

# Custom made piezo stage

High Tech Campus

27 januari 2010

# Inhoud

- Inleiding met introductie:
  - Heinmade, Hein Schellens
  - HiPrecision, Tom Bijnagte
  - CVT, Albert van Heugten
- Case Custom made piezo stage
  - Specificatie en Piezo actuatoren, Hein Schellens
  - Kritische factoren in het ontwerp, Tom Bijnagte
  - Ontwerp en aanmaak proto, Albert van Heugten
  - Assemblage, testen en kwalificatie, Hein Schellens
- Demo XYrZ stage

# HEINMADE

Hein Schellens

HEINMADE B.V.

High Tech Campus 9  
5656 AE Eindhoven

[www.heinmade.com](http://www.heinmade.com)  
[info@heinmade.com](mailto:info@heinmade.com)



**HEINMADE**  
supplier piezo ceramic solutions

**HiPrecision**  
Advies voor mechanica

**CVT**  
Controlled Vonk Technologie

“Custom Made Piezo Stage”

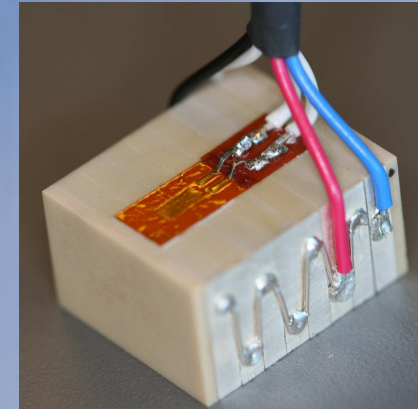
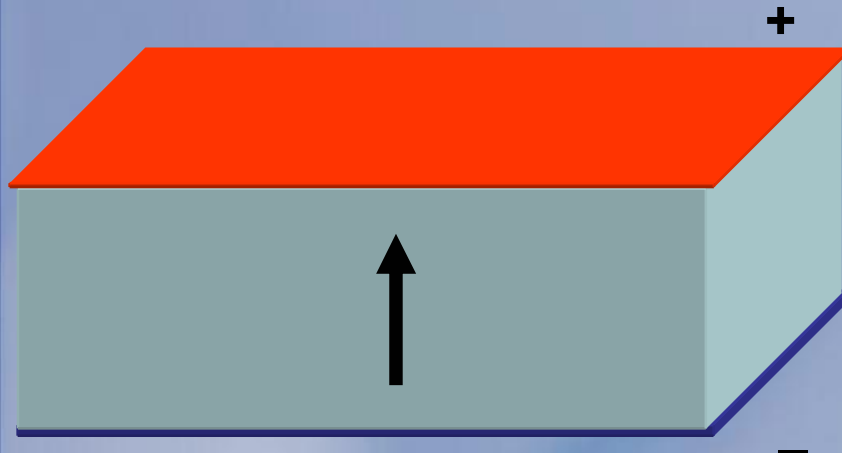
HTCE - 27 januari 2010

# Introductie HEINMADE

## Wat is piezo?

Piezo is een keramiek met piezo-electrische eigenschappen.

- Onder druk/vervorming -> elektrisch veld
- Elektrisch veld -> rek



Rek ~ 0.5 nm/V (=0.5 pm/mV)

Maximale spanning 3 kV/mm

Maximale rek 0.15 %

Fbl = 40 N/mm<sup>2</sup>

# Introductie HEINMADE

## Suppliers

(piezo know-how)

- Nanomotion
- Noliac
- Piezomechanik

Components

Consultancy

Concept design

Proto-typing

Pre-run / TPD

Systems

## Customers

- Semicon
- Optics
- Medical
- Consumer
- Space

BRAINPORT  
Technology Know-How

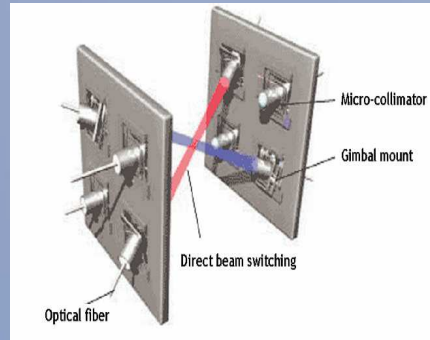
# Introductie HEINMADE

## Voorbeelden

Actuator / Bender



Trillingsdemper (actuator / sensor)



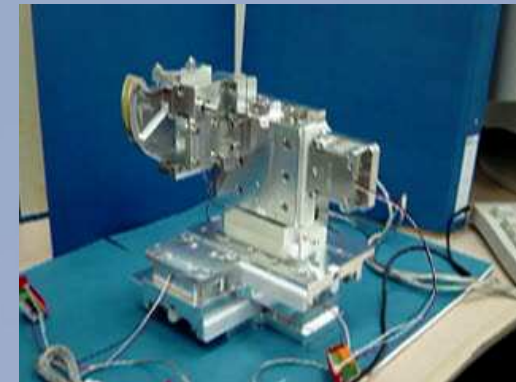
Hoog dynamisch



Hoge precisie



Piezo motor / Stages



## Wat doet HiPrecision?

- Ontwikkeling high tech machines en apparaten
- Precisietechnologie: nauwkeurigheid, stabiliteit

## ... voor wie?

- High tech industrie in Nederland (ASML, FEI, IPS Packaging, ...)

## ... en hoe?

- Kennisontwikkeling rondom specifieke knelpunten
- Snel inzicht opbouwen, aanbevelingen leveren.

## Cases HiPrecision

- Trillingsreductie electronenmicroscop
- Motion sensoren in vacuum
- Precisiemechanica voor hoge versnellingen
- Piezo sensor+actuator als trillingsdemper
- Ophanging electronenoptiek



CVT is met 35 jaar ervaring een waar draadvonk-specialist.

Draadvonken is een verspaningstechniek waarmee proto`s en serieproductie met hoge nauwkeurigheden gerealiseerd kunnen worden.

De producten die CVT in opdracht van klanten fabriceert vinden o.a. hun weg in machines uit de High-Tech industrie (Assèmbleon, ASML, ...)

We onderscheiden ons doordat we onze klanten helpen met het maken van ontwerpkeuzes, zodat daardoor kosten-efficiënt geproduceerd kan worden.

# Introductie van de case:

## Custom Made Piezo Stage

# Introductie van de case:

Voorbeeld genomen voor dit symposium.

Vervolgens ontworpen, gedetailleerd en gemaakt.

## Beschrijving van de stage:

- Lijmen van een aluminium plaatje op een glasplaat.
- Lijm is gevuld met glas parels voor constante dikte.
- Aluminium plaatje moet gefixeerd zijn tijdens uitharden lijm.
- Positieterugkoppeling door de klant (resolutie +/- 1  $\mu\text{m}$ ).
- Lijmstandtijd 1 uur. Doelstelling 10 stuks verlijmen.
- Handzaam model met beperkte afmetingen (< 150x150 mm<sup>2</sup>)
- Slag enkele 0.1 mm met hoekcorrectie.
- Uitgang controller klant +/- 5V.
- Vereise nauwkeurigheid +/- 5  $\mu\text{m}$ .

# Introductie van de case:

Competenties	Vereist	Beschikbaar
• Project begeleiding	HM	
• Piezo	HM	HiP
• Constructieprincipes	HiP	HM
• Geleiding/scharnieren	HiP	
• Fijnmechanisch		Toel.
• Maakbaarheid	CVT	HM
• Draadvonken	CVT	
• Aansturing piezo	HM	
• Assemblage	HM	
• Materiaalkennis		CVT
• Lijmverbinding		Klant / Toel.
• Camera positionering		Klant

# Introductie van de case:

## Overwegingen ten aanzien van het toepassen van piezo:

- Keramiek bij voorkeur geen trekkrachten.
- Voorspannen piezo  $> 5 \text{ N/mm}^2$ .
- Voorspannen met slappe veer -> verlies tijdens slag.
- Slag beperkt; minimaliseren verliezen, harde inkoppeling.
- Slag beperkt; stapelen piezo tiles, slagvergroter toepassen.
- Te leveren kracht afhankelijk van het oppervlak.
- Inzetbaar van 0 K tot  $\sim 500 \text{ K}$ .
- Voltage te kiezen; 60, 150, 200, 500, 1000 Volt ('standaard').
- Uitzettingscoefficient.
- Warmte huishouding, koeling.
- Omgevingsinvloeden; vocht en temperatuur.

