



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

Проектиране на роботизирана ВЕЦ с използване на симулирани компютърни модели

Пламен Райков

**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



1. Въведение

Технологии, използващи енергията на водни течения

Този тип технологии могат да се дефинират като системи, които превръщат хидро-кинетичната енергия от течащи води в електричество, механична енергия или други форми на енергия, като например водород. По принцип това са роторни устройства, каквито са например подводните генератори с перки, водни колела, и други. Тези устройства се възползват от плътността на водата, която е 850 пъти по-голяма от тая на въздуха. Очевидно е, че получената енергия за един и същ размер на устройството ще е много по-голяма, когато се получава от вода, което е огромно предимство пред ветрогенераторите, които са много популярни.

2. Съществуващи устройства използващи енергията на водни течения



Фиг.1. Понтонна ВЕЦ с аксиално задвижвана турбина



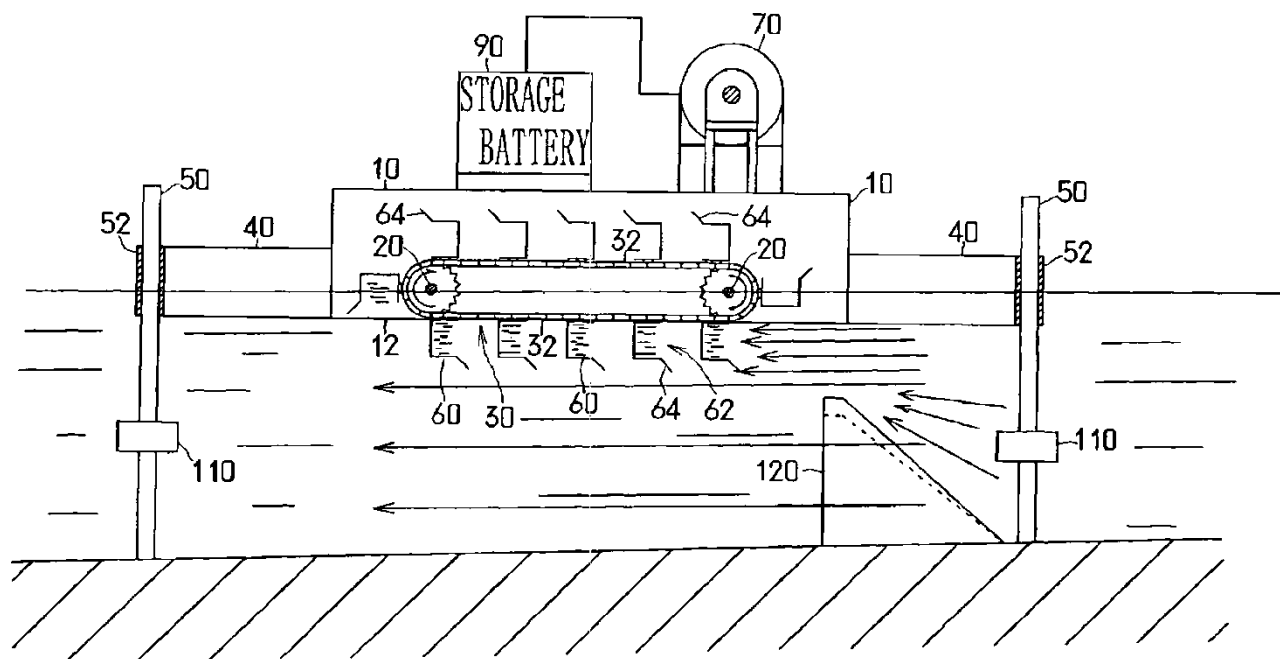
Фиг.2. Кинетична водно задвижвана система.



Фиг.3. Плаваща електростанция тип "Водно колело"

1. Понтонни електроцентрали с разположение на оста на турбината успоредно на водния поток. Недостатък на устройствата е малката им мощност, която е в рамките 2-3 kW.
2. Подводни турбини монтирани на пилон с разположение на оста на турбината успоредно на водния поток. Мощността на тези устройства е в рамките на 35-50 kW. Недостатък на устройствата е необходимостта за построяване на подводен фундамент и извършването на подводни монтажни операции за закрепване на устройството към него. При повреда или при сервизно обслужване отново е необходимо демонтиране на съоръжението, което води до висока цена на поддръжката му.
3. Електроцентрали тип водно колело на течащи води генериращи мощност в рамките на 100 kW до 300 kW. Недостатък на устройствата отново е необходимостта от построяване на подводен фундамент, като в случая обслужването на устройството е значително по-лесно в сравнение с подводните турбини.

Фиг.4. Верижна електроцентрала



Фиг.4. Патент US7,213,398 B2

На фиг е показана схемата на на верижна електроцентрала използваща бавно течаща вода, закрепена на фундаменти.

Недостатъци на това устройство са необходимостта от подводно строителство и не достатъчно добре разработеното насочване на водния поток. След изследване на усилията се установи, че увеличаването на силата упражнявана от потока върху лопатките касае само първия ред.



Цел и задачи

Цел – Разработване и оптимизиране на нов клас роботизирани системи за извличане на енергия от бавно течащи води.

Тези системи трябва да избягват недостатъците на съществуващите устройства: да не се налага строеж на подводни фундаменти и други съоръжения, устройството да бъде мобилно, да може да се обслужва лесно и да извличат висока мощност от водата.

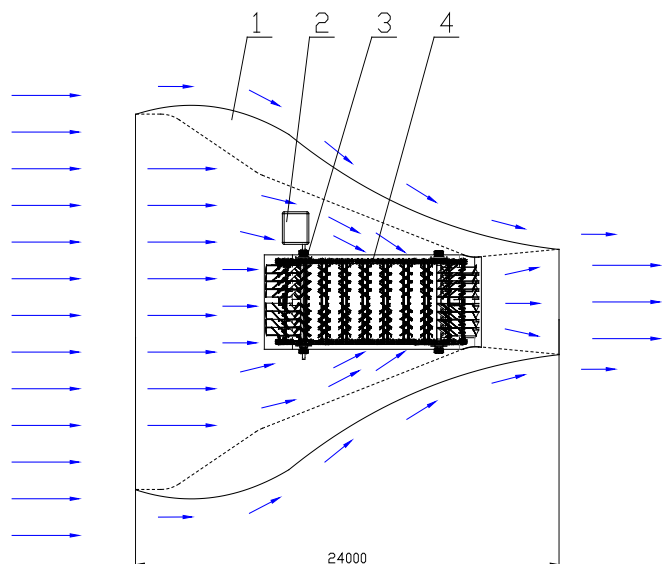
Задачи:

- Формулиране на принципа на действие на устройството и изграждане на различни CAD модели за изследване на характеристиките му.
- Извършване на компютърни флуидни симулации със създадените модели
 - Изследване и оптимизиране на съпътстващи устройства, повишаващи скоростта на водния поток (ускорителен канал).
 - Изследване на 3D модел на системата с помощта на компютърни симулации в програмния пакет SolidWorks с промяна на размерите, отчитащи реалното обтичане с цел намиране на оптималното им съотношение.
 - Определяне на оптималния брой лопаткови редове
 - Изграждане на завършен 3D модел.
- Кинематични симулации и якостни изчисления (определяне на натоварванията в детайлите и възлите и оразмеряването им).

