

Grasshopper ja waam

Siipipyörän siiven tulostuksen ohjelmointi Grasshopperilla

Aappo Mustakangas 8.12.2025



Euroopan unionin
osarahoittama



Grasshopper

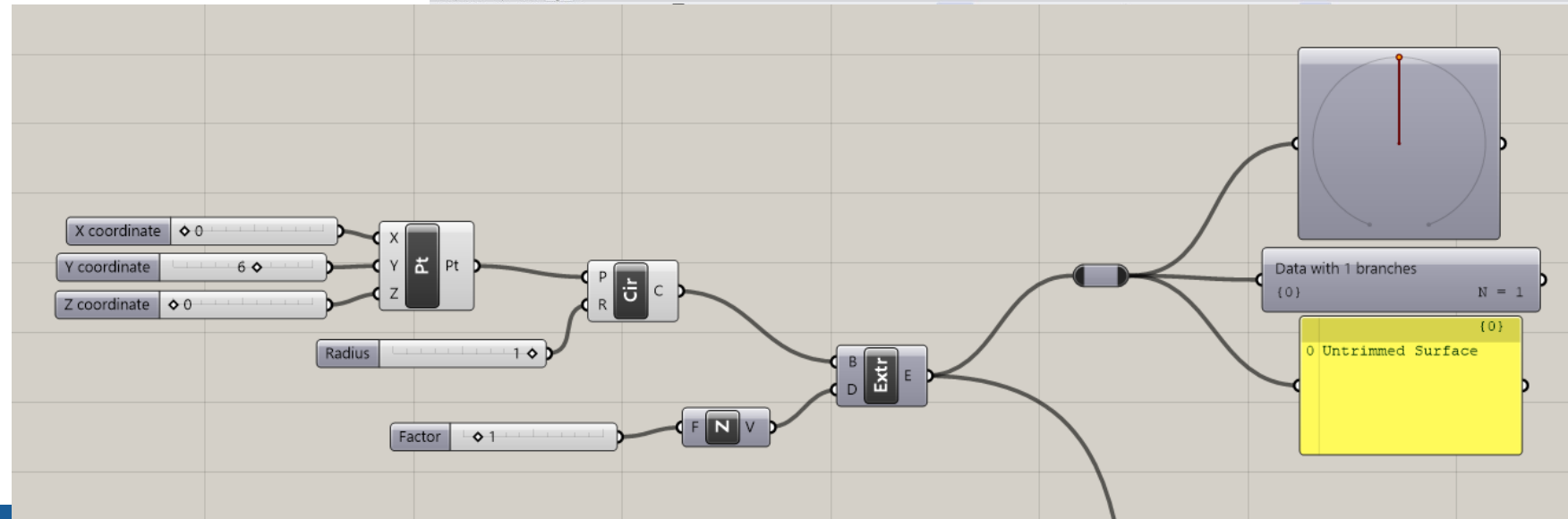
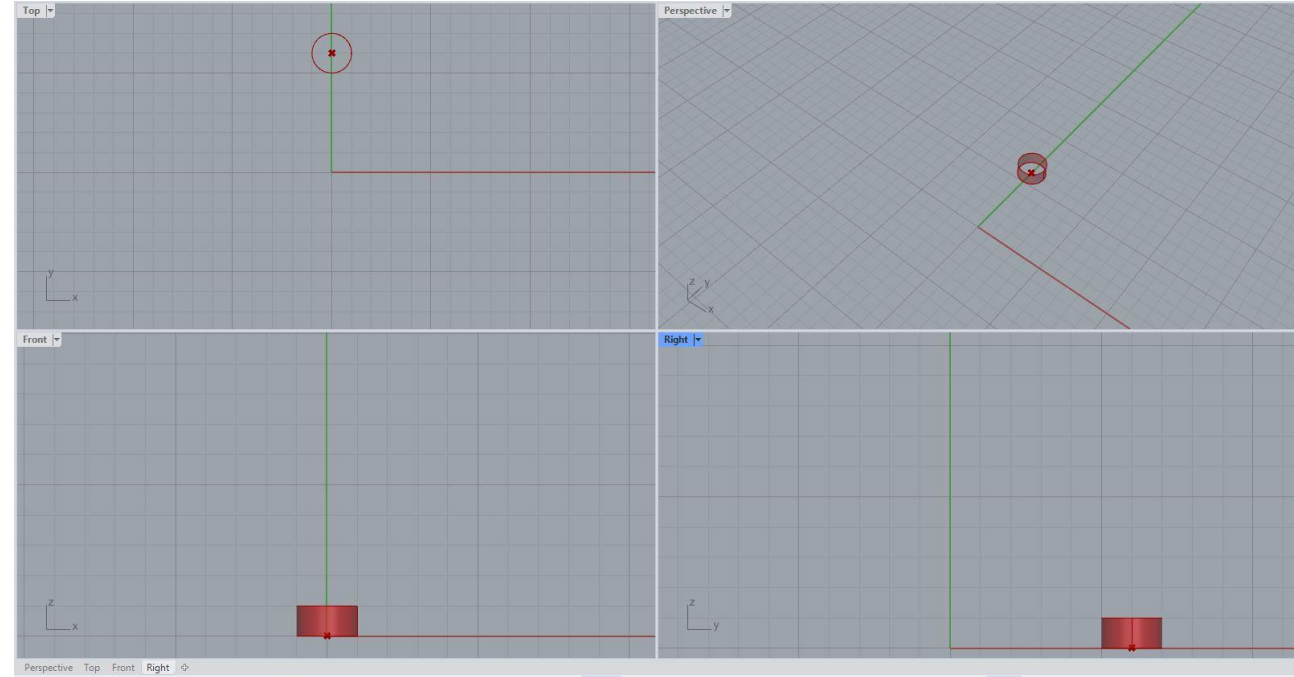
- Visuaalista ohjelmointia
 - Voidaan käyttää algoritmeja ja matematiikkaa geometrian käsittelyyn
- Parametrinen mallinnus
 - Käyttää listoja ja puu-datarakennetta
 - Saadaan luotua toistuva käsittely kerroksittain.
- Moduulit roboteille





Grasshopper esimerkki

- Piste xy-tasoon
- Ympyrä pisteeseen määritetyllä säteellä
- Pursotetaan pinta z suuntaan
- Listassa 1 kohde
- Puussa yksi oksa



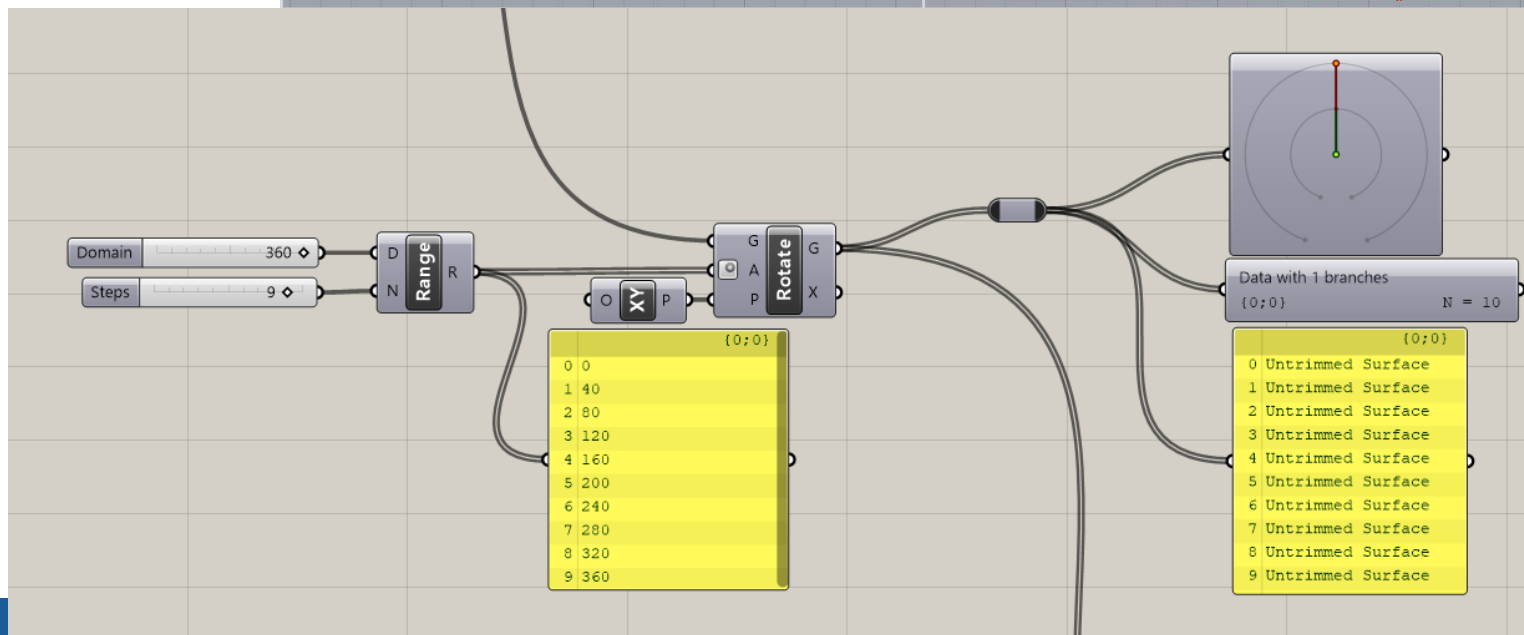
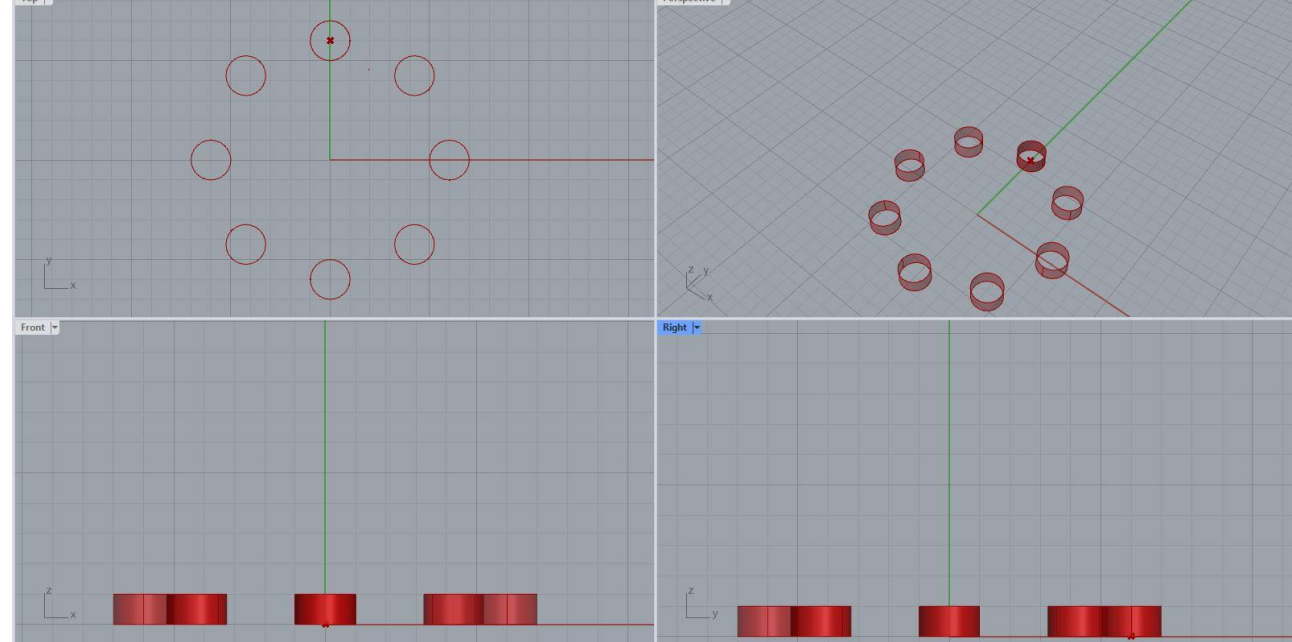
Euroopan unionin
osarahoittama





