



Keppel FELS Baltech Ltd

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА
KEPPEL FELS BALTECH LTD.

МАГИСТЪРСКА ДИПЛОМНА РАБОТА - РЕЗЮМЕ

**Разработване и внедряване на инженерен
софтуер за оценка на устойчивостта на
плоски морски конструкции по правилата
на водещите класификационни организации**

Дипломант:
инж. Васил ЙОРДАНОВ

Ръководител:
Доц. д-р. инж. ТРЕНДАФИЛОВ

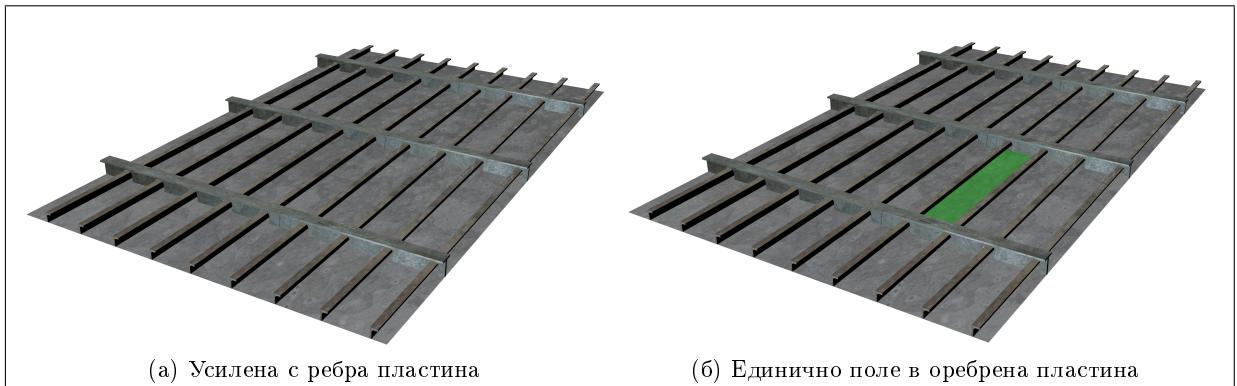
29 юни 2012 г.

1 Въведение

Изследването на причините за разрушаване на съоръженията е показвало, че за надеждната им работа не е достатъчно само да бъдат яки, необходимо е също да се осигури запазването на първоначалната форма на равновесие, както на отделните елементи, така и на конструкциите като цяло.

При еластично деформираме тела, равновесното състояние зависи от величината на действащите сили. Така под въздействието на настискови сили, еластично деформираме тела променят равновесното си положение и се изкълчват.

От конструктивна гледна точка, морските съоръжения са съставени предимно от оребрени плоски стоманени пластини виж Фиг. 1а. Тяхното значение за корабостроенето може да се види от това че те съставляват 70 % от теглото на корабния корпус. За да не се изкълчват и за да се увеличи устойчивостта им, пластините се усилват с ребра. Усилената с ребра пластина се разглежда като съставена от толкова отделни пластини, колкото са полетата виж Фиг. 1б, на които е разделена от ребрата, като за всяко поле се прилагат методики за оценка на неговата устойчивост.



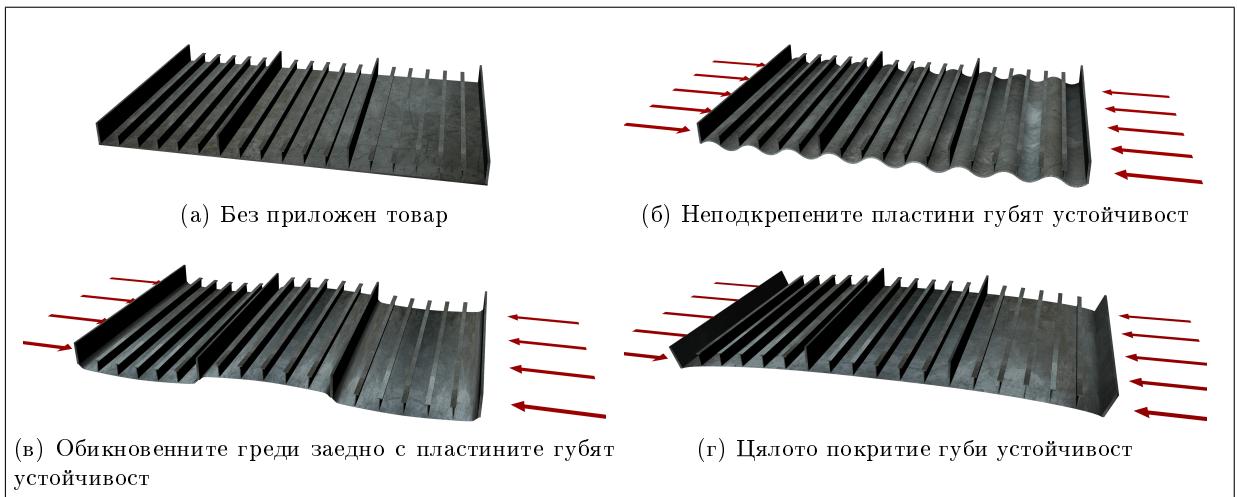
Фигура 1: Основни конструктивни елементи в морските конструкции

