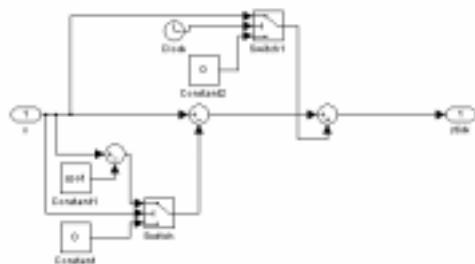


# Servohydraulisen säätöjärjestelmän vikaantumisen simulointi

Raportti BVAL73-001014

Mikko Mustonen ja Jyrki Tervo



Espoo, 3.11.2001

	A Työraportti	
	B Julkinen raportti	X
	C Luottamuksellinen raportti	
Raportin nimi Servohydraulisen säätöjärjestelmän vikaantumisen simulointi		
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus Tekes, Teollisuus	Raportin numero BVAL73-001014	
Projekti Käki Diagnostiikka	Suoritteen numero V9SU00886	
Laatija(t) Mikko Mustonen ja Jyrki Tervo	Sivujen/liitesivujen lkm 12	
Avainsanat Venttiili, Vikaantuminen, Simulointi		
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tässä raportissa esitetään tuloksia simulointimallin käytöstä servohydraulisen säätöjärjestelmän vikaantumisen simuloinnissa. Mallilla tutkittiin, millaisia signaaleja säätöjärjestelmästä on mitattavissa erilaisissa vikaantumistapauksissa. Tutkimuksen tuloksia on tarkoitettu käyttämään kohteen diagnostiikkajärjestelmän suunnittelussa.</p> <p>Säätöpiirin tutkimuksessa haluttiin syventyä erityisesti venttiilin vikaantumiseen. Erilaisia mahdollisia venttiilin vikaantumistapoja ovat karan juuttuminen, karan kitkan lisääntyminen ja karan vähittäinen kuluminen. Venttiilin karan asemaa sekä karan ohjausjännitettä tutkittiin erilaisissa karan juuttumistilanteissa.</p> <p>Tässä työssä tehtyjä simulointeja voitaisiin hyödyntää suunniteltaessa kohteen diagnostiikassa käytettävää signaalinkäsittelymenetelmää, koska käytetty simulointiympäristö soveltuu erityisen hyvin signaalinkäsittelysovellusten kokeiluun.</p>		
Allekirjoitukset                      Espoossa 3.11.2001		
Kenneth Holmberg Tutkimuspäällikkö	Jyrki Tervo Erikoistutkija	Tarkastanut
VTT Valmistustekniikka Koneiden Käyttövarmuustekniikka	Puhelin 09 4561 Fax 09 460627 Sähköposti: Mikko.Mustonen@vtt.fi WWW: <a href="http://www.vtt.fi/manu/">http://www.vtt.fi/manu/</a>	

## Alkusanat

Tämä raportti on laadittu projektissa " Koneiden ja laitteiden kunnan ja käyttövarmuuden monitorointi ja diagnostiikka", joka on osa "Käyttövarmuus kilpailutekijänä" -teknologia-ohjelmaa. Raportin on kirjoittanut pääasiassa tutkija Mikko Mustonen, joka kuitenkin poistui VTT:n palveluksesta ennen kuin viimeistelytyö oli saatettu loppuun. Viimeistelyn suoritti Jyrki Tervo. Kirjoittajat haluavat kiittää Teknologian kehittämiskeskusta, sekä projektiin osallistuvia yrityksiä: Lillbacka Oy, Rautaruukki Oy Raahen Steel, Metso Paper, Metso Minerals ja Outokumpu Poricopper.

Espoossa, 24.8.2001

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	4
2	Tavoite.....	4
3	Kohteen kuvaus .....	5
	3.1 Kiinnirullain.....	5
	3.2 Servoventtiili.....	5
4	Rajaukset .....	6
5	Menetelmät .....	6
6	Tulokset .....	7
7	Tulosten tarkastelu .....	11
8	Johtopäätökset .....	11

# 1 Johdanto

Koneiden toimintaa voidaan tutkia simuloinnin avulla sellaisissa toimintatiloissa, joiden koekäyttöön käytännössä valmiilla koneella on vaikeaa tai vaarallista. Koneiden vikaantumistilanteiden tuottaminen kontrolloidusti on usein helpompaa simulointiympäristössä kuin todellisissa käyttöolosuhteissa. Vikaantumisen simuloinnilla saadaan koneen toiminnasta selkeää tietoa, jota voidaan käyttää vikaantumisen ennustamisessa ja ennaltaehkäisyssä.

