

Aku Mäkelä

**MOBIILIT AD HOC -VERKOT  
KATASTROFITILANTEISSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2020

# TIIVISTELMÄ

Mäkelä Aku

Mobiilit ad hoc -verkot katastrofitilanteissa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 37 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Kyppö, Jorma

Mobiilit ad hoc -verkot (MANET) ovat itsenäisesti toimivia monihyppyisiä langattomia verkkoja, jotka mahdollistavat kommunikaation ilman perinteisiä tietoverkkoja. MANET:ien käyttöä katastrofienhallinnassa on tutkittu 2000-luvun alusta lähtien, mutta yleisessä käytössä olevaa implementaatiota ei teknologiasta ole vielä olemassa. Tämän tutkielman tarkoituksena on muodostaa selkeä kuva tutkimuksen nykytilanteesta.

Tässä tutkielmassa käsitellään edellä mainittujen MANET-verkkojen käyttöä katastrofitilanteissa. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena katastrofienhallinnan nykytilanteesta, katastrofeista ja langattomista verkoista.

Tutkielman rakenne on seuraava: aluksi eritellään langattomien verkkojen ja ad hoc -verkkojen teknologiaa ja toimintamenetelmiä, minkä jälkeen käsitellään luonnonkatastrofit ja antropogeeniset katastrofit, eli ihmisten aiheuttamat katastrofit, sekä määritellään katastrofienhallinta. Neljännessä kappaleessa eritellään mobiilien ad hoc -verkkojen hyötyjä ja haasteita katastrofienhallinnan kontekstissa sekä eritellään joitain ehdotettuja implementaatiomahdollisuuksia. Viimeisessä kappaleessa käydään kokonaisuus läpi, reflektoidaan tutkielman onnistumista ja esitetään mahdollisia jatkotutkimuskohteita.

Tutkielmassa havaittiin, että selkeää yleisesti hyväksyttyä käytännettä mobiileille ad hoc -verkoille katastrofienhallinnassa ei ole, mutta ongelmaa on kuitenkin pyritty ratkaisemaan monen eri toimijan toimesta. Suuri osa aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta on toteutettu Kaakkois-Aasiassa, jossa katastrofien määrä on suurin. Alueella sijaitsevien kehittyvien maiden määrän vuoksi ehdotetut ratkaisut usein korostavat ad hoc -verkkojen helppoa implementaatiota nykyiseen infrastruktuuriin.

Asiasanat: Mobiilit ad hoc -verkot, katastrofien hallinta, langattomat verkot, luonnonkatastrofit

# ABSTRACT

Mäkelä, Aku

Mobile ad hoc Networks in Disaster Management

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 37 pp.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor: Kyppö, Jorma

Mobile ad hoc networks (MANETs) are independently functioning wireless networks that enable communication without traditional networks. The usage of MANETs in disaster management has been researched since the early 2000s but an implementation that is in general use has not been made yet. The purpose of this thesis is to provide a clear picture of the current state of research.

This paper deals with the use of the above-mentioned MANET networks in the event of disasters. The thesis has been carried out as a literature review of the current state of disaster management, disasters, and wireless networks.

The thesis is structured as follows: first, the technologies and methods of operation of wireless and ad hoc networks are identified, followed by natural and anthropogenic disasters, alias man-made catastrophes, and the definition of disaster management. The fourth chapter analyzes the benefits and challenges of mobile ad hoc networks in the context of disaster management and identifies some of the proposed implementation options. In the last paragraph, the thesis is reviewed, the success of the thesis is reflected and possible areas for further research are presented.

The study found that there is no clear generally accepted practice for mobile ad hoc networks in disaster management, but efforts have been made to address the problem by many different actors. Much of the research on this topic has been conducted in Southeast Asia, where the number of disasters is highest. Due to the number of developing countries in the area, the proposed solutions often emphasize the easy implementation of ad hoc networks into existing infrastructure.

Keywords: Mobile ad hoc networks, disaster management, wireless communications, natural disasters

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 LANGATTOMAT AD HOC -VERKOT .....	8
2.1 Langattomat tietoverkot .....	8
2.2 Wireless ad hoc network (WANET).....	10
2.2.1 Toimintaperiaate .....	10
2.2.2 Historiaa .....	11
2.3 Mobile ad hoc network (MANET) .....	12
2.4 Yhteenveto .....	13
3 KATASTROFIT JA KATASTROFIENHALLINTA KÄSITTEENÄ.....	14
3.1 Luonnonkatastrofit .....	14
3.1.1 Tulvat .....	15
3.1.2 Äärimmäiset sääilmiöt.....	16
3.1.3 Maanjäristykset.....	16
3.1.4 Muut luonnonkatastrofit .....	17
3.2 Antropogeeniset katastrofit.....	17
3.3 Katastrofienhallinta .....	18
3.4 Yhteenveto .....	20
4 MOBIILIN AD HOC -VERKON HYÖDYNTÄMINEN KATASTROFITILANTEISSA .....	21
4.1 Mobiilin ad hoc -verkon hyötypuolet katastrofitilanteissa .....	21
4.1.1 Penetroitumiskyky .....	21
4.1.2 Loukkaantuneiden löytäminen triangulaation avulla .....	22
4.1.3 Lokaalius.....	22
4.1.4 Skaalautuvuus .....	23
4.1.5 Käyttöönoton yksinkertaisuus .....	23
4.1.6 Riippumattomuus palveluntarjoajista ja valtiosta .....	23
4.1.7 Varoituseroitukset.....	23
4.1.8 Kriisitilanteen kommunikaation toimivuus .....	24
4.2 Haasteita mobiilin ad hoc -verkon käytössä katastrofitilanteissa .....	24
4.2.1 Kantaman riittämättömyys .....	24
4.2.2 Laitteiden erot.....	24
4.2.3 Verkon pystyttämisen haastavuus .....	25
4.2.4 Verkon häirintä.....	25
4.2.5 Verkon väärinkäyttö .....	25

4.3	Nykytilanne mobiilin ad hoc -verkon käytössä ja tutkimuksessa katastrofitilanteissa.....	26
4.3.1	Toimintalogiikka .....	26
4.3.2	Tietoturva .....	26
4.3.3	Tehokkuus.....	27
4.3.4	Käytännön sovellukset .....	27
4.3.5	MANET:in käyttö katastrofitilanteissa tutkimusten ulkopuolella .....	27
5	YHTEENVETO .....	29
	LÄHDELUETTELO.....	31

# 1 JOHDANTO

Katastrofien kirjo on laaja, ja niiden intensiteetit sekä esiintymistiheydet vaihtelevat harvoin esiintyvistä (esimerkiksi tulivuorenpurkaukset, maanjäristykset sekä taifuunit) usein esiintyviin (esimerkiksi myrskyt, metsäpalot ja kuivuudet). Luonnonkatastrofien lisäksi on myös ihmisten aiheuttamia katastrofeja ja konfliktitilanteita. Pelkästään luonnonkatastrofeihin kuolee vuosikymmenittäin yli miljoona ihmistä (Ritchie & Roser, 2019), ja laskettaessa mukaan aseellisissa konflikteissa menehtyneet määrä nousee tällä vuosikymmenellä jo puoleentoista miljoonaan (Roser, 2019).

Katastrofitilanteissa toimiva ja häiriötön kommunikointi on niin paikallisten asukkaiden kuin pelastustehtäviä toteuttavien työntekijöiden välillä itsearvoisen tärkeää. Heikentynyt tai katkennut kommunikaatioverkosto hankaloittaa pelastustyöntekijöiden pelastustehtäviä sekä estää asukkaiden yhteydenottomahdollisuuksia omaisiin ja naapureihin. Katastrofi- ja konfliktitilanteissa toimivalla kommunikaatioverkostolla voidaan pelastaa ihmishenkiä. Nouseva teknologinen ratkaisu tähän ongelmaan on langattomien ad hoc -verkkojen käyttö pelastustoiminnassa.

Tämän tutkielman tavoite on kerätä tieteellisen kirjallisuuden pohjalta kattava kokonaiskuva langattomien ad hoc -verkkojen käytöstä katastrofitilanteissa sekä tarkastella niihin liittyviä hyötyjä ja haasteita. Tarkastelunäkökulma on globaaleissa katastrofeissa ja niiden jälkeisissä pelastusoperaatioissa. Tutkielman tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Kuinka langattomia ad hoc -verkkoja hyötykäytetään katastrofien hallinnassa?
- Voidaanko perinteistä katastrofinhallintaa parantaa modernien teknologioiden avulla?

Tutkielma toteutettiin tieteellisenä kirjallisuuskatsauksena. Lähteistö nourettiin useasta eri tietokannasta, merkittävimpana IEEE Xplore Digital Library, Association for Computing Machinery Digital Library, Researchgate sekä Google Scholar. Tietokannoista haettiin tietoa mm. seuraavilla hakusanoilla ja niiden yhdistelmillä: disaster management, crisis, MANET, PRNET, mobile ad hoc network, WANET, wireless ad hoc network, "MANET" mobility model, "MANET"

disaster management. Lisälähteistöä haettiin myös uutissivustoilta ja tietokannoista tilastojen saamiseksi.

Tutkielma on jaettu neljään eri lukuun. Ensimmäinen luku on johdanto ja toisessa luvussa käsitellään langattomia ad hoc -verkkoja, niiden toimintamenetelmiä ja periaatteita sekä erilaisia implementaatioita. Kolmannessa luvussa käsitellään katastrofeja ja perinteisiä lähestymismenetelmiä niiden jälkeisiin pelastusoperaatioihin. Neljäs sisältöluke keskittyy langattomien ad hoc -verkkojen hyödyntämiseen katastrofitilanteissa. Viimeisessä luvussa tehdään yhteenveto tutkielmassa ilmi tulleista asioista, pohditaan tutkimuskysymysten myötä saatuja tuloksia sekä esitetään mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

## 2 Langattomat ad hoc -verkot

Elämme maailmassa, jossa tuotamme kuukausittain yli 167 eksatavua dataa (Cisco Systems, 2018) ja jossa kaiken tuottamamme datan määrä ylittää 33 zettatavua (Reinsel, Gantz, & Rydning, 2018). Päivittäin yli neljä ja puoli miljardia käyttäjää ottaa yhteyden internetiin, ja Aasian digitalisoitumisen myötä määrä kasvaa hetki hetkeltä (Miniwatts Marketing Group, 2019). Koska yli puolet kaikesta maailman verkkoliikenteestä tapahtuu mobiilisti, mahdollisuudet matkapuhelimia ja muita langattomia laitteita hyödyntäviin verkkoihin ovat merkittävät (Statcounter, 2019).

Jo olemassa olevia langattomia laitteita mahdollisesti hyödyntäviä implementaatioita ovat mm. **Wireless Ad Hoc Networks** eli langattomat ad hoc -verkot (tästä lähtien WANET). Ne ovat väliaikaisia hajautettuja tietoliikenteen siirtoon tarkoitettuja tietoverkkoja, jotka eivät vaadi kiinteätä infrastruktuuria toimiakseen. Verkot voidaan muodostaa joko juuri niille tarkoitettulla laitteistolla tai jollain yleiskäyttöisellä laitteella, joka tukee joitain verkon pystyttämiseen väärittäviä protokollia ja tekniikoita. Näitä ovat esimerkiksi matkapuhelimet ja tabletit (Kurose & Ross, 2013). Verkkojen väliaikaisuus mahdollistaa nopean käyttöönoton tilanteessa, jossa perinteiset tietoliikenneverkot eivät välttämättä ole käytettävissä (Toh C.-K., 1997). Termi *Ad hoc* on latinaa ja tarkoittaa kirjaimellisesti ”tätä varten”. Tietoteknisessä yhteydessä termiä käytetään usein puhuttaessa väliaikaisesta ratkaisusta, jonka tarkoituksena on ratkaista jokin tietty ongelma (Zanjireh & Larijani, 2015).

Tässä luvussa käsitellään aluksi langattomien verkkojen infrastruktuuria ja toimintaperiaatteita yleisesti. Tämän jälkeen keskitytään WANET-verkkoihin, niiden toimintaperiaatteisiin sekä erilaisiin implementaatioihin siviilikäytöstä viranomaiskäyttöön. Vielä tarkempaan tarkasteluun otetaan mobiilit ad hoc -verkot (Mobile Ad Hoc Network, tästä lähtien MANET).

### 2.1 Langattomat tietoverkot

Ymmärtääksemme, miten langattomat verkot toimivat, on meidän hyvä tietää, mistä ne koostuvat. Karkeasti rajattuna perinteisesti langattomat verkot rakentuvat useasta eri laitteesta, jotka voidaan toimintojensa myötä jaotella kolmeen eri luokkaan. Nämä kolme laiteluokkaa muodostavat langattomien verkkojen selkärangan, ja ne löytyvät lähes jokaisesta langattomasta verkkoimplementaatiosta (Kurose & Ross, 2013). Nämä ovat:

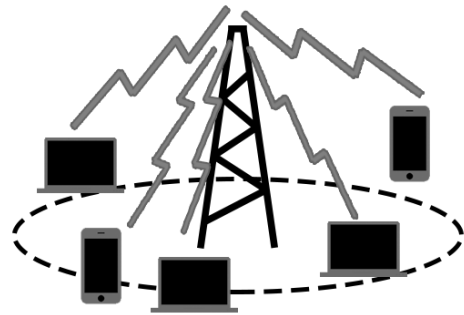
- *Wireless host* eli **langaton verkkoasema**. Langattomien verkkojen kontekstissa langattomat verkkoasemat ovat loppukäyttäjän laitteita. Näitä ovat esimerkiksi puhelimet, tietokoneet, tabletit ja älykellot.



