

Tehnike zaznavanja velikih poškodb v gozdovih *Techniques for Detection of Large-Scale Damages in Forests*

Anže JAPELJ¹, Andrej KOBLER², Mitja SKUDNIK³

Izvleček:

Japelj, A., Kobler, A., Skudnik, M.: Tehnike zaznavanja velikih poškodb v gozdovih. *Gozdarski vestnik*, 71/2013, št. 1. V slovenščini in izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 53. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Velike poškodbe v gozdovih so poseben dogodek, ki pomembno spremenijo razmere v gozdnem ekosistemu. Za znatne površine prizadetega gozda oz. veliko poškodovanih dreves je potreben poseben pristop določanja njihove lokacije, vrste poškodbe, poškodovane površine oz. intenzivnosti in vrste pojavljanja poškodbe ter opredeljevanja razpoložljive infrastrukture in lastnosti terena. S tehnikami zaznavanja oz. zbiranja podatkov je mogoče dobiti potrebne informacije. Terestrični pristop oz. terenski ogled je praviloma prvi korak, ki ga pozneje po potrebi dopolnimo z metodami daljinskega zaznavanja (letalska in helikopterska ter satelitska snemanja). V prispevku je pregled tehnik zaznavanja velikih poškodb ter izbranih primerov njihove uporabe za določene vrste poškodb pri varstvu gozdov. Pripravljen je predlog sheme, ki skupaj s pregledom objav o vrstah poškodb omogoča, da se uporabnik glede na lastnosti posameznih tehnik zaznavanja in vrsto poškodb v gozdovih odloči za najbolj primerno.

Gljučne besede: tehnike zaznavanja, velika poškodba v gozdu, satelitsko snemanje, aeroposnetki, lidar

Abstract:

Japelj, A., Kobler, A., Skudnik, M.: Techniques for Detection of Large-Scale Damages in Forests. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 71/2013, vol. 1. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 53. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Large-scale disturbances in forests represent a special event significantly changing conditions in forest ecosystem. Substantial areas of affected forest or a large number of damaged trees require a special approach to the identification of their location, damage type, damaged area or intensity and sort of damage manifestation, as well as definition of the available infrastructure and terrain characteristics. Acquisition of the required information can be performed by the use of detection or data gathering techniques. As a rule, on-land approach or field inspection is the first step; if needed, it is later supplemented by the methods of remote sensing (plane and helicopter as well as satellite imagery). This article presents review of techniques for detection of large-scale damages and selected examples of their use for certain types of damages in forest protection. We prepared a suggestion for a scheme which, together with the review of publications according to the types of damages, enables the user to choose the most appropriate technique with regard to the characteristics of individual detection techniques and type of damage in forests.

Key words: detection techniques, large-scale damage in forest, satellite imagery, aerophoto, lidar

1 UVOD

Velike poškodbe (v nadaljevanju VP) v gozdovih so tiste, ki izstopajo s svojim obsegom oz. vplivi na gozd. Zavzemajo torej večje površine in povzročijo znatne poškodbe lesne mase. V slovenski zakonodaji poškodbe v gozdovih obravnava Pravilnik o varstvu gozdov (Ur. l. RS, št. 114/2009) (v nadaljevanju PVG), ki tudi določa, da je za gozd, ki je poškodovan na večji površini, treba izdelati načrt sanacije. Za njegovo izdelavo je treba kar najhitreje zbrati podatke o VP. Skudnik in sod. (2013) predlagajo, da bi bile poškodbe, ki bi jih razumeli kot VP, tiste, ki nastanejo kot posledica dejavnika, ki se je zgodil v krajšem časovnem obdobju in ki je

glede na prizadeto površino ter poškodovano lesno maso oz. število dreves presegel določeno vrednost. Glede na povzročitelja delimo poškodbe na: (i) biotske poškodbe (škodljivci (tudi karantenski škodljivi organizmi), bolezni in glive), (ii) abiotske poškodbe (vetrolom, snegolom, žledolom itn.), (iii) antropogene poškodbe (človeške dejavnosti)

¹ A. J., univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 LJ, anze.japelj@gozdis.si, +368 (1) 200 78 36

² dr. A. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 LJ, andrej.kobler@gozdis.si

³ M.K., univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 LJ, mitja.skudnik@gozdis.si

in (iv) abiotsko/antropogene (požari). VP torej terjajo izredne ukrepe s prilagojenim sistemom gozdarskega načrtovanja. Predvsem je treba kar najhitreje zbrati podatke o VP, jih interpretirati in oblikovati ukrepe sanacije.

Za učinkovito obvladovanje oz. **zaznavanje VP** v gozdu je torej potrebno učinkovito zbiranje različnih vrst podatkov: **vrsta, lokacija in površina poškodbe, obstoječa infrastruktura na/v območju poškodbe, informacije o količini lesne zaloge, lastništvo poškodovanih gozdov, razpoložljivost različnih tipov goriv, starost sestojev** itn. Naštete informacije so ključne za oblikovanje možnih scenarijev sanacije poškodovanega gozda, cilj končnih rešitev pa je izboljšanje stabilnosti gozda in tako zmanjšati možnost ponovitve poškodbe. Po sanaciji poškodb so potrebne dodatne informacije o stanju gozdnega ekosistema oz. njegovega **odziva na izvedene ukrepe**, ker je tako mogoče preveriti tudi njihovo učinkovitost (Ciesla, 2000).

Pri gozdarskem načrtovanju so že v razmerah običajnega gospodarjenja v rabi različne tehnike zaznavanja, v vedno večji meri predvsem daljinske, kot so aero- in satelitska snemanja z različnimi vrstami senzorjev – optični, radarski, laserski. V primerih VP, kot so npr. obsežni vetro- ali snegolomi, požari in posledice delovanja boleznin in žuželk, omenjene tehnike skupaj s terenskim ogledom nudijo ažurne podatke o trenutnem stanju in razvoju VP (Köhl in sod., 2006). Ob pričakovanih podnebnih spremembah, ki lahko znatno povečajo površine gozda, ki jih bodo vremensko pogojene motnje – vetro- in snegolomi, požari, napadi boleznin in žuželk – prizadele v prihodnje (Lindner in sod., 2010), je razvoj metodologij za spremljanje in hitro oceno poškodovanih gozdov vedno pomembnejši (Deshayes in sod., 2006).

Začetni cilj zaznavanja velikih poškodb je predvsem določitev lokacije in obsega poškodbe (Pischedda, 2004). Da bi lahko odgovorili na ta vprašanja oz. dosegli cilj, je treba zbrati **ključne podatke o VP**, in sicer o:

- **lokaciji** (geografsko opredeljena) VP,
- **poškodovani površini**,
- **prostornini** poškodovane lesne mase,
- deležih **tipov poškodb dreves** (npr. zlomljena, nagnjena, padla),

- ali se poškodbe pojavljajo **posamič/v skupinah** ali so prizadeti **celi sestoji**,
- deležih **drevesnih vrst** (igl./list.) in **njihovih dimenzijah** (debelinski razredi),
- **opisih terena** (nagib, razgibanost podlage, nosilna kapaciteta tal),
- **infrastrukturi** (vlake, gozdne ceste).

