

УДК 608.1

Биологический топливный элемент: применение различных бактерий и создание новых систем

Кутузова Александра Дмитриевна

ГАУ ДО Брянской области "Детский технопарк "Кванториум" г. Брянск

sashka07081@gmail.com

Аннотация: Данная статья посвящена исследованию процессов жизнедеятельности бактерий, количеству производимых протонов разными типами бактерий и условиям, в которых бактерии будут активны и жизнеспособны. Для того чтобы создать топливный элемент нового типа с высокими выходными характеристиками, надежностью и долгим временем функционирования.

Ключевые слова: бактерии; альтернативная энергетика; топливный элемент; водород; топливо.

A.Kutuzova (Russia) Biological fuel cell: the use of various bacteria and the creation of new systems

Annotation: This article is devoted to the study of the life processes of bacteria, the number of protons produced by different types of bacteria and the conditions under which bacteria will be active and viable. In order to create a new type of fuel cell with high output characteristics, reliability and long operating time.

Keywords: bacteria; alternative energy; fuel cell; hydrogen; fuel.

Одной из самых развивающихся отраслей альтернативной энергетики является биоэнергетика, при помощи которой люди могут получать энергию из биологических систем в виде биотоплива, водорода и других энергоносителей. Особенно интересным разделом в этой отрасли являются биотопливные элементы (БТЭ). Отличительной особенностью данных топливных элементов

является использование в них различных микроорганизмов, которые в свою очередь способны вырабатывать всевозможные продукты жизнедеятельности. Но пока в этой развивающейся сфере чаще всего используются только 2 типа бактерий (метилотрофные и уксуснокислые). Данная работа посвящена исследованию процессов жизнедеятельности бактерий, количеству производимых протонов разными типами бактерий и условиям, в которых бактерии будут активны и жизнеспособны. Для того чтобы создать топливный элемент нового типа с высокими выходными характеристиками, надежностью и долгим временем функционирования.

Для начала исследования был выбран объект исследования- БТЭ и его модели. При изучении темы оказалось, что чаще всего в данной системе используют бактерии из семейств уксуснокислых и метилотрофных. Исследования, направленные на влияние других семейств бактерии, найдены не были. В последствии, был выбран предмет для исследований- различных типов бактерий для БТЭ и создание новых моделей.

Далее было изучено строение БТЭ и его аналогов [1], [2].

Биотопливный элемент (БТЭ)- устройство, преобразовывающее энергию химических связей питательной среды в электричество путем биокаталитического окисления органических и неорганических веществ.

В основе БТЭ лежит принцип работы химического топливного элемента, за исключением процессов биологических трансформаций, с помощью которых происходит превращение химической энергии веществ в электрическую.

На аноде протекают процессы окисления топлива катализатором, которым являются биологические структуры. Также в анодное пространство БТЭ поступает субстрат и откачиваются продукты окисления (CO₂ и другие).

Через протонообменную мембрану из анодного пространства проходят электроны и ионы H⁺, которые попадают в катодное пространство.

На катоде происходят процессы восстановления. В катодное пространство БТЭ поступает кислород, который разлагается на ионы при помощи электронов, далее O_2 - соединяются с ионами H^+ и формируется вода и водород. Водород будет образовываться в первую очередь, из-за простоты химической реакции между одинаковыми ионами и большого количества ионов H^+ . Вода будет образовываться во вторую очередь, из-за быстрой реакции между отрицательно заряженными ионами кислорода и положительно заряженными ионами водорода. И в результате у нас будут оставаться электроны, которые не были затрачены на синтез. Они, при прохождении из положительного заряженного анодного пространства в отрицательно заряженное катодное пространство, вырабатывают энергию.

Микробиологический топливный элемент- модель, в которой катализатором окисления является фермент, находящийся непосредственно в клетке бактерии.

Дальше подробнее рассмотрим МТЭ и его плюсы и минусы, так как в дальнейшей работе будет исследован именно этот тип БТЭ.

