

## **ENGINEERING DESIGN OF HEADREST FOR PASSENGER MOTOR CAR**

Zbynek Srp, Miroslav Soucek and Karel Liptak

*Keywords: Headrest, Engineering design (ED), Requirement, Alternative, Evaluation*

### **Abstract**

This work presents a complete solution of engineering design of a headrest for passenger motor car using systematic engineering design. This work is based on the design theory represented by worldwide known Professors W. Ernst Eder, V. Hudka, G. Pahl and W. Beitz and shows how it can help designers or design teams searching for solutions of their tasks. It is necessary to say, that in comparison with methodologies (e.g. German VDA) which strictly tells you step-by-step how to proceed, these methods improve the creativity and the effectiveness of engineering designers.

Headrest in modern luxury passenger motor car has to perform many very important functions. From the main thing which is safety to others such as comfort, high level of industrial design, etc. So the engineering design of headrest involves many questions and problems and our team without any former experiences in this branch attempted to develop a new engineering design of headrest using mentioned systematic methods.

### **1. Introduction**

This work has been carried out as the second part of semestral project at the Department of Machine Design. At first we have developed an engineering design of headrest using our own intuition only and current design knowledge and this developed engineering design have become a starting point of this work.

The assignment task was to make an analysis of this current product and to improve it using systematic engineering design. The result should be a new competitive engineering design of headrest for luxury cars of 3rd millennium.

### **2. Current product analysis**

Because we focused on high class cars, the most important points for us have been:

- SAFETY
- COMFORT
- HIGH LEVEL OF INDUSTRIAL DESIGN

Current engineering design analysis shows that headrest's values of required properties are deficient and therefore it's necessary to improve this current product.

### **3. Design specification**

The aim of this step was to work out a complete quantified list of requirements (a design specification) with set priorities (fixed requirement or desire feature).

We thought the classes of properties in relation to all phases of life cycle of technical systems (planning, designing, technological & organizational preparation for manufacture, manufacture and assembly, distribution, working process, liquidation) and new properties are the achieved result of it. These new properties are indicated by red colour in the table below (Figure 1).

POŽADAVKY K VNĚJŠÍM VLASTNOSTEM TS VZTAŽENÉ K TRANSFORM. PROCESŮM ŽIVOTNÍCH ETAP TS	POŽADOVANÁ HODNOTA	PODMÍNKY	PŘÁHÍ
<b>(1) POŽADAVKY K HLAVNÍM VLASTNOSTEM PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ</b>			
-VÝŠKOVÁ NADŠTĚPŇOVANĚ HLAVY	MAX. DO 2M HLAVY	X	
-NÁKLONĚM OPERY HLAVY VZÁKLONĚM NA POLICE OPEROLA	MAX. TOČNÝ ZÁHLAVOU	X	
DYNAMICKÁ ODKLOPNOST	PŘETIŽENÍ 10G	X	
MULTIMEDIÁLNÍ FUNKCE	LCD MONITOR		X
UMOCNĚNÍ SPOLEH SE SEDÁČKOU	TUHOST, PEVNOST	X	
<b>(2) POŽADAVKY K OSTRŮMÍM / PROJEKČNÍM VLASTNOSTEM</b>			
ČETNOST POLETÍ	VELMI VYSOKÁ	X	
ÚDRŽBA	NEBĚROUČNÁ	X	
PROSTOR PRO POLOHOVÁNÍ	DOSTATEČNÝ	X	
<b>(3) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM PRO PLÁNOVÁNÍ</b>			
KONKURBNĚCH PRŮDŮ K PRODUKTŮM NA TRHU	VYSOKÁ		X
PLÁNOVACÍ INOVACE	NOVĚNÁ		X
STRATEGIE PROJEKTŮ NA TRHU	DOURČENÁ		X
<b>(4) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM PRO KONSTR., TC. A DRG. PŘÍP. VÝROBY VÝROBU</b>			
ELASTICITA VÝROBY	VÝSOKÁ		X
NÁKLADY NA VÝROBU A MONTÁŽ	NÍZKÉ		X
ŽIVALITA	NEJVYŠŠÍ		X
PODPORA CAD/CAM	NOVĚNOST	X	
VÝVOJŮ TIC ČIHC STRUŽ	NOVĚNOST	X	
ALTERNATIVNĚ VÝROBY A MONTÁŽE	STŘEDNÍ	X	
DRUH VÝROBY	VELKOSERVOVÁ	X	
MĚRO VÝROBY	SPROJEDZOVANÉ ZÁRUD	X	
POUŽITÍ INOVATIVNÍCH MATERIÁLŮ	VELKÉ	X	
MOŽNOSTI VPEVNĚ A ÚDRŽBY	VYSOKÁ		X
POUŽITÍ NORMALIZOVANÝCH SYSTÉMŮ	VELKÉ		X
KOOPEROVACÍ - SUBODKAVATELE	HODNĚ		X
<b>(5) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM PRO DISTRIBUCI:</b>			
SHRUBOVÁNÍ	MALE PROSTORY		X
DOPRAVA	SPROJEDNĚNÍ PALETY		X
<b>(6) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM PRO LOKACI:</b>			
SNADNĚ DEMONTÁŽ			X
SEPARACE			X
RECYKLACE			X