Grasshopper esimerkki

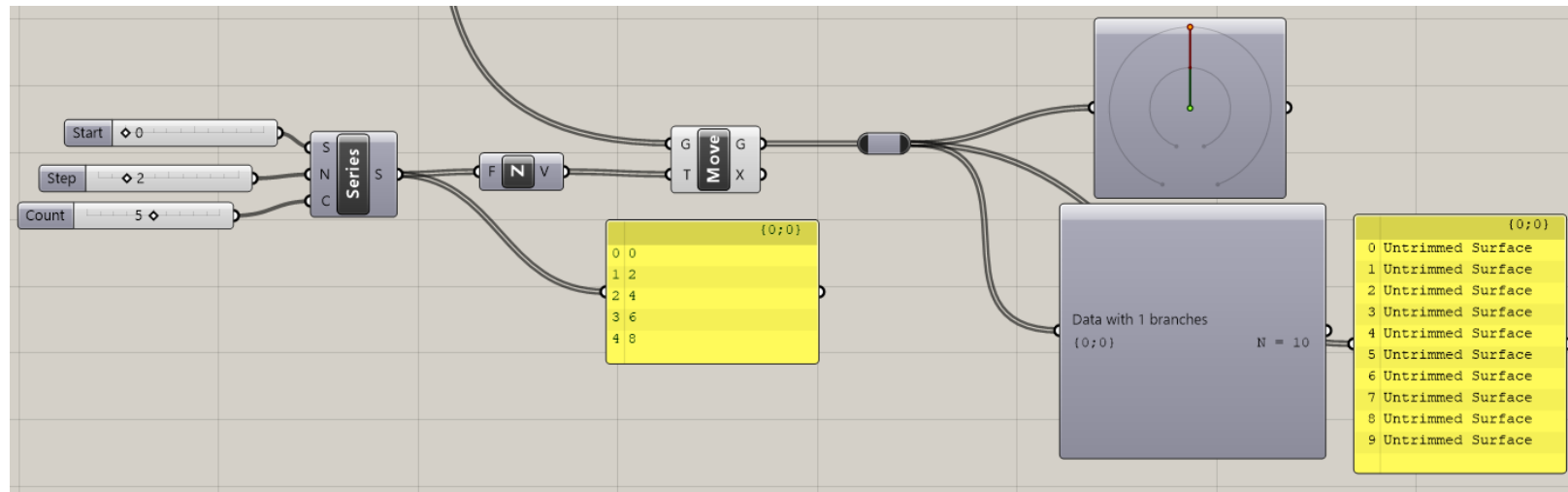
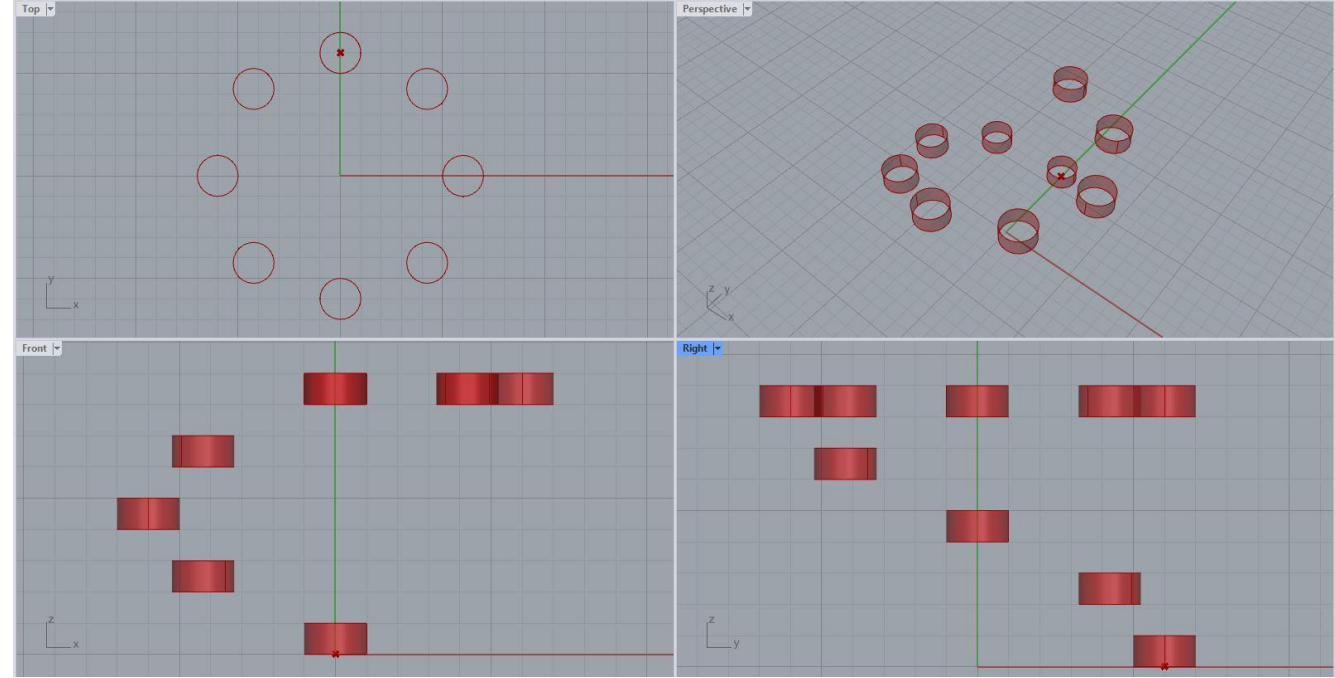
- Luodaan 9 numeron sarja välillä 0-360
- Pyöritetään lieriötä sarjalla z akselin ympäri-> saadaan monistettua muoto kehälle
- Listassa 9 kohdetta.
- Puussa 1 oksa
 - o Puussa uusi oksataso





