



Европейски Съюз

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна Програма „Развитие на Човешките Ресурси” 2007 – 2013,
Съфинансиран от Европейския Социален Фонд на Европейския Съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



ЛЯТНА ШКОЛА 2013

Ново Роботизирано Устройство за Извличане на Енергия от Морските Вълни – Разработване и Експерименти

Проф. Генчо Стайнов, инж. Божидар Найденов

ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА И КАЧЕСТВОТО НА ОБУЧЕНИЕ И
НА НАУЧНИЯ ПОТЕНЦИАЛ В ОБЛАСТТА НА СИСТЕМНОТО
ИНЖЕНЕРСТВО И РОБОТИКАТА

Проект № BG051PO001-3.3.06-0002



Българска Академия на Науките
Институт по Системно Инженерство и Роботика



Устройство за извличане на енергия от морските вълни



НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКИ ЕКИП



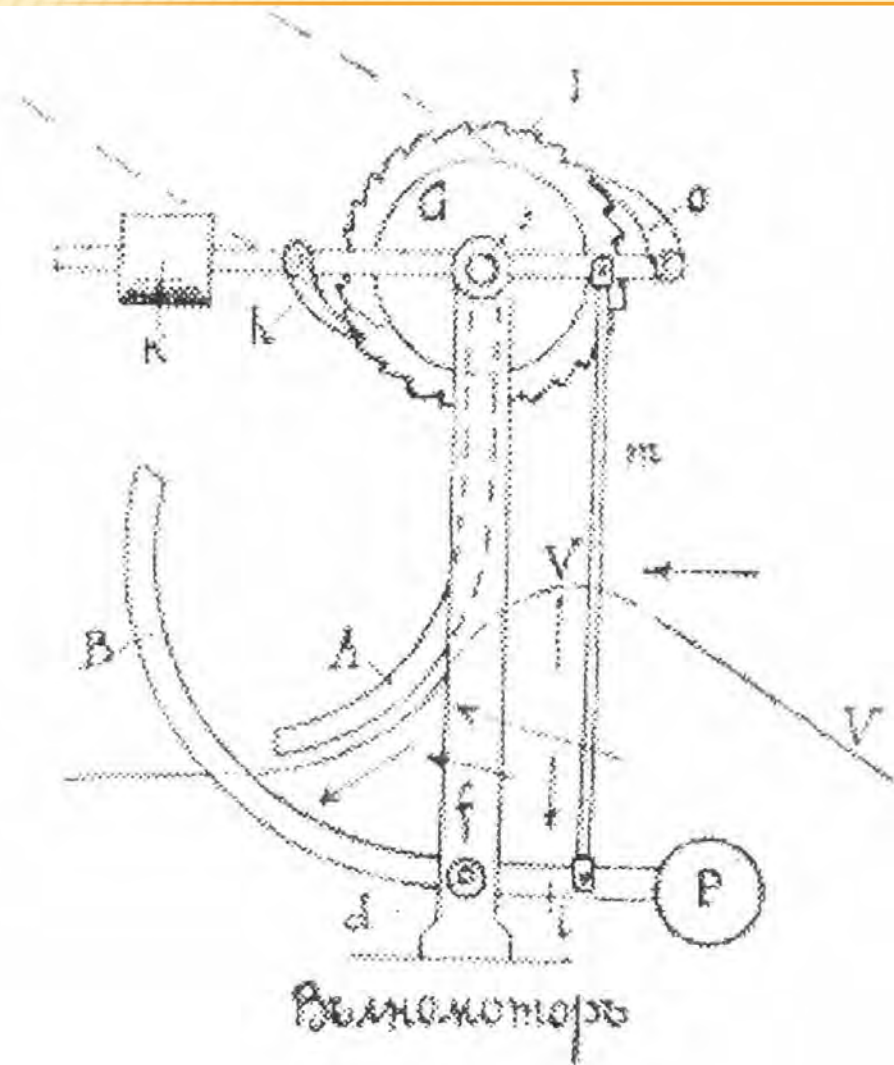
1. Проф. Генчо Стайнов
2. Божидар Найденов
3. Христо Димов
4. Живко Данданов
5. Тодор Топалов
6. Илиян Иванов
7. Антон Антоновски
8. Проф. Симеон Панев

ЕНЕРГИЯТА НА МОРСКИТЕ ВЪЛНИ

Височина на вълната $H[m]$			Специфична енергийна плътност $[kW.s/m^2]$		Phase velocity $C [m/sec]$		Енергиен пренос на 1м широчина от вълновият фронт $[kW/m]$	
Балове	Мин. $H[m]$	Макс. $H[m]$	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
1 бал	0,15	0,25	0,03	0,08	1,21	1,57	0,03	0,12
2 бала	0,25	0,75	0,08	0,70	1,57	2,71	0,12	1,92
3 бала	0,75	1,25	0,70	1,95	2,71	3,50	1,92	6,90
4 бала	1,25	2,00	1,95	5,00	3,50	4,43	6,90	22,34

Таблица1. Енергия на морските вълни, според линейната теория.

Въведение – преглед на някои реализирани технологии



- ✗ Вълномоторът на Михаил Зидаров представлява две плоскости (крила) А и В, шарнирно закрепени към анкеровани в дъното опори, които взаимодействат с вълната и през система от лостове и противовтежести Р и К въртят чрез храповици маховика G, от който чрез ремъчна трансмисия се задвижват работните колела на “воденици, за електрическо осветление, фабрики и прочее”.
- ✗ На 5 май 1913 г. М.Зидаров получава за вълномотора патенти в Австрия №59872 и №59880.

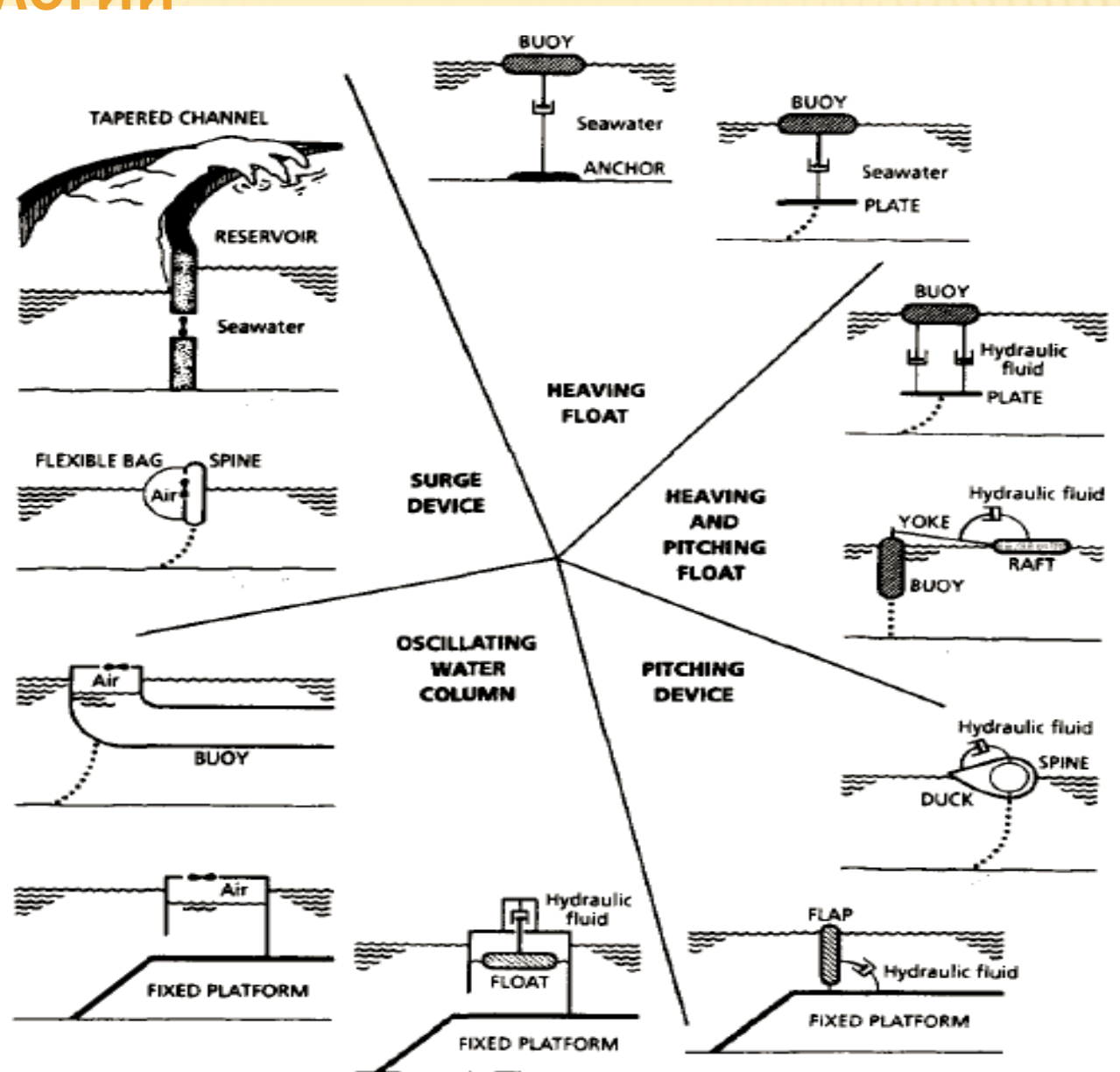
Въведение – преглед на някои реализирани технологии

вълномотор “Ураган”



In 1925 the inventor A.Vodenitcharov built at the quay in Varna the first demonstration device – wave-motor which produced electricity, lightening the neighboring park. The wave energy conversion was performed by multiple floats connected to an electro-generator.

Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Fig. 5 Oscillating column of water system

Въведение – преглед на някои реализирани технологии

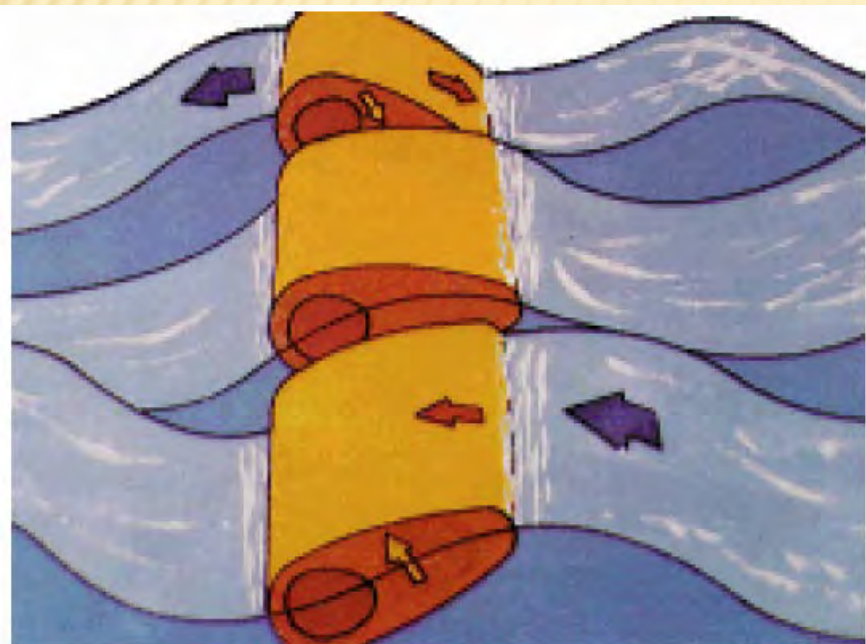


Fig. 12 Salter's Duck system

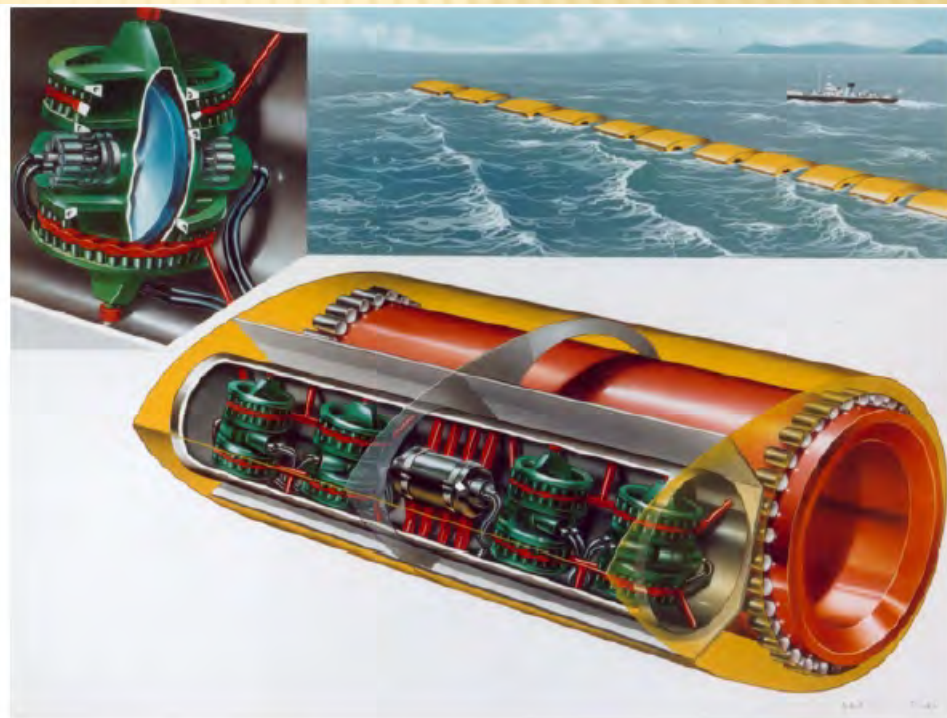


Fig. 14. The Duck version of 1979 equipped with gyroscopes (courtesy of University of Edinburgh).

