

בדיקות שמש כמקור אנרגיה

מאת: בני דורון, חברת סולמט.

מרבית מקורות האנרגיה המצויים כיום בשימוש האנושות אינם אלא גלגול ותולדה של קרינת השמש. הדלקים הבעירים (פחם, נפט וגז), האנרגיה ההידרואלקטרית ואנרגית הרוח - מהווים מצבורי אנרגיה שהותמרה מן הצורה האלקטרומגנטית (כהופעה בקרינת השמש) לצורות אחרות (אנרגיה כימית בדלקים ואנרגיה מכנית במפלים ורוחות). הקו המאפיין את מצבורי האנרגיה השמישים הוא הווצרותם בתהליכים איטיים ובעלי נצילות נמוכה; כמותם בקליפת כדור הארץ מוגבלת, וקצב הווצרותם קטן מקצב ניצולם בידי האנושות. כבר בראשית התפתחות המדע והטכנולוגיה הופנתה שימת לב לאפשרות הניצול הישיר של קרינת השמש והפיקתה למקור שמיש לחברה האנושית, אך ההצלחות בלישום הרעיונות השונים היו מעטות ומוגבלות. (להוציא שימושים "טבעיים" הקיימים משהו ההיסטוריה כשימוש הישיר במזון, או הבערת אש בעץ).

הסיבות העיקריות שהפריעו לניצול קרינת השמש הן הצפיפות הנמוכה בה מגיעה האנרגיה לפני האדמה, וחוסר הסדירות שבה (מהזריות יום ולילה נחד גיטא, ועונות השנה מאידך גיטא).

צפיפות הקרינה הנמוכה מחילבת שימוש באמצעי קליטה רחבי מימדים לאספקת כמויות אנרגיה מוגבלות: כמות האנרגיה הממוצעת המגיעה למטר רבוע על פני האדמה ביממה מסתכמת - בארץ - בשווה ערך של כ- $\frac{1}{5}$ ק"ג נפט - כ- 5 קוט"ש; במרכזית האזורים המיושבים והמתועשים בעולם הכמות נמוכה בהרבה. תהליכי קליטת האנרגיה וצבירתה כרוכים באיבודים מרובים, עובדה המפחיתה, אפקטיבית, את צפיפות האנרגיה; בתהליכי קליטה ואגירה תרמיים ניתן להגיע לניצילות בת כ- 20%-30%, ואילו בהמרת האנרגיה לצורות "משוכחות" יותר (אנרגיה מכנית או חשמלית) נחשבת נצילות בת 5%-10% לערך גבוה.

צריכת האנרגיה הממוצעת לנפש בחברה המודרנית מגיעה לכדי 100 קוט"ש ליממה ויותר; ניתן לפיכך לראות כי שטח הקליטה הנדרש לטיפול צרכי משפחה ממוצעת מגיע לערך העולה על שטח המגורים של אותה משפחה. יתרה מזאת: כדי לעשות שימוש יעיל באנרגיה, ולהתאים את תקופת אספקתה למועדים שבהם היא נדרשת - טובה להתקין אמצעי אגירה עצומים לשימוש בין עונת שנה אחת לעוקבתה. המגבלות הטכניות והכלכליות הכרוכות בהתקנת מערכי קליטה ואגירה מנעו, עד לתקופה האחרונה, את ניצול אנרגית השמש בקנה מידה רחב כחלופה אפשרית למקורות האנרגיה המקובלים.

בשנים האחרונות הוחל בנסיונות ראשוניים לנצל את הכמויות העצומות של אנרגית השמש הנופלת (ובאגרת בחלקה) על פני אוקיינוסים ואגני מים. השכבה העליונה של מי האוקיינוסים בולעת את קרינת השמש. הבליעה גורמת לחימום הרובד העליון; צפיפות המים פוחתת תוך כדי חימום, ועל-כן נשארים המים החמים בשכבה הגבוהה ומפסידים חלק ניכר מהאנרגיה שנאגרה בהם בתהליכי נידוף, קרינה והסעה לאטמוספירה. הפסדים אלה מגבילים את טמפרטורת שיווי המשקל של מי האוקיינוס העליונים לתחום שכיך 20°C לבין 30°C .

