.1 voor de routes 2 staalcodes vermeld, waarvoor geldt dat ze niet dezelfde legeringskosten hebben, maar om tot hetzelfde product te komen hebben de installaties wel verschillende staalcodes nodig. Dit is één

van de factoren die afhangt van de route waarin de variabele kosten kan verschillen, deze zullen worden meegenomen in de routekeuze.

Aangezien de installaties een bottleneck zijn en we het product toch willen produceren zal er capaciteit vrijgemaakt moeten worden op de installaties, waarbij de hoeveelheid capaciteit die vrij wordt gemaakt afhangt van de tijd dat het product op de installaties nodig heeft.



Figuur 4.2: Deel productieproces met deel benodigde tijd van de orders op de installaties.

In figuur 4.2 zijn de gekleurde vlakken de delen die de order nodig heeft op de installaties. Uit deze afbeelding blijkt dus dat eenzelfde product over andere installaties verschillende tijden op de installaties nodig kan hebben, doordat het product andere productiesnelheden heeft op iedere installatie.

Ook moet er rekening worden gehouden met het tarief per installatie. In dit voorbeeld zal uniform worden verdrongen op de installaties. Hiermee wordt bedoeld dat niet alleen de slechte orders worden verdrongen, maar van alle orders een klein percentage, op deze manier worden alle klanten op dezelfde manier behandeld. In figuur 4.1 zijn de groene pijlen uitgaande producten naar de klant. Stel nu dat bepaalde installaties meer euro's per uur opleveren, dan is het daar minder gunstig om te verdringen.

Om tot een routekeuze te komen worden de volgende berekeningen gedaan:

$$Opbrengst_1 = (prijs - VarKost_1) \cdot Volume - tijd_1^{WB2} \cdot tarief^{WB2} - tijd_1^{BB21} \cdot tarief^{BB21}$$

$$Opbrengst_2 = (prijs - VarKost_2) \cdot Volume - tijd_2^{DSP} \cdot tarief^{DSP} - tijd_2^{BB22} \cdot tarief^{BB22}$$

Met variabele:

$prijs$ = Verkoopprijs

$VarKost_i$ = Variabele kosten Route i

$Volume$ = Hoeveelheid besteld door klant

$tijd_i^j$ = Hoeveelheid tijd die route i op installatie j nodig heeft

$tarief^j$ = Tarief dat installatie j per uur opbrengt

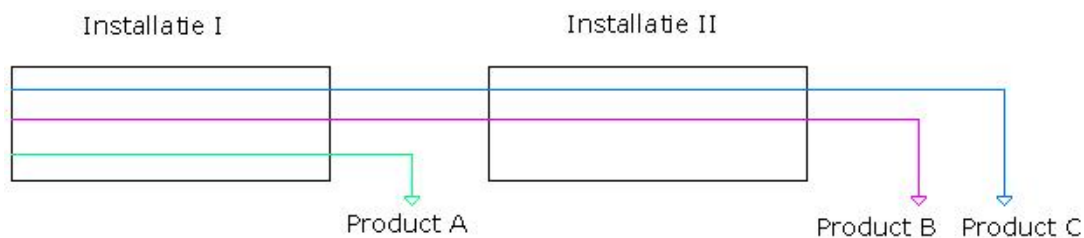
De route met de hoogste opbrengst zal worden gekozen.

4.5 Toepassing

In dit voorbeeld zal een poging gedaan worden om bovenstaande theorie duidelijk te maken. Hierbij zal niet de gestroomlijnde versie gebruikt worden van de simplex methode, maar de oorspronkelijke versie zodat goed te zien is hoe het algoritme werkt aangezien de gestroomlijnde versie met (onoverzichtelijke) geïnverteerde matrices werkt. Deze oorspronkelijke versie is mooi uit te leggen aan de hand van een voorbeeld, dit is de reden om deze niet bij de algemene theorie op te nemen, maar wel in het voorbeeld uit te werken.

Beschouw hiertoe het volgende LP-probleem:

Stel er zijn 3 producten en 2 installaties waarvoor geldt dat product A alleen over installatie I gaat en de andere 2 producten gaan over beide installaties. Dit is te zien in figuur 4.3.



Figuur 4.3: Producten over installaties.

De bedoeling van dit model is om zoveel mogelijk winst te maken met deze producten, er zal nu berekend worden hoeveel ton er van welk product verkocht moet worden.

De snelheid waarmee de producten over de installaties gaan zijn verschillend. In het voorbeeld zal de verkoopprijs minus de variabele kosten gemaximaliseerd worden en zal D_i worden genoemd voor product i . Wanneer bovenstaande gegevens tot een algemeen model worden verwerkt komt het er zo uit te zien:

Variabelen:

Vol_i = Volume van product i (beslissingsvariabele) (ton)

D_i = (Verkoopprijs minus variabele kosten) van product i (euro~~s~~)

$Tempo_i^j$ = Tempo van product i op installatie j (ton per uur)

$Tijd_j$ = De beschikbare tijd op installatie j (uur)

Model:

$$\text{Maximaliseer } D_A Vol_A + D_B Vol_B + D_C Vol_C = M$$

$$Vol_A / Tempo_A^I + Vol_B / Tempo_B^I + Vol_C / Tempo_C^I \leq Tijd_I$$

$$\text{Onder: } Vol_B / Tempo_B^{II} + Vol_C / Tempo_C^{II} \leq Tijd_{II}$$

$$Vol_A, Vol_B, Vol_C \geq 0$$

Wanneer de verkoopprijs minus de variabele kosten wordt vermenigvuldigd met het volume zal de dekkingsbijdrage worden berekend, in het hoofdstuk Modellen zal worden uitgelegd waarom deze term is gekozen. In de eerste regel is dan te zien dat de totale dekkingsbijdrage wordt gemaximaliseerd door de som te nemen van de dekkingsbijdrage per product. Vervolgens staan vanaf de 2^{de} regel de restricties waar het model aan moet voldoen. In regel 2 en 3 staat dat de installaties niet langer gebruikt kunnen worden dan dat ze beschikbaar zijn. Daarom wordt er per product de tijd berekend dat deze zich in een installatie bevindt om vervolgens de tijden op te tellen en deze aan een limiet te laten voldoen. In de laatste regel van het model staat dat we geen negatieve volumes kunnen verkopen.

Om het concreet te maken wordt er uitgegaan van de volgende parameters:

$$D_A = 100, D_B = 150, D_C = 140, Tempo_A^I = 200, Tempo_B^I = 400, Tempo_C^I = 320$$

$$Tempo_B^{II} = 100, Tempo_C^{II} = 160, Tijd_I = 10 \text{ en } Tijd_{II} = 10.$$

Nu kan op dit model de simplex methode worden toegepast.

Stap 1: De eerste stap is om de ongelijkheidrestricties om te schrijven naar een standaard vorm van gelijkheden door het toevoegen van slackvariabelen (x_1 en x_2). Deze variabelen kunnen we beschouwen als niet-gebruikte capaciteitseenheden van de diverse installaties. Aan deze variabelen wordt de eis gesteld dat ze niet negatief zijn. De slackvariabelen worden toegevoegd wanneer er een restrictie staat van de vorm $\leq$. In het andere geval worden surplusvariabelen toegevoegd, hier wordt later verder op ingegaan.

Met de gekozen constanten en de slackvariabelen kan dan het volgende model worden gemaakt:

$$M - 100.Vol_A - 150.Vol_B - 140.Vol_C = 0$$

$$Vol_A / 200 + Vol_B / 400 + Vol_C / 320 + x_1 = 10$$

$$Vol_B / 100 + Vol_C / 160 + x_2 = 10$$

met nog steeds $Vol_A, Vol_B, Vol_C, x_1, x_2 \geq 0$.

In dit model komen nu 6 variabelen in 3 vergelijkingen tevoorschijn, waarmee in principe oneindig veel oplossingen te genereren zijn. Uiteraard is er alleen interesse in de oplossing waarvoor M maximaal is.

Stap 2: In deze stap wordt er gezocht naar een toegestane oplossing voor dit stelsel van vergelijkingen. Dit is eenvoudig te vinden door de slackvariabelen maximaal te kiezen ($x_1 = x_2 = 10$) en de beslissingsvariabelen gelijk aan 0 ($F = Vol_A = Vol_B = Vol_C = 0$). Echter, dit is niet optimaal.

Stap 3: Om op een overzichtelijke manier op zoek te gaan naar de maximale oplossing, wordt het simplex tableau opgesteld. Hierin staan de coëfficiënten van de variabelen en de rechterleden van de vergelijkingen ingevuld:

Basis	M	Vol_A	Vol_B	Vol_C	x_1	x_2	RL
M	1	-100	-150	-140	0	0	0
x_1	0	1/200	1/400	1/320	1	0	10
x_2	0	0	1/100	1/160	0	1	10

Tabel 4.1: Simplextableau 1.

De eerste kolom wordt de basis genoemd, hierin staan de basisvariabelen die gezamenlijk de basisoplossing bepalen. In de kolom RL staan de bijbehorende waarden van de basisvariabelen. Variabelen die niet in de basisoplossing zitten zijn gelijk aan 0.

Stap 4: Bepaal de kolom die in de eerste rij het meest negatieve element heeft. Wanneer deze variabele wordt toegevoegd aan de basisoplossing heeft dit de grootste invloed op de waarde van M . In dit geval is het grootste negatieve getal in de derde kolom te vinden en is gelijk aan -150. In de tabel staat deze met blauw aangegeven. Wanneer er geen negatieve elementen meer zijn in de eerste rij dan is de optimale oplossing gevonden en kan het algoritme gestopt worden.

Stap 5: Bepaal de rij waarmee de matrix zal worden *geveegd*¹¹. Dit vegen wordt gedaan om de variabele Vol_B in de basis te krijgen. Deel hiertoe de rechterleden door de corresponderende elementen uit de betreffende kolom. Dan wordt er gekozen voor de rij met het kleinste positieve quotiënt om te voorkomen dat er bij het vegen negatieve getallen in de RL -kolom ontstaan. In dit geval is dat de rij van x_2 (Rij 3). Deze variabele verdwijnt uit de basis en de variabele in de

¹¹ Met vegen bedoelen we het toepassen van Gauss-eliminatie. Dit is een techniek om een stelsel van lineaire vergelijkingen op te lossen door:

- 1) twee rijen in een matrix te verwisselen
- 2) een rij met een scalar c te vermenigvuldigen
- 3) bij een rij een veelvoud van een andere optellen of aftrekken

gekozen kolom komt op deze plaats te staan. Het getal dat aangeeft met welke rij er geveegd gaat worden noemen we het pivot-element en is in de tabel oranje gemaakt. Als er geen positieve quotiënten zijn dan is M onbegrensd.

Stap 6: In deze stap wordt de matrix in tableau 1 geveegd met de rij die in de vorige stap gevonden is. Na het vegen zal de volgende matrix berekend worden:

Basis	M	Vol_A	Vol_B	Vol_C	x_1	x_2	RL	
M	1	-100	0	-46,25	0	15000	150000	+ 150 x Rij 3
x_1	0	1/200	0	0,001563	1	-0,25	7,5	- 1/400 x Rij 3
Vol_B	0	0	1	0,625	0	100	1000	Rij 3 x100

Tabel 4.2: Simplextableau 2.

In deze tabel wordt het oranje element in tableau 1 op 1 gezet door deze met 100 te vermenigvuldigen. Dit mag volgens de Gauss-eliminatie als de hele rij met dezelfde scalar wordt vermenigvuldigd. De volgende stap is om de rest van de tabel schoon te vegen. Dit kan gedaan worden door rij 3 van tableau 2 te vermenigvuldigen met 1/400 en deze van de 2^{de} rij af te trekken. Zo ontstaat er een 0 op de roze positie. Dezelfde berekening wordt gedaan bij de eerste rij alleen wordt er 150 keer de 3^{de} rij erbij opgeteld, waardoor uiteindelijk tableau 2 ontstaat. Met dit tableau ontstaat een nieuwe basisoplossing. Er is nu een objectfunctiewaarde ontstaan van $M = 150000$, met $Vol_B = 1000$, $x_1 = 7,5$ en $Vol_A = Vol_C = x_2 = 0$. Daarbij is x_2 uit de basis verdwenen en heeft Vol_B die plaats ingenomen.

Om tot de optimale oplossing te komen wordt op tableau 2 stap 4 opnieuw toegepast. Dit zal herhaald worden tot de optimale oplossing is gevonden.

Hieronder zullen de verdere tableau's worden uitgewerkt, maar de stappen van het algoritme zullen niet uitgebreid worden langsgegaan. Achter iedere tabel staat wat er gedaan is om tot het volgende tableau te komen.

Basis	M	Vol_A	Vol_B	Vol_C	x_1	x_2	RL	
M	1	0	0	-15	20000	10000	300000	+100 x Rij 2
Vol_A	0	1	0	0,3125	200	-50	1500	Rij 2 x 200
Vol_B	0	0	1	0,625	0	100	1000	

Tabel 4.3: Simplextableau 3.

Basis	M	Vol_A	Vol_B	Vol_C	x_1	x_2	RL	
M	1	0	24	0	20000	12400	324000	+ 15 x Rij 3
Vol_A	0	1	-0,5	0	200	-100	1000	- 0,3125 x Rij 3
Vol_C	0	0	1,6	1	0	160	1600	Rij 3 x 1,6

Tabel 4.4: Simplextableau 4.

Alle elementen van de eerste rij van tableau 4 zijn positief en voldoen dus aan de stopconditie in stap 4. Uit dit tableau kan geconcludeerd worden dat de optimale oplossing (in het groen) voor dit probleem gelijk is aan $M = 324000$ en dat product A en product C in de basisoplossing worden opgenomen met een volume van respectievelijk 1000 en 1600 ton, deze getallen staan in tableau 4 weergegeven in het blauw. Dit is dus de oplossing van het primale probleem.

Om gevoeligheidsanalyse toe te passen is ook het duale probleem nodig. U kunt zich het duale probleem voorstellen door de vraag te stellen: stel er komt een handelaar die van U de tijd op de installatie wil kopen, hoeveel moet U daar dan minimaal voor vragen? Daartoe worden de nieuwe beslissingsvariabelen y_I en y_{II} gedefinieerd, waarvoor geldt dat y_i de te betalen prijs voor een tijdseenheid op installatie i is. Echter, de prijzen moeten wel zo hoog ingesteld worden dat het interessant is om de tijd op de installaties te verkopen. Anders kan deze tijd beter gebruikt worden om de producten zelf te produceren. Dan ontstaat het duale probleem:

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimaliseer} && Tijd_I y_I + Tijd_{II} y_{II} = M \\
 &\text{Onder} && y_I / Tempo_A^I && \geq D_A \\
 &&& y_I / Tempo_B^I + y_{II} / Tempo_B^{II} && \geq D_B \\
 &&& y_I / Tempo_C^I + y_{II} / Tempo_C^{II} && \geq D_C \\
 &&& y_I, y_{II} && \geq 0
 \end{aligned}$$

Wederom kan deze set vergelijkingen opgelost worden met de simplex methode. Echter, het enige verschil is dat er nu geen slackvariabelen toegevoegd worden, maar surplusvariabelen. Stel er wordt een surplusvariabele $-x_1$ toegevoegd, dan kan deze variabele geïnterpreteerd worden als de hoeveelheid tijd waarmee product A boven de minimeis van D_A ligt. Er ontstaan dan de volgende vergelijkingen:

$$\begin{array}{llll}
\text{Minimaliseer} & 10y_I + 10y_{II} = M & & \\
& y_I / 200 & -x_1 & = 100 \\
\text{Onder} & y_I / 400 + y_{II} / 100 & -x_2 & = 150 \\
& y_I / 320 + y_{II} / 160 & -x_3 & = 140
\end{array}$$

En er moet ook gelden dat: $y_I, y_{II}, x_1, x_2, x_3 \geq 0$

Het vinden van een startoplossing is niet zo eenvoudig als in het primale geval. Om deze te vinden wordt gebruik gemaakt van een hulpprobleem van het huidige duale probleem met behulp van kunstmatige variabelen. Bij iedere vergelijking wordt α een kunstmatige variabele toegevoegd om vervolgens de som van de kunstmatige variabelen te minimaliseren.

$$\begin{array}{llll}
\text{Minimaliseer} & u_1 + u_2 + u_3 & & \\
& y_I / 200 & -x_1 + u_1 & = 100 \\
& y_I / 400 + y_{II} / 100 & -x_2 + u_2 & = 150 \\
& y_I / 320 + y_{II} / 160 & -x_3 + u_3 & = 140
\end{array}$$

Als het oorspronkelijke LP-model een toegelaten oplossing heeft, dan moet het hulpmodel een optimale basisoplossing hebben met $u_1 = u_2 = u_3 = 0$. Ook dit hulpprobleem kan weer worden opgelost met de simplex methode. Hieruit komt de volgende oplossing:

$$u_1 = u_2 = u_3 = y_{II} = x_2 = 0, \quad y_I = 60000, \quad x_1 = 200 \quad \text{en} \quad x_3 = 47,5.$$

Om te controleren of dit inderdaad een toegelaten oplossing is voor het probleem kan dit worden ingevuld in het duale probleem.

$$\begin{array}{llll}
\text{Minimaliseer} & 10 \cdot 60000 + 10 \cdot 0 = 600000 & & \\
& 60000 / 200 & -200 + 0 & = 100 \\
& 60000 / 400 + 0 / 100 & -0 + 0 & = 150 \\
& 60000 / 320 + 0 / 160 & -47,5 + 0 & = 140
\end{array}$$

Uit deze vergelijkingen kan geconcludeerd worden dat het inderdaad een toegestane oplossing van het duale probleem ontstaat.

Vervolgens kunnen de stappen van het simplex algoritme van het primale probleem gevolgd worden om tot een oplossing te komen en deze stappen zullen hier dan ook niet verder worden toegelicht. De uiteindelijke oplossing voor het duale probleem wordt: $y_I = 20000$ en $y_{II} = 12400$. Bij deze waarde is de objectfunctie van het duale probleem 324000 euro. We zien een bevestiging van de eerder genoemde stelling, omdat de objectfunctie van het primale probleem gelijk is aan de objectfunctie van het duale probleem.

Uit de theorie is gebleken dat de oplossing van het duale probleem de schaduw prijzen zijn van het primale probleem. Dit houdt in dat wanneer er één uur meer van installatie I respectievelijk

installatie *II* ter beschikking zouden hebben naast de reeds aanwezige beschikbare uren dan zou er 20000 euro respectievelijk 12400 euro meer verdiend kunnen worden. Met deze schaduw prijzen worden de gereduceerde kosten van de producten berekend door:

$$rk_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i^* - c_j$$

In het geval voor de producten *A*, *B* en *C* in het voorbeeld:

$$rk_A = y_1^* / 200 + 0 \cdot y_2^* + -D_A = 20000 / 200 - 100 = 0 ,$$

$$rk_B = y_1^* / 400 + y_2^* / 100 + -D_B = 20000 / 400 + 12400 / 100 - 150 = 24 ,$$

$$rk_C = y_1^* / 320 + y_2^* / 160 + -D_C = 20000 / 320 + 12400 / 160 - 140 = 0 .$$

Voor product *B* zijn de gereduceerde kosten 24 euro, wat dus inhoudt dat product *B* 24 euro duurder moet worden wil het interessant worden om dit product te verkopen. Voor de reeds in de oplossing aanwezige variabelen zijn de gereduceerde kosten 0.

In het bovenstaande voorbeeld werd een LP-probleem opgelost, wanneer hetzelfde probleem als MIP-probleem zou worden opgelost komt er dezelfde oplossing uit. Dit komt doordat in de oplossing de volumes geheel-tallig waren. Om toch het Branch-and-bound algoritme uit te leggen zal een eenvoudig voorbeeld kort worden behandeld.

Stel er is 1 installatie beschikbaar voor 11 uur en er zijn 7 orders die over deze installatie kunnen worden geproduceerd. Per order kan de prijs en de tijd dat een order nodig heeft op de installatie verschillen. Er zal nu worden berekend welke orders er gekozen moeten worden.

In het volgende model zijn de x_i binaire beslissingsvariabelen, dus of de order wordt gekozen dan is de waarde 1 of de order wordt geweigerd en krijgt de waarde 0. In de objectfunctie staan de prijzen die de klanten betalen voor die order. En in de restrictie staan de tijden die per order nodig zijn:

$$\text{Maximaliseer} \quad 60x_1 + 60x_2 + 40x_3 + 10x_4 + 20x_5 + 10x_6 + 3x_7$$

$$\begin{aligned} \text{Onder:} \quad & 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 + 1.4x_4 + 3x_5 + 3x_6 + x_7 \\ & x_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, 7 \end{aligned}$$

Dan zal nu het branch-and-bound algoritme worden toegepast zoals deze is besproken in paragraaf 4.2.1. Waarbij in de initialisatie van de verzameling van deelproblemen wordt begonnen met het gehele probleem.

Initialisatie:

$$L := \{P_0\}, \bar{B}_0 = -\infty \quad \underline{B} = -\infty, \quad x = \phi$$

Iteratie 1:

Kies P_0 ; $L = \emptyset$; Los LP-relaxatie op: $x_1^0 = x_2^0 = 1$, $x_3^0 = 3/4$, $x_4^0 = x_5^0 = x_6^0 = x_7^0 = 0$.

Met $\bar{B}_0 = 150$. Kies als splitsingsvariabele x_3 en beschouw de deelproblemen:

$P_1 : P_0$ met toegevoegd $x_3 = 0$; $P_2 : P_0$ met toegevoegd $x_3 = 1$;

Met $\bar{B}_1 = \bar{B}_2 = 150$; $L := \{P_1, P_2\}$.

Iteratie 2:

Kies P_1 ; $L = \{P_2\}$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^1 = x_2^1 = x_4^1 = 1$, $x_5^1 = 8/15$, $x_3^1 = x_6^1 = x_7^1 = 0$, met $\bar{B}_1 = \lfloor 140,66 \rfloor = 140$.

Kies als splitsingsvariabele x_5 en beschouw de deelproblemen:

$P_3 : P_1$ met toegevoegd $x_5 = 0$; $P_4 : P_1$ met toegevoegd $x_5 = 1$;

Met $\bar{B}_3 = \bar{B}_4 = 140$; $L := \{P_2, P_3, P_4\}$.

Iteratie 3

Kies P_3 ; $L := \{P_2, P_4\}$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^3 = x_2^3 = x_4^3 = 1$, $x_6^3 = 8/15$, $x_3^3 = x_5^3 = x_7^3 = 0$, met $\bar{B}_3 = \lfloor 135,33 \rfloor = 135$.

Kies als splitsingsvariabele x_6 en beschouw de deelproblemen:

$P_5 : P_3$ met toegevoegd $x_6 = 0$; $P_6 : P_3$ met toegevoegd $x_6 = 1$;

Met $\bar{B}_5 = \bar{B}_6 = 135$; $L := \{P_2, P_4, P_5, P_6\}$.

Iteratie 4:

Kies P_5 ; $L := \{P_2, P_4, P_6\}$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^5 = x_2^5 = x_4^5 = x_7^5 = 1$, $x_3^5 = x_5^5 = x_6^5 = 0$, met $\bar{B}_5 = 133$. Dit is de tot nu toe beste oplossing

en is direct een ondergrens voor de andere problemen. $\underline{B} = 133$.

Iteratie 5:

Kies P_6 ; $L := \{P_2, P_4\}$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^6 = x_2^6 = x_6^6 = 1$, $x_3^6 = x_4^6 = x_5^6 = x_7^6 = 0$, met $\bar{B}_6 = 130$. Dit is lager dan de tot nu toe beste oplossing dus deze wordt geschrapt.

Iteratie 6:

Kies P_4 ; $L := \{P_2\}$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^6 = x_2^6 = x_5^6 = 1, x_3^6 = x_4^6 = x_6^6 = x_7^6 = 0$, met $\bar{B}_4 = 140$. Dit is hoger dan de tot nu toe beste oplossing en dus dit wordt nu de beste oplossing. $\underline{B} = 140$

Iteratie 7:

Kies P_2 ; $L = \emptyset$; Los LP-relaxatie op:

$x_1^2 = x_3^2 = x_4^2 = 1, x_5^6 = 13/15, x_2^6 = x_6^6 = x_7^6 = 0$, met $\bar{B}_2 = \lfloor 127,33 \rfloor = 127$. Dit is lager dan de tot nu toe beste oplossing dus deze wordt geschrapt.

Nu is te zien dat $L = \emptyset$ en dus voldoet aan de stopconditie. Uit de oplossing is te zien dat in iteratiestap 6 de oplossing wordt gevonden en dat wanneer de orders 1, 2 en 5 worden geproduceerd de winst gemaximaliseerd wordt.

Hoofdstuk 5: Modellen

Er zijn 2 modellen die gebruikt worden bij dit onderzoek, deze zullen worden beschreven en toegelicht in dit hoofdstuk. Na de beschrijving van de modellen zullen de modellen in zijn geheel worden weergegeven om zo een goed overzicht van het model te krijgen. Voor dit beschreven wordt, zal eerst de input van de modellen worden beschreven.

5.1 Input Modellen

In deze paragraaf zal informatie worden gegeven over de input van de modellen. Hierbij moet niet alleen gedacht worden aan wat de input is, maar ook welke programma's of modellen er nodig zijn om tot deze input te komen. Het is niet de bedoeling om Excelprogramma's op te nemen in deze scriptie om vervolgens stap voor stap uit te leggen wat er gebeurt, maar er zal worden ingegaan wat voor programma's er nodig zijn voor de input van de modellen.