Въведение – преглед на някои реализирани технологии

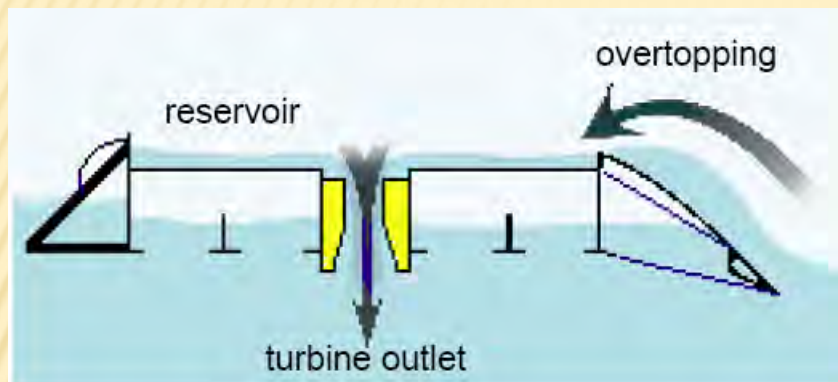


Fig. 9 Wave Dragon System Principle

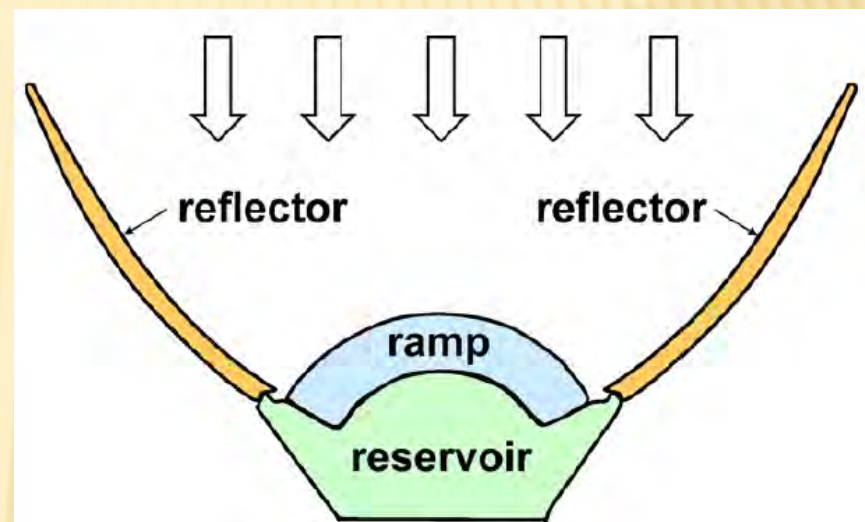
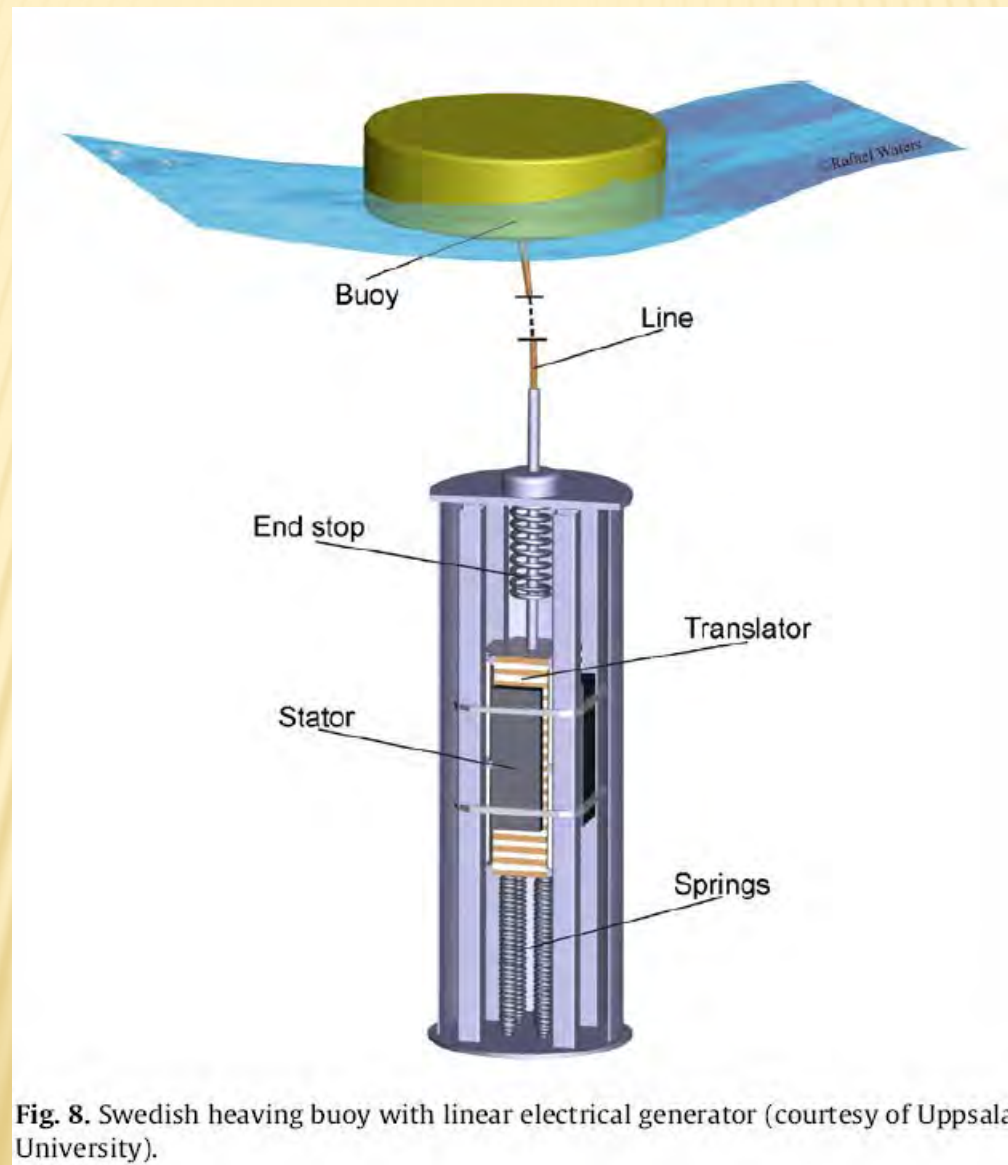


Fig. 22. Plan view of Wave Dragon.



Fig. 17 Wave Roller plate

Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Fig. 12. The PowerBuoy prototype deployed off Santoño, Spain, in 2008 (courtesy of Ocean Power Technologies).

Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Fig. 1. The Ocean Energy WEC.

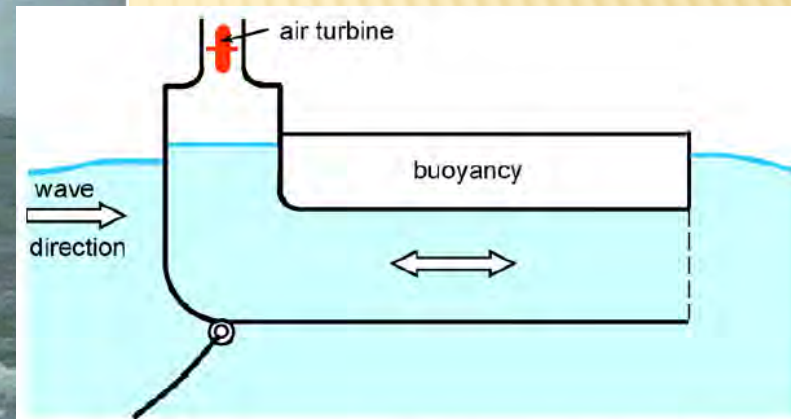


Fig. 6. Schematic representation of the Backward Bent Duct Buoy (BBDB).

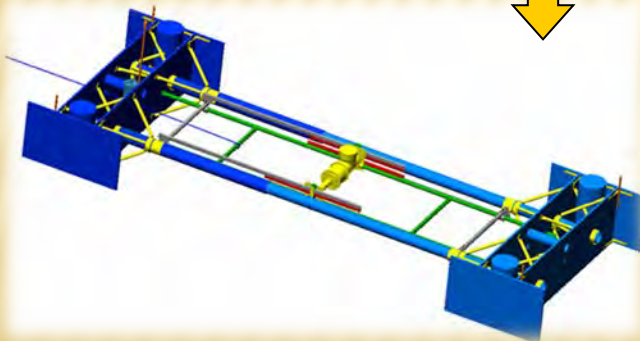
Въведение – преглед на някои реализирани технологии



Трудности при преобразувателите на вълнова енергия



- ✗ Ефективност
- ✗ Издържливост
- ✗ Високи разходи



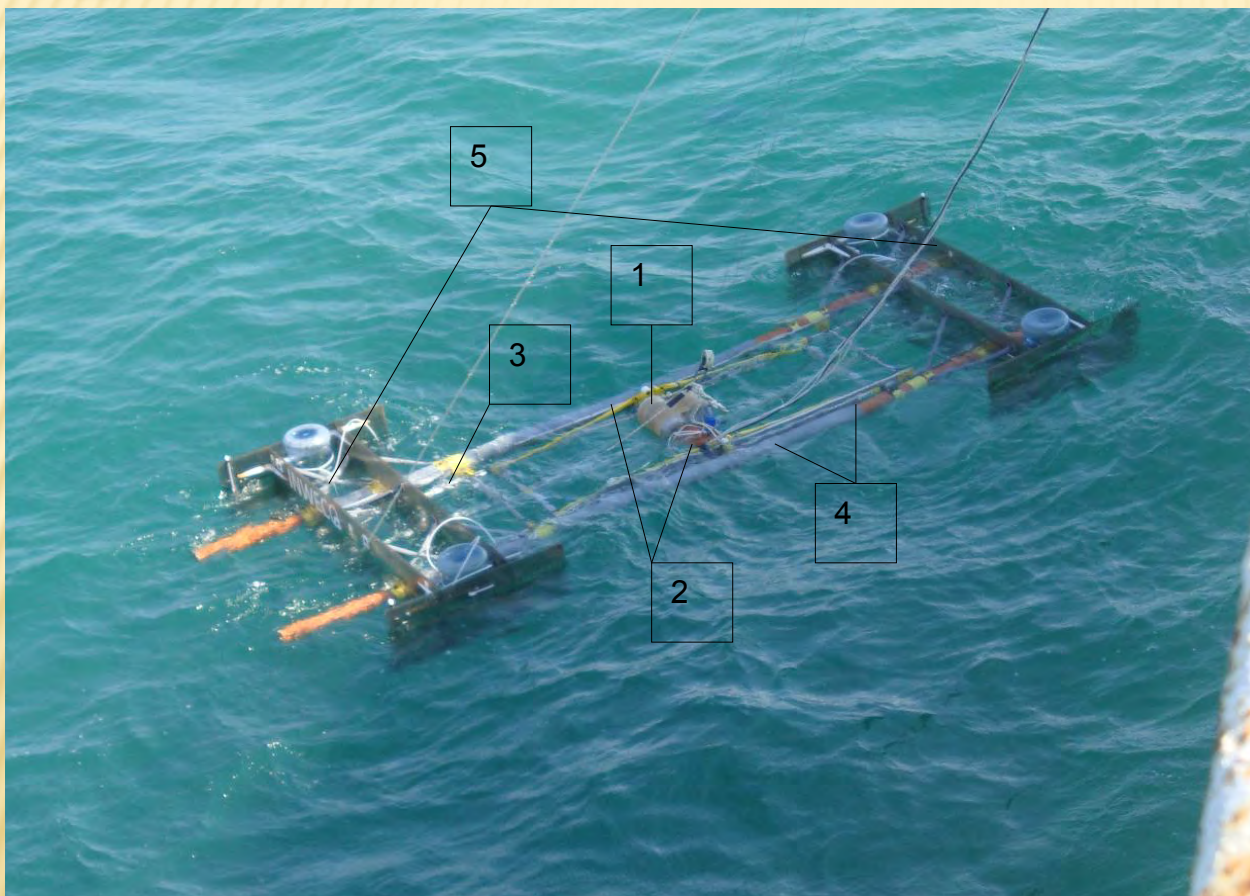
... и трудностите преодолені!

Решението – Иновативност:

Пасивен робот за извличане на енергия
от морските вълни

Стратегията е да се разработи и произведе устройство, подходящо за области с нисък вълнов потенциал и когато технологията се развие достатъчно да се имплементира при централи в региони с висок вълнов потенциал.

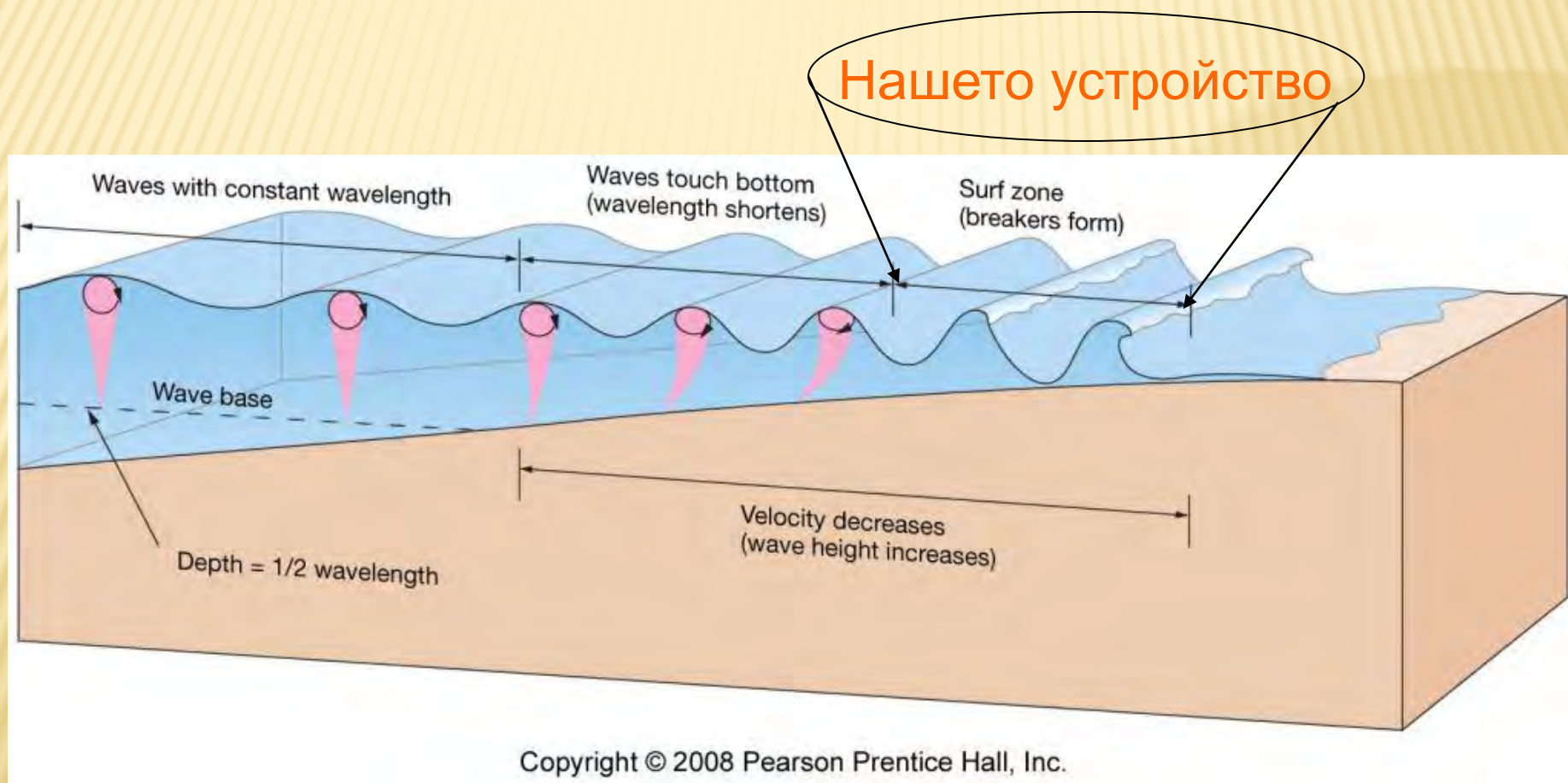
Първа иновация



- ✗ Интелигентно
- ✗ Издържливо
- ✗ Адаптивно

1-Генератор; 2-Зъбно-рейков механизъм; 3-Направляващи; 4-Телескопични тръби; 5-Напречни плочи; 6-Кабел за контрол и пренос на енергия

Втора иновация: Точното място



Сърфовата зона действа като естествен концентратор на вълновата енергия.

Иновативни решения :

4. Диференциално свързване между котвата и двете пластини чрез диференциал (въжен или зъбно-реечен).

5. Алгоритъм за адаптивно управление на генератора така, че да има максимална ефективност при всяка вълна!

Диференциално свързване на вертикалните пластини

За да се осигури независимост на преместванията на пластините под действие на възвратно-постъпателните сили на вълните и постоянните сили на теченията и от периодичните ударни въздействия на котвеното въже върху системата, двете пластини и напречните носачи трябва да са свързани със симетричен диференциал.

