

Ydinspinien tarkka kääntäminen magneettisella pulssimuotokytkennällä

Santra Uusitalo

Ohjaaja: Koos Zevenhoven

Valvoja: Nuutti Hyvönen

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

Sisältö

- Johdanto
- Tausta
- Menetelmät
- Tulokset
- Johtopäätökset
- Mahdollisia jatkotoimia

Johdanto

Tutkimusryhmän tavoite:

- Toimiva, kaupalliseen käyttöön soveltuva magnetoenkefalografiaa ja magneettikuvausta yhdistävä MEG-MRI-laite
- Metodeja yhdistävällä laitteella voidaan mitata aivotoimintaa yksittäisiä metodeja tarkemmin ajassa ja paikassa.

Oma tavoite:

- Toimiva pulssimuotokytkentä, jolla voidaan kääntää aivokudosten ydinmagnetisaatioita halutuilla kulmilla (90 ja 180 astetta)

Teoreettinen tausta

- Ydinmagnetisaatioita voidaan manipuloida magneettisten pulssien avulla
- MRI-laitteeseen yhdistetyn MEG-laitteen takia ei voida käyttää tavallisia magneettikuvauksessa käytettäviä pulsseja¹
- Sopivilla pulsseilla magnetisaatioita voidaan kääntää esim. 90 tai 180 astetta
- 90 asteen pulssi kääntää magnetisaatiot z-akselilta x-akselille, jolloin muodostuu vaimeneva signaali
- 180 astetta kääntävän pulssin tarkoituksena on tuottaa ns. Kaiku eli uusi signaalin maksimikohta

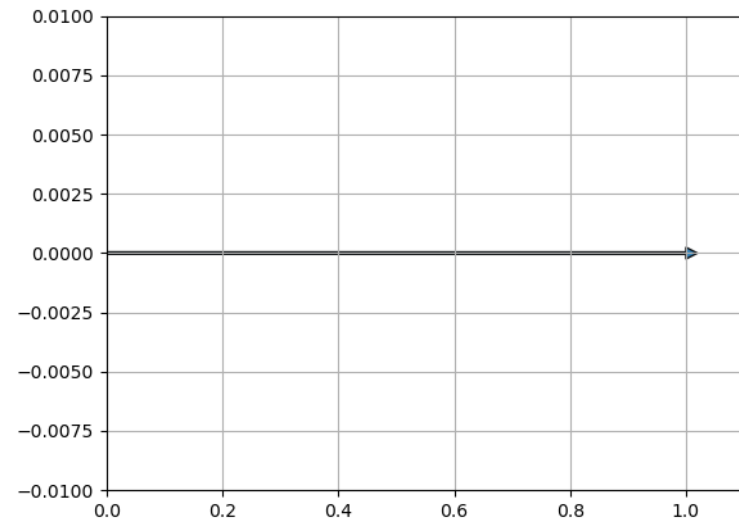
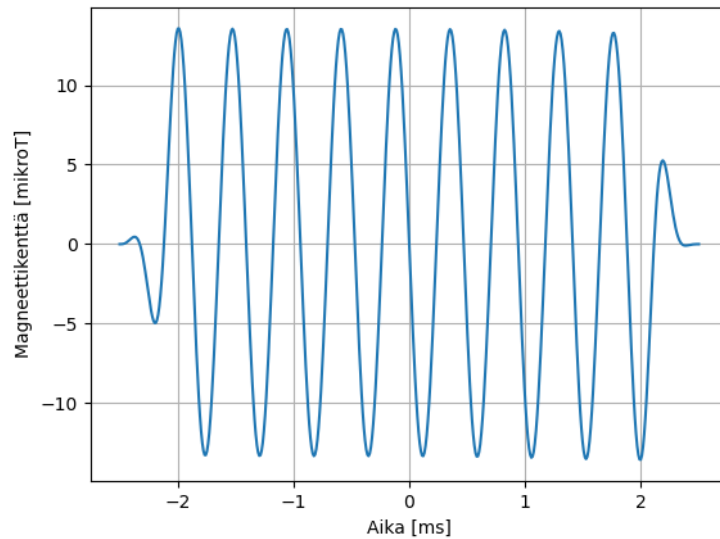
1) Koos CJ Zevenhoven, Hui Dong, Risto J Ilmoniemi, and John Clarke. Dynamical cancellation of pulse-induced transients in a metallic shielded room for ultra-low-field magnetic resonance imaging. 2015.

