

# Kannettavien laitteiden koteloinnista

---

OSA B

TkT Harri Eskelinen

# 3. VALMISTUSMENETELMÄT JA NIIHIN LIITTYVÄT SUUNNITTELUOHJEET

---

## Tavoite

Elektroniikkasuunnittelijan ei tarvitse osata itse valmistaa koteloita, mutta mitä enemmän hän tietää valmistusmenetelmistä ja niiden erityispiirteistä, sitä vähemmän tehdään vääriä oletuksia ja suunnitteluprojekti etenee nopeammin. Kustannukset pysyvät paremmin budjetissa.

# 3. VALMISTUSMENETELMÄT JA NIIHIN LIITTYVÄT SUUNNITTELUOHJEET

---

## 3.1 Ruiskuvalu



# Perusasioita ruiskuvalusta

---

- Ruiskuvalu on yleisin menetelmä muokata erilaisia polymeerimateriaaleja muovituotteiksi.
- Ruiskuvalu sopii seuraaville polymeereille:
  - Kestomuovit
  - Kertamuovit
  - Elastomeerit
  - Kumit
  - Komposiitit
  - Solustetut muovit



# Ruiskuvalun neljä päävaihetta:

---

- ❑ Plastisointi (muovimassan sekoittaminen ja lämmitys)
  - ❑ Ruiskutus (muottipesän täyttäminen)
  - ❑ Jäähdytys (muottipesässä olevan materiaalin jäähdytys)
  - ❑ Valmiin kappaleen ulostyöntö muotista
  - ❑ Ruiskuvalu on sopiva menetelmä suurille tuotantomäärille. Jos tuotantomäärä on pieni, muottikustannusten osuus yhden kappaleen valmistuskustannuksista nousee kohtuuttomaksi. Sopiva määrä on vähintään 10 ... 100 000 kappaletta.
-

# Ruiskuvaletun kotelon ominaisuudet

---

- Ruiskupaluprosessin onnistumiseen vaikuttavat muovimassan lämpötila, paine, virtaavan muovimateriaalin suuntautuminen (orientaatio) ja materiaalin kutistumisominaisuudet.
  - Ruiskuvaletut kappaleet ovat näistä ominaisuuksista johtuen epähomogeenisia ja **niihin muodostuu sisäisiä jännityksiä**  
**→ otettava huomioon koteloita mitoitettaessa**
-

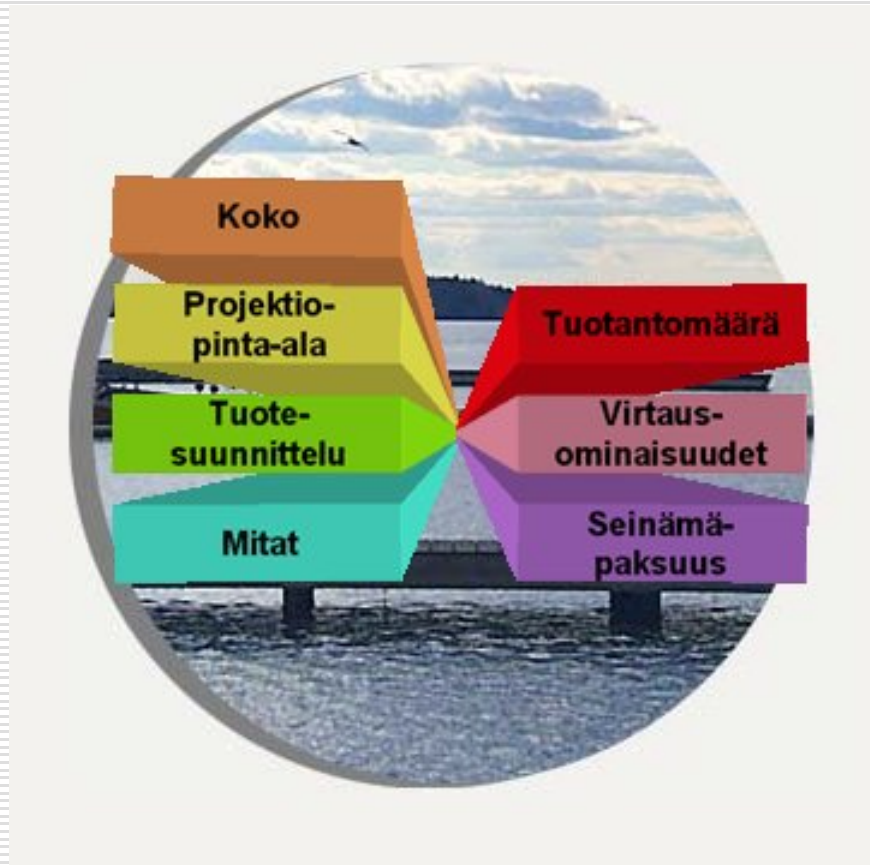
- 
- Ruiskutusvaiheen asetuksien merkitys kappaleen pinnanlaadun muodostumiselle on tärkeä. Kotelon pinnanlaatu riippuu merkittävästi käytetystä ruiskutusnopeudesta.
  - Ruiskuvalukappaleen pinnanlaatu vaativat, että massasulan lämpötila olisi vakio koko ruiskutusvaiheen ajan → **otettava huomioon geometriaa suunniteltaessa ja asetettaessa pinnanlaatuvaatimuksia**
-

- 
- Jäähdytysjakson ja jähmettymisen tulisi tapahtua tasaisesti, jotta saataisiin huokoseton, jännityksetön ja **kieroutumaton** kappale.
  - Muotissa kappaletta ympäröivät muotin seinämät ja kutistuminen on osin mekaanisesti ohjattua. Kappale ei pääse taipumaan tai kieroutumaan ja siten myöskään jälkipaineen aiheuttamat sisäiset jännitykset eivät pääse purkautumaan → **kun suunnitellaan ruiskuvalettava kotelo, suunnitellaan ensisijaisesti sen muotti !**
-



# Ruiskuvalumenetelmän asettamat reunaehdot tuotteelle:

---



---

## □ Koko ja seinämäpaksuus:

- Yleensä ruiskuvalutuotteet painavat tavallisesti grammoista muutamiin kilogrammoihin.
- Ohutseinämäisten kappaleiden ruiskuvalulla valmistetaan seinämäpaksuuksia alle 0,5 mm
- Mikroruiskuvalussa kappaleen mitat ovat muutamia mikrometrejä.

## □ Projektiopinta-ala:

- Ruiskuvalukappaleen projektiopinta-ala määrää, kuinka suuri sulkuvoima kappaleen valmistamiseksi tarvitaan.
-

- 
- ❑ Hyvin paksut seinämät pidentävät kappaleen jähmettymisaikaa ja heikentävät tuottavuutta
  - ❑ Hyvin ohuet seinämät ovat hankalia muotin täyttymisen ja ulostyönnön kannalta (ulostyöntimet saattavat rikkoa seinämän)
  - ❑ Pienin paksuus määritetään polymeerisulan virtausominaisuuksien perusteella.
  - ❑ Suurin paksuus määritetään sopivan jähmettymisajan perusteella.
-

# Missä menee raja seinämäpaksuudessa?

---

- Seinämäpaksuuden raja riippuu itse paksuudesta sekä sulan virtausmatkasta. Jos valmistetaan matkapuhelimen kuori seinämäpaksuudeltaan n. 1 mm, puhutaan varmasti ohutseinämätekniikasta. Yhden millimetrin paksuisen paidannapin valmistus ei ole enää ohutseinämätekniikkaa, sillä kappaleen koko on hyvin pieni ja sulan muovin virtausmatka lyhyt.
  - Ohutseinämätekniikasta puhutaan, kun seinämäpaksuus on alle 1 mm ja **virtausmatka-seinämäpaksuus-suhde (L:T) on yli 100:1**. Matkapuhelinten kuorten seinämänpaksuus on nykyisin noin 0,8 mm ja L:T-suhde noin 150.
-

- 
- Jäykkyyden puute on suurin ohutseinämäisten kappaleiden käyttökohteita rajoittava tekijä.
  - Kappaleen neliömomentti romahtaa kahdeksasosaan, kun seinämänpaksuus puolitetaan. Hyvin ohuet seinämät muuttavat kappaleen "kalvomaiseksi", mitä ei välttämättä haluta.
  - Muotoilemalla, rivoittamalla sekä käyttämällä lujitettua materiaalia pystytään kappaleen jäykkyyttä parantamaan.
-

# Ruiskuvalettavan tuotteen suunnittelussa huomioonotettavat tekijät:

---

- Kappaleen sisäiset muodot
  - Päästöt
  - Virtausmatka muotin sisällä
  - Joidenkin muovilaatujen loviherkkyys
  - Lujuusominaisuudet
  - Paikka, josta muottipesä täytetään
  - Muotin ulostyöntömekanismi
  - Muotin jäähdytysjärjestelmä
  - Liikkuvat keernat
-

# Ruiskuvalettavat materiaalit:

---

- Amorfisia kestopuoveja ovat esim. PC, ABS, PVC, PS ja PMMA. Osakiteisiä ovat esim. PE, PP, PA, POM ja PET.
  - Komposiiteissa matriisina on muovi, johon on seostettu haluttuja seosaineita. Tyypillisiä ovat erilaiset mineraaliseostetut muovit. Mineraalitäyteainetta esim. kalsiumkarbonaattia  $\text{CaCO}_3$
  - Polymeeriseokset, joissa on sekoitettu keskenään yhtä tai useampaa polymeeriä siten, että polymeerit eivät reagoi keskenään atomitasolla (nk. "blendit")
-



Akryylinitriilibutadieenistyreenin ja polykarbonaatin seos



# Muita ruiskuvalettuja koteloita:

---



Ruiskuvaletun tuotteen värejä on helppo muuttaa sopivalla seostuksella...

---





## 3.2 Painevalu

# Perusasioita metallien painevalusta

---

- ❑ Peruselektroniikan kotelot valmistetaan lähinnä alumiiniseoksista tai sinkkiseoksista.
  - ❑ Kevyet, ohuet rakenteet, kuten kamerat valmistetaan magnesiumseoksista.
  - ❑ Sinkillä saavutetaan parempi metallin juoksevuus muottiin, joten ohuempi seinäiset kappaleet kannattaa tehdä sinkistä.
  - ❑ Kun koko kasvaa, vältetään painoa ja alumiiniseos on tarkoituksenmukaisempi.
-

- 
- Alumiiniseoksia on erityisen vaikeita valaa, koska niillä on taipumus tuottaa kaasukuplia.
  - Alumiinilla on myös suuri kiteytymiskutistuma, mikä aiheuttaa imuja, vääntymiä sekä vaikeuksia poistaa kappale muotista.
-

- 
- ❑ Kappale voi olla muodoiltaan vaativa: ohuita seinämiä, teräviä reunoja, hankalia kulmia ja kierteitä voidaan painevalaa.
  - ❑ Painevalussa sula metalli, jonka lämpötila on alumiinia valettaessa noin  $700^{\circ}\text{C}$  ja magnesiumia valettaessa noin  $650^{\circ}\text{C}$ , syötetään suurella nopeudella ja paineella teräksestä valmistettuun kestonuottiin. Vaativien painevalukappaleiden valamisessa tyhjövalun käyttö on onnistumisen edellytys.
  - ❑ Taloudellinen yli 5000kpl sarjoissa.
  - ❑ Tarkkuustoleranssi 0.5% nimellimitasta.
-