POŽADAVKY K VNĚJŠÍM VLASTNOSTEM TS VZTAŽENÉ K OKRÁTOVÝM TRANSFORM. SYSTÉMŮM V ŽIVOTNÍCH ETAPÁCH TS	POŽADOVANÁ HODNOTA	PODMÍNKY	PŘÁHÍ
<b>(1) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K ČLOVĚKŮM</b>			
BEZPEČNOST PASÁŽERŮ	NEJVYŠŠÍ MOŽNĚ		X
PŘÍKRY ATRAKTIVNĚNOSTI			
AKTIVNĚ PROJEKČNÍ VÝROBY			
AKTIVNĚ OPERY HLAVY			
PŘÍKRY PŘÍKRY BEZPEČNOSTI			
CELKOVĚ NASTAVENÉ POLICE			
ZAJIŠTĚNÉ CELKOVÉ POLICE			
POKOUŠI A KOMFORT	DO NEJVYŠŠÍ		X
DESIGN	NELEPŠÍ		X
ERONOMIE			X
<b>(2) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K MATERIÁLU, OTOVĚ A ENERGETICKÉMU OKOLÍ</b>			
NEPOUŽITĚNÉ PŘÍKRY	?		X
ANTISTATICKÝ POKRYV			X
ANTISTATICKÝ POKRYV			X
BALEBNÁ STABILNOST			X
TERMOISOLACE			X
SNADNĚ ÚDRŽBA			X
NEHRAZIVOST			X
PŘÍKRYNOSTI POTRÁVENĚM MĚT			X
PŘÍKRYNOSTI POULI, OKRÁM A SEDÁČKŮ			X
<b>(3) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K KONFORČNÍM OKOLÍ</b>			
SNADNĚ OVLÁDÁNÍ			X
SNADNĚ ÚDRŽBA			X
ALTERNATIVNĚ PRŮDŮ	DO NEJVYŠŠÍ		X
PORUŠENÍ PÁTEMOVÝCH A LUKOVÝCH PRŮV			X
DALŠÍ PŘÍKRY A INOVAT			
<b>(4) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K OSTATNÍM TS</b>			
NÁROČNOST NA TECHNICKÉ PROSTŘEDÍ V ŽIVOTNÍCH ETAPÁCH	MINIMÁLNÍ		X
<b>(5) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K KONFORČNÍM</b>			
VÝROBNÍ A MONTÁŽNÍ DOCUMENTACE	STANDARD		X
NÁROČNÝ K OVLÁDÁNÍ	ZÁKLADNĚ		X
NÁROČNÝ PRO ÚDRŽBU A OPRAVY	ZÁKLADNĚ		X
<b>(6) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K ČASOVÉMU ŘÍZENÍ</b>			
ČAS NA VÝVOJ A VÝROBU	PŮL, ROKU - ROK		X
ČAS NA ÚDRŽBU A OPRAVY	DO NEJVYŠŠÍ		X
<b>(7) POŽADAVKY K VLASTNOSTEM K EKONOM. ŘEŠENÍ (MANAGEMENTU) PROCESŮ</b>			
PŘÍKRYNOSTI OVLÁDÁNÍ PRŮVĚDOVÝCH VÝROBY	DO 8 000 Kč		X
NÁKLADY NA PRŮVĚDOVÝ PRŮV	MINIMÁLNÍ		X

Figure 1. List of requirements

#### 4. Industrial design – preliminary studies

At the beginning of searching for a final solution, we made preliminary seat studies, where our headrest should be implemented.

