

## רגינלד פסנדן - Reginald Fessenden אברהם אמיר – 4X4FW

בכתבה שלי על מרקוני ("הגל" אוגוסט 2016) נוצר הרושם שמרקוני היה האדם היחיד שחקר ויישם את השימוש בגלים אלקטרומגנטיים לתקשורת אלחוטית. חוקרים ומדענים נוספים עסקו בזה באותה תקופה, אך מרקוני בלט מעל האחרים ביישום מעשי של הגלים האלקטרומגנטיים בטלגרף האלחוט באמצעות משדרי ניצוצות. פעילותו הנמרצת של מרקוני לאורך שנים הביאה לתוצאות מעשיות אשר הצדיקו את הגדרתו כאבי הטלגרף האלחוט. באותה תקופה עסק **רגינלד פסנדן** במחקר ופיתוח משדרים ומקלטים לטלגרף אלחוט. הוא לא היה מרוצה מביצועי משדר הניצוצות ששידר פולסים מרוסנים. הוא הגה את הרעיון להפקת תנודות אלקטרומגנטיות רציפות (Continuous Waves) באמצעות מחולל זרם חילופין (Alternator) בתדר גבוה. הוא היה הראשון שביצע שידור אלחוט של דיבור ומוסיקה עם מחולל מאופנן. פסנדן המציא את מקלט ההטרודיין שהיה הבסיס למקלט הסופר-הטרודיין של ארמסטרונג.



**רגינלד אוברי פסנדן** נולד בשנת 1866 בכפר קטן בחבל קוויבק בקנדה לאב שהיה כומר אפיסקופלי. בשנת 1880 הוא סיים בגיל 14 את לימודיו בטייניטי קולג' בחבל אונטריו. אביו ציפה שרגינלד הצעיר ילך בעקבותיו ויפנה ללימודי כמורה, אך הוא העדיף להמשיך בלימודי מתמטיקה בבישוף קולג' ובשנת 1884 קבל משרת מורה במכון וויטיני באי ברמודה. בשנת 1886 הוא עבר לניו-יורק שם הגיש בקשות חוזרות להתקבל לעבודה בחברתו של **תומס אדיסון** ולבסוף התקבל לעבודה במשרת עוזר לבודק. בשנת 1887 הוא קודם לתפקיד הכימאי הראשי במעבדות אדיסון בניו ג'רסי. בשנת 1890 פסנדן עבר לחברת "ווסטינגהאוס" שהייתה המתחרה העיקרית של חברת החשמל של אדיסון, בה קבל את משרת החשמלאי הראשי בפייטספילד. לאחר שנתיים עבר לאקדמיה וקבל משרת מרצה בהנדסת חשמל באוניברסיטת פרדיו. בשנים 1893-1900 שמש כראש הפקולטה להנדסת חשמל באוניברסיטת ווסטרן בפנסילבניה. בשנת 1900 הוא פרש מהפעילות האקדמית והחל בפעילות מעשית ליישום רעיונותיו בנושאים שונים. בשנת 1902 ייסד את חברת National Electric Signaling Co. עם שני משקיעים מפיטסבורג.

