

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



DISERTAČNÍ PRÁCE

Liberec 2020

Ing. Pavel Bartoníček



TEPLOTNÍ MAPA ČLOVĚKA V INTERAKCI S AUTOMOBILOVOU SEDAČKOU

DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program: P2302 Stroje a zařízení
Studijní obor: Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Ing. Pavel Bartoníček**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Ivan Mašín
Katedra částí a mechanismů strojů



Prohlášení

Prohlašuji, že svou disertační práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má disertační práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

10. prosince 2020

Ing. Pavel Bartoníček

ANOTACE

DISERTAČNÍ PRÁCE

TÉMA:

TEPLOTNÍ MAPA ČLOVĚKA V INTERAKCI S AUTOMOBILOVOU SEDAČKOU

ANOTACE: Disertační práce se zabývá inovací automobilové sedačky osobního vozu. Téma úzce spjaté s automobilovým průmyslem vzniklo v rámci spolupráce firmy Škoda-Auto a.s. a Technické univerzity v Liberci. Práce si klade za cíl vytvořit prototyp temperovaného sedadla s ohledem na tepelnou senzoriku zákazníka. Dalším cílem je převod subjektivního pocitu zákazníka na měřitelné fyzikální parametry. Výsledkem je komplexní prohled na problematiku konstrukce automobilové sedačky se zohledněním specifických požadavků zákazníka a uživatele osobního automobilu. Disertační práce je zaměřená na regulaci tepelného komfortu pasažéra osobního vozu. Zavedený pojem "teplotní mapy člověka" popisuje vzájemnou interakci mezi tělem pasažéra a automobilovou sedačkou z pohledu problematiky tělesné termoregulace. Práce shrnuje poznatky získané při studiu problematiky v oblasti tepelného komfortu. Na jejich podkladě stanovuje kroky a postup řešení. Aplikací inovačních nástrojů TRIZ došlo k zjednodušení systému výhřevu sedadla. Inovované řešení vykazuje potenciál dalšího zlepšování.

Klíčová slova: Zákaznické hodnocení, tepelný komfort, temperování, sedadlo automobilu, termoregulace, inovace, TRIZ

ANNOTATION

DOCTORAL THESIS

TOPIC:

THE HUMAN'S TEMPERATURE MAP IN AN INTERACTION WITH THE CAR SEAT

ANNOTATION: The dissertation thesis deals with innovation of car seat of passenger car. The topic closely related to the automotive industry originated within the cooperation of Škoda-Auto a.s. and Technical University of Liberec. The aim of this work is to create a prototype of a tempered seat with regard to the customer's thermal sensing. Another goal is to convert the customer's subjective feeling into measurable physical parameters. The result is a comprehensive overview of the design of the car seat, taking into account the specific requirements of the customer and the user of the car. The dissertation thesis is focused on regulation of thermal comfort of passenger car. The introduced term "human temperature maps" describes the interaction between the passenger body and the car seat from the point of view of the body thermoregulation. The thesis summarizes the knowledge gained in the study of problems in the area of thermal comfort. Based on them, it determines the steps and procedure of the solution. The application of TRIZ innovative tools has simplified the seat heating system. The innovative solution shows the potential for further improvement.

Keywords: Customer evaluation, thermal comfort, tempering, car seat, thermoregulation, innovation, TRIZ

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Rudolfu Martonkovi, Ph.D. a Ing. Martině Ryvolové, Ph.D., kteří mi pomáhali s přípravou této práce, realizací experimentů, odbornými radami a byli mi vzorem a oporou svojí obětavostí a nekonečnou trpělivostí.

Můj dík patří vedoucímu disertační práce doc. Dr. Ing. Ivanu Mašinovi, který mě napříč doktorským studiem vedl.

Dík patří pracovníkům Katedry částí a mechanismů strojů na TUL, jmenovitě prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc., prof. Ing. Lubomíru Pešíkovi, CSc. a doc. Ing. Michalu Petřů Ph.D.

Tato práce by nevznikla bez pomoci Ing. Martina Nováka MBA ze Škody-Auto, a.s., který zadané téma zaštilil za Technický vývoj Škody-Auto.

Poděkování patří Ing. Jaroslavu Kaslovi, Ing. Milanu Dufkovi, Ing. Mikuláši Koukolskému, Ing. Miloslavu Sládkovi a Bc. Alešovi Dražilovi, kteří pomohli se získáním finanční podpory fy. Škoda-Auto a.s. na realizaci tohoto výzkumu.

Zvláštní poděkování patří Ing. Jiřímu Maruničovi, Ing. Janu Lenerovi a M. Balcarovi, bratrům ve víře, jejichž pevné morální zásady a nezlomná důvěra mi ukazovaly směr ve chvílích, kdy malověrní sešli z cesty. Kolegům, pod jejichž bedlivým a ostražitým dozorem jsem v průběhu celého studia byl: „Vy jste solí země a světlem světa.“ Matouš 5:13-16.

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů	8
1. ÚVOD	11
1.1 Společnost Škoda-Auto a téma elektromobility	13
1.2 Problematika automobilového sedadla	16
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	19
3. POPIS SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉHO TÉMATU, LITERÁRNÍ REŠERŠE	22
3.1 Hodnocení zákaznického komfortu	22
3.2 Termoregulace a senzorická odezva lidského organismu	27
3.3 Klimatizování prostoru kabiny osobního vozu	36
3.4 Inovace v oblasti kondicionování sedadel osobního vozu	48
3.5 Mechanismy sdílení tepla	52
3.6 Měření teploty a měřicí technika	55
3.7 Patentový průzkum	58
3.8 TRIZ – Víceúrovňová analýza systému automobilové sedačky	62
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	64
4.1 Metodika měření	64
4.1.1 Termodynamický systém uživatel-automobilové sedadlo	64
4.1.2 Stanovení požadavků na tepelné rozpětí	65
4.1.3 Definice měřících a vyhodnocovacích oblastí	67
4.1.4 Metodika měření výhřevu původních sedadel výrobcem	70
4.1.5 Hodnocení celkového tepelného komfortu pasažéra	72
4.1.6 Výběr kontrolní skupiny testovaných subjektů	74
4.1.7 Výroba experimentálního měřícího klimatického boxu	76
4.2 Reverzní rozbor sériového sedadla automobilu	79
4.3 Zřízení měřícího stanoviště, oživení původního výhřevu sedadla	79
4.3.1 Kontrolní měření sériového sedadla dle metodiky dodavatele	81
4.3.2 Homogenita teplotního pole sériové sedačky	83
4.3.3 Materiálové charakteristiky původní sedačky	87
4.3.4 Měření sériového sedadla kontrolní skupinou	88
4.4 TRIZ – Funkčně objektová analýza sériového sedadla	91
4.5 Inovovaný systém výhřevu sedadla osobního automobilu – prototyp	94
4.5.1 Použití metodiky TRIZ při návrhu prototypu sedačky	95
4.5.2 Použití metodiky TRIZ při realizaci prototypu sedačky	98

4.6	Finalizace návrhu a výroba prototypu	100
4.7	Výkresová dokumentace k prototypové sedačce.....	102
4.8	Měření prototypového sedadla kontrolní skupinou.....	103
4.9	Statistické vyhodnocení dat: jednovýběrový t-test.....	108
4.10	Srovnání teplot a časů sériového a prototypového výhřevu sedačky	108
5.	FEM/MKP ANALÝZA SÉRIOVÉ A INOVOVANÉ SEDAČKY	110
6.	MATEMATICKÝ MODEL REGULÁTORU VÝHŘEVU SEDAČKY	120
7.	FYZIKÁLNÍ MODEL HODNOCENÍ ZÁKAZNICKÉHO KOMFORTU	124
8.	DISKUSE POZNATKŮ A VÝSLEDKŮ	132
8.1	Sériové řešení výhřevu sedačky	133
8.2	Prototypové řešení výhřevu sedačky	137
8.3	Porovnání celkového tepelného komfortu sériové a prototypové sedačky	140
8.4	PMV-prediktivní model tepelného komfortu pro srovnání sedadel	141
8.5	Zhodnocení výsledků pro vědní obor a technickou praxi	144
8.6	Doporučení pro další výzkum	145
9.	ZÁVĚR	147
	SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ	149
	POUŽITÁ LITERATURA	149
	SEZNAM OBRÁZKŮ	159
	SEZNAM TABULEK	162
	SEZNAM GRAFŮ	163
	PŘÍLOHY	165

Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení	Jednotka	Název veličiny / popis
K	[N/m]	tuhost
f	[Hz]	frekvence
F	[N]	síla
p	[Pa]	tlak
τ	[Pa]	smykové napětí
m	[kg]	celková hmotnost
φ	[kg/m ³]	hustota
t	[s]	čas
t, T	[°C, K]	teplota, termodynamická teplota
I	[A]	elektrický proud
U	[V]	elektrické napětí
BMI	[-]	index tělesné hmotnosti
Sys / Dia	[mm Hg]	tlak krve max./ min.
C, C ₅	[Wh/kg]	kapacita baterie, akumulátoru
PHEV	[-]	Plug-in Hybrid
BEV	[-]	Battery Electric Vehicle
Full- Hybrid	[-]	plně hybridní vůz
REX	[-]	Range Extender, typ hybridního pohonu
Hp, Ps	[W, Watt]	Koňská síla, výkon (1Ps=0,735kW)
(A/C)	[-]	air-condition, klimatizační jednotka
v _{air}	[m/s]	rychlost proudění vzduchu v interiéru
PMV	[-]	Predicted Mean Vote /Index spokojenosti s tepelným komfortem /procento nespokojených zákazníků
PPD	[-]	Predicted percentage of dissatisfied / Index nespokojenosti s tepelným komfortem
TSV	[-]	Thermal Sensation Votes / Hodnocení tepelného komfortu
Δt_{sk}	[°C]	rozdíl tělesné teploty kůže
W	[-]	citlivost k tepelným podnětům
TES	[-]	Thermal Energy Storage (materiál akumulující tepelnou energii)
HVAC	[-]	Heating Ventilation And Air Conditioning
SAP	[-]	Super Absorbent Polymer/Látky s vysokou schopností vázat tekutiny
dummy / manikin / manekýna		normalizovaný anatomický model části těla sloužící k provádění zkoušek tepelného komfortu
kondicionování		temperování předmětu / prostoru klimatické komory pro potřeby provádění testu

CSCC	[-]	Car Seat Climate Control / Ovládání klimatizace sedadla osobního automobilu
TEC	[-]	Thermo Electric Cooler / Termoelektrický chladič
STAN	[-]	Seat Test Automotive manikin / Figurina pro testování zákaznického komfortu sedadel
FEM/MKP	[-]	Finite element method / Metoda konečných prvků
λ	[W/m.K]	součinitel tepelné vodivosti
R	[K.m ² /W]	tepelný odpor
Φ	[W]	tepelný tok
S	[m ²]	plocha
TCi TM	[-]	Thermal Conductivity Analyzer
Effusivita	[W.s ^{1/2} /m ² .K]	tepelná jímavost
TRIZ	[-]	tvorba a řešení inovačních zadání / Theory of the resolution invention related tasks
TR, FR	[-]	Technický rozpor, Fyzikální rozpor
cfm	[m ³ /min]	Cubic feet per minute / Průtok vzduchu systémem
A _b	[m ²]	Povrch těla (body)
c _{p,bl}	[J/kg.K]	Měrná tepelná kapacita krve
c _{p,a}	[J/kg.K]	Měrná tepelná kapacita vzduchu
x _{cl}	[mm]	tloušťka oblečení
k _{cl}	[W/m.K]	tepelná vodivost oblečení
χ_a	[%]	Měrná vlhkost vdechovaného vzduchu
χ_{cr}	[%]	Měrná vlhkost vydechovaného vzduchu,
η_{cl}	[-]	účinnost pronikání vlhkosti oděvem
f _{cl}	[-]	poměr plochy těla zakryté/nezakryté
m _{body}	[kg]	hmotnost těla
T _a	[°C]	Teplota vdechovaného vzduchu
T _{clc}	[°C]	Teplota oblečení (směr k ploše vnějšího prostředí)
T _{cle}	[°C]	Teplota oblečení (směr k ploše sedadla)
T _{sk}	[°C]	Teplota kůže (skin)
T _{cr}	[°C]	Teplota tělesného jádra (core)
$\dot{Q}$	[W]	tepelný výkon
$\dot{Q}_{ac}$	[W]	akumulovaný výkon v lidském těle
$\dot{Q}_{m,ac}$	[W]	tepelný výkon metabolismu, akumulovaný
$\dot{Q}_{m,sh}$	[W]	tepelný výkon metabolismu vlivem svalového třesu
$\dot{Q}_{rs}$	[W]	tepelný výkon, respirační
$\dot{Q}_{cn}$	[W]	tepelný výkon, vedení
$\dot{Q}_{cv}$	[W]	tepelný výkon, proudění, konvekce
$\dot{Q}_{rd}$	[W]	tepelný výkon, radiace
$\dot{Q}_{ev}, \dot{Q}_{evp}$	[W]	tepelný výkon, vypařování
$\dot{Q}_{cs}$	[W]	tep.výkon, únik prouděním krve do vnějšího prostředí

A	[m ²]	povrch
$\dot{m}$	[kg/s]	hmotnostní tok
l_{evap}	[kJ/kg]	výparné teplo vody
ϕ, χ	[-]	relativní vlhkost
K	[W/m ² ·K]	průměrná měrná tepelná vodivost
$\dot{V}$	[m ³ /s·m ²]	objemový tok
V	[m/s]	rychlost proudění
R	[m ² ·kPa/W]	difuzní odpor
L_e	[K/kPa]	Lewisův součinitel
x	[m]	tloušťka oděvu
k	[W/m·K]	tepelná vodivost oděvu
h	[W/m ² ·K]	součinitel přenosu
η	[-]	účinnost pronikání vlhkosti oděvem
f	[-]	poměr povrchu oblečeného a neoblečeného těla
w	[-]	pokrytí těla potem
α_{sk}	[-]	část hmoty těla připadající na kůži
ε	[-]	emisivita oděvu
σ	[W/m ² ·K ⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta

použité indexy:

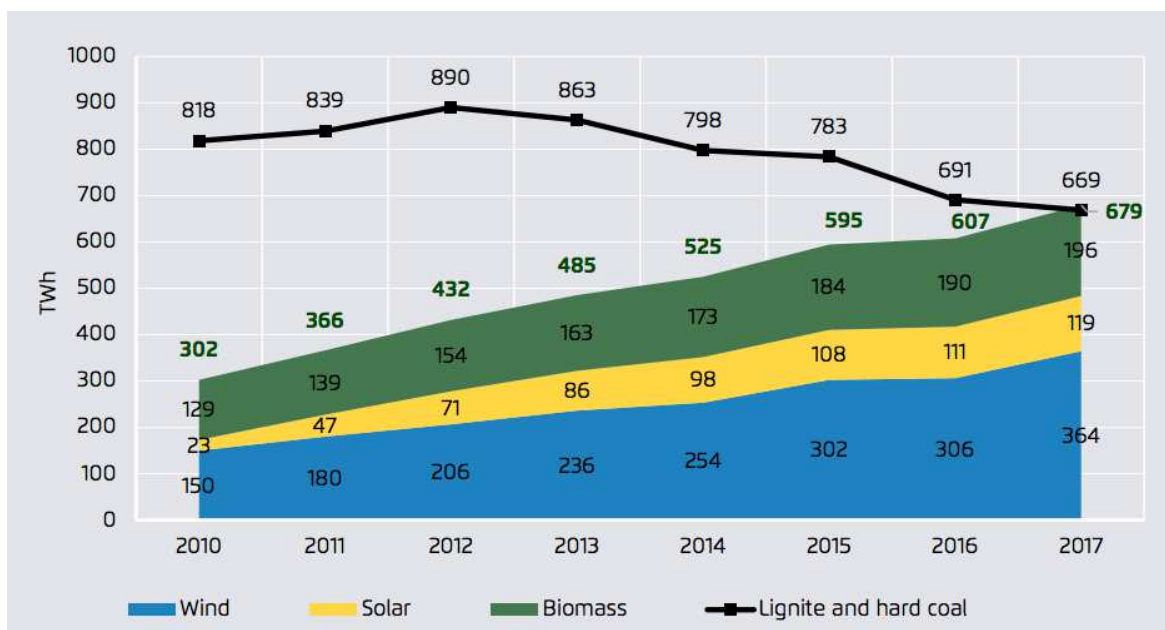
sk	kůže (skin)
cr	jádro (core)
cl	oblečení (cloth)
ac	akumulace (accumulation)
b	tělo (body)
ev	vypařování (evaporation)
cv	konvekce (convection)
cs	jádro vs. kůže (core vs. skin)
rd	radiace (radiation)
m	metabolismus (metabolism)
sh	svalový třes (muscle shaking)
sw	pocení (sweating)

1 ÚVOD

Automobilový průmysl prochází rozsáhlou transformací. Lidstvo se ocitá v historickém předělu, kdy po téměř 160 letech, končí období spalovacích motorů. Náhradou za ně by se měly stát motory elektrické. To, jak bude tato doba hodnocena našimi následovníky, ukáže až čas. Elektromobilita je nově zavedeným pojmem. Termín "energeticky CO₂ neutrální" rezonuje v informačním mainstreamu. Otázkou není kdy, ale jak.

Snaha EU být do roku 2050 klimaticky neutrální je chvályhodná, nicméně většina elektrické energie [1] je celosvětově, podle IEA – Mezinárodní energetické agentury, získávána (Graf 1) v hnědouhelných elektrárnách (39%) a spalováním plynu (23%). Celých 12% připadne na výrobu elektřiny spalováním ropy a obnovitelnými zdroji (slunce, biomasa, větrná energie).

Evropa se pyšní prvenstvím. V roce 2017 EU poprvé vyrobila víc elektřiny [2] z obnovitelných zdrojů, než ze spalování uhlí. Elektrická energie získaná z větru, slunečního svitu a biomasy se nyní podílí na pětině elektřiny vyrobené v EU.



Graf 1 - Výroba elektrická energie, obnovitelné zdroje vs. spalování uhlí. [3]

V Evropě tedy klesá spotřeba uhlí. Pokud se však podíváme blíže na EU jako celek, jde o dílčí iniciativu nejvyspělejších členů, kteří si mohou tuto změnu dovolit. Ve zbytku Evropy, tj. Španělsku, Polsku, České Republice a zemích bývalého Východního bloku není úplné odbourání uhelných elektráren na pořadu dne. Otázkou tak zůstává, zda "čistá" a "ekologická" elektromobilita je skutečně tím, za co se vydává.

Ponecháme-li stranou úvahy o ekologičnosti, potažmo logice elektromobility, pak největší výzvou dneška je uschovávání elektrické energie. Hustota energie, kapacita, kterou pojmu akumulátory elektromobilu, je fyzikálně daná výběrem typu akumulátoru. Toxické olovené akumulátory byly nahrazeny nikl-kadmiovými, nikl-metal-hydridovými a nyní nejrozšířenějšími lithio-iontovými akumulátory. Lithium-vzduchové články (Li-O_2) s grafenovými elektrodami by měly být příslibem desetinásobné kapacity, počítáno na jednotku hmotnosti akumulátoru.

Právě hmotnost je společným jmenovatelem pro další nevyřešený problém elektromobility. S rostoucí kapacitou baterie stoupá použitím tradičních technologií i její hmotnost. Z toho vyplývá celkem prosté zjištění: Zatímco kapacitu akumulátoru není možné při současném stavu techniky neúměrně zvyšovat, aniž by se současně nezvýšila hmotnost, pak je logicky nutné – je-li požadavek zvýšit dojezd vozu poháněného elektrickým motorem – snížit komfort zákazníka. Dochází k omezení funkcí, které nejsou nezbytné pro pohyb vozu; redukci klimatizování kabiny, snížení hmotnost karoserie vozu, ubírání na odhlučnění a izolaci vozu, konstrukcí subtilnějšího pohonného systému / vozu na hranici pasivní bezpečnosti.

Další možností je zaměřit se na řešení konkrétního problému použitím inovačního řešení metodou TRIZ [4,5]. Zde je pomocí hermeneutických technik klíčové nalezení technického rozporu na základě predikce dalšího vývoje. Použití metodiky TRIZ vede k nahrazení funkce a redukci výrobku. Funkce je ve změněné formě převzata a vykonána jinou částí systému, nebo je funkce prostě vypuštěna, protože v inovovaném systému je zbytečná. Parametr, který chceme ovlivnit a zlepšit je komfort zákazníka. Současně se snažíme o úsporu elektrické energie, kterou by bylo možné využít k pohonu elektromobilu. Tím dochází, TRIZovou terminologií, k technickému rozporu, protikladu: energie potřebná pro zvýšení dojezdu elektromobilu je současně potřebná pro klimatizaci kabiny řidiče.

1.1 Společnost Škoda-Auto a.s. a téma elektromobility

Škoda Auto, a.s. je největší automobilový producent (Obrázek 1) v České republice [6]. Počátky automobilismu se datují do roku 1895, kdy Václav Klement a Václav Laurin založili firmu na výrobu kol, později motocyklů. Roku 1905 vyrábí firma L&K první automobil. V roce 1907 zakládají akciovou společnost a vyrábějí vůz L&K model FF poháněný osmiválcovým motorem. V roce 1925 dochází k fúzi se Škodovými závody v Plzni, firma L&K přestala jako taková existovat, s novým obchodním označením „Škoda“ pro od té doby vyvíjené automobily. Společnost Volkswagen AG koupila zestátněný podnik AZNP v roce 1991 a nyní je jeho majitelem. Přejmenovaná společnost Škoda uvedla na trh automobily Favorit, Felicia a Octavia; vozy, kterými se hlásila ke své historii Laurin & Klement.



Obrázek 1 - Škoda Auto, výrobní hala M13 [6]

V roce 2020 má firma Škoda-Auto několik produktových řad. Nabízí nejmenší Citigo IV s plnohodnotným elektrickým pohonem (BEV), nebo s pohonem na zemní plyn. Dále Fabii, Scalu a Rapid, rodinné automobily střední třídy Octavia. Z palety SUV je v Mladé Boleslavi a Kvasínách nabízen Kamiq, Karoq a Kodiaq. Rodinu luxusních limuzín doplňuje Škoda Superb. Jako pohonné jednotky jsou dodávány motory zážehové, vznětové a nově kombinace s moderním plug-in hybridním pohonem. Do roku 2025 chce VW a Škoda-Auto nabízet i další elektrická vozidla. Důvodem je snížení emisí CO₂, za které se musí platit podle legislativy EU pokuta. Proto se paleta pohonů rozšiřuje. Uvažovány jsou tyto typy pohonů:

- PHEV - elektrický motor dobíjený ze zásuvky a spalovací motor, který se dobíjí v případě potřeby baterií. Ta se dobíjí i rekuperací při deceleraci.
- BEV - výhradně elektrický pohon, zdrojem energie jsou baterie.

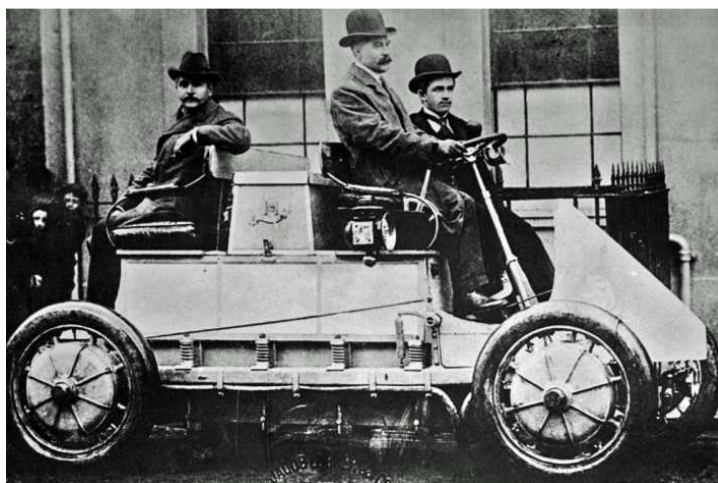
-
- REX - kombinace elektrického a spalovacího pohonu. Spalovací motor pouze generuje elektrickou energii v případě, že hlavní zdroj energie, akumulátor, je vybitý.
 - Full-Hybrid - vůz má elektrický i spalovací motor. Během nízkého zatížení tj. městském provozu, se používá akumulátor, který svojí velikostí a kapacitou nelze srovnávat s BEV koncepcí. Full-Hybrid není možné nabíjet ze sítě, nejde o PHEV. Používá se rekuperace.

V roce 2015 byl firmou VW představen plán vývoje modulární platformy pro elektrovozy BEV. Historicky však jsou elektromobily a hybridy známy už téměř 150 let. Roku 1885 František Křižík vyrobil první český elektromobil. V roce 1898 postavil elektromobil Ferdinand Porsche. Značka Porsche, stejně tak, jako Škoda-Auto, je součástí rodiny VW. Porscheho vůz Egger-Lohner C.2 Phaeton (Obrázek 2), měl elektromotory v kolech. Síla každého motoru byla 3-7 HP, koňských sil, tj. 2,2 kW až 5,1 kW.



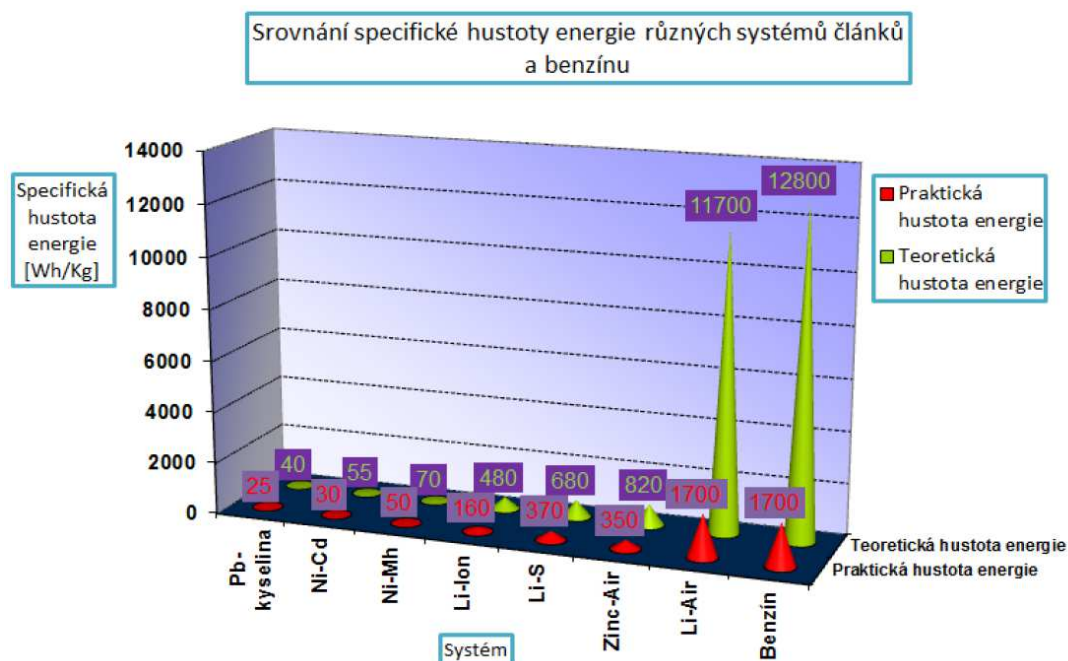
Obrázek 2 - Porscheho Elektromobil P1 / Egger-Lohner C.2 Phaeton. [7]

V roce 1900 začal Porsche a Lohner vyrábět vůz s hybridním pohonem (Obrázek 3) Lohner-Porsche Mixed Hybrid. Šlo o kombinaci elektrického a benzínového motoru.



Obrázek 3 - Hybridní elektromobil Lohner - Porsche Mixed Hybrid z roku 1900. [8]

Téma elektromobility není tedy ve světě nic neznámého, nového, či převratného. Elektrický motor byl sice, na rozdíl od spalovacího motoru, konstrukčně jednodušší [9], ovšem masová výroba Henryho Forda (r. 1906) přinesla zlevnění vozů právě se spalovacím motorem. Spalovací motory se staly spolehlivější, výroba levnější, pohonná směs byla dostupná prakticky na každém rohu. Projevila se tak nevýhoda elektrických baterií v porovnání s benzínem, konkrétně nižší hustota uchovávané energie uváděná jako gravimetrická hustota energie [Wh/kg]. Komerčně dosažená hodnota u pokročilých Li-Ion baterií je 350 - 400 Wh/kg. U olověných akumulátorů, použitých Křížkem i Porschem, je tato hodnota 40 Wh/kg. Benzín má specifickou hustotu chemické energie zhruba 13 kWh/kg [10]. I s přihlédnutím k faktu, že praktická výtěžnost je ve srovnání s teoretickými hodnotami hustoty chemické energie násobně nižší, díky chemickým omezením není baterie spalovacím motorům zatím soupeřem (Graf 2).



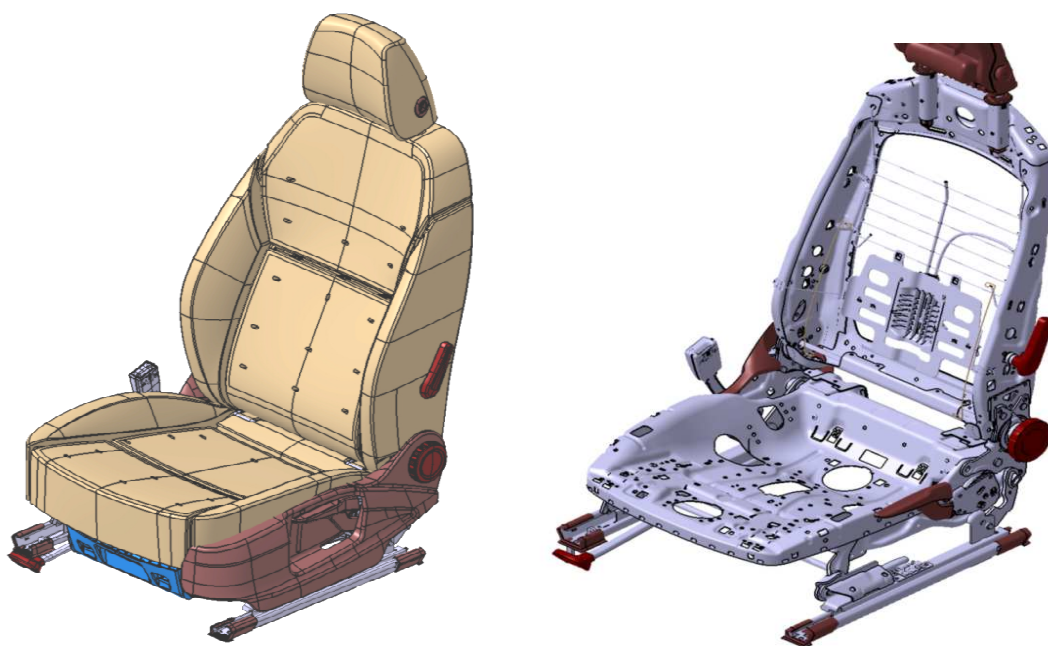
Graf 2 - Porovnání specifické hustoty energie různých typů elektrických článků vs. benzín. [10]

Jako slibné se nyní ukazuje použití lithium-sírové baterie, která slibuje, navzdory prozatím nízké životnosti v řádech stovek nabíjecích cyklů, teoretickou kapacitu hustoty uchovávané energie 1000 až 1500 Wh/kg. Problémem je zatím chemická nestabilita baterie. Příslibem by mohlo být použití grafenu jako katody [11].

1.2 Problematika automobilového sedadla

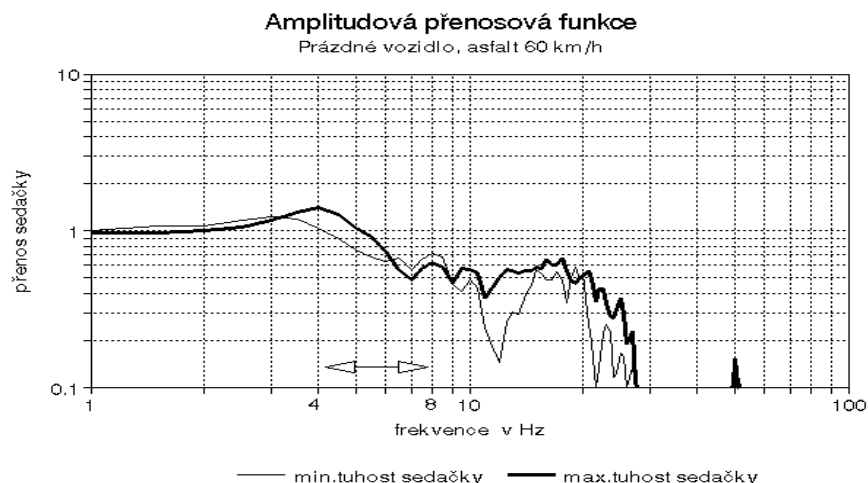
Vývoj a konstrukce automobilových sedaček představuje dlouhodobě v odborných kruzích jednu z důležitých a diskutovaných oblastí. Prostřednictvím sedadla dochází k vzájemné interakci mezi řidičem a vozem. Komfort sedadla tvoří významnou složku zákaznického hodnocení celého vozu, nadto ovlivňuje řidičovu pozornost a tím sekundárně bezpečnost provozu.

Sedadlo (Obrázek 4) plní řadu funkcí. Jeho skladba redukuje přenos vibrací z konstrukce automobilu na řidiče, snižuje působení tlaku a smyku na tělo řidiče dokonalejší distribucí v ploše. Z ergonomického hlediska plní funkci stabilizace pohybového aparátu.



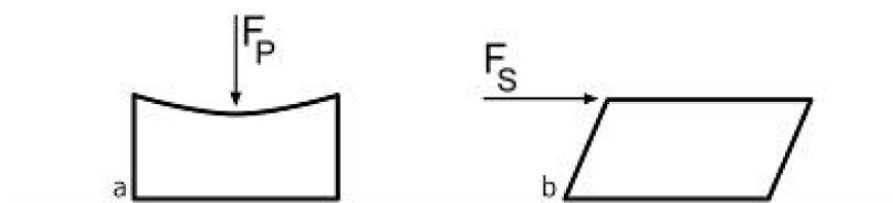
Obrázek 4 - Sedadlo řidiče a rám sedačky bez čalounění, vůz Škoda. [12]

Vibrace, zejména mechanické kmitání s proměnlivou amplitudou v pásmu 1 Hz až 20 Hz, vznikají reakcí konstrukce automobilu na jízdní profil tratě a pohon automobilu. Vibrace působí negativně na řadu vnitřních orgánů, jsou příčinou ztráty řidičovy koncentrace a při dlouhodobé expozici poškozují lidský organismus. Nejcitlivější je lidský organismus na frekvenční pásmo 4 – 8 Hz ve svislém směru a 1 – 2 Hz v podélném směru [13]. Expozice vibracemi nad 30 Hz jsou tlumeny hmotou sedačky (Graf 3) a nevykazují významnější vliv, protože vnitřní orgány mají svoji rezonanční frekvenci v nižších hladinách, např. hlava 2 Hz, vnitřní orgány 4 – 6 Hz. Jako řešení redukce přenosu vibrací jsou používány materiály na bázi PUR – různé druhy polyuretanových pěn s uzavřenou, nebo otevřenou strukturou a proměnlivou tuhostí. Další vývoj se ubírá směrem k visko - elastickým pěnám se schopností tvarové paměti, kdy pěna mění své vlastnosti v reakci na teplotu okolí.



Graf 3 - Přenosová funkce automobilové sedačky. [13]

Kromě polyuretanových pěn jsou používány například recykláty, nebo ekologické a biologicky odbouratelné materiály, jako celulóza z bambusových vláken či vláken různých dřevin. Kromě funkce snižování vibrací musí výplň sedadla splňovat funkci transportu tělesné vlhkosti, která při dlouhodobém sezení zvyšuje možnost poškození pokožky zánětlivým procesem a celkově snižuje komfort pasažéra. Zprostředkováním dokonalejšího kontaktu sedačky s tělem řidiče dochází k redukci statických tlaků a jejich rovnoměrnějšímu rozložení v ploše (Obrázek 5).



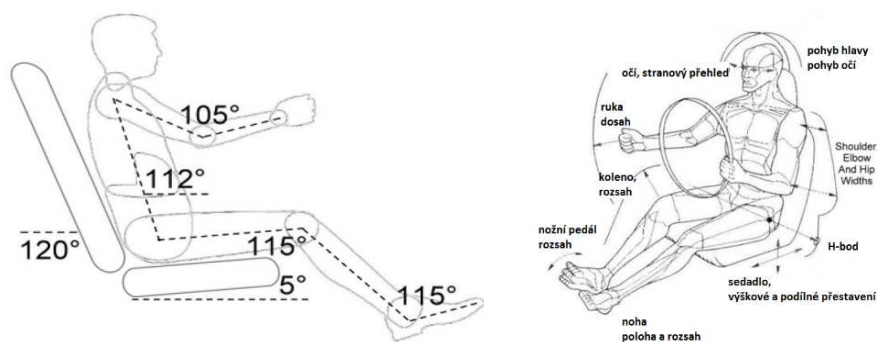
Obrázek 5 - Smysl působení tlakové a smykové síly. [14]

Naopak s rostoucí expozicí těla statickými tlaky dochází k omezení krevního oběhu dolních končetin uživatele [15]. Poškození tkání a pohybového aparátu dlouhodobým sezením je diagnostikováno jako RSI syndrom (Repetitive Strain Injury). K poškození tkání na základě přímého tlaku způsobeného hmotností řidiče a smyku (Rovnice 1) způsobeného podélnými a příčnými silami dochází zejména na predilatačních místech tj. místech [15], kde je malá izolační vrstva podkožního tuku a svalstva mezi sedací kostí a plochou sedadla. Tlak je definovaný jako síla F_P [N] kolmá na plochu vymezená stranami a , b [mm]. Střížná síla F_S [N] je síla působící smyk v materiálu sedadla. Sledovaná je velikost smykového napětí τ [Pa].

$$\tau = \frac{F_S}{a * b} ; [Pa] \quad (1)$$

Postiženy jsou hýždě, boky, oblast pánve a paty. Expozice statickým tlakem zvyšuje tlak v kapilárách. Perfúzní tlak (tlak krve protékající v tkáních) při hodnotách nad 32 mm Hg vede k poruše cirkulace krve s možným ischemickým poškozením tkání [15]. Rozhodující je délka doby působení tlaku. Je udávána doba mezi 1. až 6. hodinou. Tuhost sedáku by měla být taková, aby perfúzní tlak v kapilárách byl pod 45 mm Hg. Pro představu vzduchová náplň vykazuje tlak 32 mm Hg, pěnová 68 mm Hg. Tvrdá, nedeformovatelná podložka zvyšuje tlak v kapilárách na 140–260 mm Hg. Mechanismus poškození tlakem je definovaný jako proces, při němž dochází ke snížení prokrvení a zásobení organismu kyslíkem. Vlhkost v kombinaci s třecími a smykovými silami proces urychluje [15]. Nastupuje zánětlivá reakce, extrémním důsledkem je odumírání kožních buněk a nekróza pozorovatelná u dlouhodobě ležících pacientů.

Stabilizace těla řidiče v automobilové sedačce je řešena konstrukcí rámu s proměnlivou geometrií [14]. Sedadlo s možností nastavení posuvu a sklonu sedáku a zádové opěry reflektuje anatomii lidského těla, snižuje senzorickou zátěž a únavu řidiče. Nejrychlejším řešením z hlediska uživatele vozu je optimalizovat sklon sedadla v podélné rovině. Sedadlo je vybaveno bederní opěrkou páteře, prodloužením opěrky stehenních kostí, výškově stavitelnou hlavovou opěrkou, přestavitelným sklonem sedáku, podélným posuvem a přestavitelným opěrákem zad. V materiálech řešících problematiku ergonomie [16, 17, 18] jsou stanoveny definice komfortu eventuálně diskomfortu. Komfort je spojován s pocitem vyšší přidané hodnoty a estetickým zážitkem. Diskomfort souvisí s biomechanickými faktory a únavou nakumulovanou během dne. Nebyla nalezena souvislost mezi délkou expozice a mírou uspokojení zákazníka, což naznačuje, že subjektivní hodnocení vzniká už jako výsledek prvního dojmu při prvním setkání se sedačkou a dále se už názor významně nemění. Automobilové sedadlo (Obrázek 6) je rovněž součástí pracovního prostoru řidiče.



Obrázek 6 - Optimální sklon sedadla řidiče a rozložení pracovního prostoru. [14]

Pracovní prostor zohledňuje [16, 19, 20, 21] funkční požadavky, manipulační prostor a dosahovou vzdálenost k ovládacím prvkům. Z antropometrického hlediska je sedadlo moderátorem ovládání, sezení, přehledu situace ve voze i okolo něho. Komfort lze zvýšit přidanými funkcemi, jako jsou klimatizace sedadla, prosté odvětrání, regulace teploty a vlhkosti, funkcí masáže zad. Účelem popsaných funkcí je dodat přidanou hodnotu a zvýšit atraktivitu vozu v očích zákazníka.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce se zabývá problematikou tepelného komfortu pasažéra osobního vozu se zaměřením na výhřev sedadla řidiče. Toto téma je aktuální především v době rozvoje elektromobility. Střetávají se zde dva protichůdné požadavky. Na straně jedné snaha zvýšit komfort posádky automobilu kondicionováním vnitřního prostoru automobilu [22]. Na druhou stranu snaha ušetřit a snížit energetické nároky z důvodu zvýšení dojezdu elektromobilu. Parametr "dojezd" u vozu s elektrickým pohonem je sledovaný klíčový parametr, automobilovým producentům přináší konkurenční výhodu. Výhřev sedačky pak zvyšuje komfort pasažéra [14]. Adler S. [14] dále zmiňuje fakt, že uživatelé akceptují nižší teploty v interiéru, pokud je sedadlo vyhřívané. Tento poznatek vedl k myšlence soustředit výhřev sedadla do vytipované oblasti a zároveň zachovat tepelný komfort pasažéra. Téma bylo zpracováno na základě studia odborné literatury a firma Škoda-Auto a.s. tento výzkum a zaměření doktorského studia podpořila ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci. Z rozboru konstrukce automobilových sedadel s funkcí výhřevu vyplynul závěr, že výrobci dávají přednost plošné teplotě bez ohledu na specifické požadavky lidského organismu. Expozice zvýšenou teplotou [23] přitom nese i zdravotní rizika, např. přehřátí organismu, zvýšení vlhkosti a následné paradoxní snížení tepelného komfortu pasažéra.

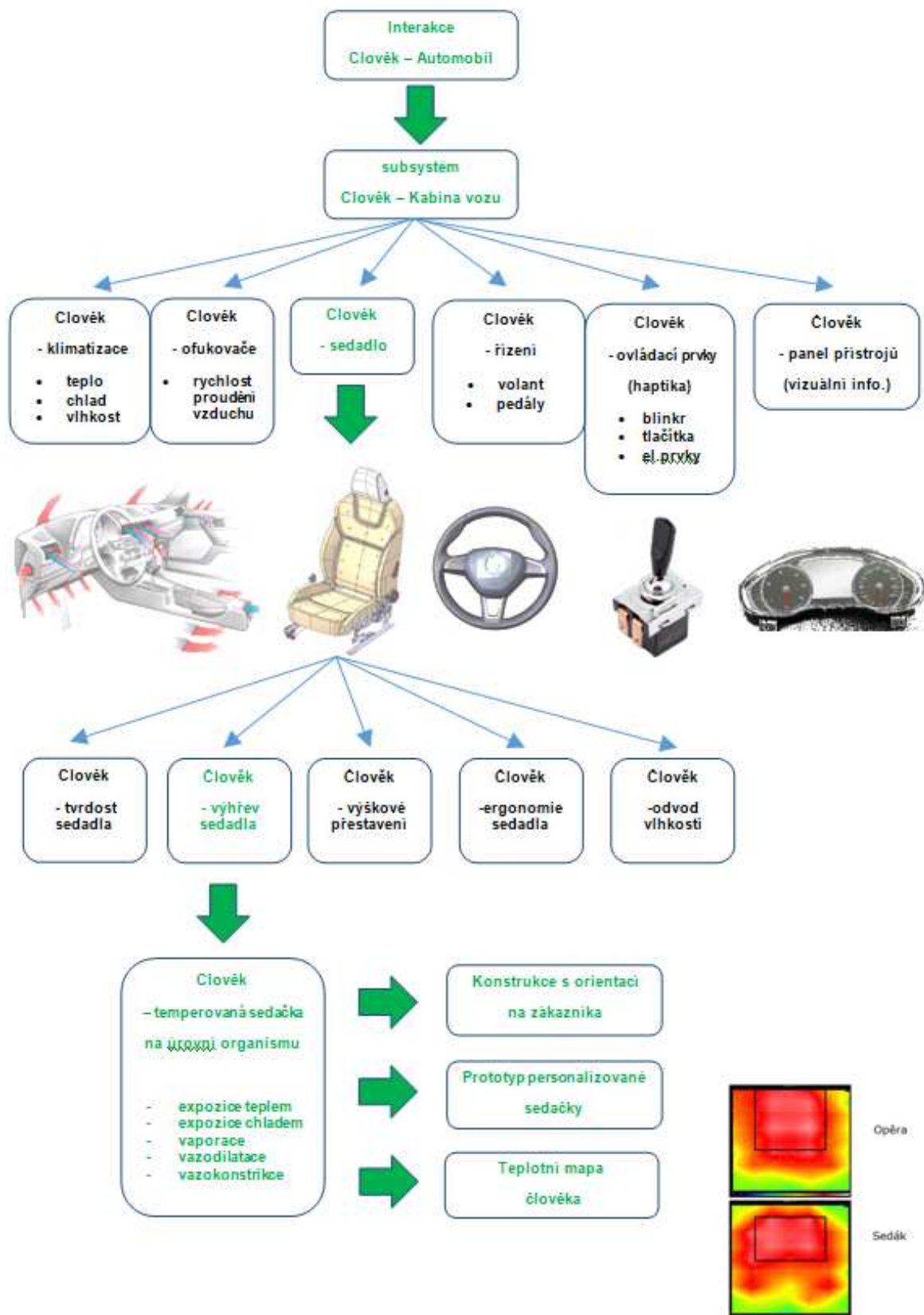
Cílem disertační práce je vytvořit prototyp sedadla s výhřevem koncentrovaným do oblastí konkrétních tělesných partií a odstranit tak potřebu plošného výhřevu. Pro účel práce bylo potřeba nalézt takovou teplotu, která by definovala horní mez pro tepelný komfort pasažéra a přitom ještě poskytovala dostatečné pohodlí. Poznatky dostupné z výzkumu v této oblasti jsou podloženy experimenty, vytvořením modelu a simulací a podpořeny hodnocením zákaznické spokojenosti (Obrázek 7).

