

הגל החדש – 4XBulletin

גיליון מס' 66, אוגוסט 08/2025



אלכס קרייזמן 4Z4AK זוכה בתחרות IARU 2025 – מקום ראשון בעולם!

מה בגיליון:

על חובבות הרדיו, ספורט ומוזיקה.

איך מזרימים מדיה דיגיטלית.

איך פועל ה-GPS.

איך עושים DX על 2 מטר.

טכני: מבוא ל- SDR קליטה שידור.

תולדות האיום הגרעיני של איראן.

המדור בשפה האנגלית English Corner ועוד...

תוכן עניינים

- 3 - דבר העורך אוגוסט 2025
- 4 - גלריה - טיולי שחק
- 5 - על תחרות IARU לשנת 2025
- 9 - מכתב ל-4X4HQ מפרייבורג:
- 10 - הודעות מעמותת חיל הקשר
- 11 - חובבות רדיו, עם ספורט ומוסיקה
- 14 - הזרמת מדיה – קול ותמונה
- 20 - מערכות ניווט גלובליות
- 25 - the English-language section Aug. 2025
- 26 - Sporadic-E: 2-Meter Propagation
- 31 - איראן – מערכת החשמל והאיום הגרעיני *

משתתפים בגיליון זה:

מהנדס אברהם סט	
דניאל רוזן	4X1SK
צביקה סגל	4Z1ZV
טים סקרימשואו	4X1ST
מיכאל ספיבק	4X5IC
ריץ' הראל	4X1DA
רוני יבלונובסקי	4X5DJ
מאיר פיאלקוב	4X6KG
מרק שטרן	4Z4KX
דורון אביב	4X1ZX

בברכת 73, וקריאה נעימה! נפתלי בלבן-אברהנד 4Z1RM, מו"ל ועורך הגיליון. המאמרים אשר לא צויין שמו של המחבר, נכתבו ע"י העורך. משתתפים קבועים: דר' איל רסקין 4X1RE וטים סקרימשואו 4X1ST. תודה על הגהה ליעל בלבן. תודה לצביקה סגל 4Z1ZV ועדו רוזמן 4X6UB על תרומתם המקצועית. לקריאת גיליון זה וגם את קודמיו ניתן להיכנס לאתר: <https://4xbulletin.org/> כתובת המערכת לתגובות, בקשות ומשלוח מאמרים: 4xbulletin@gmail.com. אנו משתדלים למצוא קרדיטים – שמות שימוש בחומרים ותמונות לפי חוק זכויות יוצרים 27א'. עיתון זה נכתב ונערך בהתנדבות עבור חובבי רדיו שלא למטרות רווח, יש אפשרות לפרסם קטעים ממנו במקומות אחרים בתיאום עם המערכת.

הערה: המאמרים המופיעים בגיליון זה הם באחריות הכותבים בלבד.



דבר העורך אוגוסט 2025

מאת: נפתלי בלבן-אוברנהנד, 4Z1RM

סיום המלחמה אינו נראה באופק, ומדי חודש עולה מספר אויביה של מדינת ישראל. החטופים עדיין נמקים בגיהינום של החמאס, כמעט שנתיים, ואין סימן לשינוי כלשהו.

בגיליון שלפנינו ישנם חידושים אחדים:

* מדור "בשם זה הג'וב שלי", שיביא סיפורים אישיים של חברים שלנו. כולנו מכירים חובבים רבים, אך הרקע המקצועי שלהם לא תמיד ידוע לנו. זה המקום בו ניתן יהיה לקרוא דברים העשויים להיות מרתקים.

* המלחמה המתמשכת נגד איראן, (שהייתה בעבר ידידה של ישראל...) כיום כמעט כל אחד בארץ כבר יודע איזה כמויות של אורניום יש או אין לאיראן, כמה ממנו עומד להיות מועשר, ומה האיראנים זוממים ומסוגלים לעשות נגדנו. ואיך כל זה התחיל? חברנו המהנדס אברהם סט מחברת החשמל מביא לנו מאמר נוסף מהסדרה על החשמל והאנרגיה של המזרח התיכון, וכן מבט על תחילת הפרויקט הגרעיני והמרוץ של איראן לאטום. שימו לב – המאמר נכתב לפני כ-10 שנים, ועדיין הוא מכיל מידע מעניין.

* הגביע הוא שלנו! חברנו אלכס - 4Z4AK מצטיין שוב, וזכה במקום הראשון בעולם בתחרות IARU שנערכה בחודש שעבר. כיצד חובב הופך למקצוען? קראו במאמר.

לסיום נאחל המשך של החופש הגדול לכל הצעירים. מי ייתן ונזכה לשלום, רווחה ואחוה בינינו.

בברכת 73, שלכם העורך, נפתלי בלבן-אוברנהנד 4Z1RM

ימי הולדת של חברים וותיקים בחודש אוגוסט 2025 – מאת מארק שטרן 4Z4KX

1	4Z5CN	לודמילה שטקלברג	06.08.1950
2	4X6LP	אבי פלוטניק	06.08.1955
3	4Z4GX	עקרי עובדיה	10.08.1932
4	4X5HS	שמואל הרשקוביץ	12.08.1951
5	4X4TK	שמואל רון	14.08.1942
6	4Z5BU	חנוך איזנפלד	14.08.1942
7	4Z5AV	מיכאל קרימר	14.08.1948
8	4X5MZ	קופרשמיט יוסי	14.08.1943
9	4Z5PF	סמואל ויקטור	15.08.1944
10	4X6XJ	גומון אפים	15.08.1946
11	4X1WD	לוי דני	23.08.1950

מי מהחובבים שמעוניין לברך את חבריו לימי ההולדת, יפנה למארק 4z4kxx@gmail.com



טיולי שחף (צילומים 4Z1AR)

טיול קיץ בסדרת טיולי אלי שחף סיכום:
 בשבת ה-12/7/2025 יצא טיול של חברי האגודה בהדרכתו של אלי שחף 4Z1NB לתל תנינים, נמל ג'אסר, יער עופר ועיץ כרמל, בחום של 34° עם אירועים קצרים של בריזה. השתתפו 56 חברים שהגיעו ב-34 מכוניות, בשיירה שאורכה 1.5 ק"מ שנהנו מ 66 קרטיבים צוננים ואלי שחף האחד והיחיד ואנו מודים מכל ה-❤️. תודה לאלה שהגיעו אחרי תקופה ארוכה וקשה אל הטבע בימי החום של יולי. בסך הכל לא היה נורא כל כך. דעו לכם: חילוץ עצמות שכזה בטבע ובחברותא נפלאה זה Pure Health - מילה של רופא אחד (שהיום גם היה בקהל)... שניפגש רק בשמחות! מאת: ועד אגודת תקשורת הרדיו הישראלית.



משה אברמוביץ' עם 4X6BX עם XYL



חיליק עם "little harmonics" 4X1YA



על תחרות IARU לשנת 2025

לחובבים שלום!
שמי מיכאל ספיבק, ואני חובב חדש בעל אות הקריאה 4X5IC

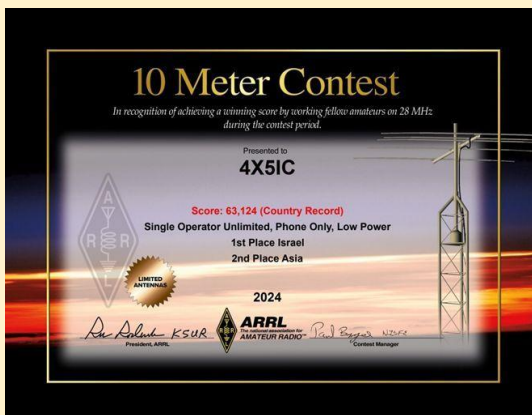


מיכאל ספיבק 4X5IC בתחנת Contest בזמן 2025 CQ WPX

את דרכי בחובבות הרדיו התחלתי ממשוה שנראה כלא קשור כלל לפעילות זו. ביום בהיר אחד בסוף אביב - במאי 2023, בסופ"ש שמשו וכמעט חסר רוח החלטנו לצאת עם החברים, כהרגלנו, למסלול הטסת הטיסנים באזור חבל מודיעין. היה זה יום נהדר והיו בו טיסות מרהיבות וטיסנים מרשימים וגדולים מאוד. פתאום הגיע למסלול חבר נוסף ושמתי לב למשהו מוזר. על השמשה האחורית של רכבו, היה כיתוב מוזר באותיות גדולות בצבע לבן "4X4IF" ... כאשר ניגשתי אליו ושאלתי מה פשר הכיתוב, ענה לי: "ואני חובב רדיו וזה אות הקריאה שלי!" הנושא עניין אותי מאוד והתחלתי לשאול שאלות ולתחקר את הבחור עד שבסופו של יום הגעתי לאתר האגודה ונרשמתי... תוך כמה ימים קיבלתי כמה שיחות טלפון של אנשים מאוד חביבים ביניהם דני רוט וחנן צבר, שעזרו לי בדרכי לקבלת רישיון החובב. ב-16 לאוגוסט 2023 יצאתי ממשרד התקשורת,

לאחר פגישה עם צורי 4Z1RZ, ובידי רישיון חובב רדיו ביד, חיוך על פניי ושמחה בלב למתנת יום ההולדת שארגנתי לעצמי.

מהרגעים הראשונים שלי כחובב, נושא התחרויות עניין אותי מאוד. איך נחשפתי לזה? מארק, 4Z4KX התקשר ושאל אותי כחודש לאחר קבלת הרישיון, האם אני משתתף בתחרות שעומדת להתקיים בקרוב (לא היה לי מושג על מה דיבר) מתוך סקרנות עניתי בחיוב שאני רוצה לנסות את כוחי ואת מזלי. מארק היה סקפטי מאוד לגבי היכולת שלי ולגבי האנטנות כמובן, ואני מרוב התלהבות - נתתי פול גז. זאת הייתה תחרות ב CQ WWW SSB של שנת 2023, השתתפתי בקטגוריית ה-ROOKIE (מתחילים, עד 3 שנים מקבלת רישיון הראשון) על כל הגלים. היו לי אנטנות ל-10-15-20-40 מטר ולרוב הפתעתי ושמחתי, זכיתי במקום השני באסיה, ושמיני בעולם וקבעתי שיא ישראלי חדש בקטגוריה.



בהזדמנות זאת ברצוני להודות לאנשים שעזרו לי במסירות לאורך הדרך להפוך לחובב: נמרוד שוורץ 4Z1BG על הידע הרב שלך ועל רצונך לעזור בכל הנדרש ועל סבלנותך המרובה, הנך אדם מדהים!

לישראל ברקו 4X1OM על הליווי הצמוד, העזרה והחברות.

מארק שטרן 4Z4KX ואיליה זוזין 4Z1UF - בלעדיכם כנראה שלא הייתי הופך לחובב כלל! תודה ש"תפסתם" אותי ביום השדה ההוא ברחובות וקיבלתם אותי. הרגשתי שאני בקרב אנשים שאכפת להם ממני.

לארתור 4X1MM על הסבלנות והליווי והשיעורים שלמדתי ממך. אני מרגיש שאני "בבית" עם אנשים מלאים ידע ורצון לעזור, ומשתדל להחזיר באותה רמה.

ונחזור לענייננו...



אלכס קרייזמן - 4Z4AK

עם הזמן היו עוד תחרויות כאלה ואחרות אבל התחרות הראשונה נותרה בלבי. נכנסתי לנושא התחרויות בשמחה ובעניין רב. היה גם מקום שני בעולם ומקום ראשון באסיה ואירועים מעניינים נוספים. בזמן הפעילות כחובב יצא לי להכיר, לגמרי במקרה אדם מדהים וחובב מוכשר מאוד העונה לשם אלכס קרייזמן - 4Z4AK שעליו בעצם רציתי לספר לכם את הסיפור. הבחור חובב רדיו עם ניסיון עשיר מאוד בתחרויות גם במורס וגם בדיבור (חד פס), וקיבל מקומות ראשונים בתחרויות המכובדות ביותר. הוא מוכר כחובב רדיו מצטיין בכל העולם!

הוא אדם צנוע מאוד, בעל ידע מדהים בתחום החובבות והאלקטרוניקה, וידי זהב המתקנות ובונות כל דבר שזז!

הוא חובב רדיו מתחרה למרות שאין לו תחנה בבית. פרט למשהו פרוביזורי עם אנטנת "חכה" שנשלפת מהחלון במידת הצורך. בתחרויות אלכס מפעיל מתחנות "חוק" כמו למשל צימר מושכר על חוף הים, או אצל חברים שלהם תחנות משוכללות המסוגלים לארח חובבים אחרים. ברצוני לספר בעיקר על תחרות ה-IARU HF Championship 2025 - אחת התחרויות הגדולות הקיימות אשר מקדימה "לאליפות העולם" של חובבי הרדיו.

את התחרות הזאת אזכור לתמיד כי מה שראיתי בה שם השאיר אותי די המום!

אלכס הקים את תחנת ה-Contest אצל חברו הטוב ארתור (4X1MM) בכפר יונה. אלכס התחרה בקטגוריה ה-CW Single Operator, All Bands, Low Power. כפי שניתן לראות בתמונה המצורפת למטה - בתחנה ישנם 3 מקמ"שים פעילים בו זמנית והם פועלים ללא הפסק. בתחנה מורכבת מערכת מיוחדת, המאפשרת לחבר לאנטנה רב גלית אחת מספר מקמ"שים בו זמנית, הנקראת TRIPLEXER (מהמילה TRI - שלוש). כלומר שאנטנת ה-OptiBeam הרב גלית מחובר אביזר המאפשר לפעול בשלושה גלים שונים בו זמנית! על השולחן יש גם קופסא מעניינת ולא גדולה אשר נקראת SO3R. היא בעצם מחברת את כל 3 המקמ"שים מבחינת סיגנל האודיו ו-PTT לתוך סט אחד של אוזניות עם מיקרופון והלחצן PTT עצמו. בכל רגע נתון, המפעיל שומע שני סיגנלים משני מקמ"שים שונים - כל אחד באוזן אחרת. ניתן להחליף בין המקמ"שים ע"י לחיצה פשוטה על הכפתור. זה מאפשר למפעיל בכל רגע נתון לשמוע בעצם שני בנדים בו זמנית!

מה רואים בעצם בתמונה הוא כמובן את המפעיל המוכשר אלכס ואת התחנה של ארתור אשר חוברה בצורה מיוחדת בכדי לעבוד בתחרות. לאלכס יש יכולת מדהימה לשמוע שני 2 סיגנלים של קוד מורס (כל אחד באוזן אחרת) ולפענח אותם, לרשום אותם בלוג וכמובן גם לענות!

נכון לעכשיו, בטרם פורסמו התוצאות הרשמיות ולפי המידע עד כה שאנשים פרסמו באתרים המיועדים לכך - אלכס ממוקם במקום הראשון בעולם בקטגוריה שלו. שאפו גדול! נאחל הצלחה רבה לאלכס ונחזיק לו אצבעות לקראת השתתפותו באולימפיאדת החובבים בשנה הבאה.



בתמונה - תחנת ה-contest בצוק הדרומי בחוף הרצליה - אנטנת Mono Band 3 Elements Yagi 21MHz ואנטנת VDA רב גלית 14-21-28 MHz. שתי האנטנות - בניה עצמית של אלכס. הקרוואן שימש כתחנה עבורי ועבור אלכס ויש בו גם מקום להתרענן ולנמנם במידת הצורך.

de 4X5IC ,73

* תודה לאברהם סלע 4Z1IZ על עזרתו להכנת הכתבה.



דורון אביב 4X1ZX העביר לנו מכתב שקיבל מפרייבורג:

כידוע, היינו אמורים לצאת כמשלחת נוער מטעם מועדון 4X4HQ לגרמניה לביקור בתערוכת פרידריכסהאפן ולאחר מכן בעיר תאומה לת"א – פרייבורג. לצערנו, הנסיעה בוטלה (נדחתה) בעקבות מצב המלחמה בארץ. להלן הודעה לעיתונות שפורסמה בעיתונות בפרייבורג – גרמניה.