Menetelmät

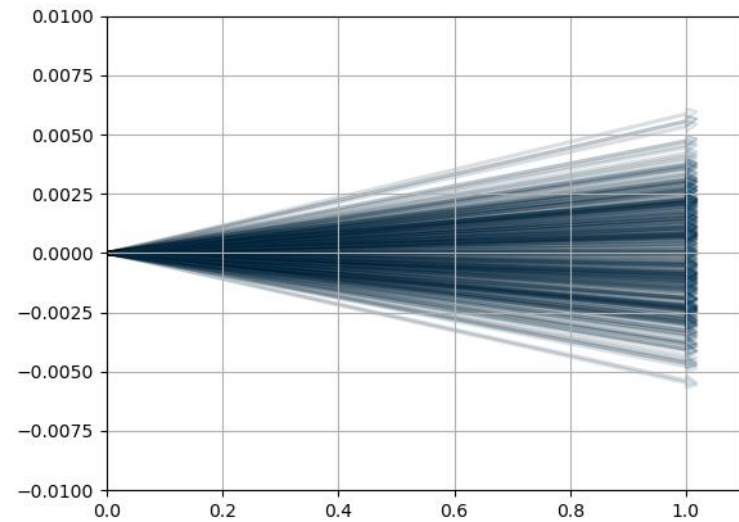
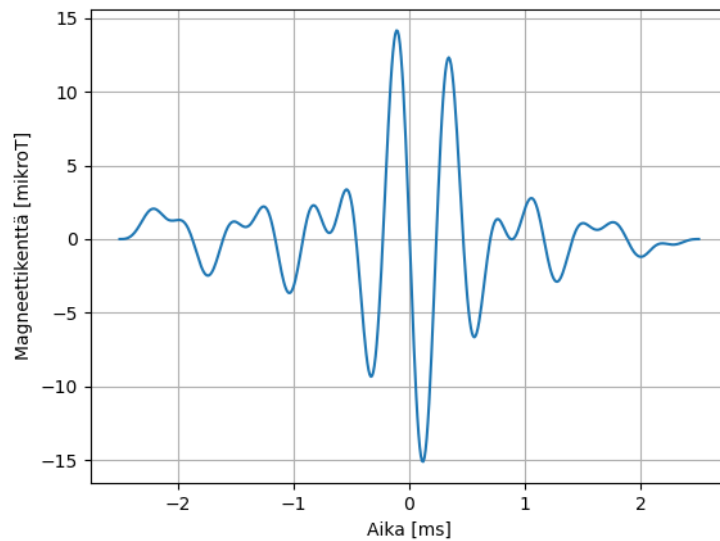
- Työssä käytetään dynaamista pulssimuotokytkeä (DynaCAN, Dynamical coupling for additional dimensionS²)
- DynaCAN:illa voidaan esimerkiksi luoda spinejä kääntävä magneettinen pulssimuoto niin, että paikkatiedon spineihin koodaava gradienttikenttä voidaan pitää päällä koko pulssimuotokytken ajan².
- Tämä lyhentää spinien kääntämiseen kuluva kokonaisaika, koska gradienttikenttää ei tarvitse kytkeä pois virityspulssien ajaksi
- Metodin avulla tehty pulssimuoto virittää magnetisaatioita tietyn kulman kumoten samalla gradienttikentän vaikutuksen.
- Ydinmagnetisaatiota simuloidaan ja simulaatioiden perusteella pulssimuoto ratkaistaan optimointitehtävänä.