CÍL 1: Stanovení konkrétních teplotních polí člověka na povrchu těla.

Vypracování řešerše z literatury a dostupných zdrojů k tématu tepelného komfortu a výhřevu sedaček osobního automobilu. Stanovení požadavků na teplotní rozpětí pro správnou funkci vnitřních orgánů u sedícího pasažéra. Stanovení citlivosti povrchu těla na změnu teploty. Definice charakteristických bodů a jejich teplota. Vytvoření metodiky měření. Experimentální ověření na vzorku populace.

CÍL 2: Prototyp sedačky s personifikovaným teplotním polem.

Vytvoření virtuálního modelu sedačky s personifikovaným teplotním polem. Stavba funkčního prototypu. Experimentální ověření na vzorku populace. Porovnání reálného modelu a virtuálního modelu.



Obrázek 7 - Vymezení cílů disertační práce. Zdroj: Autor

Ze zdrojů [23] byly sumarizovány požadavky pro okrajové podmínky měření. Získané poznatky byly experimentálně ověřeny a byla získána hrubá data, která se stala základem experimentální části práce. Na základě získaných informací byla provedena úprava zkušebního postupu s ohledem na specifické podmínky a měřicí vybavení.

Firma Škoda-Auto a.s. testuje sedačky a zákaznický komfort podle interních metodik koncernu VW, které se opírají o výzkum v oblasti lidského zdraví a zákaznického komfortu. Práce vychází z této metodiky a poznatků. Osobní automobily firmy Škoda jsou používány zákazníky napříč Evropou i celosvětově. Hodnotícím kritériem je sledování zákaznické spokojenosti při dodržení hygienických norem s ohledem na tělesný komfort pasažéra a fyziologické limity organismu při definovaných teplotách.

K testování tepelných podmínek sedadel se používají klimatické komory. Firma Škoda nabídla možnost použít k testování její prostředky umožňující simulovat podmínky typické pro Evropské klima panující v zimních měsících

3 POPIS SOUČASNEHO STAVU ŘEŠENÉHO TÉMATU, LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Hodnocení zákaznického komfortu

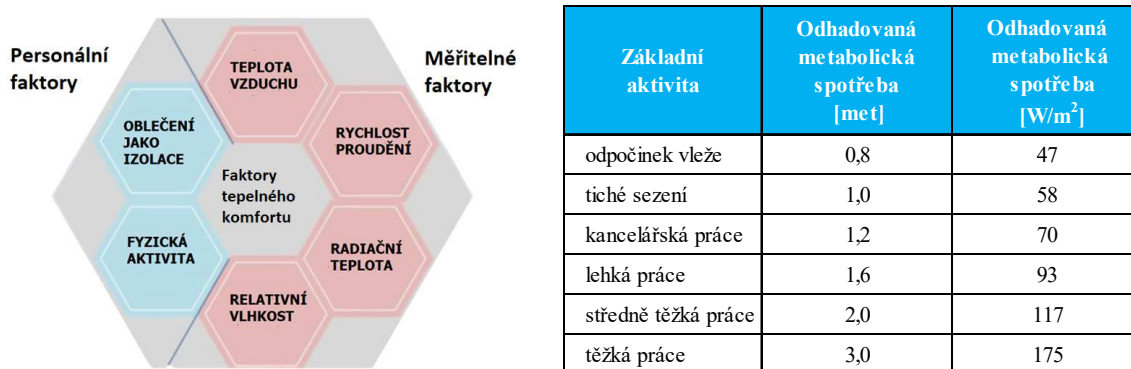
Kolektiv autorů [24] si v příspěvku „Factors which influence the thermal comfort inside of vehicles“ stanovil za úkol zpřesnit vlivy ovlivňující tepelný komfort. To je stav, kdy tělo vydává nejméně energie na regulaci teploty tělesného jádra. Je zaveden termín PMV (Predicted mean vote), což představuje index spokojenosti s tepelným komfortem sledovaný skupinou pasažérů vozidla (Tabulka 1).

Tabulka 1 - Teplota interiéru a relativní vlhkost v korelaci s okolní teplotou. [24]

Sezóna	Venkovní teplota [°C]	Vnitřní teplota [°C]	Min.relativní vlhkost [%]	Max relativní vlhkost [%]
Léto Zima	< ± 20	22	35	70
	+ 20	22	Není dostupná	70
	+25	23	Není dostupná	65
	+30	25	Není dostupná	60
	+32	26	Není dostupná	55

Druhým termínem je PPD index (Predicted percentage of dissatisfied), což je kvantitativní parametr očekávaného nesouhlasu s prostředím v kondicionovaném prostoru osobního vozu. Autoři navrhuji sledovat tyto proměnné (Obrázek 8): teplotu vzduchu, relativní vlhkost, teplotu vyzařovanou (sálání) a rychlost proudění vzduchu. Kromě nich doporučují sledovat faktory, jako úroveň tělesné aktivity a izolaci těla tj. oblečení sledovaných osob [25, 26]. Rychlost proudícího vzduchu v interiéru je zmiňována v kontextu s diferencovanou citlivostí různých částí těla. Krk, hlava a končetiny jsou citlivé na rychlé změny teploty. Pokud se exponují nekontrolovatelným proudem chladného vzduchu s relativně vysokou rychlostí v porovnání s ostatními částmi těla, pocit diskomfortu [27, 28] nastupuje rychle a PPD stoupá. Klimatizace, která řídí systém ventilace a rychlosti proudění vzduchu působí lokálně změny mikroklimatu v kabině vozu. Tělo uživatele vyhodnocuje tyto střihové změny zmatečně a ve většině případů negativně. Rozumně nastavená teplota ochlazování či temperace spolu s přiměřeným rozdílem teplot vně a uvnitř vozu distribuovaná průduchy klimatizace rovnoměrně po celém těle, přispívá ke kladnému hodnocení celkového komfortu pasažéra [29, 30]. Naopak rychlé změny nerespektující fyziologii pasažéra, viděné zejména u starších typů neřízené klimatizace, rychle nastolí pocit diskomfortu, který se podepíše na celkovém stavu pohodlí posádky, bezpečnosti, udržení pozornosti a rychlém nástupu únavy. Doporučovaná rychlost proudění vzduchu je podle autorů článku mezi $v_{\text{air}} = 0,1$ až $0,4$ m/s.

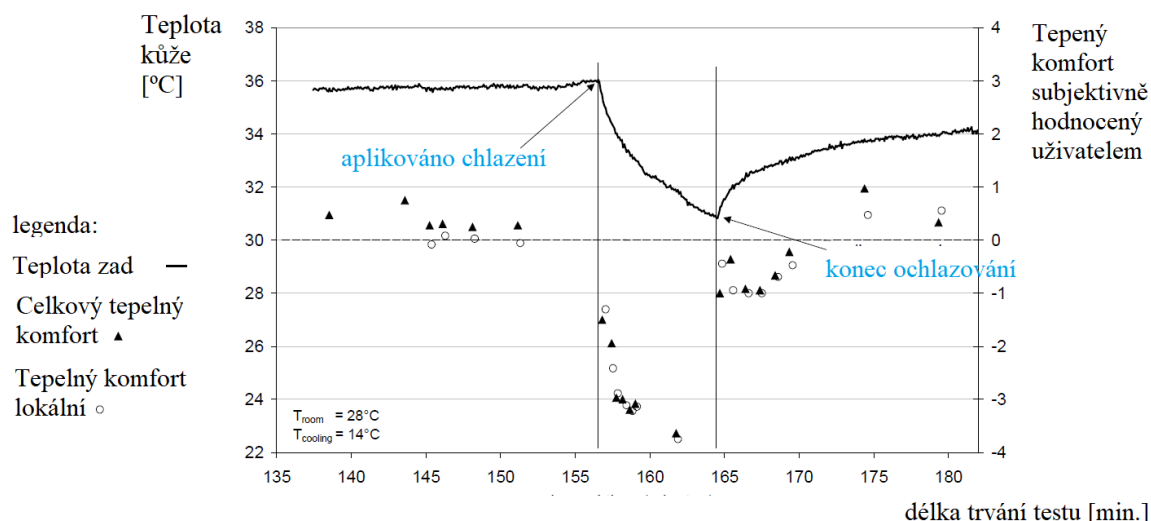
Autoři poukazují na fakt, že na první pohled vzájemně nezávislé faktory přispívají k celkovému tepelnému komfortu. Zmiňují dominující vazbu mezi relativní vlhkostí vzduchu, teplotou okolí a rychlostí proudění vzduchu. Lidské tělo je citlivé na proudění vzduchu a nechráněná pokožka je násobně víc ochlazovaná díky wind-chill efektu. V případě automobilu je důležitý faktor sluneční radiace a schopnost interiéru kumulovat / vydávat teplo.



Obrázek 8 – Faktory tepelného komfortu. Metabolismus v závislosti na tělesné aktivitě. [24]

Článek poukazuje na rozdílné přístupy při klimatizování větších prostor – studie není platná např. pro klimatizování budov, kde vzájemné vztahy mezi sledovanými parametry: teplota vzduchu, vlhkost atd., jsou determinovány faktorem fyzické aktivity. V článku autoři Zhang, H. a kol. (zveřejněný pod názvem "Thermal sensation and comfort in transient non-uniform thermal environments" [31]) tvrdí, že většina předpovědních modelů zákaznického hodnocení pracuje pouze za ustáleného stavu. Testovali na 109 lidských subjektech za neustálených klimatických podmínek zákaznický komfort. V rámci testu byly prováděny simulace rozdílných tepelných expozic různých částí těla testované osoby v konkrétním čase (Graf 4). Cílem testu bylo zjistit, jak nerovnoměrná expozice teplem pouze u části těla může ovlivnit celkový tělesný pocit subjektivního pohodlí, který je ve velké míře ovlivněný tělesnou senzoricou a termoregulačními pochody pracujícími na podvědomé úrovni.

Lokální ohřev nebo ochlazení bylo aplikováno na tělo uživatelů prostřednictvím sedadla automobilu, které bylo rozděleno do jedenácti regionů: hlava, tvář, krk, hrud', záda, pánev, paže, dlaně, spodní končetiny, chodidla. Experiment probíhal v klimakomoře a větrném tunelu s možností regulace teploty v rozsahu -24 až +43 °C a s možností simulace sluneční radiace. Sběr dat probíhal záznamem měření z 28 teplotních čidel umístěných na těle respondentů v intervalu 5 sekund. V průběhu testu probíhalo dotazování a subjektivní hodnocení účastníka testu na devítibodové stupnici. Stupnice byla škálovaná pro parametr "Tepelný komfort" v rozsahu: velmi zima (-4); zima (-3); chlad (-2); trochu zima (-1); neutrální komfort (0); trochu teplo (+1); teplo (+2); horko (+3); velmi horko (+4). Citlivost pro parametr "Pohodlí" byla v rozsahu: komfortní (+0) až velmi komfortní (+4), nekomfortní (-0) až velice nekomfortní (-4).



Graf 4 - Subjektivní hodnocení tepelného komfortu při expozici zad chladem. [31]

V závěru článku autoři shrnují získané poznatky. Lokální tělesný komfort není výhradně funkcí lokální teploty kůže. Je ovlivněný celkovým tepelným stavem. Pokud je teplota celého těla chladnější a část těla je exponovaná teplem, je toto teplo vnímáno intenzivněji, než za stavu celkového neutrálního tělesného komfortu. Naopak, pokud je teplota většiny těla vyšší než teplota v lokálně ochlazované části těla, pak tělo odpovídá na podnět silněji, negativněji, než by tu samou teplotu ochlazování vnímalo ve stavu neutrálního teplotního komfortu.

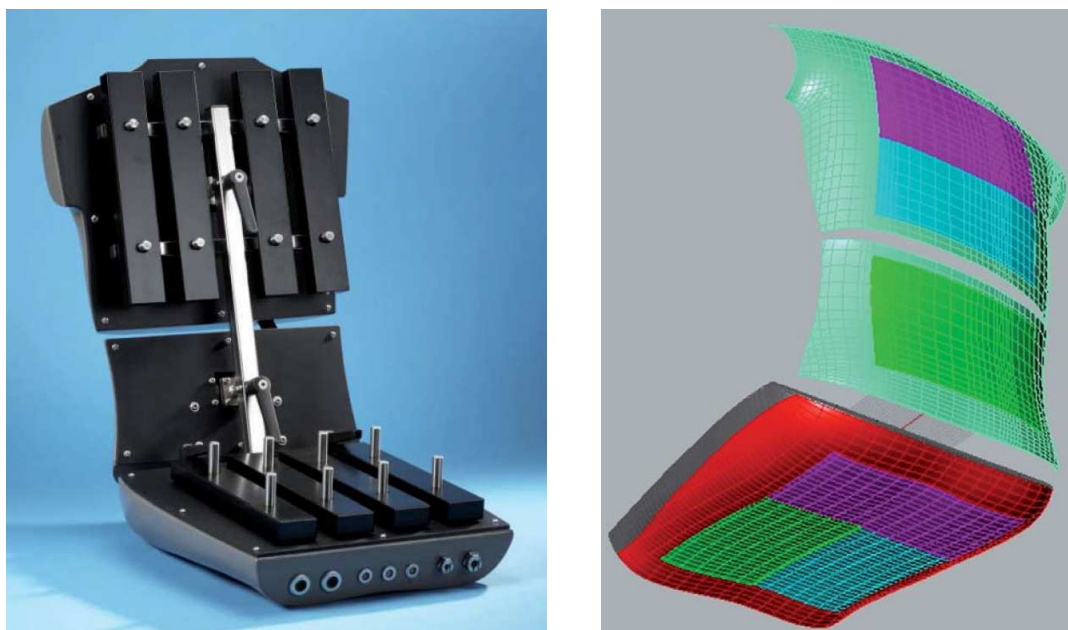
Za ustálených teplotních podmínek, kdy je tělo v režimu neutrálního tepelného komfortu, jsou tepelné podněty chlad / zima vzdálenější od "neutrálního stavu komfortu" hodnoceny více negativně. Nicméně při extrémních podmínkách hypotermie nebo hypertermie jsou expozice teplem / chladem vnímány jako velice příjemné, což je způsobené špatnou interpretací tělesné senzoriky v mozku.

Volní tělesné funkce jsou v extrémních tepelných podmínkách potlačené nízkými funkcemi vědomí zodpovědnými za ochranu těla. Při lokálním ochlazení těla ve stavu teplotního deficitu dochází k pocitu silného diskomfortu, čímž se tělo brání dalšímu podchlazování tj. snížení teploty jádra těla (core), dutiny tělní s uloženými životně důležitými orgány.

Autoři upozorňují, že teplotní komfort není symetrický ani lineární a tepelnou senzoriku lze lehce zmást. Podařilo se vyvinout nový předpovědní model hodnocení subjektivního tepelného komfortu pro prostředí s nerovnoměrnými tepelnými podmínkami. Ty je možné najít například v kokpitu osobního automobilu za horkého léta, kdy je organismus vystavený současně nadměrné sluneční radiaci horní části těla za souběžné relativně nízké ochlazovací teploty hlavy, rukou a spodních končetin vlivem funkce A/C klimatizační jednotky.

Článek autorů Leyva a Sanahuja [32] popisuje stav soudobé techniky (The state of the art) používané ke zkoušení zákaznického komfortu sedadel v laboratořích IBV (Biomechanics institute of Valencia). Cílem je čtenáři přiblížit možnosti a standardy měření tepelných vlastností a zákaznického komfortu sedadel osobních vozů za různých klimatických podmínek simulovaných v IBV laboratořích. Tím poskytují přidanou hodnotu a tolik důležitou konkurenční výhodu jako výstup pro konstruktéry pohybující se v automobilovém průmyslu.

V IBV byla vyvinuta dummy / manikina STAN (Seat test automotive manikin) sloužící k testování pokročilých technologií (Obrázek 9) měření a vývoje sedadel, stejně jako výzkum zákaznického komfortu, testování vedení tepla, nebo transfer vlhkosti v sedadle a potazích.



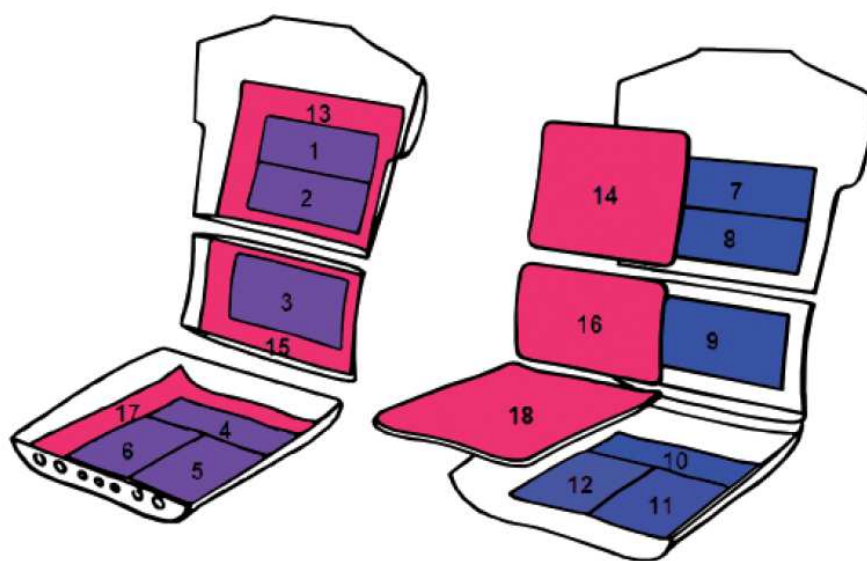
Obrázek 9 - Manikina STAN, fyzická a s pomocí SW virtuální simulovaná podoba. [32]

Vývoj STAN vychází z teplotního modelu kůže dle ISO-11092 a ASTM-F1868 používaného pro měření teplotních charakteristik vzorků textilií a speciálních tkanin. Testovací figurína má anatomickou konturu s možností korekce nastavení a kontrolou rozložení tlaku v sedadlech. Odpovídá 50. percentilu zákaznického vzorku populace. Korekce hmotnosti / přítlaku lze měřit pomocí vestavěných interních čidel, rovněž tak teplotu v různých lokacích.

STAN figurína je rozdělená do tří samostatných oddílů umožňujících měřit odděleně teplotu či vlhkost v místě zad, nohou a sedací plochy. Manikina v šesti nezávislých tepelných zónách simuluje produkci tepla a vlhkosti lidského těla, napodobuje tak diferencovaně různé úrovně metabolismu. Fyzikální parametry jsou snímány řadou čidel s vzorkovací frekvencí větší než 1 Hz. Je tak možné reprodukovat jevy v rozmezí 10 až 40 °C (průměrná teplota pokožky se pohybuje v rozmezí 32 až 35°C).

Celkový tepelný tok emitovaný elektrickým výhřevem dosahuje až 800 W/m^2 a je plynule regulovatelný elektronicky s přesností $\pm 1 \%$. Simulace vaporace pokožky se pohybuje v rozmezí 50 až 100 ml/hod a je schopná pokrýt velkou variabilitu klimatických podmínek od extrémního tepla s velkou produkcí vlhkosti až po zimní podmínky s nízkou teplotou a stabilní vaporací danou úroveň metabolismu kontrolní skupiny.

Výhodou STAN manikiny, v porovnání s ostatními systémy, je provoz založený na široké variabilitě a škálovatelnosti přenosu tepelné energie (The heat flux) distribuované diferencovaně v různých částech těla. To činí STAN model (Obrázek 10) realističtější, neboť napodobuje chování lidského organismu.



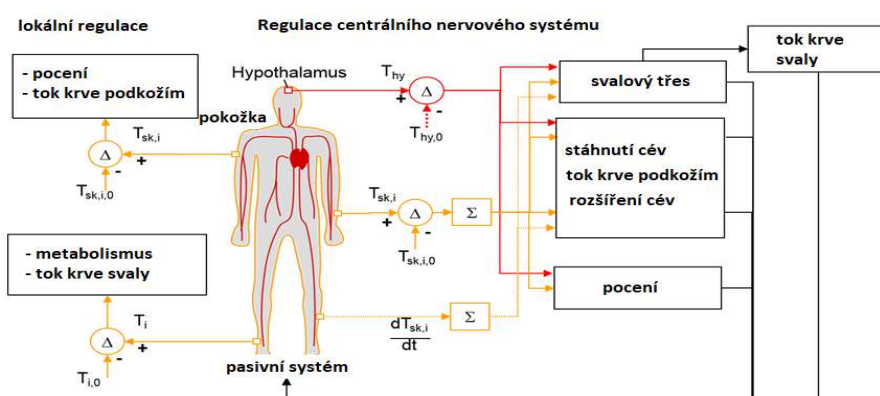
Obrázek 10 - Detail rozdílných zón simulujících lidský metabolismus u STAN. [32]

Zóna 1–6 je kontaktní zóna se sedadlem produkujícím vaporaci. Zóna 7–12 reprezentuje uzavřené okruhy chlazení v zóně s vaporací, které simulují cirkulaci krve tj. termoregulaci organismu. Zóny 13–18 jsou oblasti produkující tepelné záření a zajišťují prevenci tepelných ztrát.

Každá z šesti zón má nezávislý zdroj tepla distribuující rovnoměrně teplotní tok regulovaný dvěma termistory. Manikina je vybavena dvěma čidly pro kontrolu okolní teploty a sondou monitorující okolní relativní vlhkost. Systém pomocí kontrolního software se zpětnovazební smyčkou kontroluje: tepelný tok [W/m^2] (Heat flux), tepelný odpor R_{ct} [$^{\circ}\text{C.m}^2/\text{W}$] (Thermal Resistance), vaporeční odpor [$\text{Pa.m}^2/\text{W}$] (Vaporation Resistance), index propustnosti i_{mt} [-] (Permeability index), povrchovou a pokojovou teplotu [$^{\circ}\text{C}$], relativní vlhkost [%] (Relative humidity). Testování probíhá v klimakomoře o rozměrech $3,1 \times 3,1 \times 2,7 \text{ m}$ s teplotním rozsahem: -25 až $+60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a řízenou relativní vlhkostí 30 až 80 %.

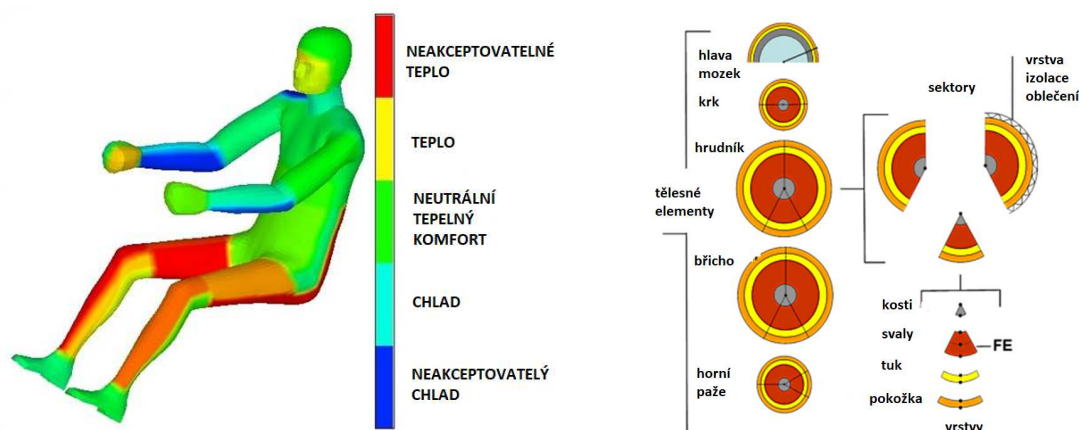
3.2 Termoregulace a senzorická odezva lidského organismu

Článek „A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental condition - The passive systém“ [33] popisuje virtuální model lidského těla „FIALA-FEM“. Ten simuluje termofyzikální mechanismy a vyhodnocuje tepelný komfort. Model je založený na posledních výsledcích výzkumu v oblasti termopsychologie (Obrázek 11). Ve výpočetním modelu zohledňuje parametry: průtok krve, dýchání, vypařování, metabolismus, pocení, třes jako reakci na změnu teploty, srdeční odezvu, lokální tepelnou výměnu mezi manekýnou a okolním prostředím a vliv izolace oblečení.



Obrázek 11 - Regulace CN systému použitého modelu Fiala-FEM. [33]

Virtuální model (Obrázek 12) se skládá z kombinace aktivního a pasivního systému simulace termoregulace lidského těla. Pasivní systém zahrnuje: rozdělení těla na prvky, lokální vrstvení oblečení, radiální vedení tepla konečněprvkovým výpočtovým modelem s okrajovými podmínkami jako práce, třes, nebo sdílení tepla se sedadlem. Do aktivního systému jsou zahrnuty: termoregulační odezva chránící jádro před extrémními podmínkami jako vazokonstrikce, vazodilatace, třes, pocení, zvlhčení a ochlazování.

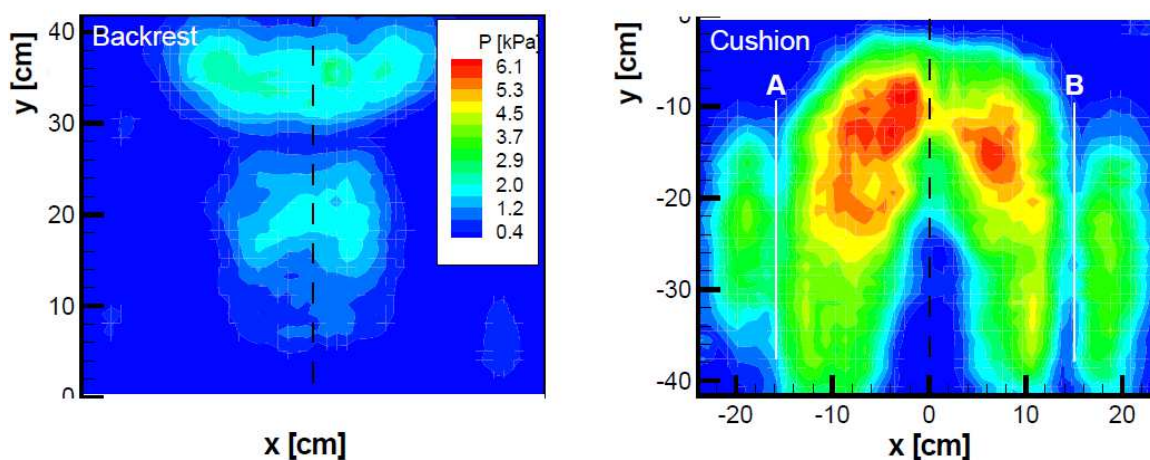


Obrázek 12 – Model tepelného komfortu v automobilu a FEM model Fiala. [33]

Simulační software neobsahuje, na rozdíl od živých bytostí, zpětnovazební mechanismy. Z toho důvodu nelze model empiricky ověřit reálným měřením a dokázat tak jeho platnost. Přesto lze koncept Fiala ověřit numericky porovnáním s existujícími modely tepelného toku. Obavy stran predikovaných teplot a stanovených okrajových podmínek modelu Fiala se nepotvrdily. Testy probíhaly simulací vystavení toku studeného vzduchu, což, dle předpokladu, mělo lépe odhalit chyby předpovědního modelu. Výsledkem bylo potvrzení přesnosti FEM modelu Fiala a odchylky s průměrnou teplotou $T = 0,02 \text{ K}$ pro předpověď teploty tkání. Výměna tepla mezi okolním prostředím a tělem, pro předpovědní model klíčová, tak byla potvrzena. Testy probíhaly s pomocí metodiky ISO 14505–2 a ASHARE 55, které definují letní / zimní podmínky.

Matematický model simulace tělesných pochodů rovněž umožňuje predikovat PMV a PPD indexy spokojenosti. Ty mohou být použity buď k lokálnímu hodnocení části lidského těla, například zad a nohou při výhřevu sedačky, nebo mohou být prezentovány formou hodnocení celkového tělesného komfortu. Závěr, který z článku vyplývá, je fakt, že tepelný komfort je výsledkem komplexních tělesných pochodů, které je možné simulovat, jak autoři tvrdí, s velkou mírou úspěšnosti, v článku předkládají důkazy.

Článek „Thermal Modeling of Driver / Seat Interfaces in Automotive Applications“ [35] popisuje výzkum představující termo-fyzikální model dynamické interakce mezi řidičem osobního vozu a výhřevem sedadla. Model používá experimentálně naměřené hodnoty, aby identifikoval lokální tělesné odpory, průběh teplotních změn v sedadle, teploty povrchu řidičova těla a izolační odpor oblečení. Předpovědní model identifikuje a popisuje změny rozložení teplot v čase vlivem okrajových podmínek. Z důvodu zjištění teplotních odporů v kontaktní ploše řidiče bylo změřeno rozložení zatížení v ploše sedadla vlivem řidičovy hmotnosti. Autoři použili zařízení TekscanTM, aby získali mapu plošného zatížení (Obrázek 13).

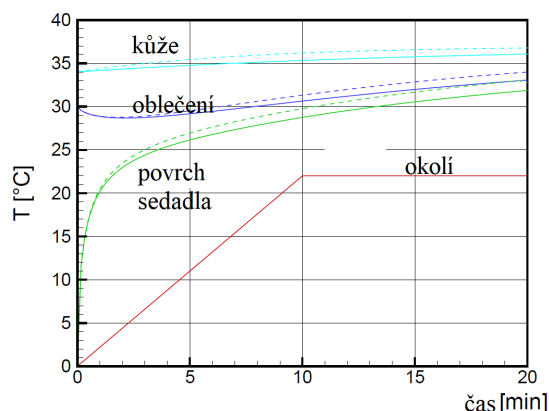


Obrázek 13 - Distribuce tlaku na povrchu automobilového sedadla, opěrák a sedák. [35]

Studie se zúčastnilo deset účastníků rozdílného pohlaví, hmotnosti, výšky a tělesných charakteristik (BMI např.). Zatížení se pohybovalo mezi 4–6 kPa tj. cca 0,4–0,6 N/cm². Tepelný odpor [35] popisuje výměnu energie mezi řidičovým tělem a sedadlem, jednou ze složek je vliv tepelné izolace oblečení resp. potahu sedadla s použitím Metody konečných prvků (Rovnice 2).

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + S \quad (2)$$

Byla nastavena lokální teplota t [°C] a čas t [s] pro simulaci o délce trvání 20 min., což je empiricky stanovený čas, po kterém se teplota sedadla stabilizuje. Dále byly definovány termofyzikální vlastnosti materiálů: poměr tepelných kapacit k [-], měrná tepelná kapacita c [J/kg.K], hustota ρ [kg/m³] a teplo generované na jednotku objemu pro jeden node simulačního software S [°C/m³]. Tělesná teplota jádra byla pro simulaci stanovena jako konstanta 37 °C pro celou dobu simulace. Prahový tlak, tj. zatížení plochy sedadla od simulované hmotnosti řidiče $p = 0,2$ kPa. Tepelná výměna probíhala mezi třemi vrstvami: tělesné jádro (core) a kůže, oblečení, potah sedadla a sedačka vyplněná PUR pěnou. Výchozí teplota pro test byla stanovena $t_{\text{iniciace}} = 0$ °C. Okolní vzduch v kabině měnil vlivem současného spuštění A/C jednotky a výhřevu interiéru svoji teplotu. Nastavena byla teplota 0 až 22 °C, kterou vzduch dosáhl po 10 minutách od iniciace zkoušky. Průběh ohřevu vzduchu byl lineární. Výhřev sedadla s příkonem 80 W simuloval kontaktní plochy, kde podložka generovala teplo šířící se do okolních oblastí. Teplotní koeficient byl odhadnutý na 144 W/k.m². Průběh teploty znázorňuje Graf 5.



Graf 5 - Průběh vývoje teplot v kontaktní ploše sedadla. [35]

Závěr článku potvrzuje validitu modelu simulace. Uvažována byla simulace zatížení sedadla od hmotnosti těla řidiče, vytvoření nodální sítě a určení lokálních tepelných odporů, což vedlo k určení rychlosti přenosu tepla. Simulace však ukázala, že vliv zatížení hmotností řidiče na tepelný odpor je nevýznamný. Rozložení teploty v ploše je v kontaktní i nekontaktní ploše relativně rovnoměrné.

Článek „Testicular Heat Stress and Sperm Quality“ [36] publikovaný v roce 2014 se zaměřuje na příčiny neplodnosti u mužů. Jedním z faktorů je nadměrná teplota testes (varlat), která narušuje jejich termoregulaci. To může negativně ovlivnit kvalitu ejakulátu, koncentraci spermií, jejich pohyblivost a morfologii. Kromě vlivu zvýšené teploty a chorob jmenují autoři další příčiny. Těmi jsou: držení těla, oblečení, životní styl, saunování, koupele, cvičení, jízda na kole, používání notebooku, sedavé zaměstnání a další faktory [37, 38]. Omezení špatných návyků a osvojení si doporučení z tohoto článku slibuje zvýšit plodnost jinak omezenou díky způsobu života. Zdroj uvádí, že fyziologická teplota testes se pohybuje v rozmezí 32 až 35 °C. Scrotum má schopnost díky své ploše, schopnosti ochlazovat se potem a minimu izolace tukem, odvádět teplo od testes pasivní regulací.

Svaly spojené se stydkou kostí svojí kontrakcí regulují vzdálenost testes od těla, jakožto zdroje tepla. Tato reakce je mimoděčná, automatická a nezávislá na volních pochodech. Teplo se pro moderního člověka svázaného konvencí a poplatného módním trendům zdá být jedním z klíčových problémů. Dle zdroje [36, 39, 40], už 15 minutové vystavení teplotě 43 °C vede k degeneraci ejakulátu, což bylo měřením ověřeno ještě dva dny po expozici. Při expozici delší tj. $t > 30$ min., se degenerace ejakulátu dále prohlubuje. Degeneraci jsou myšleny změny v DNA řetězcích i nedokončení růstu zárodečných spermií. Oblečení patří k dalším překážkám bránícím správné funkci termoregulace testes. Oblečení zvyšuje teplotu o 1,5 až 2 °C. V případě snížení či zabránění výměny vzduchu a ventilace se teplota zvyšuje v průměru o 3,5 °C. Zmiňovaná je studie s jednorázovou expozicí teplotou 85 °C po dobu 20 minut v sauně. Parametry ejakulátu se po této jednorázové zkušenosti zhoršily a k návratu na normální stav došlo až v pátém týdnu (!) po tepelné expozici. Nezávislý výzkum s odlišným tepelným stresem potvrdil snížení pohyblivosti spermií v ejakulátu s nápravou stavu v řádech dnů až týdnů [41, 39, 40]. Ve článku je zmíněna studie vystavení teplotě 89–90 °C v suché sauně po dobu 15 minut u skupiny deseti mužů. Výzkum probíhal po dobu tří měsíců za pravidelného saunování. Výsledkem bylo významné snížení pohyblivosti spermií a změny mitochondriální DNA. Studie společně a nad vší pochybnost prokázaly, že vysoká teplota má negativní dopad na mužskou plodnost. Tyto změny jsou významné, naštěstí však reverzibilní.

Článek zmiňuje rozsáhlou studii prováděnou na řidičích dálkové dopravy, služeb a taxi přepravicích. Byla prokázána příčinná souvislost mezi dlouhodobým sezením, kvalitou spermií a plodností. V kontrolní skupině bylo 281 řidičů z povolání. Výsledkem zkoumání bylo konstatování abnormalit v pohyblivosti spermií, nižší koncentrace v ejakulátu a výskyt abnormalit v morfologii. Studie porovnávající plodnost 402 párů usilujících o těhotenství prováděná ve Francii ukázala, že čas potřebný k otěhotnění byl u párů, kde jeden z dvojice byl nucený sedět déle než tři hodiny, výrazně delší.

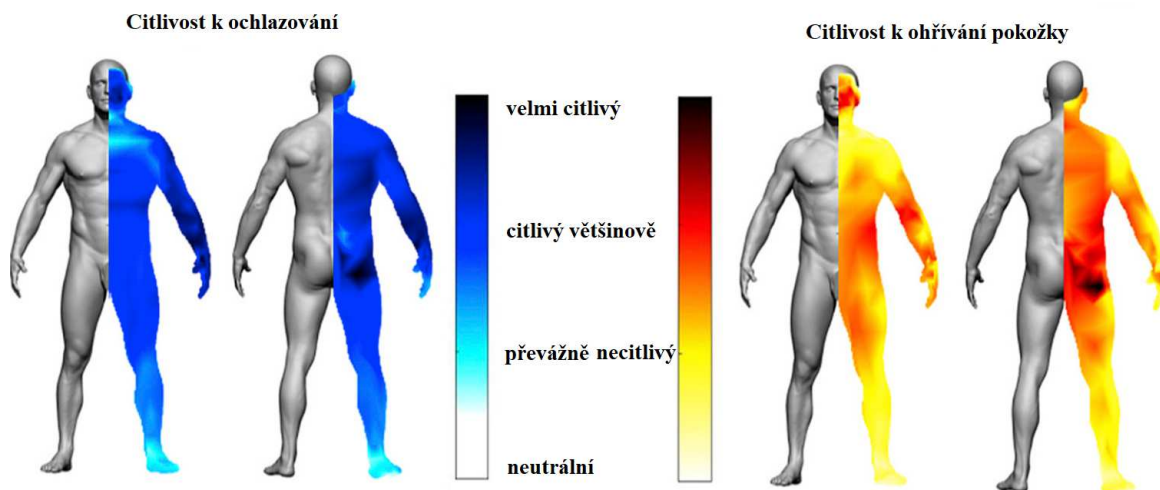
Samotné sedadlo automobilu zvyšuje teplotu scrota o cca 2°C. Použití vyhřívané sedačky pak, při expozici delší 60 minut, zvyšuje teplotu o cca 2,5 až 3,1°C. Tento faktor se pravděpodobně přidává k negativním vlivům na plodnost a změny v DNA zárodečných buněk. Závěrem článku je konstatování, že scrotální hypotermie je podstatným faktorem neplodnosti u mužů v reprodukčním věku. V kombinaci s nezdravým životním stylem vede k mužské neplodnosti.

Článek „Micro-scale thermal sensitivity mappings of human body“ [42] pojednává o výzkumu, který se soustředil na mapování tepelné senzorky lidského těla. Teplotní vjemy byly měřeny na 318 lokálních místech povrchu kůže. Jako indentor byla použita tepelná sonda o průměru 14 mm, čas sledování $t = 10$ s, neutrální teplota byla stanovena na $t = 31$ °C a od ní se odvíjela zkoušená teplota v rozsahu $t = \pm 5$ °C. Autoři konstatují, že tělo je vůči tepelným podnětům citlivé diferencovaně [43, 44]. Chodidlo, paže a horní část hrudníku jsou mnohem méně citlivé, 2 x až 3 x než tváře, zadní část krku, sedací část a spodní část zad, které na chlad a teplo vykazují výraznější odezvu. Každá tělesná část vykazuje 1,3 x a až 1,6 x silnější odezvu na ochlazení, než na teplo. Je zdůrazněný rozdíl mezi pohlavími [45, 46]. Kontrolní skupina byla složena ze čtyřiceti osmi vysokoškolských studentů. Kvůli sledování rozdílu mezi pohlavími byli vybíráni studenti s přibližně stejnými tělesnými proporcemi. Zde se liší výsledky citlivosti napříč pohlavími do té doby nevýznamné. Výjimka je reakce těla na expozici zvýšeným tepelným podnětem v oblasti předloktí a hrudi.

Autoři výzkumu věří, že jimi naměřená data a závěry pomohou konstruktérům osvětlit, jak je tělo citlivé na vnímání rozdílu teplot tak, aby dokázali vytvořit diferencovaný, zákaznický orientovaný teplotní komfort. Proto byla sestavena metodika měření tepelné sensitivity s cílem zmapovat rozmístění a citlivost receptorů teploty na povrchu lidského těla. Zkoušení probíhalo v klimatické komoře. Bylo otestováno čtrnáct oblastí těla jako ucelené skupiny: obličej, krk, hrudník, stehna, břicho, záda, paže, předloktí, dlaň, hřbet ruky, hýždě, dolní končetiny, chodidlo, hřbet chodidla a jiné. Studentům v kontrolní skupině bylo nařízeno redukovat příjem kofeinu, tabáku a tělesného cvičení před prováděním testů. V kontrolní skupině bylo rovnoměrné zastoupení obou pohlaví a etnik kavkazského, hispánského, asijského typu a ostatních. U ženského pohlaví byl brán v potaz i menstruační cyklus [41]. Celkově byla skupina subjektů vybrána s ohledem na tělesné proporce, somatyp a přibližně stejné rozložení tukové a svalové hmoty. Výběr se opíral o premisu, že větší plocha těla může ovlivnit distribuci a citlivost termoreceptorů. Testování v klimatické komoře probíhalo za současné expozice tepelným podnětem, sběr dat byl realizován přímým dotazováním respondentů. Došlo tak k propojení exaktně naměřených hodnot teploty t_{sk} [°C] indukovaných sondou se subjektivním pocitem dotazovaných respondentů TSV [-] (Thermal sensation votes tj. Hodnocení tepelného komfortu). Kvantifikovaný Index teplotní citlivosti [42] (Thermal sensitivity index) byl stanoven na základě vztahu (Rovnice 3).

$$Index\ teplotní\ citlivost = \left| \frac{TSV [-]}{\Delta\ lokální\ T_{sk} [^{\circ}C]} \right| ; [-] \quad (3)$$

Vypočítané hodnoty Indexu teplotní citlivosti byly použity k vytvoření teplotních map (Obrázek 14) s vysokou hustotou rozložení dat. Hodnoty byly dále interpolovány pomocí software MatLab a byly vytvořeny teplotní mapy. Zohledněno bylo pohlaví a tělesné partie.



Obrázek 14 - Aktivní chlazení a devaporace sedáku vozu EVA. [42]

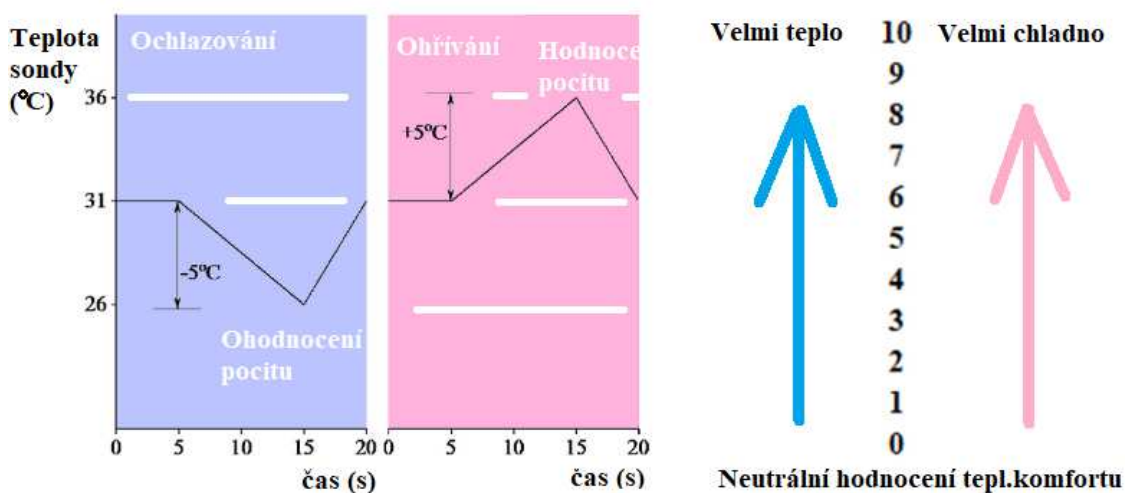
Měření teploty bylo prováděno měřicí sondou, indentorem o definovaném průměru s termočlánekem. Obrázek 15 ukazuje průběh měření, kdy je sonda naváděná ve směru normály k cílové oblasti měření.



Obrázek 15 - Měřicí sonda s termočlánekem. [42]

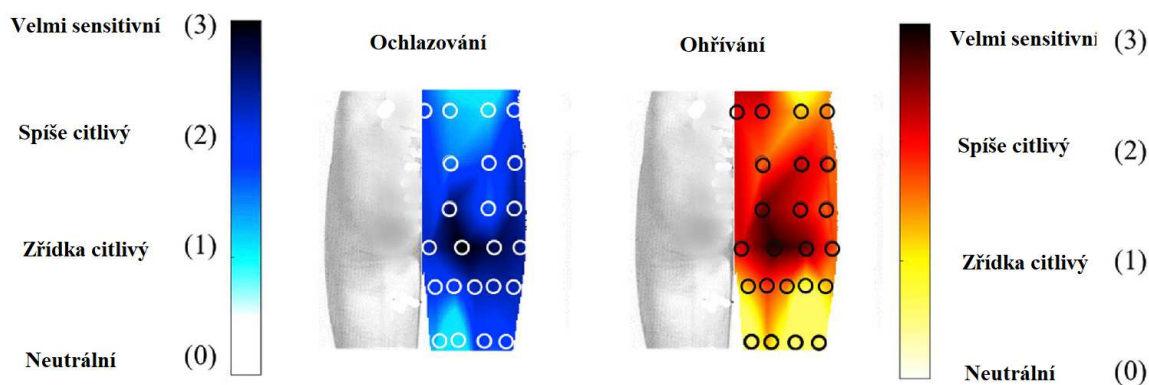
Metodika průběhu měření je znázorněná v Grafu 6. Ohodnocení pocitu (TSV, Thermal sensation votes) je součástí měření a řídí se desetibodovou stupnicí, kde respondent subjektivně hodnotí na stupnici 0 až 10 svůj aktuální teplotní komfort (Graf 6). Testovací zařízení [42] mikročlánek NTE-2A, výrobce Physitemp Instruments Inc., USA, lze řídit v rozsahu teplot $t = 15 - 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlost odezvy je cca $t = 2,4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$.

Opakované měření potvrdilo závěry zjištěné z předchozích výzkumů; citlivost těla na chlad, respektive ochlazení je silnější, než citlivost na zahřívání. Autoři to vysvětlují specifickými vlastnostmi termoreceptorů a nervových zakončení. Termoreceptorů na indikaci chladu je v těle větší množství a jsou uloženy v průměrné hloubce 0,1 až 0,15 mm pod povrchem kůže. Receptory indikující ohřívání / teplo jsou uloženy hlouběji a to 0,3 až 0,6 mm. Receptory chladu jsou navíc citlivější, při stejné expozici vysílají do mozku vyšší počet impulzů, než teplo-citlivé receptory.