Allereerst zal de input Goldmine behandeld worden. Dit is een database met alle orders van een kwartaal met daarbij de specifieke gegevens per order. De database bestaat uit: Tijdvak (welk jaar en kwartaal), *productsoort*, *Route*, *Bad_hev code*, *staalcode*, installatie, kwaliteitscategorie, *klant*, *branch*, land, dubbelbreed toegestaan indicator, *klantbreedte*, *klantdikte*, Max toegestaan rolgewicht, *warmbandprocescode*, *C_SO_KA* (oppervlaktecode), *zinklaag*, *Gloeitemperatuur*, *verkoopprijs*, *klantgewicht*, omzet, winst, dekking en *Enormering*.

De categorieën die schuin gedrukt zijn, worden gebruikt in tempomodellen, kosten berekening en/of rendementen. In deze database staan ook de routes die de orders doorlopen echter dit zijn niet de routes die zijn doorlopen door de orders. Het zijn de routes waarvan men verwacht dat die over die routes zijn gelopen. Hierdoor verschillen de tijden nogal op bepaalde installaties.

Om te berekenen hoelang een order zich op de installatie heeft bevonden zijn er ook tempomodellen nodig. In ieder model kan dan berekend worden hoeveel ton per uur er van die specifieke order geproduceerd kan worden. Voor iedere installatie is er een ander model nodig, omdat iedere installatie andere snelheden met zich meebrengt. Zo is het tempomodel van de DSP een lineaire functie van de breedte, terwijl het tempo van de warmband (WB2) afhangt van de staalcode, breedte en dikte waarna het tempo wordt gelezen uit tabellen. Het tempomodel van de warmband is te vinden in de figuur 5.1. Waarin boven in de Excelsheet het staaltype, de dikte en breedte kan worden ingevuld. Vervolgens zoekt het model de bijbehorende procescode op om daarna uit een tabel met die procescode, breedte en dikte het tempo af te lezen. Zo hangt iedere installatie van bepaalde factoren af en is ieder tempomodel anders.

Tempomodel WARMRAND 2

Info WB2, Kees Schouten, 16 april 2007
 Cijfers op basis van de totale productie,
 er is geen filtering op bedrijfsvoering of dergelijke.

Het WB2 tempomodel bepaald de productie in ton / netto productie uur.
 De productie wordt direct uit de tabel bepaald.
 Kolom- en rijovergangen geven een stap in het resultaat, er wordt niet geïnterpoleerd.

Breedte en Dikte OK? ☐ Procescode OK? ☐ **Productiesnelheid** 909 ton/PU

Klassenindeling:

Breedte		Dikte		Rij	
van	tot	van	tot	van	tot
400	899	1	1,27	1	1,47
900	1099	2	1,8	2	1,99
1100	1499	3	2	3	2,99
1500	1799	4	3	4	11,99
1800	2100	5	12	5	20,5

Snelheden bij de verschillende procescodes, breedtes en diktes
 Getallen in het Rood zijn toegestaan omdat we daar de waarde niet van hebben

PC1	Breedte groep	Dikte groep	Staalcode	Kwaliteitscategoriën
600<<900	900<<1100	1100<<1500	1500<<1800	1800<<2100
1,47<<1,80	526	596	667	769
1,80<<2,00	598	625	714	769
2,00<<3,00	598	625	833	833
3,00<<12,00	625	714	833	909
12,00<<20,50	400	526	769	833

PC2

Breedte groep	Dikte groep	Staalcode	Kwaliteitscategoriën
600<<900	900<<1100	1100<<1500	1500<<1800
1,47<<1,80	400	598	598
1,80<<2,00	500	598	714
2,00<<3,00	625	667	769
3,00<<12,00	667	714	833
12,00<<20,50	400	625	769

PC3

Breedte groep	Dikte groep	Staalcode	Kwaliteitscategoriën
600<<900	900<<1100	1100<<1500	1500<<1800
1,47<<1,80	400	598	598
1,80<<2,00	500	598	714
2,00<<3,00	625	667	769
3,00<<12,00	667	714	833
12,00<<20,50	400	625	769

Figuur 5.1: Programma voor tempomodel WB2.

Naast de tempomodellen is er ook een model om de variabele kosten te berekenen, in dit model worden verschillende kosten bij elkaar opgeteld welke afhangen van de gekozen route. Voor iedere fabriek die een route aandoet worden fasekosten in rekening gebracht. Deze fasekosten bestaan uit transportkosten, kapitaalkosten, voorraadkosten, fabriekskosten, materiaalverliezen, materiaalkosten, kosten van grondstoffen (energie etc.) en verpakkingskosten. Ook wordt er in een tabel opgezocht wat de kosten zijn van de staalcode, welke variabele kosten zijn omdat iedere staalcode anders is samengesteld en andere kosten heeft. Wanneer een product over een andere route wordt geproduceerd kan het zo zijn dat de staalcode ook verandert. Ook de rendementen worden tot de variabele kosten gerekend en worden meegenomen in dit model. Zoals eerder vermeld staan ook de variabele kosten per order vermeld in Goldmine. Deze zullen voor de productieorders in het RCO-model worden aangehouden. Voor de orders die aan het model worden toegevoegd zijn de variabele kosten echter niet bekend. Voor deze orders wordt dan ook het model gebruikt. In het RPO-model zal echter ook voor de productieorders gebruik gemaakt worden van de variabele kosten van het model. In dit model kunnen de productieorders over andere routes worden geproduceerd, om goed onderscheid tussen de routes te kunnen maken zullen voor zowel de alternatieve als voor de productie orders de variabele kosten van het model worden gekozen. De variabele kosten van het model kunnen maximaal 10 procent schelen met die van Goldmine en zitten er vaak dichterbij.

Dan zal nu behandeld worden hoe de routekeuzes tot stand komen. Allereerst is er een overgangstabel waarin éénen kunnen worden ingevuld wanneer de overgang mogelijk is van fabriek *i* naar fabriek *j* en nullen wanneer dit niet mogelijk is. De tabel is ingevuld naar de CSPIJ flowchart die in appendix A is opgenomen, maar kan worden aangepast naar wens van de

gebruiker. Ook staan de eindproducten in deze tabel vermeld, waardoor er met een recursief programma routes ontstaan met de bij behorende eindproducten. Daarnaast worden de limieten per route berekend. Hierbij kan gedacht worden aan minimale en maximale beperkingen van breedte, dikte, zinklaag etc. Deze installatielimieten kunnen elders in het Excel- programma per installatie worden ingevuld zodat deze kunnen worden aangepast wanneer deze veranderen.

In een ander programma kunnen routes worden geselecteerd naar de wensen van de klant. De input van het model is te zien in figuur 5.2. Hierin kunnen de desbetreffende specificaties worden ingevuld waarbij gedacht moet worden aan: Volume, Grade Name (Verkoopcode), Product, Bad hev code¹², Installaties¹³, Dikte, Breedte en Zinklaag. Het programma zoekt iedere route die aan deze eisen voldoet en geeft deze weer samen met de bijbehorende restricties. Vervolgens zoekt het programma in een tabel op welke routes zijn goedgekeurd door receptuur. Wanneer een route wordt goedgekeurd, wordt er een 1 achter de route gezet en wordt de staalcode, gloeitemperatuur en maximale walsreductie ook opgezocht. In deze fase kunnen de routes worden weggehaald of juist andere toegestane routes toevoegen. In het laatste geval moet de staalcode, gloeitemperatuur en maximale walsreductie zelf worden ingevuld. Vanaf hier werkt een programma die de vertaling maakt naar de Goldmine database. De benodigde kolommen worden ingevuld zodat Xpress-MP de orders kan lezen. De tempomodellen en variabele kosten modellen worden hierin ook direct aangeroepen.

Figuur 5.2: Programma voor routekeuze.

Nu is de input klaar voor verdere verwerking. Binnen het Xpress model kan nog worden ingesteld welke installaties bottleneck zijn en welke niet. Daarbij kan in geval van overcapaciteit ook de tijd worden ingevuld die beschikbaar is per installatie.

¹² Codes die binnen Corus worden gebruikt om een specifieke route aan te duiden.

¹³ Wanneer een klant één of meerdere installaties zeker wenst dan kan dat hier worden ingevuld.

5.2 Het RCO-Model

De bedoeling van dit model is om de huidige routes van het orderpakket in te lezen om vervolgens nieuwe orders toe te voegen en te bepalen wat financieel gezien de beste route is voor deze orders. Er wordt dus onderscheid gemaakt tussen 2 soorten orders, we noemen het een *order* een *overkorder* of *productieorder* wanneer deze is opgenomen in het orderpakket en we noemen het een *klantenorder* wanneer er nog moet worden beslist over welke route hij geproduceerd moet worden. De modelnaam RCO staat voor *Routing Costumer Orders*, welke is afgeleid van het doel van het model.

Om niet aan product mix verbetering te doen laten we de uitstroom van iedere fabriek met een factor krimpen zodat er genoeg ruimte ontstaat om de klantenorder aan het orderpakket toe te voegen. Aan deze factor zal een maximum zitten en de factor zal gebaseerd zijn op de hoeveelheid volume van de klantenorder. Corus wil alle fabrieken zo vol mogelijk hebben. Dus als een product eerder in het proces relatief meer op zou brengen is het toch de doelstelling om het door te sturen en alle installaties vol te krijgen.

De huidige productieorders gaan over een van tevoren vastgestelde route, enkel voor nieuwe klantenorders wordt er geanalyseerd welke routes er mogelijk zijn en deze routes worden meegegeven in het programma Xpress-MP.

Routes van de klantenorders en factoren om de volumes en tijden uit te rekenen zijn de beslissingsvariabelen. De overige variabelen zijn ingelezen uit Excel, of zijn lineaire combinaties van de beslissingsvariabelen en de ingelezen variabelen.

5.2.1 Toelichting Model RCO

In het model zal de dekkingsbijdrage gemaximaliseerd worden, maar voor dit beschreven wordt zullen eerst de nodige variabelen en parameters gedefinieerd moeten worden, welke in het uiteindelijke model onder de restricties komen te staan.

In de te optimaliseren dekkingsbijdrage wordt geen gebruik gemaakt van volumes die de klant besteld heeft, maar van volumes die zijn verrekend met een factor om zo de nieuwe order(s) te kunnen toevoegen. Deze factor is een beslissingsvariabele die door het model gekozen wordt. Er zijn 17 fabrieken waar een eindproduct uit kan komen. Alle producten die uit een fabriek komen worden een stroom genoemd. De plakken die in Goldmine staan worden gebruikt om te *ademen*. Met ademen wordt bedoeld dat mocht er elders op de lijnen meer geproduceerd kunnen worden, dan wordt het volume van het plak minder. Maar andersom geldt dit ook

wanneer elders op de lijnen minder geproduceerd kan worden. De benodigde variabelen en parameters zijn:

Variabelen:

v_i = (Uiteindelijke) Volumes per order i

$factor_k$ = Is de groei/krimpfactor van een stroom k

Parameters:

VV_i = Vraag van volume order i (uit Excel)

$factor \min_k$ = de maximale krimpfactor (door gebruiker in te voeren)

$factor \max_k$ = de maximale groeifactor (door gebruiker in te voeren)

Op de factor die het model mag kiezen om de volumes van een stroom te veranderen komen restricties te staan opdat deze verandering niet te groot of te klein mag zijn. Hiermee wordt vermeden dat de uiteindelijke volumes niet teveel afwijken van de vraag van een klant. De volumes krimpen met een vaste factor die afhangt van de laatste fabriek waar een product wordt geproduceerd dus moet voor alle orders in het orderpakket met eindinstallatie k gelden dat:

$$factor \min_k \leq factor_k \leq factor \max_k \quad \forall k \quad (1.1)$$

In deze formule moet er nog wel onderscheid worden gemaakt tussen eindinstallaties die bottleneck zijn en eindinstallaties die geen bottleneck zijn. Wederom om de reden om product-mix verbetering te vermijden. Daarbij is de vraag naar deze producten beperkter dan andere producten, waardoor ze niet zomaar kunnen groeien en eenvoudig (tegen een goede prijs) verkocht kunnen worden. De producten die een eindfabriek k hebben, die geen bottleneck is, worden om deze reden beperkt in hun groei door de $factor \max_k$ gelijk aan 1 te kiezen. In dat geval kunnen de volumes dus niet groeien. De mogelijkheid om de orders te laten krimpen wordt nog wel open gelaten in geval van een bottleneck. Dit omdat er limieten per fabriek worden ingesteld die kunnen worden bereikt, in dat geval kunnen de factoren dus nog wel krimpen. De installatie capaciteiten van de installaties die geen bottleneck zijn kunnen door de gebruiker worden ingesteld.

We nemen aan dat er M productieorders zijn opgenomen in het orderpakket. Daarom geldt voor alle $i \leq M$ waarbij k de laatste fabriek is dat ze allemaal aan dezelfde factor moeten voldoen. Per route staat dus vast welke laatste fabriek een product heeft en dus kan de factor bepaald worden uit de productieorders i , ($factor_i$)

$$v_i / VV_i = factor_i \quad \forall i \leq M$$

En om dit te verwerken in het LP-model wordt dit herschreven tot:

$$v_i = factor_i.VV_i \quad \forall i \leq M \quad (1.2)$$

Voor alle klantenorders worden de volumes gelijk gekozen aan de vraag: $v_i = VV_i, \forall i > M$.

De laatste formule zal direct in de formule van de dekkingsbijdrage worden geïmplementeerd. Vervolgens kunnen we de dekkingsbijdrage definiëren:

$$Dekkingsbijdrage = (verkoopprijs - variabele kosten).volume$$

In dit model wordt gebruik gemaakt van de dekkingsbijdrage en niet van de winst omdat de vaste kosten toch altijd aanwezig zijn. Wanneer de vaste kosten meegenomen worden, wordt een deel meestal toegewezen aan een specifieke order. Echter, het is niet de bedoeling dat de routekeuze hiervan af gaat hangen en daarom wordt er gebruik gemaakt van de dekkingsbijdrage.

Voor de dekkingsbijdrage worden de volgende variabelen en parameters gedefinieerd.

Variabelen:

d_i = Dekkingsbijdrage van order i

r_{ij} = j -de mogelijke route van order i (binair). (Voor het huidige orderboek is de route al vast gelegd en valt er dus niets te kiezen, daarom wordt deze alleen voor de klantenorders gebruikt).

Parameters:

p_i = Verkoopprijs van order i per ton (over alle routes j hetzelfde).

k_{ij} = Variabele kosten van order i en route j (per ton).

De variabele kosten kunnen per route worden berekend met behulp van een programma in Excel. Binnen het programma wordt rekening gehouden met alle kosten die gemaakt worden tot het eindproduct: transportkosten, kapitaalkosten, voorraadkosten, fabriekskosten, materiaalverliezen, verpakkingskosten en de kostprijs van de staalcode.

De objectfunctie van het programma wordt:

$$\max \sum_i d_i \quad (1.3)$$

Waarvoor geldt dat:

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}).v_i \quad \forall i \leq M \quad (1.4)$$

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}).VV_i.r_{ij} \quad \forall i: M < i \leq M + N \quad (1.5)$$

Voor de dekkingsbijdrage wordt er dus onderscheid gemaakt tussen productieorders en klantenorders. Het enige verschil tussen beide is dat voor de productieorders gebruik wordt gemaakt van de bestelde volumes vermenigvuldigd met een factor en voor de klantenorders

worden de bestelde volumes vermenigvuldigd met de binaire variabele r_{ij} . In het programma wordt dan de voordeligste route gekozen bij de i -de klantenorder.

Aangezien het een LP-model is, is het goed om op te merken dat (1.5) geen kwadratische formule is, omdat voor $i > M$ wordt v_i gekozen als het volume van de vraag van de klant, wat dus een vaste waarde is en geen te kiezen volume. Daarbij is r_{ij} een variabele die de optimale route kiest voor de i -de klantenorder. Om geen verschil in kwaliteit te krijgen voor een klant stellen wordt de eis gesteld dat een nieuwe klantenorder over maximaal één route mag gaan. In het model wordt tevens ervan uitgegaan dat de klantenorders altijd geaccepteerd worden. Aangezien r_{ij} een binaire variabele is moet er dan gelden dat:

$$\sum_j r_{ij} = 1 \quad \forall i : M < i \leq M + N \quad (1.6)$$

Als een klantenorder ook geweigerd mag worden is het model eenvoudig aan te passen met de volgende beperking.

$$\forall i : M < i \leq M + N : \sum_j r_{ij} \leq 1$$

Met deze restrictie bestaat er dus de mogelijkheid om voor alle j bij een klantenorder i de r_{ij} gelijk te kiezen aan 0, waarna er voor de klanten order geen route wordt geselecteerd mocht deze niet interessant genoeg zijn.

Eerder in het model was te zien dat de volumes vermenigvuldigd werden met een factor die afhing van de laatste installatie. Echter als het volume van een order verandert dan hoeft deze ook minder tijd in de fabrieken te verblijven waardoor de order gaat, deze tijden worden vermenigvuldigd met dezelfde factor. Dit kan gedaan worden omdat de tijden in de fabrieken worden berekend als lineaire functies van de volumes. Binnen deze tijden wordt al rekening gehouden met de omsteltijden. Verder hangt de snelheid per fabriek af van verschillende factoren, maar die blijven allemaal gelijk als alleen de volumes veranderen. Wederom zijn er andere parameters en variabelen gedefinieerd om dit in het model op te nemen:

Variabelen:

$$t_{ik} = (\text{Uiteindelijke})\text{Tijd in een fabriek } k \text{ van order } i$$

$$g_{ik} = (\text{Uiteindelijke}) \text{ Volumes van order } i \text{ bij fabriek } k$$

Parameters:

$$TP_{ik} = \text{Tijd van productieorder } i \text{ op fabriek } k \text{ (Excel)}$$

$$GP_{ik} = \text{Volumes van productieorder } i \text{ op fabriek } k \text{ (Excel)}$$

Bij iedere productieorder wordt gebruik gemaakt van een vaste route, op deze manier is ook per order te achterhalen welke fabriek als laatste wordt aangedaan. Er moet gelden:

$$t_{ik} / TP_{ik} = factor_i \quad \forall i \leq M \forall k$$

Dit kan geïmplementeerd worden door:

$$t_{ik} = factor_i \cdot TP_{ik} \quad \forall i \leq M \forall k \quad (1.7)$$

Hetzelfde geldt voor volumes in de fabrieken, met de materiaalverliezen:

$$g_{ik} / GP_{ik} = factor_i \quad \forall i \leq M \forall k$$

Dit kan geïmplementeerd worden door:

$$g_{ik} = factor_i \cdot GP_{ik} \quad \forall i \leq M \forall k \quad (1.8)$$

Per fabriek is er maar een beperkte hoeveelheid tijd beschikbaar. Omdat niet precies bekend is om de hoeveel tijd de fabrieken worden stilgelegd en omdat de kansen niet bekend zijn dat een fabriek stilvalt, wordt de hoeveelheid tijd die beschikbaar is per fabriek berekend door de productietijden van het huidige orderboek op te tellen. In geval van een bottleneck is deze sommatie dan de maximaal beschikbare tijd voor installatie k . Mocht een installatie geen bottleneck, zijn dan wordt een maximaal beschikbare tijd ingesteld. Deze tijden zijn in het model in te voeren, daarbij is ook in te stellen of een fabriek een bottleneck is of niet. Om dit te kunnen bewerkstelligen worden wederom nieuwe variabelen gedefinieerd:

T_k = Maximale beschikbare tijd op fabriek k (Sommatie van het huidige orderpakket, bij bottleneck)

Ook worden nieuwe parameters voor klantenorders gedefinieerd:

TK_{ijk} = Tijd die een klantenorder gebruikt bij order i , route j en fabriek k .

GK_{ijk} = Gewicht die een klantenorder gebruikt bij order i , route j en fabriek k .

Voor de fabrieken gelden dan tijdsrestricties:

$$T_k := \sum_{i=1}^M TP_{ik} \quad (\text{voor } k \text{ bottleneck}) \quad \forall k \quad (1.9)$$

$$\sum_{i=1}^M t_{ik} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j r_{ij} \cdot TK_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \quad (1.10)$$

Wederom geldt dat dit geen kwadratisch verband is, en als fabriek k geen bottlenecks is wordt T_k ingevuld naar de maximale beschikbare tijd die ingevuld is door de gebruiker.

In eerste instantie zou uitgegaan zijn van een gewichtsrestrictie voor de WSN, omdat hier aparte contracten mee zijn afgesloten. Toen deze echter werd meegenomen in het model gingen logischerwijs alle langzame orders over deze route, zodat er op de tijdsafhankelijke installaties ruimte vrij kwam voor de sneller orders. Dit zullen de mensen van WSN niet accepteren, omdat hun installatie dan langer in gebruik zou worden genomen en ze zullen het lopende contract herzien. Mocht deze restrictie wel meegenomen worden dan kan de maximale hoeveelheid die naar de WSN wordt gestuurd wederom worden ingesteld in het model. Deze parameter is G_{WSN}

en is de maximale hoeveelheid ton naar WSN. In paragraaf 7.1 zal deze variatie op het model kort besproken worden

$$\sum_{i=1}^M g_{iWSN} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j r_{ij} \cdot GK_{ijWSN} \leq G_{WSN} \quad (1.11)$$

De gewichten en tijden van de klantenorders kunnen worden berekend door:

$$g_{ik} = \sum_j r_{ij} \cdot GK_{ijk} \quad \forall i > M \quad (1.12)$$

$$t_{ik} = \sum_j r_{ij} \cdot TK_{ijk} \quad \forall i > M \quad (1.13)$$

Tenslotte kan er niet meer geproduceerd worden dan dat er nu gedaan wordt. Daarvoor gelden de laatste restricties. Zoals eerder vermeld zal de plak worden gebruikt om te kunnen ademen, dus alles wat te kort of te veel is zal worden opgevangen door plak. In Excel zijn de verliesfactoren per route berekend. Dus per order kunnen we berekenen hoeveel ton uit de oxystaalfabriek erin moet om de order te kunnen produceren. Om niet meer te produceren dan er nu gedaan wordt, zal de hoeveelheid vloeibare staal in de huidige situatie worden vergeleken met de hoeveelheid vloeibare staal in de nieuwe situatie. Hiervoor zijn de volgende parameters gedefinieerd.

Parameters:

Vf_{ij} = Verliesfactor van order i en route j .

Nu kan de volgende formule geformuleerd worden.

$$BeginVolume = \sum_{i=1}^M \sum_j v_i \cdot Vf_{ij} \quad (1.14)$$

Merk hierbij op dat het om de productieorders gaat en dus geldt dat voor alle i er maar 1 route is.

$$EindVolume = \sum_i \sum_j v_i \cdot Vf_{ij} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j v_i \cdot Vf_{ij} \cdot r_{ij} \quad (1.15)$$

En voor deze grootheden moet gelden dat:

$$EindVolume \leq BeginVolume \quad (1.16)$$

Verder moet gelden dat:

$$r_{ij} \in \{0,1\}$$

Alle variabelen ≥ 0

De bedoeling was in eerste instantie om de voorraden van de fabrieken mee te nemen, om zo het model te laten kiezen hoeveel dagen voorraad het beste zou zijn en om de kosten daarvan mee te nemen. Echter we hebben de beschikking over de ordercijfers per kwartaal en niet in chronologische volgorde of tijdseenheid, waardoor het niet mogelijk is om de voorraden te verrekenen. We hebben geen dynamisch systeem waar we kunnen zien waar en wanneer een productieorder zich in welke fabriek/voorraad bevindt.

Daarom is in overleg met de begeleiders de keuze gemaakt om de voorraden niet mee te nemen in het model en uit te gaan van een evenwichtstoestand. De kapitaalkosten van de producten in voorraad zullen wel worden meegenomen in het variabele kosten model.

5.2.2 Complete RCO Model

Declaraties:

d_i = Dekkingsbijdrage van order i	[ú]
p_i = Verkoopprijs van order i	[ú/Ton]
k_{ij} = Variabele kosten van order i en route j	[ú/Ton]
v_i = (Uiteindelijke) Volumes per order i	[Ton]
r_{ij} = j -de mogelijke route per order i	[Binair]
VV_i = Vraag van volume order i	[Ton]
$factor_k$ = De groei/krimpfactor van een stroom k	
$factor \min_k$ = De maximale krimpfactor bij fabriek k	
$factor \max_k$ = De maximale groeifactor bij fabriek k	
TP_{ik} = Tijd van productieorder i op fabriek k	[Uren]
GP_{ik} = Gewicht van productieorder i op fabriek k	[Ton]
t_{ik} = (Uiteindelijke) Tijd in een fabriek k van order i	[Uren]
g_{ik} = (Uiteindelijke) Gewicht van order i bij fabriek k	[Ton]
TK_{ijk} = Tijd van klantenorder bij order i , route j en fabriek k	[Uren]
GK_{ijk} = Gewicht van klantenorder bij order i , route j en fabriek k	[Ton]
T_k = Maximale beschikbare tijd op fabriek k	[Uren]
G_{WSN} = Maximale hoeveelheid ton naar WSN	[Ton]
Vf_{ij} = Verliesfactor van order i en route j .	