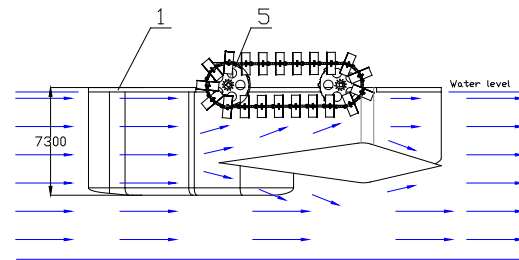


Принцип на работа на устройството и изграждане на неговия CAD модел

Устройството се поставя в река или на канал с необходимата широчина и дълбочина, като скоростта на течение на водата е желателно да е от 2 до 6 m/s. Устройството се застопорява, при което водата преминавайки през направляващ канал задвижва лопатките. Тези лопатки предават кинетичната енергия на водата чрез общата гредя, на която са монтирани към веригата. Веригата от своя страна се задвижва и предава въртящия момент на верижни колела, които задвижват вал свързан с електрогенератор.



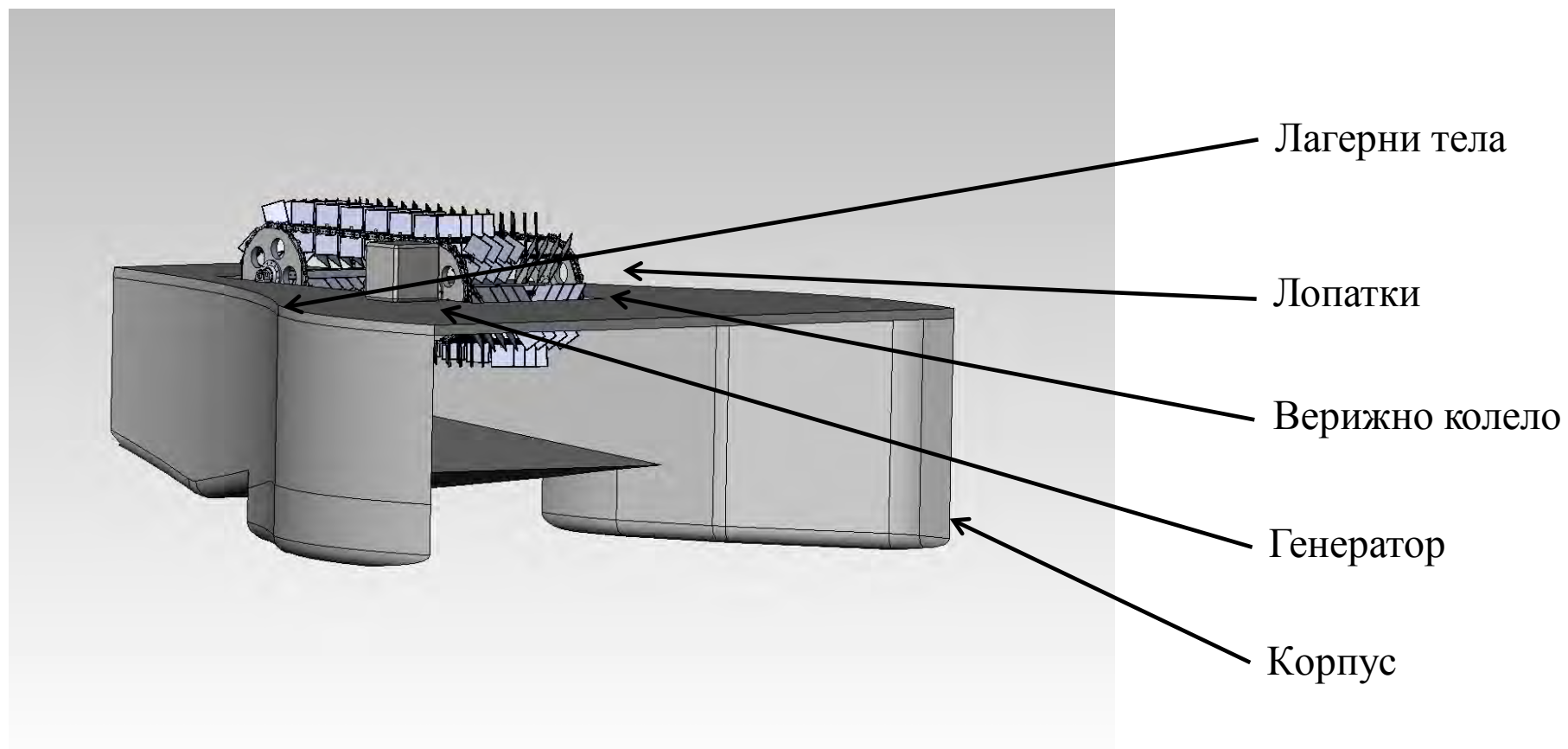
Фиг.5. Принципна схема - поглед отгоре



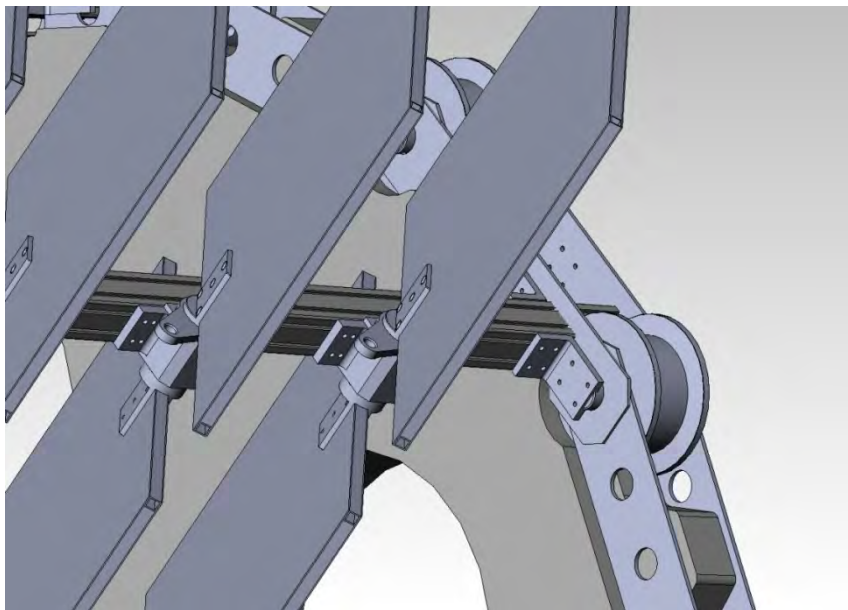
Фиг.6. Принципна схема - поглед отстрани

Модел на устройството

Фиг.7. Основни възли на устройството

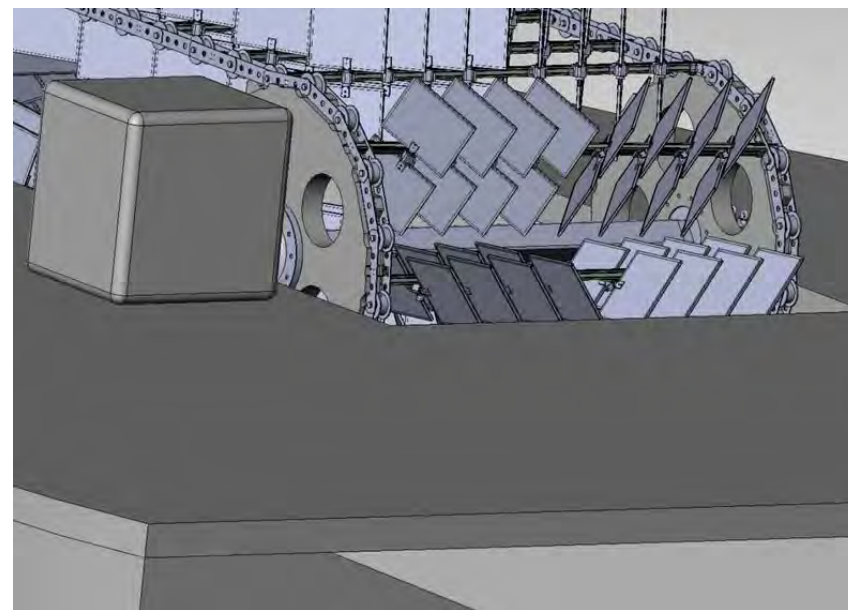


Фиг.7. модел на устройството за компютърни симулации в CAD среда.



