

# DALJINSKI SENZORJI ZA ZDRAVJE LJUDI

## Remote Sensors for Human Health

Miha Likar\* UDK 528.8:616.9

### Povzetek

Raziskovalci uporabljajo podatke senzorjev iz daljave za opazovanje Zemljine površine že od izstrelitve Landsata 1 pred 28 leti. V tej dobi so že v več medicinskih raziskavah uporabili podatke senzorjev s satelitov za nadzorovanje in določanje tveganja za bolezni, ki jih razširjajo prenašalci. Skoraj v vseh dosedanjih raziskavah so uporabili podatke Landsata, francoskega sistema za opazovanje Zemlje (SPOT), in radiometer z veliko ločljivostjo ameriškega urada za oceane in ozračje. Danes krožijo v orbiti novi sistemi senzorjev, marsikje pa se pripravljajo na izstrelitev novih, ki bodo nadvse koristni za zaznamovanje in nadzorovanje prostorskih in časovnih posebnosti nalezljivih bolezni. Večja moč računalnikov in nove možnosti za pripravljanje modelov, ki dajejo podatke, naj bi uporabo daljinskih senzorjev prenesle iz raziskovalnega področja v prakso za preprečevanje številnih bolezni. V članku opisujem, kako so daljinski senzor že uporabili v prid zdravja ljudi, in tudi pomen satelitov, ki opazujejo zemljo in bi v prihodnosti lahko določali območja, kjer lahko spremembe okolja vplivajo na porazdelitev bolezni in njihovo pojavljanje. Opisani primeri veljajo za bolezni, ki jih razširjajo prenašalci, metodo pa je možno uporabiti tudi za druge bolezni.

### Abstract

Since the launch of Landsat-1 28 years ago, remotely sensed information has been used to map features on the Earth's surface. An increasing number of health studies have used remotely sensed data for risk mapping, particularly of vector-borne diseases. Nearly all studies have used data from Landsat, the French *Système pour l'observation de la terre* and the high-resolution radiometer of the National Oceanic and Atmospheric Administration. New sensor systems are in orbit, or will soon be launched, and may provide useful data in characterizing and monitoring the spatial and temporal modelling patterns of infectious diseases. Increasing the computing power and spatial modelling capabilities of geographic information systems could extend the use of remote sensing beyond the research community to operational disease surveillance and control. The article illustrates how remotely sensed data has been used in health applications, and attempts to assess the role of Earth-observing satellites in the detection and mapping of environmental variables related to the distribution of vector borne and other diseases in the future.

Daljinski senzorji znanstvenikom omogočajo opazovati Zemljine žive in nežive posebnosti in lastnosti. Senzorji (tipala) s satelitov že od leta 1972 prinašajo podatke o spremembah teh sestavin. Raziskovalci so začeli iskati povezanost med dejavniki iz okolja, ki jih zaznavajo na daljavo, in zdravjem. Ugotavljajo povezanost med stanjem bivališč prenašalcev bolezni in boleznimi pri ljudeh. Doslej so večino podatkov dobivali z Landsatovega multispektralnega skenerja (MSS), s senzorja za tematsko mapiranje in francoskega sistema za opazovanje Zemlje (SPOT). Zanimiva so tudi spoznanja sistemov AVHR (radiometer z veliko ločljivostjo za oceane in ozračje) in TM (tematsko mapiranje). V teh raziskavah so zaznavali spremembe številnih dejavnikov – rastlinja, strukture pokrajin in vodnih površin. Preglednica 1 prikazuje primere določanja prenašalcev bolezni z daljinskimi senzorji. Prevladujejo parazitske bolezni, navedeni pa so tudi podatki za bakterijske in virusne bolezni.