Grasshopper esimerkki

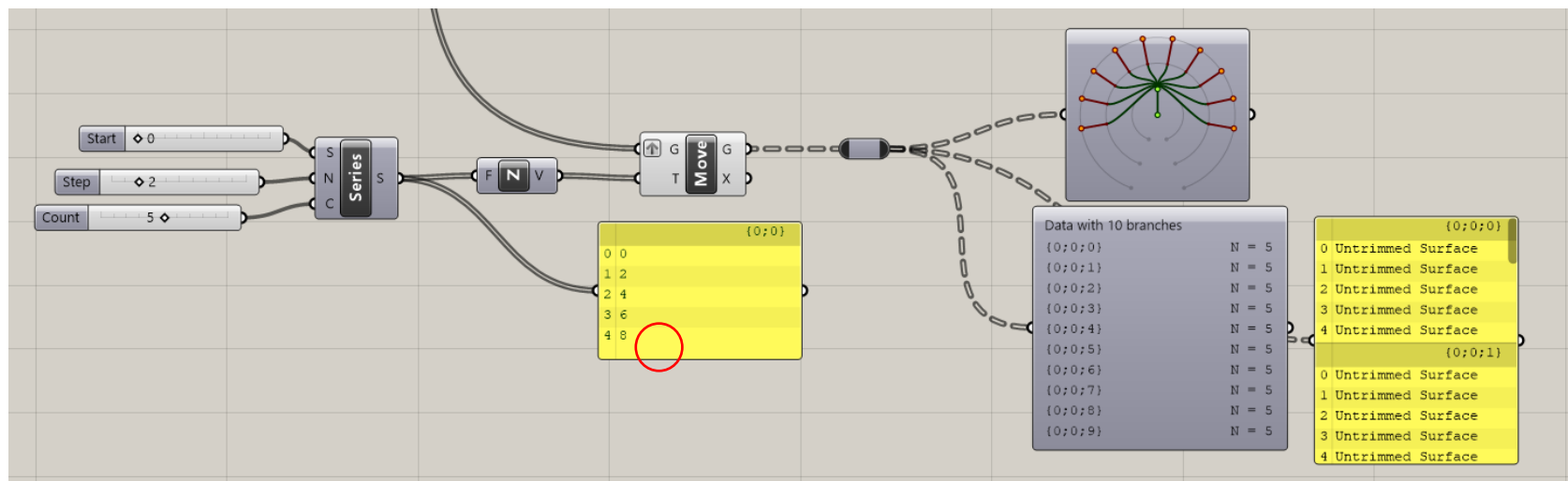
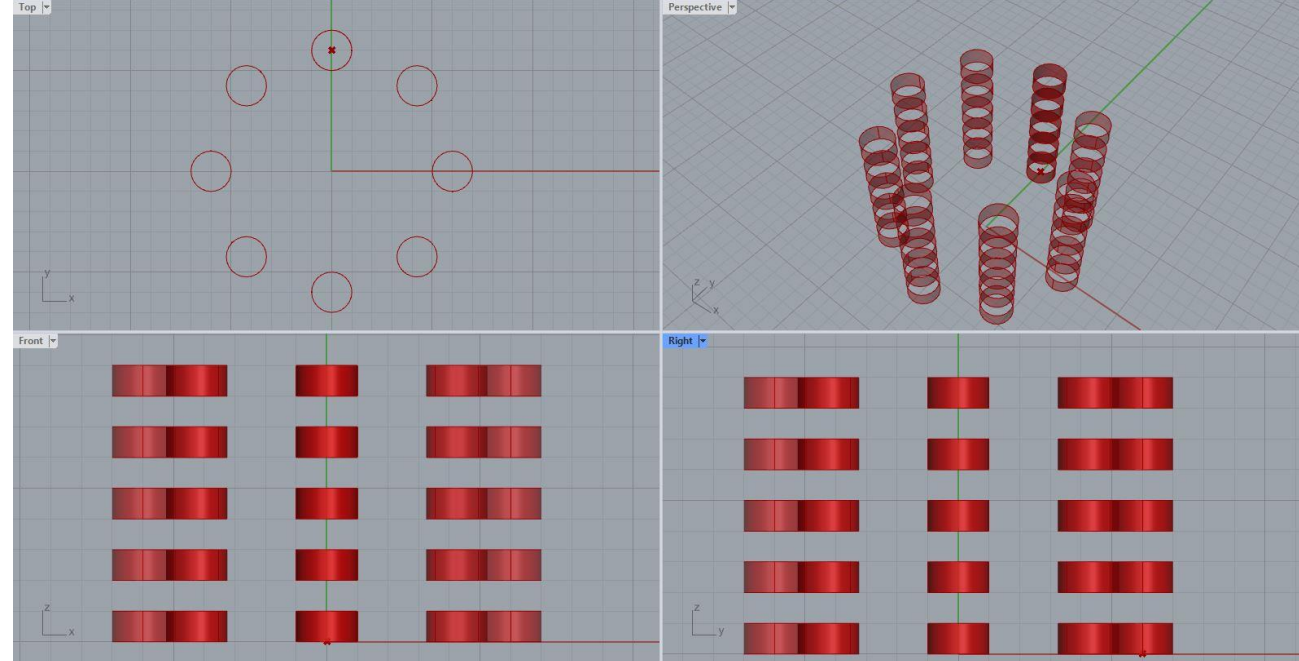
- Luodaan 5 numeron sarja 2 mm askeleella
- Siirretään lieriökehää z suunnassa sarjalla-> 5 ensimmäistä lista kohdetta siirtyä annettujen askelten mukaisesti
- Listassa 9 kohdetta
- Puussa 1 oksa
 - o Puussa sama oksataso





Grasshopper esimerkki

- Luodaan 5 numeron sarja 2 mm askeleella
- Siirretään ja 'oksastetaan' lieriökehä sarjalla ->
- 9 listaa joissa 5 kohdetta
- Puussa 9 oksaa
 - o 3 oksatasoa
 - o Jokainen 'pylväs' on oma oksansa



Euroopan unionin
osarahoittama

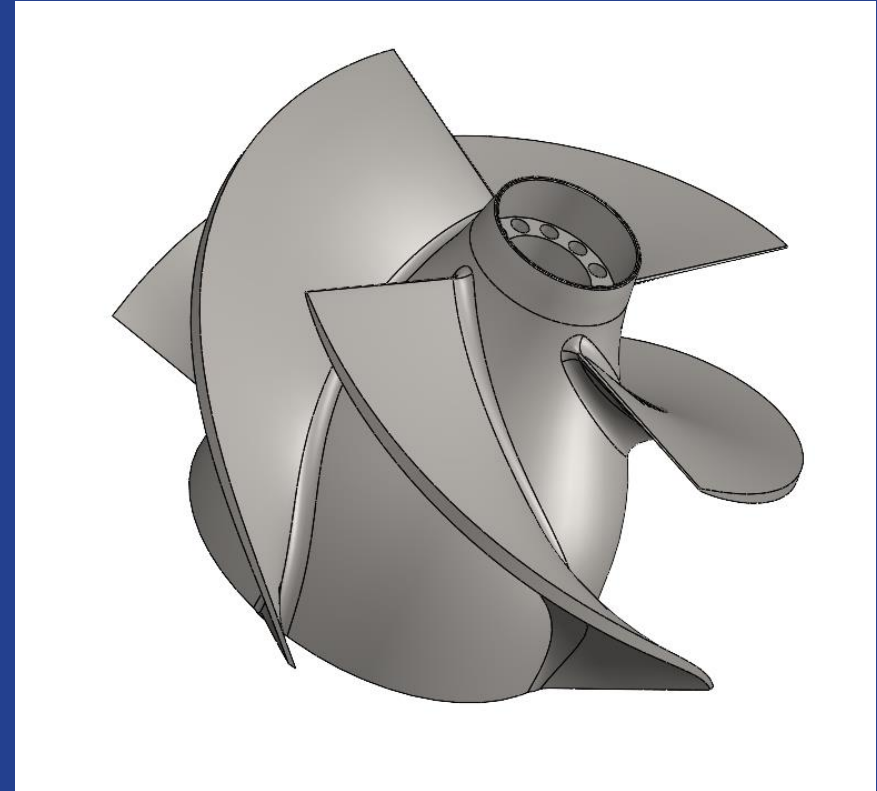




Tausta

Siivessä vaurio

- Leikataan siipi irti
- Tulostetaan uusi tilalle
 - Osasta valmis 3D-malli
 - Luodaan mallin avulla työstöradat
 - Tulostetaan uudet siivet.





Käytössä oleva laitteisto



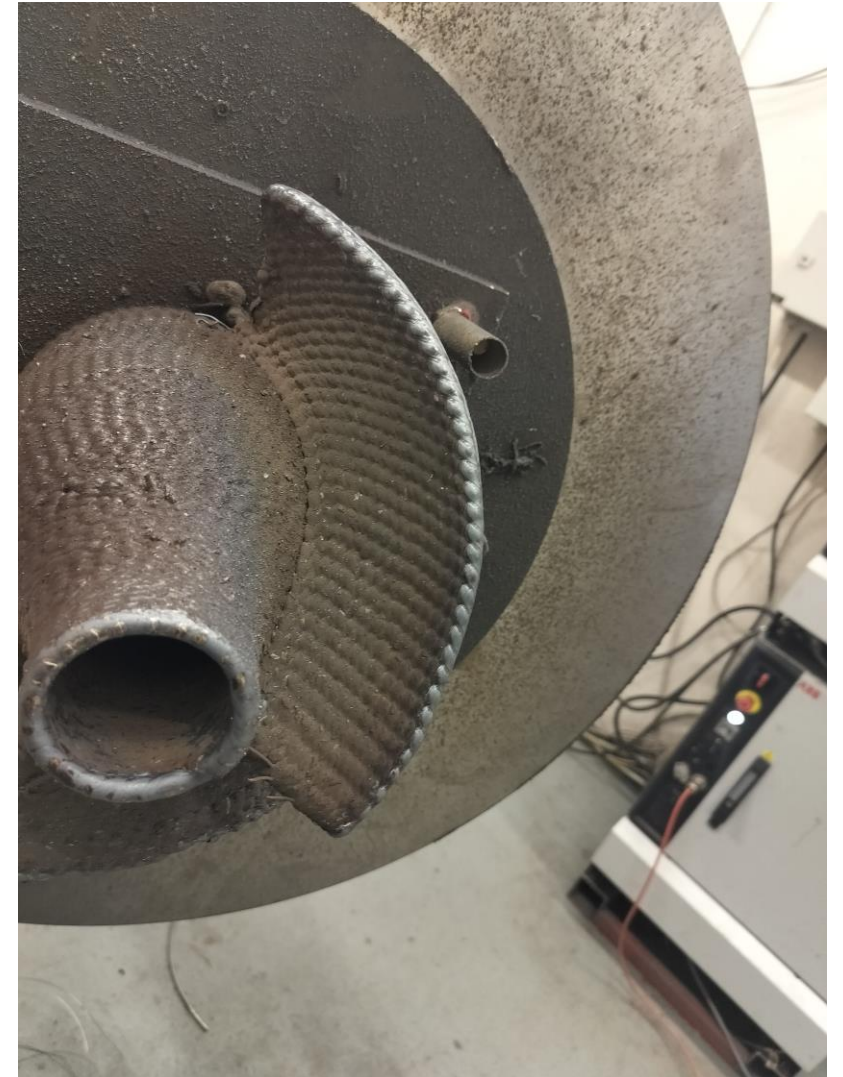
Robottisolu

- 3 ABB robottia
 - 2x IRB 1600
 - IRB 6640
- Wallius hitsauslaite
 - Blackline 516i