2) Koos CJ Zevenhoven. Magnetic resonance imaging for the open-minded. (To be published)

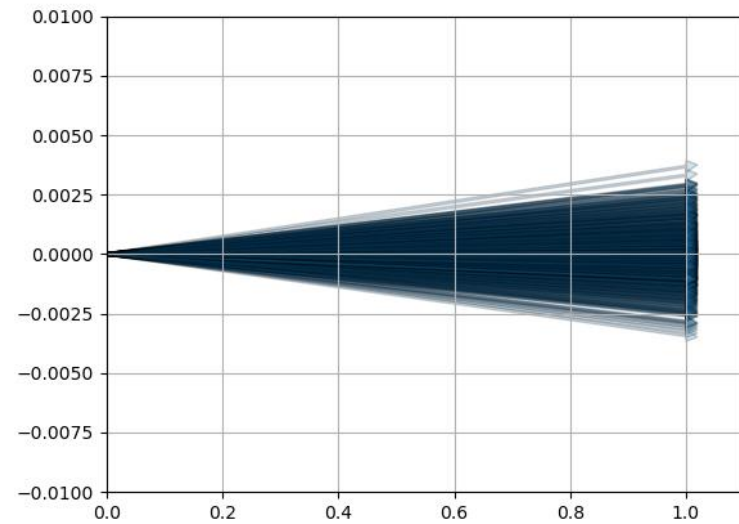
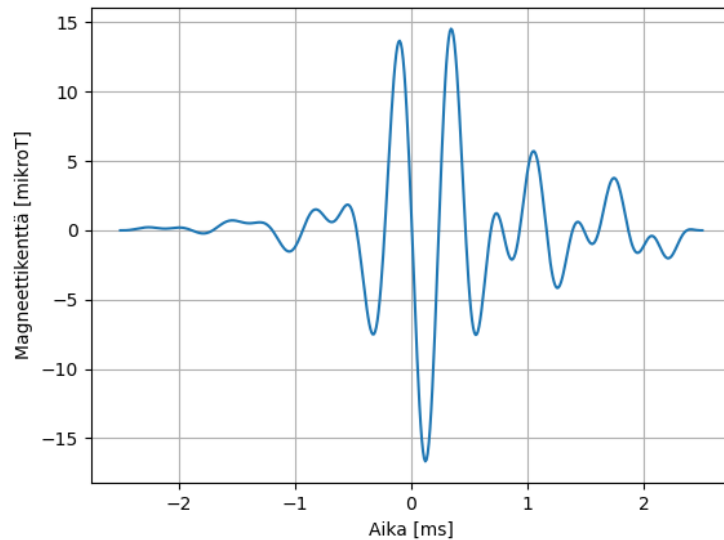
Tulokset: 90 astetta (1)