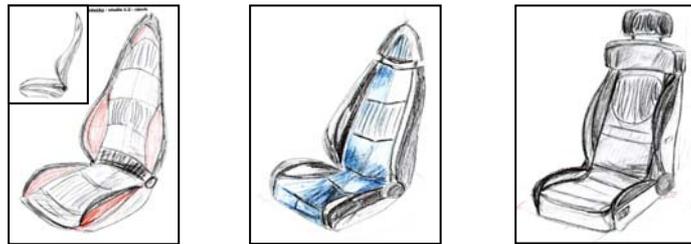


Figure 2. Preliminary seat studies

#### 5. Principal alternatives

We were thinking about two solution alternatives

- ALTERNATIVE 1 - economic alternative
  - alternative with manual position adjustment, mechanical drive and without airbag for rear passenger
- ALTERNATIVE 2
  - alternative with automatic position adjustment with possibility of manual readjustment, electric drive and airbag for rear passenger

Our preferred alternative is alternative 2. The economic alternative has been developed only for option of our customers and its dimensional layout will not be fully detailed.

## 6. Working transformation process

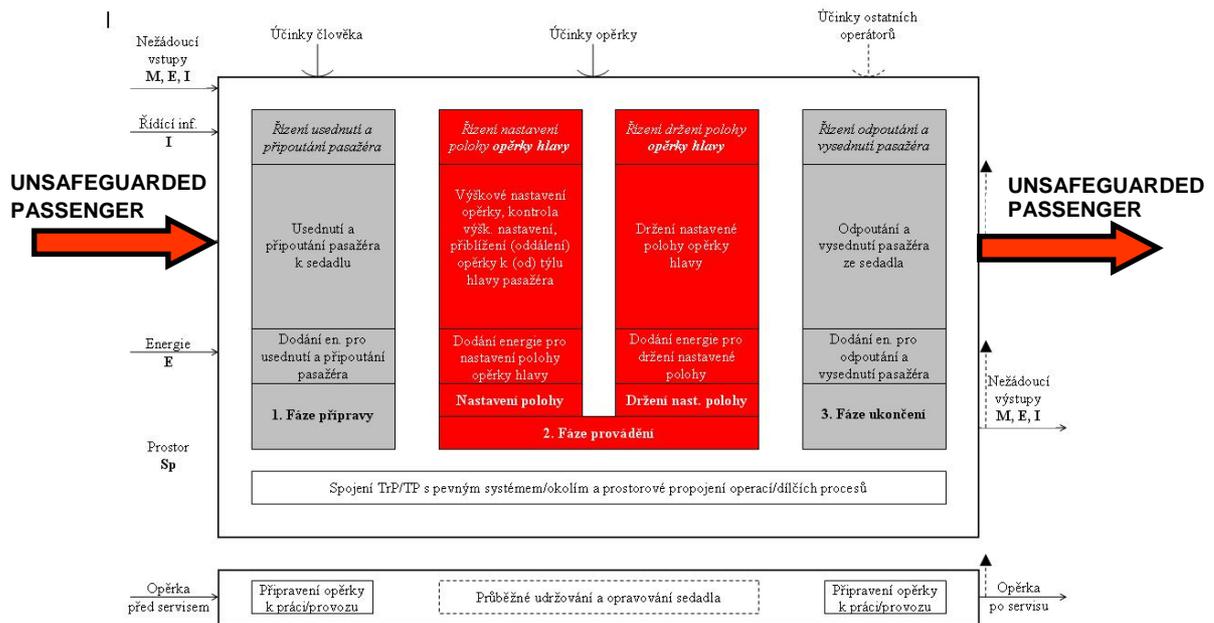


Figure 3. Working transformation process - headrest

## 7. Function structure

This structure contains sub-functions (especially inside working transformation process) that the technical system must fulfil to the transformation of technical system inputs into the desired effects. The main function of headrest is to save passengers it means to prevent head or neck injury in case of an accident.

There are two features of safety in modern cars. Feature of passive safety, which prevents not to occur an accident (ABS, ESP, ASR, clear outward visibility, etc.) and feature of active safety, that reduce consequences of an accident, when the accident is already occurred (active belts, airbags, headrests, etc.).

Our engineering design of headrest should fulfil the strictest requirements of active and also passive safety together with high comfort for passengers.

