

Miikka Savelius

# Failover Cluster – Microsoftin vaihtoehto korkean saatavuuden palveluihin

Tradenomi  
Tietojenkäsittely  
Kevät 2020



KAMK • University  
of Applied Sciences

## **Tiivistelmä**

**Tekijä(t):** Savelius Miikka

**Työn nimi:** Failover Cluster – Microsoftin vaihtoehto korkean saatavuuden palveluihin

**Tutkintonimike:** Tradenomi, tietojenkäsittely

**Asiasanat:** Failover Cluster, Hyper-V, klusterointi, korkea saatavuus

Työn tarkoituksena on sisäistää klusteroinnin tarkoitukset ja hyödyt. Lisäksi työssä tarkastellaan syvällisemmin Microsoftin tarjoamaa vaihtoehtoa klusterointiin.

Klusteri on ryhmä tietokoneita, jotka toimivat yhdessä, siten että ne vaikuttavat yhdeltä järjestelmältä ja suorittavat yhteisiä tehtäviä. Klusterointi on datacenter-puolen tärkeimpiä tapoja ylläpitää korkeaa saatavuutta sekä minimoida mahdolliset huolto- ja palvelukatkokset. Toinen mahdollinen käyttötarkoitus klustereilla on yhdistää tietokoneiden suorituskyky ratkaisemaan niille yhteistä ongelmaa. Näitä suorituskykyklustereita voidaan kutsua myös nimellä supertietokone.

Klusterointi mahdollistaa myös laitteiden resurssien tehokkaamman hyödyntämisen. Klustereille on ominaista kuormituksen tasaaminen, jolloin kaikki klusteroidusta laitteistosta on tasaisessa käytössä. Korkean saatavuuden ydin on kaikkien systeemin komponenttien kahdentaminen. RAID eli Redundant Array of Independent Disks on tekniikka, jolla huolehditaan pääsääntöisesti datan kahdentamisesta. Yleensä kahdentamisen kohteena on myös virtalähteet ja verkkokytkimet.

Failover Cluster on Microsoftin Windows Server käyttöjärjestelmien mukana tuleva valinnallinen klusterointityökalu. Failover Cluster on pääsääntöisesti tarkoitettu Microsoftin palveluille, mutta se tukee myös kolmannen osapuolen sovelluksia. Tärkein Failover Clusterin ominaisuus on Hyper-V:n tukeminen. Hyper-V on Microsoftin virtualisointialusta. Virtualisoinnilla tarkoitetaan käyttöjärjestelmien ajamista toisen sisällä. Virtualisoinnilla mahdollistetaan fyysisten resurssien tehokkaampi käyttö sekä eri käyttöjärjestelmien ajaminen samassa ympäristössä.

Työssä asennettiin kolme Windows Server 2016 -virtuaalikoneetta. Yhdestä virtuaalikoneesta tehtiin domain controller ja kaksi muuta liitettiin kyseiseen domainiin. Tämän jälkeen jäsenkoneille asennettiin tarvittavat roolit mukaan lukien Failover Cluster. Jäsenkoneista tehtiin klusteri, jolle annettiin jokin tehtävä. Lopuksi testattiin jatkaako klusteri tehtävän suorittamista, kun toinen noodeista pudotetaan pois.

Failover Clusteria testatessa ilmeni, etteivät sen kaikki ominaisuudet toimi virtuaalisessa ympäristössä. Selvisi kuitenkin, että jos Windows-pohjaisia palveluita halutaan klusteroida, Failover Cluster on varteenotettava vaihtoehto.

## **Abstract**

**Author(s):** Savelius Miikka

**Title of the Publication:** Failover Clustering – Microsoft’s Solution for High Availability

**Degree Title:** Bachelor of business Information Technology

**Keywords:** Failover Cluster, Hyper-V, Clustering, High Availability

The aim of this thesis is to understand the purposes and benefits of clustering. In addition, the work will look in more depth at Microsoft's clustering option.

A cluster is a group of computers that work together so that they look like one system. Clustering is one of the most important ways to maintain high levels of availability in datacenters. Another use of clusters is to connect the performance of computers to solve a common problem. These performance clusters can also be called supercomputers.

Clustering also enables more efficient utilization of hardware resources. Clusters often have load balancer. The core of high availability is the duplication of all system components. RAID, or Redundant Array of Independent Disks, is a technique that is used for data redundancy. Power supplies and network switches are usually also redundant.

Failover Cluster is an optional clustering tool included with Microsoft Windows Server operating systems. Failover Cluster is mainly used for Microsoft services, but it also supports third-party applications. The main feature of Failover Cluster is support for Hyper-V. Hyper-V is Microsoft's virtualization platform. Virtualization is the process of running a virtual instance of a computer system in a separate layer from the actual hardware. Virtualization allows for more efficient use of physical resources and running different operating systems in the same environment.

In the work, three Windows Server 2016 virtual machines are installed. One of the virtual machines will be made into domain controller and two others are connected to that domain. After that, required roles, including the Failover Cluster, are installed to the two machines. Then the two machines are made into a cluster, which is given a task. Finally, it is tested whether the cluster continues to perform the task when one of the nodes is dropped.

In the testing of Failover Cluster, it is revealed that not all of its features work in a virtual environment. However, it became clear that if you want to cluster Windows based services, Failover Cluster is a viable option.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Klusteroinnin perustieto.....	2
3	Microsoftin Failover Cluster .....	6
4	Microsoftin Failover Clusterin ominaisuudet .....	7
4.1	Scale-Out-tiedostopalvelin .....	7
4.2	Fault Domain Awareness .....	7
4.3	Virtual Machine Load Balancing.....	8
4.4	Cluster Sets .....	8
4.5	Storage Spaces Direct .....	8
4.6	Cluster and pool quorum & Witness .....	9
4.6.1	Quorum.....	9
4.6.2	Witness.....	10
5	Microsoftin Failover Clusterin käyttötarkoitukset .....	11
5.1	Hyper-V Replica Broker.....	12
5.2	Virtual Machine.....	12
6	Microsoftin Failover Clusterin vaatimukset.....	13
6.1	Laitteistovaatimukset .....	13
6.2	Muut vaatimukset .....	13
7	Microsoftin Failover Clusterin hallinta .....	15
7.1	Cluster-Aware Updating .....	15
7.2	Health Service .....	15
8	Failover Clusterin käyttöönottoesimerkki .....	16
8.1	Asentaminen .....	16
8.2	Konfigurointi .....	16
8.3	Testaus.....	18
9	Yhteenveto.....	20
	Lähteet .....	21

## **Symboliluettelo**

DHCP: lyhenne sanoista Dynamic Host Configuration Protocol on verkkoprotokolla, jonka tehtävä on jakaa IP-osoitteita lähiverkkoon kytkeytyville laitteille [14].

Failover Cluster: on Microsoftin klusterointialusta [1].

Hyper-V: on Microsoftin virtualisointialusta [20].

Klusteri: on tietokoneiden verkotettu malli, jossa noodit jakavat keskinäisiä tehtäviä yhdistetysti. Tätä toimintamallia voidaan verrata moniprosessoriseen tietokoneeseen [2].

Korkea saatavuus: tarkoittaa, että palvelu on saatavilla katkeamatta [21].

Noodi: on klusterin jäsenpalvelin [22].

RAID: eli Redundant Array of Independent Disks on tekniikka, jolla tietokoneiden vikasietoisuutta, nopeutta tai molempia kasvatetaan käyttämällä useita kiintolevyjä, jotka yhdistetään yhdeksi loogiseksi levyksi [6].