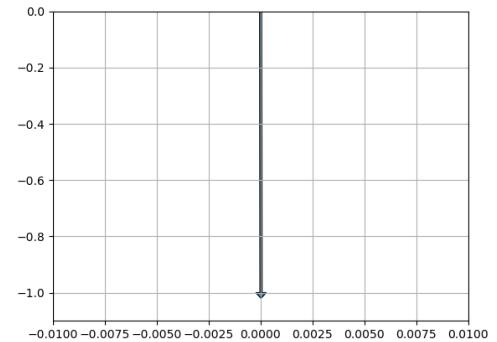
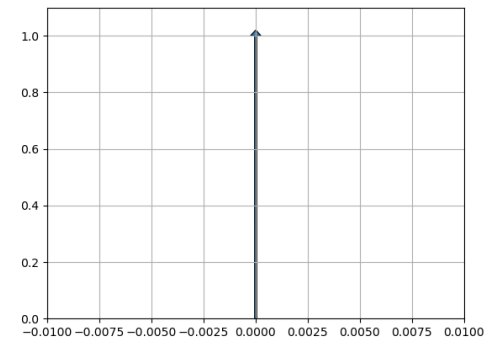
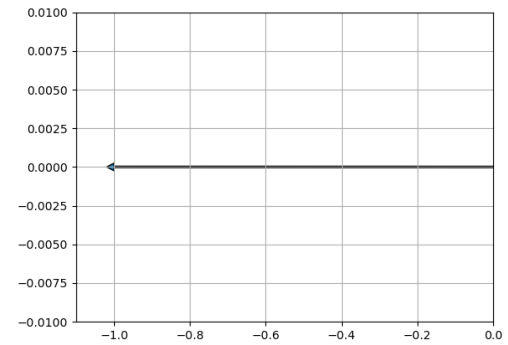
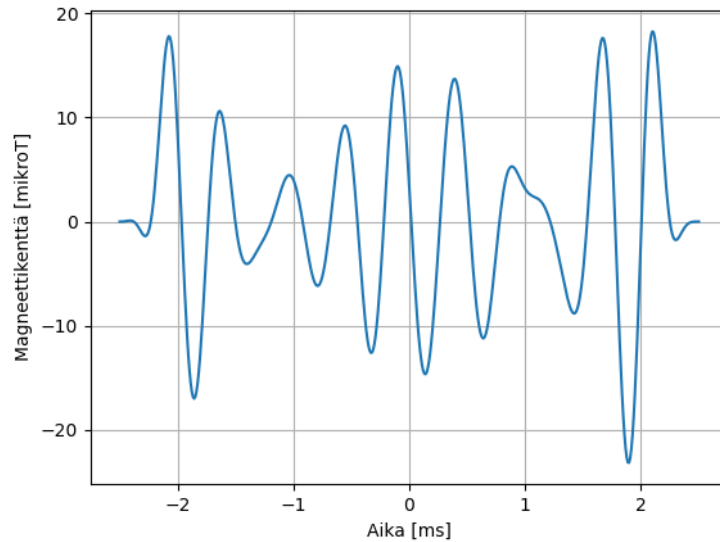
Tulokset: 90 astetta (2)



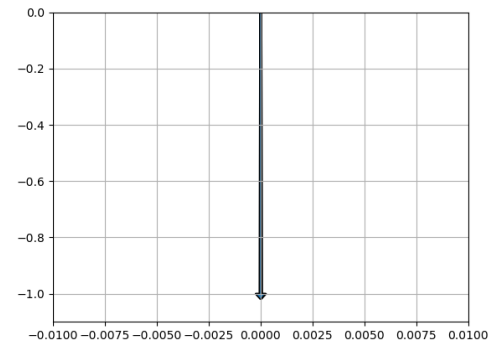
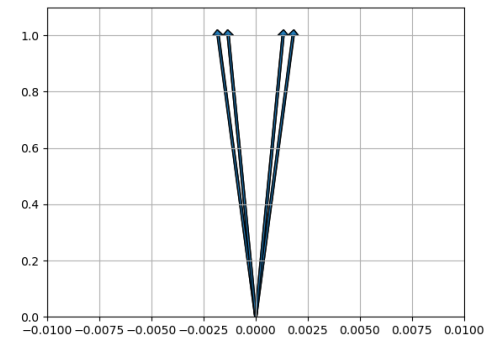
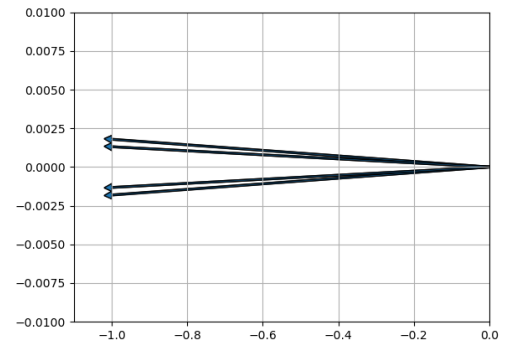
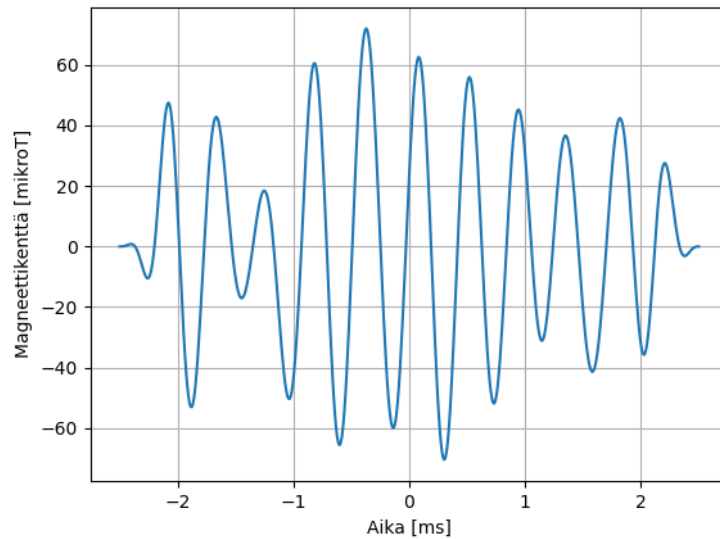
Tulokset: 90 astetta (3)