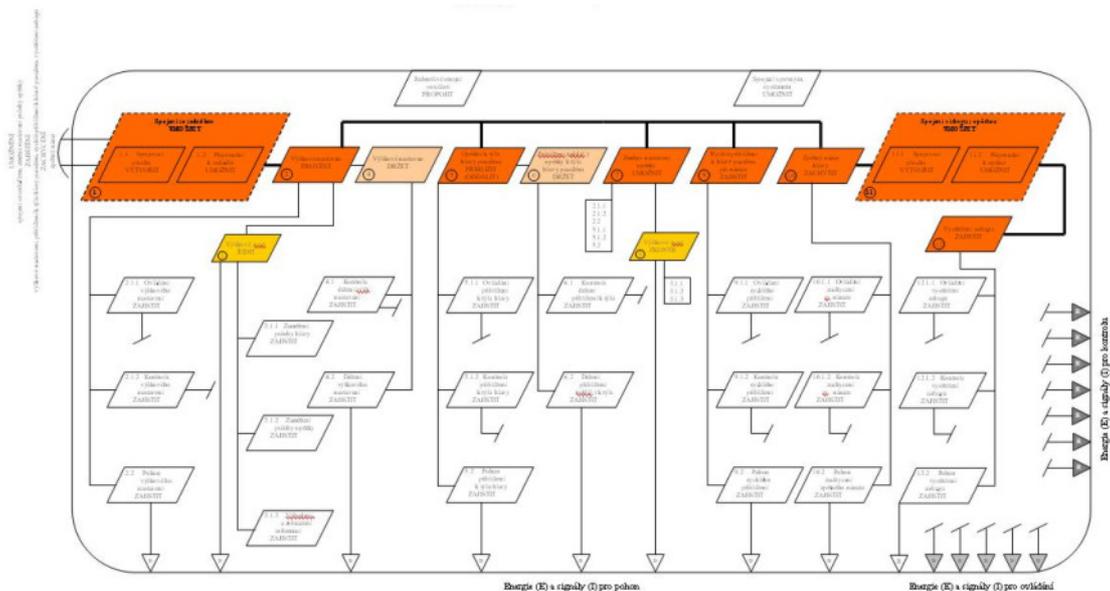


Figure 4. Function structure – alternative 2

# 8. Organ structure

## 8.1 Morphological matrix

The next step was the morphological matrix construction, which shows Fig.5. Sub-functions are situated in the first column (related to the function structure) and in the next columns are action principles. For execution a sub-function a more individual action principles can be used. So, if we make two attempts to link the action principles for each sub-function, we probably get two variants of one alternative.

The same method has been used for both alternatives.

DÍLCÍ FUNKCE	FUNKČNÍ PRINCIPY A PŘÍSLUŠNÉ ORGÁNY – NOSITELE FUNKCE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Mechanický			Elektrický			Pneumatický			Hydraulický		
1.1	mechan. - vod. tlak			útlak pole			útlak válec					
1.2	mechan. - vod. tlak			útlak pole			útlak válec					
2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
2.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
2.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
2.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
2.2.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
2.2.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
3	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
3.1.1	Změňování polohy hlavy	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
3.1.2	Změňování polohy opěrky	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
3.1.3	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
4	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
4.1	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
4.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6.2.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
6.2.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.1.3	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.1.4	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.2.1	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
7.2.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
8	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
8.1.1	Změňování polohy hlavy	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
8.1.2	Změňování polohy opěrky	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
8.1.3	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9.2.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
9.2.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10.2.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
10.2.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
11	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
11.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
11.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
12	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
12.1.1	Oněklá vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
12.1.2	Konkrétní vykonávací jednotka	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					
12.2	Výkon v nastavení	mechan. - vod. tlak		útlak pole			útlak válec					

Figure 5. Morphological matrix – alternative 2



## 8.2 Concept sketches

We have achieved two variants for each alternative. We considered 2 alternatives, so now we have altogether 4 solution variants.

The next step in process of searching for the solution is to create concept sketches for each variant. These sketches show main components that are used in individual variants, and show their functions.

### 8.2.1 Concept sketch – alternative 1 (variant A)

We know that during the front crash, the passenger flies forward, the belts catch him and then passenger goes back into the seat. However, passenger goes back from 30 to 50 mm above the level of the seat. So, if position of the headrest weren't adjusted properly, neck of the passenger could be injured. Just therefore it is very important to adjust position properly.

The sketch shows how this alternative ensures the proper position adjustment and which components provide the active safety.

When a passenger sits down on the seat, the optical sensor focuses the passenger's head position. The information about the position goes into the CPU and there it is compared and evaluated with information about headrest position (there is equipment to monitor the headrest position in the seat backrest). Then the indicator situated on the dashboard shows to passenger the result – if the headrest adjustment is ideal or not. Passenger then adjusts the position manually.