Objectfunctie:

$$\max \sum_i d_i \quad (1.3)$$

Restricties:

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}) \cdot v_i \quad \forall i \leq M \quad (1.4)$$

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}) \cdot v_i \cdot r_{ij} \quad \forall i : M < i \leq M + N \quad (1.5)$$

$$factor_{\min_k} \leq factor_k \leq factor_{\max_k} \quad \forall k \quad (1.1)$$

$$v_i = factor_i \cdot v_i \quad \forall i \leq M \quad (1.2)$$

$$M < i \leq M + N : \sum_j r_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1.6)$$

$$t_{ik} = factor_i \cdot TP_{ik} \quad \forall i \leq M \forall k : \quad (1.7)$$

$$g_{ik} = factor_i \cdot GP_{ik} \quad \forall i \leq M \forall k \quad (1.8)$$

$$T_k := \sum_{i=1}^M TP_{ik} \quad \forall k \quad (1.9)$$

$$\sum_{i=1}^M t_{ik} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j r_{ij} \cdot TK_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \quad (1.10)$$

$$\sum_{i=1}^M g_{iWSN} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j r_{ij} \cdot GK_{ijWSN} \leq G_{WSN} \quad (1.11)$$

$$g_{ik} = \sum_j r_{ij} \cdot GK_{ijk} \quad \forall k \quad (1.12)$$

$$t_{ik} = \sum_j r_{ij} \cdot TK_{ijk} \quad \forall i > M \quad (1.13)$$

$$BeginVolume = \sum_{i=1}^M \sum_j v_i \cdot v_{ij} \quad (1.14)$$

$$EindVolume = \sum_i \sum_j v_i \cdot v_{ij} + \sum_{i=M+1}^{M+N} \sum_j v_i \cdot v_{ij} \cdot r_{ij} \quad (1.15)$$

$$EindVolume \leq BeginVolume \quad (1.16)$$

$$r_{ij} \in \{0,1\}$$

Alle variabelen ≥ 0

5.3 Het RPO-Model

Dit LP-model werkt omgekeerd aan het vorige model; waar in het eerste model de klantenorders de vrijheid in de routekeuze kreeg, zullen nu de productieroutes deze vrijheid genieten. Daarbij zullen de klantenorders de vrijheid in volume krijgen. Deze klantenorders zullen in dit geval geen willekeurige orders zijn, maar commodity orders die worden bepaald naar het volume dat van bepaalde producten verkocht wordt. De keuze voor deze orders zal vallen op de orders die het meest verkocht worden. Vervolgens wordt er voor deze order bekeken wat de specificaties zijn over de routes waar deze over geproduceerd kan worden. En deze routes zullen worden

toegevoegd aan het model. Op deze manier houden we de dekkingsbijdrage als objectfunctie, doordat het model ruimte zal proberen te creëren door de routes beter in te delen zodat de vrijkomende ruimte opgevuld kan worden door klantenorders.

Dit model kan dus gebruikt worden om te zien hoe de routes het afgelopen kwartaal beter ingedeeld hadden kunnen worden en zo een marktafhankelijk advies geven over hoe het beste de producten kunnen worden ingedeeld de komende periode.

Op het moment wordt het RPO-model alleen gebruikt voor het herindelen van verzinkte producten van het zinklaagtype GI, echter het is ook mogelijk om het model uit te breiden naar alle producten. De naam voor het model RPO staat voor *Rerouting Production Orders*.

Deze toelichting zal minder uitgebreid zijn dan in geval van het RCO-model, omdat het veel op elkaar lijkt. De veranderingen zullen worden toegelicht.

5.3.1 Toelichting Model RPO

Wederom zal in dit model de dekkingsbijdrage gemaximaliseerd worden. Maar net zoals in de opzet wordt vermeld zullen de productieorders de mogelijkheid krijgen tot het kiezen van een andere route en zullen de klantenorders in volume kunnen variëren binnen de restricties van het model, zodat deze de ruimtes kan opvullen die ontstaan. Mochten er restricties komen op deze groeimogelijkheden, dan kunnen deze als volgt worden opgenomen:

Variabelen:

v_i = (Uiteindelijke) Volumes per klantenorder i

$factor_k$ = De groei/krimpfactor van een stroom k (in dit model gebruiken we als stromen de toegevoegde klantenorders)

Parameters:

VV_i = Vraag van volume order i (uit Excel)

$factor \min_k$ = De maximale krimpfactor (door gebruiker in te voeren)

$factor \max_k$ = De maximale groeifactor (door gebruiker in te voeren)

Met deze variabelen en parameters maken we de volgende restricties:

$$factor \min_k \leq factor_k \leq factor \max_k \quad \forall k \quad (2.1)$$

$$v_i = factor_i \cdot VV_i \quad \forall i > M + k \quad (2.2)$$

Voor de dekkingsbijdrage houden we dezelfde declaraties als in het vorige model:

Variabelen:

d_i = Dekkingsbijdrage van order i

r_{ij} = j -de mogelijke route van order i (binair). (Deze variabele is alleen van belang voor de productieorders in dit model.)

Parameters:

p_i = Verkoopprijs van order i per ton (over alle routes j hetzelfde).

k_{ij} = Variabele kosten van order i en route j (per ton).

In dit model gaan we er wederom vanuit dat we M productieorders hebben. Voor de klantenorders nemen we k gemiddelde routes uit het orderpakket waarbij iedere route een andere eindinstallatie heeft. Op deze manier is er een mogelijkheid tot het groeien van deze klantenorders om zo de ruimte die ontstaat van het herindelen van de productieorders op te kunnen vullen. Doordat we andere routes kunnen kiezen kunnen er minder verliezen ontstaan waardoor er volume staal overblijft. Ook kan door het herindelen van de routes tijd ontstaan op de installaties die niet gebruikt word voor productie, waardoor er extra volume over de installaties kunnen. Deze ruimtes vullen we op met de plakproducten die we hebben. Deze laten we weer gelijkmatig afnemen wanneer het gunstig is om andere producten te maken.

De dekkingsbijdrage zal er dan als volgt uit zien:

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}) \cdot VV_i \cdot r_{ij} \quad \forall i \leq M \quad (2.3)$$

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}) \cdot v_i \quad \forall i : M < i \leq M + k \quad (2.4)$$

Formule (2.4) gebruiken we ook voor de plakproducten. Dit kan doordat er altijd maar 1 route mogelijk is om plak te maken (namelijk over de gietmachines) en zodat we het volume kunnen variëren in Xpress. Op deze manier kan worden gekozen of we plak produceren of dat we het plak verder sturen over de lijnen.

Nu kunnen we de objectfunctie definiëren welke hetzelfde is als in het eerste model.

$$\max \sum_i d_i \quad (2.5)$$

Voor de routekeuze van de productieorders geldt dat er per order maar één route gekozen mag worden:

$$i \leq M : \sum_j r_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2.6)$$

Wederom veranderen ook de tijden van de klantenorders als de volumes kleiner dan wel groter worden en dit gebeurt recht evenredig. Deze variabele is ook in het vorige model gebruikt, alleen nu hangt deze niet meer van de route af:

Variabelen:

t_{ik} = (Uiteindelijke) Tijd in een fabriek k van order i

g_{ik} = (Uiteindelijke) Gewicht van order i bij fabriek k

Verder definiëren we nieuwe parameters voor de klantenorders:

TK_{ik} = Tijd die een klantenorder gebruikt bij order i en fabriek k .

GK_{ik} = Gewicht die een klantenorder gebruikt bij order i en fabriek k .

Met deze variabele en parameters zullen de volgende restricties worden opgenomen in het model:

$$t_{ik} = factor_i . TK_{ik} \quad \forall i : M < i \leq M + k \forall k \quad (2.7)$$

$$g_{ik} = factor_i . GK_{ik} \quad \forall i : M < i \leq M + k \forall k \quad (2.8)$$

Vervolgens hebben we wederom limieten op de tijd op de installaties, waarbij we de volgende variabele en parameters gebruiken:

T_k = Maximale beschikbare tijd op fabriek k (Sommatie van het huidige orderpakket, bij bottleneck)

Verder gebruiken we dezelfde naam voor de parameter van de tijd van een productieorder, maar deze hangt nu wel van de route j af:

TP_{ijk} = Tijd van productieorder i en route j op fabriek k (Excel)

GP_{ijk} = Gewicht van productieorder i en route j op fabriek k (Excel)

De gewichten en tijden van de productieorders kunnen nu worden berekend door:

$$g_{ik} = \sum_j r_{ij} . GP_{ijk} \quad \forall i \leq M \quad (2.9)$$

$$t_{ik} = \sum_j r_{ij} . TP_{ijk} \quad \forall i \leq M \quad (2.10)$$

Vervolgens kunnen we de restricties opleggen wat betreft de tijd, wederom met uitzondering van WSN, want hier geldt de gewichtsrestrictie:

$$T_k := \sum_{i=1}^M TP_{i1k} \text{ (voor } k \text{ bottleneck)} \quad \forall k \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_j r_{ij} . TP_{ijk} + \sum_{i=M+1}^{M+k} t_{ik} \leq T_k \quad \forall k \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_j r_{ij} . GP_{ijWSN} + \sum_{i=M+1}^{M+k} g_{iWSN} \leq G_{WSN} \quad (2.13)$$

Ook in de restricties van de volumes veranderen op een subtiële wijze:

Parameters:

Vf_{ij} = Verliesfactor van order i en route j .

$$BeginVolume = \sum_{i=1}^M VV_i . Vf_{i1} \quad (2.14)$$

$$EindVolume = \sum_{i=1}^M \sum_j VV_i . Vf_{ij} . r_{ij} + \sum_{i=M+1}^{M+k} VV_i . Vf_{ij} \quad (2.15)$$

$$EindVolume \leq BeginVolume \quad (2.16)$$

Hierbij zien we in (2.14) Vf_{i1}^f verschijnen. Dit komt omdat de orders van het huidige orderboek op eerste positie worden gezet, waardoor het beginvolume wordt bepaald door het volume van de eerste route.

5.3.2 Complete RPO Model

Declaraties:

d_i = Dekkingsbijdrage van order i	[ú]
p_i = Verkoopprijs van order i	[ú/Ton]
k_{ij} = Variabele kosten van order i en route j	[ú/Ton]
v_i = (Uiteindelijke) Volumes per order i	[Ton]
r_{ij} = j -de mogelijke route per order i	[Binair]
VV_i = Vraag van volume order i	[Ton]
$factor_k$ = De groei/krimpfactor van een stroom k	
$factor \min_k$ = De maximale krimpfactor bij fabriek k	
$factor \max_k$ = De maximale groeifactor bij fabriek k	
TS_{ijk} = Tijd van productieorder i met route j op fabriek k	[Uren]
GS_{ik} = Gewicht van productieorder i op fabriek k	[Ton]
t_{ik} = (Uiteindelijke) Tijd in een fabriek k van order i	[Uren]
g_{ik} = (Uiteindelijke) Gewicht van order i bij fabriek k	[Ton]
TK_{ik} = Tijd van klantenorder bij order i en fabriek k	[Uren]
GK_{ik} = Gewicht van klantenorder bij order i en fabriek k	[Ton]
T_k = Maximale beschikbare tijd op fabriek k	[Uren]
Vf_{ij} = Verliesfactor van order i en route j .	

Objectfunctie:

$$\max \sum_i d_i \quad (2.5)$$

Restricties:

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}).VV_i.r_{ij} \quad \forall i \leq M \quad (2.3)$$

$$d_i = \sum_j (p_i - k_{ij}).v_i \quad \forall i : M < i \leq M + k \quad (2.4)$$

$$factor \min_k \leq factor_k \leq factor \max_k \quad \forall k \quad (2.1)$$

$$v_i = factor_i.VV_i \quad \forall i > M + k \quad (2.2)$$

$$\sum_j r_{ij} = 1 \quad \forall i \leq M \quad (2.6)$$

$$M < i \leq M + k \forall k : t_{ik} = factor_i.TK_{ik} \quad \forall i \quad (2.7)$$

$$M < i \leq M \forall + k \forall k : g_{ik} = factor_i.GK_{ik} \quad \forall i \quad (2.8)$$

$$g_{ik} = \sum_j r_{ij}.GP_{ijk} \quad \forall i \leq M \quad (2.9)$$

$$t_{ik} = \sum_j r_{ij}.TP_{ijk} \quad \forall i \leq M \quad (2.10)$$

$$T_k := \sum_{i=1}^M TP_{i1k} \quad \forall k \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_j r_{ij}.TP_{ijk} + \sum_{i=M+1}^{M+k} t_{ik} \leq T_k \quad \forall k \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_j r_{ij}.GP_{ijWSN} + \sum_{i=M+1}^{M+k} g_{iWSN} \leq G_{WSN} \quad (2.13)$$

$$BeginVolume = \sum_{i=1}^M VV_i.Vf_{i1} \quad (2.14)$$

$$EindVolume = \sum_i \sum_j VV_i.Vf_{ij}.r_{ij} + \sum_{i=M+1}^{M+k} \sum_j v_i.Vf_{ij} \quad (2.15)$$

$$EindVolume \leq BeginVolume \quad (2.16)$$

$$r_{ij} \in \{0,1\}$$

Alle variabelen ≥ 0

5.4 Rekentijd

De rekentijd van de twee modellen in Xpress-MP schelen onderling niet veel en liggen zo rond de één minuut op de computer die ter beschikking was gesteld door Corus. De berekeningen zijn redelijk snel gemaakt waardoor variaties op het model goed te controleren zijn.

Hoofdstuk 6: Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten worden besproken van het onderzoek. Eerst wordt kort het RCO-model behandeld. Hierin wordt uitgelegd hoe de modellen werken en waarom het RCO-model onvoldoende geschikt is voor het onderwerp. Dan komt het RPO-Model aan bod, waarin eerst te zien is op welke installaties tijd bespaard wordt om vervolgens te analyseren hoe dit zich verhoudt tot de volumeveranderingen. Aan de hand van deze veranderingen wordt onderzocht hoe de dekkingsbijdrage verandert, hierin zal ook het marktonderzoek plaatsvinden. Dan zijn de volumeveranderingen onderzocht, maar is er nog niet bekend wat dit inhoudt voor de diverse producten. In dit hoofdstuk zullen de DX51D en H340LAD geanalyseerd worden. Dit zijn de producten waar de meeste alternatieve routes voor zijn en die werden aangedragen door de projectgroep.

6.1 Resultaten RCO-Model

Zoals te lezen was in hoofdstuk 5 worden in dit model klantenorders toegevoegd aan het huidige orderpakket (1^{ste} kwartaal 2007), waarna het model mag kiezen welke route het beste is. Hierin worden de verdringingskosten berekend op zowel de installatie als op de markt. Er wordt dus rekening gehouden met hoe gunstig de orders zijn die op het moment over een installatie gaan. Dit model werkt exact hetzelfde als het concept van verdringen in de paragraaf verdringingskosten in het hoofdstuk oplossingsmethodes, echter werkt het hier door de hele productieketen heen. Tenzij anders vermeld wordt de zinklaag op een gemiddelde van 150 gr/m² (2 zijden) ingesteld en zijn de koudwalsen de enige installaties die geen bottleneck zijn. In dit model zullen de variabele kosten worden aangehouden die worden aangegeven door de Goldmine database. Het variabele kosten model zal worden gebruikt om de variabele kosten van de klantenorders te berekenen. Binnen de Goldmine database staan ook per order de klantnamen vermeldt en onder deze klantnamen is ook CPP verpakkingstaal te vinden. Deze zullen door het model buiten beschouwing worden gelaten, omdat deze producten goedkoper worden verkocht aan CPP, hierdoor gaat de waarde van de installatie omlaag waardoor er eerder op de lijn zal worden verdrongen. Daarom is er gekozen om op de producten voor CPP niet te verdringen. De DVL3 installatie zal tenzij anders vermeld buiten beschouwing gelaten worden.

6.1.1 Werking Modellen

Om te laten zien hoe de modellen precies werken zal eerst één voorbeeld worden uitgewerkt voor een willekeurige breedte van 1250 mm en een dikte van 2,8 mm. De uitkomst van deze berekening is te zien tabel 5.1. Dit is de directe uitvoer van het programma en in deze tabel staan

Route	Reduced Cost	Variabele Kosten	Verdringingskosten
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	0,00	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-DVL2	0,41	-2,67	3,08
GM-WB2-BB22-DVL2	7,58	-0,17	7,76
GM-WB2-WSN	13,65	20,14	-6,49
DSP-BB21-KW21-DVL2	19,51	3,96	15,55
DSP-BB21-DVL2	15,01	1,26	13,75
DSP-BB22-DVL2	22,49	3,83	18,65
DSP-WSN	27,91	23,97	3,93

Tabel 6.1: Tabel met routemogelijkheden bij een breedte van 1250 mm en 2.8 mm met daarbij de gereduceerde kosten in het RCO model.

in de eerste kolom de mogelijke routes voor deze breedte en dikte.

Uit tabel 6.1 is op te maken dat de route rGM-WB2-BB21-KW21-DVL2 de voorkeur geniet boven de andere routes. In de tabel is te zien wat de gereduceerde kosten zijn van de andere routes, vervolgens zijn deze gereduceerde kosten opgesplitst in variabele kosten en verdringingskosten. Op deze manier is goed te zien wat de bijdrage is van de variabele kosten. In het hoofdstuk mathematische programmeringsmodellen zijn de gereduceerde kosten gedefinieerd als de prijs dat een product meer op moet gaan brengen om in de oplossing te komen. Om een controle uit te voeren dat de gereduceerde kosten inderdaad kloppen, zullen de variabele kosten van de route rDSP-BB21-DVL2 16 euro goedkoper gemaakt worden en wordt het model opnieuw doorerekend. De uitkomst is te zien in tabel 6.2.

Route	Reduced Cost	Variabele Kosten	Verdringingskosten
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	0,99	14,74	-13,75
GM-WB2-BB21-DVL2	1,40	12,07	-10,68
GM-WB2-BB22-DVL2	8,57	14,57	-6,00
GM-WB2-WSN	14,64	34,88	-20,24
DSP-BB21-KW21-DVL2	20,50	18,70	1,80
DSP-BB21-DVL2	0,00	0,00	0,00
DSP-BB22-DVL2	23,48	18,58	4,90
DSP-WSN	28,90	38,71	-9,82

Tabel 6.2: Dezelfde tabel als 5.1 met DSP-BB21-DVL2 16 euro goedkoper in model.

Uit tabel 6.2 kan geconcludeerd worden dat het concept van gereduceerde kosten klopt in het voorbeeld. De route die eerder goedkoper gemaakt was, wordt nu inderdaad gekozen als voorkeursroute.

Een andere optie binnen het model is het opgeven van bottlenecks. Er kan worden aangegeven welke installaties overcapaciteit hebben en welke volgepland zijn. In het model wordt uitgegaan van overcapaciteit van de koudwals, de andere installaties worden gezien als bottleneck. Om het concept van bottlenecks te testen, wordt nu uitgegaan dat de WSN ook overcapaciteit heeft en zal als zijnde niet bottleneck worden meegegeven aan het model. Het resultaat hiervan is te aanschouwen in tabel 6.3.

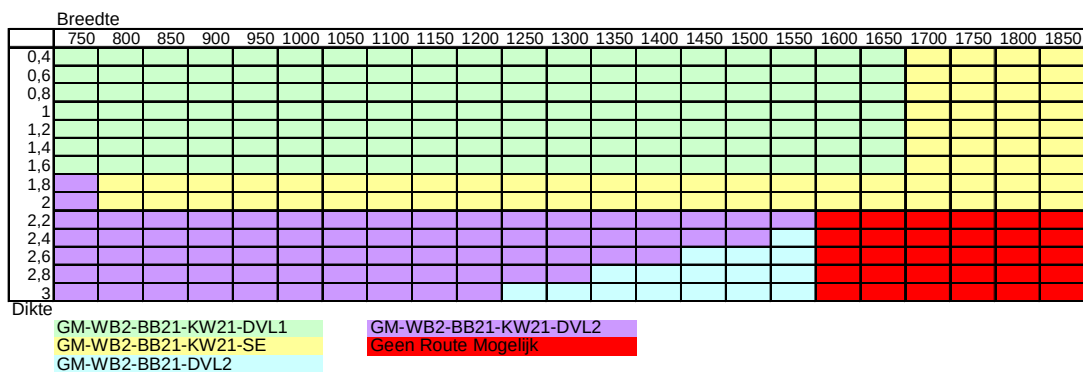
Route	Reduced Cost	Variabele Kosten	Verdringingskosten
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	24,53	-20,14	44,67
GM-WB2-BB21-DVL2	24,94	-22,80	47,75
GM-WB2-BB22-DVL2	32,12	-20,31	52,43
GM-WB2-WSN	0,00	0,00	0,00
DSP-BB21-KW21-DVL2	44,04	-16,18	60,22
DSP-BB21-DVL2	39,54	-18,88	58,42
DSP-BB22-DVL2	47,02	-16,30	63,32
DSP-WSN	14,26	3,84	10,43

Tabel 6.3: Dezelfde tabel als 5.1 met WSN als zijnde niet bottleneck in model.

Uit 6.3 blijkt dat het model één van de WSN-routes als voorkeursroute kiest. Dit komt omdat de klantenorder op deze installatie niet hoeft te verdringen, maar de overcapaciteit wordt gebruikt om het product te produceren. Voor zover is dit hoofdstuk bedoeld om te zien hoe de modellen werken door situaties te creëren waarvan de uitkomst te verwachten is, en om het concept van gereduceerde kosten uit te leggen aan de hand van een concreet voorbeeld binnen het model. Met deze tabellen kan wel geconcludeerd worden dat er geen ranking te maken valt van financiële factoren, omdat de financiële factoren samen zijn genomen in de variabele kosten. Hoogstens kunnen de variabele- en verdringingskosten geanalyseerd worden.

6.1.2 Toepassing RCO-Model

Voor het product DX51D worden door programma's alle mogelijke routes voor alle combinaties van diktes en breedtes gezocht. Vervolgens rekent Xpress-MP van deze routes per dikte en breedte de voorkeursroute uit, daarnaast zullen ook de gereduceerde kosten van de alternatieve routes berekend worden. De uitkomst komt er dan uit te zien als in tabel 6.3.



Tabel 6.3: Voorkeursroutes DX51D in RCO-Model

In de afbeelding is te zien dat het RCO-model de routes bij dunne en smalle afmetingen vooral over de "GM-WB2-BB21-KW21-DVL1" route stuurt. De grenzen bij een dikte van 1,6 mm en een breedte van 1650 mm zijn de installatie limieten van de DVL1. Dus volgens dit model moet waar mogelijk het product DX51D over de DVL1. Bijna hetzelfde geldt voor de "GM-WB2-BB21-KW21-

SE-route. Deze heeft namelijk installatielijnmeten met een breedte van 800 bij 1850 en een dikte van 0,4 tot 2. In de afbeelding is te zien dat de Segal route wordt gekozen wanneer de DVL1 route niet meer mogelijk is. In de overige gevallen wordt de DVL2 route gekozen dan wel met of zonder de koudwals stap erbij. De afmetingen in het rode gebied zijn in het geheel niet mogelijk om te produceren.

Het idee was om met dit model de vuistregels op te stellen voor de routekeuze. Echter blijkt dat het model te gevoelig is voor de durelijnen. Waarmee met dure lijnen bedoeld wordt dat vooral de dure orders op bepaalde lijnen geproduceerd worden. Op deze manier komt bijvoorbeeld de WSN nooit als adviesroute voor. Dit is goed te zien in de routekeuze van de afmeting 1050 mm bij 1,4 mm in tabel 6.4.

Route	Reduced Cost	Variabele Kosten	Verdringingskosten
GM-WB2-BB21-KW21-SE	11,89	6,33	5,56
GM-WB2-BB21-KW21-DVL1	0,00	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	24,85	-3,31	28,16
GM-WB2-BB22-DVL2	50,44	-3,48	53,92
GM-WB2-WSN	92,12	16,83	75,29
DSP-BB21-KW21-DVL1	19,56	4,03	15,53
DSP-BB21-KW21-DVL2	47,75	0,65	47,10
DSP-BB22-DVL2	58,85	0,53	58,32
DSP-WSN	100,17	20,66	79,51

Tabel 6.4: Uitkomst RCO-Model bij order met afmeting 1050 mm bij 1,4 mm.

Hieruit blijkt dat vooral de huidige WSN-routes erg duur zijn vergeleken met de andere routes. Voor de DSP-WSN route zijn de kosten meer dan 100 € per ton duurder dan de klassieke koudwalsroute met DVL1. In dit schema is te zien dat ook de DVL2 route duurder is dan de DVL1 route. Om dit te verklaren zal er nader gekeken worden naar de specificaties van de routes. Hieruit blijkt dat de dekkingsbijdrage van de installaties per uur enorm verschillen bij dit orderpakket, dit is te zien in tabel 6.5. Bij dit orderpakket levert de DVL1 het minst op per uur. De tijdsfactor die ook in deze tabel vermeld staat is de factor die hoort bij de specifieke order DX51D met breedte 1050 mm en dikte 1,4 mm. Met deze factor wordt bedoeld dat wanneer de DVL1 er één tijdseenheid over doet, dan doet de WSN er 1,38 tijdseenheden over. Dit om aan te geven dat de keuze voor de DVL1 ook ligt aan de tijd die vrij moet worden gemaakt om de order te produceren. Deze tijdsfactor is voor deze specifieke order en zal blijven gelden in ieder ander model. Echter, in het volgende model zal de dekkingsbijdrage in euro's per uur anders zijn, waardoor de WSN wel kan worden gekozen. In het voorbeeld komt duidelijk naar voren dat de verdringingskosten een grote rol spelen in de route keuze. Uit tabel 6.4 blijkt namelijk dat bij de

Eindinstallatie	Dekkingsbijdrage in Euro's per uur	Tijdsfactor
DVL1	7505	1
DVL2	10497	0,982632243
SE	9856	1,011813259
WSN	11740	1,380630729

Tabel 6.5: Opbrengst en tijdsfactor op eindinstallaties

GM-WB2-BB22-KW21-DVL2 route de variabele kosten 3 € per ton goedkoper zijn, maar omdat de verdringingskosten 28 € per ton zijn komen de gereduceerde kosten op 25 € per ton. Hiermee is te zien dat marktontwikkeling en bezettingsgraad van de lijnen erg belangrijk zijn.