2 TEHNIKE ZAZNAVANJA VELIKIH POŠKODB (VP)

2.1 Pregled različnih tehnik zaznavanja

Zaznavanje VP oz. zbiranje podatkov o njih je mogoče na več načinov, in sicer ločimo terestrično zbiranje podatkov, t.j. s tal, s terenskim ogledom, in daljinsko zaznavanje, ki ga Oštir (2006) glede na uporabljeno tehnologijo deli na:

- snemanje s satelitov,
- letalsko snemanje z večjih nadmorskih višin,
- letalsko/helikoptersko snemanje z manjših nadmorskih višin,
- snemanje s tal, vendar dvignjeno od površine (npr. opazovalni stolpi s kamerami/osebjem).

Izbira najprimernejše metode zbiranja podatkov o VP je odvisna predvsem od namena uporabe podatkov. Z jasno opredeljenim namenom je mogoče zožiti nabor različnih mogočih pristopov in samo ob upoštevanju tudi drugih dejavnikov, ki vplivajo na primernost metod, na koncu izberemo optimalno tehniko zaznavanja. Nameni zbiranja podatkov v varstvu gozdov oz. ob VP so (prilagojeno po Hočevar, 1995):

- odkrivanje poškodovanih dreves in sestojev,
- ocena obsega (površine), stopnje in prostorske razporeditve poškodb,
 - za oceno poškodovane lesne mase in ekonomske škode,
 - za izdelavo sanacijskega načrta,
 - za obnovo gozdnogospodarskega načrta,
- nadzor, spremljanje, razvoj poškodb,
- spremljanje učinkovitosti sanacijskih ukrepov,
- načrtovanje preventivnih ukrepov.

2.2 Terestrično zbiranje podatkov

Terestrično zbiranje podatkov obsega terenski ogled objekta in je praviloma prvi korak pri opazovanju VP. V praksi se terestrično zbiranje podatkov uporablja predvsem v zgodnejših

fazah odkrivanja značilnosti poškodb in njihovih povzročiteljev. Terenski ogled služi oblikovanju grobe in relativno cenejše ocene vrste in obsega VP in ga lahko pozneje po potrebi dopolnujemo z drugimi metodami pridobivanja podatkov (Poljanec in sod., 2010). Zaradi relativno dobro razvite mreže gozdnih prometnic ter kakovostne in lokalno organizirane javne gozdarske službe je tovrsten pristop v Sloveniji precej očitna izbira, kako začeti zbirati podatke o VP.

Terestrično zbiranje podatkov o VP vključuje:

1. terenski ogled objekta oz. poškodbe,
2. opredelitev njegove površine – npr. posnetek oboda prizadete površine z ročno GPS-napravo oz. izris na ortofoto posnetek – terestrična fotogrametrija,
3. oceno poškodovane lesne mase
 - a ocena lesnih zalog iz zbirk podatkov ZGS – npr. o odsekih, sestojih ali okularno,
 - b ocena deleža poškodovane lesne mase,
 - c naknadna popolna oz. vzorčna izmera količine poškodovane lesne mase.

Terestrično zbiranje podatkov o VP je primerno, če je škoda skoncentrirana na manj prostorsko ločenih predelih. Če se škoda pojavlja na velikem številu razpršenih jeder, je smotrnejše uporabiti eno izmed tehnik daljinskega zaznavanja. Nekaterih vrst poškodb ni mogoče zaznavati s pomočjo tehnik daljinskega zaznavanja, npr. pojava karantenskih škodljivih organizmov ali zgodnjega napada podlubnikov, ki jih je mogoče opaziti samo med terenskim ogledom. Terenski ogled je primerna rešitev, kadar je teren lažje prehodan in je manjša nevarnost padajočega drevja, ki je morda obviselo, ipd.

Glavni dejavniki, ki vplivajo na smotrnost terestričnega zaznavanja velikih poškodb, so: tip poškodbe, razpršenost (in velikost) jeder poškodovanega gozda in razpoložljivost terenskega osebja.

2.3 Daljinsko zbiranje podatkov

Daljinsko zbiranje podatkov je zbiranje informacij o površju Zemlje oz. objektih, ne da bi z njo prišli v neposreden stik (Oštir, 2006). Poleg človeškega očesa so orodje daljinskega zaznavanja raznovrstne kamere, skenerji in naprave za zaznavanje virov toplotnega sevanja. Le-ti so lahko postavljeni na zemeljski površini ali pa so pritrjeni

na zračna plovila (letala, helikopterji, zmajji in baloni) oz. satelite in vesoljska plovila, ki lebdiijo nad določeno točko na Zemlji (geostacionarni) oz. se gibljejo po krožnici v orbiti okoli Zemlje (zemeljskoorbitalni).

Izbira najprimernejšega vira podatkov je odvisna predvsem od najmanjše ločljivosti, ki je opredeljena z najmanjšo količino, ki jo je še mogoče opredeliti kot enoto podatka. Pri sistemih daljinskega zaznavanja ločimo štiri tipe ločljivosti (Lachowski in sod., 1996; Perryman, 1996) – poleg spektralne in radiometrične, ki ju v tem kratkem pregledu ne bomo obravnavali, sta pomembni:

- prostorska ločljivost, ki določa velikost najmanjših opazovanih predmetov in je mera ostrine oz. čistine prostorskega podatka,
- časovno ločljivost, ki pove, kako pogosto je predmet posnet oz. kako pogosto ga satelit/letalo preleti (npr. šestnajst dni za satelit Landsat, na nekaj let za ciklično aerosnemanje Slovenije).

V primeru VP je treba podatke zbrati hitro, da se lahko kar najhitreje začnejo izvajati ukrepi, s katerimi želimo blažiti posledice in nadzorovati prihodnji razvoj poškodovanega gozda. Zaradi naštetega so lahko tehnike daljinskega zaznavanja, ki so primerne za inventarizacijo velikih površin z enotnim pristopom, še posebno uporabne.

2.3.1 Aeroposnetki

Letalsko snemanje oz. aeroposnetki med vsemi tehnikami daljinskega zaznavanja nudijo slikovno gradivo največje prostorske ločljivosti (Oštir, 2006), ki je primarno določena z višino leta (Ward in Johnson, 2007). Sicer na kakovost tako pridobljenih informacij vplivajo tudi atmosfersko pršenje, gibanje zračnega plovila in vibracije, ki nastajajo pri letenju (Wulder, 1998). Letalsko snemanje v infrardečem delu spektra je lahko po natančnosti pridobljenih podatkov povsem primerljivo s terenskim snemanjem, le da je še učinkovitejše z vidika porabe časa in nepristranskosti (Pernar in Kušan, 2001).

Posnetki, narejeni s pomočjo fotografske kamere na letalu/helikopterju, so uporabni za odkrivanje poškodb, njihovo lociranje, oceno poškodovane površine in oceno poškodovane lesne mase (Wear in sod., 1966, cit. po Wulder in

sod., 2004). V Sloveniji te informacije praviloma kombiniramo z informacijskimi sloji ZGS (sestoji, odseki, stalne vzorčne ploskve). Aeroposnetke oz. ortofoto posnetke (ortorektificiran aeroposnetek) je mogoče uporabiti kot nadomestek za kartografsko osnovo za terenski popis (fotokarta), ko je treba hitro podati tematski pregled nad najnovejšim stanjem na terenu. Praviloma se pozneje s fotointerpretacijo podajo natančnejše ocene površine poškodbe in delež poškodovanega drevja. Aeroposnetke je mogoče združevati tudi z vzorčnimi terenskimi inventurami (dvofazno vzorčenje) in tako zmanjšati stroške terenskih popisov, ob tem pa vseeno zagotoviti dovolj kakovostne podatke o obsegu poškodovanosti (Sharpnack in Wong, 1982). Določanje poškodb s pomočjo aerosnemanj ima v primerjavi s terenskim popisom nekaj prednosti (Hočevar, 1995; Ward in Johnson, 2007), kot so:

- velikoprostorski pregled,
- dobra razpoznavnost zgornjih delov in vrhov krošenj,
- svetlobne razmere so homogene po celotni površini,
- posnetek podaja stanje v točno določenem trenutku,
- izsledke fotointerpretacije je mogoče pozneje ponovno preverjati,
- ocena površin je točnejša,
- aeroposnetek je dober dokumentacijski material in podlaga za izdelavo sanacijskega načrta,
- aerosnemanje je bolj prilagodljivo glede časa snemanja in formata posnetkov.