Mednarodni uradi za raziskovanje ozračja in vesolja načrtujejo postavitev 80 postaj za opazovanje Zemlje s senzorji v prihodnjih nekaj letih. Merili bodo okoljske dejavnike, kot so barva oceanov, in druge spremenljivke, ki lahko nakazujejo, ali so razmere za prenašalce ugodne ali neugodne. Nove tehnologije omogočajo vedno bolj natančne izsledke in podatke. Napredek ekologije, npr. spoznavanje gostiteljev, prenašalcev in rezervoarjev, bo omogočil napovedovati možnosti za prenašanje bolezni, rojevanje prenašalcev in ohranjanje naravnih žarišč bolezni, s tem pa tudi stopnjo nevarnosti (tveganja) za dotik med ljudmi in prenašalci bolezni. Računalniška obdelava zemljepisnih podatkov omogoča vključevanje okoljskih parametrov, ki jih ponujajo daljinski senzorji s podatki o zdravju. Podatki olajšajo pripravo modelov za preprečevanje bolezni.

**Preglednica 1. Raziskave za določanje prenašalcev bolezni z daljinskimi senzorji (prirejeno po Beck in sod. *Emerg Infect Dis* 6, No3, 2000).**

**Table 1. Studies using remote sensing data to map disease vectors (adapted from Beck et al. *Emerg Infect Dis* 6, No3, 2000).**

Bolezen/Disease	Prenašalec/Vector	Območje/Location	Senzor/Sensor
lajmska borelijoza	<i>Ixodes scapularis</i>	Wisconsin (ZDA)	AVHR*
lišmeniaza	<i>Phlebotomus papatasi</i>	Jugovzhodna Azija	TM**
malaria	<i>Anopheles albimanus</i>	Mehika	TM
shistosomioza	<i>Biomphalaria</i> sp.	Egipt	AVHR
tripanosomioza	<i>Glossina</i> sp.	Kenija	TM

\*AVHR (National Oceanic and Atmospheric Administration advanced very high resolution radiometer) – radiometer z veliko ločljivostjo za oceane in ozračje

\*\*TM (Thematic mapper) – tematsko mapiranje

\* prof. dr., Ilirska 30, Ljubljana

## Nekaj primerov uporabe daljinskih senzorjev za zdravje

V zadnjih desetih letih je Amesov raziskovalni center (NASA) z medicinskimi fakultetami v New Yorku pripravil projekt za opazovanje **lajmske borelioze** z daljinskimi senzorji. Namen raziskave je bil opozoriti na možnosti za prenašanje bolezni na severovzhodu ZDA. Podatke, dobljene prek sistema Landsat TM, so primerjali s spreminjanjem pogostosti okužbe z borelijo pri psih. Podatki o boreliji pri psih naj bi bili tudi merilo za tveganje okužbe ljudi. Raziskava je izhajala iz domneve, da psi pogosteje dobijo klope v bližini svojih gospodarjev kot ljudje. Serološke preiskave so domnevo potrdile, psi so pogosteje okuženi z borelijo kot njihovi lastniki. Druga raziskava pa je primerjala podatke o razširjenosti kloпов z indeksi senzorjev o nizkem rastlinju in vlagi, ki so posredno napovedovali nevarnost okužbe s povzročiteljem borelioze za ljudi v posameznih obdobjih leta. Model za tveganje okužbe z borelijo je odkril še vlogo srnjadi, ki je na preiskovanem območju v ZDA glavni gostitelj za klope. Podobna raziskava bi bila prav gotovo nadvse zanimiva pri nas, saj bi lahko ljudem svetovali, kdaj se je treba kloпов še posebej izogibati.

V podobah, ki so jih dobili Američani s senzorji na satelitih, so zaznavali vodne površine, zimzelena in listnata drevesa, jase, naselja in trgovska središča, področja z redkim rastlinjem in druga z gostim rastlinskim odevalom. Območja z rastlinami enoletnicami in listavci so se najbolj ujemala z incidenčno stopnjo okužbe pri psih. Hkrati so ugotovili, da rastline v človekovem neposrednem okolju, s katerimi se srnjad hrani, v tamkajšnjih okoliščinah pomenijo največje tveganje za dotik ljudi s klopi in povzročiteljem borelioze *Borrelia burgdorferi*.

