

3D-tulostimen käyttö

Tulostin: **Prusa MK4**

Tulostusmateriaalit:

- **PLA**
- **PETG**



Aiheet

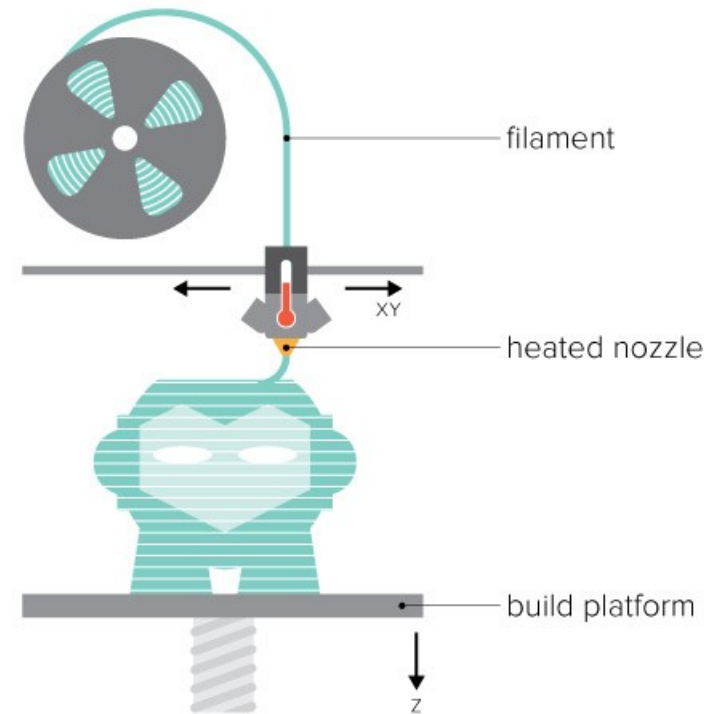
- 3D-tulostin
- Materiaalit
- Alustat
- Tulostimen kotelo
- 3D-malli tulostusta ajatellen
- 3D-tulostus
- Asetukset tarkemmin
- Vinkkejä

Tulostimen toiminta

Tulostimen pursotin lämpenee niin kuumaksi, että tulostuslanka sulaa.

Tulostimessa on lämmitetty tulostusalusta, joka auttaa siinä että tulostettava kappale pysyy koko tulostamisen ajan tulostusalustassa.

Tulostettaessa tulostuslankaa pursotetaan pursottimen suuttimen kautta yksi kerros kerrallaan tulostusalustalle halutun kappaleen mukaan tehdyllä tulostusohjelmalla.

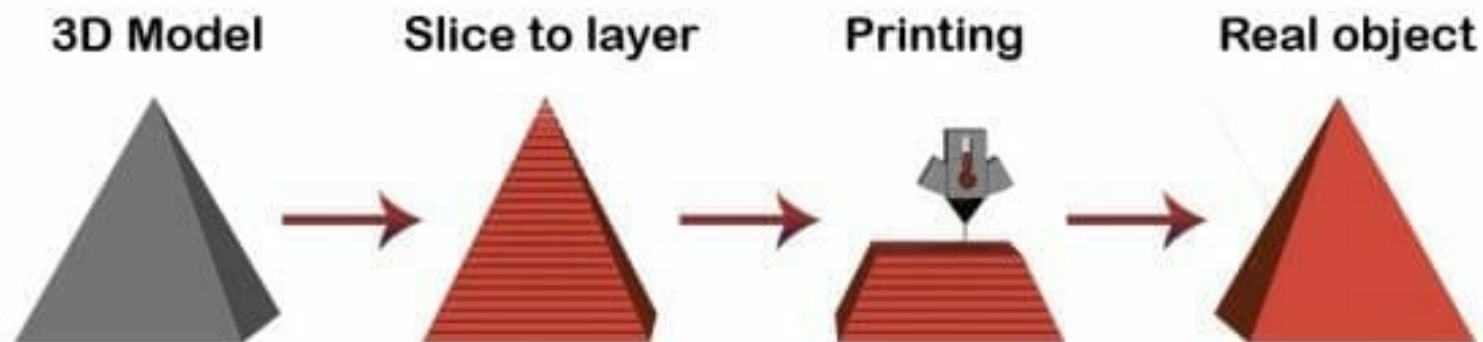


Tulostimen toiminta

Tulostusohjelma tarkoittaa tässä tapauksessa tiedostoa, jonka 3D-tulostin ymmärtää ja pystyy sen avulla tulostamaan halutunlaisen kappaleen.

Tulostusohjelmaa varten tarvitaan 3D-malli halutusta kappaleesta ja oikeat asetukset, joiden avulla kyseinen malli saadaan tulostettua.

3D-malli käytännössä viipaloidaan ohuiksi kerroksiksi, joiden perusteella 3D-tulostimelle pystytään kertomaan työstöradat eli suuttimen liikkeen ja pursotuksen.



Materiaali

Meillä on käytössä **PLA** ja **PETG** tulostuslankoja.
Omia lankoja ei saa käyttää.

3D-tulostimen käytöstä maksetaan materiaalin käytöstä 0,05€ / gramma
(myös epäonnistuneet tulosteet kuuluu maksaa)

Vajaiden tulosteiden tai muiden mittaamiseen voi käyttää esimerkiksi vaakaa tai arvioida.

Painon näkee PrusaSlicerissa suoraan (siitä lisää myöhempanä)



PLA

Todella yleinen 3D-tulostuksessa käytetty muovi.

Melko nopea tulostettava materiaali, joskin tulostuksen aikana joskus tarkka lämpötilasta.

Lämpötilankesto ei ole kovin hyvä $\sim 60^{\circ}\text{C}$. Eli esimerkiksi kesähelteellä auton sisällä olevat tästä materiaalista tulostetut osat eivät välttämättä kestä, sillä materiaali pehmenee kyllä jo alle 60°C .

Yleisiä tulosteita ovat mallit, vähäisellä kulutuksella olevat lelut, prototyyppiosat ja astiat (ei suositella ruoka-astioiksi).



PETG

Todella yleinen 3D-tulostuksessa käytetty muovi.

Hieman hitaampi tulostettava materiaali kuin PLA, mutta kestää paremmin kemikaaleja ja jonkinverran myös lämpöä, joskin alkaa pehmetä jo alle 70°C asteessa.

Melko hajuton tulostaessa.

Sopii käytettäväksi toiminnallisissa kohteissa, jotka voivat kokea jatkuvaa tai äkillistä rasitusta, kuten mekaaniset osat ja tulostimen osat.



Alustat

Käytössämme on nyt kirjoitushetkellä kahta eri alustaa.
Molempien toiminta perustuu pinnoitukseen.

Muista pyyhkiä käyttämäsi alusta puhtaaksi IPA:lla (Isopropyl-alcohol) ennen käyttöä.

Myös saippuavettä voi käyttää, kunhan alusta on täysin kuivattu pesun jälkeen.

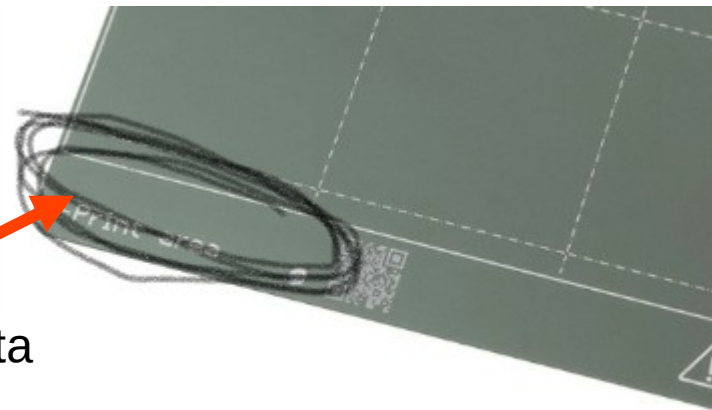
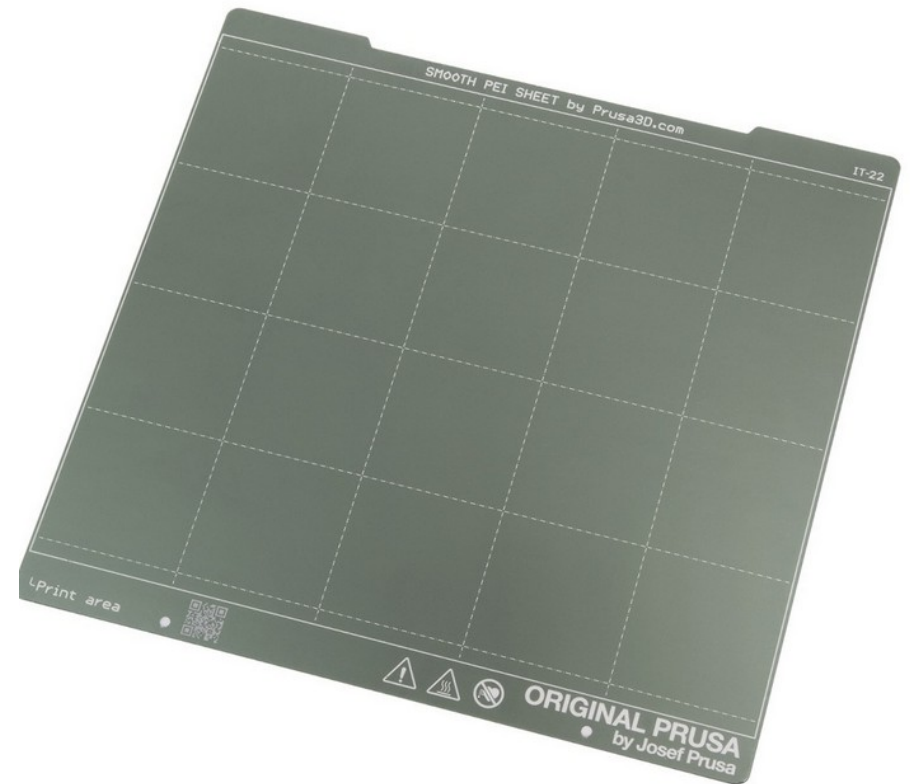
Molemmissa alustoissa pinnan puhtaus parantaa kappaleiden tarttumista tulostusalustaan.

Alustat

Tasainen PEI alusta "Smooth PEI"

Toimii molemmilla materiaaleilla, **mutta** PETG -materiaalin kanssa tulee olla ohut kerros puikkoliimaa, sillä se tarttuu liiankin hyvin kiinni tähän alustaan. Laita liimaa myös "purge line" -kohtaan.

Tämä alusta toimii hyvin PLA:n kanssa. PLA ei tarvitse liimakerrosta alustaan.



"Purge line" -kohta

Alustat

Matta "Satin powder coated sheet"

Toimii molemmilla materiaaleilla, mutta joissain tapauksissa on huomattu haasteita tarttuvuuden suhteen.

Brim -asetuksen käyttö on suositeltavaa molemmilla materiaaleilla varsinkin tällä alustalla.

Tällä alustalla ei tarvita liimapuikkoa.



Tulostimen kotelo

”Prusa original enclosure”

3D-tulostin on sijoitettu kotelon sisälle.

Joissain tapauksissa ovet ja katon voi pitää auki, mikäli vaaditaan tehokasta ilmanvaihtoa.

Usein kuitenkin tiloissamme auotaan ulko-ovea epätasaisin välein, mikä saattaa esim. pakkasilla viilentää liiankin nopeasti tulostustapahtumaa, jolloin tuloste saattaa irrota alustasta kesken kaiken.

Pitkissä tulosteissa(yli 15h) saattaa esimerkiksi PLA:lla olla järkevä pitää kattoa auki, mutta tätä ei olla testattu käytännössä.

Usein lämpötilat eivät kasva liian suuriksi.



3D-Mallit tulostusta varten

3D-malli

Jos jotain haluaa tulostaa, täytyy halutusta asiasta olla 3D-malli. Käytännössä vaihtoehdot ovat joko valmiin 3D-mallin käyttö tai 3D-mallin tekeminen itse.

Valmiita malleja löytää mm. seuraavilta sivustoilta:

thingiverse.com

printables.com

3D-mallinnukseen soveltuvia ohjelmia löytyy paljon. Ilmaisia tai ”harrastajalisenssillä” toimivia löytyy mm. seuraavat:

- *Fusion 360*
- *OnShape*
- *FreeCAD*
- *OpenSCAD*

Niiden käyttöön kannattaa mahdollisuuksien mukaan tutustua, sillä valmiilla malleilla pääsee yleensä vain kompromisseihin.