טמפרטורת מי האוקיינוס פוחתת ככל שמתרחקים מפני השטח. בעומק של כ- 600 מ', נמדדות טמפרטורות הנמוכות בכ- 20°C מטמפרטורת פני האוקיינוס.

הגורם העיקרי השולט במטמפרטורות מי העומק הוא תהליך הסעה והפשרת קרח מאזור הקוטב ; המים הקרים (והכבדים) החודרים לאוקיינוסים באזורי הקוטב גולשים לתחתיתם ונאגרים שם הפרש הטמפרטורות בין מי השטח לבין מי העומק ניתן לניצול על-ידי הפעלת יחידות כוח, ומאמץ הפיתוח הנעשה במסגרת תכנית * OTEC בארה"ב מנסה ליישם את התופעה לייצור חשמל בקנה מידה רחב.

הים התיכון, ים סוף וים המלח נעדרים מקורות אספקה למי עומק קרים, ועל-כך תופעת הפרשי הטמפרטורות בין מי השטח למי העומק כמעט ואינה קיימת. בארץ נעשים בעת האחרונה מאמצים לנצל תופעה הפוכה מזו הקיימת באוקיינוסים. התופעה ידועה בשם "אגם שמש". מצויים בעולם מספר אגמי שמש טבעיים (שהגדול בהם נמצא ביבשת האנטארקטית), ובארץ דובר רבות על אגם השמש הטבעי שמדרום לאילת.

התופעה המאפיינת את אגמי השמש היא היות הטמפרטורה בעומקם גבוהה בהרבה מטמפרטורת פני השטח (תרשים 1 א'). לכאורה היינו מצפים לכך שמצב זה יהיה בלתי יציב, ושהמים החמים שמקורם בתחתית האגם יוסעו בכוח הצלפה כלפי מעלה, ויפיגו את חומם לאטמוספירה. העובדה המאפשרת בכל זאת את יציבות אגמי השמש היא הווצרות ריכוזי מלח גבוהים בתחתית האגם, בעוד פני השטח שומרים על ריכוזי מלח נמוכים (תרשים 1 ב'). העלייה היחסית בצפיפות המים (תרשים 1 ג') כתוצאה מהגדלת ריכוז המלחים גדולה מן הירידה היחסית כתוצאה מן העלייה בטמפרטורה, ולפיכך מתקבל מבנה שכבתי יציב באגם, ומבנה זה הוא המאפשר את אגירת אנרגיית השמש בשכבות מים המרוחקות מפני השטח (תרשים 2). אגם השמש מהווה, איפוא, מעין חממה, או מלכודת חום: הקרינה חודרת דרך שכבת המים השקופה הקרובה לפני השטח, נבלעת ונאגרת בשכבות העמוקות ; מוליכות החום של מים היא נמוכה, ולפיכך משמשת השכבה העליונה כשמיכת בידוד המגינה בפני הולכת חום כלפי מעלה משכבת האגירה אל מחוץ לאגם, ואילו קרקעית הברכה פועלת באופן דומה לצמצום זרימת החום כלפי מטה. אם אמנם מבנה אגם השמש הינו מבנה כה יציב מדוע אין כל הימים והאגמים הופכים לאגמי שמש?

התשובה לשאלה זו עולה משלושה גורמים:

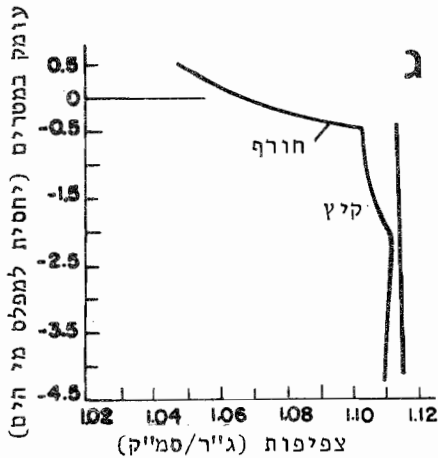
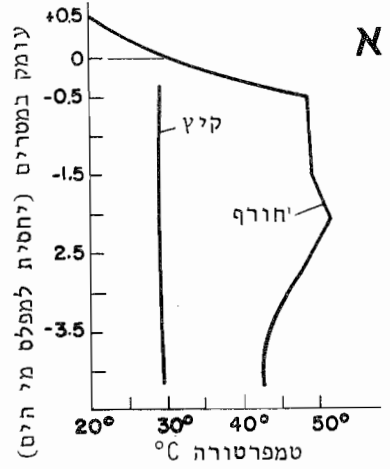
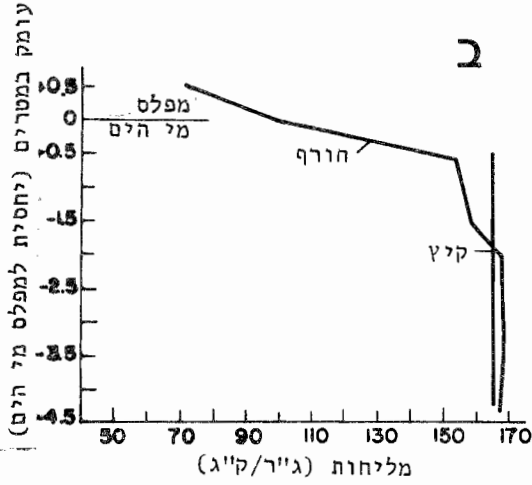
א. כמות המלח שבאגם אינה תמיד מספקת ליצירת תמיסות בריכוז במידה הדרושה לקביעת תנאי היציבות.

ב. הרוח הגורמת לערבול גוף המים ולהרס המבנה המדורג של ריכוזי המלחים (= גרדיינט הצפיפויות).

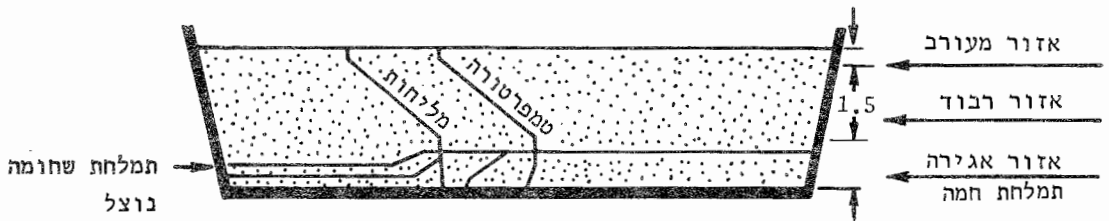
ג. הדיפוזיה הגורמת למעבר מלח מאזור התמיסה המרוכזת לאזור התמיסה המהולה.

אגם השמש בקרבת אילת מנותק מגוף המים העיקרי של מפרץ אילת במשך חודשי הקיץ. ואילו בחודשי החורף מתקיים קשר רופף בין השכבות הגבוהות של שני הגופים. קיימת, איפוא אפשרות לצבירת כמות מלח מספקת ליצירת הריכוזים הדרושים. האגם מוגן מפני השפעת הרוח על-ידי רכסים הסוגרים עליו משלושה עברים. עובדות אלה מאפשרות את הווצרות אגם השמש החם בחודשי החורף, אך לעומת זאת, בחודשי הקיץ - פועל תהליך הדיפוזיה

במגמה להשוואת ריכוזי המלחים באגם, ובהעדר שטיפת פני האגם במים שמליחותם נמוכה - מצטמצם גרדיינט הצפיפות למידה שאינה מאפשרת עוד יציבות שכבתית, והאגם מתערבל ומפיג את חומו. התופעה מודגמת בעקומות המליחות, הצפיפות והטמפרטורה כפי שנמדדו באגם השמש הטבעי באילת.