#### Used components:

- Pyroshells – intended to bring the headrest nearer passenger's head in a flash, if the crash occurs, and thus free head movement of passengers is caught better
- MATE – components intended to recognize the direction of crash (situated under seats)
- Interposer bars – intended to ensure the vertical movement and to carry headrest shell
- Mechanical pawls – intended to fix the vertical headrest position

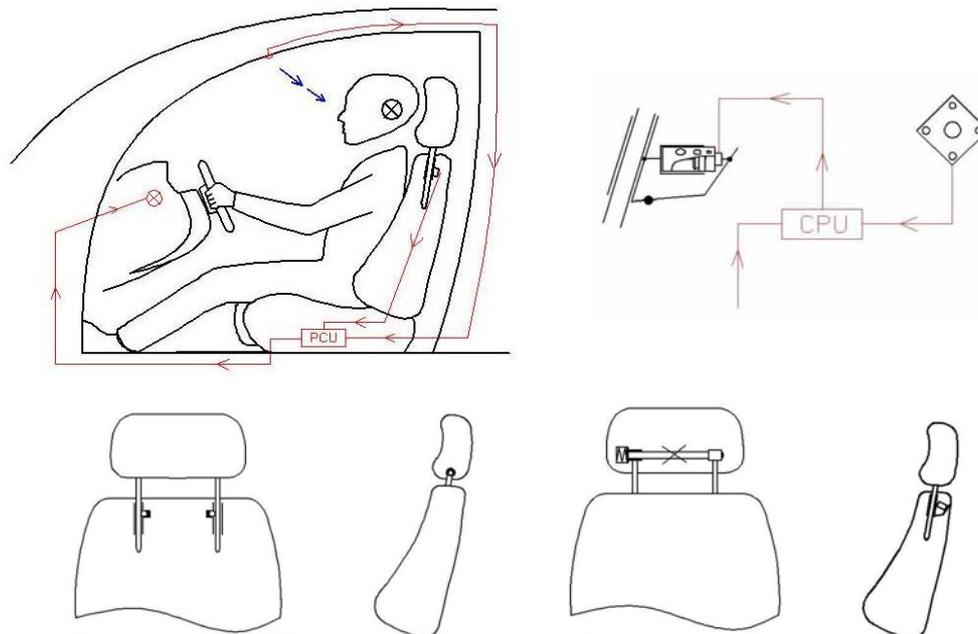


Figure 6. Concept sketch – alternative 1 (variant A)

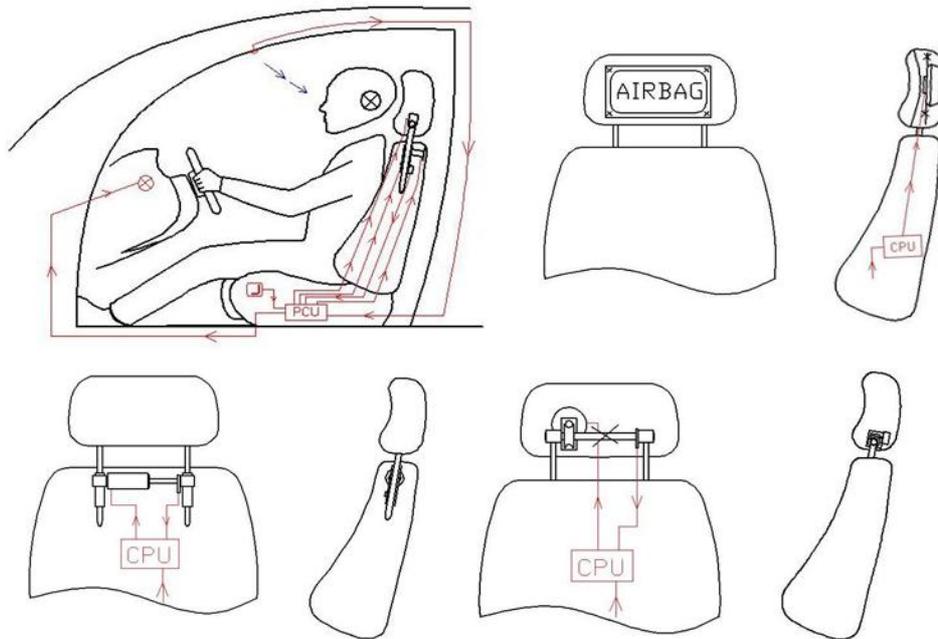
### 8.2.2 Concept sketch – alternative 2 (variant A)

Focus and information evaluation is the same as in alternative above. But there are differences in position adjustment.

When a passenger sits down on the seat, the optical sensor focuses the passenger's head position. The information about the position goes into the CPU and there it is compared and evaluated with information about headrest position (there is equipment to monitor the headrest position in the seat backrest). Then the CPU automatically adjusts the headrest to the proper position. If the passenger wants to readjust the position, it is possible manually using the control panel on the seat. In the case of bad adjustment, indicator situated on the dashboard shows to the passenger that the headrest position is not ideal.