V preteklosti so za izdelavo aeroposnetkov uporabljali klasične kamere s pasivnimi optičnimi snemalnimi sistemi in fotografskim filmom, ki je občutljiv za svetlobo valovnih dolžin od 300 do 900 nm. Po letu 2006 so za celotno Slovenijo na voljo digitalni letalski posnetki. Njihova značilnost je, da tovrstni sistemi ne uporabljajo filmov, ampak mrežo senzorjev CCD (*»charge-coupled devices«*), ki zaznajo elektromagnetno valovanje (Oštir, 2006). Za Slovenijo so bili v letu 2006, npr., vsi aeroposnetki posneti z digitalno kamero Intergraph DMC (Digital Mapping Camera) 110, v letu 2010 pa s kamero UltraCamXP (Vexcel Imaging GmbH). Lastnosti obeh kamer so, da imajo štiri pankromatske in štiri multispektralne senzorje CCD. Tako pankromatski senzor ustvari

črno-bel posnetek, multispektralne kamere pa zajamejo frekvenčno območje RGB (rdeča, zelena in modra) in dodatno še CIR (bližnje infrardeče območje). Vsi senzori posnamejo fotografijo hkrati. Digitalno kamero UltraCamXP sestavljajo štiri pankromatski senzori, velikosti 11.310 x 17.310 pikslov, in štiri multispektralni senzori 5.770 x 3.770 pikslov. Velikost piksla pri senzorjih je 6 µm, kar pomeni, da je pri višini leta 500 metrov velikost piksla na tleh 2,9 cm oz. pri višini 300 m je velikost 1,8 cm. (Vexcel Imaging, 2008). Pri obdelavi posnetkov se vsi štiri pankromatski posnetki sestavijo v enega.

Aeroposnetki se uporabljajo predvsem pri ocenjevanju škode zaradi boleznih in škodljivcev (npr. Heurich in sod., 2010), požarov (npr. Chirici in Corona, 2005; Riggan in Tissell, 2009) in vetrolomov (Schmoekkel in Kottmeier, 2008). Na Slovenskem so bila v zadnjem času aerosnemanja uporabljena za oceno poškodb gozda pri požaru Šumka-Trstelj l. 2006, vetrolomu na Jelovici istega leta in vetrolomu v osrednji Sloveniji l. 2008 (Poljanec in sod., 2010).

Poleg aeroposnetkov lahko s pomočjo zračnih plovil poteka tudi neposredno kartiranje oz. zarisovanje poškodovanih površin na kartografsko podlago ter video snemanje površine med letom. Slabost prvega pristopa je predvsem, da sta lahko vprašljivi lokacijska točnost in natančnost izločenih površin. Takšna metoda je torej primerna predvsem v prvih fazah inventarizacije za navažanje grobih ocen. Prednost je hitrost oz. majhna poraba časa na enoto površine. Video snemanja se v praksi uporabljajo manj pogosto (Ciesla, 2000; Wulder in sod., 2004).

V zadnjem času se na tržišču pojavljajo tudi ponudniki izdelave posnetkov iz zraka, vendar z možnostjo zelo nizkega letenja. Izredno lahka plovila (npr. t.i. OktoKopter) so daljinsko vodena, nanje pa so pritrjene različne kamere, ki dosejajo visoko prostorsko ločljivost 2-5 cm. Prednost takšnega načina pridobivanja podatkov je, da je cenovno relativno ugodno – 500-800 EUR za 2 ha; 3.500-4.500 EUR za 50 ha – snemanje pa se lahko opravi zelo hitro po pojavu poškodbe, saj je organiziranje tovrstnega snemanja relativno preprosto. Z večanjem poškodovane površine se relativna cena takega snemanja na enoto površine zmanjšuje počasneje, kot pri letalskem in

satelitskem snemanju in kmalu jim cenovno ni več konkurenčno.

Letalska snemanja tradicionalno ostajajo pomemben vir podatkov za gozdarstvo na splošno pa tudi za snemanje poškodb v gozdovih. Prednosti letalskega snemanja sta manjša odvisnost od vremenskih razmer (visoka oblačnost) in razmeroma ugodna cena snemanja glede na visoko prostorsko natančnost podatkov. So pa cene snemanj odvisne od številnih dejavnikov kot npr. višina leta, oddaljenost VP od letališča, minimalna površina, naklon površine itd. ter se gibljejo od 2.000 do 4.000 EUR za 1 km².

Pri pridobivanju letalskih posnetkov bi bil smiseln tudi predhodni izbor koncesionarja in določitev tehničnih pogojev snemanja. S tem bi se v primeru potrebe po letalskem snemanju bistveno skrajšal čas od nastanka poškodbe do pridobitve prvih podatkov.

V zadnjih desetih letih se je letalskemu snemanju v mnogih deželah pridružila velikopovršinska uporaba satelitskih snemanj (Goetz in sod., 2009). Po letu 2000 je satelitsko daljinsko zaznavanje doživelo razcvet s pojavom satelitov visoke ločljivosti, kar označuje razvoj novih metod interpretacije slik, kot je objektna klasifikacija (Blaschke, 2010).

2.3.2 Satelitski posnetki

Pri zaznavanju, kartiranju in oceni lokacije in obsega VP gozda je mogoče uporabiti tudi satelitske posnetke, predvsem posnetke srednje prostorske ločljivosti (npr. SPOT in Landsat) v bližnjem infra-rdečem delu spektra (Frolking in sod., 2009). Satelitske inventure so lahko uporabno dopolnilo vzorčnim podatkom o poškodbah, zbranim na terenu, saj omogočajo cenovno ugodno ekstrapolacijo nekaterih ugotovitev o stanju ekosistema, njegovem delovanju in poškodbah iz vzorca na veliko površino. Pri satelitih srednje ločljivosti so glede tega posebno uporabni vegetacijski indeksi, ki temeljijo na razmerju odbojnosti vegetacije v posameznih delih vidnega in bližnjega infrardečega spektra (Huete, 2012). Satelitski posnetki visoke prostorske ločljivosti (1 m ali podrobnejši) se uporabljajo predvsem za zaznavanje malopovršinskih poškodb ter vrzeli. Pri ocenjevanju stopnje poškodovanosti na podlagi visokoločljivih posnetkov satelitov, kot je na primer IKONOS,

poleg spektralnih lastnosti uporabimo tudi teksturne značilnosti (Rich in sod., 2010).

