



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Kustannustehokkaat riskienhallintatoimenpiteet kuljetusverkostossa (Valmiin työn esittely)

Joonas Lanne

23.2.2015

Ohjaaja: Eeva Vilkkumaa

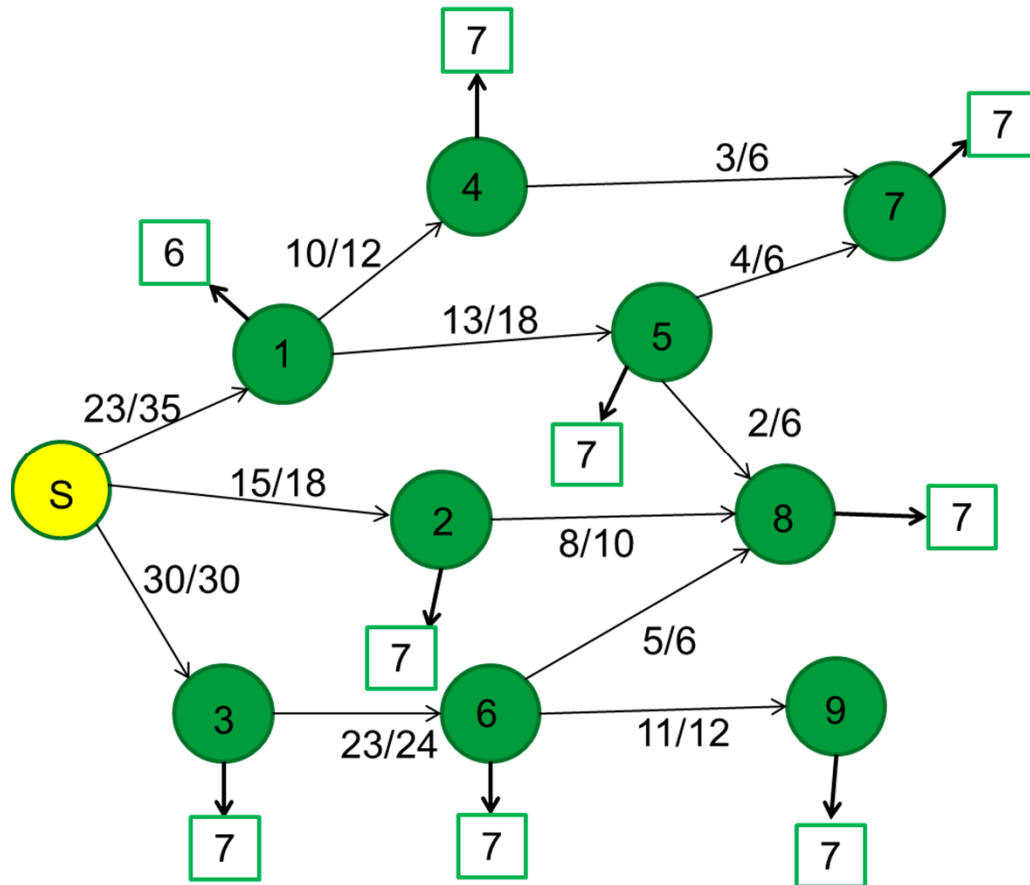
Valvoja: Ahti Salo

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Kuljetusverkostot kriittisten infrastruktuurien mallina

- Yhteiskunnan toimivuus riippuu merkittävästi kriittisistä infrastruktuureista kuten sähkönjakeluverkostoista.
- Näitä verkostoja voidaan kuvata malleilla, joissa solmut ovat yhdistetty toisiinsa kaarilla.
 - Esimerkiksi voimala yhdistetty jakelukeskuksiin kaapeleilla
- Osa solmuista on lähteitä tai nieluja.
 - Lähteistä virtaus kaaria pitkin nieluihin
- Tavoitteena on täyttää nielujen kysyntä, kun kaarilla on jokin virtausta rajoittava maksimikapasiteetti.

