

ПРИМЕР

Возможности оптимизации

Описание задачи:

В качестве примера взята химическая компания, обладающая несколькими производствами: завод по выпуску химического сырья - аммиака, которое используется для выпуска удобрений на трех других предприятиях, входящих в компанию. Между производством и одним из заводов проложен трубопровод, а на остальные заводы сырьё поставляется железнодорожным транспортом в цистернах и через два порта. Порты также служат точками продажи излишков сырья или приобретения сырья у сторонних поставщиков в случае дефицита.

На начальном этапе задача состояла в определении минимально обоснованных запасах сырья на заводах и минимизации закупок у третьих лиц в случае возникновения дефицита из-за «рваного» режима производства.

Для анализа были предоставлены данные из систем компании в формате электронных таблиц (Excel). Данные были организованы в виде значений на разные даты (временные ряды).

Ниже пример исходных данных.

ECNW daily schedule planning for 2019																														
Date	ECNW									RUFSS					LTLIF					Sillamae										
	Production output	Loading into railcars	OUT for RUFSS	OUT for LTLIF	OUT for RUNAK	ADD OUT to third parties	OUT to Sillamae	OUT to Ventpils	Stock level in tanks	Stock level in railcars	Consumption	IN from ECNW	IN from third parties	Stock level	Origin	Consumption	IN from ECNW	IN from third parties	Stock level	Origin	IN from ECNW	ADD IN (e.g. RUNAK, RUNV)	Stock level	Vessel Load						
	pipe	rail	rail	rail	rail	rail	rail				pipe	rail	1 600			rail	rail	rail	5 000		rail	rail		Layan	Size	Name	Destination	Need in tank		
Jan-19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
Actual stock level as the 01/02/2019								1 953	0				1 507						5 130			0								
1-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0	380,0	2143	Chemopets	636,2	0,0	552,0	2560	0,0	5 130		0,0								
2-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0	374,0	2144	ToAz	636,2	0,0	632,0	4 842	0,0	4 842		0,0								
3-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0		2340		458,6	0,0	325,0	4 708	0,0	4 708		0,0								
4-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0		1304		458,6	0,0	770,0	3 510	0,0	3 510		0,0								
5-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0	1 023,0	2436	ToAz	458,6	0,0		4 561	0,0	4 561		0,0								
6-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0		2442		458,6	0,0	318,0	4 430	0,0	4 430		0,0								
7-Feb	0,0							1 953	0	328,8	0,0	1 036,0	2340	ToAz	458,6	0,0		3 962	0,0	3 962		0,0								
8-Feb	0,0							1 953	0	328,8	0,0		2620		458,6	0,0		3 503	0,0	3 503		0,0								
9-Feb	0,0							1 953	0	373,7	0,0		2449		458,6	0,0	1 986,0	3 503	0,0	3 503		0,0								
10-Feb	209,3							2162	0	373,7	0,0	311,0	2764	ToAz	458,6	0,0		4 572	0,0	4 572		0,0								
11-Feb	553,7							2 716	0	373,7	0,0		2411		473,8	0,0		4 098	0,0	4 098		0,0								
12-Feb	848,9							3 565	0	373,7	0,0	997,0	3524	ToAz	533,4	0,0		3 565	0,0	3 565		0,0								

Использованы данные:

- | | | |
|-----------|----------------------------|--|
| ECNW | - Production output | объем производства аммиака |
| RUFSS | - Consumption, Stock level | объем потребления 1-го завода и уровень запаса |
| LTLIF | - Consumption, Stock level | объем потребления 2-го завода и уровень запаса |
| ECAntwerp | - Size (ECNW) | потребность завода в Антверпене |

Также были предоставлены данные о длительности доставки сырья от производства до потребителя.