Фиг.8. Свързване на лопатките с носещата греда.

Лопатките са неподвижно свързани посредством профилирани детайли към носеща греда. Гредата от своя страна е свързана неподвижно към верижна предавка.

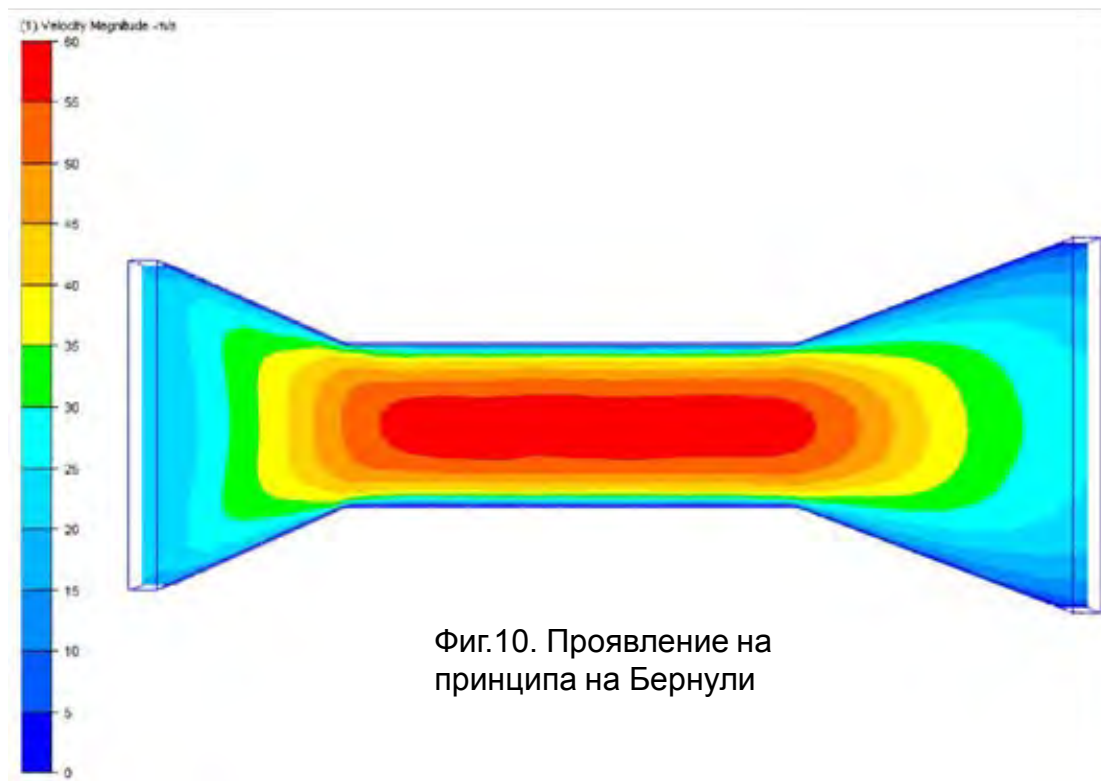


Фиг.9. Свързване на верижните колела с вала, предаване на въртящия момент.

Верижните колела са фиксирани на вал, лагериран с помощта на лагерни кутии със самонагаждащи се лагери. Валът предава въртящия момент на електрогенератор.

Изследване и оптимизиране на съпътстващи устройства, повишаващи скоростта на водния поток.

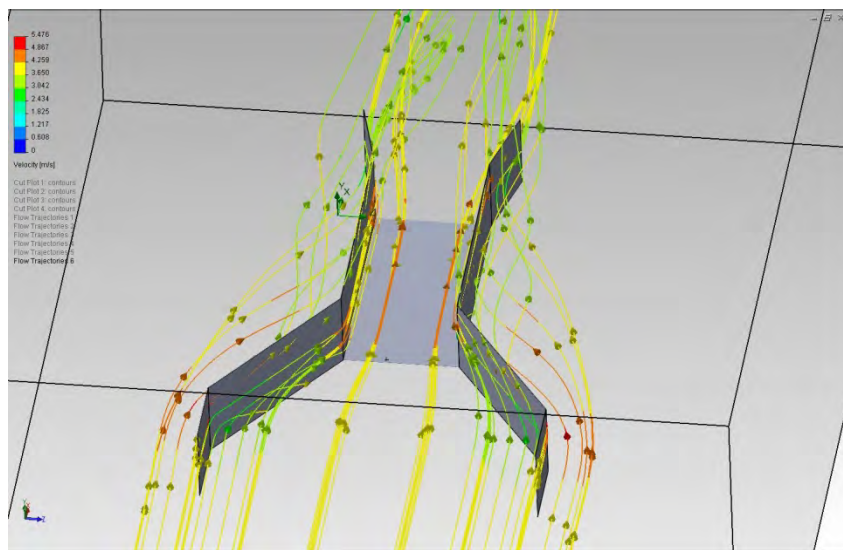
Флуидната симулация е разделена на няколко етапа, като са взети под внимание физическите процеси, които протичат при преминаването на флуида през различни сечения. Първият етап включва използването на проявлението на ефекта на Бернули в конфузорно-дифузорната система.



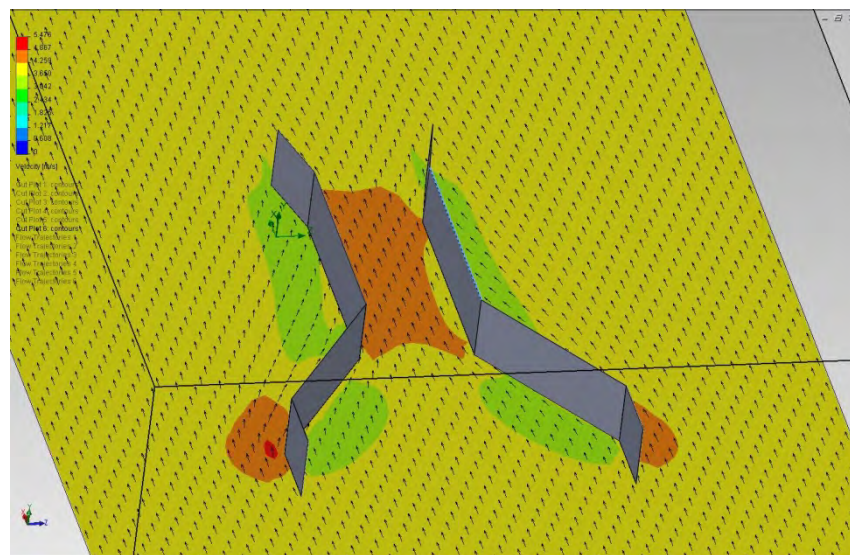
Фиг.10. Проявление на принципа на Бернули

Симулация на ускоряващ канал

Предната част - ускоряващият канал конфузор - е оформена от две странични стени, на които за целите на флуидната симулация се задават различни геометрични размери и различни ъгли между тях. Разработени са триизмерни компютърни модели на ускоряващи канали с различни геометрични параметри: дължина на стените на канала варират от 5 до 25 метра, а ъглите между тях от 5 до 80 градуса. Направена е симулация на обтичане на всеки от моделите с флуид (вода) като се следи изменението на параметрите на потока флуид.