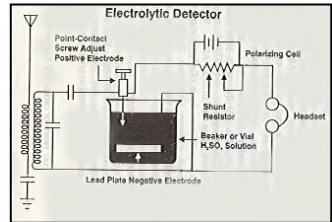
### רעיון הגלים הרציפים - CW

פסנדן היה מודע רב-תחומי שעסק בנושאים שונים: כימיה, חשמל, מטלורגיה ומכונות ולקראת סוף המאה התשע עשרה עיקר עיסוקו התמקד בנושא הטלגרף האלחוט ושיפור ביצועי משדרי הניצוצות וגלאי ה-Coherer. בשנים 9-1898 הוא פרסם מאמרים בכתבי עת מדעיים בהם הצהיר שעתידי השידור האלחוט חייב להתבסס על אותות בגלים רציפים Continuous Waves. מדענים שונים וביניהם פסנדן, ניסו ליצר גלים אלקטרומגנטיים רציפים המבוססים על משדרי הניצוצות ומשדרי הקשת החשמלית ללא הצלחה משמעותית. מסקנתו של פסנדן הייתה שיש להפיק זרם חילופין בתדרים גבוהים ממחולל - Alternator. התדר הגבוה ביותר שניתן היה להפיק ממחולל זרם חילופין בתקופה זו היה 10 קילוהרץ, אך יעילות השידור בתדר זה ירודה בגלל הצורך באנטנת חוט ארוכה מאוד. חברת ג'נרל אלקטריק הייתה היחידה עם הידע והיכולת לפתח ולייצר מחוללי זרם חילופין בתדרים גבוהים המבוססים על פיתוחיו של רגינלד אלכסנדרסון (אמריקאי ממוצא שוודי). פסנדן פנה בבקשה לאלכסנדרסון לייצר עבורו מחוללי זרם חילופין בתדר 100 קה"ץ בהספק גבוה. לצורך ניסוייו הראשונים בקשר טלגרף אלחוט טרנס-אטלנטי, פסנדן החליט לא להמתין למחוללים שהוזמנו מחברת ג'נרל אלקטריק. הוא שיפר את ביצועי משדרי הניצוצות הקיימים על ידי הוספת מערכת Rotary Spark Gap סינכרונית בקוטר 1.8 מטר עם 50 מגעים ליצירת ניצוצות בתדר גבוה.

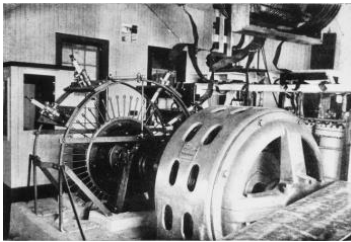
### פסנדן ומעגלי הקליטה

כמו מדענים אחרים בתקופה זו, פסנדן היה מודע למגבלות הקליטה באמצעות הגלאי המגנטי וה-Coherer (Liquid Barreter). תכונותיו דומות למיישר זרם והפטנט עבורו אושר לו בשנת 1903. השרטוט הבא מראה מקלט טלגרף אלחוט של פסנדן בו נמצא בשימוש הגלאי האלקטרולטי. גלאי זה היה יעיל בקליטת שידור

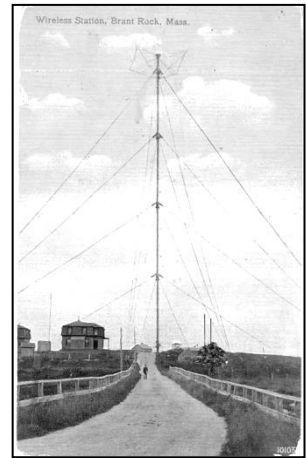
מאופנן בלבד כפי שהפיקו משדרי הניצוצות. לא ניתן היה לקלוט בגלאי האלקטרוליטי בבהירות את שידורי הטלגרף ממחוללי ה-CW בתדר גבוה ששדרו אות לא מאופנן, כי באוזניות נשמעו נקישות בלבד ולא צלילים. פסנדן פתר את הבעיה באמצעות רעיון חדש. על ידי מיזוג שני תדרים נוצר תדר שלישי נמוך שהוא ההפרש בין שני התדרים וניתן לשמיעה באוזניות. עקרון זה כונה על ידי פסנדן בשם הטרודין – Heterodyne והפנטט עבורו אושר לו בשנת 1902. היישום המעשי של עקרון ההטרודין לקליטת אותות CW התממש בשנים 1912-4 כאשר הטריודה אפשרה לייצר מתנדים בתדר גבוה.



### הקשר הטרונס-אטלנטי הראשון של פסנדן



למטרה זו פסנדן השתמש במשדרים עם Rotary Spark Gap סינרוני בהספק 35 קילוואט המונעים על ידי מנוע קיטור. המשדרים שהותקנו בברנט רוק (50 ק"מ מדרום לבוסטון) ובסקוטלנד, פעלו בתדר 80 קה"ץ וחוברו לאנטנת "מטריה" קיבולית שפותחה על ידי הצוות של פסנדן וכללה תורן מבודד בגובה 125 מטר.