Used components:

- Pyroshells – intended to bring the headrest nearer passenger’s head in a flash, if the crash occurs, and thus free head movement of passengers is caught better
- MATE – components intended to recognize the direction of crash (situated under seats)
- Airbag for rear passengers
- Circular bars – intended to carry headrest shell
- Ball screw – intended to ensure the vertical movement
- Stepping motor – intended to drive the headrest mechanism
- Pinion – intended to turn the headrest



**Figure 7. Concept sketch – alternative 2 (variant A)**

Note:

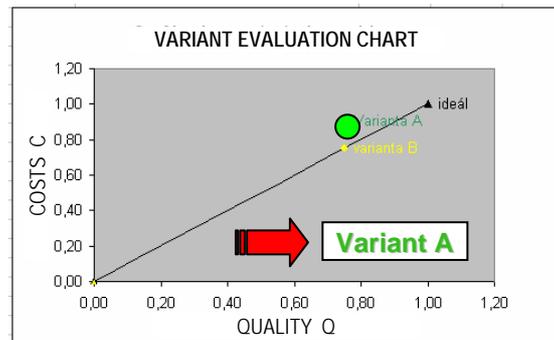
The function of further 2 variants is the same. However, there are used different components to ensure this function. The similar concept sketches have been also created for these variants.

**9. Variant evaluation**

If organ structures are established, it is necessary to evaluate variants and choose the best one for a detail dimensional layout.

I mentioned that our team was focused on headrests for high-class cars. This fact count on rich customers and it means that for us the high quality is more important than low cost.

	Varianta / alternativa	A	B	IDEAL
	funkce 2 ( výškové nastavení )	4	3	4
Kriteria	funkce 3 ( řízení výškového n. )	3	2	4
jakosti Q	funkce 4 ( držení výškového n. )	3	4	4
	funkce 5 ( přiblížení (oddálení) opěrky )	4	3	4
	funkce 6 ( držet opěrku hlavy v dané ploze )	3	4	4
	fukce 7 ( změna natavení opěrky )	3	2	4
	funkce 8 ( kontrola výškového nastavení )	4	4	4
	funkce 9 ( rychlé přiblížení k hlavě )	4	1	4
	4funkce 10 ( zachytit zpětný náraz )	4	3	4
	funkce 11 ( spojení airbagu s opěrkou )	4	3	4
	funkce 12 ( vystřelení airbagu )	4	4	4
	celk. součet hodnocení	40	33	44
	celk. norma hodnocení	0,91	0,75	1
Kriteria	výrobní náklady	3	3	4
nákladů C	celk. součet hodnocení	3	3	4
	celk. norma hodnocení	0,75	0,75	1
	CELKOVÉ PORADÍ	1	2	



**Figure 8. Variant evaluation – alternative 2**

Note:

*We have performed variant evaluation of both alternatives. However below, we only concern with engineering design of optimal variant (variant A) of the alternative 2*

## 10. Preliminary layout

This layout shows possibilities of position adjustment and how our headrest works during a crash.