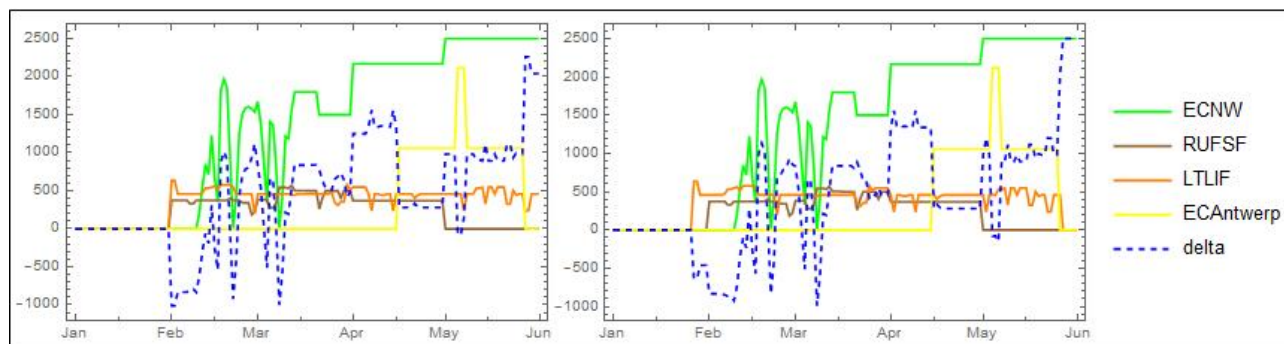
Sillamae, Ventpils – порты через которые осуществляется поставка морем на завод в Антверпене.

Rail				
ECNW	→	LTLIF	5	days
ECNW	→	Sillamae	1	days
ECNW	→	Ventpils	6	days
Sea				
Sillamae	→	Antwerp	7	days
Ventpils	→	Antwerp	7	days

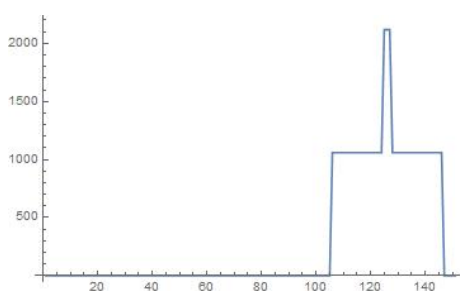
Этап 1

1. Предварительный анализ.

На шаге предварительного анализа полученные данные были визуализированы



На рисунках показана динамика объемов производства и потребностей. Левый рисунок на фактические дни, правый с учетом задержек при доставке. Данные для ECAntwerp получены при предположении равномерной доставки объемов в течении 20 дней с учетом дат предполагаемого фрахта.



Общая картина такова, что для варианта с учетом задержек доставки продукции производится на 69006.9 тон больше, чем потребляется. При этом временный дефицит составляет -16157.4. тон

2. Задействование резервов. Имитационная модель.

На основе результатов первого этапа проекта в качестве дальнейшего шага была сформулирована задача нахождения вариантов преодоления временного дефицита. В качестве решения данной задачи было предложено создание имитационной модели, которая позволила бы осуществлять симуляцию с целью поиска оптимальных решений.

Компоненты модели.

Входные временные ряды (взяты из исходной таблицы): объемы производства (ECNW), динамика потребностей (RUF SF, LTLIF, ECAntwerp), резервы (RUF SF, LTLIF, ECAntwerp), разрешение на использование резервов. Всего $1+3+3+1=8$ временных рядов – исходных данных, подаваемых на вход модели.

Существо симуляции.

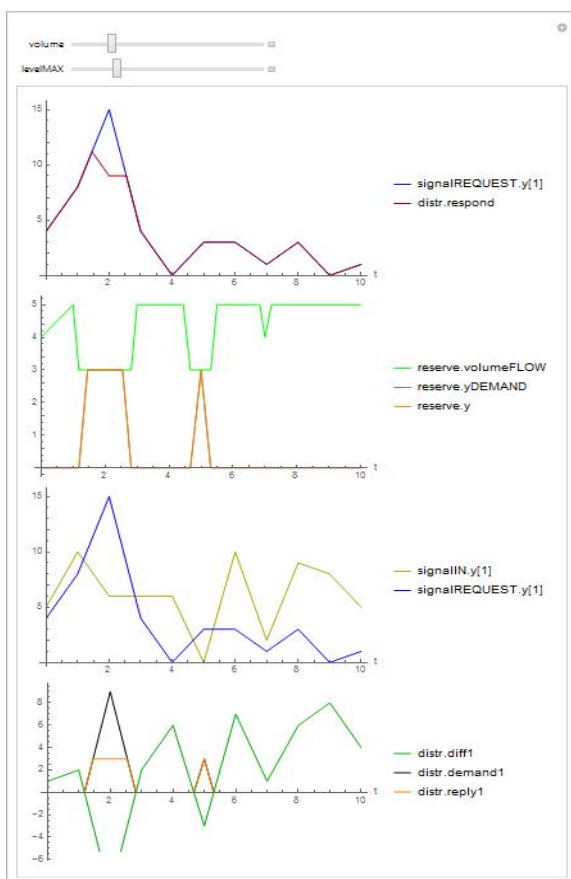
На каждом шаге в первую очередь удовлетворяются потребности производства. Далее, при возникновении профицита сырья восполняются резервы. При возникновении дефицита и при наличии разрешения сырье берется из резервов.