חובבי רדיו מישראל נאלצו לבטל ביקור בפרייבורג – נקווה לשוב בשנה הבאה



סטפן לאופר DC8LZ

מועדון הרדיו בתל אביב 4X4HQ הנמצא בביה"ס התיכון "עירוני ד" עם רכו המועדון, דורון אביב 4X1ZX תכננו ביוני 2025 לצאת עם 16 בני נוער מחברי המועדון לביקור בתערוכת חובבי הרדיו הגדולה בעולם בפרידריכסהאפן, לאחר מכן לבקר בפרייבורג (עיר תאומה לתל אביב) ולהיפגש עם חובבי מועדון הרדיו המקומי הפועל במסגרת ה-DARC (אגודת חובבי הרדיו בגרמניה).

בעקבות המצב הביטחוני, משרד החינוך הישראלי אסר על יציאת בני הנוער מהארץ. תוכנית עשירה תוכננה מראש לקראת המפגש, ביטול הביקור גרם לאכזבה רבה לשני הצדדים.

יו"ר המועדון בפרייבורג סטפן לאופר DC8LZ ארגן קבוצה בת 11 חברים לצורך תכנון המפגש. בין היתר, תוכננה היכרות עם

חברי הסניף הנמצא באזור שדה התעופה של פרייבורג, וכן מפגשים עם בני הנוער המקומיים שאמורים היו לכלול – משחקים, עבודות אלקטרוניקה, וכמובן הפעלת תחנת הרדיו של המועדון. בנוסף תוכננה ארוחת ערב חגיגית. גולת הכותרת הייתה אמורה להיות טיסה מעל פרייבורג, עם קרל-היינץ קראבצ'יק, DL1GKK חובב רדיו, ספורטאי וטיס פעיל.

בין האורחים שהוזמנו היו – יו"ר מחוז DARC קלאוס קוהנט, (DF3GU) מנהל מרכז ההדרכה לנוער בפרייבורג, יוהנס מרץ ויו"ר אגודת הידידות פרייבורג-תל אביב, ד"ר אליזבת וילנט.

למרות האכזבה מהמסע שבוטל – דורון אביב לא איבד את התקווה לבקר בפרייבורג בקיץ 2026: "תודה מכל הלב לשטפן ולכל מי שתמך וסייע. אני מקווה שנוכל להחיות את היוזמה הזאת בשנה הבאה – בואו נישאר בקשר!"

(מתוך הודעה לעיתונות: הורסט גרבה (DK3GV), דובר הסניף המקומי של חובבי הרדיו A05 (פרייבורג 18.06.2025))



הודעות מעמותת חיל הקשר

מאת דניאל רוזן 4X1SK

נכבדי,

אודה לתשומת ליבכם למספר פרסומים חדשים שעלו לאתר, שייתכן ויעניינו אתכם:

הקשר ב'הגנה' בירושלים במאורעות תר"פ (1920)

https://www.amutakesher.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/Jerusalem_Riots_1920_Visual_Signaling_1.01.pdf

דו"ח לימוני: גרעוני במבצע רכש

https://www.amutakesher.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/Limomi_Report_1.0.pdf

מצגת: שורשי חיל הקשר והתקשוב, משירות הקשר ב'הגנה' לחיל הקשר בצה"ל

https://www.amutakesher.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/Signal_Corps_Early_Years_1.00.pdf

וודאי תמצאו עניין בסרט קצר זה:

<https://www.amutakesher.org.il/?CategoryID=518&ArticleID=1030>

בברכה, דני



פוסטים אחרונים



גליון מספר 63 - מאי 2025

מה בגליון:



גליון מספר 64 - יוני 2025



גליון מספר 65 - יולי 2025

מה בגליון: - על פרופ' פרנץ אולנדורף ז"ל - מה קרה השנה בפריזדיכסהפן - היסטוריה

אפשר לקרוא את כל הגליונות הקודמים של ה-4XBulletin באתר

מה לחובב רדיו, ספורט ומוסיקה של שנות ה-50 עד ה-80

כתב: רוני יבלונבסקי 4X5DJ



רוני יבלונבסקי 4X5DJ בפעילותו כ-DJ

מקצועיים ונעימים (עמוס 4Z1AB וצורי - 4Z1RZ) הצלחתי להוציא רישיון דרגה ב. הבטחתי לעצמי שעלי להשקיע הרבה יותר ברדיו כדי להכנס ממש לעניינים. שלוש היו תמיד אהבותיי, שלוש הן לא יותר מידי... (כדברי השיר של חווה אלברשטיין): רדיו, ספורט ומוסיקה של שנות ה-50 עד ה-80.

החיבור בין רדיו, ספורט, ומוזיקה הוא חיבור של תרבות, רגש וזיכרון. כל אחד מהתחומים הללו יצר קהילות, נתן תחושת שייכות, וסיפק לאנשים מיליוני רגעים של התרגשות. בתקופה שבין שנות ה-50 לשנות ה-80 של המאה ה-20, העולם עבר שינויים טכנולוגיים, חברתיים ותרבותיים דרמטיים. בשלושת העשורים האלה בלטו במיוחד שלושה תחומים שכבשו את הדמיון של מיליונים: חובבות רדיו, אהבת הספורט, והמוסיקה שפרחה והשתנתה לאורך התקופה. כל אחד מהתחומים הללו שיקף את רוח הזמן והשפיע עמוקות על אורח החיים והתרבות הפופולרית.

חובבות רדיו – הקסם שבגלים

הרדיו היה יותר מאמצעי תקשורת – הוא היה שער לעולם. בשנות ה-50 לערך לפני עידן האינטרנט והטלוויזיה המסחרית, חובבי רדיו האזינו לשידורים מרחבי העולם, ניסו לשרד כמו גם לקלוט תחנות רחוקות בגלים קצרים ותחנות פיראטיות בגלים בינוניים. חובבי רדיו – או "רדיו חובבים" (Amateur Radio, או בכינוי: Ham Radio) – בנו אנטנות על הגג, כיוונו ידנית מכשירים, ורשמו ביומנים את התחנות שקלטו. היו שהצליחו לשוחח עם אנשים מיבשות אחרות, לעיתים גם בעתות חירום, כשהרשתות הרשמיות קרסו.

מעבר להיבט הטכני, זה היה תחביב מלא תשוקה, סקרנות ותחושת קהילה עולמית. זכור לי היטב שבימי מלחמת לבנון הראשונה בשנת 1982, בהיותי סמוך לאגם קרעון יצרתי קשר עם הורי דרך חובבי הרדיו שהיו איתי בנגמ"שי הפיקוד בחטיבה, והם עזרו ליצור קשר עם הבית. בקשתי מאבא שלי שיגיד "עבור" לטלפון החוגה כדי שנוכל לדבר. זה עידן שלא חלם אז על טלפונים ניידים.

ספורט – גאווה, רגש ושייכות

שנות ה-50 עד ה-80 היו עידן שבו הספורט הפך לא רק למופע תחרותי, אלא לחלק מהזהות הלאומית והחברתית של רבים. בישראל, כמו בעולם, משחקי כדורגל וכדור סל שודרו ברדיו בקול רועד ומלא רגש.

ילדים שיחקו ברחוב עם חולצות של קבוצות אהובות, ואלופיות העולם הפכו לחגיגות משפחתיות. הספורט ייצר גיבורים – מפלה וברזיל, דרך מוחמד עלי בזירה ומארק ספיץ ועד אולימפיאדת מינכן 1972 שהפכה לטרגדיה היסטורית.

האהדה לא הייתה רק כלפי הכוכבים – היא הייתה כלפי רעיון: מאבק, הישג, גאווה קבוצתית ולאומית.

היו לקול ישראל שדרי ספורט מיתולוגיים כמו נחמיה בן אברהם וניסים קיוויתי, וכשהם שידרו היה עליהם לתאר בפרוטרוט מה קורה במגרש ובתחרויות שכן הטלוויזיה הייתה בשנות ה-70 עדין בחיתוליה.



מוסיקה – פס הקול של הדורות

המוסיקה של שנות ה-50 עד ה-80 יצרה מהפכה תרבותית עולמית. זה התחיל עם אלביס פרסלי וצ'אק בארי בשנות ה-50 – הרוקנרול שהתפרץ כנגד שמרנות התקופה.

בשנות ה-60 באו הביטלס, הרולינג סטונס, המחפשים, האימהות והאבות, מתבודדי הרמן ועוד רבים אחרים.

אלו כאמור היו להקות הקצב שהשפיעו על כל הדור (היום אין להקות קצב). המוסיקה הייתה צבעונית, חדשנית, מלודית ולעיתים חתרנית. היא נתנה קול למאבקים, לאהבות, ולשינויים החברתיים.

בשנות ה-70 התחזקו סגנונות כמו דיסקו, פרוג רוק (מתקדם), רגאיי ופופ קליט. בשנות ה-80 נכנסה הטכנולוגיה – סינתיסייזרים, קליפים של MTV – והעולם עבר מהפכה מוסיקלית דיגיטלית.

כל עשור הביא עימו דור חדש של אמנים, שירים שנחרתו בזיכרון, והרגשה שהמוסיקה היא יותר מאשר רק צלילים – היא דרך חיים.

היום, בעידן הדיגיטלי, אנחנו ממשיכים להתרפק על אותה נוסטלגיה – עם פטיפון שמנגן תקליט ויניל ישן, משחק כדורגל עם חברים, או תדר ישן ברדיו שמחזיר אותנו לעולם שבו הכול היה פשוט, אבל גם מלא קסם.

* תודה לעמוס ברק – 4Z1AB שתיקן בהערות ובהארות.

הערת העורך: רוני יבלונבסקי הוא קריין מקצועי בתחנות רדיו מקומיות וכן מעביר הרצאות בתחום מוסיקת הקלה הישראלית והבינלאומית. כמו כן הוא מורה ובעל תארים מתחום הוראת הספורט מאוניברסיטאות בארה"ב.



רדיו קרוליין (ע"ש בתו של הנשיא קנדי) חלוצת שידורי הפופ הפירטים מול חופי אנגליה (1964-8)



הזרמת מדיה – Media Streaming

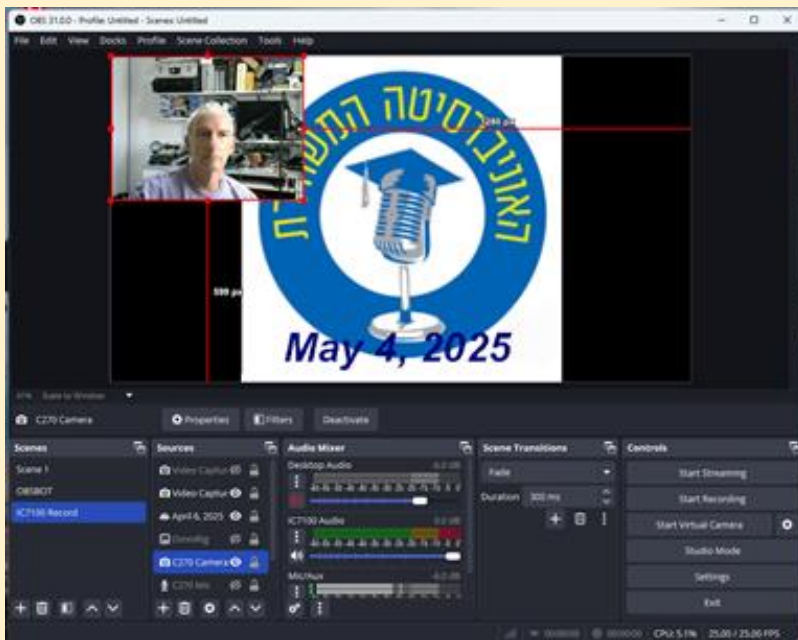
הזרים וסכם – צביקה סגל 4Z1ZV

במאמר זה אחלוק עמכם את האבולוציה שעברתי בתחום עם קצת טעימות מכל שלב, ואיך מגיעים לתובנות שבמאמר במסגרת חובבות הרדיו וחברות באגודת תקשורת הרדיו הישראלית. המאמר אינו מתיימר להיות מדריך מפורט לכל אחד מהנושאים והמושגים שיוזכרו שכל אחד מהם ראוי להרצאה בפני עצמה, אלא לרכז מידע בסיסי שיחסוך למתעניינים זמן רב בניסוי ותהיה ברמת המושגים ובאיזה כלים ניתן להשתמש. גילוי נאות - המאמרים גם משמשים אותי להיזכר בעתיד.

החשיפה הראשונה שלי לנושא הייתה במסגרת בניית תחנת DATV (תקשורת טלוויזיה דיגיטלית לחובבי רדיו) על הלוויין הקטארי QO-100. סיכמתי את הנושא במאמר בעיתון הגל – **קישור לגיליון הגל אוגוסט 2021** הניתן להורדת מאתר האגודה.

אחד הכלים החינמיים החזקים ביותר לריבוב מדיה שהם מקורות חוץ, שמע ומידע (Audio, video, image, data, etc) והזרמה שלהם (Streaming) היא תוכנה בשם OBS Studio (Open Broadcast Software).

בקישור ל-OBS ניתן להוריד את התוכנה ובאתר יש את כל הקישורים להדרכה ושימוש בתוכנה המעולה הזאת.



בעזרת התוכנה הזאת אני בונה ומרכיב את ערוץ החוזי והשמע לצורכי שדור DATV, הקלטת האוניברסיטה המשודרת, הקלטות ההרצאות, האסיפות השנתיות ועוד. זה נעשה על ידי הגדרת המקורות מכל סוג – תמונה, מסכים, כניסות חוזי, שמע וכו'. ניתן להגדיר את המיקום, עוצמות שמע, הדלקה וכבוי של כל מקור, בקיצור כל הנדרש ליצירת סרטון בסטודיו וירטואלי בזמן אמת (כלומר זו לא תוכנת עריכה).

את תוצרי התוכנה ניתן לשמור או בקובץ בשלל פורמטים מקובלים לאחר שמגדירים את רזולוציית התמונה, שיטת הדחיסה לחוזי ושמע ומיקום הקובץ במחשב או אי שם במרחב הקיברנטי, או לחליפין "להזרים" את הקובץ (גם כאן באחד מטכניקות ההזרמה) ליעדים כמו התקנים או פלטפורמות כמו פייסבוק, יו-טיוב ועוד.

כאן המקום לציין כמה טכניקות הזרמת חוזי/שמע מקובלות באינטרנט:

RTMP – Real Time Messaging Protocol

זהו הפרוטוקול הנפוץ להעברת מידע הכולל חוזי, שמע ומידע באינטרנט בעיקר לפלטפורמות כמו פייסבוק ויו-טיוב. מקורות המידע מסונכרנים אבל עשויה להיות השהיה עקב מעבר המידע בתווך האינטרנטי, דבר שאינו קריטי כאשר מזרימים לטווחים גדולים. חלק מההשהיה נובעת גם מעצם היותו פרוטוקול TCP "המתעקש" להעביר את המידע מנקודה לנקודה במלואו ובמידה ויש בעיות ברשת הוא ישרד שוב עד לקבלת אשור הקליטה מהצד המקבל.

הרבה אפליקציות כמו DJI לרחפנים ואפליקציות מצלמות אינטרנט המיועדות להזרמה לפלטפורמות מסחריות מאפשרות הגדרת הפרוטוקול הזה שמחייב שרת ביניים המתווך בין המקור לקולט.

יש כמה אתרים הנותנים את השירות הזה, אך מי שמזרים בתוך רשת מקומית בין מצלמה למחשב יכול להתקין שרת כזה על המחשב שלו ולהלן **לינק לתוכנה חינמית בשם MonaServer**.

התוכנה אינה דורשת התקנה אלא הפעלה בלבד לאחר פתיחת קובץ הזיפ וכתובת השידור/קליטה היא כתובת המחשב לדוגמה: `rtmp://192.168.1.xxx` כאשר xxx הוא הכתובת של המחשב

המקומי אותה ניתן למצוא למשל על ידי פתיחת מסך cmd והקשת הפקודה `ipconfig`.

התוכנה תומכת במספר פרוטוקולים ולכל פרוטוקול מופיע ה-port אליו פונים במידה והפניה נעשית מרשת חיצונית עם מיפוי פורטים בנתב.

בפרוטוקול הזה הרבתי להשתמש בעיקר בשידורי DATV בין היתר כי גם התקני השידור ב-SDR תמכו בו.