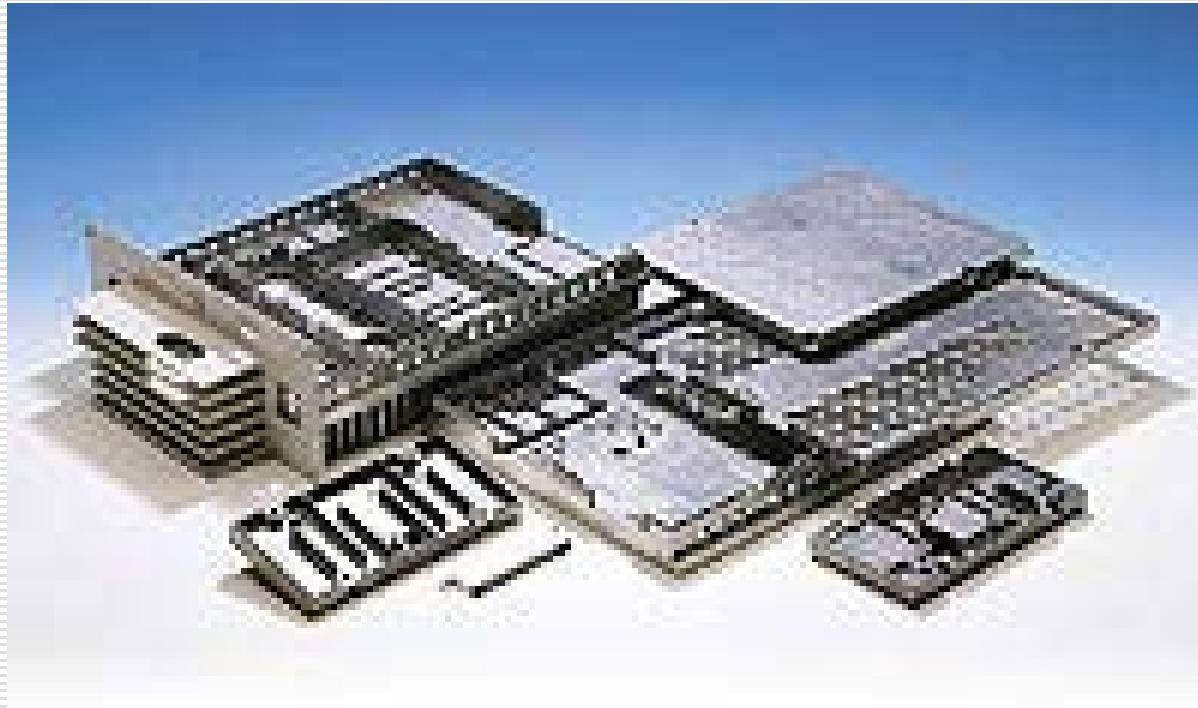
# Esimerkkejä muotin suunnitteluohjeista:

---

- ❑ paksuus sisäpinnasta ulkopintaan  $> 50$  mm,
  - ❑ syvyys / kokonaispaksuus  $< 1:3$ ,
  - ❑ muotin sisäpinnasta jäähdytiskanavaan  $> 25$  mm,
  - ❑ muotin sisäpinnasta jäähdytiskanavaan kulmassa  $> 50$  mm,
  - ❑ pienin pyöristyssäde sinkki  $> 0.5$  mm,
  - ❑ pienin pyöristyssäde alumiini  $> 1.0$  mm,
  - ❑ pienin pyöristyssäde messinki  $> 1.5$  mm,
  - ❑ etäisyys syötöstä sisäpintaan  $> 50$  mm
-

Alumiinipainevalun eräänä sovellusesimerkkinä matkapuhelinverkon tukiasemissa tarvittavat erilaiset koteloinnit

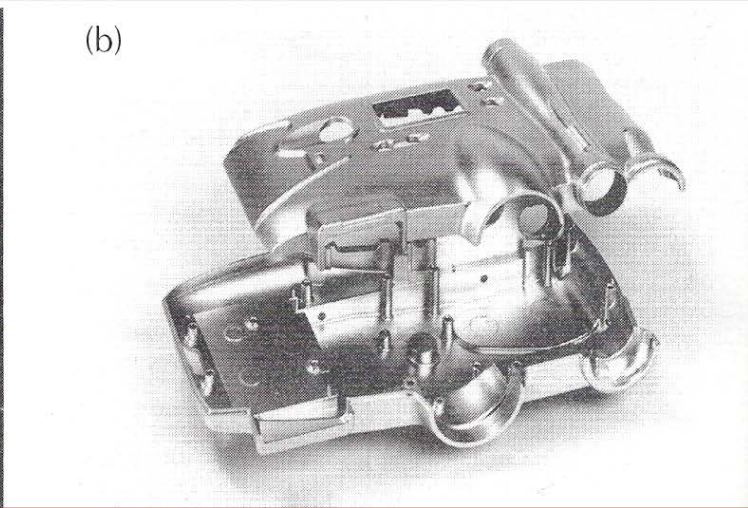
---





# Magnesiumpaineevalun eräänä sovellusesimerkkinä videokameran runko

---



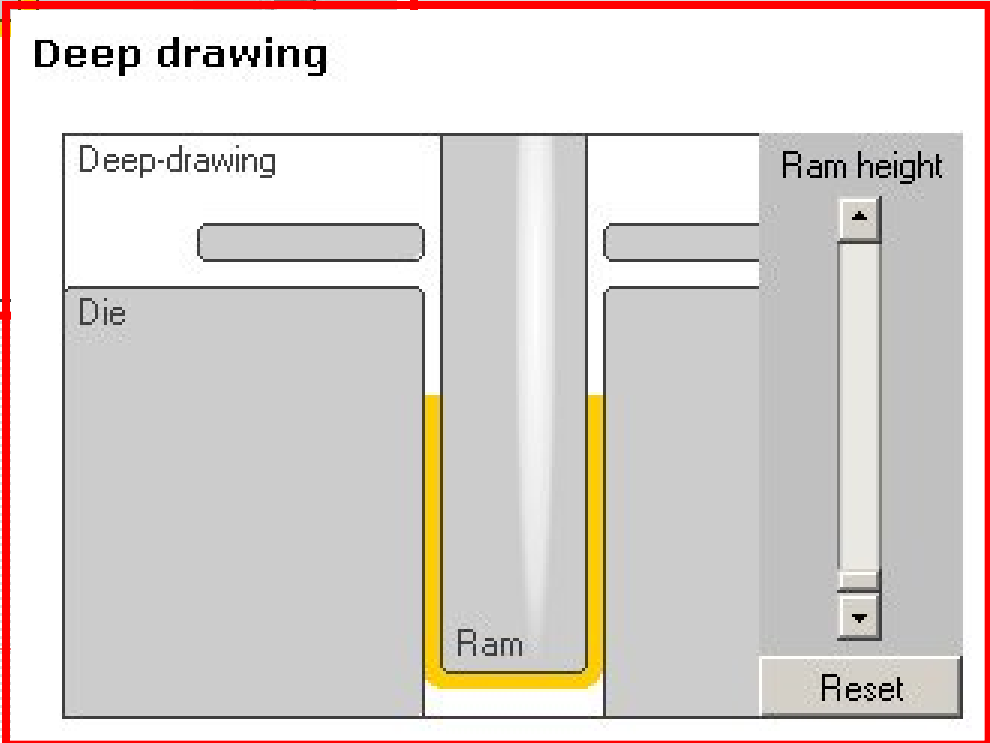
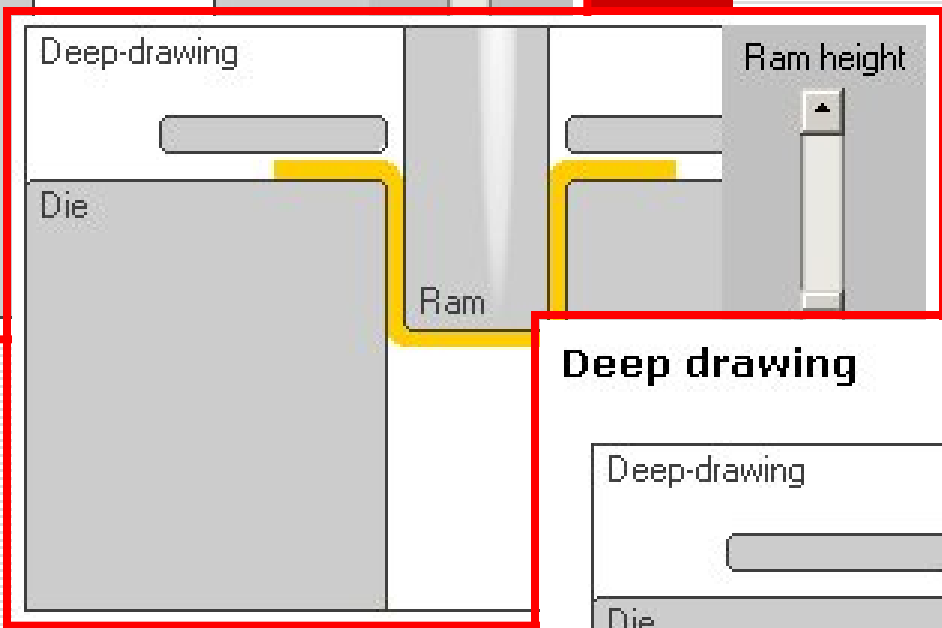
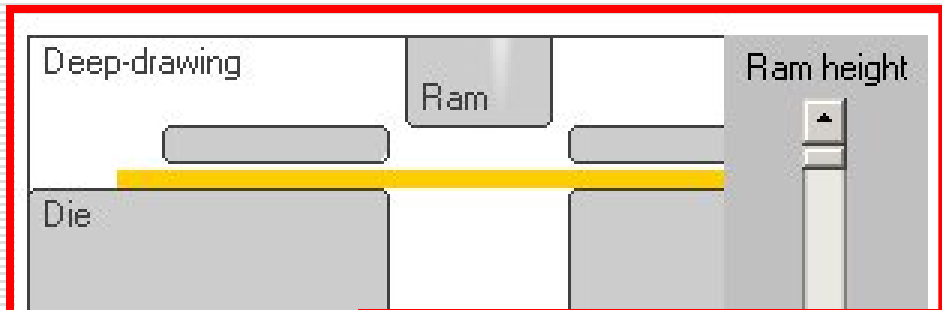


## 3.3 Syväveto ja venytysmuovaus

# Perusasioita syvävedosta ja venytysmuovauksesta

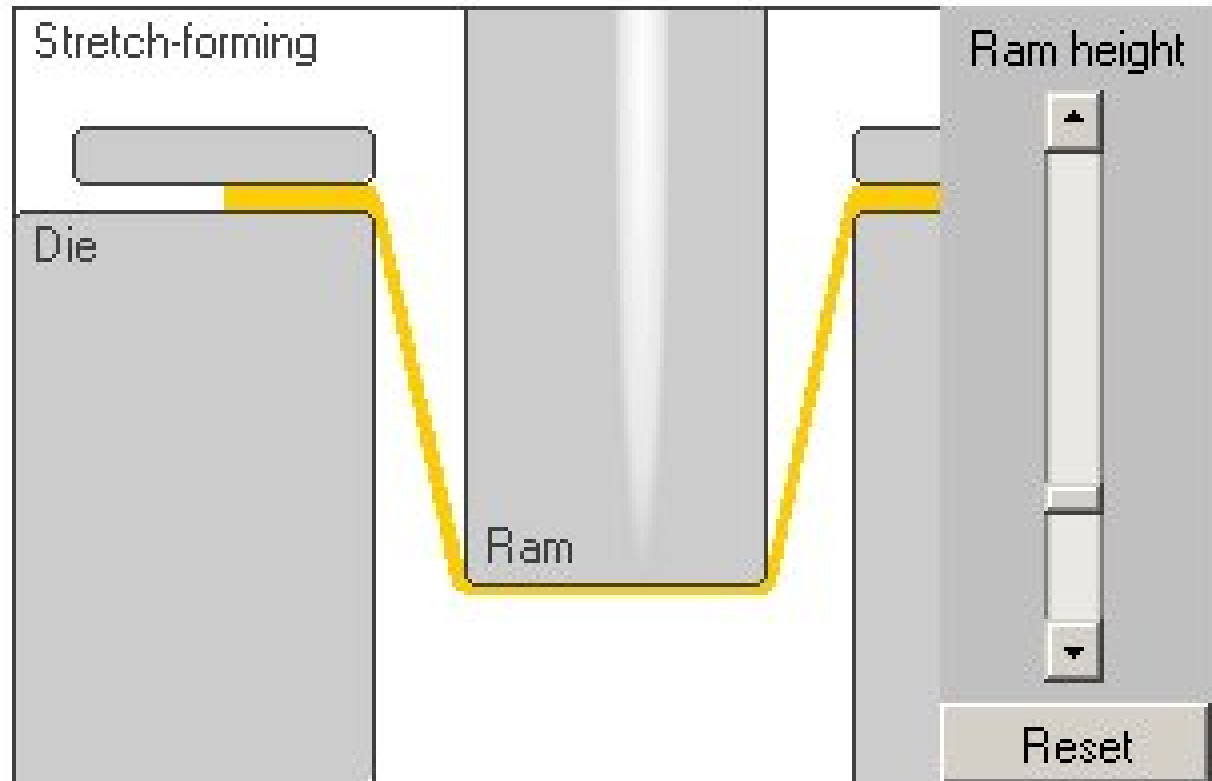
---

- ❑ Syvävedossa levyaihiosta painetaan kotelo pyrkimättä muuttamaan levynpaksuutta
  - ❑ Venytysmuovauksessa aihion liukuminen muovattaessa on estetty ja levy ohenee
  - ❑ Syvävedolla saavutetaan hyvä valmiin kotelon mittatarkkuus ja pinnanlaatu sekä kotelon muotojäykkyys.
  - ❑ Sopii erinomaisesti sarjatuotantoon
-