Met deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat dit model onvoldoende bruikbaar is voor het vinden van vuistregels door ogenschijnlijk dure lijnen.

6.2 Resultaten RPO-Model

Om nu toch tot de gewenste vuistregels te komen zal het RPO-Model worden toegepast. In dit model zullen alle verzinkte orders een aantal alternatieve routes meekrijgen waardoor het model kan kiezen over welke routes de orders worden geproduceerd. Op deze manier wordt de capaciteit op de installaties vrijgegeven waardoor de dekkingsbijdrage in euro per uur drastisch kunnen veranderen en installaties als de WSN kunnen worden gekozen. Binnen het RPO-model worden de variabele kosten van het variabele kosten model gebruikt. Doordat de productieorders heringedeeld worden kan er bij het huidige orderpakket overcapaciteit ontstaan op de installaties, deze zullen worden opgevuld door plak downstream te sturen en deze plak wordt dan omgezet in commodity orders, dit wordt ook wel *ademen met plak* genoemd. Deze opvulorders kunnen de huidige productieorders verdringen. Wanneer een commodity order gunstig is op een bepaalde route zal hier ruimte vrij worden gemaakt door de productieorders elders te produceren, het concept van verdringingskosten werkt hier dan ook net iets anders als in het RCO-model. Voor de commodity orders worden de DD11 gebruikt voor onbeklede en gebeitste producten, DC01 voor koudgewalste en gegloeide producten en DX51D wordt gebruikt voor verzinkte en geverfde producten. Dit zijn producten die relatief goedkoop zijn en veel verkocht worden.

6.2.1 Tijden en volumes

Na het rekenen met het RPO-model, wordt er capaciteit op de installaties vrij gemaakt om dit vervolgens met commodity orders op te vullen. Deze ruimte ontstaat doordat orders kunnen veranderen van installatie waar ze minder tijd gebruiken dan waar ze geboekt waren. Het gaat dus niet net als in het RCO-model ten koste van andere orders.

In tabel 6.6 is er te zien wat er met de tijdsindeling van de lijnen gebeurt. Zoals in de paragraaf input modellen van hoofdstuk 5 is vermeld klopt de indeling zoals het werkelijk is gegaan niet. Dit is bijvoorbeeld te zien aan de beitsbanen waar op BB21 2255 uur is geproduceerd en op BB22 is 598 uur geproduceerd. In de analyses wordt er wel vanuit gegaan dat de Goldmine routes kloppen, aan de hand van deze database wordt de voorkeursindeling gedaan. In het vervolg kan gekozen worden de tijden in te stellen naar de werkelijke beschikbare capaciteit.

In de eerste kolom van tabel 6.6 zijn de totale tijden in uren vermeld die volgens Goldmine zijn gebruikt in het eerste kwartaal van 2007. Vervolgens staat in de tweede kolom de tijden die

	Tijd gebruikt door productie orders	Tijd gebruikt door model zonder ademen	Ruimte zonder ademen	Tijd gebruikt door model met ademen	Ruimte na ademen
DSP	1146	1121	-25	1146	0
WB2	1633	1624	-9	1633	0
WB_NAW	128	128	0	128	0
WB_SKB	281	281	0	281	0
BB21	2255	2237	-18	2255	0
BB22	598	579	-19	598	0
KW21	1276	1294	18	1310	34
KW22	0	0	0	0	0
WSN	493	493	0	493	0
Gloei	1185	1185	0	1185	0
Segal	1819	1819	0	1819	0
DVL1	1671	1671	0	1671	0
DVL2	2191	2093	-98	2191	0
DVL3	0	0	0	0	0
VL1	2190	2190	0	2190	0
VL2	0	0	0	0	0

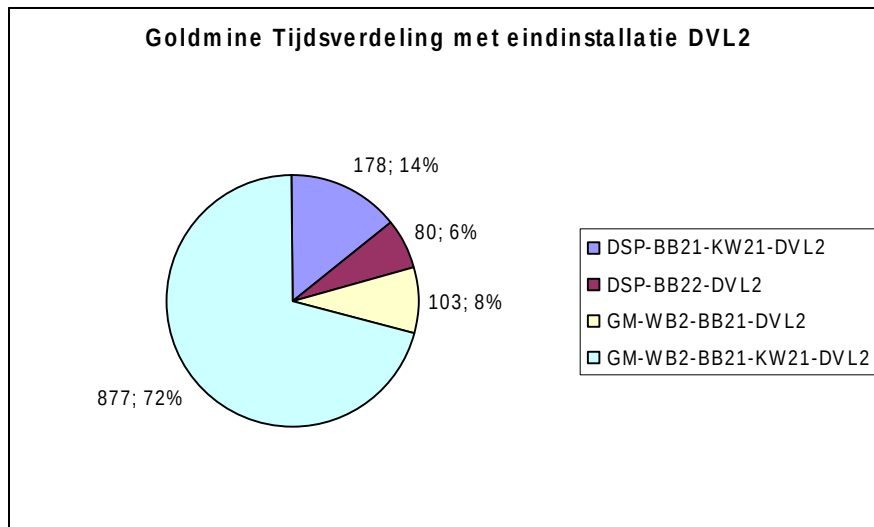
Tabel 6.6: Tabel met de gebruikte tijden op de installaties.

gebruikt zijn nadat het model de routes heringedeeld heeft zonder plak door te sturen, waarna in de derde kolom het verschil tussen deze kolommen staat. In de derde kolom is te zien dat het model 25 uur vrij maakt op de DSP en zelfs 98 uur op de DVL2. Ook gebruikt het model 18 uur meer op de koudwalserij dan dat Goldmine dat deed. Dit is toegestaan omdat de koudwalserij niet als een bottleneck wordt gezien, hierdoor valt deze 18 uur binnen de overcapaciteit van de koudwalserij. Vervolgens staan in de vierde kolom de tijden die gebruikt zijn door het model wanneer de plak downstream gestuurd is. In de laatste kolom zijn de verschillen te zien met de Goldmine database. Hierin is te zien dat alles wordt opgevuld en dat er in totaal 34 uur van de overcapaciteit van de koudwalserij wordt gebruikt.

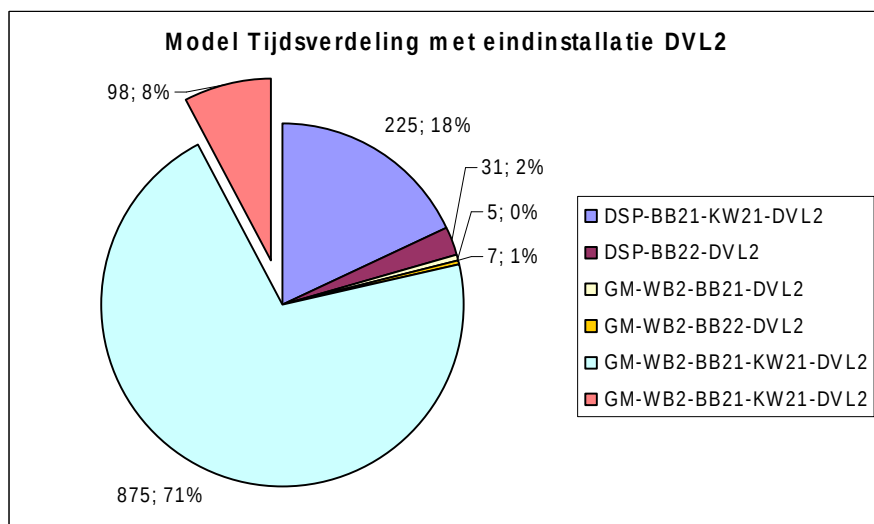
De ruimte die vrijkomt na het herindelen van het model wordt opgevuld met 5040 ton op de DSP-BB22 en 7120 ton op de WB2-BB21-KW21-DVL2. De opvulorder van 7120 ton heeft dus 9 uur nodig op de WB2 terwijl dezelfde order 98 uur nodig heeft op de DVL2. Dit komt doordat de productiesnelheid van de WB2 voor de opvulorder ongeveer 833 ton per uur is terwijl dit voor de DVL2 maar 72 ton per uur is. Hierdoor worden ondanks de grote verschillen in uren toch alle installaties opgevuld.

In tabel 6.6 staan de tijden van de KW22, DVL3 en VL2 op nul. Dit komt doordat de KW22 en DVL3 (nog) niet worden meegenomen in het model. Maar door de KW21 als zijnde geen bottleneck op te geven is het niet nodig om KW22 mee te nemen. In Goldmine wordt de verflijn 1 en 2 (VL1 en VL2) als één installatie gezien en daarom staat VL2 op 0. Voor het model maakt dit verder niet uit doordat alleen naar het verzinkte pakket wordt gekeken.

In de figuren 6.1 en 6.2 wordt er onderzocht hoe de eindinstallatie DVL2 gebruikt wordt door de verschillende routes. De geverfde producten die ook over de DVL2 gaan zullen hier buiten beschouwing worden gelaten doordat deze toch geen alternatieve route mee krijgen en over de



Figuur 6.1: De tijdsverdeling van Goldmine van orders met eindinstallatie DVL2.



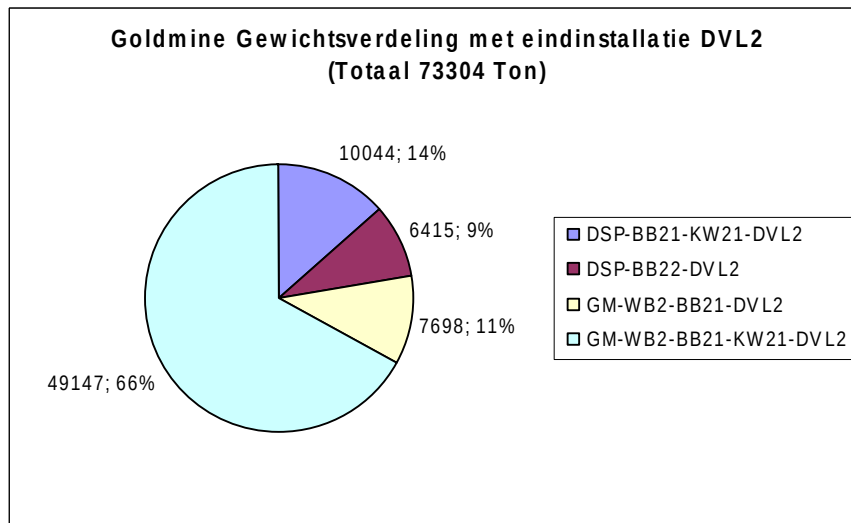
Figuur 6.2: De tijdsverdeling van de voorkeursroutes van orders met eindinstallatie DVL2.

DVL2 geproduceerd moeten worden. Alleen de producten die DVL2 als eindinstallatie hebben worden meegenomen in de diagrammen. In figuur 6.1 is de verdeling te zien zoals dat volgens Goldmine gebeurt. Bij ieder deel van het diagram staat de hoeveelheid uren vermeld dat die specifieke route gebruikt en vervolgens hoeveel procent dit van het totaal is. Daarbij is te zien dat in totaal 86% via een koudwals gaat en dat 14% deze stap over slaat.

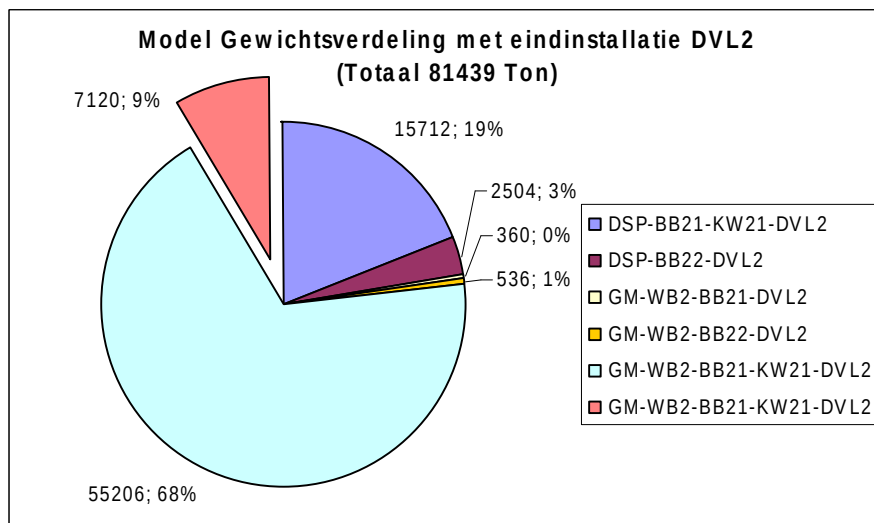
In figuur 6.2 is de indeling te zien hoe het model dit zou doen. Hierbij is te zien dat het model één extra route aandoet namelijk de "GM-WB2-BB22-DVL2". Het deel van 8% dat zich los van het diagram bevindt is het deel wat gebruikt wordt voor de opvulorders. Dit is dezelfde route als het

deel van 71%, echter is dit deel apart vermeldt om onderscheid te maken tussen de productieorders die worden ingedeeld en het deel dat wordt opgevuld met opvulorders. Na het herindelen van de routes wordt dus 8% op de installatie vrij gemaakt. Verder is in dit diagram te zien dat het percentage routes met eindinstallatie DVL2 die de koudwalsstap overslaat in totaal maar 3% is. Om ruimte op de WB2 en DSP te winnen wordt er meer over de koudwals geproduceerd. Wanneer het materiaal over de koudwals wordt geproduceerd kan de warmband dikkere rollen produceren, welke sneller geproduceerd worden dan de dunne rollen. De gewenste dikte van de klant wordt dan bereikt bij de koudwals.

In de figuren 6.3 en 6.4 wordt er gekeken naar het volume dat over de eindinstallatie DVL2 gaat.



Figuur 6.3: De gewichtsverdeling van Goldmine van orders met eindinstallatie DVL2.



Figuur 6.4: De gewichtsverdeling van de voorkeursroutes van orders met eindinstallatie DVL2.

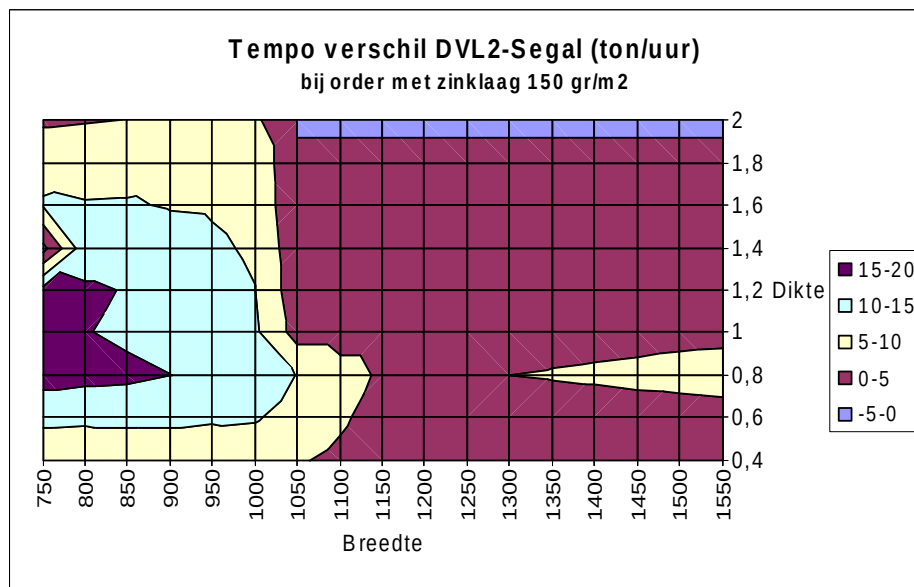
In figuur 6.3 staat dat volgens de indeling van Goldmine er in totaal 73,3 kiloton wordt geproduceerd over routes met eindinstallatie DVL2. Daarvan gaat 80% over een route met een koudwalsstap. In het figuur 6.4 staat het resultaat van het model. Door snellere orders op deze installatie te zetten wordt er nu volgens het model 81,4 kiloton geproduceerd over de DVL2. In totaal wordt er 8,1 kiloton meer geproduceerd door deze installatie, waarvan 7,1 kiloton van de opvulorders is. Dit is alleen het gedeelte van de DVL2. In tabel 6.7 staan de volumeveranderingen over de routes die het model meer of minder produceert.

Route	Volume verschil	
	Zonder downstream	Opvulvolume
DSP	0,00	0,00
DSP-BB21-KW21-DVL1	2247,52	0,00
DSP-BB21-KW21-DVL2	5663,76	0,00
DSP-BB21-KW21-DVL2-VL	0,00	0,00
DSP-BB22	0,00	5040,89
DSP-BB22-DVL1	-526,00	0,00
DSP-BB22-DVL2	-3913,57	0,00
DSP-WB_SKB-BB22	0,00	0,00
DSP-WSN	-5460,33	0,00
GM-WB2	0,00	0,00
GM-WB2-BB21	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-DVL2	-7341,09	0,00
GM-WB2-BB21-KW21	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-KW21-DVL1	500,16	0,00
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	6039,20	7120,42
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2-VL	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-KW21-GLNW	0,00	0,00
GM-WB2-BB21-KW21-SE	-6809,03	0,00
GM-WB2-BB22-DVL2	536,43	0,00
GM-WB2-WB_NAW	0,00	0,00
GM-WB2-WB_NAW-BB21	0,00	0,00
GM-WB2-WB_SKB	0,00	0,00
GM-WB2-WB_SKB-BB21	0,00	0,00
GM-WB2-WSN	9062,95	0,00
GM	0,00	-12940,12
	0,00	-778,81

Tabel 6.7: Volumeveranderingen op productieroutes.

In tabel 6.7 staan in de eerste kolom alle mogelijke routes die of door Goldmine worden aangedaan of door het model. In Goldmine wordt gebruik gemaakt van DSP-BB22-DVL1 terwijl het model hier geen gebruik van maakt. Andersom geldt het voor de route GM-WB2-BB22-DVL2. In de tweede kolom staan de verschilvolumes zonder dat er plak downstream is gestuurd, dit houdt in dat wanneer hier een positief getal staat dat er meer over deze route wordt geproduceerd. Over het algemeen nemen de routes met een koudwalsstap toe met uitzondering van de Segal-route. De Segal-route neemt af in volume terwijl de gebruikte tijd gelijk blijft in het model. Dit komt doordat er langzamere orders over die routes worden gestuurd. Segal is namelijk een fabriek buiten het Corus terrein dat gedeeltelijk door Corus gebruikt wordt. Wanneer hier orders worden geproduceerd, wordt het gedeelte transportkosten binnen de variabele kosten groter. Om toch gebruik te maken van de fabriek, maar deze kosten zo laag mogelijk te houden

zullen er orders heen worden gestuurd die per ton meer tijd vergen op de installatie. Orders die altijd via segal routes worden geproduceerd, zijn de orders breder dan 1650 mm, omdat dit via geen andere route geproduceerd kan worden. Ook producten van het type hdg_ga worden om deze reden zo geproduceerd. De keuze voor Segal hangt ook nauw samen met de productiesnelheden die daar worden behaald. Over het algemeen liggen de productiesnelheden van de DVL2 hoger dan die van Segal, dit is te zien in de volgende figuur 6.5 waar de productiesnelheden van Segal van de productiesnelheden van de DVL2 zijn afgetrokken.



Figuur 6.5: Tempoverschil tussen de installaties DVL2 en Segal in ton/uur.

Alleen op het blauwe gedeelte is de Segal lijn sneller dan de DVL2. Echter dit is voor een zinklaag van 150 gr/m^2 , later zal voor dunnere zinklaagdiktes iets anders naar voren komen. In appendix B worden de tempomodellen van de verzinkinstallaties behandeld.

Uit tabel 6.7 kan ook geconcludeerd worden dat de routes zonder een koudwalsstap over het algemeen afnemen. Dit is met uitzondering van de GM-WB2-BB22-DVL2 route. Eerder was echter al opgemerkt dat Goldmine over deze routes helemaal geen orders stuurt. Ook neemt de GM-WB2-WSN route toe in volume terwijl dit ook een installatie is buiten het Corus terrein. De reden dat deze toeneemt, is dat bij bepaalde diktes en breedtes deze installatie sneller is dan de andere installaties. Dit is duidelijk te zien in de tempomodellen in appendix B. Bij een dikte van 3 mm en een breedte van 1550 mm produceert de WSN in een snelheid van 137 ton per uur terwijl de DVL2 hier 90 ton per uur produceert. Vanaf een dikte van 2 mm is de WSN sneller dan de DVL2.

In tabel 6.7 is verder te zien dat wanneer het plak niet wordt doorgestuurd de som van de verschillen gelijk aan nul is, wat ook te verwachten was aangezien de routes alleen heringedeeld

worden. Dit is echter niet het geval wanneer het plak wel wordt doorgestuurd. Daar ontstaat een verschil van -778 ton, met andere woorden er wordt meer plak doorgestuurd dan dat er wordt geproduceerd aan andere producten. Dit komt doordat de rendementen per installatie zijn meegenomen. In totaal wordt er 9,2% van de plakproductie downstream gestuurd.

6.2.2 Dekkingsbijdrage

De objectfunctie van het model wordt 1,05 miljoen ú hoger dan de dekkingsbijdrage van de indeling zoals het volgens Goldmine is gedaan. Dit wordt niet alleen gerealiseerd door de ruimte die vrij komt op te vullen met plak. Maar ook doordat het model tussen verschillende routes kan kiezen die andere variabele kosten kunnen hebben. In tabel 6.8 is te zien waar deze winst gemaakt wordt.

Route	Vershil Dekkingsbijdrage	Dekkingsbijdrage Opvulorders
DSP	0	0
DSP-BB21-KW21-DVL1	352168	0
DSP-BB21-KW21-DVL2	677462	0
DSP-BB21-KW21-DVL2-VL	0	0
DSP-BB22	0	783709
DSP-BB22-DVL1	349706	0
DSP-BB22-DVL2	-1079810	0
DSP-WB_SKB-BB22	0	0
DSP-WSN	-867520	0
GM-WB2	0	0
GM-WB2-BB21	0	0
GM-WB2-BB21-DVL2	-1262946	0
GM-WB2-BB21-KW21	0	0
GM-WB2-BB21-KW21-DVL1	1110621	0
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	71961	1180854
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2-VL	0	0
GM-WB2-BB21-KW21-GLNW	0	0
GM-WB2-BB21-KW21-SE	-663288	0
GM-WB2-BB22-DVL2	97070	0
GM-WB2-WB_NAW	0	0
GM-WB2-WB_NAW-BB21	0	0
GM-WB2-WB_SKB	0	0
GM-WB2-WB_SKB-BB21	0	0
GM-WB2-WSN	1335293	0
GM	0	-1036944
	120716	927620
		1048336

Tabel 6.8: Verschil in dekkingsbijdrage op de routes.

Met verschil in dekkingsbijdrage in tabel 6.8 wordt bedoeld hoeveel er in de nieuwe situatie meer of minder dekkingsbijdrage is ten op zichte van de huidige situatie, maar nog zonder het downstream sturen van plak. De veranderingen worden per route bekeken. Wanneer deze veranderingen bij elkaar opgeteld worden, wordt er alleen door het herindelen van de routes 0,12 miljoen ú verdiend. Echter, er is hierbij ook nog ruimte ontstaan om meer plak downstream te sturen. Zoals in tabel 6.7 te zien is, gebeurt dit op de routes DSP-BB22 en GM-WB2-BB21-KW21-DVL2. De waarde waarmee de dekkingsbijdrage hierdoor toeneemt, is te zien in de laatste

kolom van tabel 6.8. Hierbij is bij de route rGM ook nog een negatief getal te vinden. Dit komt door de plak die downstream gestuurd wordt die anders verkocht zou worden. Echter, er is dan nog steeds 0,93 miljoen extra te verdienen en komt dus op het totaal van 1,05 miljoen euro. Dit is te verdienen met het opvullen van goedkope commodity orders. In het geval dat de installaties worden opgevuld met duurdere orders kan het bedrag nog oplopen, dit ligt echter aan de vraag van de markt op dat moment. Het model kan worden aangepast door duurdere orders als opvulorders te gebruiken wanneer de vraag naar bepaalde duurdere orders toeneemt.