UDP – User Datagram Protocol

זה פרוטוקול השונה מ-TCP אשר מאפשר הזרמת מידע ממקור להרבה מאזינים. המידע משודר חופשי ללא קבלת אשור קליטה שזה מבטיח רציפות השידור ללא השהיות גם במקרה של אובדן מידע בתווך.

לפני ציון הפרוטוקולים הנוספים, כאן המקום לציין את תרומתו של החובב "הצפוני" אילן צמרת 4X5HF. אילן הוא הבחור שהביא ציוד צלום מקצועי לאספה השנתית אחרי שטען (ובצדק..) שהמצלמה באיני משתמש אינה ראויה... ובהמשך גרם לי גם להוצאות וגם להכרה מעמיקה יותר

של הפרוטוקולים "של הביוקר למקצוענים" וזה כלל גם לאחרונה בקור לימודי בסטודיו שלו
בנשר – חברת וידאו גרפיטיי בבעלותו.

RTSP – Real Time Streaming Protocol

בדומה ל-RTMP מיועד להזרים כמה ערוצי מידע ברשת אך השימוש שלו יותר ברשתות מקומיות
שם ההשגחה יותר קריטית והוא גם מאפשר שליטה לרבות עצירה, המשך וכו'.

ה-URL לשימוש בפרוטוקול יראה: `rtsp://user:password@192.168.1.xxx:port/live`
כאשר user ו-password הם שם משתמש וסיסמה הניתנים להגדרה ברשת/המקור (במידה ואין
אז מורידים אותם) ו-port הוא מספר הפורט ברשת/המקור.

NDI – Network Device Interface

זה על פי אילן זה "הפרוטוקול לגדולים" – אולפנים, אולמות וכו' בהם נדרש סינכרון מלא של
המידע ללא השהיות. לא כל ההתקנים "של הבזול" תומכים בו ונדרש להתקין או PLUGIN או
תוכנות מתווכות עד שיהיה סטנדרט ביותר התקנים כמו מצלמות רשת ואפליקציות. גילוי נאות
– טרם יצא לי לבדוק את השימוש בפרוטוקול.

אז איך מזרימים מצלמה ?

יש כמה אופציות לשימוש במצלמות הידועות כ-WebCAM, מצלמות אינטרנט.
האפשרות הפשוטה ביותר היא מצלמה בחיבור USB וכל השאר נעשה על ידי התקנת דרייבר לכל
היותר ובחירת המצלמה על ידי התוכנה.

במידה והמצלמה מרוחקת מעל 5 מטר שהוא הטווח המיירבי המומלץ לשימוש בכבל USB
משובח ללא "ממסרי ביניים" או ציוד אלחוטי מסוג REMOTE USB שהוא יותר יקר מהמצלמה..
עוברים לשימוש במצלמות רשת או בשםם הלועזי IP CAMERA.

האפשרות של "הבזול" היא רכישת מצלמה אינטרנטית שרובן מגיעות עם אפליקציה המאפשרת
התחברות עם טלפון סלולארי מכל מקום בעולם דרך השרת הסיני, וכך גם כל גורם עוין, בדומה
לחמאס אשר צפה כנראה בעניין רב במצלמות האבטחה ביישובים.. לא עלינו.

האפשרות המקצועית יותר היא רכישת מצלמות IP והתממשקות ישירה אליהם דרך שרתים
מקומיים כפי שתואר לעיל. זה מאפשר רמת אבטחה טובה יותר אך הייתי מצייין שהנחת העבודה
שגם מי שלא נחשוק יוכל כנראה לצפות במידע.

אחת האפשרויות החביבות עלי הייתה להשתמש במצלמות האיכותיות של טלפונים סלולאריים
ולהפוך אותן למצלמת רשת – פתרון "זול" יחסית במידה ויש לנו טלפון ישן להקריב למשימה
(למרות שניתן להשתמש גם בטלפון "שלנו" ולוותר לשעה קלה על קבלת הודעות).

יש כמה אפליקציות כמו IP CAM, אך החביבה עלי עד שפגשתי את אילן הייתה DroidCam.

לינק לאתר DroidCam

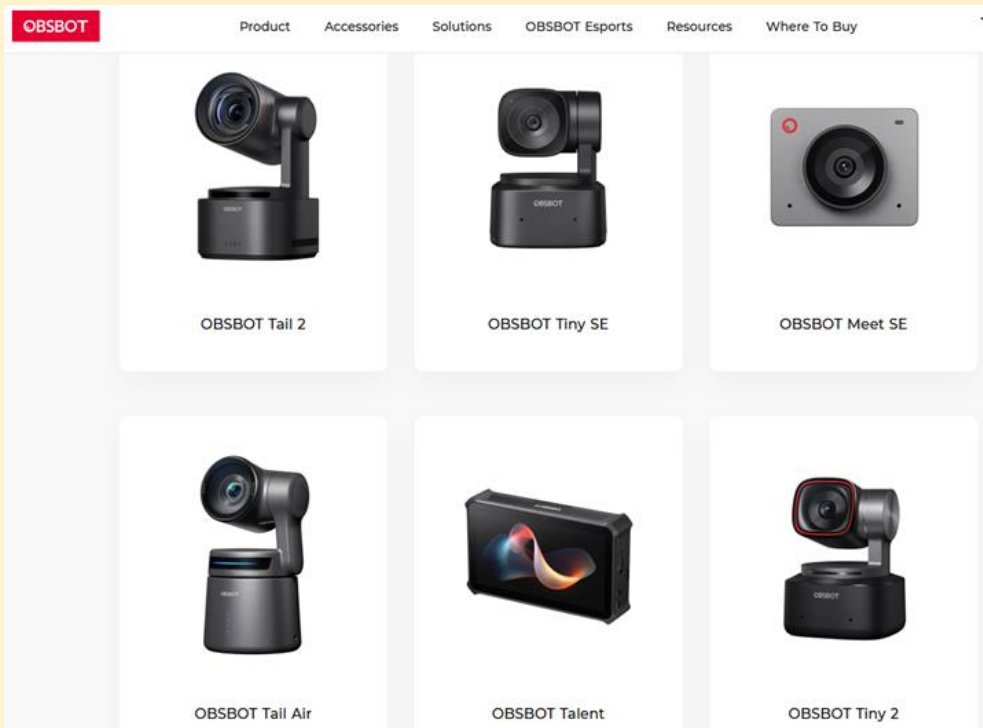
מתקינים אפליקציה בטלפון ובמחשב והוקוס פוקוס מצלמת הטלפון הופכת ליהיות מצלמה
אינטרנטית למחשב לכל דבר ועניין. בגירסה הישנה היה נדרש להקליד במחשב את כתובת ה-IP
של המצלמה והפורט. המהדרין יתקינו גם את התוסף ל-OBS שיזהה את המצלמה החדשה כעוד
התקן.

וכאן אנחנו מגיעים "לקליימקס הטכנולוגי". באחת מההקלטות של ההרצאות לחובבים, אילן צחק עלי שאני צריך מדי פעם לעקוב אחרי המרצה עם מצלמת הטלפון על גבי חצובה, שזה אכן נטל בעיקר בהרצאות של חברנו פרופסור יוסי פנחסי הנע ללא הרף כאחוז תזזית (צחוק).

מצלמת OBSBOT

הפתרון שהמליץ לי ואני כרגיל השקעתי בעוד גדג'ט חביב שלא חייבים... והפעם מצלמת AI איכותית במיוחד, היושבת על גימבל (הידוע כ-PTZ – Pan Tilt and Zoom) עם אפליקציית רבת אפשרויות שהעיקרית בהן היא יכולת עקיבה אחרי המרצה ללא מגע כף יד. ניתן להגדיר את אזורי העקיבה, קצב, חלק גוף עליו, תחתון, פנים, לסמן למצלמה בתנועת יד מה לעשות ועוד.

המצלמה הוזמנה מאמזון במהלך המלחמה והגיע זמן קצר לאחר מכן. גילוי נאות – שימשה כעוגן למאמר הזה... [לינק לאתר היצרן](#)



כפי שניתן לראות היצרן השיק שלל מצלמות החל מ"הביותר" עם מצלמה עתירת פיקסלים, רשת ומחיר כבד לכל עסק ועד לדגמים פשוטים יותר של "הבזול" שהמשתף לכולם הוא אותה תוכנת AI לעקיבה ועבודת תמונה הנמצאת בכל המצלמות.

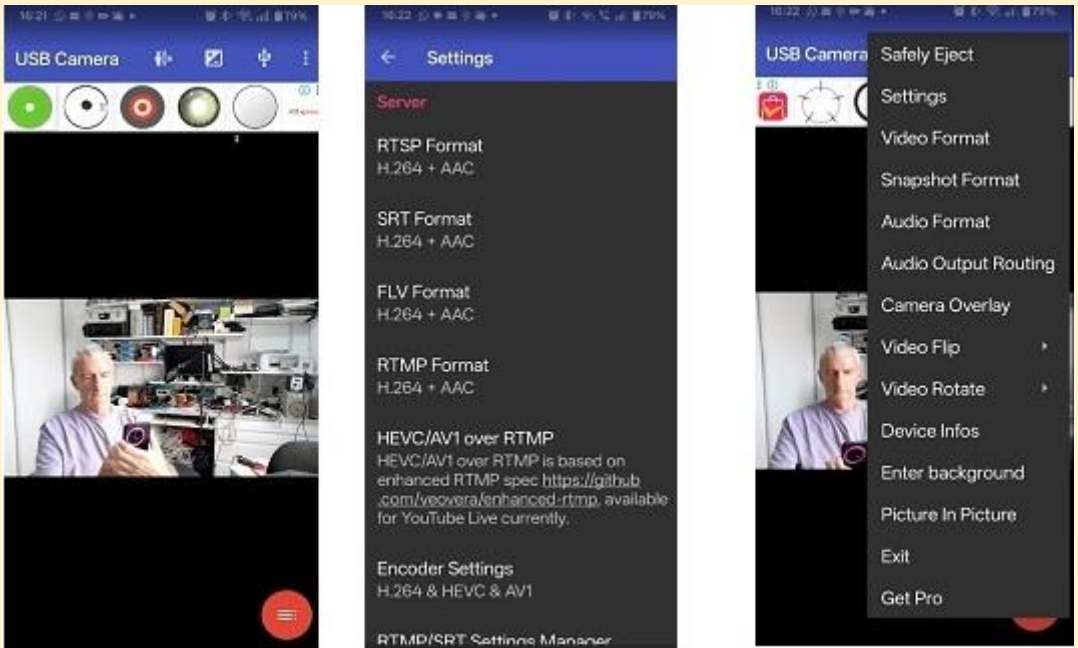
התוצאות והבצועים אכן מופלאות ולא מביישות מצלמות אולפן מקצועיות.

הדגם שרכשתי הוא ללא WIFI אלא בחיבור USB אמין ופשוט ואילן תמך בי עם כבל USB באורך 5 מטר אשר כנראה אשתמש בו בהרצאה הבאה. אבל זה לא עצר את יצר הסקרנות

ובעבודת מחקר משותפת עם אילן העלנו את האפשרויות הסבוכות הבאות, להפוך את המצלמה לאינטרנטית בעזרת ממשק USB לטלפון:

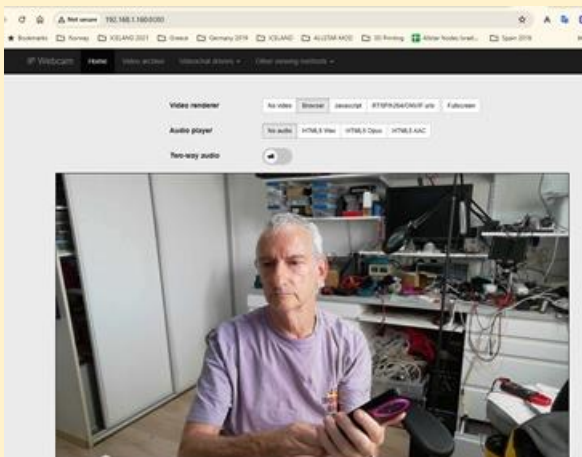
אפליקציית USB CAM

מתקינים אותה על הטלפון, היא מזהה את המצלמה המחוברת לפורט ה-USB והיא מאפשרת להגדיר מגוון של שרתי פרוטוקולים שכמובן המומלץ על ידי אילן הוא RTSP שהזכרתי לעיל.



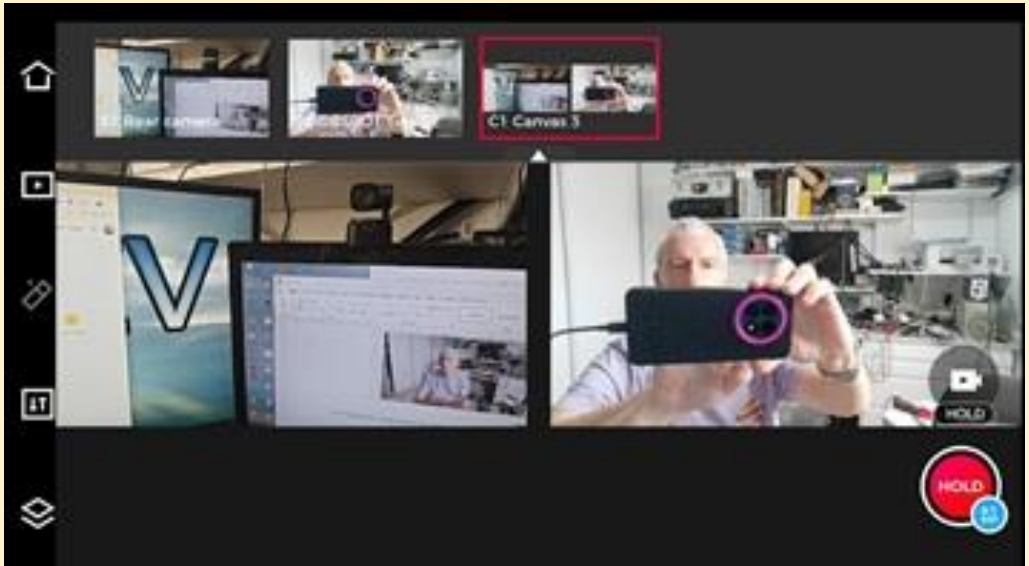
אפליקציית CAMERA IP

מאפשרת בחירה בין המצלמות של הטלפון למצלמת USB והזרמה לכתובת IP ו-POR. עובדת עם השהייה די גדולה ולכן לא נמליץ בחום.



אפליקציית OBSBOT LIVE

אפליקצייה של יצרן המצלמה, מאפשרת לרוב מספר מצלמות כולל מצלמות הטלפון, מצלמת USB להזרים להקלטה, לפלטפורמות או בפרוטוקול RTMP הפופולרי אך פחות יעיל מ-RTSP.

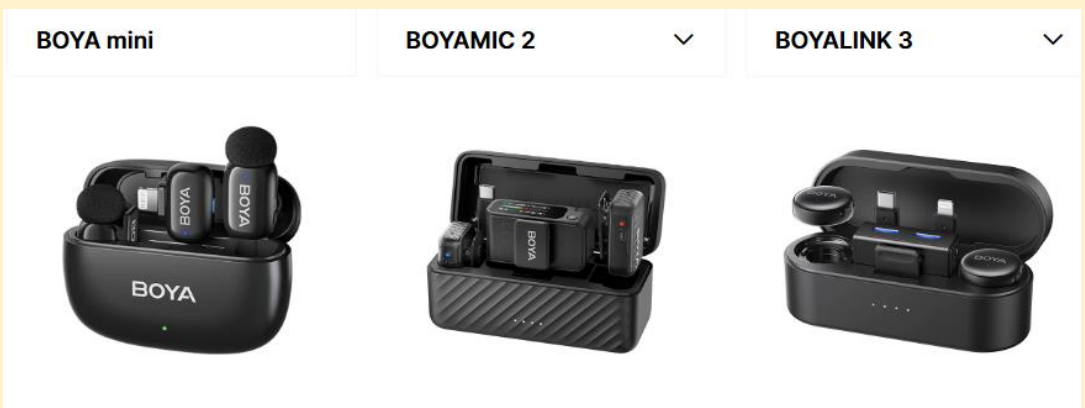


בתמונה ניתן לראות מימין את התמונה מכניסת ה-USB של מצלמת OBSBOT, משמאל את תוצרי מצלמת הטלפון האחורית כאשר על מסך המחשב ניתן לראות את מצלמת ה-AI בפעולה עוקבת אחרי.