Simulointia käytetään yleisesti säätö- ja automaatiojärjestelmien suunnittelussa. Suunnittelu- vaiheessa luotuja simulointimalleja voidaan edelleen hyödyntää kohteen kunnonvalvonnassa ja diagnostiikassa usealla tavalla:

- Mallipohjaisessa diagnostiikassa, jossa kohdetta ja mallia verrataan käytön aikana.
- Simuloinnilla voidaan tuottaa tietoa koneen normaalista toiminnasta.
- Simuloinnilla voidaan tuottaa tietoa koneen vikaantumisesta.

Mallipohjaisen diagnostiikan periaatteena on toiminnassa olevan koneen ja konetta kuvaavan mallin jatkuva vertaaminen toisiinsa. Koneesta ja mallista mitataan samat suureet. Poikkeama koneesta mitatun ja mallin antaman suureen välillä paljastaa vikaantumisen ja usein poikkeaman laadusta voidaan päätellä vikaantumisen laatu. Pienellä määrällä antureita saavutetaan hyviä tuloksia koneen kunnonvalvonnassa, kun antureilta saatava tieto yhdistetään koneen toiminnan tuntemukseen sopivan mallin avulla.

Koneen normaalin toiminnan ilmaisevien signaalien tunteminen on hyödyksi koneen kunnonvalvonnassa. Simuloimalla ehjän koneen normaalia toimintaa monenlaisilla kuormitus- ja käyttöparametreilla saadaan koneesta mitattavissa oleville signaaleille selvitettyä ne rajat, joiden sisällä toimiminen ei anna aiheutta hälytyksiin. Simuloinneissa voidaan huomioida äärimmäiset käyttötilanteet ja erilaiset kuormituksen muutostilanteet, joita normaalissa koneen käytössä tulee harvoin. Diagnostiikan signaalinkäsittely- ja analysointijärjestelmät voidaan simuloida samalla kertaa koneen tai laitteen simuloinnin kanssa jolloin säästetään kalliilta kentällä tehtävältä sovitus- ja suunnittelutyöltä.

Vikaantumistilanteiden simulointi tietokonehallin avulla on usein ainoa tapa tuottaa tietoa kohteen vaurioitumisesta. Kohteen vaurioituminen normaaleissa käyttöolosuhteissa on pitkälinen prosessi ja on todennäköistä että kohdetta ei tarkkailla riittävän intensiivisesti silloin, kun arvokasta tietoa vaurion ilmenemisestä olisi saatavilla. Tietokonesimuloinneilla voidaan kohtuullisen helposti tuottaa halutunlaisia vikaantumistapauksia ja tallettaa sekä analysoida näiden aiheuttamia signaaleja. Tässä raportissa esitetään tuloksia simulointimallin käytöstä servohydraulisen säätöjärjestelmän vikaantumisen simuloinnissa. Mallilla tutkittiin, millaisia signaaleja säätöjärjestelmästä on mitattavissa erilaisissa vikaantumistapauksissa. Tutkimuksen tuloksia on tarkoitus käyttää kohteen diagnostiikkajärjestelmän suunnittelussa.

## 2 Tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa kohteeksi valitulle servohydrauliselle säätöjärjestelmälle vikaantumismalli, jonka perusteella kohteen vikaantumista voidaan tarkkailla ja en-

nustaa kohteesta mitattavien signaalien avulla. Vikaantumismalli kuvaa valittujen vikaantumisten antamat signaalit vikaantumisen edetessä. Tällöin vikaantumisen aste ja vakavuus voidaan päätellä kohteesta mitattujen signaalien ja mallilla tuotettujen signaalien vertaamisen avulla. Lisätavoitteeksi asetettiin yleisluontoisen yhteenvedon tuottaminen tietokonemallin soveltamisesta diagnostiikassa ja mallin integroimisesta diagnostiikkajärjestelmään.

