

5-я серия

бесплатных
агро-
вебинаров



evasvet.ru/tm2026

теплый марафон 2026

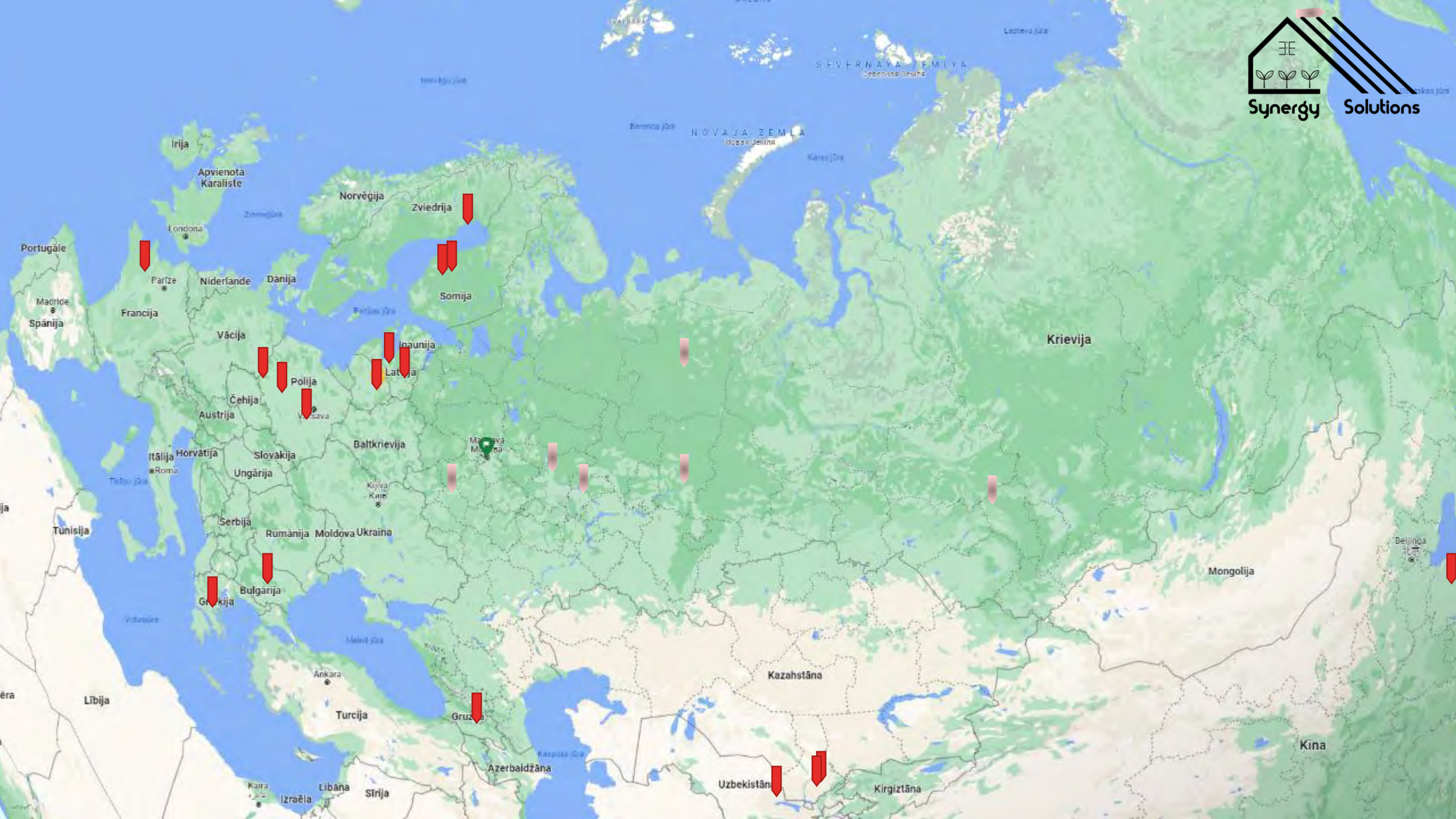


без штрафных кругов

Необходимые технические и технологические изменения при внедрения Full-LED в теплицах

Что меняется в теплице — и что нужно изменить вместе с этим

50-минутный технический марафон



Есть два вида людей – одни:

которые могут экстраполировать
недостающую информацию из доступной

2, 4, 8, 16, —, —



Доля светодиодов в Голландии

- Переход на светодиоды – повсеместный и необратимый процесс, который происходит огромными темпами.
- Адаптация технологии произошла на всех культурах что использовала любой вид досветки
- В Европе остался один производитель натриевых ламп.



Teelt	Belichting	Led/hybride
Aubergine	< 10%	80-90%
Bladgewassen (Kas)	> 80%	> 90%
Komkommer	25-30%	60-70%
Paprika	20-25%	50-60%
Tomaat	35-45%	70-80%
Aardbei	20-30%	> 90%
Framboos & Braam	30-40%	> 90%
Chrysant	>90%	65-75%
Freesia	50-60%	50-70%
Gerbera	85-95%	70-80%
Lisiantus	70-80%	60-70%
Lelie	40-60%	30-40%
Roos	80-90%	60-70%
Tulp	70-80%	30-40%
Potplanten	60-70%	75-85%
– Phalaenopsis	> 90%	> 90%
– Anthurium	70-80%	70-80%
– Bromelia	60-70%	70-80%
Opkweek bloemen en groenten	80-90%	80-90%

Два сценария замены

СЦЕНАРИЙ А

Замена с равным PPFD

Было: 200 Вт HPS → ~340 мкмоль/м²/с

Стало: ~90 Вт LED → ~340 мкмоль/м²/с

ЦЕПОЧКА ПОСЛЕДСТВИЙ

- Те же фотоны → схожее открытие устьиц
- Меньше излучаемой энергии на лист → лист холоднее
- Меньше ДВП у листа → пасс. транспирация –15-30%
- Нагрузка влажности на теплицу снижается/такая же
- Но: тепловая нагрузка зимой +10–25%

СЦЕНАРИЙ Б

Замена ватт-к-ватту

Было: 200 Вт HPS → ~340 мкмоль/м²/с

Стало: 200 Вт LED → ~720 мкмоль/м²/с

ЦЕПОЧКА ПОСЛЕДСТВИЙ

- ~2× фотонов → ~2× спрос устьиц на CO₂
- Фотосинтез растёт пока хватает CO₂ или воды
- Транспирация резко растёт в моль H₂O/м²/с
- Нагрузка влажности на теплицу повышается
- Больше вентиляции → CO₂ падает → фотосинтез снижается



Финансовая составляющая

Теплица - установленная мощность досветки - 119Вт/м², 330мкмоль/м²/с

	Предыдущие диоды	Новые диоды	Новые диоды
Штук	1 706	853	647
Количество часов досветки в год		4000	
мкмоль/светильник	540	1424	1424
Употребление, Ватт	195	390	390
Эффективность, мкмоль/Дж	2,77	3,65	3,65
Замена системы досветки	0 Р	18 220 080 Р	13 819 920 Р
Удельная стоимость замены в год	0 Р	2 082 295 Р	1 579 419 Р
Установленная мощность после замены, кВт	332,67	332,67	252,33
Расходы на электричество, РУБ/год при 10РУБ/кВт	13 306 800 Р	13 306 800 Р	10 093 200 Р
CAPEX +OPEX в год	13 306 800 Р	15 389 095 Р	11 672 619 Р
Производство огурца, кг/год от досветки	291 849	384 808	291 877
Себестоимость огурца CAPEX +OPEX	45,59 Р	39,99 Р	39,99 Р

Технически - экономические

Старые светодиоды выходят из строя и/или новые светодиоды гораздо эффективнее предыдущих

Экономические

Экономически
целесообразный – зависит
от локальных условий



Теплица - установленная мощность досветки - 200Вт/м^2 , $340\text{мкмоль/м}^2/\text{с}$

	ГПУ	ООО "Иркутскэн ергосбыт"	ОАО "ЕЭнС" (г.Екатерин бург)	ПАО "Мордовска я энергосбыт овая компания"
Цена РУБ за кВт/час	2,93	4,97	7,14	9,27
Количество часов досветки в год	3500			
Расходы на электричество, РУБ/м ² /год	2 052 Р	3 477 Р	4 996 Р	6 487 Р
Производство огурца, кг/м ² /год от досветки	94,25			
Себестоимость огурца ОРЕХ	21,77 Р	36,89 Р	53,00 Р	68,83 Р

ГПУ – 9,8кВ/м3 газа,
покупка 80000руб квт,
ресурс 60000мвт
=1,3руб/квч покупка,
обслужка 1руб квт, газ
с доставкой
7800/1000м3

Экономические



Экономически
целесообразный – зависит
от локальных условий

Теплица - установленная мощность досветки - $200 \text{ Вт/м}^2, 340 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$

	ГПУ	ООО "Иркутскэнергосбыт"	ОАО "ЕЭНС" (г.Екатеринбург)	ПАО "Мордовская энергосбытовая компания"
Цена РУБ за кВт/час	2,93	4,97	7,14	9,27
Замена системы досветки	560 Р			5 100 Р
Удельная стоимость замены в год	187 Р			510 Р
Установленная мощность после замены, Вт/м ²	200,00			97,14
Расходы на электричество, РУБ/м ² /год	2 052 Р	3 477 Р	4 996 Р	3 151 Р
CAPEX + OPEX в год	2 238 Р	3 477 Р	4 996 Р	3 661 Р
Производство огурца, кг/м2/год от досветки	94,25			
Себестоимость огурца CAPEX + OPEX	23,75 Р	36,89 Р	53,00 Р	38,84 Р

Теплица - установленная мощность досветки - $200 \text{ Вт/м}^2, 340 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$

	ГПУ	ООО "Иркутскэнергосбыт"	ОАО "ЕЭНС" (г.Екатеринбург)	ПАО "Мордовская энергосбытовая компания"
Цена РУБ за кВт/час	2,93	4,97	7,14	9,27
Замена системы досветки	9 000 Р			5 100 Р
Удельная стоимость замены в год	900 Р			510 Р
Установленная мощность после замены, Вт/м ²	171,43			97,14
Расходы на электричество, РУБ/м ² /год	1 759 Р	3 477 Р	4 996 Р	3 151 Р
CAPEX + OPEX в год	2 659 Р	3 477 Р	4 996 Р	3 661 Р
Производство огурца, кг/м2/год от досветки	166,32	94,25		
Себестоимость огурца CAPEX + OPEX	15,99 Р	36,89 Р	53,00 Р	38,84 Р

Тепло,
которого
больше нет

Разность распределения энергии

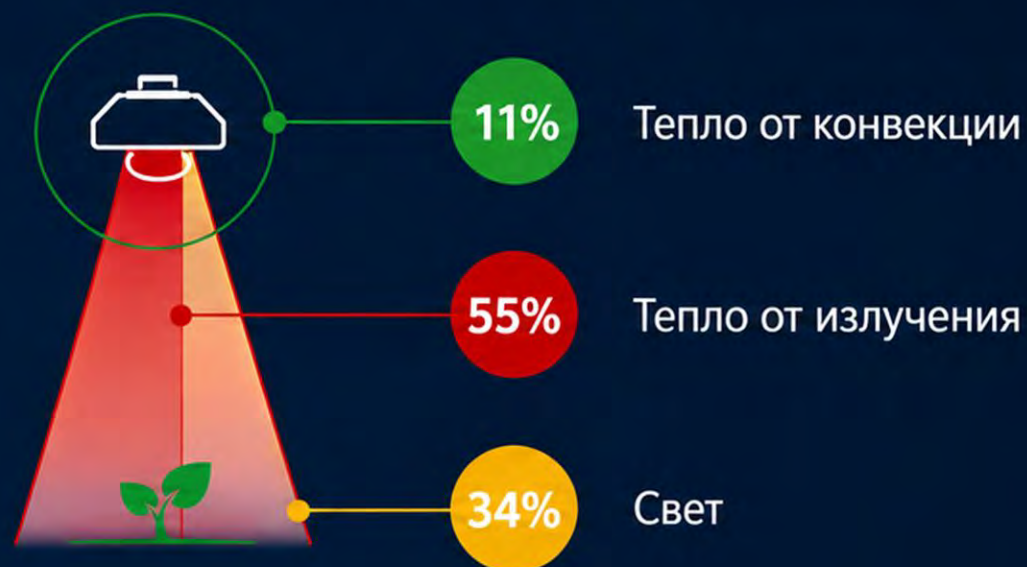
LED меняет не свет, а тепловой и водный баланс теплицы