המקלטים למשימה זו פעלו באמצעות הגלאי האלקטרוליטי שפותח על ידי פסנדן. הניסויים הראשונים בקשר טלגרף אלחוטי טרונסאטלנטי של פסנדן החלו בינואר 1906 ונמשכו לאורך החורף, האביב ותחילת הקיץ. איכות העברת התשדורות בין שני צידי האוקיאנוס האטלנטי שבצעו אנשי הצוות של פסנדן עלתה על זו שבצעו מרקוני ואנשיו עד אותה עת. זאת בגלל השימוש במשדרים מסוג Rotary Spark Gap ובגלאי האלקטרוליטי. בניסויים של מרקוני פעלו עם משדר ניצוצות רגיל ובגלאי המגנטי. אנטנת המטריה בגובה 125 מ' של פסנדן הייתה הרבה יותר יעילה מהאנטנה הקונית של מרקוני בגובה 61 מ'.

תחנת השידור בברנט רוק בה בוצע הקשר הטרונס אטלנטי הראשון

### ראשית השידור בשיטת ה-AM

בשנת 1906 חברת ג'נרל אלקטריק ספקה לפסנדן את המחולל הראשון שייצר אלכסנדרסון עבורו שהפיק זרם חילופין בתדר 50 קילוהרץ. פסנדן ועוזריו שפרו את המחולל והעלו את התדר ל-75 קילוהרץ. משדר זה היה משדר ה-CW הראשון שהחל את עידן שידור גלי סינוס נקיים בתדר גבוה. פסנדן לא הסתפק בהישגיו בתחום הטלגרף האלחוטי והחל במימוש חזונו הישן לשידור אלחוטי של שיחות טלפון. לאחר ניסיונות לא מוצלחים של פסנדן ושל אחרים לבצע שידורי רדיו-טלפון באמצעות משדרי ניצוצות וקשת חשמלית, הוא החליט להשתמש במחולל תדר גבוה שייצר עבורו אלכסנדרסון במפעל ג'נרל אלקטריק למטרה זו. לקראת סוף 1906 הצליח הצוות של פסנדן לאפנן את המחולל באפנון תנופה (AM) באמצעות מיקרופון פחם שחובר בין מוצא המחולל למעגל תיאום האנטנה. בתאריך 21.12.1906 הוזמנו אנשי מפתח בתעשייה ובעיתונות להדגמה הראשונה של שידור רדיו טלפון. קהל המטרה העיקרי היו אנשי מפתח בחברת AT&T אותם בקש פסנדן לשכנע להשתמש במחולל המאופנן שלו להעברת שיחות טלפון באלחוט. סקירה על ההדגמה הצפויה פורסמה גם ב-The American Telephone Journal של AT&T. פסנדן החליט להוסיף לשידורי הדיבור גם מוסיקה ולקיים שידור לקהל מאזינים נרחב תוך תקווה שזה ישכנע את בכירי AT&T.

פסנדן הכריז על פתיחת השידורים בערב חג המולד ולצורך זה נתבקשו המפעילים בתחנות הטלגרף האלחוטי בצפון אמריקה לקלוט ולדווח. השידור החל בנאום שנשא פסנדן ולאחריו שודרו באמצעות פונוגרף מבחר שירי חג המולד וקטע לכינור "לארגו" של הנדל. השידור המשיך בניגון חי בכינור, שירה והקראת טקסטים שבוצעו על ידי פסנדן. שידור חוזר בוצע בערב ראש השנה של 1907.

מהדיווחים שהגיעו לאנשי פסנדן עולה כי השידורים נקלטו על ידי מפעילים רבים באוניות הצי האמריקאי וחברת United Fruit בצפון ודרום האוקיאנוס האטלנטי ובאיי הודו המערבית. לאחר השידורים פורסמה בעיתון של AT&T סקירה על תוצאות ההדגמה, בה הייתה ביקורת על כך ששיטת שידור זו לוקה ברעשים סטטיים וספק אם תוכל להתאים להעברת שיחות טלפון. למורת רוחם של פסנדן ושותפיו, חברת AT&T מצאה שיטת השידור של פסנדן אינה בשלה עדיין לשרותי טלפון



אלחוטיים ומסיבה זו לא הייתה מעוניינת לרכוש את זכויות הפטנטים שלו. רק בשנת 1920 הוקם קשר הרדיו-טלפון הראשון בין האי קטלינה לקליפורניה. שיטת השידור הייתה גל נושא CW באפנון AM כמו בניסוייו של פסנדן בשנת 1906, אך במקום מחוללי תדר גבוה וגלאים אלקטרולטיים, הופעלו משדרי ומקלטי שפופרות ריק שהיו יעילים יותר. לסיכום ניתן להבין כי המניע של פסנדן בשידורי ערב חג המולד וראש השנה היה להמחיש את היכולת לשדר אותות דיבור, כדי לשכנע את AT&T להשתמש בחידושים שלו בהפעלת טלפון אלחוטי. שלא ככוונה, שידורים אלה היו למעשה שידורי ה-AM הראשונים.