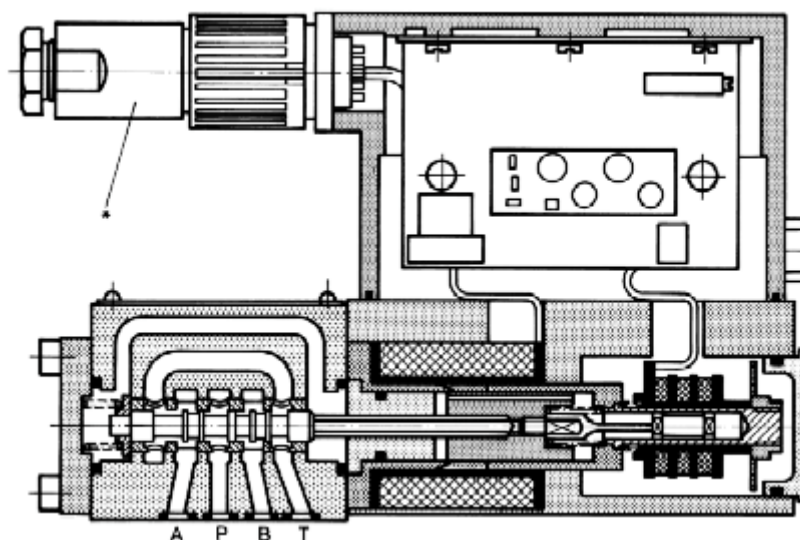
### 3 Kohteen kuvaus

#### 3.1 Kiinnirullain

Tutkimuksen kohteena oli kiinnirullaimen hydraulipiiri, joka liikuttaa lineaarijohteiden varassa lepäävää telaa. Kiinnirullaimen hydraulipiirissä on venttiili, sylinteri ja anturi sekä käyttöettä hoitopuolella, jolloin kutakin edellälueteltua komponenttia on 2 kappaletta. Piiristä on tehty Matlabin Simulink-simulointityökalulla malli, jota on käytetty aiemmin hydraulipiirin dynamiikan ja värähtelyjen tutkimiseen. Malliin on sisällytetty yksi regelventtiili, yksi hydraulisyylinteri, yksi asema-anturi sekä säätöjärjestelmä [1].

#### 3.2 Servoventtiili

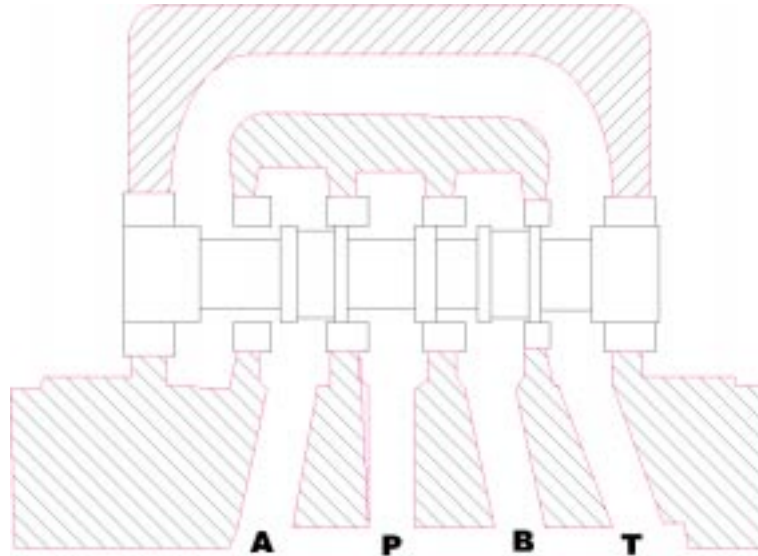
Hydraulipiirissä käytettävä venttiili on tyypiltään yksiasteinen 4-tie suuntaservoventtiili, jossa karaa liikuttaa proportionaalimagneetti. Karan liikettä ohjataan  $\pm 10$  Voltin jännitesignaalilla. Venttiilissä on sisäisesti takaisinkytketty karan aseman mittausta, jonka signaali on mitattavissa alueella  $\pm 10$  V. Kuvassa 1 esitetty venttiili vastaa pääosiltaan tutkittua venttiiliä.



Kuva 1. Yksiasteinen 4-tie suuntaservoventtiili [2].

Kuvassa 2 esitetään suurennos venttiilin karasta. Kuva on viitteellinen, eikä se ole mittakaavassa. Tutkimuksessa pyritään simuloimaan venttiilin karan juuttumista, jonka aiheuttaa hyd-

rauliöljyn mukana kulkeutuva öljyn epäpuhtauspartikkeli tai partikkelikasautuma venttiilin karan ja ohjausreunan välissä.



Kuva 2. Suurennos venttiilin karasta [2].