Virtuaalikone: tarkoittaa käyttöjärjestelmää ajettuna toisen käyttöjärjestelmän sisällä [20].

Virtuaalisuus: tarkoittaa, että jokin on ajettu virtuaalikoneella tai virtuaalikoneena [20].

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on sisäistää klusteroinnin tarkoitukset ja hyödyt. Lisäksi työssä tarkastellaan syvällisemmin Microsoftin tarjoamaa vaihtoehtoa klusterointiin.

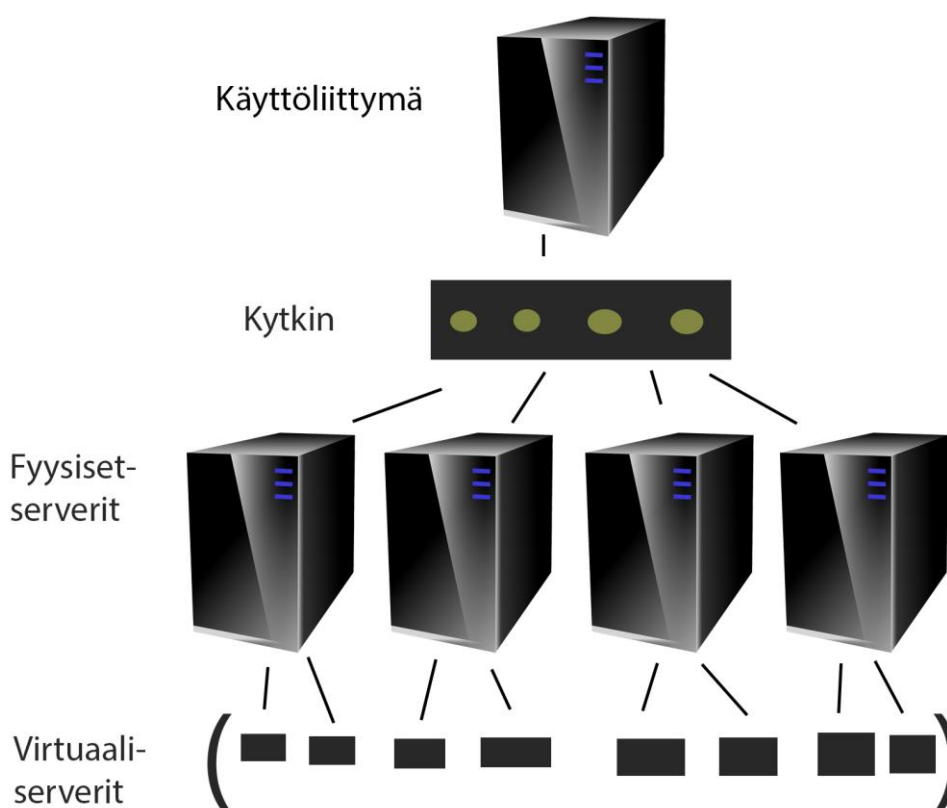
Työn aiheen tuli olla jotain alaan liittyvää ja mahdollisesti uutta, joten valitsin aiheeksi Failover Clusterin, joka on Microsoftin ratkaisu palvelinklusterointiin, eli koneiden ryhmittämistä käyttämään yhteisiä resursseja ja ylläpitämään yhteisiä palveluita, jotta jonkin koneen kaatuessa palvelulle ei tapahtuisi mitään ja uusi palvelin saadaan käynnistettyä kaatuneen tilalle tai vaihtoehtoisesti vanha korjattua. Aiheesta minulla on valmiiksi jonkin verran tietoa, sekä olen käyttänyt

Failover Clusteria muutamaa otteeseen ja olen kiinnostunut tutustumaan aiheeseen syvällisemmin. Lisäksi olen käsitellyt aihetta opiskelun aikana eri kursseilla, sekä sen pitäisi olla kuitenkin sen verran laaja, että tietoa löytyy riittävästi.

Failover Clusterin tiedot pohjautuvat pitkälti Microsoftin dokumentaatioon aiheesta [1]. Itse Failover Clusteroinnista ei ole Microsoftin dokumentoinnin ulkopuolelta saatavilla juurikaan tietoja, joka ei pohjautuisi kyseiseen dokumentointiin. Failover Cluster tarjoaa myös uusia alan kehitykseen liittyviä ominaisuuksia.

## 2 Klusteroinnin perustieto

Klusteri on ryhmä tietokoneita, jotka toimivat yhdessä, siten että ne vaikuttavat yhdeltä järjestelmältä ja suorittavat yhteisiä tehtäviä [2]. Kuten kuvasta 1 näkyy, klusteri voi sisältää myös virtuaalisia koneita. Virtuaalikoneiden ei kuitenkaan koskaan tulisi olla klusterin jäseniä, koska ne eivät poista tai vähennä riskien määrää vaan saattavat jopa lisätä sitä. Suurin osa klusteroinnin poistamista vikatilanteista on fyysisiä. Ohjelmallisten ongelmien sijaitessa käyttöjärjestelmätasolla ei virtuaalisessa klusterissa tehtäisi muuta kuin lisättäisi toinen ohjelmallinen vikaantumispiste.



Kuva 1. Visuaalinen esimerkki klusterista

Klusterointi on datacenter-puolen tärkeimpiä tapoja ylläpitää korkeaa saatavuutta sekä minimoida mahdolliset huolto- ja palvelukatkokset. Klusterit pääsääntöisesti tehdään näyttämään yhdeltä tietokoneelta loppukäyttäjälle, jolloin varsinkin suurissa yrityksissä edes luonnonkatastrofien aiheuttamat viat palvelinlaitteistossa eivät tulisi näkyä loppukäyttäjälle, koska kokonaiset konesalit on kahdennettu maiden välillä. Kahdentamisen ansiosta esimerkiksi verkkosivut pystyvät ottamaan vastaan valtavia käyttäjämääriä hidastumatta tai kaatumatta.

Jos Googlen kokoisella yrityksellä sivut olisivat vain yhden palvelimen alla, ei niihin pääsisi käsi-  
si kuin muutama henkilö kerrallaan ja heillekin käyttökokemus olisi tuskallisen hidas. Yksittäiset  
palvelimet eivät pysty käsittelemään loputtomiin yhteyksiä, joten piikit käyttäjämäärässä kaata-  
vat herkästi palveluita ja verkkosivuja. [3.]

Toinen mahdollinen käyttötarkoitus klustereilla on yhdistää tietokoneiden suorituskyky ratkai-  
semaan niille yhteistä ongelmaa [4]. Näitä suorituskykyklustereita voidaan kutsua myös nimellä  
supertietokone. Laskentakykyklusterin toimintamallissa erityisesti on tärkeää, että tietokoneet  
eivät ole eriteltyjä, vaan klusteriohjelmisto pystyy yhdistämään koneet yhdeksi kokonaisuudeksi  
ja jakamaan työmäärän koneiden välillä tasaisesti. Tämän yhtenäisyyden takia supertietokone  
on helpompi käsitellä ja hahmottaa kuin laskentaklusteri.