**Syvävedon periaate**

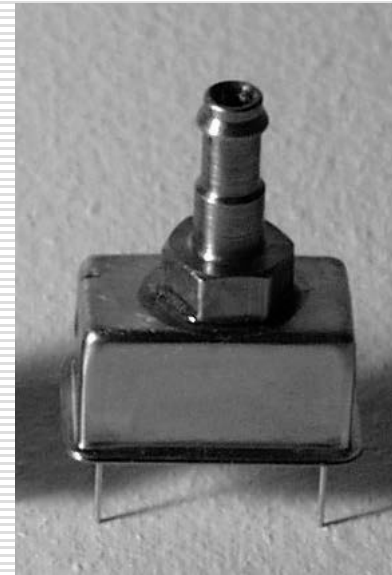
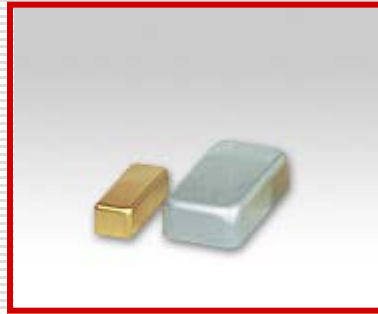
## Stretch forming



Venytysmuovauksen periaate

# Syvävedettyjä koteloita...

---



**Kyseisen kaltaisille koteloille mahdollisia materiaaleja ovat mm. alumiiniseokset, pronssit, kupariseokset ja kylmävalssattu teräs sekä  $\mu$ -metalli (Ni77/Fe14/Cu5/Mo4).**

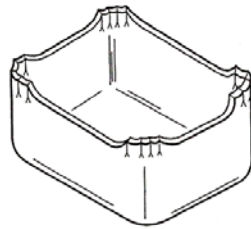
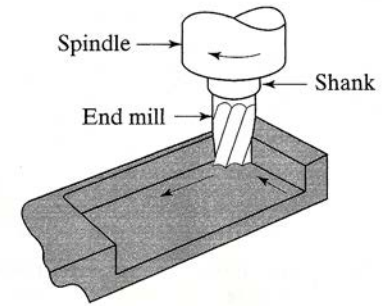
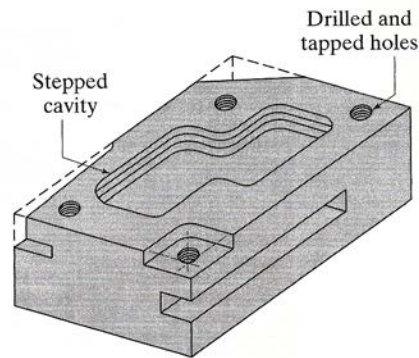
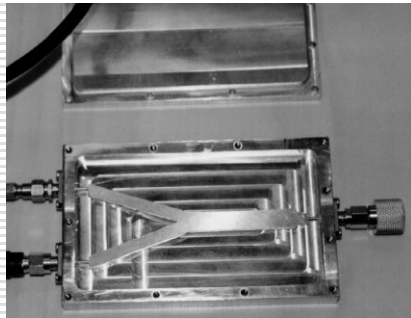
---



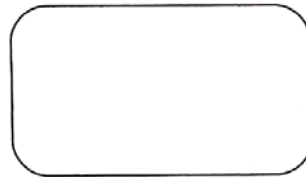
## 3.4 Muita valmistusmenetelmiä

# Yksittäisiä koteloita tai niiden muotoja voi valmistaa mm.

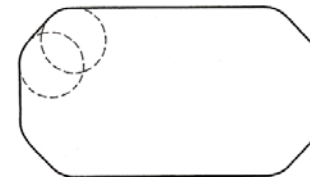
- ❑ Perinteisillä lastuavilla työstömenetelmillä
- ❑ Levyosista taivuttamalla, lävistämällä ja käyttämällä eri liittämismenetelmillä
- ❑ Kipinätyöstöllä



(a)



(b)

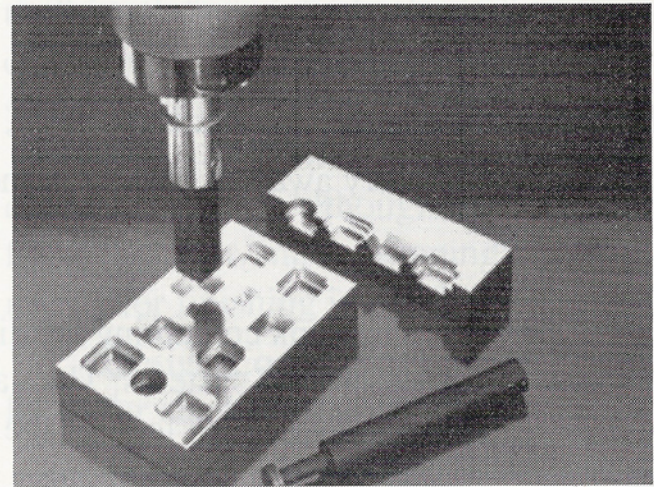
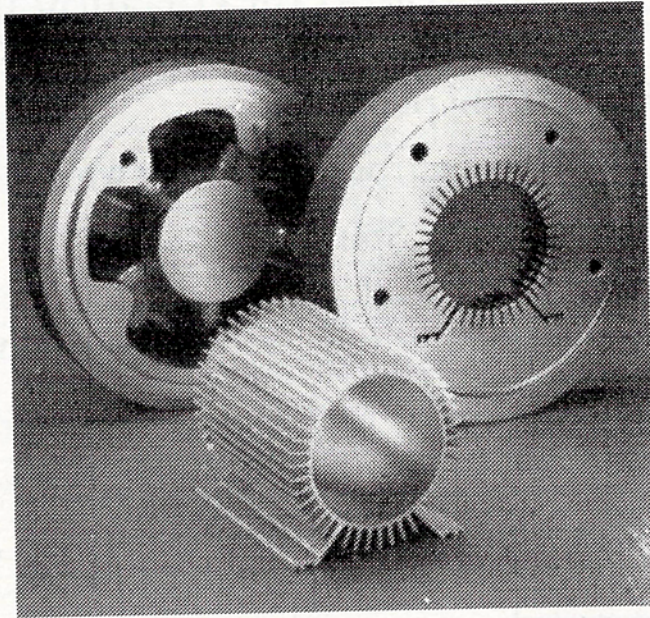


(c)

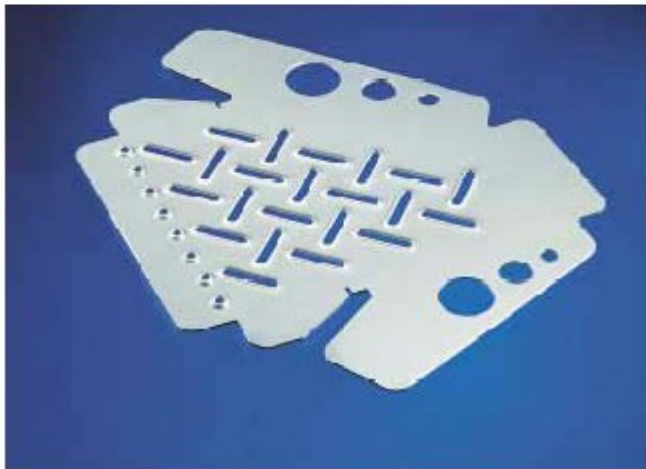
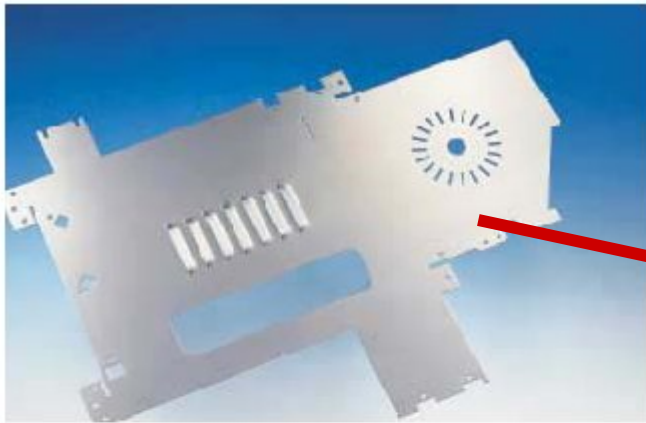


# Kipinätyöstön sovelluksia...

---



# Levytyötekniikan sovelluksia...





## 3.5 Kokoonpano

# Suunnittelu kokoonpanoa varten:

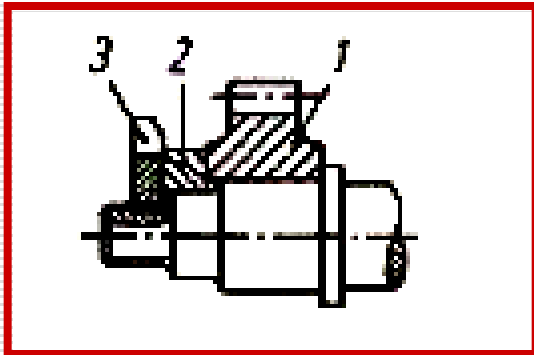
---

- Minimoi osien määrä kokoonpanossa tai rakenteessa
  - Suunnittele modulaarisia rakenteita
  - Yritä löytää rakenneosalle niin monta toimintoa kuin mahdollista
  - Vältä erillisiä kiinnitysosia tai muotoja
  - Tee asennusvaiheet mahdollisiksi yhdestä kokoonpanosuunnasta
  - Minimoi tarvittavien valmistusvaiheiden määrä
-

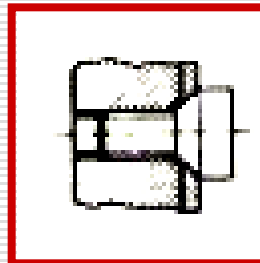
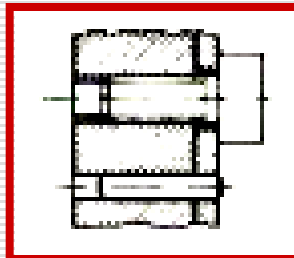
- 
- Varmista, että rakenteessa on riittävästi tilaa työkaluille, asennukselle, kiinnittimille ja robotin tarttujille (ja muille liikeosille)
  - Käytä standardisoituja muotoja, komponentteja, työkaluja ja teriä
  - Tarkasta, mihin valmistusvirheiden summautuminen on sallittu
  - Tarkasta, että pinnanlaatu, mitta-, paikka ja geometriset toleranssit ovat keskenään sopusoinnussa
-

- 
- Käytä osia, jotka voi asentaa oikein useassa eri suunnassa ja vältä osia, jotka tarkertuvat helposti toisiinsa kokoonpanovaiheissa
  - Toista samoja valmistusvaiheita, ajattele, että “valmistusvaihe on moduuli”
  - Käytä parametrissa suunnittelua
  - Suunnittele tuote suoraan automatisoitua tuotantoa silmällä pitäen, usein se on silloin edullinen myös manuaaliseen tuotantoon
-

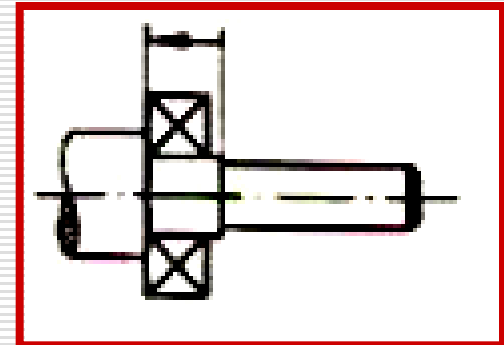
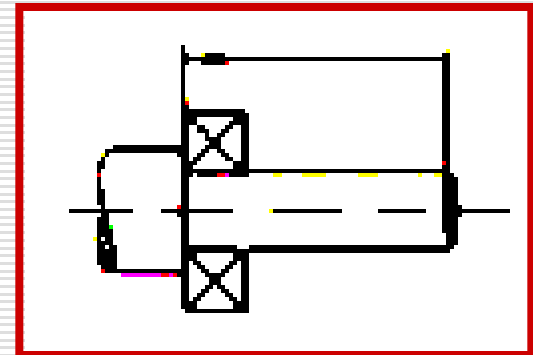
- ❑ Käytä pakotettua asennusjärjestystä
- ❑ Valitse geometria, joka mahdollistaa itse-paikoituksen
- ❑ Vältä turhia pitkiä asennusetäisyyksiä