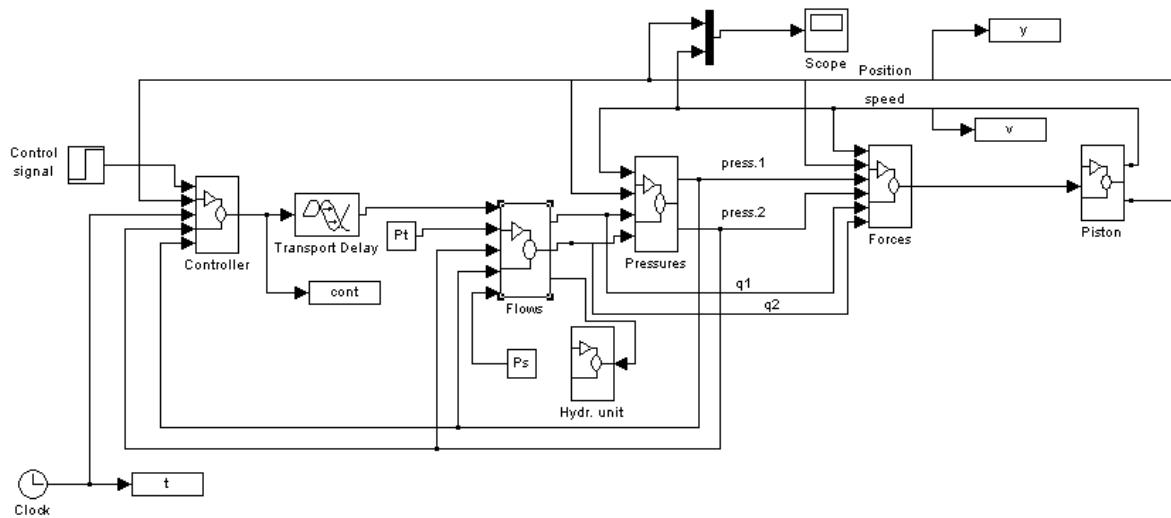
## 4 Rajaukset

Säätöpiirin tutkimuksessa haluttiin syventyä erityisesti venttiilin vikaantumiseen. Erilaisia mahdollisia venttiilin vikaantumistapoja ovat karan juuttuminen, karan kitkan lisääntyminen ja karan vähittäinen kuluminen.

Tutkimuksesta pois rajattuja vikaantumistapoja ovat vuoto hydraulijärjestelmässä, vuoto hydraulimännän tiivisteissä sylinterin sisällä ja kortin, johtojen sekä voima-anturin vikaantumiset.

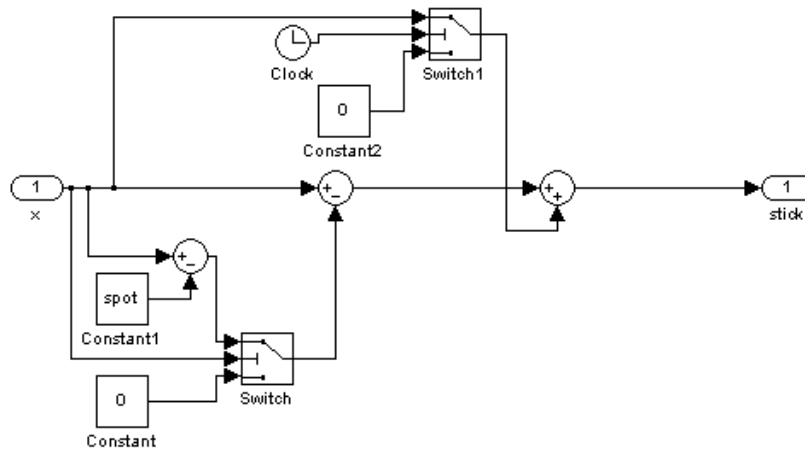
## 5 Menetelmät

Hydraulipiiristä on olemassa simulointimalli, jota on tarkemmin kuvattu lähteessä [1]. Mallia on käytetty värähtelyjen tutkimiseen ja se sisältää proportionaaliventtiilin, säätimen, voima-anturin ja hydraulisylinterin. Kuvassa 3 on esitetty tutkimuksessa käytetyn simulointimallin signaalikaavion ylin taso. Mallin syötteenä on askelpulssi, joka ilmoittaa männän liikkeen aloitusajankohdan ja tavoiteaseman. Ohjenopeus on ohjelmoitu säätimeen. Mallin ulostulosuure on hydraulisylinterin tuottama voima. Mallista saadaan lisäksi tilasuureina säätökortin ulostulovirta, venttiilikaran asema, männän nopeus ja männän asema.



Kuva 3. Rullausvaunun kuormituspiirin Simulink malli.

Karan dynaamiset ominaisuudet oli mallinnettu siirtofunktion avulla. Karan juuttuminen mallinnettiin muuttamalla karan siirtofunktiota siten, että karan liike estyy syötteestä riippumatta halutussa kohdassa halutun pituiseksi ajanjaksoksi. Kuvassa 4 on esitetty juuttumisen simulointiin käytetyn funktion toiminta signaalikaavion avulla. Karan liike  $x$  on lohkon syöte ja vasteena on joko esteetön liike tai vakio, joka ilmaisee juuttumiskohdan.