Esimerkkiverkosto



Kokonaiskysynnän
täyttöaste = 100%

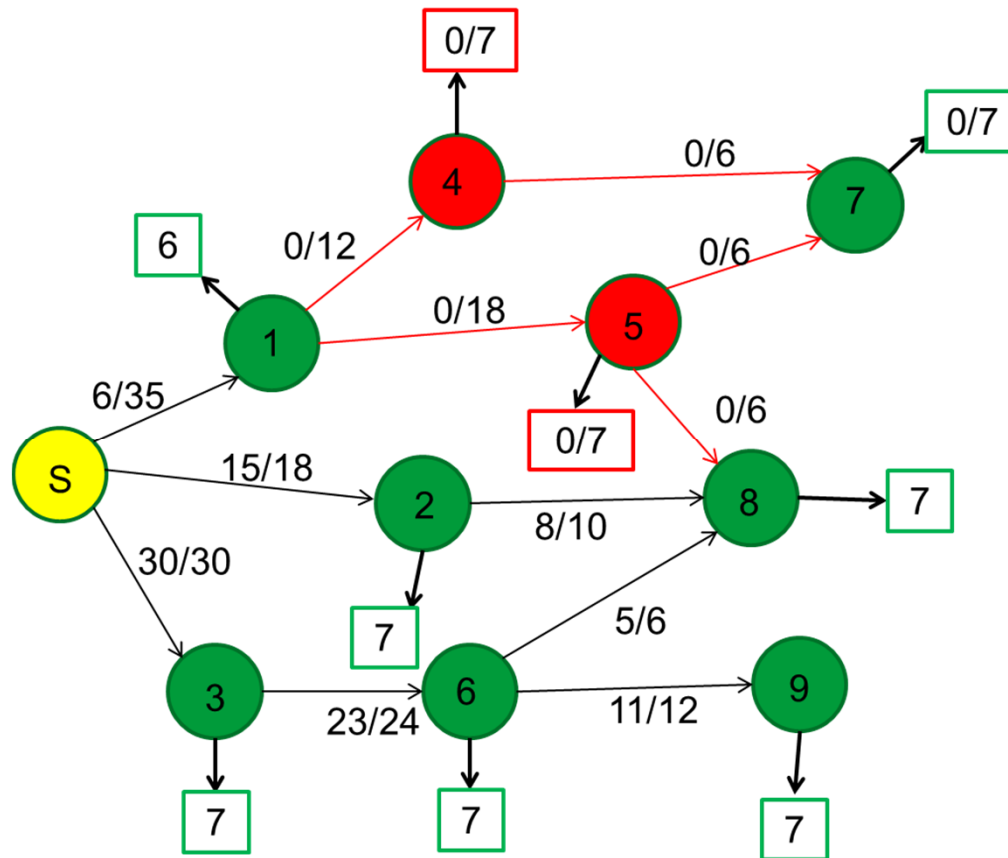
Vikaantumistapahtumat ja verkon suorituskyky (1/2)

- Kuljetusverkoston solmut saattavat vikaantua esimerkiksi poikkeuksellisten sääilmiöiden tai ilkeivallan seurauksena.
- Vikaantuneet solmut ja niihin liittyvät kaaret ovat käyttökelvottomia vikojen korjaamiseen kuluvan ajan verran.
- Kokonaiskysynnän täyttöaste jollekin vikaantuneiden solmujen yhdistelmälle voidaan laskea ratkaisemalla maksimivirtaus sen verkoston läpi, josta vikaantuneet solmut on poistettu.

Vikaantumistapahtumat ja verkon suorituskyky (2/2)

- Solmuilla on toisistaan riippumattomat vikaantumistodennäköisyydet -> solmuyhdistelmän vikaantumistodennäköisyys on yksittäisten solmujen vikaantumistodennäköisyyksien tulo.
- Verkon suorituskykyä voidaan mitata tutkimalla kysynnän täyttöastejakaumia erilaisten vikaantumisyhdistelmien todennäköisyyksien valossa.

