

## Неелектрически приложения на ядрената енергия

Развитието на ядрената енергетика зависи от взаимодействието между четири фактора – енергийния пазар, конкурентноспособността ѝ в сравнение с други източници, съображения за опазване на околната среда и обществените нагласи и възприятия.

Зависимостта на тези фактори и непрекъснатото усъвършенстване на технологиите дават възможност за въвеждане на нови и разширени приложения на ядрената енергия в области, различни от производството на електрическа енергия.

Някои от първите граждански реактори в света са използвани за топлоснабдяване, например Calder Hall във Великобритания (1956 година) и Agesta в Швеция (1963 година). Calder Hall осигурява електроенергия към мрежата и топлина за завода за преработване на гориво, а Agesta осигурява гореща вода за битовата топлофикация на предградие в Стокхолм. Първата ядрена централа в Русия (1954 година) също е била много-функционално съоръжение, осигуряващо електричество и топлина за град Обнинск, в близост до Москва. Директното използване на топлинната енергия е по-желателно от гледна точка на енергийната ефективност, а ядрената енергия е огромен източник на свободна от парникови газове енергия. Въпреки това, ядрената енергия остава предимно източник за производство на електроенергия. Към момента около 30% от първичната енергия се използва за производство на електричество и приблизително 2/3 от тази енергия се изхвърля като отпадна топлина.

Има четири области, в които топлината от ядрените електрически централи може да бъде използвана: за обезсоляване на морска вода; за битово топлоснабдяване; в индустрията и в синтеза на горива. Основния опит в неелектрическите приложения на ядрената енергетика е в първите две категории. Натрупан е повече от 150 реактор години експлоатационен опит в ядреното обезсоляване, особено в Япония и Казахстан. Системите за битово топлоснабдяване от ядрените електрически централи са надеждно експлоатирани в много страни, по-специално в източна Европа. Топлинните изисквания за различните индустриални процеси са разнообразни. Температурните диапазони за основните приложения са показани в табл. 1.

Табл. 1. Необходими температури за различни индустриални процеси

Индустриален процес	Приблизителен температурен интервал °C
Сградно отопление	100 – 170
Обезсоляване	100 – 130
Производство на винил хлорид	100 – 200
Синтез на карбамид	180 – 280
Промислена пара	200 – 400
Производство на хартия и целулоза	200 – 400
Рафиниране на нефт	200 – 600
Обработка на нефтен битум и нефтен пясък	300 – 600
Десулфаризация на суров петрол	300 – 500
Рафиниране на петрол	450 – 550
Производство на синтетичен газ и водород от природен газ или нафта	400 – 800
Стоманодобив	500 – 1000
Производство на стирол от етил-бензен	600 – 800
Производство на етилен от нафта и етан	700 – 900
Производство на водород чрез термохимична реакция	600 – 1000
Обработка на въглища	400 – 1000
Газификация на въглища	800 – 1000

В табл. 2 е показан диапазона на температурите на топлоносителя за различните видове реактори. Ядрената централа може да осигури пара или промишлена топлина с температура от около 100°C за битово топлоснабдяване или обезсоляване до около 1000°C за високо-температурни индустриални приложения.

Табл. 2. Температурен диапазон за видовете реактори

Вид реактор	Температура на топлоносителя на входа и изхода от първи контур °C
Реактор с вода под налягане (PWR)	280 – 320
Кипящ реактор (BWR)	278 – 288
Реактор със забавител тежка вода (HWR)	250 – 295
Реактор с топлоносител течен метал (LMCR)	390 – 540
Високо-температурен газоохладяем реактор (HTGR)	500 – 950