Kuva 4. Juuttumisen simulointiin käytetyn funktion signaalikaavio.

Mallin syötteet ja vasteet ovat käytännössä mitattavissa todellisesta kiinnirullaimesta. Mitaukset on toteutettu lähteessä [1]. Rullaimen säätöjärjestelmästä voidaan saada ohjauslogiikan kautta sylinterin voiman ohjearvo, todellinen voima, sekä hydraulimännän nopeus ja asema.

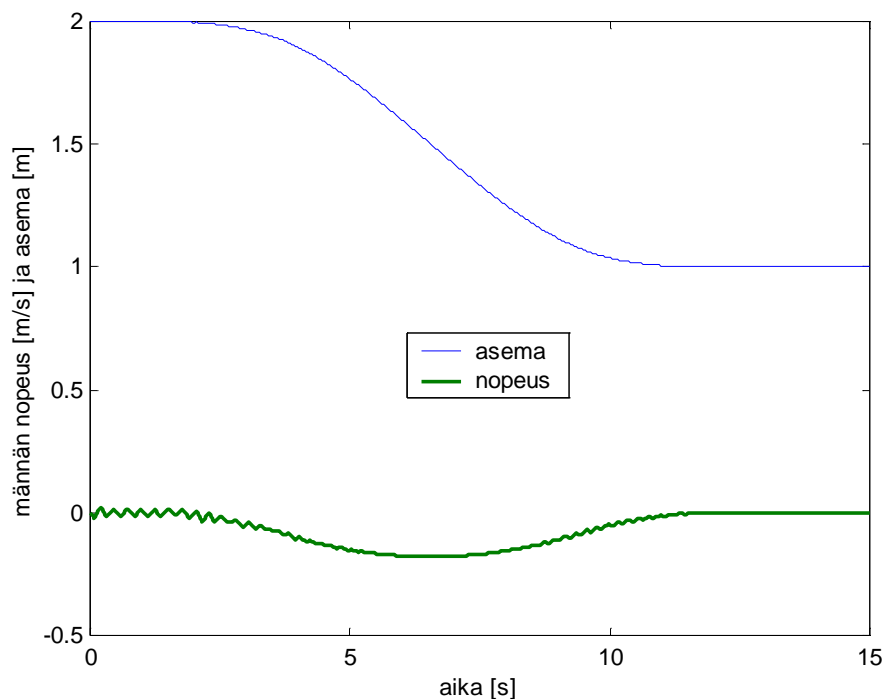
Venttiilin karan juuttumista simuloitiin eri kohdissa karan liikealueella. Mallissa karan liikealue on normalisoitu alueelle  $\pm 1$  mm, koska karan todellista liikealuetta ei tunneta. Todelliset asemat voidaan määrittää venttiilin valmistuspiirustuksen mukaan tai puretusta venttiilistä mittaamalla. Piirustuksesta tai puretusta venttiiliä tutkimalla voitaisiin pyrkiä määrittämään myös ne karan asemat, joilla juuttuminen todennäköisimmin tapahtuu, kun määritetään juut-



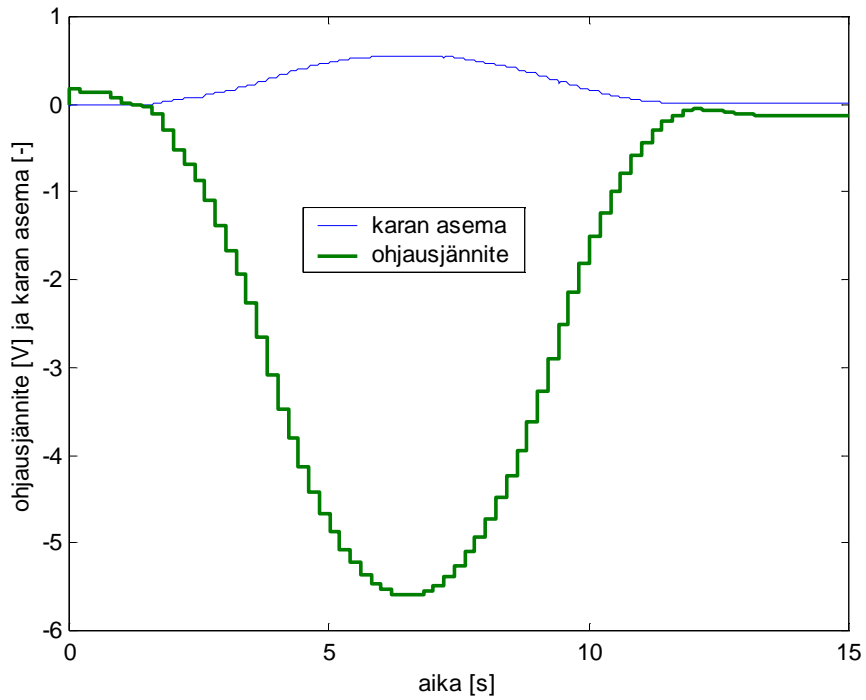
tumisen aiheuttavien partikkelien kokojakauma. Venttiiliä tai sen piirustusta ei ollut saatavissa tätä tutkimusta tehtäessä.