Такая модель МТЭ имеет много плюсов, а именно:

- Дешевле для производства, благодаря не затратному процессу выделения микроорганизмов и их быстрой приживаемости;
- Саморегуляция клеток и репарация ферментативных систем;

Репарация ферментативных систем- функция клеток, заключающаяся в способности исправлять химические повреждения и разрывы в ДНК, поврежденных при нормальном синтезе в результате воздействия физических сил или химических реагентов.

- Простота конструкции;
- Устойчивость к внешним факторам;
- Возможность использовать вдали от цивилизации;

Все эти факторы повышают стабильность работы такого элемента.

Недостатками же МТЭ являются:

- Низкое КПД, из-за больших затрат энергии бактериальной клеткой для роста и поддержания процессов жизнедеятельности;
- Малоэффективная передача накопленного заряда от бактериальной клетки на поверхность электрода, то есть сложность выноса заряда из живой клетки;
- Необходимость длительного поддержания микроорганизмов в активном состоянии;
- Необходимость превращения сильного обрастания электродов, снижающего эффективность переноса электродов на анод;

Вследствие всех этих минусов, нужно найти решения для данных проблем и создать модели МТЭ и посмотреть на их показатели.

На данном этапе работы подбирались бактерии, пригодные для работы в МТЭ. Каждый вид должен был соответствовать нескольким критериям [3]:

- Бактерии с критерием GRAS ("generally recognized as safe" обычно считаются безопасными). Такие микроорганизмы нетоксичны.
- Простые, селективные или селективные питательные среды для бактерий.
- Физиологические особенности (активность размножения, рост, синтез энергии и метаболизм, длительность жизненного цикла).
- Морфологические особенности (размеры).
- Возможность создания условий среды для активного роста, развития и метаболизма штаммов
- Использование в микробиологии и биотехнологиях.

Под эти критерии подошли следующие микроорганизмы:

- Уксуснокислые бактерии (семейство Acetobacteraceae) (аэробы);
- Метилотрофные бактерии (семейство Methylococcaceae) (анаэробы);
- Молочнокислые бактерии (семейство Lactobacillaceae) (аэробы);

- Маслянокислые бактерии (семейство Bacillaceae) (анаэробы);
- Бифидобактерии (семейство Bifidobacteriaceae) (анаэробы);
- Дрожжи (аэробы).

Фотографии мазков питательных сред и микроорганизмов в Приложении 2.

Благодаря тому, что мы изучили тему МТЭ и микроорганизмов, то можем приступить к изменению в строении МТЭ.

За основу возьмем МТЭ вертикального типа с анодным и катодным пространствами и между протонообменная мембрана. Сверху находится открытое анодное пространство, которое насыщается воздухом, а снизу находится закрытое катодное пространство. В анодном пространстве располагаются микроорганизмы, участвующие в синтезах и получении энергии. Они находятся вблизи мембраны и синтез веществ, и передача ионов H^+ и электронов идет активно. Вертикальное расположение модели дает полное соприкосновение с мембраной, анодом и катодом, погруженными в раствор.

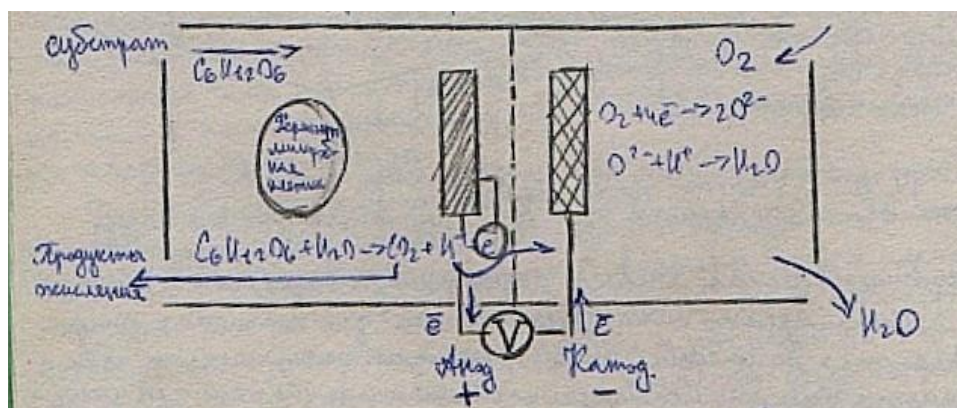


Рис. 1 Схема работы МТЭ.