## ➤ ОБЕЗСОЛЯВАНЕ

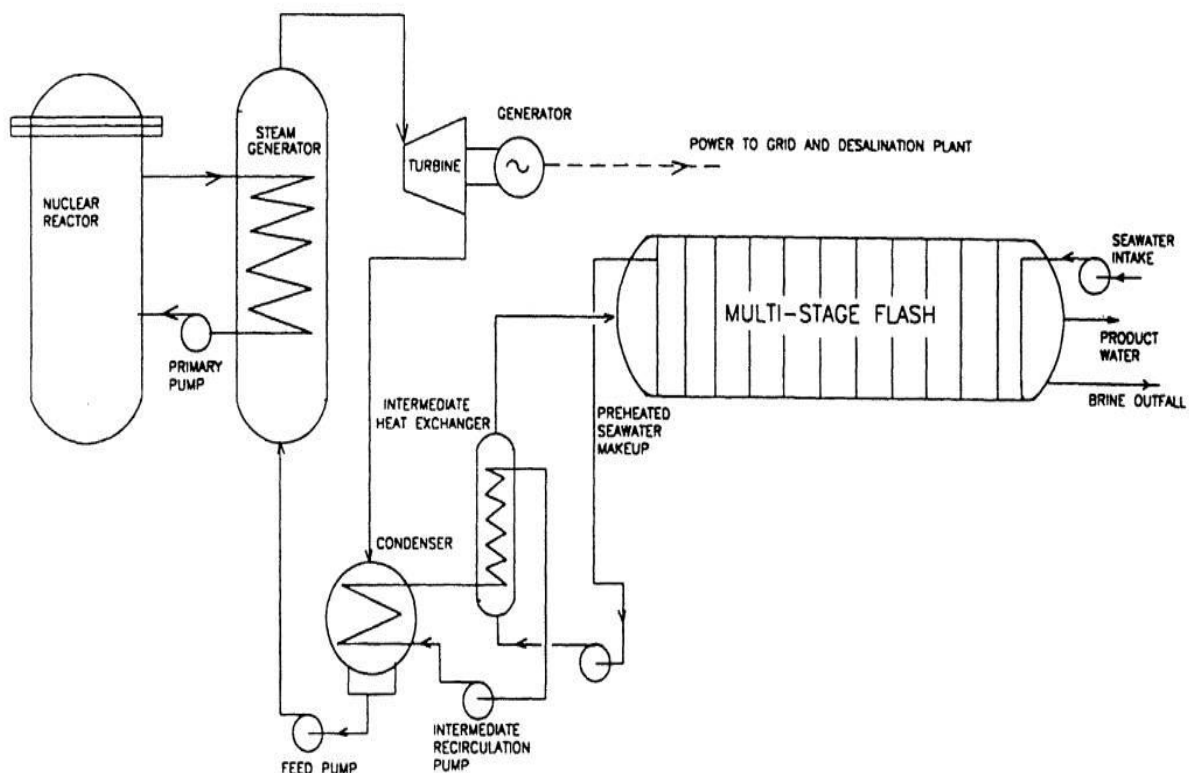
Водата е от съществено значение за живота. Над 1 милиард души, приблизително около 20% от световното население нямат достъп до питейна вода, а 3 милиарда – нямат достъп до канализация поради липсата на вода. За съжаление 94% от водата в света е солена и само 6% – прясна. По-малко от 1% от прясната вода е лесно достъпна (27% са в ледниците и 72% – под земята). Тъй като стандартът на живот се увеличава навсякъде по земното кълбо, търсенето и на енергия и на вода също се увеличава. В тази връзка, използването и развитието на технологиите за обезсоляване на вода помагат неимоверно. Обезсоляването изисква енергия, но както е показано в табл. 1. може да бъде постигнато при относително ниски температури. Отпадната топлина от ядрените електрически централи е достатъчна за тази цел. Ядрената енергетика може да изиграе значителна роля, особено като двойна мощност чрез осигуряване на прясна вода в допълнение към производството на енергия, лишена от емисии на парникови газове.

Обезсолителните технологии през последните 50 години са се развили до търговски процеси от голям мащаб. Основните процеси, които се използват са два вида:

- термични процеси, където топлината се използва за изпарение и дестилация на прясна вода от солената. Това са многостъпалната дестилация, многофункционалната дестилация и съгъстяване на парите;
- мембранни процеси, при които се използват подходящи мембрани за отделяне на солта, като механизма на обратната осмоза.