Энергетический баланс

Компактный светодиодный светильник

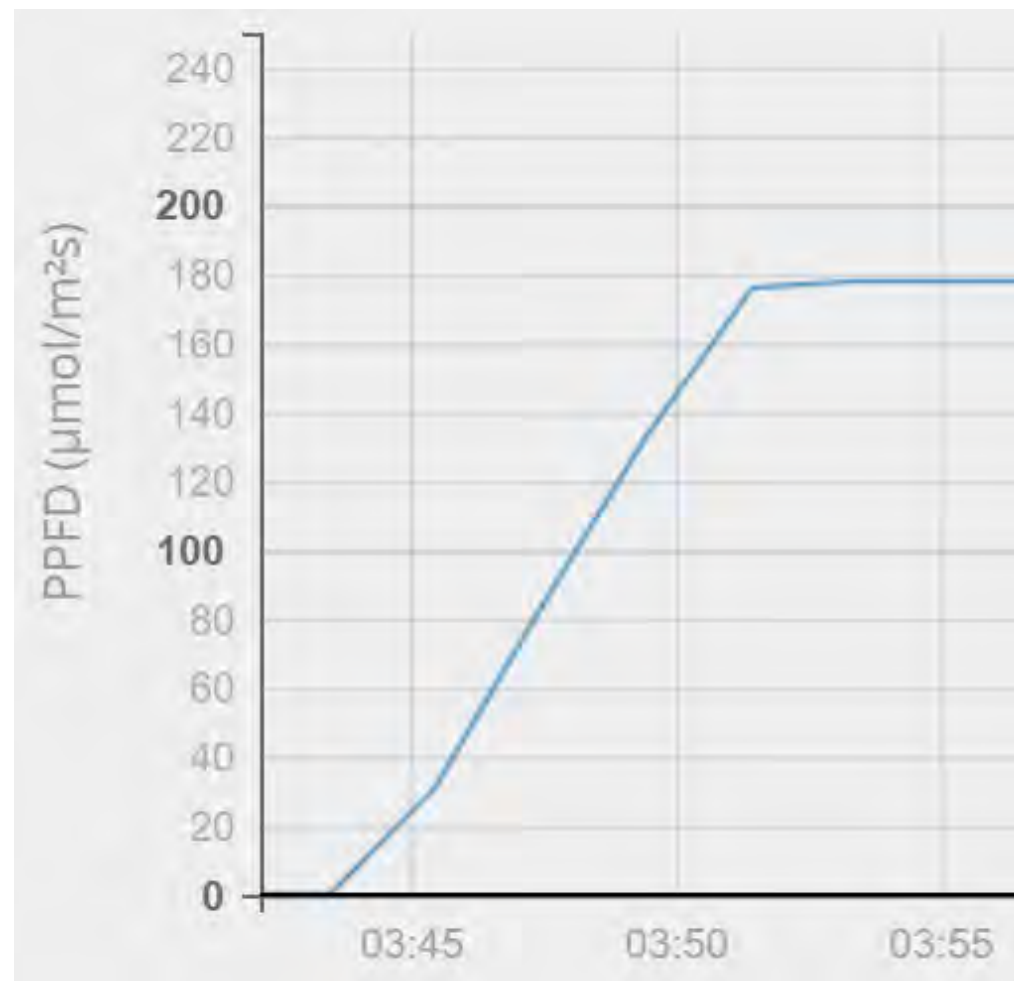
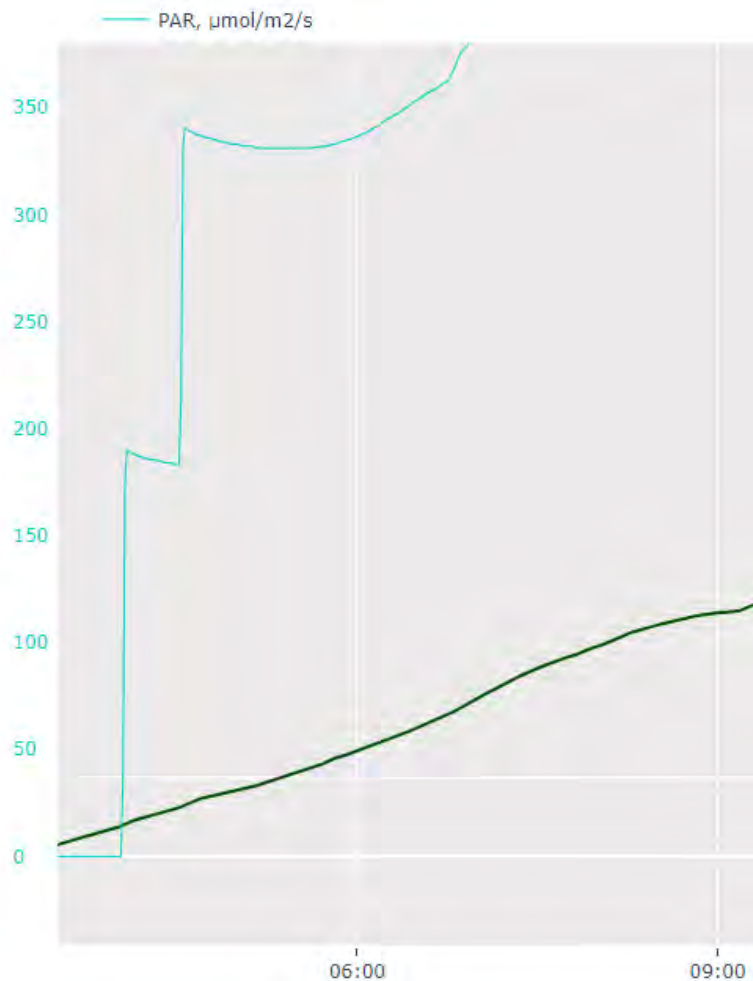


Натриевая лампа высокого давления (HPS)



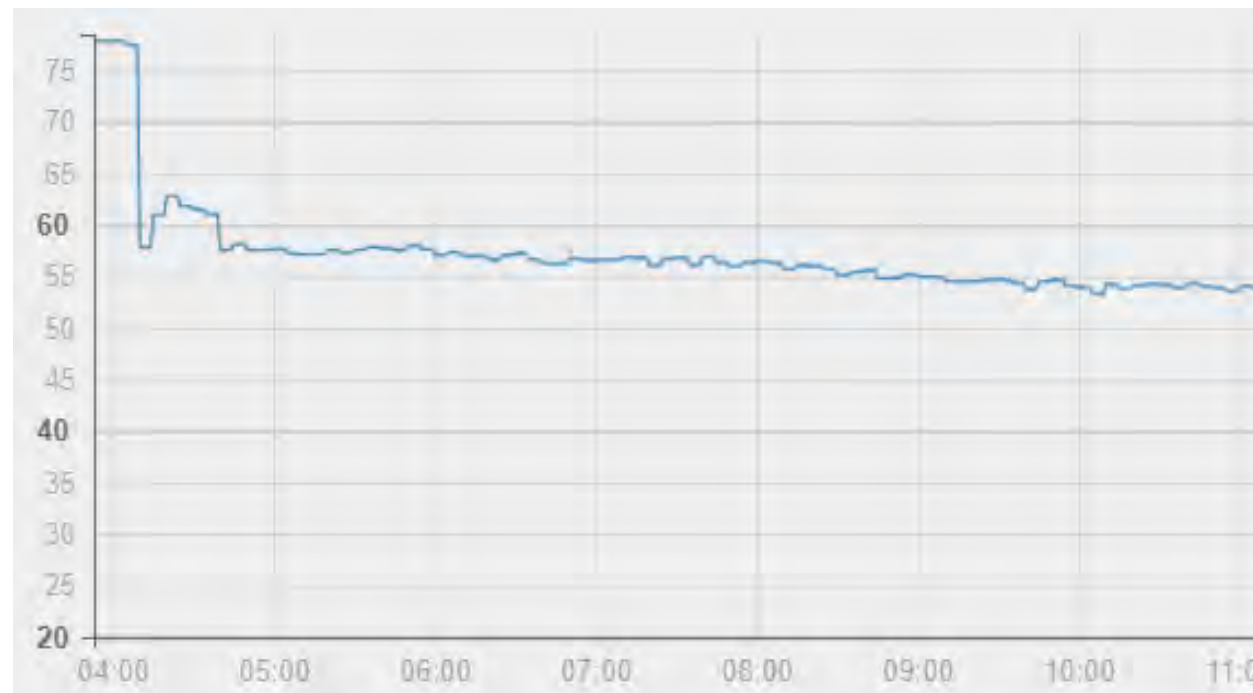
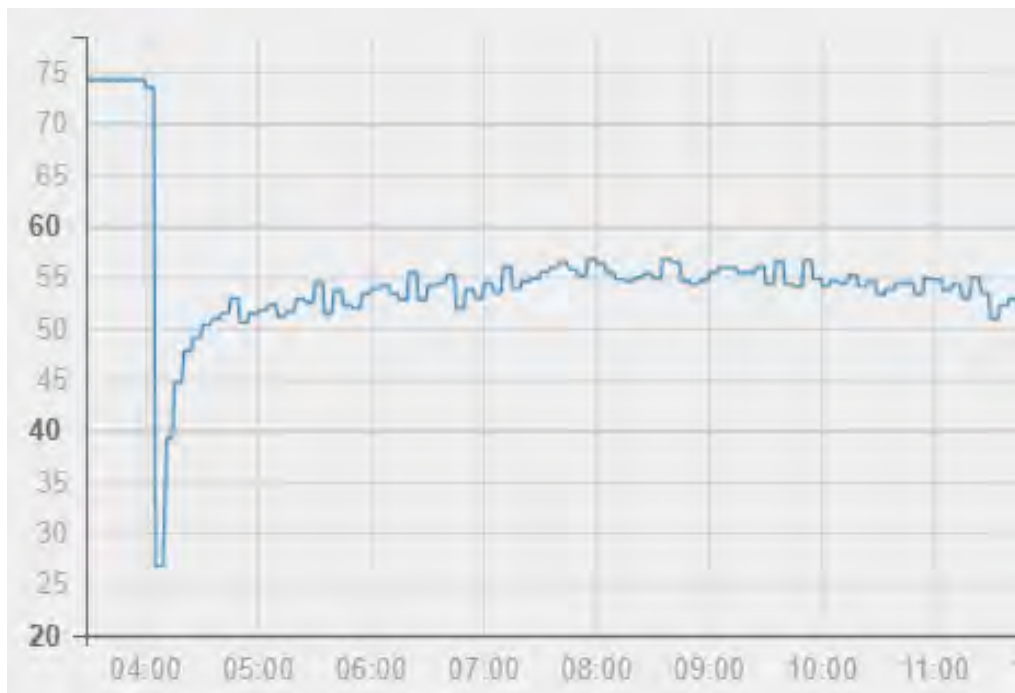
Досветка - включение

ДНаТ за 10 минут наращивает мкмоль до номинального, светодиод отдаёт +10% от номинального и при нагреве за 20 минут снижает



Досветка - включение

На ЛЕД в протяжении 30 минут
мы теряем эффективность
фотосинтеза - нужно
диммировать



340 $\mu\text{моль/м}^2/\text{с}$ · огурец · установка 25 °C, 80 % RH · транспирация 128 мл/моль

Показатель	HPS (HID)	LED (90R5G5B)	Δ (LED – HPS)
Электрическая мощность	200 Вт/м ²	94 Вт/м ²	–106 Вт/м²
Тепло в воздух теплицы	~200 Вт/м ²	~94 Вт/м ²	–106 Вт/м² (нужен обогрев)
Излучаемое тепло на растение	84 Вт/м ²	9 Вт/м ²	–75 Вт/м²
Транспирация (скрытое тепло)	107 Вт/м ²	107 Вт/м ²	0 (одинаково)
Температура листа отн. воздуха	тёплый ($\geq$ воздуха)	холодный ($<$ воздуха)	лист холоднее

Тепло, которого
больше нет –
мкмоль на мкмоль

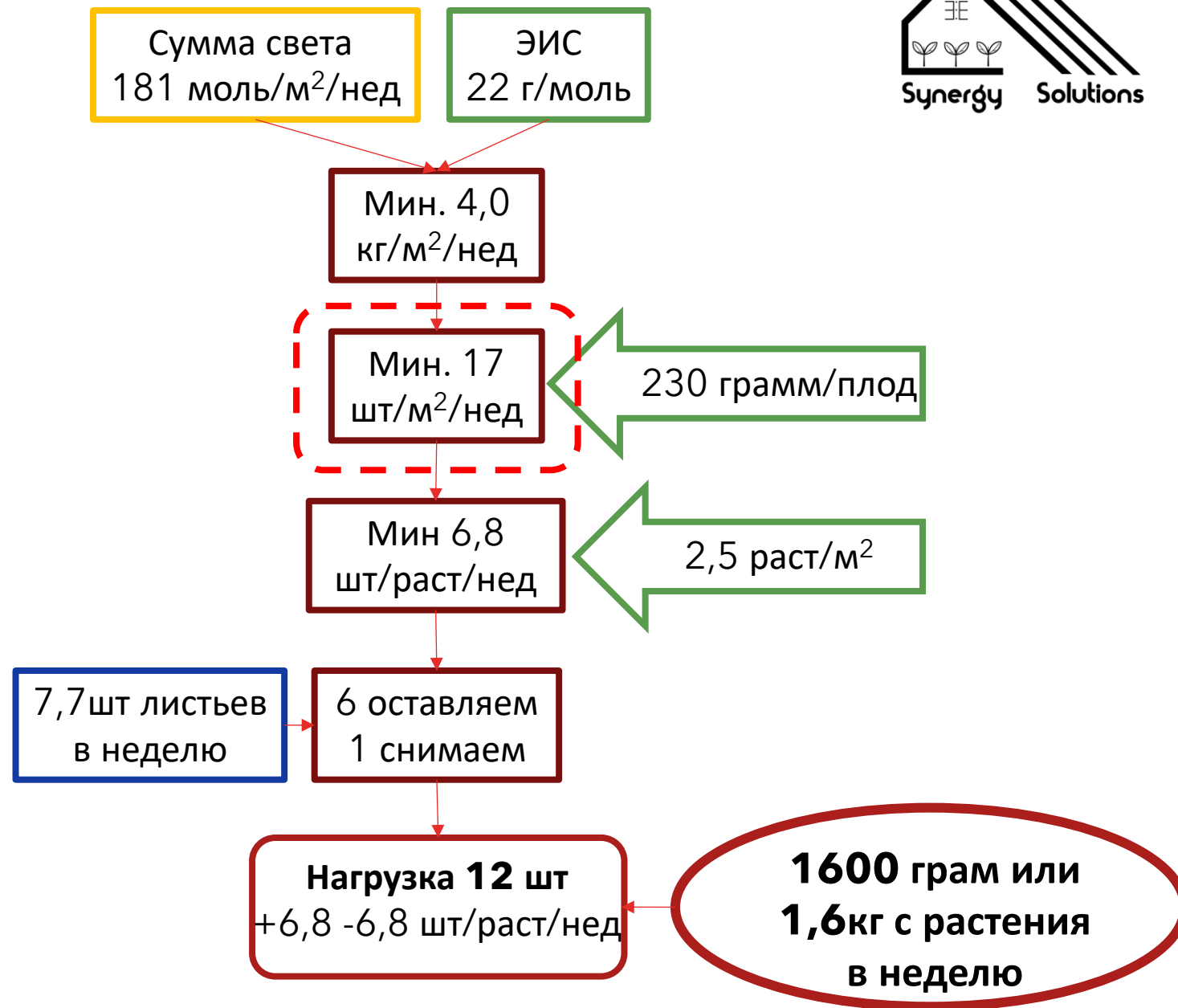
Главное: при равной освещённости переход на LED – это вопрос тепла, а не влажности:

- Теряется ~106 Вт/м² тепла ламп → нагрузка переходит на отопление.
- Теряется ~75 Вт/м² излучаемого тепла - обогрева растения.
- Лист холоднее воздуха → риск замедления развития, вершинной гнили (Ca), конденсата на листе.

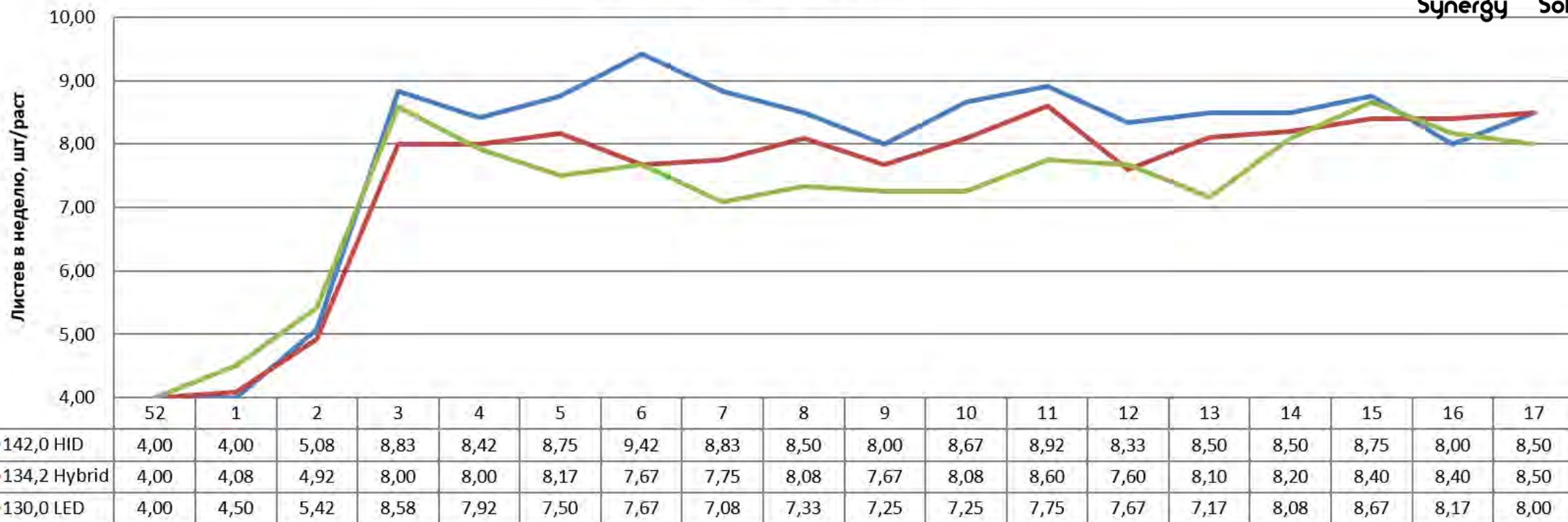
-> Решение: шатёр + более тёплый, хорошо циркулируемый воздух.