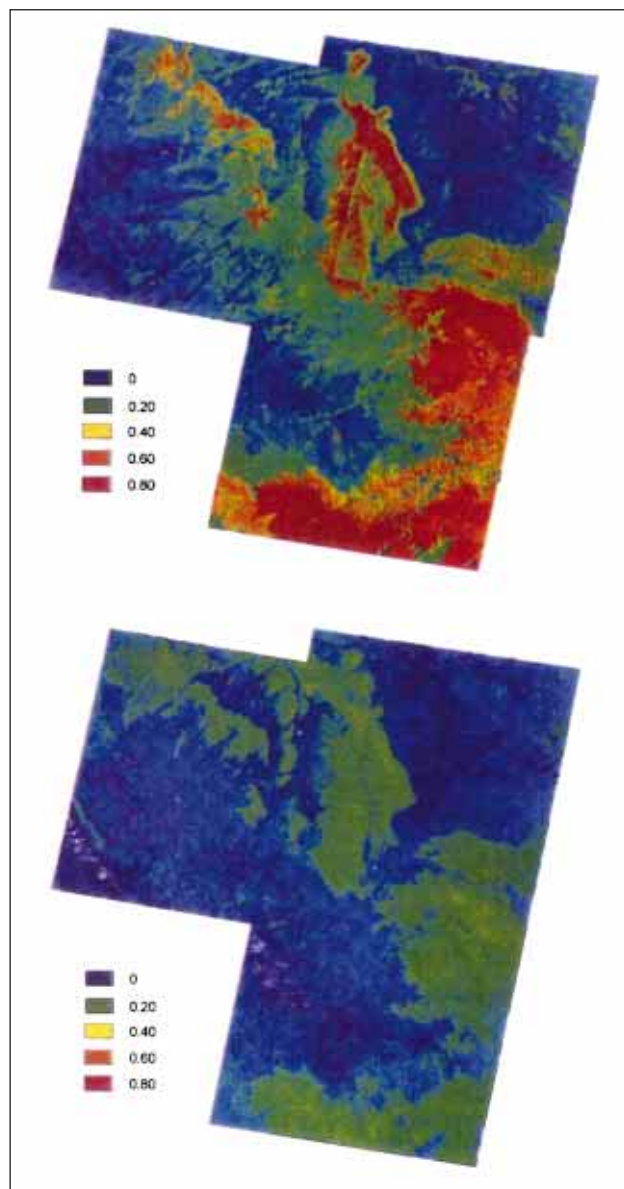
Podoben primer je okužba s **hantavirusi**. Vrsta hantavirusov povzroča v ZDA posebno hudo pljučno bolezen, pri nas pa hudo bolezen ledvic druga vrsta hantavirusa. Epidemija leta 1993 v ZDA je opozorila, da so bile bistvene okoliščine, v katerih se je prenašalka belonoga miš (iz rodu *Peromyscus*) razmnožila čezmerno. Tudi padavine so bile v tistem času nadvse ugodne za razrast nizkega rastlinja na jugozahodu Združenih držav. Že leto dni pred epidemijo in vsa leta po epidemiji so uporabljali Landsatov senzor. Zaznave satelitnega senzorja prikazuje slika 1. Raziskava je nadvse zanimiva tudi za nas, kajti podoben hantavirus povzroča pri nas hudo bolezen ledvic s posledično kronično obliko bolezni, ki priklene številne bolnike na trajno zdravljenje z dializo. Hantaviruse tudi pri nas prenašajo glodalci. Bolezen je med ljudmi znana kot »mišja mrzlica«.

**Kolera** v Bangladešu je tretji primer, kako so zdravju v prid uporabili podatke daljinskih senzorjev s satelitov. Podatke so dobivali brezplačno prek interneta. Raziskovali so spreminjanje okoliščin v Bengalskem zalivu. Izredno pomembna posebnost zaliva je, da se vanj izliva reka Ganges. Podatke so dobivali s senzorji sistema AVHR. Dragoceni so bili podatki o naplavinah Gangesa in Bramaputre ter podatki o količini hranilnih snovi, kar je spodbujalo razvoj planktona. Prav plankton je bistven morski rezervoar za povzročitelja kolere *Vibrio cholerae*, ki se pritrja predvsem na zooplankton. Ta pa je najtesneje povezan s fitoplanktonom.

