

## BULETINUL

UNIVERSITĂȚII NAȚIONALE DE APĂRARE „CAROL I”

<https://buletinul.unap.ro>

# Considerații privind supravegherea suprafețelor terestre cu vegetație bogată. Foliage Penetrating Radar

*The use of radar for object detection in vegetated regions*

**Col.instr.av.s.dr. Pătru PÎRJOL\***

\*Universitatea Națională de Apărare „Carol I”, București, România  
e-mail: [petpirjol@gmail.com](mailto:petpirjol@gmail.com)

## Abstract

Radarul FOPEN este un sistem care utilizează frecvențe în domeniul VHF și UHF pentru a pătrunde frunzișul copacilor sau clădirile și pentru a detecta corpurile și persoanele care se ascund la adăpostul acestora. FOPEN constituie o tehnologie importantă, fiind dispus pe platforme aeriene sau terestre și destinat supravegherii unor suprafețe foarte mari, în special a celor acoperite cu vegetație bogată, care sunt improprie detectiei și identificării cu ajutorul altor senzori. Informațiile furnizate de radarul FOPEN asigură suportul necesar desfășurării unor activități civile sau militare. Utilizarea în scop civil a FOPEN asigură îndeplinirea unor misiuni de supraveghere și monitorizare a suprafeței Pământului. Datele furnizate vor asigura studiul biodiversității, pădurilor, suprafeței terestre etc. prin potențialul acestui radar de a detecta corpuri aflate sub coronamentul copacilor. Folosirea în scop militar a FOPEN permite detectia forțelor și mijloacelor adversarului ascunse la adăpostul frunzișului, aflate sau nu în mișcare. Imaginile generate de FOPEN asigură descoperirea țintelor prin pătrunderea de către undele electromagnetice a frunzișului sau clădirilor, depășind tehnicile de camuflaj, ascundere sau înșelăciune, întreprinse de către adversar. Datele furnizate de FOPEN asigură suportul informațional necesar desfășurării proceselor decizionale pe timpul planificării și executării misiunilor.

*The FOPEN radar uses frequencies at VHF and UHF to penetrate the foliage of trees or buildings and detect bodies and people hiding under their cover. FOPEN is an important technology, being located on airborne and ground-based platforms and designed to aid surveillance of very large areas, especially those areas rich in vegetation, which are unsuitable for detection and identification using other sensors. The information the FOPEN radar provides ensures the necessary support for civil or military activities. The civilian use of FOPEN ensures the fulfillment of surveillance and monitoring missions of the Earth's surface. The data provided will ensure the study of biodiversity, forests, land surface, etc. through the potential of this radar to detect bodies under the canopy of trees. The military use of FOPEN ensures the detection of enemy forces and assets concealed under foliage, whether they are moving or not. The images generated by FOPEN ensure the detection of targets by electromagnetic waves penetrating foliage or buildings, countering adversary camouflage, concealment, or deception techniques. The data provided by FOPEN ensures the necessary information support for decision-making processes during mission planning and execution.*

## Cuvinte-cheie:

supraveghere aeriană; FOPEN; senzori activi; sistem de supraveghere aeriană;  
senzori de bandă ultralargă.

## Keywords:

*air surveillance; FOPEN; active sensors; air surveillance systems; ultra-wide sensors.*

Cunoașterea situației pe câmpul de luptă a constituit o preocupare permanentă a comandanților de-a lungul istoriei confruntărilor armate care au însoțit evoluția societății omenești. Scopul urmărit a fost acela de a cunoaște din timp mișcările adversarului, în vederea întreprinderii măsurilor necesare pentru contracararea acțiunilor acestuia, și de a asigura forțelor proprii superioritatea tactică necesară obținerii victoriei. În același timp, s-a urmărit ascunderea acțiunilor și a prezenței forțelor proprii în zona de desfășurare a bătăliei prin folosirea inteligentă a caracteristicilor reliefului și a vegetației (în special a pădurilor). În acest sens, acțiunile întreprinse de comandanți aveau ca finalitate luarea unor măsuri concrete care vizau, pe de o parte, cercetarea și observarea permanentă a acțiunilor adversarului, iar pe de altă parte, mascarea sau ascunderea forțelor, mijloacelor sau intențiilor de acțiune ale forțelor proprii față de adversar. Dacă, în perioadele istorice anterioare secolului XX, sarcinile de observare și de cercetare a adversarului reveneau oamenilor, pregătiți și antrenați special în vederea culegerii informațiilor despre adversar, începutul secolului a adus în prim plan realizări tehnologice care ofereau posibilitatea supravegherii și detecției forțelor și mijloacelor inamice. Putem menționa în acest sens radarul, precum și o gamă variată de senzori pasivi (termici, optici, acustici etc.) cu posibilități de detecție superioare, capabili să detecteze, să localizeze și să identifice forțele și mijloacele dispuse într-o zonă de interes.

