TIETOKONE DATA-ANALYYSIN APUVÄLINEENÄ – PIKAOPAS

1 Johdanto

Oppilaslaboratorion mittausdatan analyysiä voi helpottaa huomattavasti käyttämällä apuna tietokoneohjelmia. Sen sijaan, että esimerkiksi laskisimme mitatusta jännitteestä magneettikentän arvon käsin tai laskimella jokaisessa mittauspisteessä (joita voi olla kymmeniä), mitatut jännitteen arvot voidaan syöttää sopivaan laskentaohjelmaan, jonka jälkeen riittää, että ohjelmaan syötetään haluttu yhtälö kerran. Kuvaajien piirtämisessä tietokoneohjelmat mahdollistavat helpon kuvaajan muokkaamisen ja siistin ammattimaisen lopputuloksen. Kun tarvitaan suoran sovitusta (lineaarinen regressio) pienimmän neliösumman menetelmällä (PNS), useat ohjelmat hoitavat sovituksen automaattisesti, virherajoineen kaikkineen, jolloin turhaa laskentatyötä jää pois.

Tämä ohje on nimensä mukaisesti pikaopas joka pyrkii esimerkkien avulla selvittämään muutamia fysiikan oppilaslaboratoriotöiden data-analyysin kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ja niiden käyttöä. Opas ei kuitenkaan ole missään mielessä kattava, vaan suositeltavaa on tutustua myös ohjelmien mukana tulevaan dokumentaatioon, josta löytyy lisää tietoa mm. syntaksista ja ohjelmien niistä ominaisuuksista, joihin tämän oppaan puitteissa ei ole mahdollista paneutua.

2 Microsoft Excel (versio 2010)

2.1 Lyhyt johdatus taulukkolaskentaan

Mittausdata voidaan siirtää Exceliin joko kirjoittamalla käsin ylöskirjatut lukemat ohjelman ikkunan taulukkoon, avaamalla sopivassa muodossa tallennettu datatiedosto (esim. csv-tiedosto) tai kopioimalla ja liittämällä mittausdata tekstitiedostosta tai esim. Logger Pro-ohjelman taulukosta.

Esimerkki Excel-ohjelman ikkunasta on esitetty kuvassa 1. Mitatut jännitelukemat virheineen on syötetty kuvassa näkyvään taulukkoon. Virran laskemiseksi soluun D7 on syötetty yhtälö. Yhtälön syöttäminen aloitetaan "="-merkillä ja yhtälön muuttujiin viitataan solujen "koordinaatteja" käyttämällä. Yleisesti soluu kaavaa kopioidessa taulukon viittaukset siirtyvät vastaavasti. Dollarimerkit koordinaatin edessä aiheuttavat sen, ettei kyseinen muuttuja muutu kopioidessa. Esimerkkitapauksessamme halutaan laskea virran arvo kaikissa mittauspisteissä. Koska resistanssin arvo solussa D2 on kaikille mittauspisteille sama, on solun koordinaattien eteen laitettu \$-merkit, jotta sama yhtälö voidaan kopioida soluihin D8–D12 ilman muutoksia. Excel sisältää myös paljon erilaisia valmiita funktioita, joista esimerkki keskiarvon laskemisesta on esitetty kuvassa 2. Kuten esimerkkitapauksessakin, funktion argumentit syötetään sulkujen sisään. Syöttämisen helpottamiseksi on haluttu solu/alue mahdollista syöttää maalaamalla haluttu alue taulukossa hiirellä. Taulukossa 1 on listattu muutamia hyödyllisimmistä funktioista.