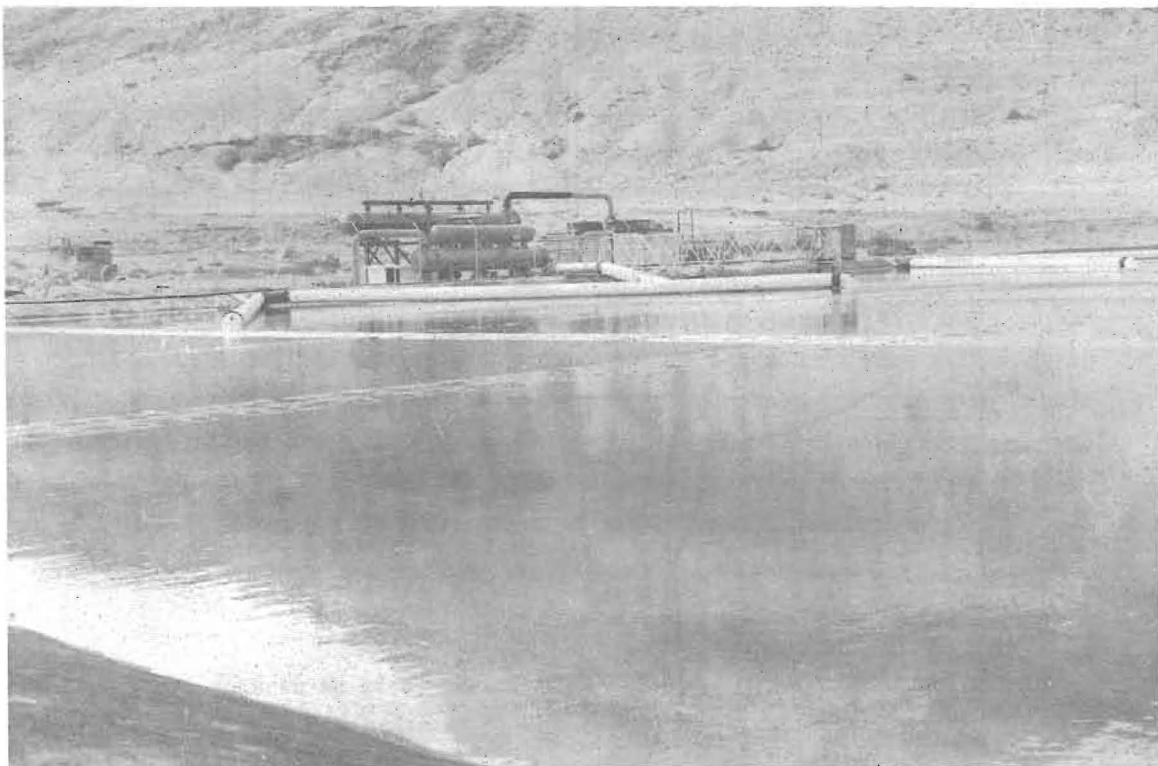


תרשים 1: גרפים המתארים את תלות
 א. הטמפרטורה ב. המליחות
 ג. הצפיפות, בעומק המים.



תרשים 2: הרבדים השונים של ברכת השמש.

הנסיונות לחיקוי אגם השמש, וליצירתו בידי אדם בתהליכים מבוקרים ואופטימליים לצורך רתימת מקור האנרגיה לשימוש יעיל - החלו בארץ עוד בסוף שנות החמישים. הניסויים הראשונים הסתיימו בהצלחה חלקית, אך המחקרים הופסקו עקב מיעוט העניין במקור אנרגיה זה. הטעם העיקרי לכך היה, כמובן, מחירי האנרגיה (קרי נפט) הנמוכים של אותם ימים. בשנת 1976, לאחר פרוץ משבר האנרגיה, חודשה העבודה, ומאז ועד היום נבנו מספר ברכות שמש מלאכותיות - הגדולה בהן, (בעין בוקק, ראה תרשים 3) בת 7000 מ"ר - אשר שמשו לניסויים ובדיקות. הניסויים תוכננו הן לצורך קביעת נתוני התכנון האופטימליים לברכה עצמה, והן לצורך בדיקת האפשרויות לדליית חום הברכה וניצולו על-ידי המרה בצורות אנרגיה אחרות.



תרשים 3: ברכת שמש מלאכותית בעין בוקק.

דלית החום מן הברכה נעשית באמצעות שאיבת מים מתוך אזור האגירה, הזרמתם דרך מחליפי חום, והשבתם לרובד נמוך יותר באזור האגירה. כיון שהשאיבה וההשבה נעשות במים רבודים, אין הן גורמות לערבול שכבות, אף כאשר מרחקי הזרימה גדולים, בדומה לקיומם של זרמים יציבים באוקיינוסים (הדוגמא הידועה היא זרם הגולף, המתמיד בזרימתו כמעט ללא ערבול לאורך אלפי קילומטרים). עומק איזור האגירה בברכות השמש ניתן לקביעה שרירותית. ככל שיגדל עומקו של איזור האגירה, כן יגדל קבול החום שלו, וכפועל יוצא - יקטנו התנודות המחזוריות בטמפרטורה שלו עקב שינויים בקרינה (יום ולילה) ועונות השנה.