Фиг.11. Обтичане на модел на ускоряващ канал с дължина на стените 5 метра и ъгъл между тях 35°.



Фиг.12. Обтичане на модел на ускоряващ канал с дължина на стените 5 метра и ъгъл между тях 35°. Скорост и направление на скоростта в сечение в равнина успоредна на дъното.

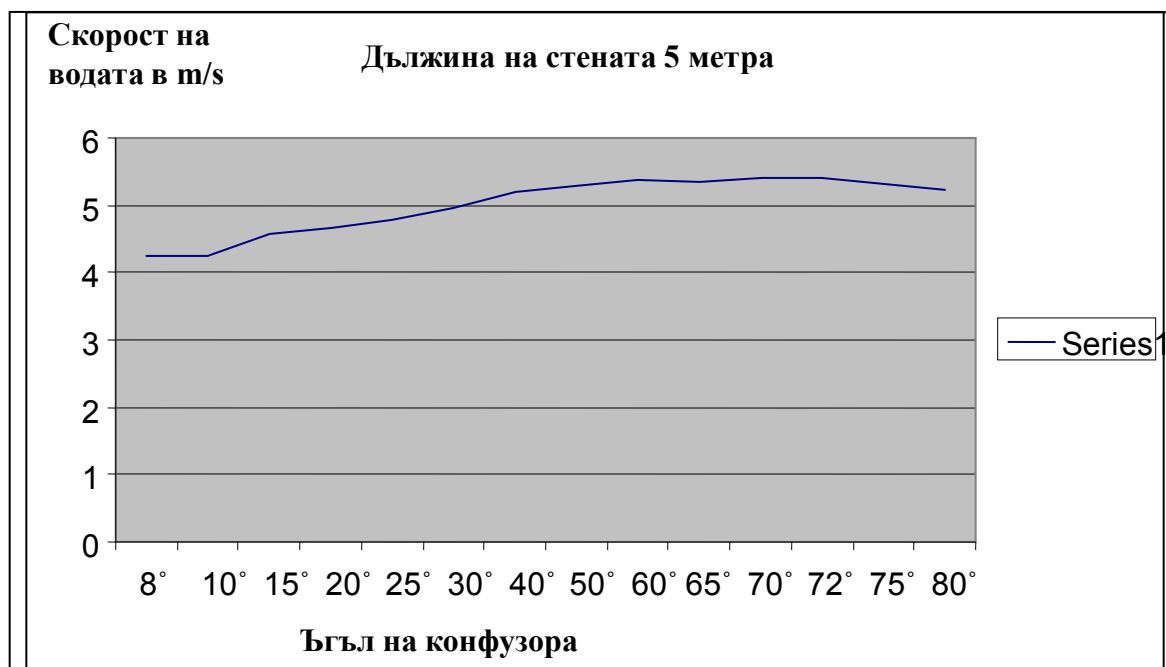


Изследване на зависимостта между ъгъла на стените на ускоряващия канал и повишението на скоростта на водата в правия му участък

Интерес представлява промяната на скоростта на флуида, тъй като получена мощност от турбината, монтирана след ускоряващия канал, зависи от този параметър.

Зададената начална скорост на флуида при симулацията е 4 m/s.

Разгледани са три различни типа ускоряващи канали, като за всеки от тях са разработени модели с различни геометрични параметри.



Фиг.13. Зависимост на ускоряване на водата в канала в зависимост от ъгъла на конфузорния участък.

Числен подход за изследване на преобразувателя????

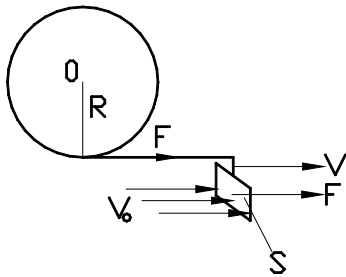
Нека скоростта на водната струя е V_0 . Ако приемем, че лопатката е неподвижна, то количеството вода, което се намира в мислената призма образувана от площта S на лопатката и дължината на водния поток ($V_0 \cdot \Delta t$), където Δt е малък период от време, е това, което лопатката ще срещне в този период от време. Масата на тази вода Δm е:

$$\Delta m = \rho_0 \cdot S \cdot V_0 \cdot \Delta t$$

ρ_0 – е плътността на водата

При удара предполагаме, че водата ще изгуби изцяло скоростта си, т.е. крайният импулс е $P_2=0$. Тогава:

$$P = \Delta m \cdot V_0 = \rho_0 \cdot S \cdot V_0 \cdot V_0 \Delta t$$



$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \rho_0 S V_0^2$$

$$F = \rho_0 S (\Delta V)^2$$

Тъй като лопатката се движи с постоянна скорост V (работна скорост) в горната формула би трябвало да бъде отчетена относителната скорост т.е

$$\Delta V = V_0 - V.$$

Разликата между тези две скорости ни дава силата на натиск, която извличаме от водния поток, а именно:

$$F = \rho_0 S (\Delta V)^2$$

Това е всъщност е и силата, която създава въртящия момент $T = F \cdot R$ или

$$T = \rho_0 \cdot S \cdot R (\Delta V)^2$$

За да отчетем влиянието на допълнителни фактори намаляващи въртящия момент е необходимо да въведем определен брой коефициенти: Например, ако лопатката е завъртяна под ъгъл 45 градуса тогава във формулата за въртящият момент T ще се добави и нов множител $k\alpha = 0,71$, отразяващ намалената площ на лопатните групи спрямо така добивания въртящ момент при 0 градуса.

Друг коефициент е триенето, породено от въртенето и плъзгането на части от устройството за добиване на енергия, както и КПД. на акселераторите и генератора и други съпътстващи устройството ($k_A, \dots, k_n$). Ако с k означим влиянието на всички тези коефициенти, формулата придобива вида:

$$T = k \cdot \rho_0 \cdot S \cdot R [\Delta V]^2$$

Оттук мощността, добивана на изходния вал на устройството би била:

$$P = T \cdot \omega = T \cdot (V / R)$$

$$P = k \cdot \rho_0 \cdot S \cdot R (\Delta V)^2 = k \cdot \rho_0 \cdot S (\Delta V)^2 V$$

За да извлечем максимална мощност от водния поток е необходимо да намерим оптималната разлика в скоростите на движение на водния поток и линейната скорост на лопатките на устройството.

Ако приемем ,че добиваната от водата мощност $P(V) = \text{const}$, както и че е множителите също са $= \text{const.}$, то можем да търсим оптимум на функцията