На выходе имеем впеменные ряды: динамика профицита/дефицита, динамика резервов (RUFSS, LTLIF, ECAntwerp). Всего $1+3=4$ временных ряда.

Цель использования модели – минимизация дефицита за счет управления резервами, поиск оптимального размера резервов на складах, снижение рисков сбоя поставок, снижение затрат на склад.

Полученная имитационная модель и ее интерфейс.

Для каждого завода была подготовлена имитационная модель. На этой модели, изменяя C_s помощью ползунков значения Объема поставки (volume) и Максимального уровня запаса (levelMAX), можно симулировать различные ситуации и анализировать вероятность возникновения дефицита во времени при реальных объемах производства.



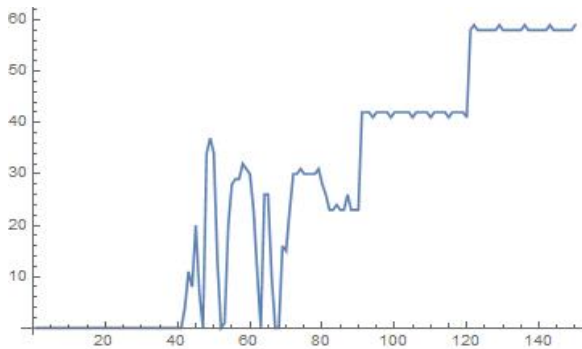
Разрыв зеленой линии на нижнем графике как раз указывает на возникновение дефицита при заданных объемах поставки и установленного уровня максимально запаса.

3. Дискретное исчисление вагонов.

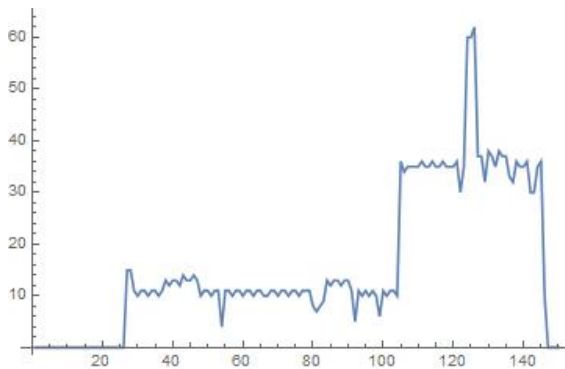
Приведенное оперирование объемами производства и потребностями на созданной имитационной модели справедливо в полной мере лишь для 1-го завода (RUFSS), поскольку этот завод связан с производством аммиака по трубопроводу. При рассмотрении вариантов

оптимизации для 2-го завода (LTLIF) и завода в Антверпене (ЕСAntwerp) необходим переход к дискретному исчислению объёмов производства и потребления в вагонах.

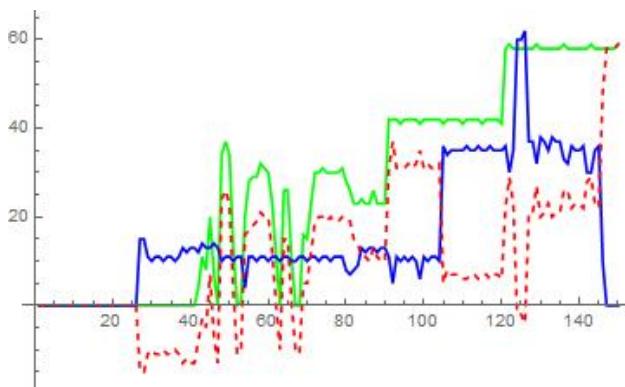
Производство в вагонах:



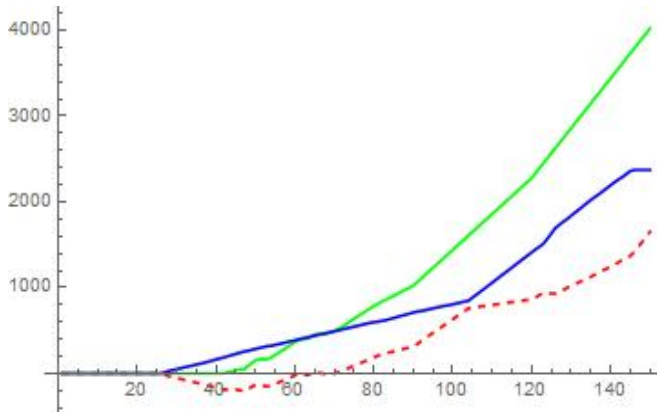
Потребности в вагонах:



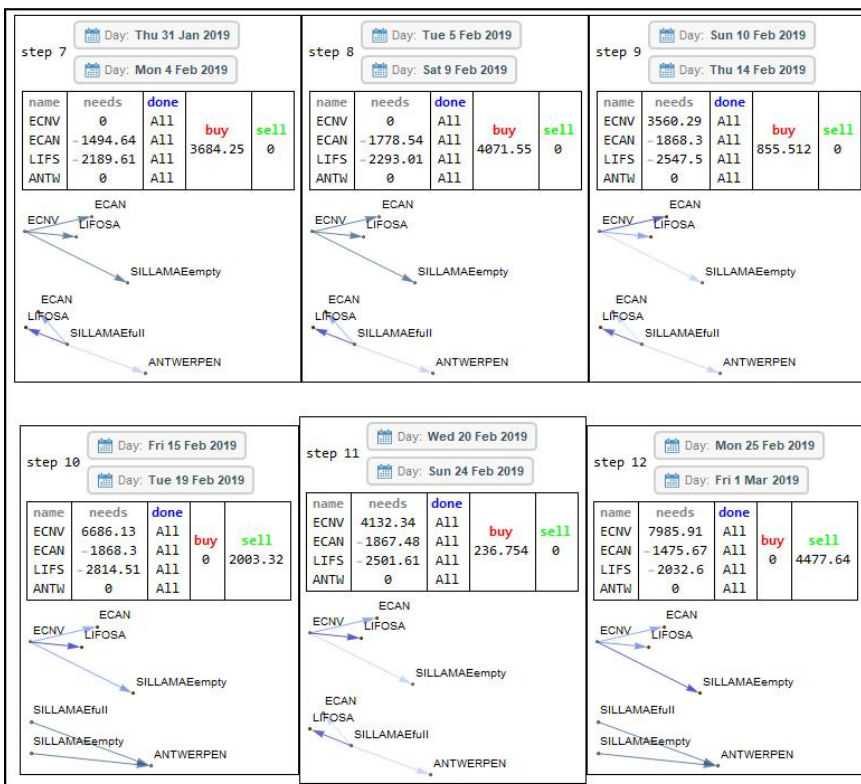
Сведение графиков вместе позволяет увидеть «узкие места». Зеленый цвет — производство, синий — потребности, красный пунктирный профицит или дефицит:



Те же данные — нарастающим итогом:



Кроме того, модель позволяет рассчитать потребности в закупке сырья у третьих лиц или возможность продажи излишков при планировании по 5-дневному или любому другому периоду (часть данных из всего временного интервала).



На представленном примере видно, что на первых трех 5-ти дневных интервалах есть необходимость в приобретении сырья (buy), на четвертом интервале есть возможность продать (sell) излишки, на пятом интервале снова необходимо будет докупать сырье и на шестом можно будет продать излишки.

Выводы по первому этапу.

1. Объем представленной информации позволил рассматривать только задачу оптимизации резервов и управления ими.

2. При наличии дополнительной информации было предложено расширить бизнес модель и добавить к задачам оптимизации поставок и уровней резерва задачи, которые можно объединить в кластер задач «минимизации затрат на перевозку и восполнение дефицита»:

- выбор сроков и объемов покупки продукции у третьих лиц (цены, география);
- выбор необходимого дневного количества вагонов и расписания перевозок (эффективность, количество доступных вагонов, дорожные работы);
- минимизация затрат на вагоны с учетом «кругов» (регулярные перевозки, дополнительные перевозки).

Вновь созданная модель должна обеспечить оценку коммерческой целесообразности для следующих ситуаций:

- продажа излишков сырья в портах с учетом прогнозных цен на заданные даты;
- приобретение сырья у третьих лиц с учетом затрат на транспортировку своего сырья до портов.