- *Wireless link* eli **langaton linkki**. Langattomien verkkojen kontekstissa nämä ovat laitteita, jotka yhdistävät laitteet verkkoon. Näitä ovat esimerkiksi globaalissa skaalassa tietoliikennesatelliitit ja lokaalisti esimerkiksi WLAN-laitteet, kuten reitittimet. (IEEE Standards Association, 2016)
- *Base station* eli **tukiasema**. Tukiasema on langattoman verkon infrastruktuurissa laite, jolle ei ole vastaavaa kappaletta langallisessa verkossa. Sen tehtävänä on lähettää ja vastaanottaa dataa langattomalta verkkoasemalta, joka on sen toimintaetäisyyden piirissä. Nämä ovat uniikkeja laitteita infrastruktuurillisessa langattomassa verkossa, eikä niitä käytettä ad hoc -verkoissa. Tukiasemia ovat esimerkiksi radiomastot sekä lokaalin langattoman verkon internetiin yhdistävät tukiasemat (WAP). (Honcharenko, Kruys, Lee, & Shah, 1997)

Langattomat verkot luokitellaan korkeimmalla tasolla sen mukaan, miten ne kuljettavat dataa laitteiden välillä. Verkko voi olla *infrastruktuurillinen* eli vaatia tukiasemia toimiakseen ja olla kiinni jossain isommassa verkossa, kuten esimerkiksi internetissä. *Infrastruktuuriton verkko* puolestaan ei vaadi tukiasemia toimiakseen eikä välttämättä ole missään muussa verkossa kiinni. Lisäksi luokitteluun vaikuttaa se, kuinka monen ”hypyn” kautta data kulkeutuu lähettäjältä vastaanottajalle. Yksi hyppy tarkoittaa yhden laitteen kautta kulkemista, ennen kuin se saapuu lähettäjältä vastaanottajalle. Nimensä mukaisesti *yksihyppyyisessä verkossa* data kulkee vain yhden laitteen läpi ja *monihyppyyisessä verkossa* ylärajaa ei ole määritelty (Kurose & Ross, 2013). Näiden määritteiden myötä langattomat verkot voidaan luokitella seuraavaan neljään kategoriaan:

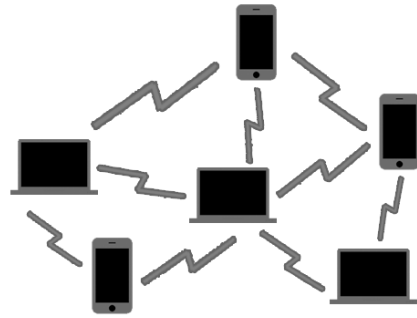
- *Single-hop, infrastructure-based* eli **yksihyppyyinen ja infrastruktuurillinen verkko** (Kuvio 1). Tähän kategoriaan luokitelluissa verkoissa on vain yksi hyppy langattoman verkkoaseman ja verkon välillä tukiaseman muodossa. Esimerkiksi internet, langattomat sisäverkot ja matkapuhelinverkot lukeutuvat tähän kategoriaan.
- *Single-hop, infrastructure-less* eli **yksihyppyyinen ja infrastruktuuriton verkko**. Kategoriaan kuuluvissa verkoissa ei ole ollenkaan tukiasemaa välittämässä viestejä loppukäyttäjien välillä. Tähän kategoriaan luokitellaan mm. Bluetooth ja muut laitteesta laitteeseen dataa siirtävät menetelmät.
- *Multi-hop, infrastructure-based* eli **monihyppyyinen ja infrastruktuurillinen verkko**. Tässä langattomien verkkojen luokassa data siirtyy monen linkin kautta lähettäjältä vastaanottajalle ja langaton verkko on kiinni jossain toisessa verkossa tukiaseman kautta. Tähän kategoriaan kuuluvia verkkoja ovat muun muassa jotkin sensoriverkot sekä Wireless Mesh Networks,



Kuvio 1: Single-hop, infrastructure-based network

esimerkiksi langattomat monesta laitteesta koostuvat wlan-verkot, joiden infrastruktuurista vain yksi laite on kytkettynä internetiin. (Pathan, 2011)

- *Multi-hop, infrastructure-less* eli **monihyppyinen ja infrastruktuuriton verkko** (Kuvio 2). Tässä verkkomallissa linkkien välillä ei ole tukiasemia, joiden kautta viestit välittyisivät lähettäjältä vastaanottajalle, vaan kaikkien viestien välitys toteutuu verkossa olevien linkkien välityksellä, jotka toimivat niin lähettäjinä, välittäjinä kuin vastaanottajina. Linkit voivat olla esimerkiksi matkapuhelimia, kannettavia tietokoneita tai tabletteja. Tunnetuimmat tämän luokittelun implementaatiot ovat Wireless ad hoc Network (WANET) ja sen alaluokat Mobile ad hoc Network (MANET) sekä Vehicular ad hoc Network (VANET).



Kuvio 2: Multi-hop, infrastructure-less network

Seuraavassa osiossa käsitellään tarkemmin WANET-verkkoa, sen toimintaperiaatteita ja historiaa.

## 2.2 Wireless ad hoc network (WANET)

### 2.2.1 Toimintaperiaate

Wireless ad hoc networks (WANET) eli langattomat ad hoc -verkot ovat hajautettuja järjestelmiä, jotka muodostuvat toisiinsa kytkeytyneistä langattomista solmuista, jotka kommunikoivat keskenään kaistanleveydellä rajoitettujen langattomien linkkien kautta. Jokainen verkossa kiinni oleva solmu voi toimia niin viestin lähettäjänä, vastaanottajana kuin välittäjänä. Toimiessaan lähettäjänä solmu voi minkä tahansa verkossa olevan solmun kautta lähettää viestin toiselle verkossa olevalle solmulle. (Toh C. K., 2001) Vastaanottajana toimiessaan solmu puolestaan voi nimensä mukaisesti vastaanottaa minkä tahansa toisen solmun sille lähettämän viestin. Välittäjänä eli reitittimenä toimiva solmu sen sijaan lähettää sen kautta osoitetun viestin eteenpäin kohti lopullista vastaanottajaa. (Chong;Wee;Lian;& Hui, 2006)

WANET:in toimintaperiaate voi ensilukemalta vaikuttaa hämmäntävältä, mutta sen toimintaa voi kuvata esimerkiksi joukolla henkilöitä: Alice, Bob, Carol ja Dan. Jokainen ihminen kuvaa yhtä solmua ja jokainen ihminen voi toteuttaa samat asiat. Tässä esimerkissä dataa ja sen kulkua kuvaa maapallon toiselta puolelta toiselle lähetettävä paketti.

Alice, joka asuu Suomessa, haluaa lähettää paketin Danille, mutta Dan asuu Koreassa ja postimaksut Koreaan ovat korkeat. Alicen onneksi Bob on lähdössä Koreaan tuttavansa Carolin luokse. Alice pyytää Bobia välittämään paketin

Danille. Bob hyväksyy pyynnön ja matkustaa Koreaan paketti mukanaan. Koreassa Bobille tulee kuitenkin yllättävä este, eikä hän pysty antamaan pakettia Danille. Bob, joka luottaa ystäväänsä Caroliin, antaa tälle paketin ja pyytää tätä luovuttamaan paketin Danille. Carol toteuttaa Bobin pyynnön, tapaa Danin ja antaa tälle Alicen lähettämän paketin.

Edellä mainitun esimerkin tapaan myös data liikkuu langattomassa ad hoc -verkossa. Esimerkkiä voi jatkaa esimerkiksi siten, että kun Carol haluaa lähettää Alicelle paluuviestin, hän voi lähettää sen Bobin kautta. Poikkeuksena on tietysti se, että langattomassa ad hoc -verkossa viestin välittäjän ei välttämättä tarvitse fyysisesti siirtyä lähettäjän luota vastaanottajalle, vaikka sekin on verkon modulaarisuuden vuoksi mahdollista.

## 2.2.2 Historiaa

Langattomat ad hoc -verkot ovat verrattain uutta teknologiaa. Ensimmäiset askeleet hajautettujen langattomien verkkojen kehittämiseen otettiin vuonna 1975, kun yhdysvaltalainen tutkija Robert Kahn alkoi selvittää, miten radioyhteyksiä voitaisiin hyödyntää langattomassa tiedonsiirrossa (Kahn, 1975). Tutkimuksessaan Kahn visioi järjestelmän, jossa tieto ei kuljekaakaan keskitetyn aseman lävitse, vaan sitä pystytään siirtämään radioreitittimestä toiseen hajautetusti paketeittain radioaaltojen välityksellä. Tämä järjestelmä tunnettiin nimellä Packet Radio Network eli PRNET. (Kahn, Gronemeyer, Burchfiel, & Kunzelman, 1978)

Kuten monet muutkin 1900-luvulla kehitetyt teknologiset ratkaisut, myös PRNET oli Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio ARPA:n (Advanced Research Project Agency) rahoittama. PRNET pystytettiin San Fransiscon lahden ympäristön alueelle vuonna 1976, ja jo vuonna 1977 verkosta oli mahdollisuus ottaa yhteys samoihin aikoihin kehityksessä olevaan ARPANET:iin in (Advanced Research Projects Agency Network) (Kahn, Gronemeyer, Burchfiel, & Kunzelman, 1978). ARPANET tunnetaan parhaiten internetin esiaskelena ja merkittävimpana pakettikytkentää sekä TCP- ja IP-protokollia hyödyntävänä tietoverkkona. Kummatkin edellä mainituista teknologioista toimivat vielä tänäkin päivänä internet-verkon selkärankana (Bigdoli, 2004).

Tutkimus liikuteltavien langattomien ad hoc -verkkojen kanssa jatkui tasaisena läpi 1980-luvun. PRNET:in seuraajaksi ryhdyttiin rakentamaan SURAN-verkkoa (Survivable Radio Network) uusien ja tehokkaampien radioreitittimien muodossa. Uudet laitteet mahdollistivat jopa tuhansien solmujen verkkojen muodostamisen (Beyer, 1990).

Varsinainen läpimurto MANET-tutkimuksessa tapahtui 1990-luvulla, kun IEEE 802.11 -protokollaa tukevien laitteiden määrä alkoi kasvaa ja tutkimusta pystyttiin tekemään kuluttajateknologiaa hyödyntämällä (Toh C.-K., 1997). IEEE 802.11 on kansainvälisen tekniikan alan järjestö Institute of Electrical and Electronics Engineersin kehittämä IEEE 802 -standardiperheeseen kuuluva langattomien lähiverkkojen (Wireless Local Area Network, WLAN) toimintaa määrittävä standardi (IEEE Standards Association, 2016).

Tällä vuosikymmenellä MANET:ien kehitys on ollut huomattavasti rajoituneempaa ja kehitys onkin keskittynyt jo olemassa olevien järjestelmien parantamiseen. Tutkimusta on tehty mm. verkon tietoturvallisuuden parantamiseksi (Marathe & Shinde, 2019), sen vaatimien laskentatehojen keventämiseksi (Pachauri & Gupta, 2019) sekä kapasiteetin kasvattamiseksi (Qian, Tian, Chen, Huang, & Wang, 2014).

### 2.3 Mobile ad hoc network (MANET)

MANET eli Mobile ad hoc Network on WANET:in yksi sovelluskohde. Se eroaa WANET:ista siten, että se on koko ajan uudelleen ja itsenäisesti konfiguroitua, eikä se vaadi kiinteää rakennetta toimiakseen. Verkosta on siis mahdollista poistua halutessaan ilman, että se aiheuttaa katkosta tiedonvälityksessä (Kurose & Ross, 2013). Se myös organisoituu itsestään, eli mahdolliset edellä mainitut muutokset verkon rakenteessa eivät vaikuta sen toimintalogiikkaan, vaan esimerkiksi viesti, joka olisi välitetty poistuneen linkin kautta, ohjataan saumattomasti siirtymään toisen laitteen kautta vastaanottajalle (Kurose & Ross, 2013).

Mobiileja ad hoc -verkkoja on mahdollista toteuttaa joko patentoidun teknologian avulla tai vaihtoehtoisesti käyttäen laitteissa jo olemassa olevaa tekniikkaa (Apple, 2019) (Android Developers, 2019). Helpoin ja samalla edullisin tapa toteuttaa verkko on käyttää esimerkiksi lähestulkoon jokaisesta matkapuhelinlaitteesta löytyvää Bluetoothia (Frodigh, Johansson, & Larsson, 2000).

MANET ja sen erilaiset implementaatiot soveltuvat moneen eri toimialaan sen muokkautuvuudesta johtuen. Alla on listattuna muutamia potentiaalisia käyttökohteita ja joitain niihin sisältyviä mahdollisia implementaatioita.

**Ajoneuvot.** Ajoneuvoille suunnattuja langattomia ad hoc -verkkoja kutsutaan nimellä Vehicular ad hoc networks eli VANET. Ensimmäiset maininnat VANET:eistä ovat vuodelta 2001 Tohin teoksesta, jossa yhtenä MANET:in esimerkkinä käsiteltiin kulkuneuvoja (Toh C. K., 2001). Potentiaalisia VANET:in sovelluksia ovat esimerkiksi elektroninen jarrutusjärjestelmä, jossa edellä jarruttava auto ilmoittaa takana tulevalle jarruttavansa, jolloin tämäkin jarruttaa autonomisesti ja säästää matkustajansa mahdolliselta törmäykseltä, tai ruuhkainformaatiojärjestelmä, jossa toisiinsa langattomasti kytkeytyneet autot ilmoittavat olevansa ruuhkassa ja esimerkiksi elektroniset liikenneopasteet voivat neuvoa vaihtoehtoisen reitin. (Saeed, Lodhi, & Ahmed, 2013)

**Älykaupungit.** Väestön kasvaessa ja sen muuttaessa kaupunkeihin paremman elämän toivossa myös kaupungit tulevat väistämättä digitalisoitumaan houkutellakseen potentiaalisia asukkaita. MANET:eja älykaupunkien kontekstissa voivat olla esimerkiksi automaattisesti liikenteen ja jalankulkijoiden liikkeiden mukaan sammuvat ja syttyvät katulamput, datan kerääminen ja prosessointi toisissaan yhteydessä olevista eri sensoreista sekä personalisoitu mainostaminen käyttäjän liikkeiden mukaan (Pandey, Kush, Dattana, & Al Ababseh, 2016).