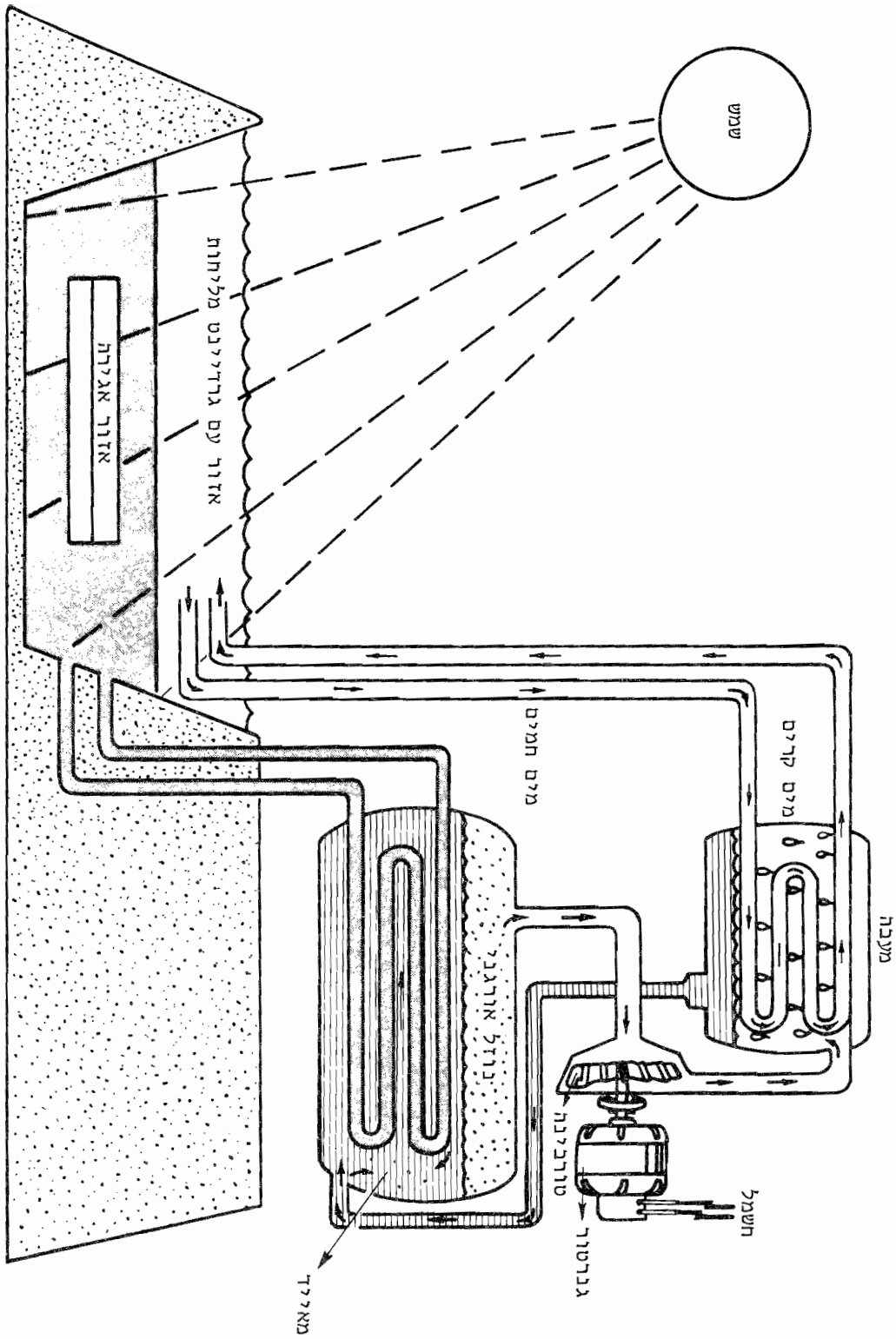
כאמור לעיל, אחד הגורמים המביאים להרס גרדיינט הצפיפויות הוא האינטראקציה שבין פני הברכה לבין הרוח; הגלים הנוצרים בפני השטח הבלתי מוגן מכילים אנרגיה מכנית במידה מספקת לערבול השכבה העליונה, ולביטול הדרגתי של כל מבנה האזור הרבוד. הדרך שנמצאה לצמצום תהליך מזיק זה היא פרישת רשתות על פני הברכה, בצפיפות ובחתיכים המונעים כמעט כליל התפתחות גלים, ועם זאת מפריעים אך במעט לחדירת הקרינה אל מעמקי הברכה.