Pri varstvu gozdov in zaznavanju velikih poškodb je uporabnih več satelitskih sistemov. Med zemeljsko-orbitalnimi satelitskimi sistemi se najpogosteje uporabljajo AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA, ZDA), MODIS (National Aeronautics and Space Administration-NASA, ZDA), Landsat 7ETM+ (NASA, ZDA), Spot (Spot Image, Francija), ASTER (NASA, ZDA), EO-1 (ALI) (NASA, ZDA), Ikonos (Space Image, Francija), QuickBird (Digital Globe, ZDA), Pléiades (Astrium, EU). Od prvega (optičnega) satelitskega sistema Landsat *Multispectral Scanner* iz l. 1972, se je njihovo število zelo povečalo, pripravljajo pa se tudi novi, predvsem se širi nabor sistemov z radarskimi senzorji. Med tistimi, ki se lahko uporabljajo v gozdarstvu pri zaznavanju velikih poškodb, so tudi COSMO Sky/med (e-geos, Italija), TerraSAR (Astrium, EU) in Radarsat-2 (MDA, Kanada). Ena izmed njihovih prednosti je tudi manjša občutljivost za vremenske razmere, ki ob oblačnosti ali premajhni osončenosti lahko omejujejo uporabnost pasivnih (optičnih) senzorjev (Ranson in sod., 2003; Deshayes in sod., 2006). Lastnosti posameznih sistemov so navedene v preglednici 1, spletne povezave do njihovih ponudnikov pa v preglednici 3.

Prednosti zemeljsko-orbitalnih satelitov pred aerosnemanji so, da lahko posamezne večje površine naenkrat in da se v enakih časovnih razmikih vračajo nad isto točko Zemljinega površja. V ugodnih vremenskih razmerah omogočajo spremljanje sprememb stanja vegetacije oz. gozda. Najpogosteje imajo sateliti senzorje, ki so

Opombe k tabeli:

PAN: pankromatsko; MS: multispektralno; USD: ameriški dolar; EUR: euro; CAD: kanadski dolar; VbIR: vidni in bližnji infrardeči (0,4–0,7 μm; 0,7–1,4 μm); kvIR: kratkovalovni infrardeči (1,4–3 μm); tIR: termalni infrardeči (3–15 μm); MV: mikrovalovi (1 mm–1 m)

⁽¹⁾ Kolikšno površino pokrije satelitsko snemanje, ki zajame bodisi območje kvadratne bodisi podolgovate oblike.

⁽²⁾ Dejansko se satelit vrne nad isto točko na površini Zemlje v daljših časovnih obdobjih, vendar je širina pasu, ki ga snema v primeru satelitov AVHRR in MODIS, tako široka, da je mogoče slikovno gradivo za točko na površju pridobiti večkrat v tem obdobju.

Preglednica 1: Pregled satelitskih sistemov in njihovih lastnosti (Ciesla, 2000; Köhl in sod., 2006; ter podatki posameznih ponudnikov s spleta – glej preglednico 3).

| Satelitski sistem | Začetek delovanja | Prostorska ločljivost (m) | Spektralna ločljivost (µm) | Območje pokritosti ⁽¹⁾ – slikovni okvir (km) | Časovna ločljivost (čas vračanja nad isto točko) | Cena |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|---|
| OPTIČNI SENZORJI | | | | | | |
| AVHRR | 1978 | 1100 | 0,58–12,5 | 2.700 | 1 dan ⁽²⁾ | 0 UDS za neobdelane podatke; 190 UDS na georeferenciran slikovni okvir |
| MODIS | 1999 | 250 (PAN); 500 (VbIR) | 0,46–2,155 | 2.300 | 1–2 dni ⁽²⁾ | 0 USD za neobdelane podatke, 36 USD za »surovi« slikovni okvir 1000 x 1000 km |
| | | 1000 (kvIR) | 3,66–14,385 | | | |
| ETM+ Landsat 7 | 1999 | 15 (PAN); 30 (MS) | 0,45–2,35 | 183 | 16 dni | od 475 EUR naprej za slikovni okvir; (min. naročilo 1 okvir (183 x 172,8 km)) |
| | | 60 (tIR) | 10,4–12,5 | | | |
| SPOT 5 | 2002 | 2,5 (PAN); 10 (MS); 20 (kvIR) | 0,48–1,75 | 60 | 26 dni | od 0,3 EUR/km ² naprej (odvisno od ločljivosti); (min. naročilo 1/8 okvira (21 x 21 km) za 1.020 EUR) |
| ASTER (EOS Terra) | 1999 | 15 (VbIR) | 0,52–0,86 | 60 | 16 dni | od 90 EUR naprej za slikovni okvir; (min. naročilo 1 okvir (60 x 60 km)) |
| | | 30 (kvIR) | 1,60–2,43 | | | |
| | | 90 (tIR) | 8,125–11,65 | | | |
| EO-1 (ALI) | 2000 | 10 (PAN); 30 (MS) | 0,433–2,35 | 185 | 16 dni | 250–500 USD za slikovni okvir |
| IKONOS | 1999 | 1 (PAN); 4 (bIR) | 0,45–0,90 | 11 | 1-5 dni | 7 USD/km ² ; (min. naročilo 49 km ² novi posnetki, 100 km ² arhiv) |
| QuickBird | 2001 | 0,61 (PAN); 2,44 (MS) | 0,45–0,90 | 16,5 | 1-5 dni | 22,5 USD/km ² ; (min. naročilo 64 km ² novi posnetki, 25 km ² arhiv) |
| Pléiades | 2011, 2012 (dva satelita) | 0,5 (PAN); 2 (MS) | 0,43–0,94 | 20 | 1 dan | 1.375-3.375 EUR na slikovni okvir (min. naročilo 25 km ² za arhivske podatke; 100 km ² za posebna naročila) |
| RADARSKI SENZORJI | | | | | | |
| COSMO Sky/med | 2007, 2008 in 2010 (štirje sateliti) | 1 (MV) | Radar (frekvenčni kanal X – 3,1 cm) | 10 | 12 ur in več (odvisno od zahtevanega produkta) | 9.450 EUR za nov in 4.725 EUR za arhivski slikovni okvir (min. naročilo 1 sl. ok.) |
| | | 5 (MV) | | 40 | | 3.600 EUR za nov in 1.800 EUR za arhivski slikovni okvir (min. naročilo 1 sl. ok.) |
| | | 20 (MV) | | 30 | | 1.920 EUR za nov in 960 EUR za arhivski slikovni okvir (min. naročilo 1 sl. ok.) |
| | | 30-100 (MV) | | 100-200 | | 1.650 EUR za nov in 825 EUR za arhivski slikovni okvir (min. naročilo 1 sl. ok.) |
| TerraSAR | 2007, 2010 (dva satelita) | 1 (MV) | Radar (frekvenčni kanal X – 3,1 cm) | 5 | 11 (pod določenimi pogoji 2,5) dni | 6.750 EUR za nov in 3.375 za arhivski slikovni okvir (10 x 5 km) |
| | | 3 (MV) | | 30 | | 3.750 EUR za nov in 1.875 za arhivski slikovni okvir (3 x 50 km) |
| | | 18 (MV) | | 100 | | 2.750 EUR za nov in 1.375 za arhivski slikovni okvir (100 x 150 km) |
| Radarsat-2 | 2008 | 1 do 100 (MV) (izredno širok nabor) | Radar (frekvenčni kanal C – 5,6 cm) | 20 do 500 | 24 (pod določenimi pogoji 2-3) dni | 8.400 (20 x 20 km) do 3.600 (500 x 500 km) CAD (min. naročilo en slikovni okvir) |

občutljivi za vidni, bližnji-IR, kratkovalovni-IR in termalni-IR del elektromagnetnega spektra ter v spektru mikrovalov (Köhl in sod., 2006; Oštir, 2006).