Этап 2

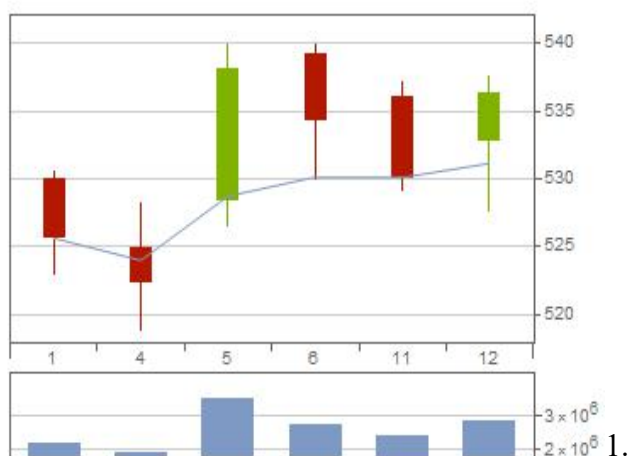
Исходные данные

Помимо начальной таблицы были сформированы следующие входные данные:

1. Цена продажи в точке (определенный порт) в интервале времени (с такого-то дня по такой-то) - это позволит не только планировать продажу на конкретное судно, но и в целом видеть рынок товара в точке, если интервал будет широким (месяц - два). Это входная информация для моделирования на основе прогнозов, получаемых от аналитических компаний. Использовалось биржевое представление данных продаж от аналитических компаний.

Данные в биржевом представлении:

1. Дата.
2. Цена открытия/закрытия.
3. Минимальная/максимальная цена.
4. Объем.



2. Цена возможной закупки товара в точке. Это входная информация для моделирования также составлена на основе прогнозов от аналитических компаний.

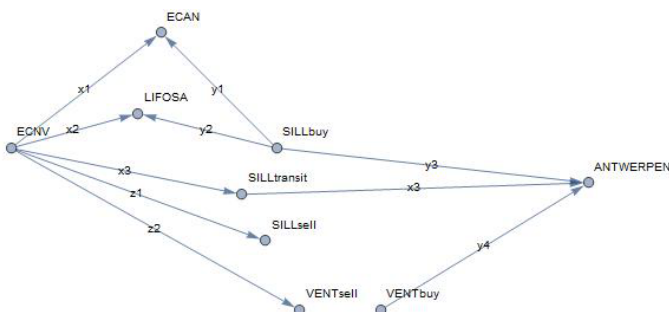
3. Стоимость движения между точками. Входная информация, формируемая из реальных затрат.
4. Пропускная способность между точками.
5. Объем хранения в точке. Резерв, берется из выходных данных моделирования задачи, реализованной на первом этапе проекта.
6. Скорость загрузки из точки на маршрут. Дополнительный (необязательный) параметр на основе реальных данных.
7. Скорость выгрузки с маршрута в точку. Дополнительный (необязательный) параметр на основе реальных данных.
8. Потребность в товаре в точке на день. Эти данные берутся из начальной таблицы, предоставленной на первом этапе проекта.
9. Производство в точке в день (может быть 0 для обычных складов)
10. Количество продукции доступной для закупки у третьих лиц в точке. Для упрощения модели принято неограниченным.

На основе приведенных исходных данных расширенная модель позволит:

- в любой момент времени показать на любой день - где расположен товар, в том числе на маршрутах в момент движения.
- в любой момент времени определить PAR цену (приблизительная оценочная цена) товара в точке.
- в перспективе для любой точки рассчитать profit & loss на основании PAR цен.

Модель распределения.

При решении расширенной бизнес модели были созданы дополнительные модели, на пример модель распределения.



На приведенном графе:

Переменные:

- x – потребляемые свои объемы
- y – объемы, покупаемые у третьих лиц
- z – свои объемы, продаваемые на сторону

Порядок распределения:

Производимая продукция из ECNV поставляется в объеме x_1 в ECAN, в объеме x_2 в LIFOSA, в объеме x_3 в ANTWERPEN через SILLtransit.

Кроме того, производимая продукция из ECNV может продаваться в объеме z_1 в SILLsell и в объеме z_2 в VENTsell.

Пункт SILLAMAE на графе представлен тремя узлами в зависимости от текущего статуса: SILLbuy – где мы покупаем в объеме y_1 для ECAN, в объеме y_2 для LIFOSA и в объеме y_3 для ANTWERPEN, SILLsell – где мы продаем и транзитного пункта SILLtransit.