Katja Kuitunen & Jani Sainio, 29.12.2014

	u • •	× -	-		Book1	- Microso	oft Excel					
Fi	le Hom	ne Insert	Page Layou	ut Formula	as Data	Review	View Acr	obat		۵	? - f	83
Past	te 🛷 E	B <i>I</i> <u>U</u> → → <u></u> → <u></u> Font		■ = = ■ = = = = = Alignment	Gener	al • % • Solution	Conditional Format as Cell Styles	Formatting ~ Fable ~ ~ es	Insert → Delete → Format → Cells	Σ · A · Z · Z · Filt Ed	rt & Find & er * Select * diting	
	SUM	• (X V Ja	= =B7/\$D\$	52	_						ľ
	A	В	С	D	E	F	G	H		J	K	
1 2 3 4		Resistanss	i R:	100	Ω							
5		Jännite U	Virhe ∆U	Virta I	Virhe ∆I							
6		V	V	mA	mA							_
7		2,01	0,02	=B7/\$D\$2								-
8		4,00	0,02									
10		7 99	0,02									
11		10,00	0,02									
12		12,02	0,02									
13												
14												
15												
16	E H Ch	ot1 Shaa	t) (Sheat)	· /* 1 /								
Edit		CLI / SILLE						# •	<u> </u>		+	

Kuva 1. Yhtälön syöttäminen Excel-taulukkoon.

			E	Book1 - Mie	crosoft	Excel				. 🗆	>	
File	e Hom	e Insert	Page Layout	Formulas	Data	Review	View	Acrobat	V	•	- 6	23
	SUM	- ($X \checkmark f_x$	=AVERA	GE(C6:	C12)						~
	А	В	С	D	E		F	G		ŀ	ł	
1												
2		Toistokoe	- palkin pak	suus								
3												
4		Toisto	Paksuus									
5			mm									
6		1	10,5									_
7		2	10,4									
8		3	10									_
9		4	9,98									
10		5	10,2									
11		6	10,1									
12		/		(00-010)								-
14		Keskiarvo:	=AVEKAGE	(0:012)								-
14												-
	► ► She	eet1 / Shee	t2 / Sheet3								•	
Enter							100%	Θ			-(+	

Kuva 2. Keskiarvon laskeminen Excelillä.

Funktio	Suomenkielinen nimi (jos eri)	Toiminta
٨		eksponentti, esim. "2^2"
ABS	ITSEISARVO	itseisarvo
ACOS		arkuskosini
ASIN		arkussini
ATAN		arkustangentti
AVERAGE	KESKIARVO	keskiarvo
COS		kosini
EXP	EKSPONENTTI	e
LINEST	LINREGR	PNS-menetelmä
MAX/MIN	MAKS/MIN	alueen suurin/pienin luku, esim.
PI	PII	syötetään "=PI()". Piin arvo
SIN		sini
SQRT	NELIÖJUURI	neliöjuuri
STDEV	KESKIHAJONTA	keskihajonta
SUM	SUMMA	valitun alueen lukujen summa.
TAN		tangentti

Taulukko 1. Hyödyllisiä Excel-funktioita.

2.2 Kuvaajan piirtäminen

Yksinkertaiset kuvaajat voidaan piirtää Excelillä, varsinkin, jos data-analyysin takia data on jo ohjelmassa valmiiksi. Kuvaajan piirtäminen kannattaa aloittaa maalaamalla haluttu data-alue taulukosta. Tämän jälkeen valitaan Insert \rightarrow Charts \rightarrow Scatter \rightarrow Scatter with only Markers. Nyt näkyviin tulee kuvaaja, joka ei vielä välttämättä näytä halutunlaiselta, sillä tässä vaiheessa tietokoneohjelma lähinnä arvaa mm. mitä akseleita yms. käyttäjä haluaa.

Klikkaamalla kuvaajaa oikealla hiiren näppäimellä, saat näkyviin valikon, josta valitaan Select Data. Näkyviin avautuu kuvan 4 mukainen ikkuna, josta valitaan Add. Nyt pystyt maalaamaan haluamasi x- ja y- arvot taulukosta, mutta myös nimeämään pisteistön jollakin kuvaavalla nimellä (tämä tosin ei ole usein tarpeellista yhden pisteistön tapauksessa).

Tässä vaiheessa kannattaa tutustua ylävalikon Chart Tools -menun Layout-työkaluihin ja muokata kuvaajan akselit ja muu ulkoasu siistiksi oppilaslaboratorion muiden ohjeiden mukaisesti. Layout-valikon työkalujen avulla akselit voidaan skaalata ja nimetä, pisteille voidaan lisätä virherajat Error Bars -toiminnon avulla. (Huom! Valitsemalla Error Amount="Custom", voit määritellä kullekin mittauspisteelle oman virherajan tapauksessa, jossa pisteiden virherajat ovat keskenään erisuuret.)