Диференциално свързване на вертикалните пластини

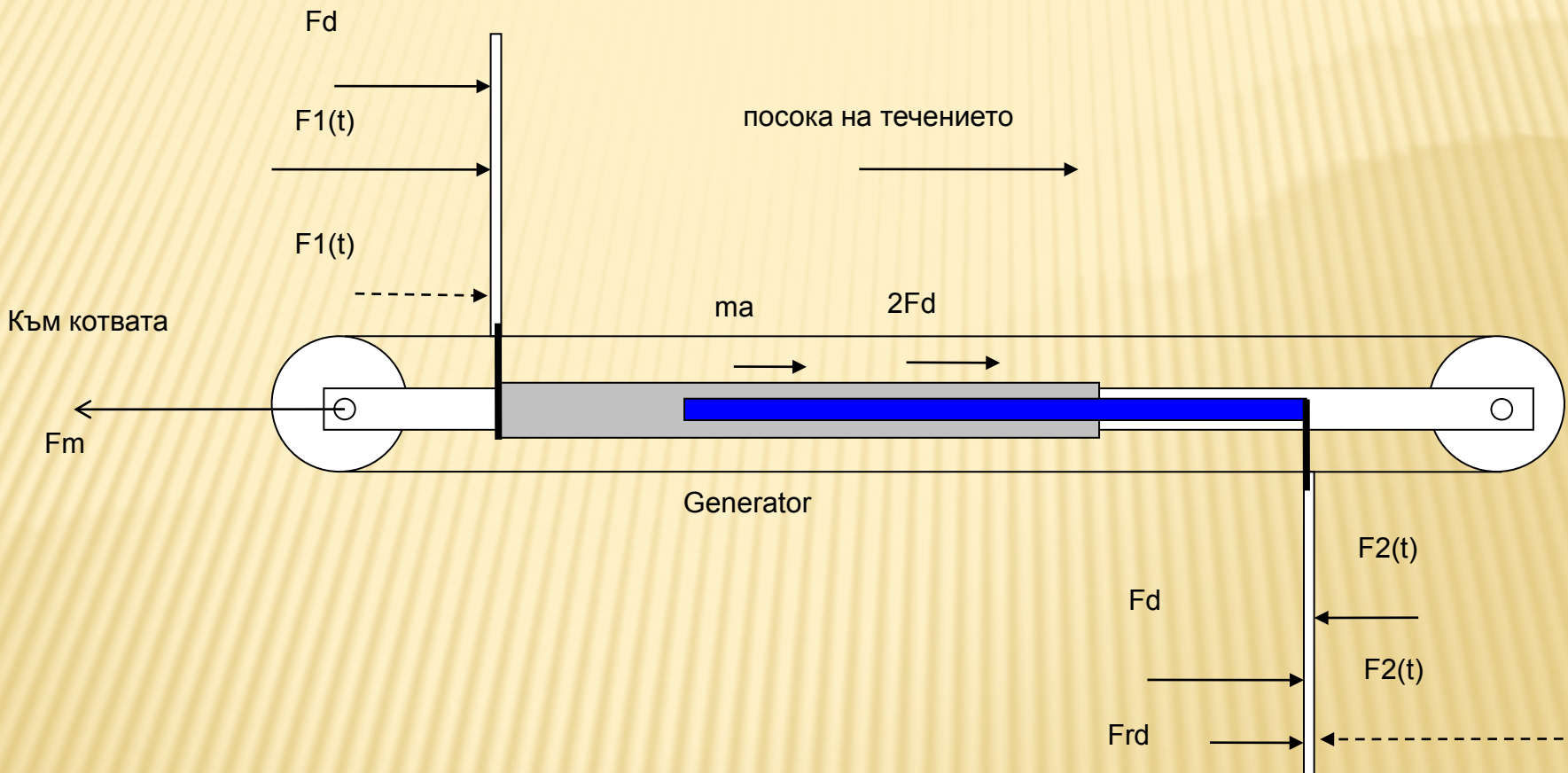


Схема на свързване на пластините с диференциален механизъм и линеен генератор.

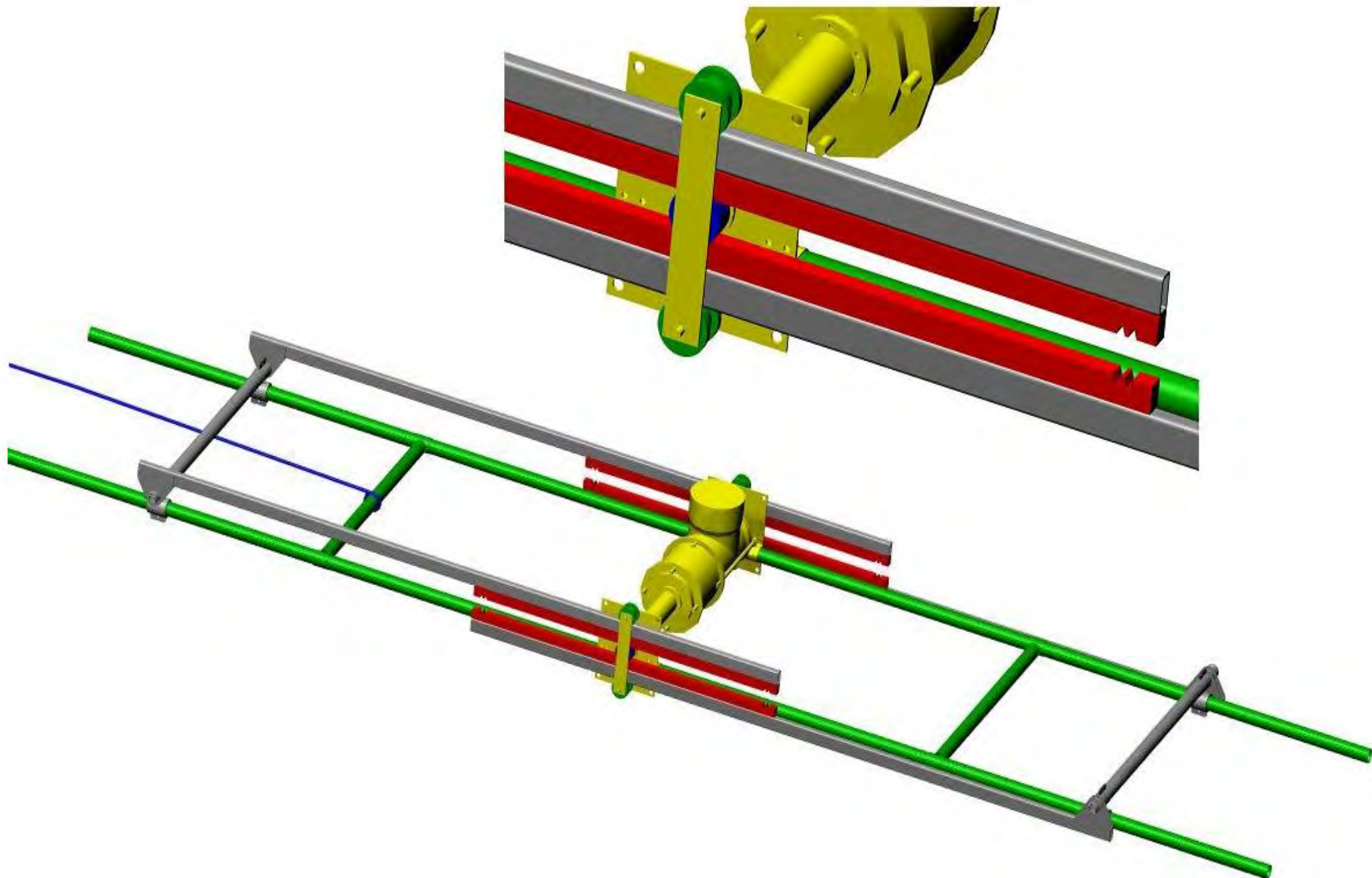
$F_1(t)$, $F_2(t)$ – сила от вълновото налягане върху първа и втора пластини.

F_d – сила от налягането на морско течение върху една пластина. F_{drift}

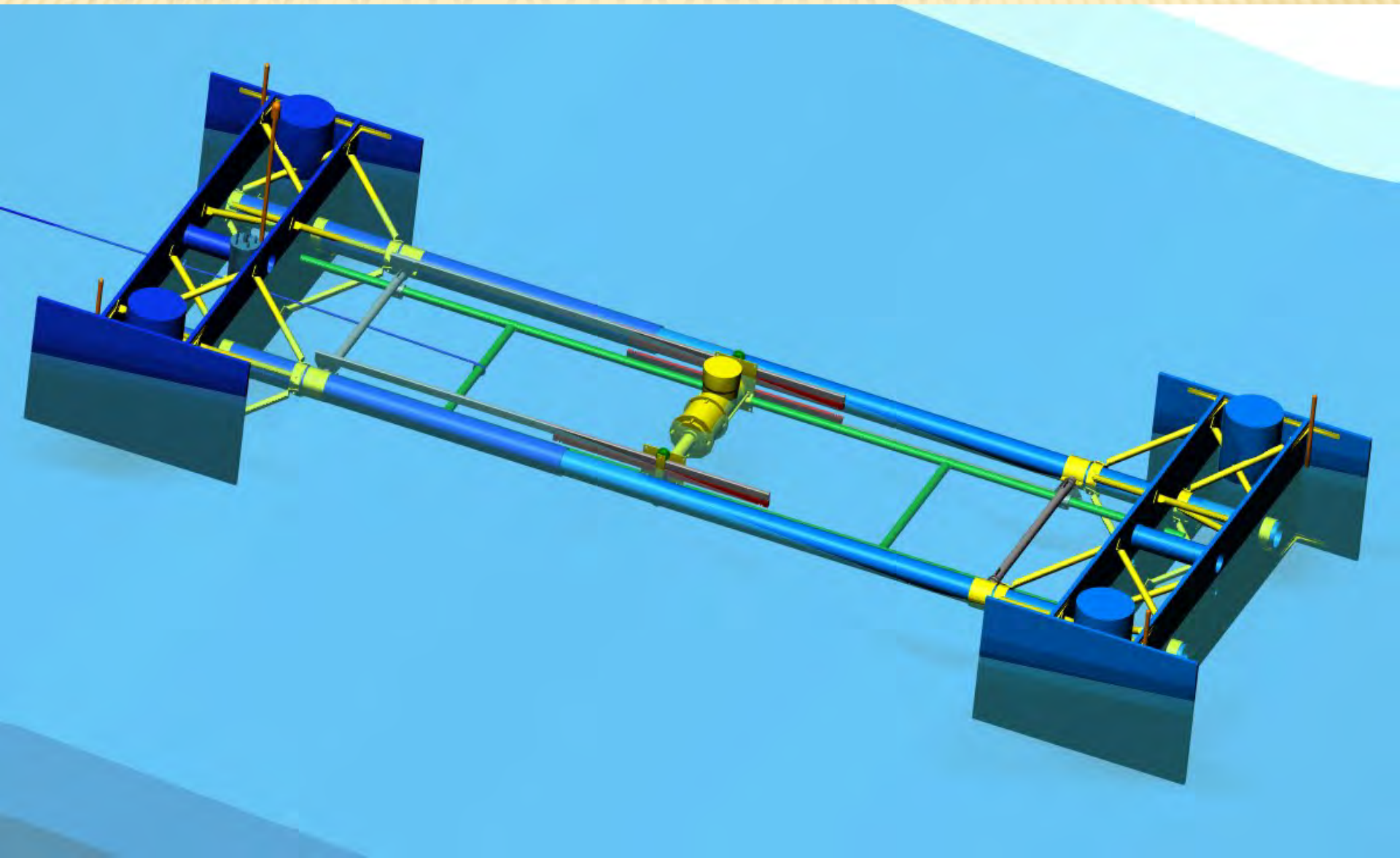
F_m – реакция на котвата $F_{mooring} = 2F_d + F_1(t) + F_2(t) - ma$

F_{rd} – сила от реакцията на диференциала $F_{reaction\ of\ differential}$ при компенсиране на разликата между $F_1(t)$ и $F_2(t)$.

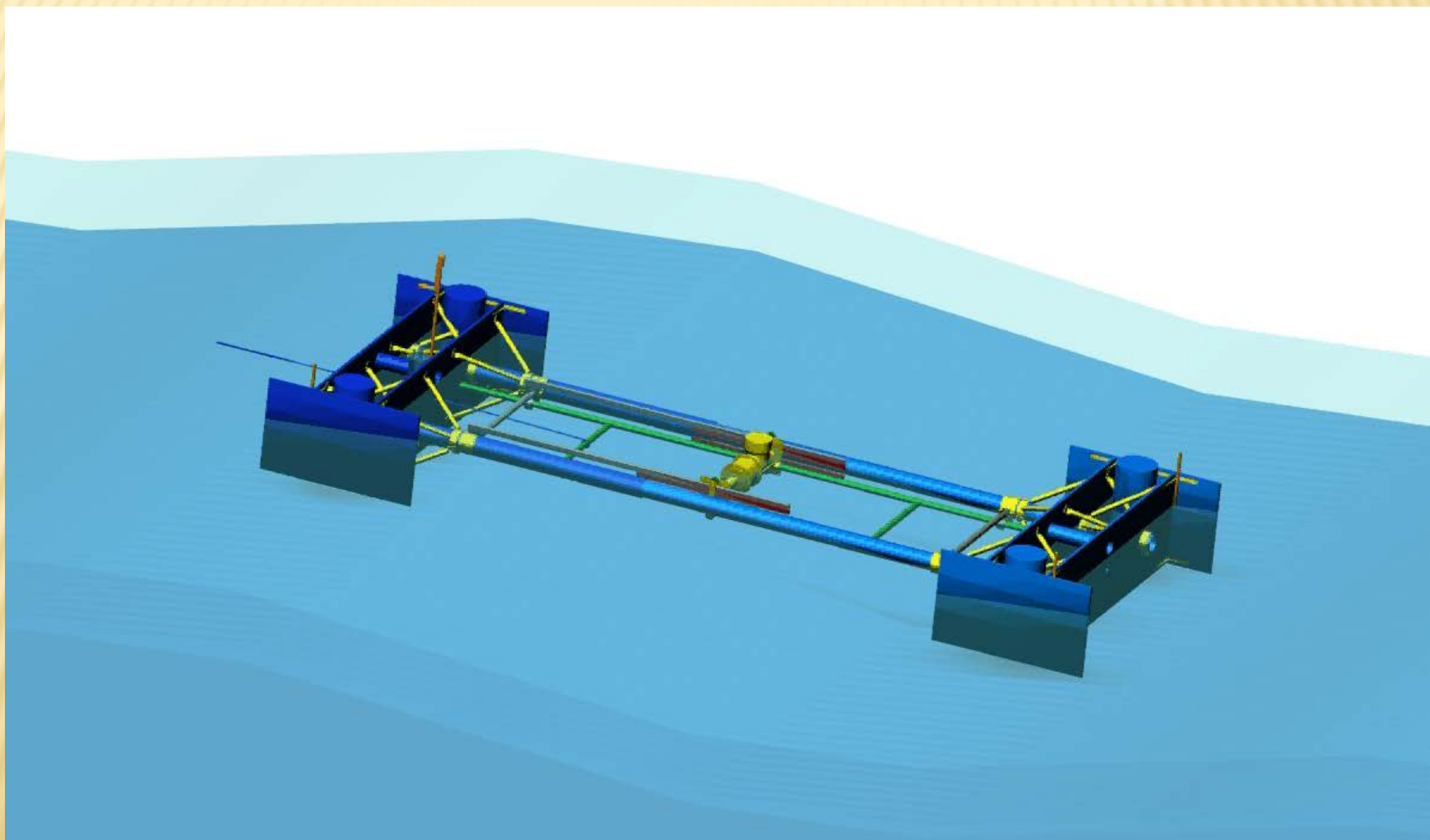
Диференциално свързване на вертикалните пластини: зъбно-реечен диференциал