Järjestys 1, 2, 3



Itse-paikoitus  
kartion avulla



Akseliin tehty kevennys  
laakeriasennusta varten

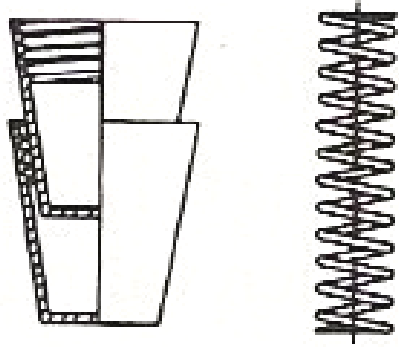
# Asennustyön vaiheet

---

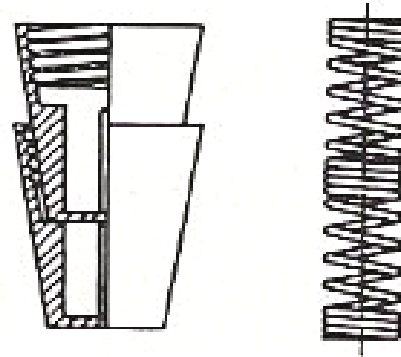
- Työkappaleen käsittely ja varastointi
    - Tunnistus
    - Tarttuminen
    - Siirto
  - Työkappaleen paikoitus
    - Suunta
    - Sijainti
  - Työkappaleen kiinnitysvaiheet
    - Muoto-, kitka- ja ainesulkeiset liitokset
  - Sovitus ja välysten ym. säätö
  - Kokoonpanon tarkastus
-



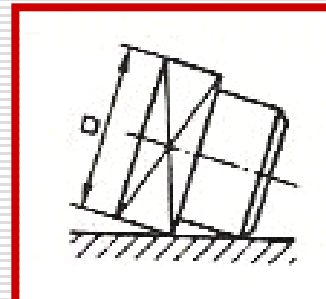
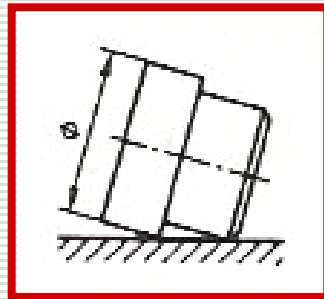
## Vaikeampi



## Helpompi



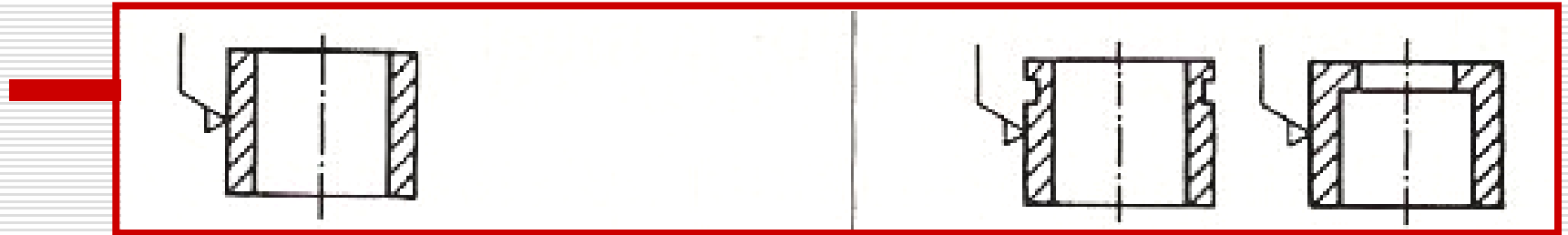
Vältä geometrioita, jotka voivat johtaa työkappaleiden takertumiseen toisiinsa...



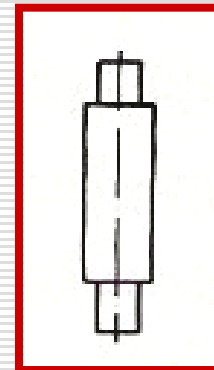
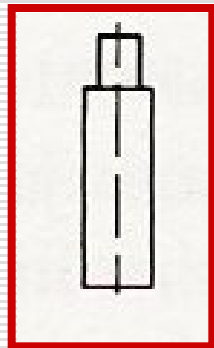
Vältä geometrioita, jotka voivat johtaa työkappaleen vierimiseen hallitsemattomasti työpöydällä...

# Vaikeampi

# Helpompi



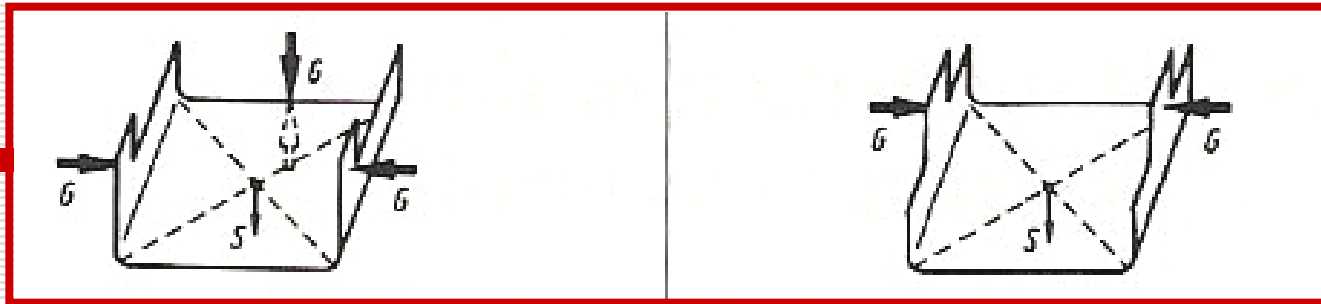
Suunnittele selkeitä toiminnallisia muotoja tartunnan helpottamiseksi



Käytä geometrioita, jotka sallivat asennuksen ainakin kahdessa suunnassa

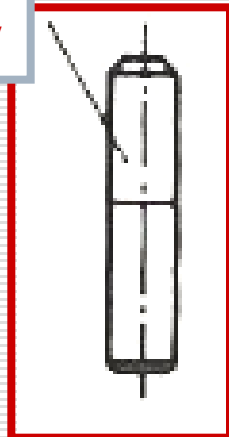
# Vaikeampi

# Helpompi

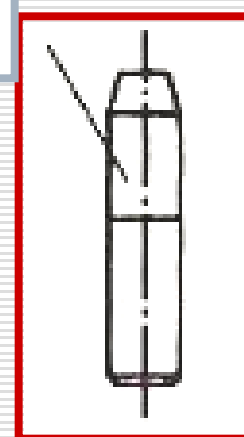


Suunnittele tartuntakohta painopisteeseen nähden vakaaseen kohtaan

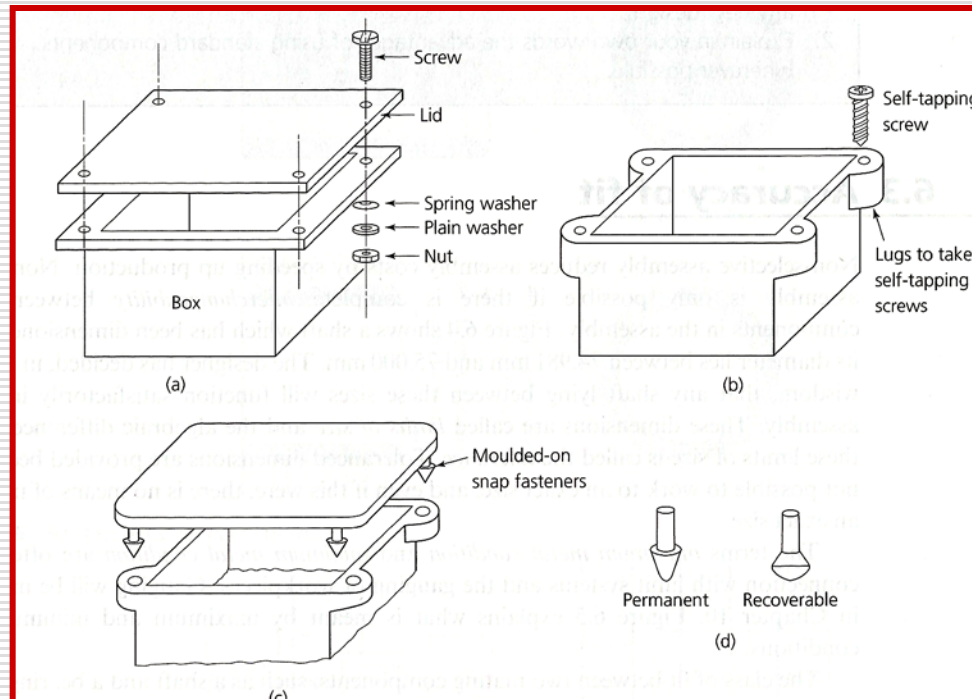
**Pinta-  
käsitelty**



**Pinta-  
käsitelty**

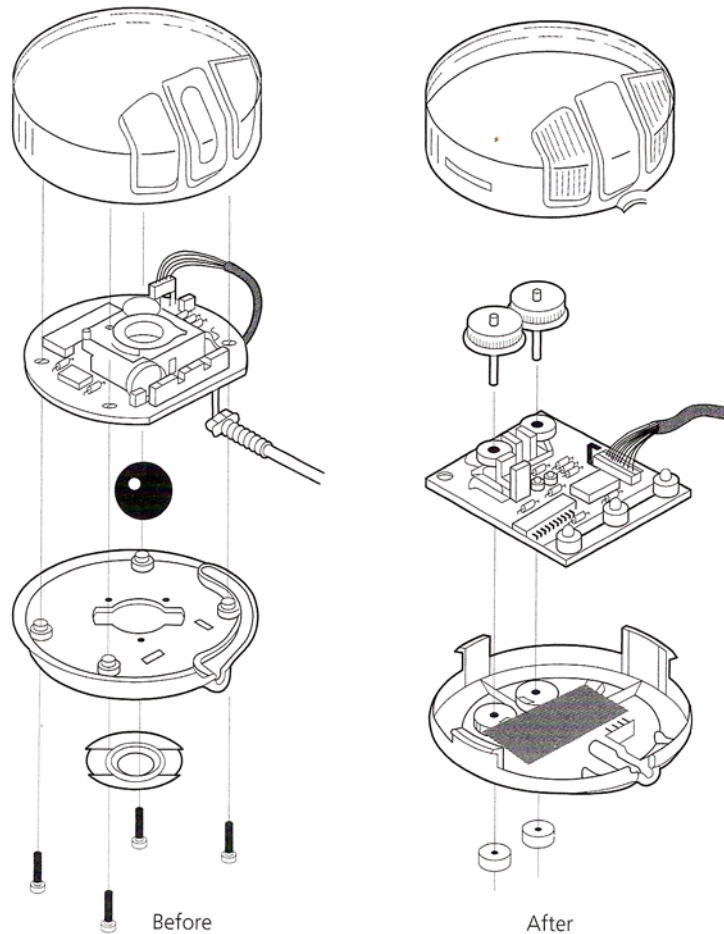


Käytä geometrioita, jotka mahdollistavat nopean ja luotettavan kappaleen oikean asennon tunnistamisen...



## Ruuviliitoksen muuttaminen pikaliitokseksi

# Ruuviliitosten muuttaminen pikaliitoksiksi



# 4. Suunnittelutyökalut

---

## 4.1 3D-tilavuusmallinnus ja STL-tiedostot

# STL-tiedostojen luominen

---

RP (Rapid Prototyping) eli pikavalmistus on yhteisnimitys menetelmille, joilla voidaan valmistaa haluttu malli, prototyyppi tai muotti nopeasti, lähes suoraan kappaleen 3D CAD-mallista. Malli rakennetaan erityisissä mallinrakennuskoneissa, ilman lastuavaa työstöä tai käsityötä. RP-menetelmillä voidaan rakentaa monimutkaisia malleja nopeasti.