Меняется скорость – меняется всё

- Снижение количества листа в неделю – положительный фактор для распределения СВ в плоды
- Лист ~10% СВ, 50грам
- Плод ~3% СВ, 230грам
- -1лист = +160грам плодв

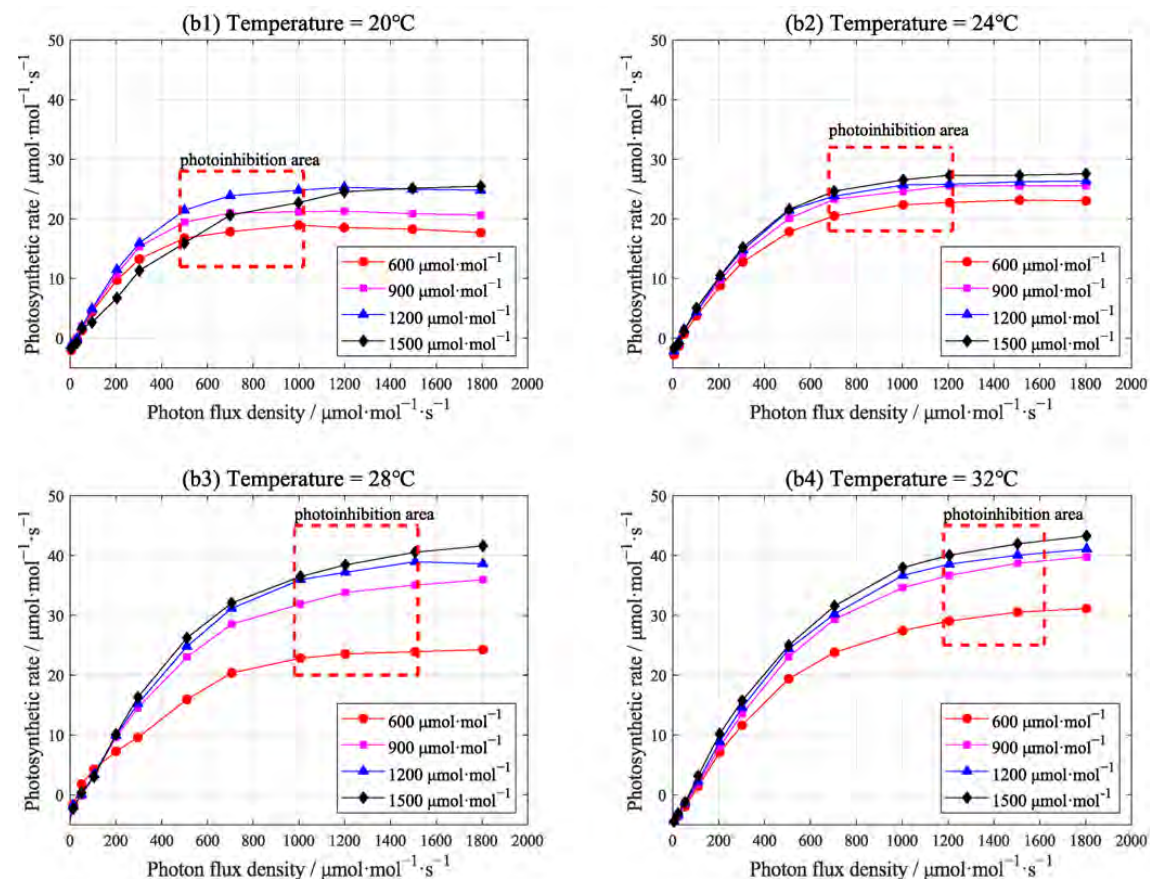
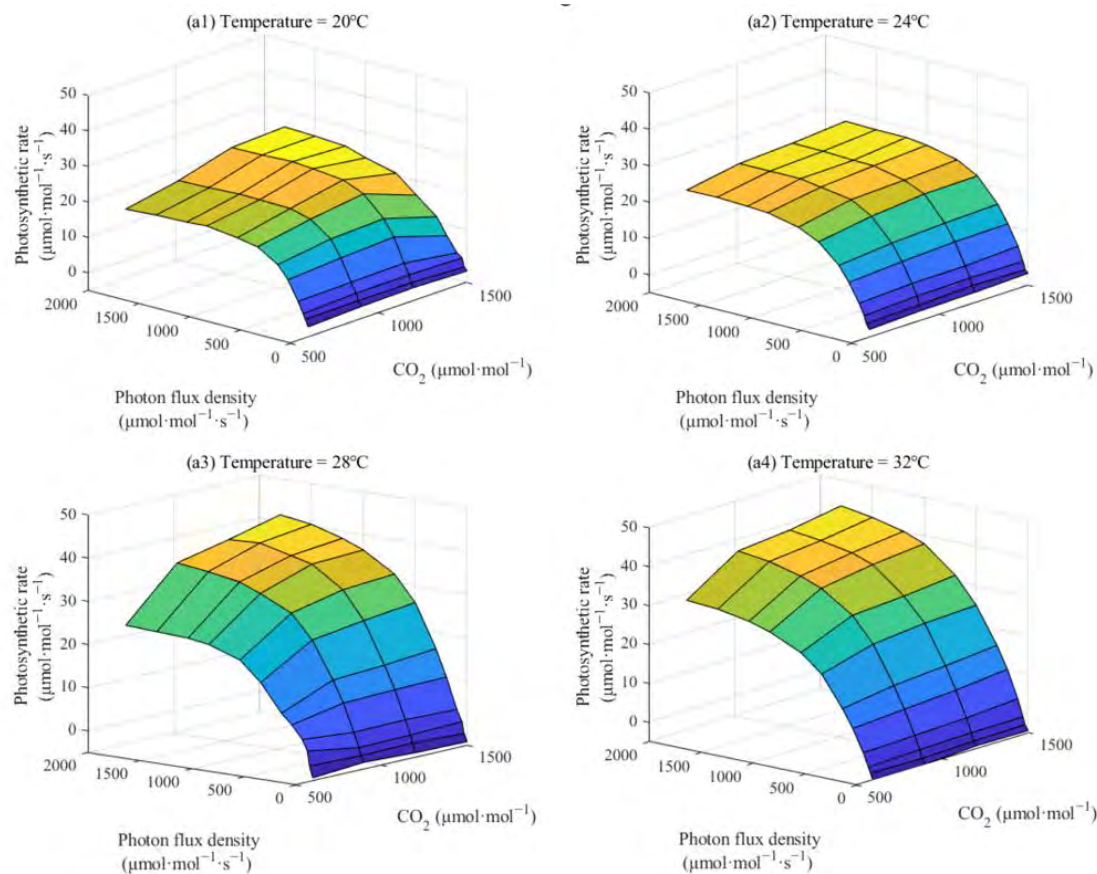


Новые листья в неделю



Снижение температуры
макушки – снижение скорости
развития растения

Увеличение температуры = надо добавить CO₂



Изменения температуры и роста

Air Temperature

Netradiometer+ 21936 replacement part

°C Temperature

1130 - Max Flower Temp

1130 - Avg Flower Temp

1130 - Min Flower Temp

1130 - Max Leaf Temp

1130 - Avg Leaf Temp

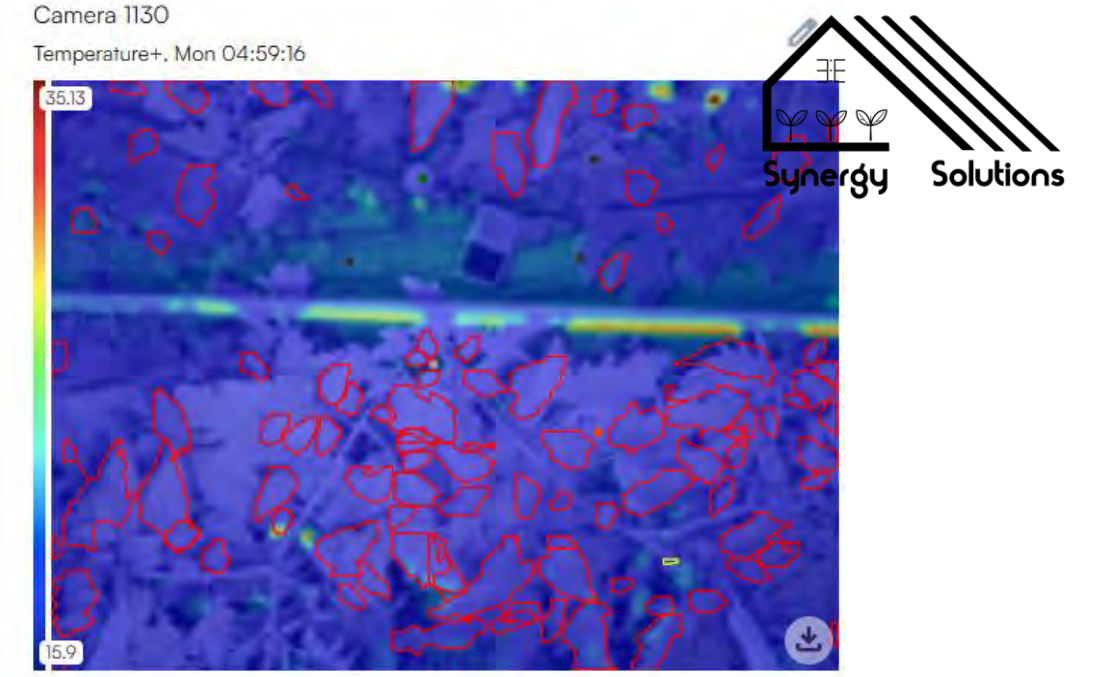
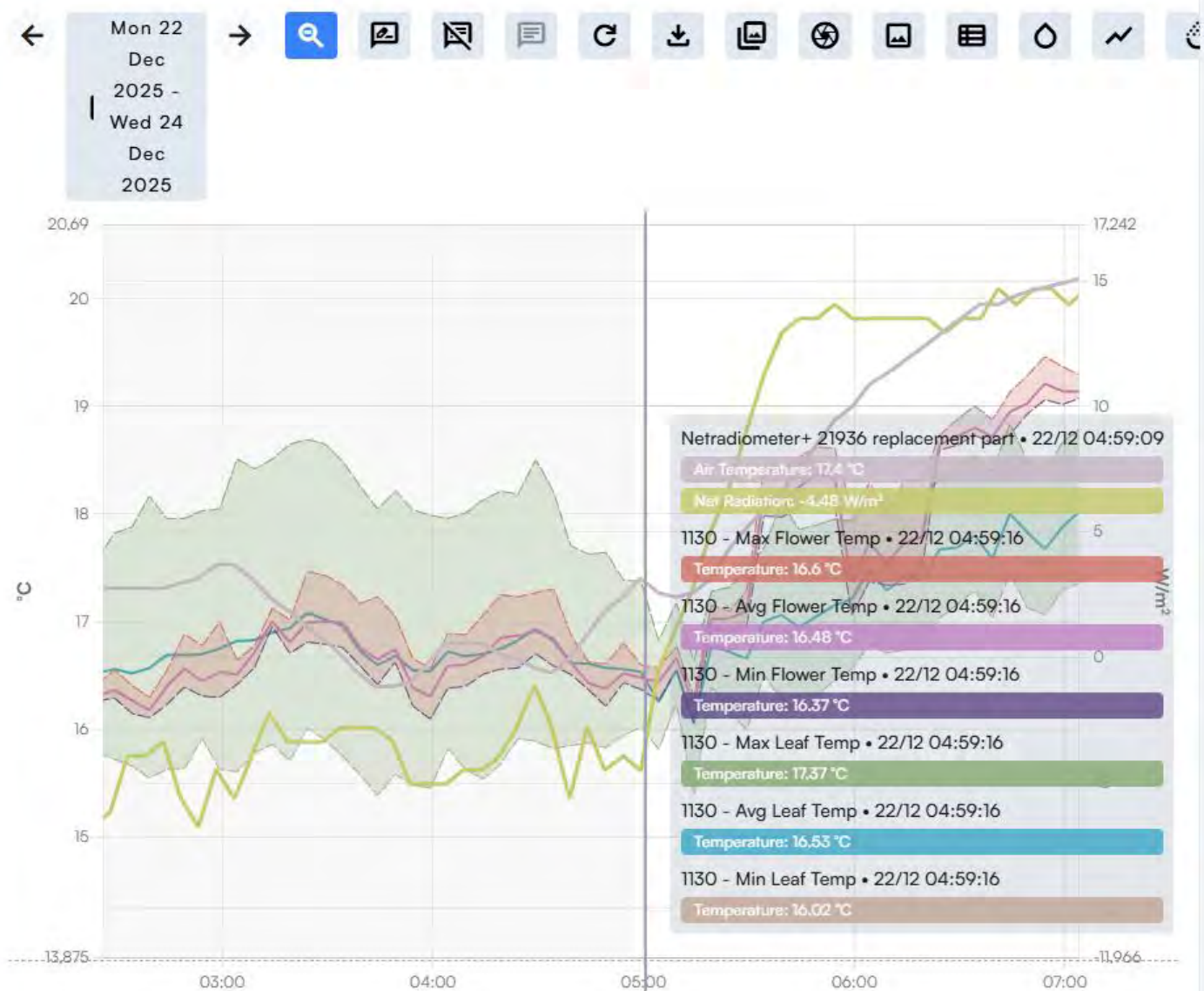
1130 - Min Leaf Temp

stomata-293x97

temperature-293x97

W/m² Net Radiation

Netradiometer+ 21936 replacement part



Air Temperature

Netradiometer+ 21936 replacement part

°C

Temperature

1130 - Max Flower Temp

1130 - Avg Flower Temp

1130 - Min Flower Temp

1130 - Max Leaf Temp

1130 - Avg Leaf Temp

1130 - Min Leaf Temp

stomata-293x97

temperature-293x97

W/m²

Net Radiation

Netradiometer+ 21936 replacement part



Camera 1130

Temperature+, Mon 06:34:19

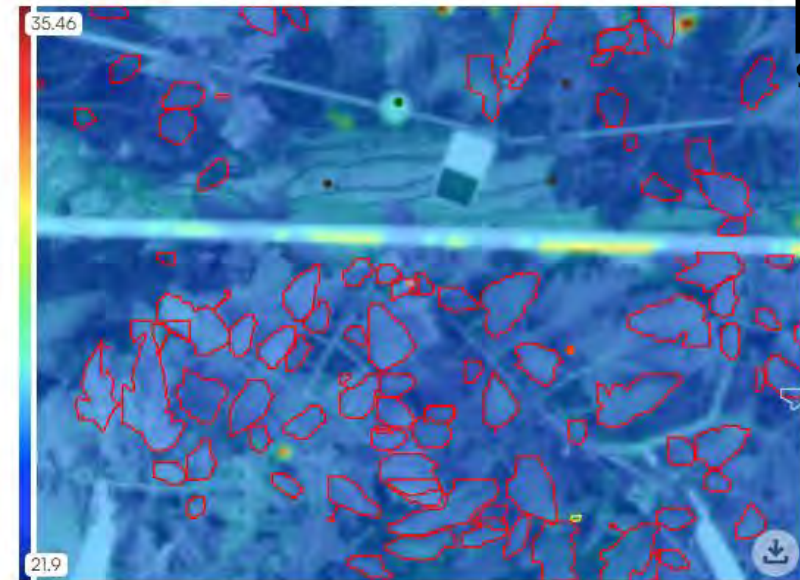
Camera 1130

Rgb, Mon 06:34:19



Camera 1130

Temperature+, Mon 14:44:22



Camera 1130

Rgb, Mon 14:44:22



Air Temperature Netradiometer+ 21936 replacement part

Temperature 1130 - Max Flower Temp 1130 - Avg Flower Temp 1130 - Min Flower Temp 1130 - Max Leaf Temp 1130 - Avg Leaf Temp 1130 - Min Leaf Temp 1130 - Max Head Temp 1130 - Avg Head Temp 1130 - Min Head Temp