Evoluția științei și tehnologiei a permis, în ultimele cinci decenii, realizarea unor sisteme de senzori pasivi și active, capabili să detecteze o gamă variată de amenințări la adresa forțelor proprii. Disponerea senzorilor pe o gamă variată de platforme (spațiale, aeriene, terestre și maritime) a contribuit la creșterea potențialului acestora de a răspunde solicitărilor comandanților de a asigura suportul informațional necesar luării deciziilor la nivelul structurilor militare. Cerințele de sprijin informațional, solicitate de către comandanți, nevoile concrete de supraveghere a spațiului de desfășurare al acțiunilor militare au contribuit la identificarea unor principii teoretice noi care au avut ca finalitate conceperea și dezvoltarea unor sisteme de senzori activi sau pasivi revoluționari, capabili să detecteze forțele și mijloacele adversarului în condiții, locuri, medii etc. în care nu puteau fi descoperite anterior apariției acestora. Un exemplu în acest sens îl constituie solicitarea armatei SUA de a fi identificate soluții tehnologice capabile să asigure detecția forțelor și mijloacelor gherilelor vietnameze care acționau la adăpostul junglei tropicale. Caracteristica undelor electromagnetice cu frecvențe sub 1 GHz, de a se propaga eficient prin vegetație, în special prin păduri, era cunoscută anterior solicitărilor venite din partea armatei americane, dar aceasta nu a fost materializată prin cercetări științifice care să ofere un sistem radar capabil să detecteze forțele și mijloacele care foloseau vegetația pentru mascarea prezenței și intențiilor de acțiune. Studiile demarate la mijlocul deceniului șapte au avut ca finalitate, după aproape un deceniu de cercetări și verificări experimentale, obținerea unui radar capabil să penetreze vegetația și să descopere ființele vii sau obiectele aflate în mișcare la adăpostul acesteia. Acest radar este menționat în literatura de specialitate cu denumirea de FOLIAGE PENetration-FOPEN sau Foliage Penetration Radar-FPR ([Amato și alții 2013](#)).

Capacitatea senzorilor de a detecta și de a determina mișcările persoanelor și obiectelor aflate la adăpostul vegetației prezintă o deosebită importanță pentru aplicațiile atât din domeniul militar, cât și pentru cele din domeniul civil, fiind relevantă contribuția acestora la creșterea nivelului de securitate al unui stat. FOPEN reprezintă, din această perspectivă, un salt calitativ, cu contribuții majore în asigurarea unui mediu de securitate stabil, prin informațiile oferite structurilor cu responsabilități în domeniu. Această tehnologie poate detecta și monitoriza discret, fără a putea fi detectată, prezența subiecților umani care acționează la adăpostul vegetației sau al clădirilor de la distanțe mari, de ordinul zecilor de kilometri, constituind un instrument puternic în combaterea sau neutralizarea amenințărilor la adresa securității unui stat. Militarii care acționează în zonele de conflict, precum și personalul din compunerea structurilor cu responsabilități în aplicarea legii se confruntă cu pericole și amenințări, generate de posibilitatea existenței, pe de o parte, a unor structuri luptătoare ale adversarului, sau, pe de altă parte, a unor infractori, ascunși în clădiri, în spatele diferitelor tipuri de ziduri, al copacilor sau arbuștilor. Detecția și localizarea acestora cu ajutorul FOPEN asigură informațiile necesare planificării și desfășurării unor acțiuni eficiente pentru neutralizarea amenințărilor atât militare, cât și civile.

În cadrul acestui demers, voi prezenta importanța FOPEN în asigurarea suportului informațional, a principiilor teoretice care stau la baza dezvoltării acestui radar, rolul important pe care îl au datele furnizate în realizarea unui act decizional eficient, precum și în creșterea nivelului de siguranță al forțelor în timpul îndeplinirii misiunilor, atât în domeniul militar, cât și în cel civil.

### **Scurt istoric**

Confruntarea armată a impus ca o necesitate de maximă importanță supravegherea câmpului de luptă. Cunoașterea situației existente pe timpul desfășurării acțiunilor militare a constituit o nevoie stringentă și permanentă a fiecărui comandant. Apariția balonului și folosirea acestuia în misiuni de supraveghere a câmpului de luptă au oferit posibilitatea de a cunoaște situația adversarului la distanțe mult mai mari și cu o precizie mult mai bună decât putea oferi orice observator dispus la sol. Evoluția tehnică și științifică a începutului de secol XX a permis apariția avionului, ca mijloc de luptă și supraveghere, precum și a radarului, ca mijloc de detecție specializat, capabil să descopere mijloacele de atac aerian sau maritim ale adversarului. Dacă avioanele au preluat cu succes misiunile de supraveghere desfășurate cu ajutorul aerostatelor, mărinind distanța de supraveghere și sporind acuratețea informațiilor despre adversar, radarul nu a stârnit prea mult interes nici din partea comunității științifice, nici a armatei, deoarece tehnologia existentă nu permitea construirea unui mijloc de detecție relevant din perspectivă militară.