ЗД МОДЕЛ НА УСТРОЙСТВОТО



3D СИМУЛАЦИЯ



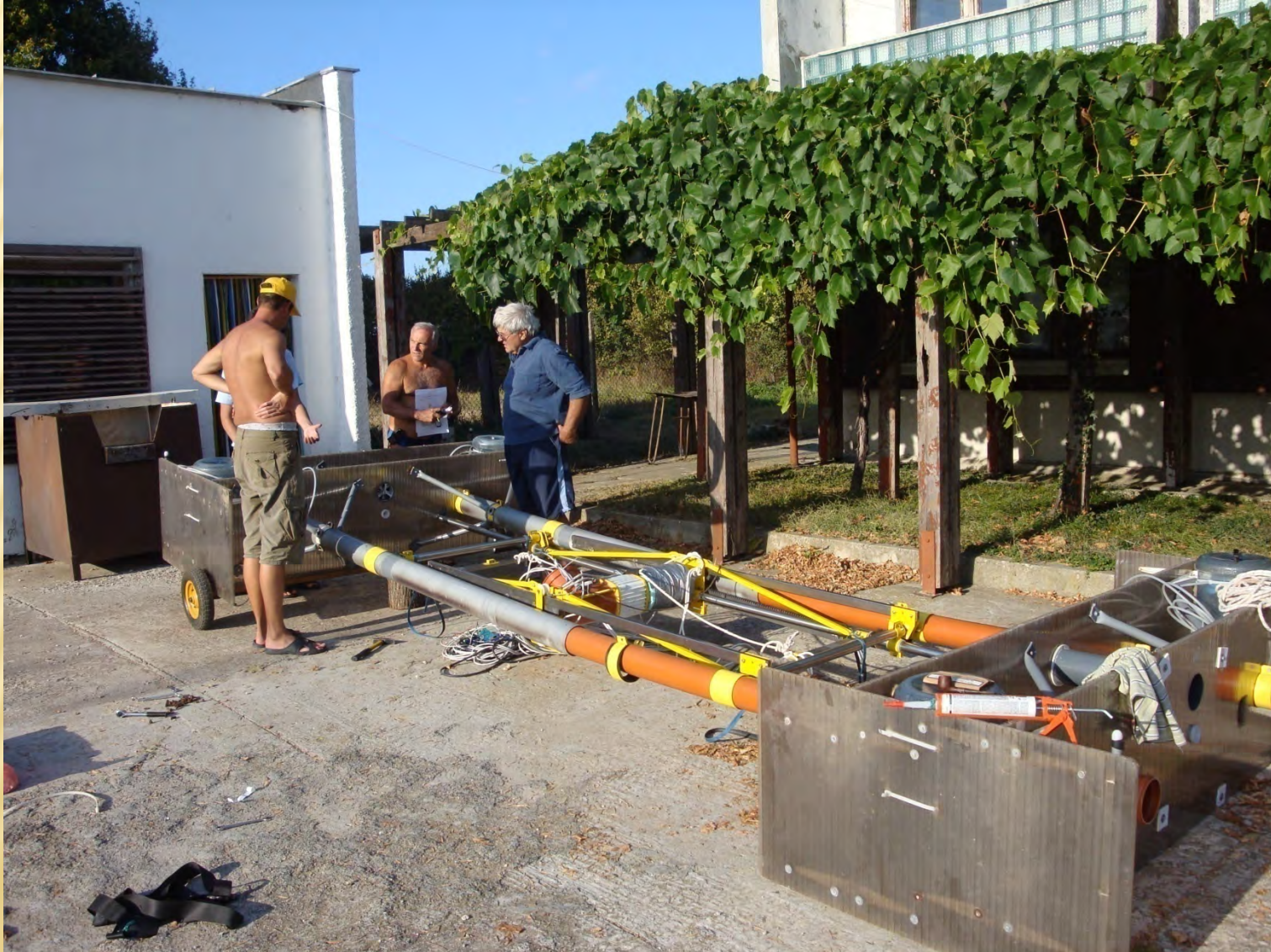
Диференциално свързване на вертикалните пластини: зъбно-реечен диференциал

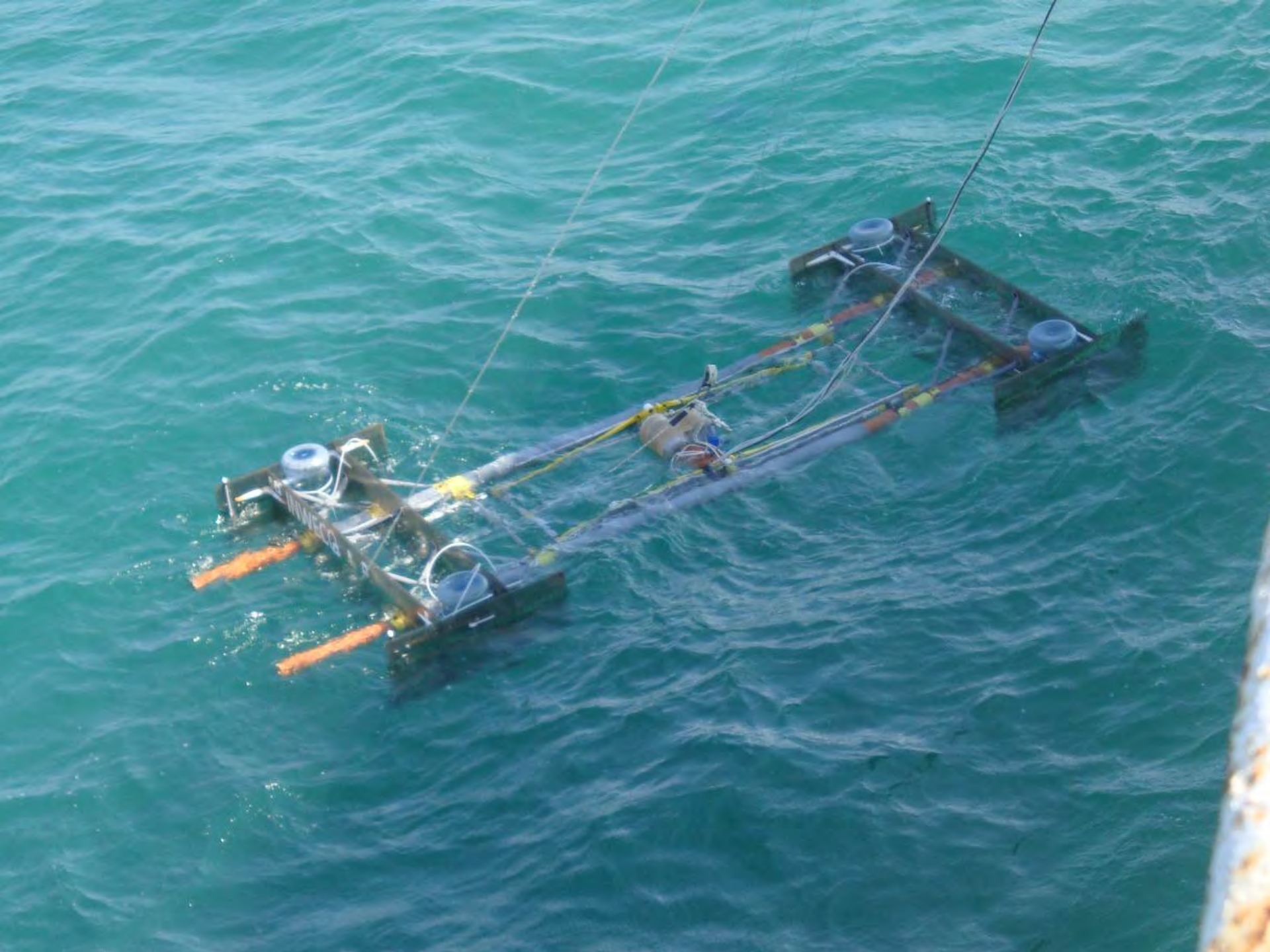


Диференциално свързване на вертикалните пластини: зъбно-реечен диференциал



Диференциално свързване на вертикалните пластини: зъбно-реечен диференциал





РАБОТА В РЕАЛНИ УСЛОВИЯ



Алгоритъм за управление

Максималната стойност на силата от вълните приложена между плъзгача и статора на линейният генератор $F_3(t)$, ще бъде приблизително:

$$F_3(t) = 1/2 [F_1(t) + F_2(t)]. \quad (1)$$

Относителната скорост Δu_1 между водните молекули в сечението на първата пластина u_1 и на самата пластина u_{p1} се определя от изрази:

$$\Delta u_1(t) = (u_1 - u_{p1}) \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Стойността на Δu_1 дава лага S_1 разположен в пластина 1.

Относителната скорост между водните молекули в сечението на втората пластина u_2 и на самата пластина u_{p2} се определя от изрази:

$$\Delta u_2(t) = (u_2 - u_{p2}) \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

Силата върху пластина 1 (с ширина b и височина a) предизвикана от поток със скорост се дава от израза:

$$F_1(t) = \frac{C_d \rho \cdot A}{2} (\Delta u_1)^2 \quad [\text{N}], \quad (4)$$

Силата върху пластина 2 (с ширина b и височина a) предизвикана от поток със скорост се дава от израза:

$$F_2(t) = \frac{C_d \rho \cdot A}{2} (\Delta u_2)^2 \quad [\text{N}], \quad (5)$$

В *ур.4* и *ур5* C_d е коефициента на челно съпротивление, а $A = ab$ е площта на пластината. Вижда се, че силата върху пластината е пропорционална на квадрата на относителната скорост. За съществуващата конструкция на пластини със странични бордове, стойността на коефициента на челно съпротивление може да се приеме: $C_d = 2.2$

От ур.4 и ур.5 определяме силите $F1(t)$ и $F2(t)$ и от ур. 1 получаваме силата $F3(t)$ върху линейният генератор.

Условието за максимално отнемане на мощност, е скоростта на пластината u_{p1} да е винаги $1/3$ от скоростта на флуида в сечението на първата пластина u_1 . За да се управлява устройството са ни необходими стойностите на $\Delta u_1(t)$ (съгласно ур.2 - u_{p1} и u_1) и съответно на $\Delta u_1(t)$ (съгласно ур.3 u_{p2} и u_2).

Когато пластините са на разстояние половина от дължината на вълната и вълната е едномодова и хармонична, разлика между силите върху двете пластини няма да има.

Под действие на диференциалният механизъм разликата в силите $F_1(t)$ и $F_2(t)$ е малка и центъра на тежестта на устройството не се движи под действието им (като първо приближение). Това означава, че пластините се движат срещуположно и са изпълнени равенствата:

$$u_{p1} = - u_{p2} \text{ и съответно } u_1 = - u_2 \quad (6)$$

полагайки $u_{p1} = - u_{p2}$ в ур. 3 получаваме:

$$\Delta u_1(t) + \Delta u_2(t) = 6 u_3(t), \text{ или}$$

$$\Delta u_1(t) + \Delta u_2(t) - 6 u_3(t) = 0 \quad (7)$$

където $u_3(t)$ е скоростта между плъзгача и статора на линейният генератор отчетена от сензора му S6. Когато ур.(7) е >0 , скоростта на генератора е твърде малка и коефициента на запълване трябва да се намали с примерно $k_1=10\%$, когато ур.(7) е <0 , коефициента на запълване (коравината) на генератора да се увеличи с $k_2=10\%$.

т.е. има коефициент на запълване при движение на ляво- k_{10} и коефициент на запълване при движение на дясно- k_{11}

Съответно k_{20} коефициент на запълване при движение на ляво- k_{20} и коефициент на запълване при движение на дясно- k_{21} .

Крайни изключватели S3, S4.

Когато се достигне S3, коравината на генератора в тази посока (посока 0 или дясно) трябва да се увеличи с $k_{30}=80\%$.

Когато се достигне S4, коравината на генератора в тази посока (посока 1 или ляво) трябва да се увеличи с $k_{31}=80\%$.

Защо ни трябват още експерименти?

В ур.4 инерционната сила при относителното движение на пластината спрямо течността (Froude-Krilov) представлява масата на изместената от пластината течност по ускорението:

$$F_{x1}(t) = \rho \pi R^2 \cdot \dot{u}(t)$$

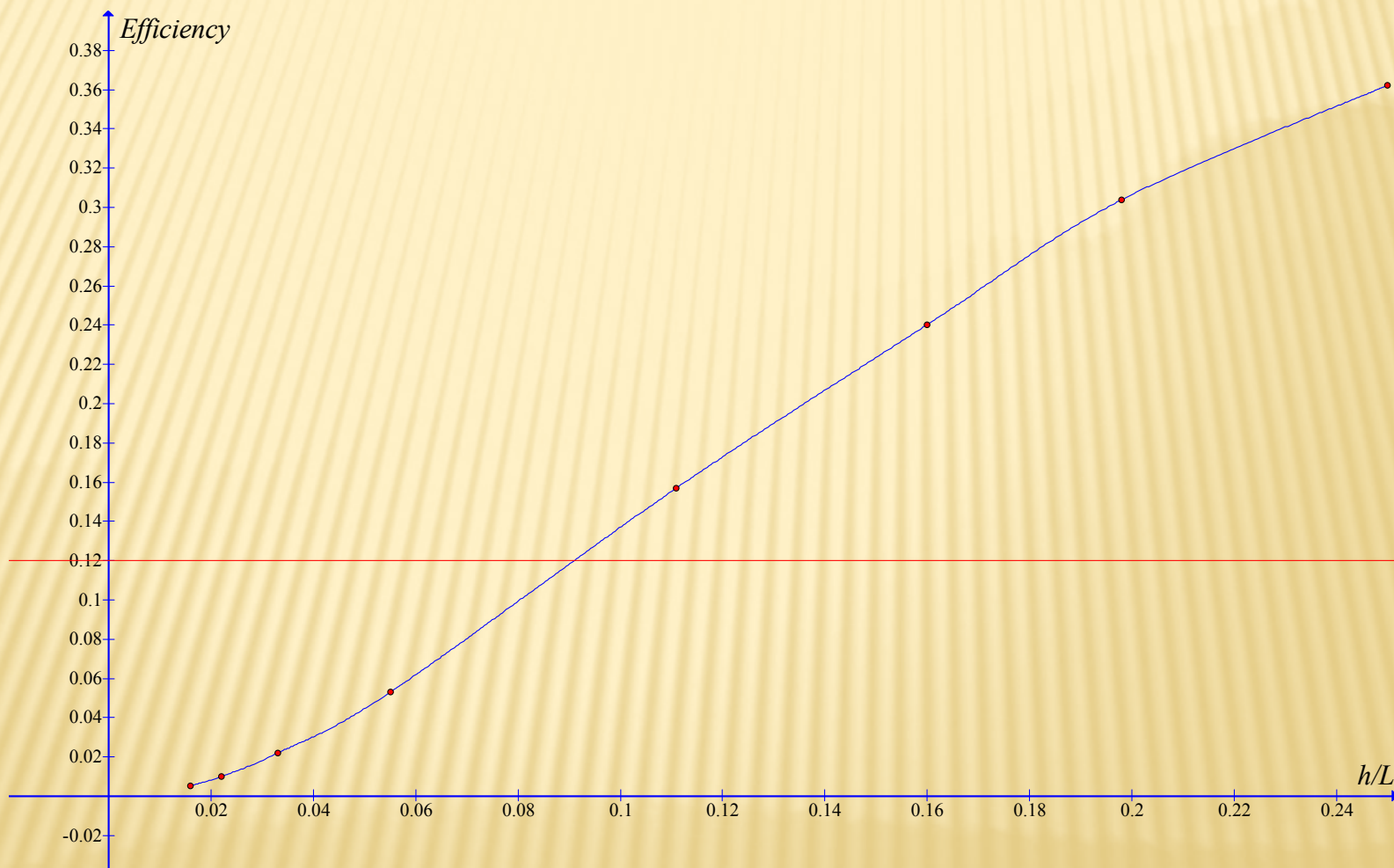
Disturbance Force – от въздействието на пластините върху течението, която се получава от промяната в общата енергия на потока под действие на пластината. Свежда се отново до масата на изместената течност по ускорението:

$$E = \frac{1}{2} M_2 u_{\infty}^2$$

Последните две сили се обобщават като Resultant Inertia Force

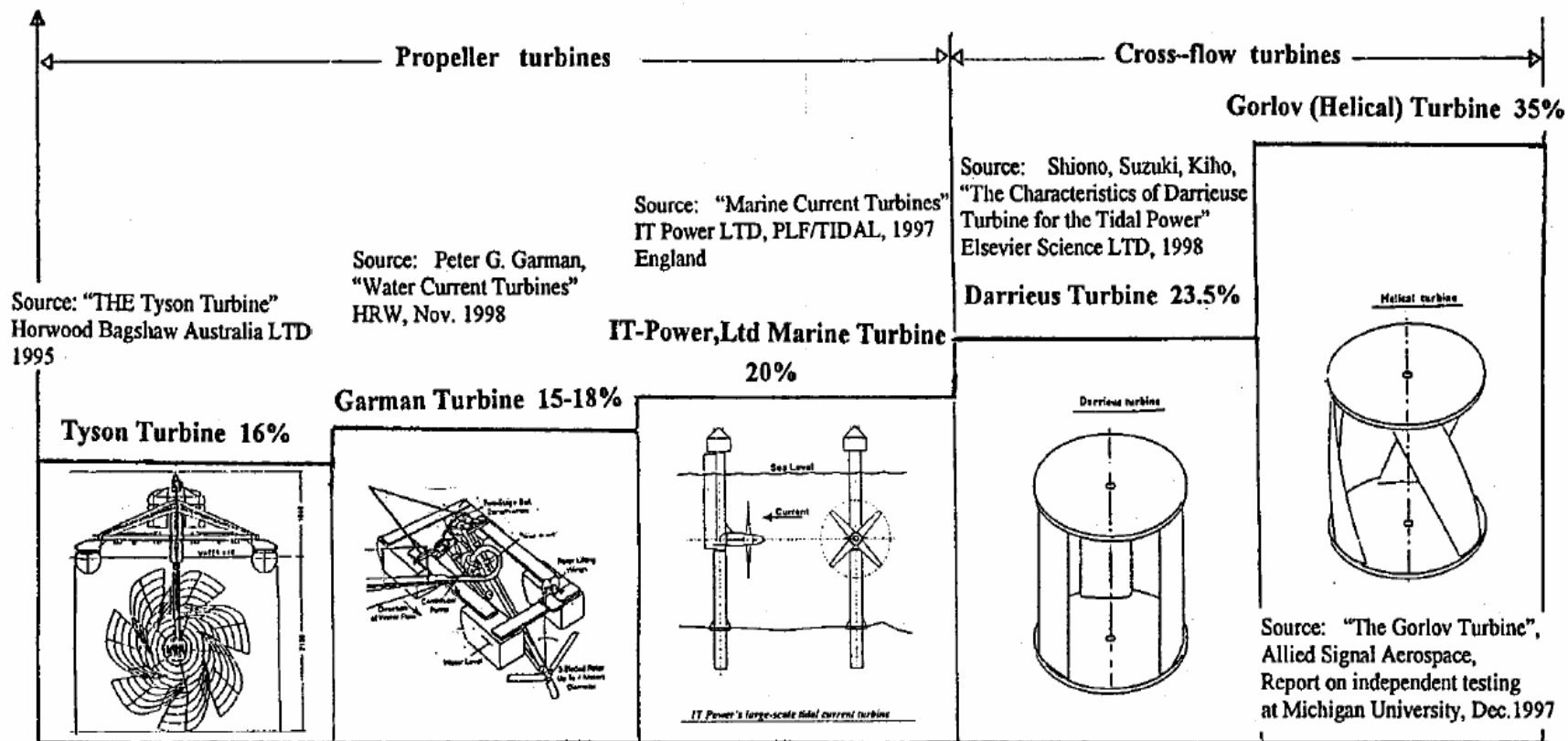
$$\begin{aligned} F_I(t) &= F_{x1}(t) + F_{x2}(t) \\ &= 2 \cdot \pi R^2 \rho \cdot \dot{u}(t) \end{aligned}$$

Теоретичен КПД на използвания принцип



Эффективность

Efficiency, %



Note: Some specific exploitation problems for Propeller and Darrieus turbines

1. Propeller turbines with fixed blades cannot be used directly in reversible tidal flow as well as at shallow water sites
2. Darrieus turbines develop strong pulsation. They are not self- starting in most cases

Fig. 2 Comparative performance of various turbines in free (nonducted) water currents

ЕФЕКТИВНОСТ

Ефективност = абсорбирана енергия / енергията преминала през сечението на устройството.

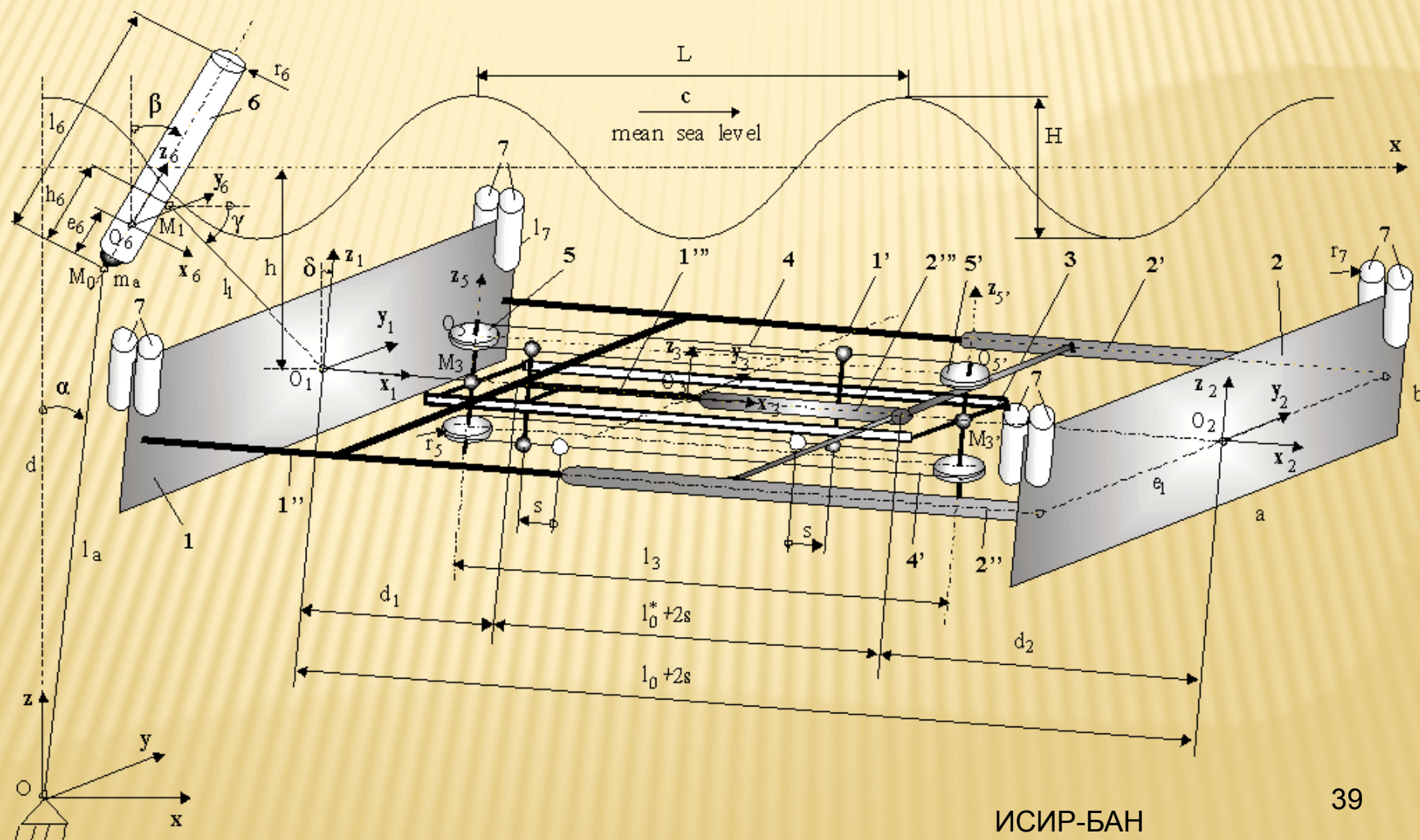
1% до 12% не е ли малко?

Най добре е да се направи сравнение с ветровите генератори.

Колко от преминаващата енергия на вятъра се абсорбира от ветровия генератор? - 0.5 – 5%!!!

Други подобни устройства са турбините за свободно течащи води – реки и морски течения.

Формулиране на проблема

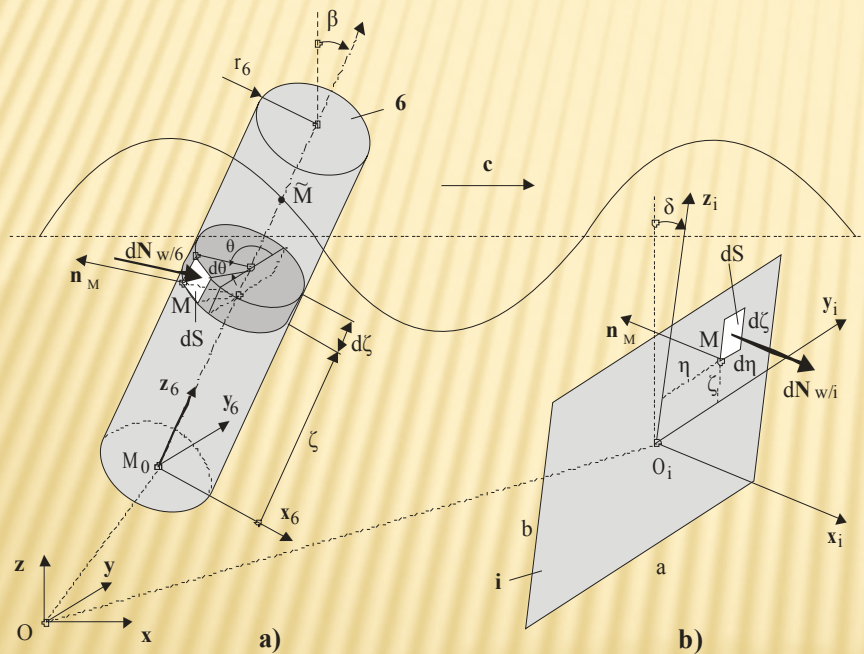


Кинематичен анализ на системата

Определяне на диференциалните уравнения на движение на системата

Определяне на кинетичната енергия като сума от кинетичните енергии на отделните тела

Определяне на виртуалната мощност на системата сили, представени чрез активните и пасивни сили приложени към телата, теглото и Архимедова сили.



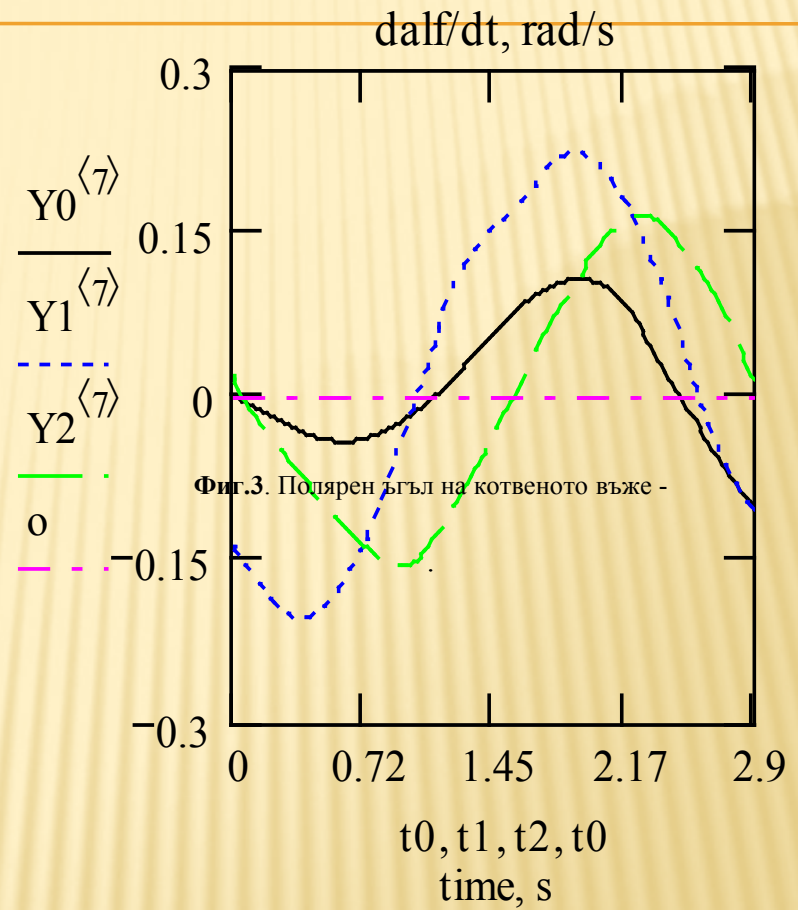
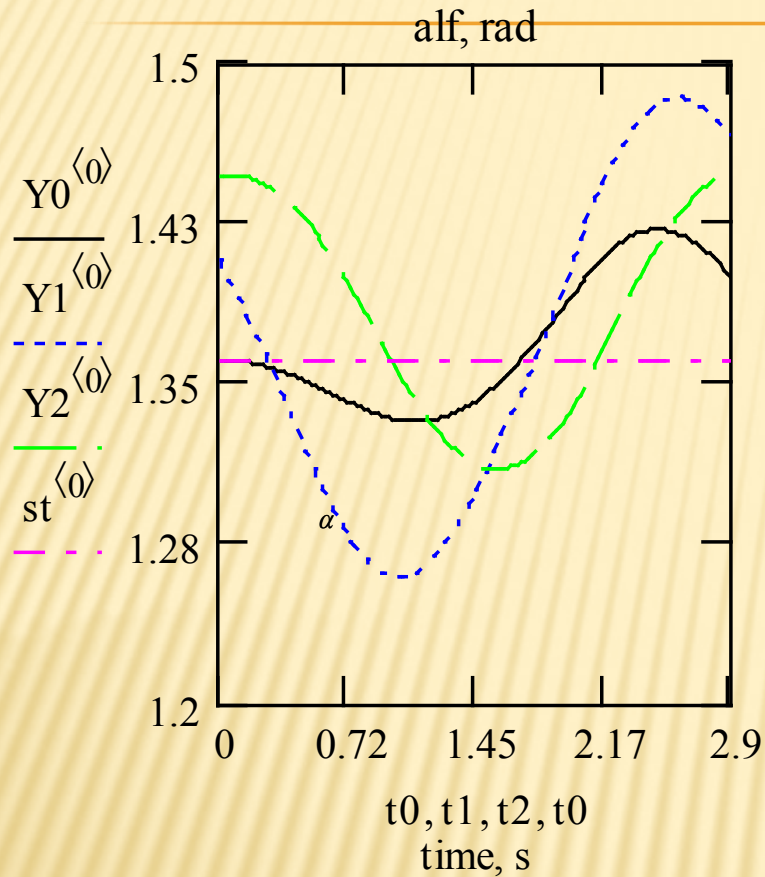
Фиг. 2. Силово въздействие на водна частица M върху:
а) цилиндъра и
б) пластината.