# Kritische factoren in het ontwerp van een piezo stage

Tom Bijnagte, HiPrecision

# Inhoud

- Specificatie
- Ontwerprichtlijnen
- Ontwerp piezo stage
- Dimensionering
- Eind-check
- Maakbaarheid

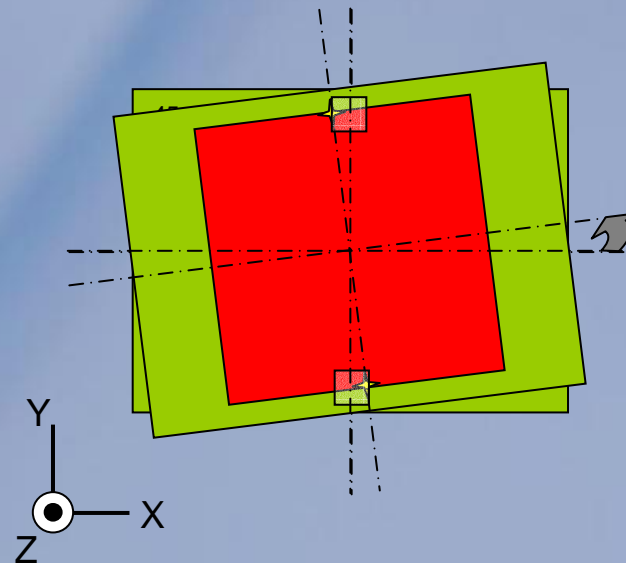
# Specificatie

## Context:

- Alu plaatje 40x40x0.5 lijmen op glasplaatje 40x40x3
- Clamp 45x55 [mm<sup>2</sup>]

## Functioneel:

- Instelbereik XY:  $\pm 150$  [um]  
Voor elk punt in het veld



# Specificatie

## Functioneel:

- Resolutie XYRz:  $\pm 1$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Kracht XYRz:  $\pm 0.1$  [N]

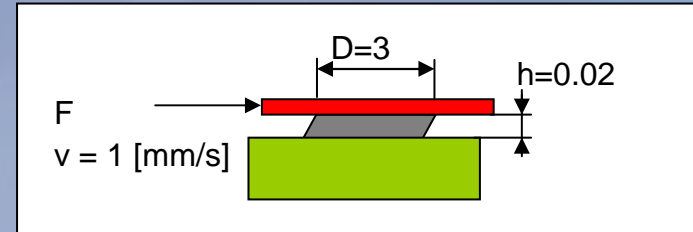
Afgeleid: aandrijfstijfheid XYRz:  
 $0.1[\text{N}]/1[\mu\text{m}] = 1 \cdot 10^5$  [N/m]

## Layout:

- Ruimte  $125 \times 125 \times 10$  [ $\text{mm}^3$ ]

## Realisation:

- Lifetime: 50.000 cycles (5 slagen per gelijmd product)



## Berekening schuifkracht in lijm

Schuifspanning evenredig met snelheidsgradient:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dh}$$

### Gegeven:

$$\eta := 50 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Araldite 2011

$$v := 1 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

snelheid

$$h := 20 \cdot \mu\text{m}$$

lijmlaagdikte

$$A_{\text{lijm}} := 4 \cdot \pi \cdot 1.5^2 \cdot \text{mm}^2$$

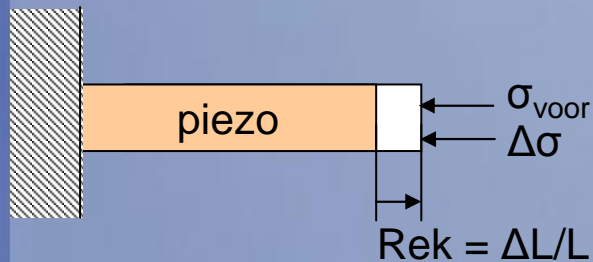
4 dotjes met diam. 3 mm

### Schuifkracht:

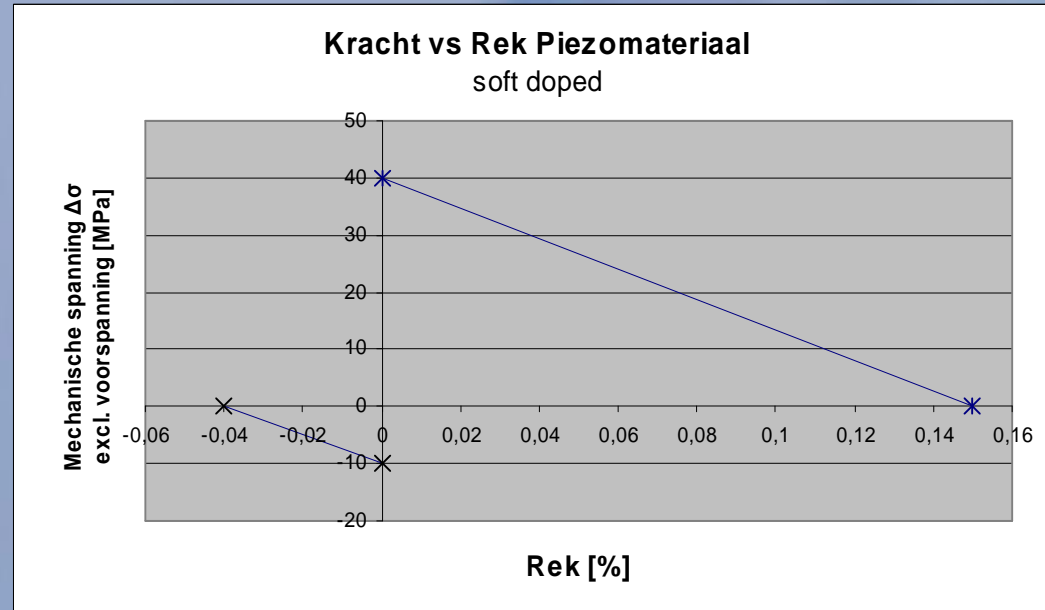
$$F_{\text{lijm}} := \tau \cdot \frac{v}{h} \cdot A_{\text{lijm}}$$

$$F_{\text{lijm}} = 0.071 \cdot \text{N}$$

# Ontwerprichtlijnen piezo



$$\sigma_{\text{voor}} = 5 - 40 \text{ [MPa]}$$



## Uitzetting:

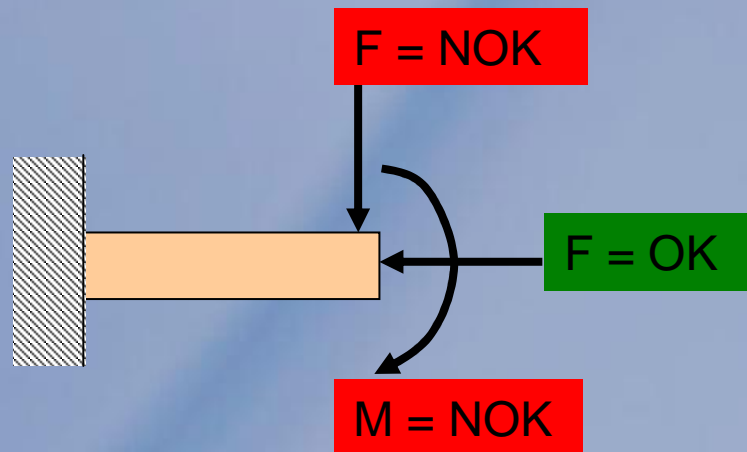
- Vrije slag maximaal +0.15% (bij  $F=0$  [N]) *onafhankelijk van voorspanning*
- Blockingspanning op ~40 [MPa] (dan  $\Delta L=0$  [um]) *excl. voorspanning*

## Krimp:

- Vrije slag maximaal -0.04% (bij  $F=0$  [N]) *onafhankelijk van voorspanning*
- Blockingspanning op ~ -10 [MPa] (dan  $\Delta L=0$  [um]) *excl. voorspanning*

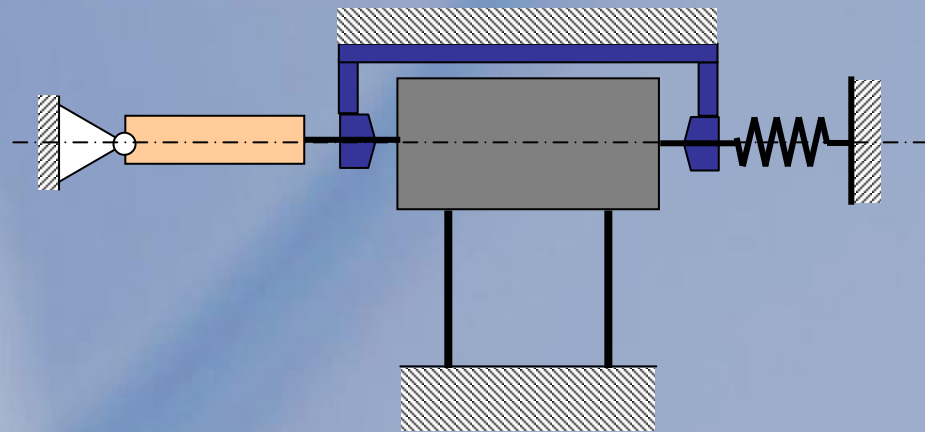
# Ontwerprichtlijnen piezo

- Aandrijfstijfheid:  $E_{\text{piezo}} = 43$  [GPa] (d33 mode)
- Montage: geen dwarskracht of moment