Lähtötiedoksi pikavalmistuslaitteistot tarvitsevat kappaleen 3D CAD-mallin muuntamisen eri formaattiin ns. STL-tiedostoksi. STL-tiedosto on esitysmuoto, jossa 3D CAD-mallin pinta on jaettu kolmioihin. Tämän STL-tiedoston mallinrakennuskoneet viipaloivat x-y tasoihin, määrätyn kerrospaksuuden mukaisiin viipaleisiin. Kerrospaksuudet ovat tavallisesti 0,06 - 0,25 mm

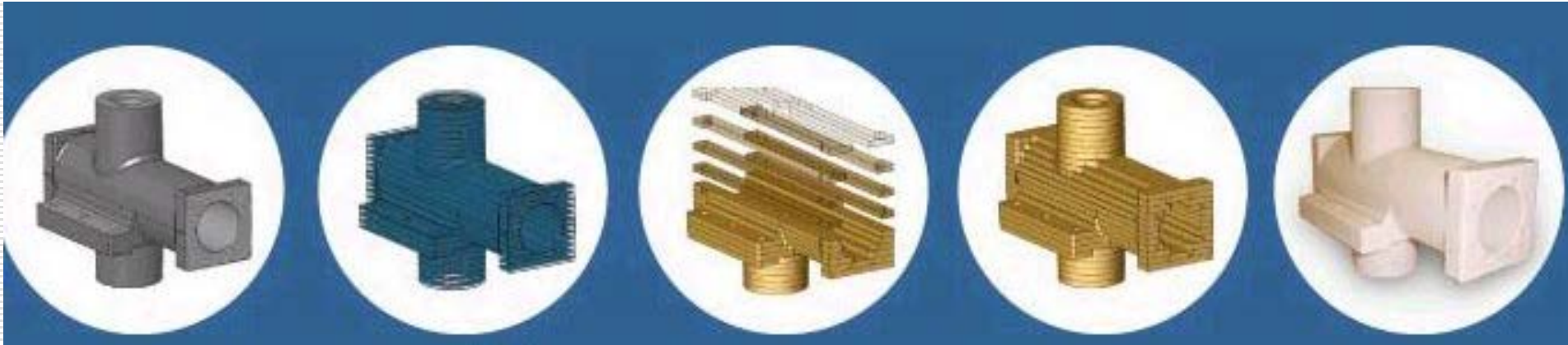
---

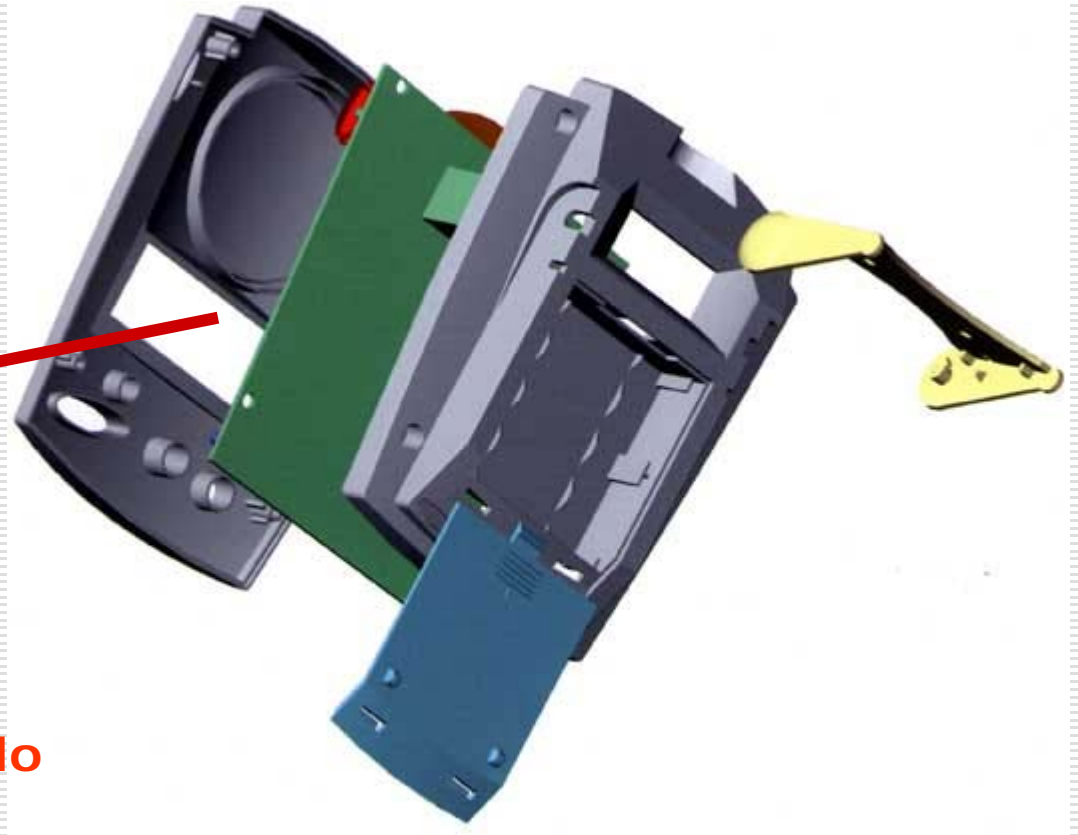
Kappaleen rakentaminen aloitetaan alimmaisesta "viipaleesta", joka rakennetaan tietokoneen ohjaamana. Tämän jälkeen valmistetaan seuraava kerros ja niin edelleen. Pikavalmistulaitteistot rakentavat mallin siis kerros kerrokselta, seuraava kerros liimautuu edellisten muodostamaan pinoon ja näin lopulta muodostuu kolmiulotteinen malli.

RP-menetelmien etuna on nopeus ja yksinkertainen toimintaperiaate, haittana pinnan porrasmaisuus, joka on seurausta kappaleen rakentamisesta kerroksittain.

---





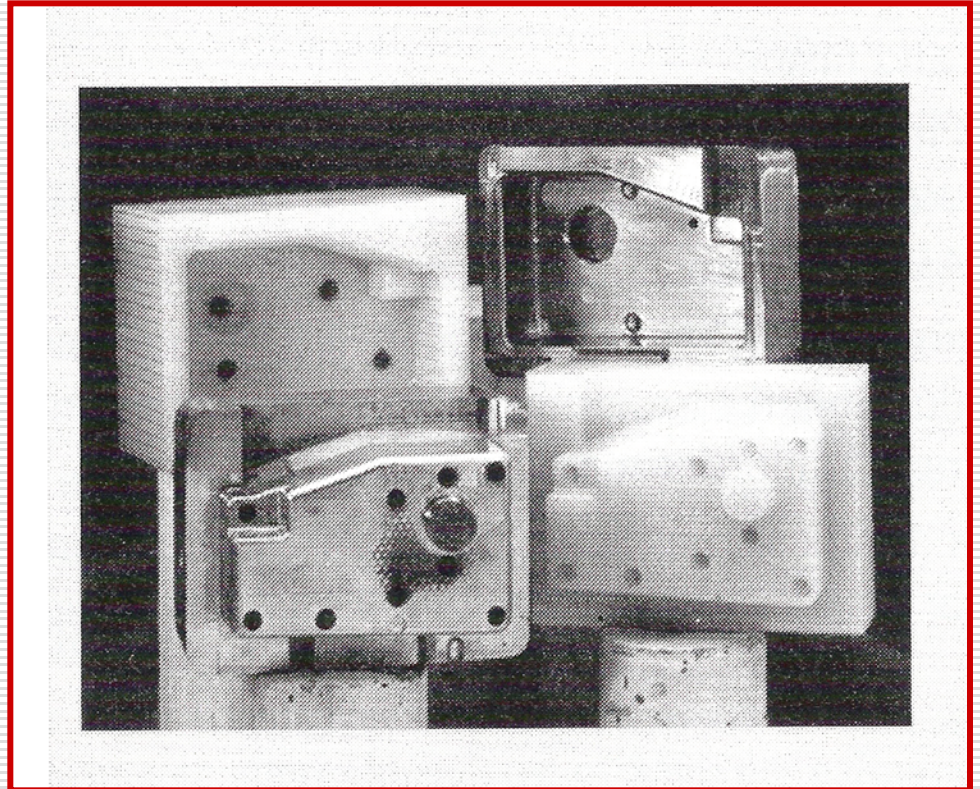


**Pikamallinnettu kotelo**

---

# Pikamallinnuksen sovellus valettujen koteloiden suunnittelussa...

---



**Pikamallinnetut kotelon ja kannen muotit sekä vastaavat valetut kotelon osat**

---

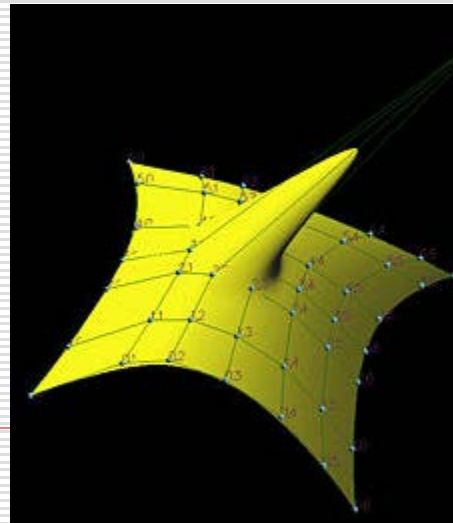
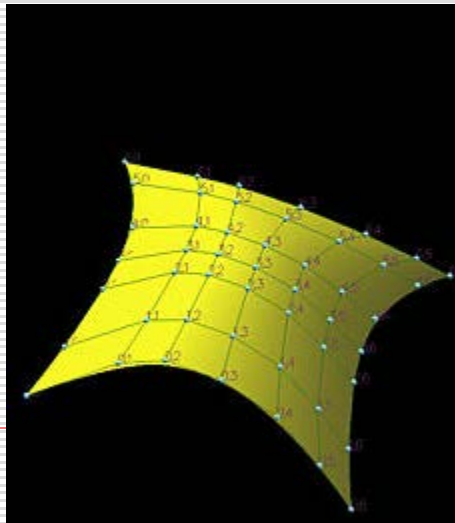


## 4.2 3D-pintojen mallinnus

# NURBS-käyrät mallinnuksessa (Non-Uniform Rational B-Spline)

---

- NURBS-kaaria käytetään useista laskennallisista syistä. Tärkeimpiä näistä ovat helppo tietokonetoteutus,, alhaiset muistivaatimukset ja kyky kuvata minkälaisia käyriä ja pintoja tahansa → ergonomisesti muotoiltujen koteloitten kuvaaminen 3D-mallin luomiseksi
- Pinnat voivat sisältää muuttuväsäteisiä pyöristöksiä, sekä tarvittaessa jopa neljään eri pintaan rajoittuvan uuden pinnan ekstrapolointi on mahdollista



---

## **4.3 Levytuotteiden suunnittelu- ohjelmistojen ominaisuudet**

# Esimerkki levytuotteen suunnitteluohjelmasta

---

Levytuotteiden suunnitteluohjelmiston tehokkuutta parantavia ominaisuuksia (SolidWorks):

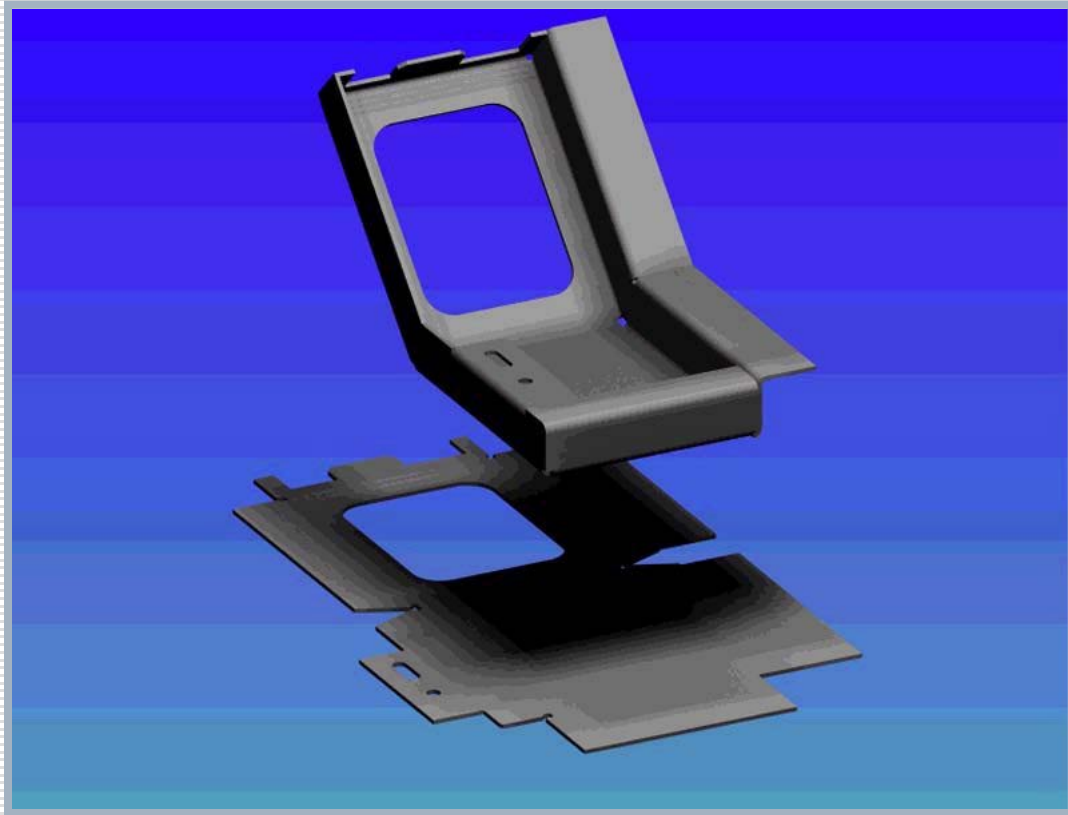
- levytuote luodaan helposti 2D muodosta tai profiilista
  - materiaaliominaisuudet ja levypaksuudet hallitaan materiaalitietokannalla, joka varmistaa osan valmistettavuuden
  - levityskuvat automaattisesti
  - nurkkien automaattinen aukaisu levityskuvissa
  - tilavuusmallin muutokset päivittyvät automaattisesti levityskuvaan
  - levyreunojen törmäysten huomioiminen ja välttäminen
-