3D-Mallit tulostusta varten

3D-mallinnuksessa huomioitavaa

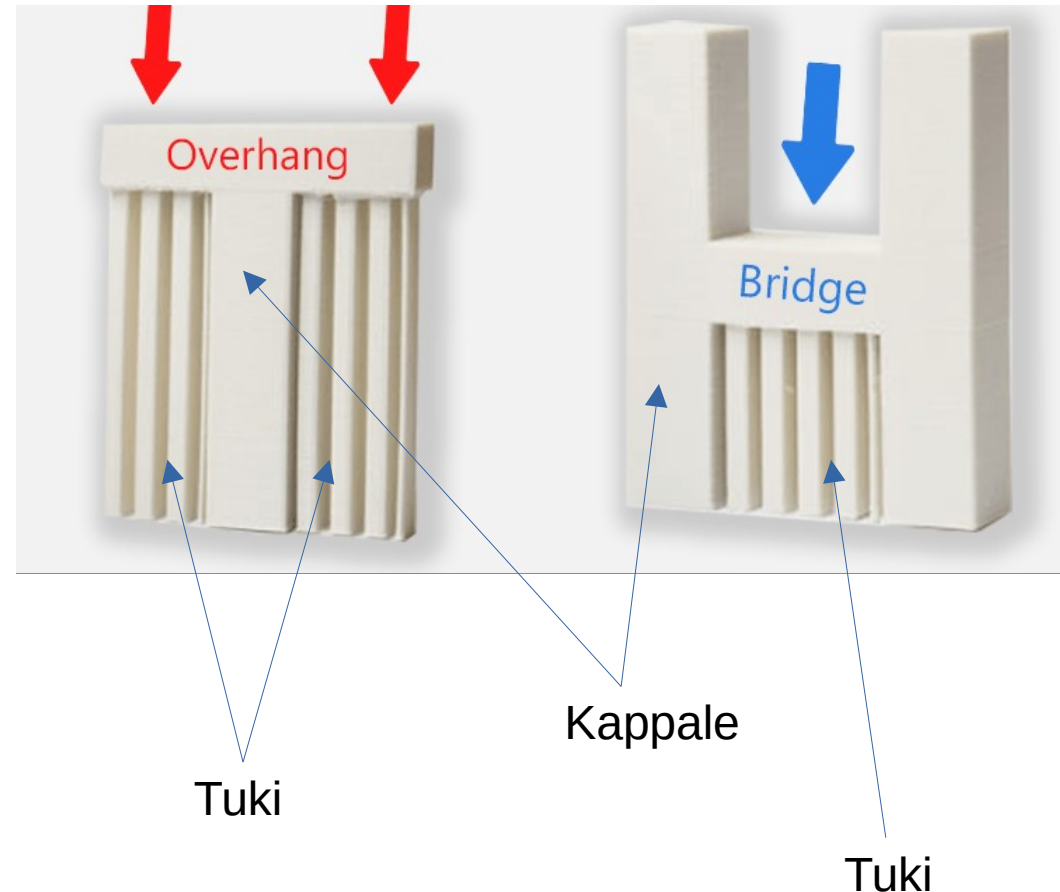
Tässä lyhyehkössä ohjeessa ei mennä syvällisesti 3D-mallintamisen maailmaan.

3D-tulostettavien mallien suhteen kannattaa ottaa huomioon se, että tyhjän päälle ei voi tulostaa.

Tämän takia kappaleeseen tulostetaan samalla tukimateriaalia, mutta sitä ei tarvitse mallintaa.

Tulostussuunnalla on vaikutus kappaleen kestävyyteen ja siihen, miten hyvin kappale yleensäkin tulostuu ja paljonko tukimateriaalia kappale vaatii.

Geometriassa kannattaa ottaa huomioon myös se, että tuet yleensä halutaan joltain kautta myös pois.

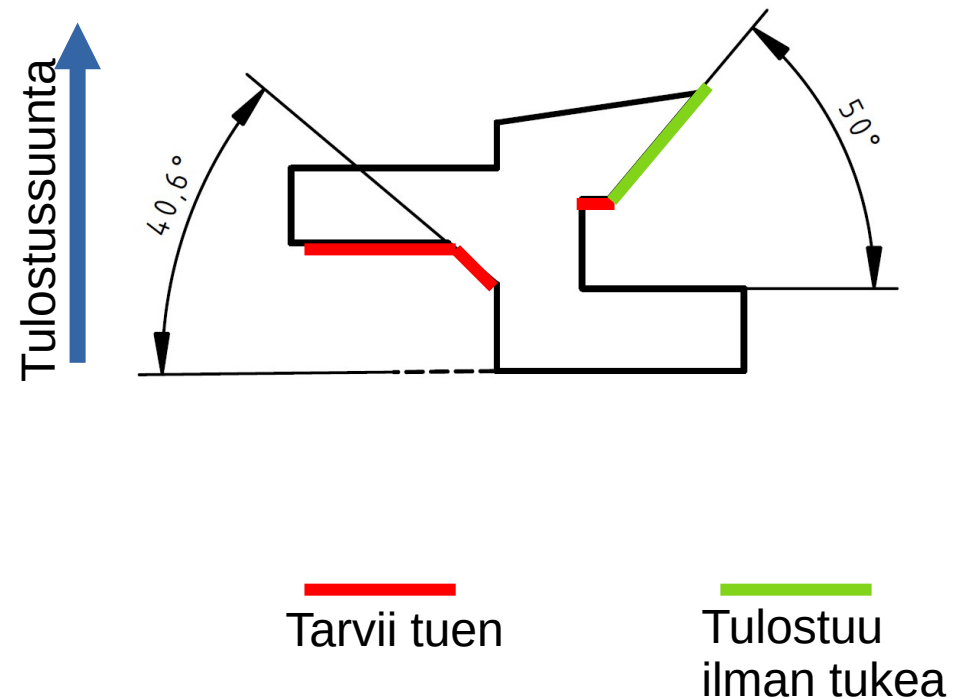


3D-Mallit tulostusta varten

3D-mallinnuksessa huomioitavaa

Noin 45° kulmassa olevat pinnat pystyy yleensä tulostamaan ilman tukia, mutta sitä jyrkemmät kulmat tarvitsevat jonkinlaiset tuet.

Parhaimpia tulosteita ovat sellaiset, joista ei tarvitse poistaa tukimateriaalia lainkaan.

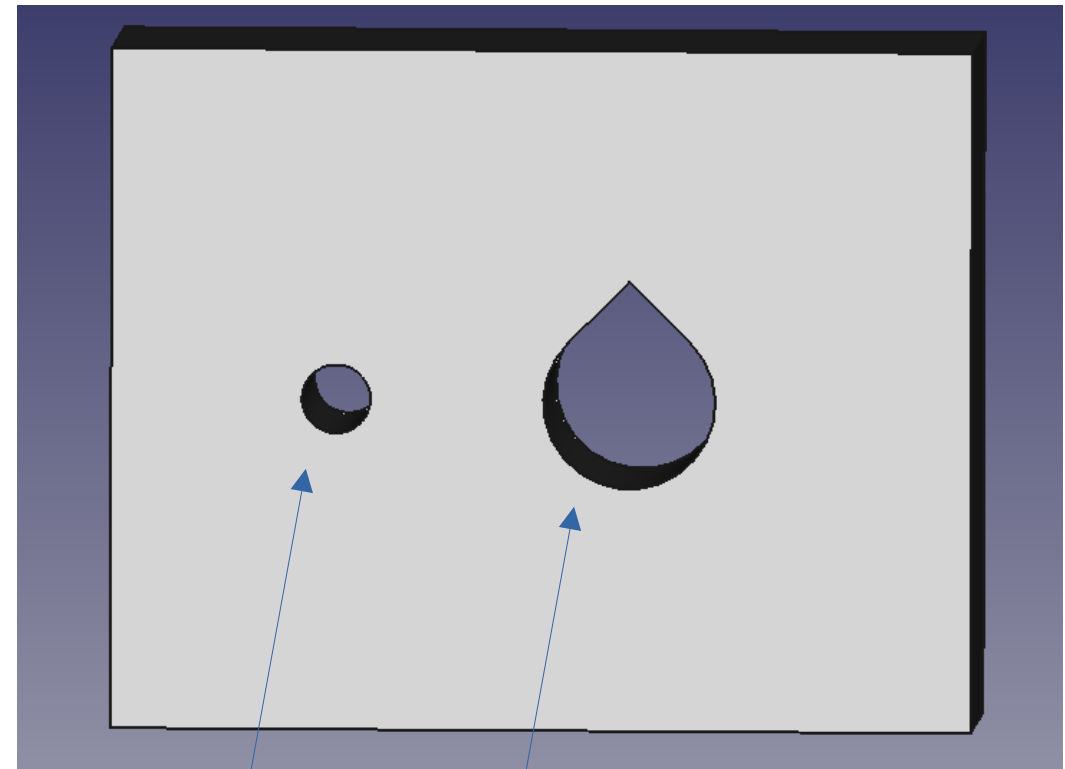


3D-Mallit tulostusta varten

3D-mallinnuksessa huomioitavaa

Riittävän pienet reiät eivät tarvi tukimateriaalia. Noin 4mm halkaisijaltaan olevat reiät tulostuvat melko helposti ilman tukimateriaalia.

Yli 4mm halkaisijaltaan olevat reiät vaativat usein joko tukimateriaalin tai itsensä tukevan muutoksen geometriaan eli ns. pisaramuodon.



Pieni reikä

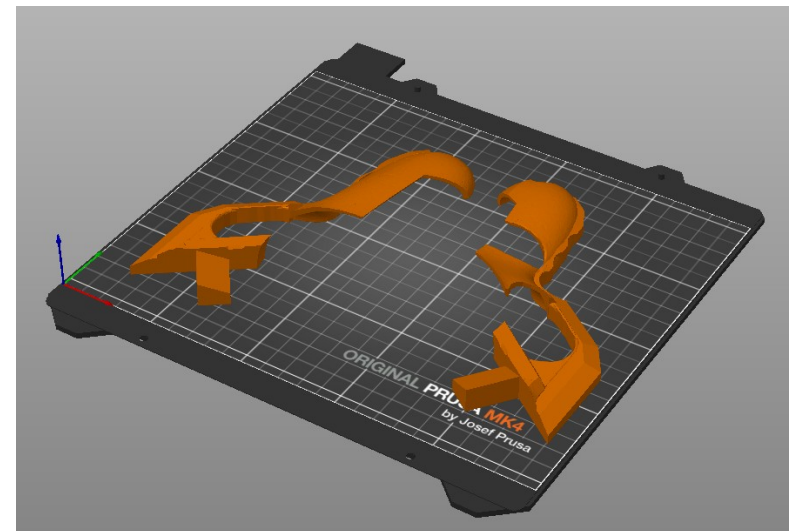
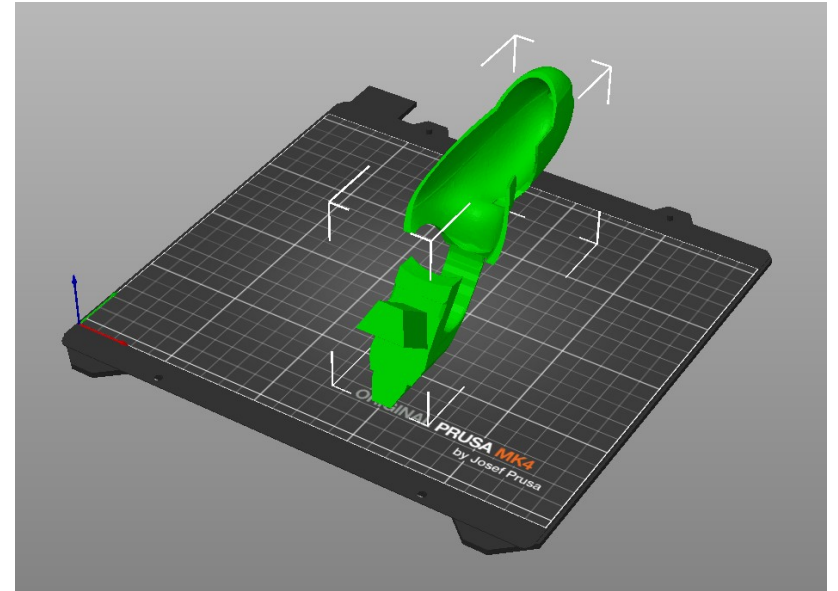
Iso reikä, jossa
pisaramuoto

3D-Mallit tulostusta varten

3D-mallinnuksessa huomioitavaa

Mikäli tulostettava osa on suuri, on mahdollista myös pilkkoa malli pienempiin osiin.