stomata 293x97 temperature 293x97

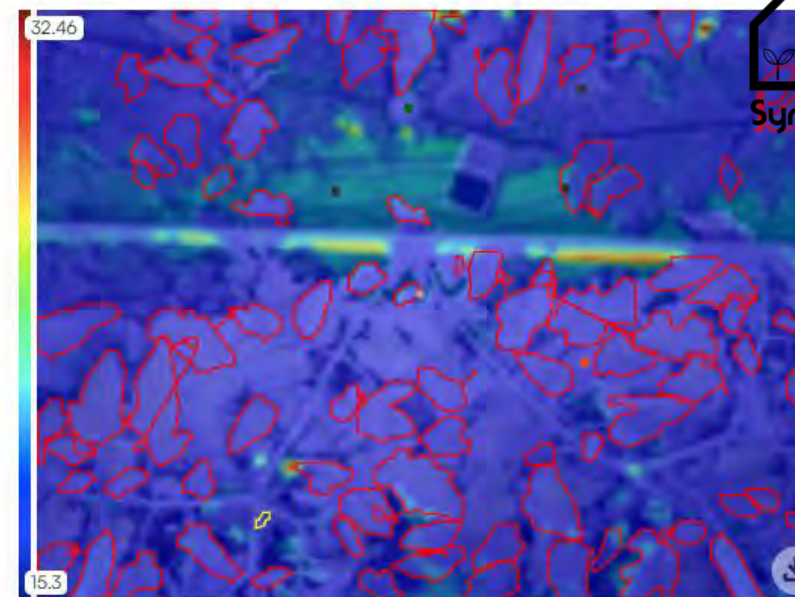
W/m² Net Radiation Netradiometer+ 21936 replacement part

Mon 22 Dec 2025 - Wed 24 Dec 2025



Camera 1130

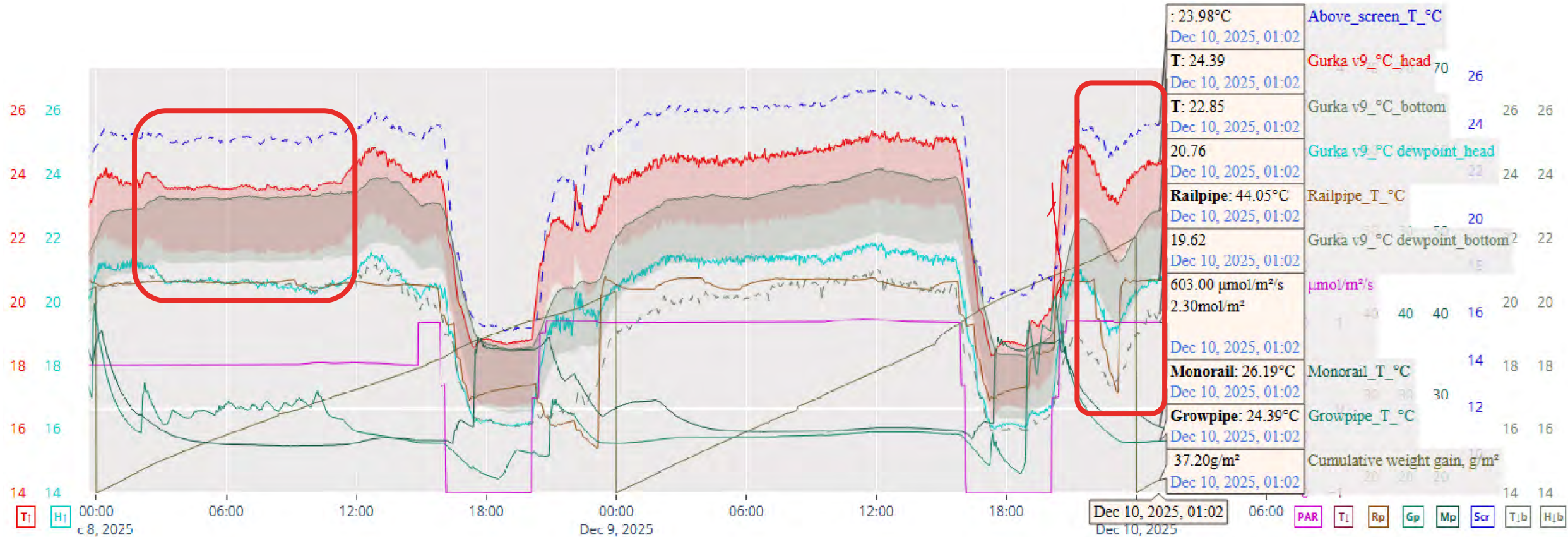
Temperature+, Tue 01:09:16



Camera 1130

Rgb, Tue 01:09:16





Разность температуры по вертикали

- Вентилировать или нет?
- Без вертикальных вентиляторов с регулируемой скоростью разность между верхом и низом неизбежны



2025.02.06 15:41

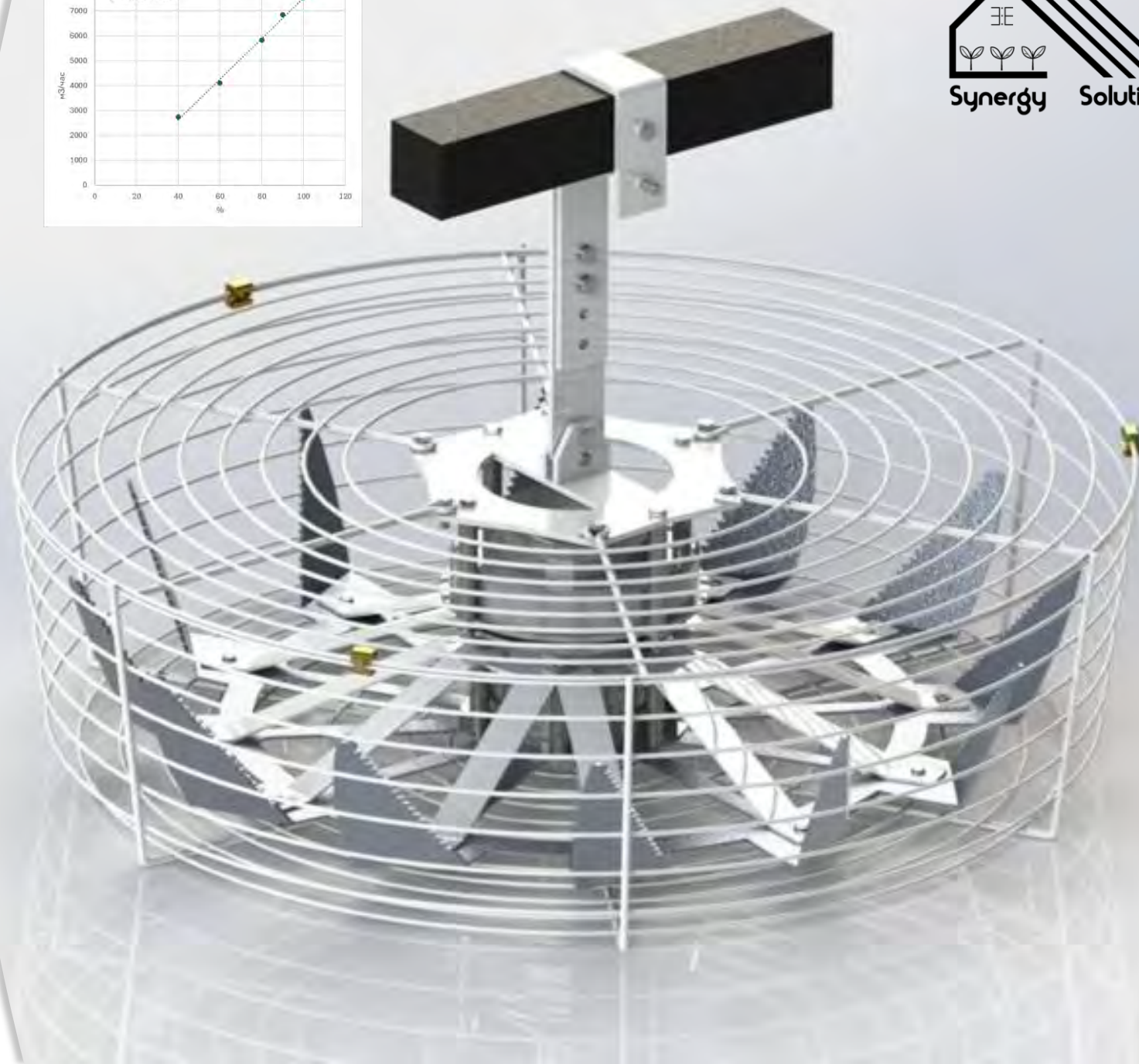
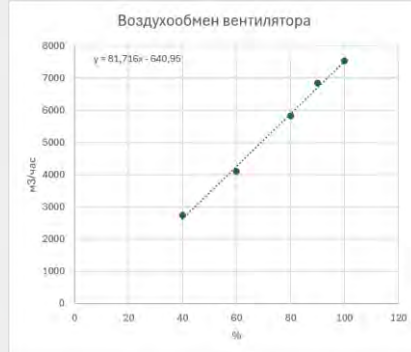


2025.02.06 15:50



Как ускорить воздухообмен?

- Вертикальный вентилятор – первый выбор
- Около 5800м³/час при 80%
- До 300мкмоль – 50шт/га
- В практике при 600мкмоль/м²/с – 100шт/га – самый минимум



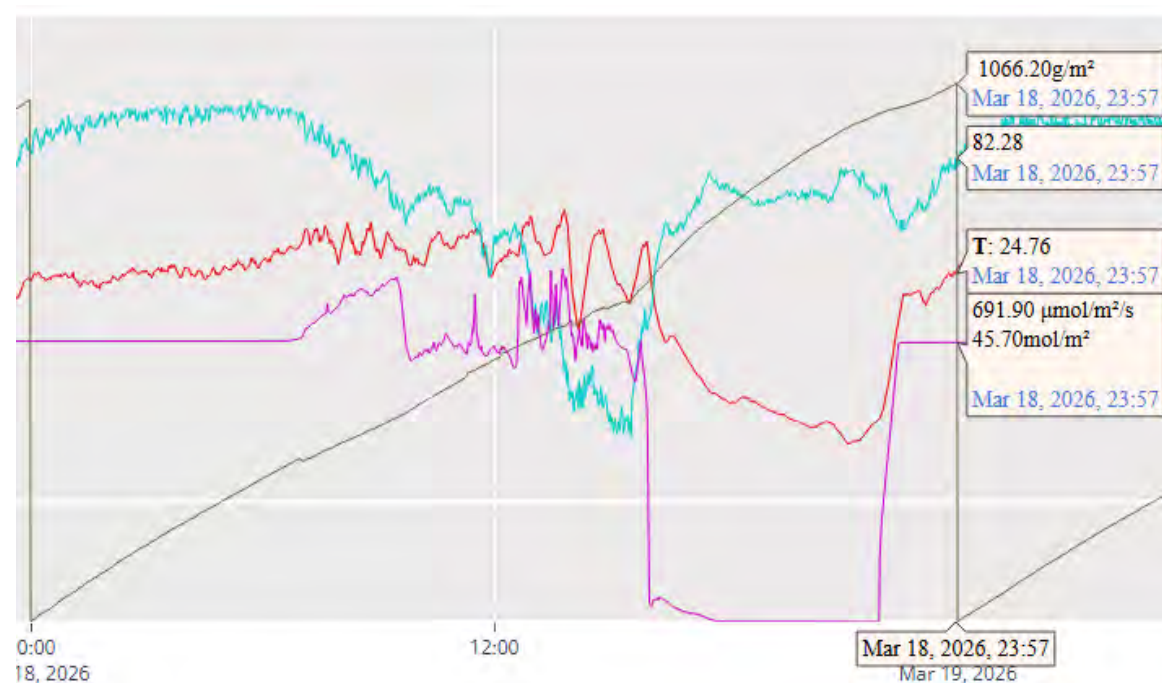
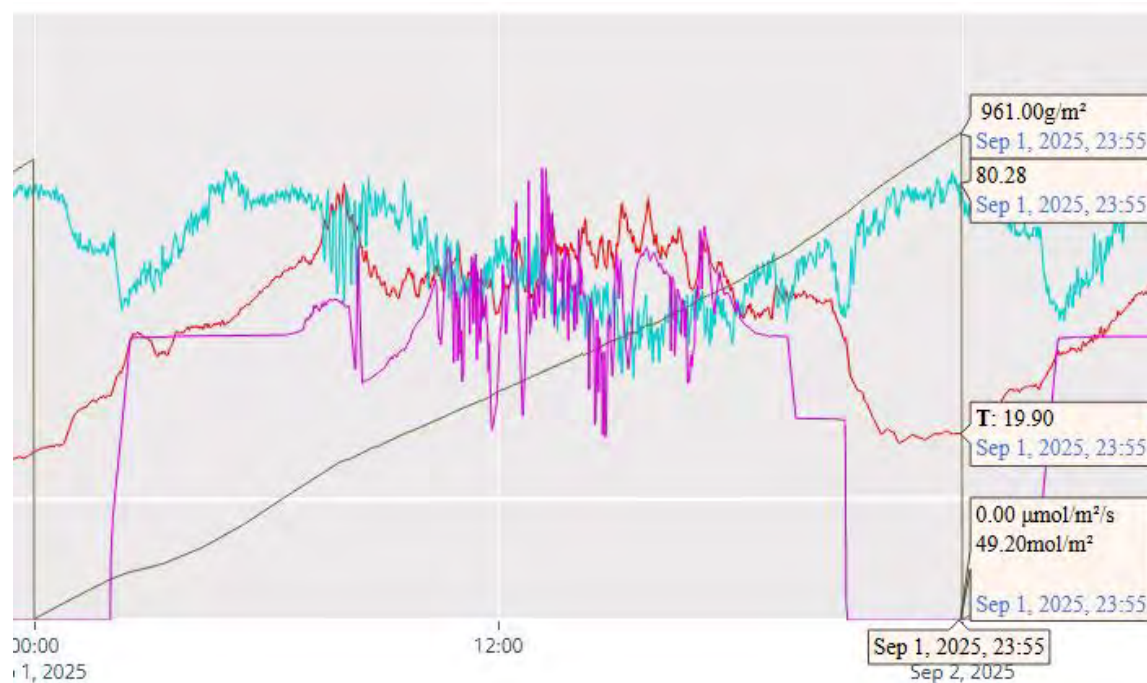
Вес растений