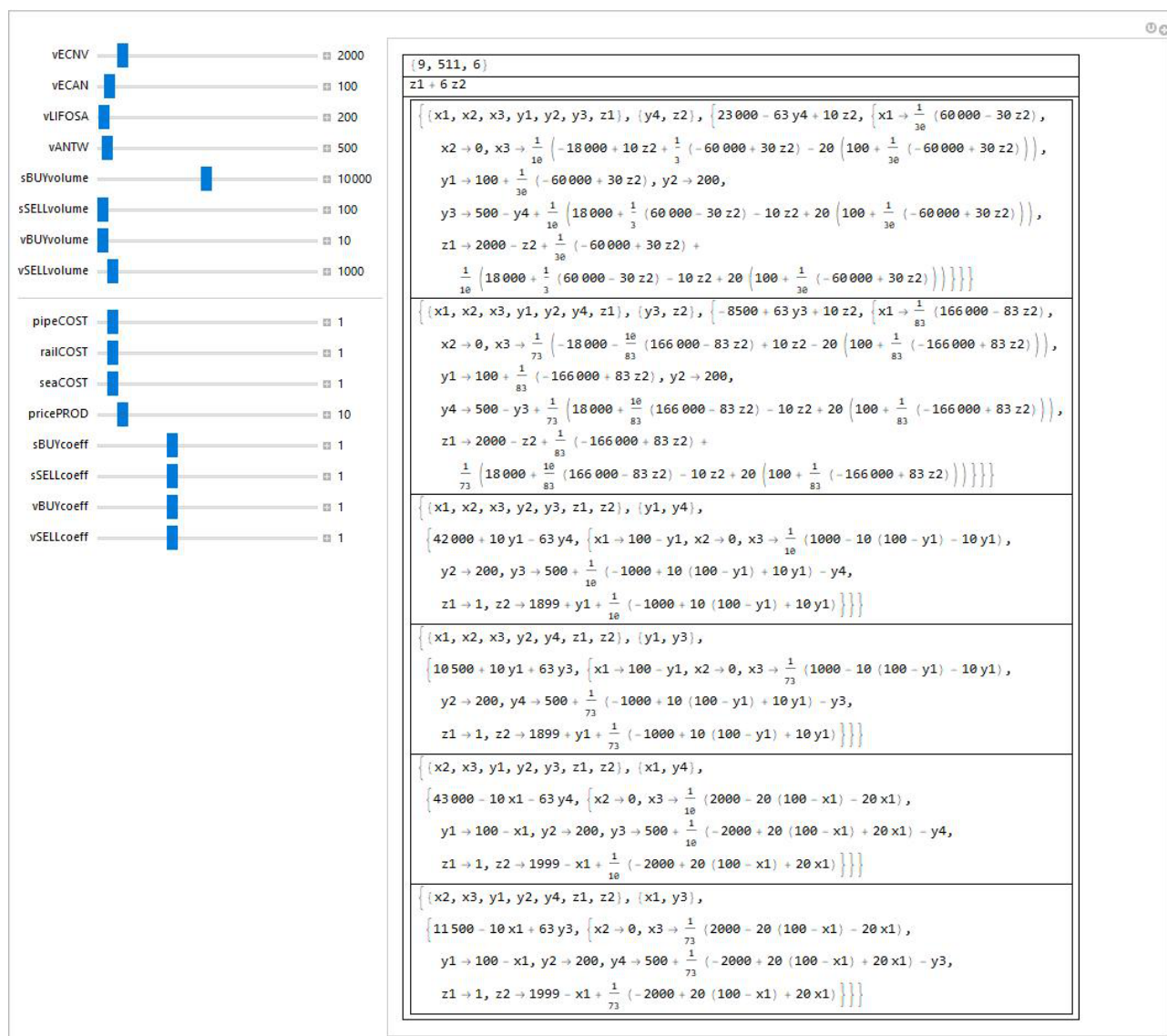
Аналогично пункт VENTSPILS представлен двумя узлами: VENTbuy - где мы покупаем в объеме y4 для ANTWERPEN и продаем VENTsell.

Кластер задач на экстремумы.

На рисунке приведена панель решения задачи определения минимальной цены сырья с доставкой и кластер ее решений.