## 6 Tulokset

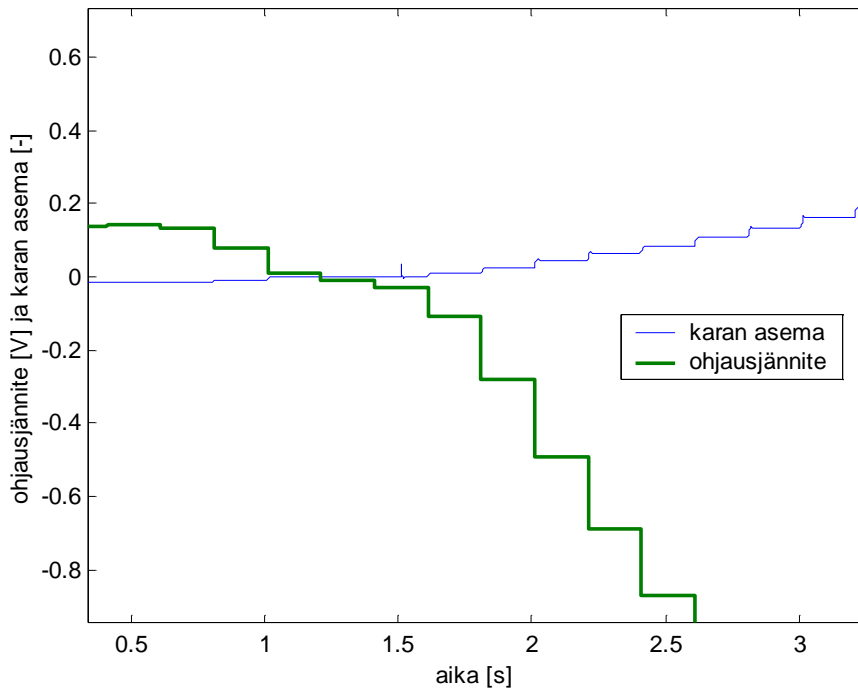
Tuloksissa esitetään simuloituja venttiilin karan aseman ja karan ohjausjännitteen arvoja erilaisilla karan juuttumisasemilla sekä erilaisilla juuttumisen ajallisilla kestoilla. Kuvat 5 ja 6 esittävät simulointitulokset, kun järjestelmä toimii normaalisti, eikä karan juuttumista tapahdu. Kuvissa 7-9 on esimerkkejä karan aseman ja karajännitteen arvoista venttiilikaran juuttuessa asemiin 0, 0,025 ja 0,05. Juuttumisten kestot ovat vastaavasti 0,1s, 0,3 s ja 1 s. Kuvassa 10 on esitetty hydraulimännän asema ja nopeus kuvan 9 vikatapauksessa.



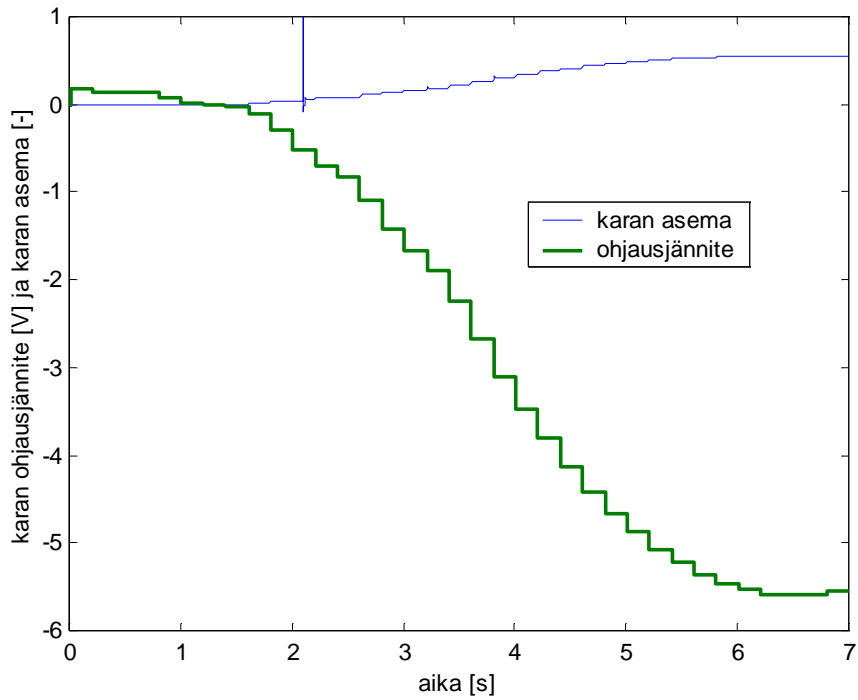
Kuva 5. Hydraulisyylinterin männän asema ja liikenopeus.