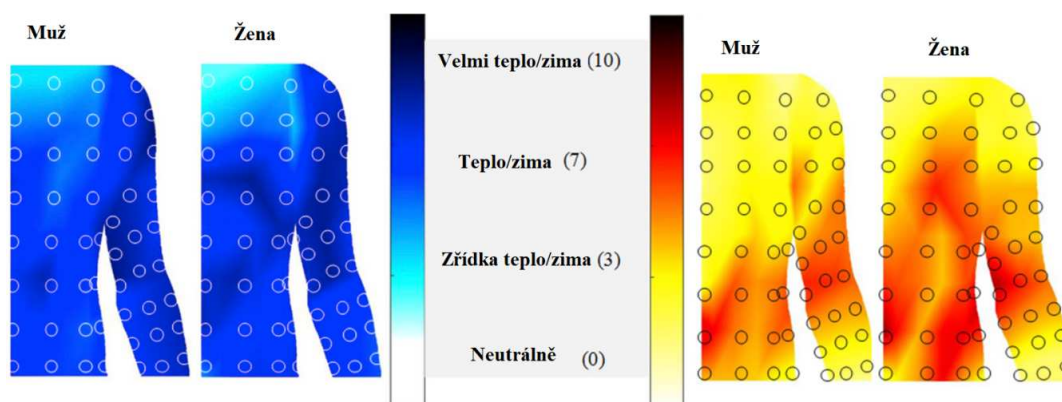
Graf 6 - Metodika měření a stupnice hodnocení TSV. [42]

Výzkum neukázal významnější rozdíly mezi pohlavími při stejném BMI (Body mass index, index tělesné hmotnosti). Při zprůměrování výsledků došlo ke zjištění, že nejcitlivější jedinci mají přibližně 1,5 x vyšší tepelnou citlivost než je průměr kontrolní skupiny. Teplotně nejméně vnímaví lidé mají až o 50 % nižší citlivost než průměr skupiny respondentů. Autoři se domnívají, že je třeba zohlednit individuální rozdíly fyziologické, psychologické, složení těla, BMI, rychlost metabolismu, rychlost tepelné adaptace a sensitivitu tělesné sensoriky. Role věku a pohlaví je nejistá a z výsledku tohoto výzkumu nevyplývá. Subjektivní zákaznická citlivost na teplotu (Obrázek 16) pak byla statisticky zpracována.



Obrázek 16 - Citlivost těla k expozici chladem a horkem. [42]

Při zkoumání statisticky významných znaků ve skupině mužů a žen (Obrázek 17) byly nalezeny téměř totožné odezvy, přesto ženy jsou citlivější k tepelným podnětům, než muži. Pocit tepelného diskomfortu u nich nastupuje rychleji, než u mužů.

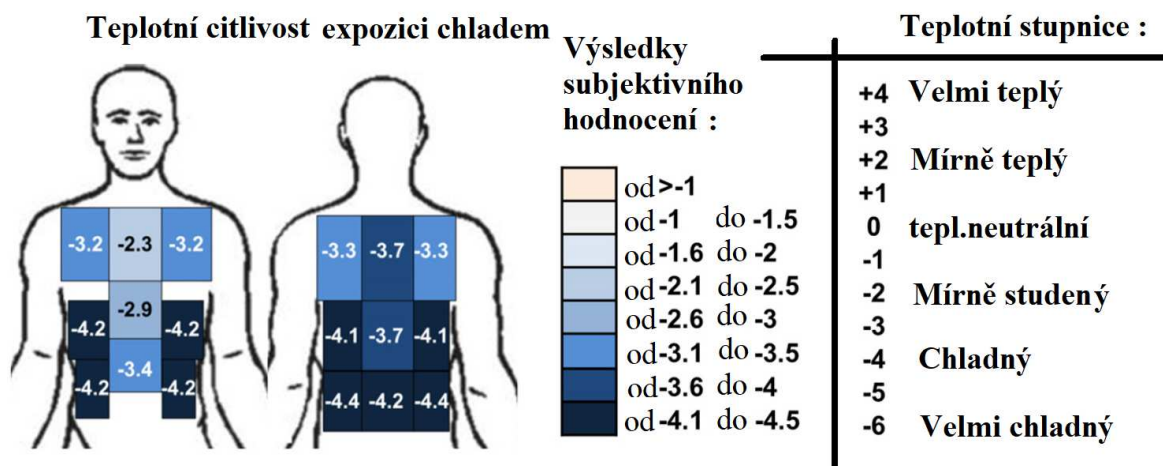


Obrázek 17 - Citlivost horní poloviny zad na expozici chladem a teplem. [42]

Protože výzkum probíhal na studentech, mladých dospělých ve věku 20-26 let, zdravých a civilizačními chorobami nezatížených jedincích, nelze vyvozovat závěry obecně pro celou populaci. Starší lidé, nemocní a přestárlí zde nejsou zohledněni. V podrobnějším, následném výzkumu [48] došli autoři k diferencovanějším výsledkům. Dolní končetiny a horní část hrudníku jsou méně citlivé na tepelné podněty chlad / teplo. Naopak líce, zadní část krku a sedací partie se spodní částí zad jsou na chlad a teplo citlivější než ostatní části těla. Úkolem termoregulace je kontrolovat a stabilizovat hlubokou teplotu jádra těla a vnitřních orgánů. Dalším závěrem je fakt, že lidské tělo reaguje na chlad s o 30-60 % větší citlivostí. Důvodem je opět termoregulace. Prochladnutí a pokles teploty jádra je nebezpečnější než přehřátí. Tělo má korekční mechanismy (vaporace/ vasokonstrikce/ vasodilatace) ve větší míře, než v případě prochladnutí a poklesu teploty, kdy jediná reakce je zvýšená fyzická (myšleno svalová) práce – třes. Posledním závěrem plynoucím z výzkumu je konstatování, že mezi jedinci byly v kontrolní skupině osoby, které reagovaly 2x až 3x citlivěji k expozici teplem a chladem, než průměr celé skupiny. V porovnání s tímto zjištěním jsou rozdíly mezi pohlavími relativně nevýznamné.

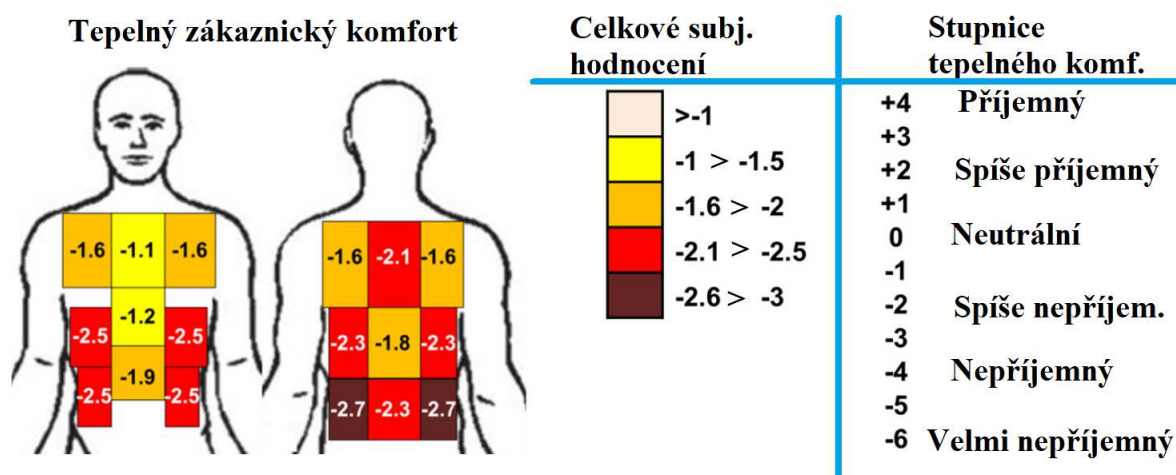
V práci publikované kolektivem autorů [49] s názvem „Body mapping of cutaneous wetness perception across the human torso during thermo-neutral and warm environmental exposures“ je popsáno mapování citlivosti lidského těla za různých podmínek tepelného komfortu. Impulsem k výzkumu bylo zjištění, že citlivost těla se významně mění napříč doménami [50, 51]. Vzorkem bylo šestnáct lidských subjektů, mužů ve věku okolo dvaceti let. Byly stanoveny dvě teplotní úrovně testování. První prostředí: $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost RH 50 %. Druhé prostředí: $t = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost RH 50 %. Tělo bylo rozděleno do dvaceti lokací, které byly stimulovány teplotní sondou [49]. Sledována byla teplota kůže, vaporace vlivem pocení a subjektivní tepelný komfort hodnocený respondentem.

Hodnocení tepelného komfortu probíhalo na jedenáctistupňové škále, hodnocení potní / vaporeční odezvy bylo rovněž hodnoceno v jedenáctibodové stupnici. Při hodnocení expozice chladem bylo tělo respondentů ochlazováno indentorem o konstantním průměru a teplotě o 15 °C nižší, než teplota kůže subjektu (Obrázek 18). Z výsledku je patrné, že největší citlivost na ten samý teplotní podnět má tělo na spodní části zad a na bocích.



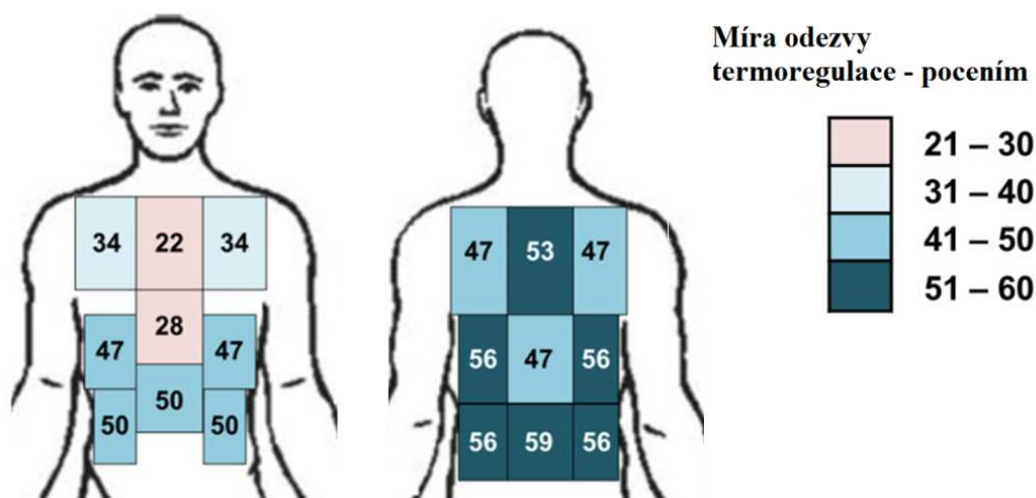
Obrázek 18 - Test citlivosti při expozici chladem. [49]

Kůže tedy plní termoregulační funkci a její teplota se mění ve větším rozsahu, než teplota jádra těla, která je víceméně stabilní v rozsahu 36 – 37 °C. Na termoregulaci mají mimo jiné vliv hormonální pochody, expozice stresem, příjem potravy, míra fyzické zátěže, denní perioda cirkadiálního rytmu, oblečení jako forma tepelné izolace a další [52, 53]. V případě chladného podnětu se sníží vyzařování tepla z těla tím, že vazokonstrikcí se sníží průtok krve periferními žilami. Při dalším poklesu teploty přichází svalový třes a zvětšuje se svalový tonus, kdy tělo pohybem svalového aparátu produkuje teplo ke svému vlastnímu zahřátí. Současně se zvýší hladina metabolismu nad klidovou úroveň.



Obrázek 19 - Hodnocení tepelného komfortu při vystavení chladu. [49]

Při vyhodnocení celkového tepelného komfortu (Obrázek 19) je zřejmé, že na teplotně konstantní podnět reagují různé domény těla s rozdílnou citlivostí, která je regionálně vnímána jako projev komfortu či diskomfortu, hodnoceno na jedenáctibodové stupnici. Kriticky je vnímáno podchlazení v oblasti ledvin a spodní části zad. V přední partii trupu je nejsilnější reakce na chladový podnět v oblasti jater, žaludku a důležitých vnitřních orgánů. Reakce těla na zvýšenou teplotu je vasodilatační, znamená rozšíření cév, zvýšení průtoku krve a zvýšené pocení (Obrázek 20). Domény, kde dochází k největší tělesné vaporaci se kryjí s oblastmi, kde dochází k největší citlivosti na lokální podněty ochlazení / oteplení. Míra odezvy je tím intenzivnější, čím víc se v dané lokalitě tělo snaží udržet konstantní teplotu tělesného jádra.

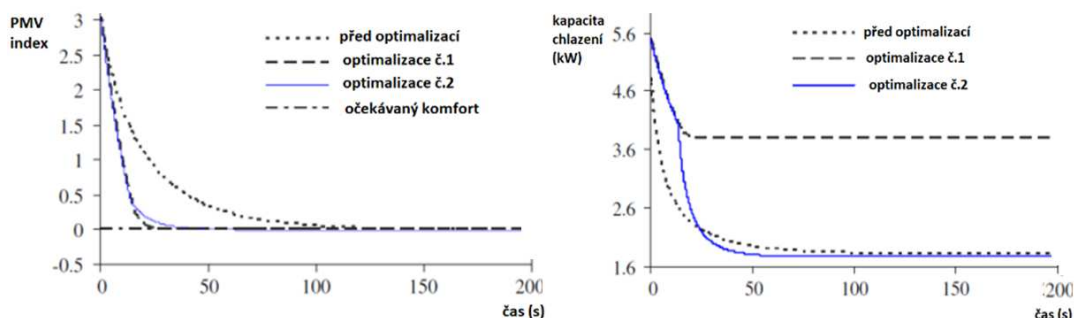


Obrázek 20 - Potivost těla, jako výraz termoregulace. [49]

3.3 Klimatizování prostoru kabiny osobního automobilu

Zdroj [54] ve článku „Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller“ uvádí souvislost mezi nevhodně tj. nekomfortně klimatizovaným interiérem osobního automobilu a vyšší nehodovostí v USA. Sledovanými parametry jsou: teplota v kabině vozu, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu, akumulace tepla vyzařovaného v interiéru, aktivita pasažérů a oblečení pasažérů [55, 56]. Je představen řídicí prvek sledující všechny výše zmiňované parametry a zavádí se PMV index jako index uspokojení pasažérů osobního automobilu. Použití regulátoru PMV (Predicted mean value) na bázi fuzzy logických prvků a pokročilých algoritmů je systémem se zpětnou vazbou řízena klimatizace v kabině pasažérů [57, 58]. Ta vykazuje vyšší účinnost a nižší spotřebu paliva tj. nižší ekologickou zátěž, než dosavadní systémy řízené pouze regulací na základě sledování teploty a rychlosti proudění vzduchu ve voze. Jak vyplývá (Graf 7) z výsledků práce autorů [54, 59], po implementaci pokročilých algoritmů fuzzy logiky a zavedením PMV indexu, je ve srovnání s prostou regulací jednotky klimatizace rychleji dosaženo požadovaného

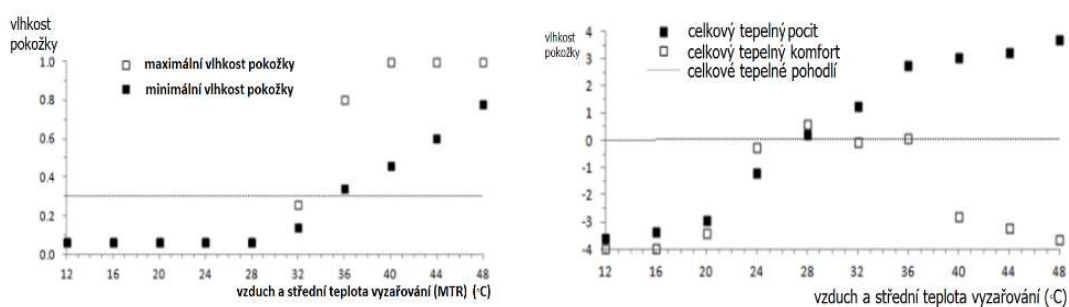
kondicionování prostoru pro posádku za současného snížení spotřeby jednotky klimatizace, tj. i se zmenšením kapacity klimatizační jednotky lze dosáhnout vyššího uspokojení pasažérů.



Graf 7 - Výsledek optimalizace klimatizování interiéru osobního vozu. [54]

PMV index popisuje celkový teplotní komfort pasažéra vozu. Ten je podle autorů ovlivňován teplotou v kabině vozu, teplotou mimo vůz, radiací slunečního záření, rychlostí proudění vzduchu uvnitř kabiny, vlhkostí vzduchu a účinností systému klimatizování kokpitu vozu. Další sledované parametry jsou rychlost metabolismu [W/m^2], vykonávaná aktivita [W/m^2], teplota oblečení [$^{\circ}\text{C}$] resp. jeho izolační schopnost λ [W/m.K]. PMV index má stupnici s rozsahem -3,5 až +3,5 [-], záporná hodnota znamená "chlad a stres", kladná hodnota "horko a diskomfort". Neutrální hodnota $\text{PMV} = 0$ je pro posádku neoptimálnější. Autoři naznačují souvislost mezi pocitem diskomfortu řidiče a nehodovostí na silnicích, zejména při dálkových jízdách s potřebou udržet dlouhodobě pozornost.

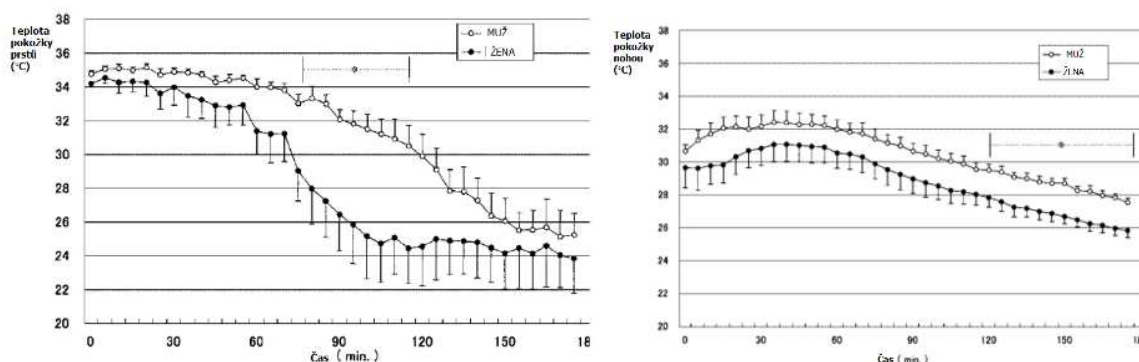
Autoři Pokorný a Jícha [60] v příspěvku „Coupling of models of human psychology and thermal comfort“ popisují řízení procesu kontroly prostředí v automobilu. Staví přitom na závěrech předpovědního modelu lidské psychologie a tepelného komfortu H. Zhanga a S. Tanabeho, který zpřesňují ve výpočetním simulačním programu DYMOLA / Modelica. V modelech jsou sledovány parametry: celková teplota kůže, lokální teplota kůže, teplota jádra organismu, vaporace, ochlazování těla pocením a vlhkost pokožky [61]. Autoři docházejí k závěru, že model není platný pro predikci a kondicionování prostředí (Graf 8) při vyšší fyzické aktivitě sledovaných subjektů tj. je platný pro nízkou úroveň aktivity subjektu v sedící poloze, což model řízení předurčuje k užití v kabinách osobních automobilů.



Graf 8 - Vliv teploty a vlhkosti na celkový subjektivní tepelný komfort. [60]

V tomto článku je zohledňována fyzická práce vykonávaná posádkou vozu v rozsahu pracovních teplot od +12 C° do +48 C°. Model dále predikuje teplotu kůže pro stavy: chlad, tepelná pohoda, horko a zohledňuje i vlhkost pokožky [62]. V potaz jsou brány fyziologické stavy, odpovědné za termoregulaci tj. třes a vazokonstrikce, tedy reakce na chlad a zpocení se za současného roztažení cév a vazodilatace. Tyto stavy jsou fyziologické, podvědomé, neovlivnitelné volními pochody, ale rozdílem teplot mezi povrchem těla a teplotou jádra těla [63].

Soubor autorů [64] provedl studii s názvem „Effects of decreasing air temperature on peripheral thermal reactions in males and females“ s cílem určit limitní podmínky tepelného komfortu a stanovit standard pro teplotu okolního prostředí u práce vykonávané technicko-hospodářskými pracovníky v kancelářích. Ve sledované skupině byla zastoupena obě pohlaví. Při pokusu prováděném v klimatizované laboratoři byl sledován průtok krve pokožkou respondentů (Graf 9), tělesná teplota a tepelný komfort [65]. Výsledky experimentu ukázaly, že vliv snižující se teploty na tělesnou reakci mužů a žen je přibližně stejný. Muži mají prahovou reakci vyšší, u žen rychleji dochází ke snižování průtoku krve perifériemi a ochlazování pokožky. Nicméně mechanismus působení chladu je stejný, liší se poměr svalové hmoty a rychlost metabolismu. Dalšími faktory jsou: zdravotní kondice, aklimatizace na termální zátěž, věk subjektu a pohlaví [66]. Ženy mají vyšší tepelné ztráty způsobené snížením teploty a vyšší schopnost se ochlazovat než muži. Muži na tepelný stres reagují vyšší potivostí.

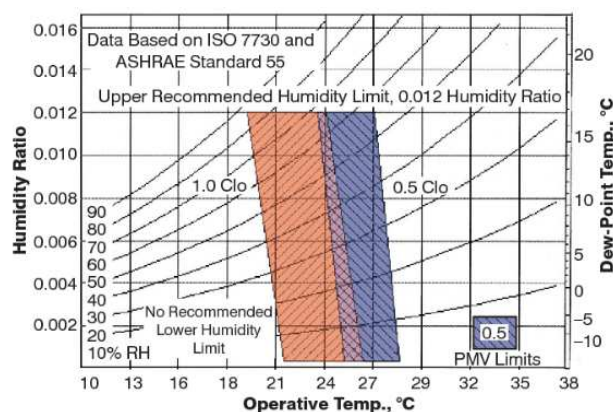


Graf 9 - Teplota prstů a nohou u testovaných subjektů během pokusu. [64]

Ačkoli reakce na změnu teploty jsou totožné, ženy jsou citlivnější na zvýšení / snížení teploty, což vede k teplotnímu diskomfortu rychleji než u mužů [67]. Experiment vedl autory k závěru, že vnímání kondicionování prostředí v kabině osobního automobilu eventuálně automobilového sedadla závisí i na pohlaví pasažéra.

Článek „Thermal comfort in practice“ publikovaný v roce 2004 [68] se zamýšlí nad pokrokem a vědním výzkumem v oblasti HVAC (Heating ventilation and air conditioning). Problémem je neúplná metodologie a validace dat. Proto společnost ASHRAE, která se zabývá stavebními systémy, energetickou účinností, vytápěním, chlazením a klimatizací, zadala výzkum na toto téma.

Práce si klade za cíl srovnat metodologii získanou na základě výzkumu v klimatických komorách s reálnými prostředími. Zejména jde o problémy se statistickým vyhodnocením, např. velikost vzorku, demografické rozložení, měřicí přístrojová technika, procedury, dotazníkové hodnocení, vliv izolace (oblečení), vliv úrovně metabolismu, metodologie hodnocení a analyzování dat [69]. Článek slibuje praktické rady pro ohodnocení a návrh teplotního komfortu. Společnost ASHRAE vydává doporučení, příkladem je Standard 55's (Graf 10), který definuje akceptovatelnou teplotu a relativní vlhkost pro práci v typicky letním / zimním oblečení při typické sedavé aktivitě (<1,2 met; metabolic rate).

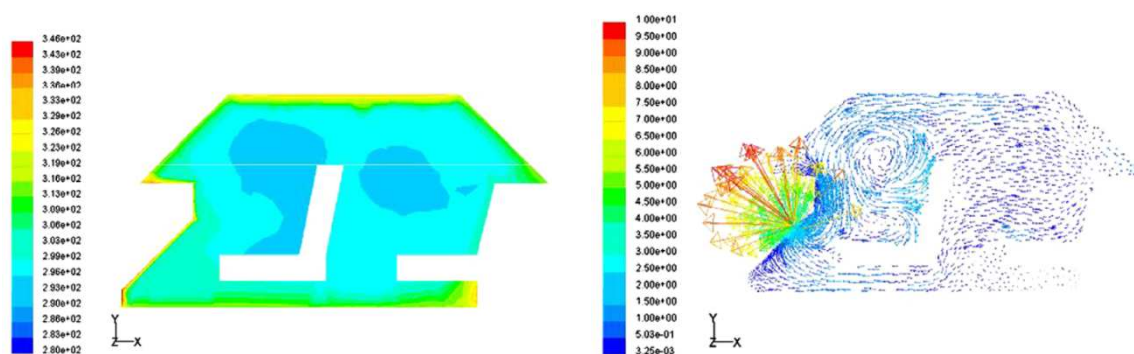


Graf 10 - "ASHRAE Standard 55's" doporučení pro kondicionování pracoviště. [68]

Rozsah hodnot a prahové limity jsou stanovené na základě statistického předpovědního modelu (10% nespokojenosti) s klimatickými podmínkami tj. PMV $\pm 0,5$ (Predicted mean vote; Index spokojenosti s klimatickými podmínkami). Autor v článku vzpomíná práce Povel Ole Fanger, experta v oblasti tepelného komfortu budov [30, 125]. Fangerův model PVM-PPD (Predicted percentage of dissatisfaction) je s úspěchem používán dodnes při návrhu klimatizovaných budov a pracovních prostředí a v interiérech s řízenou centrální klimatizací se zpětnou vazbou. Nicméně v závěru článku autor s jistou mírou skepse konstatuje, že po uživatelích, pracovnících a obyvatelích v interiérech budov s "inteligentním řízením podpory života" je požadováno interagovat se s těmito "inteligentními budovami", pokud pro sebe chtějí komfortnější a přirozenější podmínky ventilace [71]. Tím je míněno přirozenější prostředí, než tyto "inteligentní budovy s řízenou klimatizací" nabízejí. Potom se "architektonický přístup" upřednostněný před cestou "plně autonomního řízení" vnitřního prostředí v budovách zdá být lepší cestou.

V příspěvku autorů [72] publikovaného pod názvem „Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part II: Simulation results and discussion“ je popsána případová studie prováděná numerickými metodami v kokpitu automobilu. V prostoru jsou umístěny sedadlo řidiče, spolujezdce a nedělená lavice v druhé řadě. Test je prováděný podle metodiky VW. Byly zkoušeny dva vozy.

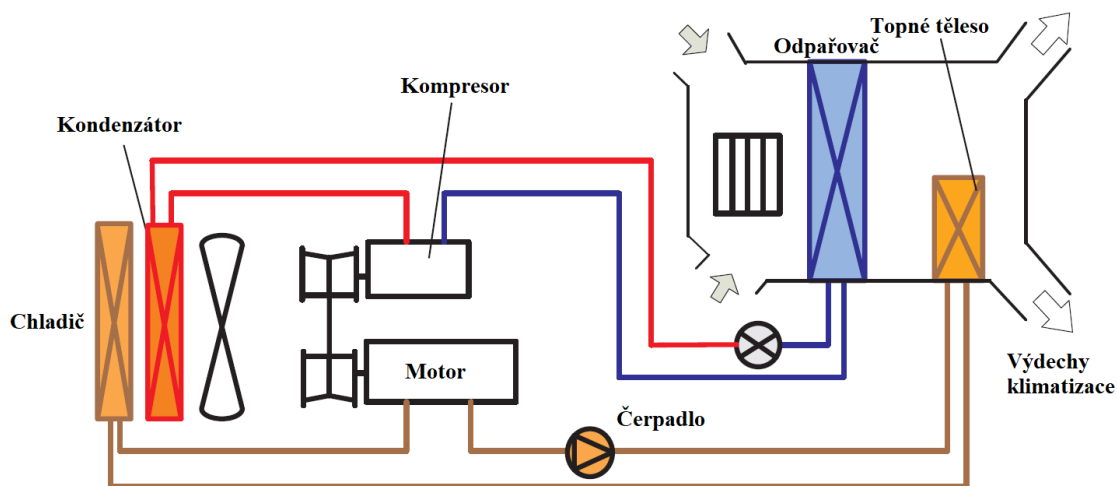
První VW Passat motorizace 1,8l, druhý vůz je typ Buick, motor 1,8l od výrobce General Motors. Metodika VW popisovala použití 37 čidel teploty; 8 čidel v místě hlav pasažérů, 4 v místě kolen, 10 čidel pro dolní končetiny na předních sedadlech, 6 čidel pro dolní končetiny pasažérů na zadních sedadlech, osm čidel výdechy A/C jednotky v přístrojové desce a středním tunelu, 1 čidlo výstup vzduchu v zadní části vozu. Okrajové podmínky testu: venkovní teplota 43 °C, relativní vlhkost 15 %, sluneční záření 1 kW/m², teplota v klimakomoře až do stabilizace vnitřní teploty. Vůz byl bez posádky a během měření teploty byl podroben i jízdnímu testu napodobujícímu ustálený provoz. Test trval 120 minut. Vůz Buick byl testovaný za odlišných podmínek a jiných teplot. Simulace za pomoci Metody konečných prvků (MKP) probíhala za následujících podmínek: vůz bez pasažérů a vůz se čtyřmi osobami v kabině. Cílem simulace bylo zjistit vliv počtu a umístění pasažérů na prostředí v kokpitu vozu, vliv okrajových podmínek na pohyb masy kondicionovaného vzduchu vozem, teplotu tohoto proudu a vliv na energetickou spotřebu [73]. Test (Obrázek 21) a simulace vedly k formulování závěrů a vydání doporučení pro uživatele osobních vozů a automobilové producenty.



Obrázek 21 - Distribuce teploty a rychlost proudění vzduchu v kabině vozu bez pasažérů. [72]

Snížení výkonu klimatizace a tím úspornějšího režimu bylo dosaženo optimálním zvýšením teploty vzduchu (měřeno ve výdeších klimatizace), protože zvýšení rychlosti proudění vzduchu z výdechů nepřineslo efekt. Optimální rozdíl teplot mezi exteriérovou a interiérovou je, dle nařízení vlády ČR č.361/2007 Sb. stanovující podmínky ochrany zdraví při práci, $\Delta t = 6 \text{ °C}$. Pro práci vsedě spojenou s lehkou manuální prací, např. řízení osobního automobilu, je interiérová teplota $t_{\text{interier}} = 23 \text{ °C}$. Měřením bylo potvrzeno, že množství osob v interiéru vozu ovlivňuje nejenom teplotu v kabině vozu, ale i průtok temperovaného vzduchu a zvyšuje relativní vlhkost ve voze a tak snižuje tepelný komfort osádky. Dále bylo zjištěno, že venkovní teplota ovlivňuje efektivitu kondicionování kokpitu vozu. Rychlost vozu neovlivňuje efektivitu kondicionování resp. chlazení, což je však závislé na tepelném odizolování kabiny vozu. Cestou ke snížení zatížení klimatizační jednotky A/C je snížit radiační propustnost oken (eliminace pronikání tepelného záření okny), zlepšení izolace vozu a zlepšení proudění vzduchu v prostoru podlahy vozu, zejména u řidiče. Posledním doporučením je nastavit výdechy klimatizace do horizontální polohy, což znamená minimalizovat odpor pro vstupující vzduch.

Kolektiv autorů [74] si v článku „The solutions to electric vehicle air conditioning systems“ klade za cíl porovnat výhody a nevýhody současných (The state of the art) klimatizačních systémů, zejména pro elektromobily. V článku konstatují, že systémy klimatizace (Obrázek 22) dnes plní komplexní úkol, jako zajišťování chlazení, topení, větrání a čištění vzduchu, regulace vlhkosti aj. Všechny funkce slouží jednomu cíli, a to zlepšení mikroklimatu v kabině vozu. Cílem je zvýšení bezpečnosti provozu [75]. U elektrických vozů však energetická náročnost provozu A/C systémů přináší [74] o cca 30 – 40 % snížení dojezdu.



Obrázek 22 - Typický A/C systém ve vozech se spalovacími motory. [74]

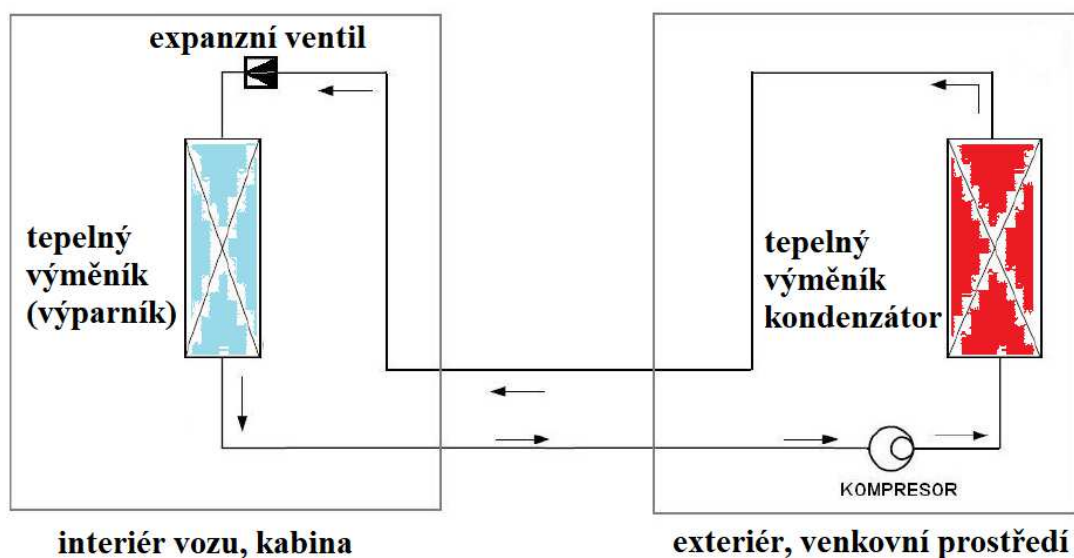
Bylo provedeno srovnání A/C jednotek (klimatizace) co do typu použité technologie. Výhody a nevýhody byly shrnuty do Tabulky 2. V současné době stále probíhá výzkum, neboť některé z technologií jsou stále ve fázi vývoje případně experimentálně odlaďovány pro vozy s elektrickým pohonem [76].

Tabulka 2 - Srovnání technologií a principů A/C použitých v elektrovozech. [74]

Používané principy klimatizace (A/C)	Druh / kombinace technologie	Výhody	Nevýhody
VCR-DH systém (Vapor Compression Refrigeration - Dedicated Heater (VCR-DH) AC systems)	VCR-EH systém (Vapor Compression Refrigeration - Electric Heating systems)	Méně hlučná Jednoduchý princip Spolehlivá Ekonomická Energeticky nenáročná COP (energetická účinnost) > 1 Lze použít současnou A/C techniku	COP (účinnost topného výkonu) < 1 Nevyřešené tec.problémy Chladivo
	VCR-FH systém (Vapor Compression Refrigeration - Fuel Heating systems)	Spolehlivá Ekonomická Energeticky nenáročná COP (energetická účinnost) > 1 Lze použít současnou A/C techniku	Nemulová emisní bilance Potřeba dvou médií Nižší efektivita při nízké venkovní teplotě Nižší COP (účinnost) při nízkých teplotách
VC-HP systém (Reversible vapor compression heat pump (VC-HP) systems)		Energetická účinnost Plynulý vysoký výkon	Koncepčně nedotažené Problémy s chladivem / chladivý

Non-VC systém (Non vapor compression heat pump)	TES systém (Thermal Energy Storage)	Energeticky účinná Vysoký výkon	Těžkopádny Nízká energetická hustota TES materiálů
	(A/C) systémy TE nebo ME (Thermoelectric nebo Magnetoelectric)	Tichý Kompaktní Ekologické chladivo	Nízká kapacita Nízká účinnost COP Snižuje dojezd u el.vozů
	WHE systémy se Solar-Asist	Energeticky účinný Možno dobít baterie	Závislé na slunečním záření
	Air Cycle Heat Pump systém	Ekologický Médium "vzduch" Údržba je levná a jednoduchá	Nízká účinnost chlazení/vytápění Nízká energetická účinnost Hlučná Vysoké otáčky rotačních součástí
ITM systém	Air Cooling	Nízká cena Jednoduchá Kompaktní, prostorově nenáročná	Špatný přenos tepla Vysoký průtok vzduchu Znečištění prachem a částicemi Temperace baterie při nízkých teplotách
	Evaporative Cooling systém	Dobrý přenos tepla Kompaktní	Spojení A/C a baterie Experimentální
	Secondary Loop Cooling	Energetická úspornost "smart"	Complexní Náročná údržba Experimentální

Fyzikální princip funkce klimatizační jednotky (A/C) je založený na termodynamických zákonech (Obrázek 23). V kompresoru se stlačí studené páry chladicího média s nízkým tlakem. Z kompresoru vystupuje chladivo zahřáté na vysokou teplotu a o vysokém tlaku. V kondenzátoru, výměníku ochlazovaném okolním vzduchem, nebo nuceně ventilátorem, se chladivu odebere teplota. Dochází ke kondenzaci a zkapalnění. Kapalně chladivo pokračuje potrubím do škrtkové trysky nebo expanzního ventilu. Prudkým snížením tlaku prudce klesá i teplota na teplotu nižší, než je teplota v kabině vozu. Kapalně chladivo o nízké teplotě a nízkém tlaku odebírá v interiéru teplotu z okolního vzduchu ve výparníku. Ve výparníku se kapalně chladivo začne odpařovat. Z výparníku odchází chladivo v plynném stavu o nízkém tlaku a míří ke kompresoru. Cyklus se znovu opakuje [77].



Obrázek 23 - Princip klimatizace v automobilu. [74]

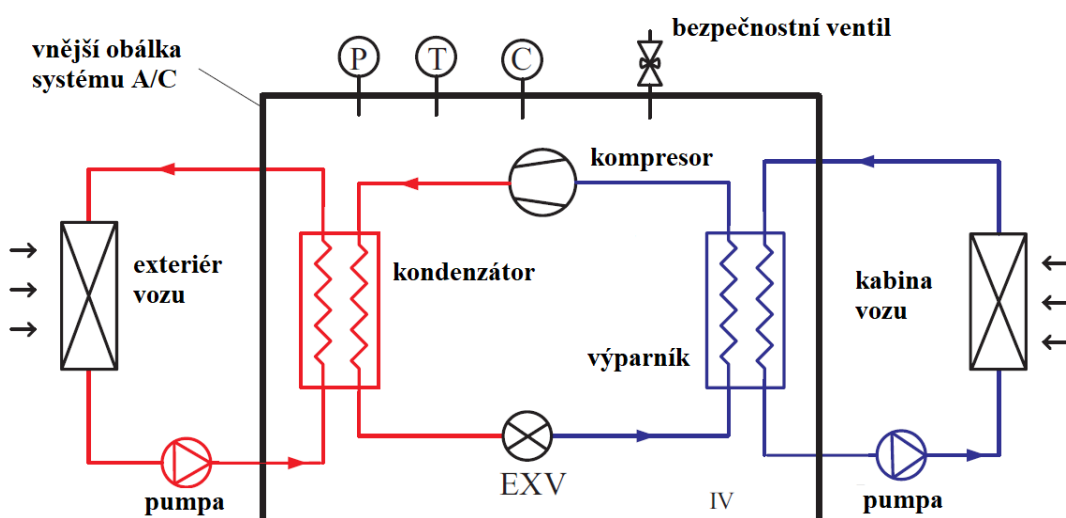
Ve článku se autoři věnují v současnosti převažujícím druhům A/C jednotek [74]:

VCR-DH systém (Vapor compression refrigeration - Dedicated heater) - Kompresor je poháněn elektricky. Ohřev je realizovaný nezávislým topením (nutné palivo). Principy ohřevu jsou použité dva, přímý a nepřímý. Přímý ohřev ohřívá napřímo vzduch v kabině. Nepřímý ohřev temperuje kabinu vozu prostřednictvím média (voda, olej, jiné medium).

VCR-EH systém (Vapor compression refrigeration - Electric heating) - Elektrický ohřev je napájený přímo z baterie elektrovozu. Výhoda je nízká hmotnost A/C jednotky, malý zástavbový prostor, rychlá odezva a ekologičnost. Napájení nepotřebuje vysokonapěťový příkon, odděluje nebezpečné vysoké napětí v baterii od posádky v případě nehody a tak zvyšuje bezpečnost.

VCR-FH systém (Vapor compression refrigeration - Fuel heating) - Potřebuje palivo pro nezávislé topení. Výhodou je vysoká účinnost a rychlost náběhu, což šetří baterii elektrovozu. Problémem jsou exhalace jako produkt spalování a jejich teplota 80 - 120°C.

RVC-HP systém (Reversible vapor compression - Heat pump) - Princip je založený na stlačování par média, které obstarává jak chlazení, tak ohřev prostřednictvím inverzního kompresoru a čtyřcestného ventilu. Systém využívá zákony termodynamiky a koeficient výkonu (COP), účinnost je vyšší než jedna, což ho činí efektivnějším než samotný nezávislý ohřev. Zatímco klimatizace má za úkol odebrat teplo z kabiny vozu, reverzní klimatizace, tj. tepelné čerpadlo, otáčí směr proudění chladiva pomocí čtyřcestného (reverzního) ventilu. Pak přečerpává teplo z exteriéru do kabiny vozu. Účinnost takového systému je díky kompresoru vyšší než jedna. Systém může pracovat až do venkovních teplot okolo -15 °C a je cca 3 x až 5 x úspornější, než elektrické vyhřívání. Příkladem je systém (Obrázek 24), používající jako médium čpavek (R717).



Obrázek 24 - Schéma A/C systému klimatizace používající ekologické médium R717. [74]

VC-HP systémy (Systems using waste heat) - Okolo 50% energie jsou tepelné ztráty. Tuto energii je možné využít např. k odstranění vlhkosti ze vzduchu cirkulujícího v kabině vozu. Absorpcí vodních par se rovněž zabrání kondenzaci vlhkosti na vnitřních plochách oken v interiéru, aniž by bylo potřeba vnějšího větrání či vyhřívání oken. Úspora může představovat až 60% spotřeby elektrické energie s ohledem na geografické podmínky, v kterých je elektrovůz provozován.

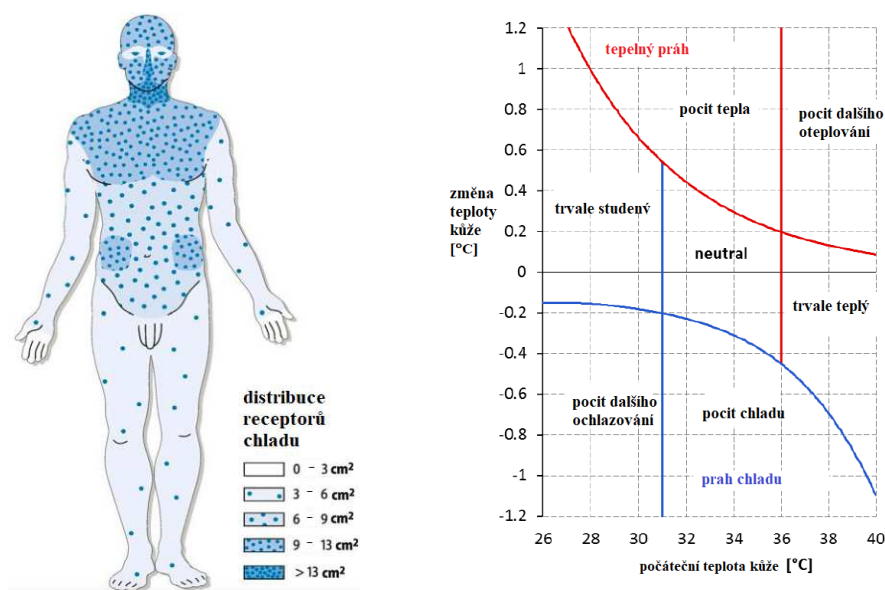
Non VC A/C - systémy s Energy storage (EES / TES) - Systémy využívající princip uchovávání energie jsou dva. V elektrickém systému EES je elektrická energie uchovávána v bateriích elektrovozu. V tepelném systému TES je přebytečná energie skladována v teplotně aktivní látce PCM schopné po určitou dobu akumulovat teplo či chlad. Problémem je délka životního cyklu, neboť většina aktivních TES akumulátorů je založena na využití chemických reakcí. Aktivní chemikálie časem degradují, jejich účinnost se snižuje a představují ekologickou zátěž. Tak autoři dochází k závěru, že EES má v porovnání s TES vyšší hustotu akumulované energie, ovšem při současných cenách elektrických baterií je nevýhodou systému uschovávání právě jejich cena, která výhody EES systému stírá.

Článek uzavírá konstatování, že v současnosti používané systémy klimatizace respektive temperace (A/C) v elektrických vozech nebo hybridech, trpí buď vysokou spotřebou elektrické energie, nebo jsou neekonomické. Vyhřívání kabiny elektricky nebo nezávislým topením nejsou řešením a čeká se na zásadní průlom ve vědních oborech, který je vyvede ze slepé uličky. Ostatní systémy čelí problémům s kolísající efektivitou a účinností při velmi nízkých teplotách, problémy s odmrazováním, ekologičností chladících médií. Systémy TES jsou experimentálním řešením. Cílem je zvýšit hustotu akumulované energie a snížit výrobní cenu. Dalším řešením je zvyšování efektivity baterií tj. kapacity akumulátorů u elektrických a hybridních vozidel a přijetí výhod a nevýhod soudobých A/C systémů.

V článku „Interior air conditioning for electric vehicle EVA“ [78] autoři Paul Stuke a Klaus Bengler popisují kondicionování vnitřního prostoru elektrického vozu EVA pomocí A/C jednotky. Tím přinášejí nový pohled na problematiku tepelného komfortu. Cílem je ochlazování prostoru kabiny vozu, zvýšení tepelného komfortu pasažérů a současná redukce spotřeby energie. Vůz je navržen pro provoz v oblastech s celoročně zvýšenou okolní teplotou a s vysokou vlhkostí vzduchu. Přepracovaný koncept klimatizační jednotky nabízí plně nezávislou čtyř-zónovou klimatizaci. Výdechy ofukovačů jsou nainstalované ve střeše vozu. Nezbytnou podmínkou je redukce hluku, nižší tepelné ztráty a sensitivní řízení rychlosti proudění vzduchu. Cílem je zvýšení komfortu pasažérů regulací kontaktních teplot na rozhraní těla a sedačky. Dále se snaží o snížení relativní vlhkosti, respektive omezení produkce potu uživatelů vozu. Autoři upozorňují na kauzalitu mezi tepelným komfortem v kabině vozu a bezpečností provozu.