מקווה שגיריטי קצת את הסקרנות של חלק מהקוראים, ושוב תודה לאילן על הרכישות של ציוד שלא ממש חייבים שהוא גורם לי מידי פעם.

לא ציינתי אבל בביקור אצלו שכנע אותי לרכוש מיקרופון אלחוטי כמשלים הנדרש להקלטת הרצאות והופעות למרות האיכות המצוינת של מיקרופון מצלמת ה-AI... זה כבר חומר למאמר הבא אחרי שאקבל את המיקרופון האלחוטי.

קבלו מתאבן 😊





מערכות ניווט גלובליות ולורן: סקירה טכנית

מאיר פיאלקוב 4X6KG

הקדמה : בכל מערכות הניווט הלווויניות נבחרו לעבוד בתדרים בתחום L Band, הסיבה הינה שבתחום זה החדירות באטמוספירה של גלי הרדיו המשודרים מהלוויינים הממוקמים בטווחים של 20,000 ק"מ הינה בקו ישר עם מינימום עיוותים.

1. מערכת – GPS Global Positioning System ארה"ב,

היות ומערכת GPS הינה פופולרית, אני אפרט יותר פרטים על מערכת זו. **רקע והיסטוריה:** מערכת GPS פותחה על ידי מחלקת ההגנה של ארצות הברית, ונכנסה לפעולה מבצעית מלאה בשנת 1995. כיום היא זמינה לשימוש אזרחי וחינמי ברחבי העולם.

מספר לוויינים ומסלולים: המערכת מבוססת על 31 לוויינים פעילים (נכון ל-2024) במסלול ביניים MEO – (Medium Earth Orbit) בגובה של כ-20,200 ק"מ. הלוויינים מחולקים ל-6 מישורי מסלול – כלומר, קבוצות לוויינים המקיפות את כדור הארץ במסלולים נפרדים הנוטים בזווית קבועה של 55 מעלות ביחס לקו המשווה.

כל מישור כולל 4–5 לוויינים, כאשר המרחק הזוויתי בין מישורים סמוכים הוא כ-60 מעלות, מה שמאפשר כיסוי עולמי מלא בכל רגע נתון. בתוך כל מישור.

הלוויינים ממוקמים בזוויות שוות כדי להבטיח זמינות אות בכל אזור גאוגרפי. פרטים טכניים :

- רדיוס כדור הארץ (כדור הארץ איננו כדור הנדסי ולכן הרדיוס הינו "ממוצע") 6,371 ק"מ
- גובה מסלול הלוויין הינו 20,200 ק"מ מעל פני הים.
- זמן הקפה של הלוויין סביב כדור הארץ : כ-11.97 שעות
- בזמן זה, כדור הארץ מסתובב:
- כ 179.6 ° סביב צירו שווה ל- 19,993 ק"מ הקפה על קו המשווה בגובה פני הים (היקף כדור הארץ בקו המשווה הינו 40,000 ק"מ, ז"א שבכל הקפה אחת של אחד מלווייני GPS שנמשכת כ-12 שעות, כדור הארץ סובב על צירו כ- 180 מעלות שהם כ-20,000 ק"מ)

לווייני GPS אינם גיאוסטציונריים – הם מקיפים את כדור הארץ פעמיים ביום בערך, בזמן שכדור הארץ ממשיך להסתובב **תחתיהם**, מה שמאפשר כיסוי עולמי דינמי.

מערכת GPS כוללת לוויינים שנבנו בסדרות: (Block I, IIA, IIR, IIF, III)

טווח שנים דגם לוויין (Block)	משקל (בק"ג)
GPS Block I 1978–1985	~845 ק"ג
GPS Block IIA 1990–2009	~1,815 ק"ג
GPS Block IIR 1997–2016	~2,032 ק"ג
GPS Block IIF 2010–2016	~1,630 ק"ג

משקל (בק"ג) טווח שנים דגם לוויין (Block) GPS Block IIIA כולל דלק – 2018 היום 4,400-ק"ג

הלוויינים החדשים ביותר ממשפחת GPS Block III כבדים פי 2–3 מהקודמים, כדי לאפשר דיוק גבוה יותר, אמינות מוגברת ואותות חזקים יותר.

אורך חיים של לוויין GPS

פועל	אורך חיים תכנוני דגם לוויין
חלקם שרדו עד 20 שנים	7.5 שנים Block IIA
חלקם פעלו גם 15 שנים	10 שנים Block IIR
עדיין פעילים	12–15 שנים Block IIF
הדגם הנוכחי – יועד לאורך חיים מורחב	15+ שנים Block III

בפועל, לווייני GPS שורדים הרבה מעבר למוגדר, הודות לתחזוקה קרקעית וניהול דלק מדויק.

דיוק הזמן ומתי מתקבל דיוק טוב יותר:?

- רמת הדיוק המתקבלת במערכת קרקעית הינה 10 עד 40 ננו שניות.
- מקבל תיקוני זמן דיפרנציאל (DGPS/RTK)
- משתמש באנטנה באיכות גבוהה.
- מקבל אות ברור מ-4 לוויינים או יותר בו זמנית.
- במערכות מדידה מתקדמות (למשל במעבדות זמן לאומיות), ניתן להגיע אף לדיוק זמן של <5 ננו-שניות.

חשיבות הדיוק בזמן :

- חשיבות הזמן חשובה מאוד במערכות מסונכרנות שמרוחקות אחת מהשנייה היות והדיוק מתקבל בו זמנית בכל נקודה על פני כדור הארץ.
- במערכות ניווט לכלי טייס מכל הסוגים, דיוק הזמן והמיקום (המיקום נגזר מדיוק הניווט)
- רמת דיוק הזמן במערכת GPS היא ברמה של 10 עד 20 ננו-שניות, מה שמאפשר סנכרון מדויק מאוד של מערכות זמן עולמיות.

תדריים:

- L1: 1575.42 MHz אזרחי – אפנון מסוג BPSK עם קוד C/A יחס דחיסה (processing gain) של כ-43 dB מאפשר איתור אות מתחת לרמת הרעש.
- L2: 1227.60 MHz צבאי ומדויק – אפנון BPSK עם קוד P(Y) מוצפן.
- L5: 1176.45 MHz שידור נוסף לשימושי בטיחות – אפנון QPSK עם קוד בעל דיוק גבוה ואמינות מוגברת.

אורך הקוד המשודר:

- קוד C/A לשימוש אזרחי: אורך 1023 ביטים, מחזור של 1 millisecond . קצב שידור 1.023 Mbps
- קוד P צבאי: אורך מחזור של שבוע שלם, לא דחוס, מוצפן בקוד Y מצריך מפתח.

דיוק מיקום ושימושים:

- רמת דיוק של כ-3–5 מטר לשימוש אזרחי ללא תיקון.
 - שימושים: ניווט אישי, חקלאות מדויקת, תחבורה ימית ואווירית, מיפוי וגאודזיה.
- פרט חשוב:** המיקום נקבע במקום שבו האנטנה נמצאת ולא המקלט שיכול להיות מרחק.
- 2. GLONASS תוצרת רוסיה.**
רקע והיסטוריה (GLObal NAVigation Satellite System) GLONASS: היא מערכת ניווט רוסית, שהחלה לפעול בשנות ה-80 והגיעה למבצעות מלאה בשנת 2011 לאחר שיקום.

מספר לוויינים ומסלולים 24: לוויינים פעילים (נכון ל-2024) במסלול MEO בגובה של כ-19,100 ק"מ, מחולקים ל-3 מישורים עם 8 לוויינים בכל אחד. הזווית נטייה לקו המשווה – 64.8 מעלות.

תדרים:

- L1: 1,602 MHz קצבים שונים לכל לוויין
- L2 : 1,246 MHz
- L3: 1,202.025 MHz לשידורים אזרחיים ומקודדים

קודים : לכל לוויין GLONASS מוקצה תדר שונה בניגוד ל GPS בו כולם באותו תדר עם קוד שונה.

דיוק ושימושים:

- רמת דיוק: 4.5–7 מטרים.
- שימושים דומים ל- GPS כולל אפשרות לשילוב מערכות GNSS.

3. Galileo האיחוד האירופי

רקע והיסטוריה Galileo : היא מערכת ניווט אזרחית שפותחה על ידי האיחוד האירופי, והיא פועלת במתכונת מבצעית חלקית מאז 2016. היא נבנתה במטרה לא להסתמך על מערכות צבאיות כמו GPS ו-GLONASS

מספר לוויינים ומסלולים 24 : לוויינים מבצעיים (מתוכננים להגיע ל-30) במסלול MEO בגובה של כ-23,222 ק"מ, נטייה של 56 מעלות, בשלושה מישורים.

תדרים:

- E1: 1575.42 MHz
- E5a: 1176.45 MHz
- E5b: 1207.14 MHz
- E6: 1278.75 MHz

קודים ואותות: מערכת Galileo משתמשת בקודים באורך של עד 4092 ביטים, בהתאם לאות E1, E5 וכו'.
 חלק מהשירותים מוצפנים ומצריכים הרשאות.

דיוק ושימושים:

- דיוק ברמת 1 מטר ואף פחות, עם תיקונים.
- מאפשר שירותים מסחריים, הצלה, שירותי ציבורי ממשלתי ושידור זמן מדויק.

הערה: לעיתים יש בלבול בין Galileo לבין מערכות GEO בפועל, כלל לווייני Galileo פועלים במסלול MEO בלבד ואינם במסלול גיאוסטציונרי. (GEO לוויינים בגובה 36,000 ק"מ)

4. BeiDou מערכת ניווט סינית.

רקע והיסטוריה: מערכת הניווט הסינית BeiDou פועלת באופן גלובלי מאז 2020. היא כוללת שלושה דורות: BDS-1, BDS-2, BDS-3

מספר לוויינים ומסלולים: 35 לוויינים פעילים

- 27 במסלול MEO
- 5 במסלול גיאוסטציונרי (GEO)
- 3 במסלול נטוי גיאוסטציונרי (IGSO)

תדרים:

- B1I : 1561.098 MHz
- B1C : 1575.42 MHz
- B2a : 1176.45 MHz
- B2b : 1207.14 MHz
- B3 : 1268.52 MHz

קודים ואותות: מערכת מורכבת עם מספר אותות לשימושים אזרחיים וצבאיים.

דיוק ושימושים:

- דיוק של כ-2.5 מטר בשירות אזרחי.
- שירותים: תחבורה, תקשורת, חקלאות, מיפוי, ניהול אסונות.

5. מערכת ניווט לורן (LORAN – Long Range Navigation)

רקע והיסטוריה LORAN: פותחה בשנות ה-40 של המאה ה-20 בארה"ב כטכנולוגיית ניווט ימית ואווירית המבוססת על שידורי רדיו נמוכי תדר. מערכת LORAN-C נחשבת לשלב המתקדם ביותר.

תדר:

- תדר עיקרי: 100kHz (LF – Low Frequency)

דיוק:

- LORAN-C רמת דיוק של 0.1 עד 0.25 מייל ימי כ-185 עד 463 מטרים.
- eLORAN גרסה משודרגת: דיוק של 8–20 מטרים עם תיקונים.

שימושים:

- בעיקר לשייט ימי אווירי עד שנות ה-90.
- eLORAN נחשב גיבוי אפשרי למערכות GNSS במקרה של שיבוש או לוחמה אלקטרונית.

מאפיינים טכניים:

- שידור בפולסים בקוד זמן מדויק, כאשר תחנת מאסטר משדרת ראשונה ולאחר מכן תחנות "עבדים".
- אינו תלוי בקו ראייה ולכן שימושי באזורים קשים לקליטה.

סטטוס נוכחי של LORAN-C

- בחודשים פברואר אוגוסט 2010 נסגרו מערכות LORAN-C בארצות הברית ובקנדה .
- עד לסוף 2015 רשתות LORAN-C באירופה, כולל דנמרק, נורבגיה וצרפת; תחנות בבריטניה ובגרמניה נסגרו גם הן.

סטטוס נוכחי eLORAN

- פותח בימים האחרונים כ-גיבוי ל- GNSS (GPS) כולל ניסוי בפרויקטים כמו UK Anthorn
- הניסויים התמקדו בעיקר בשיפור דיוק הזמן והנווט לחילוץ וגלישה בעת שיבוש GPS .
- נכון לעכשיו, ל- eLORAN אין פריסה גלובלית, ורוב שימושיו מוגבלים לתחומים טכנולוגיים וביטחוניים.

סיכום:

בעולם פועלות כיום מספר מערכות ניווט לווייניות – GPS , GLONASS , Galileo , BeiDou – שמרכיבות יחד את המונח GNSS (Global Navigation Satellite Systems). כל אחת מהן נבדלת במספר לוויינים, תדרים, מבנה קוד ודיוק. לעומתן, מערכת לורן הוותיקה נסגרה בשנת 2015.

סיכום טבלת תדרי לווייני ניווט

מערכת	מס' לוויינים	סוג מסלול	גובה ק"מ	דיוק מ'	תדרים עיקריים (MHz)
GPS	31	MEO	20,200	3-5	1575.42, 1227.60, 1176.45
GLONASS	24	MEO	19,100	4.5-7	.1602, 1246, 1202
Galileo	24	MEO	23,222	1	.1575.42, 1176.45, 1207.14, 1278.75
BeiDou	35	MEO + GEO + IGSO	21,500/ 35,786	2.5	1561.098, 1575.42, 1176.45, 1207.14, 1268.52

תיארת ממש בקצרה מהם המאפיינים של מערכות הניווט הלווייניות ובפרט על מערכת ה-GPS שנמצאת בשימוש נרחב, על מנת להבין כיצד מתקבלת בטלפונים הניידים של כל אחד יש, אם זה באתר MAP או Waze, נדרש להבין את משוואות הניווט שנמצאות באפליקציה של הניווט.



Welcome to the English-language section for August 2025

Tim Scrimshaw 4X1ST

DXing on Two Meters

Once, the 2 meter band was full of life. In the era before cellular phones became universal, “2” was the default for local hams to communicate. Novice and Tech licenses also included the band, so it was a great place to hang out with all the locals. Repeaters were busy all day, and it was hard to get a word in sometimes.

Two meters was also great for DX using SSB or CW, especially during the summer months.

Another bonus was that the Yagi could easily be passed off as a TV antenna if curious neighbors were snooping around.

The arrival of affordable mobile phones made a huge dent in the amount of traffic on 2m, especially non-FM. The radio makers noticed, and stopped making multimode rigs for the band. Even now, SSB/CW for 2m means buying a shack-in-a-box that covers everything from HF through to 70cm, or finding a multimode from the last century. And there aren't many of either around.

The advent of digital modes, and especially FT8 might just be the key to keeping the band alive for DX. Enhanced propagation modes and openings over the summer months can make 2m QSOs from Israel into Europe a reality, even with fairly low power.

Just such a rare opening occurred at the beginning of July, and got Israeli hams scrambling to unearth old multimode rigs and horizontal Yagis. To find out what happened, and learn about the propagation involved, check out the article from Rich 4X1DA elsewhere in this month's edition.

Contest Update

August tends to be a quiet month, but there are still a few contests to be found.

CW fans will enjoy the **Worked All Europe DX** contest from 0000Z, Aug 9 to 2359Z, Aug 10. Also **World Wide Digi DX**, the world's largest digital contest, starts at 1200Z, Aug 30 for 24 hours of wall-to-wall FT4 and FT8.

For a full list of upcoming events, check out the WA7BNM Contest Calendar at <https://contestcalendar.com/weeklycont.php>



Chordal Sporadic-E: A Rare 2-Meter Propagation Event with HF-Like Reach

By Rich Harel, 4X1DA

After nearly 50 years in the hobby, I thought I had seen it all. That is until July 13, 2025, when I witnessed something extraordinary on the 2-meter band. For about an hour, VHF operators in Israel were making long-distance FT8 contacts not only with the UK and Europe—but also with stations as far away as Southeast Asia. The nature of the opening strongly pointed to the elusive and little-understood phenomenon known as **Chordal Sporadic-E**. What follows are my firsthand observations and what I learned from one of the most remarkable VHF propagation events in recent memory. Notable stations active in Israel during the event: 4X5CD, 4Z5LA and 4X5IB.