## Levytuotteiden suunnitteluohjelmiston tehokkuutta parantavia ominaisuuksia (jatkoa):

---

- levityskuvan automaattinen mitoittaminen
  - luo muokattavissa olevan taivutuslinjataulukon
  - taivutus päästöjen laskeminen
  - suora yhteensopivuus NC-työstökoneelle
  - piirrepohjainen suunnittelu (reunataitokset, kulmarakenteet jne.)
  - muokattava lävistys- ja kohokuviotyökalujen tietokanta
  - nurkkapyöritykset automaattisesti
  - levityskuvien uudelleen taivutus
  - parametrejä muuttamalla helppo luoda uusia versioita ohutlevykokoonpanoista
  - laatikkorakenteet mallinnettavissa yksinkertaisesti yhtä profiilia käyttäen
-



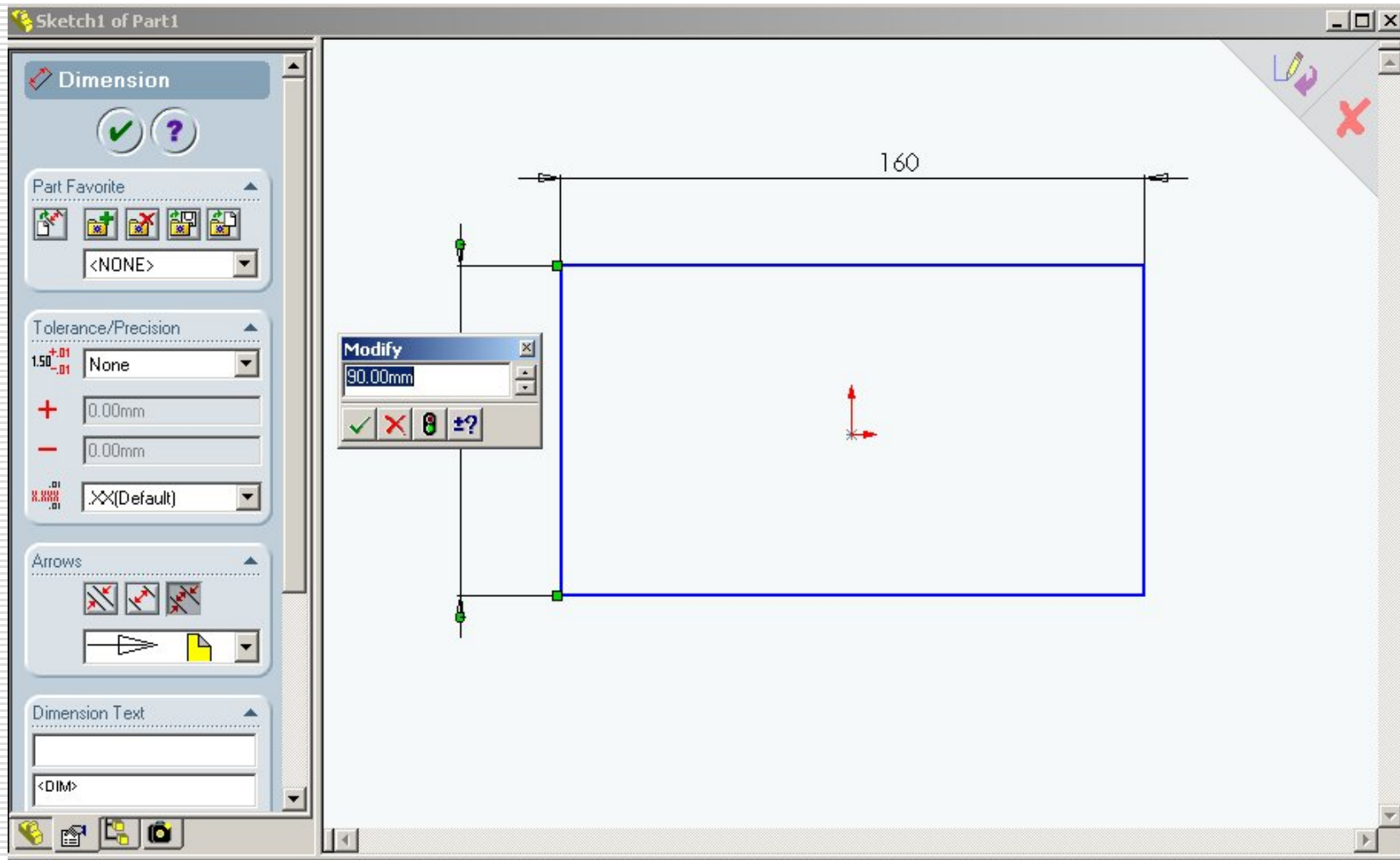


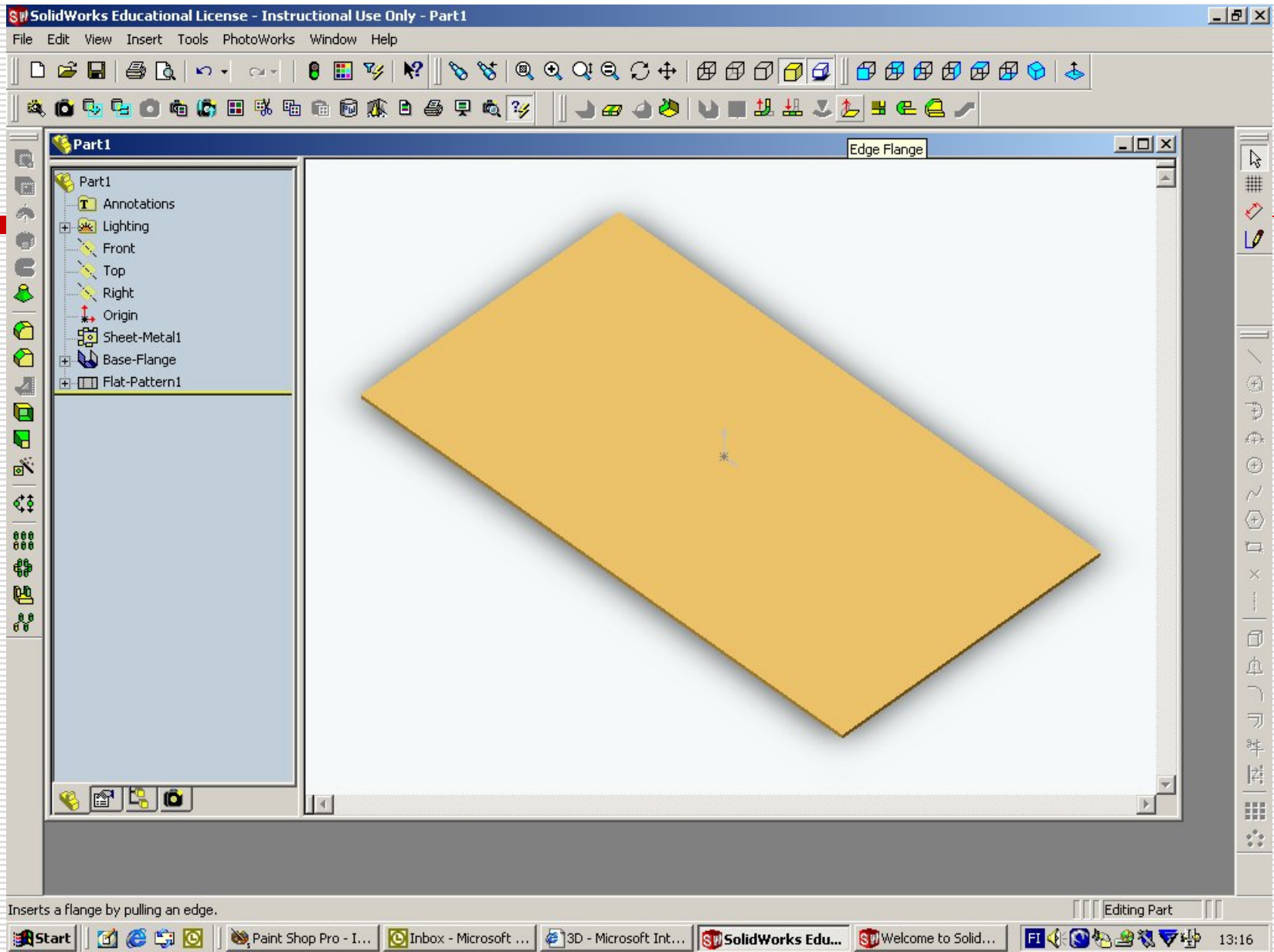
## Tarkastellaan esimerkkinä levytuotteen 3D-mallinnusta SolidWorks-ohjelmalla:

---

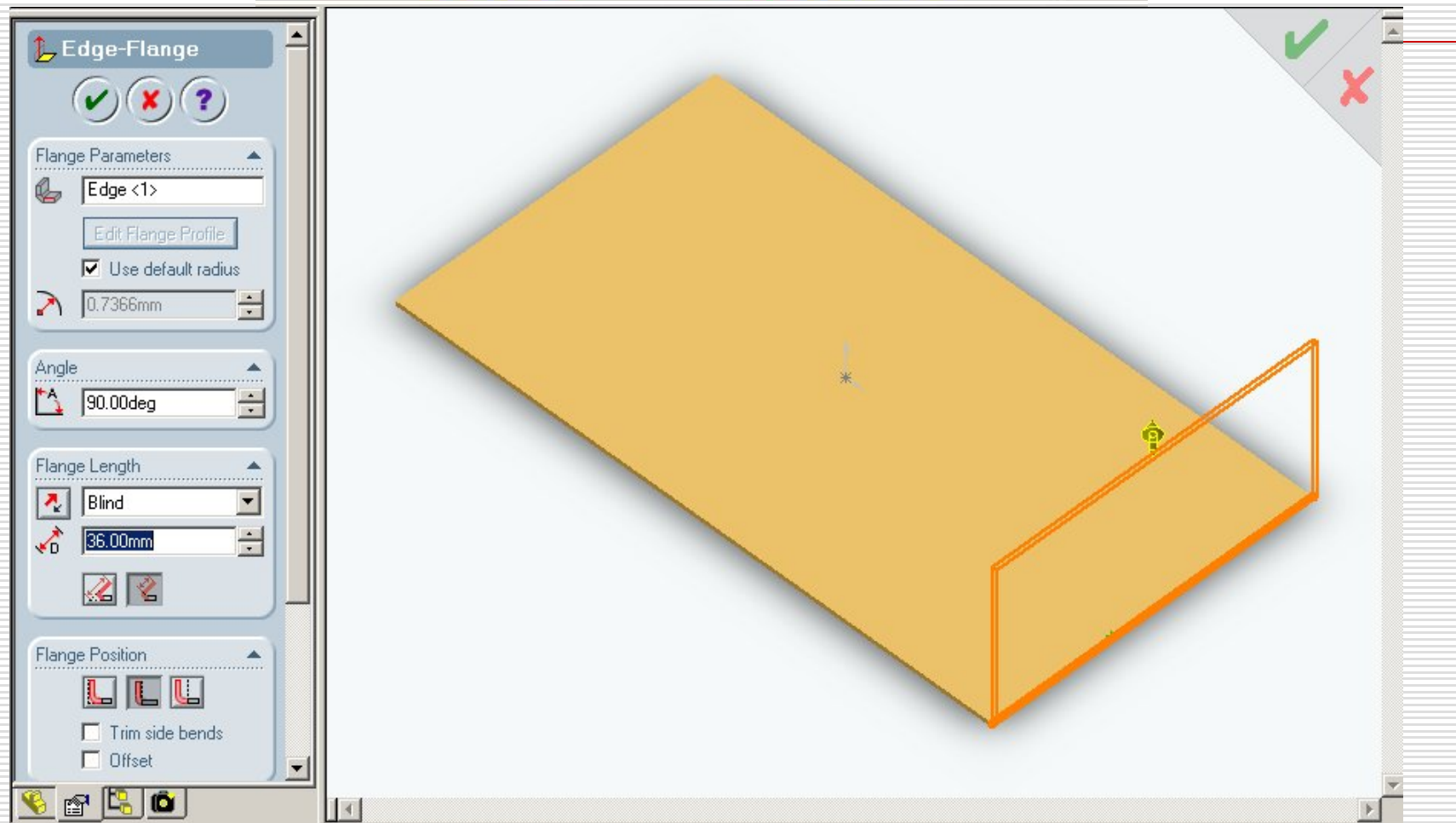
- A) Tuote mallinnetaan suoraan valmistusvaiheet (esim. tässä levyn taivutus huomioon ottaen)
  - B) Levyn taivutusparametrit sisältyvät ohjelmaan
  - C) Levyn aukotukset mallinnetaan esim. em. Extrude-käskyllä haluttuihin levypintoihin
  - D) Valikkopohjaisten primitiivialkioiden käytön tai pintaelementtien rakentamisen sijaan geometria kootaan hiirellä suoraan perusgeometriaa kuvaruudulla ”muovaamalla”
  - E) Ohjelmallisesti voidaan tuottaa myös levyityskuva levyosasta, joka tarvitaan taivutetun tuotteen valmistamiseksi
-