Такая модель подходит аэробным микроорганизмам, у которых молекулярный кислород задействован в процессах получения энергии. Но среди исследуемых микроорганизмов есть анаэробы- маслянокислые и бифидобактерии. Для этих микроорганизмов наличие молекулярного кислорода будет усугублять процессы получения энергии и других синтезов, а если будет большое количество кислорода в растворе, то микроорганизмы могут умереть.

Поэтому для этой группы микроорганизмов была проработана модель “перевернутого” МТЭ.

“Перевернутое” МТЭ представляет собой вертикальную модель с катодным пространством сверху и анодным пространством снизу. Но, такая система усложняет введение кислорода с катодное пространство. В свою очередь, малорастворимый в воде водород будет улетучиваться и его будет очень сложно собрать. Также КПД в такой системе будет ниже, т.к. микроорганизмы будут оседать на дно МТЭ и это усложнит и замедлит передачу ионов H^+ и электронов.

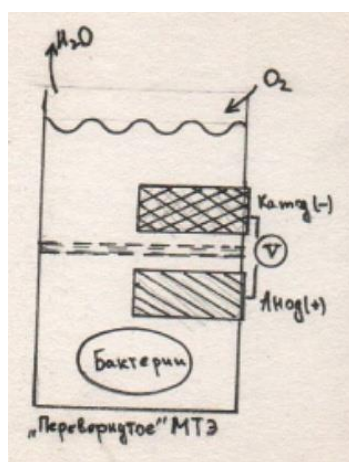


Рис.2 Схема “перевернутого” МТЭ.

Однако, есть еще проблема большого анодного и катодного пространства, которое бактерии не могут полностью использовать за счет своих размеров. Для этого мы продумали модель с сокращенным пространством.

Такая модель может быть и для обычного и “перевернутого” МТЭ. Изменение модели заключается в том, что анодное пространство, в котором находятся микроорганизмы, было уменьшено для более экономного расхода пространства и увеличения КПД. В такой модели в анодном пространстве вся среда расходуется под нужды микроорганизмов, в то время как у обыкновенных МТЭ питательная среда расходуется не вся и за счет большого пространства сложнее предавать ионы H^+ и электроны через протонообменную мембрану.

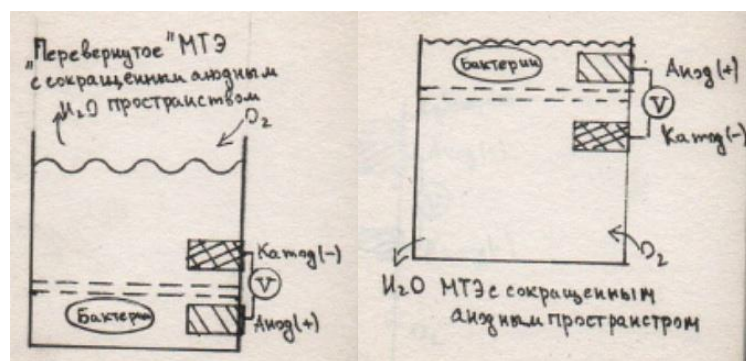


Рис. 3 Схемы с сокращенным анодным пространством для обычного и “перевернутого” МТЭ.

Также необходимо рассмотреть вариант, где анодное пространство сведено к минимуму. Анод будет находится в жидком питательном субстрате непосредственно вблизи мембраны, а микроорганизмы будут находится в самой протонообменной мембране. Эту систему можно будет сделать и на обычной МТЭ, и на “ перевернутой” МТЭ. Такая модель будет повышать КПД за счет более активного взаимодействия между мембраной и микроорганизмами. Но минус такой системы заключается в быстром загрязнении мембраны отмершими микроорганизмами и остатками продуктов их жизнедеятельности.