- Необходимо мониторить, получаем ли нужный плановый прирост к полученной сумме света
- Работа без мониторинга прироста растений – работа в слепую



Улучшения каждый оборот

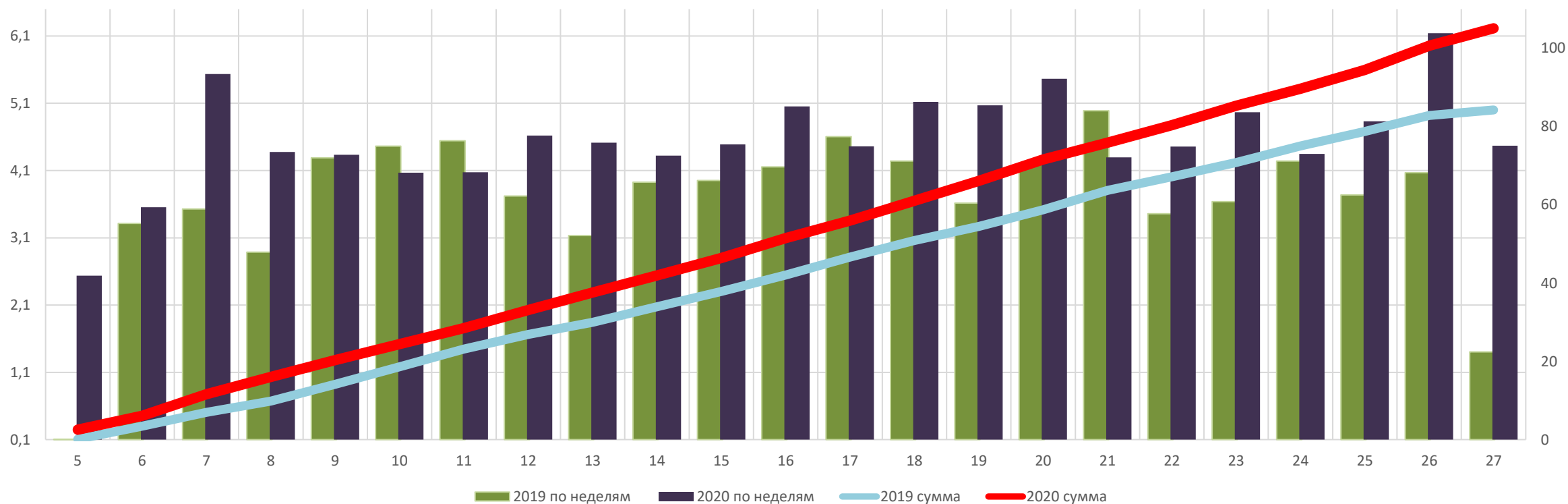
- Прогресс необходим
- Его надо видеть ещё перед сбором
- Меняются вводные – контролируйте на основе новых



Рост опыта 2019-2020 зима-лето

- При равных других показателях, в зимне-летний оборот мы вырастили на 20% больше чем годом ранее, и всё благодаря тщательному мониторингу прироста

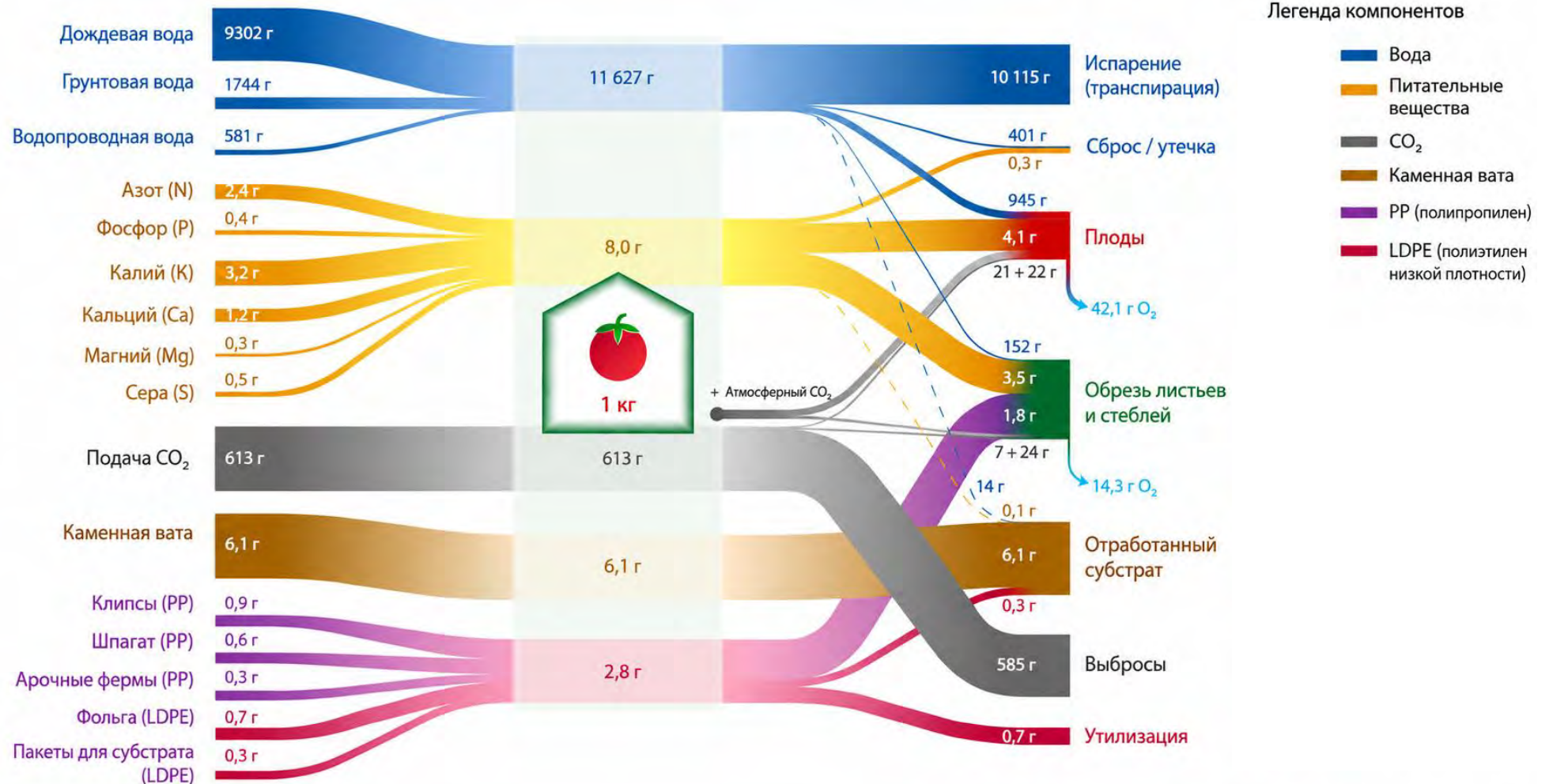
Сравнение урожая в 2019 и 2020 году за схожий период, кг/м²



Влажность: скрытая цена



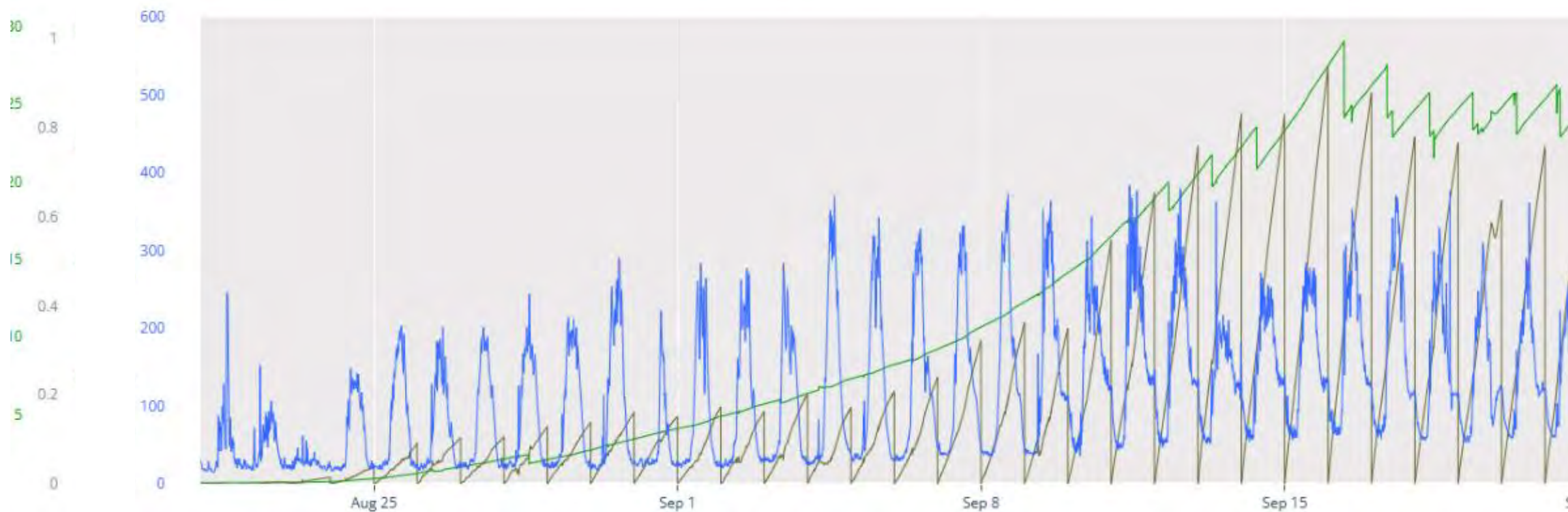
Вода – самый объёмный ресурс



Употребление воды

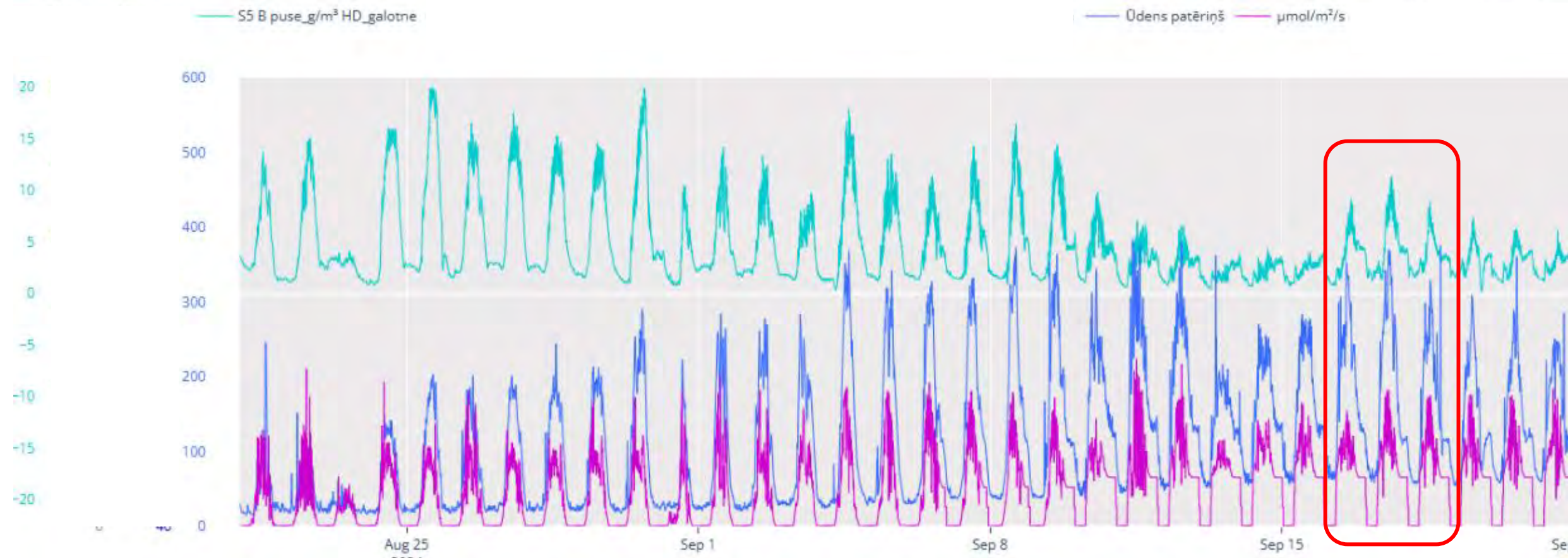
- Употребление воды необходимо сравнивать со суммой света
- Это прямой показатель эффективности системы

— Visu augu svars, kg — Summārais pieaugums, kg/m² — Ūdens patēriņš



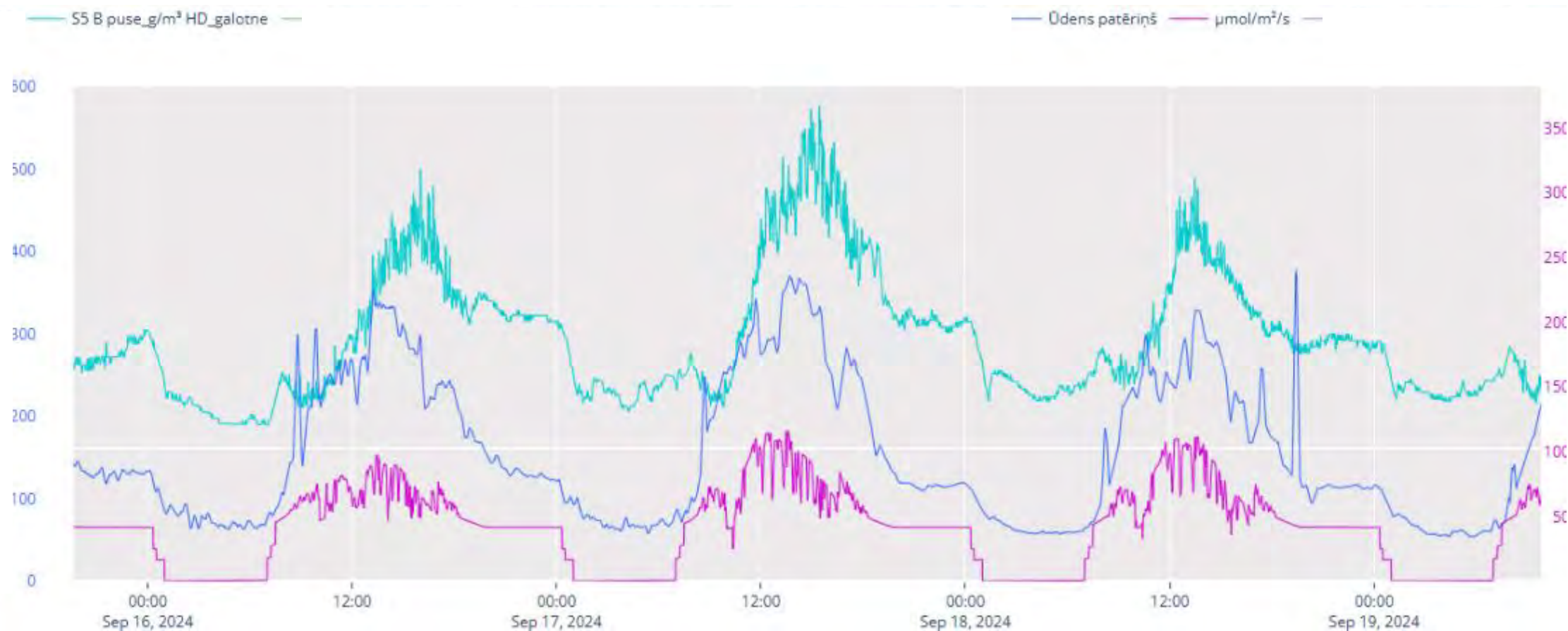
Испарение $\neq$ ОВВ

- Хоть и прирастая листу, испарение увеличивается, это не единственный фактор влияющий на ОВВ/ДВ/ДВП