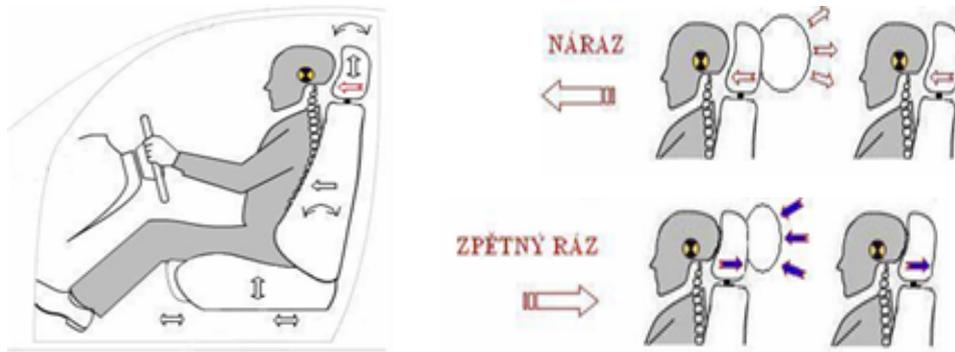


Figure 9. Preliminary layout

## 11. Dimensional layout

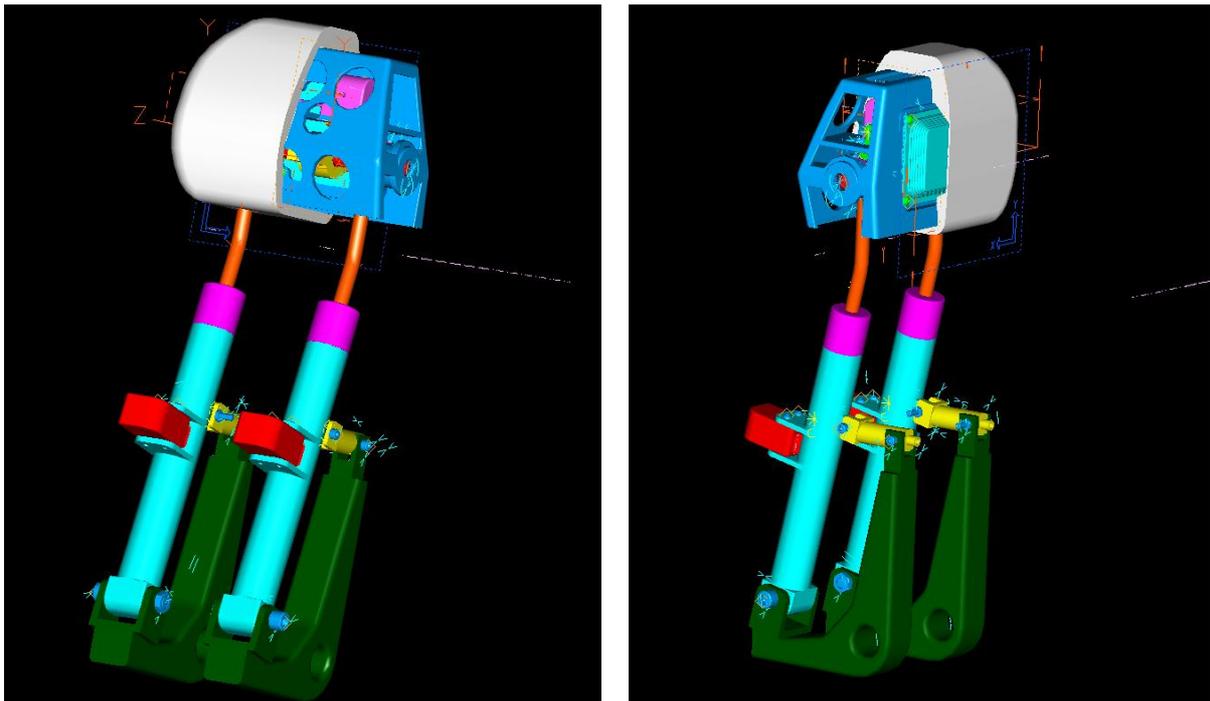


Figure 10. Dimensional layout – assembly drawing

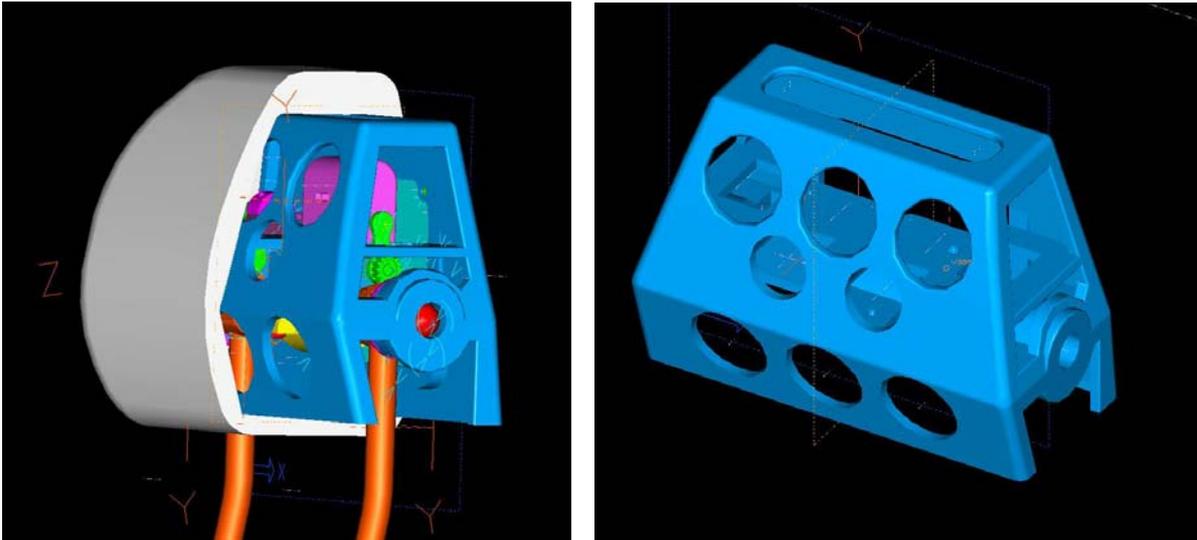


Figure 11. Dimensional layout – headrest detail (left), headrest shell made of composites (right)

## 12. Evaluation

At the end of our searching for the solution, we have evaluated our new engineering design of headrest with current ED and with the engineering design of competitors. The evaluation gives us the answers regarding the requirement fulfilment, competitiveness, etc.