В световен мащаб се произвежда около 26 милиона  $m^3/d$  прясна вода посредством обезсоляване. Най-голямо количество се произвежда в Саудитска Арабия около 21 %, а САЩ – около 17%, 80% от които се постигат посредством мембранните процеси.

Пример за това как ядрената топлина се използва за обезсоляване е показан на фиг. 1. Парата, произвеждана във втори контур се използва за производство на електрическа енергия, трети контур се използва за подгряване на морската вода подлежаща на обезсоляване, която се намира в четвъртия контур.



Фиг. 1 Схема на ядрено-обезсолителна инсталация

Ядреното обезсоляване е развита технология и може да бъде инсталирана в много ядрени централи за осигуряване на питейна вода и за решаване на проблема с недостика на вода. Обезсолителните инсталации в света се удвояват през всяко десетилетие и следователно, там има огромен потенциал за ядрено обезсоляване. Сега усилията са насочени предимно към намаляване на производствените разходи за обезсолена вода чрез иновации и технологични подобрения.

### ➤ **БИТОВА ТОПЛОФИКАЦИЯ**

Битовата топлофикация е отопление на жилищни и търговски сгради. Системите за битово топлоснабдяване използват гореща вода или пара в температурния интервал 70 – 150°C и паро-водни и водо-водни топлообменници ако е необходимо. Обикновено пара се извлича от турбините ниско налягане в ядрената електрическа централа за осигуряване на базовия топлинен товар, а парата от турбините високо налягане се използва за върховото топлинно потребление. Развитието на топлоразпределителната система се изисква, но поради топлинните загуби в разпределителната система източникът трябва да е в близост, обикновено в рамките на няколко километра. Най-дългото извесно разстояние за снабдяване е 24км в Словакия. Също така,

потреблението на топлина варира според сезона, през студените зими е много високо, а през лятото – ниско и източникът трябва да е в състояние да се справи с тези флуктуации.

Битовото топлоснабдяване се използва в някои страни от десетилетия. Мрежи за битова топлофикация съществуват в България, Чехия, Унгария, Словакия, Беларус, Русия и Украйна. Дания, Финландия, Швеция и Швейцария също имат развити топлофикационни мрежи. Мощността на топлофикационните мрежи е оценена да бъде около 600 – 1200MWt за големите градове и 10 – 50MWt за малките населени места. Понастоящем ядреното битово топлоснабдяване изглежда да бъде най-обещаващо в страните, в които вече има топлоразпределителни мрежи.

Притесненията относно изтичане на радиоактивност в топлофикационната мрежа са взети под внимание и е въведен междинен контур за предаване на топлината, работещ при по-високо налягане от това на парния кръг при турбините, който постоянно се наблюдава. Безопасната и надеждна експлоатация на няколко топлофикационни мрежи (например в България, Русия, Словакия, Украйна, Унгария и Швейцария) са доказали тяхната ефективност.

Повече от двадесет централи в Русия и Bruce централите с CANDU реактори в Канада са използвани за електропроизводство и за осигуряване на топлина за промишлена и битова топлофикация. Пара от централата Bruce A се използва в инсталацията за производство на тежка вода и за близкия селскостопански и индустриален комплекс.

### ➤ ***ИНДУСТРИАЛНИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПРОМИШЛЕНАТА ТОПЛИНА***

Има пет основни области за индустриални топлинни приложения: хранително-вкусовата промишленост, хартиената промишленост, химическата промишленост, преработката на нефт и въглища и металургията.

