

*Exjobbspresentation:*

# Utveckling av kolfibertrike

*Exjobb inom Produktutveckling*

*Lars Viebke*

[www.viebke.nu/URO-X](http://www.viebke.nu/URO-X)



# Bakgrund

## Utbildningar, KTH:

- Maskinteknik, Produktutveckling
- Maskinteknik, Lättkonstruktion (*konstruktion med fiberkompositer*)
- Elektro, mekatronik

## Erfarenheter (*relevanta till projektet*):

- Genomfört två exjobb tidigare
- Lång erfarenhet av fiberkompositkonstruktion
- Fiberkomposithandboken, Sveriges mest lästa på nätet
- Liggcykelkonstruktör
- Långfärdscyklist
- Erfarenhet av industriell produktutveckling
- Behärskar 3D CAD (*IronCAD och Solid Edge*)

# Upplägg

**INLEDNING**

MÅL

KONKURRENT-  
ÖVERSIKT

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

*UTVECKLINGS-*

*PROCESSEN*

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

**INLEDNING**

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

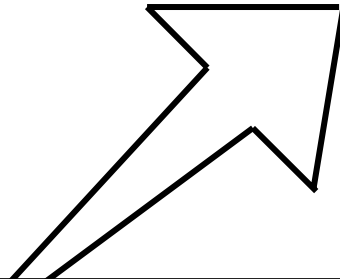
DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

*UTVECKLINGS-  
PROCESSEN*





# Inledning

Vad är en liggcykel?



## UTVECKLINGSPROCESSEN





# Inledning

Vad är en trike?

Tadpole



Delta



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

UTVECKLINGSPROCESSEN

# Inledning

Vad är en tadpole?



## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-ANALYS

KONSTRUKTIONS-LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING



# Inledning

## Tadpole trike - Fördelar, nackdelar?

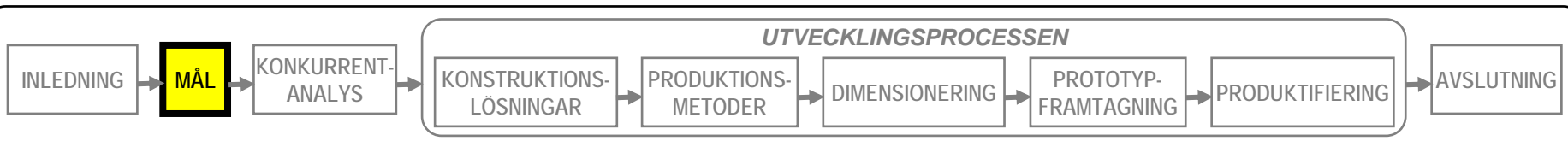
- + Bekväma
- + Inga balansproblem
- + Säkra vid halt väglag
- + Marknära, gocartliknande känsla

- Låga, dålig uppsikt i trafik, flagga är krav
- Otympliga
- Tung (oftast)
- Dyrare än tvåhjulningar
- Sämre fart än motsvarande tvåhjult liggcykel



# Mål - projektet

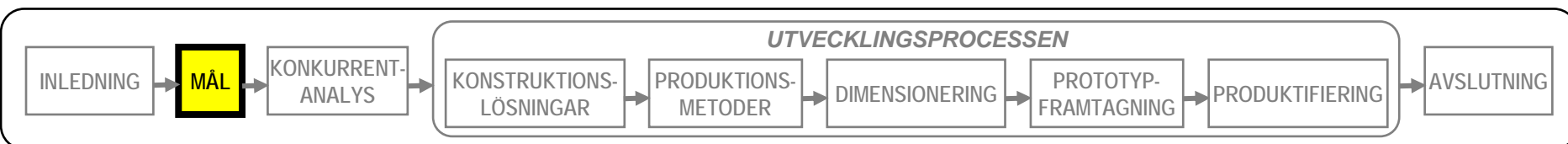
- Konstruera trehjult liggcykel i kolfiberkomposit via 3D-CAD
- Tillverka en prototyp
- Utvärdera prototypen
- Dokumentera och redovisa projektet, skriftligt, muntligt och på nätet





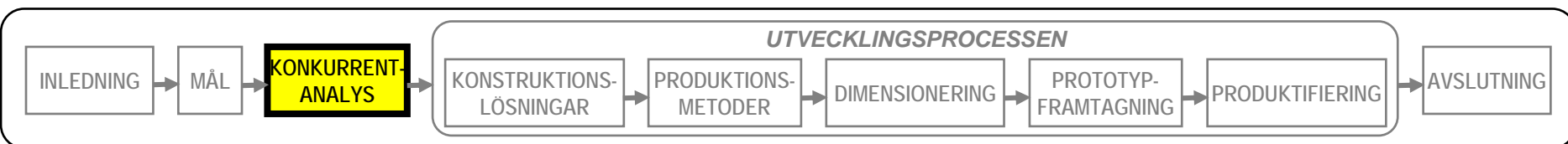
# Mål - triken

- **Prototypen** skall ha **full funktion** och se ut som produktionsmodellen
- Anpassa prototypen så att den kan fungera som **plugg** (positiv form)
- **Anpassa produktionsmetoder** efter lågserietillverkning, 10-100 st/år, max 1000st/år
- Visa att produktionsmodellen blir **marknadens lättaste** tadpole trike
- Välja konstruktionslösningar utifrån **jämförelse med konkurrenternas**



# Andra tadpole trike tillverkare

- Ett tiotal större tadpoletillverkare
- Olika prissegment:
  - Lågpris ~10 000 SEK
  - Mellanpris 20 000 – 30 000 SEK
  - Högpris 30 000 – 80 000 SEK
- Mellan- och högpris = lågvolymer (<500 st/år), tillverkning i västvärlden och Taiwan, customisering
- Lågpris = större volym (500 – 5000 st/år), tillverkning i Asien (Kina), ingen customisering

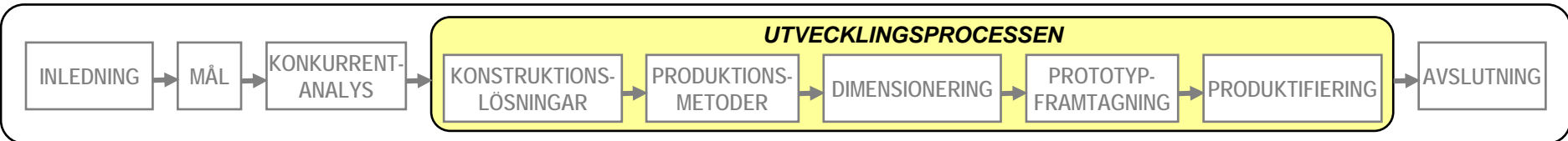




# Utvecklingsprocessen

*Faser vid en generell produktutveckling:*

- Förstudie och idéfas
- Skissfas
- Designfas
- Konstruktionsfas
- Prototypfas
- Produktifieringsfas