Suoran sovittaminen pisteistöön onnistuu klikkaamalla pisteistöä oikealla hiirennäppäimellä ja valitsemalla Add Trendline.... Eteen avautuu ikkuna, jossa suora on oletusvaihtoehto. Lisäksi suoraa voidaan jatkaa päistään ja suoran yhtälö on mahdollista asettaa näkyville. Lopputulos on esitetty kuvassa 5.

Jos kuvaajaan halutaan piirtää varsinaisen suoran lisäksi virhesuorat, tämä onnistuu kätevimmin tekemällä kaksi datasettiä lisää, jotka sisältävät maksimi- ja minimivirhesuorien alku- ja loppupisteet. Sovittamalla näihin pisteistöihin suorat, saadaan sekä virhesuorat, että näiden kulmakertoimet. Huomaa, että virhesuorien määrittämiseen käytettyjen pisteiden paikkoja voi tämänkin jälkeen muuttaa, jolloin virhesuorat siirtyvät samalla.



Kuva 3. Kuvaajan lisääminen ja Chart Tools -menun Layout-valikon komennot. Huomioi, että kuvaajaa ei kuvassa ole vielä muokattu, joten se ei ole vielä hyvä kuvaaja. Jotta kuvaajasta saataisiin ymmärrettävä, siihen on lisättävä vähintään akselien otsikot ja yksiköt. Usein on myös tarpeen säätää akselien skaalausta, lisätä pisteille virherajat ja sovittaa pisteistöön PNS-menetelmällä määritetty suora.

Select Data Source	? ×
Chart data range: =Sheet1!\$A\$4:\$A\$9;Sheet1!\$C\$4:\$C	\$9
Switch	Row/Column
Legend Entries (<u>S</u> eries)	Horizontal (<u>C</u> ategory) Axis Labels
Add Z Edit X Remove	Edi <u>t</u>
Series1	1,02
	1,98
	3,10
	4,00
	5,02 👻
Hidden and Empty Cells	OK Cancel

Kuva 4. Pisteistön arvojen syöttäminen kuvaajaan.

X		5.6.	-		Micro	osoft Ex	cel			Chart	Tools		X
	File	Home	Insert Pa	ge Layout 🛛 Fo	ormulas	Data	Review	View	Acrobat	Design	Layout	Format	~ ?
		Chart 2	-	f_{x}									~
×	B B	ook1											
		А	В	С	D		E	F	:	G	Н	1	
	1	Jousen ve	nyminen		1 H				3333				
	2	Voima F	ΔF	Venymä		3,5							
:	3	N	N	cm		2.0				y = 0,50	32x + 0,00	29	
4	4	1,02	0,02	0,5		3,0	_				/		
1	5	1,98	0,03	1,1		2,5	_				¥		
	6	3,10	0,02	1,4	7	•				_/			
	7	4,00	0,01	2,0	ä,	. 2,0	_			×			
	8	5,02	0,04	2,6	Ë	1 5			/				
9	9	5,99	0,02	3,0	Ven	1,5		t Area	۱⁄۰				222
1	10				-	1,0	FIC	Y	\mathbf{Y}				_
1	11	Venymän			-								
1	12	virhe:	0,1	cm		0,5	- 🗡						
1	13				-	0.0							
	14				-	0,0)	2		4		6	
	16						-	-	Voir	na F (N)		-	
	17												
	10				62				2932				
Rea	ady									1009	6 -		-+ <u>.</u> ;;

Kuva 5. Excelillä piirretty kuvaaja ja siihen soviettu suora.