**Retkeily:** Digitalisaation myötä yhä useampi ihminen hakeutuu luonnon rauhaan päästäkseen pois jatkuvasta teknologian sykkeestä. Retkeilyssä voidaan

usein ajautua kuitenkin alueelle, jossa mobiiliverkkoyhteydet eivät välttämättä toimi. Tämä hankaloittaa huomattavasti esimerkiksi joukosta eksyneen henkilön etsimistä. Yksi MANET:in sovellus tässä kontekstissa voisi olla pieni laite, joka jatkuvasti lähettää muulle retkiseurueelle GPS-informaatiota eksyneen sijainnista. Laite pystyisi esimerkiksi myös ilmoittamaan, jos joku on jäämässä jälkeen tai on kadonnut kantavuuden alueelta. Koska laite ei välttämättä ole yhteydessä perinteiseen internetiin, säilyy retriitin rauhallisuus ja elektroniikattomuus.

**Sotilaskäyttö:** Sotilaskäyttö on yksi teknologiateollisuuden merkittävimpiä käyttäjiä, ja myös MANET:ista löytyy potentiaalisia hyödyntämismahdollisuuksia sen kontekstiin. Luonnollisesti sotilastilanteissa perinteisiä viestintämenetelmiä ei ole mahdollista käyttää viestien sensitiivisyyden ja mahdollisen verkon häiriötoiminnan vuoksi. Tästä syystä lokaalisti toimiva langaton lyhyen kantaman ad hoc -verkko on tehokas tapa välittää viesti joukolta tai ryhmältä toiselle ilman pelkoa siitä, että nämä joku valtiollinen toimija kaappaisi viestin.

**Pelastustoiminta:** Vuosittain raportoidaan tapahtuvan noin 300-400 luonnonkatastrofia (Ritchie & Roser, 2019). Iso osa niistä tapahtuu alueilla, joissa katastrofeihin valmistautuminen ei välttämättä ole mahdollista samalla mittakaavalla kuin vauraammilla valtioilla. Tästä syystä mahdollinen toimiva ja edullinen ratkaisu, joka hyödyntää jo olemassa olevaa laitteistoa ensipelastustoiminnan käytössä, olisi lähes jokaiselta löytyvä matkapuhelin.

## 2.4 Yhteenveto

Langattomat tietoverkot ovat merkittävä osa jokapäiväistä elämäämme. Niiden kautta kulkee merkittävä määrä dataa päivittäin. Ne ovat rakenteellisesti usein joko yksi- tai monihyppyisiä sekä infrastruktuurillisia tai infrastruktuurittomia. Infrastruktuurillisuus määrittää, tarvitseeko verkko tukiasemia toimiakseen vai ei ja hyppyjen määrä kertoo sen, kulkeeko viesti laitteesta laitteeseen vai kulkeeko se välittäjälaitteiden, eli langattomien linkkien lävitse.

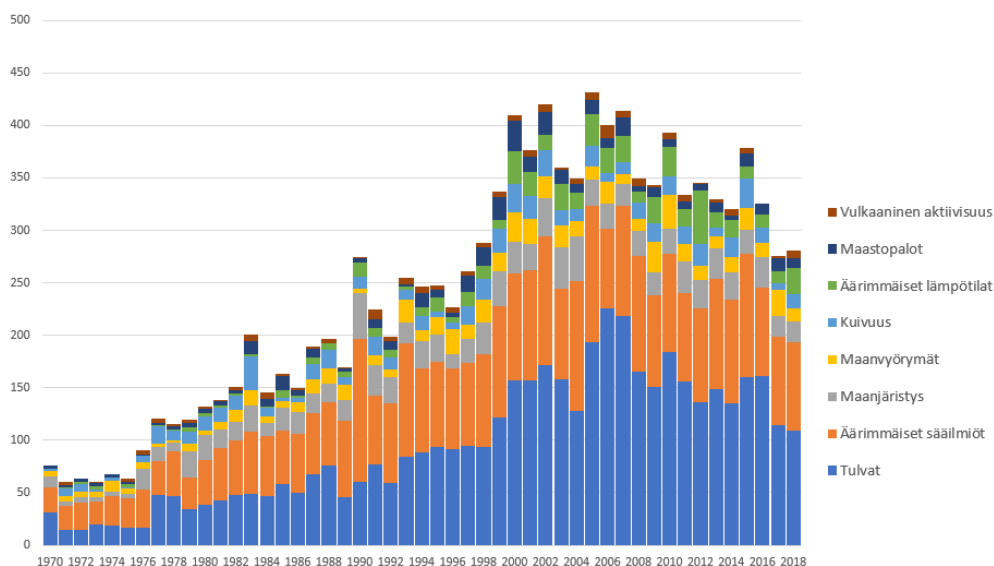
Viime vuosina langattomista verkoista on luotu variaatioita, jotka mahdollistavat tiedon siirron lokaalisti ja ilman fyysistä sekä staattista infrastruktuuria. Näiden avulla on mahdollista luoda lokaaleja verkostoja, jotka mahdollisesti palvelevat pienempiä tiivisti yhteen nidottuja yhteisöjä henkilökohtaisemmin kuin perinteiset langattomat verkkoratkaisut. Näistä implementaatioista mm. WANET ja sen alaluokka MANET mahdollistavat dynaamisen uudelleen muodostuvan verkon luomisen, jota voidaan käyttää esimerkiksi pelastustoiminnassa ensipelastamisen tehostamiseksi. Verkko on infrastruktuurittomuutensa vuoksi turvassa katastrofien aiheuttamilta tuhoilta.

### 3 Katastrofit ja katastrofienhallinta käsitteenä

Katastrofi on tapahtuma, joka tapahtuessaan aiheuttaa normaalitilanteeseen verrattuna merkittävää häiriötä yhteisön toiminnassa, hankaloittaa vahingoittuneen yhteisön toimintakykyä sekä ylittää tämän kyseisen yhteisön muutostilanteeseen vaadittavat sopeutumiskyvyn rajat (Abada, 2002). Katastrofit aiheuttavat usein sekä aineellisia että ihmisvahinkoja, ja perinteisiä kommunikaatioyhteyksiä ei välttämättä ole saatavilla katastrofien jälkeen. Nykymaailmassa, jossa välitön yhteys ulkomaailmaan langattomasti on lähestulkoon oletusarvo, täydellinen kommunikaatiokatkos aiheuttaa usein haastavia ongelmia, muun muassa ensireagoinnissa ja vahingoittuneiden pelastamisessa (United States. Congress. Senate. Committee on Appropriations. Subcommittee on the Department of Homeland Security, 2015). Tässä luvussa avataan erilaisia katastrofien ilmenemismuotoja sekä niihin liittyvää katastrofienhallintaa.

#### 3.1 Luonnonkatastrofit

Luonnonkatastrofit ovat ihmisen toimista riippumattomista syistä ilmenneitä katastrofaalisia tapahtumia, joiden alkuperät ovat atmosfäärissä, geologisissa ja hydrologisissa ilmiöissä ja jotka voivat aiheuttaa niin kuolemantapauksia, omaisuusvahinkoja kuin sosiaalisia ympäristöhaittoja (Sorokin, 1942), (Xu, Wang, Shen, Ouyang, & Tu, 2016). Luonnonkatastrofien jälkeen katastrofin kohteeksi päätynyt ympäristö on usein vahingoittunut merkittävästi, mistä seuraa usein välittömiä paikallisia resurssipulaa sekä talouden, poliittisen ja sosiaalisen ympäristön ajautuminen kaaokseen ja epäjärjestykseen (Timberlake, O'Keefe, Tinker, Cheney, & McCormack, 1984).



Kuvio 3: Raportoidut luonnonkatastrofit globaalisti vuodesta 1970 vuoteen 2018 (EMDAT, 2019).

Maailmassa raportoidaan tapahtuneeksi vuosittain yli kolmesataa merkittävää luonnonkatastrofiksi luokiteltavaa tapahtumaa (Ritchie & Roser, 2019). Yli puolet näistä on joko tulvia tai äärimmäisiä sääilmiöitä. Muiden luonnonkatastrofien osuus kokonaisuudesta globaalilla tasolla on kesimääräisesti alle kolmasosa (Kuvio 3). Kuvaajasta tulkitsemalla olisi mahdollista väittää, että luonnonilmiöiden määrä olisi viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana kasvanut merkittävästi, mutta muutos voidaan osittain selittää globalisoitumisella ja raportointiherkkyydellä. Kasvu kuvaajassa ei siis suoraan korreloi tapahtuneiden luonnonkatastrofien kanssa (Ritchie & Roser, 2019).

Seuraavaksi eritellään järjestyksessä merkittävintä vahinkoa aiheuttavat ja eniten tilastoissa esiintyvät luonnonkatastrofit.

### 3.1.1 Tulvat

Tulvat ovat luonnonilmiöitä, joissa vesi nousee äkillisesti tavallisesti kuivalle alueelle aiheuttaen yleensä laajamittaisia tuhoja (Merriam-Webster, 2019) (WWF, 2019). Tulvat syntyvät useimmiten rankkasateiden tai vesimassoille riittämättömien jokien kapasiteetin loppumisen seurauksena, mutta myös esimerkiksi äkillisen lämpötilan nousun aiheuttama rivakka lumen sulaminen saattaa nostaa vedenpinnan normaalitasoa korkeammalle.

Yleisesti ottaen tulvat mielletään ainoastaan luonnollisesti esiintyviksi ilmiöiksi, mutta myös ihmisten toiminnalla on niiden syntymisessä vaikutuksensa (WWF, 2019). Esimerkiksi vuonna 1987 tehdyssä tutkimuksessa verrattiin toisiinsa useita valuma-alueita, joiden koko jo ympärillä olevan metsän peittävyys vaihteli (Clark, 1987). Myös vuonna 2007 toteutetussa kansainvälisessä tutkimuksessa huomattiin korrelaatiota metsien hakkuun ja tulvien kehittymisen välillä (Bradshaw, Sodhi, Peh, & Brook, 2007).

Globaalissa mittakaavassa tulvat ovat eniten esiintyvä katastrofaalinen luonnonilmiö ja myös merkittävin luonnonkatastrofien aiheuttama kuolemantapa maailmassa. Ne aiheuttivat 1900-luvulla noin 6,8 miljoonaa kuolemaa, joskin puolet luvusta on peräisin vuoden 1931 Kiinan tulvista (Doocy, Daniels, Murray, & Kirsch, 2013) (Courtney, 2019). Vaikka tulviin varautuminen ja niihin vastaaminen on parantunut vuosien saatossa, vielä 2000-luvulla tulviin kuoli keskimäärin neljästä viiteen tuhanta ihmistä vuodessa (Ritchie & Roser, 2019).

Tulviin voidaan varautua muun muassa rakentamalla vesikanavia, joita pitkin ylimääräinen vesi kulkeutuu turvallisesti pois voimakkaimmalta virtausalueelta. Lisäksi voidaan pystyttää patoja tai rantavalleja. Padot estävät ja säännöstelevät veden kulkua. Rantavalleilla estetään isojen vesimassojen, kuten esimerkiksi merien ja järvien, vedenpinnan nousun aiheuttamat mahdolliset tuhot korottamalla suojeltavaksi määritellyn alueen reunoja ja rikkomalla aallokko ennen sen maihin osumista. (IWA Publishing, 2019)

### 3.1.2 Äärimmäiset sääilmiöt

Äärimmäiset sääilmiöt ovat laaja joukko erilaisia luonnonilmiöitä, joilla on mittavia vaikutuksia niin yhteiskunnalle, ympäristölle kuin alueella sijaitsevalle eliöstölle. Ne ovat yleensä odottamattomia, epätavallisia ja vakavia sääilmiöitä, ja niihin luetaan muun muassa hurrikaanit, taifuunit, lämpöaallot, kuivuudet ja muut vastaavat sään ääri-ilmiöt (Tippett, 2018).

Äärimmäisiä sääilmiötä on ilmennyt lähestulkoon koko maapallon olemassaolon ajan, ja ensimmäiset kirjalliset viitteet niistä ovat peräti 3500 vuoden takaa (Harms, 2014). Viime vuosina tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että ihmisten aiheuttama ilmastonmuutos olisi osatekijänä äärimmäisten sääilmiöiden ilmenemisessä (Union of Concerned Scientists, 2018).

Äärimmäisiin sääilmiöihin varautuminen on äärimmäisen haastavaa, ja usein toimivin vaihtoehto onkin varautua evakuoitumaan paikalta mahdollisimman nopeasti (The Japan Times, 2019). Voimakkaat myrskyt, kuten esimerkiksi taifuunit ja tornadot, voivat tuhota olemassa olevia verkkoinfrastruktuureja, jolloin perinteisten matkapuhelinyhteyksien käyttäminen ei ole kriisitilanteessa mahdollista.

### 3.1.3 Maanjäristykset

Maanjäristys on maankuoren liikkeiden aiheuttama tapahtuma, jossa maapallon kallioiden läpi kulkeutuvat seismiset aallot saavat maanpinnan tärisemään. Järistys syntyy, kun maapallon kuoreen varastoutunut energia vapautuu esimerkiksi jännittyneiden mannerlaattojen irtautuessa äkillisesti toisistaan (Bolt, 2019). Maanjäristykset esiintyvät useimmiten maapallon kuoren ylintä osaa peittävien litosfäärilaattojen saumakohdissa. (USGS, ei pvm) Näillä saumakohdilla seisminen hasardi eli kohdealueen luontoperäinen seismisyyden taso on usein huomattavasti korkeampi kuin litosfäärilaattojen keskialueilla (Helsingin Yliopiston Seismologian Insituutti, 2019).