Tämä on melko yleistä varsinkin cosplayssä käytettävien mallien suhteen.



3D-Mallit tulostusta varten

3D-mallin esivalmistelu

PrusaSlicer pystyy lukemaan seuraavia tiedostomuotoja:

- *.step
- *.stp
- *.3mf
- *.zip.amf

- *.stl
- *.obj
- *.xml
- *.svg

Näistä parhaiten ovat ainakin mielestäni toimineet .stp/.step ja lisäksi *.3mf. Yleisesti käytössä on varsinkin valmiiden 3D-mallien kanssa *.stl -muoto, joka on hyvin toimiva, mutta riippuen mallintajasta, kyseisellä tiedostomuodolla saattaa tulla hieman kulmikkaita osia.

3D-tulostus

PrusaSlicerin käyttö

Kunnollisen tulostusohjelman teko vaatii käytännössä seuraavat asiat:

Print Settings / Tulostusasetukset

Filament / Tulostuslanka

Printer / Tulostin

Supports / Tuet

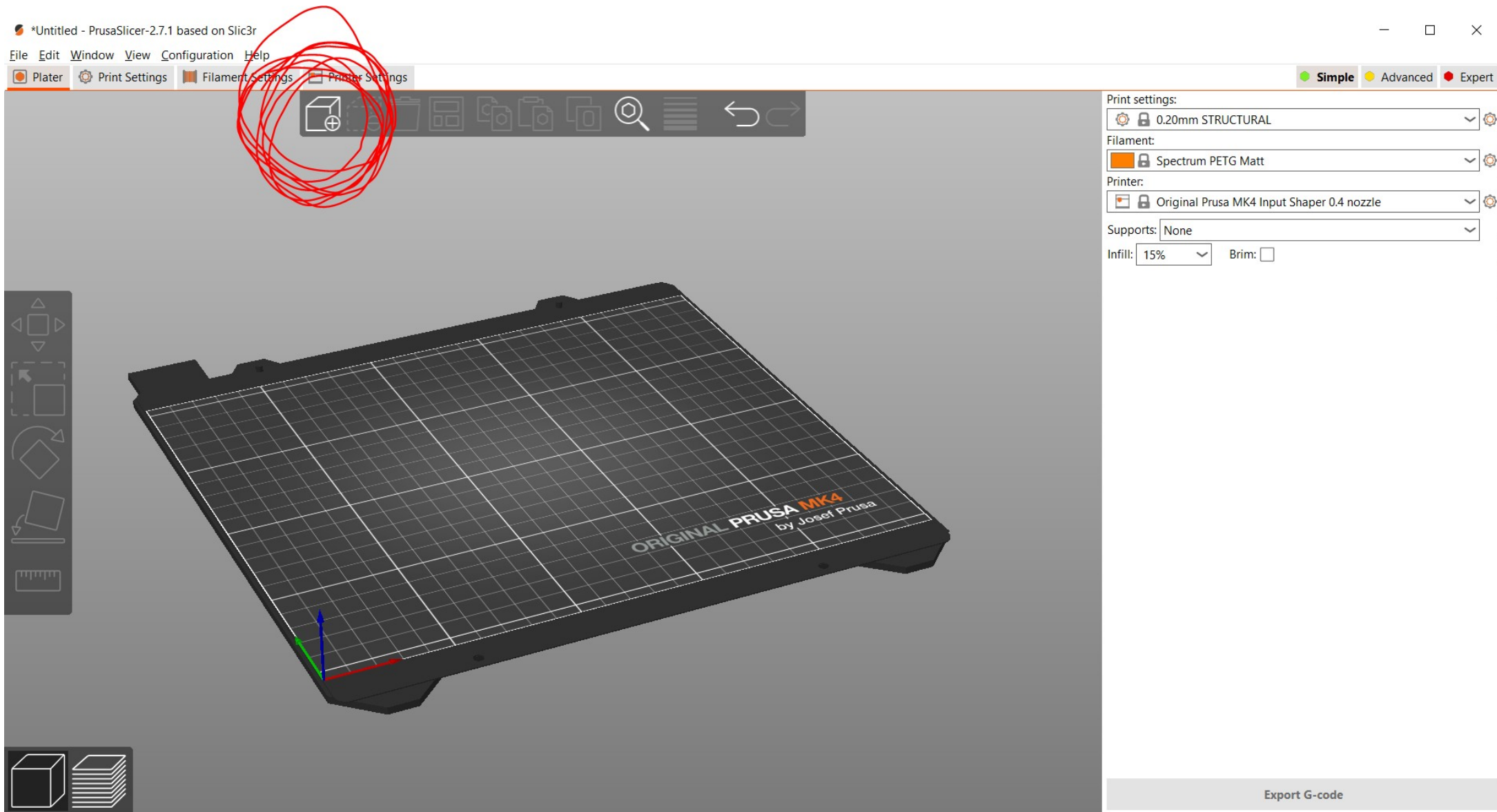
Infill / Täyttö

Brim / Kehys

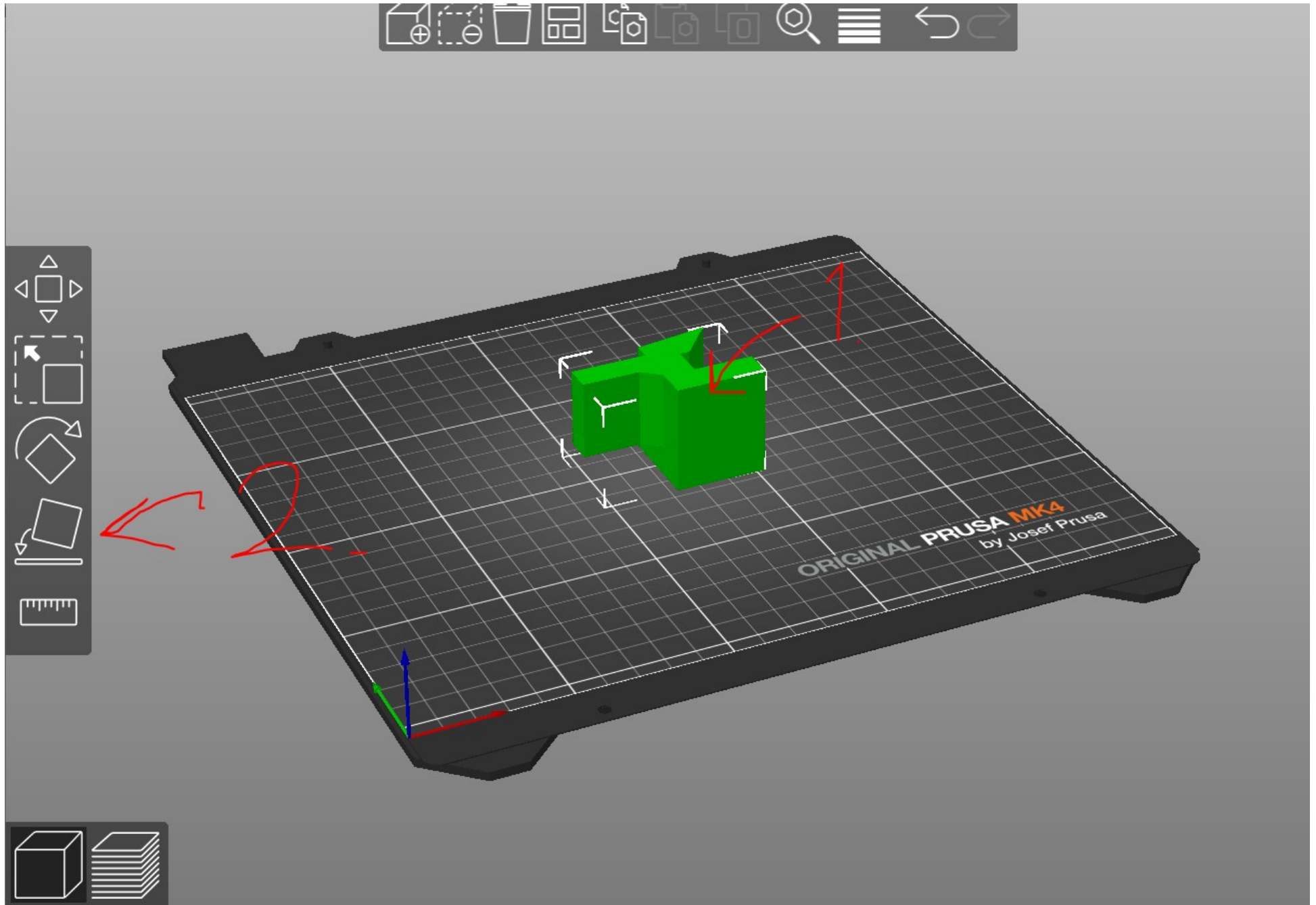
Hacklabin kone on yhdistetty 3D-tulostimeen, jolloin tulostusohjelman lähettäminen on melko vaivatonta.



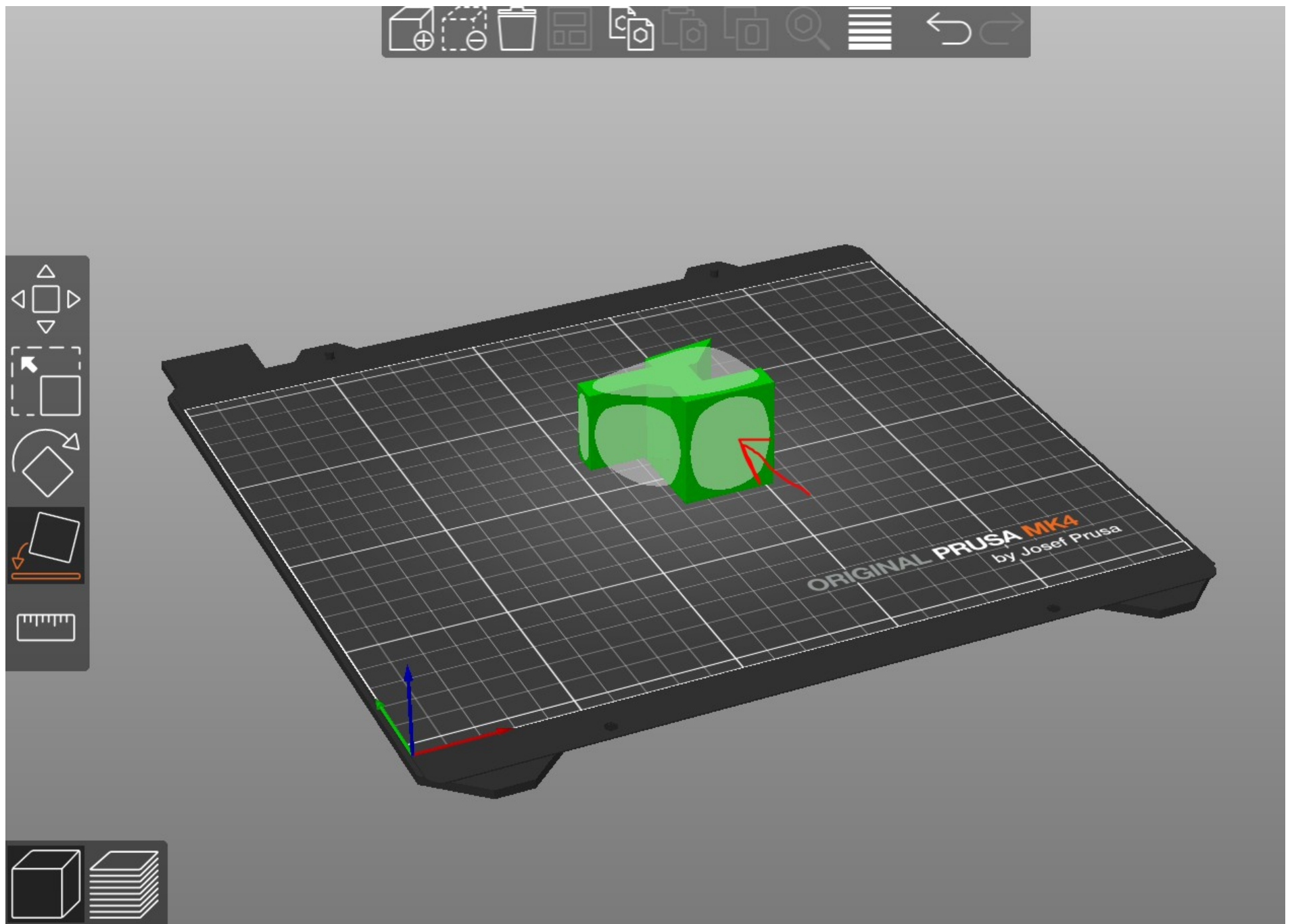
1. Tuo kappale PrusaSliceriin painamalla kuutio-ikonia