Основният проблем при анализа на общата якост на морските съоръжения и по-точно при проверката за загуба на устойчивост е големият брой на конструктивните елементи, от които е съставена конструкцията. Поради тази причина са проведени множество анализи и наблюдения върху поведението на морските конструкции, подложени на настискови усилия. По този начин е потвърден основният модел на загуба на устойчивост за оребрените пластини виж Фиг. 2

Целта на дипломната работа е да се разработи компютърна програма, която автоматизирано да оценява устойчивостта на неподкрепените пластини в морските съоръжения, тъй като това са конструктивните елементи, чиито критично Ойлерово напрежение е най-малко.

2 Съвременни практики

В тази точка са представени основните практики прилагани в корабостроителната индустрия за оценка на устойчивостта на морските конструкции, както и на техните конструктивни елементи срещу изкълчване. Също така са изжлоени част от техните силни и/или слаби страни, както и особености при прилагането им.



Фигура 2: Последователност за загуба на устойчивост за оребрена пластина

2.1 Метод на крайните елементи

Методът на крайните елементи позволява да се реши, чрез дискретизация, частно диференциално уравнение, за което се търси достатъчно „благонадежно“ решение. В конкретният случай за оценката на устойчивостта на неподкрепените пластиини (и не само на тях, а на всички конструктивни елементи) срещу изкълчване е необходимо да се реши числено уравнението за безразлично равновесие на пластина:

$$\nabla^4 w = \frac{1}{D} \left(q + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

Основният проблем при Ойлеровата постановка на задачата е че метода дава адекватни резултати (но не гарантира намирането на всички възможни решения) при множество ограничения. Някой от особеностите при използването на МКЕ за анализ на конструктивната устойчивост са:

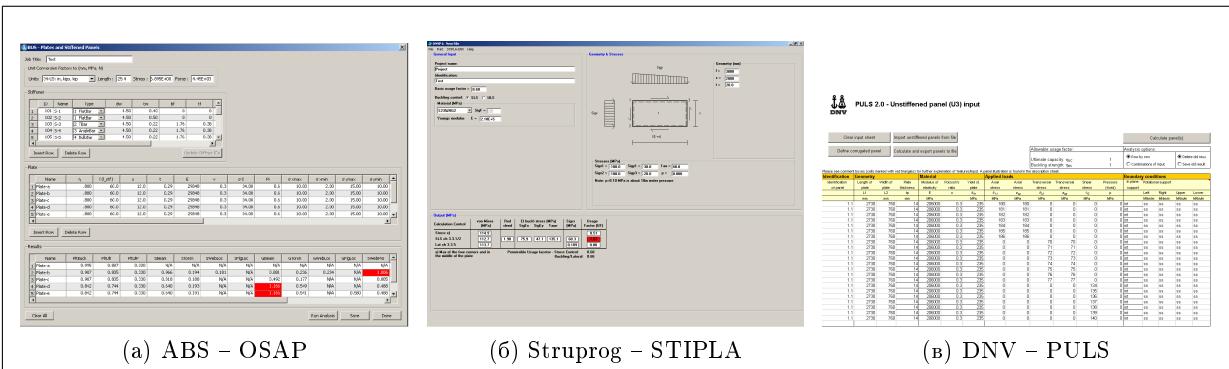
- Изисква се изключително "ситна" изчислителна мрежа (голям брой крайни елементи)
- Резултатите ще бъдат коректни само ако деформациите при линейният анализ с метода на крайните елементи са малки
- Получава се конкретно решение за конкретна задача – не води до аналитично решение, в което може да се намери влиянието на един или друг параметър.