Creșterea posibilităților de supraveghere din spațiul aerian cu ajutorul aerostatelor sau al aeronavelor a avut ca efect diversificarea acțiunilor desfășurate de beligeranți

pentru contracararea capacității de supraveghere existente. În acest sens, au fost adoptate măsuri de ascundere a forțelor și mijloacelor, a manevrelor desfășurate în câmpul tactic, urmărindu-se prin astfel de acțiuni interzicerea cunoașterii de către adversar a intențiilor proprii și a obiectivelor urmărite în timpul executării misiunilor. Diminuarea efectului atacului mijloacelor aeriene s-a realizat prin deplasarea în condiții de vizibilitate redusă, prin crearea unor perdele de fum sau a ceții artificiale care să acopere dispozitivul de luptă, prin utilizarea reliefului sau a vegetației pentru adăpostirea trupelor etc., având ca scop final reducerea posibilităților de descoperire de la distanțe mari.

Cercetările întreprinse în perioada interbelică au demonstrat posibilitatea de detecție a navelor maritime și a aeronavelor cu ajutorul undelor electromagnetice. Experimentul de la Daventry, efectuat în anul 1935, a constituit punctul culminant al unor cercetări, desfășurate pe parcursul mai multor decenii, fiind demonstrată, practic, capacitatea radarului de a detecta mijloacele de atac aerian. Până la izbucnirea Celui de-Al Doilea Război Mondial, tehnologia RADAR evoluase suficient astfel încât să poată detecta și localiza mijloacele aeriene și navale la distanțe suficient de mari pentru a le putea combate. În acest sens, în momentul începerii războiului, ambele puteri beligerante, Marea Britanie și Germania, dețineau sisteme de supraveghere a spațiului aerian bine organizate, capabile să îndeplinească misiunile specifice și să asigure informațiile necesare desfășurării operațiilor aeriene.

Totuși, dezvoltarea tehnologică nu a permis realizarea unor radare care să poată detecta țintele terestre și care să poată asigura supravegherea permanentă a câmpului de luptă terestru, metodele folosite în Primul Război Mondial pentru ascunderea, mascarea și protecția forțelor terestre la adăpostul reliefului sau vegetației constituind, în continuare, modalități eficiente pentru contracararea supravegherii din aer a dispozitivului de luptă terestru. Cauzele care au stat la baza imposibilității radarelor construite în această perioadă de a detecta țintele terestre sau mijloacele dispuse la adăpostul vegetației au fost de natură tehnică, generate de lipsa unei forme de undă stabile și de o tehnologie rudimentară de procesare a semnalului reflectat de obiectele din teren.

La începutul deceniului șapte al secolului trecut, armata SUA a dezvoltat primul sistem radar de supraveghere a câmpului de luptă, respectiv radarul cu vedere laterală AN/APS-94 (Side-Looking Airborne Radar-SLAR), dispus pe o platformă aeriană de tip OV-1 Mohawk ([Rosenfeld și Kimerling 1977](#), 1519-1522). Radarul a fost dispus pe varianta OV-1B Mohawk, dezvoltat de Grumman Aircraft ca avion destinat misiunilor de supraveghere radar a suprafeței terestre, de observare video și foto ([FAS, fără an](#)) în vederea obținerii informațiilor referitoare la dispunerea taberelor militare, a mijloacelor mecanizate și a grupărilor de artilerie. Războiul din Vietnam a marcat desfășurarea primelor misiuni de supraveghere tactică a câmpului de luptă cu ajutorul radarului, armata SUA urmărind să obțină o situație clară a mișcării forțelor și mijloacelor adversarului. Datele furnizate de acest tip de radar

nu asigurau detecția și identificarea forțelor de gherilă care se ascundeau în zonele rurale, în jungla tropicală sau într-o rețea complexă de galerii subterane, din care reușeau să declanșeze acțiuni prin surprindere. Ulterior acestor acțiuni, în urma rapoartelor și solicitărilor comandanților din teren, au fost demarate cercetările privind dezvoltarea unor sisteme radar, capabile să detecteze forțele și mijloacele adversarului care se deplasau la adăpostul junglei. Întâmplător, în septembrie 1964, doi studenți ai University of Rochester, SUA, Louis V. Surgent Jr. și G. M. Foster, studiau posibilitatea utilizării unor concepte fundamentale din fizica teoretică în discriminarea țintelor civile de cele militare. Cercetările lor erau concentrate pe posibilitatea detecției personalului care acționa la adăpostul junglei și pe identificarea acelor persoane care erau înarmate. Rezultatele cercetării au demonstrat că exista posibilitatea pătrunderii câmpului electromagnetic prin frunziș și detecția personalului înarmat sau nu, ascuns în junglă sau în zone cu vegetație bogată. Pe baza rezultatelor obținute, cei doi studenți au prezentat US Army, în octombrie 1965, o propunere pentru un proiect intitulat ”ORCRIST, An Anti-Guerrilla Detection System”, ceea ce a constituit momentul începerii dezvoltării radarului cu posibilități de detecție a forțelor și mijloacelor care acționează la adăpostul vegetației. Programul, demarat în cadrul US Army Land Warfare Laboratory, din Aberdeen, Maryland, s-a desfășurat în perioada mai 1966 – iunie 1974, având ca finalitate apariția și dezvoltarea unor sisteme radar noi, cum ar fi: radar de supraveghere a câmpului de luptă, radar de penetrare a frunzișului dispus pe platforme aeriene, de supraveghere a obiectivelor etc. (Surgent 1974)