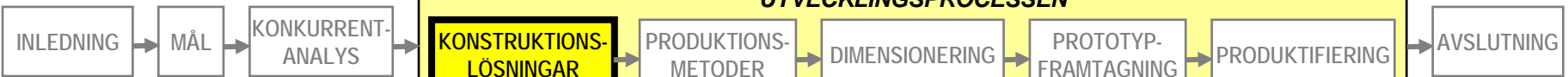
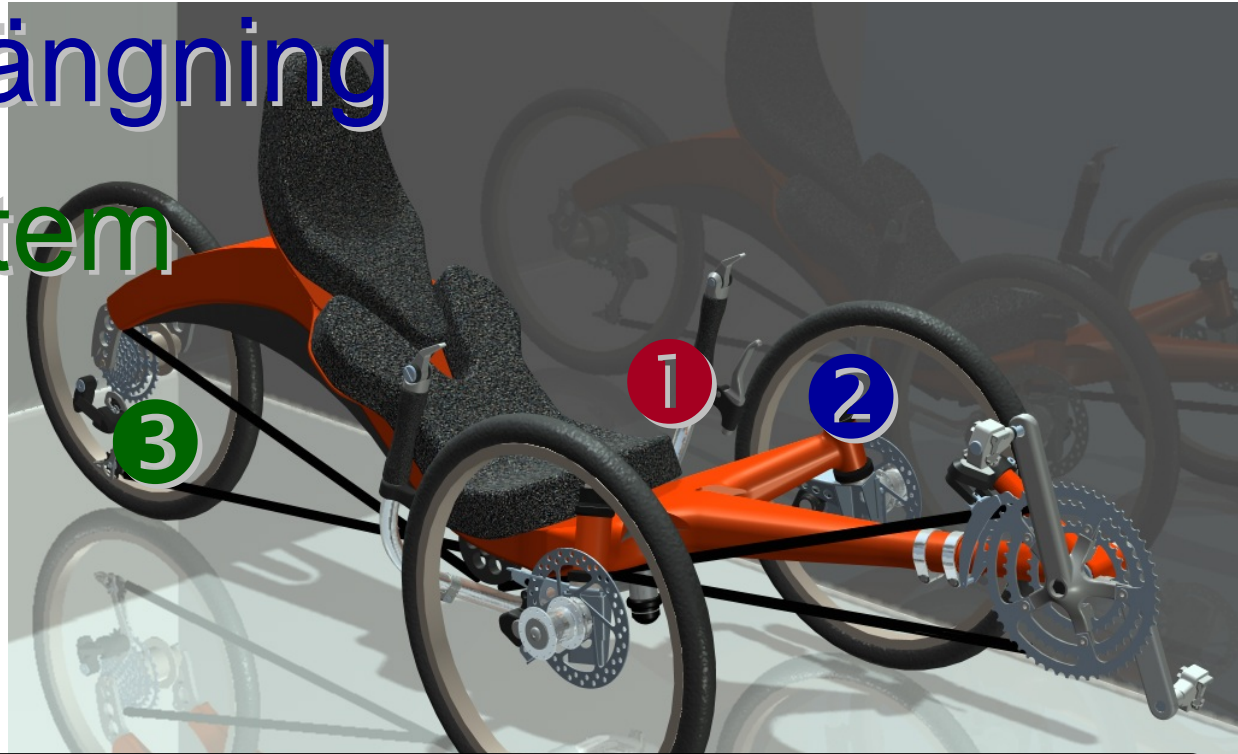


# Konstruktionsfasen: Konstruktionslösningar

① Styrning

② Hjulupphängning

③ Växelsystem

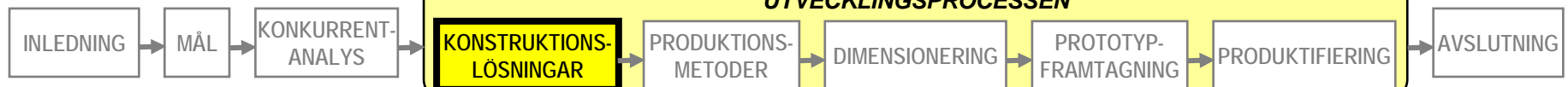




*Konstruktionslösningar:*

# Styrningen - krav

1. Självcentrerande
2. Minimera inbromsning och slitage i svängar
3. Minimera påverkan då hjulen möter hinder
4. Minimera bromsstyrning
5. Justeringsmöjlighet för att justera toe-in