Используемые параметры:

- объем производства - vECNV,
 - объемы потребностей — vECAN, vLIFOSA, vANTW;
 - стоимость транспортировки тонны — по трубопроводу (pipeCOST), по железной дороге railCOST, морем seaCOST;
 - стоимость производства в ECVN составляет pricePROD.
- остальные цены задаются коэффициентом от pricePROD. Цена покупки/продажи в SILLAMAE - sBUYcoeff/sSELLcoeff, цена покупки/продажи в VENTSPILS — vBUYcoeff/vSELLcoeff;
- параметры sBUYvolume/sSELLvolume и vBUYvolume/vSELLvolume задают доступные объемы покупки или продажи в соответствующих пунктах.



Задача решается по 9 переменным. Всего решается 511 задач (по сочетаниям из 9 переменных). В данном конкретном случае при данной комбинации значений параметров имеется 6 вариантов решений. В базовом (исходном) варианте применяется всего 4 балансовых уравнения - балансы объемов по пунктам ECVN, ECAN, LIFOSA и ANTWERPEN.

Интерпретация получаемых результатов.

На рисунке ниже приведена сводка по одному из решений.

{x1, x2, x3, y1, y2, y4, z1}
{y3, z2}
$\left\{ -8500 + 63y_3 + 10z_2, \left\{ x_1 \rightarrow \frac{1}{83} (166000 - 83z_2), x_2 \rightarrow 0, x_3 \rightarrow \frac{1}{73} \left(-18000 - \frac{10}{83} (166000 - 83z_2) + 10z_2 - 20 \left(100 + \frac{1}{83} (-166000 + 83z_2) \right) \right) \right\}, \right.$ $y_1 \rightarrow 100 + \frac{1}{83} (-166000 + 83z_2), y_2 \rightarrow 200, y_4 \rightarrow 500 - y_3 + \frac{1}{73} \left(18000 + \frac{10}{83} (166000 - 83z_2) - 10z_2 + 20 \left(100 + \frac{1}{83} (-166000 + 83z_2) \right) \right),$ $z_1 \rightarrow 2000 - z_2 + \frac{1}{83} (-166000 + 83z_2) + \frac{1}{73} \left(18000 + \frac{10}{83} (166000 - 83z_2) - 10z_2 + 20 \left(100 + \frac{1}{83} (-166000 + 83z_2) \right) \right) \left. \right\}$

Первая строка – расчетные переменные (7 штук). Содержит наименования переменных, которые определены как соответствующие минимальной стоимости обеспечения заданных балансов.

Вторая строка – параметры (2 штуки). Вторая строка содержит наименования переменных, которые стали параметрами решения — их значения можно определить любым образом, исходя из некоторых дополнительных соображений или потребностей. Они выполняют роль входных переменных в полученных формулах.

Третья строка - Формула расчета минимальной цены – результат решения. Третья строка содержит явную формулу решения минимизации (первое выражение) и формулы для переменных решения.

В данном случае минимальная цена P(min) рассчитывается по формуле

$$P(\min) = -8500 + 63*y_3 + 10*z_2.$$

Объем перевозок из ECVN в ECAN x1 рассчитывается по формуле:

$$x_1 = (1/83)*(166000 - 83*z_2)$$

и так далее для остальных переменных.

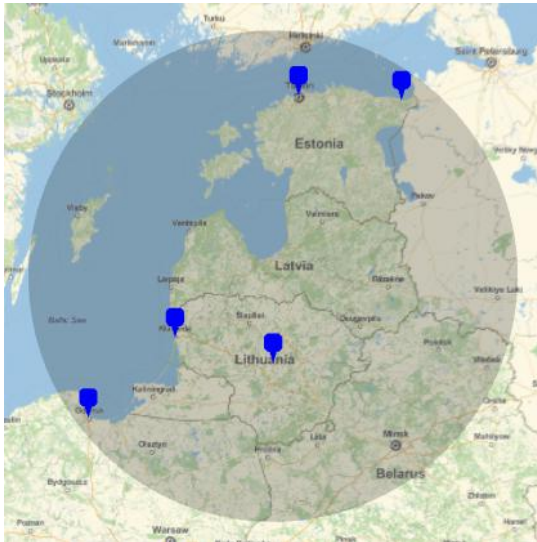
Выводы

Приведенное решение задачи позволяет находить минимум затрат на обеспечение потребностей и максимум выручки от продажи.

Дополнительная задача

В ходе проекта была рассмотрена дополнительная задача по оптимизации поставок по пяти узлам дистрибуции дополнительных видов продукции. Для решения данной задачи при построении модели было решено использовать метод расчета на графах.