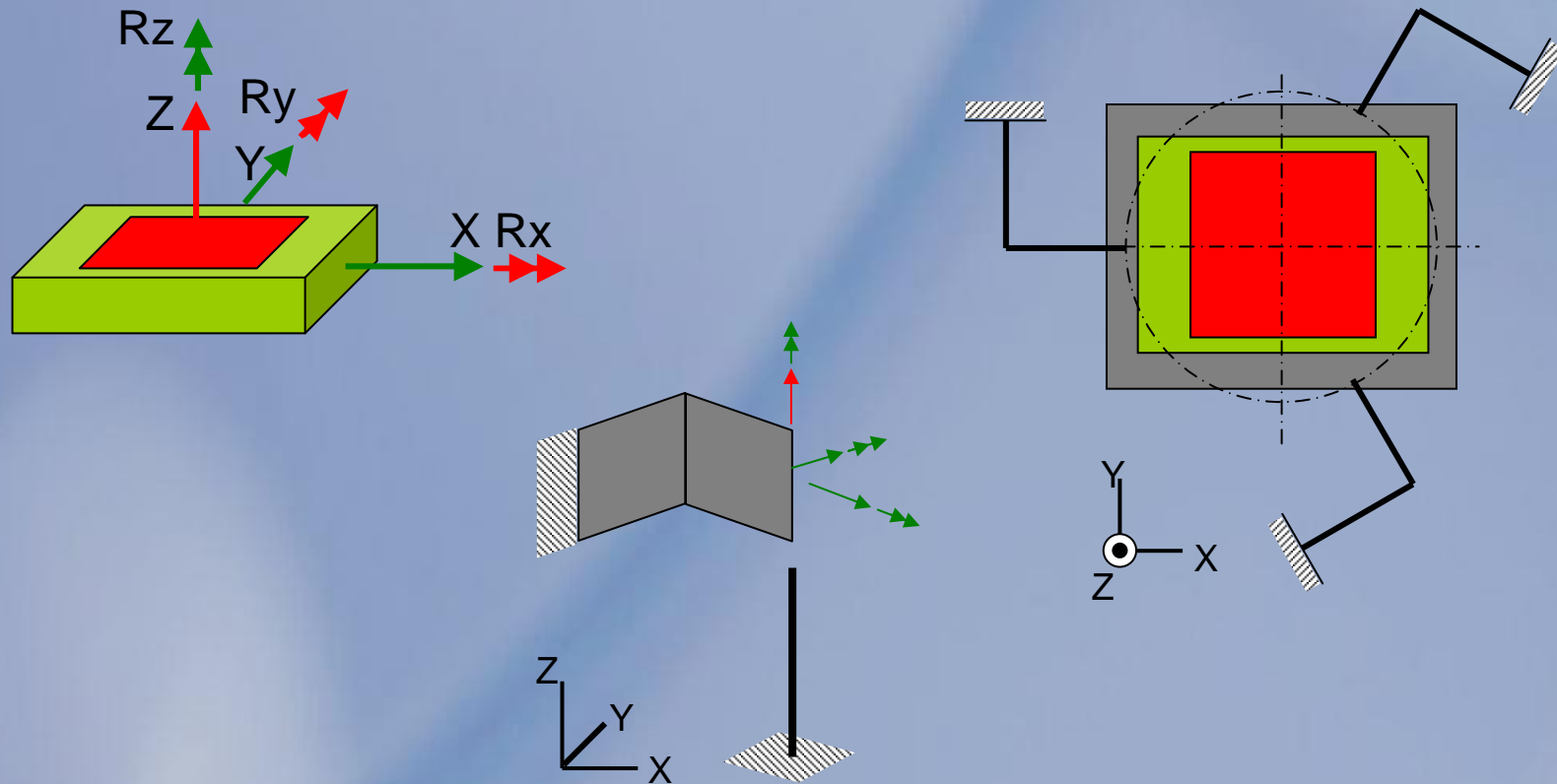
# Ontwerprichtlijnen mechanica

- Statisch bepaald construeren
- Geleiding met elastische elementen
- Geleiding (ZRxRy) en aandrijving (XYRz) scheiden
- Overspraak XYRz minimaal → aandrijfkrachten in 1 lijn, symmetrie
- Aanslagen om spanning in elastische elementen te begrenzen
- Afzonderlijke bewegingen XYRz vanaf frame aandrijven