	×) + (× - =	Ŧ		Micros	oft Excel				
File	Home	Insert Pa	age Layout	Formulas	Data Re	eview View	Acrobat		∞ ?
	E20	• (=	f_{x}						~
E 🖉 E	Book1								
	А	В	С	D	E	F	G	Н	I
1	Jousen veny	minen							
2	Voima F	ΔF	Venymä	25					
3	N	N	cm	3,5					
4	1,02	0,02	0,5	3,0	_	y =	0,5032x+0,	,0029	
5	1,98	0,03	1,1	_				//	
6	3,10	0,02	1,4	2,5	_			X	
7	4,00	0,01	2,0	Ē			-		
8	5,02	0,04	2,6	<u> </u>	_				
9	5,99	0,02	3,0	- E 1.5	_		4		
10				Ver		- /	*		
11	Venymän			1,0	_	Ý			
12	virhe:	0,1	cm						
13				0,5	1 //				
14	Virhesuorat	x	Y	0.0					
15	k_min	0,5	0,4	0,0	0	2	4	6	5
16		6,5	3,1		-	- v	oima E (N)	·	
17	k_max	0,8	0,25			•			
18		6,5	3,4						
19									
Ready							100% (+

Kuva 6. Excelillä piirretyt virhesuorat.

2.3 PNS-menetelmä

Excel käyttää kuvaajan suoran sovittamiseen automaattisesti PNS-menetelmää. Valitettavasti tätä kautta tehdylle sovitukselle ei saa näkyviin kulmakertoimen tai vakiotermin virhettä. Excel sisältää kuitenkin myös muita vaihtoehtoja, joita voidaan käyttää, kun tarvitaan virhearviota.

Jos käytössä on apuohjelma Analysis ToolPak, niin Data-valikon alta löytyy valikko Data analysis (suomenkielisessä versiossa Tiedot \rightarrow Tietojen analysointi). Tämän alta valitaan "Regression" (suom. "Regressio"), jolloin aukeaa kuvan 7 mukainen valikko. Valitsemalla tarvittavat x- ja y-arvot ja painamalla OK aukeaa sovituksen tulokset uudelle sivulle kuvan 8 mukaisesti. Saaduista tuloksista "X Variable 1" vastaa kulmakerrointa ja "Intercept" y-akselin leikkauspistettä (eli vakiotermiä). Näiden virhearviot löytyvät vastaavasti sarakkeesta "Standard Error". Nämä virhearviot liittyvät siis siihen, kuinka hyvin pisteet osuvat suoralle ja vastaavat 68 %:n luottamusrajoja määritetyille parametreille. Niitä voidaan käyttää suoraan kulmakertoimen ja vakiotermin virhearvioina.

	Α	В	С	D	E	F	G	Н	1	J
1									1.9	
2				Regressi	ion			_	R	
3				Input						OK
4		x y		Input	Y Range:		\$C\$5:\$C\$9			
5		1	2,01	Toout	V Dance:		to to to to		C	ancel
6		2	3,99	Inpor	A Kanger		\$0\$0:\$0\$9			
7		3	6,00		abels		Constant is Ze	ro	[]	teip
8		4	8,03	C	on <u>f</u> idence Lev	el: 95	%			
9		5	10,20							
10				Output	toptions		1			
11				00	utput Range:					
12				Ne	ew Worksheet	Ply:				
13				O Ne	ew <u>W</u> orkbook					
14				Resid	uals		17 <u>200</u> 200 - 180			
15				E Re	esiduals		Resi <u>d</u> u	al Plots		
16					andardized Re	esiduals		t Plots		
17				Norm	al Probability					
18					ormal Probabili	ty Plots				
19										
20				-		-	_		_	

Kuva 7. Regression-valikko.

XI	」 ≌) • (≌ • •	E	Book1 - Microsoft Excel		and the second second		3
Fil	e Home Insert	Page Layout Form	ulas Data Review	View		v 🕜 🗆 🗗	£
	D8 🔻 🧑	$f_{\mathbf{x}}$					
	А	В	С	D	E	F	E
2							
3	Regression S	tatistics					
4	Multiple R	0,999845591					
5	R Square	0,999691205					
6	Adjusted R Square	0,999588273					
7	Standard Error	0,065523533					
8	Observations	5					
9							
10	ANOVA						
11		df	SS	MS	F	Significance F	
12	Regression	1	41,69764	41,6976	9712,1832	2,30322E-06	
13	Residual	3	0,01288	0,00429			
14	Total	4	41,71052	140			
15					· · · · · ·		
16	42	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	
17	Intercept	-0,08	0,068721661	-1,1641	0,3285406	-0,298703	
18	X Variable 1	2,042	0,02072036	98,5504	2,303E-06	1,976058566	
19							
14 4	> > Sheet4 Sheet5	Sheet1 / Sheet2	Sheet3 🖉 🗍	4	III		1
Read	iy				III 115% —)

Kuva 8. Regression-komennon antamat tulokset.