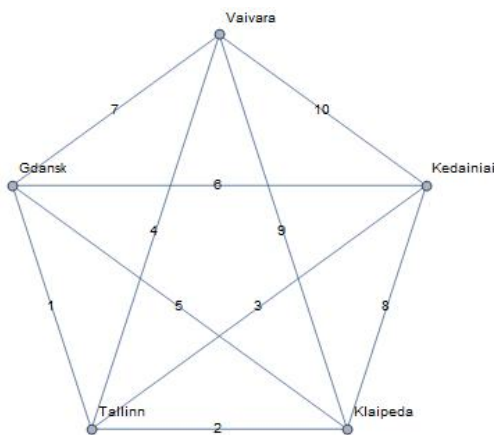
В ходе создания модели были выбраны 5 точек дистрибуции.



В таблице приведены географические расстояния между точками (для примера).

	Tallinn	Gdansk	Klaipeda	Kedainiai	Vaivara
Tallinn	0 m	680 km	472 km	469 km	170 km
Gdansk	680 km	0 m	220 km	361 km	788 km
Klaipeda	472 km	220 km	0 m	186 km	570 km
Kedainiai	469 km	361 km	186 km	0 m	510 km
Vaivara	170 km	788 km	570 km	510 km	0 m

Указанный километраж был использован для вычисления стоимости перевозки. Кроме того, для каждого пути была определена пропускная способность пути и цена за километр. В результате был построен граф. Номера на ребрах соответствуют номерам пути (вторая таблица). Свойствами графа являются также заданная пропускная способность ребра и цена километра.



Gdansk	2
Tallinn	1
Klaipeda	3
Kedainiai	4
Vaivara	5

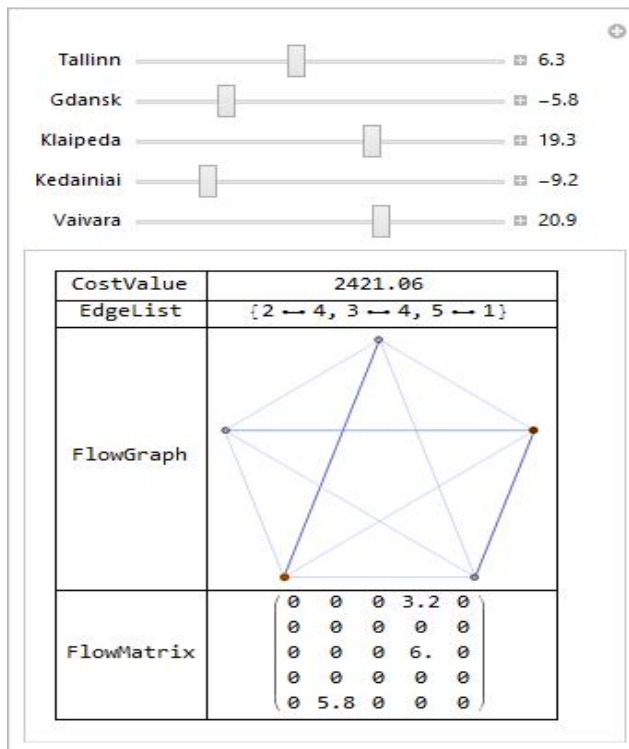
1	2 → 1	Gdansk → Tallinn
2	3 → 1	Klaipeda → Tallinn
3	4 → 1	Kedainiai → Tallinn
4	1 → 5	Tallinn → Vaivara
5	2 → 3	Gdansk → Klaipeda
6	2 → 4	Gdansk → Kedainiai
7	2 → 5	Gdansk → Vaivara
8	4 → 3	Kedainiai → Klaipeda
9	3 → 5	Klaipeda → Vaivara
10	4 → 5	Kedainiai → Vaivara



На основе полученной модели были реализованы различные варианты интерфейсов для решения различных задач оптимизации:

- Задача построения оптимальных маршрутов распределения

Ползунками задаются потребности (отрицательное значение) или наличие на складе (положительное значение) в точке.



В зависимости от установленных параметров формируются следующие результаты:

- | | |
|---|-------------|
| 1. Задействованные пути | EdgeList. |
| 2. Стоимость перевозки, закрывающая потребности | CostValue. |
| 3. Визуализация перевозок через интенсивность цвета | FlowGraph. |
| 4. Откуда, сколько взяли (остатки вычисляются) | FlowMatrix. |