Predvidevajo, da bodo v prihodnosti novi senzorji skrbeli za podatke o spremembah Zemljine površine, ki so bistvene za širjenje nalezljivih in tudi drugih bolezni. Že čez nekaj let bo deloval avstralski senzor ARIES 1, podobna imajo že pripravljena na Kitajskem in v Braziliji. Podatke s teh senzorjev bo možno uporabiti predvsem za spremljanje bolezni, ki jih razširjajo komarji, kot sta malarija in denga. Okoljski dejavniki so pri teh boleznih bistveni za stopnjo incidence okužbe pri ljudeh.

## Projekt za vrednotenje podatkov daljinskih senzorjev

NASA že od leta 1985 skoraj vsako leto pripravi razpravo o uporabi daljinskih senzorjev s satelitov. Očitno je nova tehnologija za entomološke, ekološke in epidemiološke raziskave bistveno povečala možnosti za napovedi gibanja nalezljivih bolezni. Že več skupin raziskovalcev si danes



Slika 1. Primerjava napovedanega tveganja za okužbo s hantavirusom za leto 1993 (zgoraj) in 1996 (spodaj) prek satelitnih senzorjev za območje, kjer je bila leta 1993 epidemija okužbe s hantavirusi, leta 1996 pa bolezni ni bilo. Manjše tveganje pomeni modra barva, večje pa rumena in rdeča. V napovedi za leto 1996 je bistveno manj nevarnih območij (povzeto po Glass in sod., *Emerg Infect Dis* 6 No 3, 2000)

Figure 1. Comparison of hantavirus infection forecasts for 1993 (top) and 1996 (bottom) by satellite imagery in the area where there was an outbreak of the disease in 1993. In 1996, no cases of the disease were reported. Low-risk areas are shown in blue and high risk areas in yellow or red. The forecast for 1996 indicates a significant reduction of risk areas (with the permission of Glass et al. *Emerg Infect Dis* 6 No 3 2000)

poskuša pomagati z daljinskimi senzorji pri razreševanju vprašanj o prenašanju bolezni v povezavi s spremenljivkami v okolju. Skupine so že izdelale modele o prenašanju nalezljivih bolezni, v katerih uporabljajo spremenljivke okolja v času in prostoru z daljinskih senzorjev na satelitih.

Ni pa na voljo pravila, ki bi določalo tveganje za vse nalezljive bolezni, kajti prenašalci, rezervoarji, gostitelji, zemljepisne posebnosti posameznih območij in krajev so silno raznovrstni. Spremembe v okolju, ki vplivajo na širjenje bolezni, so različne. Poročajo pa že o povezanosti med dejavniki, ki jih sporočajo daljinski senzorji, in boleznimi. Primere smo zbrali v preglednici 2.

Skupina raziskovalcev je opredelila več skupin fizikalnih dejavnikov, ki jih je možno uporabiti v raziskovalne in praktične namene. Vsak dejavnik je v bistvu okoljska spremenljivka, ki lahko posredno ali neposredno vpliva na preživetje patogenih mikrobov, prenašalcev, rezervoarjev ali gostiteljev. Našteti dejavniki vplivajo tudi na bolezni, ki nimajo živih prenašalcev, kot so številne bolezni, ki se prenašajo z vodo. Najbolj pomembni dejavniki so rastlinje ali posevki, izsekavanje gozdov, poplave, trajni vodni viri in močvirja, kanali, naselja, barva oceanov in lastnosti oceanov, kot sta temperatura in stanje plime in oseke.

Vrednotili so podatke senzorjev po prostorskih, časovnih in spektralnih značilnostih. Dejavniki, ki jih je treba pogosto nadzorovati, npr. zeleno rastlinje, so povezani s senzorji, ki večkrat za kratek čas preletijo opazovano območje. Za mapiranje mestnih in drugih naseljenih območij so potrebni senzorji z veliko ločljivostjo, 10 m ali še manj. Senzorji tako opozarjajo na krajevne posebnosti.