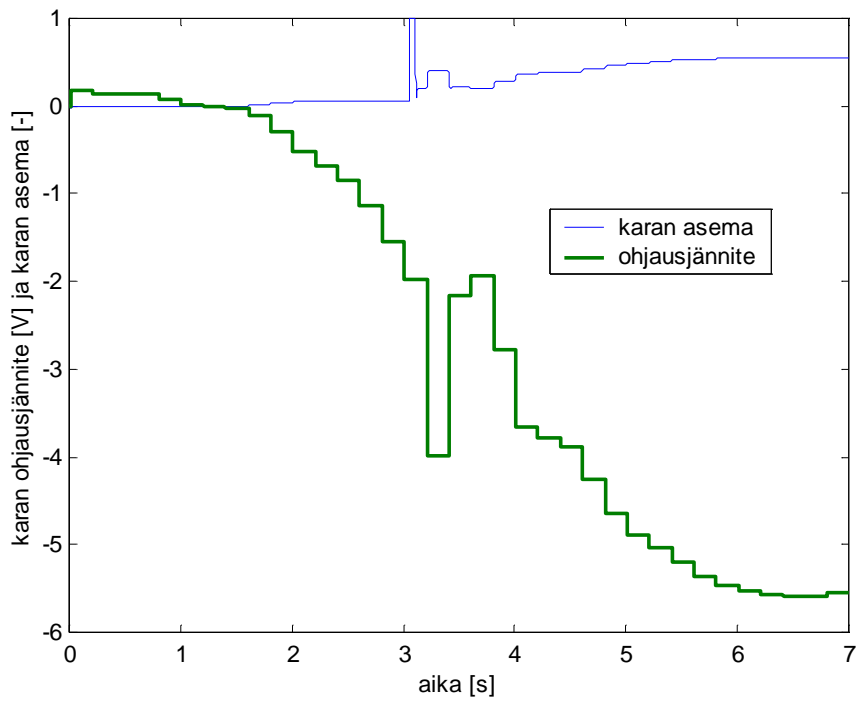
Kuva 6. Servoventtiilin karan asema ja karan ohjauksjännite hydraulisylinlerin liikkussa asemasta 2 m asemaan 1 m.



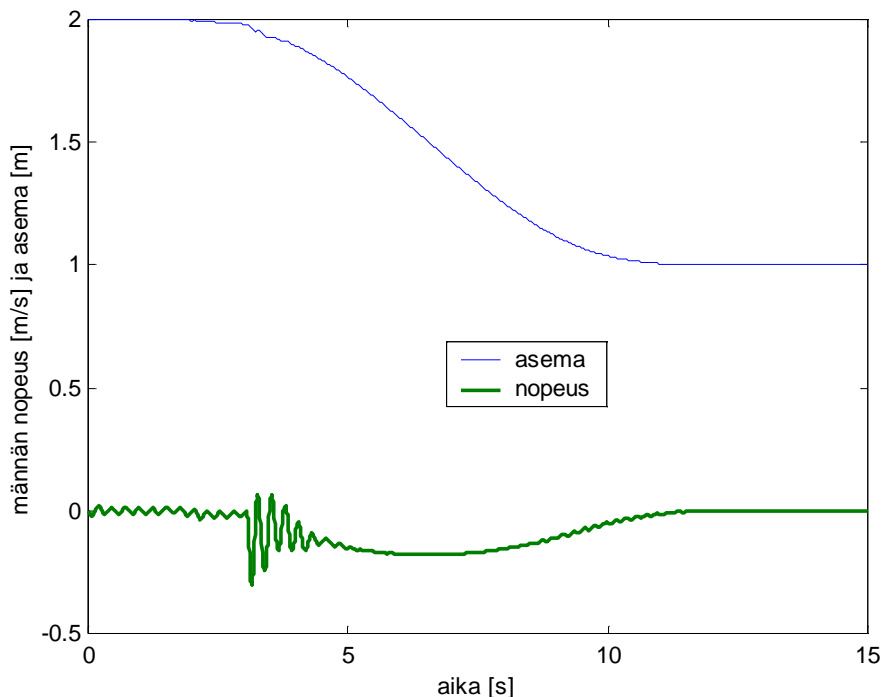
Kuva 7. Servoventtiilin karan asema ja karan ohjauksjännite, kun venttiilin kara juuttuu asemaan 0,1 sekunnin ajaksi.