Maanjäristykset ovat usein maailmanlaajuisesti uutisoituja, ja merkittävimpiä katastrofeja uutisoidaanakin kattavasti. Viime vuosien tuhoisimmista maanjäristyksistä muistettaneen esimerkiksi vuoden 2011 maaliskuun yhdentenätoista päivänä iskenyt Tōhokun maanjäristys, jonka järistyksissä ja näiden aiheuttaman tsunamin iskemisen myötä viimeisimpien tietojen mukaan kuoli 15898 henkilöä, 6157 vahingoittui ja 2531 henkilöä on edelleen kateissa (National Police Agency of Japan, 2019).

Katastrofaalisin tapahtuma maanjäristyksen yhteydessä oli kuitenkin Fukushima ydinvoimalaonnettomuus, jossa Fukushima prefektuurissa sijaitsevan Ōkuman kaupunkiin rakennettu ydinvoimala koki merkittäviä vahinkoja tsunamin iskeytymisen myötä. Onnettomuus aiheutti radioaktiivista säteilyä Ōkuman kaupungin lisäksi myös Futaban, Tomiokan, Namien, Minamisōuman, Narahan ja Kawauchin kaupungeille (The Sasakawa Peace Foundation, 2012). Katastrofin myötä ydinvoimalan ympäriltä suljettiin halkaisijaltaan noin 60 kilometrin kokoinen alue ja ensimmäisten viiden päivän aikana tältä alueelta ja sen



lähiympäristöistä evakuoitiin 488000 asukasta (Maeda, Oe, Bromet, Yasumura, & Ohto, 2016).

Muutto takaisin alueelle oli aluksi verrattain hidasta, ja esimerkiksi vuonna 2014 vain 8 % Narahan kaupungista evakuoituista asukkaista halusi palata entiseen kotiinsa asumaan (Narahan kaupunkin jälleenrakennusvirasto, 2014). Tilanne on kuitenkin tällä hetkellä parantunut, ja tällä hetkellä katastrofin ytimessä sijainneen Ōkuman kaupungin asukasluku on palautunut evakuoinnin jälkeisestä tilanteesta noin 90 %:iin siitä, mitä se oli ennen ydinvoimalaonnettomuutta (Ōkuman kaupunki, 2019).

Myös reagointi Fukushima ydinvoimalaonnettomuuteen oli verrattain hidasta niin asukkaiden kuin tehtaan työntekijöiden osalta, joskin heistä riippumattomista syistä. Alueen asukkaille annettiin evakuoitumiskäskeä vasta yli viisi tuntia ydinvoimalaa vaurioittaneen tsunamin iskun jälkeen (The Sasakawa Peace Foundation, 2012). Ydinvoimalassa puolestaan tsunamin aiheuttama sähkökatko esti perinteisten matkapuhelinyhteyksien käytön aiheuttaen työntekijöiden välisen kommunikaatiokatkoksen, mikä johti useiden yksiköiden samanaikaiseen kriisiin (Hayano & Adachi, 2013) (Tokyo Electric Power Company, 2013).

Maanjäristyksiin voidaan varautua sekä henkilökohtaisella että kansallisella tasolla. Henkilökohtaisella tasolla jokaisen maanjäristysherkillä alueella asuvan yksilön tulisi hankkia itselleen hätäpakkaus, jossa esimerkiksi Japanin pääministerin toimiston mukaan tulisi olla syötävää vähintään kolmelle päivälle, ensiapuvälineitä, rahaa, kypärä ja radio (Prime Minister's Office of Japan, ei pvm). Kansallisella tasolla maanjäristyksiin voidaan varautua esimerkiksi asettamalla rakennussäädöksiä siitä, millaiset tukiranteet uusissa taloissa tulisi olla (Plaza Homes, 2018).

### 3.1.4 Muut luonnonkatastrofit

Muita merkittäviä luonnonkatastrofeja ovat muun muassa maanvyörymät, kivi- vuus, äärimmäiset lämpötilat ja maastopalot (Ritchie & Roser, 2019). Näistä merkittävimpinä voidaan nostaa maanvyörymät, jotka Italian ympäristönsuojelu- ja tutkimuslaitoksen mukaan aiheuttavat vuosittain jopa kuuden miljardin euron edestä aineellisia vahinkoja (ISPRA, 2016) ja jotka vuonna 2018 julkaistun tutkimuksen mukaan ovat aiheuttaneet vuosien 2004 ja 2016 välillä 55997 ihmisen kuoleman (Fourde & Petley, 2018), sekä maastopalot, jotka vuodesta 2000 vuoden 2018 loppuun mennessä ovat aiheuttaneet 1369 kuolemaa ja aineellisia vahinkoja lähes 72 miljardin euron edestä (CRED, 2019).

## 3.2 Antropogeeniset katastrofit

Antropogeeniseksi katastrofeiksi voidaan laajalti määritellä ihmisten toiminnan tai laiminlyönnin seurauksena aikaansaadut katastrofit. Antropogeenisten

katastrofien kirjo on laaja, ja niihin luetaan muun muassa henkilöiden välinen väkivalta, mellakat, tehdasonnettomuudet, laajan skaalan terrorismi ja täysimittainen sota (Powers, Monson, Zimmermann, & Einav, 2019).

Vuosittain antropogeeniset katastrofit ovat merkittävä aineellisten vahinkojen aiheuttaja jo pelkästään vakuutettujen vahinkojen noustua kuuteen miljardiin euroon vuonna 2017. Kuolleita antropogeenisten katastrofien seurauksena oli lähes 3000 henkilöä (Bevere, Pourrabani, & Sharan, 2018).

Aiemmin mainittu Fukushima ydinvoimalaonnettomuus voitaneen mieltää antropogeeniseksi katastrofiksi sen antropogeenisen luonteen vuoksi, mutta myös luonnonvoimilla oli omat osansa katastrofissa. Verrattaessa sitä kuitenkin vuoden 1986 Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuuteen, joka oli seurasta viallisesta reaktorisuunnittelusta ja tarpeeksi kouluttamattomasta henkilökunnasta, voidaan näistä kahdesta vain Tšernobylin onnettomuutta pitää puhtaasti antropogeenisenä katastrofina (IAEA, ei pvm) (World Nuclear Association, 2019).

Antropogeenisiin katastrofeihin luetellaan myös esimerkiksi sabotaasi ja tahallinen kommunikaatioyhteyksien katkominen. Esimerkiksi vuonna 2016 Ruotsin Boråsissa tapahtunut radiomaston ilmeisen tahallinen sabotaasi katkaisi niin televisio- kuin radioyhteydet 84680 kotitaloudelta (Radio Sweden, 2016). Rauhan aikana tapahtuvat sabotaasit ovat verrattain harvinaisia, mutta kommunikaatioiden katkominen niin autoritääristen valtionhallintojen kuin vieraan vallan toimesta ei ole sodan aikana ennenkuulumatonta.

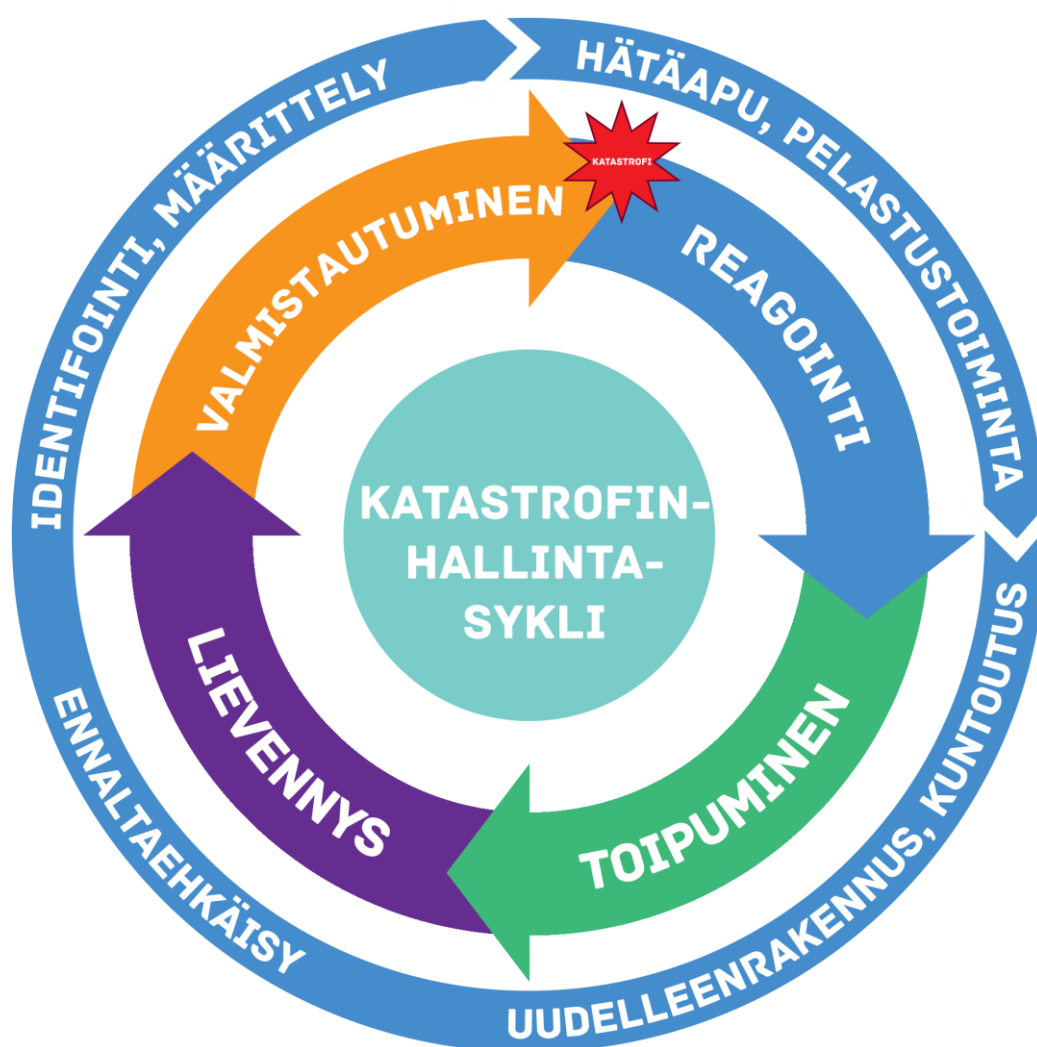
### 3.3 Katastrofienhallinta

Käytännössä mikään maa ei ole täysin immuuni luonnonkatastrofeille tai antropogeenisille katastrofeille. Tästä syystä lähestulkoon kaikilla mailla on jonkinlainen suunnitelmaa reagoida kriiseihin (Bullock, Haddow, & Coppola, 2016). Tätä suunnitelmaa ja siihen liittyviä toimenpiteitä kutsutaan usein katastrofienhallinnaksi tai kriisinhallinnaksi. Tästä eteenpäin käytetään käsitettä katastrofienhallinta, koska se kuvaa paremmin luonnonkatastrofien synnyttämiä olosuhteita.

Katastrofienhallinta käsitteenä voidaan nähdä koostuvan eräänlaisesta syklistä (Kuvio 4). Se on neliosainen ja koostuu katastrofin mahdollisuuden lieventämisestä, siihen valmistautumisesta sekä reagoinnista ja katastrofin jälkeisestä toipumisesta (FEMA, 2002). Lieventämisellä tarkoitetaan muun muassa rakennusten rakenteiden vahventamista siten, etteivät esimerkiksi maanjäristykset romahduttaisi näitä. Tähän lukeutuvat mm. korkeiden kerrostalojen sisällä olevat heilurit, jotka maanjäristyksen ilmaantuessa tasoittavat aaltoliikkeen aiheuttamaa heilumista (Koshihara, 2012) (Yirka, 2013). Valmistautuminen on katastrofienhallinnan hallinnollinen osa. Se lukee sisäänensä muun muassa hätätoimintasuunnitelman, henkilöstöhallinnon, kriittisten kohteiden identifioinnin sekä hätätilanteissa käytettävien rakennusten määrittämisen (FEMA, 2002). Reagointi on kenties näkyvin osa katastrofienhallintaa ja siihen kuuluu katastrofien aikainen hätäapu, loukkaantuneiden avustaminen, kriittisen infrastruktuurin palauttaminen

ja kriittisten palvelujen, kuten lainvalvonnan ja julkisen hallinnon ylläpitäminen katastrofitilanteessa. Toipuminen on osaltaan hieman reagointia muistuttava, mutta se voi jatkua kuukausia tai jopa vuoden katastrofin tapahtumisen jälkeen. Siihen kuuluu infrastruktuurin uudelleenrakentamisen lisäksi muun muassa katastrofin tuhoamien työpaikkojen palkkojen tukeminen, kriisineuvonnat ja uusien suunnitelmien luonti tapahtuneen perusteella (FEMA, 2002).

Maat voivat sisäisen katastrofienhallinnan lisäksi tehdä myös yhteistyötä tarjoten humanitääristä apua katastrofeista kärsiville maille. Esimerkiksi Ulko-ministeriön mukaan ”Suomi osallistuu kansainväliseen kriisinhallintaan ulko- ja turvallisuuspoliittisin perustein osana kansainvälistä vastuunkantoa ja yhteisen turvallisuuden rakentamista”. (Ulkoministeriö, ei pvm).