Različni satelitski sistemi so zaradi svojih posebnosti tudi različno primerni za različne namene. Za zaznavanje pogorelih površin so najbolj uporabni predvsem Ikonos, QuickBird in Spot 5 (Chirici in Corona, 2005). Mitri in Gitas (2006) sta s pomočjo podatkov Ikonosa opredelila v l. 2000 pogorele površine na otoku Thasos. Kakor koli, uporabni so tudi drugi. White in sod. (1996) in tudi Patterson in Yool (1998) so uporabili podatke satelita Landsat, medtem ko so Conard in sod. (2002) za določanje pogorele površine borealnega gozda v Sibiriji l. 1998 uporabili podatke sistema AVHRR, na uporabnost katerega so opozorili tudi Domenikiotis in sod. (2003), ter De Sy in sod. (2012). Grasso in sod. (2004, cit. po Chirici in Corona, 2005) so npr. uporabili slikovni material satelita Landsat 7 ETM+ in opredelili celotno pogorelo površino 2080 požarov v južni Italiji. *Joint Research Centre* Evropske komisije vsako leto s pomočjo satelitskih sistemov WiFS in MODIS kartirajo požare, večje od 50 ha za vse sredozemske dežele, in sicer v okviru evropskega informacijskega sistema za gozdne požare EFFIS (*European Forest Fires Information System*) (Barbosa in sod., 2004).

Večji vetrolomi so prav tako področje, kjer je smotrna uporaba satelitskega zaznavanja. Aosier in sod. (2007) so s pomočjo sistema ASTER skušali oceniti škodo, ki jo je na gozdu povzročil vihar. Resnost poškodb gozda v delu južnega Missisippija, ki so ga povzročili vetrovi orkana Katrina, so s pomočjo podatkov MODIS ocenili Wang in sod. (2010). Posledice Lotharja, enega najpomembnejših viharjev v osrednji Evropi, so za gozdove Jure s pomočjo sistema SAR določili Dwyer in sod. (2000).

Zaradi lastnosti, da se sateliti v enakomernih časovnih obdobjih vračajo nad isto točko na zemeljskem površju, so izjemno primerni za spremljanje dejavnikov, ki se razvijajo postopno, a lahko prav tako povzročijo poškodbe gozda velikih razsežnosti. Spremljanje poteka gradacij različnih vrst škodljivih žuželk je na področju daljinskega zaznavanja posebno pogosto.

Zaradi lastnosti, da se sateliti v enakomernih časovnih obdobjih vračajo nad isto točko na zemeljskem površju, so izjemno primerni za spremljanje dejavnikov, ki se razvijajo postopno, vendar lahko prav tako povzročijo poškodbe gozda velikih razsežnosti. Spremljanje poteka gradacij različnih vrst škodljivih žuželk je na področju daljinskega zaznavanja posebno dobro prisotno. Zaradi večjih in težje obvladljivih gozdnih kompleksov, kot npr. v Evropi, so tovrstne aplikacije pogoste predvsem v ZDA in Kanadi (Franklin in sod., 2003; Bentz in Endreson, 2003; Kharuk in sod., 2004; Wulder in sod., 2005; White in sod., 2006; Goodwin in sod., 2008; Spruce in sod., 2011).

Največja pomanjkljivost, ki je z vidika potreb varstva gozdov pestila zemeljsko-orbitalne satelite, je bila njihova relativno majhna prostorska ločljivost slikovnega gradiva. Zato so bili v preteklosti manj primerni za poškodbe gozda na nizkih do srednjih prostorskih ravneh, ki so praviloma pogostejše od velikopovršinskih motenj. Z razvojem tehnologije postaja tudi ta pomanjkljivost vse manj pomembna, saj je prostorska ločljivost novih oz. izboljšanih sistemov vse večja. Pri satelitih z optičnim senzorjem je prostorska ločljivost v pankromatskem delu spektra lahko 0,5 m (npr. Pléiades) (slika 1), kar omogoča prepoznavanje posameznih krošenj oz. dreves (Zhou in sod., 2012).

Visoka prostorska ločljivost poleg že prej omenjene manjše občutljivosti za vremenske razmere odlikuje tudi novejša radarske sisteme. Raziskovalci ugotavljajo, da je mogoče najboljše rezultate dosegati v kombinacijah z drugimi, tudi optičnimi senzorji in dodatnimi podatkovnimi sloji.

Wolter in Townsend (2011) sta s pomočjo različnih kombinacij podatkov satelitov Radarsat-1, Landsat, PALSAR in SPOT-5 poskušala opredeliti drevesno sestavo gozda dveh študijskih območij v severni Minnesoti in Ontariu, da bi tako lahko zanesljiveje napovedala dinamiko vrste pedica in grizlice. Najboljše rezultate sta dosegla s kombinacijo vseh naštetih sistemov, kjer sta od drugih iglavcev lahko ločevala smreko in jelko, ki sta najbolj podvržena omenjenima vrstama.

Na podlagi podatkov radarskega satelita TerraSAR in različnih digitalnih modelov višin so Ortiz in sod. (2012) preizkušali zanesljivost klasi-



Slika 1: Izsek posnetka satelita Pléiades s prostorsko ločljivostjo 0,5 m okolice Hong Konga (Astrium, 2013)

fikacije gozdov listavci–iglavci. Želeli so opredeliti območja gozda, kjer prevladujejo iglavci, ki so bolj podvrženi nekaterim pomembnim vrstam škodljivih žuželk. V kombinaciji satelitskih posnetkov in modela višin na podlagi laserskega snemanja so dosegli zadovoljivo zanesljivost rezultatov.

2.3.3 Lidar

V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so za vojaške namene in topografska merjenja razvili lidar (ang.: *Light Detection And Ranging*). Sredi devetdesetih let so se začeli poskusi uporabe lidarja za pridobivanje informacij o gozdu. Lidar je aktiven senzor, ki nudi podrobne informacije o notranji zgradbi gozdnega sestoja in reliefu pod gozdom, ki jih je zelo težko dobiti s pasivnimi optičnimi ali radarskimi tehnikami daljinskega zaznavanja. Neposredno ali z modeli so iz lidarskih podatkov že ocenjevali številne parametre gozdnih sestojev, kot soocene lesnih zalog, spremljanje poseka, vetrolomov in snegolomov, kartiranje drevesnih vrst, ocenjevanje strukture sestojev in podobno (Kobler, 2011). Cene lidarskih podatkov se znižujejo, zaradi česar se lidarski podatki selijo iz domene raziskav na področje velikoprostorske uporabe v gozdarstvu. V zadnjih letih beležimo dramatični napredek lidarske tehnologije, predvsem pri povečevanju frekvence laserskih pulzov, boljše pozicijske točnosti lidarskih odbojev ter možnosti snemanja iz večjih višin in s tem širjenja snemalnih pasov. Vse to pri enakem času leta, ki

je ključni element končne cene podatkov, pomeni večjo posneto površino, višjo gostoto snemanja ter večjo točnost podatkov. To pa pomeni vse nižje stroške lidarskih podatkov na enoto površine, zaradi česar se lidar v svetu vse hitreje seli v operativno gozdarsko uporabo. Lahko pričakujemo, da bo v nekaj letih tudi v slovenskem gozdarstvu postal rutinsko orodje, kot so pred leti postali letalski ortofoto posnetki.