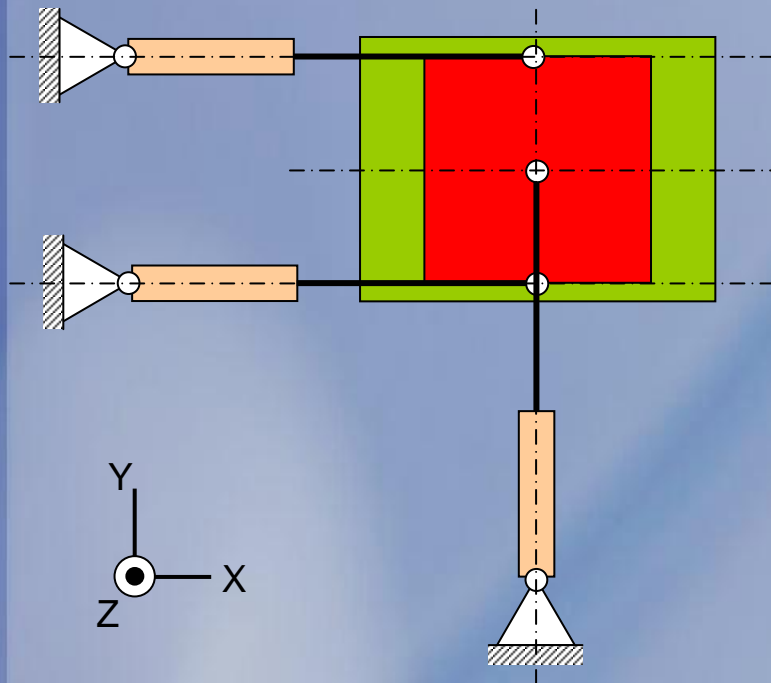
# Concept-ontwerp

- Principe geleiding: ZRxRy stijf, XYRz slap

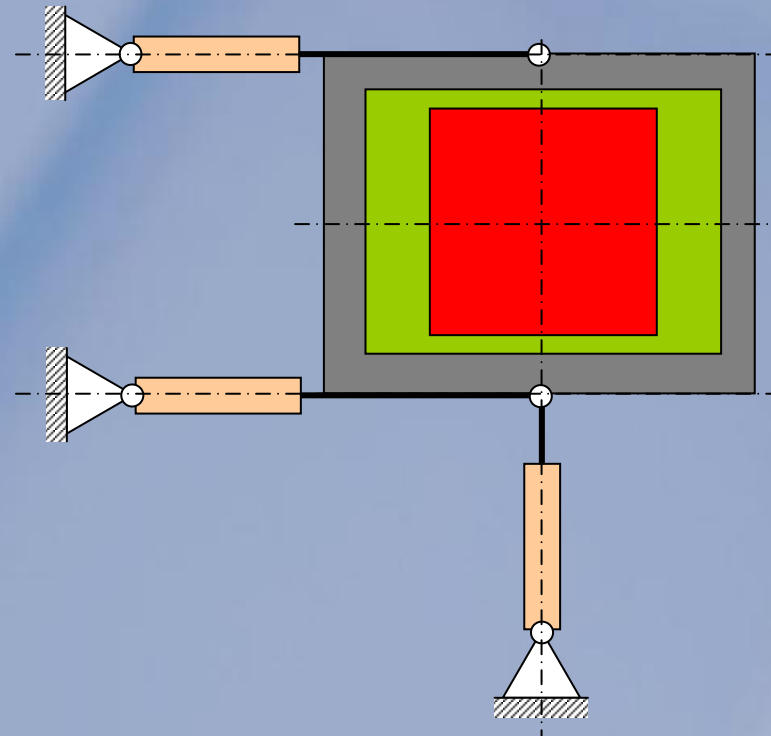


# Concept-ontwerp

## Principe aandrijving XYRz

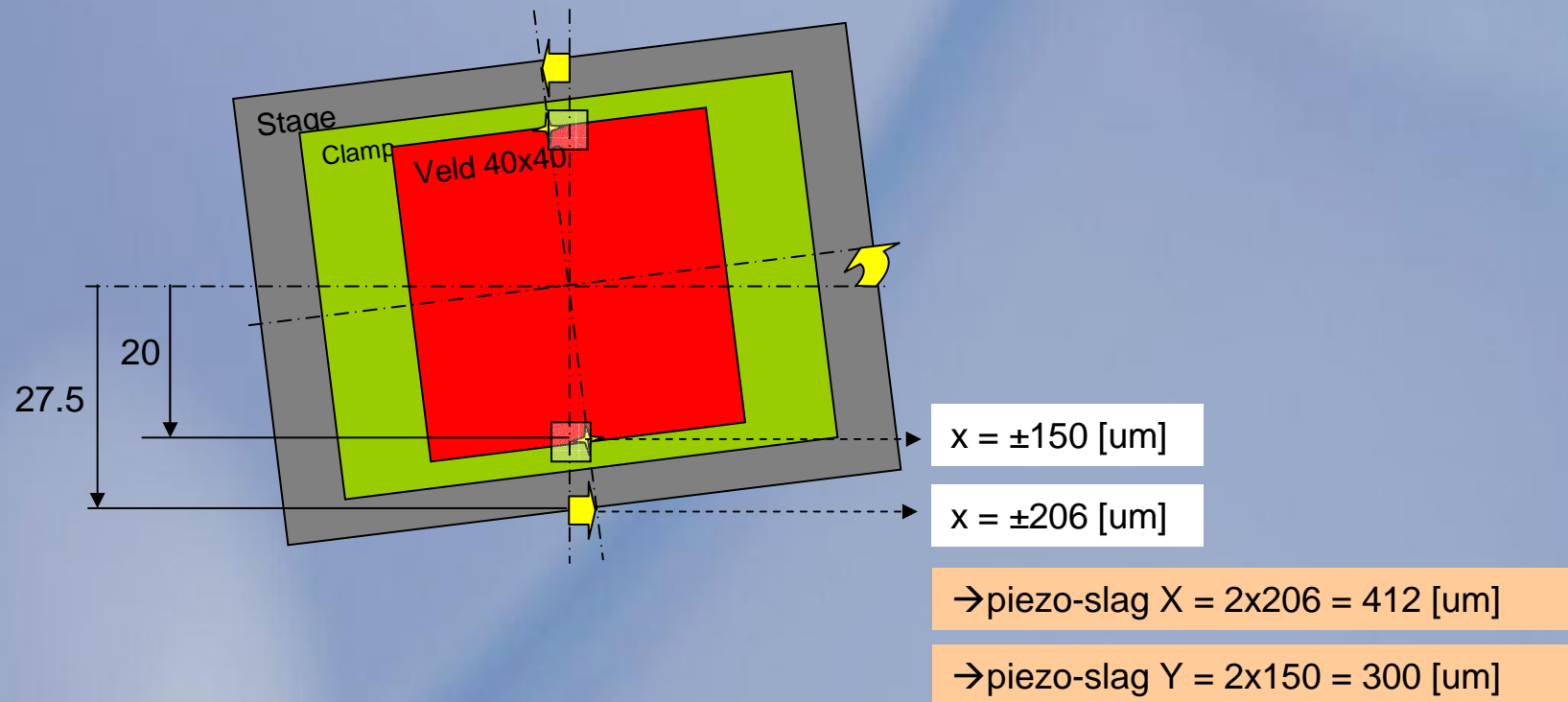


## Praktische uitvoering



# Concept-ontwerp

- Benodigde slag piezo's

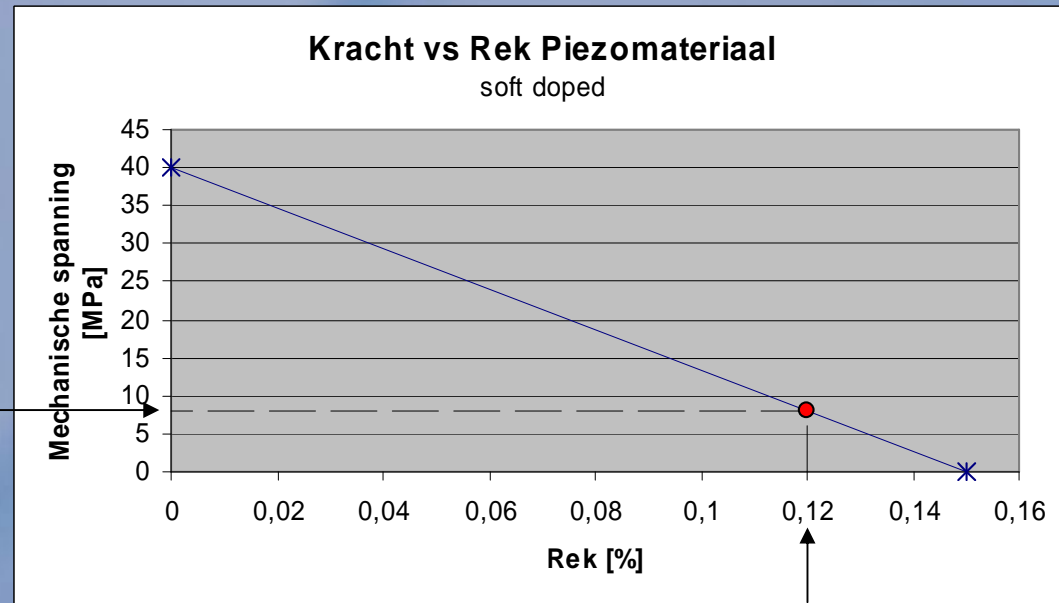


# Concept-ontwerp

## Afschatting piezo-dimensies:

- Applicatie = grote slag, kleine kracht.
- Kies werkpunt op bv 20% van blocking-spanning, 80% van de maximale rek

$\sigma = 8$  [MPa]



$\epsilon = 0.12$  [%]

# Concept-ontwerp

## 1. Afschatting piezo-slag

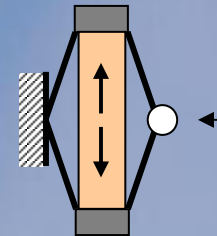
- $0.412 \text{ [um]} / 0.12\% = 341 \text{ [mm]}$  (effectief) terwijl  $125 \text{ [mm]}$  beschikbaar  $\rightarrow$  past niet
- oplossing: overbrenging  
bv  $1:10$ , dan piezolengte plm  $34 \text{ [mm]}$   $\rightarrow$  OK

## 2. Afschatting piezo-kracht

- Blocking spanning  $40 \text{ [MPa]} \times 20\% = 8 \text{ [MPa]}$
- Beschikbaar oppervlak  $9 \times 9 = 81 \text{ [mm}^2\text{]}$
- Max. beschikbare kracht  $8 \times 10^6 \times 81 \times 10^{-6} = 648 \text{ [N]}$
- na overbrenging  $65 \text{ [N]}$   $\rightarrow$  ruim voldoende

# Ontwerp overbrenging

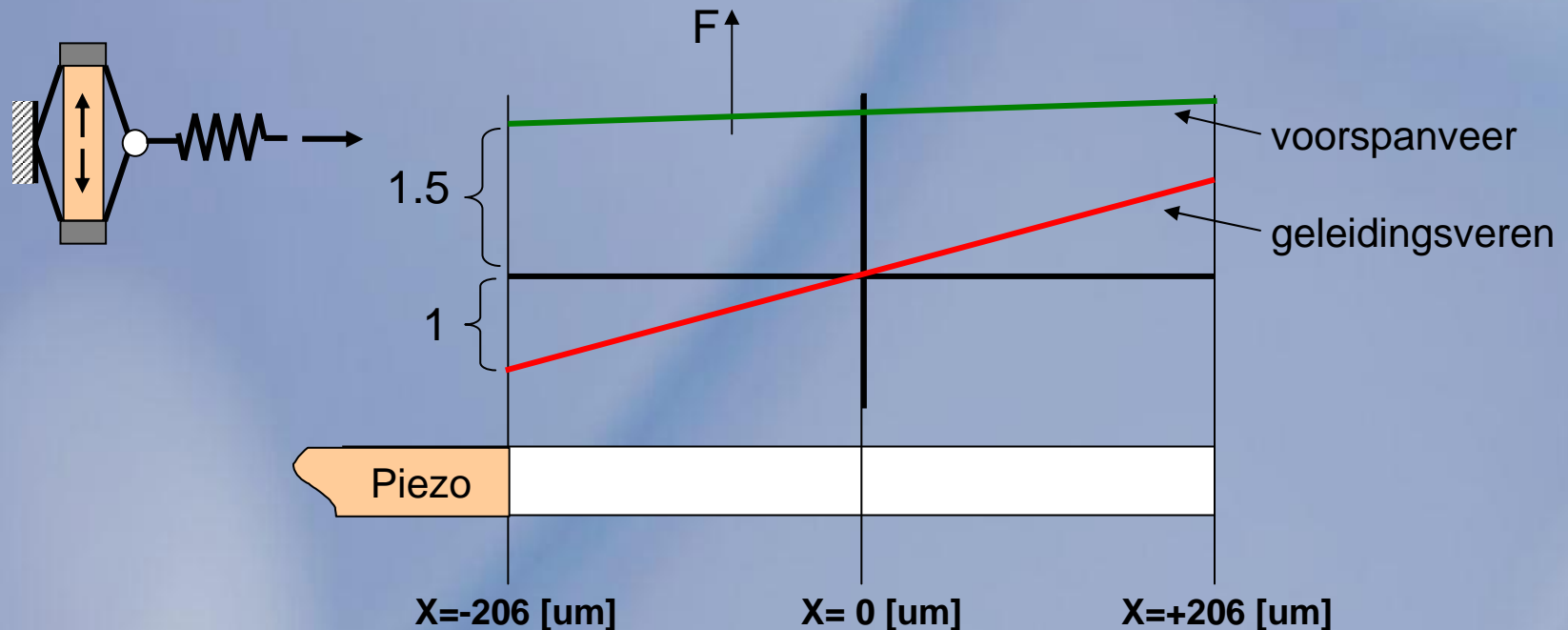
## Hefboomprincipes



- Compact
- Slap in Z

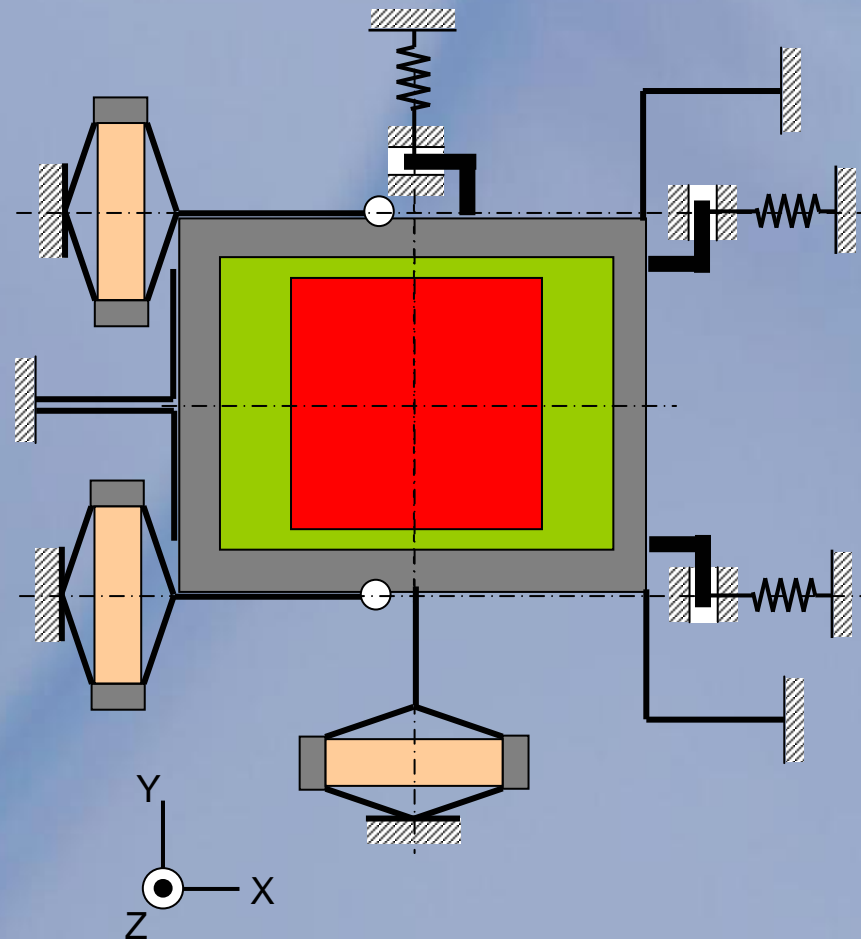
# Ontwerprichtlijnen mechanica

- Piezo voorspannen met 1.5x benodigde kracht bij  $X=-206$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Halve spanning op piezo  $\rightarrow$  elastische constructie neutrale stand