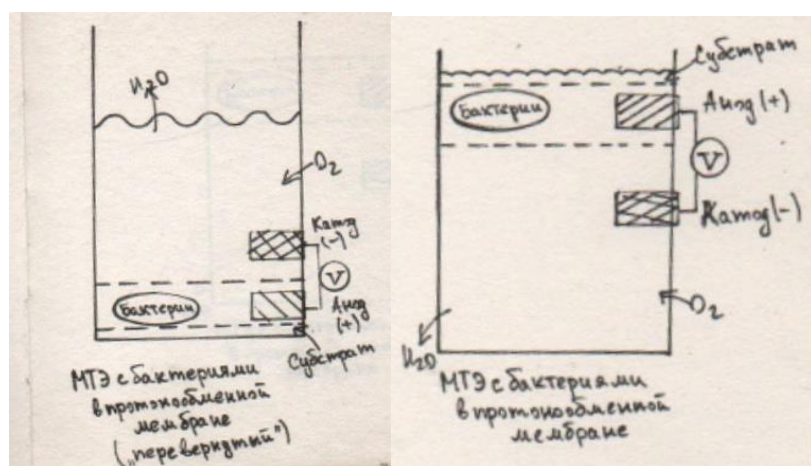


Рис. 4 Схемы модели с бактериями в протонообменной мембране для обычного и “перевернутого” МТЭ.

Также для работы МТЭ было сделано нововведение: Непрерывное (проточное) культивирование позволяет зафиксировать культуру в какой-то определенной фазе (обычно экспоненциальной). При этом состав среды и

условия роста остаются постоянными. Этого добиваются постоянным прибавлением новой питательной среды в сосуд для выращивания и одновременным удалением такого же количества среды с клетками.

Существуют два принципиально разных типа непрерывных культур — хемостат и турбидостат. При непрерывном культивировании в режиме хемостата на постоянном лимитирующем уровне поддерживают какой-нибудь химический параметр процесса (концентрацию субстрата, кислорода и т.д.). Значение этого фактора сдерживает рост микроорганизма и не позволяет ему достичь максимальной скорости роста и развития. Чтобы концентрация клеток в культивационном сосуде оставалась постоянной, отток части популяции должен восполняться приростом культуры. Для МТЭ более простым вариантом будет использование хемостата.

Работа турбидостата основана на поддержании постоянной плотности бактериальной суспензии. Фотоэлемент измеряет плотность вытекающей суспензии и автоматически изменяет проток (чем плотнее культура, тем больше подается среды). В сосуде для культивирования все питательные вещества содержатся в избытке, а скорость роста бактерий приближена к максимальной.

4 Этап работы:

Для изучения плотности и количества микроорганизмов в питательной среде, используем способ спектрофотометрирования раствора. В первую пробу добавляют 10% раствор глюкозы, а во вторую пробу добавляют 40% раствор глюкозы. В каждую из проб добавляют суспензию микроорганизмов. Для этого в 9 частей раствора из пробы добавляют 1 часть раствора питательной среды с микроорганизмами. Далее, получившиеся растворы спектрофотометрируют и полученные значения подставляем в расчеты [6] (промежуточные значения расчетов и поиск неизвестных см. в приложении 3).

В результате получилась следующая диаграмма данных, показывающая количество бактерий в каждом растворе.



Рис. 5 Количество бактерий в пробах питательных сред

Выводы по проделанной работе:

Исходя из расчетов и диаграммы, можно сказать, что самое большое количество бактерий в 12 среде (дрожжевой воде), а самое маленькое в 4 среде (питательная среда с уксуснокислыми бактериями). Также в дальнейшей работе будут собраны различные модели БТЭ, для определения количества выделяемых протонов H^+ и самого водорода, в зависимости от типа модели БТЭ. Также будут проверены следующие гипотезы:

1. Чем больше микроорганизмов в жидкой питательной среде, тем больше выделяется протонов H^+ .
2. Чем меньше микроорганизмов в жидкой питательной среде, тем менее активно выделяются протоны H^+ .
3. Чем насыщеннее питательными веществами среда, тем больше будет выделяться протонов H^+ .
4. Чем выше температура, тем больше будет выделяться протонов H^+ .