Друг недостатък е че резултатите се представят в графичен вид за всеки получен кричичен товар. Решенията се търсят за цялата конструкция и често броят на решенията е ограничен до 10. Няма възможност да се изследва само даден район от конструкцията (нито да се види кога точно този район би загубил устойчивост). Единствено се намират решения за първите 10 (това число може да е различно за различните компютърни програми) конструктивни елементи, които първи загубват устойчивост и преминават в неустойчиво структурно равновесие.

2.2 Ръчна проверка по правилата на класификационните организации

Числената проверка на неподкрепените пластиини за оценка на тяхната устойчивост срещу изкълчване се прави по правилата на съответните класификационни организации, като

за определянето на външните натоварвания се използват резултати от предходен анализ с метода на крайните елементи. Конструкцията може да не е моделирана в детайли, а е необходимо площта на съответните основни сечения максимално да се доближава до реалната. В този случай може да се използва относително "едра" изчислителна мрежа от крайни елементи, чиито размери често се правят равни на рамовата шпация в съответните райони. По този начин изчислението с вътрешните усилия в конструктивните елементи се извършва за относително кратко време, а получените стойности следва да бъдат завишени с цел да се компенсира неточността от големината на изчислителната мрежа.



Фигура 3: Съществуващи компютърни програми за оценка на устойчивостта на плоски панели, работещи по правилата на класификационните организации

Имайки числените стойности на вътрешните усилия за даден район, както и конструктивни чертежи за същия район, проверката за загуба на устойчивост се прави ръчно като размерите на неподкрепените пластини се вземат от конструктивните чертежи (както и тяхните физични характеристики), а вътрешните усилия се определят директно от резултатите получени от метода на крайните елементи за съответният район където се намира неподкрепения панел, за който се извършва проверката.

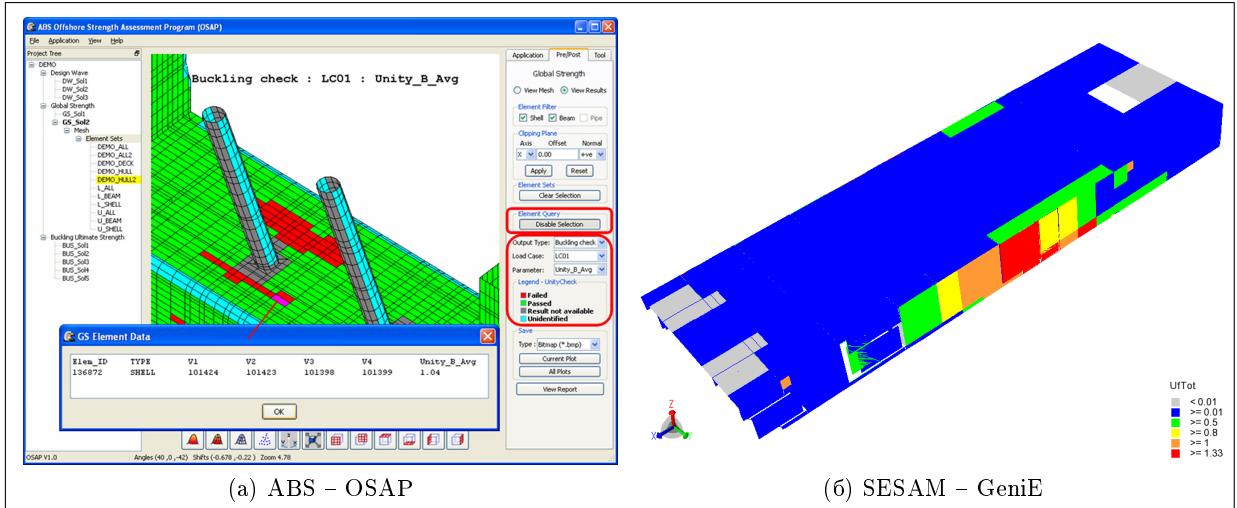
Този метод един от неефективен, поради това че броят на неподкрепените пластини, които трябва да се изследва е от голям поръдък, а всички натоварвания, свойства и размери следва да се въведат ръчно в софтуерните приложения (често тези приложения се предоставят директно от класификационните организации) за да може да се оцени тяхната устойчивост срещу изкълчване, виж Фиг 3.