# Concept-ontwerp

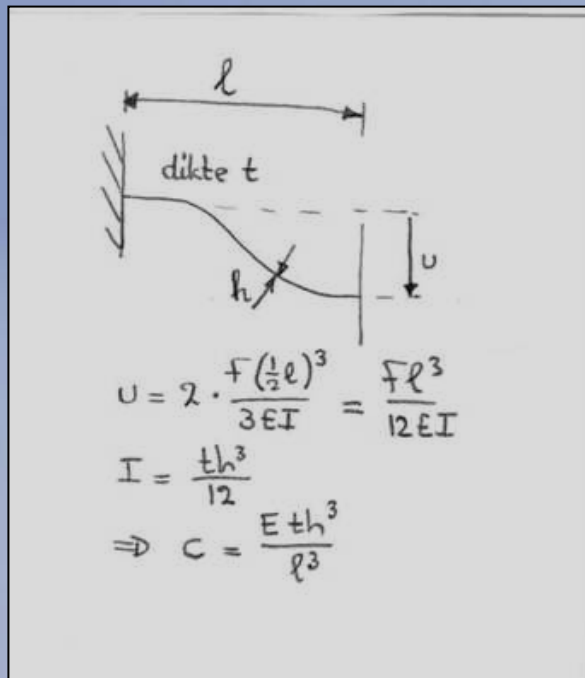
- Aandrijving
- Geleiding
- Slagbegrenzing
- Voorspanning



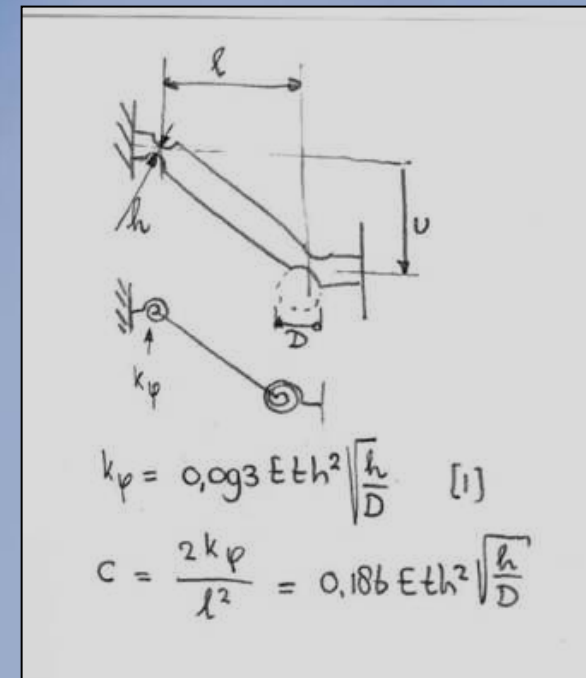
# Dimensionering

- Dimensies bladveren, gatscharnieren

## Stijfheid bladveer



## Veer uit 2 gatscharnieren



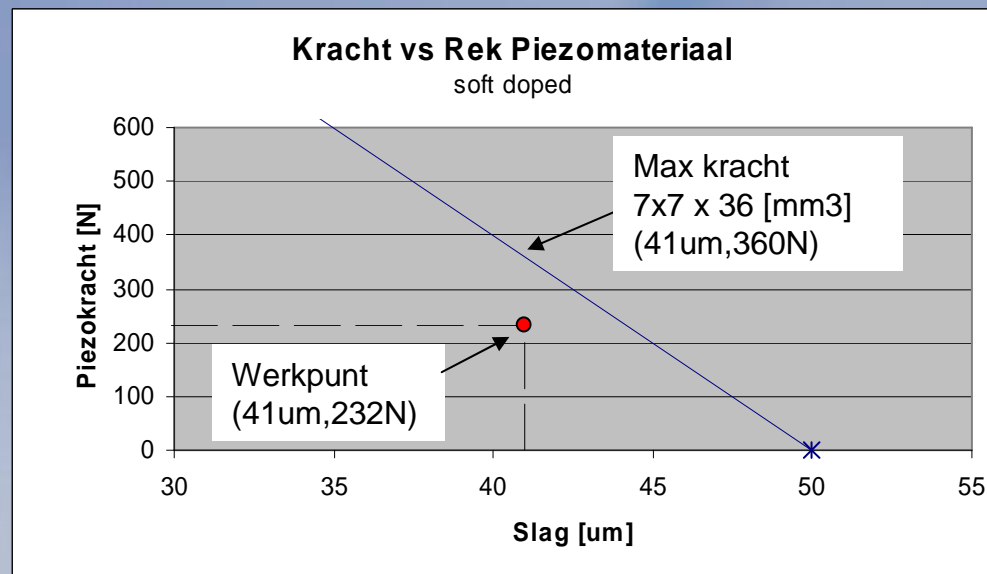
# Dimensionering

- Iteratie damdiktes, bladveerlengtes etc.
- Krachtbijdragen elastische elementen, @Y=+206 [um]:

<b>Element</b>		<b>Stijfheid [N/m]</b>	<b>Kracht [N]</b>
geleiding	(4x)	$1.9 \cdot 10^4 \rightarrow$	15.5 [N]
ontkoppelveer X	(2x)	$1.0 \cdot 10^4 \rightarrow$	2.5 [N]
overbrengingsveren	(1x)	$2.1 \cdot 10^4 \rightarrow$	4.4 [N]
voorspanveer	(1x)	$4.0 \cdot 10^3 \rightarrow$	0.8 [N]
Totaal kracht elastische vervorming			23.2 [N]
Overbrengverhouding			1:10 [-]
Benodigde kracht piezo's (10:1)			$F_{\text{piezo}} = 232$ [N]

# Dimensionering piezo element

- Nodig:  $u = 41$  [ $\mu\text{m}$ ],  $F = 232$  [ $\text{N}$ ]
- Standaard piezo element,  $7 \times 7 \times 36$  [ $\text{mm}^3$ ]:
  - $u = 50$  [ $\mu\text{m}$ ] bij  $F = 0$  [ $\text{N}$ ]
  - $F = 2000$  [ $\text{N}$ ] bij  $u = 0$  [ $\text{mm}$ ]



# Controleberekeningen

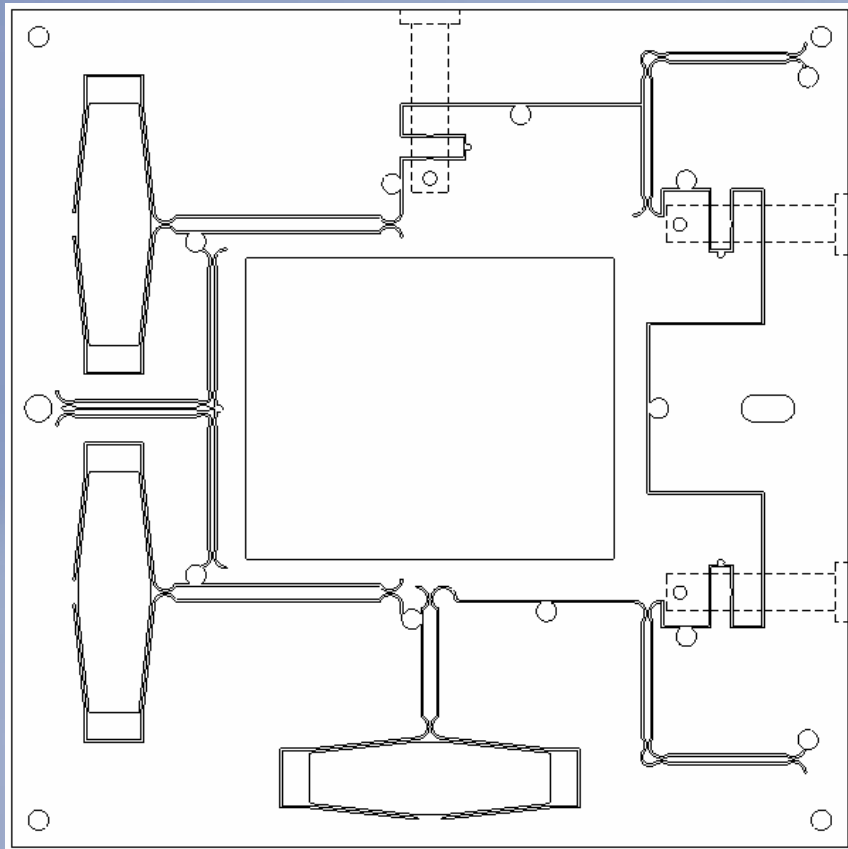
Checks:	berekend	spec	
• Aandrijfstijfheid	$2.6 \cdot 10^5$ [N/m]	$1 \cdot 10^5$ [N/m]	OK
• Overspraak X/Y/Rz	0.2 [um]	<1 [um]	OK
• Spanning bij $u_{\max}$ (eindstops)	440 [MPa]	1600 [MPa]	OK
• Z-stijfheid piezoveren:geleiding	1:17 [-]	1:10 [-]	OK

# Eind-check

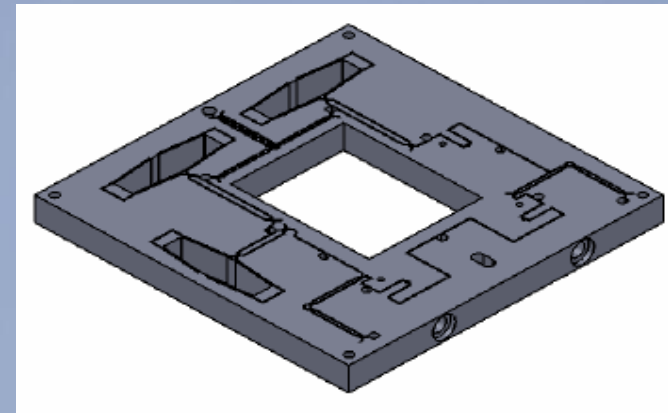
Is ontwerp nu klaar?