$$(V_0 - V)^2 \cdot V,$$

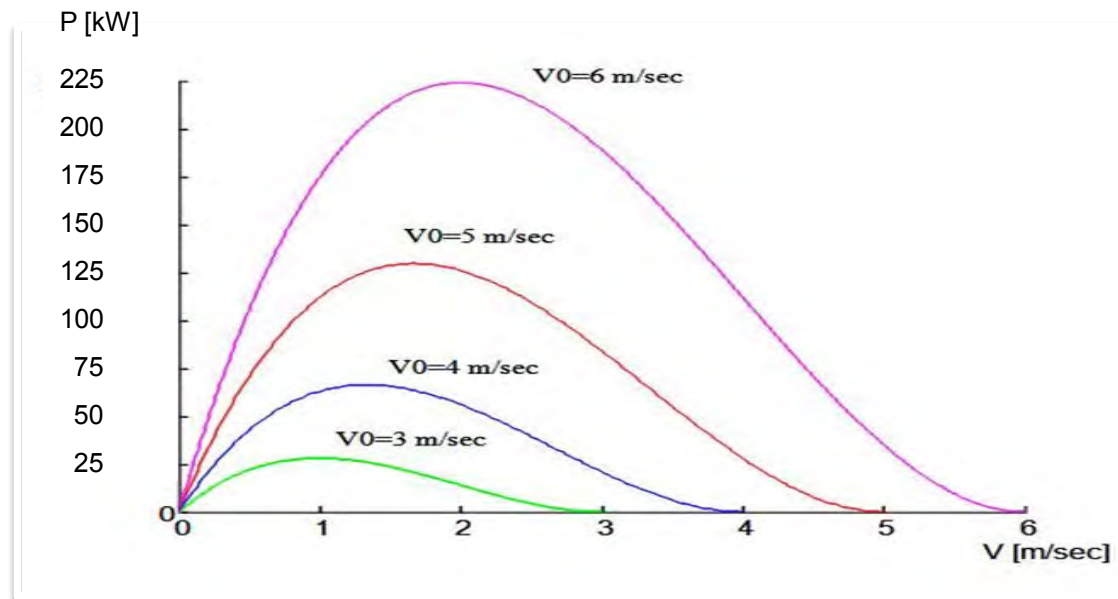
Първо е ясно че когато V е нула мощността е също нула т.е $P(0)=0$. Второ, когато $V_0 = V$, също $P(V_0)=0$. И понеже $P(V)$ е непрекъснатата функция, следователно в интервала $(0, V_0)$ ще има максимум. Намираме първата производна

$$\frac{dP(V)}{dt} = \text{const.} (3V^2 - 4VV_0 + V_0^2)$$

Визуализираме тази функция и установяваме,че водния поток ще отдава максимална мощност когато скоростта на лопатките е $1/3$ от скоростта на течението и когато скоростта на лопатките е по-голяма и близка до скоростта на водата в канала отдаваната мощност бързо ще клони към 0. Затова параметрите на устройството трябва да се регулират така че лопатките да имат скорост близка до $V_0 / 3$. Максималната(оптимална) мощност ще бъде

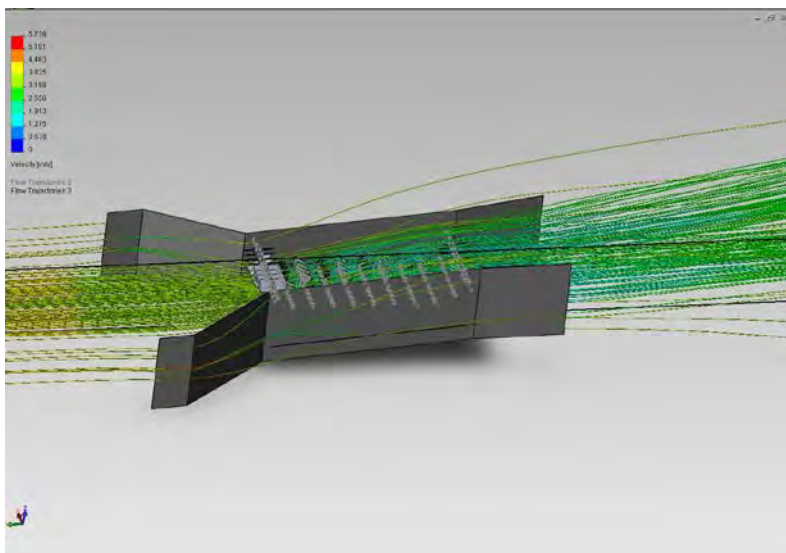
$$P_{\max} = P\left(V = \frac{V_0}{3}\right) = \frac{4}{9} k \rho_0 S V_0^2$$

Числен подход за изследване на преобразувателя????

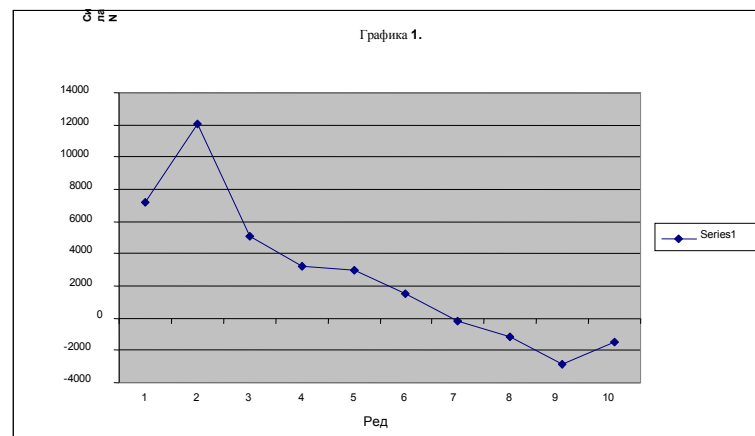


Фиг.14. Графика на максималната мощност при различни съотношения между скоростите на водата и скоростта на лопатките на устройството от 1 до 6 m/s.

Модел с хоризонтално разположен ротор, наклонено дъно и втори конфузореи участък на страничните стени.



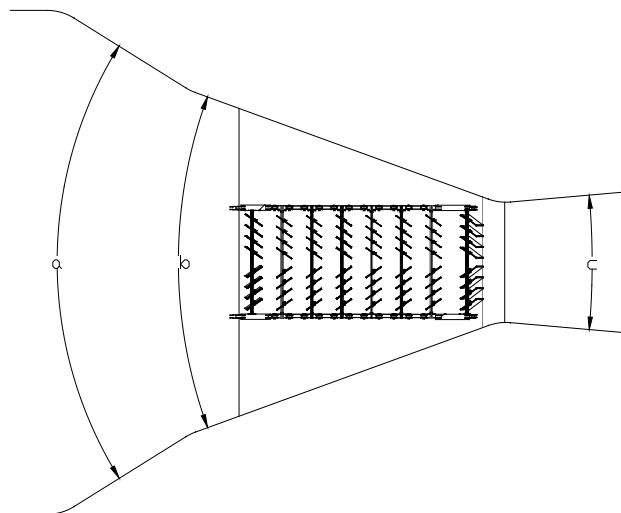
Фиг.15. Изследван модел



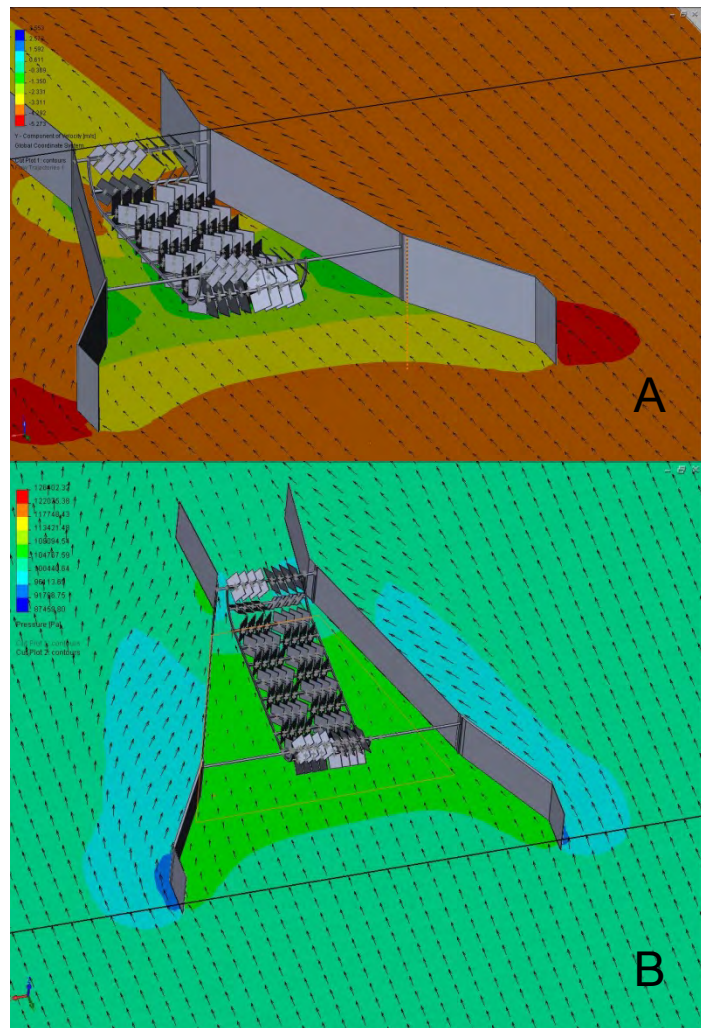
Фиг.16. Сила върху лопатките по редове.