Резултатите от тези компютърни приложения се представят в числен вид, показващ числените стойности на утилизационният коефициент, отчитащ граничната стойност на допълнителните външни натоварвания, които съответния конструктивен елемент може да поеме, преди изчерпване на носещата му способност и прехода му в неустойчиво структурно равновесие.

2.3 Автоматизирана проверка по правилата на класификационните организации

Числената проверка на неподкрепените пластини за оценка на тяхната устойчивост срещу изкълчване се прави по правилата на съответните класификационни организации, като за определянето на външните натоварвания се използват резултати от предходен анализ с метода на крайните елементи. Конструкцията се моделира в детайли с помощта съответните софтуерни приложения, дефинират се границите на отделните неподкрепени панели (в повечето случаи това се извършва автоматично от съответния софтуер) и след това за определянето на външните натоварвания се прави анализ на конструкцията чрез метода на

крайните елементи. Резултатите получени от тези приложения са представени в графичен вид, виж Фиг. 4, показващ числените стойности на утилизационният коефициент, отчитащ граничната стойност на допълнителните външни натоварвания, които съответния конструктивен елемент може да поеме, преди изчерпване на носещата му способност и прехода му в неустойчиво структурно равновесие.



Фигура 4: Автоматизирани компютърни програми за оценка на устойчивостта на плоски панели, работещи по правилата на класификационните организации

Тези приложения са удобни и дават бързи резултати (ако не вземаме под внимание времето необходимо за анализа чрез метода на крайните елементи), като единственото неудобство е че конструкциите трябва да се моделират в детайли, което значително усложнява и удължава цялата процедура.

3 Използван подход

В тази точка са представени същността на конкретният технически проблем, който следва да бъде изследван, мотивацията и ползата от неговото решаване.

3.1 Дефиниране на конкретният технически проблем и мотивация за неговото решаване

В точка 2 са представени наличните възможности за оценка на конструктивната устойчивост на морските конструкции. Общий недостатък на представените методики е че са прекалено времеемки поради различни обстоятелства. Докато при ръчната проверка по правилата на класификационните организации се губи много време във въвеждането на размерите, вътрешните усилия и характеристиките на неподкрепените пластини, то при автоматичната проверка по правилата на класификационните организации най-продължителен е периода за подробното дефиниране на геометрията на изследваната конструкция.

И при двете налични методики за оценка на конструктивната устойчивост на неподкрепените пластини по правилата на класификационните организации, няма техническа възможност за оптимизиране на процеса, тъй като най-трудоемките процеси се извършват ръчно, което е скъп и бавен процес.