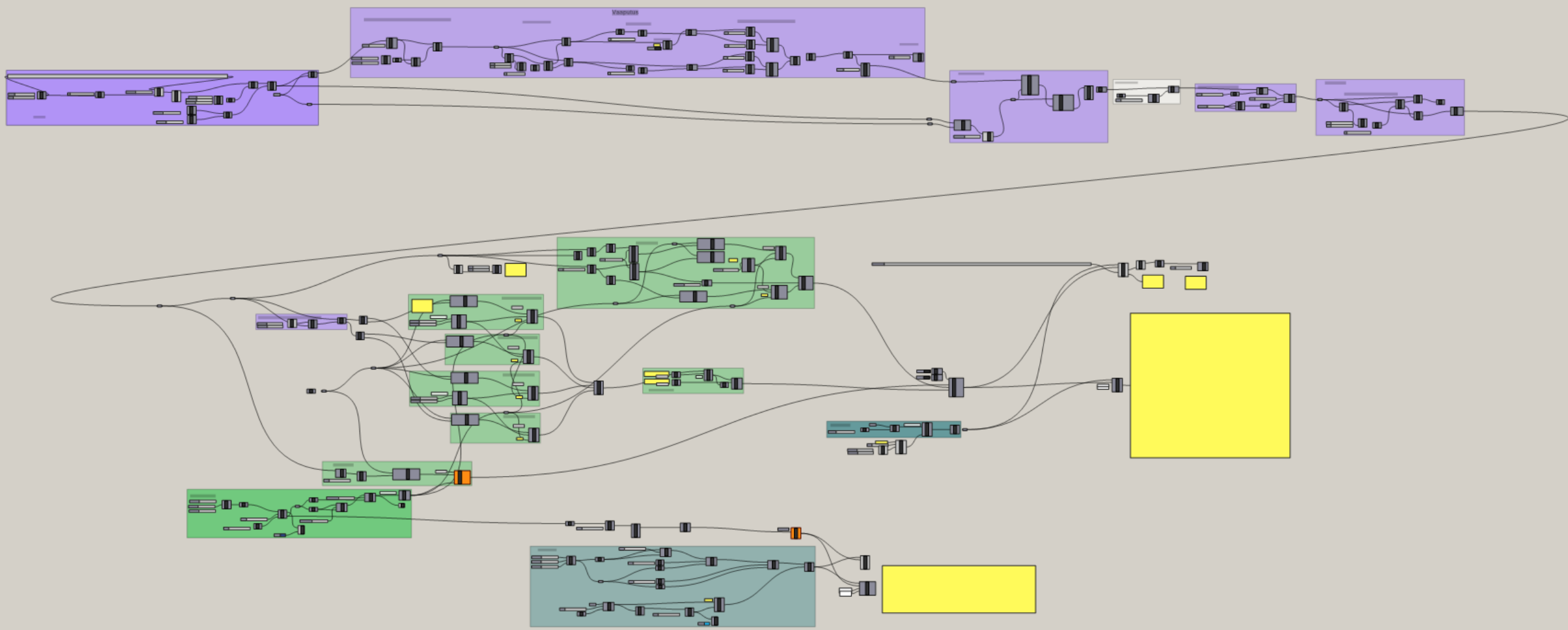
Siiven tulostus

- Hiiliteräksestä ja 316L teräs testattu
 - Hiiliteräkselle prosessi saatiin onnistumaan ongelmitta
 - 316L onnistui kohtuudella, mutta parametreissä parantamisen varaa





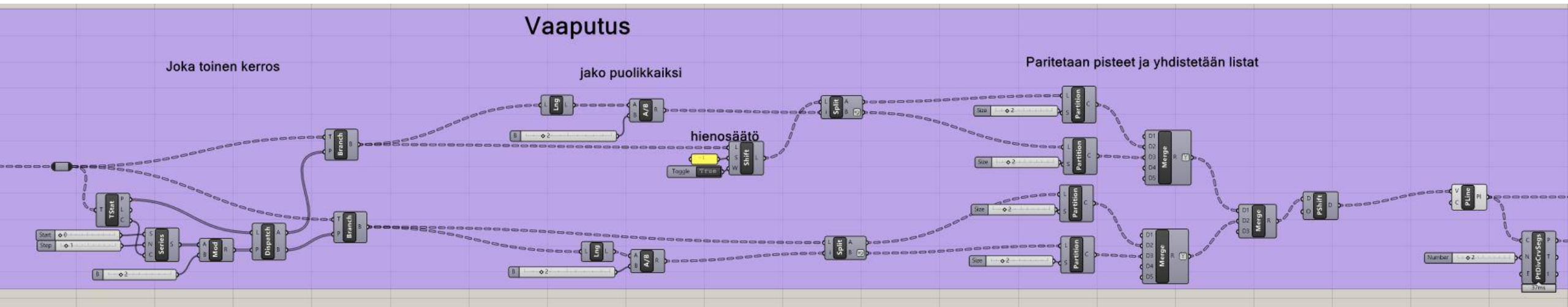
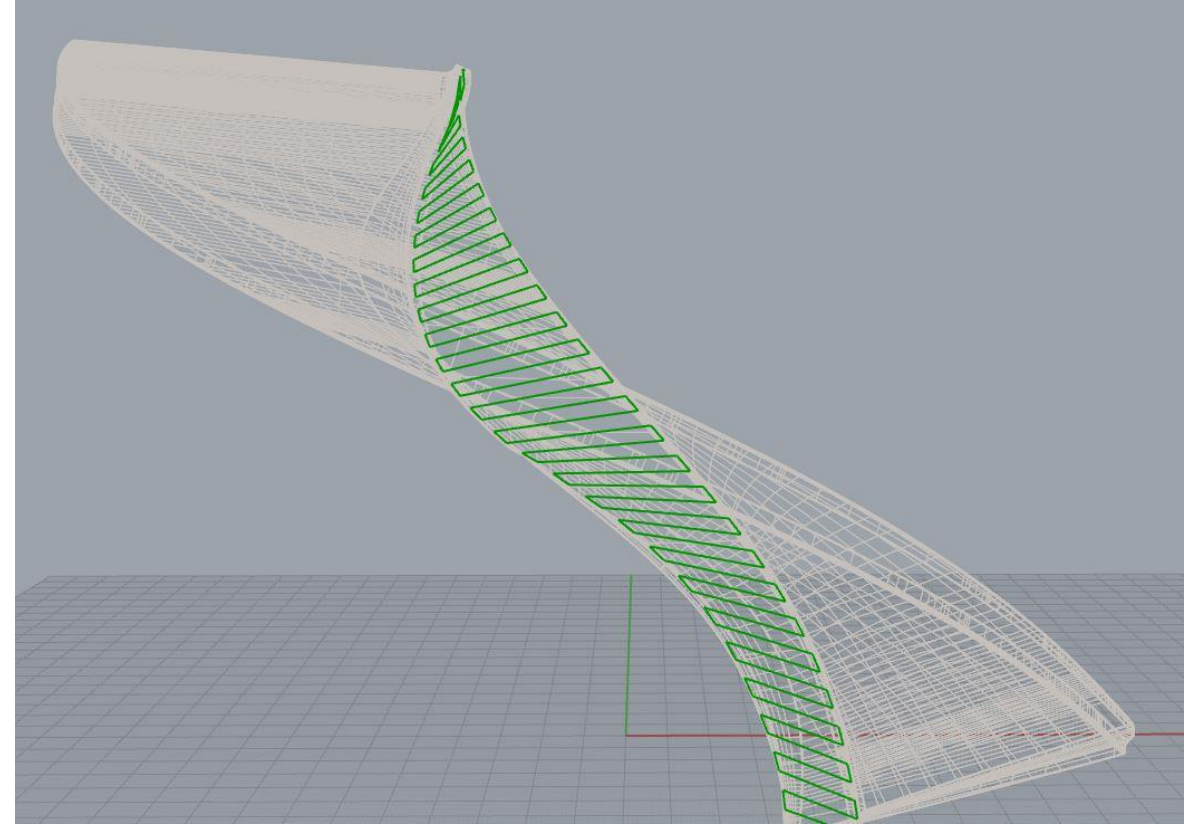
WAAM ohjelma Grasshopperissa





Pisteet vaaputus radaksi

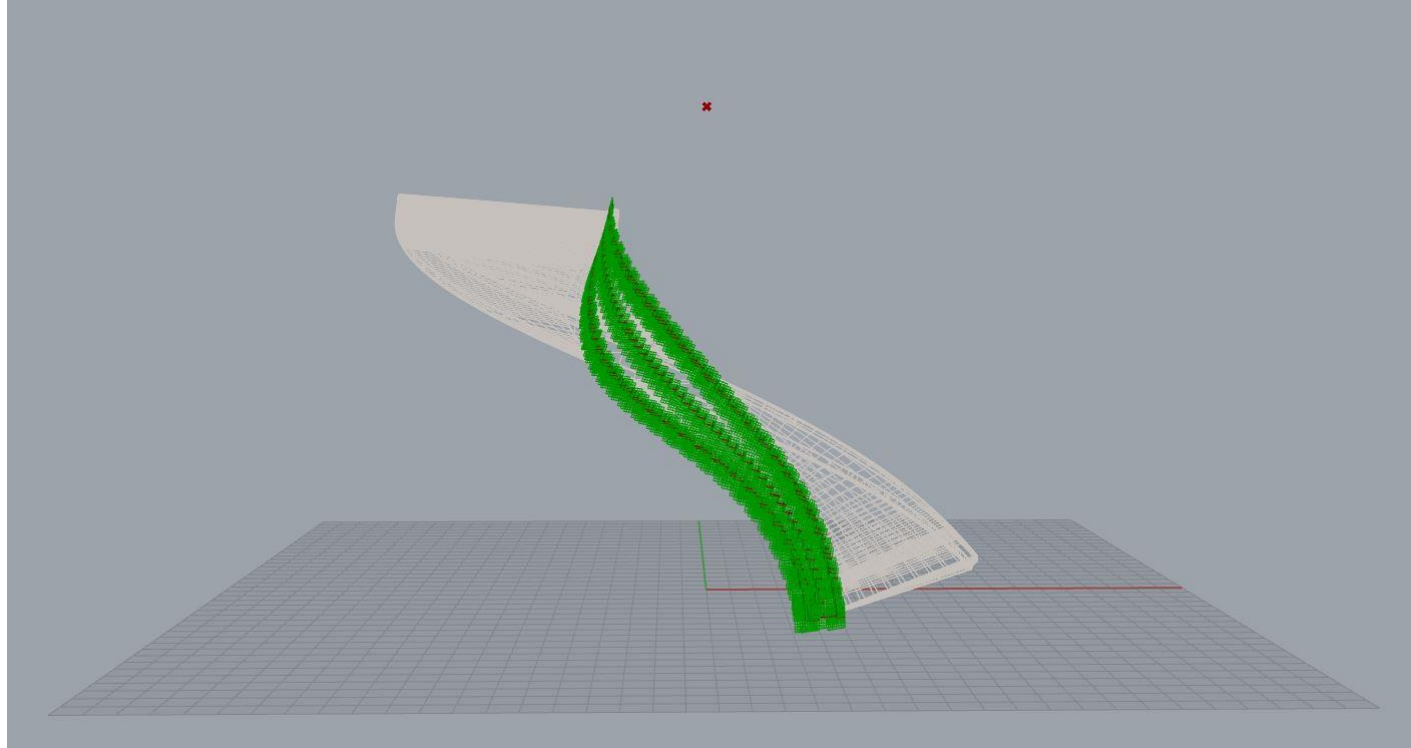
- Valitaan joka toinen kerros
- Jako 'oikeaan ja vasempaan' puoleen
- Paritetaan pisteet ja yhdistetään listat