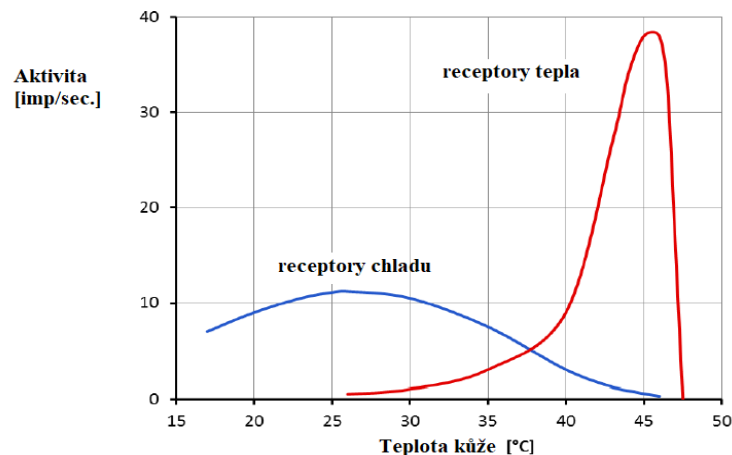
Fundamentální je respektování termoregulační senzoriky těla, vnímání tepla a chladu. Tělo si reguluje teplotu jádra pomocí statické a dynamické odezvy. Na úrovni podvědomí se tyto stavy projevují pociťovaným komfortem resp. diskomfortem. Receptory umístěné pod povrchem kůže jsou dvojího druhu, zvláště na teplo a chlad. Hustota receptorů odpovídá míře intenzity tělesné odezvy na expozici. Senzory jsou navíc umístěny nehomogenně (Obrázek 25). Na bradě, ústech, nosu, krku je tělo k chladu nejsensitivnější. Paže, končetiny a prsty mají receptory chladu rozloženy řídce, tudíž mohou snést nižší teplotu, než dojde k tělesné odezvě a tepelnému diskomfortu. Nejméně senzorů je uloženo na zádech.

Tepelné receptory reagují na teploty v rozmezí $t = 36 - 43\text{ }^{\circ}\text{C}$, senzory chladu registrují teploty v rozmezí $t = 20 - 36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Senzory pracují s relativní teplotou. Pokud tělo přechází z chladnějšího do teplejšího prostředí, tělo vyhodnocuje senzorický vjem jako "pocit tepla". Při opačném směru působení teploty přechází tělo z teplejšího prostředí do chladnějšího a výsledkem je pocit tělesného diskomfortu tj. uvědomujeme si "pocit chladu". Senzorů chladu je na těle osmkrát víc v porovnání se počtem senzorů tepla. Člověk dokáže v rozmezí teplot $t = 16$ až $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ cítit rozdíly teplot $t = 0,2$ až $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při dlouhodobém vystavení tepelného podnětu senzorika těla "otupí", to znamená, že akceptuje daný stav. To může být nebezpečné a v extrémním případě (při vysokohorské turistice) způsobit například omrzliny.



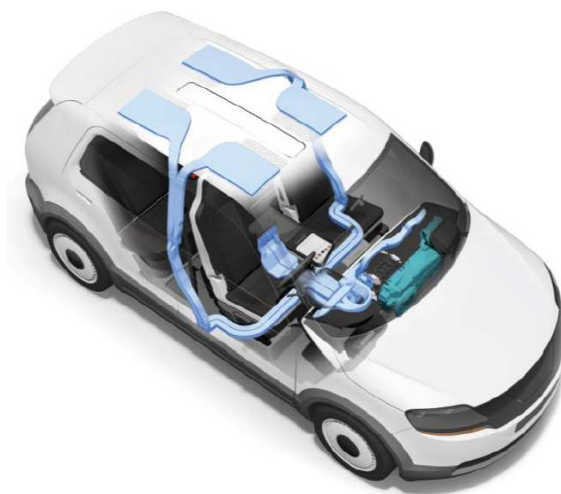
Obrázek 25 - Rozložení receptorů chladu a tepelný práh závislý na teplotě kůže. [78]

Teplota kůže hraje významnou roli ve vyhodnocování tepelného komfortu. Prahové hodnoty leží mezi $t = 31$ až $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uvnitř tohoto rozsahu vnímá tělo teplotu neutrálně. Cokoliv mimo tento rozsah je vnímáno jako permanentní zima, nebo permanentní teplo (Obrázek 25). Změna teploty, která překročí práh tepla (Graf 11) či chladu vyvolá tělesnou odezvu tj. dynamickou senzorickou odezvu.



Graf 11 - Statická odezva teplotních receptorů. [78]

Senzory chladu jsou aktivovány ochlazováním s max. aktivitou okolo $T = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Receptory tepla jsou nejaktivnější při teplotě cca $47\text{ }^{\circ}\text{C}$, pak jejich aktivita klesá. Ve článku je popsána metodika měření pomocí normy DIN EN ISO 7730 popisující tepelný komfort jako uspokojení s teplotou okolního prostředí tj. mezní vrstvy na rozmezí kůže a vnějšího prostředí. Jsou zmíněny okrajové podmínky: vlhkost, rychlost proudění vzduchu, tepelné záření, úroveň metabolismu, izolační vrstva (oblečení), pohlaví, věk a další. Metodika hodnocení tepelného komfortu FANGER pracuje s parametry PMV (Predikované procento uspokojení) a PPD (Predikované procento nespokojenosti s tepelným komfortem). Orientace přívodů klimatizovaného vzduchu (Obrázek 26) není náhodná. Opírá se o výsledky výzkumů a cílí na množství tělesných senzorů na povrchu kůže hlavy, kde lze očekávat nejrychlejší dynamickou tělesnou odezvu od těla pasažérů. Inovací, zmiňovanou v článku, jsou sedáky automobilových sedaček opatřené aktivním chlazením. To je realizováno ventilátory (Obrázek 27) umístěnými pod posedovou plochou a nuceným obtékáním sedací části pasažérova těla odvádějící vlhkost a naakumulované teplo od těla do prostoru kabiny vozu. Je třeba připomenout, že primárně je chlazení určeno pro tropické destinace.



Obrázek 26 - Výdechy klimatizace ve voze EVA. [78]

Studený vzduch v uzavřené kabině vozu klesá dolů a podsouvá se pod teplý vzduch, který nastoupá nahoru a je vytěsňován z vozu průduchy v zadní části vozu nebo průduchy umístěnými v "B", nebo "C" sloupcích vozu, popř. v podlaze zavazadlového prostoru. Nutnou podmínkou sedadla je prodyšnost. Tu lze realizovat perforací potahu, použitím 3D tkanin, 3D pletenin nebo kombinací obojího. Nejhorší varianta je kožené sedadlo, což vede k vysoké míře nepohodlí. V případě vozu EVA je vzduch odváděn od pokožky vysáváním ze sedadla, ne foukáním do prostoru spodní části těla pasažéra. Důvodem, proč se změnil směr proudění vzduchu, bylo nesnadné měření a obtížná regulace odvádění vlhkosti (potu) za současné limitní rychlosti proudění vzduchu okolo těla, kdy při jejím překročení dochází rychle k pocitu tělesného diskomfortu. Z důvodu zvýšení účinnosti je u zadních sedadel, resp. nově i opěradel, realizován další odvod vlhkosti od těla pasažéra. U předních sedadel vývoj stále pokračuje, stejně tak testování nastavení optimální rychlosti ventilátorů. Místo PUR pěny je sedadlo vybaveno distanční 3D pleteninou se síťovanou vazbou. Distanční pletenina je vyrobená z polyesterového multi-filu, distanční vlákna jsou polyesterový monofil. Mezivrstva se tak stává konduktorem vzduchu a proudění v sedačce resp. v kontaktních oblastech tělo-sedadlo je homogenní a vytváří komfortní mikroklima.



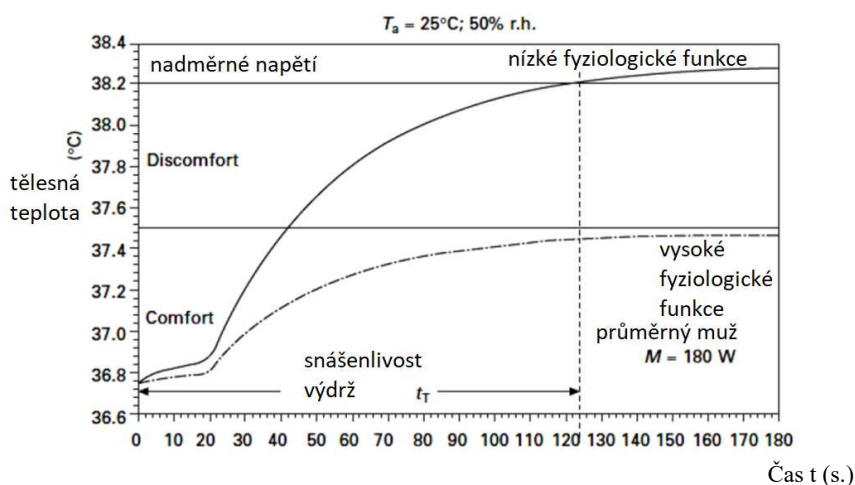
Obrázek 27 - Aktivní chlazení a devaporace sedáku vozu EVA. [78]

Výsledkem výzkumu autorů (Paul Stuke a Klaus Bengler) je komplexní a dle jejich slov koherentní systém [78], který byl jako prototyp vestavěný do automobilu. Celkové řízení čtyřzónové klimatizace v EVA voze je podmíněno snížením energetické náročnosti, pevné okrajové podmínky jsou automaticky nastavované dle okolní teploty vně vozu a sluneční radiace. Měnicí se podmínky jsou podřízené parametrům nastavovaným individuálně pasažéry. Výchozí stav klimatizace je nastavený na "teplotně neutrální komfort". Pro zjednodušení ovládání má každý cestující ve voze minimalistické ovládání inspirované PMV hodnocením s polohami "příliš horký /horký /neutrální /studený /příliš studený". Systém pak dopočítává optimální rozložení teplot ve voze.

Tento zdroj [78] podává ucelenou formou informace o tělesné senzorce, upozorňuje na nehomogenitu rozložení tělesných receptorů a zmiňuje mechanismus, se kterým se tělo vypořádává se zevními tepelnými podmínkami. Článek definuje rozsah teplot komfortu / diskomfortu a podává ucelený obraz termoregulace organismu vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám. Tento článek považuji za přínosný pro svojí disertační práci, neboť zpracovává problematiku z jiného úhlu a ozřejmuje vzájemnou provázanost termoregulačních pochodů v lidském těle.

3.4 Inovace v oblasti kondicionování sedadel osobního vozu

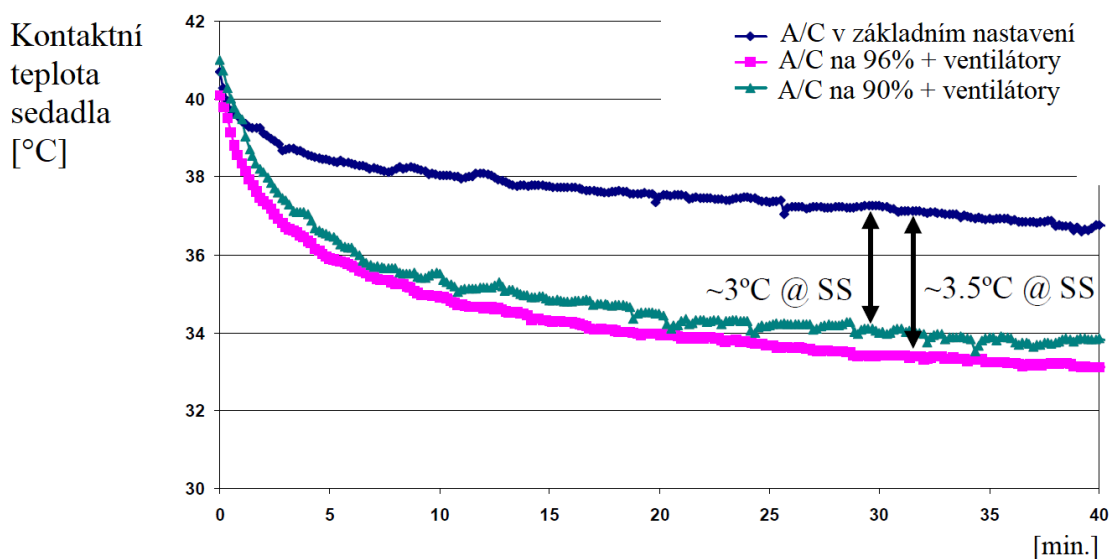
Myšlenku použití PCM materiálů (Phase change materials), tj. materiálů, které se změnou svého skupenství (pevné > kapalné, kapalné > pevné) váží latentní teplo, popisuje zdroj [79] v článku s názvem „Achieving optimum thermal comfort properties for automotive seat fabrics“. Autoři zmiňují současný stav, kde temperování vozu prostřednictvím jednotky klimatizace je jedním z nejvíc energeticky náročných procesů v osobním automobilu a má negativní vliv na spotřebu paliva. Spotřeba se zvyšuje o cca 21 % až 24%, emise oxidů dusíku (NO_x) se zvyšuje o 13 % až 66 % a emise oxidu uhelnatého (CO) se zvyšují o 60 % až 120 %. Autoři navrhují použít PCM materiály v automobilových sedadlech a snížit tak až o 4 % spotřebu klimatizační jednotky (A/C). PCM jako materiál schopný vázat / uvolňovat teplo je možné použít jak v zimních (temperace), tak letních (ochlazování) měsících. Autoři v uveřejněných výsledcích (Graf 12) měří teplotu jádra řidiče. Sledovaným parametrem je komfort pasažéra v rovině psychologické, fyziologické a v rovině tepelného komfortu. Příkladem uvádí dvě sedadla. Jedno s použitím PCM vláken regulující teplotu a potní odezvu řidiče (nižší křivka). Posed na tomto sedadle je pro uživatele přirozený, teplota jeho tělesného jádra se nemění i po expozici 180 minut. Druhé, běžné sedadlo (vyšší křivka), nerespektuje fyziologii uživatele. Výsledkem je vzrůst teploty těla řidiče, pocit diskomfortu už po cca 40 min od expozice a po uplynutí 120 min od expozice dochází k rapidnímu poklesu komfortu a koncentrace řidiče.



Graf 12 - Fyziologický dopad automobilových sedadel na vnímání komfortu. [79]

Autoři článku doporučují používat žinylkovou přízi s obsahem materiálu PCM. Našli přímou úměru mezi množstvím PCM materiálu v polstrování a hodnotou tepelného komfortu. Referují, že zvýšením tepelného komfortu lze snížit náklady, redukovat klimatizační jednotku v automobilu, spotřebu paliva a množství životní prostředí ohrožujících látek.

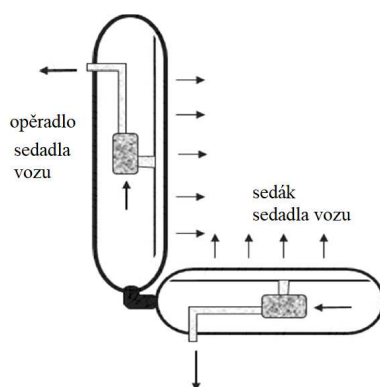
Zdroj [80] s názvem „Evaluation of Advanced Automotive Seats to Improve Thermal Comfort and Fuel Economy“ navrhuje přidat do sedadla ventilaci, neboť sedadlo funguje jako tepelný izolant, zvyšuje teplotu těla, brání efektivní termoregulaci a ovlivňuje míru potivosti [83]. Vedlejším pozitivním efektem je snížení spotřeby paliva o 2,8 % respektive 4,5 % podle použité metodiky a snížení kapacity klimatizace o 4 %. Jako metodika pro sběr dat od uživatelů bylo použito dotazování [82]. Respondenti hodnotili podle sedmi (ASHRE metodika) nebo devítibodové stupnice vyvinuté na University of Kalifornia, Berkley [31]. Experiment proběhl na upravené sedačce s implementovanými ventilátory v zádové opěře a v sedáku. Jemná difuzní tkanina byl umístěná do potahu sedadla, aby pomáhala rovnoměrně distribuovat proud vzduchu. Čtyři vestavěné ventilátory měly celkový příkon 9 Wattů. Výsledek testu (Graf 13) ukazuje, že s použitím nucené ventilace sedadla se kontaktní teplota měřená mezi sedačkou a pasažérem, rychle snižuje a je o cca 3,5 °C nižší, než je u sedadla bez ventilace.



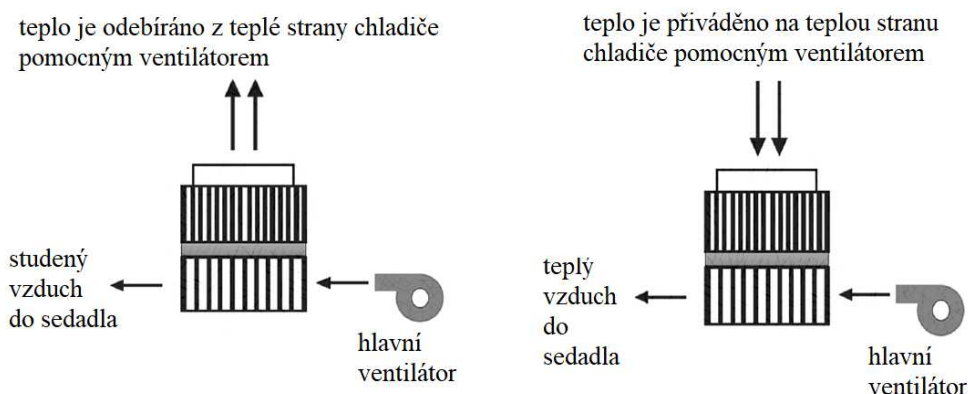
Graf 13 - Rozdíl mezi odvětrávanou a původní, sériovou sedačkou osobního vozu. [80]

Závěrem studie je konstatování, že při současném snížení výkonu klimatizace bylo dosaženo snížení teploty v kontaktní ploše. Tím došlo k redukcí tepelného stresu uživatele, subjektivnímu zlepšení zákaznického komfortu a redukcí spotřeby paliva. Autor vidí použití odvětrávaných sedadel jako přínosné. Spolu s dalšími pokročilými metodami je tato metodika příslibem pro další zlepšování zákaznického komfortu.

Příspěvek v „Journal of Electronic Materials“ s názvem „Optimal design of a thermoelectric cooling / heating system for car seat climate control (CSCC)“ [84] přibližuje výzkum s tématem konstrukce a optimalizace řízení klimatizace sedačky (CSCC, Car seat climate control). V úvodu autoři konstatují, že role klimatizované sedačky hraje klíčovou roli v úrovni pocíťovaného zákaznického komfortu [85]. Na druhou stranu tím zvyšuje spotřebu energie, paliva a produkci skleníkových plynů. Jedním z řešení je použít termoelektrické principy -Peltierovo chlazení. Výhoda použití TEC (Thermo electric cooler) je ta, že článek pracuje jako tepelné čerpadlo (Obrázek 28) tj. na jedné straně teplo odebírá a na druhé straně ho vydává. Směr proudění se dá obrátit tj. chladič použít na chlazení i k ohřevu [86, 87]. Je navržený nový CSCC systém se dvěma termoelektrickými čerpadly (Obrázek 29). Jedno je v opěradle, druhé v sedáku.



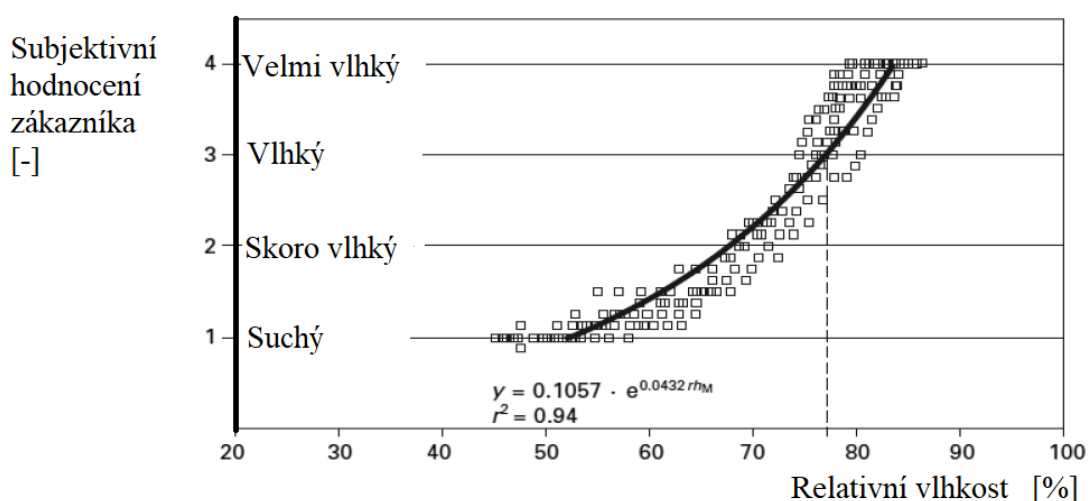
Obrázek 28 - Schematický koncept CSCC návrhu klimatizování sedadla. [84]



Obrázek 29 - Termoelektrická klimatizace sedadla, chlazení a temperace. [84]

Celkový výkon je cca 3 cfm (Cubic feet per minute tj. $0,3 \text{ m}^3/\text{min.}$) průtoku upraveného vzduchu v opěradle a 3 cfm v sedáku sedadla. Experiment přinesl následující bonusy: došlo ke snížení základny výměníku tepla, zkrácení přívodů vedení klimatizovaného vzduchu, zvýšení efektivity a zkrácení náběhových časů jednotky. To snížilo úniky tepla / chladičího výkonu, příkon ventilátoru a hluk. Inovací bylo dosaženo cca 10 % optimalizace klimatizování sedadla v porovnání s původním řešením chlazení sedačky při menších zástavbových rozměrech.

Článek s názvem „Effect of a Superabsorbent for the Improvement of Car Seat Thermal Comfort“ [88] si klade za cíl seznámit čtenáře s tkaninami používanými na potazích automobilových sedaček. Tyto materiály mají vysokou absorpční schopnost SAP (Super Absorbent Polymer) tj. schopnost vázat vlhkost, resp. vzdušnou vlhkost (jsou hygroskopické). Schopnost těchto tkanin je odvádět vlhkost od těla řidiče, což má za následek zvýšení komfortu. SAP tkaniny v těchto aplikacích jsou charakteristické sendvičovou strukturou, velkou prodyšností, vysokou absorpcí / desorpce vodních par i při vysoké / nízké relativní vlhkosti. Mazari a kol. uvádí příklad, kdy 20 g SAP materiálu absorpcí vzdušné vlhkosti (95% RH) dokáže zvýšit svojí hmotnost až o 70 % v horizontu šesti hodin od počátku expozice. SAP materiály mohou být umělé polymery, ale i přírodní vlákna [89]. Například vlněné vlákno může díky absorpční schopnosti zvýšit svojí hmotnost až o 38 %. Hodnocení zákazníkem (Graf 14) ukazuje příklad z praxe, kde je sledovaná vlhkost zad pasażera usazeného v automobilové sedačce. Během testu dotazovaný hodnotí svůj subjektivně vnímaný pocit vlhkosti. Současně je měřená relativní vlhkost. Výsledkem je převod subjektivního hodnocení na měřitelnou veličinu, která má vztah k zákaznickému komfortu.



Graf 14 - Pociťovaná subjektivní vlhkost v sedačce automobilu. [88]

Lidské tělo je schopné vypotit 30 g tekutiny za hodinu [88]. Automobilová sedačka přitom kryje velkou část těla a sedadlo musí být schopné pojmout a odvést od těla velké množství vlhkosti, současně nenarušovat autoregulaci těla, ochlazování a nezvyšovat tělesnou teplotu. V závislosti na okolních podmínkách se možnosti termoregulace posouvají do extrémnějších hodnot, např. během náročné sportovní aktivity lidské tělo umí vyprodukovat až 1 litr tekutina za hodinu.

Známe čtyři mechanismy přenosu vlhkosti:

- Difuze páry skrz vzduchové mezery.
- Absorpce vlhkosti, přenos vodní páry vlákny a desorpce.
- Adsorpce vodních par a jejich následná migrace podél povrchu vlákna.
- Vypuzení vodní páry a odvod, transport pryč od těla nuceným prouděním.

Mazari v testu používá jak SAP, tak SAF (Super absorbent fibres) o různé tloušťce a struktuře. Testuje sorpční schopnosti solného roztoku, který je složením podobný lidskému potu. Cílem je zjistit limitní schopnosti pohlcování vlhkosti za jednotu času. Závěrem je konstatováno, že testované SAP materiály jsou schopné absorpce / desorpce až o 50% vzhledem k původní hmotnosti. Schopnost rychle odvádět vodu, stejně jako ji ze struktury textilie extrahovat, je možná opakovaně (multiple times), což skýtá potenciál pro automobilové sedačky. Použitím superabsorbentu se výrazně redukuje vlhkost v sedadle vozu a lze pak uvažovat o vypuštění přídatných ventilačních systémů.

3.5 Mechanismy sdílení tepla

Sdílení tepla lze popsat jako předávání vnitřní energie. Tepelná energie se šíří z místa s vyšším potenciálem do místa s nižším potenciálem tj. dochází k vyrovnávání potenciálů. Známe čtyři způsoby sdílení tepla:

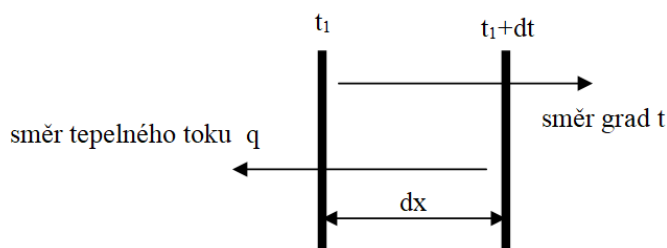
- Vedením - Kondukce; nárazy molekul navzájem o sebe, kinetická energie částic.
- Prouděním - Konvekce; kinetická energie molekul plus jejich přemísťování tokem.
- Sáláním - Radiace; tepelné záření.
- Prostupem tepla - Vyrovnávání tepelné energie mezi dvěma oddělenými prostředími;
- Kombinace - Vedení - proudění - sálání

Vedení tepla, jakožto mechanismus předávání tepelné energie, je podmíněný vzájemnými srážkami molekul látky. Dominuje v pevných látkách, které obsahuje ze všech skupenství (plynné, tekuté, pevné) nejvíce molekul. Nejlepšími vodiči tepla jsou kovy, které mají v krystalové mřížce hodně volných částic (elektrony). Rozeznáváme vedení tepla ustálené a neustálené podle proměnlivosti v čase. Předpokládáme, že tělesa jsou spojitá prostředí. Popisem vedení tepla se zabývá Fourierův zákon (Rovnice 4). Zákon popisuje, kolik tepla [J] projde jednotkou plochy [m²] za jednotku času [s].

$$\dot{q} = -\lambda \times \text{grad } t = -\lambda \times \frac{dt}{dx} ; \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4)$$

Jeden Watt je výkon [W], při němž se vykoná práce [J] za jednotku času [s]. Poměr $\frac{dt}{dx}$ je teplotní gradient [K/m] a popisuje přírůstek teploty dt ve vzdálenosti dx mezi izotermními plochami (ekvipotenciální plocha) ve směru rovnováhy. Teplotní gradient ve směru poklesu teploty (Rovnice 5) nazýváme teplotní spád, tepelný tok q proudí proti směru tep.gradientu (Obrázek 30).

$$\text{grad } t = - \frac{dt}{dx} ; \left[\frac{K}{m} \right] \quad (5)$$

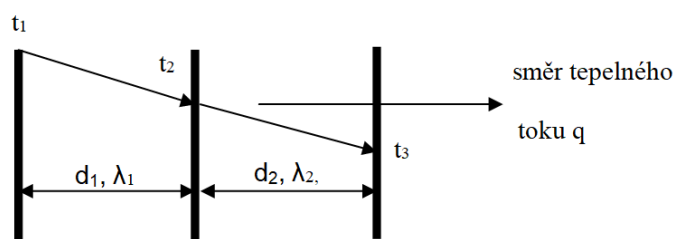


Obrázek 30 - Definice teplotního gradientu. [90]

Typické příklady nejběžnějších materiálů jsou $\lambda_{\text{Ocel}} = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; $\lambda_{\text{Měd}} = 384 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, nebo $\lambda_{\text{Vzduch}} = 0,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W/m}\cdot\text{K}$] je materiálová konstanta a je určována pro konkrétní materiál experimentálně. Vyjadřuje schopnost látky přenášet teplo; vyjadřuje množství energie [W], která projde materiálem o tloušťce jeden metr při rozdílu teplot t_1 a t_2 jeden Kelvin. Nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti λ znamená, že materiál je tepelný izolant. Do kategorie energetických veličin patří i tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$], veličina (Rovnice 6) popisující tepelně-izolační vlastnosti materiálu. R je vyjádřením tepelného odporu materiálu o ploše m^2 při teplotním gradientu mezi izotermními plochami t_1 a t_2 jeden Kelvin.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad ; \quad \left[\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}} \right] \quad (6)$$

Hustotu tepelného toku pro vedení tepla přes složenou stěnu (Obrázek 31) popisuje vztah (Rovnice 7). Jde o prostup prostředími s rozdílným součinitelem tepelného toku λ [$\text{W/m}\cdot\text{K}$] a s rozdílnou tloušťkou d [m] tj. rozdílným tepelným spádem $\text{grad } T$ [$^\circ\text{C}$].



Obrázek 31 - Vedení tepla složenou stěnou. [90]

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}} = \frac{t_1 - t_2}{\sum_{i=1}^2 R_i} \quad ; \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (7)$$

Celkový tepelný tok Q [W] můžeme vyjádřit pomocí vztahu (Rovnice 8), který platí pro rovinnou stěnu.

$$Q = \frac{\lambda}{d} \times S \times (t_1 - t_2) \quad ; \quad [\text{W}] \quad (8)$$

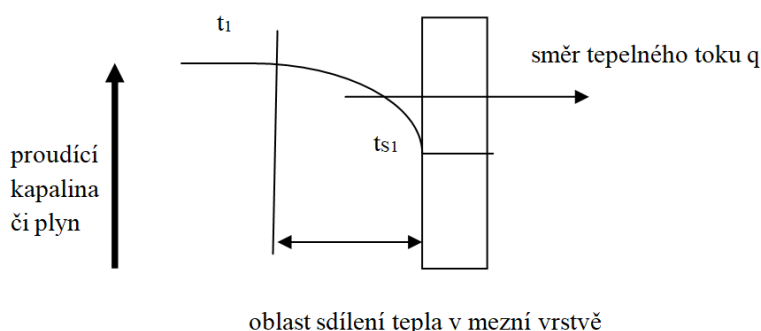
Celkový tepelný tok Q [W] pro jednoduchou válcovou stěnu je popsán vztahem (Rovnice 9).

$$Q = \frac{2 \times \pi \times \lambda \times l}{\ln \times \frac{r_2}{r_1}} ; [W] \quad (9)$$

Proudění se jako mechanismus šíření tepla uplatňuje u kapalných a plynných látek a je spojeno s vedením. Jde o kombinaci proudění a vedení. Popisuje ho Newtonův zákon (Rovnice 10).

$$\dot{q} = \alpha \times (t_1 - t_{s1}) ; \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (10)$$

K proudění dochází na rozhraní dvou látek (Obrázek 32). Při proudění dochází k ohřátí tenké vrstvy tekutiny nebo plynu v mezní vrstvě.



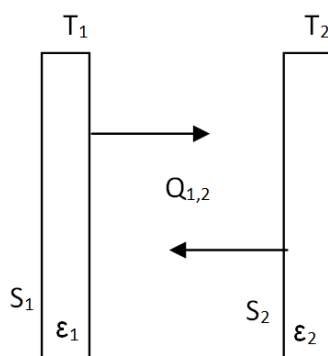
Obrázek 32 - Schematické znázornění sdílení tepla prouděním, konvekcí. [90].

Součinitel přestupu tepla α [W/m²K] se určuje z teorie podobnosti a udává tepelný tok, který přestupuje z kapaliny či plynu do stěny. Jeho velikost závisí na rychlosti proudění a rozměrech potrubí, stejně jako na tlaku, drsnosti stěny, tepelné vodivosti aj. Určuje se z výpočtových vztahů. Odvozuje se z diferenciálních rovnic proudění, sdílení či diametrální analýzou. Pro jednoduché případy se zjednodušuje a je dostupný v materiálových listech. Celkový tepelný tok Q [W] je vyjádřený vztahem (Rovnice 11).

$$Q = \alpha \times S \times (t_1 - t_{s1}) ; [W] \quad (11)$$

Sálání je mechanismus sdílení tepla radiací (Obrázek 33). Sálání se popisuje Kirchhoffovým a Stefan-Boltzmannovým zákonem [90]. V nejjednodušším případě jde o výměnu tepla mezi rovnoběžnými stěnami (Rovnice 12).

$$Q_{1,2} = \varepsilon_{1,2} \times c_0 \times S \times \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] ; [W] \quad (12)$$



Obrázek 33 - Sdílení tepla sáláním - radiací. [90]

Poměrná zářivost ε [-], respektive pohltivost nebo emisivita (Rovnice 13) popisuje, s jakou efektivitou reálné těleso září v porovnání s ideálním zářením tzv. černého tělesa se stejnou teplotou. Emisivita je tedy schopnost vyzařovat teplo. Absolutně černé těleso má emisivitu $\varepsilon = 1$.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} ; \quad [-] \quad (13)$$

Kirchhoffův zákon definuje záření dopadající na reálné těleso a rozděluje je na tři části. První část se odrazí (reflektance), druhá část se pohltí (absorbance), třetí část projde skrz (transmitance). U reálného tělesa se předpokládá, že pohltí celou složku záření. Absorbance bude rovna emisivitě, pak platí $a = \varepsilon$. V případě, že plochy nejsou stejné tj. $S_1 \neq S_2$ platí vztah (Rovnice 14, 15).

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} ; \quad [-] \quad (14)$$

$$Q_{1,2} = \varepsilon_{1,2} \times c_0 \times S_1 \times \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] ; \quad [W] \quad (15)$$

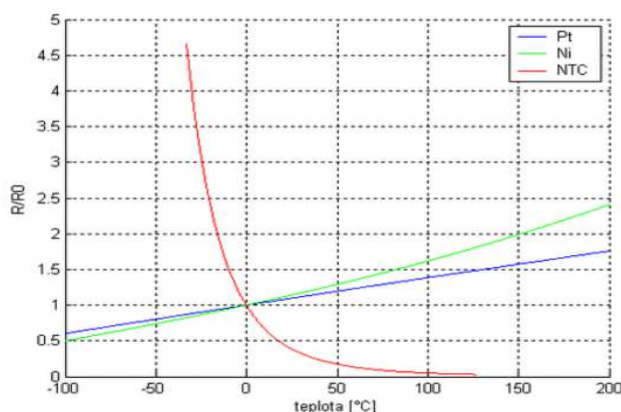
3.6 Měření teploty a měřící technika

V praxi se používají kontaktní a bezkontaktní metody měření teploty. U dotykového měření je potřeba přímý kontakt s měřenou látkou. U bezdotykové metody měření se využívá jev zvaný emisivita tj. vyzařování tepla tělesem. Měření pak porovnává emisivitu měřeného tělesa s vyzařováním referenčního materiálu. Z kontaktního měření teploty jsou historicky nejstarší teploměry dilatační. Principem dilatačních teploměrů je změna objemu vlivem teploty. Teploměry byly zprvu založené na roztažnosti kapalin popř. vzduchu a kapaliny. Voda a líh se však neukázaly jako vhodná media.

V roce 1714 použil Gabriel Fahrenheit rtuť, zavedl měřicí stupnici a stanovil referenční body tj. bod mrazu vody, trojný bod a bod varu vody. Fyzikálním limitem pro použití rtuti je její teplota varu ($t_{\text{varu}} = 356 \text{ }^{\circ}\text{C}$) a teplota tání ($t_{\text{tání}} = -38 \text{ }^{\circ}\text{C}$). V kombinaci s dusíkem, který mění teplotní vlastnosti, je možné měřit až teploty $t_{\text{varu}} = +750 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Mezi další používané principy ve skupině dilatačních teploměrů patří využití změn tlaku, tenze par či délkové roztažnosti. V technické praxi se k měření teploty využívá senzorů [91] založených na principu termoelektrických jevů tj. vzájemných závislostí teploty a elektrického napětí. Příkladem je tzv. Seebeckův jev [91], vznik elektrického napětí mezi svorkami vodiče s nenulovým teplotním gradientem.

Kovové odporové senzory teploty patří do skupiny dotykových senzorů. Principem jejich funkce je proměnlivost elektrického odporu vlivem změny teploty. Požadavky na použitý materiál čidla jsou: stabilní teplotní součinitel odporu $\alpha \text{ [K}^{-1}\text{]}$, nízký teplotní drift a malá hystereze tzv. paměťový efekt. Příkladem materiálů jsou platina, stříbro, zlato, měď, nikl, iridium a jejich kombinace. Spirála z vodiče s definovaným průměrem je konstrukčním prvkem čidla.

Polovodičové senzory [92, 93] teploty patří rovněž do skupiny taktálních senzorů. Principem měření je rovněž změna odporu vlivem změny teploty. Tenká vrstva materiálu polovodiče je nanášena na elektricky izolační materiál, jako jsou slída či keramika. Tyto senzory jsou známy pod názvem termistory. Rozlišujeme články typu PTC a NTC. U PTC (Positive temperature coefficient) termistoru vzrůstá odpor s rostoucí teplotou. U NTC (Negative temperature coefficient) se vzrůstající teplotou odpor klesá. Obecně mají termistory velký vnitřní odpor, vysokou citlivost, jsou upotřebitelné pro měření teploty v rozsahu $t = -200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a nelineární VA-charakteristiku. Další sledovaný parametr je dlouhodobá stabilita, která závisí na velikosti teplotního driftu tj. trvalé odchylce teploty vlivem zatížení a délce provozu. Poměr $R_{100^{\circ}\text{C}} / R_{0^{\circ}\text{C}} \text{ [}\Omega\text{]}$ je poměr odporů při teplotě $t = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a při teplotě trojného bodu $t_{\text{troj.bodu}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato proměnná se používá (Graf 15) pro hodnocení teplotně odporové závislosti teplotního čidla. Graf 15 ukazuje závislosti elektrického odporu na teplotě u vybraných čidel teploty. Velkou linearitu vykazují čidla vyrobená z platiny a niklu.

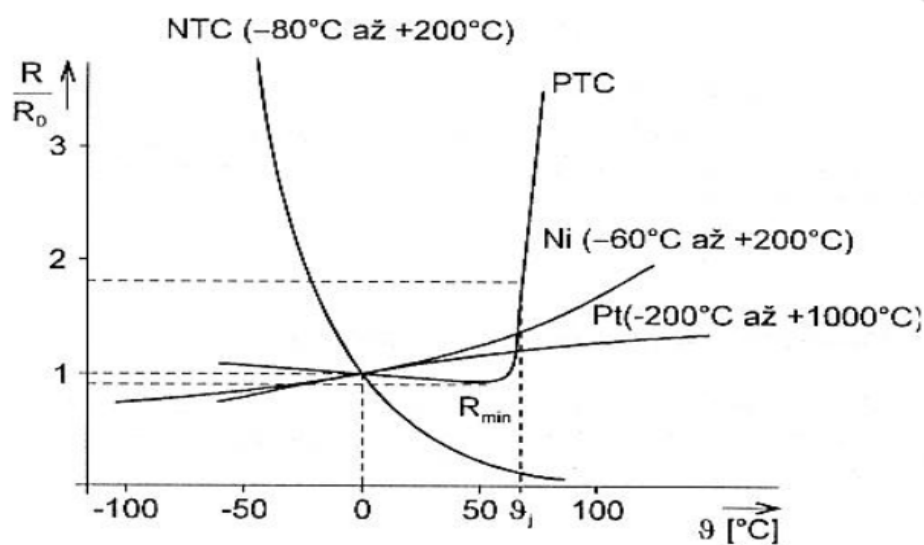


Graf 15 - Snímače teploty Pt, Ni, NTC. [92]

U platinových termistorů je lineární průběh platný pro velký rozsah měřených teplot. Červená křivka patří negastoru (NTC), termistoru se záporným teplotním koeficientem, u kterého elektrický odpor R / R_0 vlivem rostoucí teploty klesá. Zmiňovaná platinová čidla teploty mají vysokou přesnost, měřicí rozsah $t = -200\text{ °C}$ až $+1000\text{ °C}$ a mají rychlou odezvu.

Platinové senzory se typicky vyrábějí v řadách Pt100 až Pt2000. První písmena znamenají název chemického prvku, ze kterého jsou vyrobeny. Čísla za písmeny jsou hodnoty odporu $R_{0\text{°C}}$ [Ω], tj. při $t = 0\text{ °C}$. Čidla se vyrábějí ve dvou třídách přesnosti, A a B. Třída A má toleranci: $\pm 0,15 + 0,002 \times |t|$. Třída B má toleranci: $\pm 0,3 + 0,005 \times |t|$.

Nevýhodou je, že v zapojení je potřeba nežádoucí vliv odporu přívodních vodičů kompenzovat, a to zpravidla čtyř-vodičovým zapojením [92, 93]. Čidla jsou kompaktní, zpravidla se jedná o platinový vodič s malým průřezem zatavený do keramického materiálu, případně skla. Druhá technologie využívá nanášení platiny napařováním na elektricky izolační podklad, jako slída, sklo, Pertinax apod. Čidla se, díky svým vlastnostem a dlouhé životnosti, používají v mechanizovaných provozech a v mikroelektronice.



Graf 16 - Přehled snímačů teploty podle použitého materiálu a vlastností. [93]

3.7 Patentový průzkum

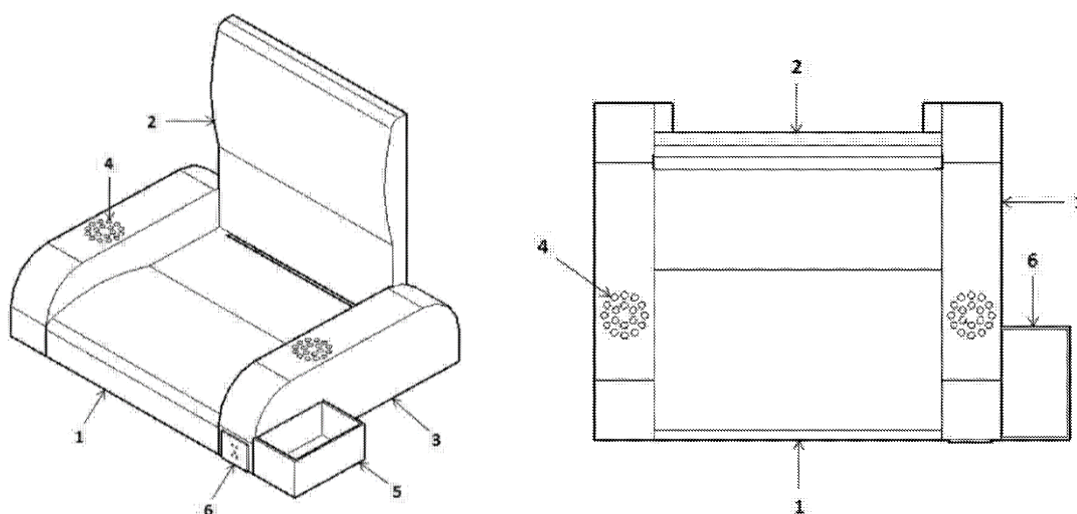
Byl proveden patentový průzkum, který si kladl za cíl prozkoumat inovace v automobilovém průmyslu (Tabulka 3). Vyhledávání bylo uskutečněno v databázích Espacenet a Google-patents. Klíčová slova byla: seat heating; care seat; thermal comfort.