Radarul FOPEN, realizat în cadrul acestei etape de cercetare, prezenta o limitare în funcționare, dată de imposibilitatea detectării și localizării obiectelor statice, aflate la adăpostul vegetației. În consecință, tehnica de luptă ascunsă, lucrările genistice, clădirile, taberele, structurile de protecție a personalului și tehnicii etc. nu puteau fi detectate și neutralizate. Varianta realizată a constituit o tehnologie utilizată pentru detecția și indicarea țintelor terestre aflate în mișcare, fiind cunoscută, în literatura de specialitate, ca radare GMTI (Ground Moving Target Indication). Radarul GMTI a fost folosit de armata SUA în operațiile desfășurate în Asia de Sud-Est, în timpul războiului din Vietnam, dar impactul acestui sistem de detecție asupra desfășurării acțiunilor militare a fost redus, din cauza tacticilor adoptate de trupele de gherilă vietnameze. Având în vedere caracteristicile acțiunilor militare desfășurate de trupele vietnameze, a apărut solicitarea, din partea conducerii armatei SUA, de identificare a unei soluții tehnologice care să permită detecția mijloacelor adversarului, a lucrărilor genistice, a taberelor etc. realizate de către acesta în jungla tropicală. O soluție propusă a fost aceea de a întrebuiți un radar cu apertură sintetică, menit să funcționeze în benzile de frecvență VHF și UHF, utilizate în funcționarea FOPEN. Radarul astfel obținut, cunoscut, în literatura de specialitate, cu denumirea FOPEN SAR (Davis 2011, 4), ar fi eliminat limitarea tehnologică a radarului FOPEN, respectiv imposibilitatea detecției corpurilor și obiectelor statice, asigurând furnizarea informațiilor necesare identificării și neutralizării dispozitivului de luptă al trupelor vietnameze ascuns în junglă. Totuși, existența

câtorva impedimente de natură tehnică, respectiv rezoluția mare, de câțiva zeci de metri, precum și dimensiunile FPR SAR, care impuneau utilizarea unei platforme aeriene de dimensiuni mari, cu șanse minime de supraviețuire în zona de conflict, prelucrarea dificilă a datelor și obținerea unor imagini imprecise au determinat conducerea militară să renunțe la dezvoltarea și întrebuințarea FPR SAR.

A doua etapă a dezvoltării FOPEN s-a derulat în perioada cuprinsă între sfârșitul deceniului 9 și mijlocul ultimului deceniu al secolului trecut, fiind remarcate cooperarea, în cadrul acestui proiect, a MIT Lincoln Laboratory, sub conducerea tehnică a dr. Serpil Ayasil, precum și testările acestor sisteme radar în cadrul a două programe independente, respectiv FOLPEN de la Stanford Research Institute, sub conducerea lui Roger Vickers, și CARABAS, programul suedez de cercetare al Swedish Defence Research Establishment, sub conducerea lui Hans Hellsten (Davis 2011, 9). În aceeași perioadă, au fost inițiate și finanțate mai multe programe de testare a potențialului FOPEN, care urmăreau atingerea unor obiective complementare de cercetare științifică sau militară. Rezultatele obținute în cadrul acestor teste au asigurat înțelegerea importanței alegerii frecvenței, polarizării unde, eliminării interferențelor, caracteristicilor dezordinii impulsurilor, reflectate de frunzișul copacilor (Davis 2011, 9), având ca efect cumulativ creșterea eficienței detecției obiectelor sau ființelor vii, aflate în mișcare sau în repaus la adăpostul vegetației. Trebuie remarcată, în cadrul acestei etape de dezvoltare și testare a FOPEN, contribuția științifică și susținerea financiară, asigurată de Defense Advanced Agency, a proiectelor de cercetare în cadrul programului de dezvoltare a acestei tehnologii, desfășurat pe o perioadă îndelungată, sub conducerea unor personalități din domeniul cercetării științifice, cum ar fi: Dom Giglio, coordonator în perioada 1988-1995, Mark Davis, coordonator în perioada 1995-1998, și Lee Moyer, coordonator în perioada 1999-2005 (Davis 2011, 9).

O altă etapă în dezvoltarea FOPEN a avut loc la începutul secolului XXI, fiind caracterizată de impactul tehnologiilor informației și comunicațiilor asupra dezvoltării acestui sistem radar. Evoluțiile tehnologice înregistrate în domeniul procesării digitale a semnalelor au permis creșterea capacității radarului de a descoperi obiectele aflate la adăpostul vegetației, prin diminuarea impactului dezordinii semnalelor reflectate de frunzișul pădurii asupra detecției corpurilor sau obiectelor. Aceste dezvoltări tehnologice au adus în centrul atenției liderilor militari tehnologia FOPEN, fiind remarcat potențialul imens pe care acest radar îl deține în furnizarea informațiilor provenite dintr-un mediu care, până acum un secol, era considerat impenetrabil. Posibilitățile tehnice, asigurate de rezultatele cercetărilor obținute în ultimele două etape de dezvoltare a radarului, asigură furnizarea unor informații precise care vor contribui la realizarea unei imagini operaționale reale, precise și complete a câmpului de luptă terestru, eliminând incertitudinea, generată de existența pădurilor și a vegetației bogate, privind modul de dispunere a forțelor și de desfășurare a acțiunilor militare.