Библиографический список

1. Алферов Валерий Анатольевич, Василов Раиф Гаянович, Губин Сергей Павлович, Кашин Вадим Валерьевич, Китова Анна Евгеньевна, Колесов Владимир Владимирович, Мачулин Андрей Валерьевич, Решетилов Анатолий

Николаевич, Решетилова Татьяна Анатольевна Биотопливные элементы на основе наноуглеродных материалов // РЭНСИТ. 2014. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biotoplivnye-elementy-na-osnove-nanouglerodnyh-materialov> (дата обращения: 12.09.2021).

2. Казаринов И.А., Кузьмичева Е.В. Микробные топливные элементы – новое направление в развитии альтернативной энергетики // Автономная энергетика – 2009 - №26 – С. 37-47. (дата обращения: 15.09.2021).

3. Г.Г. Гончаренко, А.В. Крук, Е.М. Степанова, А.А. Сурков, С.А. Зятков Основы биотехнологии // Гомель- 2008 (дата обращения: 7.10 2021).

4. <https://studfile.net/preview/5810976/page:3/> (дата обращения: 14.01. 2021)

5. https://studme.org/267948/geografiya/nepreryvnoe_kultivirovanie_vidy (дата обращения: 19.01.2021)

6. Симонов Олег Анатольевич, Симонова Екатерина Олеговна, Мальчевский Владимир Алексеевич. Способ оптической оценки концентрации микробных клеток в суспензии (<https://patents.google.com/patent/RU2636620C1/ru>) (дата обращения: 23.01.2021)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Химический состав жидких питательных сред

Номер	Тип микроорганизмов	Химический состав среды (на 100 мл)	Дата закладки
-------	---------------------	-------------------------------------	---------------

1	Молочнокислые	Среда капустная (капуста 100г., 2% сахарозы, 1% пептона)	19.01.22
2	Уксуснокислые	(Сахароза 0,25г., (NH ₄) ₂ SO ₄ 0,025г., суперфосфат 0,025г., K ₂ CO ₃ 0,01г.) — основа + яблоко и груша сброженные	19.01.22
3	Уксуснокислые	Основа + вишня и яблоко сброженные	19.01.22
4	Уксуснокислые	Основа+ яблоко свежий сок	19.01.22
5	Уксуснокислые	Основа	19.01.22
6	Уксуснокислые	Основа+ груша сброженная	19.01.22
7	Уксуснокислые	Основа+ вишня сброженная	19.01.22
8	Уксуснокислые	Основа+ яблоко сброженное	19.01.22
9	Метилотрофные	0,5% спирта, Na- ацетат, глюкоза до концентрации в растворе 0,1%	4.02.22
10	Метилотрофные	1% спирта, Na- ацетат, глюкоза до концентрации в растворе 0,1%	4.02.22
11	Метилотрофные	2% спирта, Na- ацетат, глюкоза до концентрации в растворе 0,1%	4.02.22
12	Дрожжи	Дрожжевая вода с 3,5 г. дрожжей (на 1 литр)	4.02.22

13	Дрожжи	Дрожжевая вода с 5 г дрожжей (на 1 литр)	4.02.22
14	Маслянокислые	КН ₂ РO ₄ - 0,1 г., MgSO ₄ -0,05г., NaCl-0,05г., MnO ₂ - 0,01г., FeSO ₄ -0,001г., CaCO ₃ -2г., KNO ₃ -0,4г.	15.02.22
15	Маслянокислые	КН ₂ РO ₄ - 0,1 г., MgSO ₄ -0,05г., NaCl-0,05г., FeSO ₄ -0,001г., CaCO ₃ -2г., KNO ₃ -0,4г.	15.02.22
16	Бифидобактерии	пептон 0,2г., NaCl-0,5г., Лактоза 0,1г., гидролизат молока 1г.	15.02.22
17	Бифидобактерии	гидролизат молока 10г., сорбит 1г., аципол 1г., агар 0,08г.	15.02.22
18	Бифидобактерии	гидролизат молока 5г., сорбит 0,5г., аципол 0,5г., агар 0,08г.	15.02.22