Tabulka 3 - Výběr z patentů pro kondicionování sedadel osobního vozu. Zdroj: Autor

Číslo	Název	Vynálezce	Žadatel	Číslo publikace	Publikováno
1.	Automobile seat frames , car seat and car	CHENG JIHUI	WUHAN YUNHE CAR SEAT CO LTD	CN208119004U	2018-11-20
2.	Take heating device's car seat and car	HUANG PING	WUHAN YUNHE AUTOMOBILE SEAT CO LTD	CN208149123U	2018-11-27
3.	Car seat heating device	DONG XUHUA	DONG XUHUA	CN107962990A	2018-04-27
4.	Car seat with heating function	NI WEI ; REN TINGTING	ANHUI JINSHENGJINSHI ELECTRONIC TECH CO LTD	CN108556703A	2018-09-21
5.	Car seat heating framework	JIA CHENGZHONG	HENGYANG CAR SEATS TIANJIN CO LTD	CN204196745U	2015-03-11
6.	Child car seat with integral heating apparatus	HEINZ LISA D [US]	HEINZ LISA D [US]	US8430451B1	2013-04-30
7.	Car seat for car of massage can heat	YU ZHIHUA	YUHUAN FEIDIE VEHICLE SEAT CUSHION FACTORY	CN207173396U	2018-04-03
8.	Car heating seat chair	SUN JING	ANHUI MAIHUOLANG ECOMMERCE CO LTD	CN205737079U	2016-11-30
9.	Car seat infrared heating oven	CAO PENG ; HU YANG JIA YU ; WANG YU	SHENYANG JINBEI ADIENT AUTO PARTS CO LTD	CN206670215U	2017-11-24
10.	Automatic heating device for car seat	NI WEI REN TINGTING	ANHUI JINSHENGJINSHI ELECTRONIC TECH CO LTD	CN108515889A	2018-09-11
11.	Child car seat heating surface	JOSEPH CHRISTOPHER [US] JOSEPH MATTHEW [US] JOSEPH MICHAEL B [US]		US6194687B1	2001-02-27
12.	Seat heating ventilation unit and car seat	ZHANG HAITAO	LANGFANG JINSE SHIGUANG TECHNOLOGY DEV CO LTD	CN204774813U	2015-11-18
13.	Car heating system	GARLAND WILLIAM L	VAPOR CAR HEATING CO INC	US1883896A	1932-10-25
14.	Car seat heating structure	SUN GUANGWEN	JIANGSU SHUANGJU AUTOMOBILE PARTS CO LTD	CN105857139A	2016-08-17
15.	Warming device for a car seat cover	CHEN CHIEN-CHOU [TW]		US2007056946A1	2007-03-15
16.	Car seat heating structure	SHAO JINGBIAO	SHAO JINGBIAO	CN207225146U	2018-04-13
17.	Electric car-heater	HYNES LEE P	CONS CAR HEATING CO	US1398522A	1921-11-29
18.	Multifunctional car seat	SHEN JIAN	ANHUI CAREMIC CONSULTING CO LTD	CN107351738A	2017-11-17
19.	Car seat with adjustable temperature and car	DENG YUDE	DENG YUDE	CN106904107A	2017-06-30
20.	Automobile seat heating system	CUI XIAOFENG ; HE WEILI WU JINGMING ; YI YI ; YIN WEI	JIANGLING HOLDINGS CO LTD	CN109606219A	2019-04-12
21.	Heating and cooling car seat cushion	WU SHAOHUI	WU SHAOHUI	CN207607384U	2018-07-13
22.	Heating gasket for automobile seat	WANG CHAOJIANG	ZHEJIANG SOJOY AUTO ACCESS CO LTD	CN205417264U	2016-08-03
23.	Multifunctional car seat accessory and system	FENG XIAOXING ; LI YUEQIU XU BOXING ; ZHONG JINSHI	SHENZHEN ZHIBEN GRAPHENE MEDICAL TECH CO LTD	CN208232883U	2018-12-14
24.	Automobile massage seat	JIANG BAILING ; WANG PING YU WANLI ; ZHANG JIAN	ZHEJIANG JIAFENG CAR SEAT CO LTD	CN209191750U	2019-08-02
25.	Ventilating and heating automobile seat	HE PAN ; LIN QIANG YANG ZHENPENG	YIBIN COWIN AUTO CO LTD	CN209454609U	2019-10-01
26.	Flighting schedule car seat mobile device	DAI YONGCHUN	HUAIAN XIGEER VEHICLE INTERIORS CO LTD	CN205706247U	2016-11-23

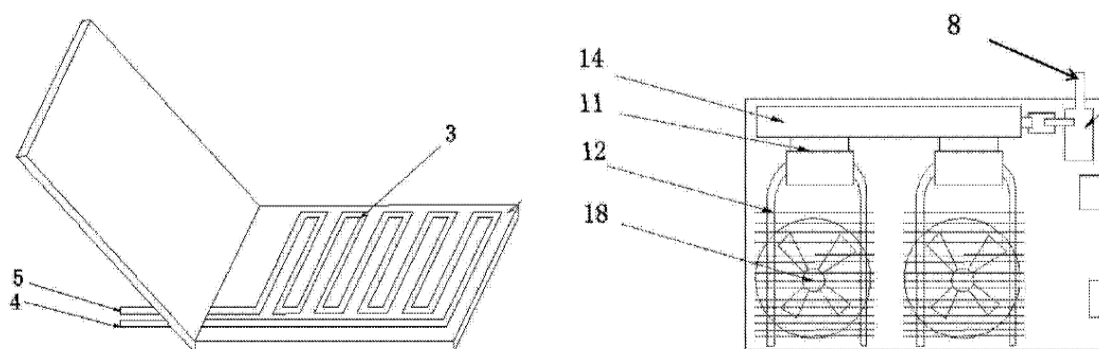
Číslo	Název	Vynálezce	Žadatel	Číslo publikace	Publikováno
27.	Heating gasket for automobile seat	DONG YI ; GONG CHANGHUI HAO YANFANG ; LIU QINGSONG WANG LIU ; ZHAO WEIPU	TIANJIN BOXIN AUTOMOBILE PARTS	CN103818287A	2014-05-28
28.	Energy -conserving and environment - protective car seat heating device	SHAN RONGWEI	YANT AI RIFENG PREC CASTING CO LTD	CN207607382U	2018-07-13
29.	Automobile seat heating pad	QI YUJING ZHANG HAITAO	HEBEI ANWEN AUTOMOBILE COMPONENTS CO LTD	CN209063942U	2019-07-05
30.	Vehicle car seating pads	ZHANG HAITAO [CN]	LANGFANG JINSESHIGUANG TECHNOLOGY LTD [CN]	WO2015024154A1	2015-02-26
31.	Car seat air-conditioning system	CHANG CHIA-CHIEH [TW]	CHANG CHIA-CHIEH [TW]	TW201328914A	2013-07-16
32.	Car seat hot -water bag	LI XIN ; SONG SIXIN YANG XINGYU	DF LEAR AUTOMOTIVE SEATING CO LTD	CN204701493U	2015-10-14
33.	Automobile seat heating pad	QI YUJING ; ZHANG HAITAO	HEBEI ANWEN AUTOMOBILE COMPONENTS CO LTD	CN209063941U	2019-07-05
34.	Car seat pronunciation intelligence temperature control device	LIU CHENGZHU	SHENYANG GUOHERUIHANG TECH CO LTD	CN205523825U	2016-08-31
35.	Car seat air conditioning system with ventilation heating function	BAI DEZHEN	CHANGCHUN LIANHENG ZHANYE ELECTRONIC CO LTD	CN205523824U	2016-08-31
36.	Heater for car seats with carbon fiber	PARK DONG SOO [KR]	UNIWORM CO LTD [KR]	KR20160040364A	2016-04-14
37.	Car seat heating structure	SUN GUANGWEN	JIANGSU SHUANGJIU AUTOMOBILE PARTS CO LTD	CN205553989U	2016-09-07

S problematikou se autoři vypořádávají různými způsoby. Sedadlo vybavené chlazením proudem vzduchu a radiátorem plnícím funkci výhřevu [94, 95, 96] je jedním z nejčastějších řešení. K chlazení se používá ventilátor, nebo externí klimatizační jednotka. K ohřevu se používají topné kabely. Toto řešení vyžaduje perforaci sedadla, pláště, případně i kostry sedačky. Perforace řeší současně odvod vodních par, které jsou produktem termoregulačních pochodů lidského organismu. Odlišným přístupem je použití vody, jako mediátoru pro zprostředkování výhřevu [97, 98]. Voda je uschována v rezervoáru uvnitř sedadla a je ohřívána elektrickým vodičem. Dalším způsobem výhřevu sedadla je ohřev vzduchu v interiéru pomocí topných kabelů. Ventilátor (Obrázek 34), distribuuje takto ohřátý vzduch výdechy v sedadle [99, 100].



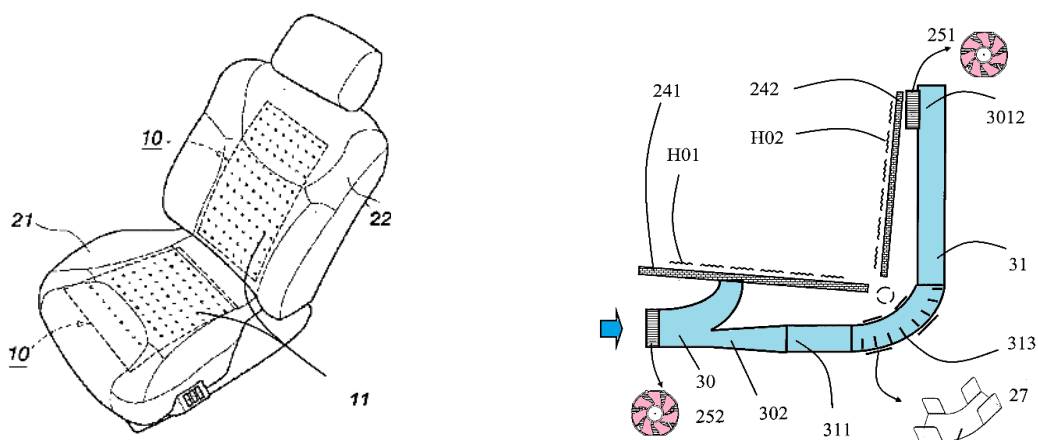
Obrázek 34 - Sedadlo automobilu s funkcí výhřevu loketních opěrek. [99]

Další variantou je kumulace funkcí; vyhřívané sedadlo je doplněné například funkcí masážní [101, 102]. Zpětnovazební řízení teploty sedadla [103] zahrnující senzor teploty, foto senzor a řídicí jednotku; představuje jiný přístup k problematice tepelného komfortu. Nejjednodušší způsob temperace sedadla, použitelný pro převážně chladné klimatické oblasti, kde není vyžadována funkce chlazení a odvodu potu od těla řidiče, je realizován topným kabelem, který prohřívá hmotu sedadla a zároveň sedací partie pasažéra [104, 105]. Pokud inovátoři nepoužili přímo topný kabel, pak byla použita technika nanesení vrstvy odporového materiálu na tepelně izolační hmotu [106]. Při průchodu elektrického proudu se tato vrstva zahřívá a slouží k prohřátí těla pasažéra. Příkladem komplexního zpětnovazebního řízení je panel, který na základě [107] vyhodnocování vnější teploty, vnitřní teploty a tlakových senzorů v sedadle stanovuje koncovou teplotu na povrchu sedadla, tak, aby plynule reguloval komfort uživatele. Nová není ani myšlenka zabudované A/C (Obrázek 35) jednotky přímo do těla sedadla [108], od které si autor patentu slibuje rychlou odezvu na aktuální potřebu pasažéra, bezpečnost, spolehlivost a nízkou spotřebu energie.



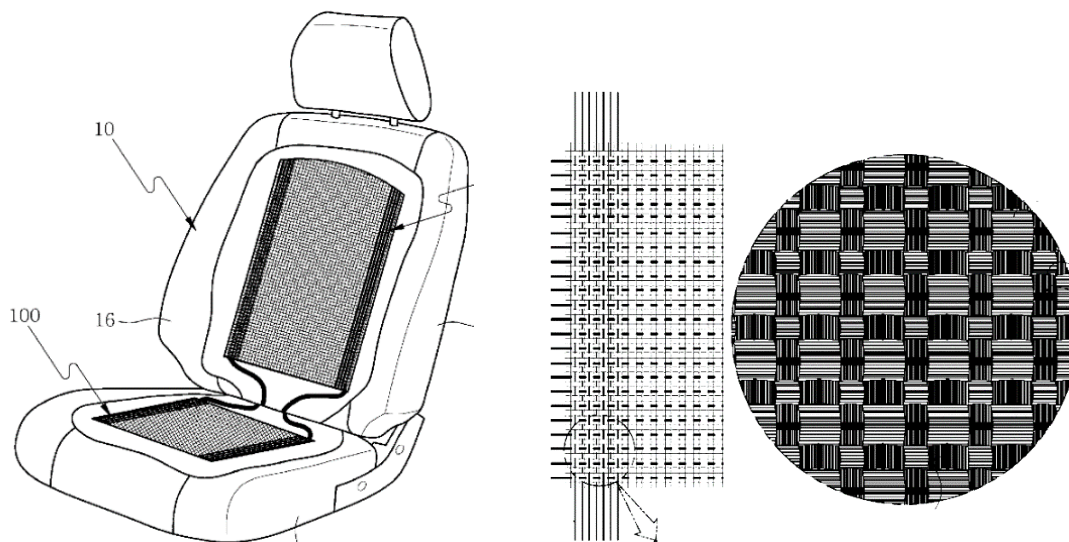
Obrázek 35 - Sedadlo se zabudovanou A/C jednotkou. [108]

Jednou z představených možností [109] je výhřev sedadla (Obrázek 36) temperovaným vzduchem, využívajícím napojení přímo na klimatizační jednotku osobního vozu.



Obrázek 36 - Sedadlo využívající k temperaci A/C jednotkou osobního vozu. [109]

Patentová rešerše poukazuje mimo jiné na problém životnosti odporových vodičů [110]. Autoři patentů navrhnou použít různé distanční materiály s plochými, či strukturovanými kontaktními plochami a trasováním odporového vodiče, aby předešli porušení vodiče po dobu životnosti sedadla. Ventilátory k provzdušnění sedadla, odvodu tělesné vlhkosti a přívodu teplého vzduchu [111] lze použít i v kombinaci s netkanými textiliemi. Ty jsou díky velkým rozestupům mezi jednotlivými vlákny tj. malému tlakovému spádu, nízkou plošnou hustotou pohybující se mezi 0,2 až 1,8 kg / m² a při použití převážně syntetických, nenasákavých a pachově neutrálních materiálů, předurčeny k podobným aplikacím. Rovněž použití moderních materiálů, jako jsou uhlíková vlákna [112], kterými se nahrazují odporové vodiče, slibuje lepší vlastnosti užité vlastnosti, protože odpadá jedna vrstva materiálu tj. nosič odporového drátu, který tvoří pouzdro a zároveň ochranu vodiče před poškozením běžným používáním. Karbonový vodič lze integrovat přímo do vazby potahu (Obrázek 37), kde plní svojí funkci, aniž by hrozilo riziko poškození vodiče. Nevýhodou tohoto řešení je jeho vysoká cena.



Obrázek 37 - Sedadlo s výhřevem karbonovými vlákny. [112]

Z dohledaných patentů lze odvodit poměrně ucelený přehled řešení kondicionování sedadel osobních automobilů. Jsou zde zastoupeny opakující se principy výhřevu odporovým vodičem, nebo ochlazování / ohřev ventilátorem. Variace jsou v použití moderních, více či méně exotických materiálů, které však nejsou rentabilní v poměru výkon / cena. Zřídka dochází k připojení k A/C jednotce vozu, nebo vestavbě vlastní, nezávislé A/C klimatizační jednotky do sedadla. Problémem s kterým se výrobci potýkají, je životnost odporového vodiče. Sedadlo je jednoznačně jedním z nejexponovanějších míst co do četnosti použití, namáhané hmotností pasažéra a smykovými silami způsobenými profilem tratě a stylem jízdy.

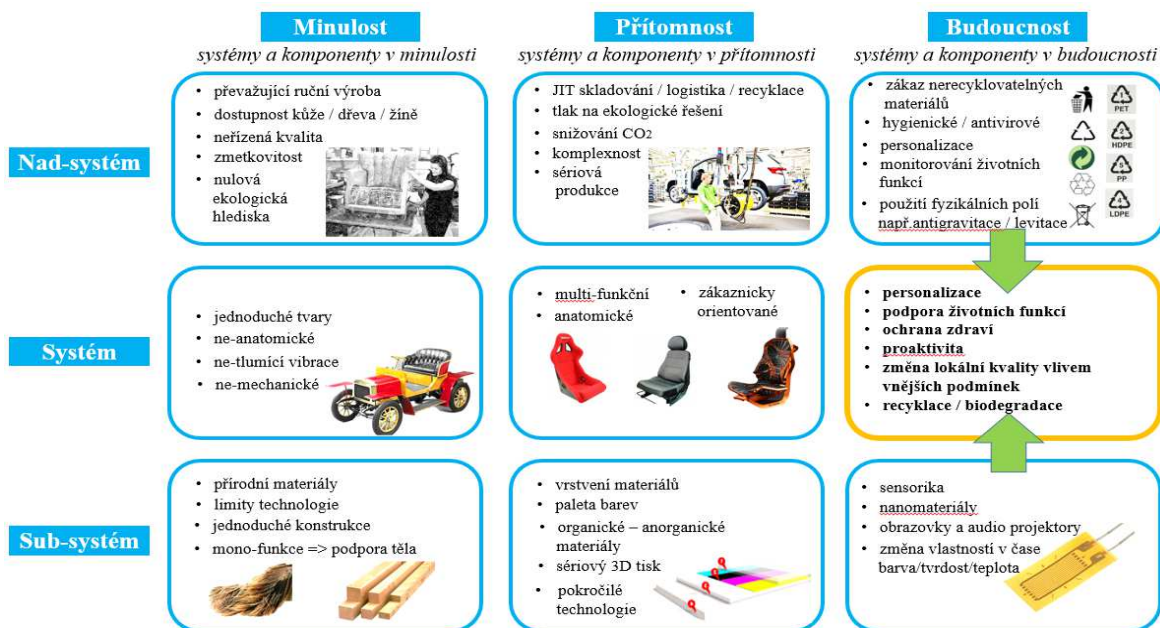
3.8 TRIZ - Víceúrovňová analýza systému automobilové sedačky

Víceúrovňová analýza je také známá pod názvem „9 – Windows“ technika. Patří do skupiny inovačních nástrojů TRIZ. Jde o komplexní nástroj, který pomáhá překonat a rozbít přirozenou setrvačnost myšlení (Obrázek 38). Principem je popsání vývoje inovovaného technického systému (TS) rozloženého v čase, kterým se vývoj ubíral. Začátkem je popis výrobku tak, jak vypadá v současnosti. Následně se popíše historie TS, tj. jak vypadal v minulosti. Predikuje se budoucí stav TS – na základě znalostí inovačních principů, např. teorie „S-křivky“, či vývoje TS ze systému do nad-systému. Tento rozklad technického systému v čase, doplněný o pohledy z úrovně nad-systému a pod-systému, poskytuje komplexní, globální pohled na problematiku vývoje TS. Inovační nástroj „9 – Windows“ se opírá o skutečnost, že systémy neexistují osamoceně ani v čase, ani v místě, ani nejsou izolované od ostatních systémů. Právě schopnost nadhledu na TS pak dává možnost předvídat budoucí vývoj.

	Minulost	Přítomnost	Budoucnost
Nad-systém	1.	2.	3.
Technický systém (TS)	4.	5.	6.
Pod-systém	7.	8.	9.

Obrázek 38 - Princip analytického nástroje víceúrovňového myšlení „9-Windows“. [4, 5]

Technický systém (TS) automobilové sedačky byl analyzován (Obrázek 39) nástrojem víceúrovňového myšlení. Zdrojem informací byl provedený patentový průzkum. Automobilové sedačky se v automobilech objevily prakticky už před více jak 135 lety. Za tuto dobu prodělaly bouřlivý vývoj stran použitých technologií, ergonomie, použitých materiálů a nakonec i ekologického. Z analýzy vyplynulo, že s masovou produkcí automobilů a se souběžným růstem technologické základny došlo, zejména pod tlakem konkurenčního boje mezi producenty automobilů, ke zvyšování zákaznických standardů. Zejména po 2. světové válce, v 50. letech 20. století, se v americké produkci osobních vozů začíná objevovat klimatizace, což je první pokus o kondicionování prostředí kabiny vozu. Výhřev sedadel, stejně jako volantů, potažmo hlavice řadičích páky, jsou inovace, které mají rovněž základ ve válečné technologii. Už deset let předtím byly posádky výškových bombardérů vybaveny elektricky vyhřívanými částmi oblečení, např. boty, rukavice, nebo kyslíkové masky. Souběžným vývojem technologické základny je k naplnění zákaznických potřeb možné využít inovace, které vznikly v důsledku vývoje kosmických technologií v 70. letech 20. století.



Obrázek 39 - Analýza TS automobilové sedačky. Víceúrovňové myšlení. Zdroj: Autor

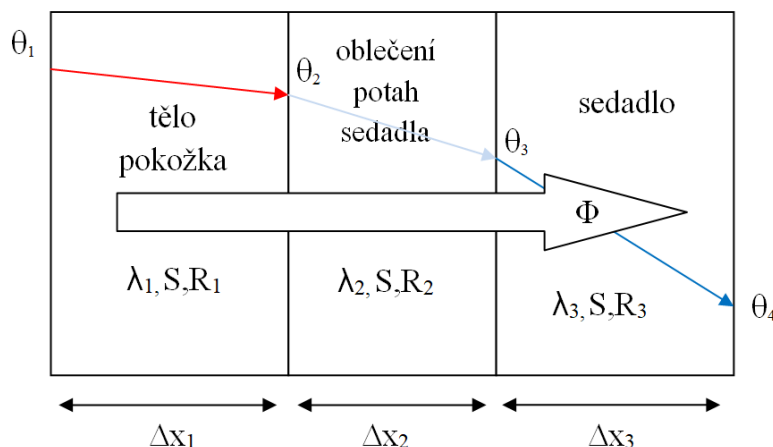
V budoucnosti lze očekávat další pronikání těchto pokročilých technologií z inovačních center do běžného života, do výrobků běžné denní spotřeby. V automobilovém průmyslu se s nimi můžeme potkávat už nyní. Automobil dnes neplní jen funkci mediátoru mobility, tato funkce je upozaděná. Nahrazena je funkcí novou. Vůz je prostředníkem on-line komunikace, zprostředkovatelem zábavy. Jde opět o nahrazení funkce technického systému funkcí z nad-systému. Automobily budou vybaveny funkcí autonomního řízení, adrenalinový pocit z řízení automobilu zmizí. Prázdné místo nahradí „auto – zprostředkovatel zábavy“. To vyplní ušetřený čas mezi přesuny automobilem z bodu A do bodu B. Funkce temperace sedadla zprostředkovaná elektrickým výhřevem se za posledních padesát let prakticky nezměnila, přesněji nedoznala dramatické inovace, která by se masově rozšířila. Důvod, proč uniká vyhřívání sedadel zájmu producentů osobních automobilů, je několik. Především jde o cenu. Odporový drát dokáže naplnit funkci temperace sedadla k uspokojení většiny uživatelů. Je to však skutečně pravda? Nejnovější poznatky z oblasti biomedicíny a termoregulace překvapivě ukazují, že bohužel pouze zdánlivá. Řízení teploty sedadla je pouze jedna strana mince. Nezohledňuje řízení tělesné termoregulace a termoregulačních pochodů v lidském těle probíhajících podvědomě, kontinuálně na hluboké systémové úrovni lidského organismu. Výsledkem je, že řízená teplota sedadla ve skutečnosti tělo nezahřívá, ale přehřívá, neboť tělesné periferie tj. partie v kontaktu s vyhřívanou sedačkou, slouží tělu jako mediátor termoregulace a pracují vždy s jistým zpožděním. Výhřev sedačky paradoxně nemusí přispívat ke kladnému zákaznickému hodnocení, vycházejícímu ze subjektivního tělesného vjemu. Naopak, může vyvolat přehřátí organismu s bouřlivou tělesnou odezvou, jako zvýšení tepové frekvence, zvýšená potivost, pocit tělesného diskomfortu – a záporným zákaznickým hodnocením subjektivního tepelného komfortu.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1. Metodika měření

4.1.1 Termodynamický systém uživatel-automobilové sedadlo

Hodnotícím kritériem spokojenosti uživatele osobního vozu je „celkový tepelný komfort“. Ten v zimních měsících klesá, neboť uživatel usedá do sedadla automobilu, kde je teplota nižší, než je jeho tělesná teplota, což vyvolá na úrovni termoregulace negativní vjem tepelného diskomfortu. V čase usednutí do sedadla řidič spouští pohonnou jednotku a zapíná kondicionování vnitřního prostoru kabiny. Zatímco okolní teplota ve voze stoupá, teplo šířené vedením mezi tělem řidiče a sedadlem má záporný gradient, tj. tělo se od sedadla s nižší teplotou ochlazuje. Teplo se vedením [90] šíří z teplejšího do studenějšího prostředí, předávání kinetické energie probíhá prostřednictvím srážek (kapalina, tělo je tvořeno z 80 % vodou) a prostřednictvím vibrací (pevná tělesa). Teplo se šíří ve směru kolmém na izotermy. Výsledkem situace, kdy je přední část řidiče ohřívána A/C jednotkou a plocha zad, zadní strana těla a nohou ochlazována sedadlem, vyvolá další snížení celkového tepelného komfortu [35, 42, 124, 129]. Míra ochlazování těla sedadlem resp. odebrání tepla chladnější hmotou, záleží na teplotě povrchů θ_1 až θ_n [K] a součiniteli tepelné vodivosti λ [W/m.K]. Idealizované schéma vedení tepla v automobilu předpokládá tři vrstvy materiálů (Obrázek 40).



Obrázek 40 - Idealizovaný model přestupu tepla řidič – sedadlo automobilu. [129]

První zóna s teplotou θ_1 [K] je teplotou povrchu těla. Pro zjednodušení zanedbáváme šíření tepla radiací. Druhá zóna jsou textilie, zahrnuje oblečení i potah sedadla. Izolační vlastnosti má i vzduch, který je ve statické vrstvě mezi tělem a sedadlem uzavřený. Systém je schopný odvádět pot od těla řidiče a pohlcovat vzdušnou vlhkost z prostředí, tím se v závislosti na okolních podmínkách mění součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]. Třetí zóna je samotné sedadlo tvořené v místě kontaktu PUR pěnou.

Pro jednotlivé zóny uvažujeme zjednodušený model. V reálném prostředí se v mezních vrstvách uplatňuje přenos tepla zářením a prouděním a ztráty tepla tepelnými mosty a nedokonalým přilnutím vrstev. Zavádíme veličinu tepelný odpor R [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$] (Rovnice 16) a dle Fourierova zákona [90] definici teplotního toku Φ [W] (Rovnice 17).

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -S \times \lambda \times \frac{\Delta \theta}{\Delta x} \quad ; \quad [\text{W}] \quad (16)$$

$$R = \frac{\Delta x}{\lambda} \quad ; \quad \left[\frac{\text{K} \times \text{m}^2}{\text{W}} \right] \quad (17)$$

Tepelný tok $\Phi_{1,2,3}$ [W] ve složeném prostředí (Obrázek 40) bude závislý na ploše styku S [m^2], teplotě θ [K] a tepelném odporu R [$\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$]. Je popsán vztahy (Rovnice 18, 19, 20, 21).

$$\Phi_1 = S \times \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_1} \quad ; \quad [\text{W}] \quad ; \quad \text{první zóna} \quad (18)$$

$$\Phi_2 = S \times \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_2} \quad ; \quad [\text{W}] \quad ; \quad \text{druhá zóna} \quad (19)$$

$$\Phi_3 = S \times \frac{\theta_3 - \theta_4}{R_3} \quad ; \quad [\text{W}] \quad ; \quad \text{třetí zóna} \quad (20)$$

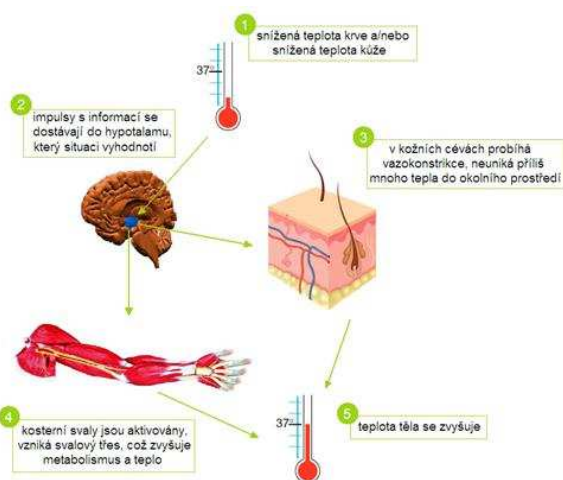
$$\Phi_{\text{celkový}} = S \times \frac{\theta_1 - \theta_4}{R_1 + R_4} \quad ; \quad [\text{W}] \quad ; \quad \text{celkový tepelý tok} \quad (21)$$

4.1.2 Stanovení požadavků na tepelné rozpětí

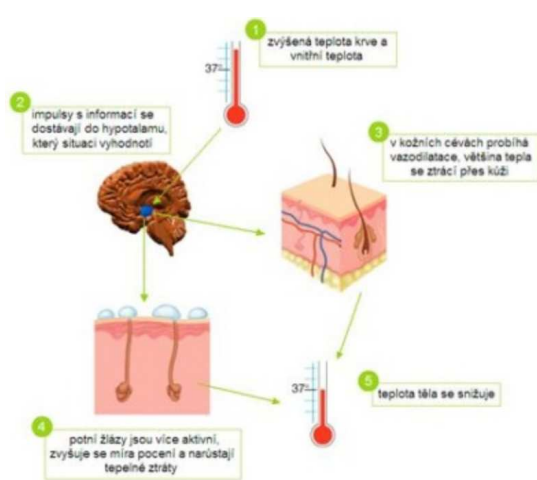
Lidské tělo stabilizuje svojí teplotu pomocí termoregulace. Tato funkce je vlastní všem teplokrevným živočichům. Teplotou hlubokých tkání, tj. jádra lidského těla, rozumíme relativně konstantní teplotu $t_{\text{core}} = 37^\circ\text{C}$, okolo které lidský organismus reguluje v rozsahu cca $\pm 0,6^\circ\text{C}$ [113, 114]. Teploty nižší, podchlazení, hypotermie, i teploty vyšší, přehřátí resp. úžeh, hypertermie, organismus poškozuje.

Teplota periférií tj. paží, dolních končetin a pokožky se liší, je nižší než $t_{\text{periferii}} < 37^\circ\text{C}$ a rozsah regulace teploty $t_{\text{periferie}} (\pm)$ je širší. Se zvětšující se vzdáleností od středu těla je teplota obecně nižší. Teplo vzniká svalovou prací, v srdci, v játrech a v mozku. Tuk plní izolační funkci, teplo je distribuováno krevním oběhem. Žilní systém zprostředkovává tepelnou výměnu mezi krví a kůží [113], je regulován hypothalamem a může zvětšovat (vazodilatace) či snižovat (vazokonstrikce) průtok krve a krevní tlak pomocí periferních termoreceptorů.

Chladové receptory prahovou hodnotu zvyšují, tepelné receptory snižují. Zdroj [113, 114] uvádí příklad, kdy tělo zareaguje na zvýšenou teplotu okolí snížením prahové hodnoty. Tělo odpoví ochlazováním a pocením s předstihem. Naopak, pokud je teplota okolí nízká, chladové receptory to zaznamenají a hypotalamus prahovou hodnotu zvýší, v předstihu spustí vazokonstrikci a tělo s předstihem spustí proces ochraňující před prochladnutím (Obrázek 41). Souběžně se zvyšuje produkce tepla vyvoláním svalového třesu, rychle opakujících se pohybů o malé amplitudě. Zvyšuje se spotřeba energie, svalovou prací se produkuje teplo, dostaví se pocit chladu. Třes zvyšuje tvorbu tepla asi trojnásobně, krev z podkoží je stažena do svalů.



Obrázek 41 - Odezva na hypotermii. [114]



Obrázek 42 - Odezva na hypertermii. [114]

Expozice těla teplem, kdy teplota tělesného jádra stoupne nad cca $t_{\text{core}} = 37,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [114] vyvolá hypertermickou reakci organismu (Obrázek 42). Je třeba rozlišovat teplotu jádra a teplotu povrchu těla, který je oproti jádru o cca $t = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ studenější tj. kůže má přibližně $t_{\text{pokožka}} = 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tělo odpovídá vazodilatací podkožních cév, zvýší se průtok krve, krev rychleji ochlazuje tělo. Při zvýšení tělesné teploty $t_{\text{core}} > 42^{\circ}\text{C}$ dochází k buněčnému poškození vlivem koagulace a denaturace bílkovin.

Pomocí informací získaných studiem z dostupných zdrojů [113, 114] bylo stanoveno tepelné rozpětí, v němž experiment probíhal a které by nepoškodilo organismus u testovaných subjektů. Test v klimatické komoře byl realizován v rozmezí teplot $t_{\text{okoli}} = -20^{\circ}\text{C}$ až $t_{\text{denaturace bílkovin}} < 42^{\circ}\text{C}$ na povrchu sedadla.

4.1.3 Definice měřících a vyhodnocovacích oblastí

Pro potřeby hodnocení bylo nutné stanovit oblasti sedačky, které budou klíčové jak pro měření teploty i škály subjektivních vjemů respondentů. Z odborných publikací [14, 31, 35, 45] byly shromážděny informace, které posloužily k hlubšímu proniknutí do problematiky tepelné senzorky lidského těla.

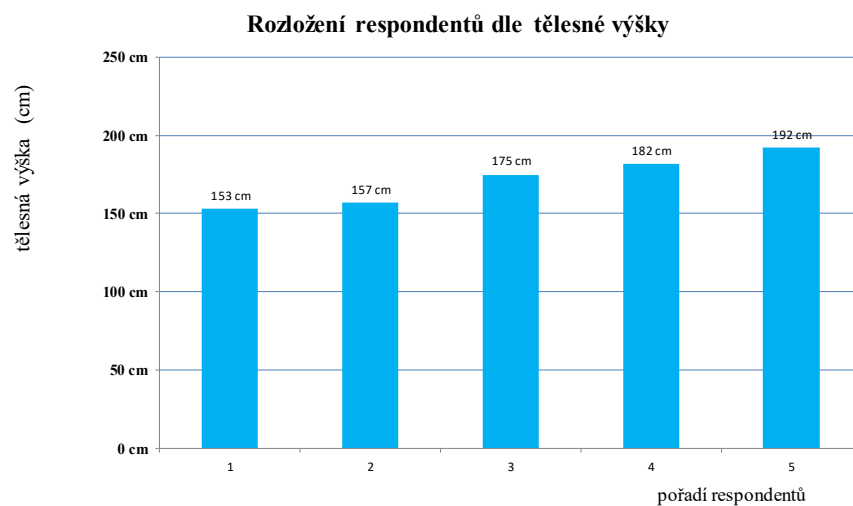
V prvním kroku bylo třeba vymezit oblasti kontaktu mezi tělem a sedadlem. Zdroj [35] používá měřící zařízení (Obrázek 43), které dokáže definovat místa vtlačení těla do sedačky a přiřadit jím, v závislosti na hustotě sítě senzorů, exaktní hodnotu tlaku distribuovanou v ploše sedadla. Z výše jmenovaných důvodů bylo rozhodnuto provést vlastní měření na skupině reprezentující průměrného uživatele.

Bylo provedeno měření se skupinou vybraných respondentů na měřící podložce firmy XSENSOR® Technology Corporation (Obrázek 43), typ měřícího zařízení X3 PX100:48.144.02. s přesností $\pm 10\%$ z měřícího rozsahu 0,07 až 1,33 N/cm². Rozlišení jednoho měřícího bodu je 12,7 x 12,7 mm. Zařízení je primárně určeno k měření ve zdravotnictví pro prevenci vzniku dekubitů.

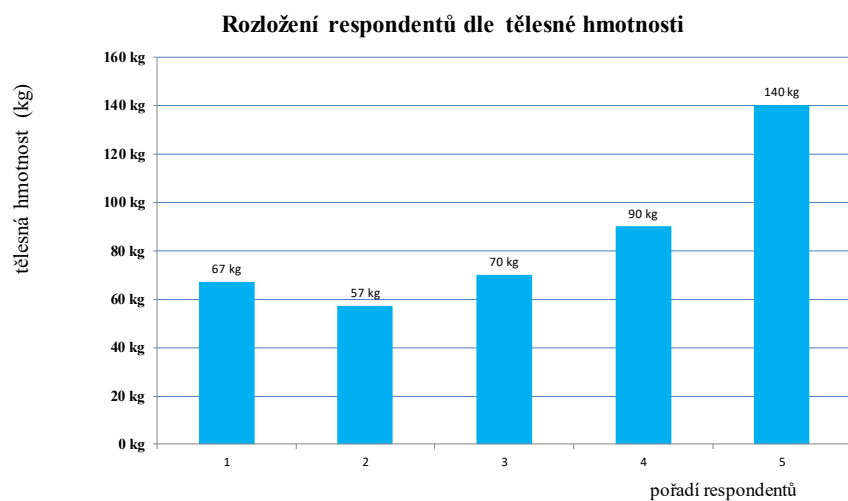


Obrázek 43 - Měřící zařízení firmy XSENSOR® [115]

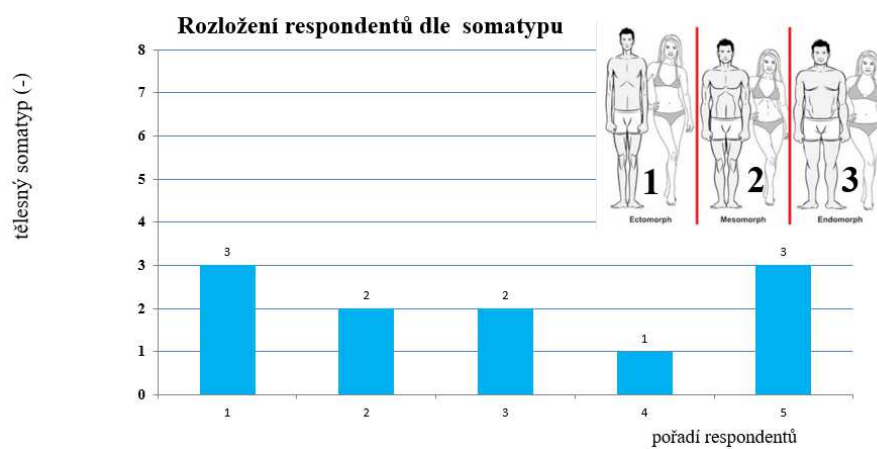
Skupina respondentů byla složena z pěti účastníků, dvě ženy, tři muži, hmotnostní rozsah 50–140 kg. Účastníci byli somatypu endomorfního až ektomorfního. Výška respondentů 150 až 191cm. Detaily rozložení respondentů dle jejich tělesné výšky ukazuje Graf 17, podle tělesné hmotnosti Graf 18 a podle somatypu Graf 19. Pro zajímavost EHK řidič, dle homologační specifikace, je 175cm vysoký s hmotností 75kg.



Graf 17 - Respondenti experimentu seřídění dle výšky. Zdroj: Autor

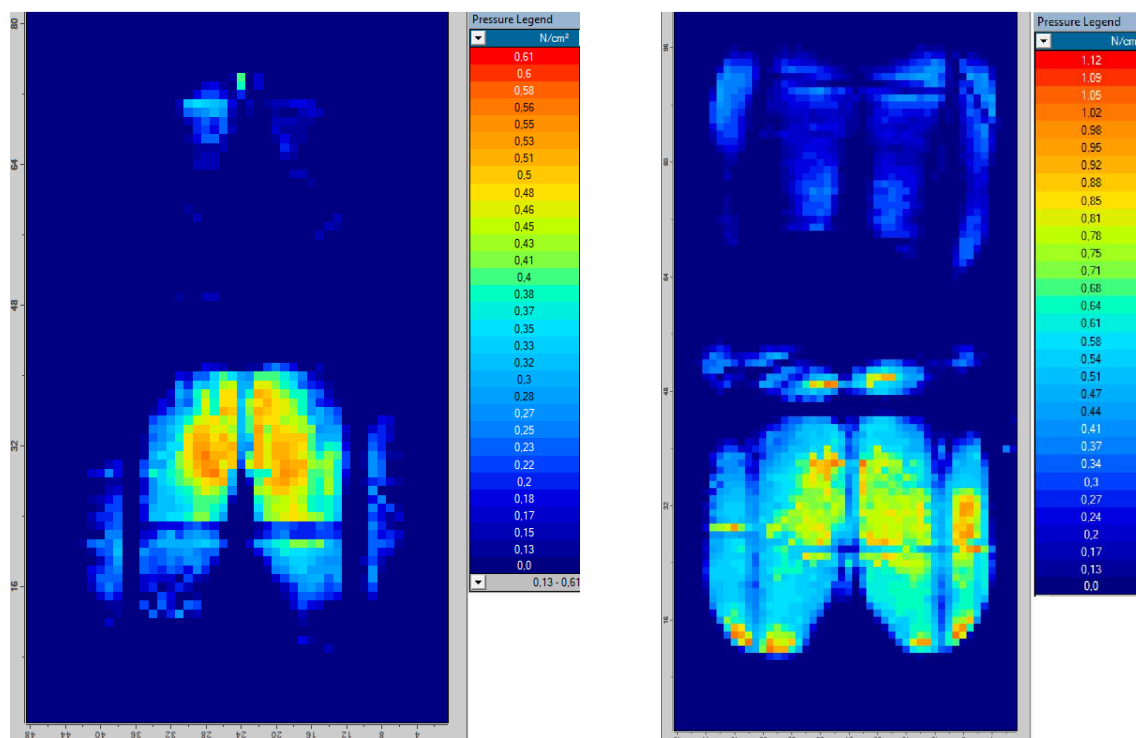


Graf 18 - Účastníci experimentu rozdělení podle tělesné hmotnosti. Zdroj: Autor



Graf 19 - Rozvrstvení subjektů v testu podle příslušnosti k somatypu. Zdroj: Autor

Měření ukázalo, že největší zatížení je na sedáku pod pánevní kostí (Obrázek 44). Tento fakt je platný univerzálně; platí jak pro provedená měření, tak i pro kontrolní skupinu např. zdroje [35].



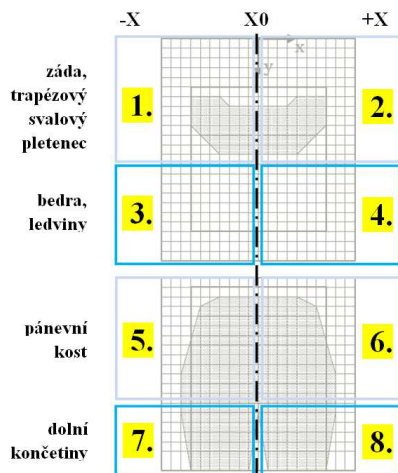
Obrázek 44 - Vlastní měření rozložení hmotnosti v sedačce přístrojem XSENSOR. Zdroj: Autor

Z měření shrnutém do Tabulky 4 vyplývá i souvislost mezi hmotností a zasednutou plochou. Nicméně došlo k rozkolu se zdrojem [35] v měření na opěře zad. Výška a hmotnost respondenta mají jednoznačně vliv na celkovou zasednutou plochu a její rozložení v ploše. Přestože z měření vyplývá rozmanitost mezi velikostí obsazené plochy sedadla, sjednocujícím znakem je symetrie okolo osy X, tj. pravou a levou polovinou těla. Dalším společným prvkem je přítlak v oblasti trapézového pletence zad v místě mezi oběma pažemi. Kontakt s plochou zádové opěry v bederní oblasti je nejednoznačný a záleží na poloze těla uživatele v celém sedadle včetně polohy paží.

Tabulka 4 - Rozložení tlaku v ploše, výsledky měření přístrojem XSENSOR. Zdroj: Autor

Rozsah	Průměrný tlak [N/cm ²]	Maximální tlak [N/cm ²]	Minimální tlak [N/cm ²]	Obsazená plocha [cm ²]
spodní hranice rozsahu	0,39	0,72	0,13	1298,39
střed rozsahu	0,41	0,885	0,13	2341,94
horní hranice rozsahu	0,43	1,05	0,13	3385,48

Z výše uvedených důvodů došlo k rozdělení sedadla pro potřeby měření teploty a hodnocení komfortu do několika oblastí symetrických podle osy X (Obrázek 45). Kontrolní plochy pokrývají celou automobilovou sedačku, aby došlo ke statisticky vyššímu pokrytí vzorku populace, jak vyplývá ze závěrů zdroje [35] a realizovaných měření.



Obrázek 45 - Rozdělení sedadla na oblasti pro potřeby hodnocení a měření. Zdroj: Autor

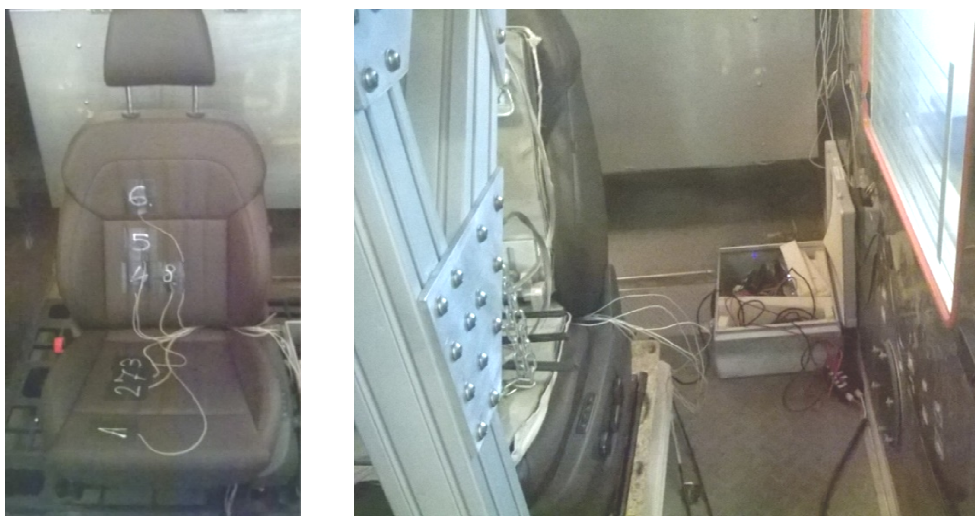
4.1.4 Metodika měření výhřevu původních sedadel výrobcem

Pro vlastní experiment byla převzata metodika měření výrobce sériových sedadel opatřených temperací. Konkrétní zájem byl soustředěn na měřící postupy, okrajové podmínky, na přístrojové a měřící vybavení. Zkušenosti a doporučení vedly k přípravě vlastního experimentu s přijatelnou přesností měření a vysokou měrou opakovatelnosti. Byl navázán kontakt s dodavatelem sedadel. V rámci spolupráce proběhla exkurze v jeho laboratořích (Obrázek 46) s možností účasti na provedení srovnávacího měření.



Obrázek 46 - Řídící velín k provádění měření tepelného komfortu. Zdroj: Autor

Měření výhřevu sedadla probíhalo v klimatické komoře za ustálených teplotních podmínek. Zkouška je řízená z řídicího pracoviště, které je vybaveno vyhodnocovací jednotkou zprostředkovávající měření teploty v klimakomoře a stabilním zdrojem elektrické energie napájejícím výhřev sedadla umístěného v boxu s řízenou temperací. Z operačního centra se řídí klimatické podmínky v měřicím boxu. Pro zkoušky je předepsaná počáteční teplota $t_{\text{start}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Testované sedadlo je nutné temperovat po dobu 8 hod, aby došlo k rovnoměrnému prostupu tepla do všech částí sedačky a tepelné pole bylo homogenní. Testované sedadlo (Obrázek 47) je opatřeno osmi teplotními čidly, která mají rychlý náběh resp. vysokou vzorkovací frekvenci. Ideální jsou odporová čidla pro měření teploty, např. PT100 ve třídě přesnosti A, B dle ČSN EN 60751.



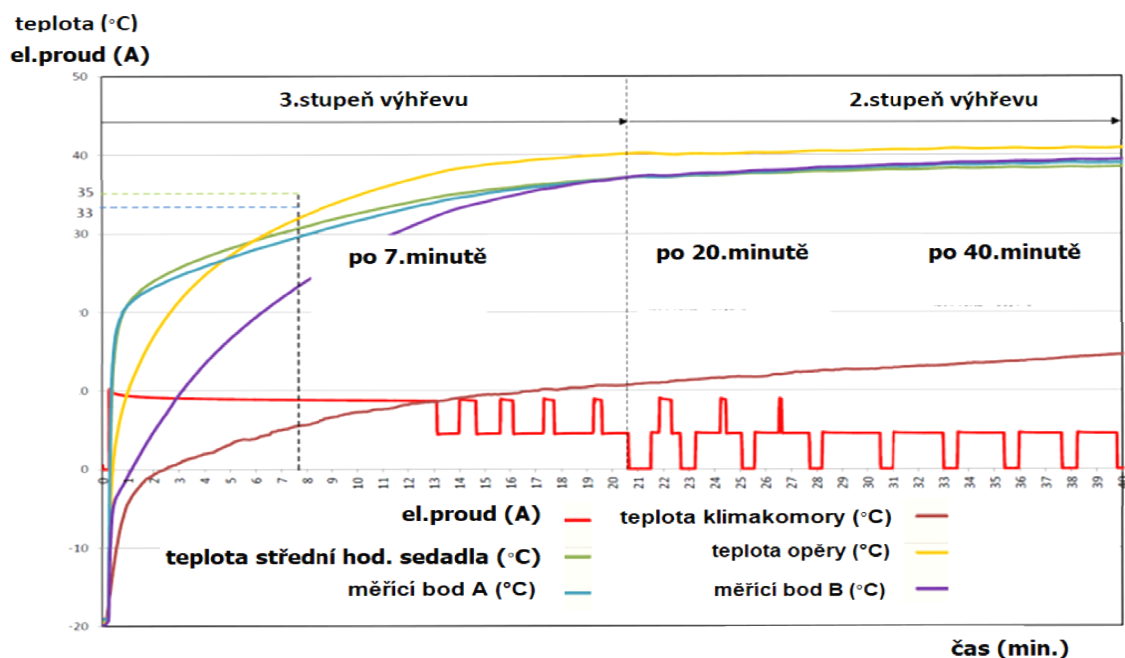
Obrázek 47 - Sedadlo s teplotními senzory v temperovaném klima-boxu. Zdroj: Autor

Umístění teplotních čidel není náhodné, měřicí body jsou vybrány podle velikosti distribuovaného tlaku v ploše sedadla, hodnotí se rovnoměrná distribuce tepla v celé ploše sedadla. Tělo řidiče při testování zastupuje vyhřívaná manekina (Obrázek 48). Ta proměnlivou teplotou simuluje termoregulační pochody v těle uživatele.