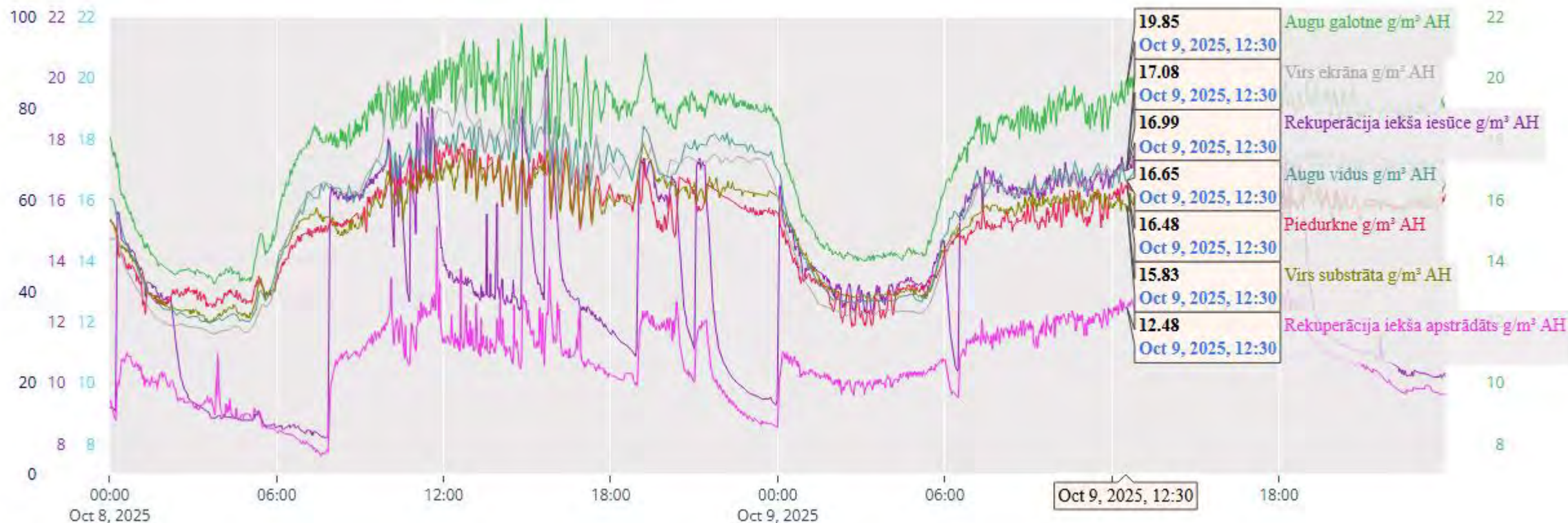
Употребление воды

- Вечером к той же сумме света употребление воды снижается



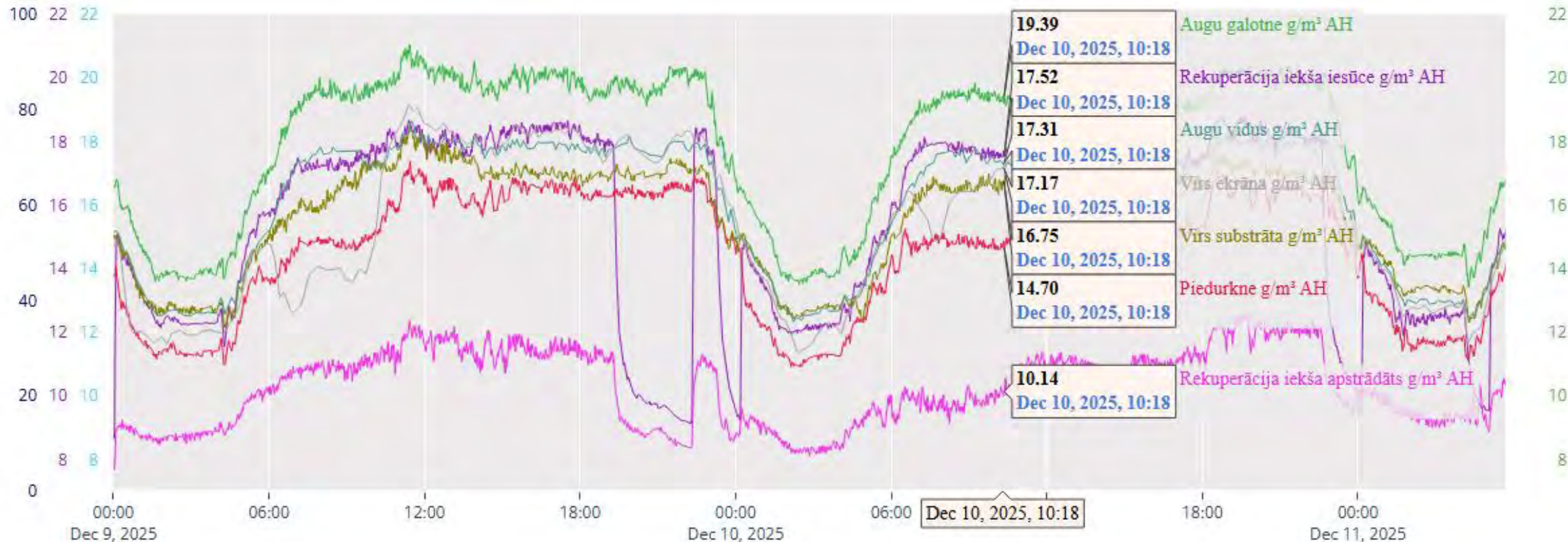
Теплообменник – реальности жизни

Чем выше наружная температура тем меньше
конденсации в теплообменники, съём влаги –
 $4,6\text{г/м}^3$



Теплообменник – реальности жизни

Поменялась наружная температура – стало
холоднее, съём влаги – 7,4г/м³



Переход 340 -> 720 мкмоль/м²/сек

Вводные:

- Огурец
- Температура воздуха: 25°C
- Относительная влажность: 80%
- Коэффициент испарения: 130 мл на 1 моль света
- Высота активной зоны воздухообмена: 2,5 м

$$E = 337 \text{ г/м}^2/\text{ч}$$

$$V = 2.5 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

$$\Delta AH = 4 \text{ г/м}^3$$

$$N = \frac{84}{2.5}$$

$$Q = \frac{337}{4} = 84.3 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{ч}$$

$$N = 33.7 \text{ ч}^{-1}$$

Параметр

Высота теплицы

Активная зона растений

Объём активной зоны на 1 м²

Прибавка влажности снизу вверх

Испарение при 340 μmol

Испарение при 720 μmol

Кратность при 340 μmol

Кратность при 720 μmol

Дополнительная кратность после перехода

Значение

6 м

2,5 м

2,5 м³/м²

3 г/м³

159 г/м²/ч

337 г/м²/ч

21 обмен/ч

45 обмена/ч

+24 обменов/ч

Ключевая формула:

Кратность = испарение, г/м²/ч ÷ (высота активной зоны, м × Δ влажности, г/м³)

Осушение

- Лучше – локальные сплит-системы, зимой – осушение, летом – охлаждение
- Дальше – промышленные осушители внутри теплицы – нет процесса согласования
- Последний выбор – наружные осушители – это уже стройка
- Если у Вас ультра-клима – радиаторы кондиционера перед нагревателем и готово

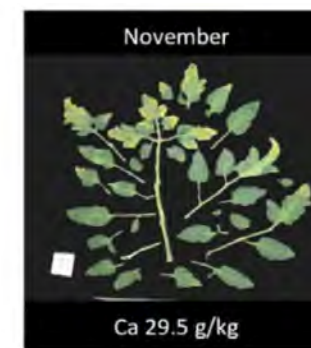


Управление испарением



ПОТОК ВОДЫ

Switching to LED lighting reduces sap flow in upper leaves due to cooler microclimate and slower air circulation



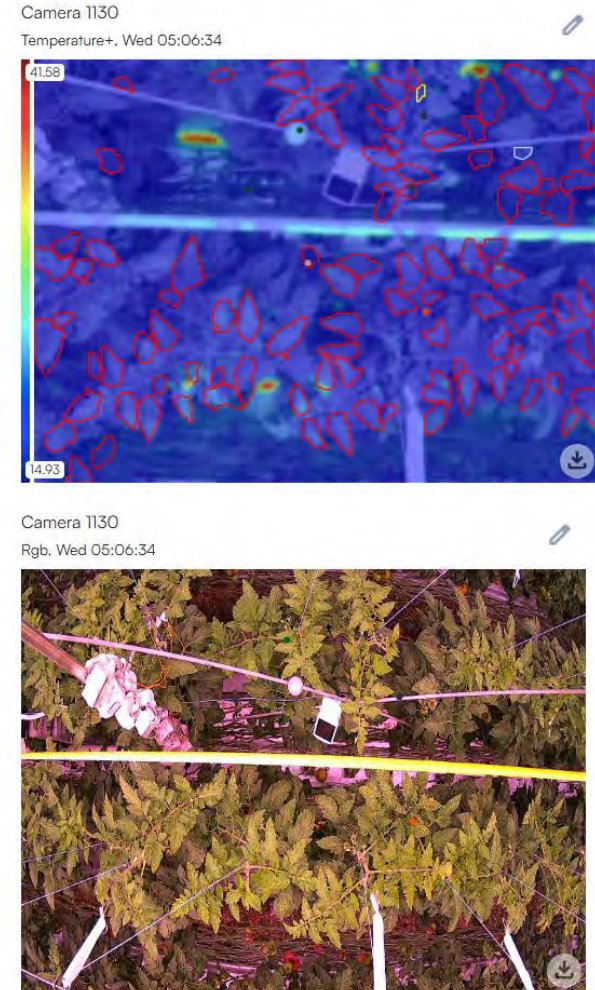
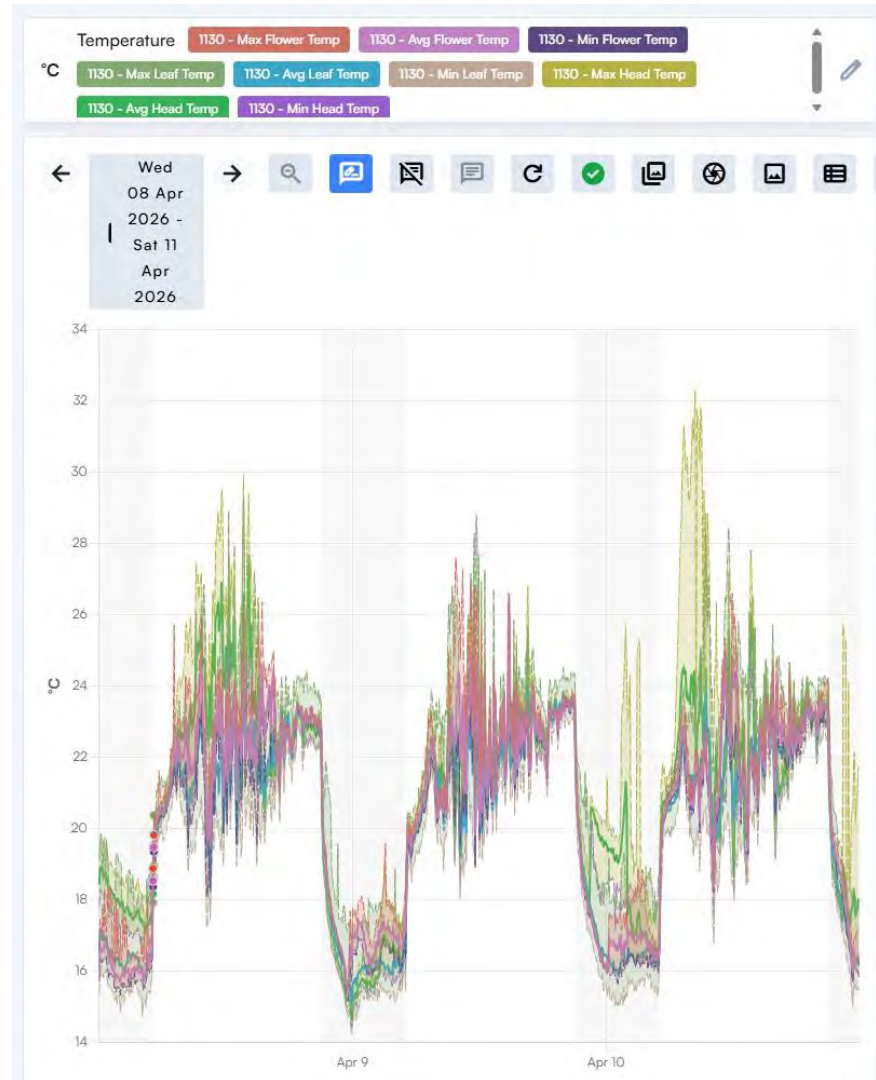
Визуальное наблюдение

Rgb, Sat 11:41:21



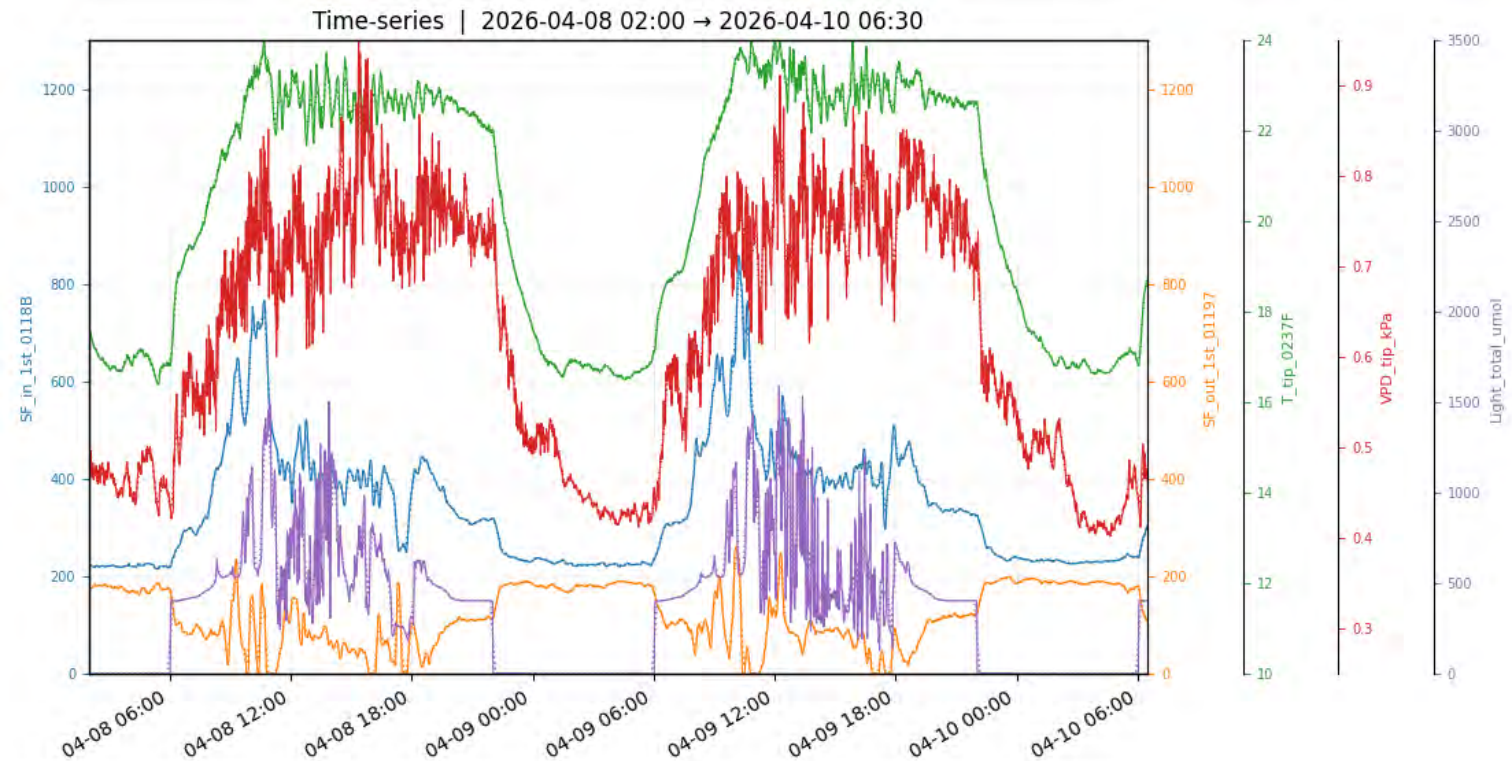
Визуальное наблюдение и замеры

- Термальная камера = возможность отслеживания динамики температуры листа
- Нетто радиометр = возможность отслеживания переохлаждения листа из-за излучения