Ударни процеси в гъвкавите връзки

Уравнения на удар за системата с отчитане на моментното състояние на гъвкавите връзки, т.е. напрегнати ли са или не

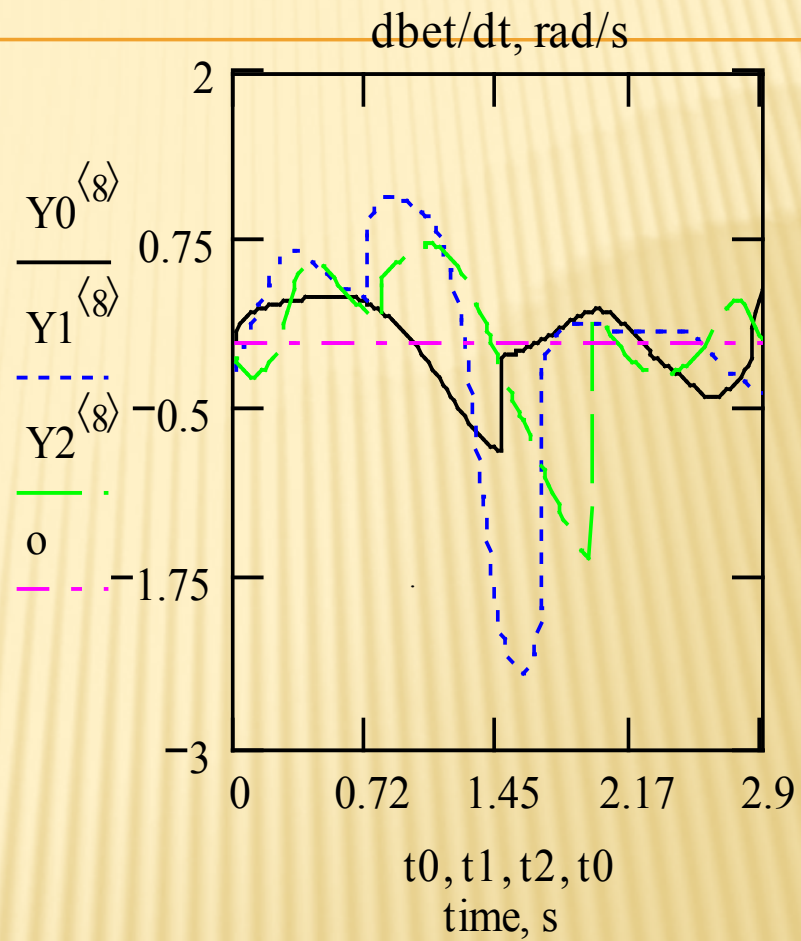
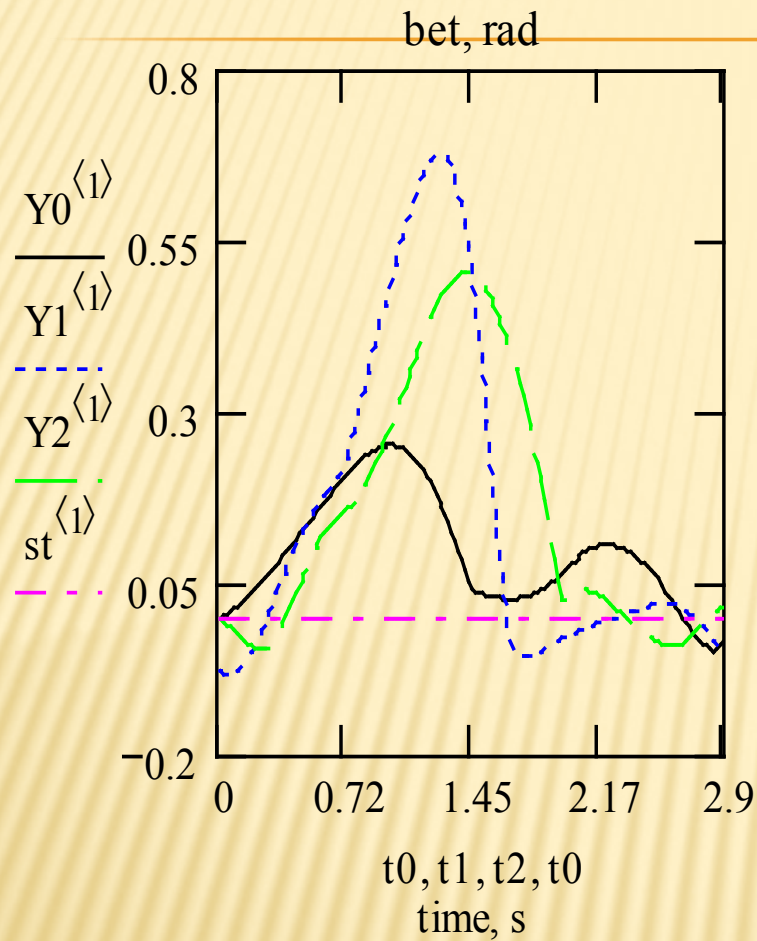
Числен анализ

Създаден е алгоритъм и софтуер за Mathcad за определяне закона на движение на системата, съобразно формули (43),(44) и (71). На базата на реално изграден модел с основни данни са намерени измененията на параметрите конфигуриращи системата, техните скорости, ускорения, както и силите в гъвкавите връзки.

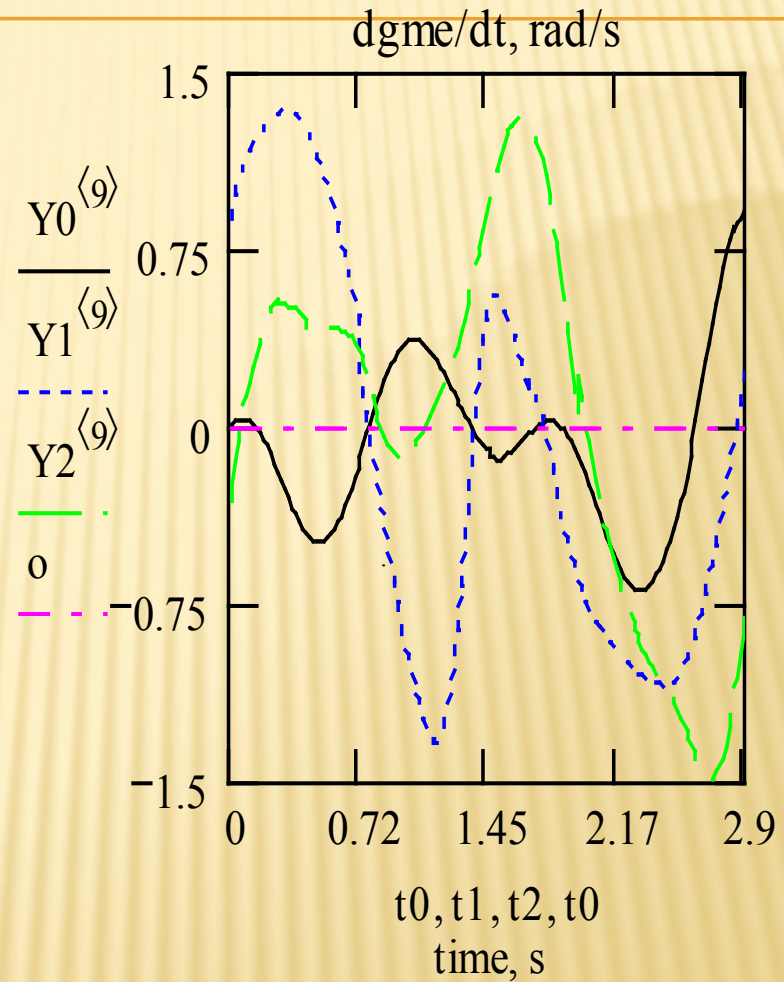
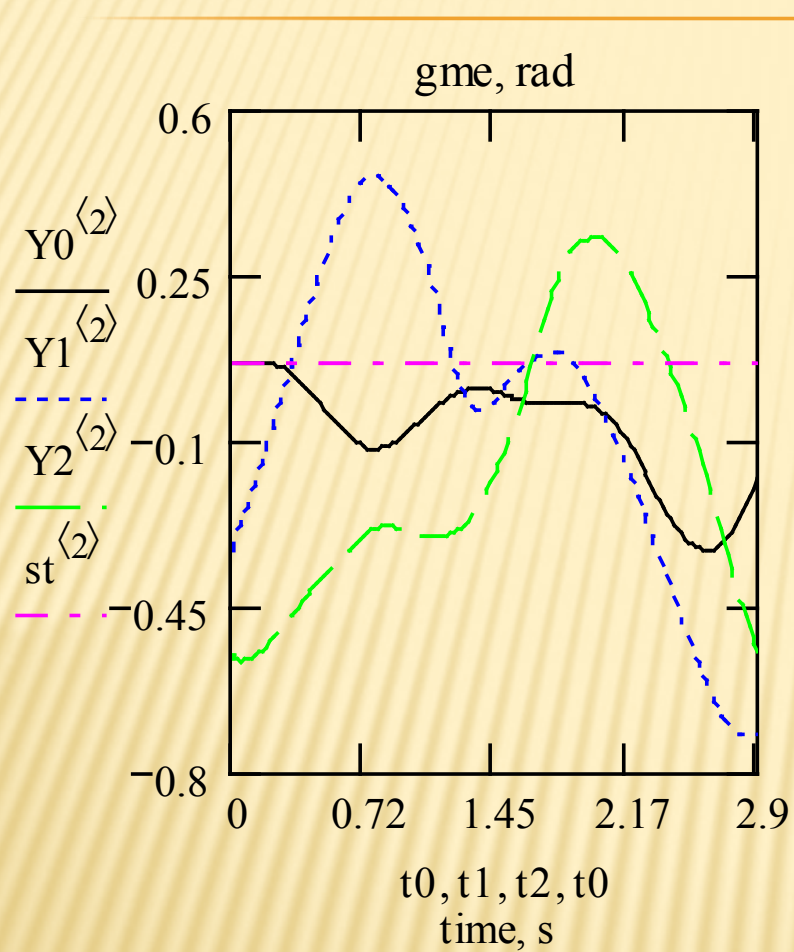


Фиг.3. Полярен ъгъл на котвеното въже -

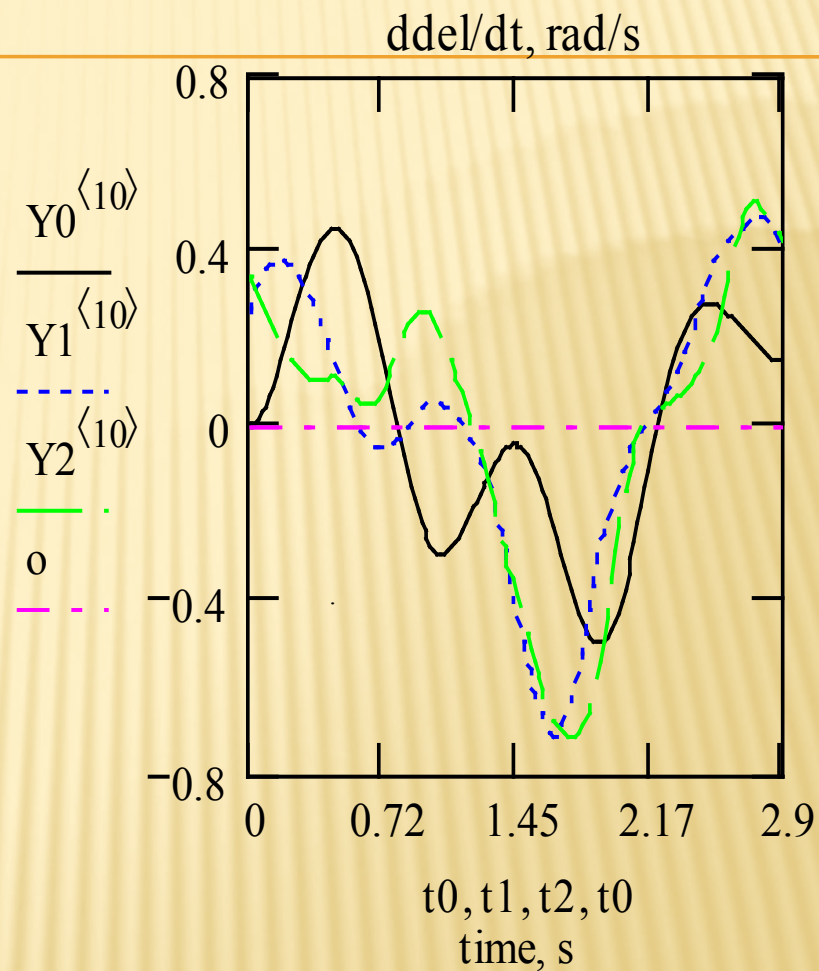
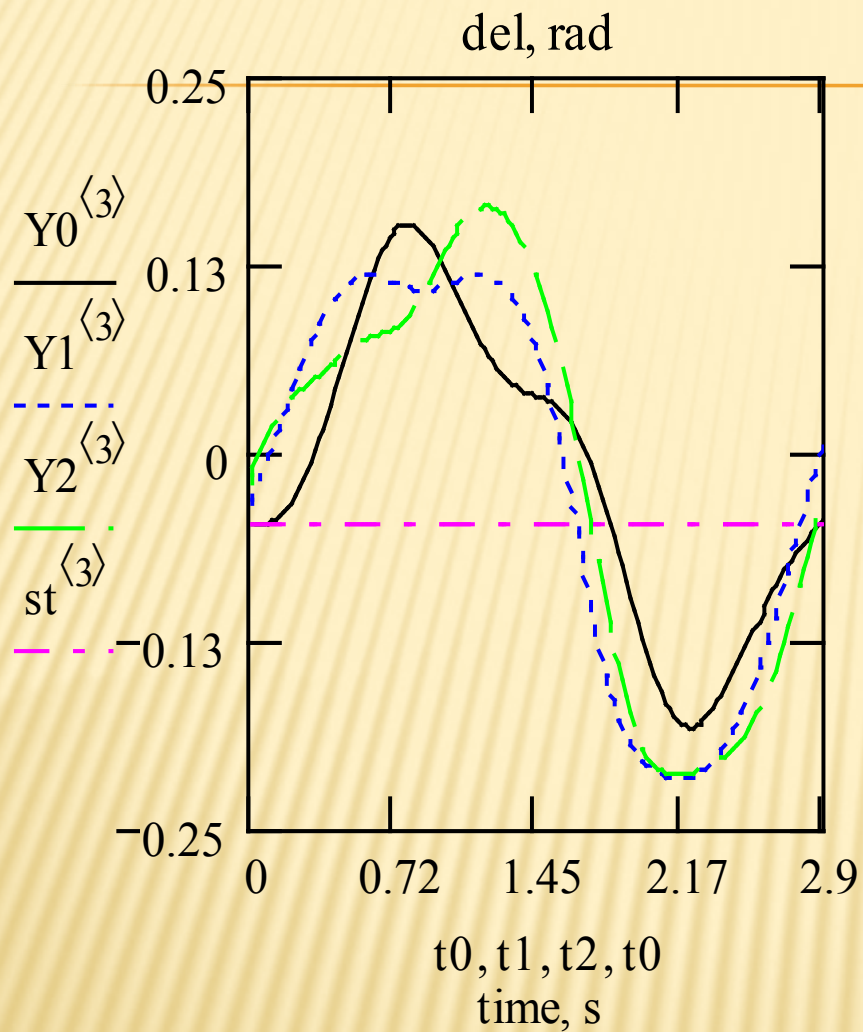
Полярен ъгъл на котвеното въже - α