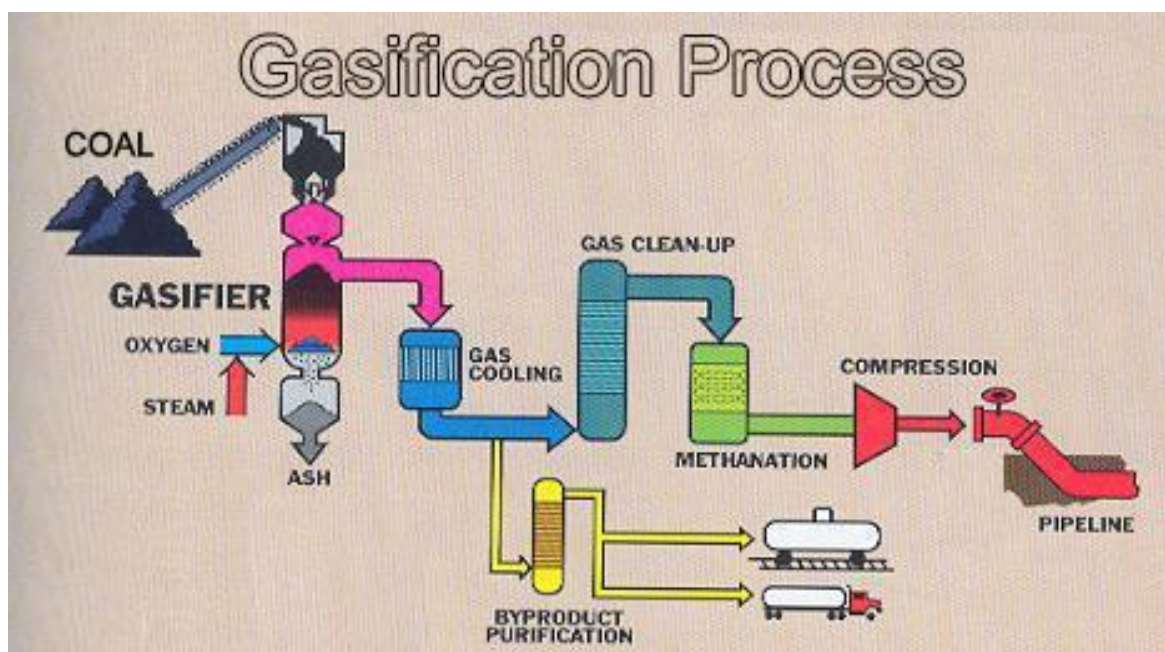
Индустриалната промишлена топлина основно се използва под формата на пара с подходящи температура и налягане. Търсенето обикновено е стабилно и няма сезонни вариации и следователно е доста подходящо снабдяването посредством ядрена енергетика. Единственият проблем е че източникът трябва да бъде в близост, тъй като топлинните загуби при пренасянето на топлината са значителни.

### ➤ ***ВИСОКО-ТЕМПЕРАТУРНИ ПРИЛОЖЕНИЯ: СИНТЕЗ НА ГОРИВО***

Течно металните и газоохладяемите реактори могат да генерират много високи температури, които могат да се използват за създаване на нови синтетчни горива. Това е иновационно приложение на ядрената енергетика и може значително да разшири нейното използване. Това е така, защото транспортният сектор използва около ¼ от

общото енергийно потребление, а почти 99% от него понастоящем се запазва от изкопаеми органични горива. Ядрената енергетика може да пробие в този голям пазар посредством използването на електромобили и производство на синтетични горива като метанол, етанол и техните производни; също така може да бъде използвана за газификация на въглища, добив на нефт и производство на водород.

Газификацията на въглища (фиг. 2.), или превръщането на твърдите въглища в газообразно гориво като природния газ изисква много високи температури. Това превръщане може да премахне замърсителите на околната среда като серения диоксид и азотните оксиди. Ефективността на централите изгарящи въглища може да бъде подобрена посредством газификацията. Процесът е доста енергоемък.



Фиг. 2 Схемa на процес за газификация на въглища

Друга възможност за използване на ядрената енергия е за добиване на нефт от катранени и пертолни пясъци. Канада и Венецуела имат големи залежи на нефтени и катранени пясъци. За добива на нефт се използва впръскване на пара, която също така може да се прилага за преработката на нефта след добиването му.

### ➤ **ПРОИЗВОДСТВО НА ВОДОРОД**

Водородната икономика добива популярност благодарение на развитието на новите технологии за високо-температурните газоохладяеми реактори. Представени са няколко начина за производство на водород: два метода за разлагане и газификация на изкопаемите горива като парно преобразуване на метан и въглерод диоксидно

преобразуване и два метода за разлагане на водата – термо-химично разлагане и електролиза.