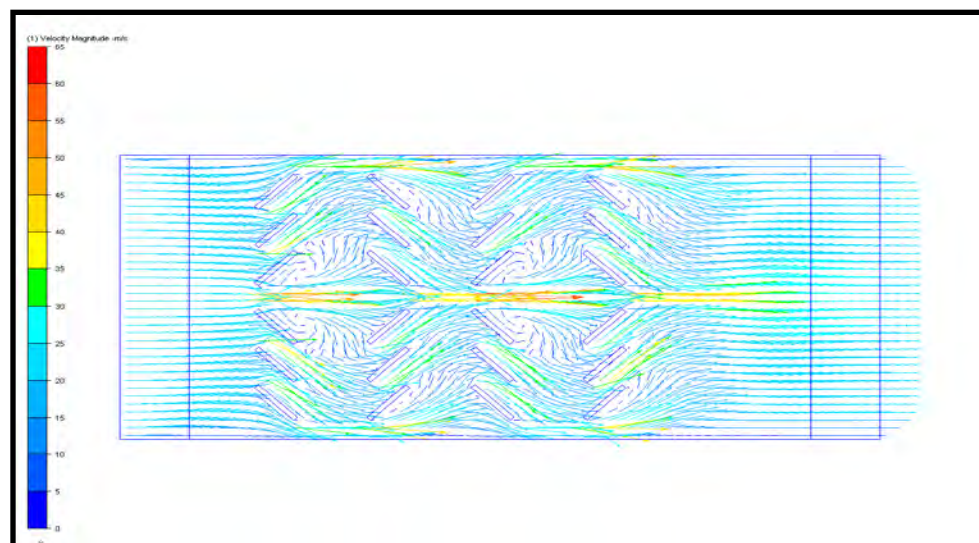
Максималната сила получена при този модел е от получената при началните модели, и поради тази причина по нататъшното изследване е съсредоточено върху оптимизиране на характеристиките на този модел.



Фиг.17. Схема на устройството.



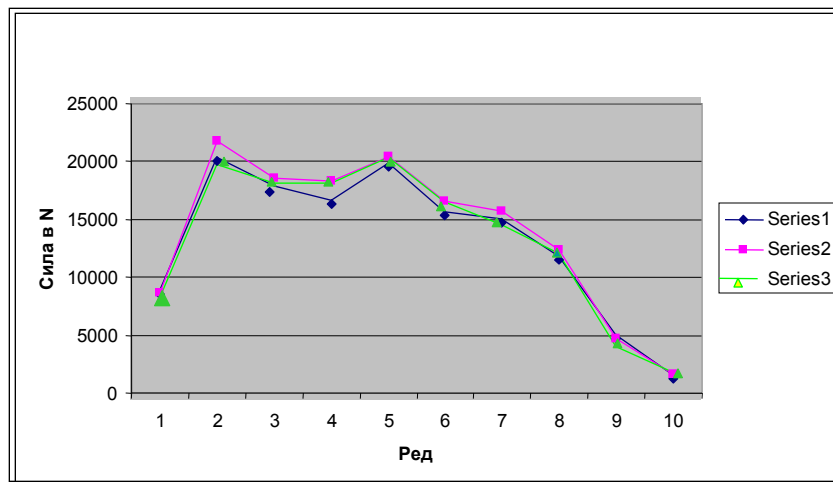
Фиг.18. Разпределяне на скоростта (А) и налягането (В) по продължение на редовете на устройството



Фиг.19. S-образно обтичане на лопатките на преобразувателя, показващо ускоряването на водния поток между редовете

Резултати от симулациите на избрания вариант при промяна на геометричните му размери

В графичен вид са представени резултатите от симулациите, при които е изчислена силата действаща върху всеки ред лопатки при ъгъл на първия входящ конфузور съответно 30, 35, 40 градуса и на втория конфузурен участък съответно 5, 10, 15, 20, 25 градуса.



Фиг.20. Сила по редове

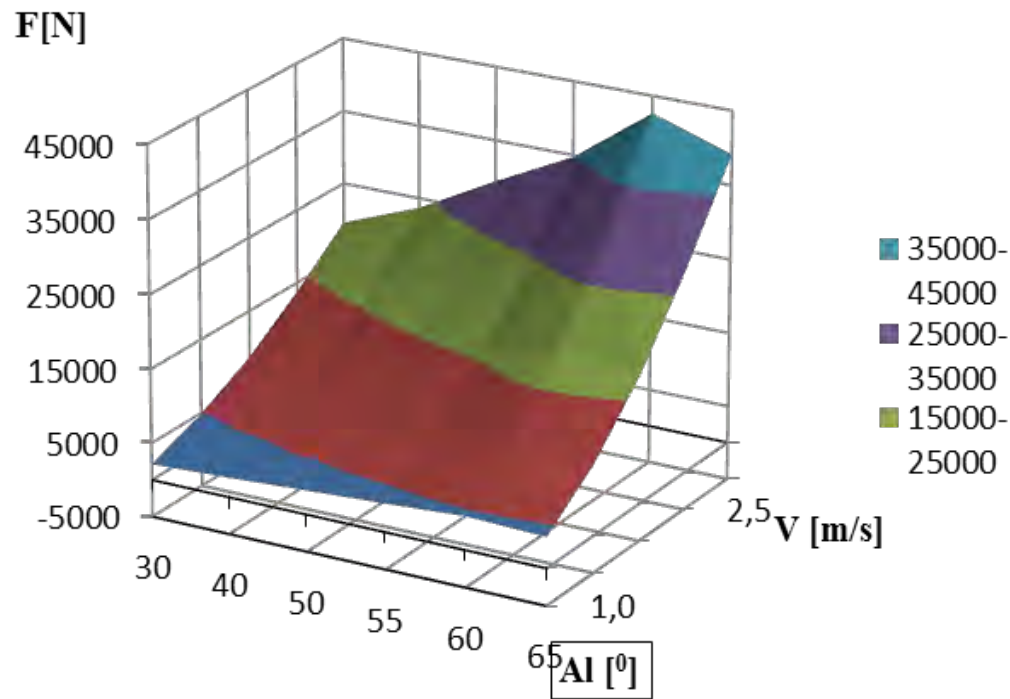
Линия 1 (**син цвят**) показва резултата за ъгъл при входа на устройството 30° и ъгъл 20° при ротора

Линия 2 (**червен цвят**) показва резултата за ъгъл при входа на устройството 35° и ъгъл 20° при ротора

Линия 3 (**зелен цвят**) показва резултата за ъгъл при входа на устройството 40° и ъгъл 20° при ротора

Изводи

П От направените симулации беше намерен оптималния ъгъл при входа на устройството, който предизвиква най-голямо ускорение на водния поток. В конфузора е добавена за първи път втора трапецовидна част (второ конфузорна част), която спомага за повишаване на добиваната енергия от задните редове лопатки. Така на практика става възможно оптималното използване на целия ротор.