- Specificaties gehaald?
  - slag XYRz  $\pm 150$  [ $\mu\text{m}$ ]? OK
  - resolutie  $\pm 1$  [ $\mu\text{m}$ ]? OK
  - levensduur (spanningen)? OK
- Controle berekeningen OK

# Ontwerptekening / maakbaarheidcheck



- Layout
- Breedte vonksleuven
- Startgaten vonkproces
- Referentiegaten
- Bevestigingsgaten



# Van ontwerp naar product

## Albert van Heugten, CVT

**HEINMADE**  
supplier piezo ceramic solutions

*HiPrecision*  
Advies voor mechanica

*CVT*  
Controlled Vonk Technologie

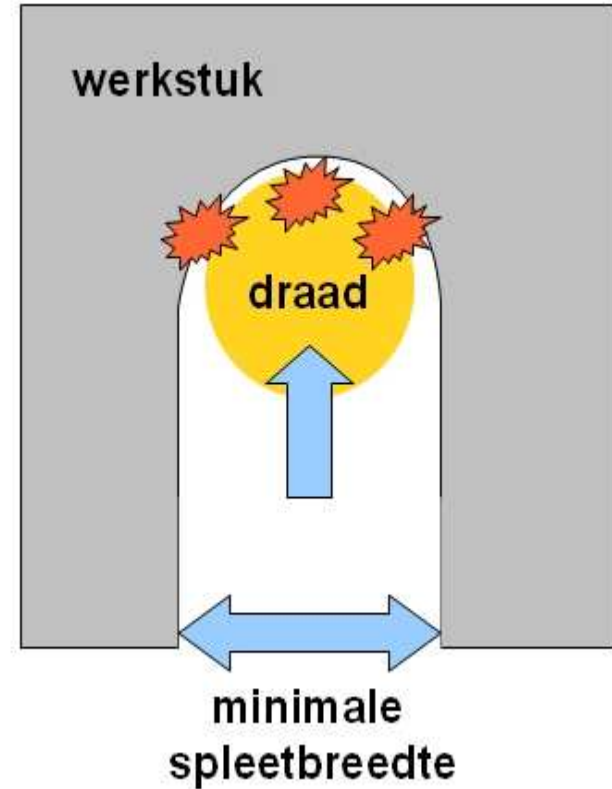
“Custom Made Piezo Stage”

HTCE - 27 januari 2010

# Van ontwerp naar product

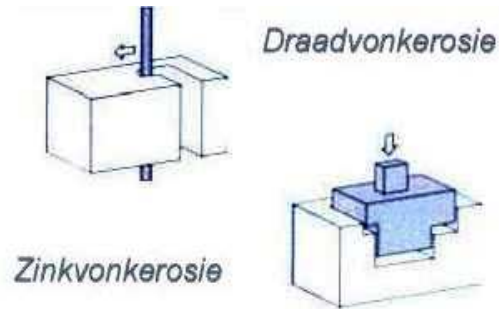
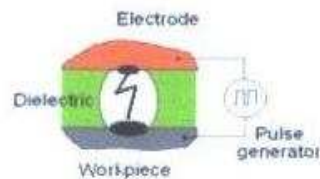
- Inhoud
  - Introductie maak techniek: draadvonken
  - Maakkennis toevoegen aan ontwerp
  - Eindresultaat: XYRz-Stage

# het draadvonkproces



- Principes → EDM methoden

Principe



- Belangrijk samenspel van:

- Machine → generator
- Electrode → draad
- Dielectricum

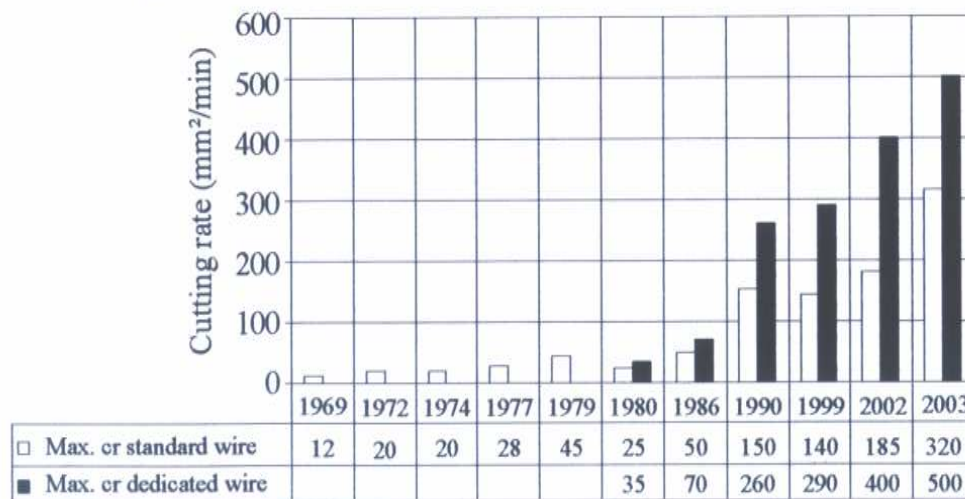
# Geschiedenis van het draadvonken

Vonkverspanen is een Russische ontwikkeling onder leiding van Dr. B.R. Lazarenko en Dr. N.I. Lazarenko in 1943.

In Nederland geïntroduceerd in de jaren 60 van de vorige eeuw.

Een machine had alleen een punt tot punt sturing: rechte lijnen

## • Snijsnelheidsevolutie



# Eigenschappen van draadvonkproces

Continue proces

Hoge (repeteer) nauwkeurigheden, +/-  $\mu$

Geen restspanningen (t.g.v. vonk-erosie)

Geen bewerkingskrachten op het werkstuk tijdens bewerken

Temperatuur stabiel proces  
(werkstuk in waterbad op 20C)

Lage ruwheden

Bewerking van alle geleidende materialen.

Man arm proces

Geschikt voor proto's en series 10.000+ stuks/jaar



# Ruwheden & Nauwkerigheden

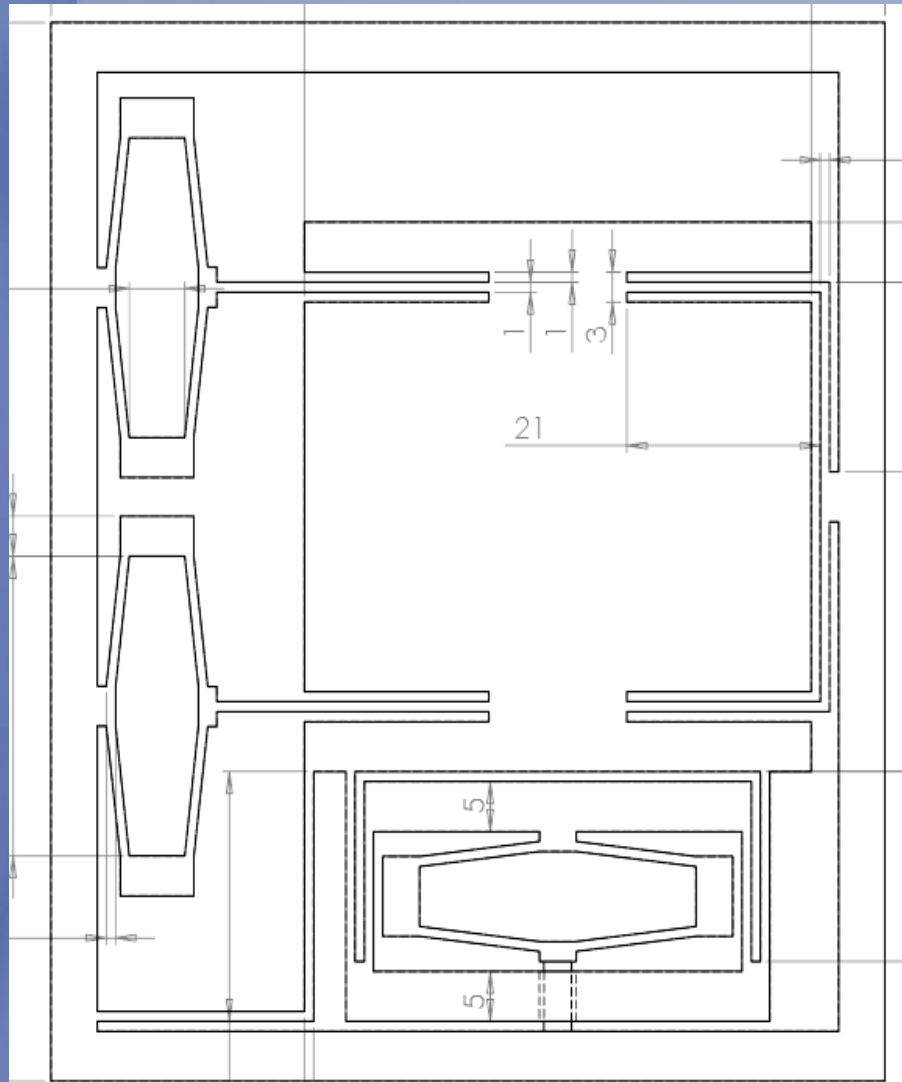
Nauwkeurigheden:

Afhankelijk van het aantal keren dat je met de draad langs een contour gaat, wordt de nauwkeurigheid groter.