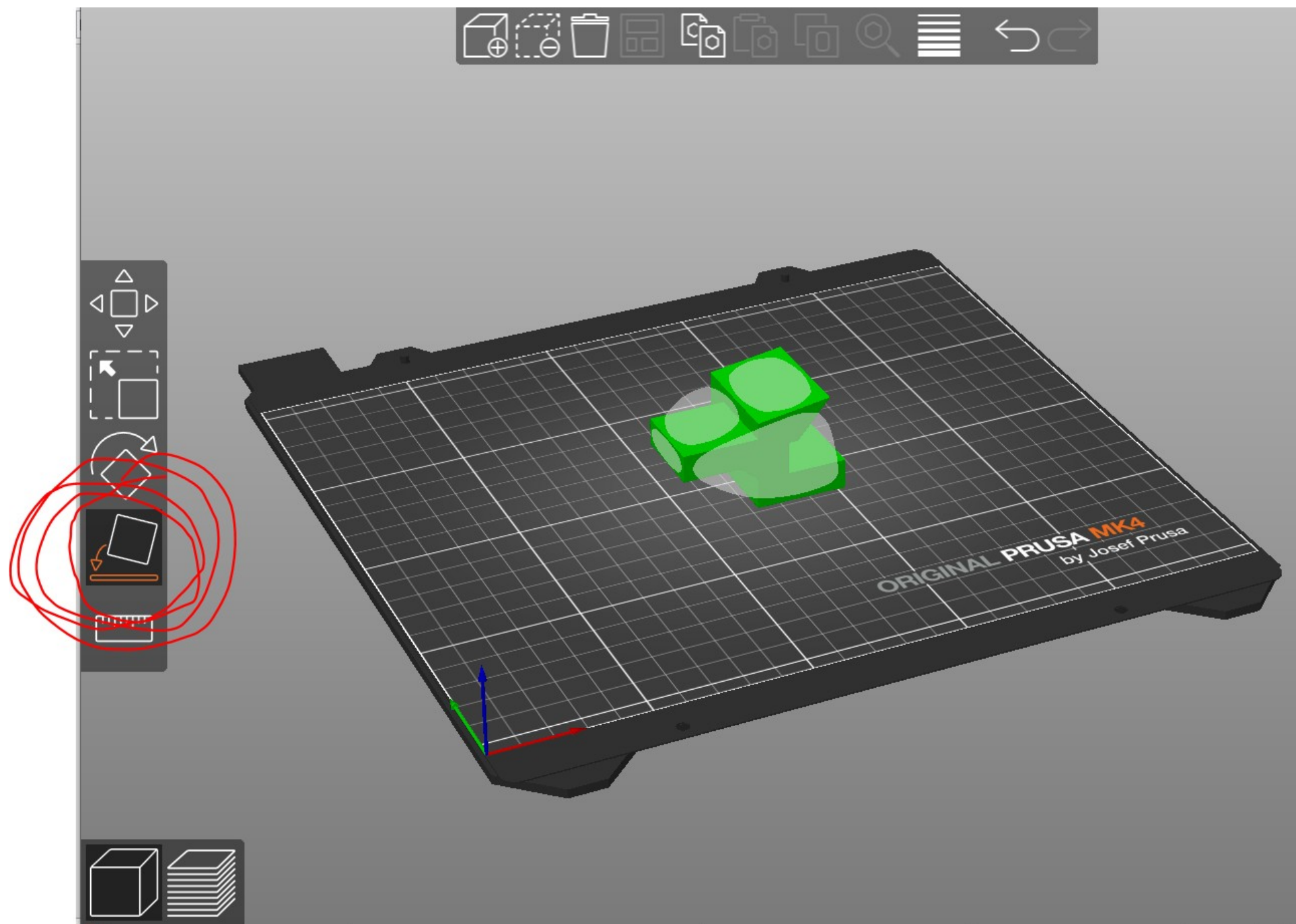
2. Valitse kappale ja valitse kääntötyökalu



3. Valitse pinta, jonka haluat tulostustasoa vasten



4. Paina ikonia uudestaan, että työkalu poistuu käytöstä



5. Valitse sopivat tulostusasetukset

Toimiviksi asetuksiksi on todettu ainakin Input Shaper tulostinvalinnalla seuraavat

Print setting: "0.20mm STRUCTURAL"

Filament: KÄY KATSOMASSA MIKÄ TULOUSTUSLANKA ON KONEESSA JA VAIHDA TARVITTAESSA. VALITSE TULOUSTUSLANGAN PROFIILI VALMIINA OLEVISTA PROFIILEISTA. TARKISTA SAMALLA OIKEA ALUSTA!

Printer: "HACKLAB Input shaper *...",
HACKLAB-alkuiset tulostimen profiilit pitäisivät olla yhteydessä tulostimeen, jolloin tulostusohjelman voi lähettää suoraan prusaslicerista 3D-tulostimeen, joka aloittaa tulostamisen lähetyksen jälkeen.

Supports: Mikäli kappale tarvitsee lisätukea, niin valitse esim. "everywhere"

Infill: 15-25% täyttö riittää suurimmassa osassa kappaleita

Brim: Käytä jos vähäkin epäilyttää tai kappaleessa on teräviä reunoja tai vähän kosketuspinta-alaa

Print settings:

  0.20mm STRUCTURAL (modified)  

Filament:

  Spectrum PETG Matt  

Printer:

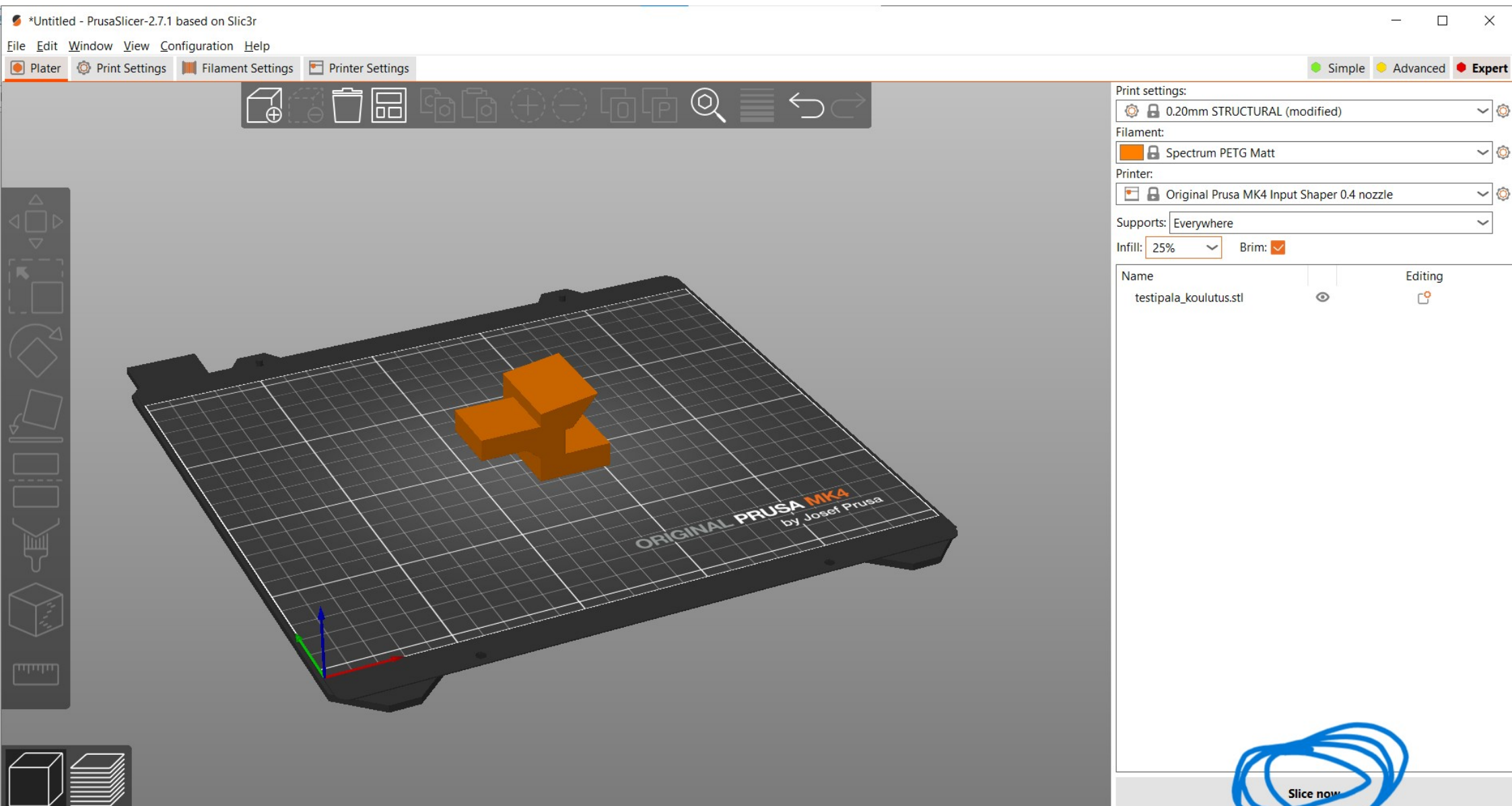
 HACKLAB Input Shaper * Original Prusa MK4 Input Shaper ...  

Supports: None 

Infill: 15%  Brim: 

Name		Editing
Shape-Box		

6. Kun asetukset on valittu, kappaleen voi viipaloida painamalla Slice now



7. Tämän jälkeen kappale on valmis tulostettavaksi ja tulostusohjelma voidaan joko lähettää suoraan 3D-tulostimelle lähiverkon kautta tai sitten muistitikun avulla.

The screenshot displays the 'Sliced Info' section of a 3D printing software interface. It lists various metrics for a sliced object, including filament usage and cost. Blue arrows point from specific data points to explanatory text on the right. At the bottom, an arrow points to the 'Export G-code' button, with another arrow pointing to a 'G' icon, both with explanatory text on the right.

Sliced Info	
Used Filament (g)	78.14
Used Filament (m)	24.06
Used Filament (mm ³)	57881.20
Cost	3.91
Estimated printing time: - normal mode	3h46m

Export G-code

G

Kulutetun tulostuslangan paino 78,14 g

Kappaleen hinta 3,91€

Tulostusohjelman lähettäminen 3D-tulostimelle

Tulostusohjelman tallennus esim. USB-tikulle

3D-tulostusasetukset

Print settings / Tulostusasetukset

Tämä asetus määrittää vahvasti sen, miten pitkään tulostus kestää ja miten hyvin tuloste kestää esimerkiksi vääntöä. Suurin vaikutus tulostusnopeuteen saadaan kerrosvahvuudella, mikä on ihan selkeää kun sitä hetken miettii.

Esim. 10mm korkea kappale viipaloidaan 0.2mm korkuisiksi kerroksiksi, joissa kestää yksi min per kerros.

$10 \text{ mm} / 0.2 \text{ mm} = 50 \text{ kerrosta}$

$50 * 1 \text{ min} = 50 \text{ min}$

Jos nyt halutaankin hienomman näköinen kappale käyttämällä 0.1mm korkuista kerrosta aikaa menee kaksi kertaa kauemmin.