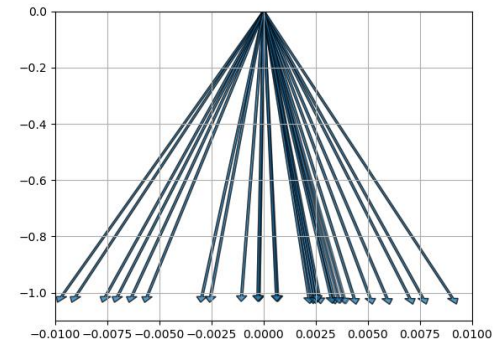
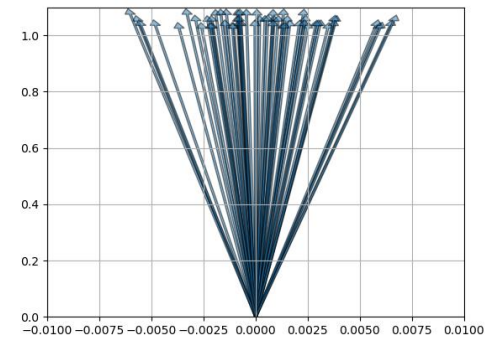
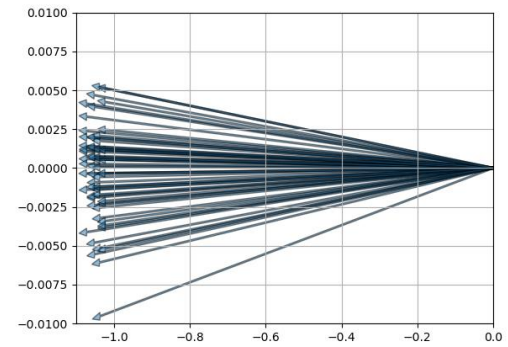
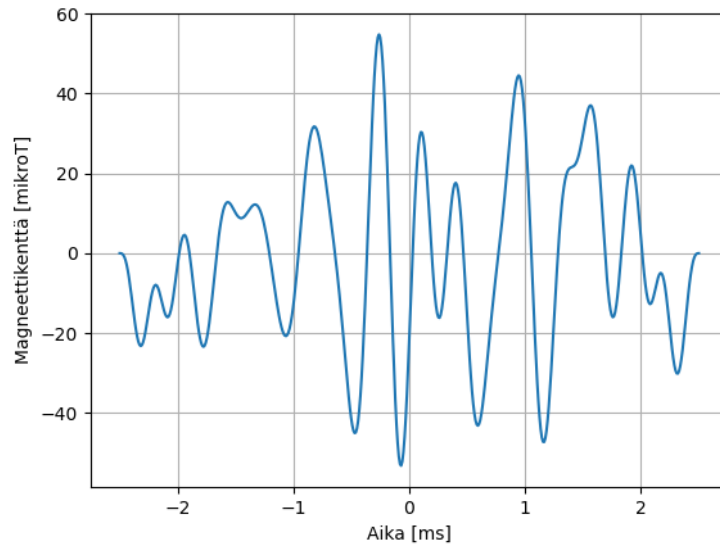
Tulokset: 180 astetta (1)