Klusterointi mahdollistaa myös laitteiden resurssien tehokkaamman hyödyntämisen. Klustereille  
on ominaista kuormituksen tasaaminen, jolloin kaikki klusteroidusta laitteistosta on tasaisessa  
käytössä, eikä kokonaistyökuorman kasvattaminen vaikuta yksittäisten tietokoneiden resurssien  
loppumiseen. Jos kuormitusta ei olisi jaettu, uuden kuorman lisääminen saattaisi täyttää yksit-  
täisen koneen resurssien käytön, jolloin kaikki toiminnot hidastuisivat huomattavasti. Klusteri  
tässä tilanteessa toteaa koneen resurssit riittämättömiksi ja siirtää sen sulavasti uudelle fyysisel-  
le koneelle ja antaa taas vuorostaan kevyempiä tehtäviä kuormittuneille koneille, jos kokonais-  
resurssit alkavat loppumaan.

Korkean saatavuuden ydin on kaikkien systeemin komponenttien kahdentaminen [5]. Pelkät  
klusteroidut palvelimet eivät kuitenkaan ole täydellinen ratkaisu korkeaan saatavuuteen. Palve-  
limilla itsellään on hyvä olla esimerkiksi useampi virtalähde, jotta mahdollisia ongelmatilanteita  
saataisiin minimoitua. Lisäksi kun klusteri kahdennetaan kahden maantieteellisesti etäisen si-  
jainnin välillä, saavutetaan todella vakaa pohja palveluille.

Palveluiden seisokkeja pystytään vähentämään asentamalla palvelimien käyttöjärjestelmät  
RAID-levypakalle, mikä tarkoittaa, että käyttöjärjestelmä on yhtä aikaa monella kiintolevyllä,  
mikä estää kiintolevyvaurioiden aiheuttamat haitat. Redundant Array of Independent Disks  
(RAID) on tekniikka, jolla tietokoneiden vikasietoisuutta, nopeutta tai molempia kasvatetaan  
käyttämällä useita kiintolevyjä, jotka yhdistetään yhdeksi loogiseksi levyksi [6]. RAIDin saavut-  
tama hyöty riippuu käytetystä RAID mallista. Esimerkiksi RAID 1 peilaa kaiken datan ja sallii kaik-  
kien paitsi yhden kiintolevyn rikkoutumisen. RAID 1:n koko ei kuitenkaan kasva kiintolevyjen  
määrään suhteessa, sekä se kasvattaa vain lukunopeutta [7]. RAID 0 taas yhdistää kaikkien sa-  
manlaisten kiintolevyjen koon ja nopeuden. RAID 0 on kaikista korkeimman suorituskyvyn RAID,



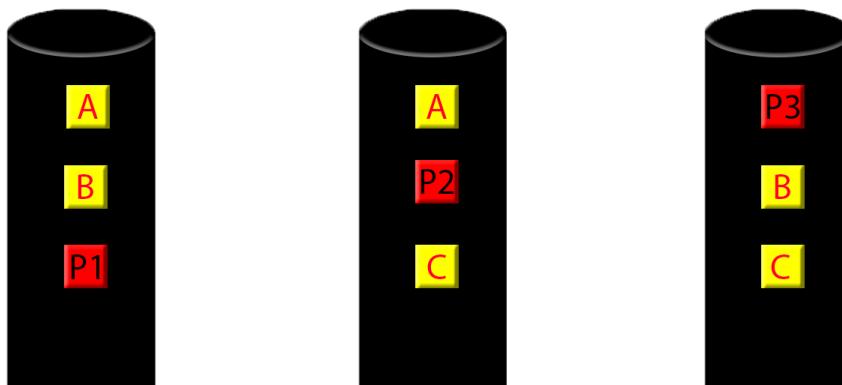
mutta se ei salli yhdenkään kiintolevyn hajoamista. Oikeaa RAIDia käyttämällä poistetaan kiintolevyvaurioista johtuvat palvelinten kaatumiset ja autetaan edelleen palveluiden saatavuutta. Käyttöjärjestelmän kohdalla käytetty RAID on usein 1.

Taulukkoon 1 viitaten RAID -tekniikat selitettynä: RAID 0 raidoittaa datan eri levyille, millä saavutetaan levyjen yhteen kerrottu luku- ja kirjoitusnopeus, mutta RAID 0 ei kestä yhtään levyrikkokoa. RAID 1 peilaa datan kaikille levyille, jolloin saavutetaan vikasietoisuus, joka kestää kaikkien paitsi yhden levyn rikkoutuminen. RAID 1 myös kertoo lukunopeuden, mutta kirjoitusnopeus ja kokonaistila on yhden kiintolevyn verran. RAID 10 on 1 ja 0 yhdistettynä. [6.]

	RAID 0	RAID 1	RAID 10	RAID 5	RAID 6
Minimilevymäärä	2	2	4	3	4
Vikasietoisuus	0	1 jäljellä	1 tai 2	1	2
Kokonaistila	100 %	1 levy	50 %	-1 levy	-2 levyä
Lukunopeus	Nopea	Nopea	Nopea	Melko nopea	Melko nopea
Kirjoitusnopeus	Nopea	Normaali	Normaali	Hidas	Hidas
Hinta	Halpa	Todella kallis	Kallis	Kohtuullinen	Melko kallis

Taulukko 1. RAID vertailu

RAID 10 ensin peilaa levyt ja sitten raidoittaa ne toisille levyille. Vikasietoisuus riippuu siitä, että hajoavatko levyt samalta puolelta RAID 10:tä. RAID 5 ja 6 jakavat 1 ja 2 levyn verran pariteetti-data muille levyille, Tällä saavutetaan hintatehokas RAID joka kuitenkin kestää levyrikon ja RAID 6:ssa kaksi [7]. Pariteettidata jakautuu RAID 5:ssä levyille kuvan 2 mukaisesti. [6.]



Kuva 2. RAID 5, pariteettidatan jakautuminen

Verkkoyhteyksiä on myös mahdollista olla monta yhtä aikaa käytössä. Tällä pystytään estämään palveluntarjoajasta johtuvat ongelmat. Hyvin usein datakeskuksissa on myös käytössä UPS laiteisto, jolla estetään lyhyiden sähkökatkosten vaikutus, sekä pidemmissä katkoksissa se varmistaa, että palvelimet voidaan sammuttaa hallitusti.

Klusterointi on varma ratkaisu korkean saatavuuden takaamiseksi varsinkin, jos klusteriin kuuluu useampi kuin kaksi palvelinta. Klusterin ollessa hyvin suunniteltu on suunnittelematon palvelukatkos hyvin epätodennäköinen. Hyvin suunnitellussa klusterissa on otettu huomioon todennäköiset vikaantumispisteet, ja ne on kahdennettu riittävästi, jotta ongelman ilmaantuessa se ehditään korjata ennen kuin sen vastinkappalekin pettää. Palvelimilla on vielä yleensä useampi virtalähde, joka poistaa virtalähteen hajoamisen aiheuttaman vikaantumispisteen. Käyttöjärjestelmän kahdentaminen klusteroiduilla palvelimilla ei ole pakollista, ellei kyseessä ole äärimmäisen kriittinen palvelu, jossa katkoksia ei sallita yhtään. Näissä kriittisissä palveluissa tulee kaikki mahdolliset vikatilanteet ennaltaehkäistä. Suurin osa sijaintikohtaisista ongelmista voidaan estää sillä, että klusteri hajautetaan useamman kaupungin tai maan välillä. [8.]

### 3 Microsoftin Failover Cluster

Failover Cluster on ryhmä itsenäisiä tietokoneita, jotka nostavat yhdessä klusteroitujen roolien saatavuutta ja skaalautuvuutta [1]. Failover Clustering on Microsoftin Windows server käyttöjärjestelmien mukana tuleva valinnallinen klusterointityökalu, jonka tarkoituksena on toimia yhdistävänä pohjana osalle Windows palvelimien rooleista. Klusterin osana toimivia palvelimia kutsutaan noodeiksi riippumatta siitä, ovatko ne fyysisiä vai virtuaalisia.