Esimerkki vikaantuneesta verkostosta



Kokonaiskysynnän
täyttöaste = 75%

2^9 vikaantumis-
realisaatiota

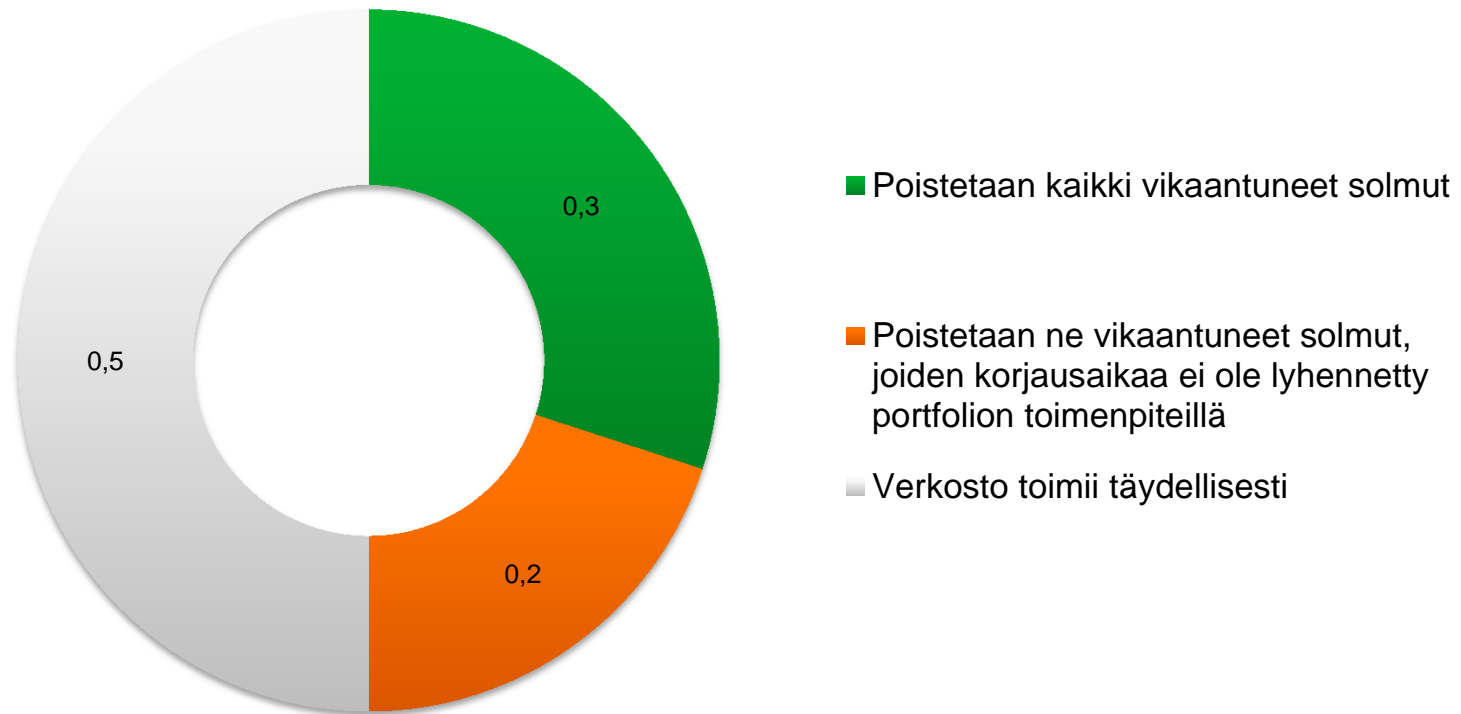
Riskienhallintaportfolio

- Verkoston odotusarvoista suorituskykyä voidaan parantaa erilaisilla riskienhallintatoimenpiteillä:
 - Solmujen vikaantumistodennäköisyyttä voidaan pienentää.
 - Solmujen korjausaikaa voidaan lyhentää.
- Toimenpiteet maksavat, joten ne on syytä valita kustannustehokkaasti.
- Työssä on kehitetty malli, jonka avulla voidaan tunnistaa verkon odotusarvoisen suorituskyvyn maksimoivat riskienhallintaportfoliot eri budjeteilla.

Optimaalisten portfolioiden laskeminen (1/2)

- Kiinnitetään budjetti.
- Valitaan jokin tehokas portfolio (ts. sellainen johon ei voida lisätä toimenpiteitä rikkomatta budjettirajoitetta).
- Käydään läpi kaikki solmujen vikaantumiskombinaatiot.
- Tarkastellaan valitulla portfolioilla ja kullakin vikaantumiskombinaatiolla verkon tilaa kolmeen osaan jaetun aikaikkunan yli.