## Descrierea fenomenului fizic

Din cele prezentate anterior, în istoricul dezvoltării FOPEN, se identifică, începând cu anul 1990, o creștere a interesului față de această tehnologie. Implementarea realizărilor în domeniul tehnologiei informației și comunicațiilor a contribuit la creșterea potențialului acestui tip de radar, de a furniza datele necesare desfășurării cercetărilor științifice asupra Pământului (studiul biodiversității, a suprafeței terestre, a suprafețelor împădurite, ecologiei etc.). În același timp, dezvoltarea radarului FOPEN a asigurat obținerea unor date calitativ superioare celor din anii '70-'80, contribuind, astfel la creșterea interesului militarilor în utilizarea acestui tip de radar în misiuni de supraveghere și cercetare a unei zone. Interesul comunității științifice, precum și al armatei față de FOPEN s-a materializat prin finanțarea și efectuarea unor teste, prin care se urmărea culegerea de date din diferite zone ale Pământului, a căror finalitate consta în creșterea fiabilității radarului FOPEN. Cercetările ample desfășurate au urmărit determinarea efectelor frunzișului asupra capacității radarului de a detecta și de a urmări persoane sau obiecte aflate în pădure sau în zone cu vegetație bogată. Testele desfășurate în diverse zone ale globului, vizând determinarea influenței junglei, a pădurilor din zona arctică sau a diverselor tipuri de vegetație au contribuit la identificarea efectelor care se produc atunci când undele electromagnetice interacționează cu vegetația ([Gallone 2011](#), 173-175).

Un prim efect, identificat ca urmare a acestei interacțiuni, este acela de atenuare a semnalului radar. Atenuarea acestui semnal este produsă atât de fenomenul de absorbție a undelor electromagnetice, cât și de fenomenul de împrăștiere, care se manifestă la propagarea undelor electromagnetice prin frunzișul pădurii. Studiile întreprinse au relevat faptul că densitatea ridicată a frunzișului pădurilor generează o atenuare mai mare a semnalului, fiind identificate valori sensibil mai mari ale atenuării undei electromagnetice în zona de junglă, comparativ cu atenuarea produsă de pădurile aflate în zonele nordice. O altă concluzie, rezultată în cadrul acestor studii, a fost că atenuarea semnalului a avut valori diferite, în funcție de frecvența undelor electromagnetice, existând valori minime ale acesteia pentru plaja de frecvențe VHF ([Amato și alții 2013](#), 194).

Un alt efect identificat a fost cel al polarizării undelor electromagnetice. Acest efect apare ca urmare a reflexiei undelor electromagnetice de către copaci, fiind asociat fenomenului de împrăștiere. În urma testelor desfășurate, a fost identificată o dependență a fenomenului de atenuare de cel de polarizare, respectiv o creștere a nivelului de atenuare, în cazul polarizării verticale, față de atenuarea existentă în cazul polarizării orizontale ([Amato și alții 2013](#), 194).

Un alt efect constatat a fost cel de schimbare de fază a semnalului radar. Propagarea undelor electromagnetice prin coronamentul copacilor este asimilată cu propagarea printr-un mediu distribuit neuniform care generează o variație aleatorie a fazei

semnalului. Acest fenomen de variație aleatorie a fazei influențează capacitatea radarului de a detecta o țintă aflată pe suprafața terestră, la adăpostul frunzișului pădurii ([Amato și alții 2013](#), 194).

Un alt efect important care influențează semnalul radar este cel de reflexie difuză a semnalului radar, înapoi către senzor. Această reflexie difuză este generată de fenomenul de împrăștiere, care se produce la propagarea undelor printr-un frunziș compact și de dimensiuni mari. Dacă avem în vedere, pentru radarul FOPEN, o celulă de rezoluție, generată de limitele rezoluției spațiale și rezoluției unghiulare, în care se găsesc copaci asupra cărora acționează vântul, vom avea atât elemente fixe (roci, trunchiuri de copaci, pământ), cât și elemente mobile (frunze, ramuri) care vor genera fenomenul de împrăștiere a undelor electromagnetice și reflexia difuză a acestora către senzor. În consecință, semnalul radar, reflectat către senzor, va conține o componentă statică și o componentă variabilă a fenomenului de reflexie difuză (backscatter), care, împreună cu fenomenul de atenuare, de schimbare de fază și polarizare, reduc eficiența tehnicilor normale de prelucrare, bazate pe fenomenul Doppler, cu impact asupra capacității de detecție a radarului ([Amato și alții 2013](#), 194). Reflexia semnalului radar de către un obiect este un fenomen complex care depinde de proprietățile electromagnetice ale obiectului și de geometria acestuia. În cadrul celei de rezoluție, regăsim deci semnalul reflectat de obiect și fenomenul de reflexie difuză a semnalului radar, provenit de la frunzișul copacilor, aflați sau nu sub acțiunea vântului, a căror combinație are ca rezultat o variabilitate statistică ce contribuie la reducerea capacității de detecție a radarului ([Ulander 2004](#)).