Obrázek 48 - Vyhřívaná manekýna a řídicí jednotka temperace s ovládáním výtahu. Zdroj: Autor

Testovací manekina má definovanou hmotnost dle normy EHK $m = 75 \text{ kg}$. Test trvá předem stanovenou dobu, během které dojde k přenastavení teploty manekiny tak, aby reflektovala změny fyziologie reálného uživatele. Zohledňuje se materiál sedadla, což jsou v současnosti textilní potahy (tkaniny, pleteniny), kožená useň, syntetická kůže a jejich kombinace.



Graf 20 - Grafický záznam měření výhřevu sedadla v klimakomůře. Zdroj: Autor

Prezentace testování a hodnocení výhřevu sedačky pomohly nastavit řešení dané problematiky, převzít metodiku měření a vyhodnocování zákaznického tepelného komfortu. Spojení informací z odborných zdrojů [14, 31, 35, 42, 48] a zkušenost získaná u dodavatele pomohly vytvořit vlastní metodiku měření, která byla směřovaná k výrobě prototypu sedadla s inovovanou temperací. Chybějící hodnocení komfortu uživatelem bylo rozpracováno jako součást řešení disertační práce. Metoda hodnocení doplňuje subjektivní vjemy respondentů exaktně naměřenými hodnotami teploty v zájmových oblastech sedadla.

4.1.5 Hodnocení celkového tepelného komfortu pasažéra

Stanovení teplotního rozhraní pro potřeby experimentu podle teploty:

Termoregulace lidského těla spouští termoregulační pochody při odchýlení se od teploty jádra, které má přibližně teplotu $37,1 \pm 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota periférií, pokožky nad tělesnými orgány, stejně jako vzdálených periférií tj. spodní část končetin, dlaní a chodidel se liší a variuje mezi $33 - 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Nerozhoduje, zda pasažér sedí, či stojí, ale na míře aktivace metabolismu tj. fyzické práce, kterou vykonává. Řízení automobilu je zařazeno mezi nenáročnou fyzickou aktivitu.

Stanovení citlivosti povrchu těla na změnu teploty:

Citlivost těla k tepelným podnětům se liší. Zájmovou oblastí v rámci experimentu je oblast zad, beder a hýždí až po zadní část dolních končetin. Citlivost se stanovuje podle ukazatelů [42]: Index teplotní citlivosti, který je získaný poměrem (1), Hodnocení tělesného komfortu TSV [-] a rozdílu lokální teploty a celkové teploty Δt_{sk} [°C]. Výsledkem jsou teplotní mapy s rozložením citlivosti povrchu těla k tepelným podnětům. Zdroj [42] používá čtyřbodovou škálu hodnocení: neutrální -0; převážně necitlivý -1; citlivý většinou -2; velmi citlivý -3.

Definice charakteristických bodů a jejich teplota:

Charakteristické body byly stanoveny s ohledem na rozmístění receptorů chladu a předpokládanou [42] citlivost v daných lokacích. Došlo k rozdělení sedadla do čtyř zón (Obrázek 45) s rozlišením L a P strany a jejich očíslování 1 až 8. Teplota v těchto oblastech by se podle metodiky používanou dodavatelem měla pohybovat v rozmezí $t_{start} = -20\text{ °C}$ až $t_{konec} < 40\text{ °C}$. Délka testu je stanovena na t_{20min} [s] při nepřekročení mezních hodnot.

Vytvoření metodiky měření:

Pro hodnocení teplotního komfortu uživatele byla zvolena dotazníková metoda hodnocení. Na sedadle bylo umístěno pět čidel; dvě v oblasti kříže, dvě v oblasti hýždí, jedno pro monitorování teploty uvnitř boxu. Dotazování probíhalo v průběhu testu a kladeny byly otázky na **lokální a celkový tepelný komfort**. Každému subjektivnímu vjemu bylo přiřazeno konkrétní teplotní rozmezí.

Lokální tepelný komfort se odvíjí od senzorického vjemu, transformovaného do subjektivního pocitu přílišného chladu nebo naopak tepla v konkrétní části těla. **Hodnocení lokálního tepelného komfortu probíhá na pětibodové stupnici [42] v rozsahu: velmi chladný -2; chladný -1; neutrální 0; teplý +1; velmi teplý +2.** Pro sjednocení okrajových podmínek byli respondenti oblečení do jednotného unisex oblečení (Obrázek 49).



Obrázek 49 - Jednotné oblečení účastníků testování. [116]

Metodika subjektivního zákaznického hodnocení:

- Sedadlo s připevněnými senzory pro měření teploty PT100 (5ks) je temperováno po dobu $t=8-12$ hodin v závislosti na okolních podmínkách. Cílem je dosažení homogenity rozložení teploty v tělese sedadla.
- Přivedení respondenta ke klimatické komoře a poučení ve smyslu způsobu chování, posedu v sedačce, hodnotící stupnici, délce testu a jeho nezávadnosti. Cílem je respondenta informovat a odstranit případný negativní stres, který by mohl mít dopad na průběh zkoušky a přesnost výpovědi. Respondent se obléká do unifikovaného oblečení z bavlny. Kalhoty jsou vyrobené z tkaniny s keprovou vazbou, gramáž 240 g/m^2 , tričko z jednolící pleteniny s dlouhým rukávem, gramáž 160 g/m^2 .
- Temperace klimakomory se vypíná. Do boxu temperovaného na teplotu $t_{\text{okolí}} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vstupuje respondent a usedá na sedadlo dle doporučení tj. s důrazem na plnost kontaktu s opěrou zad a plochou zadní části dolních končetin.
- Začíná dotazování na celkový tepelný komfort a lokální tepelný komfort. Respondent je povzbuzovaný k popisování subjektivních pocitů tepelného komfortu. Při každé odpovědi respondenta se zaznamená naměřená teplota a čas.
- Po ukončení testu tj. ustálení kontaktní teploty $t_{20\text{min}}$ resp. $t_{40\text{min}}$ [$^{\circ}\text{C}$] je respondent vyzván k opuštění klimakomory a k usednutí do připravené židle v předsálí klimatického boxu. Respondent je poučen o potřebě nechat stabilizovat termoregulační pochody v těle, které bylo vystaveno změnám teplot. Respondent je pobídnutý k příjmu tekutin (rehydratace).
- Demontáž čidel teploty. Relaxace při $t_{\text{pokojová}} = \pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, která je potřebná k odvedení vlhkosti deponované v tělese sedadla během testování před další zkouškou.
- Zpracování výsledků měření.

4.1.6 Výběr kontrolní skupiny testovaných subjektů

Pro výběr respondentů bylo třeba zjistit informace relevantní ke statistickému rozložení populace ve střední Evropě resp. v České republice. Byl použitý zdroj [117] Ústavu zdravotnických informací a statistiky České republiky, který shromažďuje antropometrické metriky populace v ČR. Byly použity reference týkající se měření Indexu tělesné hmotnosti BMI (Body Mass Index). Zdroj [117] vyhodnocoval na vzorku populace parametry: výška [cm]; hmotnost [kg]; BMI [-]; pohlaví [M/Ž]; věk [-], údaje shrnuje Tabulka 5.

Tabulka 5 - Statistické rozložení metriky populace v ČR (ÚZIS ČR č.48/2002). [117]

věk	Průměrná hodnota					
	muži			ženy		
	výška [cm]	hmotnost [kg]	BMI [kg/m ²]	výška [cm]	hmotnost [kg]	BMI [kg/m ²]
celkem	177,8	82,1	26,1	164,9	68,4	25,2
15-24	180,1	75,2	23,1	167,9	60,8	21,5
25-34	179,7	82,2	25,4	166,6	63,5	22,9
35-44	179,3	84,1	26,2	166,1	67,1	24,3
45-54	177,2	86,1	27,4	164,7	71,4	26,3
55-64	175,4	85,7	27,8	163,2	75,4	28,3
65-74	174,2	83,1	27,4	162,4	73,2	27,7
75 +	173,1	77,8	25,9	161,2	69,6	26,8

Dle zdroje [117] je průměrná výška u žen $l = 164,9$ cm a u mužů $l = 177,8$ cm. V kontrolní skupině experimentu je u žen průměrná výška $l = 155$ cm (odchylka $- 6 \%$), u mužů $l = 183$ cm (odchylka $+ 3 \%$). Zdroj konstatuje snížení výšky populace mezi roky 1999 a 2002 potvrzené T-testem na 5% hladině významnosti.

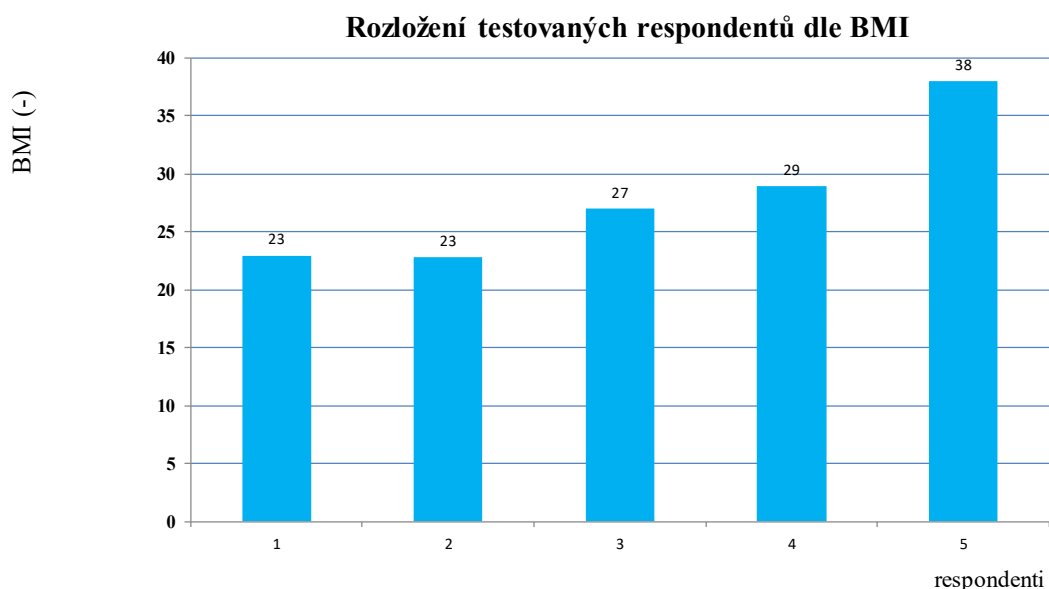
Podle údajů ze zdroje [117] je průměrná hmotnost u žen $m = 68,4$ kg a u mužů $m = 82,1$ kg. Ve skupině sestavené pro experiment je průměrná hmotnost u žen $m = 62$ kg (odchylka -9%), medián hmotnosti u mužů je $m = 90$ kg (odchylka $+ 10 \%$). Zdroj konstatuje statisticky zvýšení hmotnosti u žen mezi roky 1999 a 2002. U mužů nedošlo mezi kontrolními roky k významnější změně.

Podle údajů sledujících BMI index na vzorku populace v ČR (data z r. 2002), je průměrný BMI index u žen 25,2 a u mužů 26. Vybraná skupina respondentů má hodnoty BMI u skupiny žen 25,8 (rozdíl $+ 3 \%$) a medián u skupiny mužů 29,3 (rozdíl $+ 13 \%$). Zdroj [117] konstatuje u žen zvýšené BMI při porovnání roku 1999 se statistikou z r. 2002. U mužů nedošlo k významné změně.

Výsledkem srovnávacího testování dle ÚZIS ČR [117] je konstatování, že obezita u mužů i žen, měřená metrikou BMI, tj. poměrem hmotnosti ku druhé mocnině výšky, vzrůstá. Hodnocení se vztahuje k datům získaným v r. 1999 a r. 2002. Muži ($13,4 \%$) a ženy ($16,1 \%$) mají BMI > 27 resp. BMI > 30 nejvíce ve věkové skupině 55 až 64 let. K věrohodnosti zpracovaných dat zdroj [117] uvádí, že údaje o výšce, potažmo hmotnosti, byly na její kontrolní skupině zjišťovány dotazem bez následného ověřování. Tím mohlo dojít ke zkreslení výsledků, protože respondenti mají tendenci udávat vyšší tělesnou výšku a podhodnocovat svojí tělesnou hmotnost. Šetření shrnuté do Tabulky 6 vycházelo z údajů získaných měřeními kalibrovanými měřicími přístroji. Z nich vzešla statistika (Graf 21) je validní v rozsahu testu.

Tabulka 6 - Statistické rozložení kontrolní skupiny respondentů. Zdroj: Autor

Respondent číslo:	Výška :	Hmotnost :	Somatyp : [-]	BMI : [-]	Pohlaví :
1	153 cm	67 kg	3	29	Ž
2	157 cm	57 kg	2	23	Ž
3	175 cm	70 kg	2	23	M
4	182 cm	90 kg	1	27	M
5	192 cm	140 kg	3	38	M



Graf 21 - Kontrolní skupina respondentů rozložená dle BMI. Zdroj: Autor

Závěrem statistického srovnání skupiny respondentů (Tabulka 6) s výsledky výzkumu [117] je, že kontrolní skupina (viz. Kapitola 4.1.3; Graf 17, 18, 19) je statisticky validní a může provádět měření a hodnocení výhřevu sedadel osobních automobilů, protože rozložením metrik věrohodně reprezentuje skupinu obyvatel ČR, potažmo skupinu Středoevropanů.

4.1.7 Výroba externího klimatického boxu

Pro potřeby měření byla použita [118] klimakomora fy. ACS / ATT, typ Discovery (Obrázek 50) s možností připojení externího klimatického boxu. Pracovní hodnoty klimakomory jsou: teplota $t = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$, dynamika teplotní změny tj. ohřevu / chlazení (dle druhu provozu) $T = 3,3\text{ K/min.}$ až $4,5\text{ K/min.}$, vlhkost v rozmezí $\tau = 10$ až $98\text{ }\%$.



Obrázek 50 - Klimakomora ACS / ATT. [118]

Vnitřní prostor klimakomory svými rozměry nevyhovoval požadavkům experimentu. Pro potřeby experimentu byl postaven externí klimatický box (Obrázek 51) o rozměrech 150 x 150 x 200 cm dimenzovaný tak, aby pojal respondenta včetně testovaného sedadla.



Obrázek 51 - Klimakomora s připojeným externím boxem. Zdroj: Autor

Klimatický box byl vyroben z polystyrenu EPS100F (Obrázek 51) výrobce fy. Isover o tloušťce $d = 100 \text{ mm}$, který se používá pro zateplování budov a provádění termoizolace stavebních konstrukcí. Jeho zatížitelnost je 2000 kg/m^2 s max. deformací $< 2 \%$, má dobré termoizolační vlastnosti, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$, tepelný odpor $R = 2,7 \text{ K.m}^2/\text{W}$, je hydrofobický, zdravotně nezávadný a vyniká dobrou zpracovatelností. Ke spojení byla použita montážní pěna Ceresit CT84, nízko expanzní polyuretanové lepidlo s uzavřenou bunčnou strukturou tj. hydrofobní.

Pěna je doporučována výrobcem k lepení polystyrenových desek, v kontaktních systémech brání tvorbě tepelných mostů. Při prvním uvedení do provozu se ukázalo, že nelze dosáhnout teploty nižší, než $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Byla tedy provedena vizuální kontrola těsnosti spojů. Ke kontrole byla použita termokamera Fluke Ti 480, která ukázala nedostatečné zatěsnění v prostoru vstupu do boxu. Bylo provedeno přetěsnění vstupu do klimatického boxu dodatečným límcem (Obrázek 52) provedeným rovněž z materiálu EPS100F a montážní pěny Ceresit CT84.

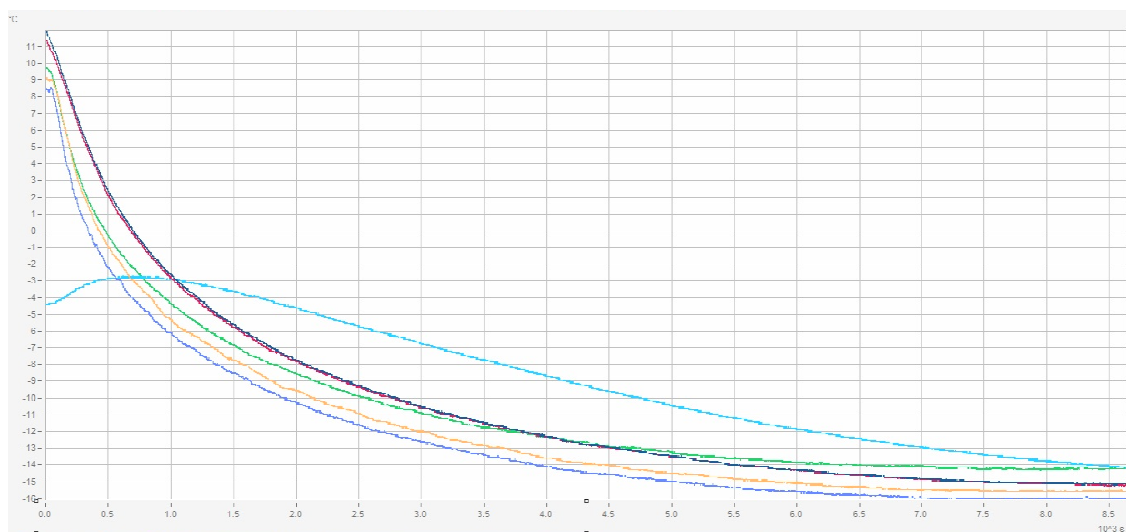


Obrázek 52 - Dotěsnění ext.boxu. Zdroj: Autor



Obrázek 53 - Kontrola dotěsnění. Zdroj: Autor

Pro dotěsnění vstupu byla navíc použita samolepící termopáska Turboworks vyrobená ze skelných vláken potažená vrstvou metalizovaného polyamidu. Opakované měření teploty (Obrázek 53) a termokamerou prokázalo dosažení teploty v hlavní klimakomoře $t_{\text{hlavní}} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dosažené teploty umožnily provádění testů podle standardní metodiky. Následoval test rychlosti termodynamických změn v externím boxu (Graf 22) na sedačce bez respondenta opatřené čidly teploty PT100.



Graf 22 - Test rychlosti ochlazování v externím boxu. Zdroj: Autor

Test trval cca $t = 2,5$ hod s počáteční teplotou $t_{\text{start}} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. K poklesu pod $t_{0^{\circ}\text{C}}$ (měřeno uvnitř externího boxu) došlo v čase $t \approx 8$ min. Na konci testu dosáhla teplota v klimakomůře hodnotu (Graf 22; zelená křivka) $t_{\text{konec}} = -14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Test potvrdil schopnost klimakomory temperovat vyrobený externí klimabox i v minusových teplotách o rozsazích $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $t_{\text{cílová}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

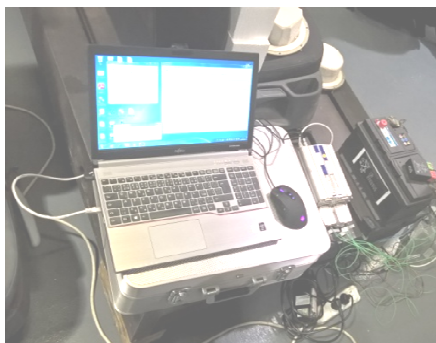
4.2 Reverzní rozbor sériového sedadla automobilu

V rámci reverzního rozboru byly provedeny následující úkony:

- Spolupráce s vývojovým dodavatelem, který poskytl svoje znalosti, zkušenosti s měřením, doporučil metodiku a nutné přístrojové vybavení.
- Stanovení požadavků na tepelné rozpětí s ohledem na správnou funkci vnitřních orgánů u sedícího pasažéra.
- Vytvoření teplotní mapy citlivosti povrchu těla na změnu teplot.
- Příprava metodiky měření výhřevu automobilových sedadel a subjektivního zákaznického hodnocení celkového tepelného komfortu a lokálního tepelného komfortu.
- Výběr respondentů pro testování sedačky, porovnání s daty ÚZIS ČR [117].
- Navržení externí klimatické komory pro testování sedadla s jedním respondentem.
- Stavba externího klimatického boxu (Obrázek 51), napojení na klimakomoru.
- Zprovoznění výhřevu sériového sedadla na základě dodaných elektrických schémat.
- Sestavení měřící aparatury. Inicie měřícího řetězce. Provedení kontrolního měření dle metodiky dodavatele.
- Ověření homogenity teplotního pole sedadla měřením se zónovým senzorem.
- Vyhotovení CAD modelu výhřevu sedadla pro potřebu FEM / MKP analýzy.
- Změření tepelných materiálových konstant sériového sedadla.
- Měření, hodnocení a statistické zpracování měření s kontrolní skupinou respondentů.

4.3 Zřízení měřícího stanoviště, měření výhřevu sériového sedadla

Pro měření teploty dle metodiky dodavatele bylo použito 6 ks odporových čidel PT100 s rychlým náběhem a třídou přesnosti A (tolerance $\pm 0,15 + 0,002 \times |t|$). Měřící stanoviště (Obrázek 54) bylo vybaveno zařízením firmy IMC Berlin (Obrázek 55), osmi kanálovou měřící ústřednou s vyhodnocovacím software IMC studio. Jako zdroj napájení byla použita automobilová baterie $U=12\text{ V}$ a stabilizovaná, automatizovaná nabíječka ACL-2 řízená procesorem s nabíjecím proudem $I_{\text{max}} = 30\text{ A}$ (12V/24V).

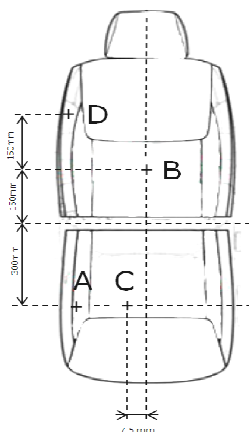


Obrázek 54 - Měřicí stanoviště. Zdroj: Autor



Obrázek 55 - Ústředna fy.IMC. Zdroj: Autor

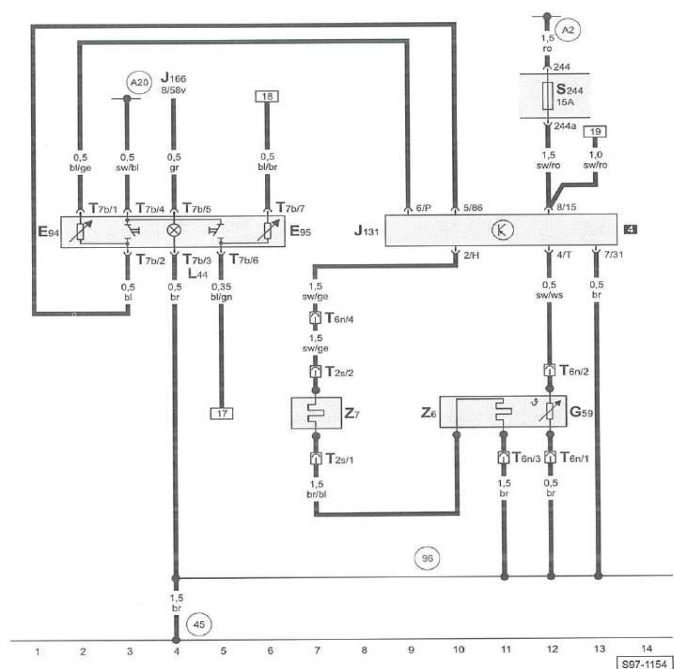
Zapojení snímačů teploty do měřicí ústředny bylo realizováno prostřednictvím TED_s firmy HBM (Transducer Electronic Data Sheet) s implementovanými kalibračními údaji tj. nebylo nutno čidla po každém odpojení kalibrovat. Teplotní čidla, měřicí ústředna a vyhodnocovací software podléhají pravidelné kalibraci v akreditované laboratoři popř. primárních laboratořích ČMI. V průběhu zapojování bylo potřeba vyřešit prostup čidel skrz stěnu klimatického boxu. Technický problém byl vyřešený průchodkou s termoizolační ucpávkou. Kvalita provedení byla zkontrolována termokamerou Fluke Ti 480. Provedení nemělo vliv na těsnost uzavřeného chladicího okruhu ani neovlivňovalo přesnost a opakovatelnost měření. Odporové snímače teploty byly umístěny na povrch sedadla (Obrázek 56) pomocí teplovodivé pásky doporučené výrobcem a přichyceny v měřících bodech dle standardní metodiky.



Obrázek 56 - Testované sedadlo opatřené čidly dle metodiky. Zdroj: Autor

Automobilové sedadlo s elektrickým výhřevem (Obrázek 56) je napájeno a regulováno z měřicího stanoviště (Obrázek 54). Zapojení proběhlo podle elektrického schématu (Obrázek 57). Značky **Z₇** (elektrická dečka výhřevu zádové opěry) a **Z₆** (elektrická dečka výhřevu sedáku) jsou napájeny ze svorek **A20** tj. připojení s kladným pólem v kabelovém svazku za přístrojovou deskou a ukostření je realizováno svorkou **45**, která se v automobilu nachází rovněž za přístrojovou deskou. Obvod je řízený řídicí jednotkou výhřevu sedadla **J₁₃₁**. Informaci o aktuální teplotě topného vodiče zprostředkovává čidlo teploty **G₅₉**, které je součástí vyhřívací dečky.

Čidlo je uložené ve střední vzdálenosti mezi dvěma přívody topného vodiče tak, aby se zabránilo tepelnému mostu a mohlo bez prodlení aktivně regulovat maximální hodnotu teploty v dečce.



Obrázek 57 - Elektrické schéma zapojení výhřevu sedadla. [12]

Podmínky měření výhřevu byly pro sjednocení výsledků fixně nastaveny na 5. regulační stupeň. Byl monitorovaný proud protékající odporovým drátem (Obrázek 58), který se během testování pohyboval v rozmezí $I = 5,2 - 5,4$ A.



Obrázek 58 - Monitorování elektrických veličin během experimentu. Zdroj: Autor

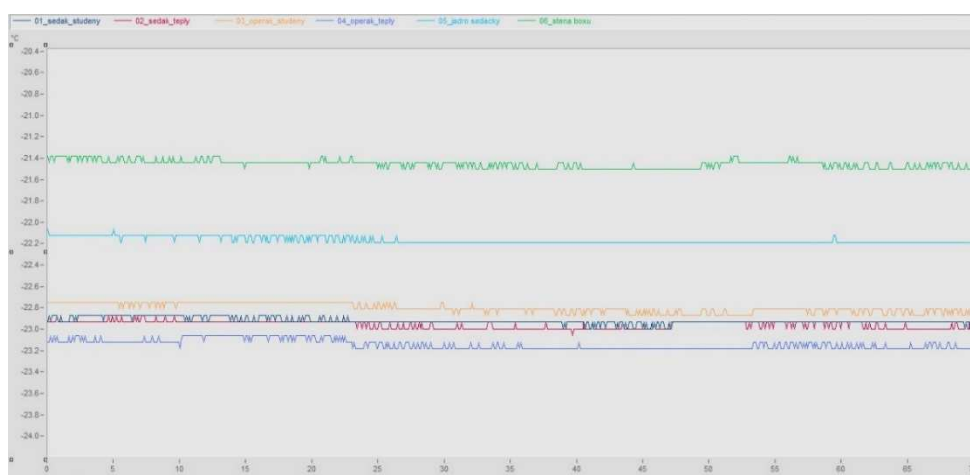
4.3.1 Kontrolní měření sériového sedadla dle metodiky dodavatele

Prvotní oživení bylo kontrolováno měřicí aparaturou IMC s čidly PT100 a termokamerou Fluke Ti 480 (Obrázek 59). Klimakomora byla temperovaná po dobu $t_{\text{temp}} = 8$ hod, kdy se teplota stabilizovala na $t_{\text{start}} \approx -23$ °C. (Graf 23)



Obrázek 59 - Elektrický výhřev sedadla měřený termokamerou. Zdroj: Autor

Čas potřebný pro vychlazení klimatického boxu byly zjištěny experimentálně, informace od dodavatele měly platnost pouze pro jeho klimakomoru a nebyly v souladu s provedeným měřením. Po osmi hodinách temperování (Graf 23) bylo dosaženo homogenního rozložení teploty v sedačce.



Graf 23 - Stabilizovaná teplota v klimatickém boxu v počátku měření. Zdroj: Autor

Zelená křivka je záznam teploty snímané ve výšce $l = 0,4$ m nad podlahou klima-boxu. Světle modrá křivka je teplota jádra sedačky. Čidlo bylo zanořeno $l = -30$ mm hluboko do sedáku tvořeného PUR pěnou. Záměrem bylo zmapovat rychlost tepelné odezvy v PUR jádře během testu. Zbylá skupina křivek s barvami žlutá, tmavě modrá, červená a černá jsou čidla umístěná na povrchu sedadla, vždy po dvojici v místě nad vodičem a v místě mezi dvěma vodiči (Obrázek 56). Průběh testu potvrdil, že napájení drátu a souběžné dobíjení automatizovanou stanicí ACL-2 bylo zvoleno správně a proudový odběr je stabilní po celou dobu testu (Obrázek 60).



Obrázek 60 - Měření proudového odběru v průběhu testu. Zdroj: Autor

4.3.2 Homogenita teplotního pole sériové sedačky

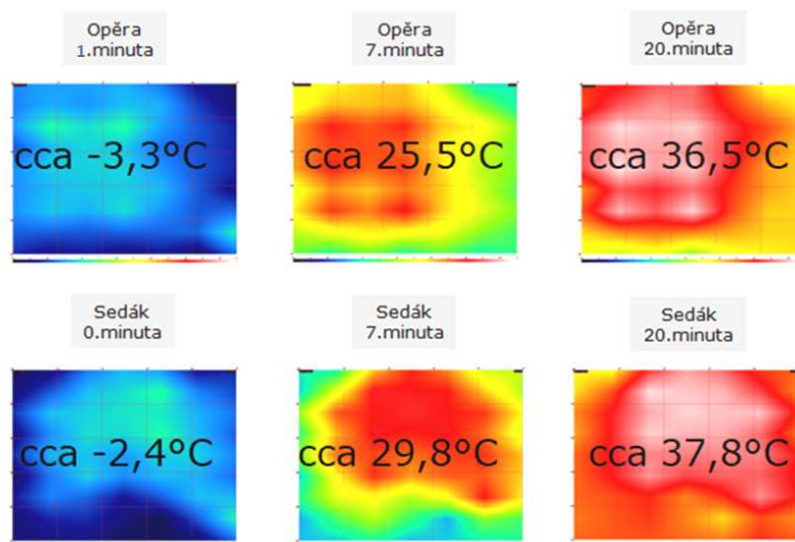
Měřicí ústředna IMC je limitovaná počtem měřících kanálů, k dispozici je 8 měřících vstupů. Druhým limitem byla vzorkovací frekvence f [Hz]. Ta byla na základě empirických zkušeností zvolena $f = 60$ Hz s možností korekce postprocessingem. Měření s omezeným počtem čidel teploty dávalo pouze přibližnou představu o změnách teploty v ploše sedadla. Průběh teploty v ploše sedadla lze aproximovat na základě předpokládaného gradientu teplot ΔT_{12} [°C] mezi dvěma sousedními čidly. V blízkém okolí čidla můžeme usuzovat, že dochází k poklesu teploty vzhledem k vnějším podmínkám měření a izolační schopnosti sedačky, což ale nelze empiricky ověřit bez přidání dalších měřících čidel do oblasti zájmu. Z makroskopického hlediska tato metoda neposkytovala dostatečně věrohodnou výpověď. Pro účely měření homogenity teplotního pole bylo zapůjčeno zařízení pro měření rozložení teploty v ploše (Obrázek 61).



Obrázek 61 - Zařízení pro měření rozložení teploty v ploše. Zdroj: Autor

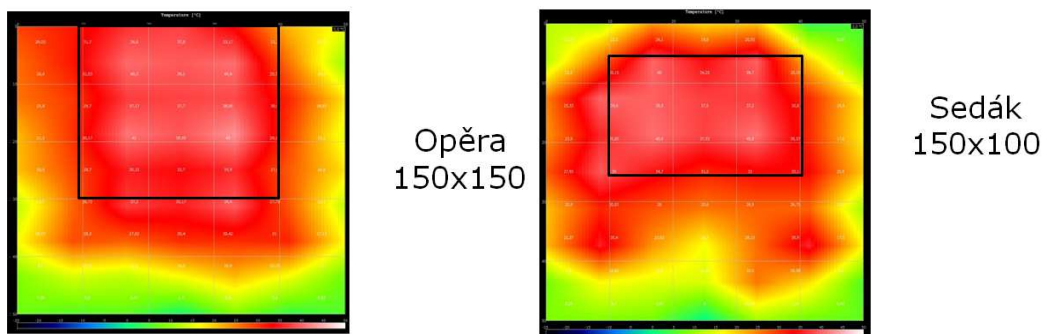
Primárně je měřidlo navrženo pro zdravotnická zařízení. Zařízení se skládá z měřící podložky a vyhodnocovacího software THG Area View 3.2. V těle podložky, skládající se ze 3D textílie, je umístěno pole teplotních čidel v rastrové maticové vzoru s přesně definovanou vzdáleností čidel od sebe.

Měřicí SW THG Area View 3.2 sbírá naměřená data online, vyhodnocuje je, aproximuje podle daného matematického modelu a uschovává buď v paměti zařízení, nebo je exportuje do vyhodnocovacího PC. Byl proveden test výhřevu sedadla. Použitá metodika odpovídala metodice dodavatele. Počáteční teplota byla $t_{\text{start}} \approx -23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výsledek tohoto testu (Obrázek 62) je znázorněn v podobě teplotní mapy tj. plošného rozložení teplot na sedáku a zádové opěře sedačky. Jde o výřez z výsledného měření o ploše 150 x 150 mm pro zádovou opěru a 150 x 100 mm pro sedák podle metodiky hodnocení tímto měřícím zařízením.



Obrázek 62 - Homogenita teplotního pole v průběhu testování. Zdroj: Autor

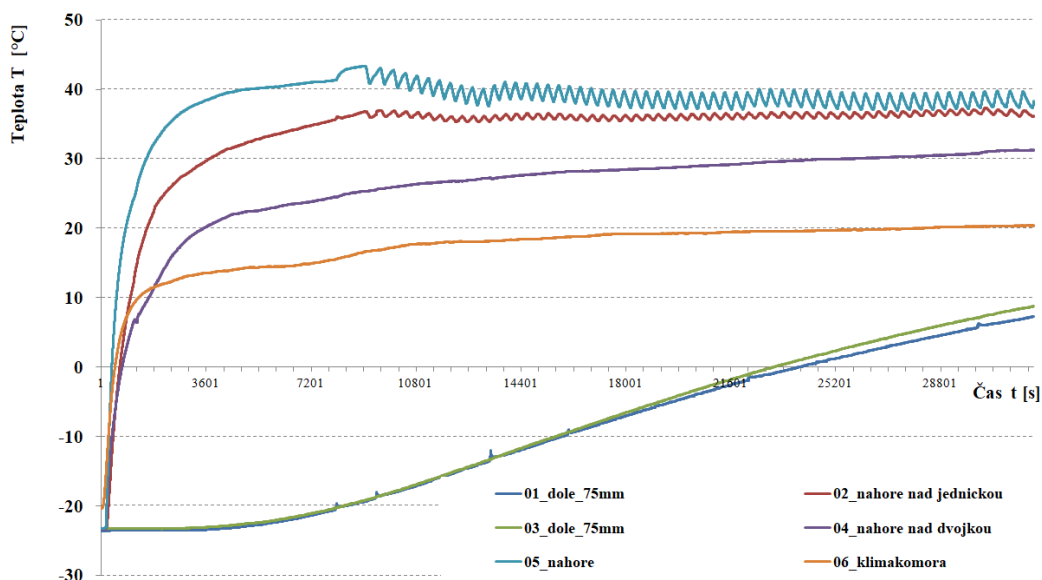
Finální výsledky zobrazují (Obrázek 63) rozložení teplot v čase $t_{\text{konec}} = 40\text{ min.}$ měřené pomocí senzorického pole měřícího zařízení a SW THG Area View 3.2. Kontaktní teplota je nejvyšší v místech s majoritním přitlakem od hmoty těla řidiče. Ovlivňující faktory jsou způsob posedu v sedačce, nastavením sklonu a výšky sedáku a zádové opěry.



Obrázek 63 - Pohled na celou plochu sedadla s vyznačenými oblastmi hodnocení. Zdroj: Autor

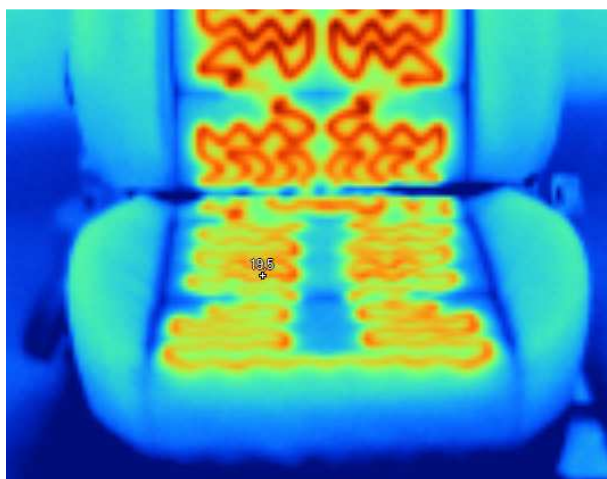
Z obrázku (Obrázek 63) vyplývá, že teplota opěry zad na konci testu byla v místě trapézového svalového pletence $t_{\text{approx.}} = +37,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota měřená na sedáku pod pánevním dnem řidiče byla $t_{\text{approx.}} = +36,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Při kontaktním tlaku (definováno na základě předchozího měření zařízením XSENSOR®) je přibližné plošné zatížení tlakem $p = 4$ až 6 N/cm^2 . Při porovnání měření s daty měřenými v klimatickém boxu (Graf 24) za podmínek definovaných dodavatelem bylo identifikováno několik rozdílů.

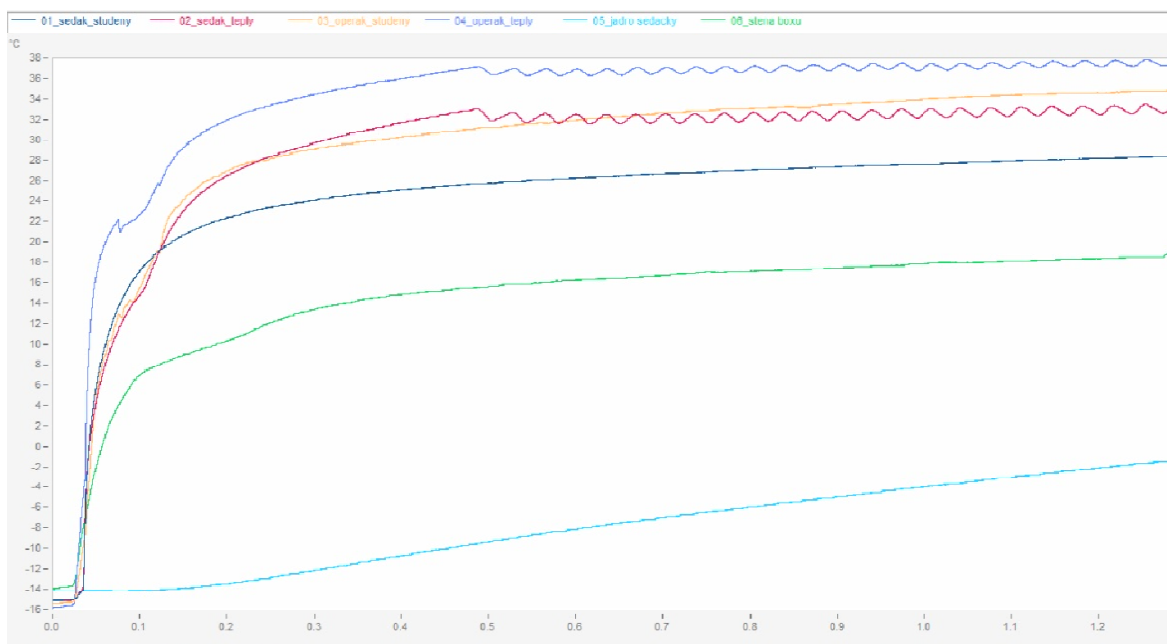


Graf 24 - Měření výhřevu sedadla pomocí PT100 dle dodavatelské metodiky. Zdroj: Autor

Nevýhodou u měřicího zařízení se SW THG Area View 3.2 je pomalý náběh teplot zpožděný za měřením v řádech sekund s odkrytými čidly teploty PT100. Přičítáme to použití distanční tj. 3D textilie, která slouží k upevnění série měřicích čidel, k jejich ochraně a k umožnění laminárního proudění na rozhraní těla respondenta a sedačky. Zařízení se SW THG Area View 3.2 má, kromě teploty, implementovaná i čidla vlhkosti, odvětrání vlhkosti v 3D textilií je měřitelné. Při porovnání s měřením termokamerou (Obrázek 64) však výsledný obraz získaný ze záznamu SW THG View 3.2 neodpovídal reálným hodnotám teploty. Jádrem problému je nedostatečné množství čidel měřících teplotu řešené modelem SW aproximace.



Obrázek 64 - Výhřev odporového vodiče snímáný termokamerou Fluke Ti 480. Zdroj: Autor



Graf 25 - Opakované měření výhřevu a proteplení sedadla s čidly teploty PT100. Zdroj: Autor

Komparační měření (Obrázek 65) probíhalo za sjednocených podmínek. Z rozdílu naměřených teplot (Obrázek 62, 63, 64) a (Graf 24, 25) je zřejmé, že i dosažené teploty nejsou totožné. Rozdíl teplot mezi měřícími metodami s čidly PT100 (umístění čidel dle Obrázek 56) a SW THG Area View 3.2 - je pro sedák $\Delta t \approx 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro zádovou opěru $\Delta t \approx 3\text{ až }4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z důvodů uvedených výše bylo rozhodnuto měřící zařízení s vyhodnocovacím SW THG Area View 3.2 (Obrázek 61) nadále nepoužívat.



Obrázek 65 - Operátor při testování výhřevu sedadel osobního automobilu. Zdroj: Autor

4.3.3 Materiálové charakteristiky sériové sedačky

Materiálové vlastnosti sedačky resp. termofyzikální parametry materiálů byly měřeny ze dvou důvodů. Prvním byla virtuální simulace pomocí konečně prvkových metod FEM / MKP. Druhým důvodem bylo fyzické srovnání sériové a prototypové sedačky. Měření proběhlo na přístroji TCI, Thermal Conductivity Analyzer od výrobce C-Therm [120]. Ten slouží k určování součinitele tepelné vodivosti λ [W/m.K]. Principem je měření teplotního toku, který prochází materiálem. Definovaný je teplotní spád Δt [°C], stejně jako tloušťka vzorku d [m]. Měřený vzorek materiálu se umístí mezi dvě desky s definovanou plochou S [m²] a s rozdílnými teplotami t [°C]. Jde o metodu relativní tj. je potřeba kalibrace s použitím referenčního materiálu. Rozdíly teplot jsou monitorovány senzory a vyhodnocovány měřicím software. Vstupní signál je zpracováván napěťovým převodníkem. Z úrovně napětí, naměřeného teplotního spádu a tloušťky materiálu se za ustáleného, rovnovážného stavu systému určuje součinitel tepelné vodivosti. Deklarovaná přesnost je až 3 % z naměřené hodnoty a opakovatelnost měření je zatížena chybou < 0,5 %. Měření je prováděno opakovaně, výsledná hodnota je průměrem z naměřených hodnot. Z naměřených hodnot se dopočítává teplotní effusivita b [W.S^{1/2}/m².K] termofyzikální veličina [119] udávající míru výměny tepelné energie s prostředím (Rovnice 22), teplo, které proteče jednotkou plochy při teplotním spádu 1 K za definovaný čas. Teplotní diffusivita a [m²/s] naopak udává [119], jak rychle se teplota materiálu vyrovná k teplotě okolí (Rovnice 23).

$$b = \sqrt{\lambda \times \varsigma \times c} \quad \left[\frac{K \times \sqrt{S}}{m^2 \times K} \right] \quad (22)$$

$$a = \frac{\lambda}{\varsigma \times c} \quad \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (23)$$

Materiály jsou výrazně ovlivňovány změnami vnějších podmínek, jmenovitě teploty t [°C] a vlhkosti ϕ [%], proto je důležité brát zřetel na obě proměnné a zohlednit je ve výpočtech a simulacích. Pro měření byly ze sériové sedačky odebrány vzorky (Tabulka 7) materiálů, které byly použity i na prototypovém sedadle

Tabulka 7 - Termofyzikální a materiálové charakteristiky materiálů. Zdroj: Autor

Vzorek	Plocha [cm ²]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Hustota [kg/m ³]
netkaná textilie (původní / sériová s dráty výhřevu)	100	1	1,45	145
tkanina (původní / sériový potah)	100	1	4,38	438
pletenina distanční (inovovaný, zkouškový potah)	804	3,5	43	153
PUR pěna (původní / sériová sedačka)	100	90	54,55	61

Vzorek	Teplota T [°C]	Teplotní gradient DT [°C]	Napětí V0 [mV]
netkaná textilie (původní / sériová s dráty výhřevu)	20,46	1,41	2452,53
tkanina (původní / sériový potah)	21,197	1,341	2450,778
pletenina distanční (inovovaný, zkouškový potah)	20,27	1,36	2454,309
PUR pěna (původní / sériová sedačka)	21,46	1,45	2450,51

Vzorek	Effusivita b [W.s ^{1/2} /m ² .K]	Teplotná vodivost λ [W/m.K]	Specifické teplo c Měrná tep.kapacita [J/Kg.K]
netkaná textilie (původní / sériová s dráty výhřevu)	74	0,05	686
tkanina (původní / sériový potah)	135	0,0731	594
pletenina distanční (inovovaný, zkouškový potah)	120	0,07	1361
PUR pěna (původní / sériová sedačka)	34	0,04	485

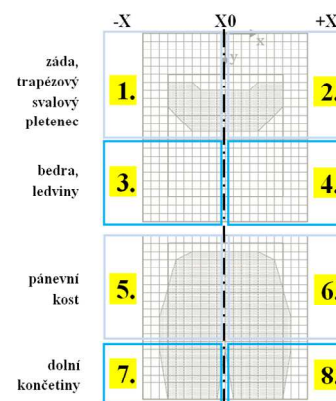
4.3.4 Měření sériového sedadla kontrolní skupinou

Cílem měření bylo stanovit konkrétní teploty ev. rozsah teplot, v nichž zákazník subjektivně vnímá komfort automobilového sedadla. Hodnocení probíhalo podle připravené metodiky. Vodítkem byl koeficient PMV (Predicted Mean Vote) [30, 42, 68, 125]. K hodnocení lokálního a celkového subjektivního tepelného komfortu sloužila Tabulka 8.