Kuvio 4: Katastrofinhallintasykli

### 3.4 Yhteenveto

Luonnonkatastrofeja sekä antropogeenisiä katastrofeja esiintyy ympäri maailmaa, ja niiden aiheuttamat vahingot aiheuttavat merkittäviä sekä taloudellisia että sosiaalisia ongelmia. Vuosittain pelkästään luonnonkatastrofien aiheuttamiin ilmiöihin kuolee yli 60000 ihmistä, ja ne vaikuttavat merkittävimmin matalan tulotason maissa, jossa resurssien puutteiden vuoksi infrastruktuuri niiden estämiseen ja niihin vastaamiseen ei ole tarpeeksi korkealla tasolla (Ritchie & Roser, 2019).

Useimmin esiintyvä luonnonkatastrofi-ilmiö on tulvat, joita havainnoidaan noin sadasta kahteensataan vuodessa (Ritchie & Roser, 2019). Tulvat eivät kuitenkaan ole luonnonkatastrofeista tuhoisimpia, vaan eniten sosiaalista ja taloudellista vahinkoa aiheuttavat maanjäristykset (EMDAT, 2019). Maanjäristykset eivät ole tulvien tapaan säännöllisiä, joten niiden tuhoisuus näkyy tilastoissa terävinä piikkeinä. Esimerkiksi vuonna 2009 maanjäristykset aiheuttivat 1893 ihmisen kuoleman, kun taas vuoden 2010 Haitin maanjäristyksen seurauksena uhriluku nousi 226773:een ja vuonna 2011, pääasiassa Japanissa tapahtuneen maanjäristyksen vuoksi, uhreja oli ainoastaan 20946 (EMDAT, 2019).

Katastrofienhallinta puolestaan on moniportainen prosessi yhteiskunnan toimintakyvyn ylläpitämiseksi. Se koostuu katastrofin mahdollisuuden lieventämisestä, siihen valmistautumisesta sekä reagoinnista ja sen jälkeisestä toipumisesta (FEMA, 2002).

Luonnonkatastrofien esiintymislokaatioita ei voida teknologian kehittymisestä huolimatta ennustaa tarkasti, joten niihin varautuminen on haastavaa (Reese, 2016). Varsinkin matalan tulotason maissa niihin varautuminen on usein puutteellista ja niihin ei voida soveltaa katastrofinestoinfrastruktuuria samalla skaalalla kuin korkeamman tulotason maissa. Tästä syystä helposti skaalautuva, edullinen ja helppokäyttöinen ensireagointityökalu voisi pelastaa vuosittain useita ihmishenkiä.

## 4 Mobiilin ad hoc -verkon hyödyntäminen katastrofitilanteissa

Katastrofien jälkeen mahdollisesti loukkuun jääneitä henkilöitä on perinteisesti etsitty manuaalisesti mm. koirien, kameroiden, huutamisen ja kuuntelun avulla. Kyseiset menetelmät ovat toimintakyvyltään varmoja, mutta niiden tehokkuudesta on ristiriitaisia tuloksia (Cayirci & Coplu, 2007). Tällä vuosituhannella ratkaisuksi on tarjottu monia teknisiä toteutuksia, kuten esimerkiksi Meissner et al.-tutkimusryhmän ehdotus integroidusta vastaus- ja pelastustoiminnasta (Meissner, Luckenbach, Risse, Kirste, & Kirchner, 2002). Yhteiskunnan digitalisoituessa myös perinteiset toimialat ja prosessit, kuten katastrofienhallinta, tulee digitalisoitumaan nopeasti.

Tällä hetkellä iso osa katastrofialttiiden kehittymättömien maiden katastrofien hallinnasta tukeutuu kehittyneiden maiden tukemaan kriittiseen infrastruktuuriin (DRM, ei pvm). Ulkopuolisen tuen sijaan ottamalla käyttöön matkapuhelimissa toimivan mobiiliin ad hoc -verkkoon tukeutuvan viestintäjärjestelmän katastrofienhallinnasta tulisi todennäköisesti lokaalimpaa ja paikallisen yhteisön rooli mahdollisesti kasvaisi.

Tällä hetkellä yleisesti hyväksyttyä standardia ad hoc -verkkojen hyödyntämiseksi ei ole vielä olemassa. Tästä syystä kappaleessa käsitellään ad hoc -verkon hyötyjä ja haittoja katastrofienhallinnan alueelta sekä eritellään erilaisia mahdollisia implementaatioita ja käytänteitä samalta aihealueelta. Oletuksena on, että mobiili ad hoc -verkko on muodostettu lähes jokaisesta matkapuhelinlaitteesta löytyvien Bluetooth-yhteyksien avulla.

### 4.1 Mobiilin ad hoc -verkon hyötypuolet katastrofitilanteissa

Mobiililla ad hoc -verkolla on useita hyötypuolia niin arkikäytössä kuin kriisitilanteissa. Tässä kappaleessa käsitellyt hyödyt pohjautuvat olettamukseen, että katastrofin tapahtuessa perinteiset matkapuhelinyhteydet eivät toimisi ja internetiin ei olisi pääsyä. Tapahtunut katastrofi puolestaan voi olla joko luonnonkatastrofi tai antropogeeninen.

#### 4.1.1 Penetroitumiskyky

Maailmassa on tällä hetkellä hieman yli 7,7 miljardia asukasta ja noin 4,5 miljardilla heistä eli 58,8 %:lla on pääsy internetiin (Stats, 2019). Vastavuoroisesti puhelimia on noin 5,17 miljardilla ihmisellä eli noin 66 %:lla maapallon asukasluvusta. Kaiken kaikkiaan käytössä olevia matkapuhelinlaitteita on tutkielman kirjoitushetkellä hieman alle 9,4 miljardia (GSMA, 2019). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ihmisiä, jotka omistavat matkapuhelimen mutta joilla ei ole pääsyä internetiin, on yli 600 miljoonaa.

Voidaan myös olettaa, että matkapuhelinverkko-yhteydet kaikilla alueilla eivät takaa jatkuvaa yhteyttä kantaverkkoon. Esimerkiksi Suomessa, maassa jossa matkapuhelinyhteydet ovat varsin kattavat, voidaan havaita suurehkoja katvealueita kaikilla teleoperaattoreilla niin GSM-verkossa kuin nopeammissa 3G- ja LTE-verkoissa (GSMA, 2019).

Monissa muissa maissa tilanne on vielä merkittävästi huonompi. Esimerkiksi Etiopiassa GSM-verkko on saatavilla ainoastaan suuremmissa kaupungeissa (GSMA, 2019). Näiden ulkopuolella matkapuhelinverkkoa ei käytännössä ole lainkaan ja kommunikointi on tehtävä kalliiden satelliittipuhelinten välityksellä (Tobias, 2013).

Kuten edellä mainittiin, yli 600 miljoonaa ihmistä omistaa matkapuhelimen mutta ei pysty käyttämään internet-yhteyttä sen kanssa. Ad hoc -verkkoon tukeutuva kommunikaatio ei tarvitse internetiä toimiakseen, ja se pystytään toteuttamaan lähes jokaisen puhelimesta löytyvän Bluetoothin avulla (Asaf, Sarwar, Hanif, Talib, & Khan, 2017). Täten sen käyttöönotto on verrattain halpaa, eikä infrastruktuurin pystyttäminen vaadi liiallisia resursseja, koska vanha laitteisto on teknologiansa puolesta käyttökelpoista. Matkapuhelinlaitetietokanta PhoneDB:n mukaan 15195 matkapuhelinlaitetta 16061:sta tietokannassa listatusta tukee Bluetoothia ja täten ad hoc -implementaatio jossain muodossa on periaatteessa mahdollista toteuttaa lähes 95 %:lle olemassa olevista laitteista (PhoneDB, 2019).

#### **4.1.2 Loukkaantuneiden löytäminen triangulaation avulla**

Ad hoc -verkon muodostaman kokonaisuuden avulla olisi mahdollista paikallistaa loukkaantuneita. Pelkästään Bluetoothilla muodostetulla verkolla voidaan tällä hetkellä rajoitetussa mittakaavassa paikallistaa ad hoc -verkossa kiinni oleva laite (Park, Noh, & Cho, 2016). Tätä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi raunioihin loukkuun jääneiden paikallistamisessa olettaen, että heidän laitteissaan on jatkuva ad hoc -verkko tai Bluetooth-yhteys päällä.

Jatkotutkimuksena voitaisiin esimerkiksi tutkia, onko mahdollista toteuttaa sekä GPS- että Bluetooth-yhteyksiä hyödyntävä verkko, jolloin havainnoinnista voitaisiin tehdä vielä tarkempi.

#### **4.1.3 Lokaalius**

Yksi merkittävimmistä hyötypuolista MANET:in käytössä on sen lokaalius (Ghosh, Philip, & Qiao, 2007). Se mahdollistaa mm. nopean yhteisöllisen pelastustoiminnan. Sen sijaan, että ensimmäiset hetket katastrofitilanteen jälkeen tulisi elää tiedottomuudessa esimerkiksi siitä, miten omat läheiset voivat, mobiiliin ad hoc -verkon kanssa voidaan kartoittaa yhteisön sen hetkinen tilanne. Myös loukkuun jääneiden ihmisten avustaminen on mahdollista ja heidän sijaintinsa pystytään määrittämään, jos heidän laitteensa on toimintakuntoinen ja he ovat kykeneväisiä sitä käyttämään.

#### 4.1.4 Skaalautuvuus

Koska mobiili ad hoc -verkko on nimensä mukaisesti rakenteellisesti verkko, on sen mahdollista skaalautua lähestulkoon rajattomasti (Palma & Curado, 2014). Niin pitkään kuin alueella on ihmisiä, verkko pystyy peittämään alleen alueen, joka aiemmin on ollut täysin matkapuhelinyhteyksien ulottumattomissa. Tämä mahdollistaa ensipelastustoimet ja kommunikaation alueilla, joilla se ei ole aikaisemmin ole ollut yhtä yksinkertaisesti mahdollista (Yonatan, 2017).

#### 4.1.5 Käyttönoton yksinkertaisuus

Yksinkertaisimmillaan mobiilin ad hoc -verkon käyttämisen aloittaminen on niinkin yksinkertaista kuin sovelluksen lataaminen puhelimeen ja sen käynnistäminen (Ribs, 2019). Myös teleoperaattorit voivat asentaa ad hoc -pelastusverkon käytön mahdollistavan sovelluksen puhelimen mukana, kun se ostetaan tai liittymää vaihdetaan. Myös puhelimen vienti fyysisesti matkapuhelinpalveluita tarjoavaan liikkeeseen ja sitä kautta sovelluksen asentaminen on mahdollista.

#### 4.1.6 Riippumattomuus palveluntarjoajista ja valtiosta

Mobiili ad hoc -verkko toimii käytännössä hajautetusti usean eri laitteen välillä, ja tästä syystä se ei vaadi palveluntarjoajien toimenpiteitä toimiakseen (Ayari, Kamoun, & Pujolle, 2008). Esimerkiksi laajamittaisten sähkökatkosten aikaansaatmat tai valtion päätöksen vuoksi katkaistut perinteiset kommunikaatioyhteydet eivät estäisi ihmisten välistä kommunikaatiota.

Viime vuosina totalitaaristen hallitusten toimesta kommunikaatioyhteyksiä on katkaistu esimerkiksi Intiassa (Bhardwaj, 2019) (Netblocks, 2019) ja Iranissa (Netblocks, 2019). Tämä vaikeuttaa niin tavallisten ihmisten kuin yritysten toimintaa näissä valtioissa. Mobiilin ad hoc -verkon avulla kommunikaatiota pysyttäisiin käymään esimerkiksi perheenjäsenten kesken maan sisäisesti.

#### 4.1.7 Varoitusilmoitukset

Katastrofin tapahtuessa ad hoc -verkon kautta lokaali tai valtiollinen hallitus voisi mahdollisesti lähettää yleisen viestin puhelimesta puhelimelle. Esimerkiksi yleisesti katastrofitilanteissa käytettyä Common Alerting Protocol (CAP) -protokollaa voitaisiin hyödyntää ad hoc -verkkojen kanssa (Oasis, 2010). Varoitusilmoitus voitaisiin lähettää joko lokaalisti jonkin hallinnollisen toimijan toimesta, tai jos jokin ad hoc -verkon jäsenistä on kiinni internetissä, voitaisiin viesti ohjata ulkomaailmasta ad hoc -verkon sisälle.

#### **4.1.8 Kriisitilanteen kommunikaation toimivuus**

Tutkiessaan Haitin maanjäristyksen pelastustoimenpiteitä Nolte ja Beonigk havaitsivat pelastushenkilöstön muodostaman verkoston ja sen aktiivisuuden vaikuttavan positiivisesti pelastustoiminnan sujuvuuteen (Nolte & Beonigk, 2013). Mobiilin ad hoc -verkon avulla pelastushenkilöstö voisi mahdollisesti keskustella muiden organisaatioiden edustajien kanssa tehokkaasti tehostaen näin verkoston toimivuutta ja edistäen pelastustoimia. Koska pelastustoimet eivät ole kisa siitä, mikä organisaatio pelastaa eniten, yhteinen kommunikaatiokanava eri pelastusorganisaatioiden välillä voisi olla potentiaalinen pelastustehokkuuden kasvattaja.

### **4.2 Haasteita mobiilin ad hoc -verkon käytössä katastrofitilanteissa**

Uudet käytänteet ja sovellukset tuovat aina haasteensa niiden implementaatiovaiheessa. Tästä syystä haasteet MANET:in käyttöönotossa ja sen käytössä tulee ottaa huomioon toimintaa suunniteltaessa. Alla on eritelty joitain haasteita, joita mobiilin ad hoc -verkon käytössä voidaan mahdollisesti havainnoida. Haasteisiin on myös pyritty antamaan mahdollisia ratkaisuehdotuksia.