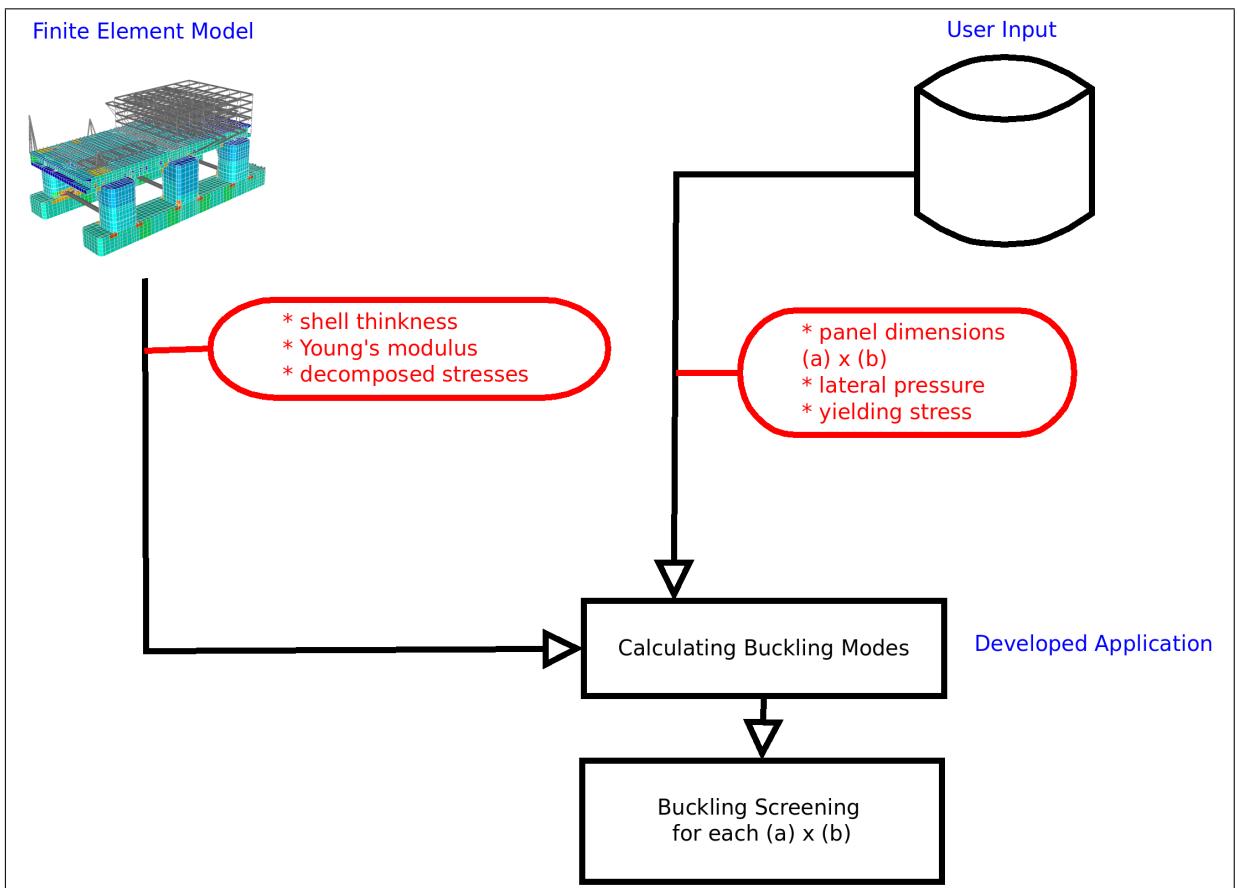
Възможностите за оптимизация на изследваната конструкция по отношение на устойчивостта и към изкълчване са силно ограничени. Това е така поради прекалено дългото време нужно за извършване на една итерация.

Основният технически проблем може да се дефинира като невъзможността за оптимизация на основната конструктивна подредба на морското съоръжение по отношение на устойчивостта му срещу изкълчване, поради големият брой на конструктивните елементи и различните комбинации на разпределението им в цялостната конструкция. Този проблем се утежнява допълнително от човешкият фактор, който към настоящият момент е критичен за този вид анализ.

Ползите от една методика предлагаща възможност за лесна проверка на множество комбинации от подредби на конструктивните елементи в една конструкция биха позволили нейната своевременна оптимизация не само по отношение на устойчивостта и към наддължно огъвъване, но и по отношение на нейното тегло и цена.

3.2 Същност и описание на приложенияя подход

За решаването на техническия проблем дефиниран в точка 3.1 е нужно да се сведе до минимум човешкото участие в цялостния процес на анализа. На Фиг. 5 е показана принципната схема на използваният метод, с който се цели минимизиране на човешкия фактор.



Фигура 5: Логическа схема на предложния метод

В процедурата се предлага използването на опростен крайноелементен модел, с който ще се изчислят вътрешните усилия в крайните елементи, а големината на критичните не-

подкрепени пластини ще се задава ръчно от потребителя. По този начин имайки усилията и физичните характеристики за всяка точка от крайноелементния модел на конструкцията, ние поставяме критичните панели във всяка една точка и отчитаме дали това положение е опасно за съответният панел или не.