Jos Data analysis –valikkoa ei löydy, sen voi mahdollisesti aktivoida File-valikon kautta valitsemalla File \rightarrow Options \rightarrow Add-Ins \rightarrow Manage: Excel add-ins \rightarrow Go..., jolloin saat näkyviin käytettävissä olevat apuohjelmat. Valitse Analysis ToolPak, jos se löytyy listasta, jonka jälkeen Data analysis-valikko on käytössä seuraavan kerran ohjelmaa käynnistettäessä. Suomenkielisessä versiossa valitse Tiedosto \rightarrow Asetukset \rightarrow Apuohjelmat \rightarrow Hallinta: Excel-apuohjelmat \rightarrow Siirry ja valitse listasta Analyysityökalut.

Jos apuohjelmaa Analysis ToolPak ei ole saatavilla, voit käyttää funktiota LINEST (suomenkielisessä versiossa LINREGR). Analysis ToolPak -apuohjelma käyttää tätä samaa funktiota sovituksen tuloksen laskemiseen, mutta apuohjelmalla sen käyttö on tehty helpommaksi.

LINEST -funktio syötetään muodossa¹:

```
LINEST(y:n arvot; x:n arvot; vakiotermi[laita: TRUE];tilastot
näkyviin[laita: TRUE]).
```

Tämän jälkeen ole tarkkana! Hyväksy kirjoittamasi yhtälö painamalla "Enter". Valitse 2x2 alue hiirellä aloittaen yhtälöruudusta, kuten kuvassa 9 alue B9:C10 ja paina F2 (tai F2:n sijaan valitse hiirellä komentorivi). Tämän jälkeen paina yhtäaikaisesti painikkeita CTRL+SHIFT+Enter. Lopputulos ja sen tulkinta on esitetty kuvassa 10. Lisää tietoa LINEST-funktiosta löydät Excel-ohjelman Help-toiminnon kautta.

	- e	- - E	Book1 - N	Aicroso	ft Excel		. 🗆 🗖	x
F	ile Home	Insert Page La	Formula	Data R	eview View	Acrobat 🛛 🗢	? - 0	a X
	SUM		$\checkmark f_x$	=LINE	ST(C3:C7;E	33:B7;TRUE	;TRUE)	*
	А	В	C		D	E	F	
1								
2		x	у					
3		1		2,01				
4		2		3,99				
5		3		6,00				
6		4		8,03				
7		5		10,20				
8		PNS-menetelm	nä:					
9	tulos:	=LINEST(C3:C7	;B3:B7;T	RUE;T	RUE)			
10	virheet:							
11								
12		11 (Ch 12)	Charles 12	/8-1 /				
	She	etI / Sheet2 /	Sheet3					
Edit					100%	0		÷.

Kuva 9. LINEST-funktion syöttäminen.

¹ Näin toimitaan, kun tietokoneessa on suomalaiset maa-asetukset ja desimaalierottimena toimii pilkku. Jos tietokoneen asetuksissa desimaalierotin on piste, tulee puolipisteet funktiossa korvata pilkuilla.



Kuva 10. LINEST-funktion antama tulos.