# Esimerkki 9: 3D-mallin muodostaminen CAD/CAM-sovelluksessa (Levytuotteen mallinnus)

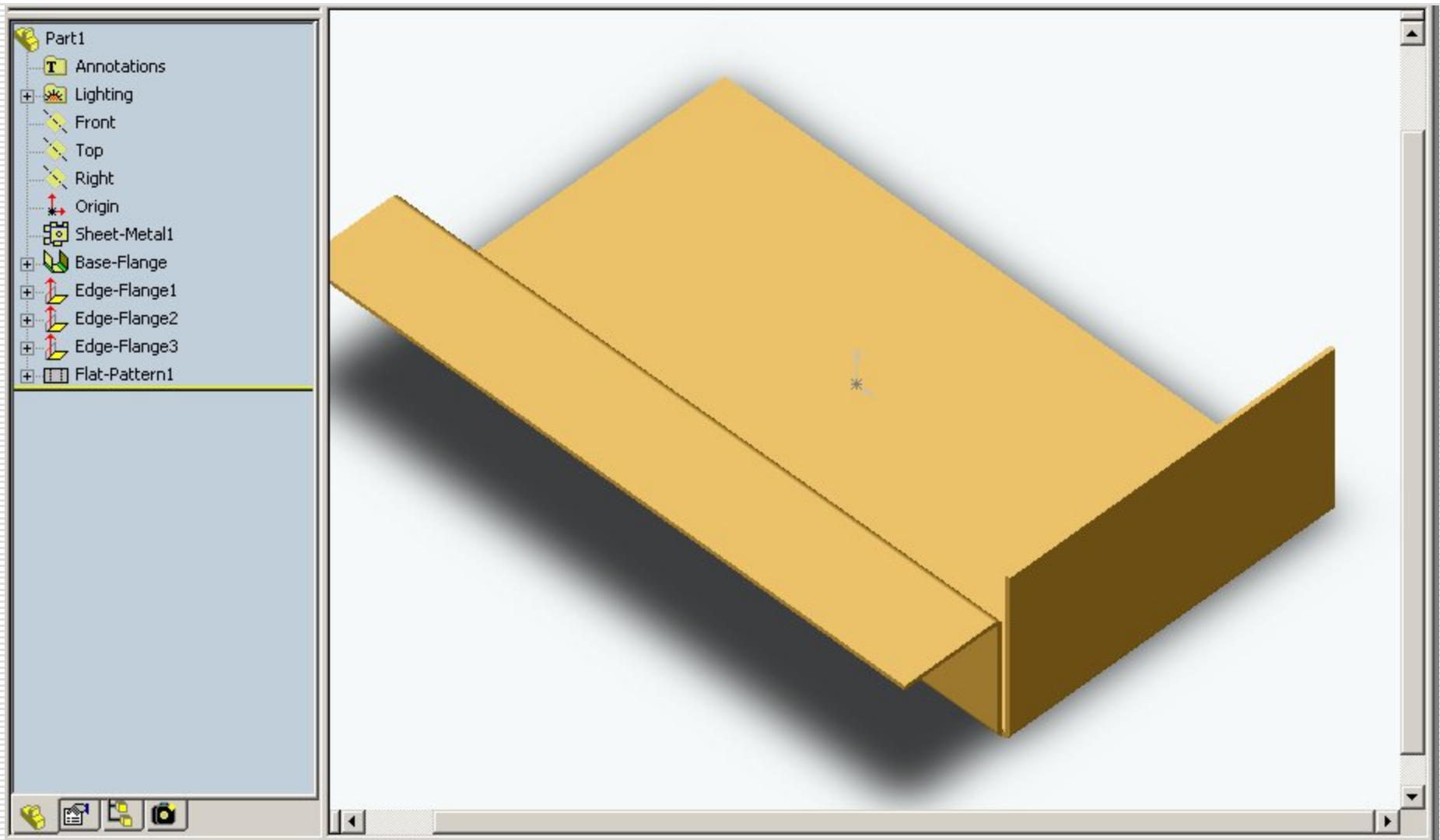




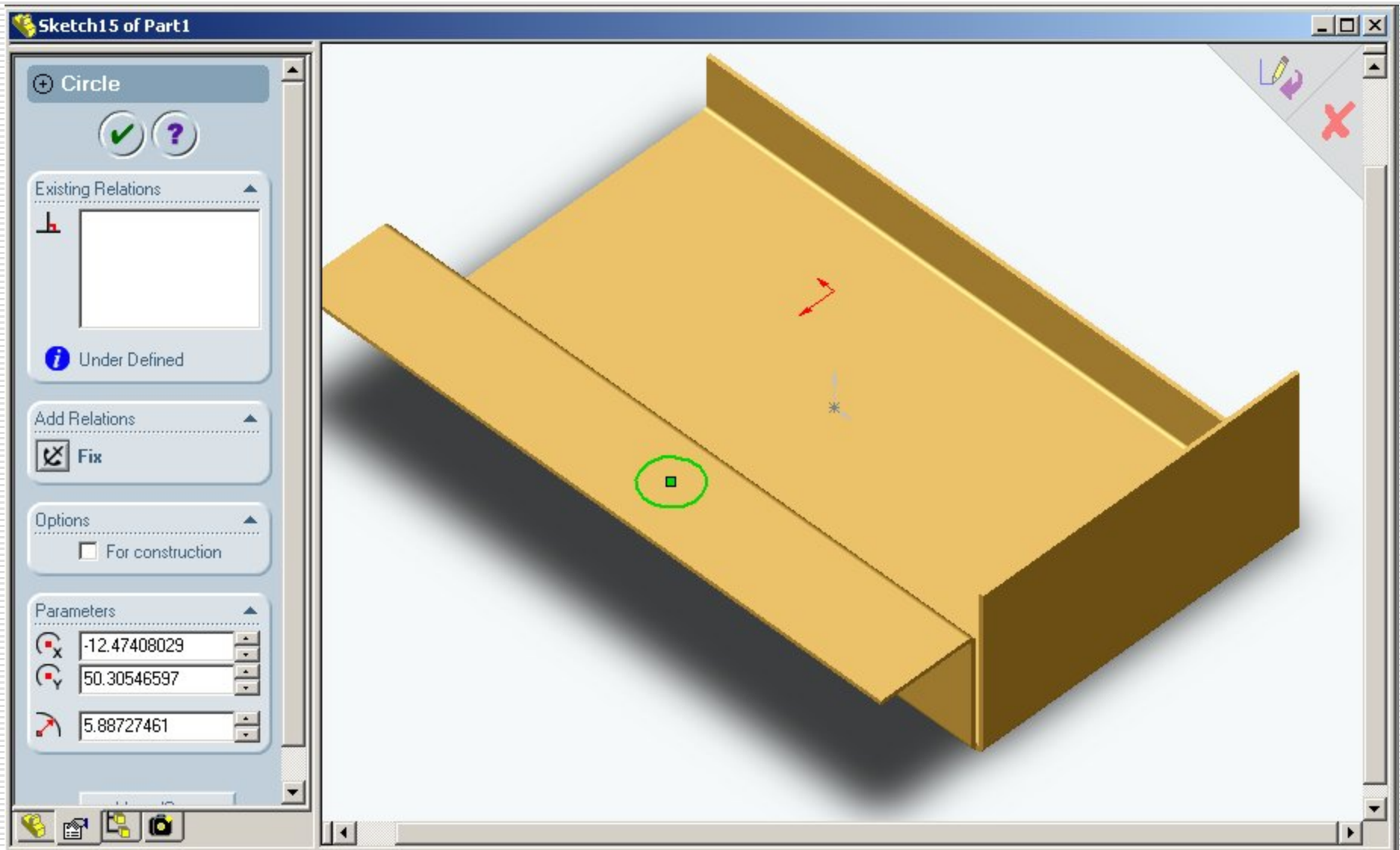
Levyn paksuus



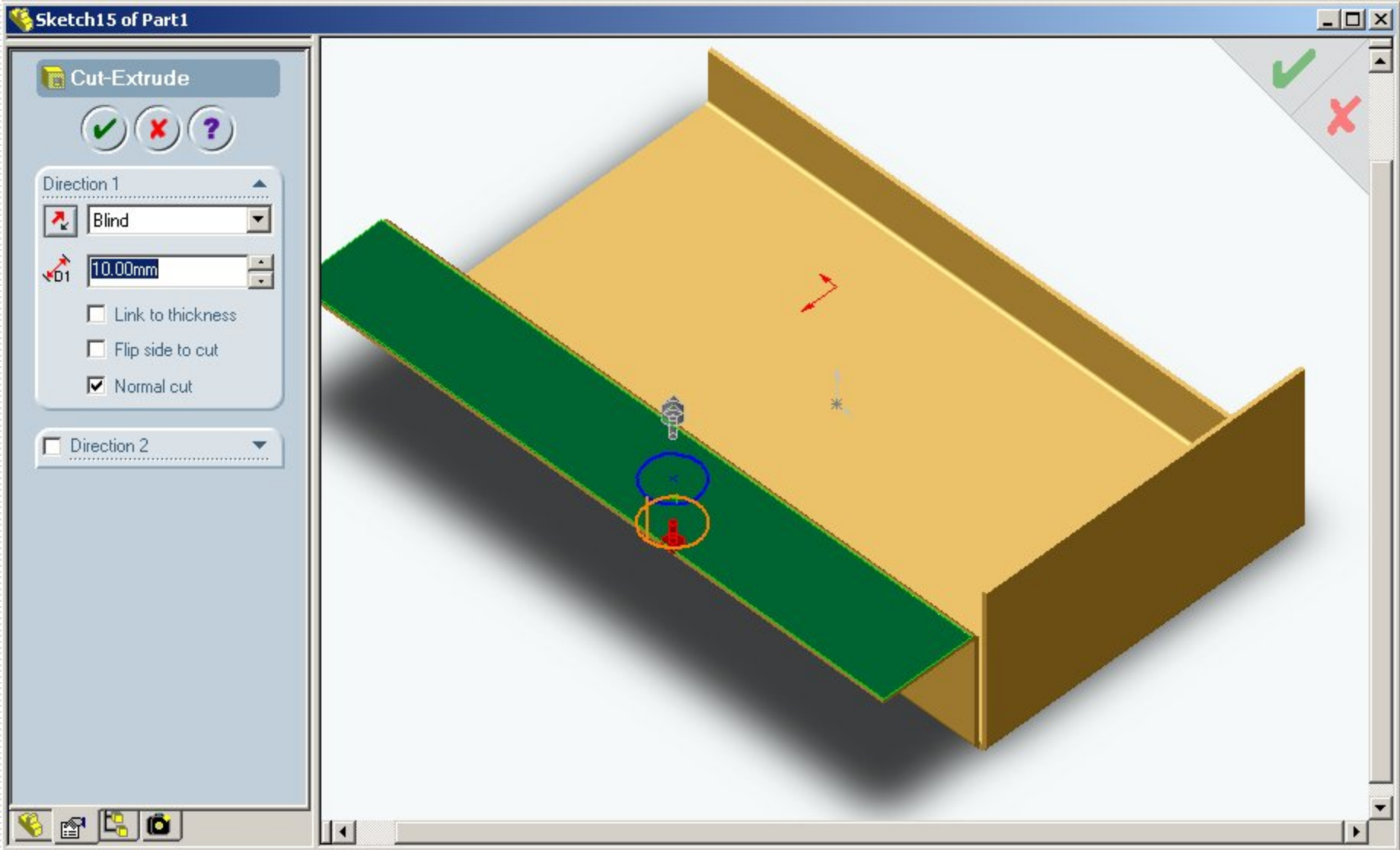
**Taivutukset suoraan hiirellä ”muovaamalla”**