Kun yksi noodi lakkaa toimimasta, siirtyvät muut noodit suorittamaan samaa tehtävää. Lisäksi klusterin rooleja monitoroidaan jatkuvasti ja niiden toimivuus tarkastetaan. Jos rooleissa havaitaan ongelmia, ne joko käynnistetään uudelleen tai siirretään toiselle noodille. Failover Cluster on yksinkertainen työkalu, joka kuitenkin mahdollistaa suuren skaalautuvuuden sekä laajan kattavuuden klusteroitavista rooleista ja palveluista. [1.]

Failover Cluster tukee suurta osaa Microsoftin palveluista. Lisäksi sen alla voidaan ajaa myös muita kuin tuettuja ominaisuuksia, mutta tuetut palvelut on varmistettu toimiviksi. Failover Clusterin alla voidaan myös ajaa muita kuin Microsoftin tarjoamia palveluita. Mukautettavien palveluiden ansiosta Failover Clusterin tukemat palvelut ja palvelimet ovat teoriassa rajattomat. On kuitenkin mahdollista, että kaikkea ei voi kuitenkaan käytännössä toteuttaa. [1.]

## 4 Microsoftin Failover Clusterin ominaisuudet

Tässä luvussa käydään läpi Failover Clusterin ominaisuuksia. Tiedot pohjautuvat Microsoftin dokumentaatioon [1]. Ominaisuudet mahdollistavat klustereille muun muassa parempaa kommunikointia toisten klustereiden kanssa tai helpottavat tiedostojen käsittelyä klusterin sisässä. Ominaisuudet ovat yksi tärkeimmistä asioista, joiden perusteella klusterointityökalu valitaan ympäristöä varten.

### 4.1 Scale-Out-tiedostopalvelin

Scale-Out-tiedostopalvelin on jatkuvasti saatavilla oleva tiedostopohjaisille sovelluksille klusteroitu tiedostojako. Scale-out-tiedostopalvelimella mahdollistetaan kansion jakaminen monen noodin kesken. Tämä klusteroitu tiedostopalvelin mahdollistaa sovellusten tiedon kuten Hyper-V:n virtuaalikoneiden tiedostojen tallentamisen samalla luotettavuudella, saatavuudella, hallittavuudella ja korkealla suoritusteholla kuin Storage Area Network [9]. Storage Area Network (SAN) on arkkitehtuuri Network-Attached Storage (NAS) -tiedostopalvelimien yhdistämiseksi [10]. Scale-out-tiedostopalvelin on suositeltu Hyper-V- ja Microsoftin SQL- palvelimille [1].

### 4.2 Fault Domain Awareness

Microsoftin Fault Domain Awareness on klusterin ominaisuus, joka tunnistaa mahdolliset "Fault Domainit" eli yhtenäiset vikapisteet ja jakaa joko työkuormat, tiedostokuormat tai molemmat niiden mukaisesti lisätäkseen laajasti vikasietoisuutta. Windows palvelimet vuodesta 2016 lähtien ovat "Fault Domain" -sietoisia: nooditasolla, blade-kotelotasolla, palvelinkaappitasolla sekä sijaintitasolla. Storage Spaces Direct hyödyntää tätä varmistamalla, että RAID-pakan lisäksi pariteettidata sijaitsee noodien, palvelinkaappien ja sijaintien välillä klusterin laajuuden mukaan. Palvelinkaapissa on standardoidut kiinnitykset, ja jokaisella kaapilla on yleensä oma kytkin. [1.]

### 4.3 Virtual Machine Load Balancing

Virtual Machine Load Balancing eli virtuaalikoneiden kuormituksen tasoitus on ominaisuus, joka siirtelee virtuaalikoneita nooidien välillä kuormituksen mukaisesti. Load Balancer on vakiona päällä Hyper-V:tä käyttävissä Failover Clustereissa kaikista passiivisimmilla asetuksilla. Tämä tarkoittaa sitä, että se aloittaa virtuaalikoneiden siirtämisen vain, jos koneen muistin tai prosessorin käyttö ylittää 80 %.

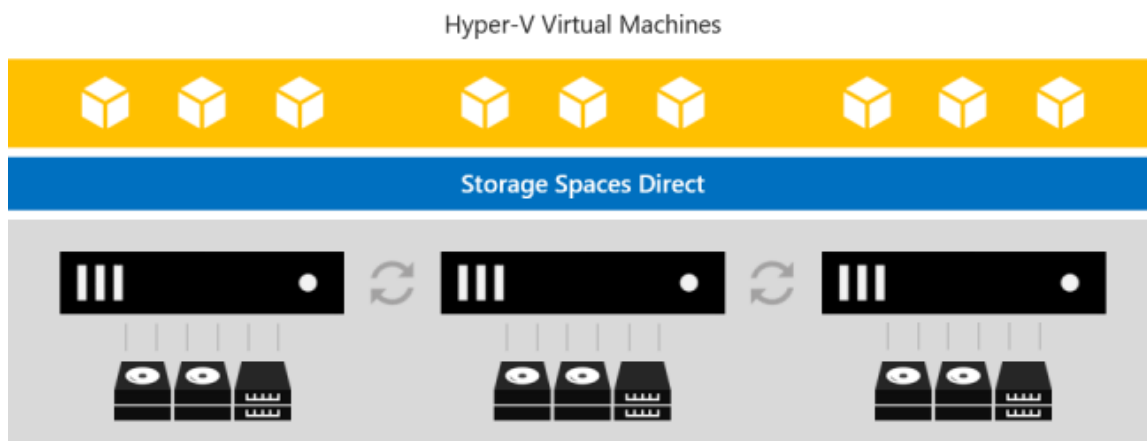
Normaalisti Load Balancer analysoi 30 minuutin välein klusterin tilanteen ja päättelee, pystyisikö räsitus tasapainottamaan. Tasapainotuksella on kolme vaihtoehtoa: matala (rasitus yli 80 %), keskitaso (rasitus yli 70 %) ja korkea (keskiarvosta 5 %). Analysoinnin tiheyttä voi myös muuttaa, sekä sen voi asettaa suorittamaan tasapainotus ainoastaan uuden noodin liittyessä. [1.]

### 4.4 Cluster Sets

Cluster Sets on klusterointitekniologia, joka yhdistää klustereita keskenään. Se mahdollistaa esimerkiksi virtuaalikoneiden sulavan siirtämisen klustereiden välillä. Cluster Sets -ominaisuutta käytettäessä säilytetään klustereiden yhdenmukaisuus ja sallitaan silti klustereille parempi kommunikointi toisten klustereiden kanssa. [1.]

### 4.5 Storage Spaces Direct

Storage Spaces Direct käyttää palvelimien paikallisia kiintolevyjä luodakseen korkean saatavuuden ja skaalattavuuden levyjaon ohjelmallisesti Failover Clustereissa. Levyt voivat olla sekä erilaisia että erikokoisia, kuten kuvasta 3 näkyy. Storage Spaces Direct huolehtii levyjen kokojen, nopeuksien sekä pariteettidatan käytön ohjelmallisesti parhaalla mahdollisella tavalla, eli siihen on sisällytetty ominaisuus, joka automaattisesti päättelee, miten luoda nopein ja luotettavin yhdistelmä levyistä [11]. Storage Spaces Direct on hyperkonvergenssi tekniologia, eli se vähentää tarvittavien komponenttien määrää palvelinkaapissa. Storage Spaces Direct poistaa tarpeen erilliselle levypalvelimelle ja säästää näin tila- ja laitteistokustannuksissa. Hyperkonvergenssi on palvelimien ja klustereiden muoto, johon datacenterala tähtää. [12.]