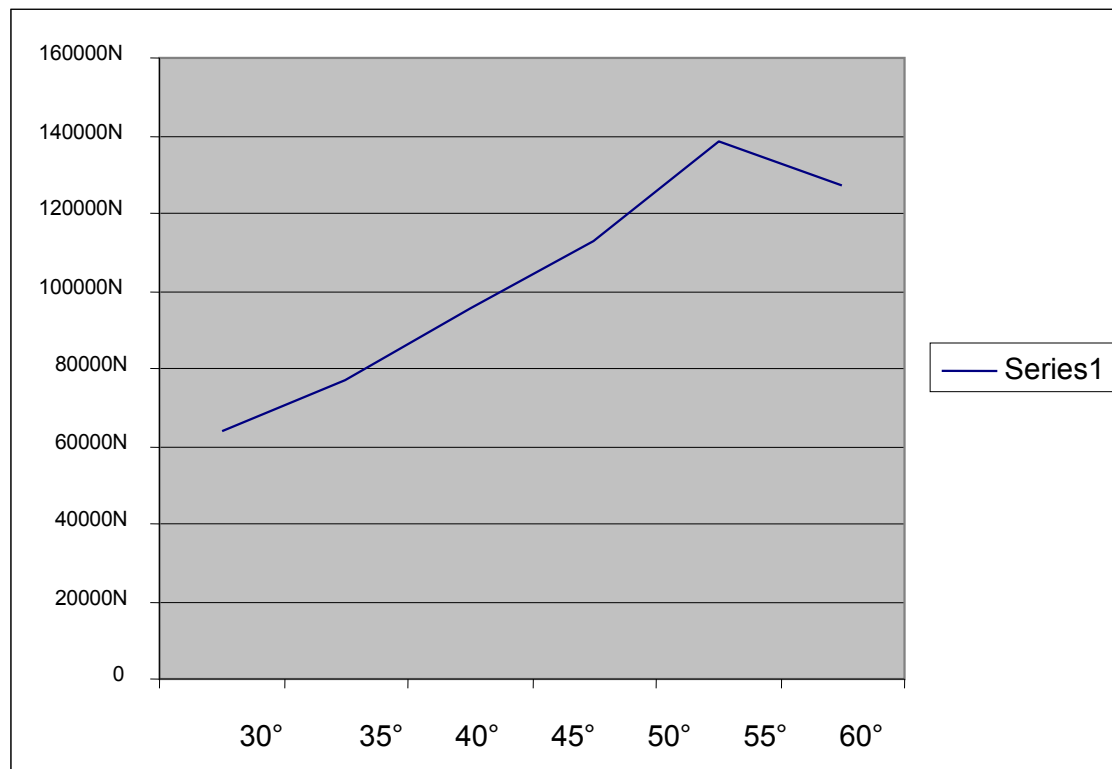
Фиг.21. Сила върху лопатките в зависимост от скоростта на водата и наклона на лопатките.

Изследване на зависимостта между ъгъла на завъртане на лопатките и силата упражнена от водата върху тях

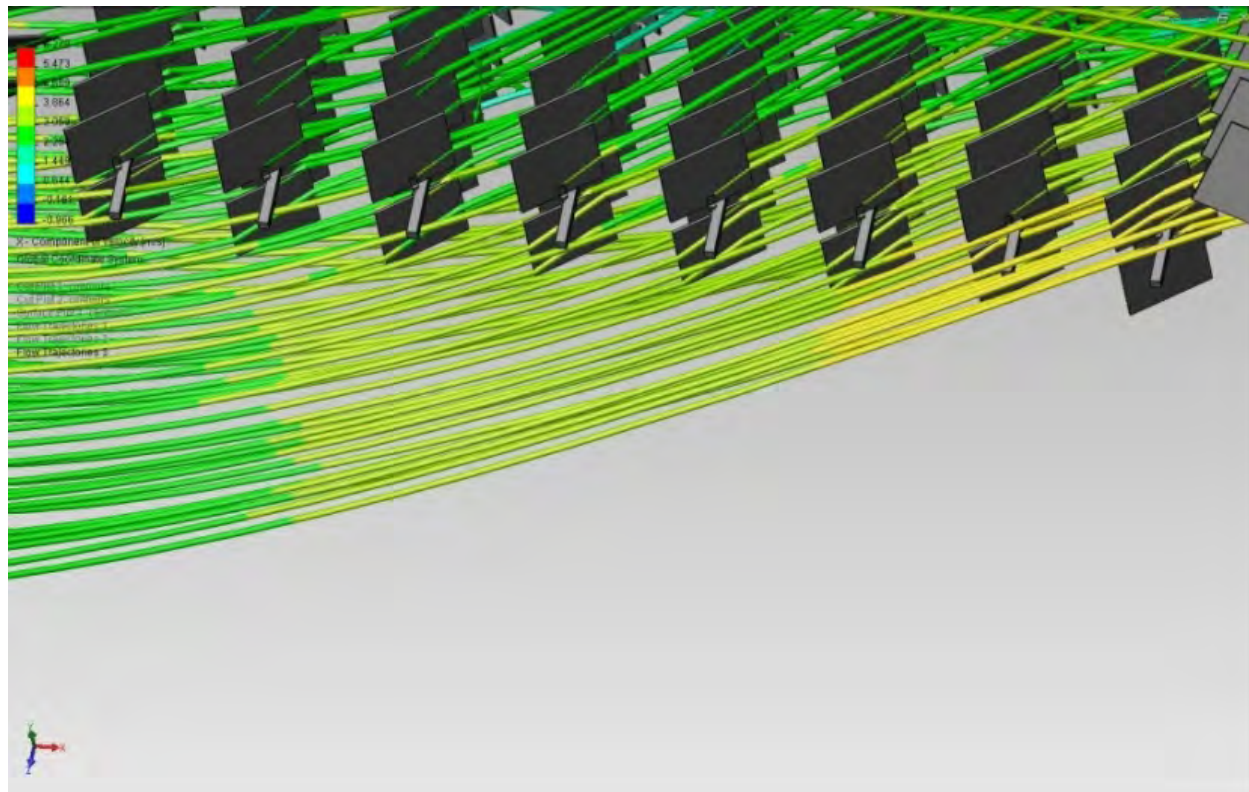
- В настоящия раздел с оптимизирания в предходните раздели модел ще бъдат проведени компютърни симулации с използване на модула SolidWorks Flow Simulation с цел да бъде установена зависимостта между скоростта на течение на водата и силата която тя упражнява върху лопатките.
- Същевременно ще бъде разгледана и зависимостта между ъгъла на завъртане на лопатките и силата упражнена от водата върху тях с цел допълнително оптимизиране на устройството.
- Проведени са проведени симулации със ъгли на завъртане на лопатките от 30°, 40°, 50°, 55°, 60°, 65°

Зависимост между завъртането на лопатките на съоръжението и силата на водата върху тях