### הסונאר של פסנדן

בשנת 1912 פסנדן הצטרף לחברת Submarine Signal כבוסטון במטרה לקדם את פיתוח המתקנים לתקשורת תת-ימית. בינואר 1914 הוא פיתח מתקן חדש לשידור וקליטה שהפיק גלים אקוסטיים הניתנים למיתוג בקוד מורס בטווחים יותר גדולים מבעבר. המתקן האלקטרו אקוסטי הותקן בתוך מארז אטום למים והורד לעומק הים מתחת לבטן האוניה. בניסויים שנערכו בנמל בוסטון, המפעילים שמו לב לכך שבנוסף לאיתות המקורי נקלט ההד שלו במרווח זמן כתוצאה מהחוזרים. פסנדן הגיע למסקנה כי ניתן לנצל את תופעת ההחוזרים למדידת טווחים בין המתקן האלקטרו אקוסטי אל עצמים תת ימיים מסביב לאוניה ועל הרעיון הזה נרשם פטנט על שמו. בהמשך הוא פיתח מכשיר למדידת עומק – Fathometer. לאחר אסון טביעת אנית הנוסעים "טיטניק" ממשלת ארצות הברית עודדה את המדענים והתעשייה לפתח רעיונות ושיטות להגברת הביטחון לחיי אדם בים. הרעיון של פסנדן נבדק על ידי משרד האוצר האמריקאי, שממן את מחקריה של ספינת משמר החופים האמריקאי "מיאמי" שפעלה באזור ניו-פאונלנד. הוחלט לכלול את הרעיונות של פסנדן



במחקרים הבאים שיבוצעו בספינה. במרץ 1914 בוצעו ניסויים מעשיים עם הציוד של Submarine Signal בהם נמדדו עומקים שונים וטווח של 3,200 מטר מקרחון. פסנדן המשיך בפיתוח מתנדי סונאר בתדרים יותר גבוהים עד 3,000 הרץ. הם זכו להצלחה רבה והמשיכו להיות בשימוש גם במלחמת העולם השנייה לגילוי צוללות. בשנת 1929 הוענקה לו מדליית זהב של Scientific American עבור פיתוח ה-Fathometer.

מאות פטנטים נרשמו על שמו של רג'ינלד פסנדן. הפטנטים הראשונים היו קשורים בשיפורים בנורת הליבון לתאורה כשעבד עבור חברת "ווסטינגהאוז". רוב הפטנטים שלו קשורים בטלגרף האלחוטי וכוללים שיפורים במשדרי הניצוצות, בגלאים ובאנטנות. פטנטים הקשורים לתקשורת, גילוי וניווט ימי ותת-ימי נרשמו על שמו כשעבד עבור חברת Submarine Signal. בשנת 1911 נרשם על שמו פטנט עבור שיטת ניווט ימי באמצעות משואות רדיו בנקודות קבועות לאורך החוף. פטנט נוסף נרשם על שמו לגילוי ומדידת טווח לעצמים תת-ימיים ובמיוחד צוללות. בשנת 1936 נרשם על שמו פטנט למערכת טלביזיה עם מנגנון המורכב מתוף מסתובב עם מראות. רג'ינלד פסנדן מת בגיל 66 בשנת 1932 ונקבר בכנסייה ליד ביתו באי ברמודה.

לסיכום, פסנדן היה פעיל מאוד בתקופת התפר שבין תחילת עידן הטלגרף האלחוטי לעידן שפופרות הריק. הוא תרם למציאת פתרונות מעשיים בתחומים רבים בתקופה של בין העיניים. הרעיונות שהגה פסנדן יושמו ביתר הצלחה כשפותחה הטריודה בשנים 1910-1920. מעגלי ההטרודיין שנמצאים בשימוש במקלטי הרדיו מאז ועד ימינו, הם דוגמה בולטת לכך.

הכותב הינו עורך האתר [www.telecom-milestones.com](http://www.telecom-milestones.com)