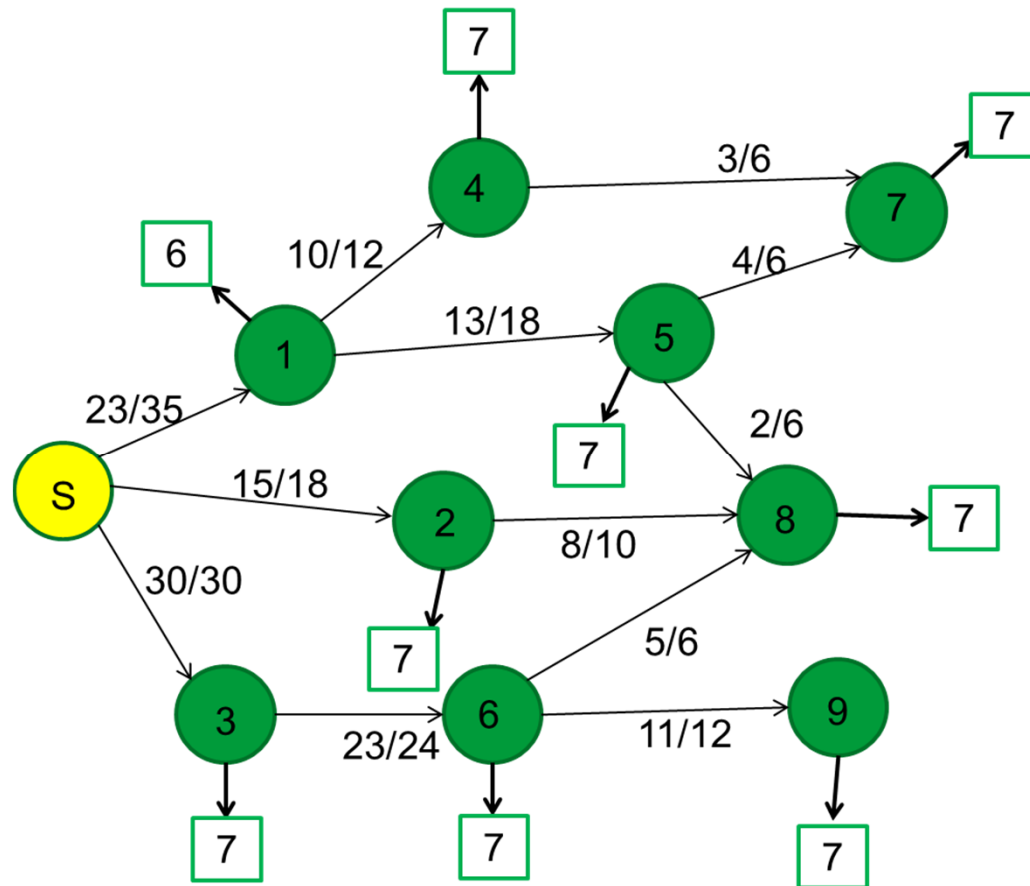
Numeerisessa esimerkissä käytetty aikaikkuna



Optimaalisten portfolioiden laskeminen (2/2)

- Ratkaistaan maksimivirtaus kunkin osan aikana ja keskiarvoistetaan saatu tulos aikaikkunan yli.
 - Saadaan kokonaiskysynnän täyttöaste jokaiselle vikaantumiskombinaatiolle valitulla portfolioilla.
- Lasketaan jokaisen vikaantumiskombinaation todennäköisyys ottamalla huomioon todennäköisyyksiä pienentävät toimenpiteet valitussa portfolioissa.
 - Saadaan kokonaiskysynnän odotusarvoinen täyttöaste.
- Lasketaan tällä tavoin odotusarvoinen täyttöaste jokaiselle tehokkaalle portfolioille ja etsitään optimaaliset portfoliot eri budjettien puitteissa.