Matlab (2012 versio)

2.4 Datan tuominen Matlabiin

Datan tuominen Matlabiin onnistuu ehkä helpoiten kopioimalla haluttu data esim. tekstitiedostosta tai taulukkolaskentaohjelmasta ja käyttämällä Matlabin Import-toimintoa. Tämä tapahtuu klikkaamalla Matlabin pääikkunan oikeassa reunassa olevan Workspace-ikkunan oikean yläreunan ympyrää, jossa on nuoli alaspäin ja valitsemalla Paste. (Jos Workspace-ikkuna ei ole syystä tai toisesta näkyvissä, sen saa esille ikkunan yläreunan Home-välilehden Layout nappulan takaa klikkaamalla Workspace.) Nyt näkyviin tulee kuvan 11 näköinen ikkuna, jossa pitäisi näkyä leikepöydällä oleva data. Tässä vaiheessa kannattaa nimetä datavektorit, mikä onnistuu kaksoisklikkaamalla vektorin nimeä. (Esimerkissä: "Voima", "dVoima" ja "Venyma".) Lopuksi valitaan Import Selection ja datan kopiointi Matlabin vektoreiksi on valmis.

4	🞍 Import - C:\Users\kpennane\AppData\Local\Temp\MatlabImportTool_paste_40137639318 💶 📼 🔀									
Γ	IMPORT	VIEW			SH		LBBDC	⊑ ? ⊙ ≖		
	Delimited Fixed Width	Column delim Tab	varial	Range: A1:C6	• 1•	Column vector	UNIMPORTABLE CELLS	Import Selection		
	DE	LIMITERS	ions •	SELECTION		IMPORTED DATA	× ×	IMPORT		
(MatlabImp	ortTool_pa	ste_40137	×						
	А	В	С							
	Voima NUMBER T	dVoima NUMBER	Venyma							
1	1,02	0,02	0,5							
2	1,98	0,03	1,1							
3	3,10	0,02	1,4							
4	4,00	0,01	2,0							
5	5,02	0,04	2,6							
6	5,99	0,02	3,0							

Kuva 11. Matlabin Import-ikkuna.

2.5 Peruskomennot

Matlabiin ladatuilla vektoreilla voidaan tehdä erilaisia laskutoimituksia. Esimerkkinä kuvitellaan tilanne, jossa Venymä-vektoriin halutaan lisätä vakioarvo. Määritellään vakio nimeltä "offset_vakio" Matlabin komentoikkunassa kirjoittamalla:

>> offset_vakio=3

ja painamalla Enter, jolloin komentoikkunaan tulostuu:

```
offset_vakio =
```

Lisätään nyt Venymä-vektoriin määrittelemämme vakio:

Lisää tietoa Matlab-syntaksista löydät Matlabin laajasta dokumentaatiosta, jonka saat näkyviin painamalla F1. Varsinkin ensimmäistä kertaa Matlabia käyttävälle suosittelen tutustumaan osioon "Getting Started with MATLAB".

2.6 PNS-menetelmä

PNS-menetelmän käyttö Matlabilla on helppoa. Yllä olevassa esimerkkitapauksessa sovitus tehdään komennolla:

```
>> fit(Venyma,Voima,'poly1')
ans =
Linear model Poly1:
ans(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 1.966 (1.699, 2.233)
p2 = -5.853 (-7.147, -4.56)
```

Kuten tulosteesta voi päätellä, Matlab antaa myös kulmakertoimen p1 ja vakiotermin p2 95% luottamusrajat. Luottamusrajoja voi myös muuttaa confint-käskyllä:

Kurssin kotisivuilta löytyy myös valmis skripti (suora.m), joka antaa kulmakertoimen ja vakiotermin arvot sekä niille 68 %:n luottamusrajat suoraan.

2.7 Kuvaajan piirtäminen

Kuvaajan piirtäminen onnistuu plot-komennolla ("figure" luo uuden kuvaajan, mutta sitä ei välttämättä tarvita), 'o' määrittää kuvaajan pisteiden ulkonäön ja erilaisia optioita on muitakin:

```
figure;plot(Venyma,Voima,'o')
```

Silloin, kun halutaan pisteille virherajat näkyviin, voidaan plottaus tehdä suoraan komennolla:

```
>> errorbar(Venyma,Voima,dVoima,'o')
```

Lopputulos on esitetty kuvassa 12. Kuvaajan ikkunan työkaluilla voidaan nimetä kuvaajan akselit ja muokata muutenkin kuvaajan ulkoasua. Myöskin suoran sovitus onnistuu suoraan kuvaajasta valitsemalla Tools → Basic Fitting, jolloin eteen aukeaa kuvan 13 ikkuna, josta valitaan sovitusmenetelmäksi "Linear". Valitsemalla "Show Equations"-kohdan, saadaan myös sovitetun suoran yhtälö näkyviin. Kannattaa kuitenkin valita tarpeeksi monta merkitsevää numeroa näkyviin. Lopullinen kuvaaja näyttää toivottavasti samantapaiselta kuin kuvassa 14.