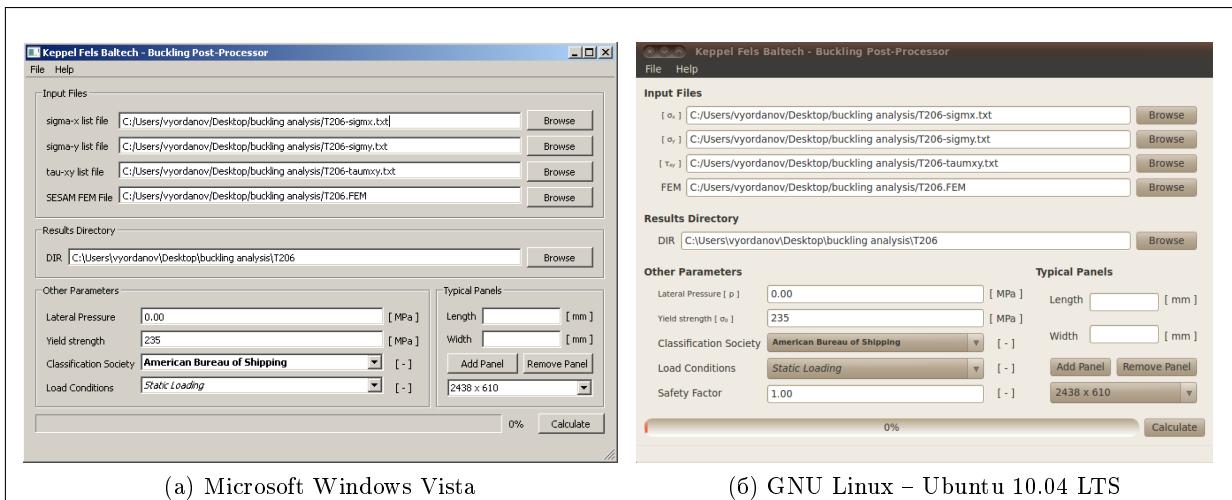
По този начин всички положения в конструкцията се проверяват автоматизирано с помощта на програмата, а единственото участие на потребителя в процеса е въвеждането на критичните панели и последващият анализ на резултатите.

4 Реализация и резултати

Реализацията на компютърната програма е изпълнена на Qt C++ във формата на самостоятелно приложение, работещо както на Microsoft Windows, така и на GNU Linux, показано на Фиг. 6.

4.1 Входни данни

В разработеният софтуер като входни данни се дефинират, виж Фиг. 6:



Фигура 6: Потребителска форма за входни данни

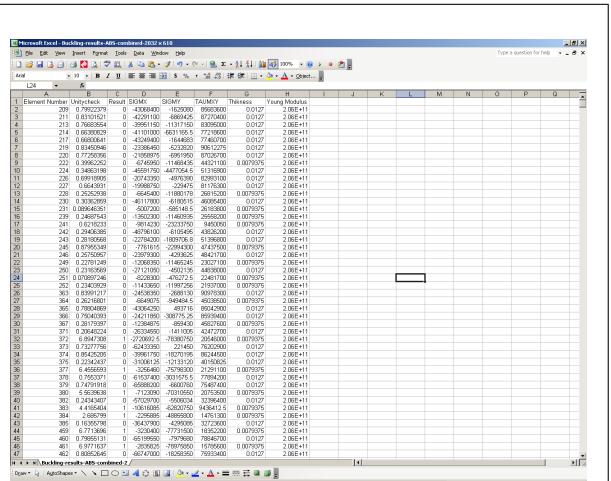
- Lateral Pressure [MPa] – тук се задава стойността на равномерно разпределения товар върху всички панели. То се задава за панелите който реално са подложени на хидростатично или хидродинамично налягане, както и при случаите когато е нужно да се компенсира грешката от големият размер на изчислителната мрежа
- Yield Strength [MPa] – тук се задава границата на провлаchanе σ_s за всички панели.
- Classification Society – тук за избира по коя препоръчителна методика да бъдат проверени неподкрепените панели. Като възможни опции са: DNV – Buckling Rules, ABS – Buckling Rules, ABS – Ultimate Strength Rules както и един регресионен метод на Paik и Thayamballi, публикуван в книгата "Ship-Shaped Offshore Installations"
- Load Condition – тук се задава вида на действащото натоварване. Възможните опции са Static Loading и Combined Loading, като първото е за случай на натоварване на тиха вода, а вторият е за комбиниран случай на натоварване (тиха вода и вълново

натоварване). Разликата между двете опции е че докато при случая на натоварване на тиха вода утилизационният коефициент (реципрочната стойност на коефициента на запас) е 0.6, то при комбинираното натоварване е 0.8

- Width и Length – тук се задават размерите на критичните панели, които следва да бъдат изследвани.
- Вътрешните усилия във всеки един краен елемент се задават под формата на List файлове, за които са предвидени съответните полета във формата.
- Физичните характеристики на крайните елементи се задават под формата на T*.FEM файл, за който е предидено съответно поле във формата.