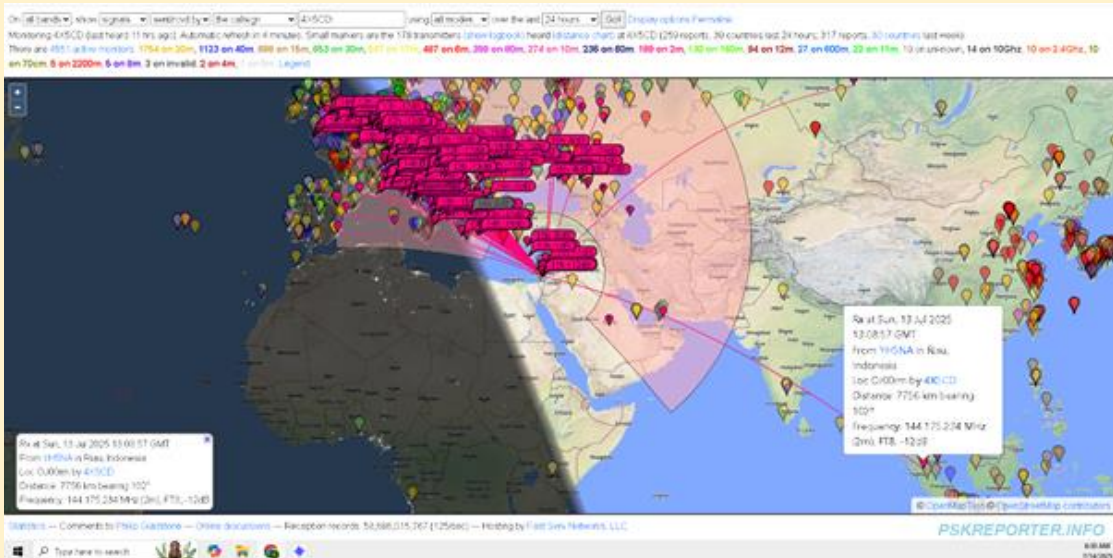


4X5CD 2 Meter Antenna in Ariel

Capturing the Data

Using WSJT-X and PSKReporter, the event was observed and recorded over a period of about one hour. Here's a sample of the contacts made by 4X5CD:

- **YH5NA** (Indonesia) – 7,756 km (one-way)
- **UG0B** (Russia) – 4,886 km (one-way)
- **G4LOH** (UK) – 3,869 km (two-way)



PSKReporter Activity Map - 2 meter stations are shown in pink

On [all bands] show [signals] [selected by] [the call sign] 4X5CD using [all modes] over the last [24 hours] [Go] Display options [Normal]

Monitoring 4X5CD (last heard 11 hrs ago). Automatic refresh in 2 minutes. Small markers are the 178 transmitters (show logbook) heard (distance chart) at 4X5CD (259 reports, 30 countries last 24 hours, 317 reports, 30 countries last week). There are 451 active monitors: 1769 on 20m, 1120 on 40m, 670 on 15m, 653 on 30m, 539 on 17m, 489 on 6m, 394 on 80m, 205 on 10m, 241 on 60m, 188 on 2m, 136 on 160m, 95 on 12m, 26 on 600m, 20 on unknown, 20 on 11m, 14 on 10GHz, 11 on 2.4GHz, 10 on 70cm, 6 on 8m, 4 on 4m, 3 on 2200m, 2 on invalid, 1 on 5m, 1 on 23cm. Legend

Download (ADIF) last 24 hours, last week	4X5CD PA2WDR 2m FTB 3320 km 13:10:14	4X5CD 0V5DR 2m FTB 3240 km 13:18:11	4X5CD DL2JCK 2m FTB 3101 km 13:58:41	4X5CD DF5HC 2m F
VH9NA 4X5CD 2m FTB 7756 km 13:00:57	PA2WDR 4X5CD 2m FTB 3320 km 13:09:27	4X5CD PA1BVM 2m FTB 3240 km 14:05:41	DL2JCK 4X5CD 2m FTB 3101 km 13:10:27	4X5CD DL8DAU 2m F
U06B 4X5CD 2m FTB 4896 km 13:04:56	4X5CD PA1LA 2m FTB 3320 km 13:10:00	PA1BVM 4X5CD 2m FTB 3240 km 13:44:57	DL6KAI 4X5CD 2m FTB 3094 km 13:09:30	4X5CD F10ET 2m F
4X5CD G4LOH 2m FTB 3869 km 11:51:26	4X5CD F1NQP 2m FTB 3319 km 12:01:58	PA0ERC 4X5CD 2m FTB 3239 km 13:44:26	DF2ZC 4X5CD 2m FTB 3080 km 13:39:27	4X5CD DL5OP 4X5CD 2m F
4X5CD G7RAU 2m FTB 3862 km 11:51:59	EASBCO 4X5CD 2m FTB 3313 km 13:14:57	PA2CHR 4X5CD 2m FTB 3218 km 14:13:26	4X5CD DK9CK 2m FTB 3077 km 13:18:11	4X5CD DL5OP 4X5CD 2m F
4X5CD G8BCG 2m FTB 3831 km 11:57:59	PA3EWP 4X5CD 2m FTB 3311 km 14:03:26	EC3JA 4X5CD 2m FTB 3204 km 13:04:27	PSHES 4X5CD 2m FTB 3064 km 13:03:26	4X5CD DL6WA 2m F
4X5CD G4RRA 2m FTB 3795 km 12:06:02	PA1JAW 4X5CD 2m FTB 3308 km 14:03:27	4X5CD PA3CMC 2m FTB 3202 km 14:15:41	4X5CD DF2ZC 2m FTB 3062 km 14:38:42	4X5CD HB9QI 4X5CD 2m F
GOOXT 4X5CD 2m FTB 3775 km 13:06:56	PA1OKZ 4X5CD 2m FTB 3297 km 14:02:56	PA3CMC 4X5CD 2m FTB 3202 km 13:41:57	4X5CD DF8JO 2m FTB 3067 km 13:37:44	4X5CD HB9DFG 2m F
4X5CD GOOXT 2m FTB 3775 km 13:06:41	4X5CD 0P9T 2m FTB 3297 km 13:18:11	PA3PVE 4X5CD 2m FTB 3190 km 13:09:27	HB9DFG 4X5CD 2m FTB 3067 km 13:29:26	4X5CD HB9DFG 2m F
4X5CD G4KWQ 2m FTB 3751 km 13:18:14	PA3DUJ 4X5CD 2m FTB 3292 km 14:07:56	PA3PYC 4X5CD 2m FTB 3185 km 13:44:27	DL50BF 4X5CD 2m FTB 3048 km 14:00:26	4X5CD HB9DM 2m F
4X5CD G8SEI 2m FTB 3720 km 13:15:14	4X5CD PQ2P 2m FTB 3292 km 13:18:14	4X5CD DL6ZG 2m FTB 3184 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m FTB 3048 km 14:00:11	4X5CD HB9DM 2m F
4X5CD G3NSM 2m FTB 3667 km 13:03:44	PQ2P 4X5CD 2m FTB 3292 km 12:51:56	DK5WO 4X5CD 2m FTB 3159 km 13:21:26	4X5CD DL50BF 2m FTB 3048 km 14:00:11	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD MOUKR 2m FTB 3556 km 13:41:14	PSDQK 4X5CD 2m FTB 3288 km 11:58:41	4X5CD DK5WO 2m FTB 3159 km 13:18:11	4X5CD DP5DE 2m FTB 3042 km 14:13:44	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD GH9NH 2m FTB 3551 km 12:57:41	4X5CD PSDQK 2m FTB 3288 km 11:57:59	4X5CD DL1JDA 2m FTB 3133 km 14:45:42	4X5CD DP5DE 2m FTB 3042 km 14:07:59	4X5CD DL50BF 2m F
GOEFA 4X5CD 2m FTB 3544 km 13:18:57	PC2K 4X5CD 2m FTB 3282 km 14:20:56	DL1JDA 4X5CD 2m FTB 3133 km 14:38:56	R1QAL 4X5CD 2m FTB 3036 km 12:51:00	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD G0EFA 2m FTB 3544 km 13:18:13	4X5CD PC2K 2m FTB 3282 km 14:18:11	4X5CD DG1HDD 2m FTB 3128 km 14:09:41	4X5CD DD3SF 4X5CD 2m FTB 3019 km 13:34:57	4X5CD DL50BF 2m F
G4ZTR 4X5CD 2m FTB 3538 km 13:04:27	0NEFU 4X5CD 2m FTB 3257 km 13:29:00	4X5CD DG1HDD 2m FTB 3128 km 13:44:26	4X5CD DD3SF 2m FTB 3019 km 13:31:41	4X5CD DL50BF 2m F
G4SWX 4X5CD 2m FTB 3516 km 13:33:27	4X5CD 0MSU 2m FTB 3257 km 13:15:42	DK4TO 4X5CD 2m FTB 3121 km 13:58:27	4X5CD DK3RE 2m FTB 3018 km 14:17:30	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD G4SWX 2m FTB 3516 km 13:30:11	FAQTB 4X5CD 2m FTB 3251 km 13:03:29	4X5CD DF7HF 2m FTB 3116 km 14:41:11	4X5CD DK6FX 2m FTB 3015 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m F
G0JDL 4X5CD 2m FTB 3515 km 13:18:27	PA0MVM 4X5CD 2m FTB 3247 km 13:47:57	4X5CD DF5G 2m FTB 3116 km 14:41:11	4X5CD DL50BF 2m FTB 3015 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD G0JDL 2m FTB 3515 km 13:18:11	0N4WY 4X5CD 2m FTB 3245 km 13:25:57	DF7HF 4X5CD 2m FTB 3116 km 13:11:26	4X5CD DL50BF 2m FTB 3015 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m F
4X5CD 0N4RES 2m FTB 3378 km 12:51:30	4X5CD PA0PVW 2m FTB 3244 km 14:13:41	4X5CD DM1CG 2m FTB 3116 km 12:43:41	4X5CD DL50BF 2m FTB 3015 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m F
	0V5DR 4X5CD 2m FTB 3240 km 13:28:56	DH45W 4X5CD 2m FTB 3106 km 12:59:27	4X5CD DL50BF 2m FTB 3015 km 13:15:41	4X5CD DL50BF 2m F

PSKReporter Distance Chart from the July 13th event (sorted according to distance)

My Setup:

Using an RTL-SDR receiver and a Diamond X-200 antenna, I received stations from across Europe - G4SWX in southeast England was the most distant at 3,800 km.

Expert Insight:

I reached out to John G4SWX, a seasoned operator, to get his take on the event. Here is his response:

“I’ve been on 144 MHz for 55 years and have never seen anything like this. The opening lasted nearly 40 minutes—one of the best chordal Es events I’ve experienced. It was like HF propagation on 2 meters”.



G4SWX 2 Meter Antenna Array

What is Chordal Sporadic-E?

Chordal Sporadic-E (Es) is a rare form of VHF propagation where signals reflect between ionospheric layers, not involving the ground. Unlike multi-hop Es, where signals bounce between the ionosphere and Earth, chordal Es stays entirely in the ionosphere. This results in longer-range, more stable signals—sometimes spanning over 3,000 km.

Key Characteristics of Chordal Sporadic-E:

- Multiple ionospheric reflections (no ground interaction)
- Signals can exceed typical multi-hop Es distances
- Less signal loss and greater stability
- Uncommon but strong VHF DX (e.g., 2 meters), resembling HF-like propagation

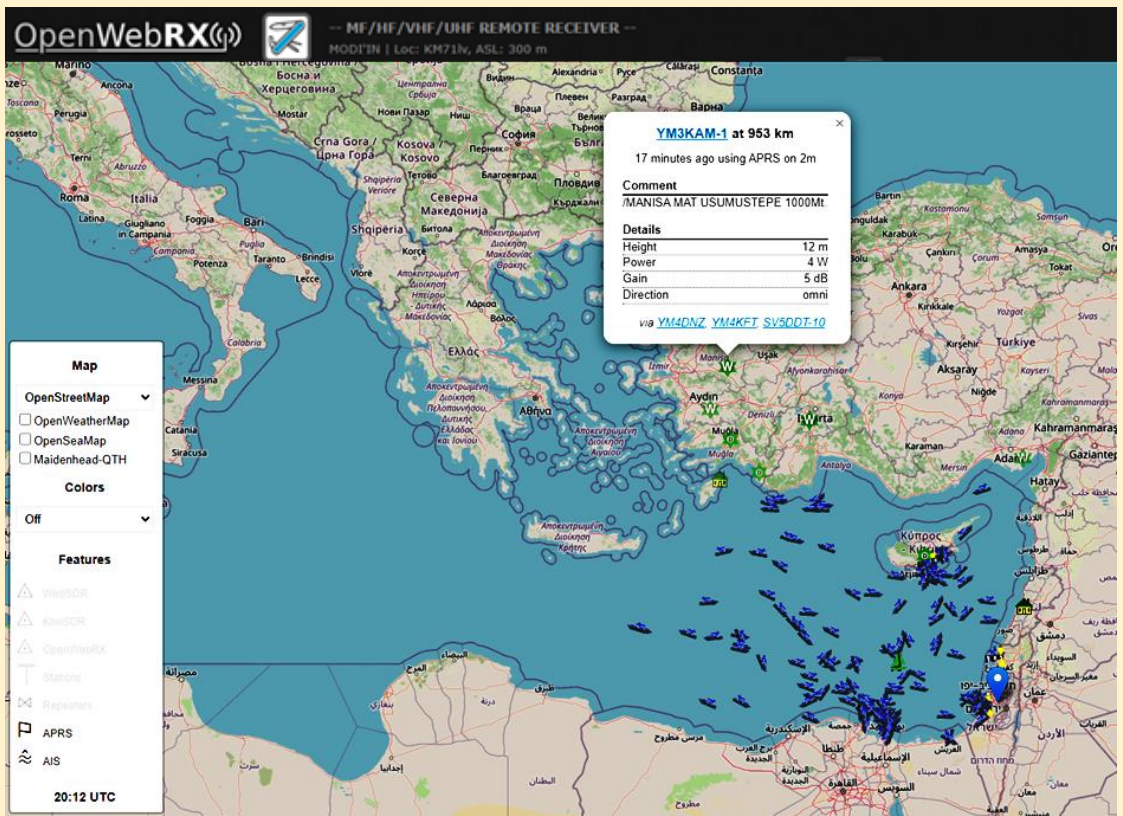
VHF Propagation in Israel:

Depending on antenna height, gain, location, transmitted power, receiver sensitivity, noise and other key factors...

During the winter months, VHF simplex communication in Israel is limited to ~50-100 km

From May to September, tropospheric ducting occasionally allows signals to travel up to ~1000 km, reaching as far as Cyprus, Greece, Egypt and Turkey (see example in screen capture below).

Sporadic-E (unpredictable), very rarely seen in the region, can allow contacts beyond 1000 km.



APRS and AIS activity in the eastern Mediterranean sea as seen from Modiin, Israel

Summary:

By monitoring AIS activity (maritime geopositioning beacons on 162 MHz) and FT8/APRS transmissions on the 2 meter band, we can accurately gauge current VHF propagation. Tools like **PSKReporter** and online SDRs (such as **OpenWeb RX**) provide the ability to observe and archive these transmissions for deeper analysis.

While scientists can already forecast atmospheric ducting (1,2), Sporadic-E propagation on VHF remains an elusive phenomenon. With the aid of AI and enough relevant data we may soon be able to predict openings like the one which occurred on July 13 before they occur.

Useful tools for monitoring VHF Propagation in Israel:

1. **4X1DA OpenWeb RX Propagation Map:** 24/7 Monitoring of VHF and HF FT8, APRS and AIS signals - remote receivers are located in Modiin, Israel.

<http://4x1da.ddns.net:8073/map>

2. **PSKReporter:** The link below has been customized to monitor the last 15 minutes of all digital modes to/from Israel on the 2 meter band and can hint at Es openings (Use menu options to view other bands).

<https://shorturl.at/ukaxc>

3. **Tropospheric Ducting and Sporadic-E:**

[Live MUF Map \(vhf.dxview.org\)](http://vhf.dxview.org): Monitors maximum usable frequency based on reported QSOs

DXMaps.com: Real-time Es activity based on user reports (6m, 2m)

[William Hepburn's VHF/UHF Maps](#): Excellent for Europe and the Middle East.