Kuva 12. Errorbars-käskyllä piirretty kuvaaja.

📣 Basic Fitting - 1	
Select data: Mittaus 🔻	
Center and scale x data	
Plot fits	Numerical results
Check to display fits on figure spline interpolant shape-preserving inter linear quadratic cubic	Fit: linear Coefficients and norm of residuals y = p1*x + p2 Coefficients: p1 = 1.9661 r2 = r264
 4th degree polynomial 5th degree polynomial 6th degree polynomial W Show equations Significant digits: 4 	p2 = -5.8334 Norm of residuals = 0.40599
 Plot residuals Bar plot Subplot Show norm of residuals 	Save to workspace
Help Close	$\leftarrow \rightarrow$

Kuva 13. Suoran sovitus kuvaajan pisteistöön.



Kuva 14. Matlabilla tehty kuvaaja, johon on sovitettu suora PNS-menetelmällä.

3 Origin

Origin on ohjelma, jota käytetään pääasiallisesti data-analyysiin ja kuvaajien piirtämiseen. Kun data on valmiiksi taulukkomuodossa esim. Excelissä, se on helppo kopioida Originiin, jolla siistien kuvaajien piirtäminen ja suoran sovittaminen on helpompaa ja nopeampaa kuin Excelillä.

3.1 Datan siirtäminen

Originin ikkuna on esitetty kuvassa 15. Datan voi kirjoittaa Originin taulukkoon suoraan tai sen voi kopioida ja liittää suoraan esim. Excelin taulukosta. Lisää palstoja saa taulukkoon klikkaamalla oikealla hiirennäppäimellä taulukon otsaketta (Esim. "A(Y)") Otsakkeissa sulkujen sisällä oleva kirjain kertoo sen, halutaanko palstalla olevia lukuja käyttää kuvaajan x- vai y-akselilla, vai kenties mittauspisteiden virheinä, joten saman tien kopioinnin jälkeen kannattaa klikata otsaketta oikealla hiiren painikkeella ja valita valikosta "Set As" sopiva käyttötarkoitus. Tämä helpottaa kuvaajien piirtämistä.

0	🕑 OriginPro 9 (Academic) 32-bit - \\tfy.science.aalto.fi\dfs\\UNTITLED * - /Folder1/											
÷ E	ile <u>E</u>	dit	<u>V</u> iew <u>G</u> raph <u>I</u>	<u>D</u> ata <u>A</u> nalysis	Gadget <u>s</u>]	ools F <u>o</u> rmat	t <u>W</u> i	ndow <u>H</u> elp				
İ	ם נ	a 1	🟦 🔝 🖬 🔛	🍙 🛃 🛎	🗟 🖬 🖶 🐐		23	100% 🖌 🖨 🛒 🛛	J 🖬 📜			
$ \begin{array}{c} \downarrow \downarrow \downarrow \blacksquare \blacksquare \blacksquare \downarrow \blacksquare \downarrow \blacksquare \downarrow \blacksquare \downarrow \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare $												
ject												
Expl	<u>_</u>			A(Y)	C1(yEr±)	B(X)				=		
orer	+		Long Name	Voima F	virhe F	Venymä	Ξ					
	E3 _		Units	N	N	cm					E	
	*		Comments	;							5 	
Ø	۵.		1	1,02	0,2	0,51					i	
Lic	****		2	2 1,98	0,3	1,1						
ĨĨ	÷.:		3	3,1	0,2	1,4						
ep	Т		4	4	0,3	2,03					<u>L</u>	
	7		5	5,02	0,4	2,6						
\leq			6	5,99	0,2	3	-					
SSe												
age			I ≤ I > \ Sheet	1/		 ■ 					<u>-č</u>	
1 S	19										E	
Bo-	٧đ									-	Ð	
	ŢŢŢŹŢŦŢŹŢ Ħ , ⊠, Ē, M , ۞, Ŵ, ◎ Ĵ: Ø, Ø, Œ, ⊡ ≌ Ĵ: ♡ № № . ◎ Ħ ĦĴŢ ŢŢ											
For	Help	, pre	ss F1					AU : ON Dark (Colors &	Light G	ri 🖽	

Kuva 15. OriginPro 9:n pääikkuna.