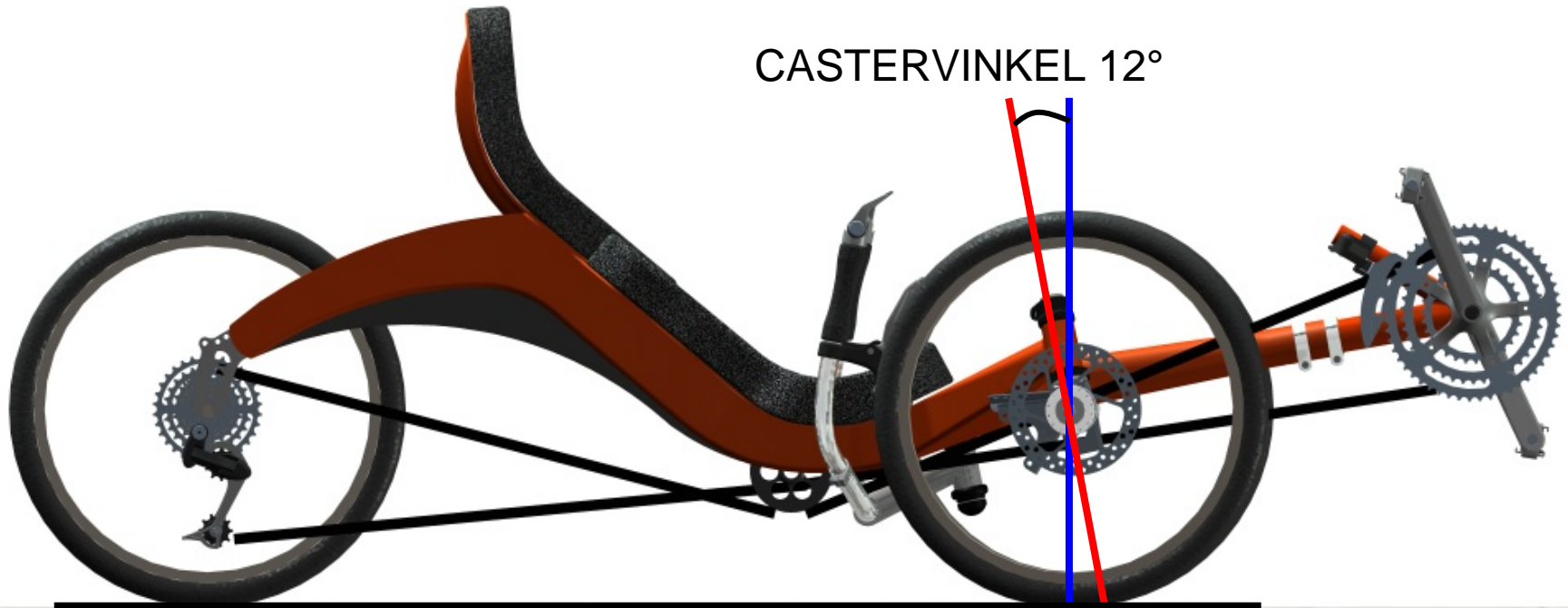


*Konstruktionslösningar:*

# Styrningen – lösningsmetoder

## 1. Självcentrerande

Lösning: Korrekt castervinkel



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

**KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR**

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

**UTVECKLINGSPROCESSEN**

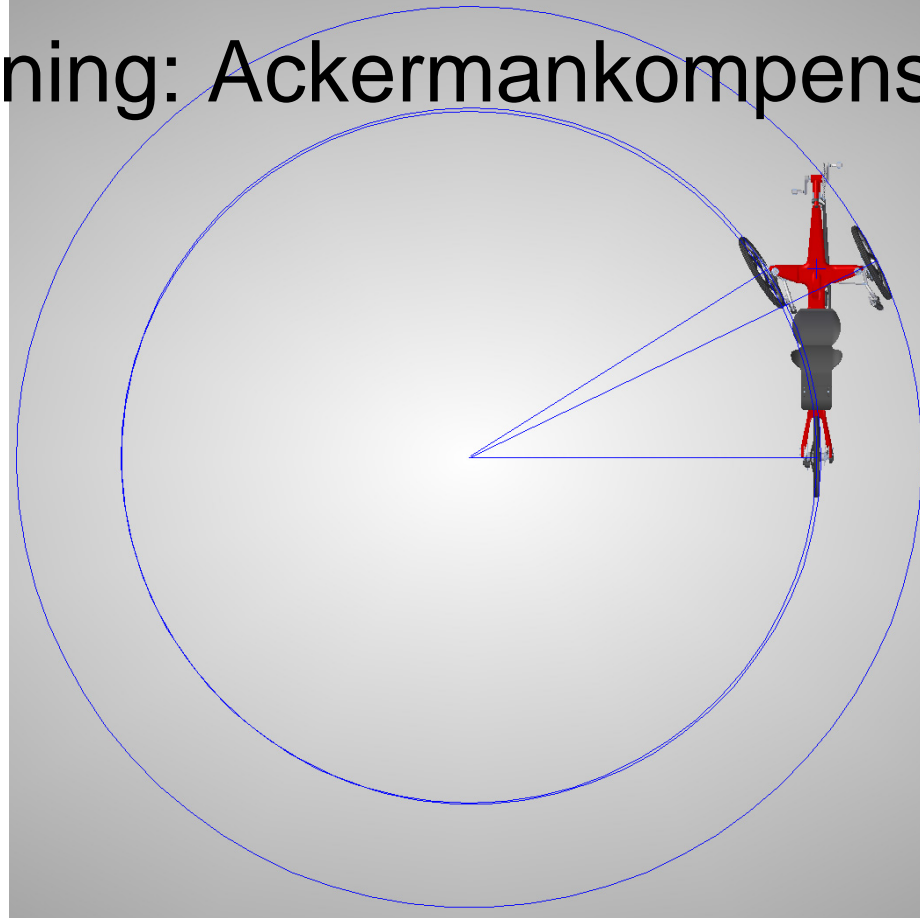


*Konstruktionslösningar:*

# Styrningen – lösningsmetoder

## 2. Minimera inbromsande effekten i svängar

Lösning: Ackermankompensering



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

**KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR**

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

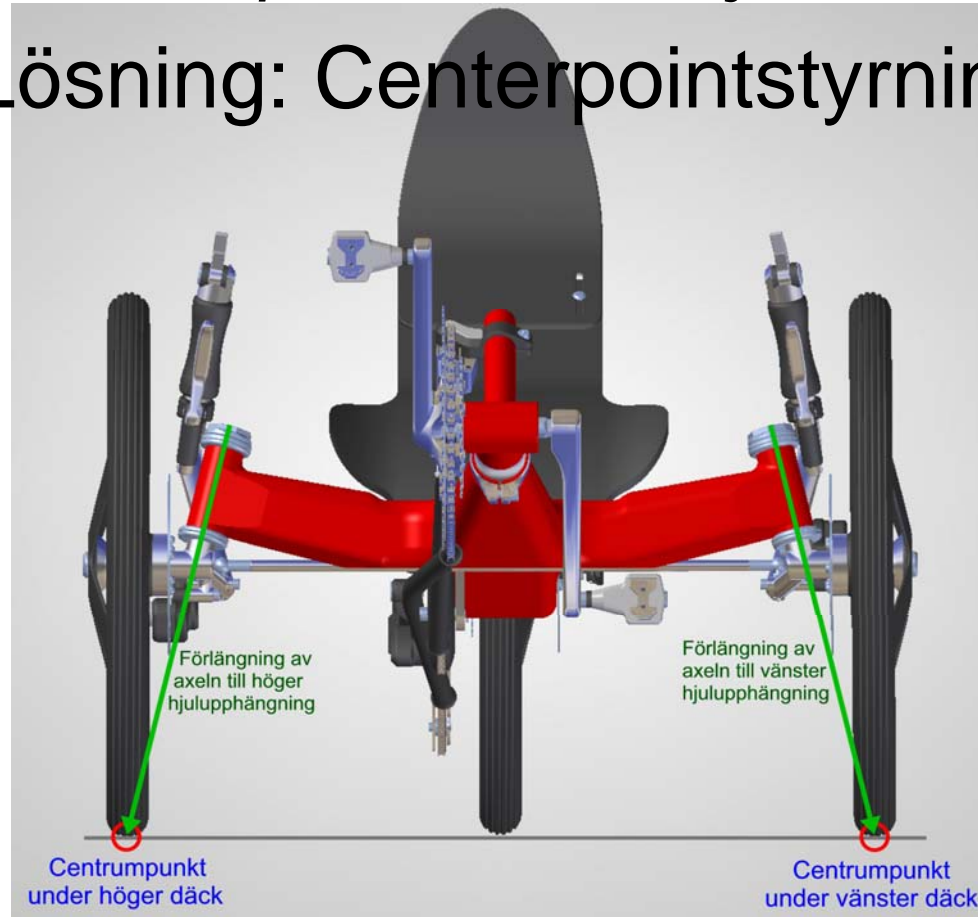
**UTVECKLINGSPROCESSEN**

Konstruktionslösningar:

# Styrningen – lösningsmetoder

3. Minimera påverkan då hjulen möter hinder

Lösning: Centerpointstyrning



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

**KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR**

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

UTVECKLINGSPROCESSEN



Konstruktionslösningar:

# Styrningen – lösningsmetoder

## 4. Minimera bromsstyrningen

Lösning: Visst avsteg från centerpointstyrning



URO-X  
med 16"-hjul



URO-X  
med 20"-hjul



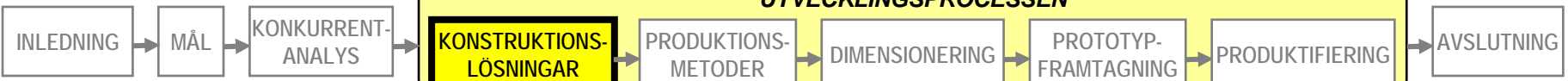
HPVelotechniks  
Scorpion



ICE Micro



ICE Q

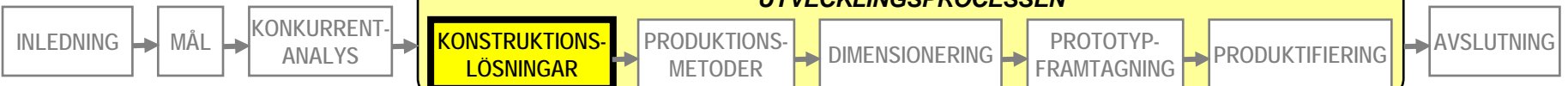


*Konstruktionslösningar:*

# Styrningen – lösningsmetoder

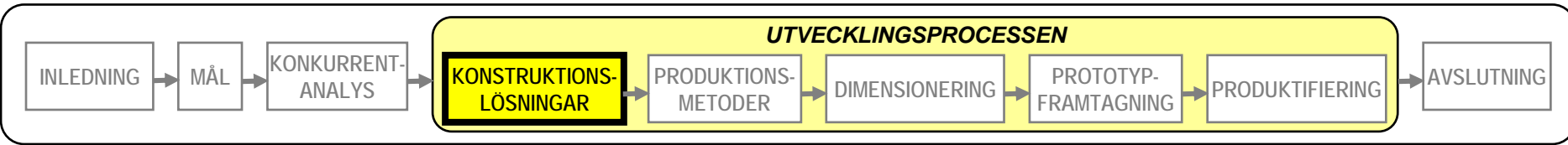
## 5. Underlätta justering för rätt toe-in

Lösning: Vänster- och högergångade styrstag



# Styrningen - huvudtyper

1. Parallellstagsstyrning
2. ICE-styrning
3. Greenspeedstyrning, korsstag





Konstruktionslösningar:

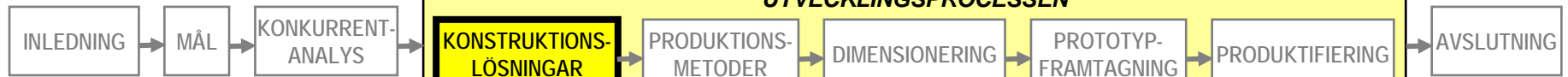
# Styrningen – huvudtyper

## 1. Parallellstagsstyrning

*Actionbent tadpole*



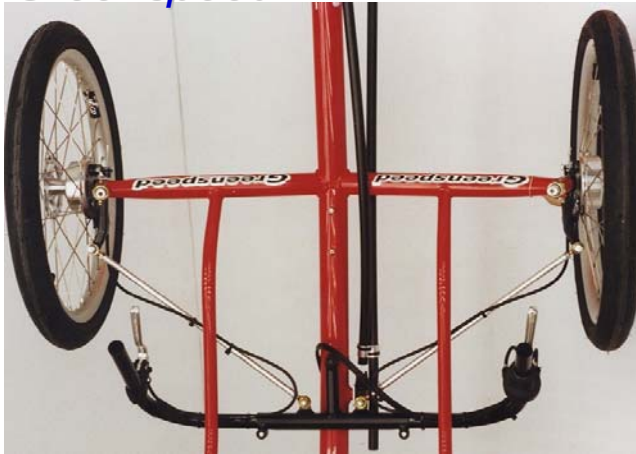
*Greenspeed RSL*



Konstruktionslösningar:

# Styrningen – huvudtyper

Greenspeed



## 2. ICE-styrning

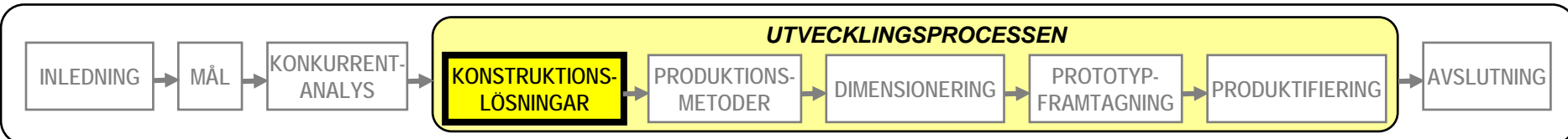


ICE Micro

Steinrikes  
Pico



HP Velotechniks  
← Scorpion

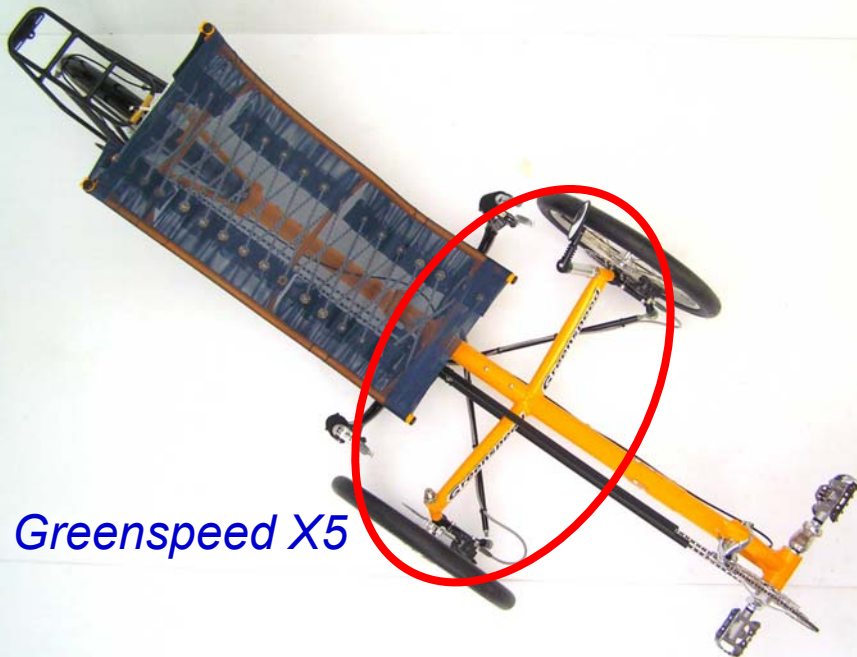




Konstruktionslösningar:

# Styrningen – huvudtyper

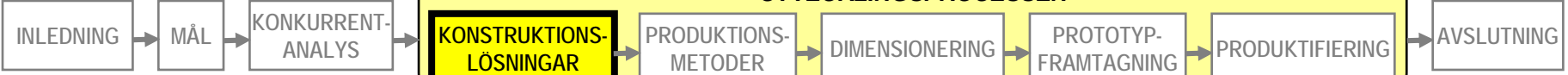
## 3. Korsstagstyrning (Greenspeedstyrning)



Greenspeed X5



Steinrikes Nomad





*Konstruktionslösningar:*  
**Styrningen – lösning**

**ICE-styrning**



← *Styrningen på prototypen sedd underifrån*

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

**KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR**

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

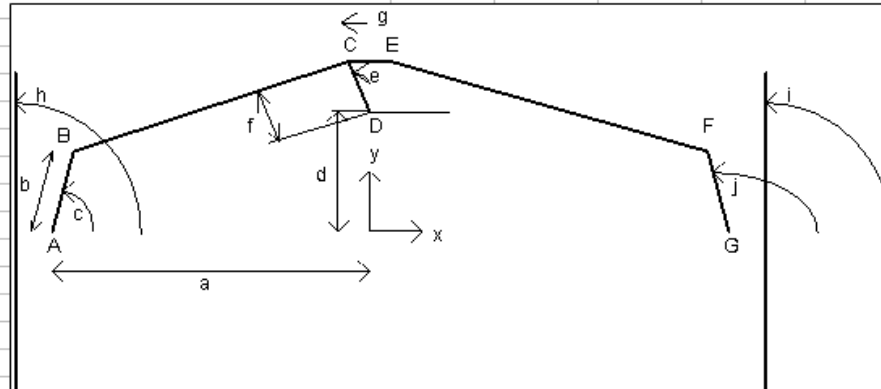
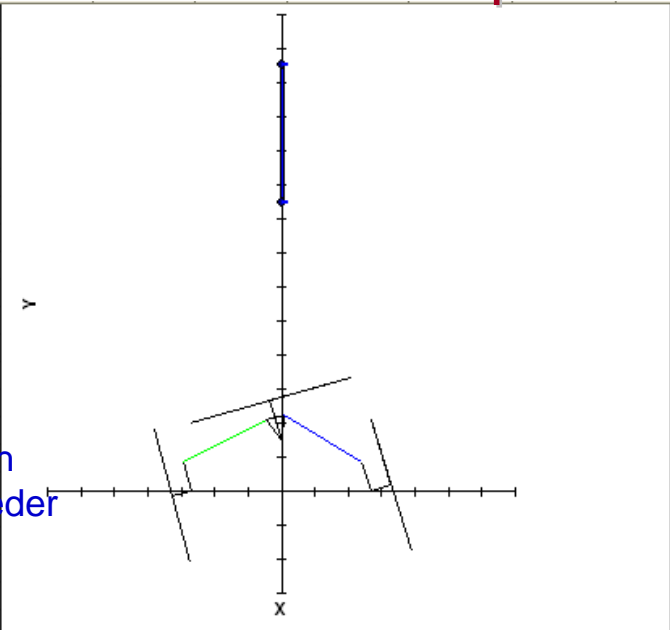
PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

**UTVECKLINGSPROCESSEN**

# Konstruktionslösningar:

## Styrningen – dimensionering för ackermankompensering

Ackermann steering design spreadsheet  
by Peter Eland, last modified 5 May 98

**CONSTANTS (change these to change initial geometry)**

Centreline to kingpin /mm	a	270	URO-X															
Steering arm length /mm	b	90	URO-X	56,68,80,92														
Steering arm initial angle /degrees	c1	89	URO-X	Ittererat														
Handlebar pivot offset /mm	d	146	URO-X															
Handlebar arm initial angle / degrees	e1	21	URO-X	Ittererat	Ideal Ackermann													
Handlebar arm length / mm	f	80	URO-X	95,68,80,70,60	radius	left	right	R	This geometry	Error	HB Angle							
Wheelbase	j	1050	URO-X		100000	0,60	0,603	0,6031	0,0%	0,59								
Front wheel offset (from kingpin)		60	URO-X		20000	2,97	3,046	3,04	-0,1%	2,96								
Wheel diameter		406	URO-X		10000	5,84	6,159	6,15	-0,2%	5,90								
Handlebar offset (from D)		125	URO-X	Låst	5000	11,27	12,516	12,52	0,0%	11,65								
Handlebar length		500	URO-X		3000	17,80	21,038	21,39	1,7%	18,91								
Rear wheel offset (a la Windcheetah)		0			2000	24,82	31,255	34,02	8,8%	27,18								

**INPUT VARIABLE**

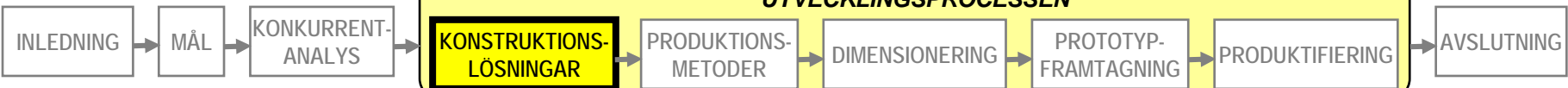
Wheel (left on screen) angle /degrees	h	15	(change this to change steering angle shown on graph)															
---------------------------------------	---	----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**OUTPUT VARIABLES**