Având în vedere cele menționate, pentru obiectele dispuse în frunziș sau sub coronamentul copacilor, trebuie avut în vedere impactul efectelor menționate mai sus pentru a îmbunătăți capacitatea de detecție a radarului FOPEN. Fenomenul de dezordine, creat de împrăștierea radiației electromagnetice la contactul cu vegetația, poate îngreuna detecția personalului și vehiculelor, care reflectă spre radar valori mici ale puterii impulsului de sondaj.

Înlăturarea neajunsurilor, generate de scanarea radar a zonelor cu vegetație bogată, a cunoscut mai multe etape care au avut la bază un număr ridicat de experimente, desfășurate în teren, unde s-a urmărit înțelegerea interacțiunii dintre frunzișul dens și undele electromagnetice, avându-se în vedere creșterea eficienței radarului FOPEN. Un prim pas a fost realizat în prima fază de dezvoltare a radarului FOPEN, când au fost identificate două inovații necesare creșterii capacității de detecție a radarului, respectiv realizarea unor emițătoare care să genereze unde electromagnetice coerente, sisteme de procesare a semnalului aferente, precum și dispunerea radarului pe cote dominante din teren, catarge sau turnuri înalte, prin care să se realizeze reducerea efectului de atenuare a semnalului radar generat de frunzișul copacilor ([Davis 2011](#), 4). Un alt aspect relevant în dezvoltarea FOPEN a constat în identificarea benzii de frecvențe optime care să asigure o atenuare minimă a semnalului radar, respectiv banda VHF ([Ulander 2004](#), 19-20).



## Întrebuințarea radarului FOPEN

Progresele înregistrate în domeniul tehnologiei senzorilor și a tehnologiilor informației și comunicațiilor în secolul XXI vor asigura un salt calitativ în dezvoltarea sistemelor de informații, supraveghere și recunoaștere. Dezvoltarea acestor tehnologii va permite realizarea unor senzori activi și pasivi cu parametri tehnici îmbunătățiți, care vor ajuta la detectarea țintelor cu suprafață de reflexie mică.

Utilizarea de către combatanți, pe câmpul de luptă, a tehnicilor de camuflaj și a vegetației, în special a arboretului cu frunziș dens, a evidențiat deficiențele actualelor sisteme ISR în detecția și localizarea țintelor. Creșterea performanței senzorilor, a calității datelor furnizate se va realiza printr-o utilizare mult mai largă a spectrului electromagnetic. În acest sens, tehnologia cu bandă ultralargă (ultra-wideband – UWB) asigură o utilizare mult mai eficientă a spectrului electromagnetic pentru diverse aplicații, cum ar fi transmisii video, voce și transfer de date, precum și în domeniul construcției senzorilor, în particular a radarelor de bandă ultralargă, și al localizării obiectelor. Sistemele de bandă ultralargă sunt realizate cu arhitecturi diferite și pot funcționa cu emisie continuă sau cu emisie în impulsuri, în funcție de aplicațiile în care sunt folosite. Dintre aplicațiile în care este utilizată această tehnologie, amintim:

- „UWB poate fi utilizat pentru a trimite rapid cantități mari de date între dispozitive. De exemplu, UWB poate fi folosit împreună cu rețelele 5G pentru a oferi viteze mai mari și mai multă lățime de bandă.
- *Comunicare cu latență scăzută: UWB este potrivit pentru comunicarea cu latență scăzută, datorită timpului său scurt de transmisie și dimensiunii reduse a pachetului. Acest lucru face ca UWB să fie ideal pentru aplicații precum jocurile, unde latența scăzută este esențială pentru menținerea unei experiențe de joc fluide.*
- *UWBPS: UWB poate fi folosit și în scopuri de poziționare și de urmărire. UWBPS utilizează bandă ultralargă pentru a calcula locația obiectelor în timp real. Acest lucru face UWB o opțiune atractivă pentru aplicații precum siguranța auto și evitarea coliziunilor. UWBPS poate fi folosit și pentru aplicații de securitate, cum ar fi urmărirea persoanelor sau a obiectelor.” (Isak 2022)*

Din cele prezentate, deducem următoarele avantaje ale tehnologiei de bandă largă, și anume: latență scăzută, poziționare de înaltă precizie, rată mare de transmitere a datelor, consum redus de energie, suport multibandă, risc redus de interferență, securitate în transmiterea datelor.

Datorită capacității ridicate de transmitere a datelor de care dispune tehnologia cu bandă ultra-largă, în viitor va putea fi folosită într-o varietate de scopuri, din care amintim:

- „conectarea dispozitivelor fără fire;
- furnizarea de conținut video de înaltă definiție;
- îmbunătățirea caracteristicilor de securitate;

- *facilitarea comunicării între vehicule și infrastructură;*
- *detectarea mișcării în zonele aglomerate.” (Isak 2022)*