$10 \text{ mm} / 0.1 \text{ mm} = 100 \text{ kerrosta}$

$100 * 1 \text{ min} = 100 \text{ min}$

Suositus onkin, että asetukseksi valitaan sen verran korkea kerrospaksuus, että tulostamisessa ei kestä turhan pitkään. Mikäli haluaa varmistaa sen, että kappale kestää hieman paremmin käytössä olisi hyvä valita Input Shaper asetuksilla "structural" vaihtoehto. Tämä asetus myös antaa usein paremman laatuksen tuloksen kuin "speed" vaihtoehto, jolla on usein nähty mm. nouseita nurkkia eli "warping" virhettä.

3D-tulostusasetukset

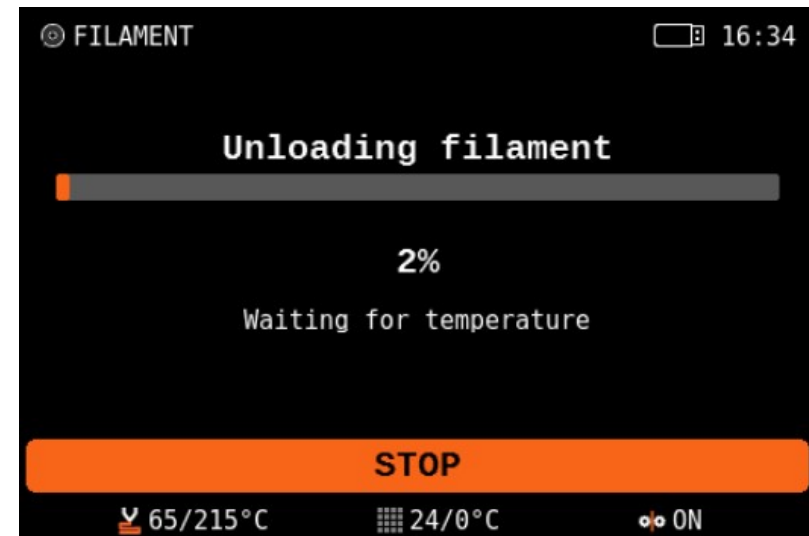
Filament / Tulostuslanka

Tulostuslangan profiiliksi valitaan sen langan profiili, millä kappale aiotaan tulostaa.

Tulostuslanka täytyy vaihtaa 3D-tulostimeen ennenkuin tulostus aloitetaan.

LCD Menu - Filament - Unload
Filament

Kun pursotin on poistanut langan sisältään, niin lanka tulee kääriä käsin kelan ympärille niin, että kela ei purkaudu.



3D-tulostusasetukset

Tulostuslangan laitto tulostimeen

Pura varovasti tulostuslankaa kelalta ja leikkaa sivuleikkureilla langan pää 45° asteen kulmaan ja syötä lanka pursottimeen putkea pitkin. Lanka pitää työntää pursottimen sisälle, jotta langantunnistin aktivoituu.



3D-tulostusasetukset

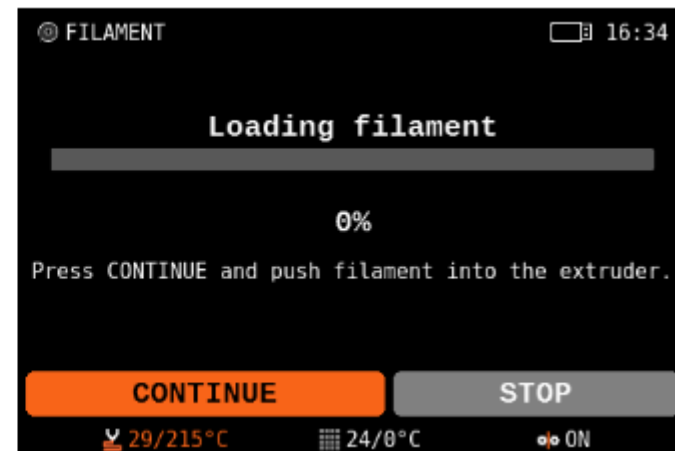
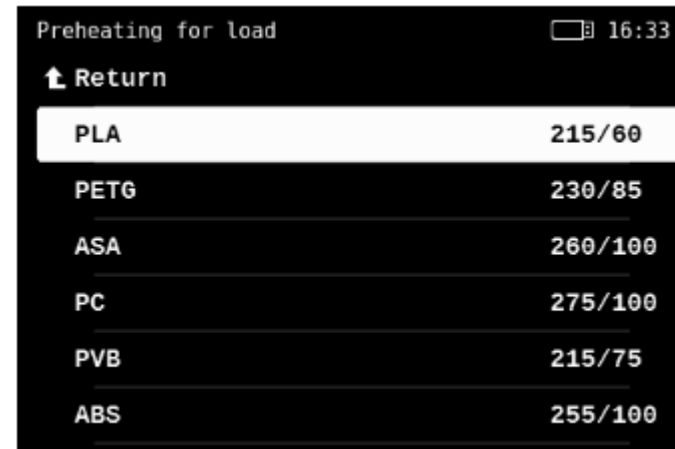
Tulostuslangan laitto tulostimeen

Valitse näytöltä materiaali, jota olet syöttämässä pursottimeen.

Odota että suutin lämpenee materiaalin vaatimaan lämpötilaan.

Valitse continue ja työnnä tulostuslankaa pursottimeen.

Tulostin pursottaa materiaalia hieman ja kysyy onko väri ok. Mikäli väri ei vastaa materiaalia, niin valitse "purge more", mutta mikäli kaikki näyttää hyvältä niin paina "yes". Mikäli kaikki on mennyt pieleen, niin sitten voit koittaa painaa "retry".



3D-tulostusasetukset

Printer / Tulostin

Tulostimeksi valitaan toinen valittavissa olevista fyysisistä tulostimista (physical printers).

"HACKLAB Input shaper..."

Tämä on nopeampi asetus. Käytännössä valittavissa "STRUCTURAL" ja "SPEED". Joista parempia tuloksia ollaan saatu "STRUCTURAL" asetuksilla. Edellä mainittujen kahden asetuksen ero on yleensä minuutteja.

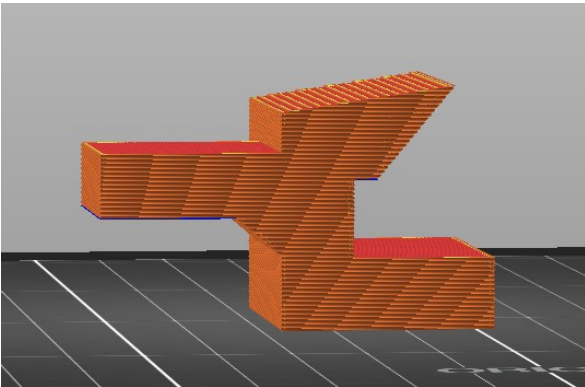
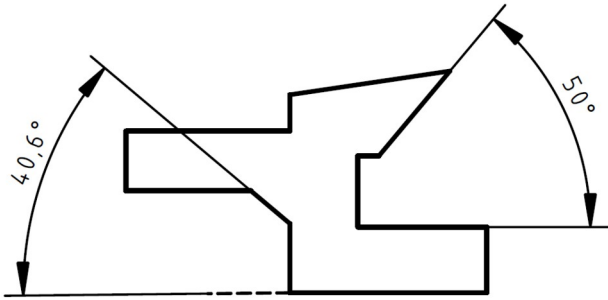
"HACKLAB basic prusa..."

Nämä ovat perusasetuksia, jotka ovat hieman hitaita verrattuna "input shaperin" asetuksiin. Molemmat vaihtoehdot ovat liitettyinä hacklabilla olevaan tulostimeen, jolloin tulostusohjelman pystyy lähettämään 3D-tulostimeen suoraan hacklabin tietokoneelta.

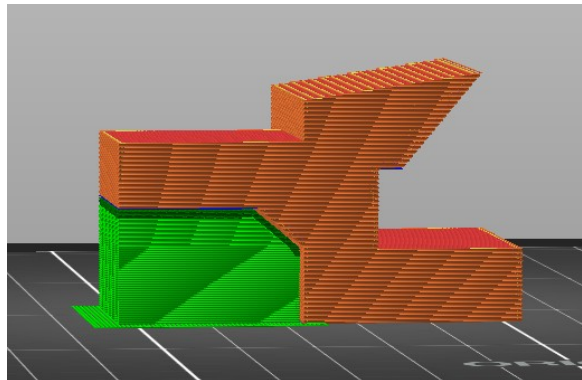
3D-tulostusasetukset

Supports / Tuet

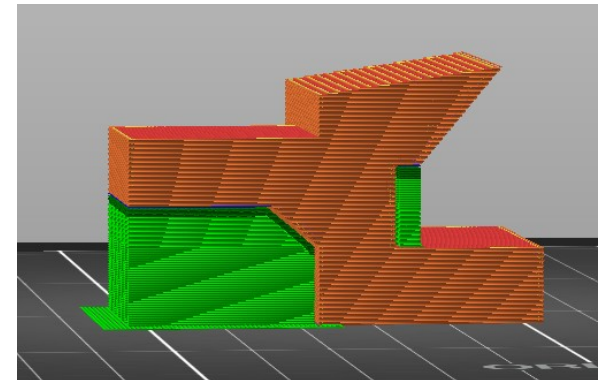
Tukia varten on olemassa automaattinen algoritmi, jonka avulla ne saadaan nopeasti tehtyä. Alla näkyy eri esimerkkejä eri käskyillä tehdyille tuille.



Supports:
None



Supports:
Supports on buildplate only



Supports:
Everywhere

3D-tulostusasetukset

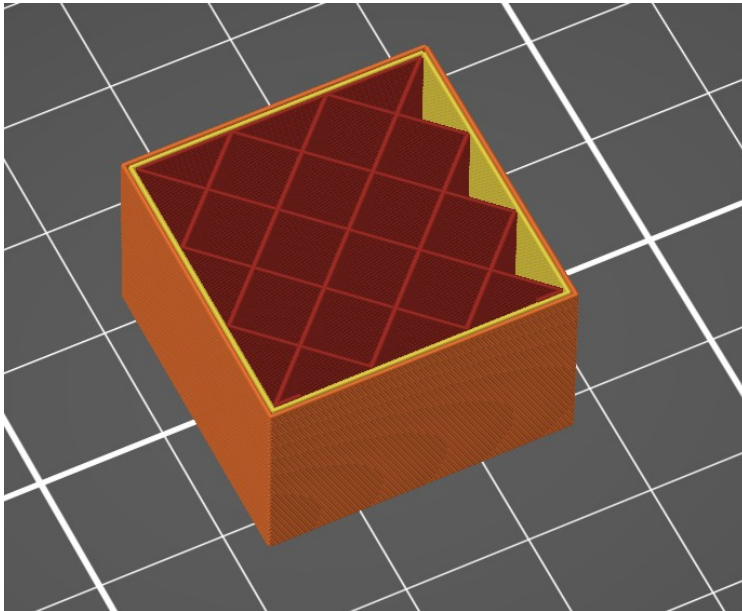
Infill / Täyttö

3D-mallia ei kannata tulostaa umpinaisena.

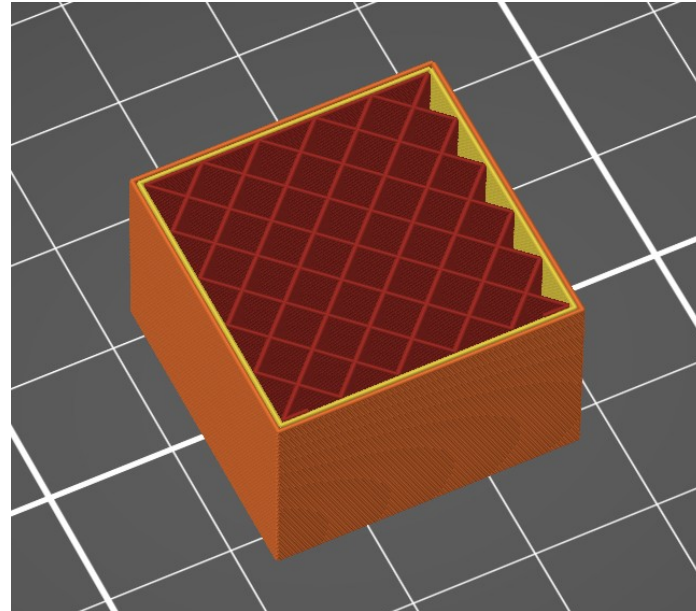
Suurimmassa osassa tapauksia riittää, että sisus on 15-25% täynnä.