а) Парно преобразуване на метан

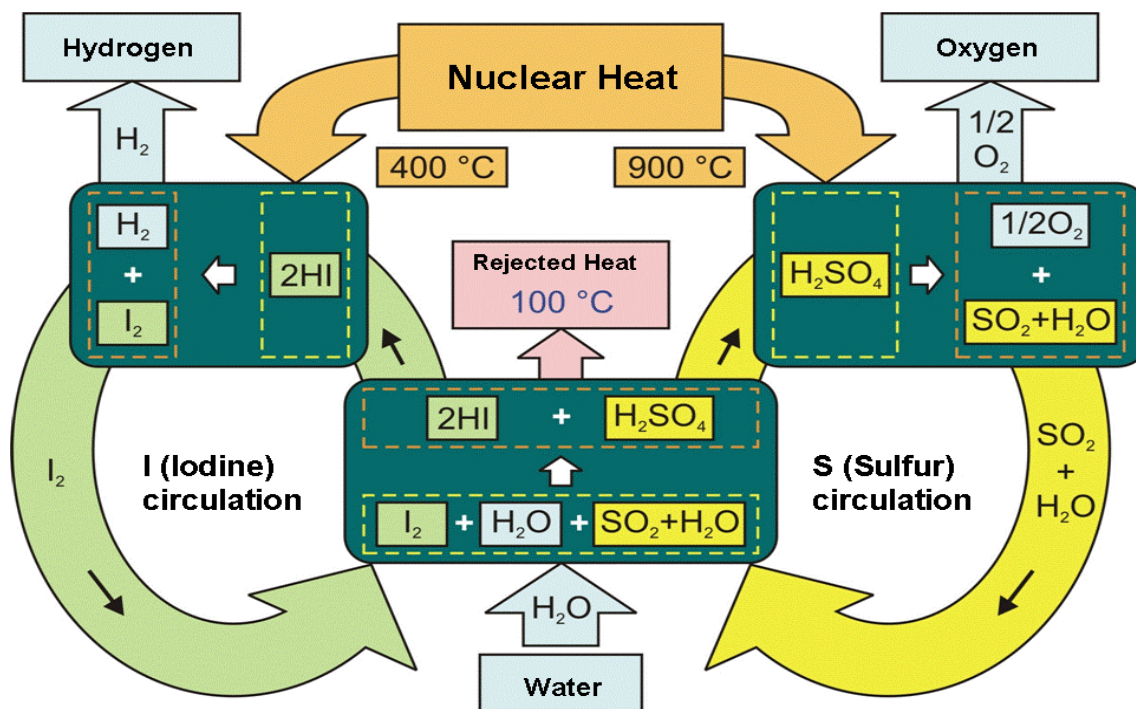
При този метод метана, основния компонент на природния газ и водата реагират при температури между 600 – 800°C произвеждайки водород, въглероден оксид и въглероден диоксид. Паропреобразуващата система може лесно да бъде присъединена към високо-температурния газоохладяем реактор, който осигурява необходимите високи температури и топлина.

б) Въглерод диоксидно преобразуване

При основната реакция между  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  (без добавяне на вода) се получава  $\text{CO}$  и водород. Процесът на преобразуване изисква висока температура и висока входяща енергия, като и двете може да бъдат осигурени от високо-температурните газоохладяеми реактори. Генерираната смес от  $\text{CO}$  и водород (синтетичен газ) може да се използва директно като гориво за производство на електрическа енергия (например чрез горивни клетки).

в) Термо-химично разделяне на водата

Термохимичния цикъл показан на фиг. 3 е процес, състоящ се от серия от принудителни термични химични реакции, при които водата се разделя на водород и кислород. За поддържането на междинните съединения се използват химични и физични процеси.