Kuva 3. Storage Spaces Directin visualisaatio

#### 4.6 Cluster and pool quorum & Witness

Koska klusterit ovat vikasietoisia, voivat ne toimia, vaikka pelkästään puolet noodeista olisi saatavilla. Tilanteissa, joissa osa klusterin noodeista menettää yhteyden muihin klusterin osiin, voi syntyä niin sanottu jakomielisyys, jossa molemmat puolet klusterista yrittävät jatkaa toimintaa samaan aikaan tietämättä, mitä toinen puoli tekee. Tämän jakomielisyyden estämiseksi Failover Clusterissa on sekä quorum- että witness-ominaisuus. [1.]

##### 4.6.1 Quorum

Klusteri vaatii yleensä noodeista vähintään puolet toimiakseen. Quorum-ominaisuus eli päätösvaltaisuus on suunniteltu estämään klusterin jakautumisskenaarioita, joissa noodit eivät pysty kommunikoimaan keskenään. Näissä tapauksissa molemmat puolet klusterista saattaisivat yrittää tehdä samoja työtehtäviä ja yrittää esimerkiksi kirjoittaa samalle levypalvelimelle. Quorum estää tämän niin sanotun jakomielisyystilanteen tapahtumisen antamalla vain toisen osan klusteria jatkaa tehtäviä. [1.]

Quorumista on sekä klusteri että pool versio, koska poolit on suunniteltu toimimaan myös ilman klusterointia. Cluster Quorum selvittää, montako noodia klusterista voi pettää ilman ongelmia. Tämän avulla klusteri tietää olevansa joko enemmistö tai vähemmistö ja joko pysähtyy tai jatkaa toimintaa sen perusteella. [1.]

Kun selviytyvä osa klusteria tietää olevansa enemmistö, se määrittelee itselleen uuden käsitteen enemmistöstä. Enemmistö toimii klusterissa vain parittomalla määrällä noodeja. Tähän on kaksi ratkaisua: noodit joko automaattisesti päättävät yhden äänettömäksi tai klusterilla on Witness. [1.]

#### 4.6.2 Witness

Witness on ”todistaja”, eli se toimii sivustakatsojana niin kauan, kunnes klusterissa on parillinen määrä noodeja. Todistajan ainoa tehtävä on tarkkailla klusteria. Vasta havaitessaan ongelmia klusterissa todistaja kertoo enemmistölle, että ne ovat noodienemmistö ja voivat jatkaa toimintaa normaalisti. Koska vähemmistö noodeista ei saa joko yhteyttä tai tietoa enemmistöstä todistajalta, jäävät ne odottamaan korjausta yhteyteen. Parillisen määrän noodeja tilanteissa todistaja toimii enemmistön määrittelemisen apuna samalla tavalla kuin normaalit noodit. Todistaja voi sijaita pilvipalvelussa tai olla tiedostojaossa sijaitseva, jolloin se pitää lokia klusterista ilman klusterin tietokantaa. Lisäksi todistaja voi olla klusterin levyllä sijaitseva, jolloin se myös sisältää kopion klusterin tietokannasta. [1.]

## 5 Microsoftin Failover Clusterin käyttötarkoitukset

Failover Cluster on hyvin sopeutuva ympäristö. Sille on kuitenkin valmiiksi tehtyjä ominaisuuksia, jotka vaativat vähemmän konfigurointia kuin geneeriset roolit. DFS Namespace on rooli, joka mahdollistaa jaettujen kansioden ryhmittämisen. Tämä saa aikaan polun, joka on loogisesti rakennettu, vaikka kansiot sijaitsisivatkin eri palvelimilla. [13.]

Toinen rooli, joka voidaan asettaa Failover Clusterille, on DHCP (lyhenne sanoista Dynamic Host Configuration Protocol), verkkoprotokolla, jonka tehtävä on jakaa IP-osoitteita lähiverkkoon kytkeytyville laitteille [14]. IP on verkkoprotokolla, joka huolehtii tietoliikennepakettien kuljettamisesta verkon läpi [15]. Vaikka IP yksilöi kohteen ja mahdollistaa tietoliikennepakettien kuljettamisen, se ei kuitenkaan yksilöi käyttäjää, sekä IP:n kohde ei aina ole välttämättä edes sama laite. DHCP:n asentaminen klusterille varmistaa, että kaikki verkon laitteet saavat varmasti IP:n silloin, kun ne sitä vaativat. [1.]

WINS Server on DNS palvelimien tapainen palvelu, mutta sen sijaan, että se pitäisi kirjata verkkotunnuksista, se pitää kirjata tietokoneiden NetBIOS-nimistä. NetBIOS on tietokoneen nimi, jolla se on löydettävissä verkossa, samalla tavalla kuin verkkotunnus ohjaa tietokoneet palvelimiin. WINS on myös tuettu Microsoftin Failover Clusterilla. [1.]

Microsoft Distributed Transaction Coordinator (MSDTC) on Windows palvelimen komponentti, joka koordinoi tapahtumia eri resurssienhallintatyökalujen välillä. Microsoft Distributed Transaction Coordinator on suositeltu klusteroiduilla Microsoft SQL servereillä, koska se hoitaa tiedon levittämisen SQL ilmentymien välillä [16]. Microsoft SQL on taas tietokantapalvelin, joka voidaan myös ajaa klusterilla. [1.]

Failover Clusterille pystytään myös asentamaan tiedostopalvelin. Tiedostopalvelin voi myös käyttää iSCSI-protokollaa. Lisäksi Failover Cluster tukee kolmannen osapuolen sovellusten käytön klusterissa sekä mahdollistaa skriptien ajamisen klusterilla. Failover Clusterilla voi myös ajaa palveluita, joita ei ole siihen alun perin suunniteltu. Failover Cluster sisältää myös Microsoft Message Queuing:n (MSMQ), joka antaa mahdollisuuden jakaa konfiguraatiota ja muuta dataa noodien välillä. [1.]



## 5.1 Hyper-V Replica Broker

Hyper-V Replica Broker on Hyper-V:n ominaisuus, joka replikoi virtuaalikoneita sijaintien välillä. Sillä on mahdollista luoda kopio koko Hyper-V-ympäristöstä toiselle sijainnille. Yksi palvelin tai klusteri toimii Replika Brokerina ja muut lähettävät datan sille. Tästä datasta voidaan sitten palauttaa koko ympäristö onnettomuuden sattuessa. [1.]

## 5.2 Virtual Machine

Microsoftin Hyper-V:tä pystytään ajamaan myös klusterilla. Tällä saavutetaan kaikkien Hyper-V:n ominaisuuksien lisäksi niille korkea saatavuus. Luodut virtuaalikoneet näkyvät Failover Cluster managerissa muiden roolien tavalla, ja niitä pystytään hallitsemaan ilman Hyper-V:n omaa työkalua [1]. Virtuaalikoneet ovat tärkeä osa klusterointiympäristöä, sillä ne tekevät laitteiston käytöstä tehokkaampaa, mikä vähentää laitteistokustannuksia. Lisäksi virtualisointi mahdollistaa eri käyttöjärjestelmien ajamisen samassa ympäristössä. Virtualisoinnilla voidaan myös parantaa tietoturvallisuutta ja vikasietoisuutta eristämällä palvelut omiin virtuaalikoneisiin.