Kappaleen keston vaikuttaa enemmän seinämän paksuus, jota voidaan säätää "Print settings" -asetuksien kohdasta "Vertical shells" ja "Horizontal shells".

Alla on esimerkkejä täytöstä.



Infill 15%

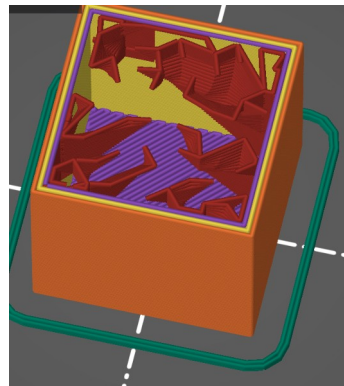
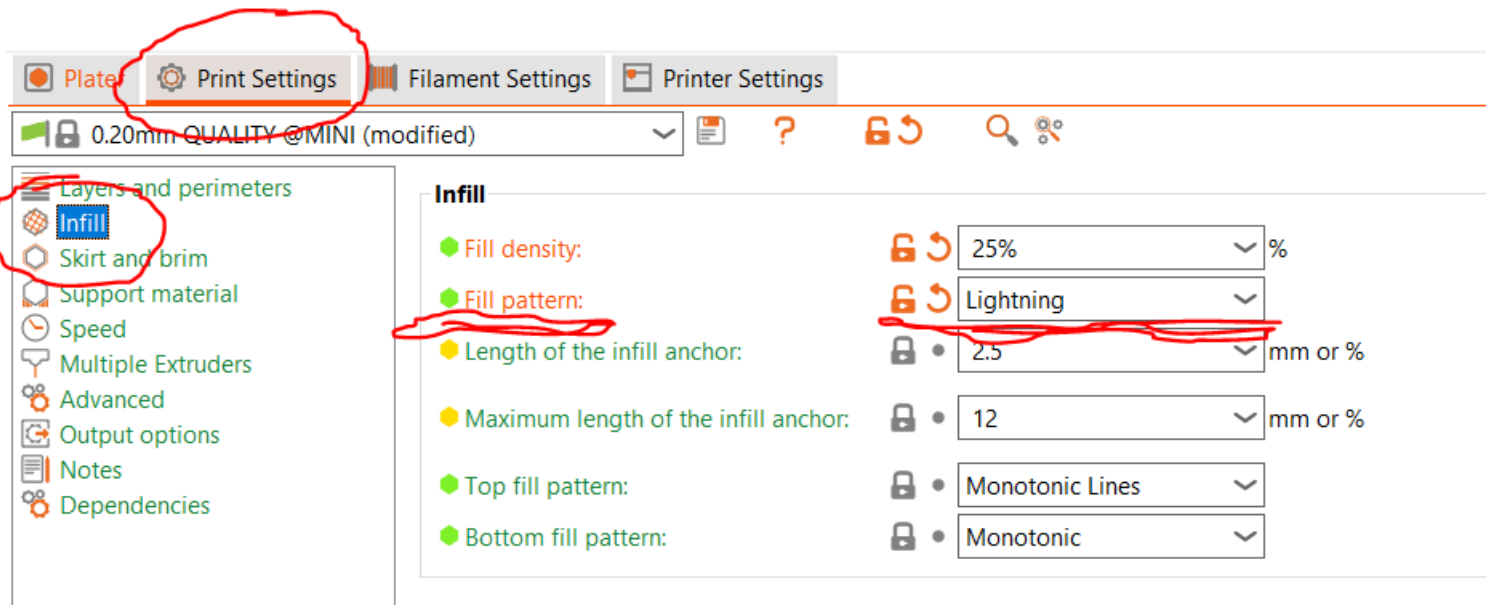


Infill 25%

3D-tulostusasetukset

Infill / Täyttö

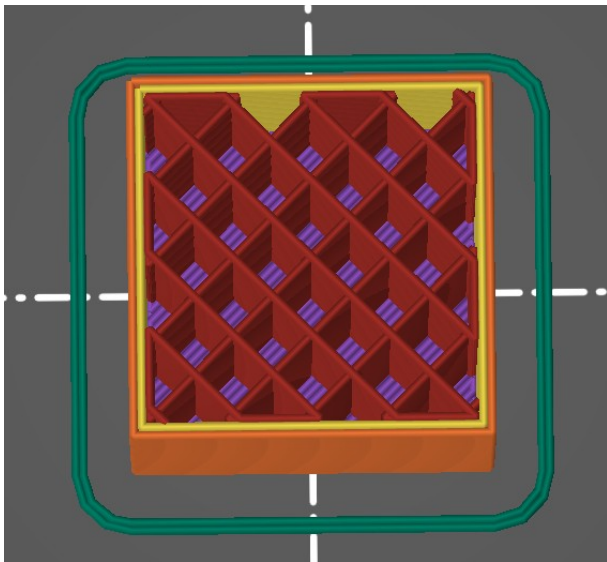
PrusaSlicerissa on paljon vaihtoehtoja kappaleen sisustan täyttämiseksi. Sen pystyy vaihtamaan "Print Setting" -välilehdeltä valitsemalla "infill".



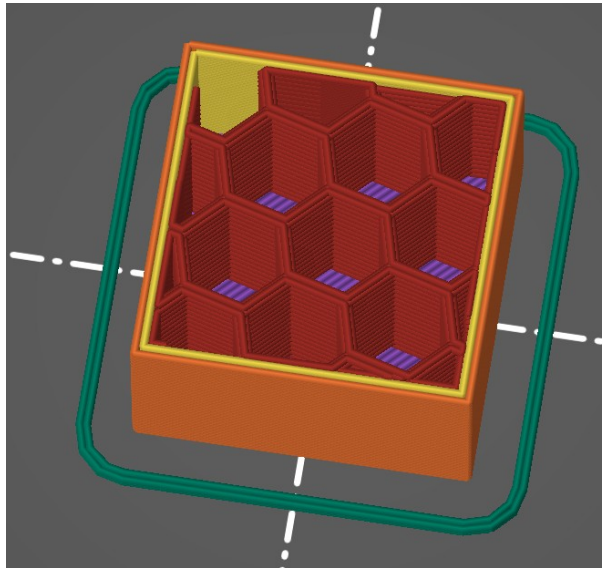
3D-tulostusasetukset

Infill / Täyttö

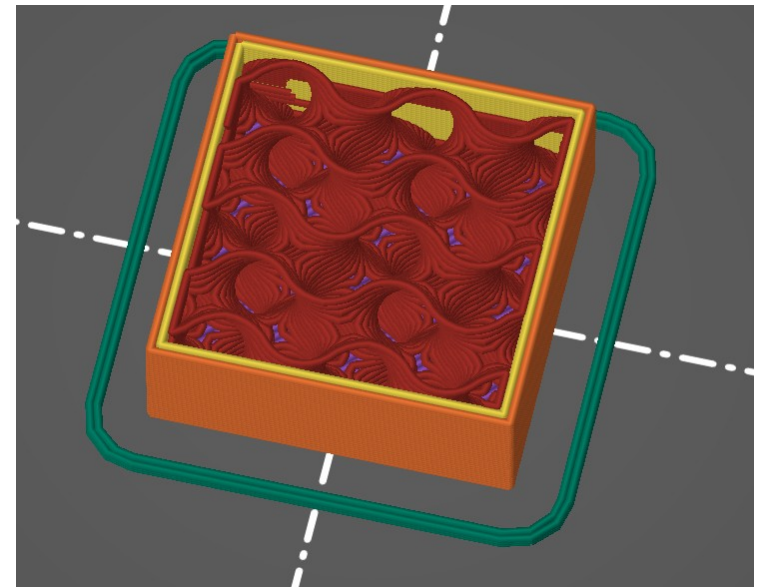
Alla esimerkkejä eri täyttöprofiileista. Jotkin näistä ovat nopeita tulostaa ja joissakin kestää hieman enemmän tulostuksessa. Mikäli ei ole varma, gyroid -täytöstä on saatu meko hyviä kokemuksia, sillä gyroidin kaaret antavat jonkin verran periksi esimerkiksi isoissa kappaleissa tapahtuvalle muovin kutistumiselle.