4.2 Изходни данни

Като изходни данни разработената програма връща T*.FEM файлове, в които са маркирани опасните зони за всеки критичен панел, а също така и подробни резултати за всеки краен елемент (район) под формата на csv файл, виж Фиг. 7. Резултатите от T*.FEM файла могат да се разглеждат в графичен вид, виж Фиг. 8, а тези поместени в csv файла имат следната структура:



(a) Файлове получени от разработената програма

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Element	Number	UpperLeft	Point	DX	DY	DE	TAux	TMy	TNx	Yield	Material					
2	205	0.7952379	0	-4000000	-1020000	8960000	0.017	2.0E+11									
3	213	0.7980564	0	-4000000	8700000	8700000	0.017	2.0E+11									
4	214	0.8030829	0	-4101000	6611000	57770000	0.017	2.0E+11									
5	215	0.8030829	0	-4101000	6611000	57770000	0.017	2.0E+11									
6	216	0.8405464	0	-3588490	5228200	90612200	0.017	2.0E+11									
7	219	0.8405464	0	-3588490	5228200	90612200	0.017	2.0E+11									
8	220	0.8962452	0	-2474950	1168450	44211000	0.017	2.0E+11									
9	221	0.8962452	0	-2474950	1168450	44211000	0.017	2.0E+11									
10	222	0.8962452	0	-2474950	1168450	44211000	0.017	2.0E+11									
11	230	0.8911960	0	-2047390	4897930	8299100	0.017	2.0E+11									
12	231	0.8911960	0	-2047390	4897930	8299100	0.017	2.0E+11									
13	238	0.2852598	0	-6646400	-1188710	26916200	0.017	2.0E+11									
14	239	0.2852598	0	-6646400	-1188710	26916200	0.017	2.0E+11									
15	240	0.2852598	0	-6646400	-1188710	26916200	0.017	2.0E+11									
16	241	0.2467543	0	-1562000	-1146950	26562000	0.017	2.0E+11									
17	242	0.2467543	0	-1562000	-1146950	26562000	0.017	2.0E+11									
18	243	0.2467543	0	-4076100	6104640	48262000	0.017	2.0E+11									
19	244	0.2467543	0	-4076100	6104640	48262000	0.017	2.0E+11									
20	245	0.9795349	0	-7781915	2299400	67479100	0.017	2.0E+11									
21	246	0.9795349	0	-7781915	2299400	67479100	0.017	2.0E+11									
22	247	0.2707249	0	-1006810	1168240	23721700	0.017	2.0E+11									
23	248	0.2707249	0	-1006810	1168240	23721700	0.017	2.0E+11									
24	249	0.2707249	0	-1006810	1168240	23721700	0.017	2.0E+11									
25	250	0.2402929	0	-1143690	-1197260	21979700	0.017	2.0E+11									
26	251	0.2402929	0	-1143690	-1197260	21979700	0.017	2.0E+11									
27	252	0.2402929	0	-1143690	-1197260	21979700	0.017	2.0E+11									
28	253	0.3216000	0	-6646400	3494640	46036000	0.017	2.0E+11									
29	254	0.3216000	0	-6646400	3494640	46036000	0.017	2.0E+11									
30	255	0.7940393	0	-2421000	3097125	85939400	0.017	2.0E+11									
31	256	0.7940393	0	-2421000	3097125	85939400	0.017	2.0E+11									
32	257	0.3046214	0	-2630340	1411000	42472700	0.017	2.0E+11									
33	258	0.3046214	0	-2630340	1411000	42472700	0.017	2.0E+11									
34	259	0.7377796	0	-6243390	227400	76202900	0.017	2.0E+11									
35	260	0.7377796	0	-6243390	227400	76202900	0.017	2.0E+11									
36	261	0.2234437	0	-3100625	-1213150	40463600	0.017	2.0E+11									
37	262	0.2234437	0	-3100625	-1213150	40463600	0.017	2.0E+11									
38	263	0.7479191	0	-4698600	-4460700	76474600	0.017	2.0E+11									
39	264	0.7479191	0	-4698600	-4460700	76474600	0.017	2.0E+11									
40	265	0.2434407	0	-6703700	5593034	32994400	0.017	2.0E+11									
41	266	0.2434407	0	-6703700	5593034	32994400	0.017	2.0E+11									
42	267	0.7695799	0	-1298000	-4898600	14761300	0.017	2.0E+11									
43	268	0.7695799	0	-1298000	-4898600	14761300	0.017	2.0E+11									
44	269	0.7713066	0	-1298000	-4898600	14761300	0.017	2.0E+11									
45	270	0.7713066	0	-1298000	-4898600	14761300	0.017	2.0E+11									
46	271	0.9771637	0	-2050000	-7889900	16766600	0.017	2.0E+11									
47	272	0.9771637	0	-2050000	-7889900	16766600	0.017	2.0E+11									
48	273	0.9527645	0	-4874700	-1059350	79534000	0.017	2.0E+11									