## 6 Microsoftin Failover Clusterin vaatimukset

Tässä luvussa käydään läpi Failover Clusterin luomiseen ja käyttämiseen tarvittavat vaatimukset. Tiedot pohjautuvat Microsoftin dokumentaatioon [1]. Suorituskykyvaatimukset ovat Failover Clusterille melko alhaiset. Suurin vaatimus on palvelinten samankaltaisuudelle. Ongelmia ilmenee paljon useammin, jos noodipalvelimien laitteistot poikkeavat toisistaan. Failover Clusteri vaatii myös levytilaa toimiakseen. Ilman minkäänlaista muistia Failover Cluster ei toimi

### 6.1 Laitteistovaatimukset

Laitteisto, jolle Microsoftin Failover Cluster asennetaan, tulee olla Microsoftin varmentama. Varmennetut laitteistot ovat käyttöjärjestelmäkohtaisia. Kokonaisen klusterin tulee läpäistä kaikki testit sen luontivaiheessa. Samanlaisten tai samankaltaisten tietokoneiden käyttö klusterissa on suositeltua. Mitä lähempänä komponentit ovat toisiaan, sen varmemmin klusteri ei kohtaa ongelmatilanteita.

Klusteroitavissa koneissa on hyvä olla useampi verkkoliitäntä. iSCSI:tä käytettäessä tulisi se olla liitettynä omaan verkkoonsa, koska iSCSI-verkossa liikkuu paljon tiedostoja ja se saattaisi kuormittaa yksittäistä verkkokorttia. Lisäksi kun levyjärjestelmä on erillisessä verkossa irrallaan internetistä, parantaa se myös tietoturvaa huomattavasti. Muissa tapauksissa kahdennettu verkko vähentää yksittäisten vikaantumispisteiden määrää, mikä on koko klusteroinnin tarkoitus. Yhdellä verkolla varustettu laitteisto läpäisee klusterin vaatimustestin, mutta antaa kuitenkin varoituksen yksittäisen vikaantumiskohdan olemassaolosta. [1.]

### 6.2 Muut vaatimukset

Levytilalle tulee käyttää Storage Spaces Directiä tai muuta jaettua tallennustilaa, joka on yhteensopiva kyseessä olevan Windows-palvelinversion kanssa. Storage Spaces Direct pystyy olemaan sekä fyysisellä että virtuaalisella palvelimella. [1.]

Virtuaalisessa ympäristössä Storage Spaces Direct vaatii vähintään kaksi noodia ja enintään kolme. Kahden noodin järjestelmä tarvitsee Witnessin. Lisäksi jokainen virtuaalikone vaatii vähin-

tään kaksi virtuaalikiintolevyä. Azurea eli Microsoftin pilvipalvelinten tarjoamisalustaa käytettäessä virtuaaliset klusterit on valmiiksi oikein konfiguroitu. [17.]

Domain kontrolleri ei pysty olemaan Failover Clusterin jäsen enää uusissa Windows Server käyttöjärjestelmissä, mikä on ilmeisesti Microsoftin tietoturvaratkaisu. Kaikille palvelimille tulee olla asennettuna sama versio Windows Server -käyttöjärjestelmästä. Noodien tulee myös kuulua samaan domainiin. [1.]

## 7 Microsoftin Failover Clusterin hallinta

Tässä luvussa käydään läpi Failover Clusterin hallintaa helpottavia työkaluja. Tiedot pohjautuvat Microsoftin dokumentaatioon [1]. Vaikka Failover Cluster on varsin omatoiminen ratkaisu, on siinä hyvä olla hallintatyökaluja. Työkalut, jotka Failover Cluster sisältää hallintaa varten, ovat pääasiassa ongelmien löytämistä varten. Tärkein työkalu on klusterin automaattisen päivittämisen mahdollistava Cluster-Aware Updating.

### 7.1 Cluster-Aware Updating

Cluster-Aware Updating on hallintaominaisuus, jolla mahdollistetaan klusteriin kuuluvien tietokoneiden päivitys ilman katkoa klusterin toiminnassa. Cluster-Aware Updating toimii laittamalla aluksi kaikki noodit huoltotilaan. Sitten Cluster-Aware Updating siirtää ensimmäiseltä noodilta kaikki roolit toisille noodeille, jonka jälkeen se asentaa päivitykset automaattisesti ja käynnistää tietokoneen uudestaan tarvittaessa. Sen jälkeen Cluster-Aware Updating poistaa noodin huoltotilasta ja siirtää palvelut takaisin kyseiselle noodille. Tämän jälkeen se suorittaa samat vaiheet muille klusterin noodeille järjestyksessä. [1.]

Joillekin rooleista saattaa tulla pieniä katkoksia varsinkin, jos kyseessä olevalla noodilla on suuri määrä palveluita. Kuitenkin korkean saatavuuden palveluiden kohdalla Cluster-Aware Updating osaa koordinoita päivitykset ilman vaikutusta palveluiden saatavuudelle. [1.]

### 7.2 Health Service

Health Service on Windows Server 2016:ssa julkaistu ominaisuus, joka parantaa klusterin monitoroitavuutta. Health Service antaa raportteja klusterin nykyisestä toimintakyvystä. Raportteihin on saatavilla laaja määrä eri arvoja [18]. Health Service myös valvoo klusterin tilaa ja antaa virheilmoituksia, jos jotain tapahtuu. Tämä nopeuttaa vian löytämistä. Fault-ilmoitus koostuu viidestä osasta: vakavuus, kuvaus ongelmasta, suositeltava toimenpide, tunnistetiedot tapahtumalle sekä fyysinen sijainti, jos mahdollinen [1]. Actions -ominaisuus kuvaa tämänhetkistä tilannetta, sekä nämä ilmoitukset eivät ole pitkäikäisiä, toisin kuin loki. Niiden tarkoitus on kertoa tämänhetkiset toimenpiteet ja mahdolliset toimintakyvyn hidastumisen syyt. [1.]

## 8 Failover Clusterin käyttöönottoesimerkki

Tässä luvussa käyn läpi prosessin, jolla Failover Cluster saadaan käytettäväksi. Prosessi pohjautuu osittain Microsoftin ohjeeseen [19]. Esimerkkiä luodessa on käytetty virtuaalista ympäristöä, mutta tämä ei ole kovin toimiva ratkaisuna, koska osa toiminnoista ei suostu toimimaan virtuaalisessa ympäristössä.

### 8.1 Asentaminen

Failover Clusterin luomiseen vaaditaan vähintään kolme Windows palvelinta, joista kahden tulee olla mahdollisimman samankaltaisia toimivuuden varmistamiseksi. Kolmanneksi palvelimeksi vaaditaan Active Directory, johon kaikki klusterin jäsen palvelimet tulee liittää.

Aluksi asennetaan kahdelle mahdollisimman identtisille serverille sama Windows Server käyttöjärjestelmäversio, esimerkiksi Windows Server 2016 Datacenter. Kun palvelimet on asennettu, ne tulee liittää Active Directoryyn ja sitten niille tulee asentaa ainakin Failover Cluster - ominaisuus. Lisäksi jos klusterin käyttötarkoitus on tiedostopalvelin, tarvitsevat palvelimet myös tämän roolin. Jos taas klusterilla on tarkoitus ajaa virtuaalikoneita, pitää molemmille palvelimille asentaa Hyper-V rooli.