Esimerkki



Verkon alkutila:

Solmun

vikaantumistodennäköisyys:
0.1%

Korjausaika:
0.5t

Riskienhallintatoimenpiteet:

Piennennetty

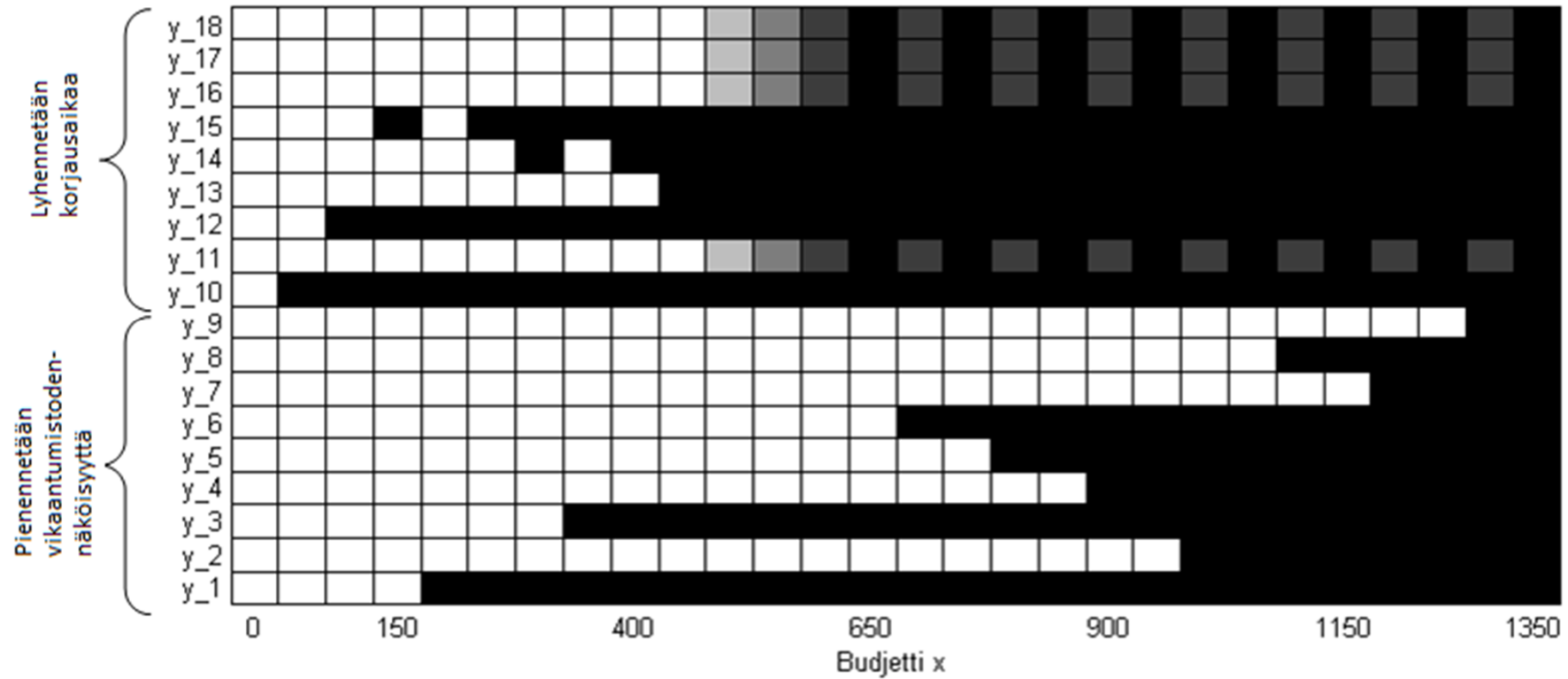
vikaantumistodennäköisyys:
0.05%, kustannus 100

Lyhennetty korjausaika:
0.3t, kustannus 50

Käydään läpi vain sellaiset kombinaatiot, joissa vikaantumisia on maksimissaan 3 (katetaan 99,99% tapauksista)