#### **4.2.1 Kantaman riittämättömyys**

Merkittävin ongelma ad hoc -verkkojen käytössä on yhteyden kantama. Bluetooth-protokollaa ei alun perin ollut suunniteltu pitkien välimatkojen kattamiseen, joten vanhemmissa laitteissa kantama saattaa olla vain muutaman metrin luokkaa. Tämä saattaa olla ongelma katastrofitilanteen jälkeen haavoittuneita etsittäessä tai yritettäessä kommunikoida muiden alueella olevien selviytyjien kanssa.

Nykypuhelimissa kantama ulkotiloissa on kuitenkin yleensä vähintään kymmenen metriä, ja esteettömästi se voi olla jopa huomattavasti enemmän (Bluetooth, 2019). Signaalin tehokkuutta voidaan kuitenkin tehostaa Bluetooth-toistimella, jolloin signaalin kantamaksi voidaan saada jopa 100 metriä (United States of America Patent No. US6968153B1, 2000). Tällöin laitteessa kiinni olevat Bluetoothia tukevat laitteet pystyisivät kommunikoimaan kauempana sijaitsevien laitteiden kanssa.

#### **4.2.2 Laitteiden erot**

Implementaatio- ja Bluetooth-versioiden erojen vuoksi yhtä koodikantaa ei välttämättä voida sellaisenaan käyttää kaikilla eri laitteilla. Esimerkiksi Intiassa Pew Researchin vuonna 2018 toteuttaman tutkimuksen mukaan vain 32 %:lla väestöstä on käytössään älypuhelin, jolla voi ottaa yhteyden internetiin. 47 %:lla



väestöstä on tavallinen matkapuhelin, jossa ei ole internetyhteyksmahdollisuutta, mutta sillä voidaan käyttää Bluetooth-yhteyksiä (Pew Research Center, 2019). Tämä ero laitteissa kasvattaa kehityskustannuksia ja vaatii kehittäjiä ottamaan vanhemmat laitteet, joita ei ole valmistettu enää vuosiin, huomioon.

#### **4.2.3 Verkon pystyttämisen haastavuus**

Koska riskialueilla ei välttämättä ole internetiä käytettävissä, ad hoc -verkon muodostavaa palvelua tai sovellusta voi olla haastavaa levittää näille alueille. Yksi vaihtoehto ongelman ratkaisuun olisi esimerkiksi asentaa valmiiksi kaikkiin uusiin tai käytettyinä myytäviin puhelimiin valmiina valtion tukema mobiilia ad hoc -verkkoa hyödyntävä palvelu. Myös paikalliset puhelinkauppiat voisivat omissa toimipisteissään asentaa asiakkaan puhelimeen sovelluksen.

#### **4.2.4 Verkon häirintä**

Mobiili ad hoc -verkko ei ole täysin turvassa häirinnältä. Esimerkiksi varsin triviaalisti hankittava häirintälaitte voi sulkea tietyltä alueelta langattoman kommunikaation kokonaan. Myös Man-in-the-Middle (MitM) -hyökkäykset, jossa viesti kaapataan ja luetaan välissä, ovat mahdollinen riski ad hoc -verkkojen kontekstissa (Mutchukota, Panigrahy, & Jena, 2011). Riskiä voidaan lieventää päittäisellä salauksella, jota tukee merkittävin osa moderneista viestintäsovelluksista, joten sen implementaatio olisi verrattain triviaalia myös ad hoc -viestinnässä (moxie0, 2016) (Whatsapp, 2019).

#### **4.2.5 Verkon väärinkäyttö**

Esimerkiksi korruptoituneet hallinnolliset toimijat voivat käyttää verkkoa väärin propagandan välineenä, jos verkossa on mahdollisuus lähettää lokaalisti varoitust viestejä. Tällä tavalla viralliselta vaikuttavat negatiivissävytteiset ilmoitukset saattaisivat levittää valheellista tietoa esimerkiksi hallinnollisen toimijan vastapuolesta tai tätä vastustavista ihmisryhmistä. Toisaalta lokaaliuden vuoksi propaganda ei välttämättä lähtisi leviämään verkon kantaman ulkopuolelle ja jäisi ainoastaan kommunikaatiosta eristäytyneelle alueelle.

Selkeää estettä tälle ei välttämättä ole, vaan järjestelmän toimivuus pohjautuisi pitkälti luottamukseen, kuten monien muiden hajautettujen ja federoitujen järjestelmien kanssa (Xiu & Liu, 2005) (Chun & Bavier, 2004).

### 4.3 Nykytilanne mobiilin ad hoc -verkon käytössä ja tutkimuksessa katastrofitilanteissa

Iso osa MANET-verkkojen tutkimuksesta ei suoranaisesti keskity pelkkään pelastustoimintaan vaan käsittelee verkon toimintaa laajemmin. Tästä syystä tutkimuskentän nykytilannetta kartoittaessa ei voida keskittyä ainoastaan katastrofitilanteita käsitteleviin tutkimuksiin. Osassa alla esitetyistä tutkimuksista toimivuus katastrofitilanteessa on kuitenkin ollut merkittävänä määrittäjänä.

MANET-tutkimusten voidaan katsoa jakautuvan kolmeen eri luokkaan: niiden toimintalogiikkaa parantamaan pyrkivään tutkimukseen, niiden tietoturvaa parantavaan tutkimukseen ja niiden toimintatehokkuutta parantavaan tutkimukseen. Käytännön sovelluksista tutkimusta on tehty mm. mahdollisten verkon järjestelyjen ja organisaation muodossa. Alla on eriteltyinä merkittävimmät tutkimuskohteet ja joitain niihin liittyviä merkittäviä tuloksia.

#### 4.3.1 Toimintalogiikka

Tällä hetkellä yhtä yleisesti hyväksyttyä käytössä olevaa standardia mobiilien ad hoc -verkkojen käyttöön kriisitilanteessa ei ole olemassa. Ehdotuksia on kuitenkin monia, kuten esimerkiksi Named Data Networking (NDN) eli nimetyt dataverkon käyttö (Jin, et al., 2018), Reliable Routing Techniquen (RRT) eli luotettavan reititystekniikkaan käyttö (Menon, Pathrose, & Priya, 2016), adaptiivisen hallintaverkon hyödyntäminen (Shen, Srisathapornphat, & Jaikaeo, 2003) sekä ohjelmallisesti määritellyn verkon hyödyntäminen (Streit, Rodday, Steuber, Schmitt, & Rodosek, 2019). Yhteistä kaikilla tutkimuskentän ehdotuksilla on kuitenkin se, että tarve tällä hetkellä MANET:ia hyödyntävään työkaluun hätäaputilanteissa on akuutti.

#### 4.3.2 Tietoturva

Katastrofitilanteessa MANET-verkon pystyessä pysyminen on äärimmäisen tärkeää, joten sen tietoturvan kehittämiseksi on toteutettu useita eri tutkimuksia. Verkon tietoturvan vahvistamiseksi on ehdotettu mm. päätöspuun käyttöä (Jim & Chacko, 2019), monikerroksisen turvauksen hyödyntämistä (Sindhuja & Vadivel, 2018), *"IDS and Trust solution Collaborated with Ack based approach"* (ITCA) (Marathe & Shinde, 2019) sekä sumean logiikan käyttöä (Majon, Mohammed, Raghavendiran, & Vijayan, 2012).

Tutkimusta on toteutettu myös MANET-verkon tietoturva-aukoista ja mahdollisista uhkista. Havaittuja uhkia ovat mm. madonreikähyökkäykset (Sharma & Sharma, 2016), viestin muokkaus, viestin väärennös, hajautettu palvelunesto sekä sybil-hyökkäys, jossa esiinnyttään jonain toisena toimijana (Ghaffari, 2006). Lisäksi tutkimusta on toteutettu tietoturvallisen verkkoarkkitehtuurin rakentamisesta (Garg & Mahapatra, 2009).

### 4.3.3 Tehokkuus

MANET-verkko vaatii laitteiltaan käytännössä jatkuvaa prosessointitehoa, joten verkon tehostaminen ja laskentatehojen vaatimusten minimoiminen on äärimmäisen tärkeää laitteistolle, varsinkin kun tarkoituksena on muodostaa mahdollisimman universaalisti toimiva järjestelmä. Tehokkuuden ehostamiseksi tutkimusta on toteutettu mm. tehokkaampien reititysalgoritmien, esimerkiksi Fuzzy C-Mean Clustering ja Differential Evolution, hyödyntämisestä (Pachauri & Gupta, 2019) tai ristikerroksen palvelunvalintaprotokollan käytöstä (Rekik, Baccouche, & Ghezala, 2012).

### 4.3.4 Käytännön sovellukset

Vaikka vasta viime vuosina MANET:in käyttö on tullut huomattavasti mahdollisemmaksi lähes jokaiselta löytävän lähettimen ja vastaanottimen eli puhelimen muodossa, tutkimusta MANET:ia puhelinten kautta hyödyntävästä järjestelmästä on tehty 2000-luvun alusta lähtien. Esimerkiksi Osakan yliopistossa tehdyn tutkimuksen mukaan yksi mahdollinen toteutustapa olisi muodostaa katastrofiherkälle alueelle verkko puhelinten ja autojen navigaattorijärjestelmien avulla. Tämä alue olisi hajautettu ruudukkoon, jonka jokainen järjestelmässä kiinni oleva laite tunnistaisi. Ruudukkoa hyödyntämällä laitteet voisivat katastrofin tapahtuessa ilmoittaa loukkaantuneen henkilön summittaisen sijainnin (Umedu, Urabe, Tsukamoto, Sato, & Higashino, 2006).

Tutkimusta on tehty myös erilaisten reititysalgoritmien vertailusta realistisen katastrofitilanteen simulaatiossa. Tutkimuksessa huomattiin, että tuolloiset huippuluokan reititysalgoritmit eivät välttämättä ottaneet huomioon yhteyden väliaikaista katkeamista, joka johti merkittävään datapakettien katoamiseen matkalla (Raffelsberger & Hellwagner, 2012). Tutkijakaksikon ratkaisuehdotus oli Distribution Tolerant Network (DTN) eli häirinnälle tolerantti verkko, josta he kehittivätkin prototyypin heti seuraavana vuonna (Raffelsberger & Hellwagner, 2013).

Liikkuvuusmallien muodostuminen katastrofitilanteissa on myös yksi käytännön tutkimusaiheista. Liikkuvuusmallien avulla mobiilien ad hoc -verkkojen kehityksessä voidaan ottaa huomioon ihmisten liikkeet ja täten optimoida verkon toimivuus mahdollisimman tehokkaaksi (Sichitiu, 2009). Normaalisti liikkuvuusmalleja on ollut mahdollista muodostaa olemassa olevan rakennelmien perusteella, mutta katastrofitilanteessa todennäköisyys muuttuneeseen maastoon on suuri, jolloin liikkuvuusmallien muodostaminenkin tulee tehdä askel kerrallaan (Ebenezer, 2014).

### 4.3.5 MANET:in käyttö katastrofitilanteissa tutkimusten ulkopuolella

Tällä hetkellä yleisesti käytössä olevaa järjestelmää, joka hyödyntäisi MANET:ia katastrofien hallinnassa ja riskien minimoimisessa, ei kattavasta tutkimuksesta huolimatta ole yleisessä käytössä. Sen sijaan MANET:ia on käytetty

vaihtoehtoisena viestintäkanavana tilanteessa, jossa valtio on joko estänyt kansalaisiltaan pääsyn internetiin tai seuraa kansalaisten kommunikaatiota perinteisten verkkoyhteyksien kautta. Kyseistä toimintatapaa on todistetusti esiintynyt Irakissa (Kuchler & Kerr, 2014), Hong Kongissa (Koetsier, 2019) ja Venäjällä (Milian, 2015).

## 5 Yhteenveto

Katastrofeja tapahtuu vuosittain tuhansittain, ja yhtenäisen turvaverkon muodostaminen riskiherkkien alueiden asukkaille on tärkeää. Tässä tutkielmassa käsiteltiin yhtä mahdollista ratkaisua kyseiseen ongelmaan. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena mobiilien ad hoc -verkkojen toiminnasta ja käytöstä katastrofitilanteissa. Lisäksi käsiteltiin aiheeseen liittyviä katastrofien ilmentymiä.

Tutkielmaa lähdettiin rakentamaan määrittämällä ensin langattomat verkot, joista puolestaan eriteltiin langattomat ad hoc -verkot, jotka vielä spesifioitiin mobiileiksi ad hoc -verkoiksi. Tämän jälkeen määriteltiin erilaiset antropogeeniset katastrofit sekä luonnonkatastrofit ja niiden ilmenemismuodot. Luvussa myös pyrittiin antamaan jokaisesta katastrofista esimerkki ja pieni kuvaus siitä, miten MANET voisi siihen liittyvissä katastrofinhallintatoimissa auttaa. Lisäksi perinteisestä katastrofienhallinnasta muodostettiin ytimekäs kuvaus. Alun alustus oli tärkeää ajatellen neljännessä luvussa käsiteltyä mobiilien ad hoc -verkkojen hyödyntämistä katastrofitilanteissa. Luvussa käsiteltiin MANET:in hyötyjä ja haasteita katastrofienhallinnan kontekstissa sekä esiteltiin tutkimuskentän nykytilannetta.

Alussa asetettuihin tutkimuskysymyksiin ”*Kuinka langattomia ad hoc -verkoja hyötykäytetään katastrofien hallinnassa?*” ja ”*Voidaanko perinteistä katastrofinhallintaa parantaa modernien teknologioiden avulla?*” pystyttiin vastaamaan kirjallisuuskatsauksen myötä.