Realizarea unor sisteme de senzori cu bandă ultralargă va asigura un avantaj operațional evident, deoarece va fi dificil de luat măsuri de protecție a unui obiectiv pe o lățime de bandă foarte largă. În cadrul acestei categorii de senzori, radarul cu bandă ultralargă constituie o etapă nouă în dezvoltarea radarului, prin trecerea la generarea de impulsuri de sondaj cu bandă largă sau ultralargă. Acest aspect permite utilizarea unor impulsuri de sondaj cu putere mult mai mică, ceea ce face ca emițătorul radarului să fie detectat cu greutate. Un element caracteristic este lățimea de bandă a semnalului, care reprezintă cel puțin 25% din valoarea frecvenței purtătoare, comparativ cu valoarea de 10% din frecvența purtătoare, specifică radarelor anterioare, de bandă îngustă. Radarele de bandă ultralargă vor constitui următorul salt calitativ al FOPEN, asigurând obținerea unor informații cât mai precise despre obiectele sau persoanele ascunse în zonele cu vegetație bogată. O altă metodă de a obține informații complete despre o zonă de interes constă în dispunerea unor senzori cu o gamă largă de posibilități de detecție pe mai multe platforme, care evoluează în mediul aerian, terestru, maritim și extraatmosferic, cu ajutorul cărora să se realizeze supravegherea zonei de interes.

Culegerea datelor de către senzori este influențată de modul în care este realizată procesarea acestora. Progresele înregistrate în domeniul tehnologiei informației și comunicațiilor au permis implementarea unor algoritmi noi de prelucrare a datelor, contribuind la diversificarea tipurilor de senzori, dar și la implementarea unor principii noi de detecție a amenințărilor. În acest sens, proiectarea senzorilor urmărește satisfacerea cerințelor viitoare ale sistemelor de prelucrare privind fuziunea datelor furnizate de aceștia și cerințele operaționale privind cunoașterea situației existente pe câmpul de luptă. Fuziunea datelor obținute în urma misiunilor de supraveghere și recunoaștere a unei zone de interes, integrarea acestora într-o imagine operațională precisă trebuie să asigure detectarea și identificarea amenințărilor la adresa forțelor proprii sau aliate. Un exemplu în acest sens îl constituie integrarea radarului FOPEN cu GMTI într-un sistem care oferă analiștilor posibilitatea localizării, în condiții de ceață, ploaie, furtuni de praf, aproape a oricărei ținte de suprafață, chiar în situația în care aceasta se găsește la adăpostul vegetației, oferind decidenților militari imagini tactice de înaltă calitate (Lockheed Martin 2012).

Un aspect important îl reprezintă corelarea datelor provenite de la mai multe tipuri de senzori, dispuși pe diverse tipuri de platforme aeriene, terestre, maritime și cosmice. Datele oferite de radarul FOPEN, dispus pe platforme aeriene sau terestre, vor fi corelate cu datele furnizate de celelalte categorii de senzori, având ca scop generarea unui produs final, necesar comandantului pentru luarea deciziei și planificarea misiunii. Corelarea datelor furnizate de senzori impune integrarea acestora într-o arhitectură din ce în ce mai complexă, având ca suport rețeaua de senzori, a cărei finalitate constă într-o mai bună cunoaștere a situației existente pe câmpul de luptă (Ackerman 2010).

Un alt domeniu de aplicabilitate a radarului FOPEN este cel al supravegherii perimetrare, protecției infrastructurii critice, a granițelor naționale (împotriva imigrației ilegale, traficului cu narcotice, criminalității transfrontaliere etc.), oferind informații despre activitatea persoanelor implicate în acțiuni care aduc prejudicii statului, desfășurate în medii complexe, la adăpostul pădurii, junglei sau al altor tipuri de vegetație.

Misiunile civile desfășurate de radarul FOPEN sunt multiple, combinate cu acțiunile de supraveghere, desfășurate cu alte categorii de senzori, și includ:

- „pregătirea și răspunsul la dezastre;
- salvare de urgență;
- monitorizarea animalelor și faunei sălbatice;
- supraveghere militară;
- securitatea frontierei;
- operații de căutare - salvare;
- operații de combatere a traficului de droguri;
- monitorizarea incendiilor de păduri.” ([IMSAR](#), fără an)

Utilizarea mai multor categorii de senzori, activi sau pasivi, asigură un nivel ridicat de precizie, deoarece aceste sisteme se completează reciproc, oferind datele necesare generării unei imagini reale a zonei supravegheate. Din perspectivă militară, datele furnizate vor contribui la cunoașterea câmpului de luptă, asigurând informații despre țintele aflate în mișcare, vehicule și persoane, precum și despre elementele fixe ale dispozitivului adversarului care se regăsesc și acționează la adăpostul vegetației, asigurând detecția acestora prin frunzișul dens al junglei sau al pădurilor din zonele temperate și boreale. Posibilitățile de detecție prin frunzișul cu densitate mare vor asigura comandanților informațiile necesare identificării și lovirii obiectivelor dispuse în zone care erau considerate sigure. Din perspectivă civilă, capacitatea acestui radar de a detecta obiectele la sol prin frunzișul cu densitate mare îl recomandă pentru misiuni științifice de cercetare, studiere și monitorizare a suprafeței Pământului. O altă întrebuintare a radarului FOPEN este în zona securității frontierelor, criminalității transfrontaliere, activității portuare, precum și pentru sprijinul activității organelor de ordine în localizarea și prinderea infractorilor ascunși în clădiri sau aflați la adăpostul vegetației.

Din cele prezentate, rezultă că radarul FOPEN constituie un sistem tehnic cu utilizări multiple, care va contribui, prin datele pe care le va furniza, la menținerea unui climat de securitate, adecvat desfășurării activităților umane.