Kuva 8. Servoventtiilin karan asema ja karan ohjaujännite, kun venttiilin kara juuttuu asemaan 0.025 0,3 sekunnin ajaksi.



Kuva 9. Servoventtiilin karan asema ja karan ohjaujännite, kun venttiilin kara juuttuu asemaan 0.05 1 sekunnin ajaksi.



Kuva 10. Hydraulisyylinterin männän asema ja liikenopeus, kun venttiilin kara juuttuu asemaan 0.05 s ajaksi.

## 7 Tulosten tarkastelu

Simulointituloksista nähdään, että venttiilikaran juuttumista voitaisiin todennäköisesti havainnoida mittaamalla karan asemaa ja karan ohjausjännitettä. Karan juuttuminen näkyy heikommien hydraulimännän liikkeestä, paitsi kaikkein pisimmin kestävässä juuttumisissa, jolloin männän liikenopeuteen tulee jaksollista vaihtelua.

Lähteessä [3] esitettyssä tutkimuksessa havaittiin kaksiasenteisen servoventtiilin pääasteen karan juuttuvan helposti keskiasentoonsa kun hydraulioöljyn epäpuhtaustasoa lisättiin. Ohjausvirran kasvettua riittävän korkeaksi luisti siirtyi nopeasti ohjausta vastaavaan asemaan. Tuloksista on pääteltävissä, että tietokonesimuloinneissa saadut karan nopeat liikkeet ääriasentoonsa saakka eivät ole realistisia, koska todellisuudessa hydraulioöljy vaimentaa karan liikettä voimakkaasti. Vaimennustermi voitaisiin lisätä alkuperäiseen karan siirtofunktioon, jolloin juuttumista olisi mahdollista mallintaa lineaarisesti kasvattamalla vaimennustermi lyhyessä ajassa hyvin suureksi.

## 8 Johtopäätökset

Venttiilikaran kitkan lisääntymistä juuttumisen tai likaantumisen seurauksena on vaikea mallintaa realistisesti. Tässä työssä käytetyllä menetelmällä ei ole yhteyttä todelliseen kitkaan

fysikaalisena ilmiönä. Karan liike tulisi mallintaa käyttäen karan oikeita mittoja ja oikeata massaa, realistista välystä ja todellista hydraulioöljyn viskositeettia. Karan juuttuminen tulisi mallintaa käyttämällä epäpuhtauspartikkelien ja karan leikkauslujuutta ja partikkelien oikeata kokojakaamaa. Näillä tiedoilla voitaisiin mahdollisesti konstruoida lineaarinen karan siirtofunktio, ja poistaa epälineaarisen muutoksen aiheuttamat häiriöt simuloinnista. Kitkan mallintamisessa tulisi pyrkiä käyttämään todellisia kitkakertoimia, joiden määrittäminen kokeellisesti voi olla työlästä.

Tässä työssä tehtyjä simuloiteja voitaisiin hyödyntää suunniteltaessa kohteen diagnostiikassa käytettävää signaalinkäsittelymenetelmää, koska käytetty simulointiympäristö soveltuu erityisen hyvin signaalinkäsittelysovellusten kokeiluun. Simuloinneilla voidaan tuottaa erilaisten vikaantumistilanteiden aiheuttamia signaaleja, joita voidaan käyttää diagnostiikkajärjestelmän testauksessa.

## Lähteet

- 1 Palokangas, S. 1999. Kiinnirullaimen dynamiikan tutkiminen simuloinnin avulla. Diplomityö, TTKK, Konetekniikka.
- 2 Bosch Automation. Servo solenoid valves. Esite N:o AKY 013/2 De/En/Fr 3.98. Saksa.
- 3 Heinonen, M. 1994. Sähköhydraulisen servoventtiilin vikadiagnostiikka. Diplomityö, TTKK, Konetekniikka.