Скорост на водата 4 m/s

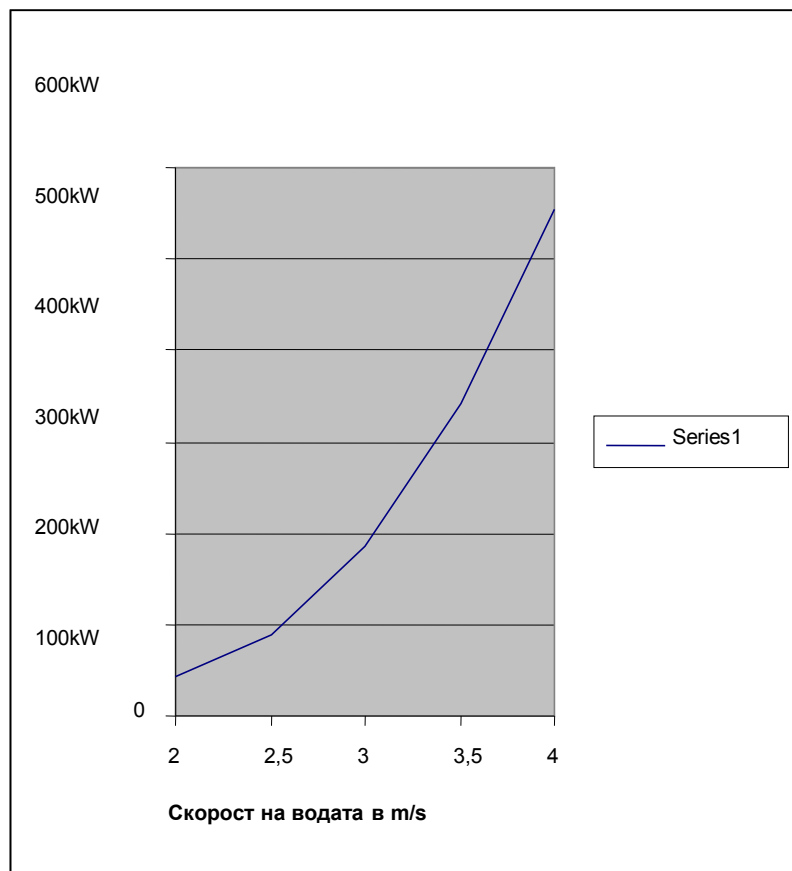


Фиг.22. Зависимост между ъгъла на завъртане на лопатките на устройството и силата упражнявана от водата върху тях



Фиг.23 Компютърна симулация на обтичане на перките на ротора на модела.

Мощност на съоръжението



Резултати и анализ

За да се постигне определянето на изходящата мощност на конструкцията е необходимо да се изследват стойностите на изходящата ъглова скорост и изходящия въртящ момент. Стойността на изходящата мощност се получава след умножаване на получените стойности на тези две величини по формулата

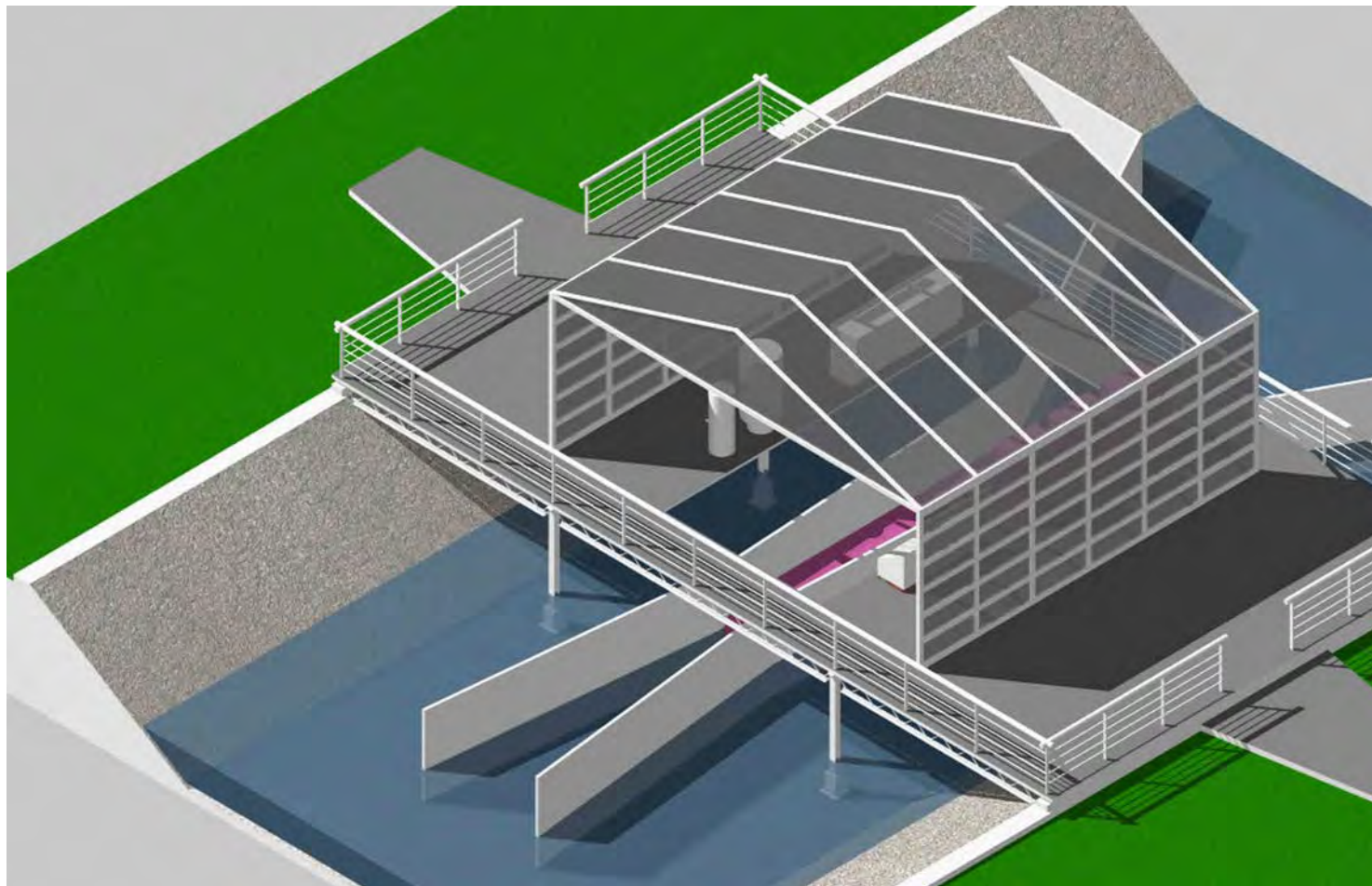
$$\text{Мощност[kW]} = (\text{Въртящ момент[Nm]} * \text{Обороти в минута [rpm]}) / 9552$$

$$P[\text{kW}] = \eta_1 * \eta_2 (T [\text{Nm}] * n [\text{rpm}]) / 9552$$

Фиг.24. Мощност на съоръжението при ъгъл на лопатките 55°

Постигнати резултати

- Разработен е компютърен модел на нов клас ВЕЦ за извличане на енергия от бавно течащи речни течения и иригационни канали, базиращ се на:
 - създаване на наклон на лопатките спрямо направлението на водното течение, с което се постига по-добро обтичане на следващите редове лопатки
 - разделяне на потока на части, с което се постига по-пълно отдаване на кинетичната му енергия върху лопатките на преобразувателя
- Създаване на S –образно движение на водния поток с цел неговото допълнително ускоряване между редовете лопатки
- Създаване на ускорителна система с дъно, двоен конфузор и наклон на преобразувателя спрямо дъното, с което се постига значително по-добро извличане на енергията на водния поток.
- Оптимизиране на скоростта на веригата, посредством промяна на ъгъла на лопатките.



Фиг.25. Общ видна съоръжението.



Благодаря за вниманието !