## Concluzii

Radarul FOPEN reprezintă un senzor relativ nou în activitatea de supraveghere și cercetare, dispunând de posibilități relativ moderne de detecție, putând îndeplini o gamă variată de misiuni atât militare, cât și civile. Este un radar inovator, cu

capacități unice, care asigură supravegherea continuă prin frunziș cu densitate ridicată și urmărirea țintelor în zona de interes, pe suprafațe mari. Radarul FOPEN SAR în bandă VHF va asigura detecția țintelor ascunse în frunziș, cum ar fi un camion, piese de artilerie etc., greu de detectat, în absența acestui sistem tehnic.

Din punct de vedere operațional, utilizarea acestui radar de structurile militare sau de alte structuri cu responsabilități în domeniul securității naționale asigură detecția și urmărirea permanentă a tuturor țintelor din zona de interes, fixe sau mobile, cum ar fi persoanele sau vehiculele aflate în deplasare.

În ceea ce privește mediul militar, radarul FOPEN va oferi posibilitatea cunoașterii în timp real a câmpului de luptă, asigurând detecția mijloacelor și forțelor adversarului ascunse în pădure sau junglă, furnizând informațiile necesare pentru lovirea obiectivelor adversarului și detecția țintelor aflate în mișcare, în special la adăpostul frunzișului cu densitate mare. Datele oferite vor asigura suportul informațional necesar desfășurării procesului decizional la nivelul structurilor militare, în timpul executării acțiunilor. Totodată, capacitatea acestui radar de a detecta ținte prin frunzișul dens al pădurii, aflate sau nu în mișcare, permite utilizarea lui în misiuni de monitorizare și studiere a suprafeței terestre, oferind informații referitoare la biodiversitate, suprafața terestră, suprafețe împădurite (dimensiuni, stare, arboret etc.), aspecte din domeniul ecologiei etc.

Radarul FOPEN, folosit concomitent cu alte tipuri de senzori activi și pasivi, va asigura, în timp util, prin datele furnizate, identificarea evenimentelor sau fenomenelor cu impact asupra activității umane în zona în care acestea se produc, contribuind la obținerea și menținerea unui climat optim, de securitate, necesar desfășurării vieții sociale.

## Referințe

**Ackerman, Robert K.** 2010. "Surveillance Data Fusion Defines Future Army Systems." <https://www.afcea.org/signal-media/surveillance-data-fusion-defines-future-army-systems> .

**Amato, F., A. Farina, M. Fiorini și S. Gallone.** 2013. "Surveillance Unattended Foliage Penetrating Radar for Border Control and Homeland Protection." *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* vol. 7, nr. 2. [https://www.transnav.eu/Journal\\_Vol.\\_7\\_No.\\_2-June\\_2013,26.html](https://www.transnav.eu/Journal_Vol._7_No._2-June_2013,26.html).

**Davis, Mark E.** 2011. *Foliage Penetration Radar. Detection and Characterization of Objects Under Trees*. Raleigh: SciTech Publishing.

**FAS, Federation of American Scientists.** fără an. Accesat 28 iulie 2023. <https://irp.fas.org/program/collect/ov-1.htm>.

**Gallone, S.** 2011. "FOPEN radar for UGS applications." *IEEE CIE International Conference on Radar* vol. 1. 173–175. <https://sci-hub.ru/10.1109/CIE-Radar.2011.6159503>.

**IMSAR.** fără an. "Penetrating radar." Accesat 15 august 2023. <https://www.imsar.com/portfolio/ultra-wide-band/>.

**Isak, Christopher.** 2022. "What is Ultra-Wideband and How does it Work?" <https://techacute.com/what-is-ultra-wideband-how-does-uwb-work/>.

**Lockheed Martin.** 2012. "Lockheed Martin Foliage-Penetrating Reconnaissance Radar Integrated With System To Detect Slow Moving Objects And Vehicles." <https://news.lockheedmartin.com/2012-10-23-Lockheed-Martin-Foliage-Penetrating-Reconnaissance-Radar-Integrated-With-System-To-Detect-Slow-Moving-Objects-And-Vehicles>.

**Rosenfeld, Charles L. și A. Jon Kimerling.** 1977. "Moving Target Analysis Utilizing Side-Looking Airborne Radar." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* Vol. 43, No. 12: 1519-1522. [https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1977journal/dec/1977\\_dec\\_1519-1522.pdf](https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1977journal/dec/1977_dec_1519-1522.pdf).

**Surgent, Louis V. Jr.** 1974. "Foliage Penetration Radar: History And Developed Technology." p.III. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA000805>.

**Ulander, Dr. Lars M. H.** 2004. "HF-Band SAR for Detection of Concealed Ground Targets." RTO SCI Symposium on *Sensors and Sensor Denial by Camouflage, Concealment and Deception*. [https://www.sto.nato.int/publications/pages/results.aspx?k=RTO-MP-SCI-145\(S\)&s=Search%20All%20STO%20Reports](https://www.sto.nato.int/publications/pages/results.aspx?k=RTO-MP-SCI-145(S)&s=Search%20All%20STO%20Reports).