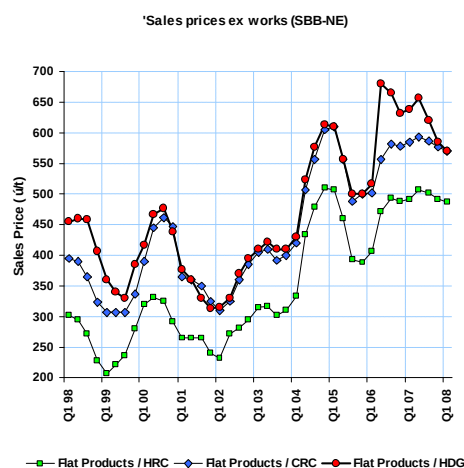
In het model wordt gekozen voor het opvullen van twee routes, het is nu interessant om gevoeligheidsanalyse te doen op deze producten. Oftewel hoeveel moeten de andere routes goedkoper worden voor deze specifieke commodity order om het over die routes te produceren en de routes op deze manier in de oplossing terecht komen. Dit kan ook gezien worden als een marktonderzoek wanneer de vraag naar bepaalde producten eerder in het productie proces meer gaan opbrengen. Door deze analyse kan de vraag of de langste route vol moet geanalyseerd worden.

	Reduced Cost
GM-WB2-BB21-KW21-SE	2,72
GM-WB2-BB21-KW21-DVL1	0,84
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2	0
GM-WB2-BB21-DVL2	48,69
GM-WB2-BB22-DVL2	24,53
GM-WB2-WSN	6,07
DSP-BB21-KW21-DVL1	7,66
DSP-BB21-KW21-DVL2	6,98
DSP-BB21-DVL2	43,35
DSP-BB22-DVL2	19,08
DSP-WSN	0,86
DSP	5,51
GM-WB2-BB21-KW21-DVL2-VL	1,00E+30
DSP-BB21-KW21-DVL2-VL	1,00E+30
DSP-BB21	16,31
DSP-BB22	0
GM-WB2-BB21-KW21-GLNW	1,00E+30
GM-WB2-BB21-KW21	46,36
GM-WB2-BB21	48,60
GM-WB2-BB22	20,10
GM-WB2	34,90

Tabel 6.9: Gereduceerde kosten van routes.

In tabel 6.9 zijn de gereduceerde kosten van de routes te zien. Allereerst valt op dat er twee nullen in deze tabel voorkomen, dit zijn de routes die al in de oplossing zitten en dus klopt het dat de gereduceerde kosten 0 zijn. Verder is te zien dat er drie routes zijn met een enorm groot getal. Dit zijn de producten geleverd en gegloeid waar geen ruimte vrij kan worden gemaakt om extra te kunnen produceren, deze fabrieken komen niet voor in de productie routes van het verzinkte pakket, wanneer de routes heringedeeld worden kan daar ook geen tijd gewonnen worden. Ook de routes van de orders die over deze routes geproduceerd worden blijven hetzelfde waardoor de productie tijden gelijk blijven en ook hier geen ruimte kan worden gemaakt. Met de grote getallen

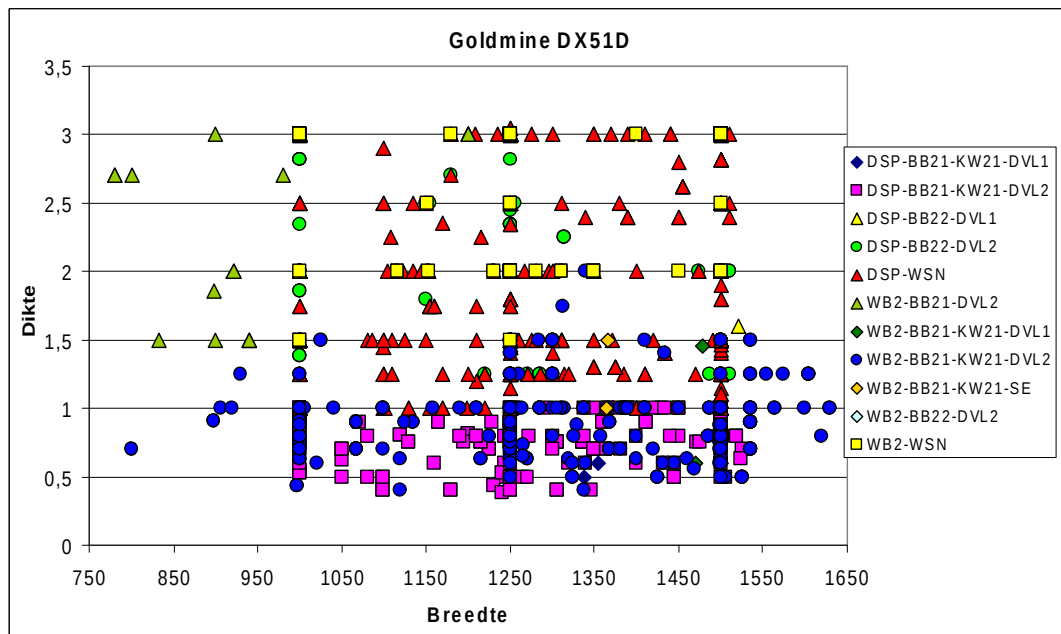
wordt dan ook bedoeld dat het niet uit maakt voor hoeveel deze producten verkocht worden, er is toch geen ruimte om het te produceren. Op de overige routes kan dus wel ruimte gemaakt worden zodat de producten behorende bij die routes geproduceerd kunnen worden. Zoals eerder gezegd is voor de commodity order het product DX51D gebruikt; deze had een breedte van 1250 mm en een dikte van 1,5 mm. Wanneer deze order van andere afmetingen was geweest was het allicht net anders gekozen, deze afmetingen zijn gekozen omdat ze het meeste voorkwamen in de Goldmine tabel. Uit de tabel 6.9 blijkt dat bepaalde routes niet veel onder doen voor de nu gekozen route, zoals de GM-WB2-BB21-KW21-DVL1 of de DSP-WSN. Echter, er kan goed gezien worden dat van het verzinkte pakket de routes zonder koudwalsstap (met uitzondering van WSN) veel duurder zijn. In het geval van bijvoorbeeld koudgewalste eindproducten is te zien dat deze flink duurder moet worden verkocht om in de oplossing terecht te komen. Dit geldt voor de route GM-WB2-BB21-KW21, om in de oplossing te komen moet het 46,36 euro per ton duurder verkocht worden. Een interessanter voorbeeld is de GM-WB2 route. Dit komt omdat de vraag naar warmgewalste rollen nogal varieert en ook erg groot kan zijn, waardoor de verkoopprijs van het verzinkte product en het warmgewalst product niet veel voor elkaar onder hoeven te doen. In de figuur 6.6 zijn de gemiddelde verkoopprijzen van de warmgewalste (groen), koudgewalste (blauw) en verzinkte (rood) producten te zien. In het tweede kwartaal van 2006 was dit verschil ongeveer 200 euro per ton, terwijl dit in het tweede kwartaal van 2002 maar 50 euro per ton scheelde. Door middel van deze analyse kan dan geconcludeerd worden of er ruimte vrij gemaakt moet worden op de verzinkte installaties of dat het product beter eerder verkocht kan worden. De marktontwikkeling is dus erg belangrijk voor het model. Op het moment dat dit onderzoek startte was deze vraag van belang, omdat toen de vraag naar warmgewalste producten weer enorm toenam. Nu is deze situatie veranderd, maar hier is in paragraaf 7.4 over potentiële toepassingen meer over te lezen.



Figuur 6.6: Verschil in verkoopprijs tussen de producten hdg, crc en hrc. Bron: Presentatie van J.P.A Westerveld over optimalisatie door product-mix verbetering

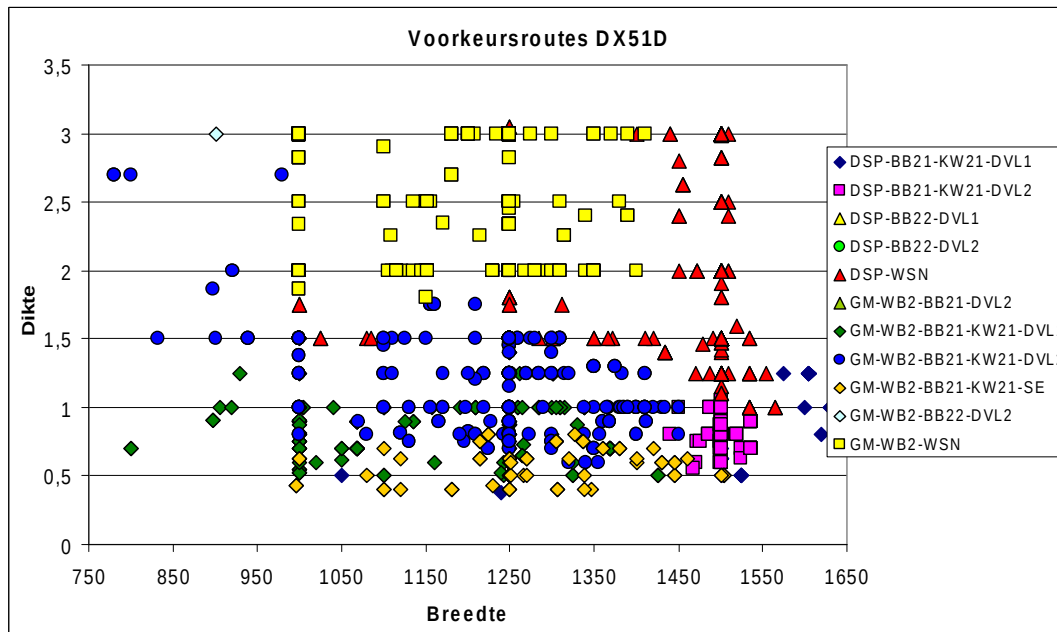
6.2.3 Route-indeling DX51D

Eerder was te zien over welke routes meer geproduceerd zou moeten worden volgens het model en waar de volumes juist afnamen. De veranderingen waren duidelijk te zien op de koudwalsroutes. In deze paragraaf wordt bekeken wat deze veranderingen inhouden voor bepaalde producten, oftewel er wordt gekeken hoe de routes per product worden ingedeeld. Hierbij worden vooral de producten DX51D en H340LAD onderzocht. In de volgende grafiek wordt de breedte tegenover de dikte uitgezet en wordt bekeken waar iedere order van het orderboek wordt geproduceerd. Dit is de situatie zoals de routes volgens Goldmine zijn ingedeeld.



Figuur 6.7: Indeling van product DX51D van productieroutes volgens Goldmine.

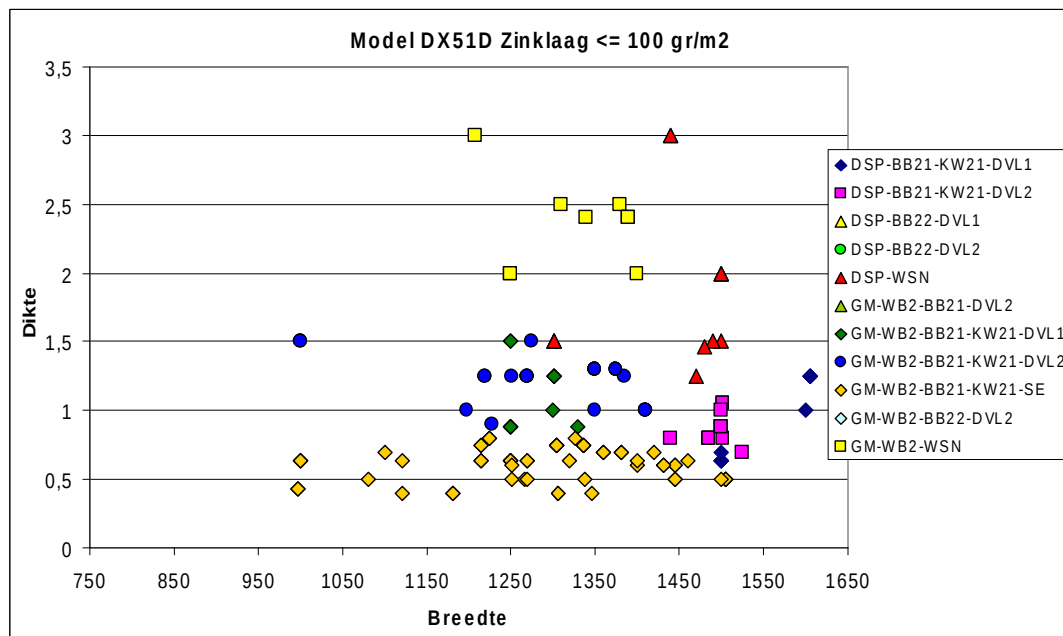
In figuur 6.7 is niet echt een duidelijke ordening te zien op basis van dikte en breedte waaruit de routekeuze is ontstaan. Er is te zien dat bij een breedte vanaf 1050 mm en een dikte vanaf 1,5 mm over het algemeen voor de WSN route wordt gekozen. En onder de 1 mm dik wordt een koudwalsroute gekozen, voor routes dikker dan 1,5 mm en smaller dan 1000 mm wordt de WB2-BB21-DVL2 route gekozen. Voor de rest lijkt alles willekeurig, dit komt omdat op het moment de orders per branch worden ingedeeld. Zo wordt volgens Goldmine de DVL2 meestal voor de auto industrie gebruikt en de DVL1 meestal voor de bouw, dit is ook de reden dat in het RCO-model er grote verschillen ontstonden op de eindinstallaties. In figuur 6.8 wordt er gekeken naar de indeling van de orders zoals het volgens het model zou moeten. Uit dit figuur blijkt dat het model wel degelijk rekening houdt met de breedte en dikte van een order voor de specifieke eigenschappen per installatie. Er is duidelijk een geel gebied te zien voor de WB2-WSN route van



Figuur 6.8: Indeling van productieroutes volgens model.

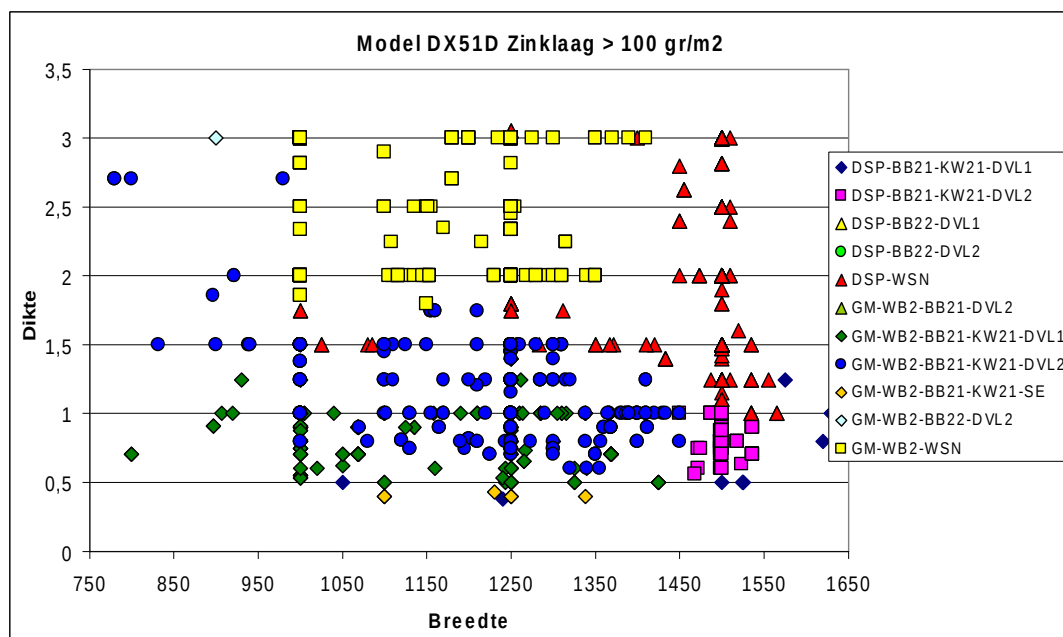
een dikte vanaf 2 mm en een breedte tussen de 1000 en 1400 mm. In dit gebied is één andere route te vinden, deze order heeft een dikte van 3,05 mm en een breedte van 1250 mm. Volgens Goldmine is deze order geproduceerd over de route DSP-WSN. Echter doordat de installaties volgens de harde installatielimieten binnen het model niet dikker dan 3 mm kunnen produceren zijn er geen alternatieve routes voor deze order en zal deze dus blijven zoals hij was. Dan is er nog een gebied vanaf 1450 mm en dikker dan 1 mm die volgens de DSP-WSN route worden geproduceerd. De reden dat deze dikkere producten over de DSP gaan in plaats van de WB2 is doordat het tempomodel van de DSP lineair afhangt van de breedte. Wanneer de breedte toeneemt, zal deze sneller gaan produceren. Het tempomodel van de DSP hangt niet af van de dikte in tegenstelling tot het tempomodel van de WB2 en het is daarom voordeliger om over de DSP dun te produceren. Dit is ook de reden dat er ook productieorders zijn die over de route DSP-WSN gaan die onder het gele gebied te vinden zijn. Echter, er zit wel een restrictie aan de minimale dikte van de DSP en houdt het een keer op met dunner produceren.

Dan is er nog een gebied met de route DSP-BB21-KW21-DVL2 een breedte van 1450 en 1550 mm en dunner dan 1 mm, wederom is dit een DSP route vanwege de voorgaande redenen. Echter, er zit hier nog wel een koudwalsstap in verwerkt. Dit komt doordat de minimale dikte van de DSP bereikt is en dus op de koudwals verder gereduceerd zal moeten worden. Een andere reden is dat de beitsbanen langzamer werken wanneer er dun en breed materiaal doorheen gaat. In het gebied dunner dan 1,5 en een breedte tussen de 1000 en 1450 mm lijkt een redelijke willekeur voor te komen. Het zijn de klassieke koudwalsroutes met eindinstallaties DVL1, DVL2



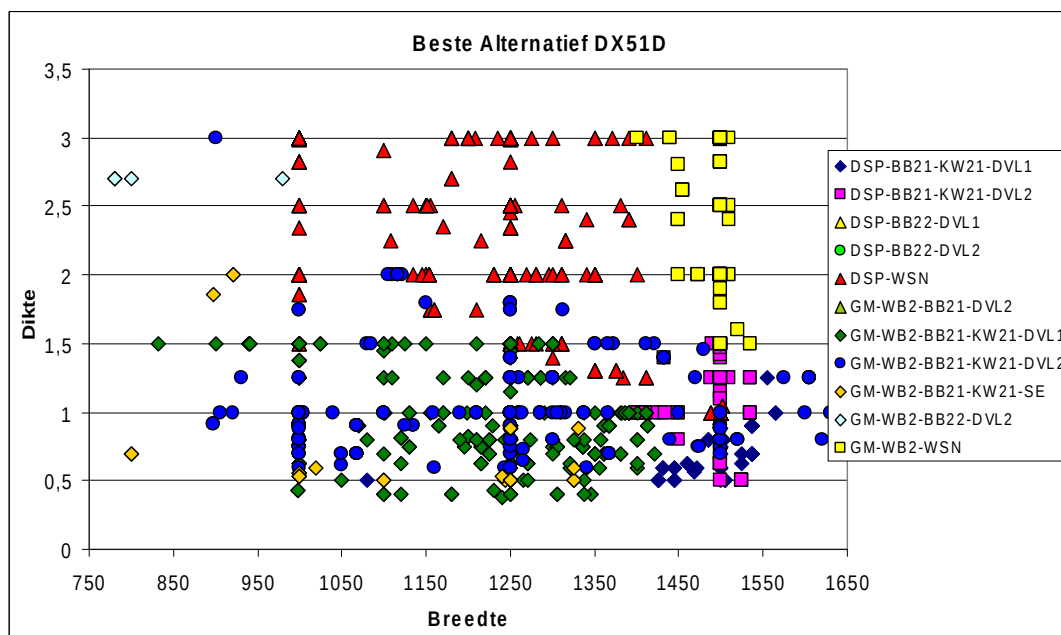
Figuur 6.9: Indeling van productieroutes volgens model met zinklaag kleiner/gelijk aan 100 gr/m^2 .

en Segal. Echter wanneer er een extra dimensie aan de grafiek wordt toegevoegd is te zien dit niet helemaal het geval is. In figuur 6.9 wordt de zinklaagdikte als dimensie toegevoegd. Er wordt gekeken naar een zinklaagdikte die kleiner of gelijk is aan 100 gr/m^2 . In figuur 6.9 is nu duidelijk een groep van routes te zien die over de GM-WB2-BB21-KW21-SE geproduceerd moeten worden. Dit komt doordat de tempo's van de DVL2 ook afhangen van de zinklaagdikte, voor een



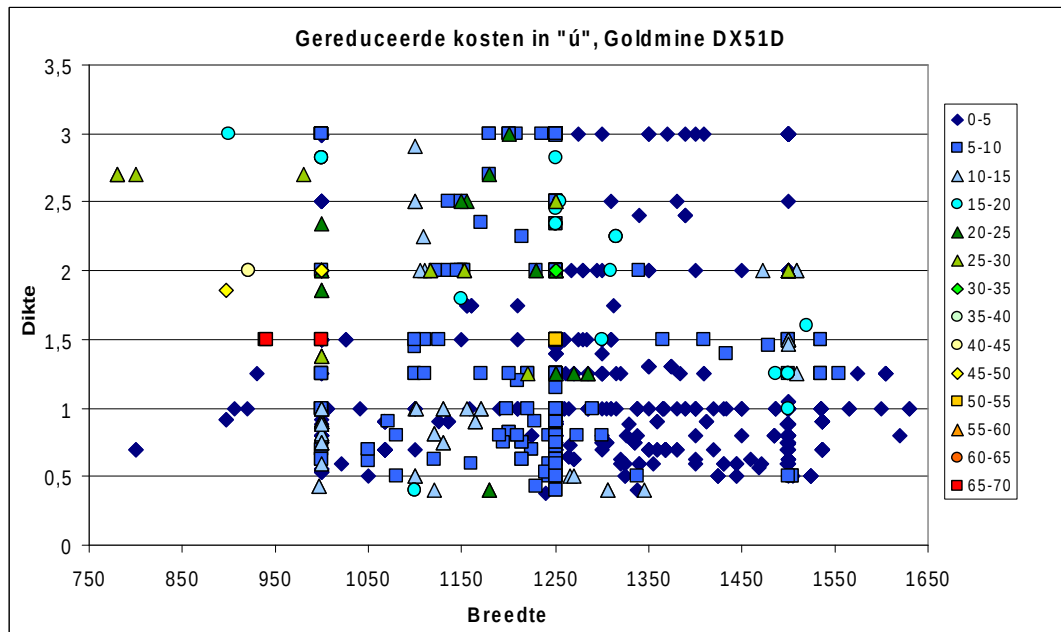
Figuur 6.10: Indeling van productieroutes volgens model met zinklaag groter dan 100 gr/m^2 .

zinklaagdikte minder dan 140 gr/m^2 wordt de snelheid bij dunne producten voor de DVL2 minder hoog, terwijl de snelheden op Segal gelijk blijven. Voor dikkere producten blijft de snelheid gelijk voor de DVL2 bij verschillende zinklaagdiktes. In figuur 6.10 is er gekeken naar een zinklaagdikte die groter is dan 100 gr/m^2 . Hierin is duidelijk te zien dat vrijwel alle Segal routes uit de afbeelding zijn verdwenen. Alleen voor de hele dunne orders wordt er nog over deze route geproduceerd. Voor het gebied met een dikte van 0,5 tot 1,5 mm en een breedte van 750 tot 1450 mm is nog steeds een mix te zien van 2 routes. Dit komt omdat deze routes elkaar niet veel ontlopen qua snelheden en gereduceerde kosten. Om deze reden worden in figuur 6.11 de routes weergegeven met het beste alternatief, oftewel de routes met de laagste gereduceerde kosten worden weergegeven.



Figuur 6.11: Indeling van beste alternatieven volgens model.

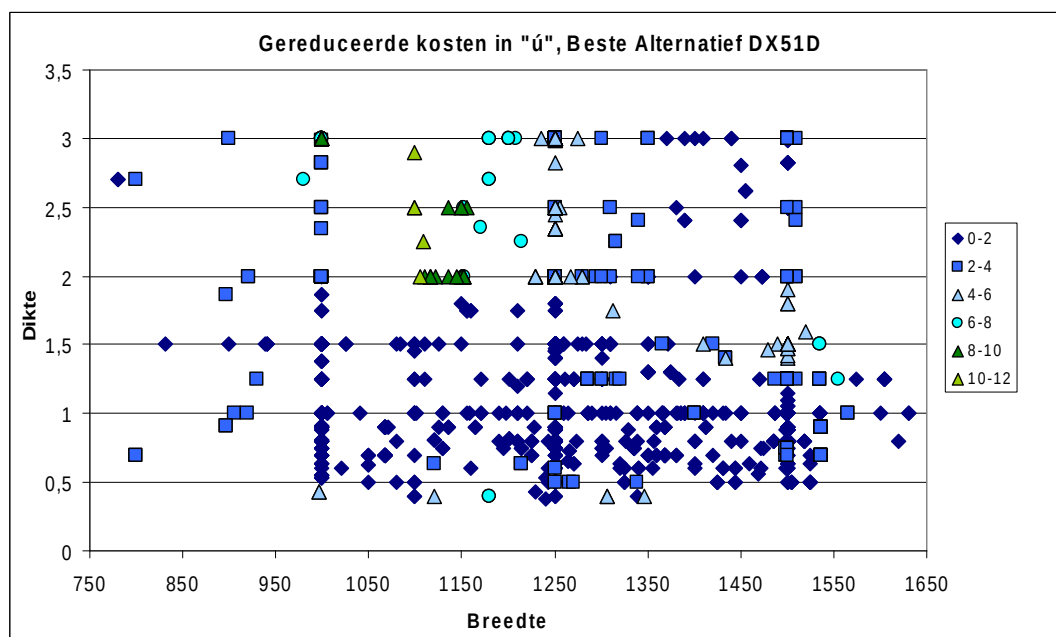
Ondanks dat figuur 6.11 er rommeliger uitziet ontstaan er toch weer een aantal gebieden. Voor orders dikker dan 2 mm is te zien dat de WB2-WSN en DSP-WSN routes zijn omgedraaid. Onder de 1,5 mm wordt het een stuk rommeliger, dit komt omdat er daar grensgebieden uit figuur 6.8 ontstaan waardoor de routekeuze voor het beste alternatief door elkaar gaat lopen. Een goed voorbeeld hiervan is de route DSP-BB21-KW21-DVL2, in figuur 6.8 kwam dit tot een mooi gebied met een breedte tussen 1450 en 1550 mm en dunner dan 1 mm, in figuur 6.11 is te zien dat om dit gebied nu deze route wordt gekozen. Ook is te zien dat de keuze voor het gebied van 1,5 mm en dunner en smaller dan 1400 mm, dat nu de keuze voor de DVL1 en DVL2 meestal omgekeerd is, wanneer er in de voorkeursroute de keuze voor DVL1 was gevallen wordt als beste alternatief de DVL2 gekozen en vice versa.