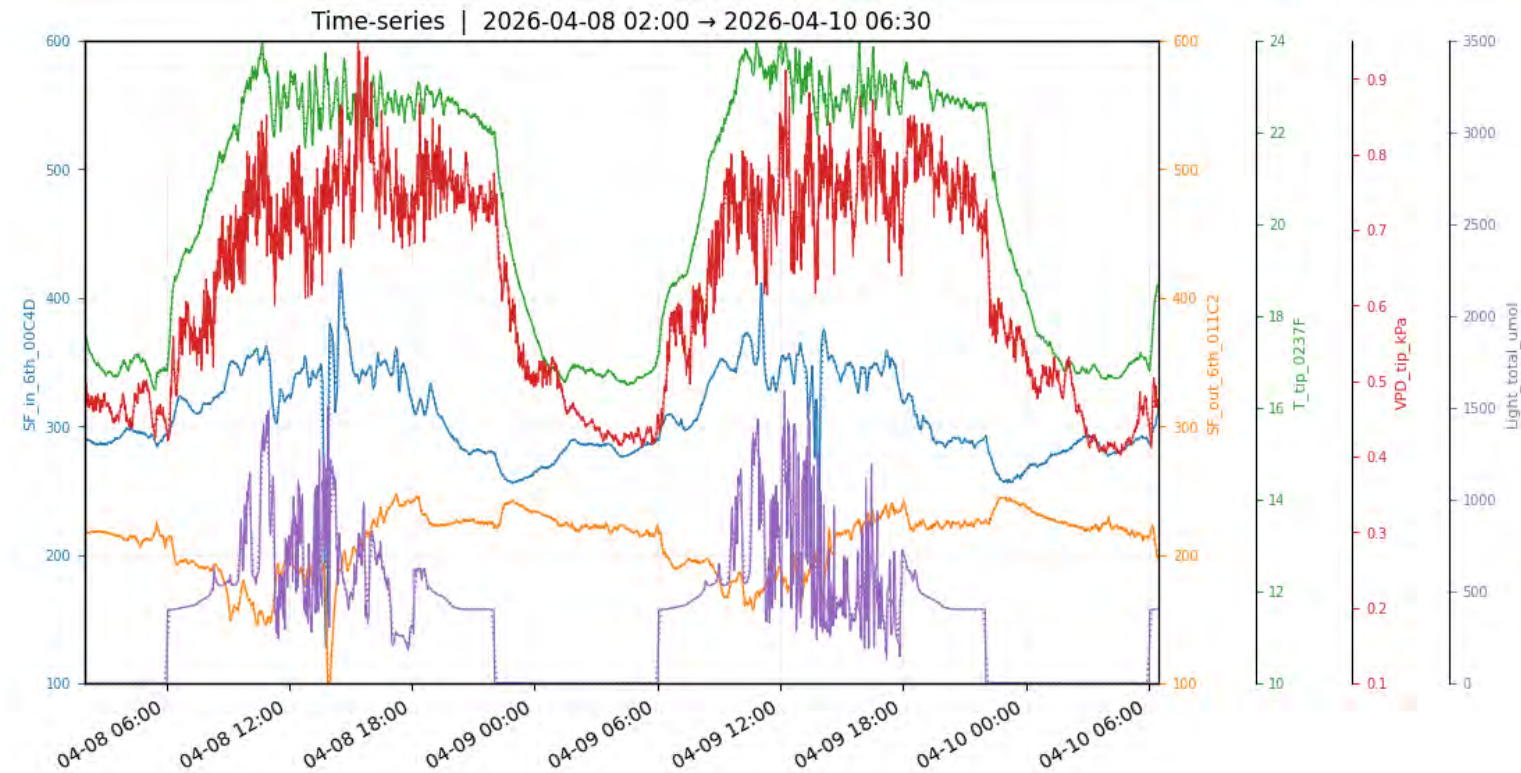
Поток сока – верхний лист

- На верхнем листе в некоторые моменты нет нетто потока из листа
- На испарение влияет не только свет, а комбинация света, температуры и ДВП



Поток сока – нижний лист

- Отток воды с нижнего листа напрямую зависит от испарения
- На испарение больше влияет ДВП и кратность обмена воздуха, меньше - свет

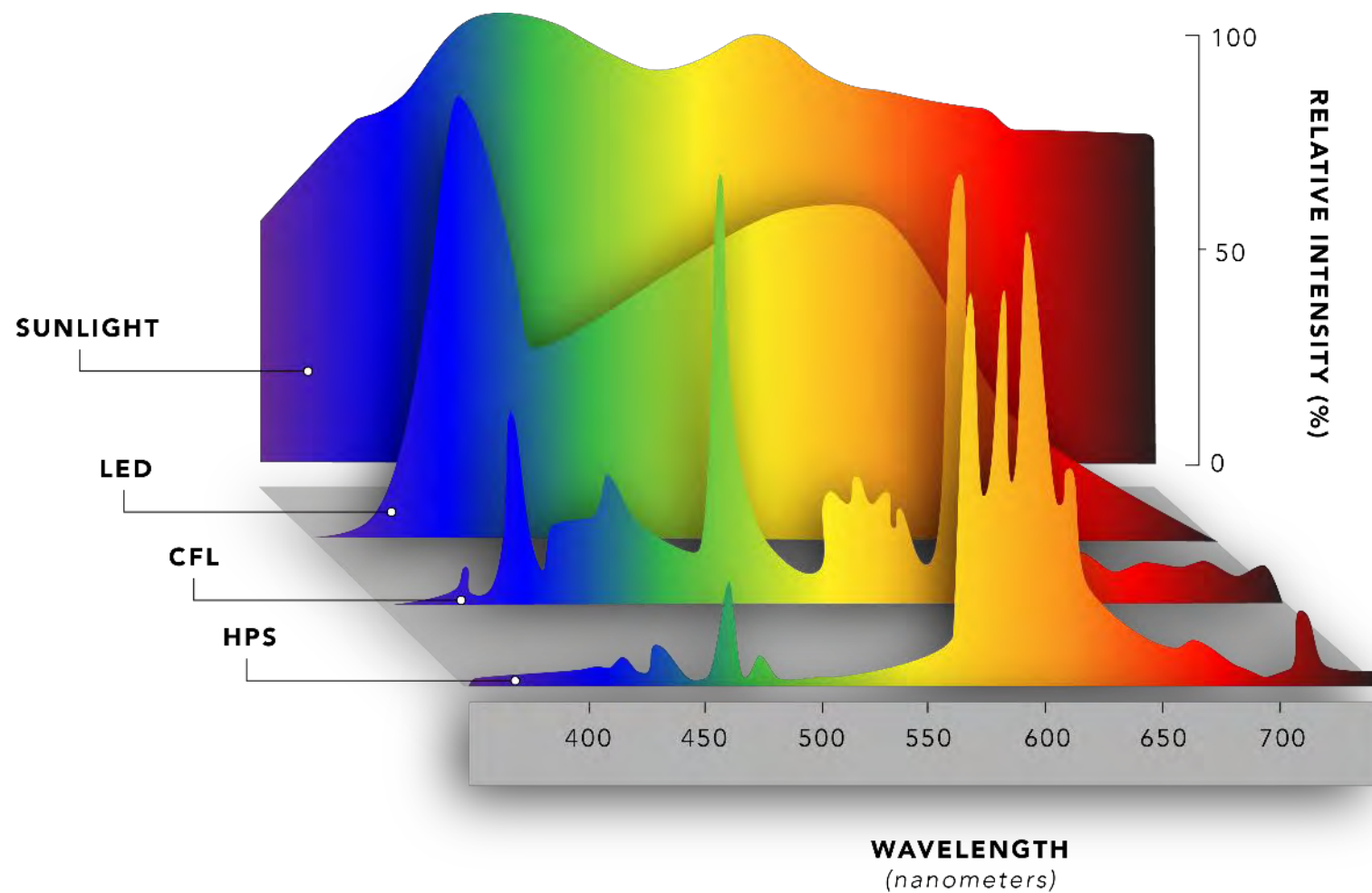


Управление ОБВ и интенсивности света

- Первый эксперимент на 100% диодах $>500\text{мкмоль/м}^2/\text{с}$ научил важности диммирования и управления влажностью воздуха
- На снимке – избыток сахаров, что растение не смогло транспортировать - оно превратила из хлоропластов в амилопласты
- Всё же, при грамотном соотношении ОБВ и испарения огурец теперь выращиваем при $>700\text{мкмоль/м}^2/\text{с}$, $>45\text{моль/м}^2/\text{с}$ без подобных проявлений

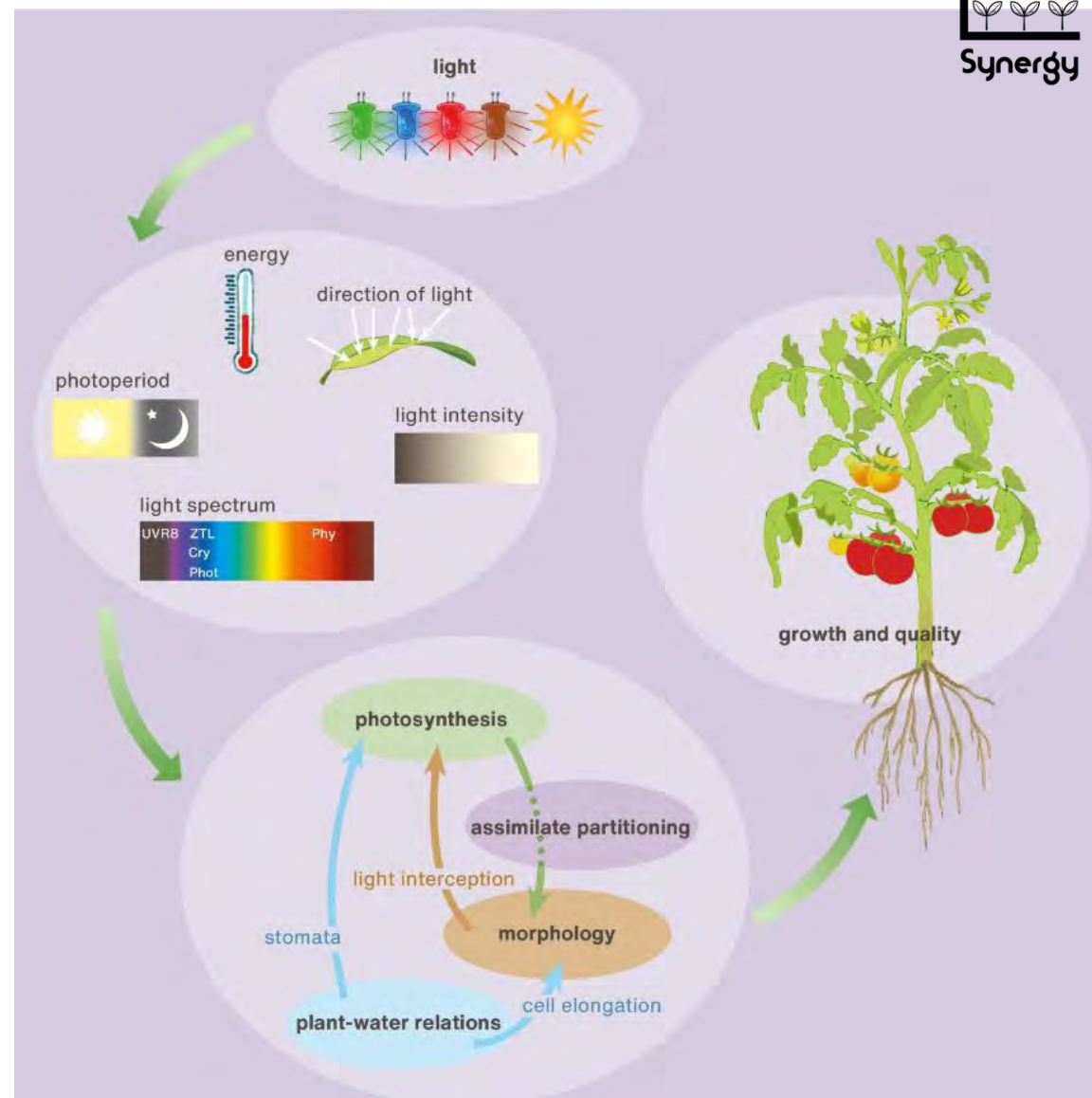
Спектр и морфология

Изменения
образа
растения
неизбежны



Взаимосвязь световых сигналов

- Влияет не только спектр, но и период его применения
- Комбинация спектра влияет на эффективность фотосинтеза
- Количество синего света влияет на открытие устьиц
- Соотношение, общая сумма и период применения далёко красного спектра влияет на вытягивание растений