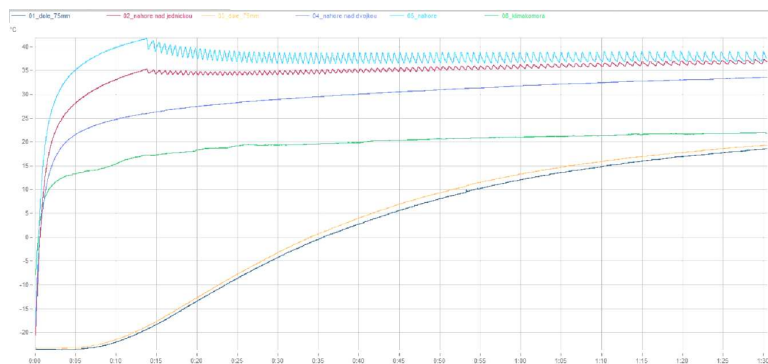
Tabulka 8 - Formulář pro hodnocení subjektivního lokálního komfortu. Zdroj: Autor

Lokální tepelný komfort - Sériová sedačka												
měřicí zóna	Čas zkoušky											
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min	
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s	
1. a 2.	-2	-2	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3. a 4.	-2	-1	0	1	2	2	1	2	1	1	1	1
5. a 6.	-2	-2	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1
7. a 8.	-2	-2	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1

Celkový tepelný komfort - Sériová sedačka												
měřicí zóna	Čas zkoušky											
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min	
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s	
+ non OK					x	x						
OK				x			x	x	x	x	x	
- non OK	x	x	x									



Během měření komfortu sedadla s respondenty v klimatizovaném externím boxu byly subjekty dotazovány moderátorem zkoušky. Ten vedl s členy týmu dialog a získané odpovědi zapisoval do připraveného formuláře (Tabulka 8). Současně byly měřeny teploty v předdefinovaných bodech sedadla (Graf 26).



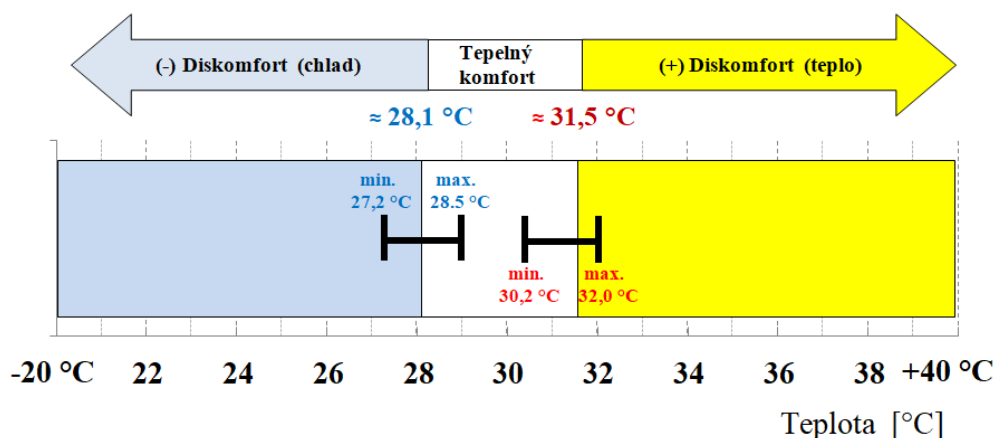
Graf 26 – Měření teplotního pole sériové sedačky s respondentem. Zdroj: Autor

V postprocesingu byla data získaná měřením zpracována (Tabulka 9) tak, aby došlo k propojení subjektivního zákaznického hodnocení s naměřenými teplotami.

Tabulka 9 - Naměřené rozložení teplot na sériové automobilové sedačce. Zdroj: Autor

Teplota klimaboxu - Sériová sedačka	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
Klimabox	-18,0 °C	8,0 °C	13,0 °C	17,0 °C	17,0 °C	18,0 °C	19,0 °C	19,5 °C	19,8 °C	20,5 °C	21,0 °C
sedák nad čidlem č.1	-24,0 °C	15,0 °C	29,0 °C	34,0 °C	36,0 °C	36,0 °C	36,0 °C	36,0 °C	37,0 °C	37,0 °C	37,0 °C
sedák nad čidlem č.2	-24,0 °C	7,0 °C	21,0 °C	24,0 °C	26,0 °C	27,0 °C	28,0 °C	28,0 °C	29,0 °C	29,5 °C	30,2 °C
povrch na opěře zad	-24,0 °C	7,0 °C	35,0 °C	40,0 °C	41,0 °C	40,0 °C	38,0 °C	38,0 °C	38,0 °C	37,0 °C	37,0 °C

Hodnocení celkového tepelného komfortu zákazníkem (Graf 27) ukázalo, že kontrolní skupina respondentů, navzdory svojí různorodosti co do pohlaví, věku, hmotnosti, somatypu či BMI indexu, hodnotí tepelný komfort výhřevu sériové sedačky přibližně stejně.



Graf 27 - Hodnocení celkového tepelného komfortu skupinou respondentů. Zdroj: Autor

Celkový teplotní komfort respondentů představuje, dle respondentů, poměrně úzké rozpětí teplot $t = 28,1 - 31,5^{\circ}\text{C}$. Obě krajní hranice tep.komfortu nejsou jasně definovatelné. Graf 27 zobrazuje rozhraní tepelného diskomfortu/chlad (modře) a nástup tep.komfortu (bílá barva) v rozmezí $t = 27,2^{\circ}\text{C}$ až $28,5^{\circ}\text{C}$. Hodnoty v tomto pásu teplot považují respondenti ještě za nekomfortní, cítí chlad, ale nedokáží identifikovat jednoznačně tepelný vjem. Přechod tepelného komfortu v tepelný diskomfort/teplo je respondenty stanoven přibližně na $t = 31,5^{\circ}\text{C}$. Jde opět o hodnotu průměrnou, neboť přechod mezi tep.komfortem (bílá barva) a diskomfortem z důvodu přehřátí (žlutá barva) je dle respondentů v pásu $t = 30,2^{\circ}\text{C}$ až $32,0^{\circ}\text{C}$. Převod subjektivního pocitu respondenta proběhl dotazováním, za souběžného měření teploty. Výsledky jsou platné v rozmezí podmínek testu, počátečních a koncových teplotách. Cílem bylo experimentálně definovat limitní teploty [113, 114] prvního přechodu mezi pocitem chladu, komfortu, přehřátí u respondentů testujících sériovou sedačku s dečkou výhřevu. Interpretace měření přitom mohla být ovlivněná nerovnoměrným rozložením kontrolní skupiny a příliš malým vzorkem respondentů, stejně jako chybou měření a okrajových podmínek měření. Dle metodiky musí být měření doplněno (Rovnice 24) o nejistotu měření typu A u_A [-].

$$u_A = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \times h \quad [-] \quad (24)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n \times (n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad [-] \quad (25)$$

Pokud je průměrná hodnota měření či směrodatná odchylka založena na malém počtu měření tj. $n \leq 9$, je při výpočtu nejistoty měření typu A ve vztahu (Rovnice 24, 25) používáný rozšiřující koeficient bezpečnosti h , v našem případě $n = 5$, tj. volíme $h = 1,4$ [-] dle (Tabulka 10). Cílem je zvýšit opakovatelnost a reprodukovatelnost měření.

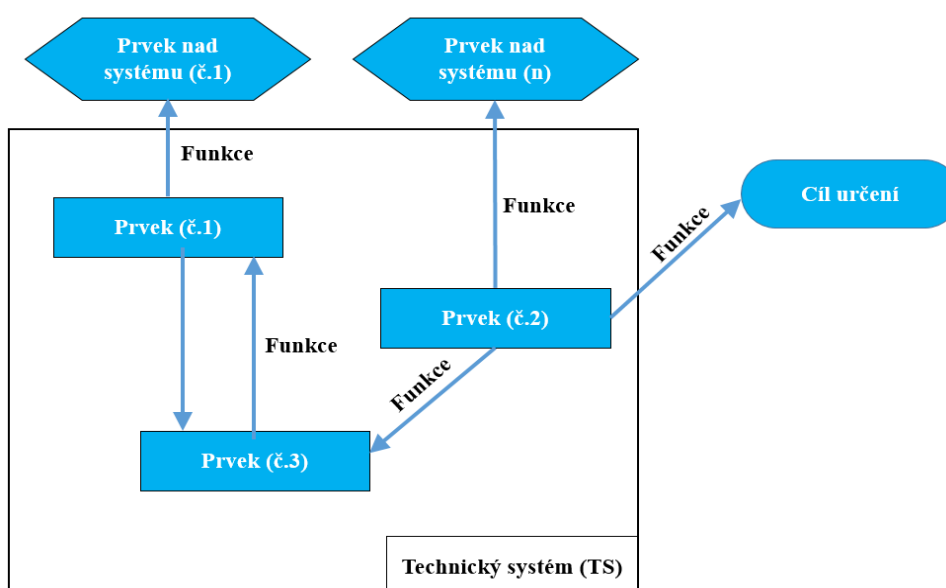
Tabulka 10 - Stanovení koeficientu bezpečnosti h z počtu měření n . [122]

n - počet měření	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h - koeficient bezpečnosti	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0

Výsledek experimentu provedený na sériové sedačce ukázal, že navzdory rozdílu teplot ($t_{\text{start}} = -20^{\circ}\text{C}$ až $t_{\text{konec}} = +40^{\circ}\text{C}$), je lidské tělo schopné účinně regulovat svojí tělesnou teplotu po celou dobu provádění testu. Experiment odhalil, že teplota sériového sedadla je skupinou respondentů hodnocená jako příliš vysoká. Měření rovněž ukázalo, že kontrolní skupina hodnotí plošný výhřev sériové sedačky jako nekomfortní, protože výhřev nerespektuje odlišnosti ve vnímání tepla a chladu resp. diferencovanou citlivost termální sensoriky lidského těla uváděnou v odborné literatuře [31, 35, 78, 113, 114]. Tento fakt byl brán v potaz při vývoji prototypu výhřevu automobilového sedadla.

4.4 TRIZ - Funkčně objektová analýza sériového sedadla

Funkčně objektová analýza (Obrázek 66) patří do portfolia analytických nástrojů TRIZ [4,5]. Slouží k identifikaci otázek co, za jakým účelem a jakým způsobem má být v technickém systému (TS) inovováno. Postupuje identifikací a popisem prvků technického systému a prvků nadsystému. Identifikuje se cíl určení, kterému technický systém slouží. Mezi jednotlivými prvky: systémem, nadsystémem a cílem určení, jsou vazby. Vazbu mohou vytvořit, pokud naplňuje základní předpoklady: Objekt funkce je materiální objekt, objekty jsou ve vzájemném kontaktu, objekty navzájem se ovlivňují. Parametr funkce lze popsat infinitivem slovesa. Vazby mezi objekty mohou být užitečné, neužitečné, přepřínované, nadbytečné a škodlivé.



Obrázek 66 – Model Funkčně objektové analýzy obecného TS. Zdroj: [4, 5]

Hlavní funkcí prvku lze definovat pomocí vyjádření nositele funkce, vykonávané činnosti a objektu, pro něž funkci plní. Prvek technického systému (TS) lze odstranit, pokud plní jeden ze tří předpokladů: Byl odstraněný objekt funkce, funkci si začal obstarávat sám objekt, funkci odstraněného prvku přebírá jiný prvek ze systému či nadsystému. Výsledkem analýzy je soupis inovačního zadání na odstranění škodlivých funkcí, eliminaci nadbytečných vazeb, posílení nedostatečných funkcí. Cílem je zvýšit stupeň ideálnosti. Ideální objekt je definován jako ten, který minimalizuje či odstraňuje náklady, zatímco stále plní svojí funkci a účel, pro který byl vytvořen. Před samotnou objektově funkční analýzou je třeba provést (Tabulka 11) sumarizaci všech vazeb mezi objekty TS sedačky. V úvahu nebyl brán vliv autoregulace organismu, který je díky svojí latenci a závislosti na okolních podmínkách tj. hmotnosti respondenta, věku, tělesné konstituci a podmínkám panujících ve voze, proměnnou, která by do analýzy zanášela další neznámé a zkreslovala výsledky měření. Cílem objektové analýzy je vylepšit výhřev sedadla tak, aby došlo ke kladnému zákaznickému hodnocení.

Členem nadsystému je osoba, pro kterou byl technický systém zkonstruován a které slouží. Technický systém sedačky byl zjednodušený. Dominantní vazbu TS tvoří osa: akumulátor -drát výhřevu - řidič. Mezi těmito objekty – a jejich prostředníky – probíhá tepelná výměna. Ve funkčně objektové analýze TS jsou znázorněné vazby užitečné a škodlivé. Škodlivé funkce byly identifikovány mezi objekty, kde je výměna tepla nežádoucí a ztrátová.

Z analýzy je vidět, že odporový vodič výhřevu je uložený v netkané textilií a je dále uložený pod vrstvou potahu sedadla. Teplo nepůsobí na tělo řidiče přímo, ale skrze prostředníky. Netkaná textilie slouží jako nosič odporového drátu, zároveň ho chrání před mechanickým namáháním. Sedačka je namáhána dvěma způsoby. Staticky běžným používáním od hmoty řidiče a dynamicky od jízdního profilu během řízení vozu. Dynamické namáhání je rozděleno na posuvy v ose vozu X (podélné), v ose vozu Y (příčné) a namáhání torzní – v rovině posuvů X, Y.

Funkčně objektová analýza nedokáže pracovat s časem. Proto je třeba uvést, že platnost analýzy je v čase t_0 [min.] až t_{20} ev. t_{40} . [min.] tj. čas je ohraničen dobou používání sedadla řidičem s aktivovanou funkcí výhřevu sedadla. Pro potřeby analýzy bylo rozhodnuto zanedbat okrajové podmínky plynoucí ze souběžného používání klimatizace vozu, neboť by tak došlo ke zkreslení výsledků měření.

Závěry analýzy zformulované v pěti bodech definují nedostatky současného stavu automobilové sedačky (Tabulka 12) a současně jsou i inovačním zadáním, které odhaluje části systému, které mají inovační potenciál.

Tabulka 12 – Závěry objektově funkční analýzy TS sériové autosedačky. Zdroj: Autor

č.	Nedostatky současného stavu automobilové sedačky
1.	Z funkční analýzy vyplynulo, že odporový vodič vyhřívá nejenom tělo řidiče, ale i generuje tepelnou ztrátu - vyzařováním tepla do TS systému sedadla a nad systémem TS.
2.	Z funkční analýzy vyplynulo, že sedačka nedává informaci zpětnou informaci o tělesné teplotě řidiče, tím dochází k nedostatečnému / nadbytečnému ohřevu těla řidiče.
3.	Z funkční analýzy vyplynulo, že plocha ohřevu, která je zprostředkována odporovým drátem, je příliš velká. To zvyšuje tepelné ztráty a snižuje index zákaznického uspokojení.
4.	Z funkční analýzy vyplynulo, že odporový vodič je uložený ve skladbě potahu sedadla, což zvyšuje náběhové časy pro dosažení cílové teploty a zpomaluje prohřátí těla řidiče.
5.	Z funkční analýzy vyplynulo, že velká plocha výhřevu koreluje s rychlým úbytkem energie akumulátoru.

Jedním z hlavních zjištění jsou tepelné ztráty vzniklé jako důsledek konstrukční chyby v uložení odporového vodiče v konstrukci automobilové sedačky. Zjištěno bylo, že současná sedačka postrádá senzoriku, která by zohledňovala aktuální teplotu kontaktních částí těla uživatele a teplotu ve voze. Neexistuje ani regulační obvod, který by nastavil teplotu sedadla pomocí zpětné vazby z periferních senzorů. Výrobce pouze omezeně řídí systém výhřevu pomocí obvodu s hysterezní regulací, termostatem oříznutou v bodech $t_{\min}$; $t_{\max}$ [°C].

Analýza ukázala, že celková funkční plocha výhřevu definovaná krajními vlákny vodiče je nadměrná a nerespektuje fyziologii termoreceptorů lidského těla. Důsledkem je přehřátí organismu, nadměrné tepelné ztráty a negativní hodnocení zákazníkem. Vlivem uložení vodiče dochází k latenci mezi časem náběhu na požadovanou teplotu a časem dosažení očekávané teploty v kontaktních bodech mezi sedačkou a tělem uživatele. Příмым důsledkem dalších tepelných ztrát je ztráta elektrické energie akumulátoru, kapacity a úbytek elektrického napětí, který je v případě elektromobilu kombinovaným zdrojem pro pohonnou jednotku a sdružené elektrické spotřebiče elektromobilu. V případě spalovacího motoru vedou ztráty k nadprodukci CO₂ a ostatních skleníkových plynů.

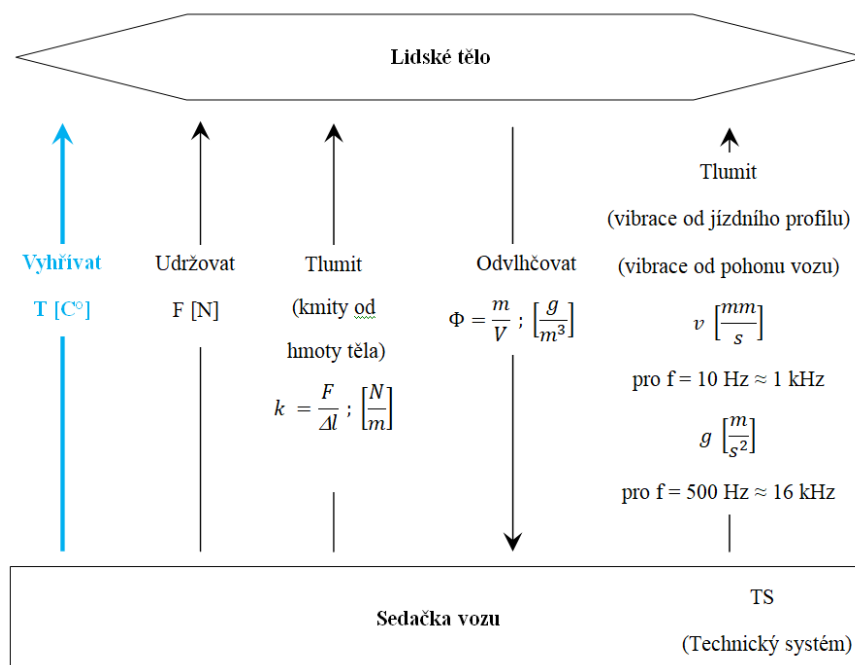
4.5 Inovovaný systém výhřevu sedadla osobního automobilu – prototyp

Reverzní rozbor aktuální verze výhřevu sedačky ukázal, že plošné vyhřívání celé kontaktní plochy mezi sedadlem a tělem řidiče se nesetkalo u kontrolní skupiny respondentů s kladnou odezvou. Cílem inovace je navrhnout výhřev tak, aby došlo ke snížení energetické náročnosti s úsporou elektrické energie, která pak může být využita jinak. Z reverzního průzkumu původního, sériového sedadla vzešlo mimo jiné zjištění, že tělo reaguje na skokovou změnu teploty nepřiměřeně. Termoregulace je normální fyziologický děj a jeho rychlost je přímo úměrná velikosti a rychlosti změny. Pokud s tímto zjištěním pracujeme, dojdeme k závěru, že uspokojení celkového tepelného komfortu zákazníka je žádoucí, ovšem za současného potlačení bouřlivé tělesné odezvy ve formě spuštěných tělesných termoregulačních pochodů a tím pádem diskomfortu. Převáděno do technického zadání to znamená následující úkoly:

- temperovat tělo uživatele právě tolik, aby došlo ke zvýšení celkového subjektivně hodnoceného tepelného komfortu
- temperovat pouze tělesné partie, které temperaci vyžadují resp. zaměřit se na místa s nejhustším pokrytím tělesnými termoreceptory a místa s nejcitlivější tepelnou senzorikou.

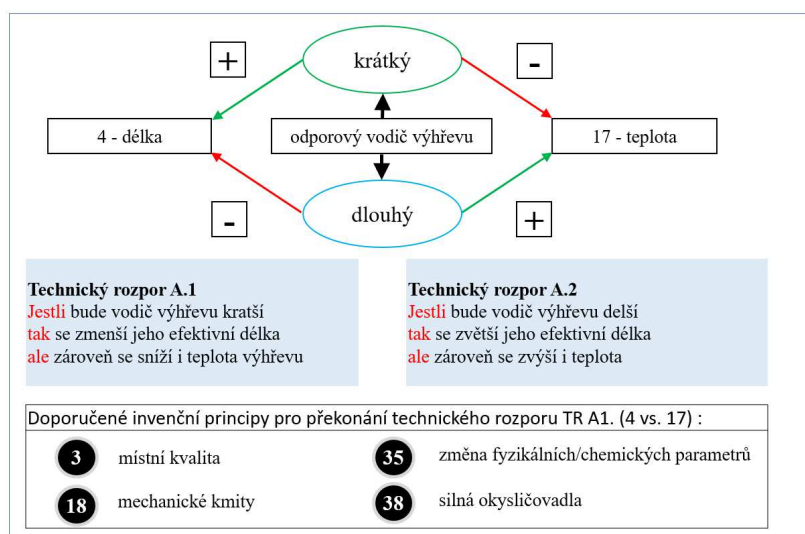
4.5.1 Použití metodiky TRIZ při návrhu prototypu sedačky

Model objektově funkční analýzy technického systému a sedačky (Obrázek 67) byl pro pochopení komplexity problému doplněn o fyzikální model interakce mezi sedadlem a tělem uživatele (Obrázek 68).



Obrázek 68 - Obecný fyzikální model interakce lidské tělo – sedadlo vozu. Zdroj: Autor

Z rozboru sériové sedačky pomocí funkčně objektové analýzy byly formulovány tři technické rozpory. Společným jmenovatelem se stal odporový vodič ev. aktivní plocha výhřevu. Prvním formulovaným technickým rozporem (Obrázek 69) je korelace mezi délkou odporového vodiče a teplotou, která musí být dosažená při použití regulačních prvků v technickém systému sériové sedačky.

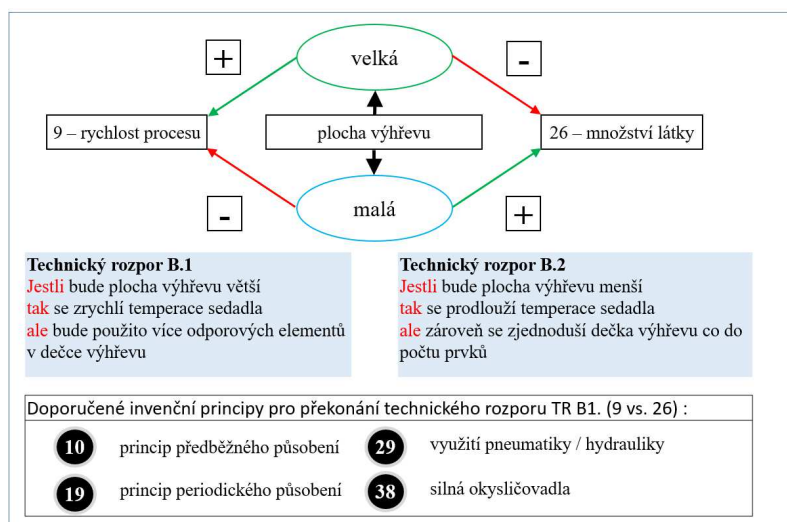


Obrázek 69 - Technický rozpor mezi výhřevem sedačky, délkou a teplotou. Zdroj: Autor

V metodice TRIZ [4, 5] byla nalezena doporučení eliminující technický rozpor použitím principů:

- **Lokální kvalita (Local Quality)** – přechod od stejnorodé struktury k nestejnorodé struktuře objektu či vnějšího prostředí.
- **Použití mechanických kmitů (Mechanical Vibration)** – radí použít oscilaci, vibrace, ultrazvuk.
- **Změny fyzikálních či chemických parametrů (Parameter Changes)** – doporučuje [4, 5] změnu koncentrace / teploty / tlaku / hustoty.
- **Využití silných oksylichovadel (Strong Oxidants).**

Následující TR staví do protikladu rychlost procesu ohřevu sedačky s množstvím látky, která musí být k tomuto účelu použita. Kontradikce mezi plochou výhřevu, která v ten samý čas musí být velká i malá současně, tak aby naplnila protikladné zadání (Obrázek 70).



Obrázek 70 - TR mezi plochou výhřevu, rychlostí výhřevu a fyzikální látkou. Zdroj: Autor

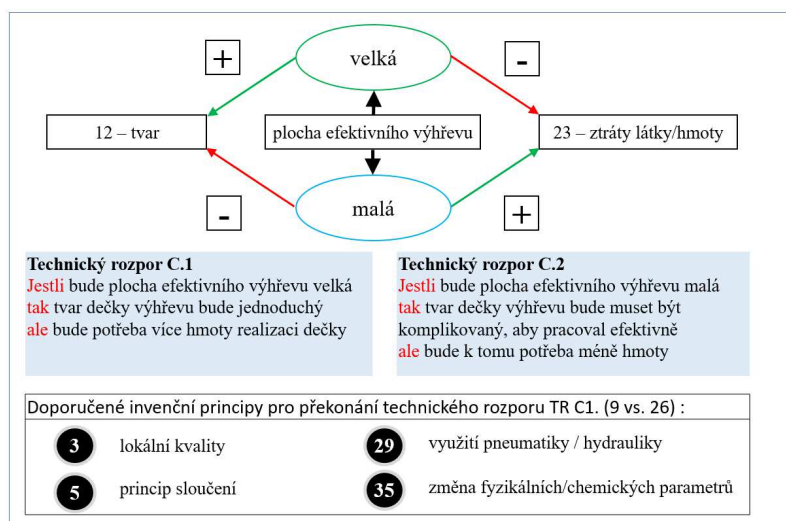
Metodika TRIZ [4, 5] v doporučení k eliminaci technických rozporů radí použít principů:

- **Předběžného působení (Preliminary Action)** – provést [4, 5] potřebné působení objektu v několika krocích předběžně a tím ušetřit prostředky a čas.
- **Periodické působení (Periodical Action)** – přechod [4, 5] od kontinuálního k periodickému / pulznímu působení, měnit amplitudu / frekvenci.
- **Využití pneumatiky a hydrauliky (Pneumatics and Hadraulics).**

Zbýlý technický rozpor (TR) staví do opozice protichůdné požadavky na současnou potřebu mít velkou i malou efektivní plochu výhřevu (Obrázek 71) tak, aby splnil potřebu jednoduchosti tvaru dečky a materiálové úspory.

Pomocí metodiky TRIZ [4,5] nalezneme neznámé doporučení k překonání technických rozporů:

- **Princip sloučení (Merging, Combining)** – dle [4, 5] nabádá k sloučení v prostoru a čase.



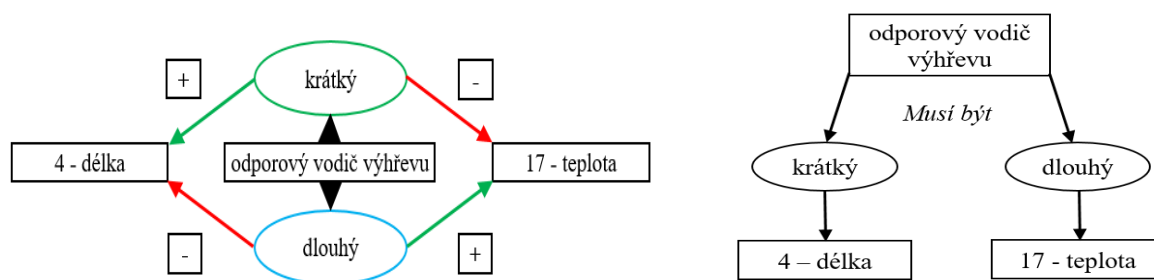
Obrázek 71 - TR mezi plochou výhřevu, tvarem a ztrátou. Zdroj: Autor

Výsledná doporučení byla shrnuta (Tabulka 13) za účelem zjištění průniku a největší shody doporučených principů k řešení technického rozporu (TR). Významná shoda byla nalezena u inovačního principu „lokální kvalita“ a to celkem ve čtyřech případech. Princip doporučuje změnit vlastnost v místě, kde není potřeba.

Tabulka 13 – Sumarizace doporučených principů překonávajících TR. Zdroj: Autor

Doporučený invenční princip	Technické rozpory						Frekvence výskytu
	A.1	A.2	B.1	B.2	C.1	C.2	
3 - lokální kvalita	X	X			X	X	4
5 - princip sloučení						X	1
10 - princip ředběžného působení			X				1
18 - mechanické kmity		X					1
19 - princip periodického působení			X	X			2
29 - využití pneumatiky / hydrauliky			X			X	2
35 - změna fyzikálních / chemických parametrů	X				X		2
38 - silná oksyločovadla				X			1

Po formulaci technických rozporů byl definován fyzikální rozpor (Obrázek 72). V případě fyzikálního rozporu (FR) je požadováno od objektu, aby měl antagonistické vlastnosti v jeden a týž čas, proto metodika TRIZ [4, 5] radí rozdělit požadované vlastnosti v prostoru objektu.



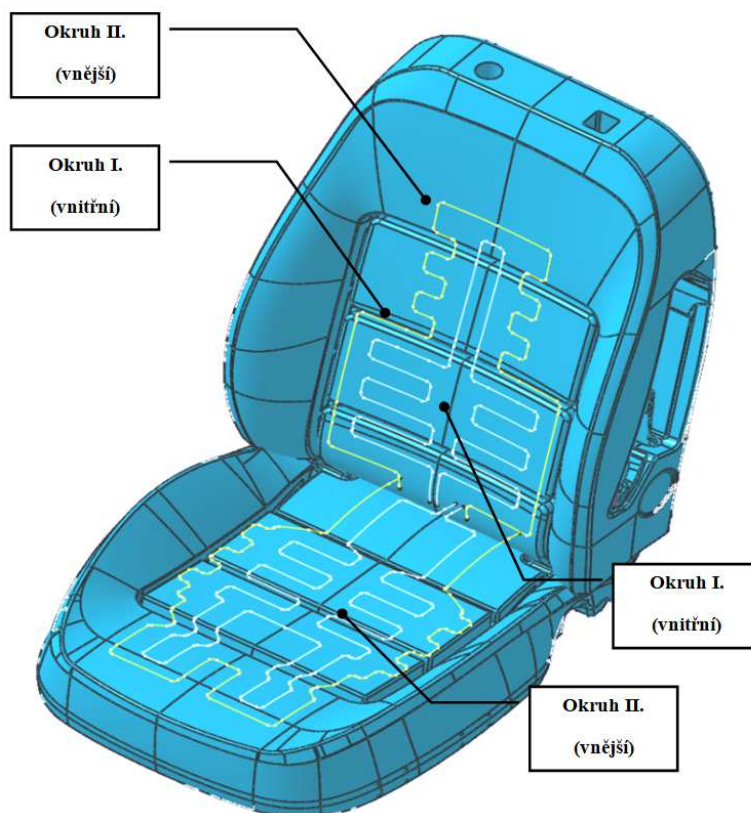
Obrázek 72 - Definice fyzikálního rozporu (FR) technického systému (TS). Zdroj: Autor

Použitím TRIZ metodiky bylo nalezeno řešení, které bylo uplatněno k řešení problematiky výhřevu sedačky. Nalezené konstrukční řešení se skládá z následujících bodů:

- **Rozdělení výhřevu sedadla na dva okruhy.** Větší plocha sedadla bude vyhřívána pouze v případě potřeby.
- **Trasování odporového vodiče v oblastech s nejvyšší citlivostí na chlad a teplo.** Malá změna teploty zvýší všeobecně vnímaný a subjektivně hodnocený celkový tepelný komfort.

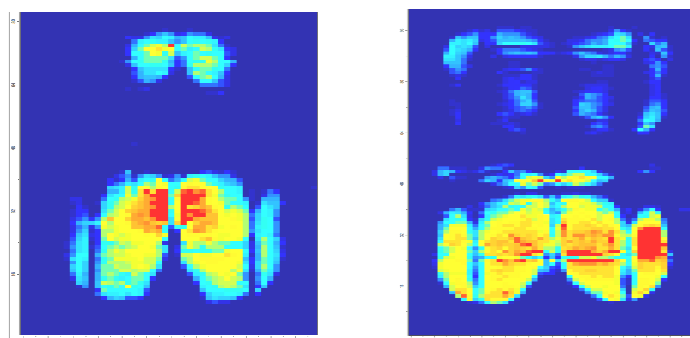
4.5.2 Použití metodiky TRIZ při realizaci prototypu sedačky

Na základě TRIZ metodiky byla připravena varianta dvouokruhového výhřevu pro partii sedáku a dvouokruhového výhřevu pro partii zad (Obrázek 73).



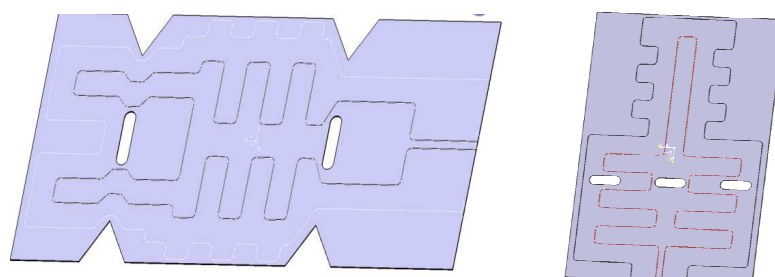
Obrázek 73 - Výhřev sedačky inovovaný dle metodiky TRIZ. Zdroj: Autor, [12]

O umístění resp. trasování odporového vodiče rozhodly dispoziční podmínky a provedené měření rozložení tlaku v ploše měřicím zařízením Xsensor® (Obrázek 74). Pro demonstraci byly ze skupiny respondentů vybrány dva lidské subjekty, nacházející se se svými tělesnými rozměry a hmotností na protilehlých oblastech spektra. Z obrázku je patrné, že sedák je pasažérem okupovaný vždy ve stejné doméně tj. v partii pánevní kosti. V oblasti zad je rozložení tlaku v ploše nejednoznačné a závislé na polohování sedadla, sedáku, zádové a bederní opěry.



Obrázek 74 - Distribuce tlaku v ploše měřená zařízením Xsensor®. Zdroj: Autor

Na základě měření (Obrázek 74) bylo rozhodnuto vést odporový vodič nejhustěji právě pod pánevní kostí s výjimkou reprodukčních partií [36], kde je teplota naopak nežádoucí. Pro potřeby analýzy MKP/FEM byl vytvořen model dečky výhřevu (Obrázek 75) s dvouokruhovým trasováním odporového vodiče.

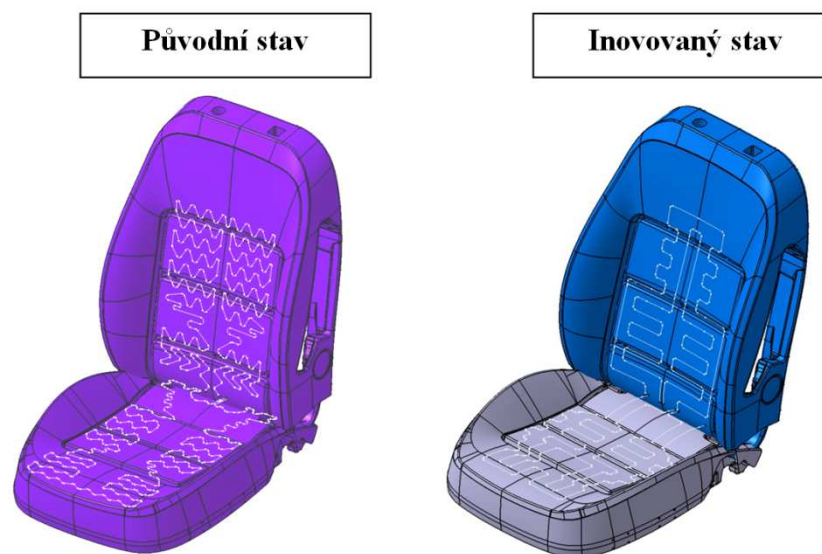


Obrázek 75 - Inovované dečky výhřevu sedačky (vlevo sedák, napravo partie zad). Zdroj: Autor

Pro účely experimentu byl použit odporový drát z původní dečky. Celkově bylo získáno $l = 4680$ mm odporového vodiče ze sériové dečky o celkovém el.odporu $R = 1,0284430 \Omega$. Ze zádové části sériové dečky bylo získáno $l = 5142$ mm odporového vodiče s celkovým el.odporem $R = 1,0170621 \Omega$. Měřeno čtyřvodičovou metodou [123].

V inovované dečce bylo použito pro vnitřní okruh sedáku $l = 2433$ mm odporového vodiče s el.odporem $R = 0,530 \Omega$. Pro vnější okruh bylo použito při zástavbě $l = 1753$ mm odporového vodiče s naměřeným elektrickým odporem $R \approx 0,346 \Omega$. Očekávaná teoretická hodnota el.odporu byla $R=0,385 \Omega$. Měření bylo zatíženo chybou a indifferencí v očekávané a naměřené hodnotě mohly vzniknout chybou měření. Na výsledek měření teploty však měla chyba marginální vliv.

Zkrácením odporového drátu došlo k úspoře cca 11% oproti původnímu stavu. Inovovaná dečka výhřevu zad spotřebovala $l = 1879$ mm odporového vodiče ve vnitřním okruhu a $l = 1630$ mm odporového vodiče pro vnější okruh výhřevu. Tím došlo k úspoře cca 31% odporového vodiče ve srovnání s původní dečkou pro výhřev partie zad. V porovnání výhřevu dečky sedadla před a po inovaci (Obrázek 84) jsou vidět patrné rozdíly. Před inovací byla snaha do co nejmenší plochy vtěsnat co nejvíce vodiče. Inovací sedačky došlo k celkové úspoře cca 22% materiálu odporového vodiče z celkové délky vodiče získaného reverse engineeringem z původní, sériové sedačky. TRIZ analýza, měření sériové sedačky a měření s respondenty bylo základem pro výrobu prototypové dečky (Obrázek 76).



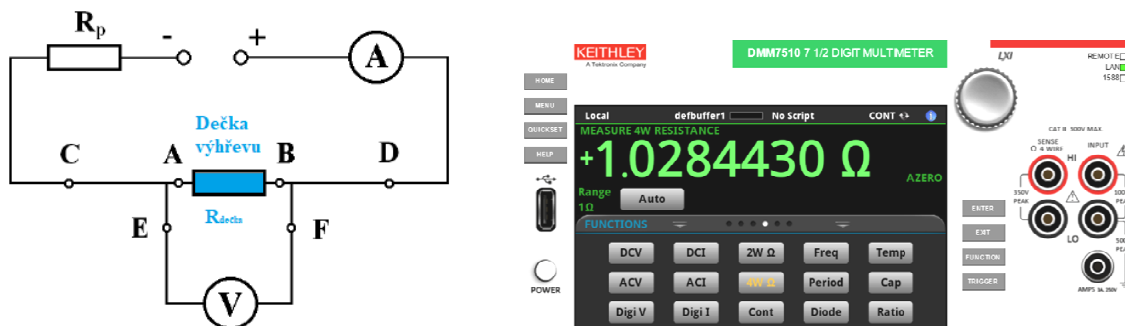
Obrázek 76 - Porovnání původního a inovovaného řešení výhřevu sedačky. Zdroj: Autor

4.6 Finalizace návrhu a výroba prototypu

Problémem měření malých odporů je - v našem případě mají vodiče $R < 1 \Omega$ - skutečnost, že se do výsledného odporu započítává i přechodový odpor svorek, odpor přírodních vodičů i termoelektrické napětí. Chceme-li vyloučit vliv těchto parazitních odporů, je potřeba měřit odpor čtyřvodičovou metodou [123]. Body A a B jsou měřící konce připojené svorkami na dečce výhřevu reprezentované odporem $R_{\text{dečka}}$. Předřadný rezistor R_p plní ochrannou funkci. Svorky C, D jsou proudové svorky. Svorky E, F jsou napěťové svorky, je na ně připojen voltmetr. Z důvodu vysokého vnitřního odporu voltmetru je proud protékající obvodem malý a úbytek na svorkách je rovněž zanedbatelný. Tím se eliminuje vliv chyby, která by byla způsobená velikostí přechodových odporů. Výsledný odpor je vypočtený ze vztahu (Rovnice 26).

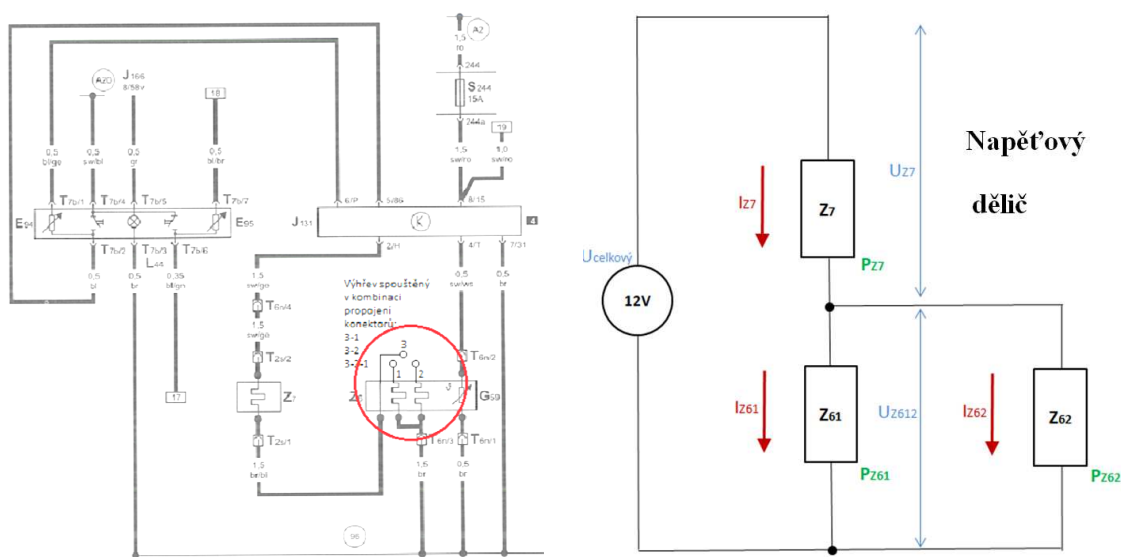
$$\rho = \frac{U}{I} \times \frac{S}{l} \quad \text{resp.} \quad R = \rho \times \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (26)$$

Ze vztahu (Rovnice 26) lze vypočítat odpor vodiče. Podmínkou je znalost průřezu vodiče S [m^2], délky vodiče l [m], hustoty materiálu, z něhož je vodič vyrobený ρ [kg/m^3]. K iniciaci zapojeného obvodu (Obrázek 77) je třeba zdroj stejnosměrného proudu. Přesný výsledek měření odporu se ukázal být klíčový pro správnou funkci regulačního obvodu dečky. Pro měření byl použit digitální multimetr s grafickým rozhraním DMM7510 Keithley.



Obrázek 77 - Princip čtyřvodičové metody měření odporu. Zdroj: Autor

Odporový drát použitý z původní, sériové dečky neměl očekávaný odpor, jak ukázalo zkušební oživení obvodu. Neproběhla regulace a výhřev nepracoval regulérně. Příčinou byla modifikace okruhu výhřevu na dvě části. Obrázek 78 představuje schéma zapojení elektrického obvodu navrženého k regulaci teploty inovovaného dvouokruhového výhřevu se znázorněnou modifikací odporových vodičů napěťovým děličem.



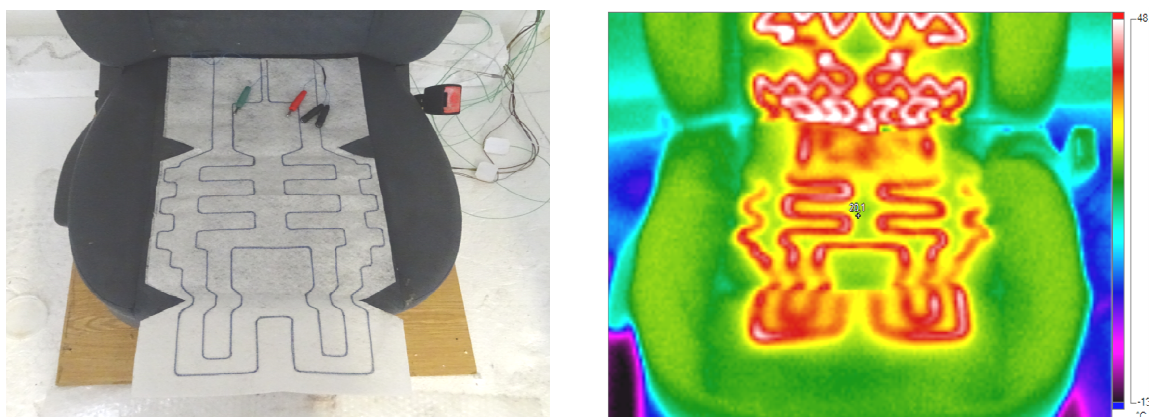
Obrázek 78 - Modifikace zapojení inovované dvouokruhové dečky výhřevu. Zdroj: Autor [12]

Proudy protékající jednotlivými větvemi obvodu a napětí na sedací a zádové určovaly rozložení vyzařovaných výkonů. Výpočet (Tabulka 14) byl realizovaný v tabulkovém procesoru Excel.