Figuur 6.12: Gereduceerde kosten van DX51D van Goldmineroutes t.o.v. modelroutes.

Nu zal er gekeken worden hoeveel de beste alternatieven kosten t.o.v. de modelroutes. In eerste instantie worden in figuur 6.12 de gereduceerde kosten getoond van Goldmine ten op zichten van de modelroutes. In het geval dat de gekozen route door het model hetzelfde is zoals het in Goldmine stond, wordt er niks weergegeven in de grafiek. De waarde van de gereduceerde kosten die in figuur 6.12 zijn weergegeven zijn de kosten per ton. Met figuur 6.12 is te zien hoeveel de modelroutes schelen met de Goldmine-routes qua gereduceerde kosten. Hieruit blijkt dat er een aantal routes zijn die volgens het model vele malen goedkoper geproduceerd kunnen worden, dit kan in het slechtste geval oplopen tot ongeveer 70 euro per ton. In de figuur 6.13 staan de gereduceerde kosten vermeldt ten op zichte van het beste alternatief.

Binnen de gereduceerde kosten van de beste alternatieven kunnen de kosten maximaal oplopen tot 12 euro, dit is te zien in figuur 6.13. De verschillen bij bepaalde routes zijn minimaal, waardoor er bij deze orders een keuze zou moet zijn bij de vuistregels. Op deze manier kan er nog een keuze gemaakt worden tussen bepaalde routes. Een andere reden om een aantal routes als voorkeursroute mee te nemen is vanwege de nauwkeurigheid van de modellen. De variabele kosten modellen zijn niet nauwkeurig genoeg om op een paar euro onderscheid te kunnen maken tussen bepaalde routes. Dit geldt ook voor de nauwkeurigheid van de tempomodellen.



6.2.4 Vuistregels DX51D

Met de indeling van de modelroutes van figuur 6.8 is geen duidelijke indeling te krijgen voor vuistregels van de voorkeursroutes, omdat niet iedere dikte en breedte aan bod komt en de orders andere specifieke kenmerken kunnen hebben, als bijvoorbeeld de zinklaagdikte. Om per product een mooie indeling te krijgen worden aan het model dummyorders toegevoegd om zo te zien waar deze worden ingedeeld. Op deze manier kan er voor iedere dikte en breedte een bepaalde voorkeursroute uitkomen, met daarbij de gereduceerde kosten voor de alternatieve routes. In de volgende tabel wordt voor een order met zinklaag 150 gr/m^2 de voorkeursroutes gegeven:

Breedte	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850
0,4																							
0,6																							
0,8																							
1																							
1,2																							
1,4																							
1,6																							
1,8																							
2																							
2,2																							
2,4																							
2,6																							
2,8																							
3																							

Dikte

DSP-BB21-KW21-DVL1

GM-WB2-BB21-KW21-DVL1

GM-WB2-BB21-KW21-SE

GM-WB2-BB21-DVL2

GM-WB2-BB21-KW21-DVL2

DSP-WSN

GM-WB2-WSN

Geen Route Mogelijk

In tabel 6.10 zijn de voorkeursroutes te zien voor de verschillende breedtes en diktes. Over het algemeen is te zien dat de indeling van de dummyvariabelen goed overeenkomt met de indeling van productieorders. De velden waar de WSN in voorkomt kloppen bijvoorbeeld goed. Maar ook de smalle orders komen goed overeen. Voor de extreem dunne orders werden de hele dunne orders ook over segal gedaan en was er een afwisseling tussen DVL1 en DVL2 voor de overige orders. Er zijn geen orders breder besteld dan 1650 mm voor de DX51D, dus het is niet te zien of dat gedeelte goed overeenkomt, maar aangezien de segal-route in dat gebied de enige mogelijkheid is, moet dit ook goed zijn. In deze indeling is ook te zien dat bij een dikte van 2 mm en een breedte van 800 of 850 mm de Segal route als voorkeursroute wordt gegeven. Dit is niet te vergelijken met de indeling van het model, omdat ook hier geen orders voor zijn besteld. De Segal route komt hier als voorkeursroute voor doordat de gereduceerde kosten bij die afmetingen minimaal zijn waardoor het model een keuze maakt. In het verschil van tempomodellen was ook al te zien dat Segal sneller was dan de DVL1 en DVL2 op die dikte. Om nu tot goede vuistregels te komen voor de indeling van de routes worden de routes goedgekeurd wanneer de gereduceerde kosten van een alternatieve route binnen de grens van 5 euro liggen. Hiermee wordt ook een nauwkeurigheidsmarge ingebouwd. Op deze manier kan er bij de toebedeling van de routes een keuze gemaakt worden, wat neer komt op de financiële route voorkeuren zoals die bedoeld waren in figuur 1.1. De 5-euro grens kan door de gebruiker worden veranderd, mocht hij deze te grof of juist te fijn vinden. In de tabel 6.11 zijn de vuistregels te zien voor het product DX51D. Hierbij correspondeert een nummer in de tabel met de verzameling routes die erbij hoort.

		Breedte																							
		750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	
0,4	1	2	2	2	2	3	4	2	2	5	5	6	4	4	4	4	4	4	3	7	8	8	8	8	
0,6	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	10	11	11	8	8	8	8	
0,8	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	10	3	11	8	8	8	8	
1	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	12	12	12	12	13	3	11	8	8	8	8	
1,2	9	5	5	5	5	5	14	5	5	5	5	14	12	12	12	13	15	16	3	11	8	8	8	8	
1,4	9	5	5	5	5	14	14	5	14	14	14	14	17	18	16	19	19	19	3	11	8	8	8	8	
1,6	9	5	5	5	5	14	14	20	20	20	14	14	21	22	19	19	19	19	3	11	8	8	8	8	
1,8	23	24	24	24	24	25	26	27	27	27	27	26	26	19	19	19	19	19	8	8	8	8	8	8	
2	23	24	24	24	24	25	25	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	8	8	8	8	8	8	
2,2	23	23	23	23	23	25	25	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25							
2,4	29	29	23	23	23	25	25	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25							
2,6	29	29	29	23	23	25	25	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25							
2,8	29	29	29	23	23	25	25	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25							
3	29	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25							

Dikte

WSN

Koudwals/Geen warme inzet

Keuze tussen Koudwals of directe inzet

WSN of koudwals

Geen Routes mogelijk

Tabel 6.11: Vuistregels voor DX51D.

Corresponderende verzamelingen bij de getallen van tabel 6.11:

1. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1.
2. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
3. DSP-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-SE.

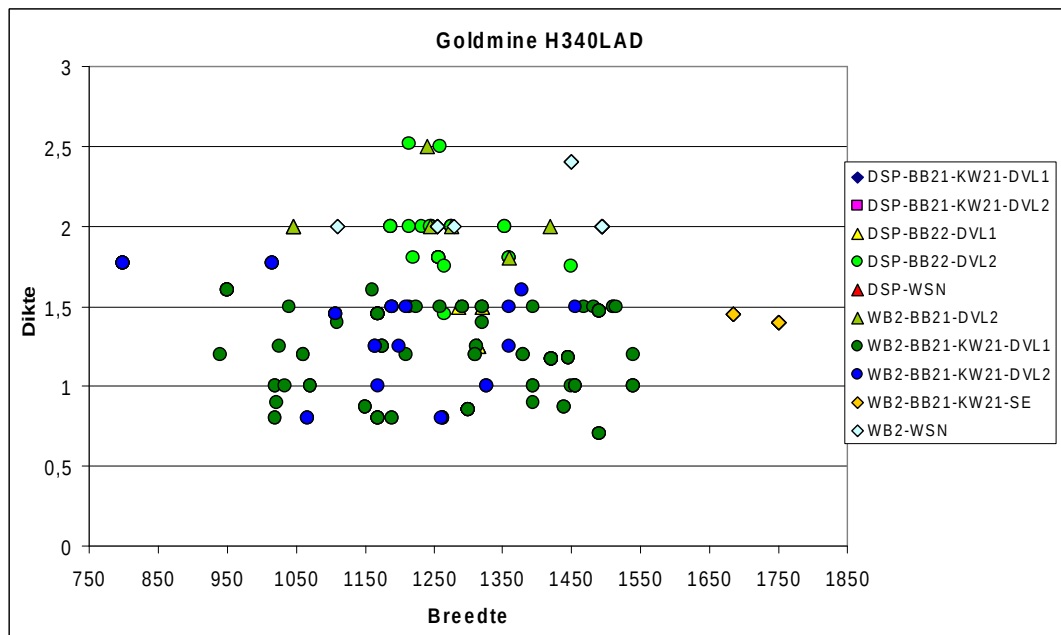
4. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
5. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
6. DSP-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
7. DSP-BB21-KW21-DVL1.
8. GM-WB2-BB21-KW21-SE.
9. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
10. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
11. DSP-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1.
12. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
13. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
14. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
15. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
16. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
17. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
18. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
19. DSP-WSN.
20. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE, GM-WB2-WSN.
21. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
22. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
23. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
24. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
25. DSP-WSN, GM-WB2-WSN.
26. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2 & GM-WB2-WSN.
27. DSP-WSN, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2 & GM-WB2-BB21-KW21-SE & GM-WB2-WSN.
28. GM-WB2-WSN.

De kleuren die worden aangegeven in tabel 6.11 zijn geen specifieke routes, maar klassen van routes. Een voorbeeld hiervan is dat de donkere kleur blauw alleen maar routes bevat met een koudwalsstap erin. Of de groene kleur alleen routes met als eindinstallatie WSN. Met deze groene kleur zijn 2 harde grenzen te zien bij een breedte van 1000 mm en 1550 mm. Dit komt door de installatielimieten van de WSN, waardoor het alleen nog mogelijk is om over andere routes te produceren. Het gele gebied is het gebied waar de keuze gemaakt kan worden tussen WSN en een route met een koudwalsstap erin. Hier is te zien dat het gele gebied langzaam naar de dunnere afmetingen trekt wanneer er breder product wordt geproduceerd. Wederom komt dit doordat de DSP sneller gaat produceren naarmate de afmetingen breder worden. Hierdoor wordt de DSP-WSN route steeds voordeliger. Aan de hand van tabel 6.11 is het de bedoeling om een routekeuze te maken voor bijvoorbeeld het komende kwartaal. De duimregels zouden regelmatig

geëvalueerd moeten worden, omdat er veranderingen kunnen ontstaan in het bestelde orderpakket. Afhankelijk van deze veranderingen zullen de routekeuzes ook veranderen.

6.2.5 Route-indeling H340LAD

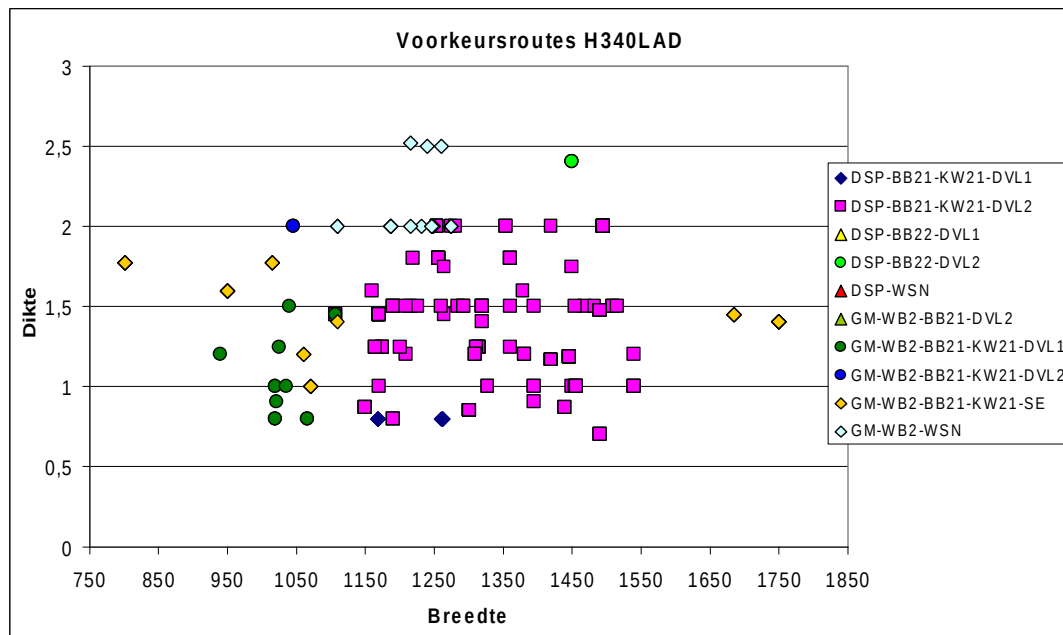
In deze paragraaf worden ongeveer dezelfde stappen doorlopen als in de vorige paragraaf, alleen worden er een aantal overgeslagen en wordt er nu gekeken naar het product H340LAD. Allereerst wordt de situatie in figuur 6.14 weergegeven zoals het volgens Goldmine op het moment wordt geproduceerd.



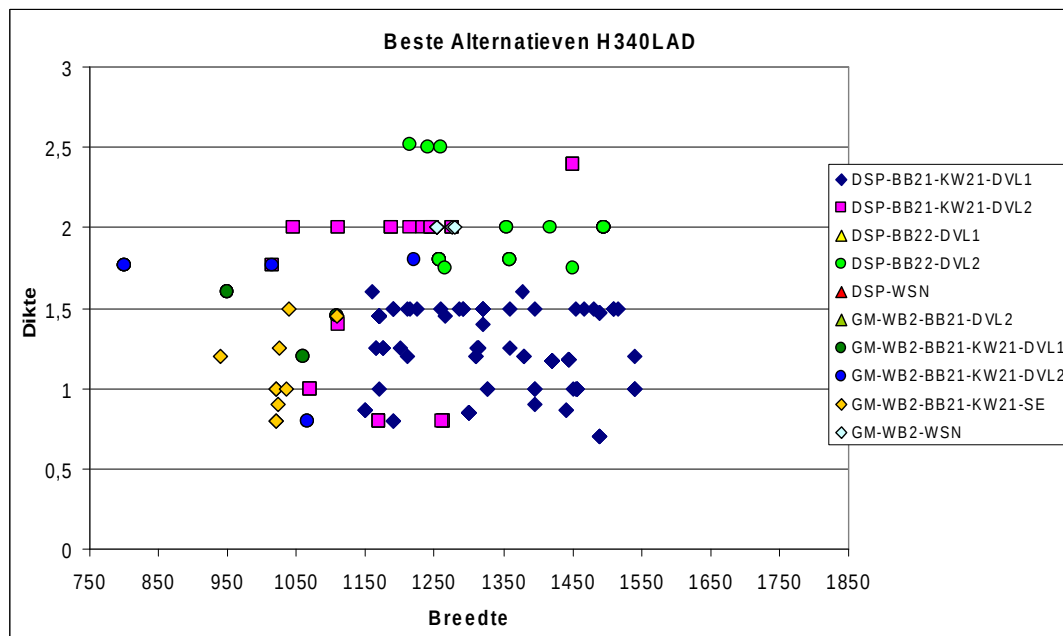
Figuur 6.14: Indeling van product H340LAD van productieroutes volgens Goldmine.

In figuur 6.14 is te zien dat er een stuk minder verschillende orders zijn besteld van dit type product. Er zijn wel twee hele brede orders besteld welke logischerwijs over de WB2-BB21-KW21-SE route gaan, omdat hier geen andere mogelijkheid voor is. Deze zullen ook zo door het model worden geproduceerd. Dit is te zien in figuur 6.15 waar de indeling staat van de voorkeursroutes zoals dit door het model gedaan is. Hieruit blijkt dat er een duidelijk gebied is van DSP-BB21-KW21-DVL2. Voor de rest is er een klein gebied GM-WB2-WSN te zien. Echter, er zijn hier te weinig orders om duidelijke gebieden te onderscheiden. In figuur 6.16 worden de beste alternatieven weergegeven. Hierin is te zien dat er voor de twee orders van een breedte van 1650 mm en 1750 mm niets is ingevuld. De reden hiervan is al eerder vermeld, namelijk dat hiervoor geen alternatieve routes voor mogelijk zijn. Verder is er één duidelijk gebied te zien bij een breedte vanaf 1150 mm en een dikte dunner dan 1,5 mm. Hier wordt bijna dezelfde route gekozen als in de voorkeursroutes, met het verschil dat in de voorkeursroutes de DVL2 werd

gekozen in plaats van de DVL1. Wederom zijn er naast dit gebied geen andere gebieden door het gebrekkige aantal orders.



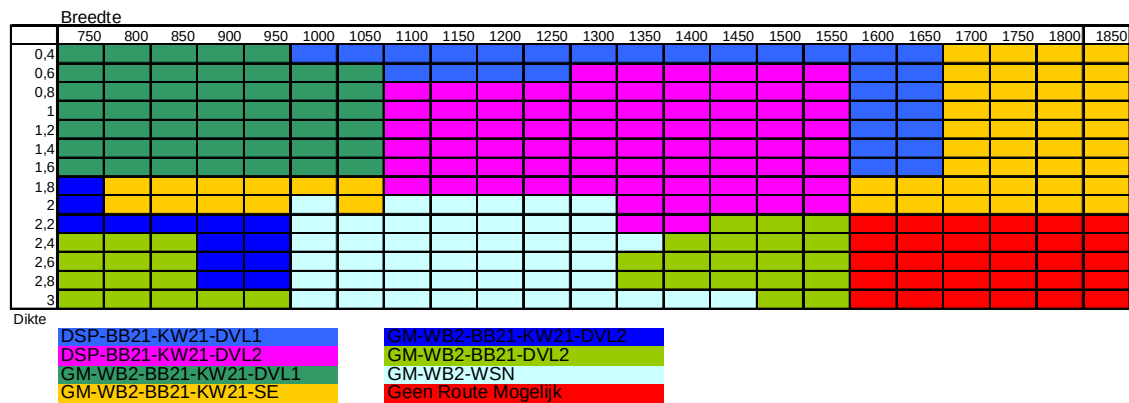
Figuur 6.15: Indeling van product H340LAD van productieroutes volgens model.



Figuur 6.16: Indeling van beste alternatieven volgens model.

6.2.6 Vuistregels H340LAD

Om tot de vuistregels te komen van het product H340LAD worden dummyvariabelen toegevoegd aan het huidige orderpakket met iedere mogelijke combinatie van dikte en breedte. De uitkomst hiervan is te zien in figuur 6.17.



Figuur 6.17: Voorkeursroutes dummyvariabelen voor het product H340LAD.

Het gebied dat was ontstaan met route DSP-BB21-KW21-DVL2 in figuur 6.15 komt ook duidelijk terug in de voorkeursroutes van de dummyvariabelen in figuur 6.17. Over de andere gebieden is niet veel te zeggen door het gebrek aan orders op die afmetingen. Er is nog wel te zien dat de orders die over de GM-WB2-WSN ook overeenkomen tussen beide tabellen.

Ook bij het product H340LAD wordt de verzameling van routes genomen die binnen de 5-euro grens vallen qua gereduceerde kosten. In het geval van de H340LAD komt de tabel met vuistregels er dan uit te zien als in tabel 6.18.

Breedte		750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850
Dikte	0,4	1	2	2	2	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	0,6	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	10	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	0,8	1	2	8	8	8	8	9	9	9	9	11	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	1	1	2	8	8	8	8	9	9	9	9	11	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	1,2	1	2	8	8	8	8	9	9	9	9	11	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	1,4	1	2	8	8	8	8	9	9	9	9	11	3	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6
	1,6	1	2	8	8	8	8	9	9	9	9	11	3	3	3	3	12	12	5	5	6	6	6	6
	1,8	13	14	14	14	14	15	15	15	15	15	16	16	17	17	17	17	17	6	6	6	6	6	6
	2	18	6	14	14	14	19	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	17	17	6	6	6	6	6
	2,2	18	18	18	13	13	24	25	21	21	21	22	23	23	23	23	17	17	Geen Routes mogelijk					
	2,4	18	18	18	13	13	21	25	21	21	21	23	23	23	23	23	17	17						
	2,6	18	18	18	13	13	21	25	21	21	21	26	23	23	23	23	17	17						
	2,8	27	27	18	13	13	21	26	21	21	21	26	23	23	23	23	17	17						
	3	27	27	27	27	27	21	21	21	21	21	21	26	26	23	23	26	26	Geen Routes mogelijk					

Dikte

Koudwals/Geen warme inzet
Keuze tussen Koudwals of directe inzet
WSN of directe inzet.
Geen Routes mogelijk

Tabel 6.18: Vuistregels voor H340LAD.

Corresponderende verzamelingen bij de getallen van tabel 6.18:

1. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1.

2. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
3. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2.
4. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-SE
5. DSP-BB21-KW21-DVL1.
6. GM-WB2-BB21-KW21-SE.
7. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
8. GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
9. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2,
GM-WB2-BB21-KW21-SE.
10. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
11. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL1.
12. DSP-BB21-KW21-DVL1, DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-BB22-DVL2.
13. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2.
14. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
15. DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE.
16. DSP-BB21-KW21-DVL2.
17. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-BB22-DVL2.
18. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB22-DVL2.
19. DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE, GM-WB2-WSN.
20. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-BB22-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-SE,
GM-WB2-WSN.
21. GM-WB2-WSN.
22. DSP-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-WSN.
23. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-BB22-DVL2, GM-WB2-WSN.
24. GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-WSN.
25. DSP-BB21-KW21-DVL2, DSP-BB22-DVL2, GM-WB2-BB21-KW21-DVL2, GM-WB2-WSN.
26. DSP-BB22-DVL2, GM-WB2-WSN.
27. GM-WB2-BB22-DVL2.

Tabel 6.18 verschilt nogal met de vuistregels van de DX51D in tabel 6.11. Hiervoor zijn meerdere verklaringen te vinden. De route DSP-WSN is bijvoorbeeld niet toegestaan door receptuur voor het product H340LAD, waardoor deze route niet voorkomt in tabel 6.18. Terwijl bij de vuistregels van de DX51D deze route een grote invloed op de routekeuzes had, doordat deze bij een breedte van 1550 mm tot een dikte van 1 mm kon worden gekozen. Hierdoor wordt er bij een breedte van 1500 mm tot een dikte van 1,4 mm een DSP route koudwalsstap gebruikt. Voor dikkere producten is het voordeliger om een DSP route te nemen zonder koudwalsstap. Verder heeft dit product ook andere productiesnelheden op de verschillende installaties, waardoor de routekeuze beïnvloedt wordt.

6.2.6 Koudwalsgrens

Uit hoofdstuk 2 is bekend dat één van de redenen dat de koudwals in een route wordt opgenomen is om materiaal verder te reduceren tot de gewenste klant dikte. Op deze manier kan de warmband dikkere rollen produceren en bij dikkere rollen produceert de warmband sneller.

Door de koudwalsstap te nemen wordt er dus tijd bespaard op de warmband, hierbij moet wel rekening worden gehouden met de maximale invoer van de koudbandwalserij. Voor de KW21 is deze 6 mm en voor KW22 is deze 4 mm, over het algemeen wordt er een reductiegraad gebruikt van 80%. Maar wanneer er bijvoorbeeld een dikte van 3 wordt besteld en deze via de KW21 wordt geadviseerd door het model, zal het reductiepercentage zich aanpassen tot 50%.

Tijdens het onderzoek kwam de vraag waar de koudwalsgrens moet komen te liggen bij de routekeuze. Op het moment is er een grens waaronder alleen maar koudwalsroutes worden gekozen voor een order, en daarboven alleen maar routes met een directe inzet. Deze grens ligt op het moment op de 1,6 mm en geldt voor alle afmetingen qua breedte. In eerste instantie werd dit onderzocht met het RCO-model, maar om dezelfde redenen als eerder kwamen hier niet de juiste grenzen uit. Daarbij werd er in dit model zoveel mogelijk gekoudwalst om ruimte te sparen op de WB2 en DSP. Dus de grens die uit dat model kwam was niet representatief voor dit onderzoek. Daarom wordt ook dit probleem opgelost door het RPO-model.