Handlebar angle /degrees	g	-15,75	Utväxling ca 1:1.1	100m	20m	10m	5m	3m	2m									
Wheel (right on screen) angle /degrees	i	-17,38	Nerväxlat															

Indata, mått och placering av styrleder

Utdata, fel från korrekt ackermankompensering





Konstruktionslösningar:

# Framhjulsupphängning - huvudtyper

Steintrikes Nomad,  
Fast axel



HP Velotechniks Scorpion,  
Snabbavtagbar axel



KMX X-class,  
Axel bredvid styrlager

## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

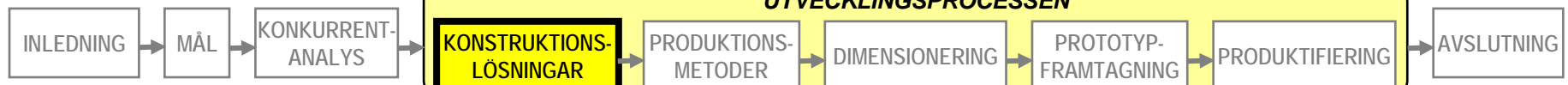
PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

# Framhjulsupphängning - mål

- Dubbla hjulstorlekar, 16" och 20" utan ändrad geometri
- Lösning lämpad för kolfiberkomposit, alternativt fräst aluminium
- Standardstyrlager
- Standardiserat skivbromsfäste
- Låg vikt





*Konstruktionslösningar:*

# Framhjulsupphängning - lösning



## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

**KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR**

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

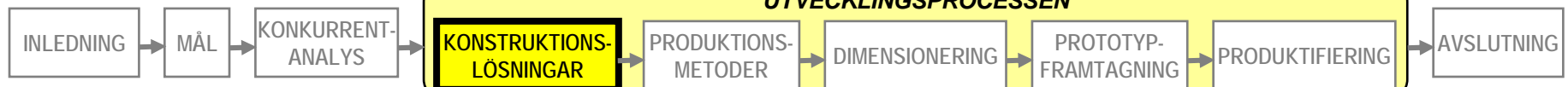
PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

# Växelsystem - huvudtyper

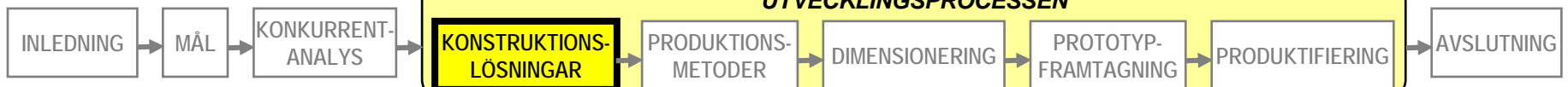
- Kedjeväxlar
- Navväxlar
- Kombinationsväxlar (t.ex DualDrive)
- Specialväxlar (t.ex Schumpf)



*Konstruktionslösningar:*

# Växelsystem - mål

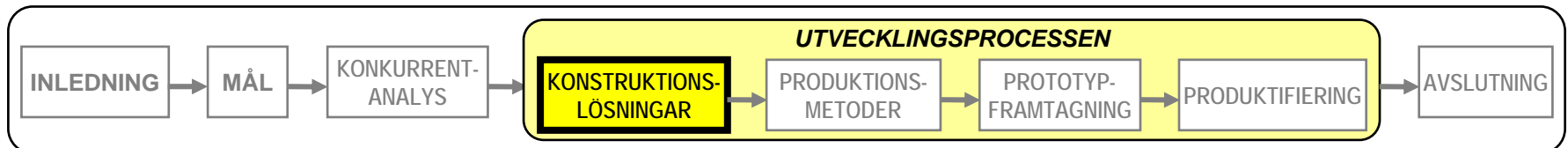
- Tillräckligt höga växlar tillsammans med litet bakhjul
- Stort växelomfång
- Låg vikt
- Låg friktion



## Konstruktionslösningar:

# Växelsystem - lösning

- Kedjeväxelsystem med 27 växlar (3x9)
- Specialkasettsystem för små hjul (Capreo)
- Omfång: 592%
- Gear-inch: 18,6-110 (vid 50mm däck)





# Konstruktionsfasen: Produktionsmetoder

## Metall- och plastdetaljer

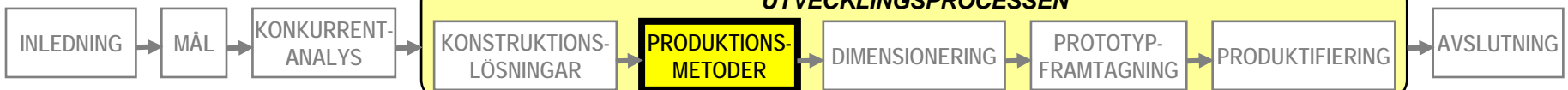
*nav, styraxlar, dropouts, kedjehjul,  
styrändar, bromsupphängning,  
fästdetaljer, framhjulsupphängningar*

- Svarvning
- Fräsning
- Bockning
- Svetsning (bör undvikas vid produktion i Sverige)

## Kompositdetaljer

*ram inkl sits, toppböj, vevpartibom, styre, ev framshjulupphängningar*

- Våtlaminering med vakuumbag
- Övertrycksbag
- Pre-preg bakning i autoklav
- Vakuuminjicering
- Vattenskärning (efterbearbetning)



## Produktionsmetoder:

# Vad är en fiberkomposit

- Fiber: glas-, kol-, eller kevlarfiber
- Fibern binds samman av ett matrismaterial, en härdplast, epoxi, polyester eller vinylester
- Matrisaterialet härdar och bildar en komposit



*Material vid laminering →  
epoxi, fiber, kärl, våg, pensel*



*Produktionsmetoder:*

# Våtlaminering med vakuumbag

*1/8 Fibern (kolfiber, non-crimp) appliceras*



## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

**PRODUKTIONS-  
METODER**

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING



Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

*2/8 Fibrerna impregneras med matrisplast (epoxi)*



## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING



## Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

3/8 Ett skiljeskikt (punkterad plast eller avrivningsväv) läggs på som separerar laminatet från sugskiktet



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

**PRODUKTIONS-  
METODER**

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

UTVECKLINGSPROCESSEN

## Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

*4/8 Sugskiktet appliceras, trassel utnyttjas i gropar*



### UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING



## Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

*5/8 filt läggs på som uppsugningssskikt, detta suger upp överskottsplast och fungerar som vakuumledare*