Tutkielmassa selvisi, että tällä hetkellä selkeää suunnitelmallista käyttöä mobiileilla ad hoc -verkoilla katastrofitilanteissa ei ole. Tutkimusta aiheen tiimoilta on kuitenkin toteutettu jo 2000-luvun alusta lähtien, mutta vasta viime vuosina kannettavien laitteiden tehostuessa ja yhteyksien parantuessa näitä suunnitelmia on ollut mahdollista realisoida. Kirjallisuuskatsauksen myötä selvisi myös, että merkittävä osa MANET:eja käsittelevästä tutkimuksesta ei ole suoranaisesti yhteydessä katastrofeihin ja niihin liittyviin pelastustoimiin. Esimerkiksi puolustusteollisuuteen ja geneeriseen MANET-tutkimukseen liittyviä tutkimuksia oli useita.

Kirjallisuuskatsauksen myötä selvisi myös, että perinteistä katastrofienhallintaa pystytään MANET:in kanssa parantamaan. Hyödyiksi havaittiin mm. kasvanut lokaaliuden merkitys, ensipelastamisen helpottuminen sekä loukkaantuneiden löytämisen helpottuminen. Huomattiin myös, että MANET mahdollistaisi aiemmin katastrofitilanteessa kommunikaatiokyvyttömän ihmisryhmän kommunikaation, mikä puolestaan voisi johtaa suurempaan ihmishenkien pelastamiseen katastrofitilanteessa.

Lähteiden hakeminen kirjallisuuskatsausta varten oli verrattain triviaalia ja aiheesta oli toteutettu merkittävästi tutkimusta. Haastetta artikkelien haussa muodosti osa artikkeleista, jotka olivat selkeästi plagioituja, mikä puolestaan hankaloitti alkuperäisen artikkelin löytämistä. Asiaan perehtymisen myötä selvisi, etten ollut ainoa, joka asian on huomannut, vaan plagiointi on ilmeisesti isompikin ongelma, mikä johtuu joidenkin tutkimusinstituutioiden

keskittymisestä julkaisujen määrään laadun sijaan (Juyal, Thawani, & Thaledi, 2015). Asiaan ei ole olemassa helppoa ratkaisua, ja tehtäväksi jääkin tutkijan osalta löytää aiheen tiimoilta relevantit ja legitiimit artikkelit.

Jatkotutkimusaiheita MANET:ien käytöstä katastrofitilanteissa nousi esiin muutama. Tutkimusta voitaisiin toteuttaa esimerkiksi käytännön sovelluksista enemmän, sillä tällä hetkellä merkittävä osa tutkimuksesta oli puhtaasti teoreettista. Esimerkiksi yksinkertainen mobiilia ad hoc -verkkoa hyödyntävä järjestelmä voitaisiin jakaa riskialueen asukkaille ja mahdollisen katastrofin tapahtuessa seurata sovelluksen toimintaa ja ihmisten etenemistä.

Tutkielman toteuttaminen onnistui verrattoman vaivattomasti, ja aiheesta oli helppo löytää tutkimusmateriaalia. Myös aihe pystyttiin pitämään samana koko tutkimusprosessin ajan, eikä sitä tarvinnut ruveta muuttamaan esimerkiksi skaalaongelmien vuoksi. Kirjoitusprosessi eteni kronologisessa järjestyksessä ja aiheesta toiseen hyppelehtivää kirjoittamista tuli verrattain vähän, poissulkien muutamaan otteeseen tapahtunut faktojen tarkastamisen.

Kirjoitusprosessiani jälkeenpäin reflektoineena en välttämättä lähtisi muokkaamaan lopun kokonaisuutta. Sen sijaan alussa suunnitelman olisi voinut toteuttaa hieman paremmin ja suunnitelmallisemmin, sillä nykytaktiikalla joissain kohdissa lukua jatkavan materiaalin etsimiseen meni kirjoittamisen sijaan merkittävästi aikaa.

## Lähdeluettelo

- Ōkuman kaupunki. (31. 10 2019). Ōkuma chōmin no higai hinan jōkyō [Ōkuman kaupungin asukkaiden vahinko- ja evakuointitilanne]. Ōkuma, Fukushima, Japani. Haettu 14. 11 2019 osoitteesta <https://www.town.okuma.fukushima.jp/soshiki/jumin/1007.html>
- Abada, A. (2002). *Disasters & Emergencies - Definitions*. WHO/EHA - Panafrikan Emergency Training Centre.
- Android Developers. (2019). *Create P2P connections with Wi-Fi Direct*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Android Developers: <https://developer.android.com/training/connect-devices-wirelessly/wifi-direct>
- Apple. (2019). *MultipeerConnectivity*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Apple Developer Documentation: <https://developer.apple.com/documentation/multipeerconnectivity>
- Asaf, K.;Sarwar, M. U.;Hanif, M. K.;Talib, R.;& Khan, I. (2017). A Review of Bluetooth based Scatternet for Mobile. ) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications Vol. 8, No. 6*, 402-406.
- Ayari, M.;Kamoun, F.;& Pujolle, G. (2008). Towards Autonomous Mobile Ad Hoc Networks: A Distributed Policy-Based Management Approach. *2008 The Fourth International Conference on Wireless and Mobile Communications* (ss. 201-206). Athens, Greece: IEEE.
- Bevere, L.;Pourrabbani, M. S.;& Sharan, R. (11. 4 2018). *sigma 1/2018: Natural catastrophes and man-made disasters in 2017: a year of record-breaking losses*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta Swiss Re: <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2018-01.html>
- Beyer, D. (1990). *Accomplishments of the DARPA SURAN Program*.
- Bhardwaj, M. (5. 8 2019). *India isolates Kashmir by shutting down communications as big change announced*. Haettu 15. 12 2019 osoitteesta Reuters: <https://www.reuters.com/article/us-india-kashmir-blackout/india-isolates-kashmir-by-shutting-down-communications-as-big-change-announced-idUSKCN1UV1R7>
- Bigdoli, H. (2004). *The Internet Encyclopedia - Volume 2*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Bluetooth. (2019). *Understanding Bluetooth Range*. Haettu 17. 12 2019 osoitteesta Bluetooth Technology Website: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/bluetooth-range/>
- Bolt, B. A. (24. 10 2019). *Earthquake | Definition, causes, effects & Facts*. Haettu 13. 11 2019 osoitteesta Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology>
- Bradshaw, C.;Sodhi, N.;Peh, K.-H.;& Brook, B. (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 2379-2395.

- Bullock, J.;Haddow, G.;& Coppola, D. (2016). *Introduction to Emergency Management 6th Edition*. Oxford: Elsevier.
- Cayirci, E.;& Coplu, T. (2007). SENDROM: Sensor Networks for Disaster Relief Operations Management . *Wireless Networks*, 535-537.
- Chong, Y. C.;Wee, S. K.;Lian, S. S.;& Hui, J. T. (2006). Mobile Ad Hoc Networking. *DSTA Horizons*, 76-85.
- Chun, B. N.;& Bavier, A. (2004). Decentralized Trust Management and Accountability in Federated Systems. *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE.
- Cisco Systems. (2018). *Cisco Visual Networking Index 2018*. 11. Cisco Systems. Haettu 27. 11 2019 osoitteesta <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>
- Clark, C. (1987). Deforestation and Floods. *Environmental Conservation Vol. 14, No. 1*, 67-69.
- Courtney, C. (9. 11 2019). *Central China flood, 1931*. Noudettu osoitteesta Disaster History: <http://www.disasterhistory.org/central-china-flood-1931>
- CRED. (2019). *The International Disaster Database*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: [https://www.emdat.be/emdat\\_db/](https://www.emdat.be/emdat_db/)
- Dangi, A.;& Tiwari, K. K. (2016). A Secure Hybrid Communication Approach for Disaster Recovery System in MANETS: Review Paper. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering (IJARCSEE) Volume 5, Issue 1*. IJARCSEE.
- Doocy, S.;Daniels, A.;Murray, S.;& Kirsch, T. (2013 ). The Human Impact of Floods: a Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review. *PLOS Currents Disasters*. 2013 Apr 16 . Edition.
- DRM. (ei pvm). *Disaster Management for Critical Infrastructure*. Haettu 14. 12 2019 osoitteesta World Institute for Disaster Risk Management: <http://www.drmonline.net/projects/infrastructure.htm>
- Ebenezer, J. (2014). A mobility model for MANET in large Scale disaster scenarios. *17th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)* (ss. 59-64). Dhaka, Bangladesh: IEEE.
- EMDAT. (2019). *Number of reported natural disasters*. OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium. doi:<http://www.emdat.be/>
- FEMA. (2002). *Phases Of Emergency Management*.
- Fourde, M. J.;& Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 2161-2181.
- Frodigh, M.;Johansson, P.;& Larsson, P. (2000). Wireless ad hoc networking – The art of networking without a network. *Ericsson Review No. 4*, 248-263.
- Garg, N.;& Mahapatra, R. (2009). MANET Security Issues . *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.9 No.8, , 241-246.
- Ghaffari, A. (2006). Vulnerability and Security of Mobile Ad hoc Networks. *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization* (ss. 124-129). Lisbon, Portugal: WSEAS.



- Ghosh, J.; Philip, S.; & Qiao, C. (2007). Sociological orbit aware location approximation and routing (SOLAR) in MANET. *Ad Hoc Networks Volume 5, Issue 2,,* 189-209.
- GSMA. (2019). *Definitive data and analysis for the mobile industry*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta GSMA Intelligence: <https://www.gsmaintelligence.com>
- GSMA. (2019). *Ethio Telecom coverage map in Ethiopia*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta GSMA - Network Coverage Maps: <https://www.gsma.com/coverage/#710>
- GSMA. (2019). *Network Coverage in Finland*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta GSMA - Network Coverage Maps: <https://www.gsma.com/coverage/#185>
- Harms, W. (1. 4 2014). *Ancient stormy weather: World's oldest weather report could revise bronze age chronology*. Haettu 9. 11 2019 osoitteesta University of Chicago News: <http://news.uchicago.edu/story/worlds-oldest-weather-report-could-revise-bronze-age-chronology>
- Hayano, R. S.; & Adachi, R. (2013). Estimation of the total population moving into and out of the 20 km evacuation zone during the Fukushima NPP accident as calculated using "Auto-GPS" mobile phone data. *Proceedings on the Japan Academy, Series B physical and biological sciences*, 196-199.
- Heinonen, T.; Laitinen, T. M.; & Lempiö, J. (2000). *United States of America Patenttinro US6968153B1*.
- Helsingin Yliopiston Seismologian Insituutti. (12. 3 2019). *Seismologian sanastoa | Seismologian instituutti*. Haettu 14. 11 2019 osoitteesta Helsingin Yliopisto: <https://www.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti/maanjaristykset/perustietoa-maanjaristyksista/seismologian-sanastoa>
- Honcharenko, W.; Kruys, J.; Lee, D.; & Shah, N. (1997). Broadband Wireless Acces. *IEEE Communications Magazine January*, 20-26.
- IAEA. (ei pvm). *Chernobyl Nuclear Accident, Resources, News updates*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta International Atomic Energy Agency: <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl>
- IEEE Standards Association. (07. 12 2016). *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*. Haettu 24. 10 2019 osoitteesta IEEE Standards Association: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7786995>
- ISPRA. (2016). *World Landslides Forum: Each year, landslides cause damage to 6 billion Euros*. Rome: Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale.
- IWA Publishing. (9. 11 2019). *Flood Control and Disaster Management*. Noudettu osoitteesta IWA Publishing: <https://www.iwapublishing.com/news/flood-control-and-disaster-management>
- Jim, L. E.; & Chacko, J. (2019). Decision Tree based AIS strategy for Intrusion Detection in MANET. *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (ss. 1191-1195). Kochi, Intia: IEEE. Noudettu osoitteesta <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8929362>
- Jin, Y.; Tan, X.; Feng, W.; Lv, J.; Tuerxun, A.; & Wang, K. (2018). MANET for Disaster Relief based on NDN. *Proceedings of 2018 1st IEEE International*

- Conference on Hot Information-Centric Networking* (ss. 147-153). Shenzhen, China: IEEE.
- Juyal, D.;Thawani, V.;& Thaledi, S. (2015). Rise of academic plagiarism in India: Reasons, solutions and resolution. *Lung India, Sep-Oct; 32*, 542-543.
- Kahn, R. (1975). The organization of computer resources into a packet radio network. *National Computer Conference*, (ss. 177-186).
- Kahn, R.;Gronemeyer, S.;Burchfiel, J.;& Kunzelman, R. (1978). Advances in Packet Radio Technology. *Proceedings of the IEEE, vol. 66, no. 11*, 1468-1498.
- Koetsier, J. (2. 9 2019). *Hong Kong Protestors Using Mesh Messaging App China Can't Block: Usage Up 3685%*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Forbes: <https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2019/09/02/hong-kong-protestors-using-mesh-messaging-app-china-cant-block-usage-up-3685>
- Koshihara, M. (2012). Creating Earthquake-Resistant Buildings. *The University of Tokyo Magazine*.
- Kuchler, H.;& Kerr, S. (12. 6 2014). *Private internet' FireChat app grows in popularity in Iraq*. Haettu 6. 12 2019 osoitteesta Financial Times: <https://www.ft.com/cms/s/0/ef9602b0-f807-11e3-90fa-00144feabdc0.html>
- Kurose, J.;& Ross, K. (2013). *Computer Networking: A Top-Down Approach 6th edition*. Addison-Wesley.
- Maeda, M.;Oe, M.;Bromet, E.;Yasumura, S.;& Ohto, H. (2016). Fukushima, mental health and suicide. *Journal of Epidemiology & Global Health*, 843-844.
- Majon, V.;Mohammed, A.;Raghavendiran, N.;& Vijayan, R. (2012). A Novel Security Framework Using Trust and Fuzzy Logic in MANET. *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.3, No.1*, 285-299.
- Marathe, N.;& Shinde, S. (2019). Improved ITCA Method to Mitigate Network-Layer Attack in MANET. *Advances in Intelligent Systems and Computing Vol 1049*, 245-253.
- Marathe, N.;& Shinde, S. (2019). ITCA, an IDS and Trust Solution Collaborated with ACK Based Approach to Mitigate Network Layer Attack on MANET Routing. *Wireless Personal Communications Vol 107*, 393-416.
- Meissner, A.;Luckenbach, T.;Risse, T.;Kirste, T.;& Kirchner, H. (2002). Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System. *EEE Workshop on Disaster Recovery Networks, June 24*.
- Menon, V.;Pathrose, J. P.;& Priya, J. (2016). Ensuring Reliable Communication in Disaster Recovery Operations with Reliable Routing Technique. *Mobile Information Systems, Vol 2016*.
- Merriam-Webster. (2019). *Flood | Definition of Flood*. Haettu 8. 11 2019 osoitteesta Merriam-Webster: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/flood>
- Milian, M. (1. 1 2015). *Russians Are Organizing Against Putin Using FireChat Messaging App*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/news/2014-12-30/russians-are-organizing-against-putin-using-firechat-messaging-app.html>