3 SKLEP IN PRIPOROČILA

Pri izbiri tehnike zaznavanja je treba upoštevati dva pomembna vidika in sicer, da VP pomenijo velike spremembe v gozdovih in praviloma pomembno vplivajo na proizvodnjo gozdarskega sektorja ter, da je kar najhitreje treba pridobiti ocene obsega poškodbe, zato so **časovne zahteve** posebej pomembne. Glede na **vrsto VP**, najsi gre za spremembo obarvanosti krošenj (npr. delovanje žuželk, gliv, suše) ali podrtje drevje (npr. snegolom, vetrolom), moramo izbirati med različnimi tehnikami daljinskega zaznavanja in se na podlagi potrebne prostorske, časovne in spektralne ločljivosti odločiti, kolikšen strošek informacije je še smotrno.

V nadaljevanju je podan predlog sheme, ki lahko služi kot orodje za sprejemanje odločitve o najprimernejši tehniki zaznavanja oz. njihovih kombinacijah. Shema temelji na šestih merilih (2. stolpec, preglednica 2) po katerih je mogoča

Preglednica 2: Primerjalni pregled različnih tehnik daljinskega pridobivanja podatkov, ki jih je mogoče uporabiti pri ugotavljanju velikih poškodb v gozdovih oz. varstvu gozdov na splošno (pril. po Hočevar, 1995; Ciesla, 2000; Köhl in sod., 2006).

| Rang pomemb. | Kriteriji | Terensko snemanje | Tip senzorja | | |
|--------------|--|----------------------|---|--|---------------|
| | | | aerosposnetki (digitalni) | satelitska snemanja | Lidar |
| (1) | verjetnost pridobivanja nad določenim območjem | velika | srednja do velika | srednja do majhna | velika |
| (2) | prostorska ločljivost | visoka | 0,029 m višina leta 500 m oz. 0,018 m (višina leta 300 m) | 0,5 ⁽¹⁾ – 8.000 m ⁽²⁾ | > 0,1 m |
| (3) | spektralni obseg | vidni | vidni, bližnji-IR | optični senzorji (vidni, bližnji-IR, kratkovalovni-IR, termalni-IR) radarski senzorji (mikrovalovi) | IR |
| (4) | zanesljivost podatkov | težko opredeliti | visoka | srednja do majhna | visoka |
| (5) | časovna ločljivost | odločitev uporabnika | odločitev uporabnika in/ali stanje vremena | 12 ur – 26 dni (odvisno od satelita) | visoka |
| (6) | stroški pridobivanja | majhni do srednji | od 2.000 do 4.000 EUR za 1 km ² pri prostorski ločljivosti 0,1 m | do 10.000 EUR ⁽³⁾ na slikovni okvir | 1 – 10 EUR/ha |

Opombe

¹ Pléiades

² Goes-8-10

³ COSMO Sky/med

presoja. Vsakemu izmed njih je dodan tudi rang pomembnosti, kjer višji rangi pomenijo, da merilo pomembneje vpliva na odločitev kot tisti z nižjimi. Vsekakor je mogoče lestvico prilagoditi zahtevam uporabnika, tipu VP in nenazadnje tudi možnostim, da je realno sploh mogoče poseči po rezultatih izbrane tehnike. Glede na lastnosti posamezne tehnike zaznavanja in potrebe po podatkih o VP je mogoče opredeliti najprimernejšo možnost.

Okvirni predlog ravnanja pri zbiranju podatkov o VP v okviru Slovenije je:

1. Terenski ogled je prvi korak pri ugotavljanju VP v gozdovih.
2. Na podlagi tam zbranih informacij se lahko odločimo za najprimernejšo tehniko daljinskega zaznavanja. Pri tem si lahko pomagamo s preglednico, ki lahko služi kot pomoč pri odločanju. Arbitrarno izbrani rangi pomembnosti

so lahko tudi drugačni, odvisno od poudarkov določenih meril.

Za dve nemški deželi podobno predlaga tudi Odenthal-Kahabka (2012).

V nadaljevanju so navedeni različni ponudniki letalskih in helikopterskih snemanj ter satelitskih sistemov, katerih storitve je mogoče uporabiti v primeru VP v gozdovih.

V Sloveniji je od nedavno na voljo tudi storitev GIO EMS (*Emergency Management Service*), prva, ki je v okviru EU programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) postala operativna (<http://portal.ems-gmes.eu/>). Nudi niz rešitev na področju satelitskega (in tudi nedaljinskega *in situ*) zaznavanja velikih naravnih in drugih nesreč – npr. gozdni požari, viharji, poplave ipd. Uporabnik z zadostno stopnjo pristojnosti oz. pravic lahko sistem aktivira in pridobi zelene podatke (slikovno gradivo), ki pomagajo opredeliti obseg in resnost dogodka ter načrtovati ukrepe za njihovo blažitev oz. odpravo. V Sloveniji je

Preglednica 3: Ponudniki letalskih in helikopterskih snemanj, majhnih brezpilotnih plovil (OktoKopter) ter satelitskih snemanj

| LETALSKA IN HELIKOPTERSKA SNEMANJA | |
|---|---|
| AeroVizija | Napaka! Sklicna hiperpovezava ni veljavna. |
| FlyCom | www.flycom.si |
| GaranGeo | www.grangeo.si |
| Geodetska družba | www.gdl.si |
| Geoin | www.geoin.com |
| HarphaSea | www.harphasea.si |
| Geodis | www.geodis.cz |
| OKTOKOPTER | |
| Aero-foto | www.aero-foto.si |
| Modri Planet | www.modriplanet.si |
| SATELITSKI SISTEMI | |
| Optični senzorji | |
| AVHRR | www.noaasis.noaa.gov |
| MODIS | http://modis.gsfc.nasa.gov |
| Landsat | http://landsat.gsfc.nasa.gov |
| SPOT | www.astrium-geo.com |
| ASTER | http://asterweb.jpl.nasa.gov |
| EO-1 (ALI) | http://eo1.usgs.gov |
| IKONOS | www.geoeye.com |
| QuickBird | www.digitalglobe.com |
| Pléiades | www.astrium-geo.com |
| Radarski senzorji | |
| COSMO Sky/med | www.e-geos.it |
| TerraSAR | www.astrium-geo.com |
| Radarsat-2 | http://gs.mdacorporation.com |

uporaba storitve že mogoča, in sicer prek Uprave RS za zaščito in reševanje.

Ob pojavu VP v gozdovih je ključno, da se v čim krajšem času ugotovi, kje se je zgodila (lokacija), kolikšen je njen obseg (poškodovana površina in količina poškodovanega drevja) in kakšne vrste je VP. To so ključne informacije, brez katerih ni mogoče učinkovito načrtovati odprave posledic VP in pozneje sanacijo poškodovane površine.

Podatke o stanju gozdov praviloma zbiramo neprekinjeno; zbiramo jih glede na določila različnih pravilnikov in zakonov (podatki o sestojih, gozdnih fondih, obstoječi gozdni infrastrukturi, karantenskih boleznih itn.), občasno pa je treba zbirati dodatne oz. »izredne« podatke. Potreba po slednjih se pojavi predvsem ob pojavu večjih nenadnih sprememb v gozdu, tudi ob VP.