השימושים האפשריים לאנרגיה המופקת על-ידי ברכות שמש הם רבים ומגוונים, וחלקם מצוי כבר היום בשלבי פיתוח מתקדמים. העיקריים שבשימושים הם ליצור חשמל, הפקת קיטור לחעשייה, המתקת מים, וקירור בתהליכי ספיגה.

ליצור חשמל (ראה תרשים 4) נעשה באמצעות הזרמת מי שכבת האגירה דרך מחליף חום (מאייד) בו רותח נוזל אורגאני בעל נקודת רתיחה נמוכה. אדי החומר האורגאני עוברים בכוח דרך טורבינה למחליף חום שני (מעבה) שדרכו מוזרמים מים מן הרובד העליון בברכה. החומר האורגאני שהתעבה מושב למאייד, שם יתחיל מחזור איור נוסף. בדרך זאת מופעלת הטורבינה ברציפות על-ידי עצם שמירתם של שני הרכיבים (המאייד והמעבה) בטמפרטורות שונות. הטורבינה רתומה למחולל חשמלי; החשמל המופק בתהליך זה מנוצל, בחלקו הקטן, לאספקת האנרגיה הדרושה למערכת עצמה (בעיקר לשאיבת מים), וברובו - מסופק לצריכה.

כמות החשמל הניתנת להפקה מברכת שמש ששטחה קילומטר רבוע אחד באמצעות טורבינה כמתואר לעיל מסתכמת בכ- 24,000,000 קוט"ש בשנה, כמות שדי בה לקיים ישוב המונה כ- 10,000 תושבים.

אם השימוש הנעשה בברכת השמש הוא לצרכי המתקת מי-ים, תסתכם הכמות השנתית הניתנת להפקה מקמ"ר של ברכת שמש בכ- 4.7 מיליון מ"ק, וזאת בתהליך המוכר של זיקוק בפריצה רב-שלבית, אשר פותח ושוכלל בארץ בחברת הנדסת התפלה בע"מ. (מתקני ההמתקה באילת פועלים בשיטה זו). הכמות הנקובה לעיל מספקת לכ- 20,000 נפש. יישום נרחב של ניצול תופעת ברכות השמש ניתן להיעשות על-ידי הפיכתו של ים המלח לאגם שמש. ים המלח הינו אגם עמוק של מים מלוחים ביותר, יחיד במינו בעולם. כדי להסב את ים-המלח ששטחו כ- 1000 קמ"ר לאגם שמש, יש צורך בהזרמה רצופה של מים בשיעור מליחות נמוך מזה של ים המלח, ליצירת גרדיינט הצפיפויות בשכבתו העליונה. כמות המים הנחוצה לפעולה זו מגיעה לכדי 2.5 מיליארד מ"ק בשנה - כמות הגדולה מכל עתודות המים של מדינת ישראל. הדרך היחידה לביצוע התכנית היא באמצעות הזרמת מי הים התיכון לים המלח, וכך משתלבת תכנית אגם השמש בתכנית תעלת הימים הקורמת עור וגידים. התעלה, שתנצל את הפרשי הגבהים בין הים התיכון לים המלח להפקת אנרגיה הידרואלקטרית - תסיע בשמירת מפלט ים המלח, ותספק מים בכמות מספקת להפעלת אגם שמש ענק, שילתן בידי המדינה מקור בלתי-נדלה של אנרגיה ושל מים מומתקים.



תרשים 4: תרשים סכמטי של ייצור חשמל כאשר מקור האנרגיה הוא ברבת שמש.