The chart below shows that we were successful and our new engineering design fulfils the requirements of headrests for luxury cars of 3rd millennium and it is fully competitive.

ODS a celkové součty vážených hodnocení	*	*	*	Krit. OTC	Dosaž. Řešení	Nevř. Řešení	Výkř. Řešení	Uděln. Řešení
ODS součty (a) \(\chi\) váženého hodnocení Q	*	*	*	Q	75	80	71	104
ODS součty (b) \(\chi\) váženého hodnocení Q	*	*	*	Q	94	122	108	148
ODS součty (c) \(\chi\) váženého hodnocení Q	*	*	*	Q	28	34	39	40
Suma všech součtů váženého hodnocení Q	*	*	*	Q	198	246	208	292
Výsledná normalizace hodnocení Q	*	*	*	Q	0,67902	0,84346	0,71575	1
ODS součty (a) \(\chi\) váženého hodnocení T	*	*	*	T	*	*	*	*
ODS součty (b) \(\chi\) váženého hodnocení T	*	*	*	T	3	2	3	4
ODS součty (c) \(\chi\) váženého hodnocení T	*	*	*	T	*	*	*	*
Suma všech součtů váženého hodnocení T	*	*	*	T	3	2	3	4
Výsledná normalizace hodnocení T	*	*	*	T	0,75	0,5	0,75	1
ODS součty (a) \(\chi\) váženého hodnocení C	*	*	*	C	*	*	*	*
ODS součty (b) \(\chi\) váženého hodnocení C	*	*	*	C	6	4	4	8
ODS součty (c) \(\chi\) váženého hodnocení C	*	*	*	C	*	*	*	*
Suma všech součtů váženého hodnocení C	*	*	*	C	6	4	4	8
Výsledná normalizace hodnocení C	*	*	*	C	0,75	0,5	0,5	1
ODS součty (a) \(\chi\) váženého hodnocení R	*	*	*	R	57	62	57	72
ODS součty (b) \(\chi\) váženého hodnocení R	*	*	*	R	36	36	31	44
ODS součty (c) \(\chi\) váženého hodnocení R	*	*	*	R	*	*	*	*
Suma všech součtů váženého hodnocení R	*	*	*	R	93	98	88	116
Výsledná normalizace hodnocení R	*	*	*	R	0,80724	0,84603	0,79862	1
22 ODS všech součtů váž. hodnot kritérií Q, T, C, R	*	*	*	Z	300	360	334	420
Výsledná norma. hodnota splnění tout. testu	*	*	*	Z	71,43%	83,33%	72,98%	100%

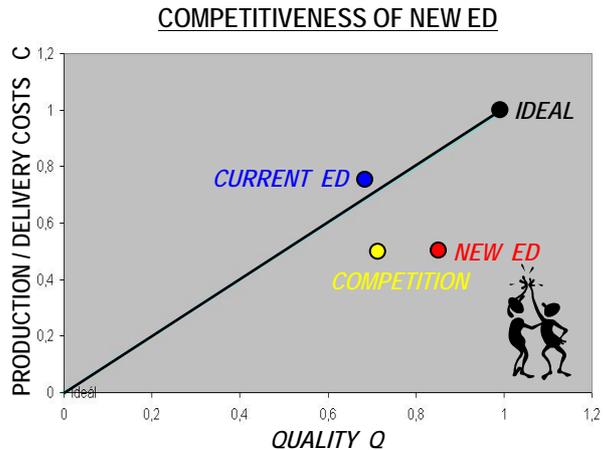


Figure 12. Evaluation table and competitiveness chart of new engineering design

## 13. Conclusion

Although our team hadn't had any former experiences in the designing of headrests before we started to design it, we were able to create a new competitive engineering design of the headrest using systematic engineering design approach. It shows that a systematic method is one way how to improve the effectiveness and creativity of engineering designers or design teams.

## Acknowledgement

This semester project has been already presented to the management of GRAMMER Company, Tachov, Czech Republic, and GRAMMER Company, Amberg, Germany.

Special thanks are expressed to Professor Stanislav Hosnedl, who was continuously helping our team to improve the structure and content during the work development.

## References

*W. Ernst Eder, V. Hubka: "Engineering design", Zürich, Edition HEURISTA, 1992*  
*S. Hosnedl, "Systémové navrhování technických produktů", Plzeň, ZČU, 2004*

Zbynek Srp  
University of the West Bohemia in Pilsen  
Department of Machine Design  
Univerzitni 8, Pilsen, 306 14, Czech Republic  
Tel.: +420 724 503 690  
E-mail: z.srp@centrum.cz