Notes: (1) [Tropospheric Propagation Forecast](#); F5LEN

(2) [Worldwide refractive index forecasts](#)



איראן – מערכת החשמל והאיום הגרעיני *

מאת : אברהם סט

מבוא : כאחת מאבני הדרך בפתוח הגרעיני האיראני המאיים על ישראל והאזור כולו הופעלה בימים אלה היחידה הראשונה של תחנת הכוח הגרעינית בבושהר. באיור מס' 3 נראה צילום של תחנת הכוח אשר פורסמה ע"י סוכנות הגרעין האיראנית. בכיתוב המופיע ברקע של התמונה יש התייחסות לתוכניות בנית תחנות כוח גרעיניות נוספות בעתיד, אבל אפשר לראות שם את הטיעון האיראני שכן מוזכר שם שתוכניות הפתוח נעשו בעזרת "WASP" שזהו שם של תוכנת מחשב שפותחה ע"י הוועדה הבינלאומית לאנרגיה גרעינית בווינה ומיושמת בארצות המערב. המסר של האיראנים כלפי הוועדה לאנרגיה גרעינית וארצות המערב כפי שמשקף בתמונה זו הוא "אנחנו בונים תחנות גרעיניות על בסיס עלות-תועלת בלבד, והראיה, אנו משתמשים לבצוע החישוב באותה תוכנה המשמשת גם אתכם, ותוכנה זו מצביעה ששיבוץ תחנות כוח גרעיניות לייצור חשמל היא הפתרון הכלכלי המיטבי עבורנו". במרכז של כתבה זו נתייחס אכן לבעיית האיום הגרעיני על רקע תיאור מערכת החשמל האיראנית.

מידע כללי

שטחה של איראן הוא 1,636 מיליון קמ"ר והיא גובלת ימית במפרץ הפרסי, מפרץ עומאן, והים הכספי, ויבשתית עם עיראק, פקיסטאן, אפגניסטן, תורכיה, ארמניה, וטורקמניסטאן. רובה במבנה הררי ואף מדברי בחלקה המרכזי-מזרחי, האזורים המישוריים והפורים נמצאים בעיקר בדרום מערב.

האוכלוסייה מונה כיום כ-70 מיליון תושבים כ 99% מהם מוסלמים מתוכם 89% שיעים ו-10% סונים. איראן כונתה פרס עד 1935. ב 1979 סולק השח מהשלטון באמצעות מהפיכה איסלאמית שהונהגה ע"י המנהיג הדתי חומייני שהשליטה על המדינה את חוקי האיסלאם. בראש המדינה עומד המנהיג הרוחני (כיום עלי חמינאווי) אשר נבחר לכל החיים, ונשיא הנבחר בבחירות (כיום איברהים ראסי) שהוא למעשה ראש ממשלה, בהיררכית השלטון המנהיג הרוחני ואף כמה מעוזריו במעמד גבוה מהנשיא.

הכלכלה האיראנית מבוססת בעיקר על הנפט אשר מסתכם ב 80-90 אחוז מרווחי הייצוא וקרוב למחצית מתקציב הממשלה. התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) היה 181 ביליון דולר (2005)



איור 1 – מפת איראן

מקורות אנרגיה

איראן מדינה עשירה במשאבים טבעיים כמו נפט וגז טבעי, היא מחזיקה ב 10% מעתודות הנפט הגולמי בעולם (137.6 ביליון חביות) וכ 15% מעתודות הגז הטבעי (1,045 Tcf). איראן היא יצאנית הנפט השנייה בגודלה במסגרת OPEC (אחרי סעודיה) ויצרנית הנפט הגולמי הרביעית בעולם. בעתודות הגז הטבעי שלה היא שנייה בעולם (אחרי רוסיה). לאיראן 40 שדות נפט פעילים , מתוכם 27 יבשתיים ו 13 ימיים, אשר מרביתם ממוקמים בדרום-מזרח אזור חוזיסטאן, שדות הגז העיקריים נמצאים בפארס הדרומית והצפונית, קיש, וקאנגן-נאר. כמו כן קיימים באיראן מרבצי פחם בכמות של 420 מיליון טון והצריכה שלהם היא בסדר גודל של כ 1.5 מיליון טון לשנה. המחצבים המדוברים ביותר כיום הם מרבצי האורניום אשר לפחות אחד מהם (בסגהאד ליד העיר יאזד) פעיל (איור מס' 2) ויש עוד כמה שנתגלו כמו גאשין ליד העיר בנדר אבאס, טאלמסי ליד אנארק לא רחוק מיאזד, ויש לאיראנים ציפייה לעוד מכרות שיתגלו.

לאיראן מחסור בבתי זיקוק, ותשעת בתי הזיקוק שברשותה מצליחים לזקק רק כ 1.5 מיליון חביות נפט גולמי ביום, כך שהיא נאלצת לייבא את התוצר המוגמר מחו"ל (כשליש מכמות הדלק המזוקק). לאחרונה במהלך העיצומים (ראה בהמשך הכתבה) הפסיקו כמה חברות לזקק נפט גולמי עבור איראן. יתכן שמגמה זו מתוכננת, שכן עדיף שהמכליות שמייצאות את הנפט יחזרו מלאות במוצרים מזוקקים, ולא במי ים שאותם צריך לשטוף וגם לזהם את הים.

בשנת 2008 איראן הפיקה כ 4.2 מיליון חביות נפט גולמי ביום, מתוכם יצאה 2.4 מיליון חביות ליום מרביתם לאסיה וחלקם לאירופה, איראן צרכה באותה שנה כ 1.755 מיליון חביות נפט גולמי.

בשנת 2008 איראן הפיקה 4.1 Tcf גז טבעי וצרכה 4.2 Tcf כאשר ההפרש יובא מטורקמניסטאן.

מערכת החשמל

מערכת החשמל באיראן היא הגדולה במזרח התיכון ובסוף שנת 2009 הגיע ההספק המותקן ל 53,000 מגוואט לאחר שבשנת 2008 הוא היה 49,000 מגוואט, יצור האנרגיה החשמלי בשנת 2008 היה 203.8 ביליון קווט"ש (5.9% מעל ל 2007) מתוכם 93.3% יוצרו ע"י תחנות כוח בחסות משרד האנרגיה והשאר ע"י גופים פרטיים. איראן יצאה אנרגיה חשמלית של 2.52 ביליון קווט"ש לשכנותיה, ובמקביל היא ייבאה 1.842 ביליון קווט"ש משכנותיה. שיא הביקוש הוא בימי אמצע השבוע בשעות הערב. קצב התפתחות מערכת החשמל הוא מהיר למדי וב 20 השנה האחרונות הייתה עליה שנתית ממוצעת של 6.88% בצריכת האנרגיה החשמלית, ו 8.1% בשיא הביקוש.

מקורות האנרגיה ששימשו את תחנות הכוח בשנת 2007 היו כדלקמן:
גז טבעי – 53%, נפט – 44%, אנרגיה הידרואלקטרית – 2%, פחם – 1%, שנה זו הייתה שחונה יחסית, בשנת 2006 שהייתה גשומה יותר היווה החלק ההידרואלקטרי כ 7%.

ההספק המותקן בשנת 2009 היה כדלקמן:
תח"כ קיטוריות – 39%, תח"כ מסוג מחזור משולב – 27%, תח"כ הידרואלקטריות – 20%, טורבינות גז – 10% והשאר מתקני אנרגיות מתחדשות כמו תחנות רוח, אנרגיה גיאותרמית, ומתקנים סולרים.

רשת החשמל האיראנית ישנה בחלקה וקיימים הפסדים גדולים בעיקר ברשת החלוקה, כמו כן חלק נכבד מתחנות הכוח הישנות לא מופעל בהספק המלא. מצד שני בשנים האחרונות נעשה מאמץ עילאי ע"י התעשייה האיראנית להגיע לעצמאות בייצור מרכיבי מערכת החשמל, באיראן יש ייצור עצמי של דודים לתחנות הכוח, שנאים, גנראטורים (בהספקים קטנים בינתיים), וטורבינות גז (בהספקים עד 160 מגוואט), כך שלמרכיבי הייצור המקומיים יש חלק גדול יותר בפרויקטים של בנית תחנות כוח. איראן מנצלת לאחרונה את ניסיונה בבניית תחנות כוח הידרואלקטריות במעורבות בפרויקטים הידרואלקטריים בארצות שונות כמו ניקרגואה, ארמניה, טג'יקיסטאן, ואזרבייג'אן.

תעשיית החשמל באיראן הולאמה בשנת 1965, ובשנת 1990 היא החלה בהליך של ארגון מחדש במסגרתו נעשה תהליך חלקי של הפרטה ותחרות, כולל עידוד של בנית תחנות כוח ע"י גורמים עצמאיים הן מקומיים והן זרים. השליטה והבקרה נעשות ע"י משרד האנרגיה, ומתחתיו מרוכז ניהול מערכת החשמל ע"י חברת האחזקות תוואניר ששולטת ב 16 חברות אזוריות, 30 חברות ייצור חשמל, 421 חברות חלוקה, כמו כן אחראית תוואניר גם על מערכת המסירה.

מערכת המסירה : הכוללת קווי מסירה עיקריים במתחים של 400 ו 220 ק"ו וקווי מסירה אזורית במתחים של 66, 132 ו 63 ק"ו. כיוון שהחלק המזרחי של איראן הוא מדברי, לא כיסתה מערכת המסירה את כל שטחה של איראן ובחלקה המזרחי שכלל את אזורי סיסטאן-בלוצ'יסטאן וחורסאן היו שתי מערכות חשמל מבודדות שרק לאחרונה חוברו למערכת החשמל הארצית.

תחנות הכוח התרמיות : מספקות כ 90% מהאנרגיה החשמלית והן מוזנות בגז טבעי ומנפט גולמי ותזקי קווי, מתוכן כמחצית הן תחנות כוח קיטוריות וקרוב לשליש הן תחנות כוח מסוג מחזור משולב והשאר טורבינות גז ויחידות דיזל. בשנים האחרונות המגמה היא להתבסס בעיקר על תחנות כוח מסוג מחזור משולב המוזנות בגז טבעי הן עקב מלאי הגז הגדול, הן מסיבות של איכות סביבה, והן מהצורך בחסכון במי הקירור.

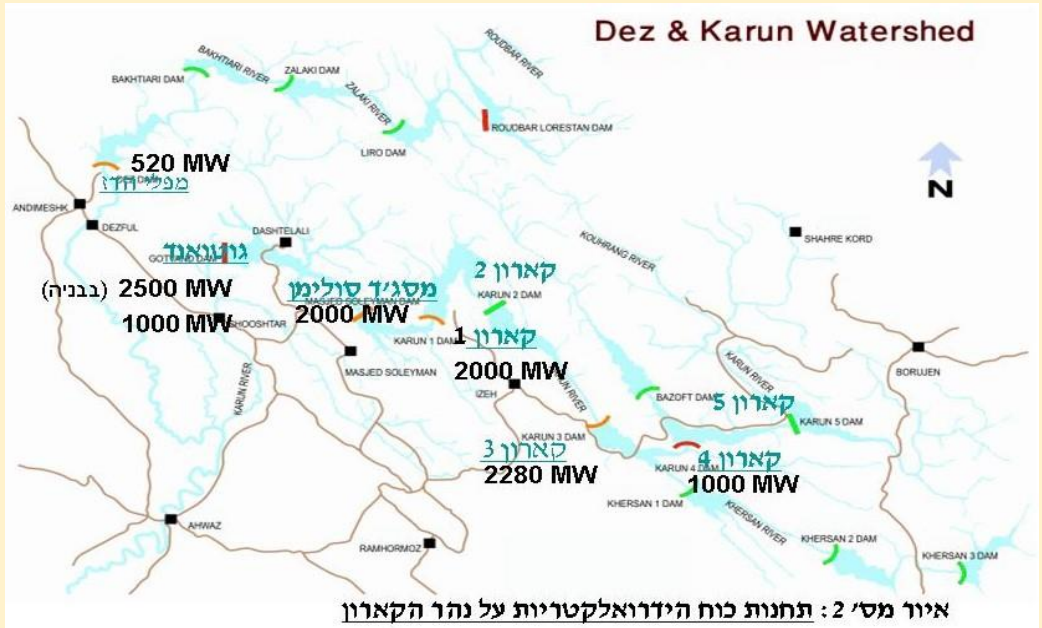
אנרגיה הידרואלקטרית :

איראן הגבירה בשנים האחרונות את ניצול הפוטנציאל ההידרואלקטרי והסיבות לכך הן עליה בהתמחות של חברות איראניות בעבודות עפר ובעיקר בבניית סכרים, בנוסף, ניצול כוח אדם זול ובעל מוטיבציה של משמרות המהפיכה, דבר שהביא לחסכון במטבע זר לעומת בנית תחנות כוח תרמיות. הפוטנציאל לבניית תחנות כוח הידרואלקטרי עומד על כ 26,000 מגוואט כאשר מרביתו נמצא על הנהר קארון (יש גרסה שזהו נהר הפישון התנכי) שהוא הגדול באיראן ונמצא באזור חוזיסטאן (עילם בתקופת התנ"ך) ומימיו נשפכים לשאט אל ערב יחד עם הפרת והחידקל. באזור 2 ניתן לראות את הספקי תחנות הכוח הפעילות על הנהר ויובליו, כאשר עוד תחנות כוח כמו קארון 2 וקארון 5 הן בשלבי תכנון.

בשנת 1976 נחנכה תחנת הכוח הראשונה על נהר הקארון שנקראת שהיד אבאספור (קארון 1) התחנה נבנתה בהספק של 1000 מגוואט והורחבה מאוחר יותר ל 2000 מגוואט. רק בשנים האחרונות החלה תנופת בניה של תחנות כוח גדולות נוספות על הנהר ויובליו (ראה איור 2).

"סיא-בישה" היא תחנת הכוח היחידה מסוג אגירה שאובה באיראן, התחנה מכילה 4 יחידות בהספק כולל של 1000 מגוואט. התחנה ממוקמת באגן הנהר צ'אלוס כ 50 ק"מ צפונית לטהרן. בתכנון בנית תחנה נוספת מסוג זה ובהספק דומה אשר תחלוק את אותו מאגר תחנות.

נהר נוסף העובר באזור חוזיסטאן ועליו תחנת כוח הוא הקרחא (יש גרסה שזהו הגחון התנכי).



אנרגיה גרעינית:

הפתוח הגרעיני האיראני הן במישור האזרחי והן בצבאי החל עוד בתקופת השח וכלל בנית תחנת כוח גרעינית (הספק של 2 X 1200 מגוואט) ע"י חברת KWU שהיא חברת בת של סימנס הגרמנית בכושר.

לאחר המהפכה של 1979 הורה חומייני על הפסקת הפתוח הגרעיני וכתוצאה הופסקה בנית תחנת הכוח שהייתה במצב מתקדם (60-50%) אם כי נשאר בה צוות למטרות אחזקה. במלחמת עיראק-איראן שימשה התחנה מטרות עיקרית להפצצות האוויר העיראקיות, לתחנה נגרמו נזקים רציניים כולל 11 הרוגים בתוכם מהנדס גרמני. בשנת 1989 עם עליית עלי חמינאי לשלטון הוא דאג לבטל את פסק ההלכה, אולם הגרמנים סירבו לשקם ולהמשיך בבניית התחנה, מאוחר יותר נחתם הסכם עם רוסיה לשיקום והמשך בנית התחנה.

Power System Expansion Planning by Wasp for the year 2033:

Peak Load: 253,275 MW
Generation Capacity: 291,185 MW
Nuclear: 22,000 MW

Bushehr Nuclear Power Plant

איור מס' 3: תחנת הכוח הגרעינית בכושר וברקע תוכניות הפתוח

רוסיה השלימה לאחרונה את המשימה של שיקום ובנית התחנה הגרעינית (דגם VVER-1000) כאשר היחידה הראשונה היא בהספק של 1,000 מגוואט (איור. 3). אירן חתומה על האמנה לאי הפצת נשק גרעיני (נט"פ), ותחנת הכוח אמורה להיות תחת פיקוח הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית. לפי ההסכם, אמורים הרוסים לדאוג לאסוף הפלוטוניום שנוצר על מוטות הדלק המוצאים מהכור להחלפה או לעבוד חוזר (אחרי שלוש או ארבע שנים בערך) ולהחזירו לרוסיה.