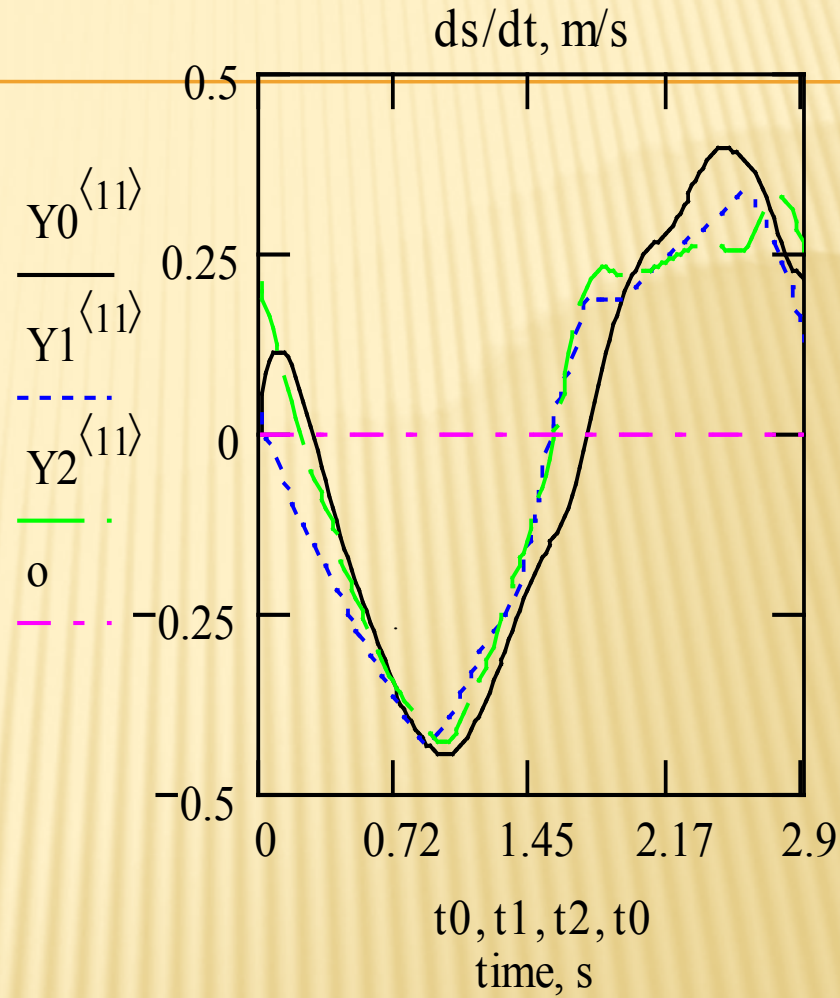
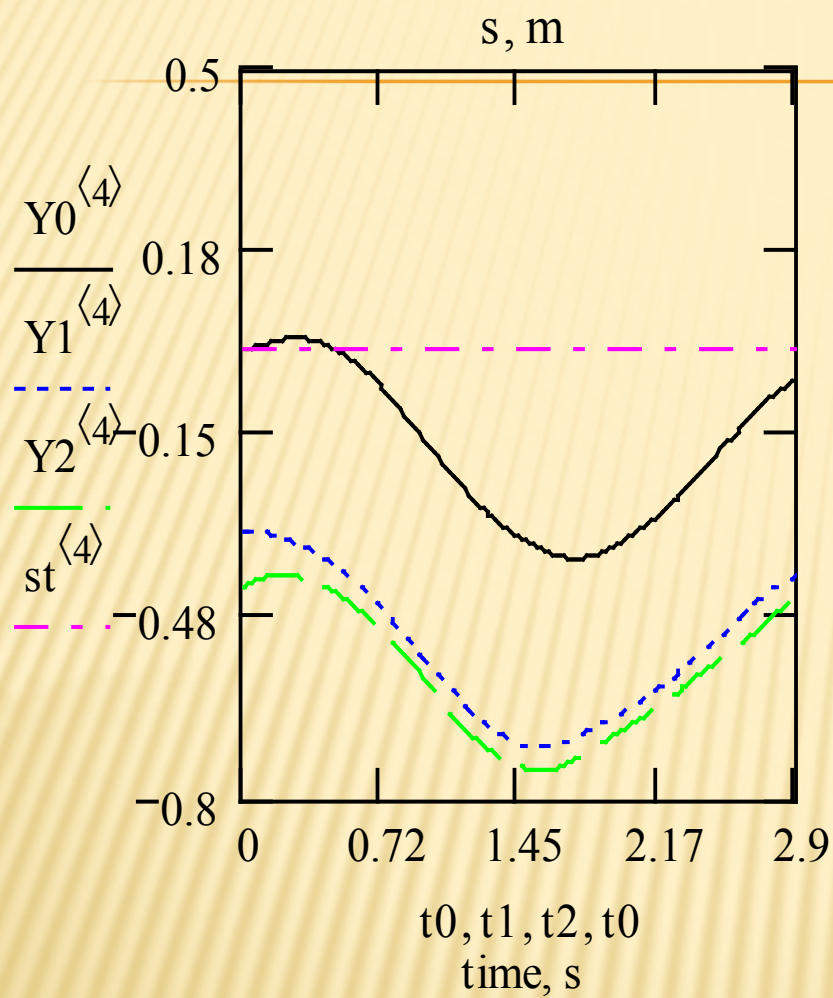
Ъгъл на наклона на шамандурата - β



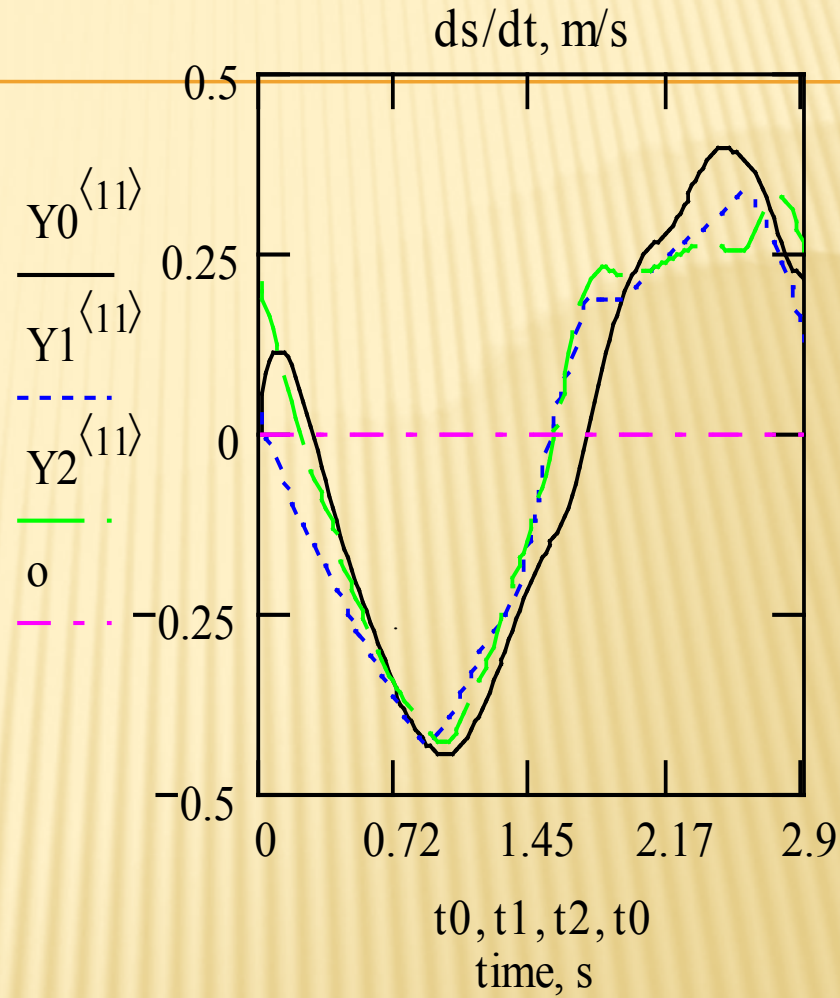
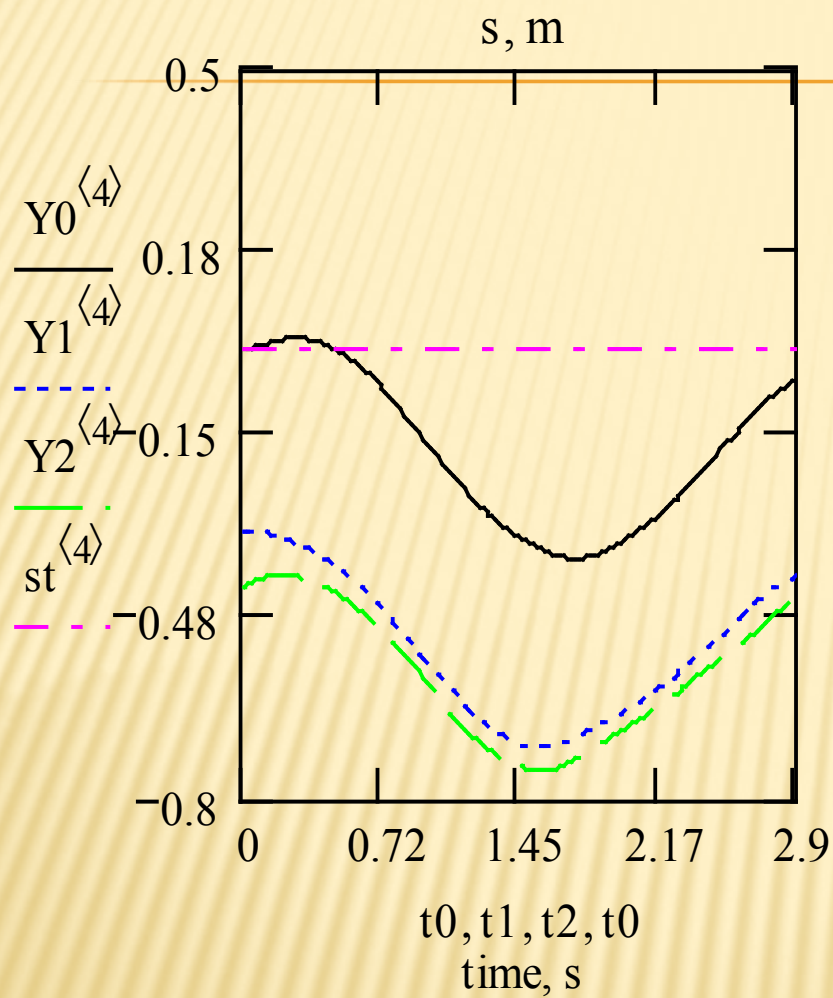
Полярен ъгъл на вътрешното въже - γ