Podatke Landsata in SPOT-a so doslej največkrat uporabili za mapiranje rastlinskega odevala in vrst posevkov. Dejavnik je pomemben, ker razporeditev rastlinja vključuje tudi vpliv padavin, temperature, vlage, zemljišča, vode, ki so na voljo za človekove dejavnosti. Skoraj vse bolezni, ki jih širijo prenašalci, vektorji, so z rastlinami okolja povezane vsaj v določenem obdobju njihovega razvojnega cikla. Rastlinje je pogosto možno zaznavati na daljavo prek senzorjev na satelitih. Prostorska in časovna razporeditev prenašalcev ali rezervoarjev in vrste gostiteljev pa sta povezani z razporeditvijo ali obstajanjem posebnega rastlinja ali posevkov in ne le s tem, ali območje pokrivajo gozdovi ali travniki. Vrste gozdov spodbujajo razplod še drugih živali, npr. srnjadi, ki so pogosto gostitelji odraslih klopotov (prenašalcev borelije). Takšno povezanost so že

opisali v severovzhodnih državah ZDA. Podatek o posevkih je lahko pomemben za proučevanje učinkov pesticidov (odpornost prenašalcev, bolezni, povezane z izpostavljanjem strupom).

Vrednotenje podatkov, dobljenih s senzorji na daljavo, je pokazalo, da je mapiranje rastlinskega odevala ali posevkov možno tudi po drugih sistemih, ne le po Landsatu in sistemu SPOT. Kot zgornjo mejo za raziskave povezanosti med rastlinjem ali posevki in prenašalci bolezni, rezervoarji ali gostitelji so uporabili ločljivost na tleh v obsegu 30 m. Nad to mejo ločljivosti pa je precej težje uporabiti raziskave za ugotavljanje povezanosti med rastlinjem in boleznimi, ker izsledki niso več zanesljivi. Številne senzorje so lahko uporabili tudi za mapiranje meja med vrstami rastlinja ali ekotoni, ki so bivališča mrčesa in živali, nujnih za razširjanje bolezni. Tako prek prenašalcev odkrivajo območja, na katerih je tveganje za okužbo večje in kjer prihaja človek pogosteje v dotik s prenašalcem. Izsledke so prikazali na primeru lajske borelioze predvsem ob prehodu na gozdne površine. S takšnimi raziskavami odkrivajo območja, kjer obstaja tveganje za prenašanje malarije ali rumene mrzlice.

V centru za uporabo tehnologij, ki so povezane z zračnim prostorom, v zdravstvu so za vrednotenje uporabili tudi dejavnike, ki niso kvantificirani, kajti senzorji, ki so na voljo, ne dajejo dovolj natančne ločljivosti v prostoru in času. Nekatere dejavnike pogosto izločijo in jih posebej razčlenijo. Odkrivanje urbanih posebnosti naselij in mest zahteva veliko prostorsko ločljivost. Prenašalci bolezni so povezani s specifičnimi urbanih posebnostmi, kot so vrste hiš in poslopij, ki jih senzorji z veliko ločljivostjo v prostoru prepoznava. Videti je, da bo v prihodnosti možno z novimi senzorji dobivati natančnejše podatke o mestnih okolišjih. Zanimivi so tudi podatki o vlagi. Vlažna zemlja je primerno bivališče za polže, ličinke, komarje, klope in helminte. Zemljino vlažnost odkrivajo z več senzorji, med katerimi naj omenimo sintetične radarje (SAR), kratkovalovne infrardeče žarke in toplotne infrardeče senzorje. Sintetični radarji so posebnega pomena za zaznavanje okoliščin pri tleh na območjih, ki jih prekrivajo oblaki ali gosto rastlinstvo, značilno za tropsko podnebje.