### 8.2 Konfigurointi

Klusteria konfiguroidessa on paras vaihtoehto käyttää Storage Spaces Directiä, koska se on osana Failover Clusteria ja se toimii varmimmin Failover Clusterin kanssa. Storage Spaces Direct vaatii klusterin jäsenkoneilta ainakin kaksi kiintolevyä, mutta samalla poistaa tarpeen erilliselle levypalvelimelle. Koska hyperkonvergenssi on suunta, johon datacenterala tähtää, Storage Spaces Direct yksi tärkeimmistä Windows palvelimen ominaisuuksista. [19.]

Microsoftin tarjoamaa skriptiä käytettäessä on Storage Spaces Directin käyttöönotto nopeaa. Storage Spaces Directille ei ole muuta dokumentaatiota kuin skripteistä koostuva. Storage Spaces Directin käyttöönottoon tarvittavat PowerShell –skriptit ovat kuvissa 4-7 [19], ja ne ajetaan millä tahansa tulevista noodeista:

Kuvan 4 skripti tyhjentää ja valmistaa muut kuin käyttöjärjestelmälevym lisättäväksi klusterille. Testiympäristössä skriptin esimerkki arvot olivat (\$ServerList = "serveri1", "serveri2").

```
# Fill in these variables with your values
$ServerList = "Server01", "Server02", "Server03", "Server04"

Invoke-Command ($ServerList) {
    Update-StorageProviderCache
    Get-StoragePool | ? IsPrimordial -eq $false | Set-StoragePool -Is-
ReadOnly:$false -ErrorAction SilentlyContinue
    Get-StoragePool | ? IsPrimordial -eq $false | Get-VirtualDisk | Re-
move-VirtualDisk -Confirm:$false -ErrorAction SilentlyContinue
    Get-StoragePool | ? IsPrimordial -eq $false | Remove-StoragePool -Con-
firm:$false -ErrorAction SilentlyContinue
    Get-PhysicalDisk | Reset-PhysicalDisk -ErrorAction SilentlyContinue
    Get-Disk | ? Number -ne $null | ? IsBoot -ne $true | ? IsSystem -ne
$true | ? PartitionStyle -ne RAW | % {
    $_ | Set-Disk -isoffline:$false
    $_ | Set-Disk -isreadonly:$false
    $_ | Clear-Disk -RemoveData -RemoveOEM -Confirm:$false
    $_ | Set-Disk -isreadonly:$true
    $_ | Set-Disk -isoffline:$true
}
    Get-Disk | Where Number -Ne $Null | Where IsBoot -Ne $True | Where Is-
System -Ne $True | Where PartitionStyle -Eq RAW | Group -NoElement -Prop-
erty FriendlyName
} | Sort -Property PsComputerName, Count
```

Kuva 4. Ensimmäinen skripti.

Kuvan 5 scriptillä tarkistetaan, että klusteri on mahdollista luoda siinä mainituilla koneilla. Tes-  
tiympäristössä skriptin esimerkki arvot olivat (-Node serveri1, serveri2).

```
Test-Cluster -Node <MachineName1, MachineName2, MachineName3, MachineName4>
-Include "Storage Spaces Direct", "Inventory", "Network", "System Configu-
ration"
```

Kuva 5. Toinen skripti.

Kuvan 6 skripti luo klusterin siinä mainituista koneista. Testiympäristön esimerkki skripti oli  
(New-Cluster -Name testicluster -Node serveri1,serveri2 -NoStorage).

```
New-Cluster -Name <ClusterName> -Node <MachineName1,MachineName2,Machine-
Name3,MachineName4> -NoStorage
```

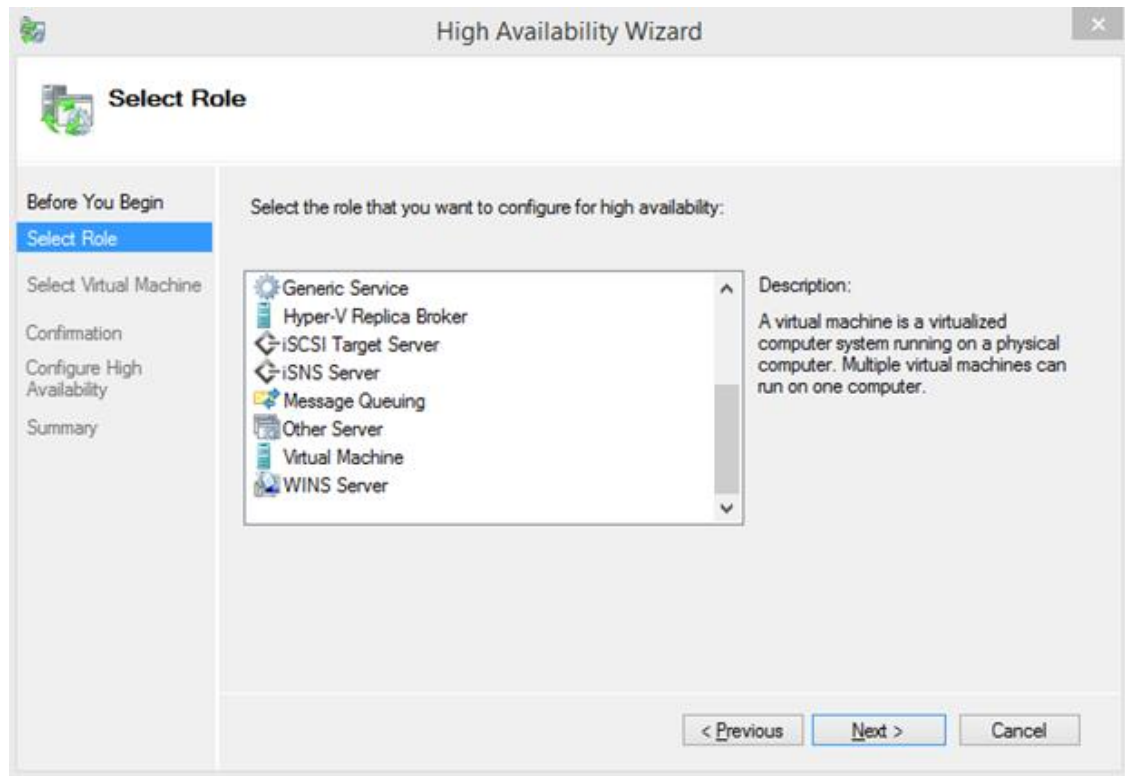
Kuva 6. Kolmas skripti.

Kun klusteri on tarkistettu ja luotu kuvan 7 viimeinen skripti, aktivoi storage spaces directin ky-  
seiseen klusteriin. Testiympäristössä arvoksi skriptiin tuli testicluster.

```
Enable-ClusterStorageSpacesDirect -CimSession <ClusterName>
```

Kuva 7. Viimeinen skripti.

Klusterin ollessa nyt käyttövalmis sekä se sisältää levytilaa voidaan klusterille määrittellä rooli. Lista rooleista kuvassa 8.



Kuva 8. Lista rooleista roolien määrittämisessä työkalussa.

Seuraavaksi luodaan esimerkiksi virtuaalikone Failover Clusterin alle käyttäen Failover Cluster manageria. Managerin kautta virtuaalikoneen luominen on hyvin samankaltaista verrattuna Hyper-V:hen. Asennusavustaja (Wizzard) kysyy tarvittavat tiedot virtuaalikoneen luomiseksi ja lopulta luo virtuaalikoneen. Tämän jälkeen virtuaalikoneelle asennetaan jokin käyttöjärjestelmä.