Фиг. 3. Схема на термохимичен процес за разделяне на водата

#### г) Електролиза

Електролизата на водата при атмосферно налягане и температура 70 – 90°C е прост метод за производство на водород с висока чистота. Високо-температурната електролиза е обратната реакция на твърди оксид горивни клетки, където водата се разлага върху твърд полимерен електролит на водород и кислород.

#### ➤ **ЯДРЕНО ЗАДВИЖВАНИ ПЛАВАТЕЛНИ СЪДОВЕ**

Ядрената енергия е особено подходяща за плавателни съдове, които трябва да бъдат в морето за продължително време без презареждане или за мощно задвижване на подводниците. Около 140 кораби се задвижват с повече от 180 малки ядрени реактори и е натрупан повече от 12 000 реактор години опит в експлоатацията.

Програмата за ядрено задвижвани кораби започва през четиридесетте години на миналия век, а първият тестов реактор е пуснат в експлоатация в САЩ през 1953 година. Първата ядрено задвижвана подводница USS Nautilus е пусната в експлоатация през 1955 година. Първият ядрено задвижван самолетносач USS Enterprise е работил от 1962 до 2012 година.

Най-големите подводници са руските 26 500 тонни, клас Тайфун които се задвижват от два 190 MWt реактора тип PWR.

#### ➤ **ЯДРЕНИ ВОЕННОМОРСКИ ФЛОТИ**

Между 1950 и 2003 година в Русия са построени 248 ядрено задвижвани подводници, 9 ледоразбивача и 5 военноморски надводни съдове, захранвани от 468 реактора.

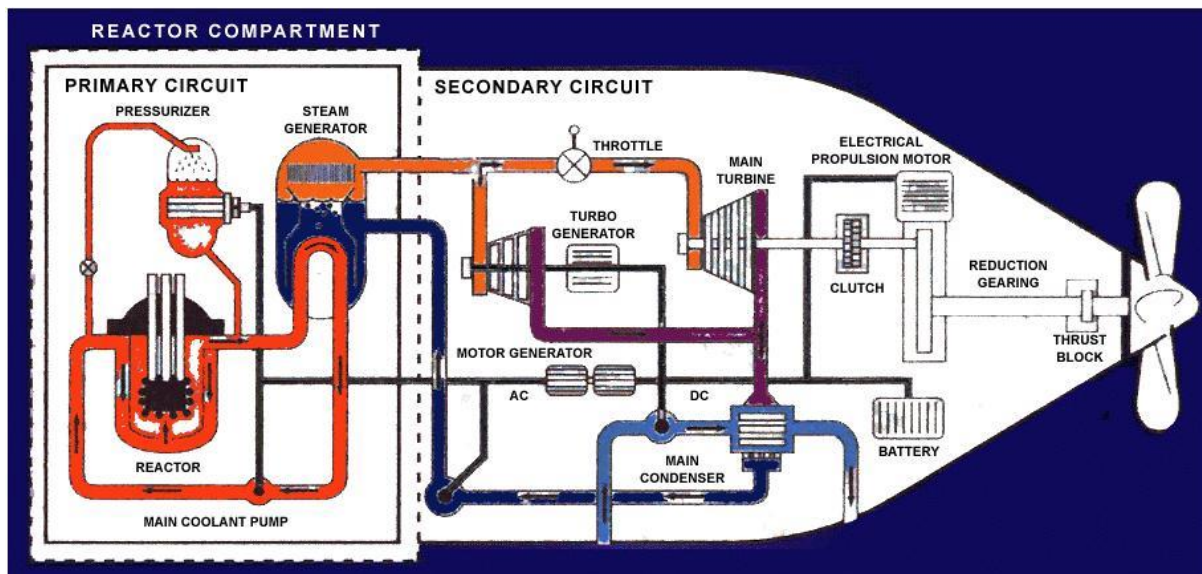
Индия пуска в експлоатация първата си подводница през 2009 година. Arihant се състои от един реактор – тип PWR с високо обогатено гориво.

До средата на 2010 САЩ са построили 219 ядрено задвижвани съдове, а след това са в процес на изграждане 5 подводници и самолетносач. Всички американски самолетносачи и подводници са с ядрено задвижване.