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

**PRODUKTIONS-  
METODER**

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

**UTVECKLINGSPROCESSEN**



## Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

6/8 Vakuumbagen läggs på och tätas med butylgummimassa



### UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

PRODUKTIONS-  
METODER

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

*Produktionsmetoder:*

# Våtlaminering med vakuumbag

*7/8 Luften suges ut under bagen, laminatet pressas mot formen*



## UTVECKLINGSPROCESSEN

INLEDNING → MÅL → KONKURRENT-ANALYS → KONSTRUKTIONS-LÖSNINGAR → **PRODUKTIONS-METODER** → DIMENSIONERING → PROTOTYP-FRAMTAGNING → PRODUKTIFIERING → AVSLUTNING



## Produktionsmetoder:

# Våtlaminering med vakuumbag

8/8 Formen läggs in i en ugn och värmehärdas (i detta fall 60 grader i 3 timmar)



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

**PRODUKTIONS-  
METODER**

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

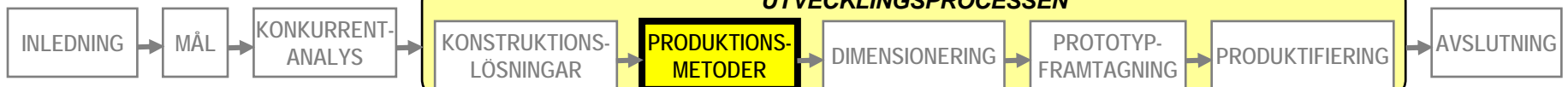
AVSLUTNING

UTVECKLINGSPROCESSEN



# *Produktionsmetoder:* Övertrycksbag

- En påse blåses upp i en sluten form
- Stora belastningar på formen
- Hög fiberhalt möjlig



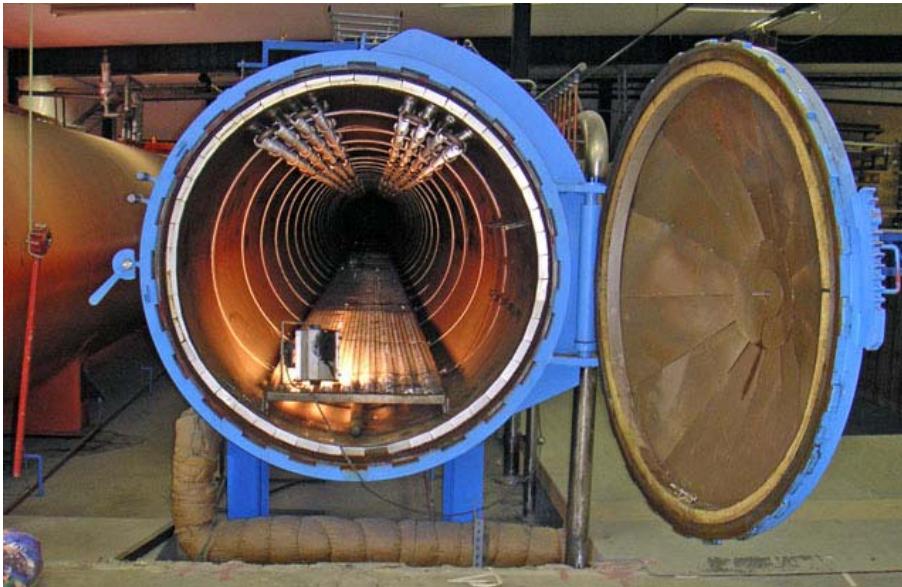
## Produktionsmetoder:

# Pre-preg bakning i autoklav

Förimpregnerad väv värmehärdas i trycksatt ugn

*Autoklav vid Marström Composite  
8 bar övertryck, 140 grader 90 minuter*

*Applicering av pre-preg för tillverkning  
av mast hos Marström Composite*



INLEDNING

MÅL

KONKURRENT-  
ANALYS

KONSTRUKTIONS-  
LÖSNINGAR

**PRODUKTIONS-  
METODER**

DIMENSIONERING

PROTOTYP-  
FRAMTAGNING

PRODUKTIFIERING

AVSLUTNING

UTVECKLINGSPROCESSEN

# Produktionsmetoder: Vakuuminjicering

- Torr fiber läggs i formen
- Fibern täcks med ett skiljeskikt och transportskikt
- Luften sugas ut
- Matrisplast sugas in

Vakuuminjicering av testplatta  
hos KTH Lättkonstruktion →

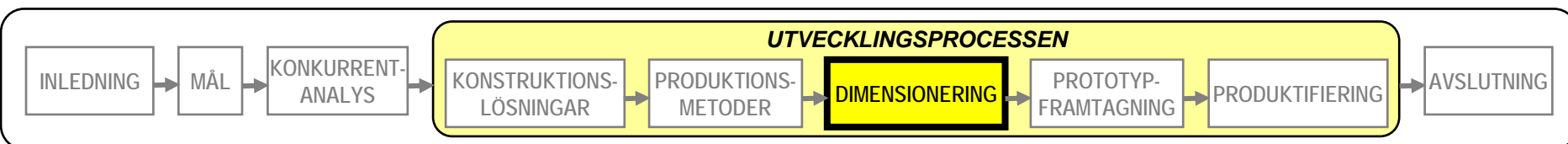




## *Dimensionering:*

# Generella begrepp vid dimensionering av fiberkompositer

- Fiber- och matrishalt:
  - Volymprocent fiber:  $V_f$  Viktprocent fiber:  $W_f$
  - Volymprocent matris:  $V_m$  Viktprocent matris:  $W_m$
- Fiberriktning
- Styvhet och hållfasthet för fiber- och matrismaterialet där:  $E_f \gg E_m$



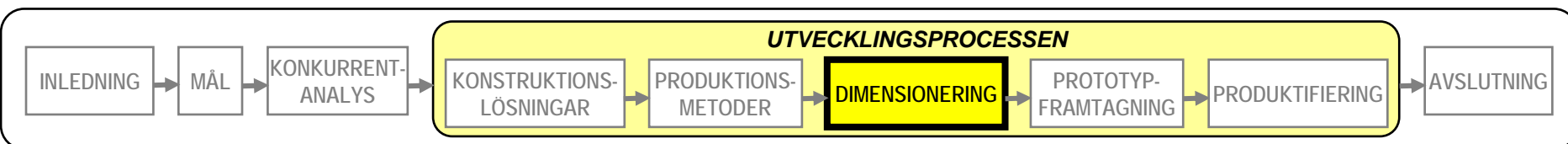
## Dimensionering:

# Beräkning av styvheten för en fiberkomposit

- Beräkning av styvheten för generellt kolfiberlaminat, tex vakuumbaggat, indata:
  - $E_f = 200\text{GPa}$
  - $V_f = 60\%$
  - Fiberriktning [0/90] -> 50% fiber i kraftriktningen

Styvheten för kolfiberlaminatet blir då:

$$E_l = 200 * 0,6 * 0,5 = \mathbf{60\text{ GPa}}$$



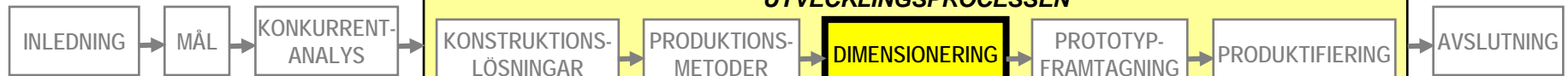
## Dimensionering:

# Beräkning av densiteten för en fiberkomposit

- Beräkning av densiteten för generellt kolfiberlaminat, tex vakuumbaggat, indata:
  - $\rho$  kolfiber =  $1,7 \text{ kg/dm}^3$
  - $\rho$  epoxi (matris) =  $1,1 \text{ kg/dm}^3$
  - $V_f = 60\%$

Densiteten för kolfiberlaminatet blir då:

$$\rho_{\text{laminat}} = 1,7 * 0,6 + 1,1 * 0,4 = \mathbf{1,46 \text{ kg/dm}^3}$$

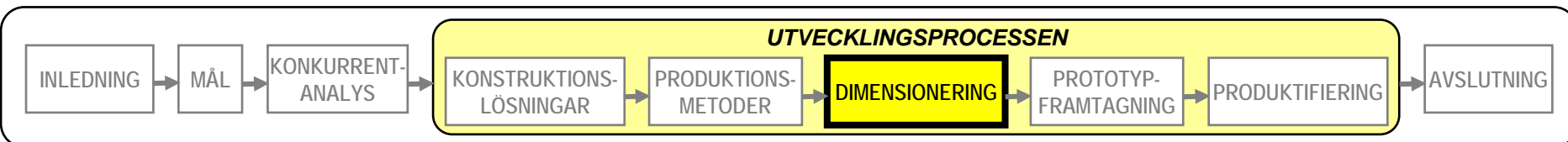




## *Dimensionering:*

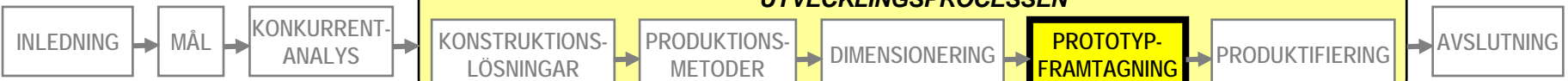
# Jämförelse mellan fiberkompositen och metaller

- Kolfiberkompositen:  $E = 60 \text{ GPa}$ ,  $\rho = 1,46 \text{ kg/dm}^3$ ,  $E / \rho = 41$
- Aluminium:  $E = 70 \text{ GPa}$ ,  $\rho = 2,7 \text{ kg/dm}^3$ ,  $E / \rho = 26$
- Stål:  $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $\rho = 7,9 \text{ kg/dm}^3$ ,  $E / \rho = 25$
- Titan:  $E = 110 \text{ GPa}$ ,  $\rho = 4,5 \text{ kg/dm}^3$ ,  $E / \rho = 24$



# Tillverkning av prototypen

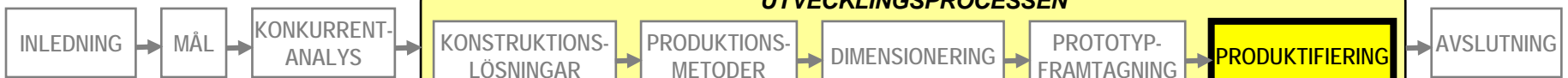
- 1 Ramen (inkl sitsen)
- 2 Hjulupphängningar
- 3 Styrningen
- 4 Framhjulsnaven
- 5 Kedjehjul
- 6 Övriga detaljer



## Produktifiering:

# Från prototyp till produkt

- Välja tillverkare
  - ↓
  - Ta fram nollserie
  - ↓
  - Utvärdera nollserie
  - ↓
  - Påbörja produktion
  - ↓
  - *Sälja triken*
  - ↓
  - *Produktvård*
- 

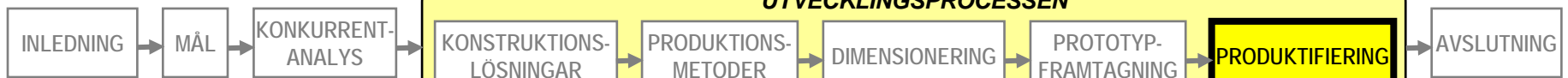




# Prissättningsstrategi

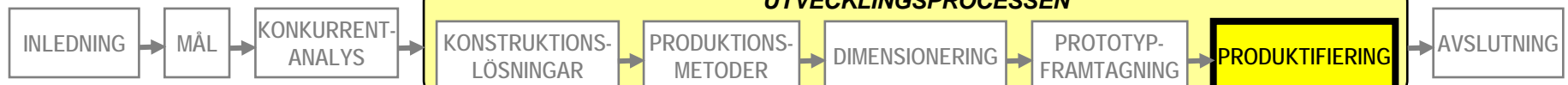
## Tre modeller

- Allroundmodell:  $URO-X_A$  30 000 SEK
- Touringmodell:  $URO-X_T$  45 000 SEK
- Lättviktsmodell:  $URO-X_L$  60 000 SEK



# Marknadsförutsättningar

- "Själv säljande"
- Låg serie, 10 – 100 st/år möjlig direkt
- Större serie, 100 – 1000 st/år möjlig då produkten mognat
- Taket ligger kring 1000 st/år
- Huvuddelen av försäljningen sker via nätet
- Huvudmarknader:
  - USA
  - England
  - Holland, Tyskland
  - Sverige, Danmark



# Resultat – *unik* för URO-X

- Marknadens lättaste tadpole
- Först på marknaden med kolfiberkompositram
  - Unik design
  - Olika hjulstorlek fram
  - Enkelt justerbar stol





# Avslutning - Frågor

- Projektet, produktutveckling
  - Fiberkompositter
  - Liggcyklar
- Exjobbände(!)

*Lars Viebke*

[www.viebke.nu/URO-X](http://www.viebke.nu/URO-X)