**”Malli” koostuu useiden taivutusvaiheiden ketjusta**

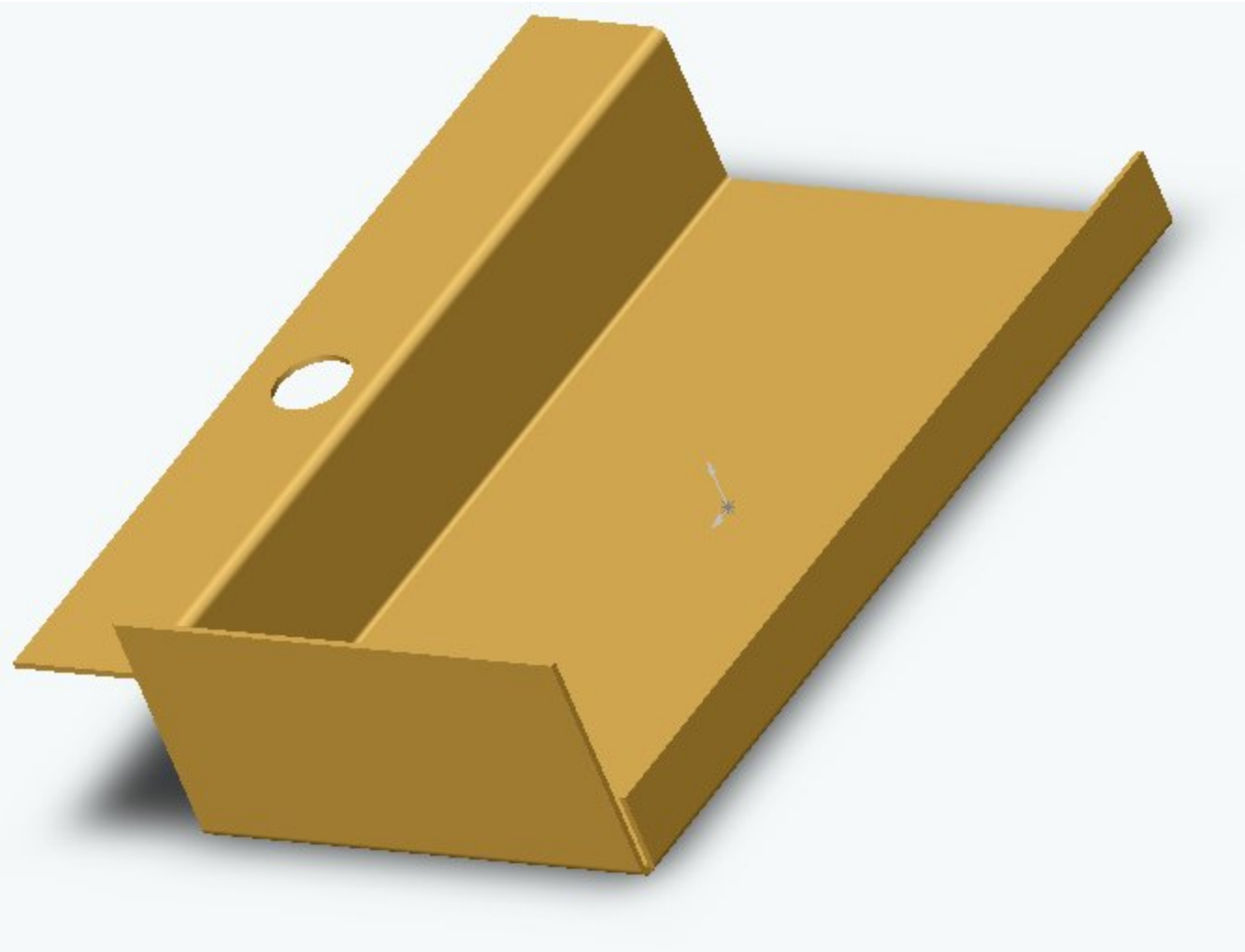


**Aukotusten tekeminen perusgeometrioita käyttäen**

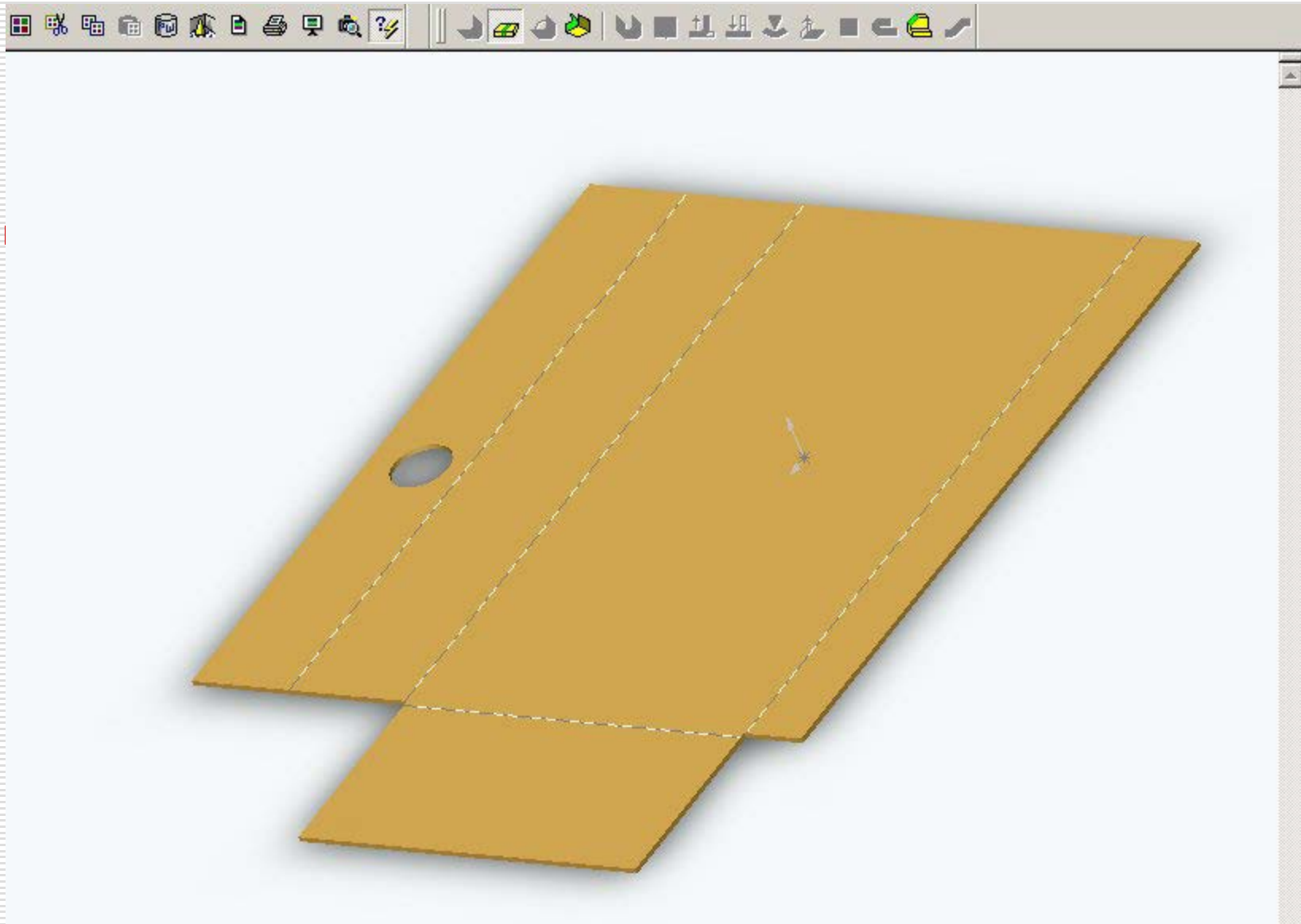


**Perusgeometrian venyttämien extrude-toiminnolla**





**Tuotteen 3D-malli**

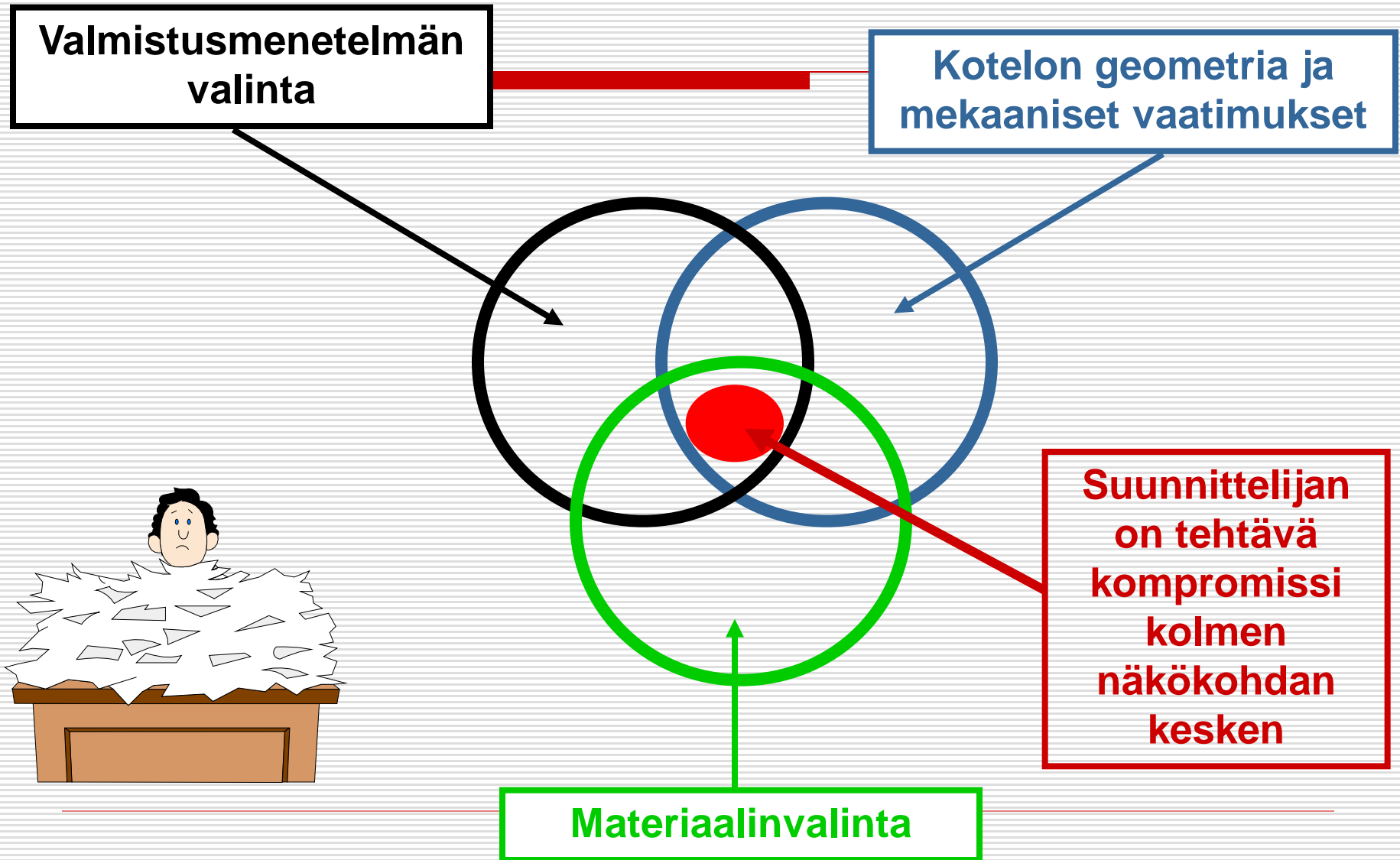


Levityskuva yhdellä toiminnolla



# YHTEENVETO LUENNOSTA

# KOTELOIDEN SUUNNITTELUSSA ON KOLME INTEGROITAVAA OSA-ALUETTA, JOITA TULEE KÄSITELLÄ RINNAKKAIN



# TÄLLÄ LUENNOLLA KÄSITELLYT AIHEIDEN TARKENNUKSET

Syväveto,  
venytysmuovaus  
ruiskuvalu,  
painevalu,  
levystä  
taivuttaminen,  
kokoonpano

Lujuus,  
jäykkyys,  
korroosio,  
värähtelyjen  
vaimennus,  
tiivistys,  
kansimekanismit

Suunnittelijan  
on tehtävä  
kompromissi  
kolmen  
näkökohdan  
kesken

Al,Ti,Mg, Ruostumattomat  
teräkset, Blendit