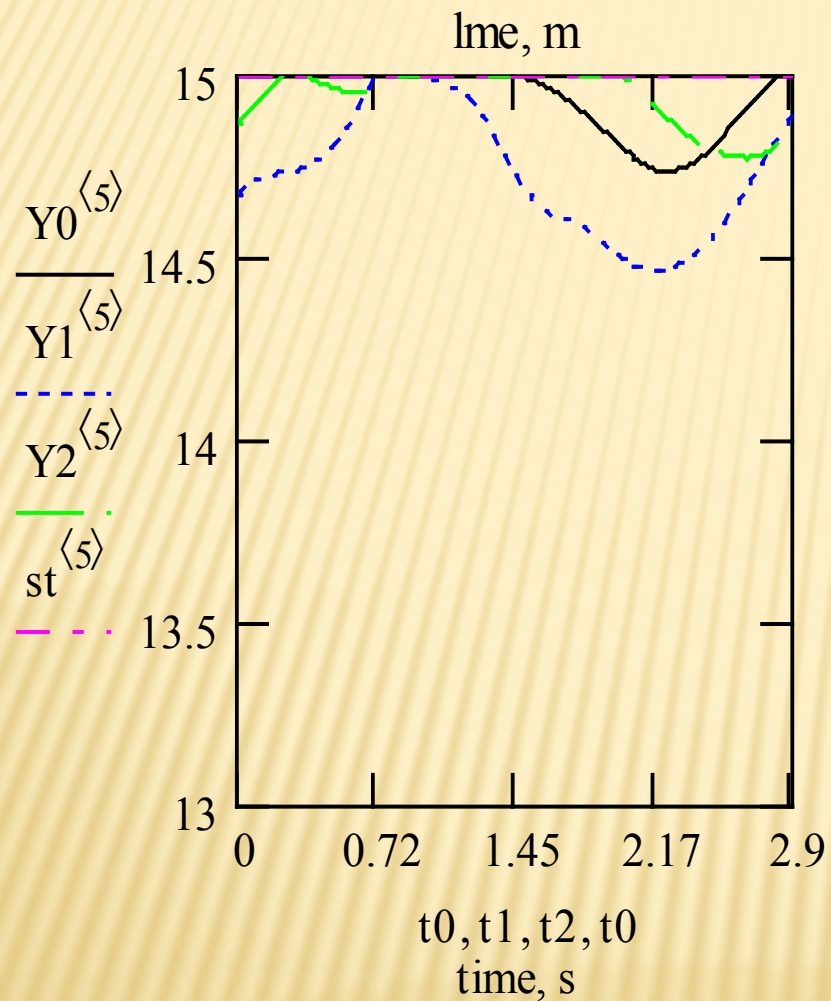
Ъгъл на наклона на пластината - δ



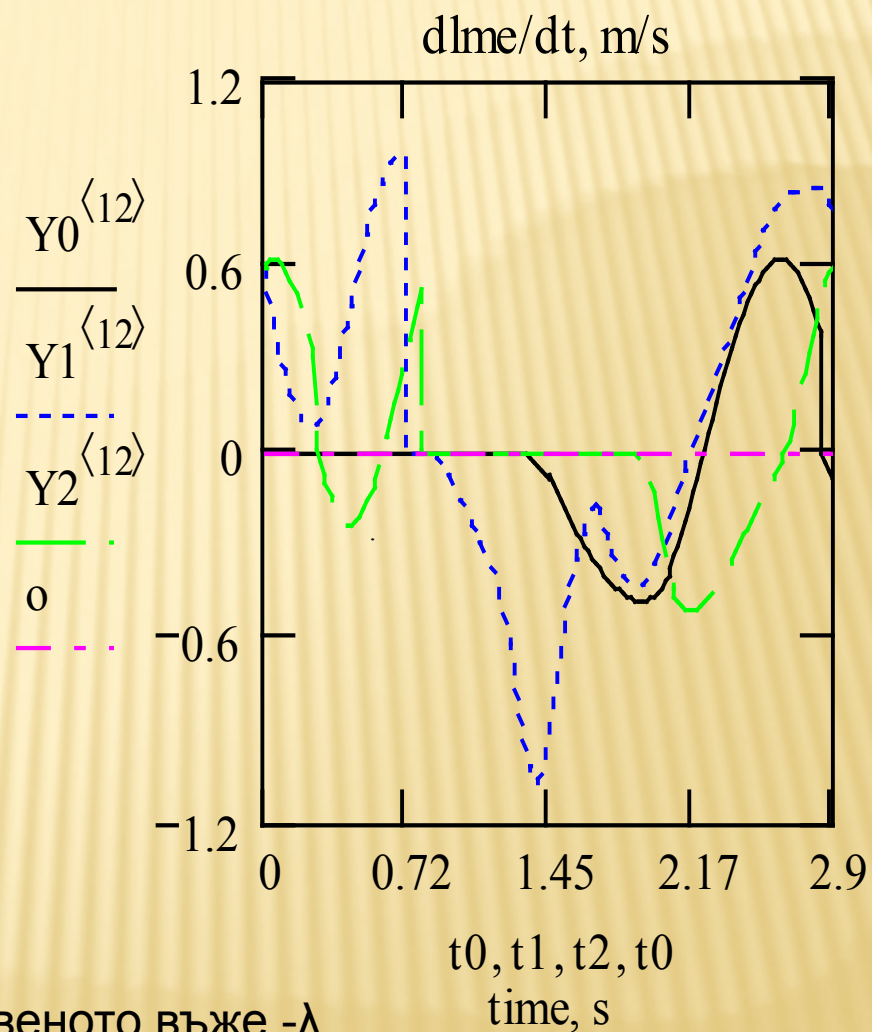
Линейно преместване в генератора - s

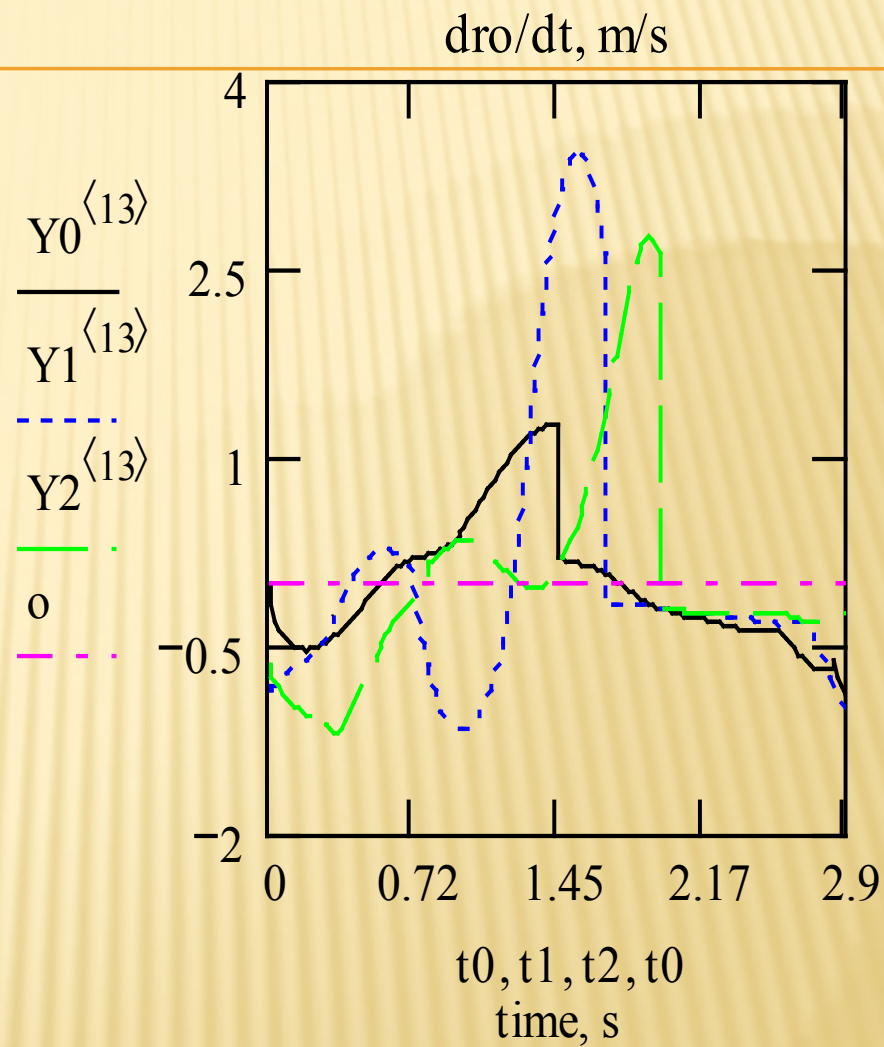
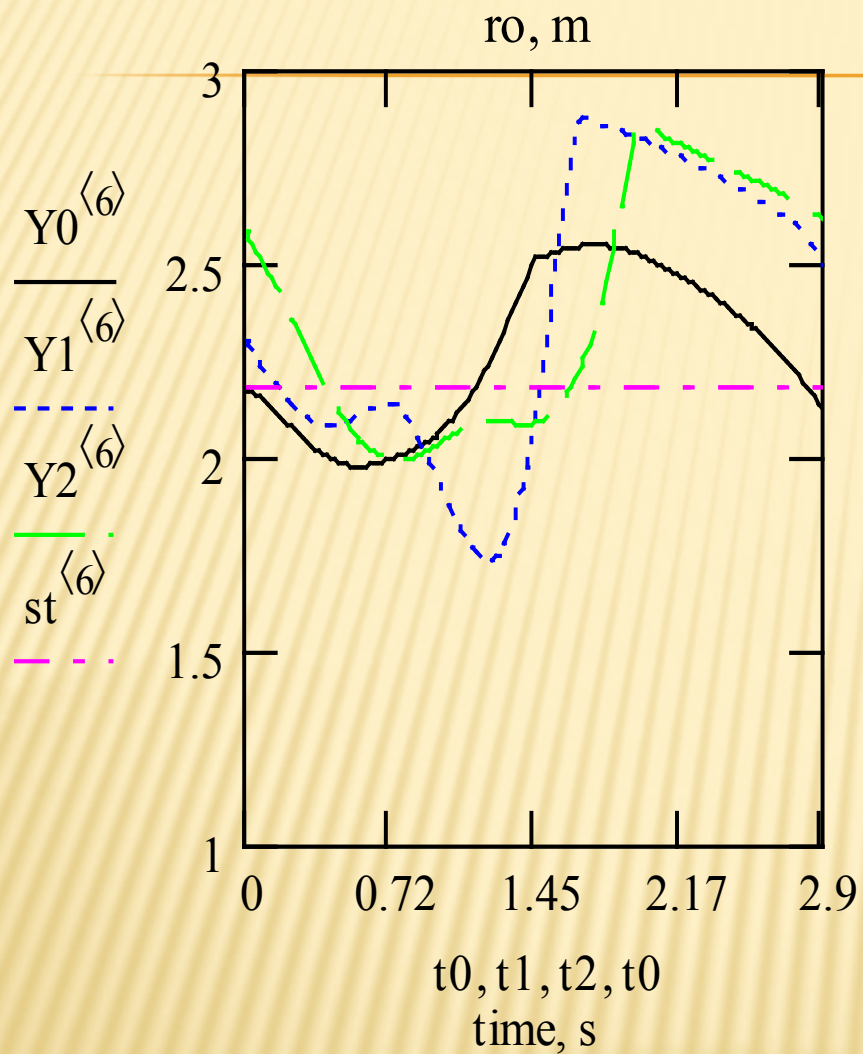


Линейно преместване в генератора - s

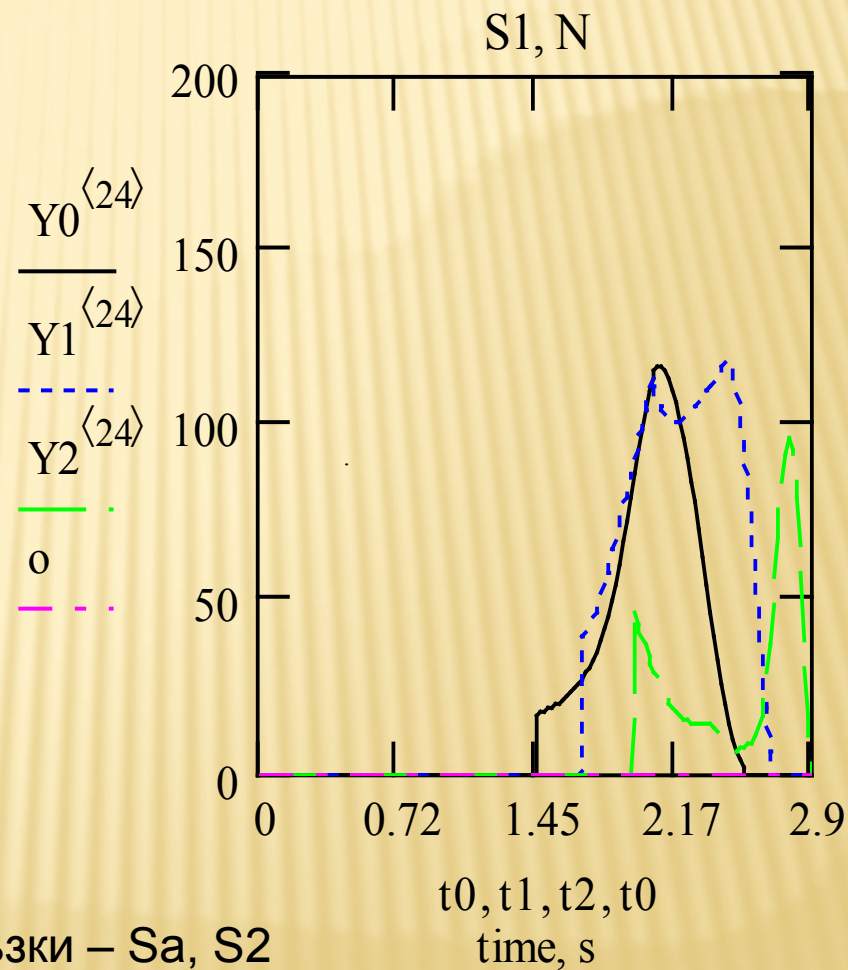
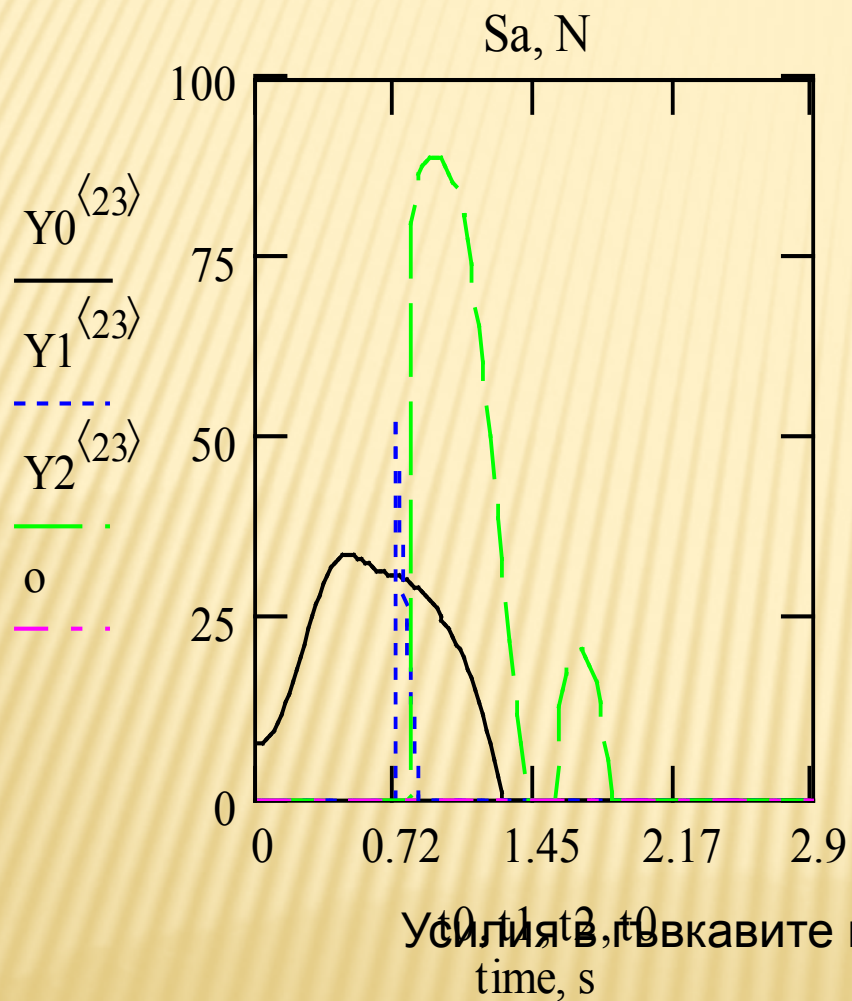


Полярен радиус на котвеното въже - λ





Полярен радиус на вътрешното въже - ρ



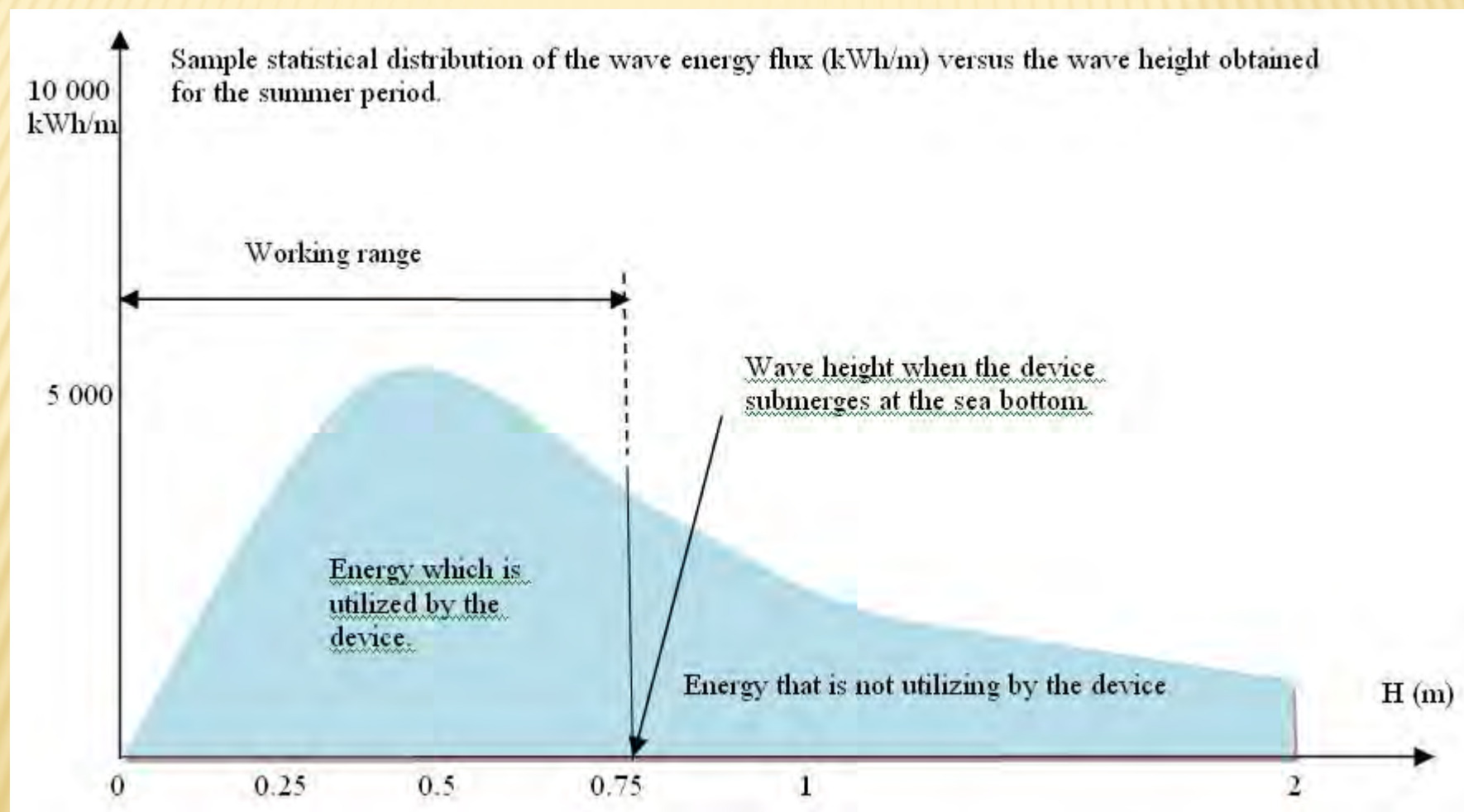
Икономически съображения и перспективи в България

Най-успешно прилаганото до сега плуващо устройство (Wave Energy Converter - WEC) Пеламис е с мощност 750 kW и е предназначено да произвежда енергия при височина на вълните до 10 m. Разполагането му на места с постоянно интензивно вълнение като брега на Ирландия (около 60-70 kW/m), позволява да се получи цена на енергията между 0.08–0.16 Euro/kWh.

Икономическите анализи обаче показват, че за да има инвестиционен интерес към технологията извън Ирландия е необходимо увеличение на тарифата на изкупуване на енергията до 0.30 Euro/kWh!



ИКОНОМИЧЕСКИ СЪОБРАЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВИ В БЪЛГАРИЯ



РАЗРАБОТКА - 2013



РАЗРАБОТКА - 2013



ЕНЕРГИЯТА НА МОРСКИТЕ ВЪЛНИ

Височина на вълната $H[m]$			Специфична енергийна плътност $[kW.s/m^2]$		Phase velocity $C [m/sec]$		Енергиен пренос на 1м широчина от вълновият фронт $[kW/m]$	
Балове	Мин. $H[m]$	Макс. $H[m]$	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
1 бал	0,15	0,25	0,03	0,08	1,21	1,57	0,03	0,12
2 бала	0,25	0,75	0,08	0,70	1,57	2,71	0,12	1,92
3 бала	0,75	1,25	0,70	1,95	2,71	3,50	1,92	6,90
4 бала	1,25	2,00	1,95	5,00	3,50	4,43	6,90	22,34

Таблица1. Енергия на морските вълни, според линейната теория.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ - 2013



**Бъди на гребена
на вълната!**