Приложение 2

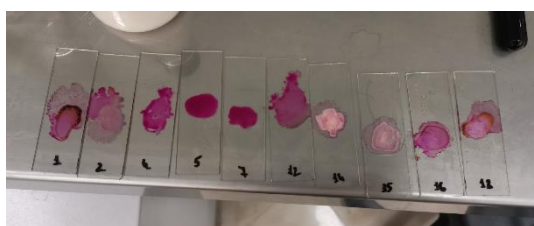


Рис 1. Фотографии окрашенных мазков питательных сред.



Рис 2. Фотография мазка 2 образца с уксуснокислыми бактериями.



Рис 3. Фотография мазка 4 образца с уксуснокислыми бактериями.



Рис 4. Фотография мазка 5 образца с уксуснокислыми бактериями.

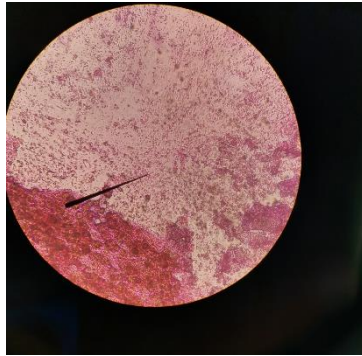


Рис 5. Фотография мазка 7 образца с уксуснокислыми бактериями.

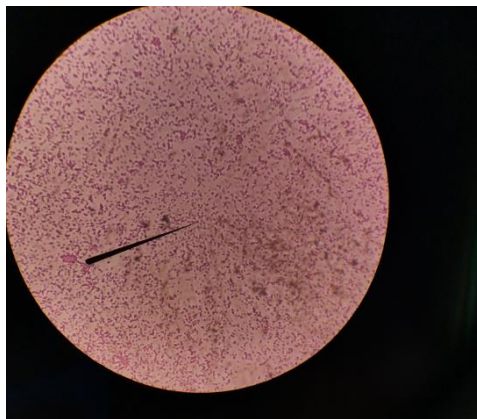


Рис 6. Фотография мазка 12 образца с метилотрофными бактериями.

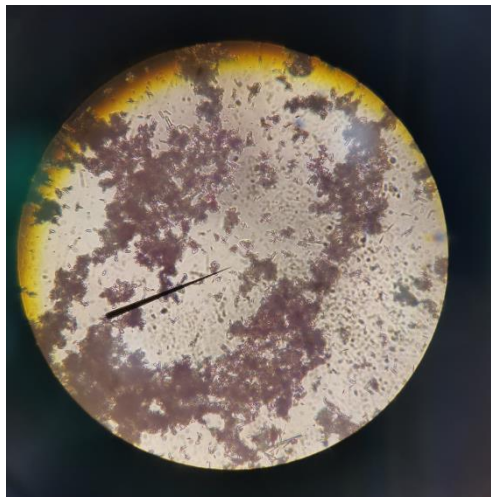


Рис 7. Фотография мазка 15 образца с маслянокислыми бактериями.

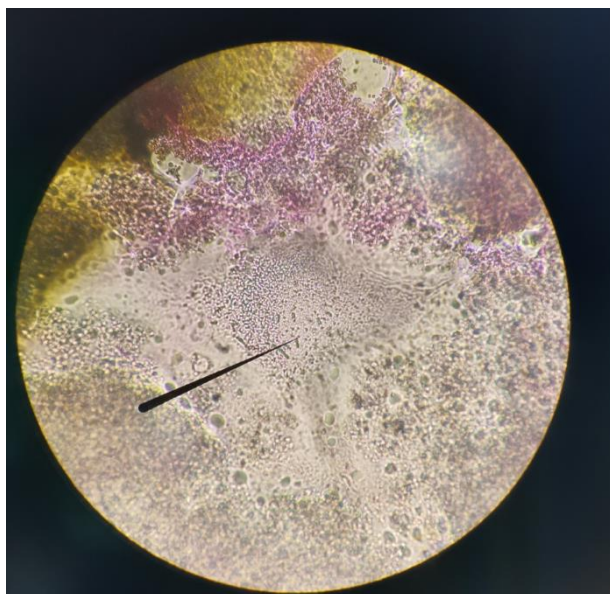


Рис 8. Фотография мазка 18 образца с бифидобактериями.