## Sklepne misli

Več ovir in priložnosti bo določalo, koliko bo podatke daljinskih senzorjev možno uporabljati za proučevanje pros-

**Preglednica 2. Povezava med dejavniki zaznavanja z daljinskimi senzorji in boleznimi (prirejeno po več avtorjih)**  
**Table 2. Potential links between remotely sensed factors and diseases (adapted from various authors)**

Dejavnik/Factor	Bolezen/Disease	Možnost za mapiranje/Mapping opportunity
vrsta rastlinja	Chagasova bolezen hantavirusi malaria kuga	palmova drevesa, zapuščeni gozdovi bivališča za triatomine viri hrane za gostitelja/rezervoarje bivališča komarjev prerijski psi in druga bivališča za rezervoarje
izsekavanje gozdov	rumena mrzlica	migracijske poti opic, ki iščejo nova bivališča
poplave	malaria	bivališča za komarje
močvirja	kolera	Vibrio cholerae v suhozemnih vodah
kanali	malaria onkocerciaza	bivališča za komarje v sušnih dobah bivališča za ličinke simulijev
mestne značilnosti	filariaza lišmeniaza	bivališča mestnih komarjev kakovost bivališč
barva oceanov	kolera	razcvet fitoplanktona, hranila za Vibrio cholerae
temperatura površine oceanov	kolera	razcvet planktona
višina morja	kolera	gibanje vibrijev s kontaminirano vodo ob plimi in oseki
naselja	bolezni	viru inficirani ljudje

torskih in časovnih podob bolezni. Glavne ovire so zaenkrat stroški in premajhna ločljivost senzorjev. To je doslej bistveno omejevalo uporabo zaznavanja na daljavo. Napovedujejo, da bodo v prihodnjih nekaj letih številne ovire premagali z novimi senzorskimi sistemi. Nedavno so izstrelili Landsat 7 ETM s senzorjem, ki daje za prostor v obsegu 30 m podatke o številnih dejavnikih, 15 m kromatični pas in 60 m toplotni infrardeči pas, ki precej presegajo območje današnjega Landsata 5 TM.

Raziskovalci zdravja in bolezni ljudi bodo v prihodnosti lahko dobili številne spremenljivke v okolju, ki jih doslej še ni možno meriti v časovnih obdobjih. Napredek pomenijo novi senzori z večjo prostorsko in časovno spektralno ločljivostjo. Stroške bodo zmanjšali s tehnologijo zaznavanja posebnosti bolezni, ki jih širijo prenašalci, in jih bo možno napovedovati. Tehnologija bo pomembna tudi za bolezni, ki se prenašajo z vodo in prstjo. Možna bodo opozorila, kdaj je tveganje za okužbe pri ljudeh manjše ali večje. Večja zmogljivost senzorjev in večja moč računalnikov za povezovanje podatkov bosta ključnega pomena za spoznavanje človekovih bolezni v dobi, ko se le-ti nenehno spreminjajo, se pojavljajo nove, znane pa izginjajo.

O pomenu daljinskih senzorjev razmišljajo tudi pri nas. Nedavno mi je dr. Petrovec z Inštituta za mikrobiologijo in

imunologijo omenil, da bi bilo daljinsko opazovanje gibanja prenašalcev borelioze in virusnega klopnega meningitisa pri nas možno in dragoceno za zdravstvo. Predstavljajte si, da vas znanstveniki opozorijo, da bo treba z gobarjenjem ali nabiranjem borovnic počakati kakšen teden, ker se število kloпов zaradi ugodnih zunanjih dejavnikov in njihovega razvojnega cikla nevarno povečuje!

## Literatura

1. Beck LR, Lobitz BM in Wood BL. Remote sensing and human health: New sensors and new opportunities. *Emerg Infect Dis* 6, No 3, 2000.
2. Glass GE, Cheek JE, Patz JA idr. Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome. *Emerg Infect Dis* 6, No 3, 2000.
3. Boone JD, MyGwire KC, Otteson EW in dr. Remote sensing and geographic information systems: Charting Sin nombre virus infections in Deer mice. *Emerg Infect Dis* 6, No 3, 2000.
4. Kitron U, Kazmierczak JJ. Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am J Epidemiol* 145:558–66, 1997.
5. Lobitz B, Beck H, Huq A in dr. Climate and infectious diseases: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *Proc Soc Nat Acad Sci* 98:1438–43, 2000.