Tulokset: 180 astetta (2)



Tulokset: 180 astetta (3)



Johtopäätökset

- Optimoitiin 90 ja 180 astetta magnetisaatioita kääntävät magneettiset pulssit
- 90 astetta magnetisaatioita kääntävä pulssi kääntää magnetisaatioita tarkasti
- 180 astetta magnetisaatioita kääntävä pulssi kääntää magnetisaatioita hyvin, mutta jättää toivomisen varaa (rajoituksena laskenta-aika)
- Pulssit toimivat sitä paremmin, mitä pienempi lukumäärä käännettäviä magnetisaatiovektoreita on

Mahdollisia jatkotoimia

- Laskentateho ja -nopeus nousivat ongelmaksi työn edetessä
- Koodin parallelisointi ja pohjakoodin tehostaminen voisivat parantaa algoritmin suoritusta
- Algoritmin toimintaa aika- ja paikkapisteiden määrän kasvaessa voisi tarkastella

Lähteet

- 1) Koos CJ Zevenhoven, Hui Dong, Risto J Ilmoniemi, and John Clarke. Dynamical cancellation of pulse-induced transients in a metallic shielded room for ultra-low-field magnetic resonance imaging. 2015.
- 2) Koos CJ Zevenhoven. Magnetic resonance imaging for the open-minded. (To be published)

Liitteet

90 asteen pulssien vertailu

Nimi	Aaltomuotojen määrä	Paikkapisteiden määrä	Aikapisteiden määrä
Pulssi 90.1	40	1	1000
Pulssi 90.2	28	360	1000
Pulssi 90.3	30	1088	1000

Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_x)$	$\max(a_x)$	$\text{mean}(a_z)$	$\max(a_z)$
Pulssi 90.1	13,5861005	0,0001693	0,0001693	0,0000233	0,0000233
Pulssi 90.2	15,1205862	0,1613665	0,4080814	0,0012806	0,3747806
Pulssi 90.3	16,6705139	0,1427225	0,4410366	0,000167	0,4115254

$\max(|B|)$ = amplitudin absoluuttinen maksimi, mikrotolina

$\text{mean}(a_x)$ = keskikulma magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_x)$ = maksimikulma magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_z)$ = keskikulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_z)$ = keskikulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

Kaikki taulukon arvot on pyöristetty kahteen desimaaliin

90 asteen pulssien vertailu useammalla aikapisteellä

Nimi	Alkuperäinen määrä aikapisteitä			Aikapisteiden määrä useammalla pisteellä analysoitaessa	
Pulssi 90.1	1000			2000	
Pulssi 90.2	1000			2000	
Pulssi 90.3	100			200	
Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_x)$	$\max(a_x)$	$\text{mean}(a_z)$	$\max(a_z)$
Pulssi 90.1	13,5860716	0,0291192	0,0291192	0,0102844	0,0102844
Pulssi 90.2	15,12034158	0,1615916	0,4090647	0,0005279	0,373188
Pulssi 90.3	16,6707129	0,1425949	0,4421673	0,0017754	0,4128902

$\max(|B|)$ = amplitudin absoluuttinen maksimi, mikrotessloina

$\text{mean}(a_x)$ = keskikulma magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_x)$ = maksimikulma magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_z)$ = keskikulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_z)$ = keskikulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

Kaikki taulukon arvot on pyöristetty viiteen desimaaliin

180 asteen pulssien vertailu, 1

Nimi	Aaltomuotojen määrä	Paikkapisteiden määrä	Aikapisteiden määrä
Pulssi 180.1	32	1	1000
Pulssi 180.2	32	8	1000
Pulssi 180.3	34	56	100

Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_x)$	$\max(a_x)$	$\text{mean}(a_y)$	$\max(a_y)$	$\text{mean}(a_z)$	$\max(a_z)$
Pulssi 180.1	23,1881916	0,0010339	0,0010339	0,0006110	0,0006110	0,0010427	0,0010427
Pulssi 180.2	72,0193972	0,0892744	0,1035867	0,0892740	0,1036470	0,000981	0,0014236
Pulssi 180.3	54,6460119	0,1637141	0,5273569	0,1746159	0,6464351	0,5462607	0,8531700