### 8.3 Testaus

Kaikki testaustavat pääasiallisesti tekevät saman asian, eli tekevät yhdestä klusterin jäsenestä toimintakyvyttömän. Virtuaalikonetta testattaessa pidetään esimerkiksi erilliseltä koneelta etäyhteyttä kyseiseen virtuaalikoneeseen samalla, kun pudotetaan klusterin jäsen pois saatavilta.

Mahdollisia pudotustapoja ovat muun muassa klusterin jäsenen normaali sammutus, verkkoyhteyden irrottaminen tai pois kytkeminen, virran äkillinen poistaminen (esimerkiksi virtajohto) sekä koneen vioittaminen/vioittuminen. Millä tahansa tavalla testataan, se on hyvä suorittaa ainakin kahdella, tai optimitilanteessa kaikilla klusterin jäsenillä. Tällä varmistetaan, ettei palvelu jostain syystä pyöri vain yhdelle jäsenelle. Verkon irti käyttäminen järjestyksessä jokaiselta noodilta varmistaa helposti klusterin täyden toimivuuden, sekä palautuminen pitäisi tapahtua nopeasti.

Jos virtuaalikonetta pystytään käyttämään edellä mainituissa tilanteissa, on klusterin toimivuus varmistettu ja se pystytään ottamaan esimerkiksi tuotantokäyttöön. Jos taas jokin testi epäonnistuu, tulee ongelma selvittää ja korjata.



## 9 Yhteenveto

Käytettäessä Windows pohjaisia palvelimia Failover Cluster on hyvä vaihtoehto korkean saatavuuden takaamiseksi, sillä se sisältyy Windows-palvelimiin ja sen käyttöönotto on varsin yksinkertaista. Failover Cluster on myös mukautettavissa suurimmalle osalle, jos ei kaikille korkeaa saatavuutta tarvitseville palveluille. Geneeriset roolit mahdollistavat myös muiden kuin Microsoftin sisään rakentamien palveluiden ajamisen klusterilla.

Koska Failover Cluster on mahdollisimman mukautettavissa oleva alusta, se kärsii ainakin virtualisoinnin osalta. Puhtaasti virtualisointiin ja sen klusterointiin tarkoitettut käyttöjärjestelmät kuten VMwaren ESXi ovat tältä osalta parempia vaihtoehtoja. Jos klusterin tarkoituksena ei ole pelkkä virtuaalikoneiden ajaminen, mahdollistaa Failover Cluster monien eri palveluiden yhtäaikaisen ajamisen. Mikäli VMware-pohjaisessa ympäristössä halutaan ajaa Windows palvelimien tarjoamia palveluita, täytyy ensin luoda Windows-virtuaalikone, joka lisää yhden mahdollisen ongelmakohdan sekä kuluttaa resursseja, koska se tarvitsee myös pohjakäyttöjärjestelmän.

Failover Clusterin tarpeellisuus ja hyödyllisyys ovat pääasiallisesti kiinni siitä, kuinka Microsoft-painotteinen ympäristö on kyseessä. Jos suurin osa koneista ajetaan Windows -palvelimina, niin Failover Clusterilla säästetään resursseja sekä poistaa yhden vikakohdan silti mahdollistaen muidenkin käyttöjärjestelmien käyttämisen Hyper-V:llä. Jos taas Windowsin tarpeellisuus on toissijainen, on Windows Server raskaampi pohja käyttöjärjestelmänä kuin esimerkiksi edellä mainittu ESXi, jolloin resurssien säästö on voi olla negatiivista ja muut vaihtoehdot kannattaa ottaa huomioon ympäristöä suunnitellessa.

## Lähteet

- 1 Microsoft. (30.10.2018). Failover Clustering in Windows Server. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/failover-clustering/failover-clustering-overview>
- 2 Stack Overflow. (2015). Cluster vs grid computing. Saatavilla 12.2.2020. <https://stackoverflow.com/questions/15734713/cluster-vs-grid-vs-cloud/38106236#38106236>
- 3 Resonate. (2019). Causes of Server Overload Saatavilla 12.2.2020. <https://www.resonatenetworks.com/2019/01/11/web-server-overload-causes-signs-and-prevention/>
- 4 Stack Overflow. (2015). Cluster vs grid computing. Saatavilla 12.2.2020. <https://stackoverflow.com/questions/15734713/cluster-vs-grid-vs-cloud/38106236#38106236>
- 5 Techytube. (25.8.2017). Failover Clustering in Windows Server 2016. Saatavilla 12.2.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=Z2-EGDe9iOU>
- 6 Elle K. (2016). Linux Academy. RAID Explained. Saatavilla 12.2.2020. <https://linuxacademy.com/blog/linux/raid-explained/>
- 7 Rouse M. (2019). SearchStorage. RAID (redundant array of independent disks). Saatavilla 12.2.2020. <https://searchstorage.techtarget.com/definition/RAID>
- 8 Microsoft. (20.04.2018). Windows clustering and geographically separate sites. Saatavilla 12.2.2020. <https://support.microsoft.com/fi-fi/help/280743/windows-clustering-and-geographically-separate-sites>
- 9 Microsoft. (26.4.2018). Scale-Out File Server for application data overview. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/failover-clustering/sofs-overview>
- 10 Tate J, Beck P, Ibarra H, Kumaravel S & Miklas L. (2017). IBM. "Introduction to Storage Area Networks". Saatavilla 12.2.2020. <https://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245470.pdf>
- 11 Microsoft Cloud. (18.8.2016). Storage Spaces Direct in Windows server 2016. Saatavilla 12.2.2020. [https://www.youtube.com/watch?v=raeUiNtMk0E&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=raeUiNtMk0E&feature=emb_title)
- 12 ATEA. (2020). Atea Cloudista myös hyperkonvergoituneet konesaliratkaisut. Saatavilla 12.2.2020. <https://www.atea.fi/pilvi-ja-hybridiratkaisut/hyperkonvergoituneet-konesaliratkaisut/>
- 13 Microsoft. (6.7.2019). DFS Namespaces overview. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/dfs-namespaces/dfs-overview>
- 14 Rouse M. (2019). TechTarget Network: DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Saatavilla 12.2.2020. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/DHCP>

- 15 DARPA. (1980). RFC 760, DOD Standard Internet Protocol, Information Sciences Institute Saatavilla 12.2.2020. <https://tools.ietf.org/html/rfc760>
  - 16 Microsoft. (15.1.2014). MSDTC Recommendations on SQL Failover Cluster. Saatavilla 12.2.2020. <https://techcommunity.microsoft.com/t5/sql-server-support/msdtc-recommendations-on-sql-failover-cluster/ba-p/318037>
  - 17 Microsoft. (25.10.2017). Using Storage Spaces Direct in guest virtual machine clusters. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/storage-spaces-direct-in-vm>
  - 18 Microsoft. (5.10.2017). Health Service reports. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/failover-clustering/health-service-reports>
  - 19 Microsoft. (22.1.2020). Deploy Storage Spaces Direct. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/deploy-storage-spaces-direct>
  - 20 Microsoft. (06.25.2018). Introduction to Hyper-V on Windows 10. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/virtualization/hyper-v-on-windows/about/>
  - 21 Techopedia. (2020). High Availability. Saatavilla 12.2.2020. <https://www.techopedia.com/definition/1021/high-availability-ha>
  - 22 Couchbase. (2020). Nodes and clusters. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.couchbase.com/server/current/learn/clusters-and-availability/nodes.html>
- Kuva 2 Microsoft. (22.1.202). Storage Spaces Direct overview. Saatavilla 12.2.2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/storage-spaces/storage-spaces-direct-overview>