4 POVZETEK

Zaradi potrebe po hitro dostopnih in čim natančnejših podatkih o stanju poškodovanih gozdov le-te navadno pridobimo z metodami hitre inventarizacije, ki jih delimo na terestrične metode (ogled na terenu) in metode daljinskega zaznavanja. Na Slovenskem je terenski ogled praviloma prvi korak pri ugotavljanju posledic VP v gozdovih. Takrat se odločimo, ali je poškodovano površino mogoče prostorsko opredeliti (locirati) izključno s terenskim ogledom, ali je obseg poškodbe prevelik oz. sta teren in narava poškodbe preveč nevarna in je v sistem zaznavanja nujno vključiti tehnike daljinskega pridobivanja podatkov.

Če poškodovano površino zaznavamo s terestrično metodo, si pri tem lahko pomagamo z izrisom poškodovane površine na aeroposnetek oziroma ortofoto posnetek in poznejšo digitalizacijo na karti izrisane površine v GIS-okolju ali pa, kar je bolj priporočljivo, posnamemo obod poškodovane površine z ročno GPS-napravo.

Če poškodovano površino zaznamo s terestrično metodo, si pri tem lahko pomagamo z izrisom poškodovane površine na aeroposnetek oziroma ortofoto posnetek – terestrična fotogrametrija in poznejšo digitalizacijo na karti izrisane površine v GIS-okolju ali pa, kar je priporočljiveje, posnamemo posnetek oboda poškodovane površine z ročno GPS-napravo.

Če pa smo na terenu ocenili, da je poškodovana površina prevelika za terestrično metodo ali da so poškodbe razpršene po večji površini, se odločimo za katero od tehnik daljinskega zaznavanja. Katero tehniko bomo uporabili, je odvisno od vrste poškodbe in velikosti poškodovane površine. Glede na obstoječo tehnologijo za manjše poškodovane površine predlagamo uporabo snemanj s oktokooperjem. Na takšen način pridobljeni ortofoto posnetki so cenejši in

hitro dostopni. V primeru večjih površin pa je bolj primerno naročilo letalskega ali helikopterskega oz. satelitskega snemanja – odvisno od lastnosti potrebnih podatkov in tudi vrste poškodbe.

S povezavo obstoječih podatkovnih slojev (sestojna karta, karta odsekov, karta lastnikov gozdov itn.) z izrednimi podatki, t. j. podatki o spremembah v prostoru zaradi VP, lahko kakovostno ocenimo obseg in škodo, ki je nastala zaradi VP. Te ocene so podlaga za načrtovanje varne in učinkovite sanacije poškodovane površine.

5 SUMMARY

Due to the demand for quickly accessible and most accurate data on condition of damaged forests these data are usually acquired by the quick inventory methods. They comprise on-land methods (field inspection) and remote sensing methods. In Slovenia, field inspection is generally the first step in detecting the consequences of large-scale disturbances in forests. At that time we decide if the damaged area can be spatially defined (located) only by the field inspection or techniques of remote data acquisition must be integrated into detection system due to the large extent of damage or the dangerous terrain and nature of the disturbance.

In the case we can detect the damaged area by on-land method, we can outline the damaged area on aerophoto or orthophoto – on-land photogrammetry – and on later digitalization of the area, outlined on the map, in GIS environment; however, it is advisable to record the image outline of the damaged area by a handheld GPS unit.

If our field assessment shows that the damaged area is too large for the on-land method or that the damages are dispersed throughout a larger area, we select one of the remote sensing techniques. The applied technique depends on the type of damage and size of the damaged area. Considering the existing technology, we suggest the use of octocopter imaging for smaller damaged areas. In this way the acquired orthophotos are cheaper and quickly accessible. In the case of large-scale damaged areas plane or helicopter or satellite imagery is ordered – depending on the characteristics of the required data and the type of large-scale damage.

Connecting the existing data layers (stand map, section map, forest owners' map, etc.) with the extraordinary data, i.e. data on changes in the space due to the large-scale disturbances, we can qualitatively evaluate scale and damage arising from the large-scale disturbance. These evaluations form the basis for planning a safe and efficient sanitation of the damaged area.

5 ZAHVALA

Raziskava je potekala v okviru CRP projekta V4-1069 (B) z naslovom »Povečanje učinkovitosti sanacij velikih poškodb v slovenskih gozdovih«. Recenzentu se zahvaljujemo za pripombe, ki so bistveno pripomogle k izboljšavi prispevka.

6 VIRI

- Aosier, B., Kaneko, M., Takada, M. 2007. Evaluation of the forest damage by typhoon using remote sensing technique. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS, IEEE International: 3022–3026.
- Astrium. (2013). <http://www.astrium-geo.com/en/19-gallery?img=4245> (12. 1. 2013).
- Barbosa, P., San-Miguel-Ajanz, J., Camia, A., Gimeno, M., Libert, G., Schmuck, G. 2004. Assessment of fire damages in the EU Mediterranean Countries during the 2003 Forest Fire Campaign. Official publication of the European Commission, S.P.I.04.64, Italy.
- Bentz, B. J., Endreson, D. 2003. Evaluating satellite imagery for estimating mountain pine beetle-caused lodgepole pine mortality: current status. Information Report BC-X-399. Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions. October 30-31, 2003, Kelowna, British Columbia. (ur.:Shore T.L., Brooks J.E., Stone J.E.). Victoria, BC, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre: 154–163.
- Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing, 65, 1: 2–16.
- Chirici, G., Corona, P. 2005. An overview of passive remote sensing for post-fire monitoring. Forest, 2, 3: 282–289.
- Ciesla, W. M. 2000. Remote sensing in forest health protection. FHTET Report No. 00-03. Salt Lake City, UT/Fort Collins, CO, USDA Forest Service in Forest health technology enterprise team: 266 str.
- Conard, S. G., Sukhinin, A. I., Stocks, B. J., Cahoon, D. R., Davidenko, E. P., Ivanova, G. A. 2002. Determining effects of area burned and fire severity on carbon