- Miniwatts Marketing Group. (30. 6 2019). *Internet Usage Statistics*. Haettu 27. 10 2019 osoitteesta Internet World Stats: <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- moxie0. (17. 11 2016). *Safety number updates*. Noudettu osoitteesta Signal Blog: <https://signal.org/blog/safety-number-updates/>
- Mutchukota, T. R.;Panigrahy, S. K.;& Jena, S. K. (2011). Man-in-the-Middle Attack and Its Countermeasure in Bluetooth Secure Simple Pairing. *Computer Networks and Intelligent Computing. ICIIP 2011. Communications in Computer and Information Science, vol 157* (ss. 367-376). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Narahan kaupunkin jälleenrakennusvirasto. (2014). *Narahachō jūmin ikō chōsa chōsa kekka (sokuhō-ban) [Naraha Town, Fukushima prefektuuri, jälleenrakennusvirasto: Asukaskyselyn tulos]*. Naraha: Naraha Town. Noudettu osoitteesta [http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-4/ikoucyousa/20140228\\_02\\_ikouchousa\\_sokuhounaraha.pdf](http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-4/ikoucyousa/20140228_02_ikouchousa_sokuhounaraha.pdf)
- National Police Agency of Japan. (2019). *Police Countermeasures and Damage Situation associated with 2011 Tohoku district - off the Pacific Ocean Earthquake*.
- Neef, A.;& Shaw, R. (2013). *Risks and Conflicts: Local responses to natural disasters*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Netblocks. (13. 12 2019). *Evidence of Internet shutdown in Assam and beyond as India pushes through Citizenship Amendment Bill*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Netblocks: <https://netblocks.org/reports/evidence-of-assam-internet-shutdown-as-india-pushes-citizenship-amendment-bill-9AkMJZyD>
- Netblocks. (15. 11 2019). *Internet disrupted in Iran amid fuel protests in multiple cities*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Netblocks: <https://netblocks.org/reports/internet-disrupted-in-iran-amid-fuel-protests-in-multiple-cities-pA25L18b>
- Nolte, I. M.;& Beonigk, S. (2013). A Study of Ad Hoc Network Performance in Disaster Response. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly Vol 42*, 148-173.
- Oasis. (1. 7 2010). *Common Alerting Protocol Version 1.2*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Oasis Open: <http://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2.pdf>
- Pachauri, N.;& Gupta, N. (2019). An Improved Energy Efficient Routing Algorithm (FCM and DE) in MANETs. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education Vol 5 Issue 3*, 463-472.
- Palma, D.;& Curado, M. (2014). Scalable Routing Mechanisms for Mobile Ad Hoc Networks. *Resource Management in Mobile Computing Environments, Vol. 3*, 65-114.
- Pandey, J., Kush, A., Dattana, V., & Al Ababseh, R. (2016). Novel scheme to heal MANET in smart city network. *3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*. Muscat, Oman: IEEE.
- Park, H.;Noh, J.;& Cho, S. (2016). Three-dimensional positioning system using Bluetooth low-energy beacons. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.

- Pathan, K. A.-S. (2011). *Security of Self-Organizing Networks - MANET, WSN, WMN, VANET*. Boca Raton: Taylor and Francis Group.
- Pew Research Center. (5. 3 2019). *Across emerging economies, smartphones – rather than basic or feature phones – are often the most widespread type of mobile device*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Pew Research Center: [https://www.pewresearch.org/internet/2019/03/07/use-of-smartphones-and-social-media-is-common-across-most-emerging-economies/pi\\_2019-03-07\\_global-mobile\\_-1-03/](https://www.pewresearch.org/internet/2019/03/07/use-of-smartphones-and-social-media-is-common-across-most-emerging-economies/pi_2019-03-07_global-mobile_-1-03/)
- PhoneDB. (2019). *List of Mobile Devices Supporting Bluetooth*. Haettu 17. 12 2019 osoitteesta PhoneDB: [http://phonedb.net/index.php?m=device&s=query&d=detailed\\_specs#result](http://phonedb.net/index.php?m=device&s=query&d=detailed_specs#result)
- Plaza Homes. (28. 2 2018). *Earthquake Resistance of Buildings in Japan*. Noudettu osoitteesta Plaza Homes: <https://www.realestate-tokyo.com/news/earthquake-resistance-of-buildings-in-japan/>
- Powers, M.; Monson, M. J.; Zimmermann, F. S.; & Einav, S. (2019). Anthropogenic Disasters. *Critical Care Clinics Volume 34, Issue 4*, 647-658.
- Prime Minister's Office of Japan. (ei pvm). *Saigai ni taisuru gokatei de no sonae ~ kore dake wa junbi shite okou! [Valmistaudu katastrofivalmiuteen kotona!]*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta Prime Minister's Office of Japan: <https://www.kantei.go.jp/jp/headline/bousai/sonae.html>
- Qian, Z., Tian, X., Chen, X., Huang, W., & Wang, X. (2014). Multicast Capacity in MANET with Infrastructure Support. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Volume 25, Issue 7*, 1808-1818.
- Radio Sweden. (17. 5 2016). *Security tightened after suspected sabotage of TV-transmitter*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta Radio Sweden | Sveriges Radio: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=2054&artikel=6434036>
- Raffelsberger, ..;& Hellwagner, H. (2013). A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios. *Third International Workshop on Pervasive Networks for Emergency Management* (ss. 505-510). San Diego: IEEE.
- Raffelsberger, C.;& Hellwagner, H. (2012). Evaluation of MANET Routing Protocols in a Realistic Emergency Response Scenario. *10th International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded System* (ss. 88-92). Klagenfurt, Austria: IEEE.
- Reese, A. (12. 6 2016). *How We'll Predict the Next Natural Disaster*. Haettu 28. 11 2019 osoitteesta Discover Magazine: <https://www.discovermagazine.com/planet-earth/how-well-predict-the-next-natural-disaster>
- Reinsel, D.; Gantz, J.;& Rydning, J. (11 2018). *The Digitization of the World - From Edge to Core*. International Data Corporation.
- Rekik, J. D.; Baccouche, L.;& Ghezala, H. B. (2012). An energy efficiency and delay guarantee service selection protocol in MANET. *16th IEEE Mediterranean*

- Electrotechnical Conference* (ss. 498-501). Yasmine Hammamet, Tunisia: IEEE.
- Ribs, J. (15. 8 2019). *How To Use The Bridgefy Offline Messaging App*. Noudettu osoitteesta Medium: <https://medium.com/bridgefy/how-to-use-the-bridgefy-offline-messaging-app-b4799af7649b>
- Ritchie, H.;& Roser, M. (2019). *Natural Disasters*. Noudettu osoitteesta Our World in Data: <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Roser, M. (2019). *War and Peace*. Noudettu osoitteesta Our World in Data: <https://ourworldindata.org/war-and-peace>
- Saeed, Y.;Lodhi, S. A.;& Ahmed, K. (2013). Obstacle Management in VANET using Game Theory and Fuzzy Logic Control. *ACEE International Journal of Computing, Vol 4*, 9-13.
- Sharma, P. K.;& Sharma, V. (2016). Survey on security issues in MANET: Wormhole detection and prevention. *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2016)* (ss. 637-640). Noida, India: IEEE.
- Shen, C.-C.;Srisathapornphat, C.;& Jaikaeo, C. (2003). An adaptive management architecture for ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine February 2003*, 108-115.
- Shoch, J.;& Stewart, L. (1979). *Internetwork Experiments with the Bay Area Packet Radio Network*. Palo Alto: Palo Alto Research Center.
- Sichitiu, M. L. (2009). Mobility Models for Ad Hoc Networks. *Guide to Wireless Ad Hoc Networks*, 237-254.
- Sindhuja, S.;& Vadivel, R. (2018). A Study on Intrusion Detection System of Mobile Ad-hoc Networks. *Soft Computing for Problem Solving, Volume 2*, 307-316.
- Sorokin, P. A. (1942). *Man and society in calamity*. E.P. Dutton & Co.
- Statcounter. (8 2019). *Desktop vs Mobile vs Tablet Market Share Worldwide*. Haettu 27. 10 2019 osoitteesta Statcounter: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile-tablet/worldwide#monthly-201908-201908-bar>
- Stats, I. W. (2019). *World Internet Users and 2019 Population Stats*. Haettu 12. 16 2019 osoitteesta Internet World Stats: <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- Streit, K.;Rodday, N.;Steuber, F.;Schmitt, C.;& Rodosek, G. D. (2019). Wireless SDN for Highly Utilized MANETs. *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* (ss. 226-234). Barcelona, Spain: IEEE.
- The Japan Times. (9. 11 2019). *Japan Typhoon Tips: What to do before, during and after*. Noudettu osoitteesta The Japan Times: <https://www.japantimes.co.jp/japan-disaster-information/typhoon-preparation/>
- The Sasakawa Peace Foundation. (2012). *The Fukushima Nuclear Accident and Crisis Management*. Tokyo: The Sasakawa Peace Foundation.

- Timberlake, L.;O'Keefe, P.;Tinker, J.;Cheney, B.;& McCormack, C. (1984). *Natural Disasters: Acts of God-Or Acts of Man?* Earthscan.
- Tippett, M. (2018). Extreme weather and climate. *npj Clim Atmos Sci* 1, 45. doi:10.1038/s41612-018-0057-1
- Tobias, M. W. (18. 3 2013). *How And When To Buy A Satellite Phone*. Haettu 15. 12 2019 osoitteesta Forbes.
- Toh, C. K. (2001). *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*. Pearson Education.
- Toh, C.-K. (1997). Associativity-Based Routing For Ad-Hoc Mobile Networks. *Wireless Personal Communications Journal*.
- Toh, C.-K. (1997). *Wireless Atm and Ad-Hoc Networks: Protocols and Architectures*. Cambridge: Springer-Science+Business Media, LLC.
- Tokyo Electric Power Company. (2013). *The Development of and Lessons from the Fukushima Daiichi Nuclear Accident*. Tokyo: Tokyo Electric Power Company, Inc.
- Ulkoministeriö. (ei pvm). *Kriisinhallinta*. Haettu 1. 12 2019 osoitteesta Ulkoministeriö: <https://um.fi/kriisinhallinta>
- Umedu, T.;Urabe, H.;Tsukamoto, J.;Sato, K.;& Higashino, T. (2006). A MANET protocol for information gathering from disaster victims. *Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*. Pisa, Italy: IEEE.
- Union of Concerned Scientists. (2018). *The Science Connecting Extreme Weather to Climate Change*. Union of Concerned Scientists.
- United States. Congress. Senate. Committee on Appropriations. Subcommittee on the Department of Homeland Security. (2015). *Rebuilding After Hurricane Sandy: Hearing Before a Subcommittee of the Committee on Appropriations, United States Senate, One Hundred Thirteenth Congress, First Session : Special Hearing, March 1, 2013, Staten Island, NY*. U.S. Government Publishing Office.
- USGS. (ei pvm). *Earthquake Hazards 101 - the Basics*. Haettu 14. 11 2019 osoitteesta The USGS Earthquake Hazards Program of the U.S. Geological Survey: <https://earthquake.usgs.gov/hazards/learn/basics.php>
- Whatsapp. (2019). *End-to-end encryption*. Haettu 16. 12 2019 osoitteesta Whatsapp FAQ: <https://faq.whatsapp.com/general/28030015/>
- World Nuclear Association. (6 2019). *Chernobyl Accident 1986*. Haettu 16. 11 2019 osoitteesta World Nuclear Association: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>
- WWF. (2019). *Natural Disasters - Floods*. Haettu 8. 11 2019 osoitteesta WWF: [http://wwf.panda.org/knowledge\\_hub/teacher\\_resources/webfieldtrips/natural\\_disasters/floods/](http://wwf.panda.org/knowledge_hub/teacher_resources/webfieldtrips/natural_disasters/floods/)
- Xiu, D.;& Liu, Z. (2005). A Formal Definition for Trust in Distributed Systems. *Information Security. ISC. Lecture Notes in Computer Science, vol 3650*, 482-489.

- Xu, J., Wang, Z., Shen, F., Ouyang, C., & Tu, Y. (2016). Natural disasters and social conflict: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 17, 38-48.
- Yirka, B. (2. 8 2013). *Japanese companies develop quake damping pendulums for tall buildings.* Haettu 29. 11 2019 osoitteesta Phys.org: <https://phys.org/news/2013-08-japanese-companies-quake-damping-pendulums.html>
- Yonatan, R. (28. 8 2017). *How to Communicate During a Disaster.* Noudettu osoitteesta GetVoiP: <https://getvoip.com/blog/2017/08/28/communicate-during-disaster/>
- Zanjireh, M.;& Larijani, H. (2015). A Survey on Centralised and Distributed Clustering Routing Algorithms for WSNs. *IEEE Vehicular Technology Conference.*