Nauwkeurigheid wordt voornamelijk in de eerste drie snedes gehaald, nog meer snedes zorgen voor een gladdere oppervlakte. Afhankelijk van het materiaal is een tolerantie van  $\pm 0,001$  met een Ra van  $0.05\mu$  mogelijk.

Richtlijnen:	werkstukhoogte	tolerantie	Ra waarde
Met 1 snede	50 mm	$\pm 0,02$	2.5
	100 mm	$\pm 0,03$	2.5
	200 mm	$\pm 0,05$	2.8
Met 2 snedes	50 mm	$\pm 0,01$	1.8
	100 mm	$\pm 0,015$	1.8
	200 mm	$\pm 0,02$	1.8
Met 3+ snedes	50 mm	$\pm 0,002$	0.3
	100 mm	$\pm 0,005$	0.3
	200 mm	$\pm 0,01$	0.5

# Maakkennis in het ontwerp



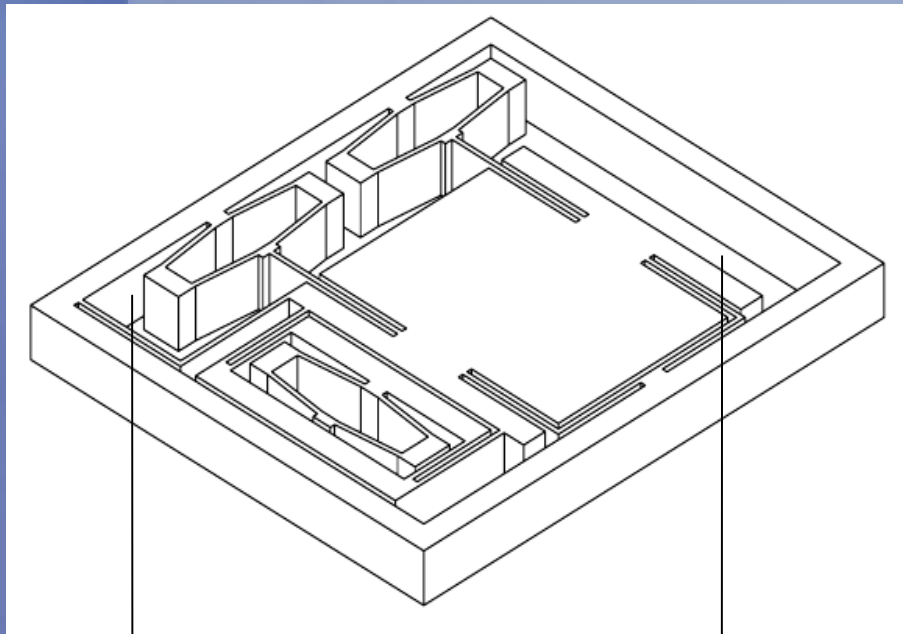
Uitgangsmateriaal:

- spanningsarm:  
frezen met snelstalen frees  
i.p.v.

“hardmetalen plaatjes frees”

- spanningsarm gloeien  
-eventueel harden

# Beperk "uitvalstukken"

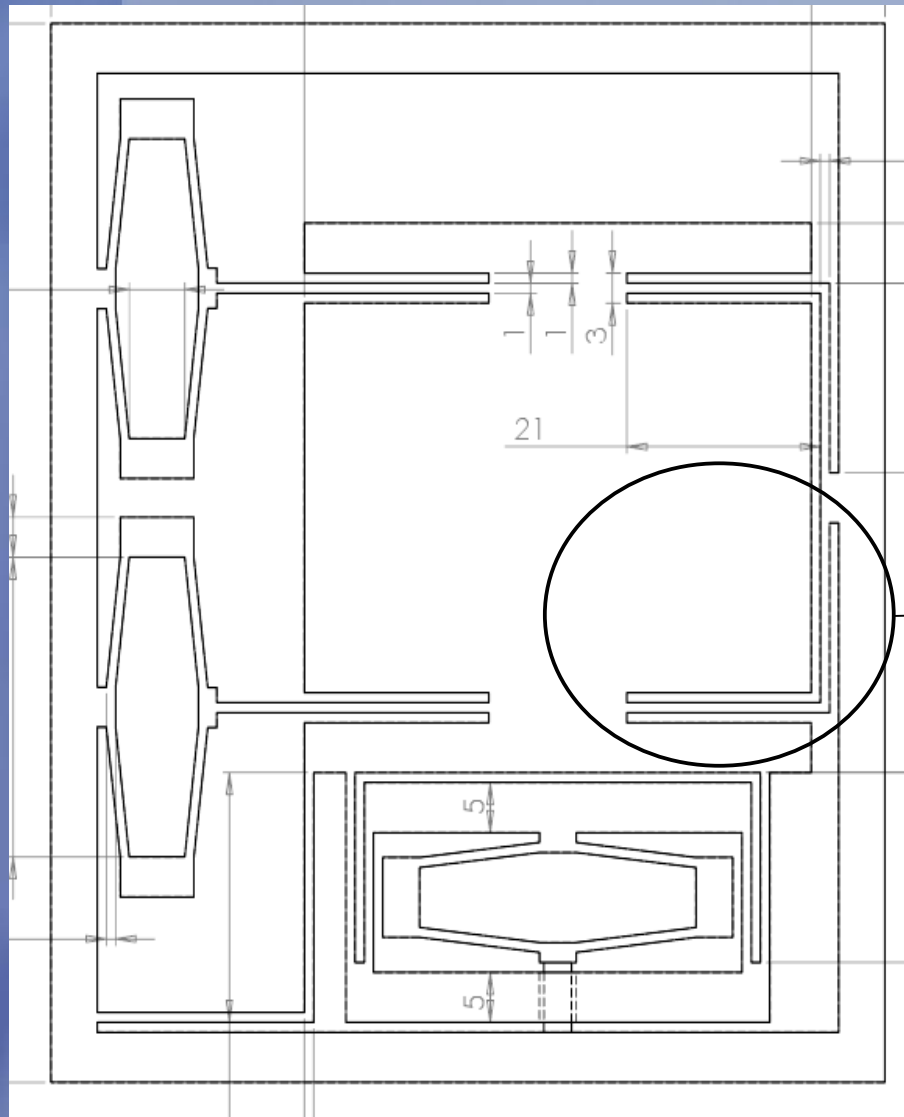


Uitval stukken

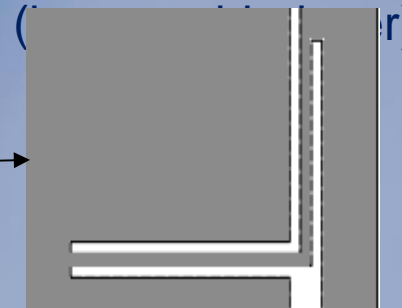
Manarm produceren:  
voorkomen van uitval-stukken  
geschikt maken voor seriematige  
productie

Breedte bewegings-ruimte aanpassen  
aan draad diameter.

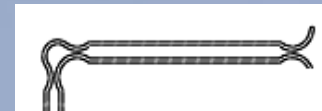
# Lengte dunne bladveer



Oorspronkelijk 0,2mm, 20 mm lang  
restspanningen kunnen  
resulteren in ongewenste  
vormverandering

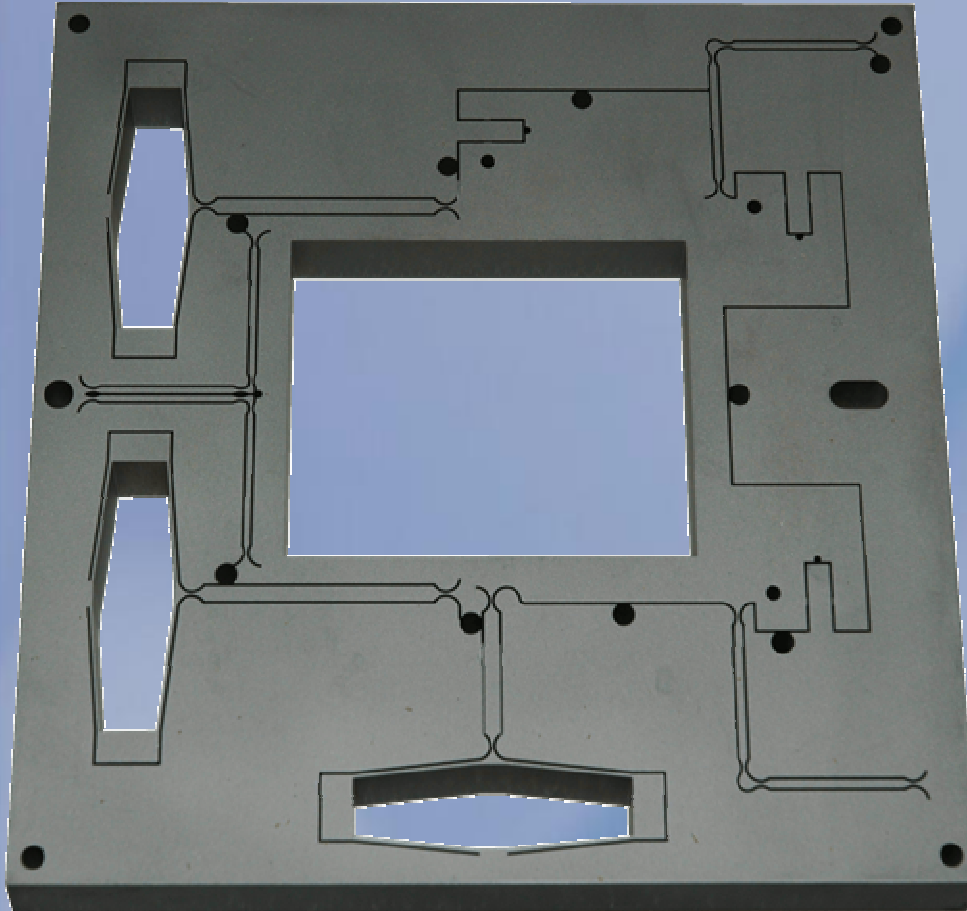


Oplossing, gat-scharnier





# Eind resultaat



- Totale doorlooptijd 10 werkdagen
- materiaal bestellen
  - programmeren
  - materiaal voorbereiden (slijpen, boren, harden en ontlaten)
  - startgaten vonkboren
  - draadvonken
  - meten