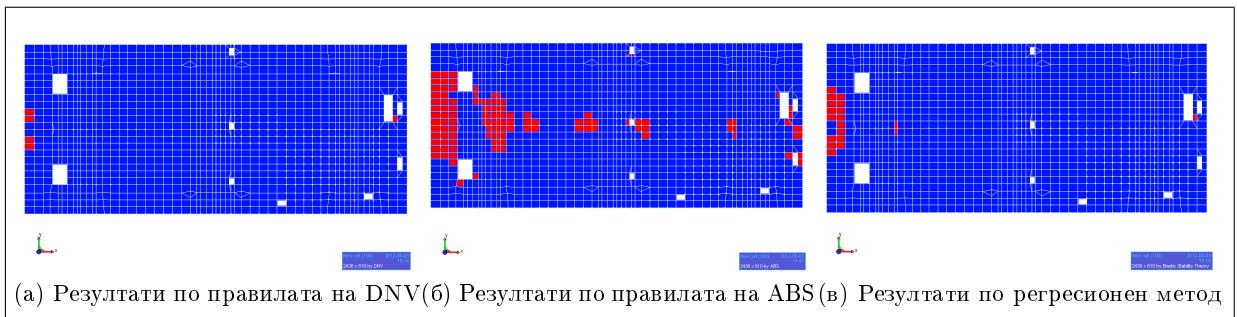
(b) Изглед на файла с подробните числени резултати

Фигура 7: Изходни данни

4.3 Примерни резултати

На Фиг. 8 са показани примерни резултати от разработената програма. На Фиг. 8а са червено са маркирани местата където критичният панел ще загуби своята конструктивна устойчивост, според правилата на Норвежкият регистър. Аналогично на Фиг. 8б и 8в са показани опасните зони, респективно според правилата на Американския регистър и регресионният метод на Paik и Thayamballi.

Резултатите от трите случая са качествено аналогични, с изключение на това че Американският регистър е значително по-консервативен от Норвежкият, по отношение на устойчивостта на плоските пластини срещу изкълчване.



Фигура 8: Примерни резултати за горна палуба на полупотопяма платформа

5 Заключения и препоръки за бъдеща работа

Разработената компютърна програма има възможност да оцени загубата на устойчивост и пределната здравина на неподкрепени пластини по препоръчилите практики на ABS и DNV, както и по регресионният алгоритъм предложен от Paik и Thayamballi изложен в книгата "Ship-Shaped Offshore Installations". Резултатите представени от този софтуер са във вид на три измерни крайноелементни модели, работещи със DNV – Xtract, както и под формата на детайлни таблици, показващи конкретното натоварване върху всеки един неподкрепен участък, неговите якостни характеристики, както и неговия коефициент по утилизация по устойчивост срещу изкълчване.

Използването на разработения софтуер дава възможност на проектанта да оцени резултатите за множество критични панели наведнъж, което позволява да се направят заключения относно оптималния избор на шпацията в изследвания район от конструкцията, по отношение на здравината и спрямо надлъжното и огъване.

Като възможности за бъдещо развитие може да бъдат откроени:

- Добавяне на алгоритми оценяващи загубата на устойчивост на греди
- Добавяне на алгоритми отчитащи и устойчивостта на набора
- Добавяне на алгоритми оценяващи загубата на устойчивост на повърхнинни пластини

Както и по-задълбочено изследване на възможностите за реализиране на компютърна програма, способна да разработва самостоятелно предложения за конструктивното разположение на главните конструктивни елементи, на база на предварително зададено външно натоварване, като за реализирането на тази цел изхождат следните задачи:

- Разработване на процедури за избор на оптимален панел за предварително избран район
- Разработване на процедури за автоматизирано набиране на набора и шпацията при зададени външни натоварвания