Китай има около 12 ядрено задвижвани подводници, като първата от тях беше изведена от експлоатация пред 2013 година след почти 40 години работа.

Великобритания има 12 подводници, всичките ядрено задвижвани (фиг. 4).





Фиг. 4. Великобританска ядрена подводница

### ➤ СИСТЕМИ ЗА ЯДРЕНО ЗАДВИЖВАНЕ

Военноморските реактори са реактори с вода под налягане, които се различават от традиционните реактори, произвеждащи електрическа енергия по това, че:

- те са източник на много голяма мощност в много малък обем и поради това в тях се използва високо обогатен уран;
- горивото не е  $UO_2$ , а уран-циркониева или уран-алуминиева сплав (15% U с 93% обогатяване) или метало-керамика
- активната зона има „дълъг живот”, така че презареждането става само след 10 или повече години; новите активни зони са проектирани да издържат 50 години за самолетносачите и 30-40 години са подводниците;
- топлинната ефективност е по-малка от тази на традиционните ядрени електроцентрали, поради необходимостта за гъвкава изходна мощност и ограниченията в пространството за парната система.

### ➤ СЕЛСКО СТОПАНСТВО И ХРАНИТЕЛНО-ВКУСОВА ПРОМИШЛЕНОСТ

Най-малко 800 милиона от 7-те милиарда жители на света са хронично недохранени, а десетки хиляди умират всеки ден от глад и свързани с глада причини. Радиоизотопите и радиацията, използвани в хранително-вкусовата промишленост и селското стопанство помагат да се намалят тези трагични цифри.

Торовете са скъпи и ако не се използва правилно, могат да навредят на околната среда. Затова ефективно използване на торове е от значение както за развиващите се, така и развитите страни.

Гама или неутронното облъчване често се използва в комбинация с други методи за получаване на нови генетични линии на грудкови растения, зърнени и маслодайни култури.

### ➤ **МЕДИЦИНА**

Повечето хора са запознати с широкото използване на радиацията и радиоактивните изотопи в медицината, особено за диагностика и терапия на различни медицински състояния. В развитите страни (една четвърт от населението на света) един на педесет човека използва диагностична ядрена медицина всяка година.

В над 10 000 болници по света се използват радиоактивни изотопи. В САЩ има над 20 милиона ядрени процедури годишно, а в Европа те са около 10 милиона. Използването на радиоактивни фармацевтични продукти за диагностика нараства с над 10% годишно.

### ➤ **ДАТИРАНЕ**

Анализа на относителното изобилие на определени естествени радиоизотопи е от жизнено важно значение при определяне възрастта на скали и други материали, които представляват интерес за геолози, антрополози и археолози.

### ➤ **И МНОГО ДРУГИ. . . .**

От момента, в който ставаме сутрин, до момента, в който отидем да си легнем, ние несъзнателно се възползваме от много от гениалните приложения на радиоизотопите, радиацията и ядрената енергия като цяло.

Водата, с която се къпем, дрехите, които носим, храната, която ядем, хартията, която използваме, лекарствата, които приемаме, медицинските изследвания, които си правим са само някои от примерите, които ние понякога приемаме за даденост и без много да се замисляме по какъв начин са получени се възползваме от тях.

## Исползвана литература

Desalination and Other Non-electric Applications of Nuclear Energy, Debu Majumdar

[http://users.ictp.it/~pub\\_off/lectures/Ins020/Majumdar/Majumdar\\_2.pdf](http://users.ictp.it/~pub_off/lectures/Ins020/Majumdar/Majumdar_2.pdf)

Nuclear Hydrogen Production Technology –NRT 2013

[http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC57/GC57InfDocuments/English/gc57inf-2-att1\\_en.pdf](http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC57/GC57InfDocuments/English/gc57inf-2-att1_en.pdf)

<http://www.world-nuclear.org/info/Non-Power-Nuclear-Applications/Transport/>

<http://www.world-nuclear.org/info/Non-Power-Nuclear-Applications/>