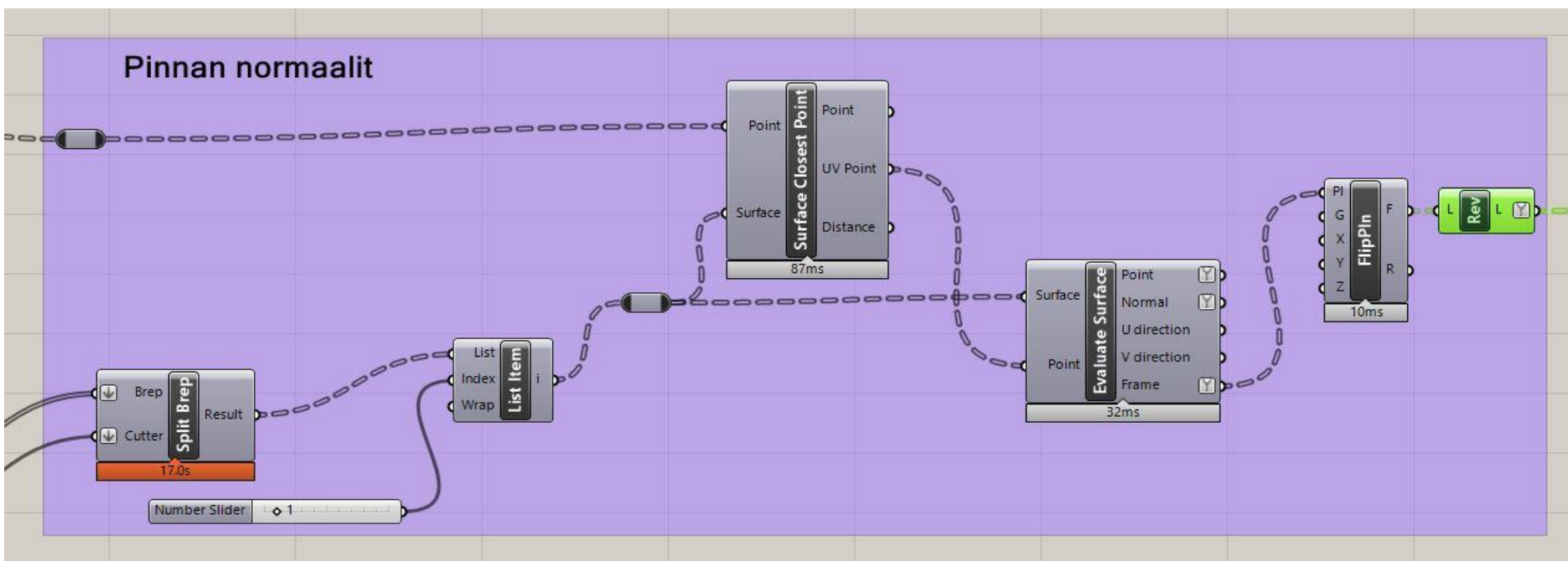


Pinnan normaalit pisteissä

- Kerroksista pinnat ja normaalit pisteiden kohdalla
- Raskain osuus lakennallisesti



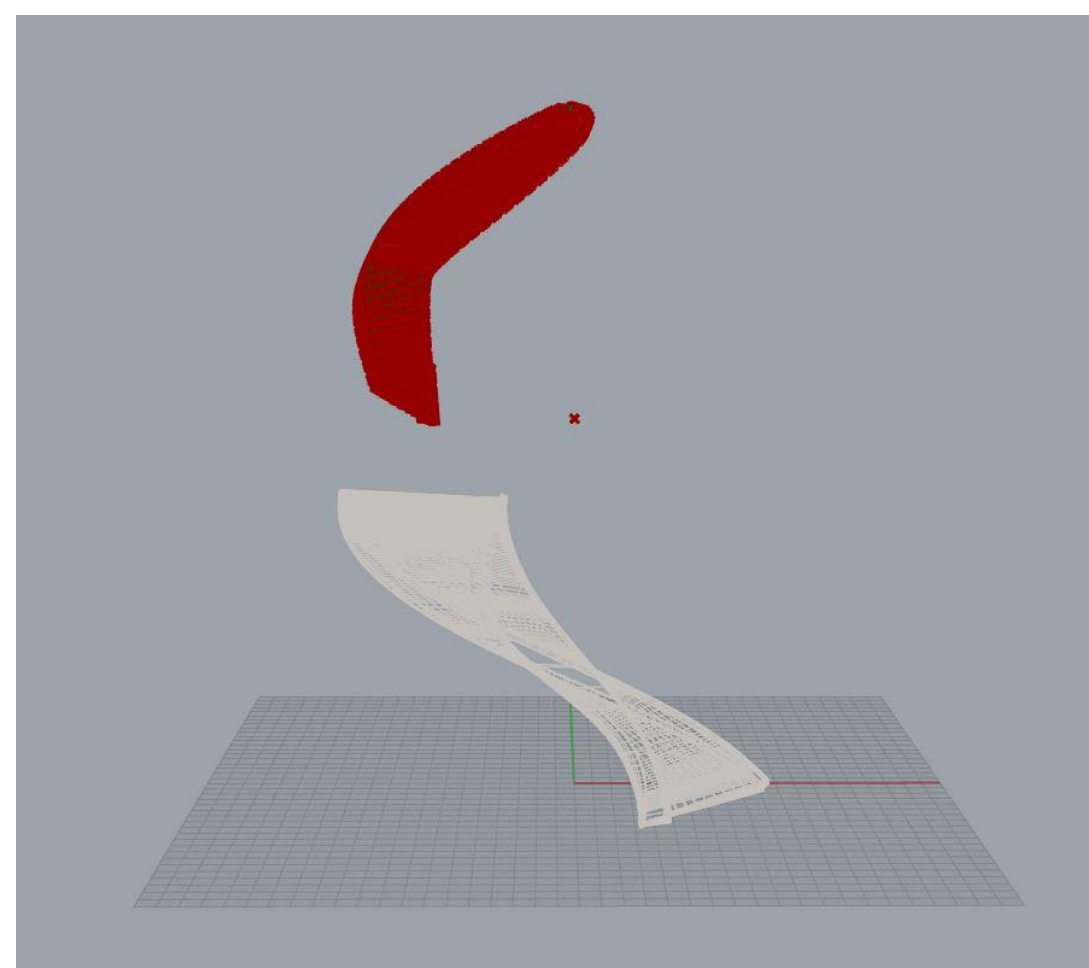
Pinnan normaalit



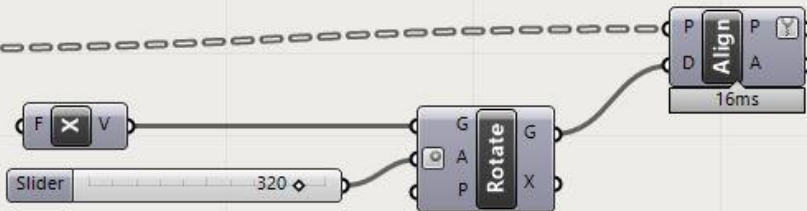


Paikoitetaan kohteet suhteessa robotin laippaan

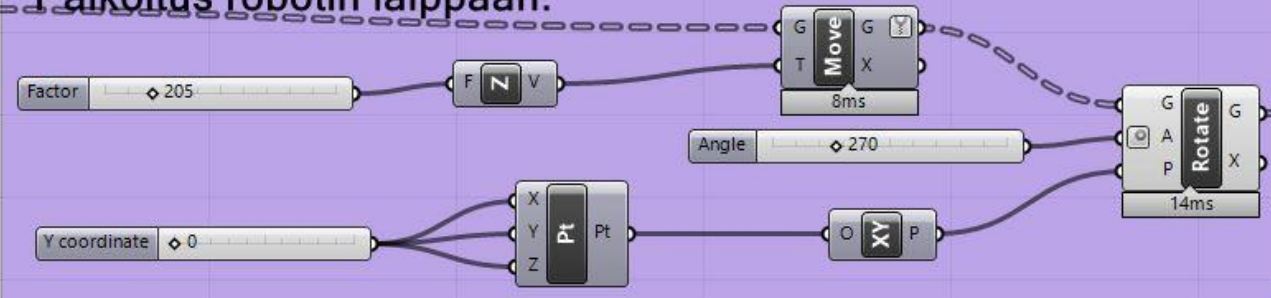
- Tasot samaan 'xy' suuntaan
- Siirretään ratoja suhteessa origoon, jotta vastaa fyysistä kappaletta