Uit de figuren 6.11 en 6.18 met vuistregels is te zien dat het volgens de modellen niet mogelijk is om één vaste grens vast te stellen. Deze grens is namelijk niet alleen productafhankelijk, maar deze hangt ook af van de breedte van het product. In figuur 6.11 is te zien dat wanneer er naar een breedte tot 1000 mm wordt gekeken, de grens tenminste bij 2,2 mm komt te liggen, maar dat er tot 3 mm een keuze is tussen het nemen of het overslaan van de koudwalsstap. Terwijl bij een breedte vanaf 1000 mm ligt deze grens bij 1,2 mm en is er een keuze tot 1,6 mm. Dit is voor het product DX51D, voor het product H340LAD is er een mooiere grens te bepalen met behulp van figuur 6.18. Hier ligt de grens namelijk rond de 1,8 mm en bij een breedte minder dan 1000 mm zelfs 2 mm. Bij een breedte vanaf 1350 mm loopt het wederom iets naar beneden. De reden waarom dit gebeurt, is ondertussen bekend. Nummers 12 en 17 van de verzameling routes in figuur 6.18 bestaan namelijk alleen uit DSP-routes. Het verschil is hier niet zo drastisch als in het geval van de DX51D.

De zojuist genoemde grenzen zijn ook geen harde grenzen, dit komt omdat er volgens de duimregels nog een gebied is waar een keuze kan worden gemaakt voor het kiezen van een koudwalsstap of directe inzet. Deze varieert nogal qua dikte. De reden hiervan is de WSN installatie, deze heeft bij bepaalde afmetingen een veel hogere snelheid dan de andere installaties waardoor die voordeliger wordt (dit is te zien in appendix B, figuur B.1). Deze installatie is echter alleen maar beschikbaar bij een breedte vanaf 1000 mm.

Er kan geconcludeerd worden dat de koudwalsgrens van zowel het product als van de breedte afhangt. Daarnaast kan de grens ook nog hoger worden naar voorkeur van degene die het implementeert, doordat er een gebied is waar er een keuze is. Er is dus geen harde grens die geldt voor alle producten en alle afmetingen.

Hoofdstuk 7: Variaties op modellen

In het model zoals hij nu is toegepast zijn er een aantal aannames gemaakt, zoals koudwalserij enige bottleneck of DVL3 nog buiten beschouwing. In dit hoofdstuk worden een aantal variaties op deze aannames kort onderzocht. Hierin worden de voorkeursroutes van de DX51D en H340LAD van de verschillende modellen vergeleken met de resultaten van hoofdstuk 6.

7.1 WSN gewichtsrestrictie

In deze paragraaf wordt er gekeken naar de gewichtsrestrictie op de WSN. Tijdens het onderzoek zou deze namelijk worden ingesteld, omdat de contracten zo zijn opgesteld met de WSN. Hier is later vanaf gestapt, omdat de WSN hier niet mee in zou stemmen. Allereerst zullen de tijden en volumes worden geanalyseerd.

Uit het model komt dat er op 3 routes wordt opgevuld namelijk:

- 6489,7 ton op de route GM-WB2-BB21-KW21-DVL2,
- 352,7 ton op de route DSP,
- 4273,8 ton op de route DSP-BB22.

Met het downstream sturen van deze producten en het verwisselen van de productieorders is er samen een extra dekkingsbijdrage te behalen van 1,001 miljoen euro per kwartaal. Hierbij wordt 9% plak doorgestuurd. In tabel 7.1 zijn de tijden en de volumes per installatie vermeld. Hierin is te zien dat het model 32 uur meer gebruikt op de KW21 en dat de WSN hier zelfs 69 uur meer gebruikt dan zoals Goldmine dit had geplanned. Dit is mogelijk vanwege de gewichtsrestrictie. In de tabel is namelijk te zien dat het volume in Goldmine en het model gelijk zijn op de WSN,

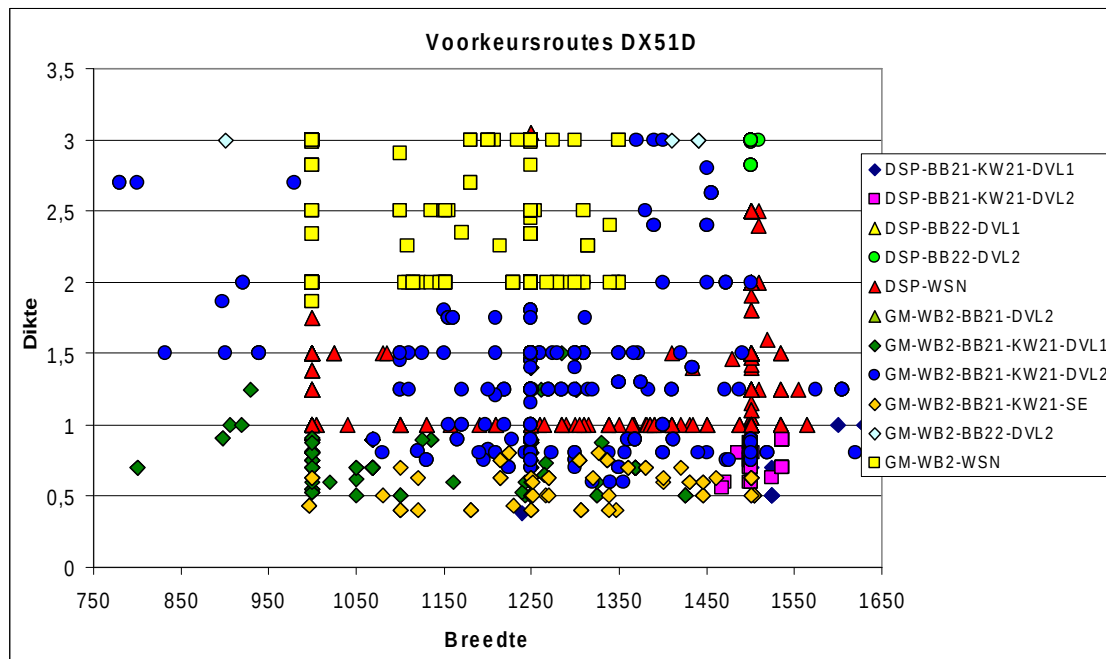
Installaties	Tijden Goldmine	Tijden Model	Verschil	Volumes Goldmine	Volumes Model	Verschil
DSP	1146,01	1146,01	0	260820	263238	2418
WB2	1633,09	1633,09	0	1205330	1208290	2960
WB_NAW	127,752	127,752	0	26265,9	26265,9	0
WB_SKB	280,886	280,886	0	23787	23787	0
BB21	2254,53	2254,53	0	658694	667410	8716
BB22	598,367	598,367	0	117044	119581	2537
KW21	1276,37	1308,46	32,09	463505	479330	15825
KW22	0	0	0	0	0	0
WSN	493,17	562,256	69,086	36313,4	36313,4	0
Gloei	1185,26	1185,26	0	124453	124453	0
Segal	1819,44	1819,44	0	127200	121642	-5558
DVL1	1670,62	1670,62	0	87532	89258,7	1726,7
DVL2	2191,43	2191,43	0	128045	138375	10330
DVL3	0	0	0	0	0	0
VL1	2190,48	2190,48	0	54762	54762	0
VL2	0	0	0	0	0	0

Tabel 7.1: Tijden en Volumes bij model met gewichtsrestrictie.

hierdoor is de tijd vrij om te variëren en kan deze groeien.

Het model gebruikt 69 uur extra op de WSN terwijl de volumes gelijk blijven, dit komt omdat het model de langzamere orders naar de WSN stuurt. Dit was van te voren wel te voorspellen. Er is gekozen om deze restrictie eruit te laten, omdat er op deze manier meer capaciteit van de WSN wordt gebruikt en dit waarschijnlijk niet geaccepteerd zal worden door de WSN.

Ter controle kunnen in tabel 7.1 de verschilvolumes van Segal, DVL1 en DVL2 worden opgeteld, er komt dan exact het getal uit dat wordt opgevuld op de DVL2 route namelijk 6489,7 ton.



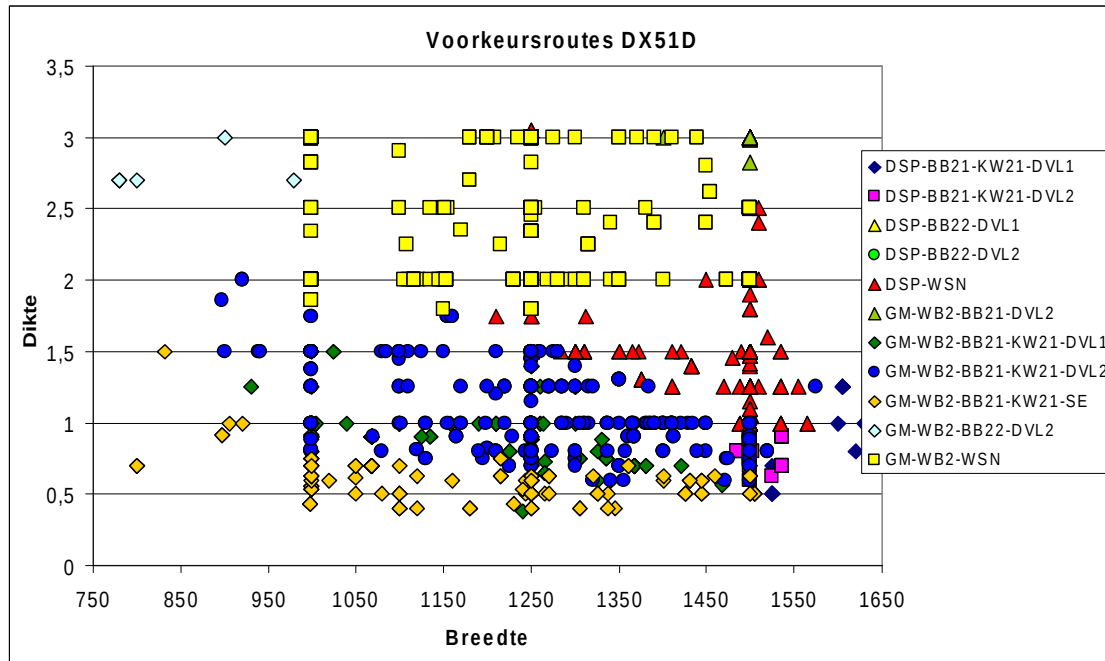
Figuur 7.1: Voorkeursroutes van het product DX51D met gewichtsrestrictie op WSN.

Om een inschatting te krijgen wat dit voor de productieorders van de DX51D te betekenen heeft is figuur 7.1 toegevoegd. Hierin is te zien dat de DSP-WSN route niet meer op het hele snelle stuk is te vinden rond een breedte van 1550 mm en een dikte van 2,5 mm. Maar dat deze route vooral nog voorkomt rond een dikte van 1 mm waar de WSN langzamer werkt dan bijvoorbeeld de DVL2 (te zien in appendix B).

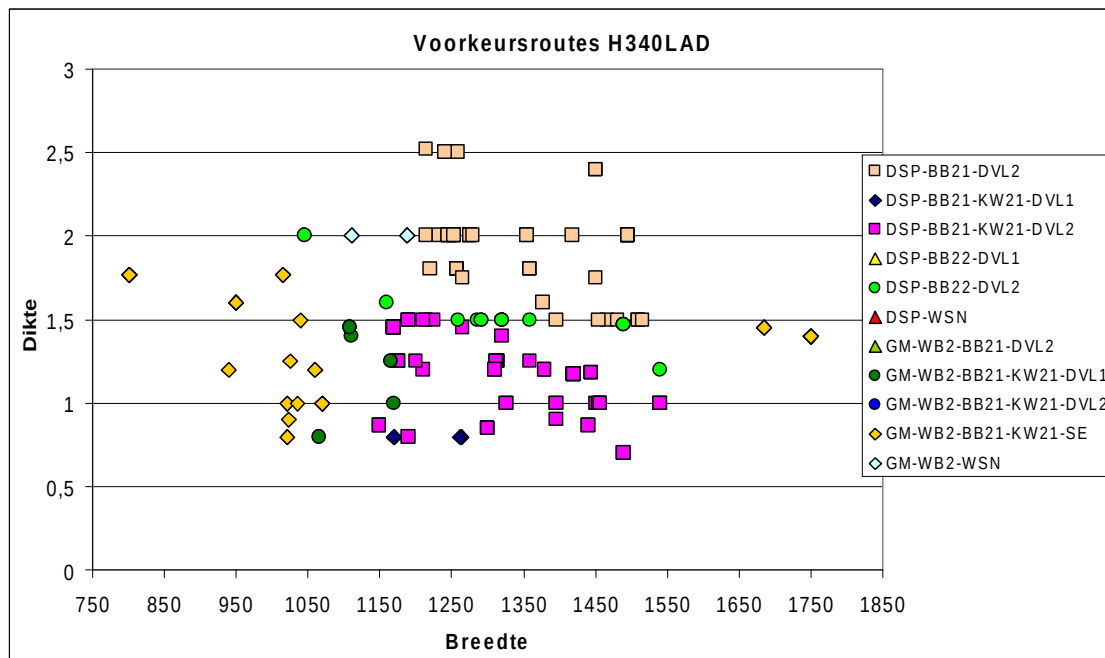
7.2 KW21 ook bottleneck

In deze paragraaf zal de KW21 ook als een bottleneck worden gezien. Wanneer deze restrictie wordt meegenomen wordt de objectfunctie van het model met 0,78 miljoen euro verhoogd. Er zal 9490,7 ton extra aan opvulorders over de route DSP worden geproduceerd en 2336,39 ton extra op de DSP-BB22. Wanneer de KW21 ook een bottleneck is valt dus op dat er geen extra verzinkt product wordt gemaakt. Dit is ook te zien in de totale productietijd op Segal, omdat deze niet

helemaal wordt afgevuld in het nieuwe model. Hierbij blijft 21,6 uur ongebruikt terwijl de rest van installatiecapaciteiten maximaal gebruikt worden. In totaal wordt er op de Segal installatie 14308 ton minder geproduceerd. De gemiddelde snelheid op Segal ligt bij de Goldmine-orders op zo'n 70 ton per uur, terwijl dit met de orders die het model naar Segal stuurt reduceert tot 62 ton per



Figuur 7.2: Voorkeursroutes van DX51D met koudwalserij ook als een bottleneck.



Figuur 7.3: Voorkeursroutes van H340LAD met koudwalserij ook als een bottleneck.

uur. Er wordt dus niet alleen minder van de installatie gebruikt, maar er worden ook nog eens langzamere orders over Segal geproduceerd.

Alle productieorders worden geproduceerd, maar om het op te vullen gebruikt het model toch niet meer routes met een warme inzet, om meer verzinkt product te produceren. Met de KW21 als bottleneck is het dus gunstiger om eerder in het productieproces al eindproducten te produceren met de overcapaciteit. In de figuren 7.2 en 7.3 wordt er gekeken wat dit voor invloed heeft op de routekeuzes bij de producten DX51D en H340LAD. In figuur 7.2 is ondanks dat er minder over Segal wordt geproduceerd te zien dat er voor dunnere DX51D producten juist meer over de Segal route gaat, dit komt doordat Segal daar langzamer produceert (zie appendix B figuur B.2). Eerder was al te zien dat ook de gemiddelde snelheid op de Segal installatie naar beneden gaat. Verder zijn er een aantal routes waar de koudwalsstap nu wordt overgeslagen, dit in tegenstelling wanneer de KW21 een bottleneck is. Echter, dit zijn geen grote gebieden, maar een enkele order. In figuur 7.3 zijn duidelijk veranderingen te zien in vergelijking met figuur 6.15. Zo is het gebied DSP-BB21-KW21-DVL2 drastisch kleiner geworden. Waar de grens in figuur 6.15 rond de 2 mm lag is deze nu naar de 1,5 mm gedaald. Daarbij wordt er in figuur 7.3 een nieuwe route gebruikt, namelijk de DSP-BB21-DVL2. Met deze route ontstaat een gebied voor de dikkere orders. De koudwalsgrens ligt in dit geval rond de 1,5 mm. Wederom is te zien dat er meer Segal routes zijn bijgekomen in het gebied tot een breedte van 1050 mm.

7.3 DVL3 in model

In deze paragraaf zal er gekeken worden wat er gebeurt wanneer de DVL3 ook in het model wordt opgenomen. Hiervoor zal de DVL3 als zijnde niet bottleneck worden opgegeven met een maximaal te gebruiken tijd van 1600 uur. Na het herindelen van de productieorders ontstaat er wederom ruimte. Deze wordt opgevuld door:

- 640,5 ton op de route DSP,
- 1337 ton op de route DSP-BB22,
- 10812,3 ton op de route GM-WB2-BB21-KW21-DVL3.

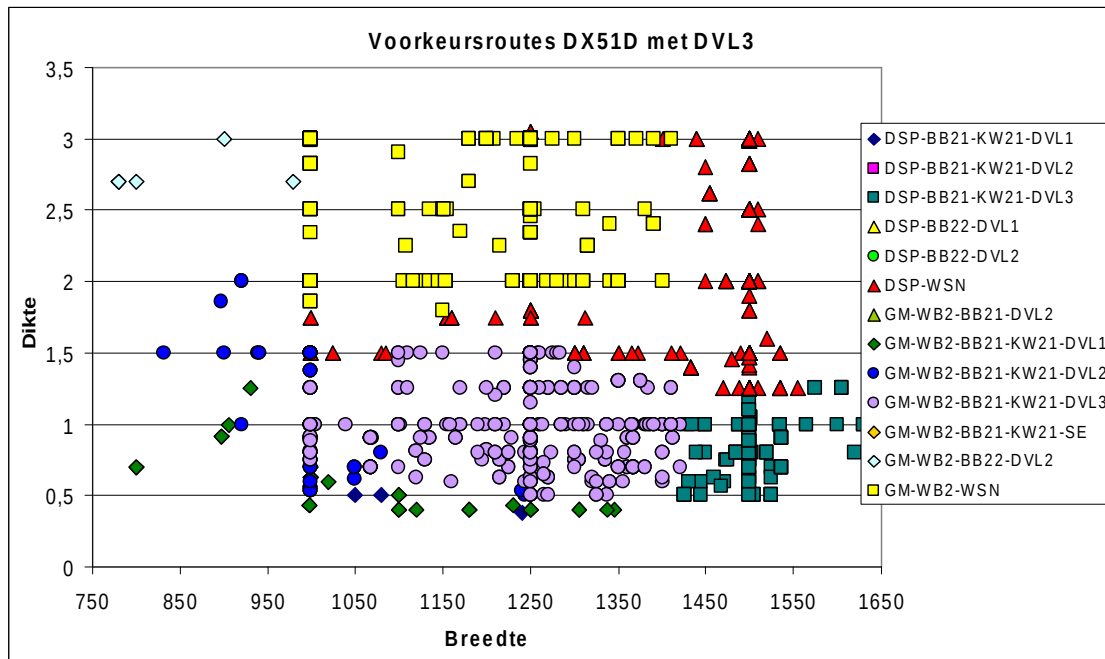
Dit is in totaal 10% van het plak. Doordat de KW22 nog niet is meegenomen is er nog geen route via de BB22 om tot een verzinkt product te komen. Deze zit ook in het model geprogrammeerd, maar wordt nog niet gebruikt in dit onderzoek. Dit heeft echter wel gevolgen voor het opvullen van de capaciteit die overblijft. Voor de 1337 ton die op het moment over de DSP-BB22 wordt geproduceerd is het nu onmogelijk om deze downstream te sturen als verzinkt product. Zoals het huidige model is opgesteld ontstaan er ruimtes op de verzinkte installaties doordat deze niet kunnen worden opgevuld. Uit tabel 7.2 blijkt dat er vooral op de Segal installatie overcapaciteit ontstaat door de negatieve getallen in de vierde kolom. Daarnaast is te zien dat ook op de DVL1 overcapaciteit is ontstaan. De reden dat het model niet de DVL1 volop gebruikt, maar nog wel een gedeelte van Segal is simpelweg omdat segal bepaalde orders aankan die andere

Installaties	Tijden Goldmine	Tijden Model	Verschil	Volumes Goldmine	Volumes Model	Verschil
DSP	1146,01	1146,01	0	260820	264332	3512
WB2	1633,09	1633,09	0	1205330	1208490	3160
WB_NAW	127,752	127,752	0	26365,9	26265,9	-100
WB_SKB	280,886	280,886	0	23787	23787	0
BB21	2254,53	2254,53	0	658694	666848	8154
BB22	598,367	598,367	0	117044	117284	240
KW21	1276,37	1311,58	35,21	463505	478902	15397
KW22	0	0	0	0	0	0
WSN	493,017	493,017	0	36313,4	39935,9	3622,5
Gloei	1185,26	1185,26	0	124453	124453	0
Segal	1819,44	489,949	-1329,491	127200	36406,6	-90793,4
DVL1	1670,62	1434,58	-236,04	87532	74167,1	-13364,9
DVL2	2191,43	2191,43	0	128045	125508	-2537
DVL3	0	1600	1600	0	113396	113396
VL1	2190,48	2190,48	0	54762	54762	0
VL2	0	0	0	0	0	0

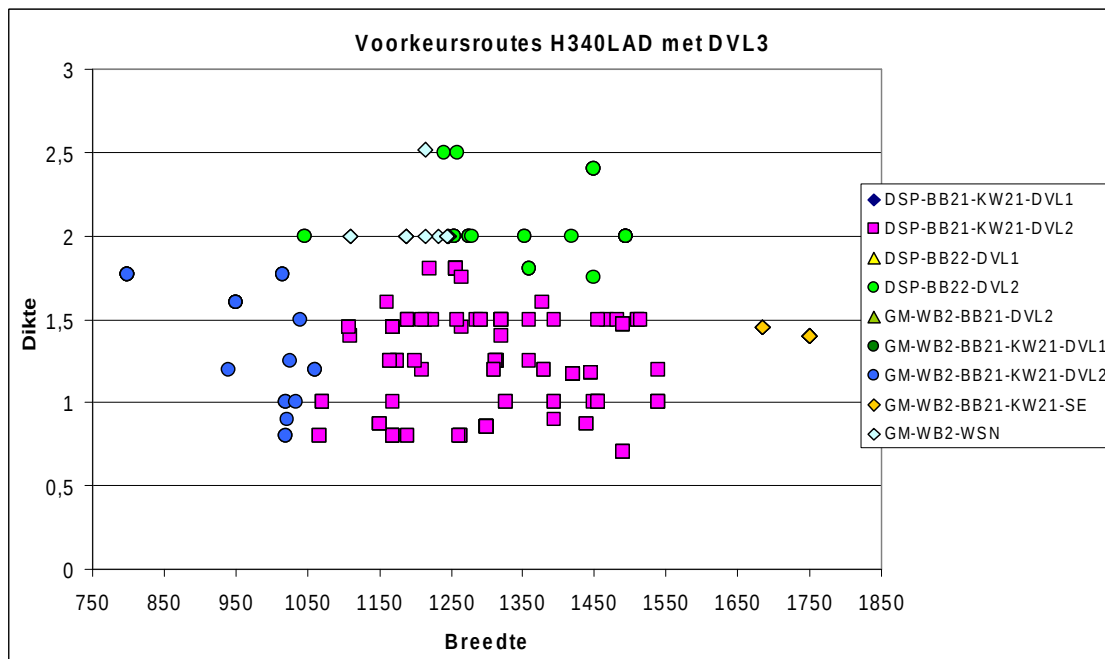
Tabel 7.2: Tijds- en volumeveranderingen van model met DVL3.

installaties niet aankunnen. Hiermee wordt ten eerste bedoeld op de productsoort hdg_ga, daarnaast worden er ook nog orders op Segal geproduceerd die geen alternatieve routes hebben doordat deze niet zijn toegestaan door receptuur. In dat geval kan het model maar één route kiezen en zal dit ook doen. Hierdoor ontstaat er ook overcapaciteit op de DVL1. De reden dat WSN niet minder wordt gebruikt, is doordat deze installatie op bepaalde stukken veel sneller kan produceren, maar ook doordat deze vroeg in het productieproces zit. Wanneer er over WSN wordt geproduceerd is er namelijk een directe route vanaf de DSP of WB2. Hierdoor ontziet het model de beitsbanen. In tabel 7.2 is ook te zien dat de DVL3 in het model maximaal wordt gebruikt door 1600 uur op de DVL3 te produceren.

In de figuren 7.4 en 7.5 is te zien wat er met de indeling van de productieorders gebeurt voor de DX51D en de H340LAD. Uit figuur 7.4 blijkt alle Segal-routes zijn verdwenen. Voor de DX51D zijn er namelijk genoeg alternatieve routes beschikbaar. Verder kan geconcludeerd worden dat de DVL3 op het gedeelte met dunne orders bijna de hele productie voor zijn rekening neemt. Met het verschil dat er op het smalle gedeelte over de WB2 wordt geproduceerd en over het brede gedeelte op de DSP. Voor de DX51D komt er een mooie verdeling van de routes uit voor de voorkeursroutes. Ook voor het product H340LAD verandert de indeling van de routes en komt er een mooie verdeling uit, echter is voor dit product de installatie DVL3 nog niet goed goedgekeurd door receptuur. Voor de H340LAD zijn er dus geen alternatieve routes die over de DVL3 gaan. Desondanks is in figuur 7.5 wel te zien dat de segal routes ook de H340LAD niet meer als voorkeursroute wordt gebruik, tenzij het niet anders kan.



Tabel 7.4: Voorkeursroutes van DX51D met DVL3.



Tabel 7.5: Voorkeursroutes van H340LAD met DVL3.

7.4 Potentiële toepassingen

Uit de variaties op de modellen is te concluderen dat er goed over de uitgangspunten van het model moet worden nagedacht om tot een conclusie te komen. Iedere variatie brengt een ander perspectief op de route keuze. In deze paragraaf worden nog een aantal mogelijke toepassingen van het model besproken.