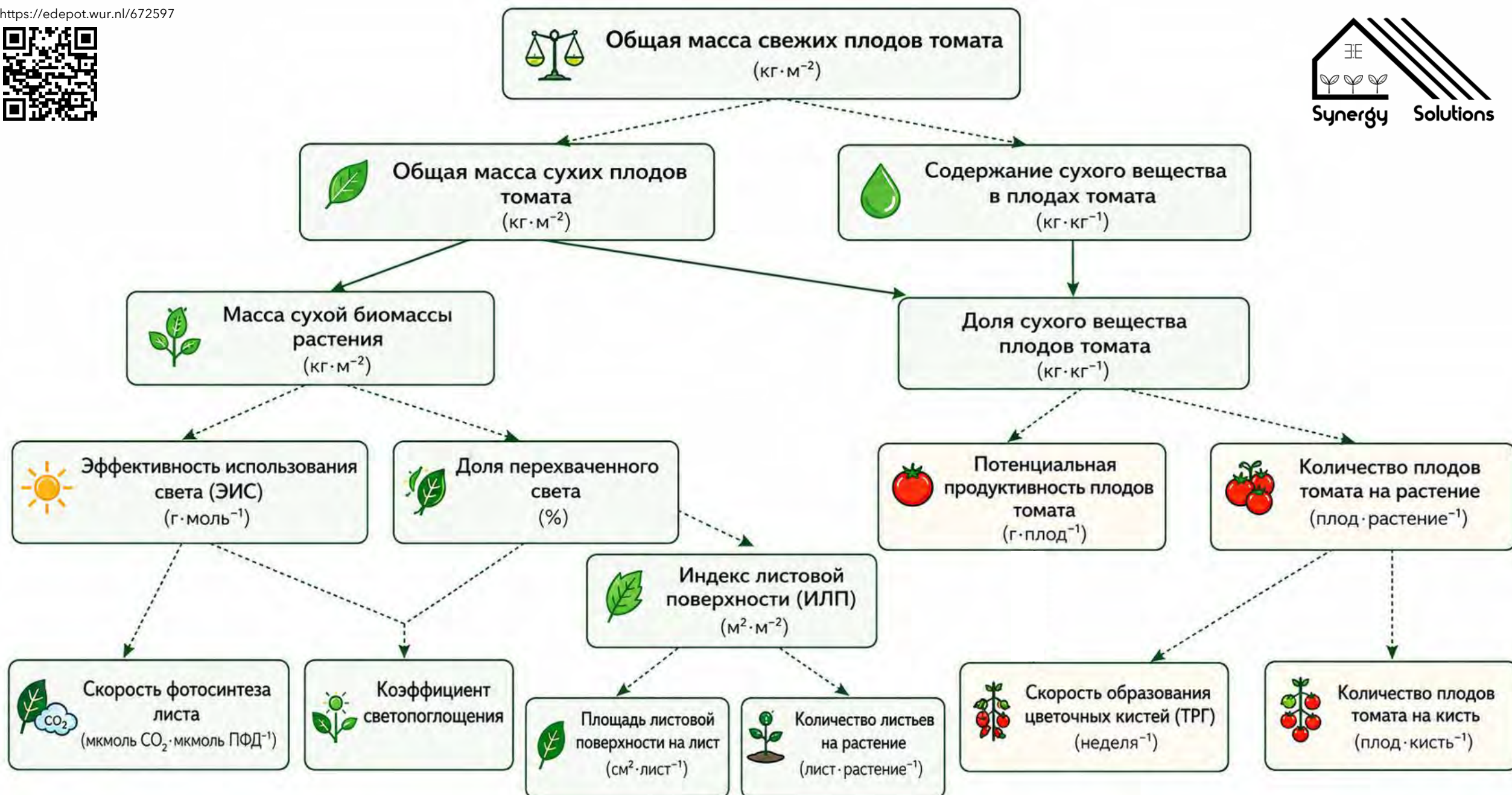


Схема анализа компонентов урожайности, адаптированная из работы Higashide and Heuvelink (2009).Схема иллюстрирует физиологические параметры, влияющие на общую массу плодов (в свежем виде), и их иерархию.



Морфология растений

- Фото – слева – 30-03,
- Фото – справа – 31.01

Выбор гибрида

- Не все привычные гибриды будут расти как привычно
- Опыт 2016 года – 8 гибридов длинноплодного огурца при одинаковых условиях росли по разному
- Безопасно по огурцу – Мева, Валигора, Святогор

Variety	1st class, kg/m ²	2nd class, kg/m ²	Yield per plant, grams	Yield per plant, pieces	total leaves to 28.04.2017	total yield, kg/m ²
4	86,93	7,09	24196	67,8	172,5	94,02
5	84,52	7,75	23524	65,3	184,7	92,26
6	84,11	8,33	23409	64,9	187,0	92,44
8	75,83	9,84	21107	57,4	176,3	85,68
7	73,59	8,05	20482	57,4	182,5	81,64
9	69,16	14,10	19250	53,3	171,7	83,26
2	67,71	5,64	18846	52,6	152,5	73,35
1	66,88	5,70	18614	51,6	n.d.	72,57
3	66,05	0,84	18383	417,7	211,0	66,89

Взаимосвязь световых сигналов

Влияние различных уровней дополнительного дальнего красного (FR) излучения или различных фракций синего света на рост томатных растений. Через 15 дней после посева растения выращивали под 0, 50, 112 или 150 мкмоль м⁻² с добавляли к фоновому уровню 150 мкмоль м⁻² с FR (что приводило к значениям фотостационарного состояния фитохрома 0,88, 0,80, 0,74, 0,70 соответственно). FR красный плюс синий свет.

Кроме того, в качестве обработки «в конце дня» (EOD) добавляли 17 мкмоль/м²/с FR на 15 минут.

Растения фотографировали через 21 день после нового спектра.

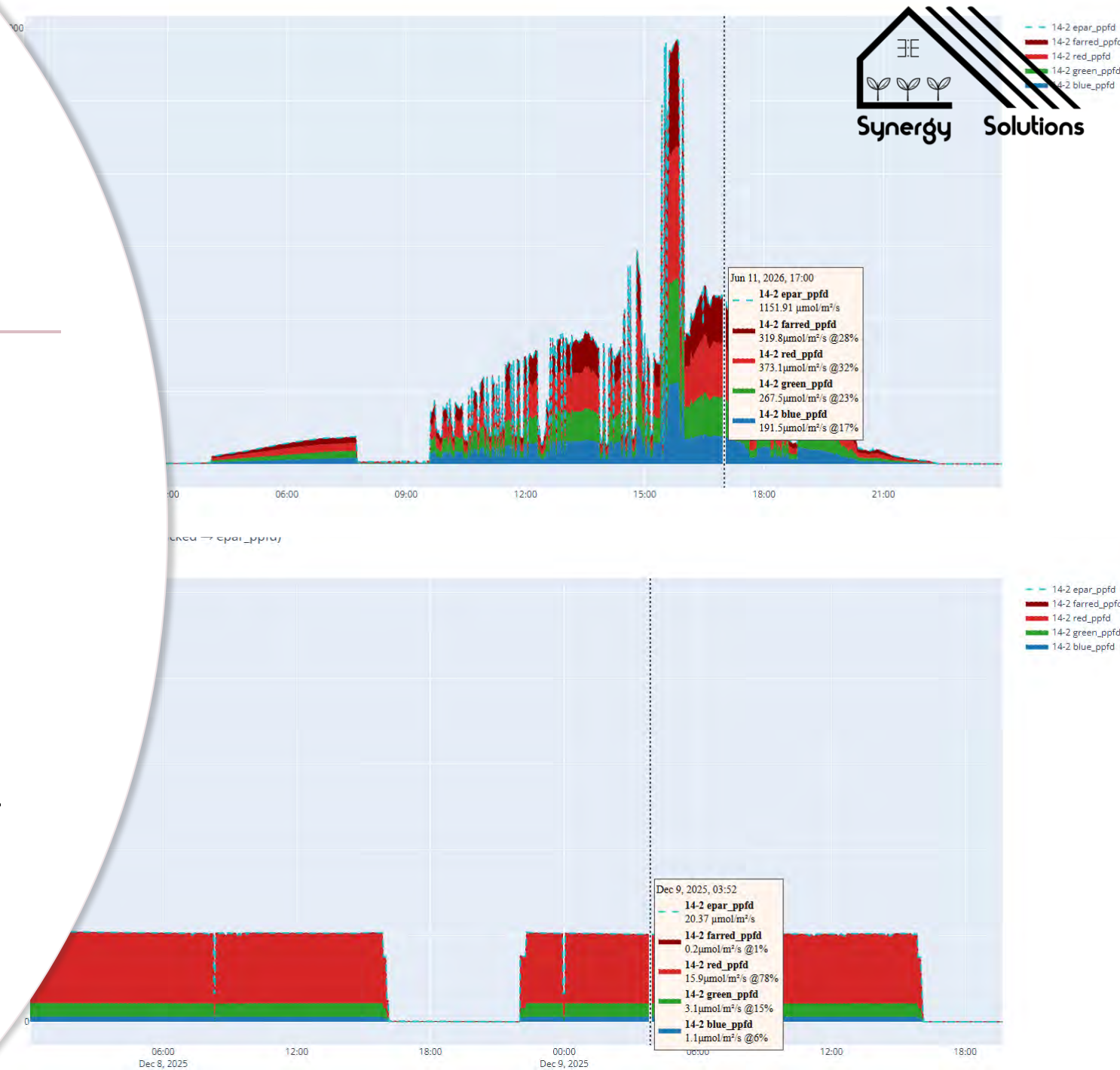
(C) Растения выращивали в течение 23 дней под белым светом, имитирующим солнечный, от плазменных ламп, содержащих 27% синего света, при этом 0, 5, 30 или 50% белого света заменяли синим, в результате чего доля синего света составляла 27, 31, 43 и 61% соответственно. Общая фотосинтетически активная радиация составляла 100 мкмоль м⁻² с, а световые обработки начинались через 7 дней после посева.

По данным Kalaitzoglou et al. (2019; 2021).



Спектр

- Спектр неизбежно будет влиять на морфологию растений
- Если в Вашей LED досветке присутствует FR – необходимо управление им отдельно от общей мощности
- В протяжении дня, где присутствует синий и зелёный спектр – отключать их на диодах – лучше эффективность



Recipe Configuration

« 1 - 00:00 2 - 08:00 3 - 12:30 4 - 15:30 5 - 22:00 +

Start time 00:00 Fade time (min) 0 Lock

Blue 283
Green 283
Red 3512
Far-red 452

↻ Apply factory setting

💡 Preview

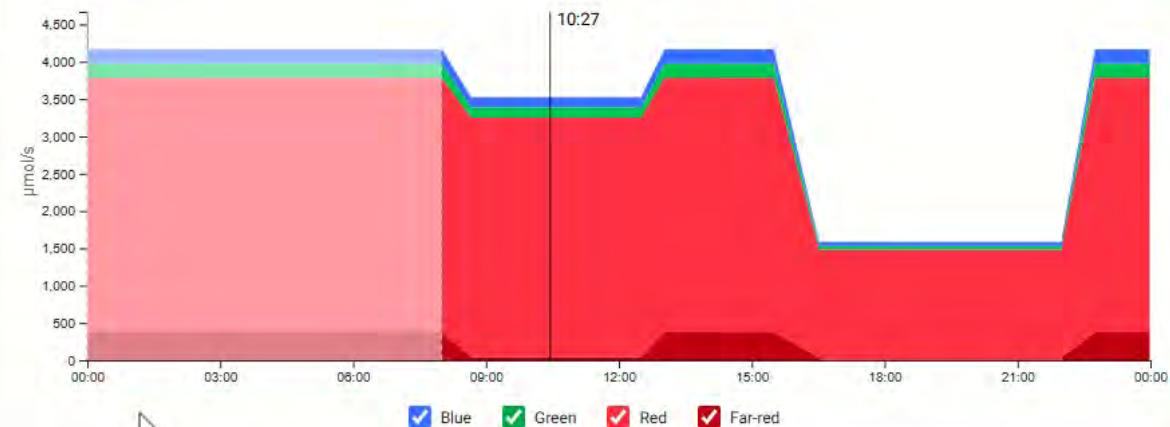
μmol/s

191

191

3410

377



Blue
5%

Green
5%

Red
90%

Far-red
9%

Power usage
100% (1.17 kW)

PAR
3792 μmol/s

Total
4169 μmol/s

Динамический спектр

- Досветка – более универсальна
- Сумма света - постоянна
- Что использовать как вводные данные?

Практические рекомендации, и ошибки которых стоит избегать

Начинать правильно

Не слушать сладкую ложь,
проверять каждое слово и
спецификацию, чтобы не
стать заложником ситуации

Начать с одного отделения,
начинать с полным
мониторингом прироста и
более детальным
мониторингом климата и
фенологии

Не допускать диоды без
диммирования – это стоит дороже
из-за потерянной продукции

Спланировать плотность растений,
нормировку и обороты для
получения полного потенциала
урожая

Чек-лист готовности объекта

- Начало

1. Расчёт теплового баланса при зимнем морозе с лампами
2. Резерв мощности котельной и возможности регистров отопления
3. Наличие/возможность установки системы активного осушения
4. Установка вертикальных вентиляторов с регулируемой скоростью
5. Экранная система (одинарная/двойная)

Чек-лист готовности объекта

- Продолжение

6. Наличие датчиков температуры растения и HD
7. Карта температуры и влажности у плодов и у макушки
8. Источник CO₂ независимо от отопления
9. Диммирование по мощности и спектру
10. Компетенции агронома: обучение до, а не после запуска

Типовые ошибки первого сезона

- Сохранение старых климатических уставок «по воздуху»
- Игнорирование транспирации → массовая вершинная гниль/tipburn, морковки на огурце, сбросы после цветения
- Экономия на вентиляции - самая дорогая ошибка
- Максимальный PPFD с первого дня вместо ступенчатого выхода
- Отсутствие измерения PPFD после монтажа (uniformity, деградация)
- Смена стратегии полива «по привычке», а не по факту транспирации

Переход требует пересмотра всех климатических стратегий с нуля – исторические данные ДНАТ неприменимы

Выводы

ПЕРЕХОД
С ДНАТ НА LED...
СЛИШКОМ МНОГО ПРОБЛЕМ,
НЕДОСТАТОЧНО ОТВЕТОВ!

ПАДЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ

Снижение урожайности на 15-20% после перехода



ПРОБЛЕМЫ СО СПЕКТРОМ



Огурцы выглядят по-разному

ВЫТЯГИВАНИЕ РАСТЕНИЙ



Растения вытягиваются непредсказуемо

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СВЕТА



Неравномерное покрытие светом в теплице

ПЕРЕРАСХОД БЮДЖЕТА

Больше светильников, больше затрат
Окупаемость под вопросом

Synergy Solutions

РЕГУЛИРОВКА ЯРКОСТИ И УПРАВЛЕНИЕ



Подобрать правильные настройки не так просто

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ



Температура в теплице выше, чем ожидалось

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ



Ожоги листьев, побурение кончиков, побеление?

Слишком много синего света?
Недостаточно красного?

Стоило ли мне вообще использовать ДНАТ?

ПУТАНИЦА С PPFD

Какой PPFD подходит огурцам при LED?

PPFD
???

цмоль/м²/с

РАЗВИТИЕ ПЛОДОВ



Плоды не такие плотные, как раньше

СПИСОК ДЕЛ (НИКОГДА НЕ ЗАКАНЧИВАЕТСЯ)

- ☒ Настроить интенсивность света
- ☒ Контролировать DLI
- ☒ Исправить горячие зоны
- ☒ Пересмотреть спектр
- ☒ Проверить здоровье растений

Каждое изменение создаёт 5 новых проблем

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ



Экономии нет или меньше, чем обещали

Что насчёт УФ и Дальнего красного?

ПОДДЕРЖКА ПОСТАВЩИКА



Сложно получить чёткие и быстрые ответы

Неведение - это счастье!



Благодарю за внимание!



Andris Stuks
SIA "Synergy solutions"
andris.stuks@synergysolutions.lv
+371 28380343