התוכניות מדברות על המשך הסיוע הרוסי הכולל השלמת היחידה השנייה והקמת יחידה נוספת באתר בושהר בשנים הקרובות, וכמו כן הקמת תחנת כוח גרעינית באתר חדש ליד העיר אוואז כ 60 ק"מ מגבול עיראק.

התחברות למערכות חשמל שכנות ושתוף פעולה:

להתחברות של מערכות חשמל שכנות יש יתרונות כלכליים וטכניים רבים כמו סיוע הדדי בעתות מחסור, הקטנת עתודות ההספק בכל מדינה, אפשרות לקניית אנרגיה עודפת זולה ממדינות שכנות, ועוד. ההתחברויות הן כלכליות ככל שהרגלי הצריכה שונים בין המדינות המתחברות, מבחינת איראן הדגש הוא על כך שבארצות שמצפונה היא הביקוש לחשמל הוא בחורף (ואז מי הנהרות המפעילות את התחנות ההידרואלקטריות קפואים), בעוד שבאיראן הוא בקיץ, מכאן נוצרת אפשרות של תועלת הדדית שתבטא בכך שאיראן תמכור עודפי חשמל בחורף ותקנה עודפי חשמל משכנותיה בקיץ. תכנון החיבור עם תורכיה לעומת זאת מתבסס על כך ששיא הביקוש היומי (בקיץ) חל בתורכיה בשעות הערב המוקדמות בין השעות 18 ל 20, בעוד שבאיראן הוא מופיע מאוחר יותר בסביבות השעה 22, כך שהתכנון הוא שבכל יום איראן תמכור לתורכיה חשמל בשעות הערב המוקדמות, ותקנה ממנה חשמל כשעה וחצי מאוחר יותר.

בנוסף בונה איראן על כך שבארצות בעלת רמת חיים גבוהה כמו באירופה המערבית יש נטייה לקנות אנרגיה חשמלית נקייה המגיעה דרך קווי החשמל, לעומת יבוא דלק כמו פחם ובנית תחנות כוח תרמיות הפוגעות באיכות הסביבה, ואיראן המשופעת במקורות דלק תוכל לייצא חשמל נקי ולשפר את כלכלתה.

מערכת החשמל של איראן מחוברת זה כמה שנים למערכות החשמל השכנות של טורקמניסטן, ארמניה, אזרביג'אן, וטורקיה, בנוסף מספקת איראן חשמל לרפובליקה האוטונומית של נקישוואן, שהיא מובלעת בין איראן וארמניה השייכת לאזרביג'אן. כמו כן דווח על בנית התחברויות גם לפקיסטאן, וגם לאפגניסטן. לאחרונה נבנו קווים לחיבור עם מערכת החשמל העיראקית אשר סובלת ממחסור חמור מאז מלחמת המפרץ הראשונה.

איראן חברה בגוש המדינות המכונה ECO, אשר נוסד ב 1985 ע"י איראן, תורכיה, ופקיסטאן, וב 1992 הורחבה וצורפו אליו אפגניסטאן, אזרביג'אן, קזחסטאן, קירגז, טג'יקיסטאן, תורקמניסטאן, ואוזבקיסטאן. הסכמי שתוף הפעולה בין מדינות אלה כוללים גם אפשרויות ששתי מדינות יעבירו אחת לשנייה אנרגיה חשמלית דרך מערכת המסירה של מדינה שלישית החוצצת ביניהן.

בנוסף להתחברויות החשמליות קיים שתוף פעולה בין איראן לשכנותיה בנושא חלוקת המים של הנהרות החוצצות את גבולות איראן, ואף סיוע איראני בכניית צמדי תחנות כוח ההידרואלקטריות משני צידי הגבול האחת תחת דגל איראני ומנגד תחנה עם דגלה של המדינה השכנה. לאחרונה אף מומש הרעיון של סכרים משותפים על הגבול, תחת הכינוי "סכר הידירות" נחנך ב 2005 סכר על הגבול המשותף בין איראן לטורקמניסטאן על נהר הריוד, כאשר באמצעות סכר זה תיעשה חלוקה של המים בין שתי המדינות.

היסטוריה ורקע לפעילות הגרעינית באיראן:

איראן ראתה עצמה ראויה (ואולי בצדק) להיות מעצמת על אזורית עוד בתקופת השאח אשר עודד למטרה זאת את הפתוח הגרעיני הן למטרות שלום (תחנות כוח, כורי מחקר) והן למטרות צבאיות (פצצה גרעינית) כאשר בתקופתו ההרתעה כוונה כלפי ברה"מ.

פרט לקולות בודדים במערב אשר התריעו כנגד חימוש מוגזם של איראן ע"י ארה"ב, טבעי שבאותם שנים לא הייתה להליכים אלה התנגדות במערב, ובודאי שלא בישראל אשר סייעה לאיראן בשטחים רבים כולל הפתוח הגרעיני ופתוח רקטות ארה"ב ניסתה לעכב את להיטות השח להגיע לנשק גרעיני ע"י עיכוב הליכים שונים כמו ניסיונות האיראנים לרכוש כורים גרעיניים יחד עם מתקני עבוד מחדש של הדלק הגרעיני המשומש אשר יאפשר ליצור פצצת פלוטוניום במקביל להעשרת האורניום לרמה צבאית.

המהפכה האסלאמית של 1979 באה על רקע מציאות קשה חברתית וכלכלית שהביאה לחזרה ליסודות הדת (פננדמט) ועלייתו של חומייני לשלטון עם החזון של הגשמת האסלאם ללא פשרות (התפישה השיעית). חומייני הצהיר שהפתוח הגרעיני מנוגד לרוח האסלאם ולמעשה אסר על המשך הפתוח הגרעיני הצבאי והאזרחי באמצעות צו הלכה (פתווה). עלייתו של עלי חמינאי לשלטון ב 1989 הביאה לביטולו של צו ההלכה ומתן אור ירוק להמשך הפתוח הגרעיני כאשר הפעם המניע העיקרי להרתעה היא עיראק לאור הקשיים במלחמה איתה (1988-1980) והשמועות על ניסיונותיה לפתח נשק גרעיני, אבל כיום לאחר שנוטרל האיום העיראקי במלחמות המפרץ, מכוונת ההרתעה הגרעינית כנגד ארה"ב (כ 200,000 חיילים סביב איראן) וישראל (מתזיקה בנשק גרעיני) אשר איראן רואה בהן טבעת חנק שלא תאפשר לה מימוש המטרות העיקריות שלה כמו השגת הגמוניה אזורית, הגנה על משטרים שיעיים, הפצת האיסלאם וסיוע לבני בריתה באזור. לגבי האיום על ישראל חשוב לציין שלאיראן יש פחות עניין בסכסוך הישראלי-פלסטינאי ויותר מחוייבות למשטרים שיעיים באזור כמו חיזבאללה, הקשר עם החמאס בעזה שהוא סוני נוצר ע"י עלי חמינאווי כדי להשלים תנועת מלקחיים כנגד ישראל, קשר זה נוצר רק לאחר חיסולו של השייך יאסין שהתנגד לכך.

תחנת כוח גרעינית – האתגר והסכנות

השאלה שבדרך כלל נשאלת : מדוע זקוקה איראן לתחנת כוח גרעינית בשעה שהיא משופעת במשאבי אנרגיה מרובים כמו גז טבעי, נפט, אנרגיה הידרואלקטרית, ואפילו מעט פחם. התשובה היא שאכן איראן יכולה להסתדר עוד שנים רבות מבחינה אנרגטית ללא צורך בבניית תחנות כוח גרעיניות. אולם מצד שני ברגע שמשטר השח החליט על הכיוון של פתוח גרעיני חברות מערביות שהיו מעוניינות בעסקה של בניית תחנות גרעיניות ערכו חישובים בעזרת מודל ממוחשב והוכיחו שבאותה נקודת זמן, אכן הפתרון המיטבי למערכת החשמל האיראנית כולל בניית תחנות כוח גרעיניות, ואת הדלק שיחסך (כ 10.4 מיליון חביות נפט בשנה עבור יחידה גרעינית של 1000 מגוואט) כדאי יהיה למכור למדינות אחרות, או, להשאירו בבטן האדמה. חישוב כזה מתבסס על תחזיות צריכת חשמל עתידיות, נתוני תחנות הכוח הקיימות, דרישות אמינות, נתונים כלכליים כולל מחירי דלק, עלויות בניית תחנות כוח מסוגים שונים, ואף חסכון בעלויות הקשורות באיכות סביבה, בהחלט סביר שבשיחות עם נציגי מדינות המערב האיראנים מציגים את אותם דפי מחשב עם התוצאות, יחד עם זאת, יש לקחת בחשבון שניתן להטות תוצאות חישובים מסוג זה ע"י הכנסת נתונים מכווני תוצאה או התעלמות מאחרים.

כלומר הטיעון האיראני הוא שהכול נעשה משיקולים של עלות/תועלת, כשם שאיראן משופעת משאבי הגז הטבעי רוכשת גז טבעי מטורקמניסטאן ועומדת לרכוש גז מאזרבייג'אן, עקב כך שמדינות אלה מציעות עודפי גז טבעי במחיר זול, והגז שהן מציעות קרוב ונגיש לאזורים הצפוניים של איראן יותר מאשר מקורות הגז האיראנים הנמצאים בדרום המדינה. שיקול נוסף שמביאים האיראנים קשור בהתייחסות להמצאות מחצבי האורניום באיראן. האיראנים טוענים שהאורניום הוא מקור אנרגיה מתכלה שיש לנצל כמו הנפט והגז הטבעי. כיום הם טוענים לגבי המחצבים הידועים ובשימוש בטכנולוגיות המוכרות ניתן לחצוב כ-12,000 טון אורניום שזה שווה ערך ל-880 מיליון חביות נפט גולמי. כאשר יעברו לטכנולוגיות מתקדמות יותר אפשר יהיה לדעתם לנצל פוטנציאל שווה ערך לכ-44 ביליון חביות נפט גולמי.

האיראנים עצמם המשיכו להריץ בעצמם מודל ממוחשב (התוכנה WASP אשר פותחה ע"י הועדה הבינלאומית לאנרגיה גרעינית בווינה) ולפי חישוביהם תכנון מערכת הייצור המיטבית כוללת המשך בנית תחנות כוח גרעיניות בהספק של כ-22,000 מגוואט עד שנת 2025 (ראה רקע של איור מס' 3).

מן הצד השני נציגי המערב ניסו בשנים האחרונות לשכנע את האיראנים לא לשפץ ולהמשיך בבניית התחנה בכושהר (שנפגעה במלחמת איראן-עיראק) והעלו את הנימוקים הבאים:

1. עלויות הדלקים שנלקחו בחשבון בחישובים הראשונים (בתקופת השח) השתנו מאז ועדכונם יביא לתוצאות שונות.
2. שיפוץ והמשך בניית התחנה בכושהר יהיה יקר בהרבה מאשר בנית תחנת כוח חדשה מסוג מחזור משולב המוזנת בגז טבעי עבור אותו הספק.
3. האיראנים כללו בעלויות הדלק מקדם של השפעה על איכות הסביבה שנראה מוגזם, שכן תחנת כוח המופעלת בגז טבעי פליטת המזהמים שלה נמוכה, ומצד שני בנית מתקני חציבה, טחינה, ועבוד האורניום מהווים סכנה בריאותית לא פחותה.
4. לגבי הגדרת מחצבי האורניום המקומיים כמשאב טבע שיש לנצל הטיעון הוא שהאיראנים מגזימים בכמויות והאורניום המקומי יספיק לשנים ספורות בלבד.
5. לא נלקח בחשבון בחישובים שלתחנות כוח מסוג מחזור משולב יש יתרון נוסף של חסכון של שליש ממי הקירור.



איור 4: דגם של תח"כ גרעינית מתוכננת באחוד האמירויות

כדי להמחיש שהוויכוח האם מדינה עשירה במקורות אנרגיה זקוקה גם לתחנת כוח גרעינית אינו מסתיים דווקא באיראן, באיור מס' 4 ניתן דגם של תחנת כוח גרעינית, אותה מציעה חברה דרום

קוריאנית לבנות ליד העיר סילא הנמצאת באיחוד האמירויות, וכדי לסבר את האוזן איחוד האמירויות היא החמישית בעולם בכמויות משאבי הנפט והגז הטבעי שלה.

שאלה נוספת היא מהן הסכנות שמדינת אויב בונה תחנת כוח גרעינית המיועדת כביכול למטרות אזרחיות?

התשובה היא: ראשית פעילות כזאת תעודד לימוד הנושא הגרעיני והכשרת מדענים שמאוחר יותר יוכלו לתרום גם לנושא הצבאי. בנוסף ניתן לנצל פעילויות אלה כדי להסתיר פעילות בנושאים צבאיים כולל העברת חומרים ותהליכים שיכולים לשמש בסתר לפיתוחים צבאיים.

הסכנה העיקרית קיימת בכך שע"י תהליך של עיבוד חוזר(מחזור) של מוטות הדלק הגרעיני המשומשים לאחר שהוצאו מהכור ניתן באמצעים כימיים להפריד את הפלוטוניום הנחוץ ליצור פצצת פלוטוניום, אולם זהו הליך מורכב, לא מקובל ויש ספקות לגבי הצלחתו. הליך כזה מחייב להפעיל את תחנת הכוח במשטר עבודה שונה המתבטא במחזור של כמה חודשים (במקום 3-4 שנים) של מוטות הדלק ללא ייצור חשמל בתקופה זאת. קשה יהיה לבצע זאת במידה יהיה פקוח על תפעול תחנת הכוח.

במקרה של הכור בתחנת הכוח בבושהר הרוסים התחייבו כאמור לאסוף את מוטות הדלק המשומשים, אבל תמיד קיימת סכנה שבשלב מסוים האיראנים יתנגדו לכך.

לגבי ישראל קימת סכנה נוספת שכן הרוסים מתוך כוונה לשמור על השקעתם הבטיחו לאיראנים למגן את תחנת הכוח ואולי עוד מתקנים נוספים בטילי אוויר מתקדמים (סוג S-300) וזו מערכת טילים שוברת שוויון אשר הרוסים בינתיים לא מסכימים לספק אותם.

הדרך לפצצה גרעינית:

הבסיס ליצור פצצה גרעינית הוא חומר בקיע, החומרים הבקיעים העיקריים הם איזוטופ פלוטוניום - 239 ואיזוטופ אורניום 235. בפצצה שהוטלה על הירושימה השתמשו באורניום 235 ובזו שהוטלה על בנגסאקי השתמשו בפלוטוניום 239.



איור 5 – מכרות האורניום בסגהנד

כטונה וחצי של אורניום מועשר בריכוז של 3.5% דרושים כדי ליצור 20 ק"ג אורניום בריכוז של 93% - כמות הדרושה לבניית פצצה גרעינית.

פלוטוניום לא קיים בטבע, פלוטוניום 239 שגם הוא חומר בקיע מיוצר באופן מלאכותי מאורניום-238. הוא נוצר על מוטות דלק האורניום במהלך הבקוע בליבת הכור, ומופרד באמצעים כימיים

בזמן העיבוד החוזר של המוטות. כאשר הכוונה היא אכן ליצור פצצה איכותית יהיה צורך להשאיר את המוטות בכור תקופה של כמה חודשים בלבד (מחזור רגיל אורך כ 3-4 שנים) ובתקופה זו לא לייצר במקביל חשמל. כפי שיוסבר להלן דרך טובה יותר נוספת לייצור פלוטוניום היא באמצעות הכנסת מוטות דלק בהעשרה טבעית לכור העובד על מים כבדים.