- cycling and emissions in Siberia. *Climatic Change*, 55: 197–211.
- Deshayes, M., Guyon, D., Jean, H., Stach, N., Jolly, A., Hagolle O. 2006. The contribution of remote sensing to the assessment of drought effects in forest ecosystems. *Annals of Forest Science*, 63: 579–595.
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Asner, G. P., Held, A., Kellndorfer J., Verbesselt J. 2012. Synergies of multiple remote sensing data sources for REDD+ monitoring. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 6: 696–706.
- Domenikiotis, C., Loukas, A., Dalezios, N. R. 2003. The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 115–128.
- Dwyer, E., Pasquali, P., Holecz, F., Arino O. 2000. Mapping forest damage caused by the 1999 Lothar storm in Jura (France), using SAR interferometry. *Earth Observation Quarterly – ATSR special issue. EESA*: 28–29.
- Franklin, S. E., Wulder, M. A., Carroll, A. L. 2003. Mountain pine beetle red-attack forest damage classification using stratified Landsat TM data in British Columbia, Canada. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69, 3: 283–288.
- Frolking, S., Palace, M. W., Clark, D. B., Chambers J.Q., Shugart H.H., Hurtt G.C. 2009. Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114, G2: 2156–2202
- Goetz, S. J., Baccini, A., Laporte, N. T., Johns, T., Walker, W., Kellndorfer, J., Hough, R. A., Sun, M. 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon Balance and Management*, 4, 2.
- Goodwin, N. R., Coops, N. C., Wulder, M. A., Gillanders, S. 2008. Estimation of insect infestation dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3680–3689.
- Grasso, E., Molinari, P., Mandatori, R. 2004. Il catastro degli incendi boschivi della Regione Campania: un sistema su WEB per l'applicazione della Lagge Quadro 353/2000. *Mondo GIS*, 44: 31–34.
- Huete, A. R. 2012. Vegetation Indices, Remote Sensing and Forest Monitoring. *Geography Compass*, 6, 9: 513–532.
- Heurich, M., Ochs, T., Andresen, T., Schneider, T. 2010. Object-oriented image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (*Ipstypographus*) outbreak. *European Journal of Forest Research*, 129, 3: 31–324.
- Hočevar, M. 1995. Daljinsko pridobivanje podatkov v gozdarstvu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo: 105 str.
- Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Kouhovskaya, A. G., Kondakov, Y. P., Pestunov, I. A. 2004. NOAA/AVHRR satellite detection of Siberian silkmouthbrakes in eastern Siberia. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 24: 5543–5555.
- Kobler, A. 2011. Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Odd. za geodezijo: 126 str.
- Köhl, M., Magnussen, S., Marchetti, M. 2006. Remote sensing. V: Sampling methods, Remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Czeschlik D. (ur.). Berlin Heidelberg, Springer: 197–238.
- Lachowski, H. P., Maus, M. G., Golden, M., Johnson, J., Landrum, V., Powell, J., Varner, V., Wirth, T., Gonzales, J., Bain, S. 1996. Guidelines for the use of digital imagery for vegetation mapping. EM-7140-25. Washington, D.C, USDA Forest Service, Engineering Staff: 125 str.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Manfred, J. L., Marchetti, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259, 4: 698–709.
- Mitri, G. H., Gitas, I. Z. 2006. Fire type mapping using object-based classification of Ikonos imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 15: 457–462.
- Odenthal-Kahabka, J. 2012. Survey of damages after storm events. V: Storm handbook – Coping with Storm Damaged Timber. http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/sturm_schnee_eis/fva_schadenserhebung/index_EN?dossier_rated=1#bew (10. 12. 2012)
- Ortiz, S. M., Breidenbach, J., Knuth, R., Kändler, G. 2012. The influence of DEM quality on mapping accuracy of coniferous- and deciduous-dominated forest using TerraSAR-X images. *Remote Sensing*, 4, 3: 661–681.
- Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Inštitut za antropološke in prostorske študije. Ljubljana, ZRC SAZU: 250 str.
- Patterson, M. W., Yool, S. R. 1998. Mapping fire-induced vegetation mortality using Landsat Thematic Mapper data: a comparison of linear transformation techniques. *Remote Sensing of Environment*, 65: 132–142.
- Pernar, R., Kušan, V. 2001. Aerosnimanje šuma bukve i jele pomoću ICK snimka za praćenje stanja šuma. V: Znanost u potrajnom gospodarstvu hrvatskim šumama. Matic S., Krpan A.P.B., Gračan J. (ur.). Zagreb, Šumarski fakultet, Šumarski institut: 457–463.

- Perryman, A. 1996. Introduction to remote sensing and the LARST systems. Chatham, United Kingdom, Natural Resources Institute: 44 str.
- Pischedda, D. 2004. Technical guide on harvesting and conservation of storm damaged timber. CTBA: 103 str.
- Poljanec, A., Gartner, A., Papler-Lampe, V., Bončina, A. 2010. Sanacija v ujmah poškodovanih gozdov. V: Od razumevanja do upravljanja – Naravne nesreče, knjiga 1. Zorn M., Komar B., Pavšek M., Pagon P. (ur.). Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU: 341–347.
- Pravilnik o varstvu gozdov. 2009. Ur. l. RS, št. 114/09.
- Ranson, K., Kovacs, K., Sun, G., Kharuk, V. 2003. Disturbance recognition in the boreal forest using radar and Landsat-7. Canadian Journal of Remote Sensing, 29, 2: 271–285.
- Riggan, P. J., Tissell, R. G. 2009. Airborne remote sensing of wildland fires. Developments in Environmental Science. Wildland Fires and Air Pollution. Bytnerowicz A., Arbaugh M., Riebau A., Andersen C. (ur.). Amsterdam, The Netherlands, Elsevier, 8: 139–168.
- Rich, R. L., Frelich, L., Reich P. B., Bauer, M. E. 2010. Detecting wind disturbance severity and canopy heterogeneity in boreal forest by coupling high-spatial resolution satellite imagery and field data. Remote Sensing of Environment, 114, 2: 299–308.
- Schmoeckel, J., Kottmeier, C., 2008. Storm damage in the black forest caused by the winter storm «Lothar» - Part 1: airborne damage assessment. Natural Hazards and Earth System Science, 8, 4: 795–803.
- Sharpnack, N. X., Wong, J. 1982. Sampling designs and allocations yielding minimum cost estimators for mountain pine beetle loss assessment surveys. Report No. 83-3. Colorado, USA, USDA Forest Service: 11 str.
- Skudnik, M., Japelj, A., Robek, R., Piškur, M., Krajnc, N., Kušar, G. 2013. Merila za opredeljevanje velikih poškodb v gozdovih. Gozdarski vestnik, 71, 1: xx-xx (v tisku).
- Spruce, J. P., Sader, S., Ryan, R. E., Smoot, J., Kuper, P., Roos, K., Prados, D., Russell, J., Gasser, G., McKellip, R., Hargrove, W. 2011. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks. Remote Sensing and Environment, 115: 427–437.
- Vexcel Imaging. 2008. UltraCam-Xp Technical Specifications. Graz: 1 str.
- Wang, W., Qu, J. J., Hao, X., Liu, Y., Stanturf, J. A. 2010. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. Agricultural and Forest Meteorology, 150: 122–132.
- Ward, K. T., Johnson, G. R. 2007. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. Urban Forestry & Urban Greening, 6: 15–22.
- Wear, J., Pope, R., Orr, P. 1966. Aerial photographic techniques for estimating damage by insects in western forests. Oregon, USA, USDA Forest Service: 79 str.
- White, D. J., Ryan, K. C., Key, C. C., Running S.W. 1996. Remote sensing of fire severity and vegetation recovery. International Journal of Wildland Fire, 6, 3: 125–136.
- White, J. C., Wulder, M. A., Grills, D. 2006. Detecting and mapping mountain pine beetle red-attack damage with SPOT-5 10-m multispectral imagery. Mountain pine beetle initiative. Working paper 2006-17. BC, Canada, Natural Resources Canada: 25 str.
- Wolter, P. T., Townsend, P. A. 2011. Multi-sensor data fusion for estimating forest species composition and abundance in northern Minnesota. Remote Sensing of Environment, 115, 2: 671–691.
- Wulder, M. 1998. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. Progress in Physical Geography, 22, 4: 449–476.
- Wulder, M. A., Dymond, C. C., Erickson, B. 2004. Detection and monitoring of the mountain pine beetle. Information report. BC, Canada, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service: 24 str.
- Wulder, M. A., White, J. C., Bentz, B. J. 2005. Detection and mapping of mountain pine beetle red attack: matching information needs with appropriate remotely sensed data. Joint 2004 Annual General Meeting and Convention of the Society of American Foresters and the Canadian Institute of Forestry, October 2-6, 2004, Edmonton, Alberta. Bethesda, Maryland, USA, Society of American Foresters: 17 str.
- Zhou, J., Proisy, C., Descombes, X., Maire, G., Nouvellon, Y., Stape, J.-L., Viennois, G., Zerubia, J., Coutron, P. 2012. Mapping local density of young *Eucalyptus* plantations by individual tree detection in high spatial resolution satellite images. Forest Ecology and Management <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.007> (v tisku).