ranteen kääntö



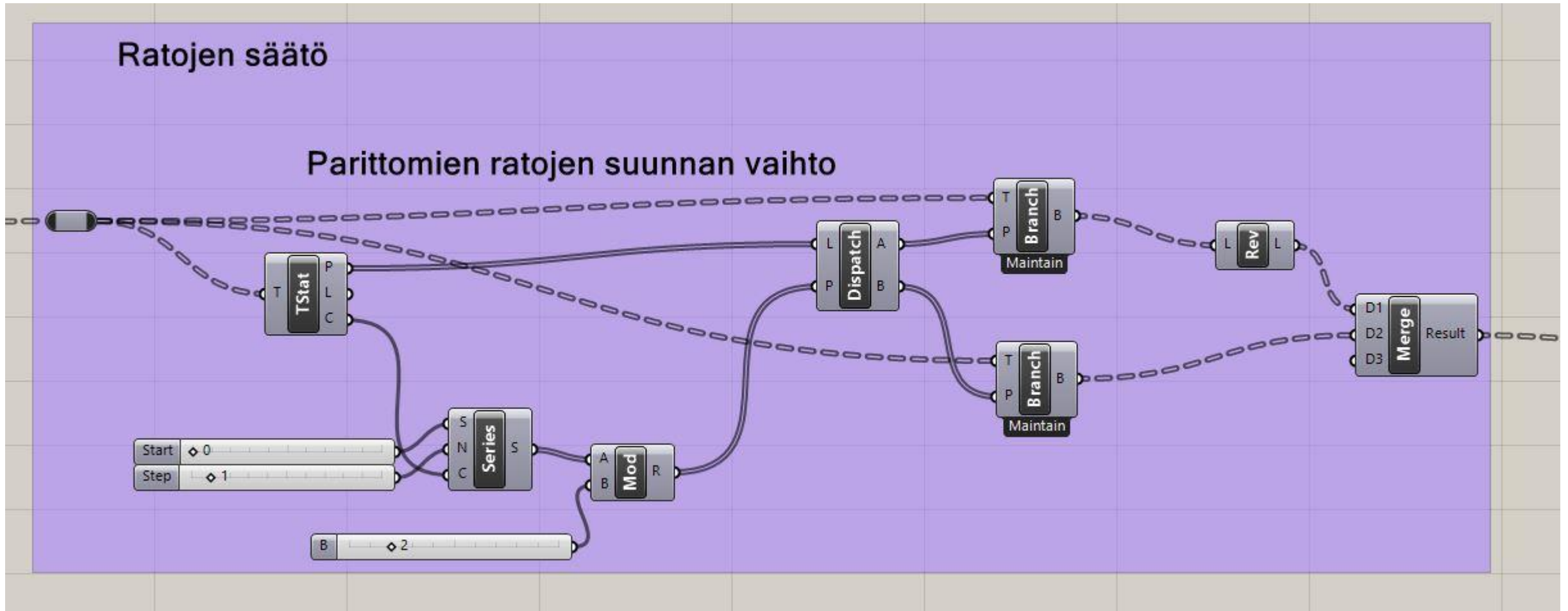
Paikointus robotin laippaan.





Suunnanvaihto

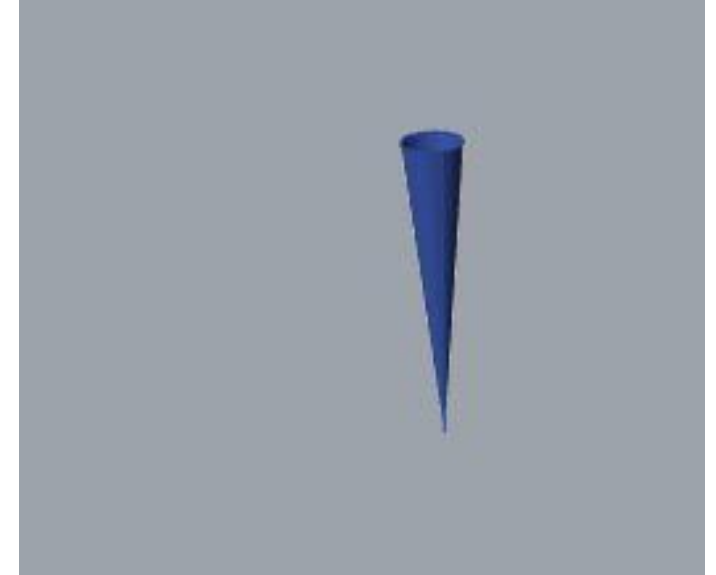
- Jaetaan taas joka toiseen kerrokseen
- Käännetään lista parittomissa kerroksissa



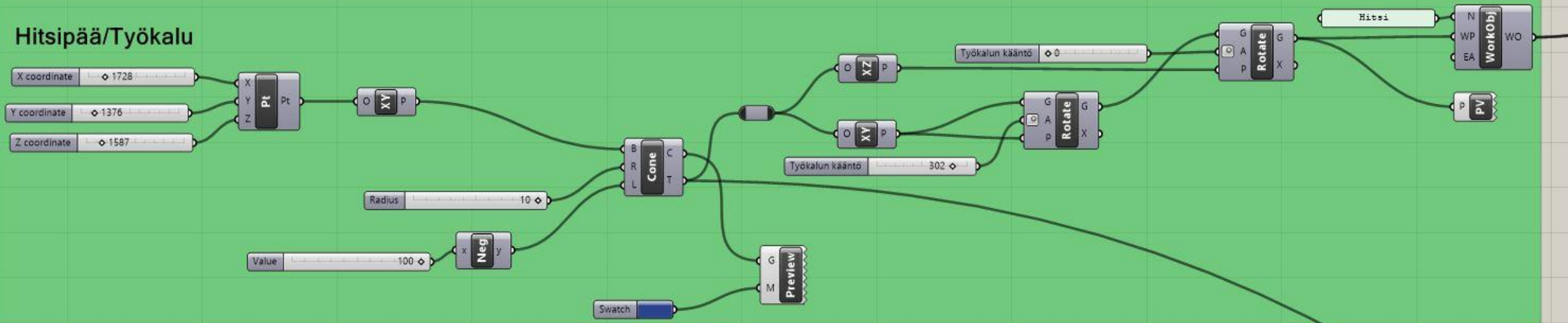


Työkalu

- Määrittää prosessin paikan ja orientaation robottisolussa



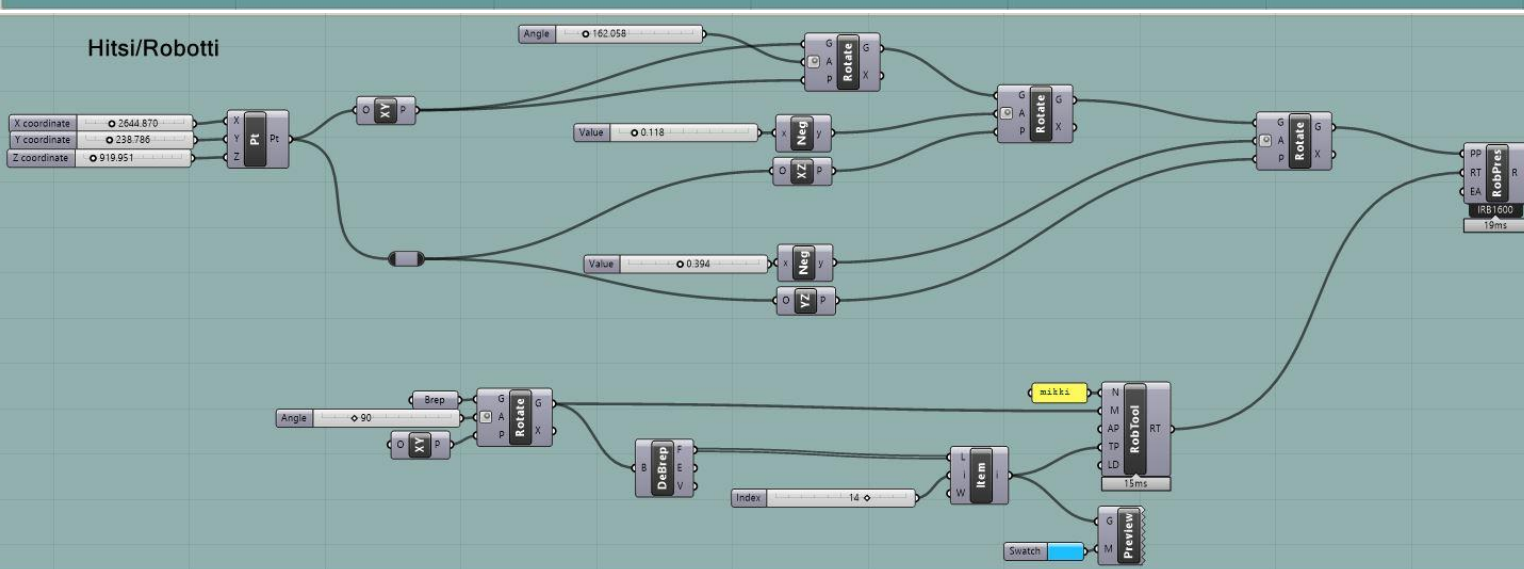
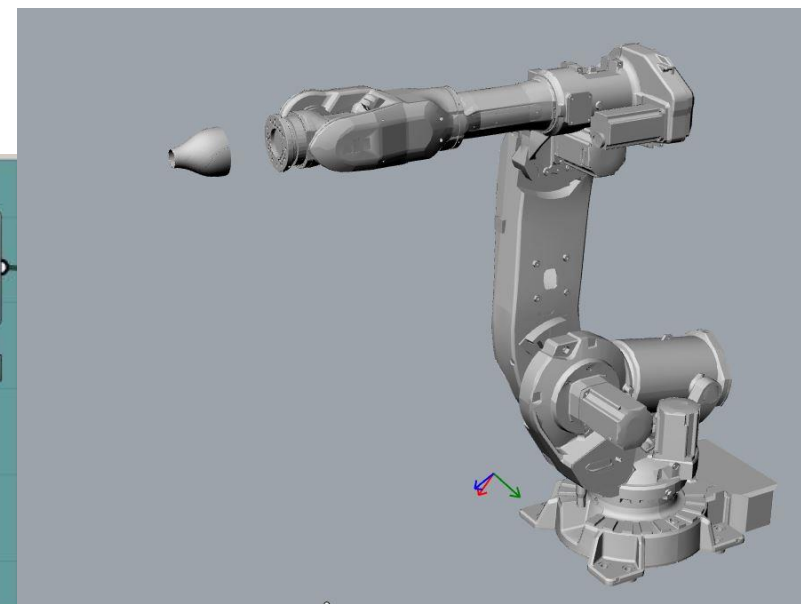
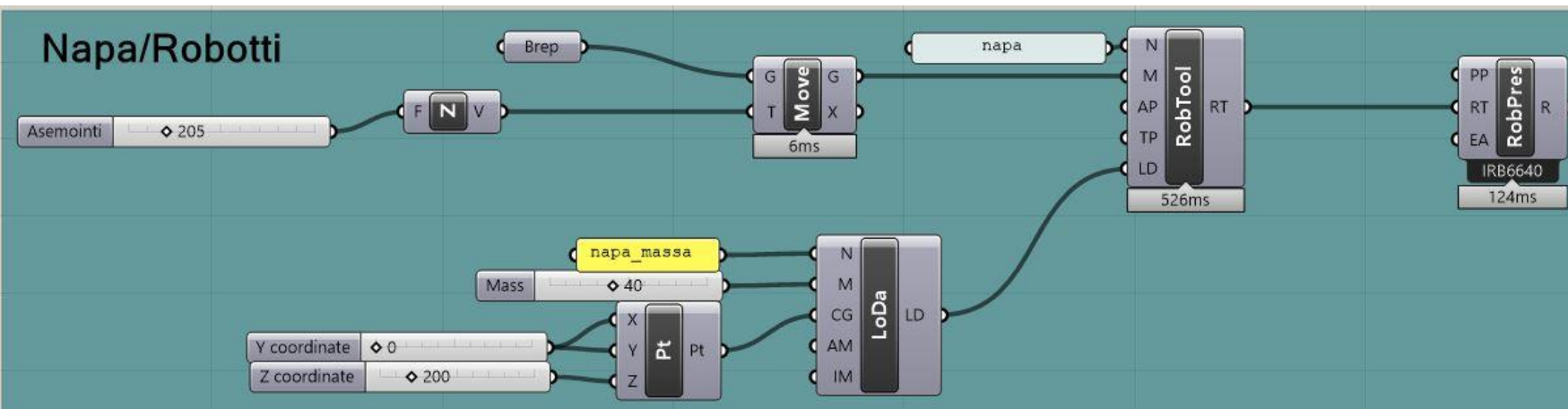
Hitsipää/Työkalu