Rectilinear



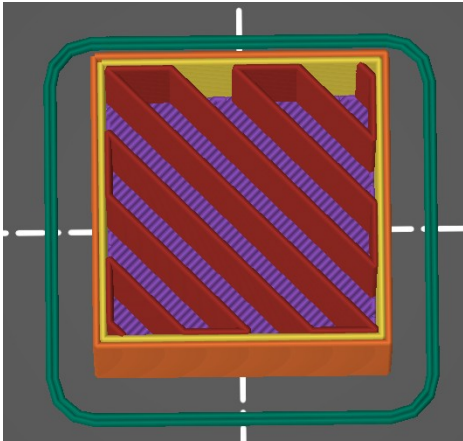
Honeycomb



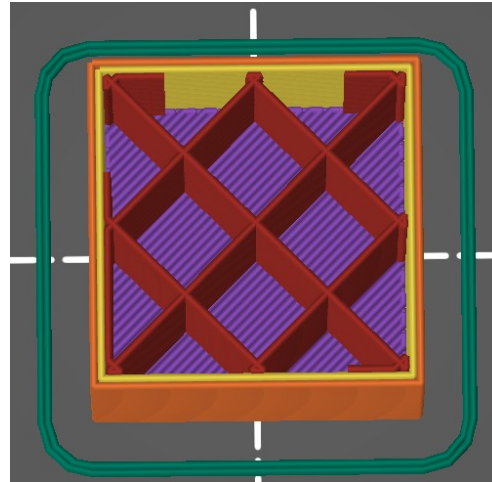
Gyroid

3D-tulostusasetukset

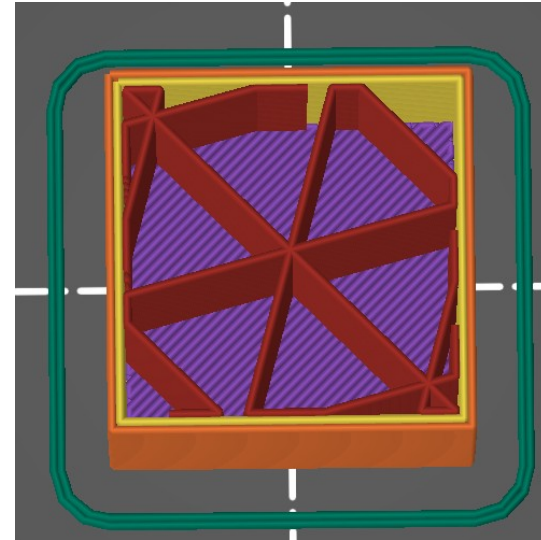
Infill / Täyttö



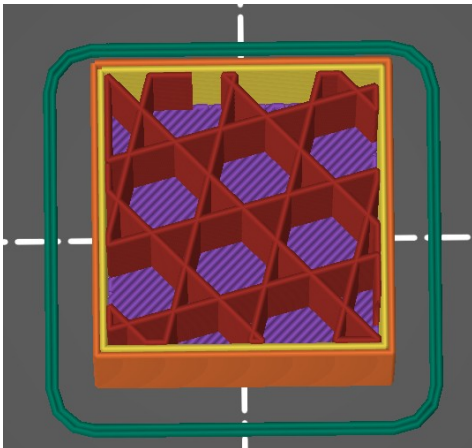
Aligned Rectilinear



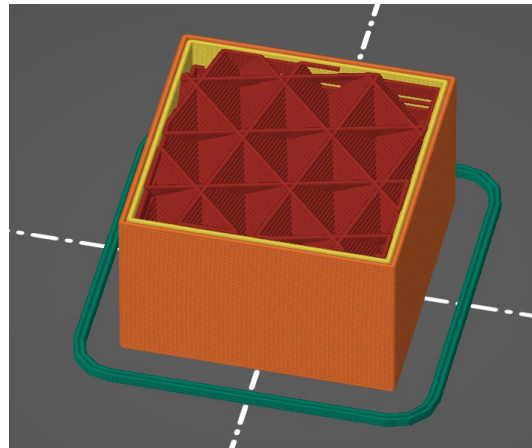
Grid



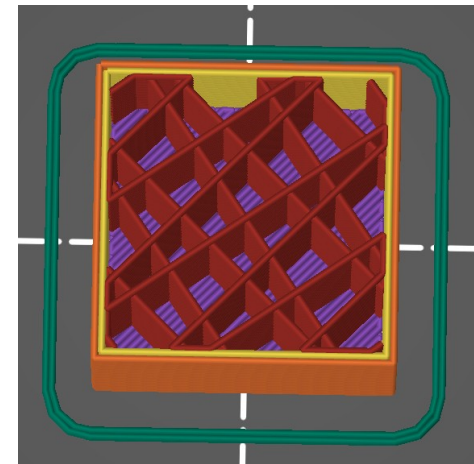
Triangles



Stars



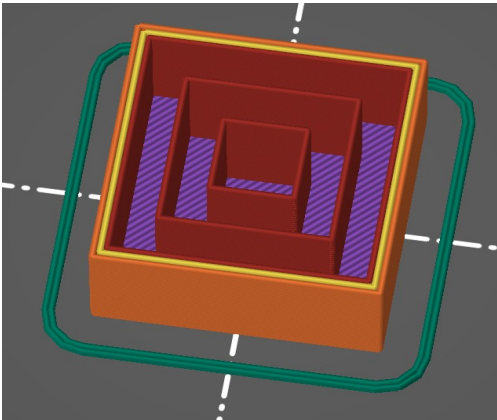
Cubic



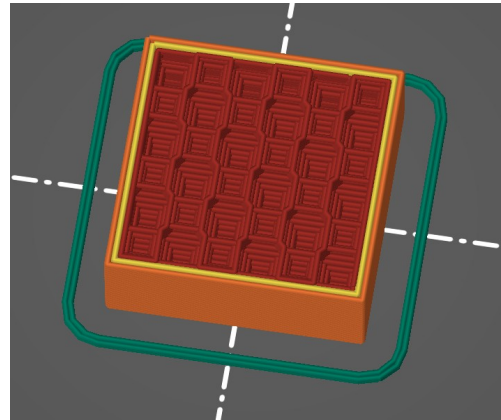
Line

3D-tulostusasetukset

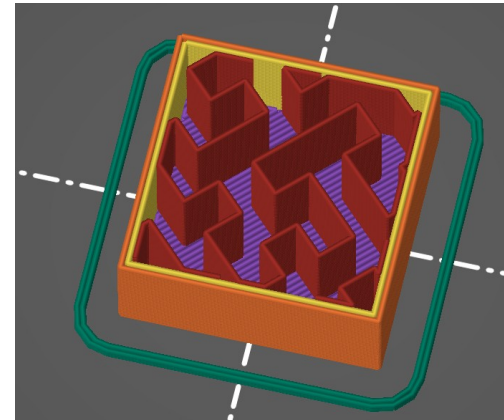
Infill / Täyttö



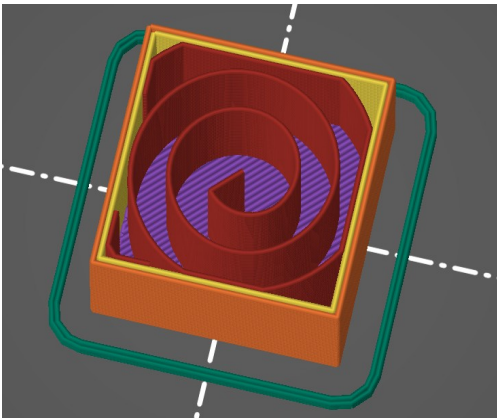
Concentric



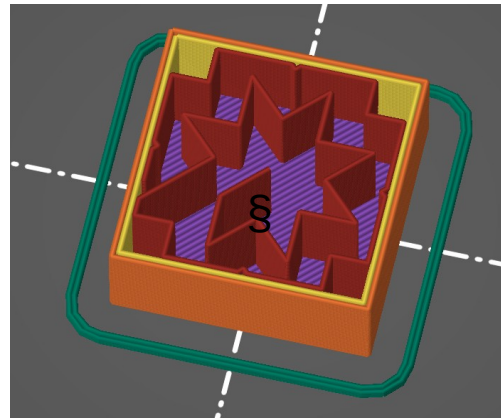
3D Honeycomb



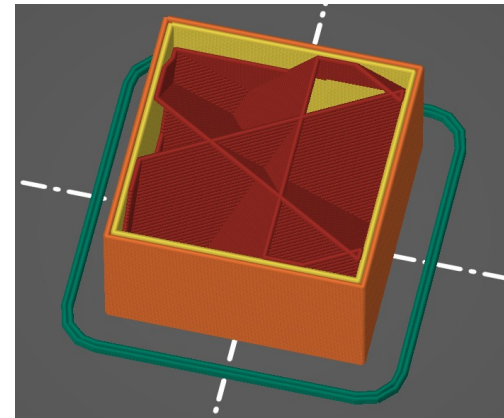
Hilbert curve



Archimedean chords



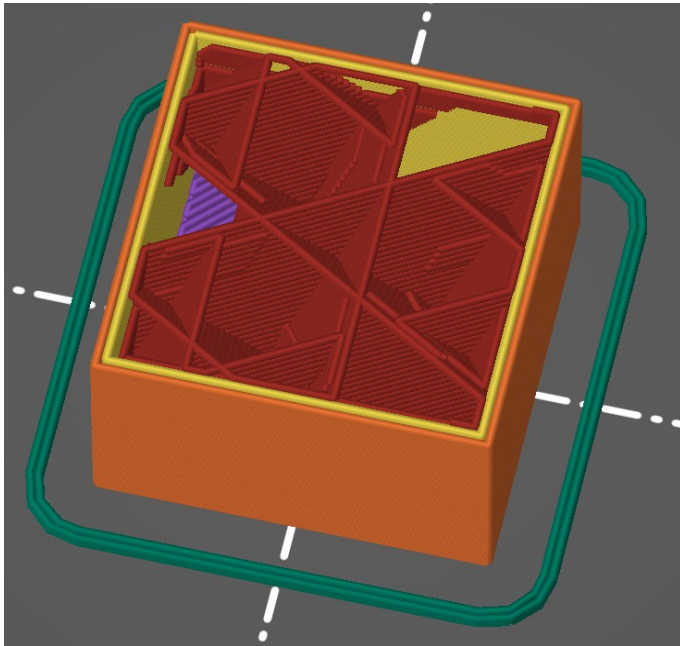
Octagram Spiral



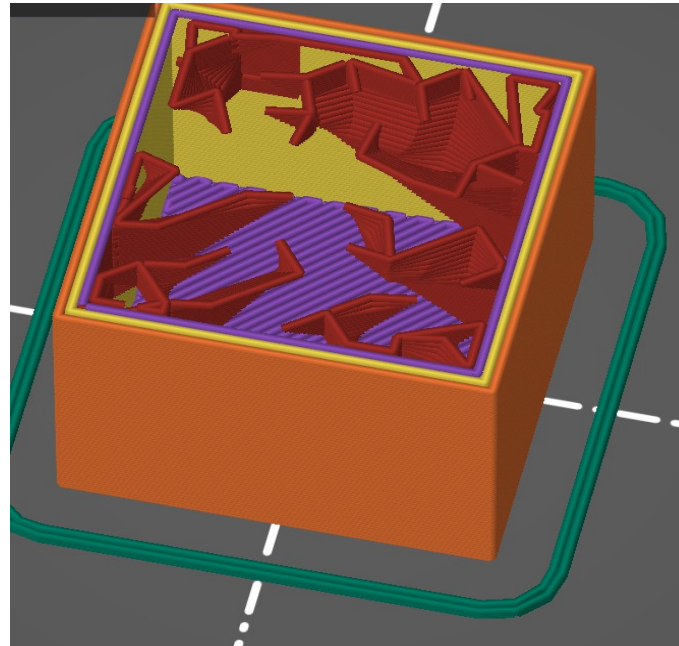
Adaptive Cubic

3D-tulostusasetukset

Infill / Täyttö



Support Cubic



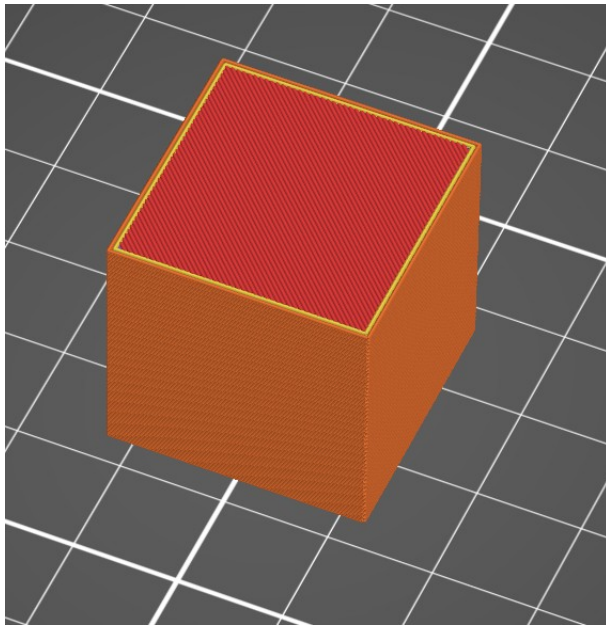
Lightning

3D-tulostusasetukset

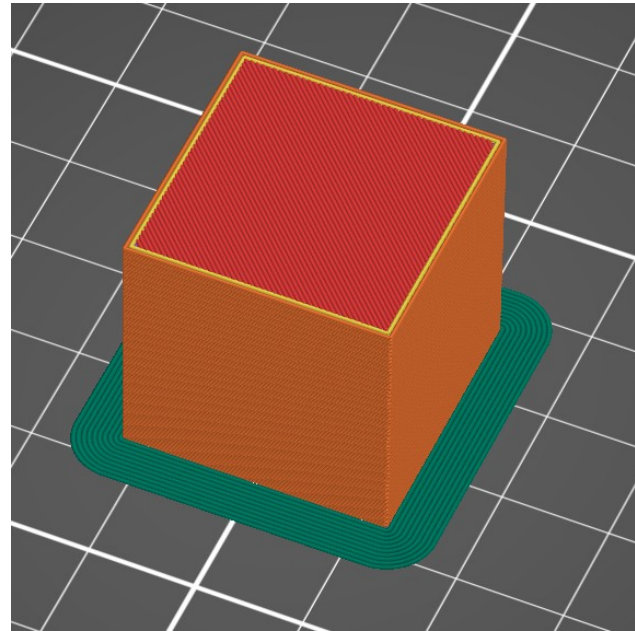
Brim / Kehys

Kehyksen avulla saadaan tuloste pysymään hieman paremmin alustassa kiinni ja vältettyä jopa nurkkien nouseminen.

Yksi esimerkki brim-työkalun käytöstä on PETG materiaalin ja "satin" alustan käytössä. Mikäli Brim ei ole käytössä, niin suurella todennäköisyydellä kappale epäonnistuu kyseisellä materiaali- ja alustakombolla.



Brim: ei käytössä



Brim: käytössä

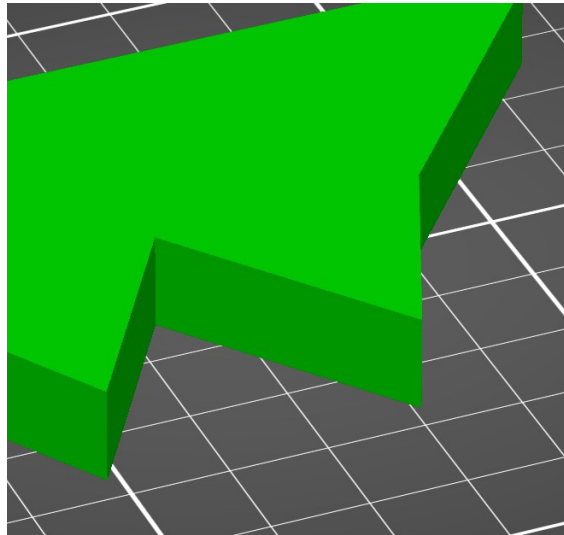
Vinkkejä

Esimerkkejä haastavista tulosteista

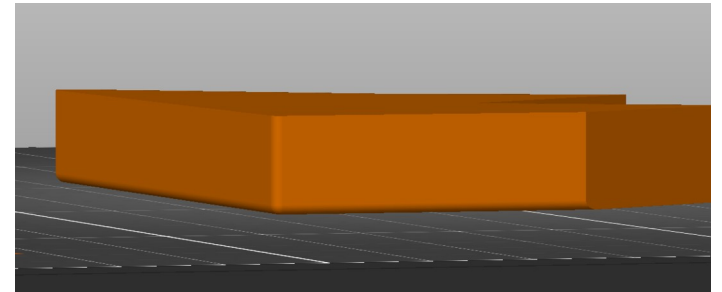
Terävät reunat ja pitkulaiset tulosteet tuovat tulostettaviin kappaleisiin jännitystä, sillä muovi kutistuu hieman jäähtyessään. Pahimmillaan tämä saattaa aiheuttaa koko kappaleen irtoamisen tulostusalustasta, jolloin tulostajalle ei jää muuta kuin kasa spagettia... mutta ei aina.