Приложение 3.

Промежуточные расчеты и поиск неизвестных

Название	Длина волны:450	Длина волны:600	Показатель преломления	n	p(n)	Rcp (нм)	Ks	N	X
1-40%	437	285	1.46	1.486	0.694 5	3.26	1.143	49.92	499
1-10%	520	364	1.49	1.24	3,805 5	4.92	0.768	50.78	508
2-40%	47	23	1.35	2.48	0.017	1.1	1.592	23.54	235

2-10%	81	50	1.38	1.68	0.297	2.307	0.907	28.12	281
3-40%	85	49	1.37	0.299	2.302	1.976	1.783	47.35 1	474
3-10%	123	78	1.40	1.583	0.603	1.6	1.534	32.98	330
4-40%	85	55	1.38	1.51	0.471	0.9	1.006	12.2	122
4-10%	116	82	1.40	1.21	1.083 5	1.306	0.865	15.18	152
5-40%	26	11	1.34	2.99	1.439	0.94	1.379	17.42	174
5-10%	31	20	1.35	1.523	0.736 7	0.814	0.993	10.86	109
6-40%	66	42	1.36	1.571	0.674	0.73	1.958	19.21	192
6-10%	127	95	1.41	1.009	0.22	0.673	1.697	15.35	153
7-40%	56	25	1.35	2.803	0.040 46	2.893	2.175	84.56	845
7-10%	74	33	1.36	2.807	0.034 3	0.615	2.014	16.64	166
8-40%	99	60	1.38	1.741	0.433	0.751	1,411	14.24	142
8-10%	120	77	1.40	1.542	0.654	0.737	1.354	13.41	134
9-40%	10	3	1.33	3.454	1.520 8	4.02	0.912	49.27	493
9-10%	8	4	1.33	2.409	0.510 5	3.338	0.89	39.93	399
10-40%	8	2	1.33	3.165	- 0.855	2.28	0.83	25.43	254
10-10%	5	3	1.33	1.776	2.056 9	1.256	1.258	21.23	212
11-40%	10	2	1.33	3.350	0.169 5	0.633 6	2.093	17.82	178
11-10%	5	2	1.33	3.185	0.175 2	0.755 4	1.984 5	20.15	202
12-40%	80	42	1.36	2.24	0.032 3	5.91	1.147	91.11	911
12-10%	141	103	1.43	1.091	2.72	6.89	1.05	97.23	972

13-40%	92	48	1.37	2.262	3.173 5	2.744	2.438	89.91	899
13-10%	104	56	1.38	2.152	0.140 3	1.599	2.33	50.07	501
14-40%	83	36	1.36	2.904	0.034 7	1.377	2.009	37.18	371
14-10%	100	60	1.38	1.776	0.409	0.961	1.873	24.2	242
15-40%	25	9	1.34	3.551	1.397	0.915	2.981	36.65	367
15-10%	28	11	1.34	3.248	1.416 4	0.926	2.640 1	32.85 5	329
16-40%	680	495	1.49	1.104	1.168	1.539	3.598	74.36	744
16-10%	1040	805	1.51	0.89	1.5	0.919	3.335	41.19	412
17-40%	1576	1242	1.53	0.828	2.765	1.541	4.570 7	94.6	946
17-10%	2150	1900	1.55	0.43	2.781 5	0.86	4.431	51.21	512
18-40%	1981	1655	1.54	0.625	1.861 5	0.876	4.969	58.46	585
18-10%	2590	2538	1.56	0.071	1.740 1	0.655	4.752	41.83	418