3.2 Kuvaajan piirtäminen

Valitse ylävalikosta Plot \rightarrow Symbol \rightarrow Scatter, jolloin saat eteesi kuvan 16 mukaisen Plot Setup -ikkunan. Valitse kuvaajan data akseleille haluamallasi tavalla ja paina OK. Saat nyt eteesi kuvaajan, jota voit muokata mieleiseksesi.

Plot Setup: Select Data	to C	reate N	New I	Plot							? ×
Plot Type:		Show	/(S)	[Bool	<1]Sh	eet1					≠ *
Scatter		X	Y	yEr	L	Column	Long Name	Comments	Sampling Interval		Position
Line + Symbol						<autox></autox>	From/Step=				0
Column / Bar	Ξ		1			A	Voima F				1
Area				3		C1	virhe F				2
Stack Area		3				В	Venumä				3
Fill Area		L				-	ronyma				
High - Low - Close											
Floating Column	_										
wany											
										ОК	Cancel 💙

Kuva 16. Plot Setup -ikkuna.

3.3 Suoran sovittaminen Originilla

Kuvaajan pisteistön sovitetaan suora Fitting-toiminnon avulla. Valitse Analysis \rightarrow Fitting \rightarrow Linear Fit..., kuten kuvassa 17 ja saat eteesi kuvassa 18 esitetyn Linear Fit -ikkunan. Tässä ikkunassa voi valita

sovitukseen otettavan datan ja sen mahdollisen painotuksen silloin, kun pisteiden y-suuntaiset virherajat ovat erisuuret. Hyväksy asetukset painamalla OK.



Kuva 17. Suoran sovittaminen kuvaajan pisteistöön Originissa.

Linear Fit		? X							
Dialog Theme									
Description Perform Linear Fitting									
· , ··································									
Recalculate	Manual 🔻								
Multi-Data Fit Mode	Independent - Consolidated Report								
🗆 Input Data	[Graph1]1!1"Voima F"	≧ ►							
🛛 Range 1	[Graph1]1!1"Voima F"	₹ ►							
×	[Book1]Sheet1!B"Venymä"	₹ ►							
Y	[Book1]Sheet1!A"Voima F"	₹ ►							
Error	[Book1]Sheet1!C1"virhe F"	₹ ►							
🗄 Rows	All								
E Fit Options									
Errors as Weight	Instrumental 🔹								
Fix Intercept									
Fix Intercept at	0								
Fix Slope									
Fix Slope at	1								
Use Reduced Chi-Sqr									
Apparent Fit									
🗄 Quantities to Compute									
⊞ Residual Analysis									
Uutput Settings Eitted Curves Plot									
🗄 Residual Plots									
	ОК	Cancel							

Kuva 18. Linear Fit -ikkuna. X-, Y- ja Error rivit saat esiin klikkaamalla +-ruutua kohdassa Range 1. Fit Options kohdasta voidaan valita, otetaanko virherajat mukaan suoran sovitukseen, jolloin käytetään ns. painotettua PNS-menetelmää. Sovituksen voi tehdä myös ilman painotuksia, jolloin Errors as Weight - kohdasta valitaan "No Weighting".



Kuva 19. PNS-sovituksen tulos. Sovitettu suora näkyy kuvaajassa ja PNS-menetelmällä saadut kulmakerroin (Slope) ja vakiotermi (Intercept) virheineen (Standard Error) kuvaajan taulukossa ja taulukkoikkunan FitLinear-välilehdellä.

Kuvassa 19 on esitetty Origin sovituksen lopputulos. Kulmakerroin saadaan kohdasta Slope ja vakiotermi kohdasta Intercept. Molempien termien virheet löytyvät kohdasta Standard Error.