Pitkä osa



Terävät nurkat



Pyöristys kohti alustaa

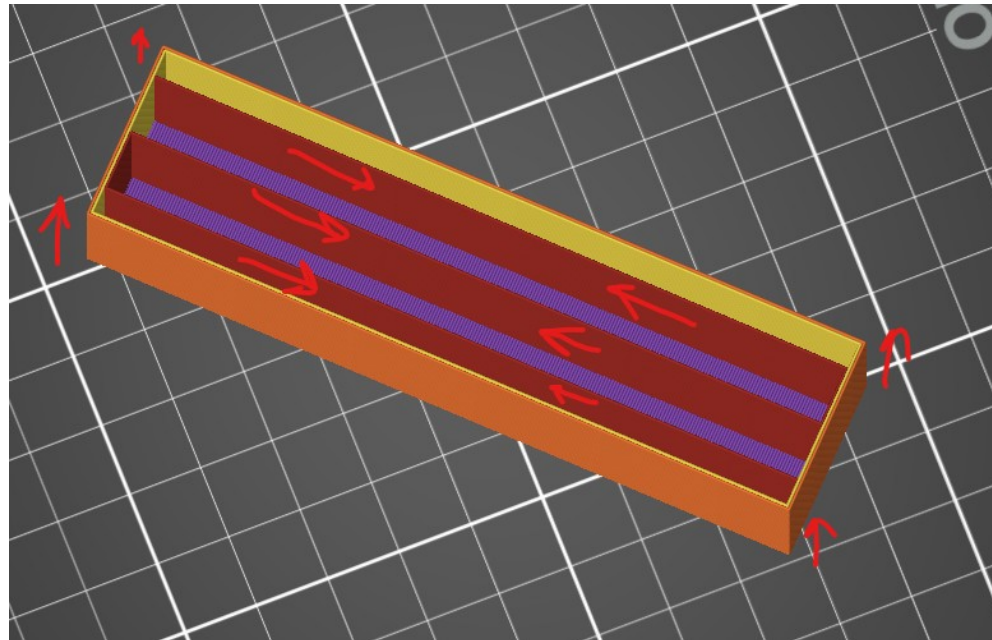
Vinkkejä

Esimerkkejä haastavista tulosteista

Myös kappaleessa käytetty täyttöprofiili saattaa aiheuttaa jännityksiä kappaleeseen ja nostaa pahimmillaan kappaletta irti alustasta tulostuksen aikana.

Alla olevassa kuvassa kappaleen täytössä on käytetty "aligned rectilinear" -täyttöä kuvitusmielessä, mutta myös muilla suoraviivaisilla täyttöprofiileilla saatetaan saada aikaan sisäisiä jännityksiä.

Kirjoittajalla itsellään on hyviä kokemuksia "gyroid" -täyttöprofiilista

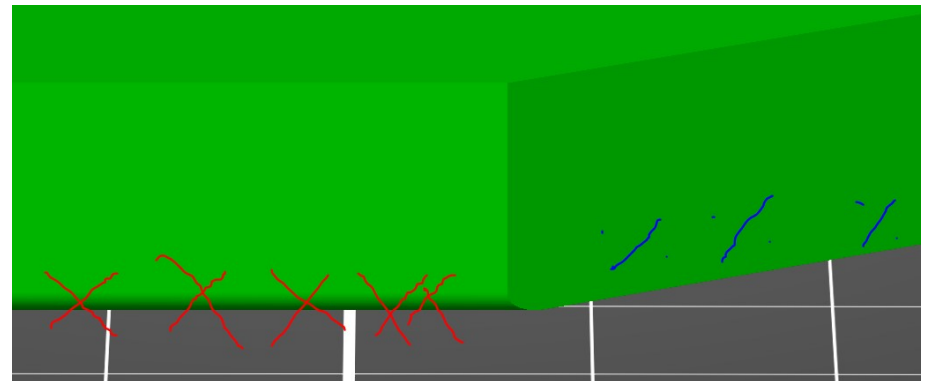
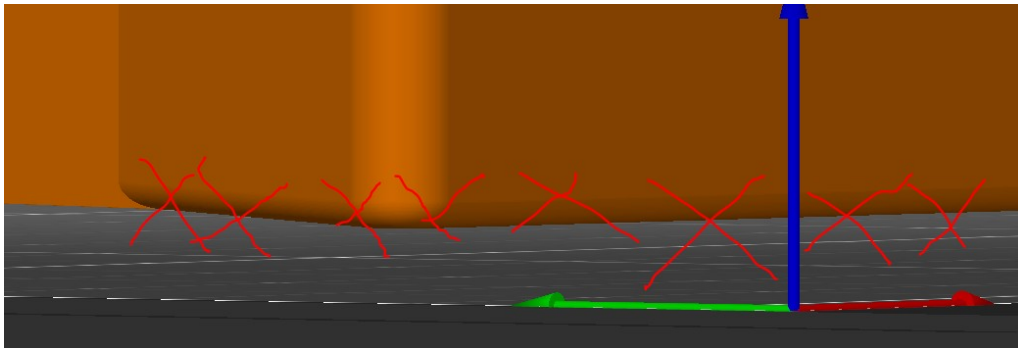


Sisäiset jännitykset täytöstä johtuen

Vinkkejä

Miten onnistua?

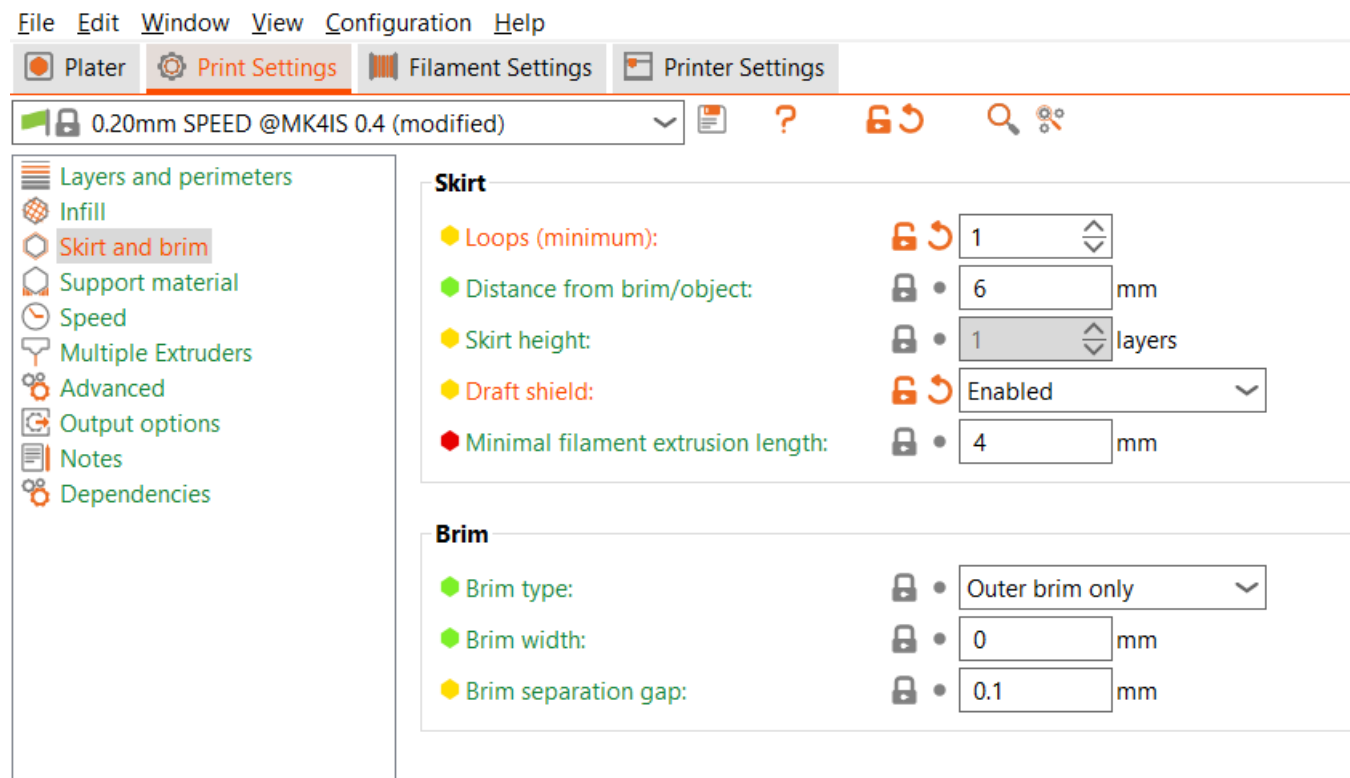
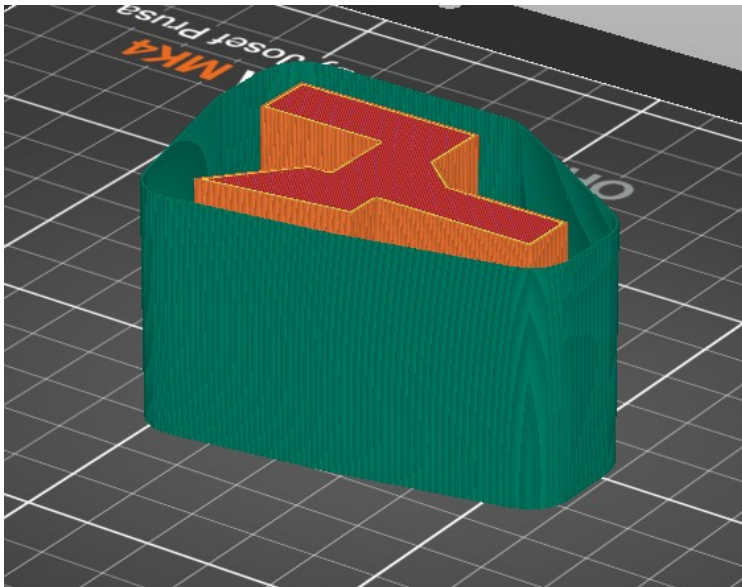
- Putsaa tulostusalusta ennen tulostusta.
- Tulosteen viileneminen, jotkin tulosteet tarvitsevat hieman enemmän viilennystä kuin toiset. Tähän kuitenkin vaikuttaa paljon myös ympäristön lämpötila, jolloin esimerkiksi ulko-oven avaus pakkasella saattaa aiheuttaa ongelmia tulosteen pysymisessä alustassa.
- Käytä hitaampaa tulostusprofiilia. Esimerkiksi "0.2mm SPEED" saattaa olla haastavissa printeissä jopa liian nopea. Harkitse hitaamman asetuksen käyttöä, kuten esimerkiksi "0.2mm STRUCTURAL"
- Käytä Brim asetusta.
- Vältä pyöristyksiä 3D-mallin reunoissa, jotka ovat kohti tulostusalustaa.



Vinkkejä

Miten onnistua?

- Mikäli ilmanvirettä ei voi välttää, voit koittaa käyttää draft shieldiä



Vertailu

- PLA

-

Pros	Cons
✓ Low price	✗ Brittle and inflexible
✓ Easy to print, suitable for beginners	✗ Low UV and temperature resistance
✓ Good detail and low warping	✗ Difficult post-processing
✓ Suitable for large models	

Vertailu

- PETG

• • • • •



Pros	Cons
✓ Easy to print	✗ Possibility of stringing
✓ Good layer adhesion	✗ Poor bridging and overhangs
✓ Tough and durable	✗ Not great for printing detailed parts
✓ Low warping	✗ Bonds strongly to the print surface
✓ High temperature-resistance	✗ Soluble in dangerous chemicals
✓ Water and humidity resistant	✗ Supports are hard to remove