# Samenstellen van de stage

## Hein Schellens, HEINMADE

**HEINMADE**  
supplier piezo ceramic solutions

*HiPrecision*  
Advies voor mechanica

*CVT*  
Controlled Vonk Technologie

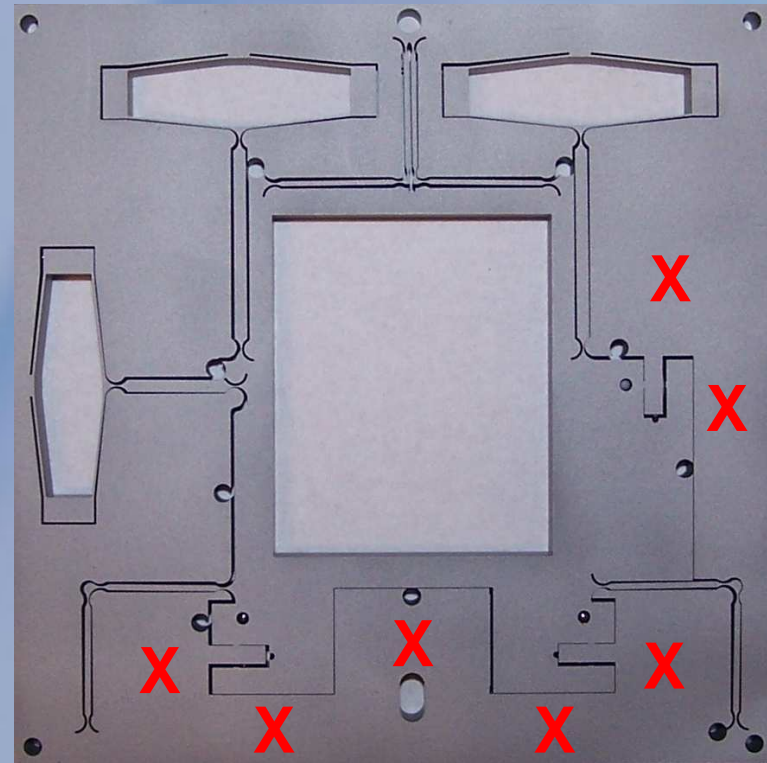
“Custom Made Piezo Stage”

HTCE - 27 januari 2010

# Samenstellen van de stage

## Inbouwen piezo;

- Metaaldeel op enkele  $\mu\text{m}$  nauwkeurig aangeleverd.
- Lengte van de piezo: op maat lappen / uitvullen / lijmen.
- Aanbrengen piezo met negatieve spanning.
- Stelschroeven voor correctie maatvoering of positionering naar nul positie stage.
- Veren zorgen voor voorspanning op piezo.

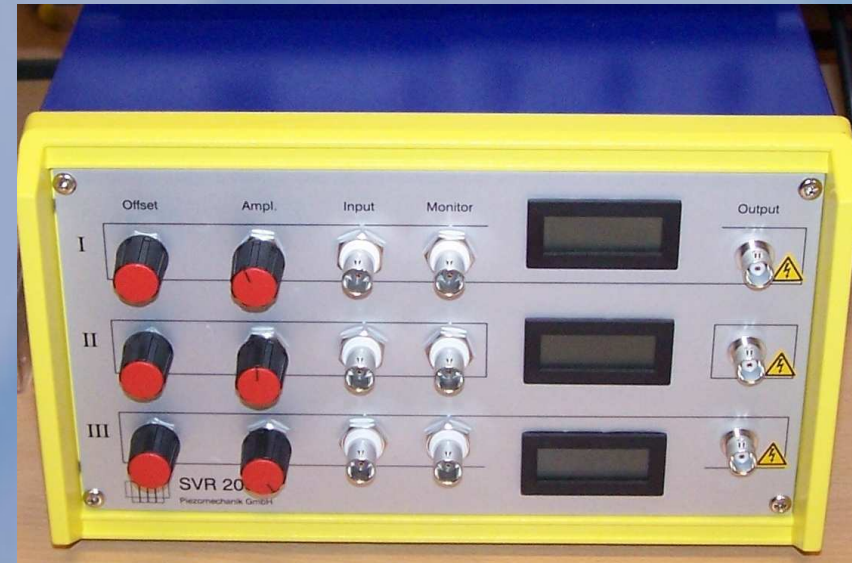


**X** Opties positieterugkoppeling.

# Samenstellen van de stage

## Keuze versterker;

- Bereik wat betreft voltage overeenstemmen met piezo.
  - Vermogen bepaalt maximale frequentie ( $I=C.V_{pp}.f$ ).
  - Ruisversterker bepaalt nauwkeurigheid stage.  
(Let ook op ruis op ingang!)
- 
- Piezo 150 V, 40  $\mu$ m.
  - Versterker 5 mV ruis.
- >  $(40/150) \cdot 5e-3 \cdot 10(OB) = 13 \text{ nm}$



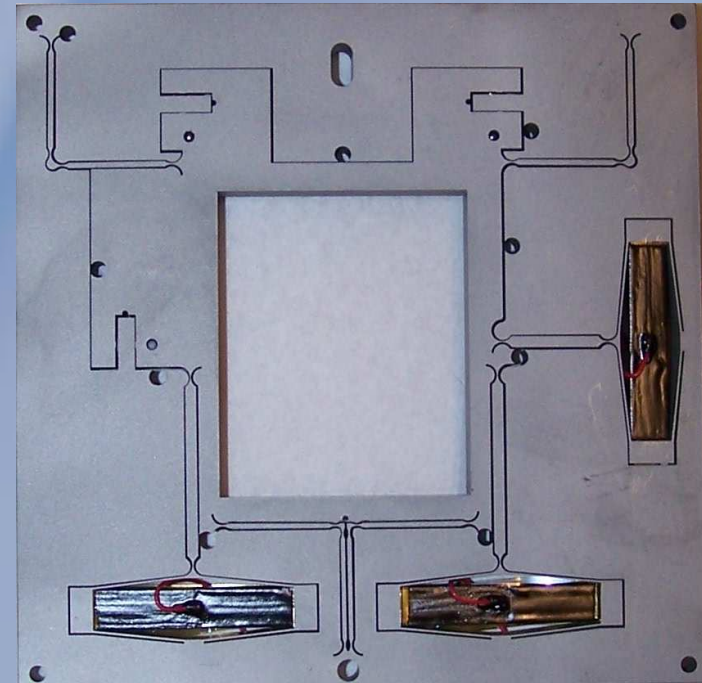
# Samenstellen van de stage

## Resultaten;

- Piezo uitgevuld in slagvergroter (niet verlijmd).
- Van 0-120 V bereik 350  $\mu\text{m}$ .
- Van 0-120 V bereik 6 mrad.
- Eventueel slag vergroten met aansturing -30 V tot 150 V.

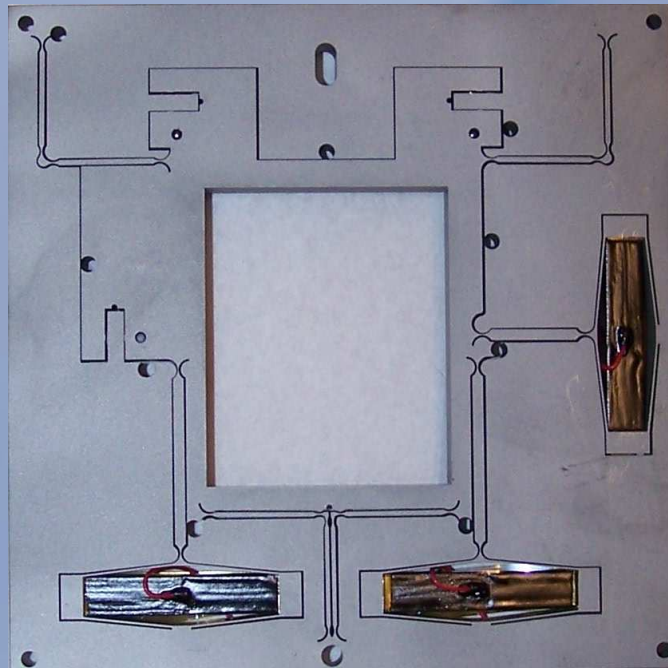
## Planning;

- wk 1-2; Specificatie, Concept.
- wk 2-4; Detaillering, Bestellen mat.
- wk 4-5; Draadvonken.
- wk 5-6; Samenstellen, Testen



# Samenstellen van de stage

## VRAGEN ?



## DEMO