De modellen in dit project zijn geschreven met het idee dat er genoeg vraag is naar staal eventueel tegen een lagere prijs, maar met de huidige economische recessie is deze vraag sterk teruggelopen en kunnen de installaties niet meer maximaal worden ingezet. Door het model op bepaalde plaatsen aan te passen kan het model worden gebruikt om te onderzoeken wat er gebeurt met de routekeuze in deze situatie. Ten eerste moet er geen plak meer worden gebruikt om te ademen; het heeft niet veel zin om meer downstream te sturen wanneer het toch niet verkocht kan worden. Daarbij moet er minder geproduceerd worden, waardoor er overcapaciteit op de installaties ontstaat. Hiervoor kan bijvoorbeeld 80% van de huidige productie gebruikt worden. Het gevolg is dat er geen bottlenecks meer zijn, maar dat de grenzen in het model aangepast moeten worden. Een extra optie is om bij iedere installatie een boetefunctie mee te geven, deze boetefunctie kan dan geld opbrengen wanneer er een installatie niet meer wordt gebruikt door kostenbesparingen. Wanneer de vraag naar de producten dan langzaam afneemt, zal er vanzelf een installatie sluiten. Dit kan nog verfijnd worden door rekening te houden met ploegendiensten. Hierdoor is er een mogelijkheid om niet de gehele fabriek te sluiten, maar alleen voor bepaalde dagdelen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met opstart en afsluitkosten van de fabriek. Een fabriek als de cokesfabriek kan bijvoorbeeld niet worden afgesloten doordat deze dan onherstelbaar beschadigd. De cokesfabriek wordt niet meegenomen in dit onderzoek, maar is een mooi voorbeeld van een installatie van beperkingen op het sluiten.

De toepassing van het reduceren van de huidige productie is gedeeltelijk gedaan, echter in het model zijn toen verkeerde waarde ingevuld waardoor de DVL2 meer werd gebruikt dan mogelijk was. Er kwam echter wel naar voren dat de WSN installatie minder werd gebruikt. Dit komt omdat de WSN een installatie is met dure variabele kosten, wanneer er overal overcapaciteit is zal deze worden vermeden. In paragraaf 7.3 ontstond er ook overcapaciteit op de installaties DVL1 en Segal, maar werd de WSN nog volop gebruikt. De reden hiervan is dat de WSN in het begin van het productieproces kan worden gebruikt waardoor de beitsbanen die op dat moment nog wel bottleneck waren werden ontzien. In de andere modellen werd de WSN gebruikt door de snelheid van bepaalde producten op de installatie. Deze lag soms vele malen hoger waardoor het gunstig is om daar te produceren ondanks dat de transportkosten duur zijn naar de WSN.

Andere situaties waarin het model kan worden toegepast zijn:

- Om een top 20 van routes te onderzoeken waar het meeste verdiend wordt wanneer deze worden omgezet.
- Te analyseren welke orders relatief goedkoop zijn om over de WSN te produceren.
- Onderzoeken wat er met de routekeuze gebeurt wanneer er geen plak wordt doorgestuurd. Zo kan er overcapaciteit op de installaties ontstaan en zal de keuze van route vooral af gaan hangen van de variabele kosten en minder van de verdringingskosten. Over deze toepassing zijn resultaten bekend, maar worden verder niet besproken in dit onderzoek.

Daarnaast kan er nog onderscheid gemaakt worden in het plaatsen van bottlenecks, door bepaalde installaties als een bottleneck te zien en te onderzoeken wat voor gevolgen dit heeft voor de routekeuze. Dit is voor een aantal installaties wel gedaan, maar zal niet in dit onderzoek worden vermeld.

Door het combineren van potentiële toepassingen die hierboven vermeld staan zijn er nog meer mogelijkheden. Er zijn een heleboel scenario's te bedenken waar de routekeuze vanaf kan hangen.

Hoofdstuk 8: Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies en aanbevelingen besproken.

8.1 Conclusies

Met behulp van het RPO-model kan uit dit onderzoek geconcludeerd worden dat financiële routeoptimalisatie significante verschillen kan hebben op de winst. De dekkingsbijdrage kan toenemen wanneer de routes op de juiste manier aan de orders worden toebedeeld. Door dit op de manier van het model te doen kan de dekkingsbijdrage met 1,05 miljoen euro per kwartaal toenemen onder de aannames van het model. Dit komt niet alleen doordat er bespaard wordt op de variabele kosten, maar vooral door de overcapaciteit die ontstaat bij de herindeling op te vullen door plak downstream te sturen. Het RPO-model geeft de mogelijkheid om de overcapaciteit met commodity orders op te vullen. Wanneer er op de markt vraag is naar duurdere producten dan de commodity orders kunnen deze als opvulorders worden gebruikt en is er meer winst te behalen dan de huidige 1,05 miljoen euro.

Ook kan er geconcludeerd worden dat de verdringingskosten belangrijk zijn voor een bedrijf als Corus. Bij de verdringingskosten spelen de tempo's op de installaties een belangrijke rol en wordt de indeling van de orders op de installaties tempoafhankelijk. Op deze manier speelt ook de bezettingsgraad van de lijnen een rol. Daarnaast is de marktontwikkeling van belang bij de verdringingskosten. Deze kunnen in tijden verschillend zijn doordat de vraag naar bepaalde producten kan variëren. Naast de verdringingskosten komen de variabele kosten aan bod, maar in economisch goede tijden sneeuwen deze vaak onder bij de verdringingskosten. Wanneer het economisch minder goed gaat, gaan de variabele kosten een grotere rol spelen en zullen de verdringingskosten vrijwel verdwijnen door de overcapaciteit.

Een andere conclusie die getrokken kan worden uit dit onderzoek is dat voor de uitkomst van het model het belangrijk is om de juiste uitgangspunten op te nemen in het model. In het geval dat aannames veranderen kan dit van invloed zijn op de route keuze. Dit kwam naar voren bij de variaties op de modellen.

Er kan geen eenduidige grens worden aangegeven waarbij onder een bepaalde dikte alleen routes met een koudwalsstap of boven die grens alleen routes moeten voorkomen met directe inzet. De zogenoemde koudwalsgrens hangt af van de productsoort en van de breedte van een product.

8.2 Aanbevelingen

Om de omvang van dit onderzoek enigszins te beperken is er in deze stage alleen onderzoek gedaan naar het herindelen van de routes binnen het verzinkte pakket. Het zou aan te bevelen zijn om dit uit te breiden naar het hele orderpakket. Op deze manier kan er eerder in het productieproces al capaciteit worden vrijgemaakt door het herindelen van productieorders en heeft het model meer mogelijkheden om ruimte te creëren en plak downstream te sturen. Dit geldt niet alleen voor producten uit het begin van het productieproces, maar juist ook voor de gegloeide en geverfde producten. Op het moment hebben deze een vaste route waardoor er niet kan worden gekozen tussen bijvoorbeeld WB2 en DSP. De eindinstallaties van het gegloeide product is dan wel altijd hetzelfde. Op het moment worden door Goldmine de verfininstallaties als één gezien. Door hier veranderingen in te brengen kunnen er weer meer routekeuzes ontstaan. De uitbreiding naar het gehele pakket is een eenvoudige aanpassing, omdat alle routes voor alle producten al geproduceerd kunnen worden met behulp van een programma. Alleen de receptuurtabel moet worden uitgebreid naar alle producten om goedkeuring van de routes te verlenen.

Uit het onderzoek is gebleken dat de marktontwikkeling van belang is voor de routekeuze. Daarom zou het een aanbeveling zijn om de vuistregels regelmatig te evalueren. Dit kan bijvoorbeeld per kwartaal/jaar gebeuren.

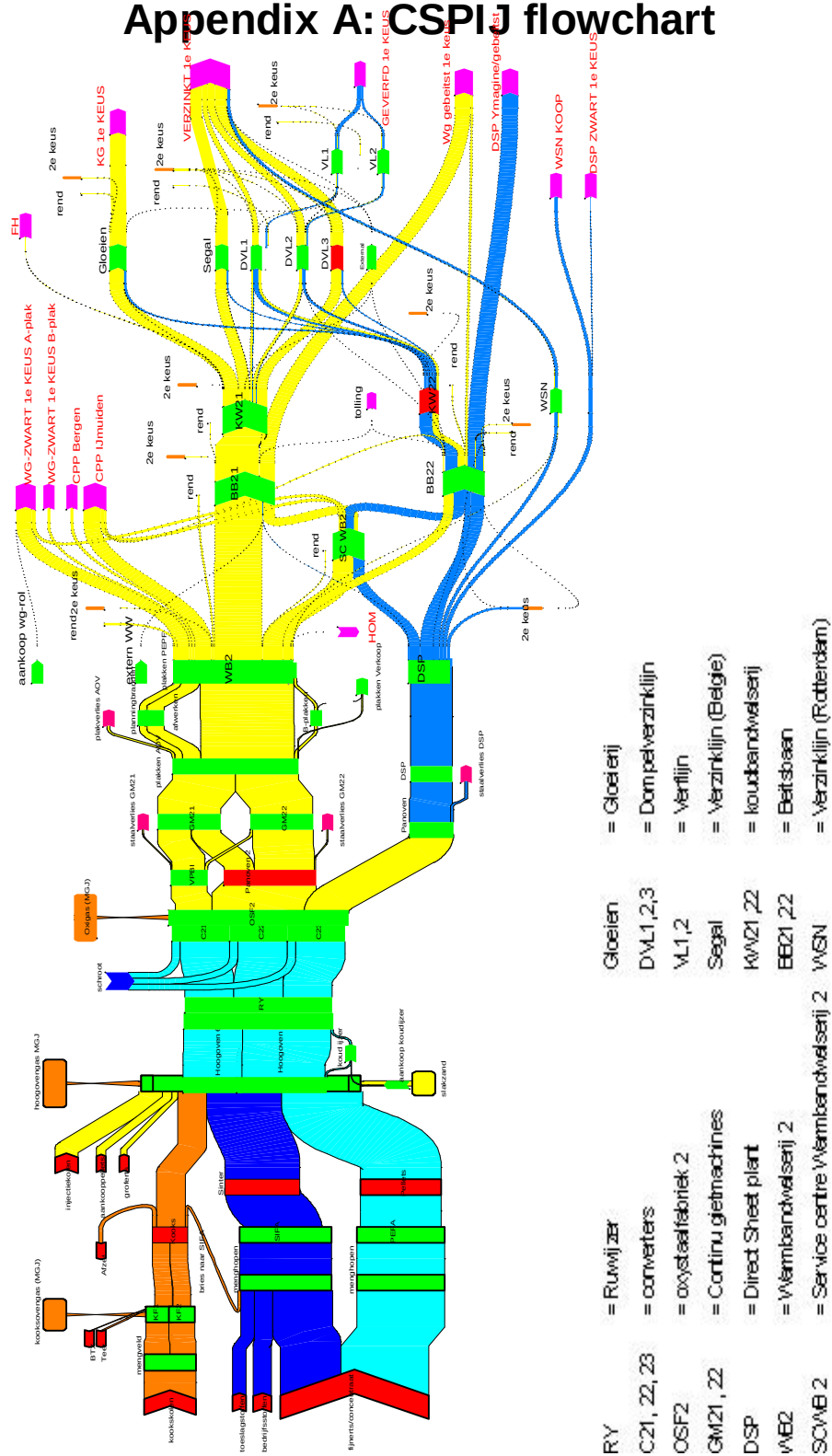
Een andere aanbeveling is het meenemen van de transportkosten buiten het bedrijf. Tot nu toe werden alleen de transportkosten binnen de productieroutes meegenomen, waardoor fabrieken als Segal en WSN niet gunstig waren, omdat ze zich buiten het Corus terrein bevinden. Wanneer de transportkosten naar de klant toe meegenomen worden kan het juist gunstiger zijn om op WSN of Segal te produceren als de eindbestemming van order daar in de buurt is. Andersom kan het ook minder gunstig worden wanneer een product op de boot vanaf Corus IJmuiden naar de klant wordt getransporteerd. In dat geval zou het product heen en weer naar de Segal of WSN fabriek moeten worden getransporteerd.

Ook is een aanbeveling om het variabele kosten model voor bepaalde producten te verbeteren en gevoeligheidsanalyse te doen op de nauwkeurigheid van de input. Het variabele kosten model van het verzinkte pakket kwam uiteindelijk goed overeen met de kosten zoals deze in Goldmine zijn vermeld. Maar voor het geverfde pakket was dit wel anders. Voor de resultaten van dit onderzoek maakt het dan ook niet uit maar wanneer het onderzoek naar het hele pakket wordt uitgebreid zullen de variabele kosten van de alternatieve routes van de geverfde orders wel beter moeten. Daarbij was de opdracht van dien aard dat er geen gevoeligheidsanalyse is gedaan op de input van de modellen. Tenslotte is een aanbeveling om de installatiecapaciteiten van de installaties er goed in te zetten.

Bronvermelding

- [1] prof.ir. W.Monhemius (red.). 1985. "Logistiek management" Deventer
- [2] Goutam Dutta, Robert Fourer. Fall 2001. "A Survey of mathematical programming Applications in Integrated Steel Plants" *Manufacturing & Service operations Management; ABI/INFORM Global* pag 387-399.
- [3] Min Wu, Michio Nakano en Jin-Hua She, 1999, "A model-based expert control strategy using neural networks for the coal blending process in an iron and steel plant" *Expert Systems with applications* 16, pag 271-181, Japan
- [4] C. Westerberg, B. Bjorklund, E. Hultman. 1977. "An application of mixed integer linear programming in a steel mill" *Interfaces* 7(2) 39-43.
- [5] A. Bellabdaoui, J. Teghem. April 2004. "A mixed-integer linear programming model for the continuous casting planning" *Int. J. Production Economics* 104 (2006), pag.260-270
- [6] Lixin Tang, Jiyin Liu, Aiyong Rong, Zihou Yang, november 1998, "A mathematical programming model for scheduling steelmaking-continuous casting production" *European Journal of Operational Research* 120, pag. 423 -435.
- [7] D.A. Kendrick, A. Meeraus, J. Alatorre. 1984. "The planning of Investment Programs in the Steel Industry" *John Hopkins University Press, Baltimore, MD*
- [8] Goutam Dutta , Gopal P. Sinha ,1994, P.N. Roy & Niloy Mitter, "A Linear Programming Model for Distribution of Electrical Energy in a Steel Plant" *International Transactions in Operational Research Volume 1, Issue 1 , Pages17 ĩ 29, Elsevier Science Ltd.*
- [9] Mingyuan Chen, Weimin Wang, 1997. "A linear programming model for integrated steel production and distribution planning" *International Journal of Operations & Production management, Vol. 17 No 6, 1997, pp 592-610.*
- [10] Henk Tijms.2002. "Operationele analyse" epsilon uitgaven, Utrecht
- [11] http://nl.wikipedia.org/wiki/Lineair_programmeren

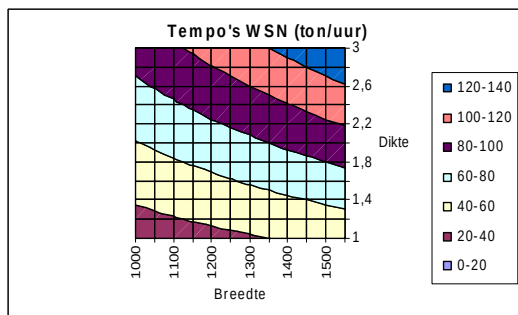
- [12] L.C.M. Kallenberg. 2007. Syllabus Besliskunde 1,
<http://www.math.leidenuniv.nl/~kallenberg/Besliskunde1-2008.pdf>, Universiteit van Leiden
- [13] George L. Nemhauser, Laurence A Wolsey, 1988. *Integer and Combinatorial Optimization*
John Wiley & Sons, inc, Canada
- [14] Productie informatiecyclus Corus Staal BV, druk 2004 (staat verder geen informatie bij vermeld).
- [15] L.C.M. Kallenberg. 2007. Syllabus Besliskunde 2,
<http://www.math.leidenuniv.nl/~kallenberg/Besliskunde2-2007.pdf>, Universiteit van Leiden
- [16] <http://ijmuidenonline.corusnet.corusgroup.com/> (intranet van corus)
- [17] A.H. Land, A.G. Doig in. 1960. *An automatic method of solving discrete programming problems* *Econometrica* 28,497-520.



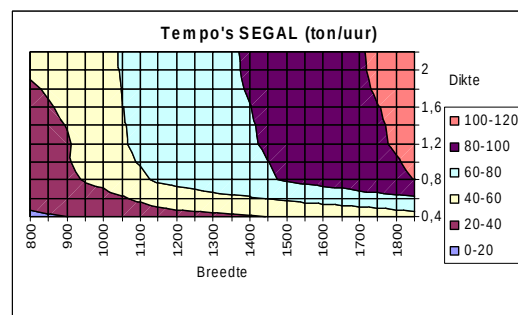
Figuur A.1: Corus Strip Products IJmuiden, productieschema.

Appendix B: Tempomodellen

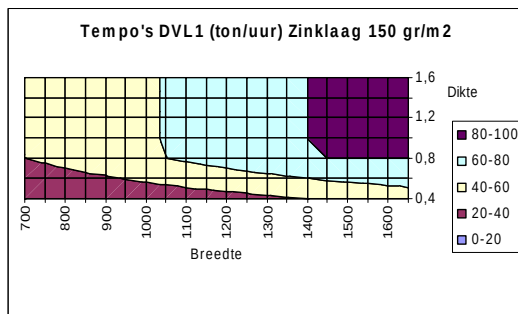
De bedoeling van deze appendix is om het verschil in productiesnelheden tussen de verschillende installaties te laten zien. Hierbij zal gekeken naar het verschil in verzinklijnen. En zullen de andere installaties buiten beschouwing worden gelaten. De tempomodellen worden vermeld voor het product DX51D en tenzij anders vermeldt voor een zinklaag van 150 gr/m², eerder werd al uitgelegd dat er per tempomodel factoren spelen die het tempo bepalen en dat ieder model van andere factoren afhangt. De grafieken zullen worden afgestemd op de restricties van de installaties, dus per grafiek kunnen de x- en y-as verschillen.



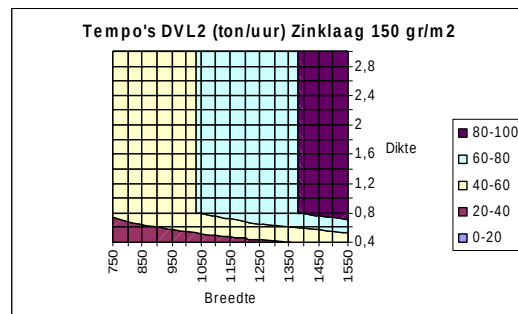
Figuur B.1: Tempomodel WSN.



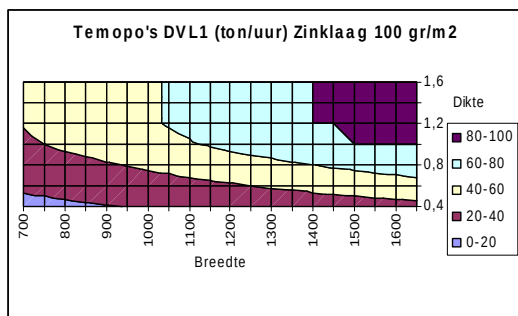
Figuur B.2: Tempomodel Segal.



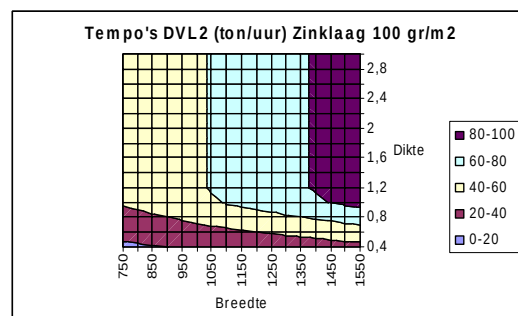
Figuur B.3: Tempomodel DVL1, 150 gr/m².



Figuur B.4: Tempomodel DVL2, 150 gr/m².

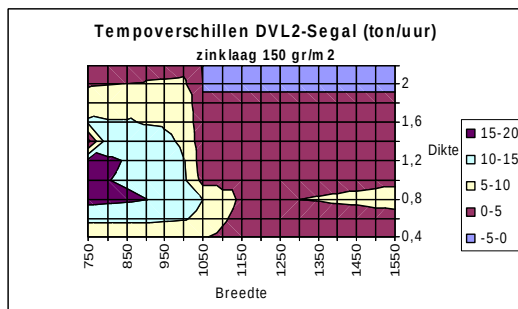


Figuur B.5: Tempomodel DVL1, 100 gr/m².

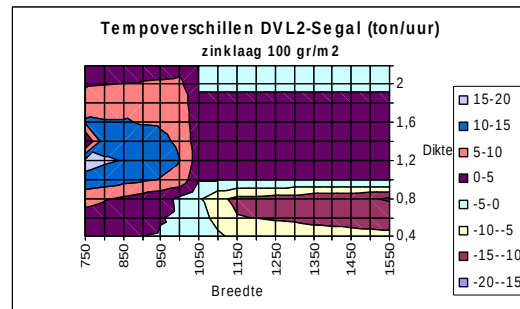


Figuur B.6: Tempomodel DVL2, 100 gr/m².

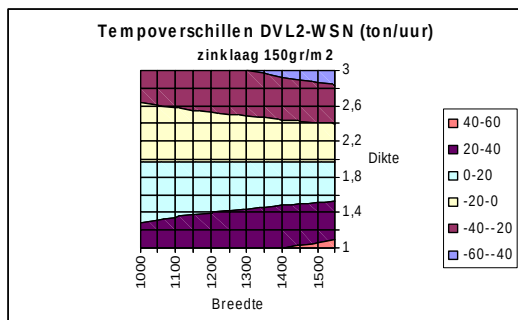
Het tempo op de DVL2 is zinklaag afhankelijk zoals blijkt uit de figuren B.4 en B.6. Er is te zien dat er bijvoorbeeld bij een breedte van 750 mm en een dikte van 0,4 mm in figuur B.6 een gebied te vinden is met een productiesnelheid tussen de 0 en 20 ton/uur terwijl dit helemaal niet voorkomt in figuur B.4. Vanaf een dikte van 1 mm zijn de snelheden weer exact gelijk. Dit is ook het geval bij de DVL1. Voor beide installaties geldt dat tot een zinklaag van 140 gr/m^2 de productiesnelheden zinklaagafhankelijk zijn, voor zinklagen boven de 140 gr/m^2 liggen hangen deze niet meer af van de zinklaagdikte. De productiesnelheden van de DVL2 liggen altijd hoger dan de productiesnelheden van de DVL1. In de figuren B.1 en B.2 is te zien dat er gebieden zijn op de WSN en Segal waar de productiesnelheden hoger liggen dan de DVL1 of DVL2. Om dit te laten zien worden in de volgende grafieken de tempo's met elkaar vergeleken door naar het verschil te kijken. Er wordt naar de gebieden gekeken die bij beide installaties binnen de installatielimieten vallen.



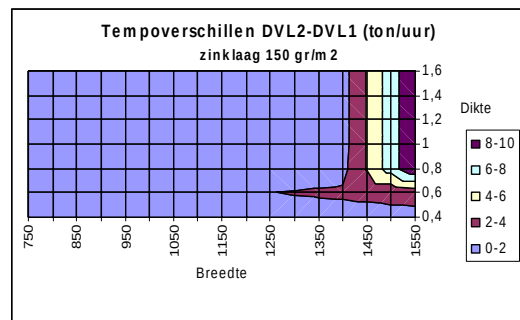
Figuur B.7: Tempoverschil DVL2-Segal.



Figuur B.8: Tempoverschil DVL2-Segal.



Figuur B.9: Tempoverschil DVL2-WSN.



Figuur B.10: Tempoverschil DVL2-DVL1.

Allereerst is in figuur B.10 de bevestiging dat de DVL2 altijd sneller is dan de DVL1, er is ook te zien dat de verschillen op het grootste gebied niet zo groot is, deze ligt namelijk tussen de 0 en 2 ton/uur. Daarom is in de overige grafieken alleen naar de DVL2 gekeken. In figuur B. 7 is te zien dat de DVL2 over het algemeen ook sneller is dan Segal, met uitzondering van een dikte van 2 mm. Vanaf een breedte van 1050 mm is de Segal installatie namelijk sneller. Dit is het geval bij een zinklaag van 150 gr/m^2 . In figuur B.8 is te zien dat er voor de orders dunner dan 1 er een gebied is waar de Segal installatie ook sneller is bij een zinklaag van 100 gr/m^2 . Dit is de reden

dat er anders van de DX51D met een zinklaag van 100 gr/m^2 over de Segal route werden geproduceerd in figuur 6.8. Tenslotte is in figuur B.9 te zien dat de tempo's met de WSN nogal sterk kunnen verschillen. Deze verschillen zijn niet afhankelijk van de zinklaag dikte, omdat de WSN alleen vanaf een dikte van 1 mm kan produceren, terwijl de tempoverschillen qua zinklaagdikte op de DVL1 en DVL2 zich op dunnere producten voordoen. Te zien is dat voor de producten vanaf 2 mm de WSN altijd sneller is dan de DVL2 en dit verschil kan zelfs oplopen tot een getal wat tussen de 40-60 ton/uur ligt. De WSN is in de route keuze vooral te zien in de wat dikkere gebieden.