Robotit

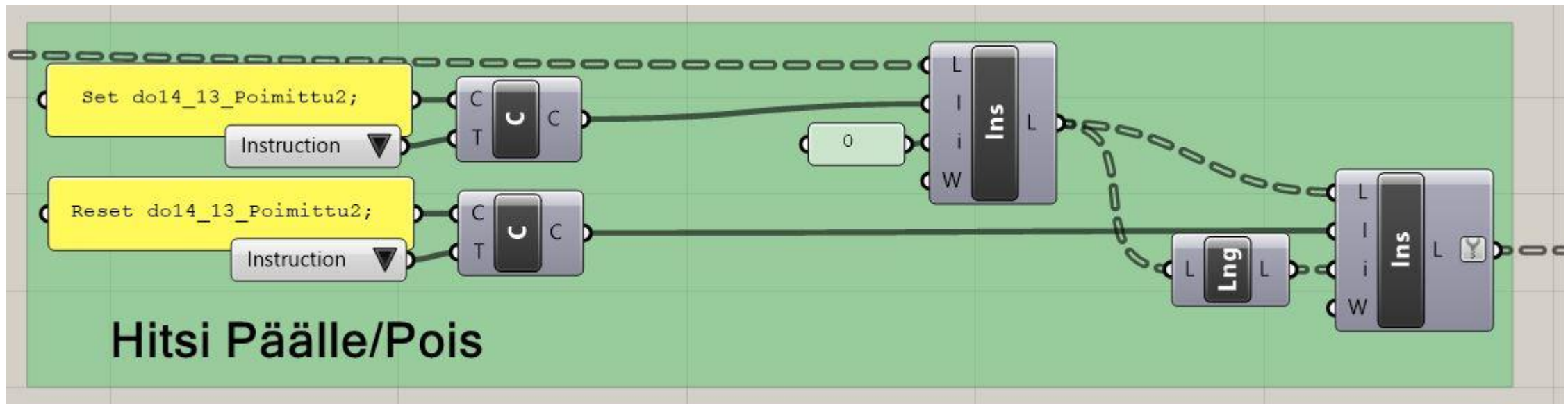
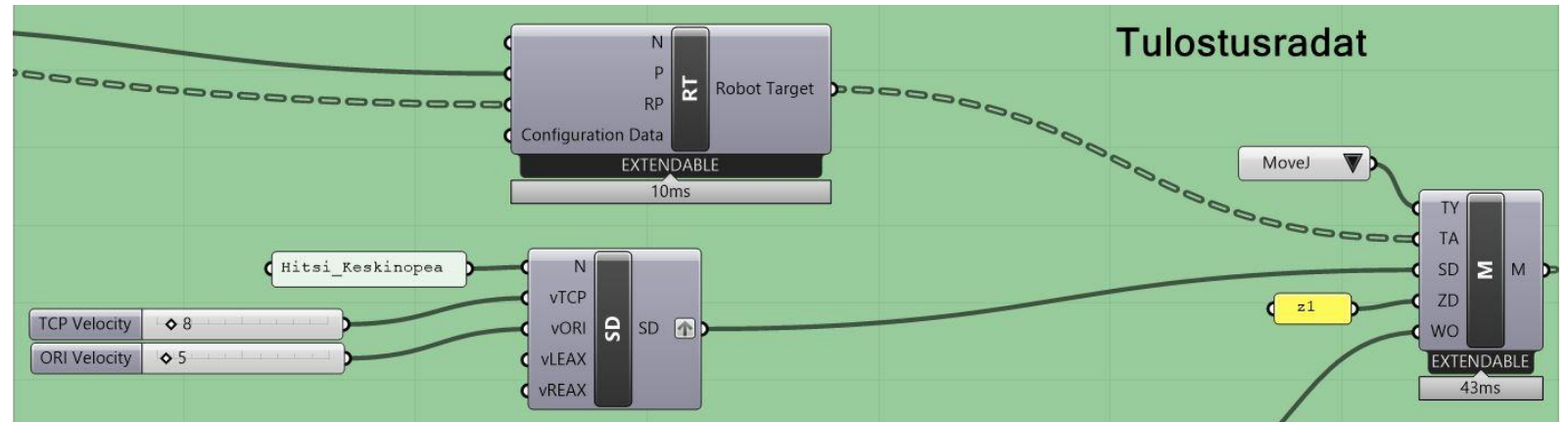
- Määritetään robotit vastaamaan todellisia





Robottikomennot

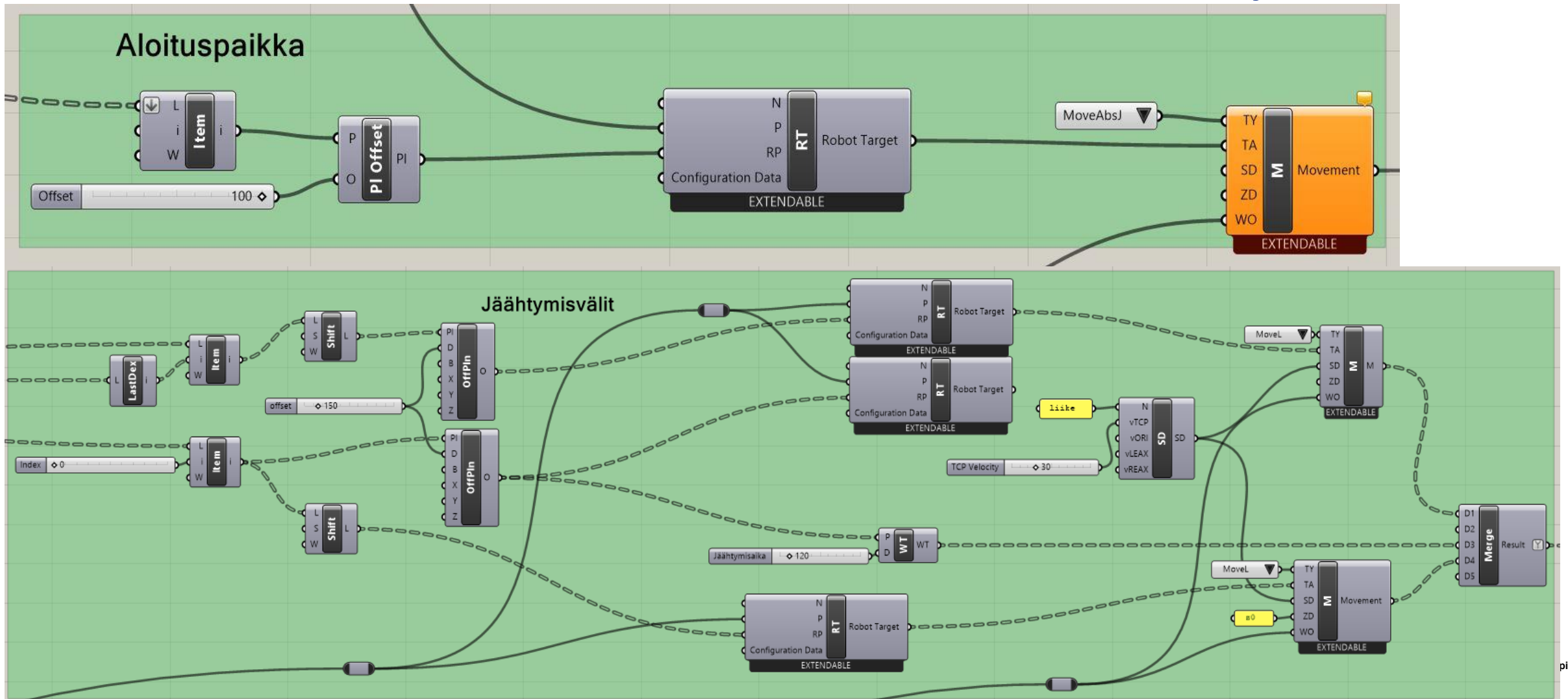
- Muutetaan tasot robotin liikkeiksi
- Hitsaus komennot ratojen alkuun ja loppuun