t = aikaikkunan pituus

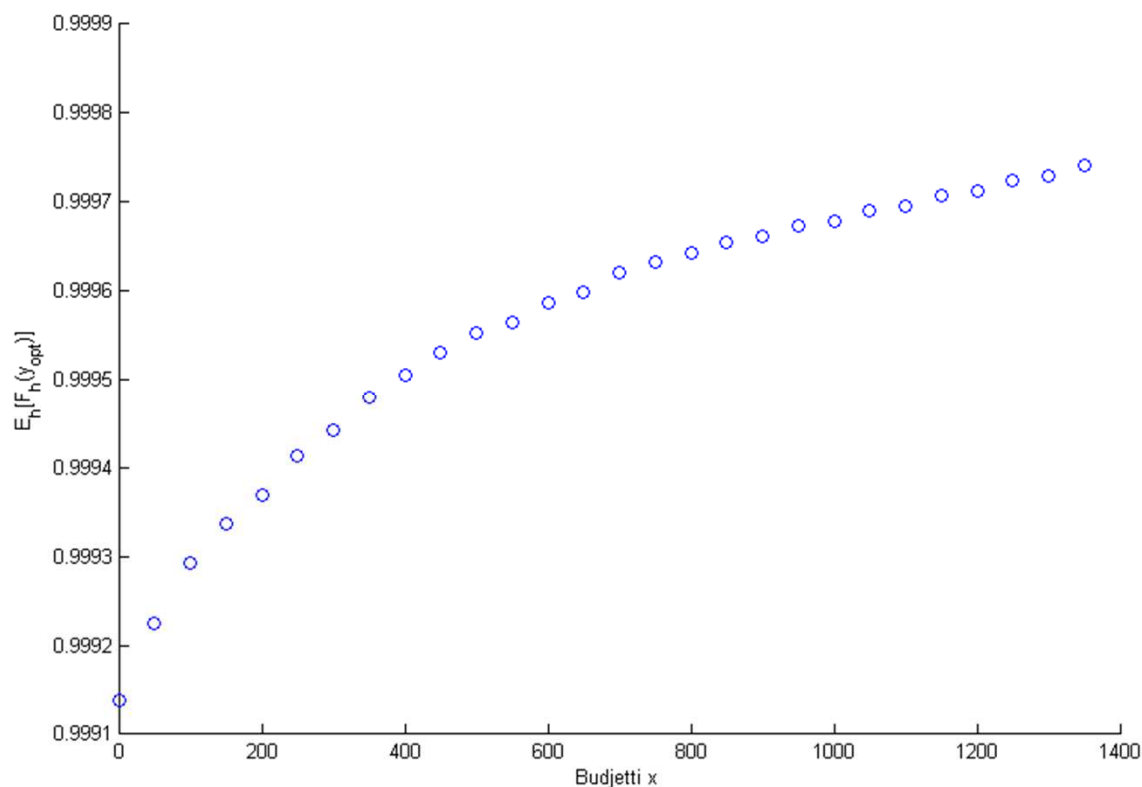
Optimaaliset portfoliot eri budjeteilla



Tulosten tulkintaa

- Toimenpiteet 1,10 ja 12 mukana kaikissa portfolioissa, joissa budjetti on yli 200.
 - Ts. suojataan solmu 1 kunnolla ja solmu 3 ”osittain”
 - Verkoston rakenteesta nähdään, että solmujen 1 ja 3 läpi kulkevat suurimmat virtaukset.
 - Solmuihin 4,5 ja 7 kulkee reitti ainoastaan solmun 1 kautta.
 - Solmuihin 6 ja 9 kulkee reitti ainoastaan solmun 3 kautta.
- Toimenpiteet 7,8 ja 9 otetaan käyttöön vasta todella suurilla budjeteilla.
 - Verkoston ”päätisolmuja”, joista hyödykkeet eivät enää virtaa eteenpäin

Kysynnän odotusarvoinen täyttöaste optimaalisilla portfolioilla



Tulkinta:
0.0001 parannus
kokonaiskysynnän
täyttöasteessa
vastaa noin yhden
tunnin
vähenemistä
vuosittaisissa
sähkökatkoissa.

Yhteenveto

- Analyttinen optimointimalli tukee kustannustehokkaiden riskienhallintatoimenpiteiden valintaa, kun
 - Tarkastellaan kriittisiä infrastruktuureja kuvaavia verkostoja.
 - Kustannusrajoitteena on yksi budjetti.
 - Verkoston vikaantumiskombinaatioiden ja toimenpideyhdistelmien eksponentiaalinen kasvu solmujen määrän funktiona aiheuttaa laskennallisia haasteita.
 - Työ antaa pohjan jatkolle, jossa voidaan huomioida
 - Enemmän mahdollisia riskienhallintatoimenpiteitä
 - Portfoliot, jotka eivät ole binäärisiä
-