החומר הבקיע המעושר (איזוטופ הפלוטוניום 239 או האורניום 235) משמשים כליבת חומר הנפץ (בתוך הפצצה). איזוטופ הפלוטוניום 239 יכול להיות מיוצר בכורים גרעיניים ואילו איזוטופ האורניום 235 במפעלי העשרה. כורים הפועלים באמצעות אורניום מועשר (בד"כ כ- 3-4%) משתמשים במים קלים (מים רגילים) כ"מאט ניטרונים" המשמש לקיום תגובת השרשרת שמייצרת את האנרגיה. כורים העושים שימוש במים כבדים יכולים להיות מופעלים באמצעות אורניום טבעי (בהעשרה טבעית של 0.7%). הנמצא בידי איחן ולהשתמש בפלוטוניום הנוצר בליבת הכור לייצור פצצה גרעינית. לפצצת פלוטוניום יש יתרון שכן כמות הפלוטוניום הנדרשת להכנת פצצה אחת הינה קטנה לעומת כמות האורניום הנדרשת לפצצה אחת, ובכך ניתן להקטין את משקל הפצצה או הראש הקרבי עבור הטילים, לייצר יותר פצצות ולהקטין את הצורך בהשקעה בשיפור כושר הנשיאה של הטילים.

תוכנית הגרעין האיראנית כללה בתחילה שני מסלולים:

המסלול הגלוי לשימוש אזרחי בסיוע רוסי: הסיוע הרוסי מתבטא באיתור מחצבי אורניום, כרייה, טחינת האורניום, וסיוע בהקמת הכורים לתחנות כוח גרעיניות לייצור חשמל, שהראשונה מהן הוקמה בבושהר. כפי שהוזכר לגבי תחנת הכוח בבושהר התכנון הוא שהאורניום ייובא מרוסיה ומוטות הדלק יוחזרו לרוסיה לאחר השימוש. אחרת יש חשש שהם יכולים לשמש להכנת פצצת פלוטוניום במקום לייצר חשמל.



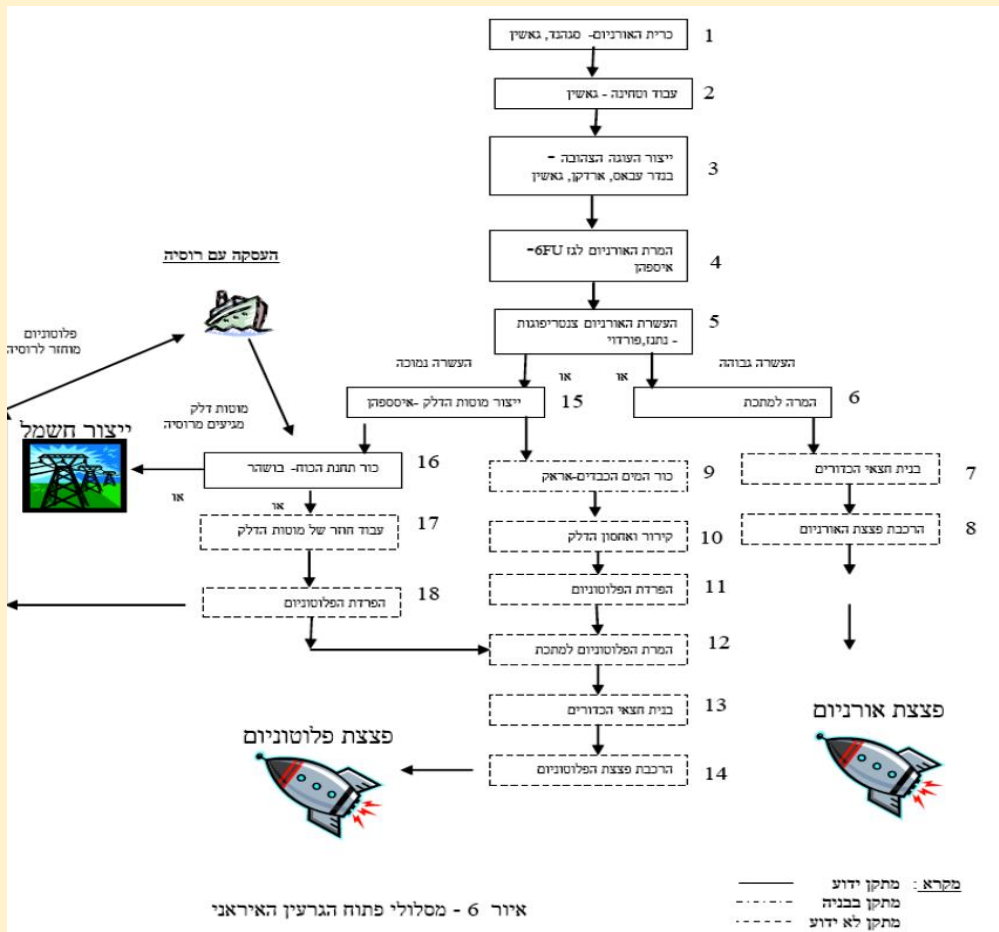
איור 6-אורח במתקן ההעשרה בנתנו

המסלול החשאי לשימוש צבאי בסיוע פקיסטני: זהו נתיב נסתר ובעל כוונות מלחמתיות, המבוסס על תהליך של העשרת אורניום. כטונה וחצי של אורניום מועשר בריכוז של 3.5% דרושים כדי ליצור 20 ק"ג אורניום בריכוז של 93% - כמות הדרושה לבניית פצצה גרעינית, פעילות זאת נעשתה בעזרת המדען הפקיסטני עבד אל קאדר חאן שנחשב לאבי פצצת הגרעין הפקיסטנית ומציע את שרותיו לכל

המרבח במחיר (בעבר סייע גם לרוב).

כמובן שהאיראנים טוענים שהפתוח הגרעיני שלהם הוא למטרות שלום, וכל מתקן שמתגלה ע"י הפקחים הם מיד מאמצים אותו למטרות אזרחיות, כמו מחקרים מדעיים למטרות שונות. באיור 7 ניתן לראות את המסלולים הקיימים והמתוכננים של פתוח הגרעין האיראני, כך שכיום קיימים שלושה מסלולים היכולים להביא לבניית פצצה גרעינית: "מסלול האורניום המועשר" ושני "מסלולי הפלוטוניום". המפעל לייצור מוטות דלק באיספהן (פעילות מס' 15) שנחנך לאחרונה מקבל את האורניום המועשר ברמה נמוכה ממתקן הצנטריפוגות בנתאנו ויכול להפוך אותו למוטות דלק עבור תחנת הכוח בבושהר. באותו מפעל קיים קו ייצור נוסף המייצר דו תחמוצת אורניום (UO₂) על בסיס אורניום ברמת העשרה טבעית, כאשר בשלב הבא נוצר הדלק הגרעיני

(כנראה במפעל אחר באיספהן) עבור כור המים הכבדים שבאראק (פעילות מס' 9) אשר נחשף לאחרונה ונמצא בהליכי בניה מתקדמים. מתקנים אלה משלימים למעשה את מעגל הדלק הגרעיני העצמאי והאיראנים לא יהיו תלויים עוד באספקת אורניום מרוסיה(אלא אם יחיבו אותם) והם יוכלו להפיק פלוטוניום בצורה טובה ויעילה ע"י עבוד אורניום מועשר ברמה טבעית עבור כור המים הכבדים שבאראק (פעילות מס' 9) ולא רק באמצעות תחנת הכוח שבבושהר (פעילות מס' 16) שזהו הליך שנראה פחות מעשי. האיראנים כרגיל טוענים שכור המים הכבדים באראק נועד לצרכי מחקר רפואי ולשם כך הם זקוקים לרמת העשרה של כ-20%. באיור 7 מופיעות פעילויות 7 ו-13 כ"בנית חצאי הכדורים" פעילויות אלה סומנו בנפרד למרות שיתכן שהן מתבצעות באותו מתקן של הרכבת הפצצה הגרעינית, מדובר ביצירת אותה "מסה קריטית" של חומר בקיע רדיואקטיבי שיש להפריד אותו לשני חצאי כדור שווים ולהציבם במרחק מתאים זה מזה. שני הכדורים יחוברו במהירות גדולה באמצעות הפעלת חומר נפץ רגיל, וזה התהליך שיביא לפיצוץ הגרעיני, מתקן מסוג זה מכונה "עדשת הנפץ" ולדעת מומחים פותח כבר לפני כמה שנים במפעל הממוקם בפרצ'ין.



פעילות מס' 5 מצינת את תהליך ההעשרה של האורניום, בנוסף למפעל בנתאנז (איור 6) מצוין גם האתר פורדוי שנמצא צפונית לעיר קום, ובו נתגלה לאחרונה מתקן העשרה נוסף שהוסתר ע"י האיראנים.

פעילויות מס' 4 ומס' 15 סומנו בדיאגרמה כנפרדות, אולם, הן למעשה מתבצעות באותו אתר של מפעל המרת האורניום באיספהן.

שלושת האתרים הנחשבים ל"מסוכנים" ביותר מבחינת האיום הגרעיני האיראני הם: מפעל המרת האורניום (המרכז לחקר הגרעין) באיספהאן (פעילויות מס' 4,15), המתקן להעשרת אורניום בנתאנו (פעילות מס' 5) וכור המים הכבדים באראק (פעילות מס' 9).

לעומת זאת תחנת הכוח הגרעינית בהבושהר נחשבת לפחות מסוכנת מהסיבות הבאות:

א. מבחינה איכותית לייצור פצצת פלוטוניום עדיף המסלול הכולל את כור המים הכבדים באראק.

ב. קשה יהיה לייצר פצצת פלוטוניום באמצעות מתקן האחזור בכור התחנה הגרעינית כל זמן שיש פקוח על התחנה.

אבל, ברור שאילו לא היו אותם מסלולים נוספים המסוכנים יותר, הכור הגרעיני של תחנת הכוח היה נחשב למסוכן יותר.

השפעת הלחץ הבינלאומי והסנקציות

ראשית כדאי להזכיר שהלחץ הבינלאומי על איראן להפסיק את המשך הפתוח נעשה למרות שהאמנה למניעת הפצת נשק גרעיני (NPT) מקנה לה זכות גישה לכל מרכיבי מעגל הדלק הגרעיני, כולל העשרת אורניום במידה והדבר נעשה למטרות שלום. הגילויים שאיראן מנסה בהסתר לפתח נשק גרעיני, וניסיון הפקוח הלא מוצלח על צפון קוריאה, הביאו לחוסר אמון ועמדה נוקשה יותר של סוכנות הפקוח הבינלאומית (סב"א) ומדינות המערב אשר דורשות כיום את השעיית העשרת האורניום כאיסור גורף ללא הגבלת זמן.

הסנקציות האחרונות שאושרו הן ע"י הקונגרס והסנט האמריקאיים והן ע"י האיחוד האירופאי מכוונות כנגד תעשיות הנפט והגז הטבעי שהן למעלה מ 80% מההכנסה של איראן, בנוסף, כפי שהוזכר איראן מזקקת את מרבית הנפט שלה בארצות חוץ. כך שהסנקציות החדשות שאמורות להפסיק כל פעילות של חברות בינלאומיות עם תעשיית הנפט והגז הטבעי, יכולים להביא לחנק של הכלכלה האיראנית.

מדינות רבות מפסיקות את הסיוע הכלכלי וההשקעות באיראן, ובשירותים בנקאיים שהיא מקבלת, יש בריחת הון ומורגשת עליה באינפלציה.

לגבי זיקוק הנפט הגלמי האיראני ידוע על כמה חברות שנכנעו לחרם הבינלאומי ולחשש לפגיעה ביחסי המסחר עם ארה"ב כמו חברת "לוקאוויל" הרוסית אשר נהגה לספק לטהרן בין 250 ל-500 אלף חביות של דלק מדי חודש, כך גם חברת "טוטאל" הצרפתית.

באיראן עצמה קיבל לאחרונה המנהיג חמינאווי החלטה לא להתקדם בהעשרת האורניום לרמה צבאית (לעצור בנקודת הסף), אלא להמשיך יותר בפתוח רוחבי (שיפור הטילים, הקטנת מימדי הפצצה, התקדמות במסלול הפלוטוניום) כדי לקנות זמן להרחבת ובסוס של המערך הגרעיני על מנת שבבוא היום ניתן יהיה לייצר פצצות גרעיניות (הן מסוג אורניום והן מסוג פלוטוניום) תוך זמן קצר יחסית (8-12 חודשים).

סכום:

1. הפקוח על הפתוח הגרעיני הוא קשה, תחת הכותרת של "פתוח גרעיני לצרכי שלום", אפשר להגביל את ההעשרה לערך נמוך למטרות הפעלת תחנות כוח, אבל אז יכולים לבוא נימוקים של העשרה ברמות גבוהות למשל למטרות מדעיות כמו רפואה, אשר האיראנים טוענים שלשם כך יש צורך בהעשרה של 20% אשר מקרבת אותם לרמת העשרה צבאית. בנוסף מערימים האיראנים קשיים על אפשרויות הפקוח, למשל כור המים הכבדים באראק שלדבריהם נועד למטרות מחקר ורפואה כוסה לאחרונה בתקרת בטון אשר מונעת מעקב חיצוני יעיל. הפקוח יהיה בעייתי יותר כאשר משטר שיראה מסוכן לישראל לא יראה כך לארה"ב ומדינות המערב.
2. האפשרות ששימוש בכור גרעיני לייצור חשמל יכול להוות פתח לשימוש צבאי(פצצת פלוטוניום) קיימת אם כי אינה נראית מעשית ומסוכנת כמו העשרת אורניום או ייצור פלוטוניום בכור של מים כבדים. אפשרות כזאת בכל זאת מדאיגה בעיקר לגבי מדינות כמו איראן וכיום תורכיה שהמשטר שלהן יכול בן לילה להפוך לעוין.
3. כיום יש תהליך השתחררות מאפקט אסון צ'רנוביל ומדינות רבות מתעניינות בבניית תחנות כוח גרעיניות. סעודיה ואחוד האמירויות עתירות משאבי האנרגיה מנהלות משא ומתן עם צרפת ודרום קוריאה על בנית תח"כ גרעינית, וגם תורכיה ומצרים שתכננו כבר לפני כ-20-15 שנה לייצר חשמל באמצעות כור גרעיני, חידשו שוב את הפעילות לאחר הקפאה של כמה שנים, הצפי לתאריכי ההפעלה במדינות אלה הוא בין 2016 ל-2020, בתורכיה האתר הוא אקויה בדרום המדינה, ובמצרים אל-דבה שלחוף הים התיכון.
4. למרות ההתמקדות במסלול העשרת האורניום, הסכנה בפתוח פצצת פלוטוניום לא פחותה, ויש לה יתרון במשקלה הקל יותר, דבר שיקטין את התלות בפתוח טילים משוכללים יותר. כיום האתרים הנחשבים ל"מסוכנים" ביותר מבחינת האיום הגרעיני האיראני הם: המרכז לחקר הגרעין באיספהאן, המתקן להעשרת אורניום בנתאנז, וכור המים הכבדים באראק.
5. לגבי השאילה המרכזית האם מדינה עתירת משאבי נפט וגז זקוקה לתחנת כוח גרעינית, ברור שהיא יכולה להסתדר ללא ת"כ גרעינית, אבל בהחלט אפשרי וסביר שחישוב טכני/כלכלי יצביע על בנית תח"כ גרעינית כפתרון מיטבי. במידה ורוצים לבדוק חישוב שכזה יש להתמקד בבדיקת הנתונים שהוזנו כקלט לתוכנה.
6. התעמולה האיראנית מתעלמת מהאיסור הגורף להמשך הפתוח הגרעיני שהוטל עליה, וכל גילוי של מתקן גרעיני שהוסתר, מופיע מיד לאחר מכן כחלק לגיטימי ממה שהם מציינים כשימוש באנרגיה גרעינית למטרות שלום, תוך שהם מצטטים את האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, שאכן במקורה אפשרה גישה לכל מרכיבי מעגל הדלק הגרעיני במידה והפעילות היא למטרות שלום.
7. למרות תדמיתה אצלנו ובעולם, באמצעות חיבור מערכות החשמל, איראן מנהלת שתוף פעולה פורה עם מרבית שכנותיה, הן בנושאי סחר בחשמל וגם בחלוקת משאבי המים המשותפים.
8. כתוצאה מהפתוח המואץ של בנית סכרים בשנים האחרונות, חברות איראניות התמחו בנושא והן מציעות את ניסיוןן. ניתן לראות את המקום שהן תופשות בדפי הפרסומות של העיתונות המקצועית הבינלאומית.

* המאמר נכתב לפני כ-10 שנים, ומוגש כאן בכדי להסביר את התהליך הרב שנתי בנושא.