$\max(|B|)$ = amplitudin absoluuttinen maksimi, mikrotessloina

$\text{mean}(a_x)$ = keskiarvo alkutilanteessa x-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_x)$ = maksimikulma alkutilanteessa x-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_y)$ = keskiarvo alkutilanteessa y-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_y)$ = maksimikulma alkutilanteessa y-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_z)$ = keskiarvo magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_z)$ = keskiarvo magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

Kaikki taulukon arvot on pyöristetty kahteen desimaaliin

180 asteen pulssien vertailu, 2

Nimi	Aaltomuotojen määrä	Paikkapisteen määrä	Aikapisteiden määrä
Pulssi 180.1	32	1	1000
Pulssi 180.2	32	8	1000
Pulssi 180.3	34	56	100

Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_{xz})$	$\max(a_{xz})$	$\text{mean}(a_{yz})$	$\max(a_{yz})$
Pulssi 180.1	23,1881916	0,0010134	0,0010134	0,0006108	0,0006108
Pulssi 180.2	72,0193972	-0,0001308	0,0012189	-0,0000870	0,0011292
Pulssi 180.3	54,6460119	-0,0016414	0,2980222	-0,0063594	0,55692833

$\max(|B|)$ = amplitudin absoluuttinen maksimi, mikrotessloina

$\text{mean}(a_x)$ = keskimulma alkutilanteessa x-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_x)$ = maksimikulma alkutilanteessa x-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_y)$ = keskimulma alkutilanteessa y-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_y)$ = maksimikulma alkutilanteessa y-akselin suuntaisen magnetisaation ja ideaalin vektorin välillä, asteina ilmoitettuna

$\text{mean}(a_z)$ = keskimulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

$\max(a_z)$ = keskimulma magnetisaation ja xy-tason välillä, asteina ilmoitettuna

Kaikki taulukon arvot on pyöristetty kahteen desimaaliin

180 asteen pulssien vertailu useammalla aikapisteellä, 1

Nimi	Alkuperäinen määrä aikapisteitä	Aikapisteiden määrä useammalla aikapisteellä analysoitaessa
Pulssi 180.1	1000	2000
Pulssi 180.2	1000	2000
Pulssi 180.3	100	200
Pulssi 180.3	100	1000

Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_x)$	$\max(a_x)$	$\text{mean}(a_y)$	$\max(a_y)$	$\text{mean}(a_z)$	$\max(a_z)$
Pulssi 180.1	23,1885397	0,0155761	0,0155761	0,0303379	0,0303379	0,0290903	0,0290903
Pulssi 180.2	72,0203713	0,1029755	0,1203061	0,0904135	0,1206141	0,0433925	0,0695610
Pulssi 180.3	54,7320265	0,4397090	0,9803223	0,4875709	1,1312268	0,5495605	1,231658
Pulsi 180.3	54,7417116	0,5527936	1,1914805	0,6185298	1,3002550	0,6297035	1,4521151

180 asteen pulssien vertailu useammalla aikapisteellä analysoitaessa, 2

Nimi	Alkuperäinen aikapisteiden määrä	Aikapisteiden määrä useammalla aikapisteellä analysoitaessa
Pulssi 180.1	1000	2000
Pulssi 180.2	1000	2000
Pulssi 180.3	100	200
Pulssi 180.3	100	1000

Nimi	$\max(B)$	$\text{mean}(a_{xz})$	$\max(a_{xz})$	$\text{mean}(a_{yz})$	$\max(a_{yz})$
Pulssi 180.1	23,1885397	-0,0091660	0,0091660	0,0276155	0,0276155
Pulssi 180.2	72,0203713	0,0289663	0,0679895	-0,0137478	0,0162512
Pulssi 180.3	54,7320265	-0,2371537	0,7261169	0,0947502	1,0933221
Pulssi 180.3	54,7417116	-0,3099701	0,8995840	0,1312630	1,2680661