Robottikomennot

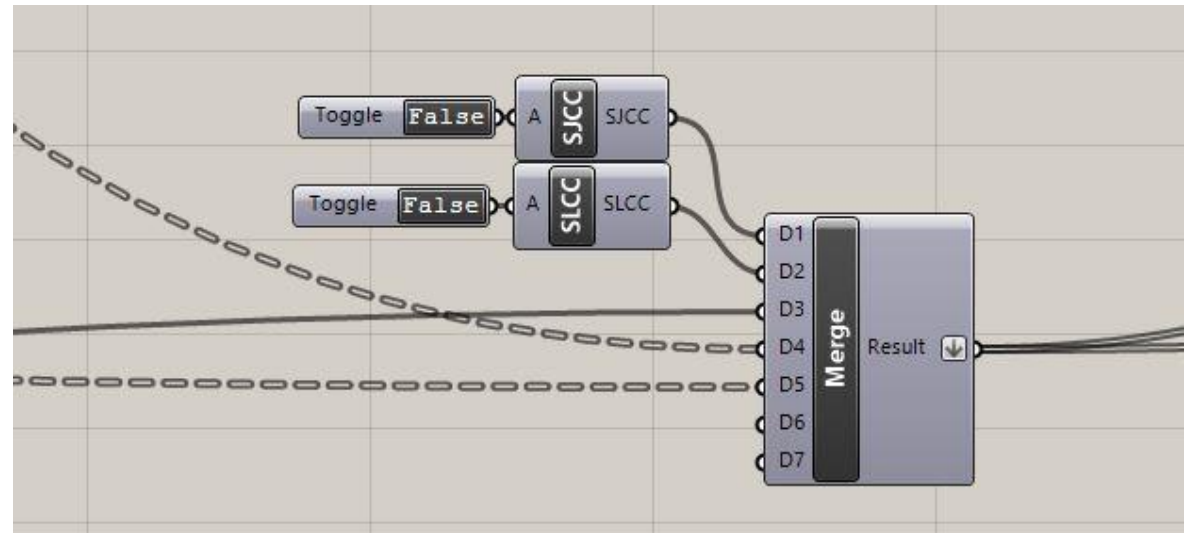
- Aloitus paikka
- Robotin siirto jäähdytysasentoon 2 minuutiksi ratojen väillä



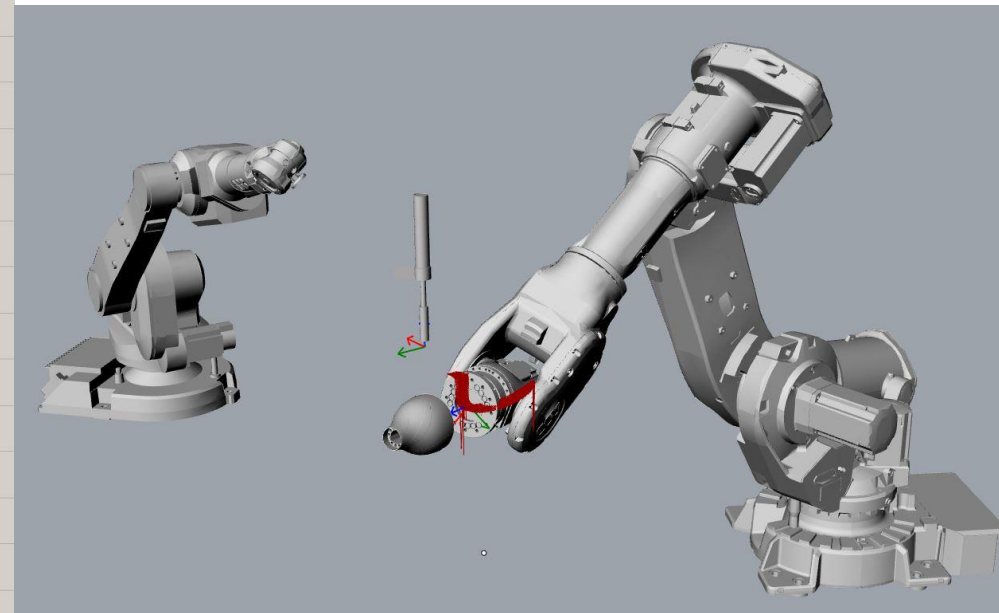


Rabid ohjelma

- Kasataan komennot yhteen
- Muutetaan Rabid ohjelmaksi
- Simuloidaan erillisellä komennolla



```
0 MODULE SiipiModule (0:0)
1
2 | This RAPID code was generated with RobotComponents v3.2.1 (GPL v3)
3 | Visit www.github.com/RobotComponents for more information
4
5 | User defined loaddata
6 PERS loaddata napa_massa := [40, [0, 0, 200], [1, 0, 0, 0], 0, 0, 0];
7
8 | User defined tooldata
9 PERS tooldata napa := [TRUE, [[0, 0, 0], [1, 0, 0, 0]], [40, [0, 0, 200], [1, 0, 0, 0], 0, 0, 0]];
10
11 | User defined vobjdata
12 PERS vobjdata Hitsi := [FALSE, TRUE, "", [[0, 0, 0], [1, 0, 0, 0]], [[1720, 1276, 1487], [-0.8746197, 0, 0, 0.4048096]]];
13
14 | Declarations generated by Robot Components
15 VAR speeddata Hitsi_Keskinopea := [8, 8, 5000, 1000];
16 VAR speeddata Liike := [10, 500, 5000, 1000];
17
18 PROC Siipi()
19   ConfU/off;
20   ConfL/off;
21   MoveAbsJ [[35.1, 25.42, 12.15, 154.3, 46.53, 164.26], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], v5, m0, napa\WObj:=Hitsi;
22   WaitTime (InPos, 120);
23   Set do14.3 (PointOut);
24
25   MoveJ [[80.21, -203.18, -154.49], [-0.505696, 0.644421, -0.187888, -0.454276], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Liike, m0, napa\WObj:=Hitsi;
26
27   MoveJ [[78.91, -203.13, -152.19], [-0.587723, 0.647015, -0.186862, -0.440263], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
28
29   MoveJ [[77.34, -203.18, -151.86], [-0.589925, 0.649515, -0.186218, -0.442041], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
30
31   MoveJ [[79.78, -202.41, -151.28], [-0.590074, 0.652157, -0.186594, -0.440332], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
32
33   MoveJ [[80.28, -201.58, -150.69], [-0.590079, 0.654806, -0.174635, -0.438792], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
34
35   MoveJ [[81.55, -202.35, -152.9], [-0.58589, 0.647061, -0.182322, -0.452552], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
36
37   MoveJ [[82.11, -203.55, -156.99], [-0.582075, 0.639022, -0.191187, -0.465061], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
38
39   MoveJ [[82.7, -203.87, -158.19], [-0.580469, 0.636207, -0.192465, -0.469966], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
40
41   MoveJ [[83.12, -204.26, -159.36], [-0.578948, 0.632326, -0.196048, -0.474626], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
42
43   MoveJ [[88.96, -200.08, -155.75], [-0.580773, 0.647316, -0.169028, -0.463665], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
44
45   MoveJ [[86.85, -194.65, -151.95], [-0.579436, 0.661408, -0.187557, -0.455929], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
46
47   MoveJ [[107.16, -159.65, -152.97], [-0.571248, 0.668833, -0.115675, -0.468515], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
48
49   MoveJ [[113.1, -163.52, -153.97], [-0.561815, 0.669578, -0.092122, -0.462286], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
50
51   MoveJ [[92.6, -197.52, -157.52], [-0.575046, 0.646907, -0.155524, -0.475929], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
52
53   MoveJ [[83.55, -205.22, -161.62], [-0.576107, 0.627451, -0.201894, -0.482329], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
54
55   MoveJ [[83.62, -205.74, -162.73], [-0.574715, 0.624494, -0.205174, -0.487533], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
56
57   MoveJ [[83.72, -206.19, -163.87], [-0.573254, 0.621347, -0.208289, -0.491858], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
58
59   MoveJ [[97.4, -198.32, -160.27], [-0.572693, 0.616223, -0.160695, -0.484272], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
60
61   MoveJ [[119.61, -183.8, -156.54], [-0.559687, 0.660972, -0.095134, -0.490731], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
62
63   MoveJ [[118.81, -184.96, -157.78], [-0.559942, 0.658072, -0.10027, -0.493306], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
64
65   MoveJ [[118.03, -186.1, -159.01], [-0.560125, 0.65517, -0.105345, -0.495895], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
66
67   MoveJ [[96.92, -199.73, -162.54], [-0.570948, 0.635664, -0.168389, -0.491524], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
68
69   MoveJ [[83.95, -206.93, -166.28], [-0.570143, 0.614957, -0.21434, -0.500022], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
70
71   MoveJ [[84.07, -207.22, -167.54], [-0.568505, 0.611693, -0.217295, -0.505437], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
72
73   MoveJ [[84.16, -207.47, -168.83], [-0.566816, 0.608274, -0.220213, -0.510126], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
74
75   MoveJ [[84.16, -207.47, -168.83], [-0.566816, 0.608274, -0.220213, -0.510126], [0, 0, 0, 0], [929, 929, 929, 929, 929, 929]], Hitsi_Keskinopea, sl, napa\WObj:=Hitsi;
76
```





Kiitokset