Tabulka 14 - Výpočet odporu, proudu, napětí, výkonu na regulačním členu výhřevu. Zdroj: Autor

Odpor vodičů deček výhřevu :	Dečka Žáda	Dečka Sedák 161 a 262	
	Z7 1.0 Ohm	Z61 1.0 Ohm	Z62 1.0 Ohm
Napětí v okruzích :	Napětí zdroje	Rcelkový 1.5 Ohm	Rsedák cel. 0.5 Ohm
	Ucelkový 12.0 V	Uz7 8.0 V	Uz612 4.0 V
Proudů v okruzích :	Icelkový 8.0 A	Iz7 = Icelkový 8.0 A	Iz61 4.0 A
	Iz62 4.0 A		
Vyzářený výkon na dečkách :	Pcelkový 96.0 W	Pz7 64.0 W	Pz61 16.0 W
		Pz62 16.0 W	

Po dopočítání odporů a byl sestaven regulační obvod a realizován prototyp dečky inovovaného výhřevu (Obrázek 79). Po oživení obvodu bylo provedeno kontrolní měření termokamerou.

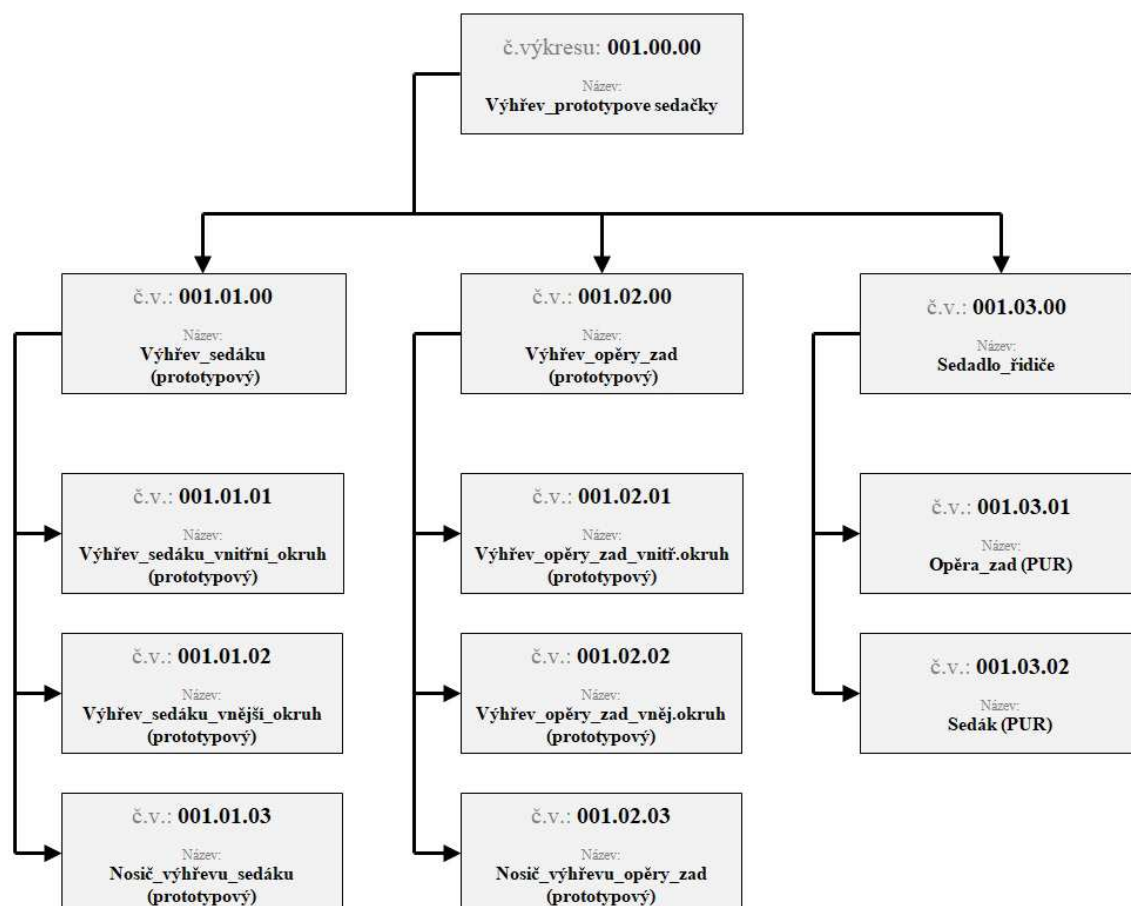


Obrázek 79 - Prototyp inovované dečky výhřevu sedadla. Zdroj: Autor

4.7 Výkresová dokumentace k prototypové sedačce

Konstrukce prototypové sedačky byla vytvořena v CAD software Catia V5. Vygenerovaná struktura výkresové dokumentace (Obrázek 80) se skládá z hlavního sestavového výkresu výhřevu prototypové sedačky (č. výkresu 001.00.00) a jeho podsestav. Mezi podsestavy patří: výhřev dečky sedáku (č. výkresu 001.01.00), výhřevu opěry zad (č. výkresu 001.02.00) a sedadlo řidiče (č. výkresu 001.03.00). Poslední zmiňovaná položka, sedadlo řidiče, je duševním vlastnictvím automobilového producenta Škoda-Auto a.s. a chráněno autorským právem.

Ve výkresové struktuře je sedadlo řidiče (č. výkresu 001.03.00) uvedeno pouze schematicky s odkazem na výkres opěry zad (č. výkresu 001.03.01) a výkres sedáku (č. výkresu 001.03.02). Oba díly vyrobené technologií vstřikování z PUR pěny jsou reprezentovány 3D modelem vygenerovaným z CAD dat, čímž se vyhovělo autorskému právu. Pro potřeby inovace je schematická reprezentace plně dostačující, neboť prototypové díly, které jsou bezprostředně v kontaktu s prototypovými dečkami výhřevu, jsou situovány na vnější obálce CAD dat. Sestavy výkresů prototypového výhřevu jsou součástí dokumentace (Příloha 1-12).



Obrázek 80 - Struktura výkresové dokumentace prototypového výhřevu. Zdroj: Autor

4.8 Měření prototypového sedadla kontrolní skupinou

Měření teplotního komfortu inovovaného výhřevu proběhlo v externím klimatickém boxu na korpusu původní, sériové sedačky vybavené insertem s nově trasovanými odporovými vodiči. K měření byla přizvána stejná skupina respondentů, která se zúčastnila původního měření (Obrázek 81). Byla použita stejná měřicí metodika a stejné podmínky pro testování. Na povrchu sedáku byla umístěna dvojice čidel. Jedno čidlo bylo umístěno přímo na zdroji tepla (odporový vodič dečky výhřevu), druhé uprostřed mezi dvěma protilehlými vodiči výhřevu.

Důvod pozicování čidel bylo zjištění minimální a maximální teploty v místě kontaktu potah sedáku-tělo respondenta.

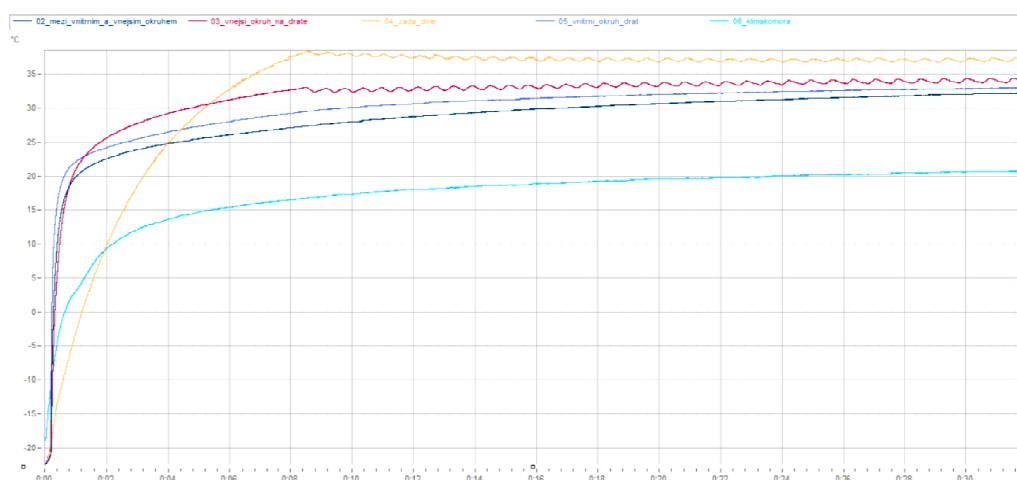


Obrázek 81 - Respondent v klimatizovaném externím boxu. Zdroj: Autor

Při měření prototypové dečky výhřevu docházelo mezi jednotlivými testy ke sporadickým chybám, které pak byly příčinou opakování testů. Chyby byly způsobeny nevhodně zvolenou technologií pájení respektive spojení odporového vodiče se svorkami regulačního obvodu výhřevu sedadla. Vliv měla oxidace vodičů a svorek, nízká teplota cínové lázně a použití už recyklovaných materiálů. Byla provedena oprava (Obrázek 82) a reklamace odstraněny.



Obrázek 82 - Oprava poškozeného obvodu výhřevu inovované sedačky. Zdroj: Autor



Graf 28 - Měření teploty na inovovaném výhřevu automobilové sedačky. Zdroj: Autor

Stanovení termoregulačního prahu-tepelný stres

Na třech vybraných respondentech z kontrolní skupiny (Tabulka 15) lze demonstrovat spontánní spuštění termoregulačních mechanismů expozicí těla tepelnou energií nad míru běžnou. Výběr z testovací skupiny je záměrně složen z osob diferencovaných v následujícím pořadí: dva krajní subjekty (č. 1, 3) představují tělesnými parametry levý a pravý okraj demografického spektra co do hmotnosti a BMI a prostřední respondent (č. 2) představuje tělesnými parametry demografický střed tj. osoba cca $l = 175$ cm vysoká a vážící $m = 75$ kg. Teplotní děje na povrchu sedačky je možné generalizovat podle typického průběhu rozložení teploty v čase (Graf 26, 28). Rozložení teplot lze považovat od času $t > 360$ s za ustálené, dosáhlo svého maxima omezeného shora regulačním obvodem. Přesto časem dojde ke stavu, kdy vlivem saturace těla teplem z externího zdroje dojde k lokálnímu přehřátí organismu. V tom okamžiku je na nevědomé úrovni spuštěn proces spontánní termoregulace, který je na vědomé úrovni provázený pocitem tepelného diskomfortu. Z Tabulky 15 je zřejmé, že tento proces tj.: "saturace => spuštění tělesné termoregulace => adaptace" má u všech respondentů stejný průběh.

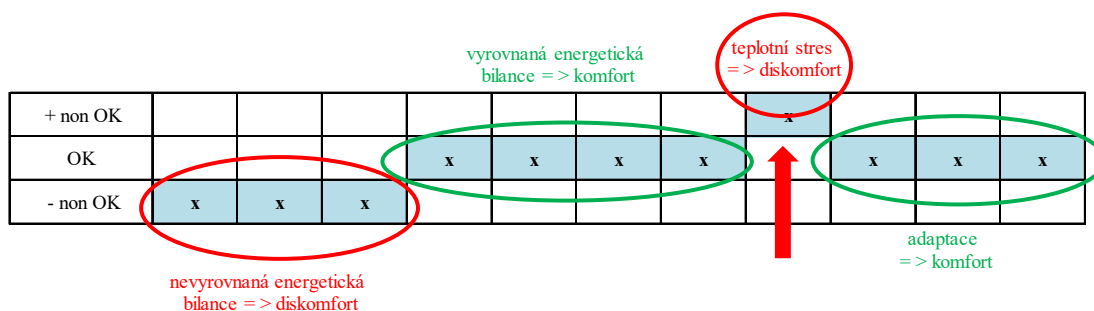
Tabulka 15 - Stanovení termoregulačního prahu u kontrolní skupiny respondentů. Zdroj: Autor

Statistické rozptřeni respondentů dle BMI	Celkový tepelný komfort prototypová sedačka											
	měřicí zóna	Čas zkoušky										
		0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
Respondent statisticky min. BMI	+ non OK				x							
	OK			x		x	x	x	x	x	x	x
	- non OK	x	x									
Respondent statisticky průměrné BMI	+ non OK							x				
	OK				x	x	x		x	x	x	x
	- non OK	x	x	x								
Respondent statisticky max. BMI	+ non OK								x			
	OK				x	x	x	x		x	x	x
	- non OK	x	x	x								

Posun termoregulačního prahu-adaptace organismu

Adaptace organismu je termín popisující jednotlivé fáze přizpůsobování organismu při expozici teplem, kdy se [84, 35, 31] tělo adaptuje na zvýšenou teplotu okolí a tím dojde k vazodilataci krevního řečiště, stoupne potivost a dojde ke zvýšenému ochlazování periferií organismu. Adaptace organismu je provázená snížením celkového tělesného diskomfortu tj. uživatel sedačky se začne cítit opět komfortně, aniž by se teplota v kontaktní ploše povrchu sedačky-tělo řidiče snížila. Zdroj [78] používá termín "akceptace" teploty. Schematicky popisuje jevy související s termoregulační odezvou organismu Tabulka 16.

Tabulka 16 - Schéma diskomfort => adaptace => komfort. Zdroj: Autor



Práh termoregulace zjištěný měřeními na sériové sedačce byl ověřený na prototypové sedačce. Ve srovnání se sériovou sedačkou vykazala prototypová sedačka – s menší plochou dečky výhřevu a nižší teplotu – vyšší teplotní komfort.

Iniciace procesu tělesné termoregulace

Další spojitosti mezi termoregulací a tepelným stresem lze nalézt v hodnocení lokálního tělesného komfortu. K demonstraci opět posloužila skupina složená z demograficky extrémně odlehklých jedinců (č. 1, 3) a zástupce průměru (č. 2). Informace z (Tabulka 17) korelují s (Tabulka 15). Spuštění pocitu tepelného diskomfortu je podmíněno následujícími jevy:

- Stříhová změna teploty v krátkém čase. Reakci spouští pocit extrémního lokálního přehřátí, zde v partii zádové opěry (subjekt č. 1). Reakci předcházelo období celkového tepelného komfortu (vyznačeno žlutě).
- Rychlá změna teploty v malé ploše (zde bederní opěra) přičemž v ostatních doménách výhřevu vládou poměry tranzientně ustáleného teplotního pole (subjekt č. 2).
- Postupná, pomalá změna teploty ve velkém rozsahu plochy výhřevu sedáku i zádové opěry (subjekt č. 3). Změna probíhá v relativně dlouhém časovém období $t \approx 540$ s.

Tabulka 17 - Lokální hodnocení komfortu respondenty testu. Zdroj: Autor

Lokální tepelný komfort											
Respondent č.1 měřicí zóna	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
1. a 2.	-2	-2	-1	1	1	1	1	2	1	1	1
3. a 4.	-2	-1	0	1	1	1	1	2	1	1	2
5. a 6.	-2	-2	-1	0	0	0	1	1	1	1	2
7. a 8.	-2	-2	-2	-2	-1	0	0	1	1	1	1

Lokální tepelný komfort											
Respondent č.2 měřicí zóna	Čas zkoušky										
	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s
1. a 2.	-2	-2	-1	0	1	1	0	0	0	0	0
3. a 4.	-1	-1	0	2	1	1	2	1	2	2	2
5. a 6.	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. a 8.	-2	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0

Lokální tepelný komfort											
Respondent č.3 měřicí zóna	Čas zkoušky										
	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s
1. a 2.	-2	-1	-1	0	0	1	1	1	1	0	0
3. a 4.	-2	-1	0	0	0	1	1	2	1	0	0
5. a 6.	-2	-1	0	0	1	1	2	2	1	0	2
7. a 8.	-2	-2	-2	-1	1	1	1	1	1	0	1

4.9 Statistické vyhodnocení dat: jednovýběrový t-test

Ověření hypotézy, jestli je provedená změna významná. Jako základ byly použity teploty v 0., 7. a 21. minutě definované metodikou VW (Tabulka 18, 19) a jsou uvedeny v řádku označeném μ . Hodnoty teplot naměřené při zkoušce komfortu sériové a prototypové sedačky jsou uvedeny v řádku označeném x (Tabulka 18, 19) a jsou zpracovány statisticky (Rovnice 27). Ve vztahu (Rovnici 27) jsou použité následující proměnné: $\bar{x}$ – průměr naměřených hodnot, s^2 - směrodatná odchylka, n – počet měření, $v = n-1$, α – hladina pravděpodobnosti.

$$t = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} \quad (27)$$

Po dosazení je v posledním řádku (Tabulka 19) uvedená hodnota t Studentova rozdělení, v tomto případě platná pro $v = 4$ a $\alpha = 0,05$. Ta je porovnaná s tabulkovou hodnotou t_α , která je platná pro dané v a pro dané α . Může nastat jedna z možností :

- $t < t_\alpha$; pak: H_0 potvrzena; statisticky nevýznamný rozdíl.
- $t > t_\alpha$; pak: H_0 zamítnuta; stat. významný rozdíl mezi střed. hodnotou μ a známou konstantou.

Porovnání základního a výběrového souboru (teplota povrchu sériové sedačky)

Tabulka 18 - Časový průběh teploty na sériové sedačce. Zdroj: Autor

	0 min	7 min	21 min
x	-19,98	31,06	35,58
s ²	0,48	1,64	0,81
μ	-20,0	33,0	36,0
t	0,072	2,047	0,899
t _t	2,132	2,132	2,132
H0	H0 ano	H0 ano	H0 ano

Závěr: pokusný zásah byl neúčinný, protože nebyla ovlivněna střední hodnota μ souboru při aplikaci zásahu v 0.; 7.; a 21. minutě naměřené teploty jsou v souladu s předpisem VW.

Porovnání základního a výběrového souboru (teplota povrchu prototypové sedačky)

Stejná metoda byla použita pro hodnoty teplot naměřené s respondenty na prototypové sedačce. Uvedená hodnota t Studentova rozdělení, v tomto případě platná pro: $v = 3$ a pro: $a = 0,05$.

Tabulka 19 - Časový průběh teploty na prototypové sedačce. Zdroj: Autor

	0 min	7 min	21 min
x	-20,50	29,25	32,75
s ²	1,66	1,92	1,30
μ	-20,0	33,0	36,0
t	0,522	3,382	4,333
t _t	2,353	2,353	2,353
H0	H0 ano	H0 ne	H0 ne

Závěr: pokusný zásah byl neúčinný v 0. minutě, protože nebyla ovlivněna střední hodnota μ souboru při aplikaci zásahu. Teplota na začátku měření je v souladu s předpisem VW. V případě měření v 7. a 21. minutě byl pokusný zásah účinný, protože způsobil změnu střední hodnoty u pokusného souboru ve srovnání se známou konstantní střední hodnotou.

4.10 Srovnání teplot a časů sériového a prototypového výhřevu sedačky

Při srovnání sériové sedačky s prototypem byly hodnoceny náběhové teploty a maximální teploty na povrchu sedadla. Důležitou spojnicí mezi testy byly stejné podmínky měření, stejná skupina respondentů, volba měřících bodů na povrchu sedadla. Měření zjednodušoval fakt, že upravená metodika hodnocení odladěná na sériové sedačce zpřesnila následné hodnocení a porovnání obou sedaček. Porovnání teplot a časů zachycuje Tabulka 20.

Tabulka 20 - Srovnání mezi původní, sériovou a prototypovou sedačkou. Zdroj: Autor

Hodnotící parametry	Původní / Sériová sedačka		Prototypová sedačka	
	Respondent statisticky min. BMI	Respondent statisticky max. BMI	Respondent statisticky min. BMI	Respondent statisticky max. BMI
Sedák, teplota $t_{\max}$ [°C] (náběh regulace)	37.5 °C	36.4 °C	33.0 °C	30.3 °C
Rozdíl: min.BMI - max.BMI [°C]	1.1 °C		2.7 °C	
Opěra zad, teplota $t_{\max}$ [°C] (náběh regulace)	42.8 °C	41.5 °C	38.4 °C	36.8 °C
Rozdíl: min.BMI - max.BMI [°C]	1.3 °C		1.6 °C	
Čas dosažení teploty $t = 0^{\circ}\text{C}$ [s]	≈ 48 s.	≈ 74 s.	≈ 18 s.	≈ 21.9 s.
Čas náběhu regulace [s]	≈ 736 s.	≈ 739 s.	≈ 508 s.	≈ 519 s.

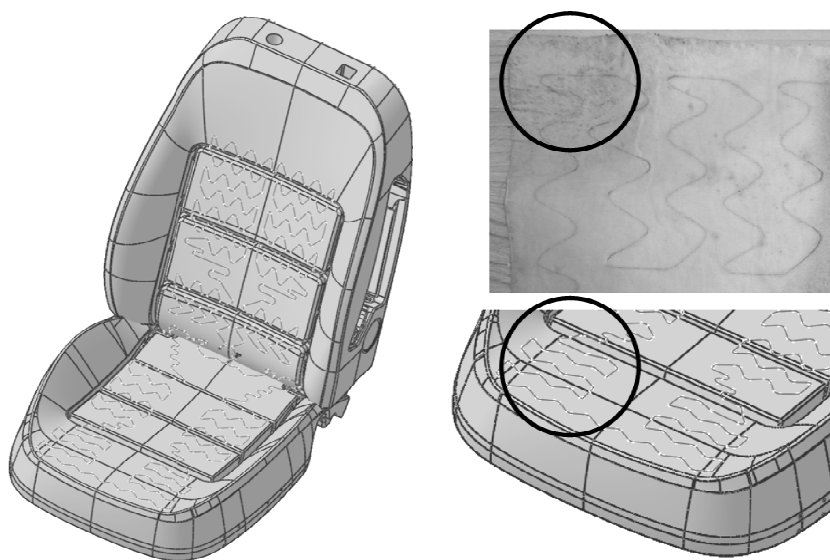
Z porovnání parametrů (Tabulka 20) vzešla tato zjištění:

- BMI index je parametr, který ovlivňuje maximální dosaženou teplotu výhřevu, měřenou na povrchu sedačky. Rozdíl teplot může být 1–3°C.
- Prototypový výhřev dosahuje nižších maximálních teplot v porovnání se sériovým výhřevem. Max. teplota opěry zad je nižší o cca 4,5°C. Teplota sedáku je nižší o cca 5,3°C.
- Prototypová sedačka dosahuje rychleji času, když teplota překročí 0°C. Z hlediska tepelného komfortu jde o významný parametr.
- U prototypové sedačky způsobuje parametr BMI výraznější rozdíly ve velikosti dosažených maximálních teplot.
- Regulace teploty začíná u prototypové sedačky omezovat maximální teploty rychleji v porovnání se sériovou sedačkou. Rozdíl činí cca 200 sekund.

5 FEM / MKP analýza sériové a inovované sedačky

Podkladem pro simulaci MKP byl původní datový model sedadla. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo získat virtuální modely sedadel od výrobce, byly rozměry a trasování vodičů naměřeny na fyzických kompletech, které sloužily zároveň k provádění experimentů. Na podkladu naměřených dat byl sestaven datový model pro potřeby MKP. Počáteční a okrajové podmínky numerické simulace byly stanovené na základě předpisu VW. Zjednodušený CAD model (složený z PUR pěny, netkané textilie a potahu ve variantě tkanina a pletenina) představil rozdíly v distribuci tepla v různých typech vrchního potahu.

CAD model sedadla (Obrázek 83) obsahuje, stejně jako reálný model, dvě vyhřívané dečky. Jedna je umístěná na sedáku a druhá na zádové opěře. Obě dečky jsou řízené termistorem umístěným na sedáku (spodní část dečky). Ten reguluje elektrický proud I [A] protékající oběma sériově zapojenými dečkami. Jako podklady pro FEM/MKP analýzu posloužily materiálové konstanty termofyzikálních veličin získané měření na vzorcích odebraných z fyzického modelu automobilového sedadla.

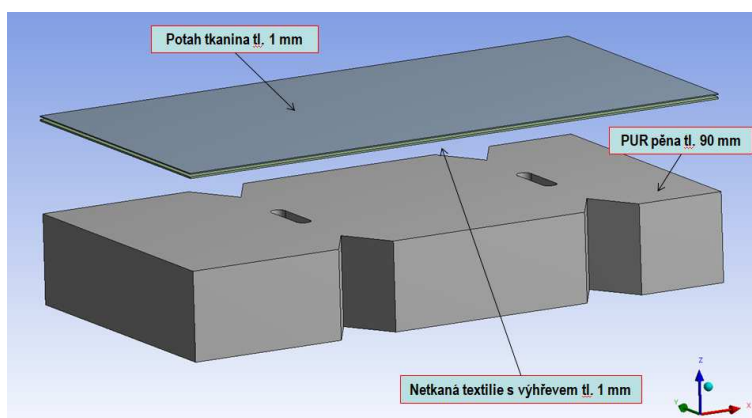


Obrázek 83 - CAD model sedadla a sériovou dečkou výhřevu. Zdroj: Autor, [12]

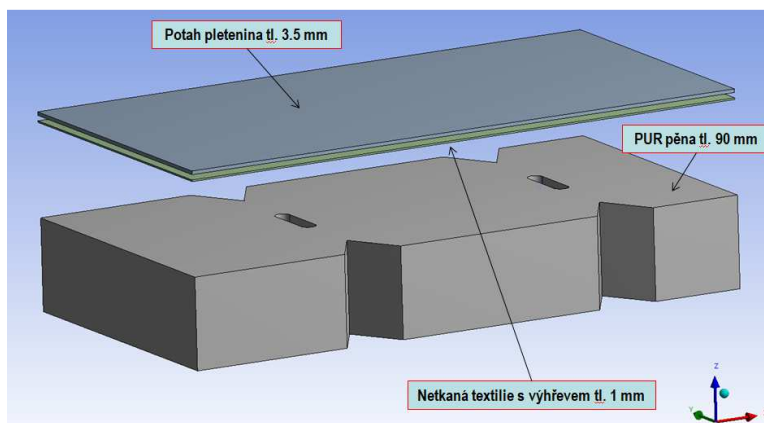
Pro zjednodušení MKP se pozornost soustředila na sedák a zádová opěra byla ze simulace vyloučena. Úvaha se opírala o závěry získané při předchozím měření na reálném modelu sedačky. Měření ukázala, že termodynamické děje na bederní opěrce a sedáku jsou totožné, protože materiály použité na sedadle jsou stejné a probíhající děje se řídí týmiž termomechanickými pravidly. Z makroskopického hlediska přináší izolovaná MKP analýza sedáku relevantní výpověď o celku jako takovém. Pozornost byla soustředěna i na testování 3D potahových materiálů-distančních pletenin.

Simulace měla dát odpověď na otázky, jaká je distribuce tepla při výhřevu sedadla a jeho transportu do těla uživatele vozu, homogenitě teplotního pole, jeho velikosti, tvaru, směru šíření a reakčním čase termoregulační odpovědi pasažéra.

Výstupy provedeného měření na sériové sedačce definovaly či doplnily okrajové podmínky potřebné pro MKP simulaci. Byla tak definována max. teplota kabelů dečky výhřevu (řízená regulačním obvodem) $t_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$. Počáteční teplota testu byla daná předpisem VW pro zkoušení sedaček $t_{\min\text{-klimabox}} = -20^{\circ}\text{C}$. Měřením termofyzikálních vlastností vzorků odebraných z původní, sériové sedačky byly dále definovány: Tepelná vodivost λ [W/m.K]; Měrná tepelná kapacita c [J/kg.K]; Měrná hmotnost ρ [kg/m³]; Koeficient přestupu tepla α [W/m².K]. Normou VW jsou stanovené časy pro vyhodnocení výhřevu sedačky: čas $t_{0^{\circ}\text{C}}$ tj. čas dosažení 0°C ; dále časy $t = 7$ min; $t = 20$ min; $t = 40$ min. Vyhodnocovány a porovnávány byly teploty t [$^{\circ}\text{C}$], dodávané a ztrátové výkony P [W] a energie E [kJ]. Simulace byla uvažovaná v režimu ustálené a transientní teplotní analýzy. Byly hodnoceny čtyři varianty modelů sedáků: Původní sériové provedení (Obrázek 84); Původní sériové provedení s potahem z 3D pleteniny o tloušťce 3,5mm (Obrázek 85); Prototypové řešení s potahem z tkaniny; Prototypové řešení s potahem z 3D pleteniny.

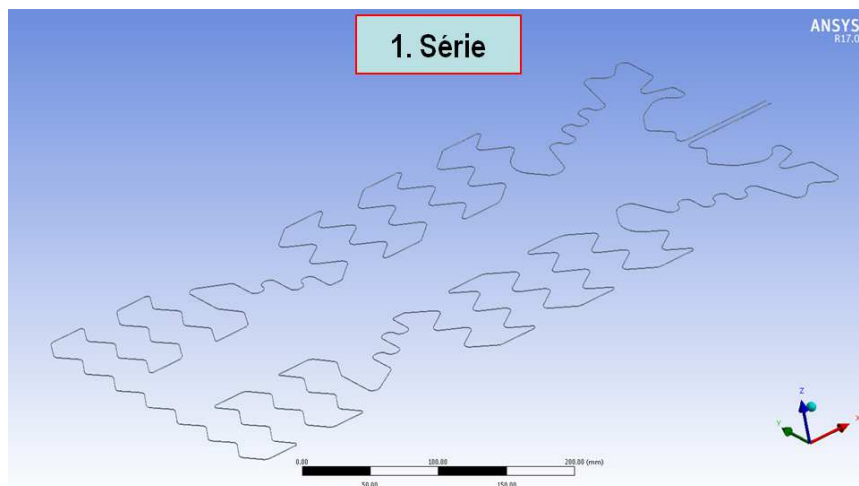


Obrázek 84 - Varianta I. model původní, sériové sedačky. [130]

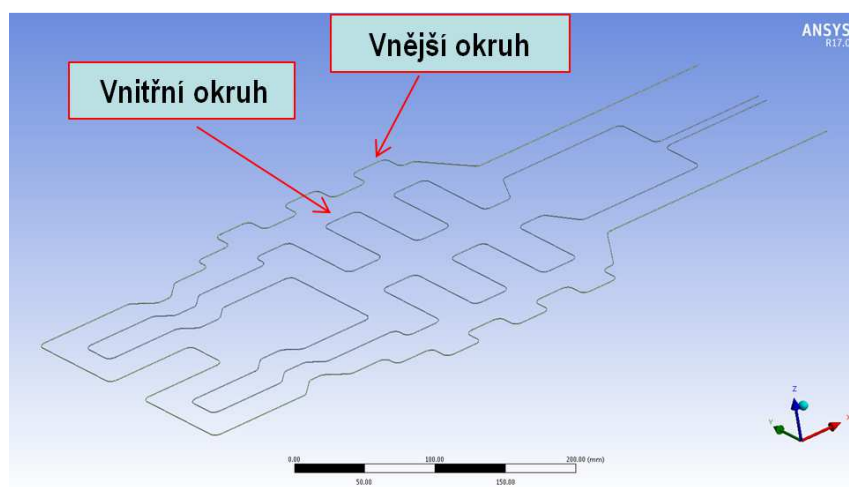


Obrázek 85 - Varianta II. inovovaná, prototypová sedačka s 3D potahem. [130]

Zdroj výhřevu byl testovaný ve dvou variantách: sériová sedačka měla provedení dečky sestavené na základě reverzního inženýrství z fyzického modelu původní sedačky (Obrázek 86); inovovaná, prototypová sedačka měla dvouokruhovou dečku výhřevu, kde byl testován nejprve pouze vnitřní okruh a následně oba dva okruhy současně (Obrázek 87).

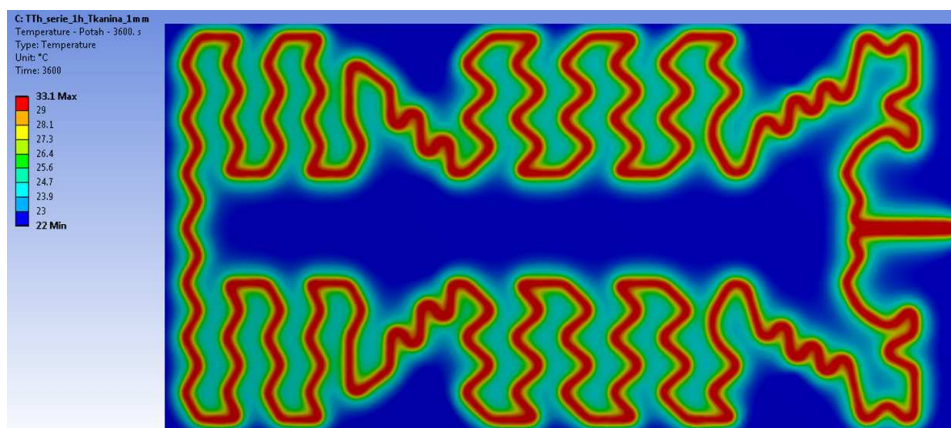


Obrázek 86 – Trasování odporového drátu sériové sedačky. Zdroj: Autor

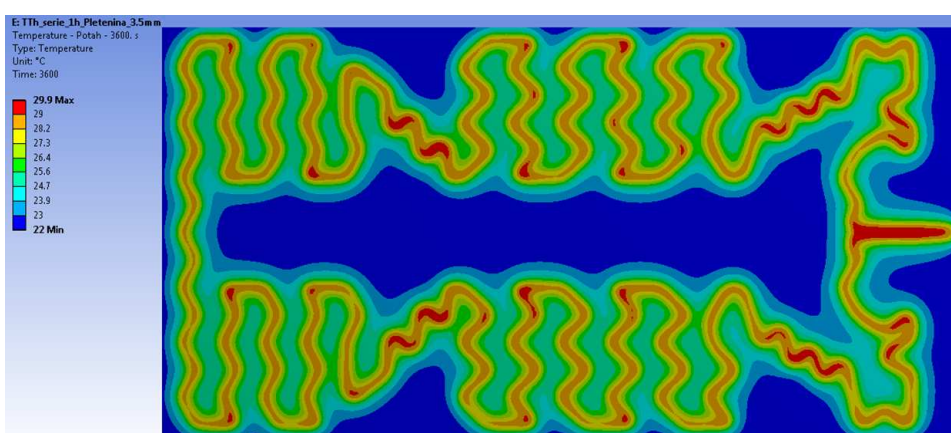


Obrázek 87 - Trasování odporového drátu inovované sedačky s oběma okruhy. Zdroj: Autor

Výstupem FEM/MKP analýzy byl popis teplotního pole na přechodu mezi povrchem sedačky a vnějšího prostředí po 60 minutách. Při srovnání dvou materiálů potahu (tkanina o tloušťce 1mm ze sériové sedačky (Obrázek 88) a 3D pleteniny o tloušťce 3,5mm (Obrázek 89) oba instalované na dečce sériové sedačky, byly zjištěny rozdíly v průteplivosti. Rozdíl teplot byl $t_{\Delta} = 3,2^{\circ}\text{C}$ ($t_{\text{tканina}} = 33,1^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{3D-pletенina}} = 29,9^{\circ}\text{C}$). Ustálená teplota byla dosažena po 6 minutách od počátku simulace - v případě tkaniny. V případě 3D pleteniny – je ustálená teplota dosažena po 13,5 minutách od počátku simulace.

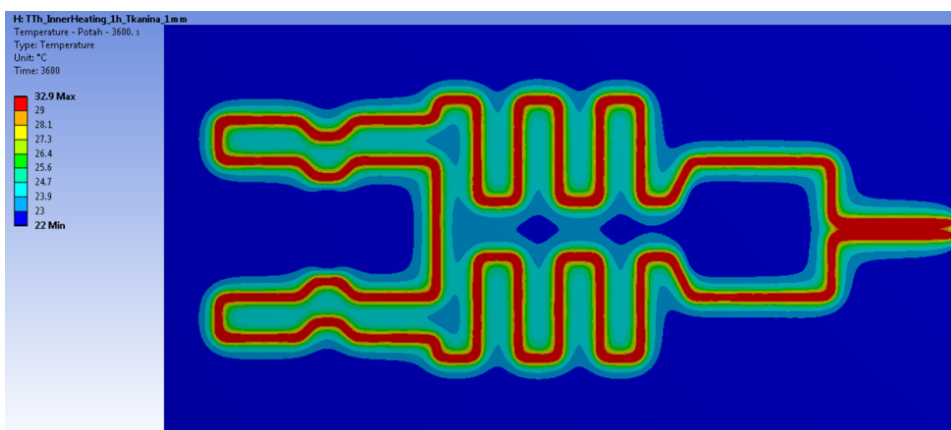


Obrázek 88 - Sérieový výhřev sedáku, potah tkanina. Zdroj: Autor, [130]

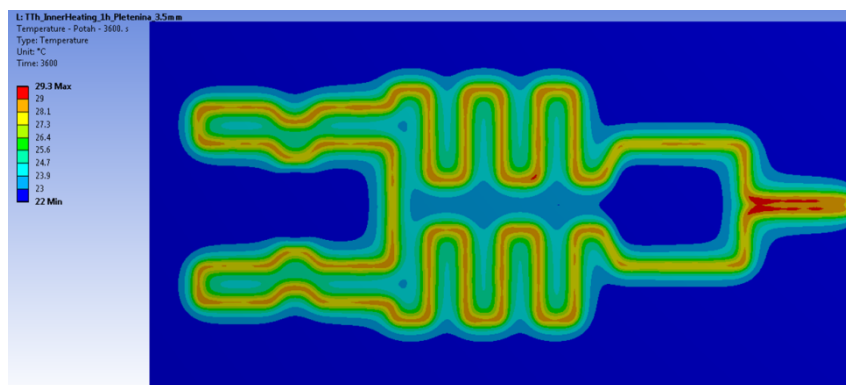


Obrázek 89 - Sérieový výhřev sedáku, potah 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]

Rozdíly v náběhových časech potřebných pro ustálení teploty byly MKP metodou prokázány rovněž při simulaci s prototypovým výhřevem, ale pouze s aktivovaným vnitřním okruhem. Ustálená teplota ve variantě tkanina (Obrázek 90) byla $t_{\text{tkanina}} = 32,9^{\circ}\text{C}$ a ustálené teplota při použití pleteniny (Obrázek 91) byla $t_{\text{3D-pletenina}} = 29,3^{\circ}\text{C}$. Rozdíl teplot byl $t_{\Delta} = 3,6^{\circ}\text{C}$. Ustálená teplota byla dosažena ve variantě tkanina po 11,4 minutách. Varianta pletenina dosáhla ustálení teplot po 31,6 minutách.

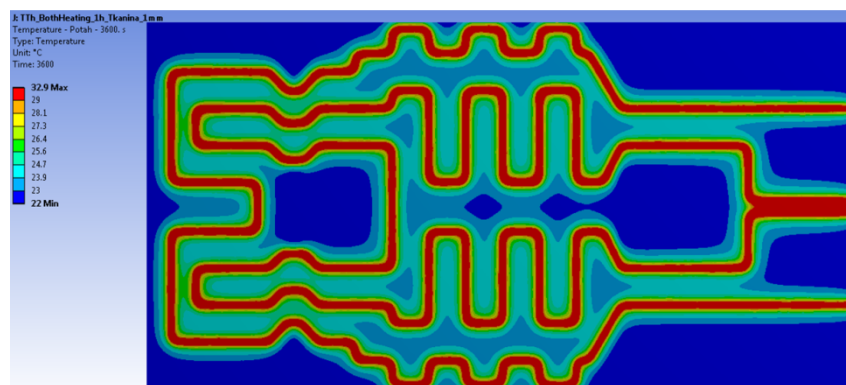


Obrázek 90 - Prototypový výhřev sedáku, vnitřní okruh; potah tkanina. Zdroj: Autor, [130]

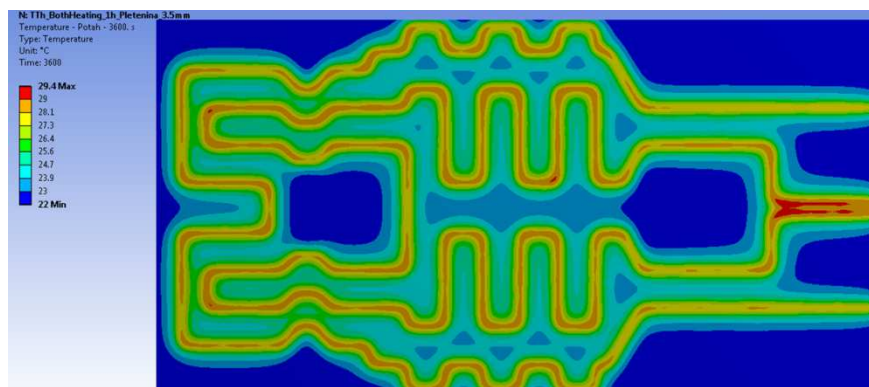


Obrázek 91 - Prototypový výhřev sedáku, vnitřní okruh; potah 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]

MKP simulace s potahem z tkaniny a 3D pleteniny byla provedená na prototypové dečce výhřevu s aktivovanými oběma okruhy. Okruhy mohou být aktivovány nezávisle. Důvodem rozdělení je rozdílná šířka zasednuté oblasti sedáku, prokázaná měřením Xsensorem na testovaných respondentech která koresponduje se šířkou pánve. V případě tkaniny (Obrázek 92), byla dosažena ustálená teplota $t_{\text{tkanina}} = 32,9^{\circ}\text{C}$. V případě 3D pleteniny (Obrázek 93) byla ustálená teplota $t_{\text{3D-pletenina}} = 29,4^{\circ}\text{C}$. Rozdíl teplot byl $t_{\Delta} = 3,5^{\circ}\text{C}$. Varianta s potahem z tkaniny dosáhla ustálené teploty po 10,5 minutách. Varianta s 3D pleteninou dosáhla této teploty po 19,5 minutách.

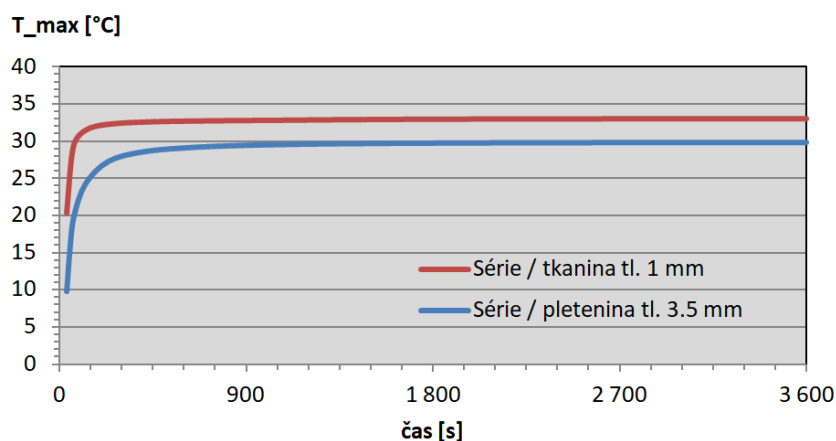


Obrázek 92 - Prototypový výhřev sedáku, oba okruhy; potah tkanina. Zdroj: Autor, [130]

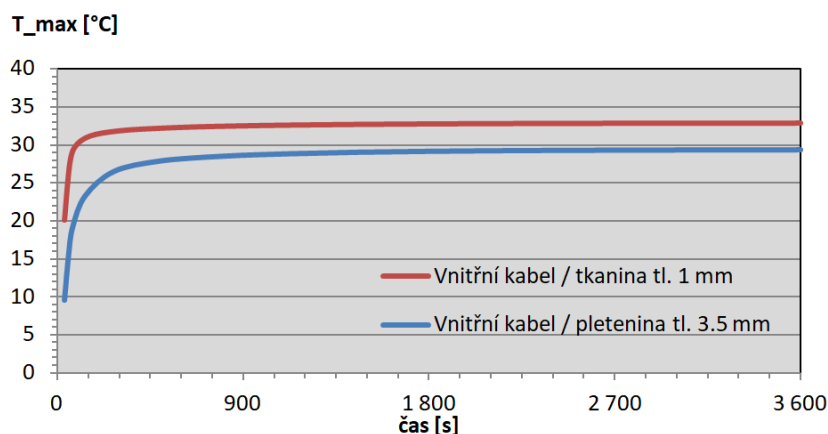


Obrázek 93 - Prototypový výhřev sedáku, oba okruhy; potah 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]

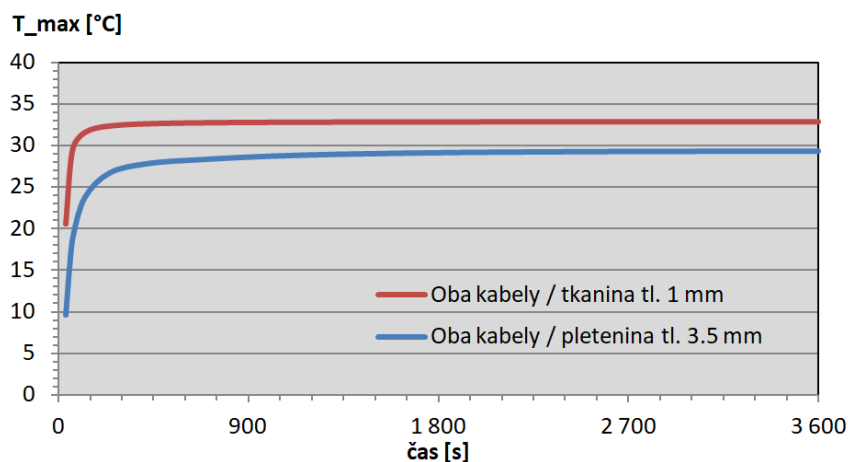
Teplotní závislosti na čase znázorňuje grafické porovnání variant: Sériová dečka s potahy tkanina, pletenina (Graf 29); Prototypová dečka s aktivovaným vnitřním okruhem temperace, potahy tkanina a pletenina (Graf 30); Prototypová dečka s aktivovanými oběma okruhy, potahy tkanina a pletenina (Graf 31).



Graf 29 - Porovnání, sériový výhřev sedáku, potah tkanina a 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]



Graf 30 - Porovnání, prototyp.výhřev, vnitř.okruh, potah tkanina, pletenina. Zdroj: Autor, [130]



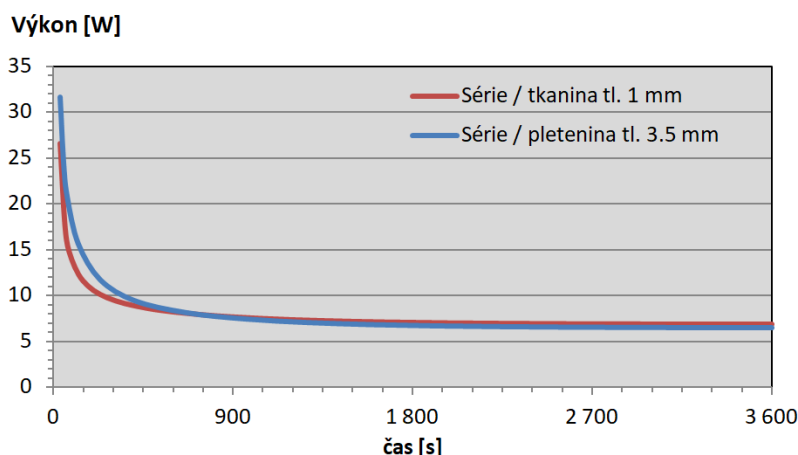
Graf 31 - Porovnání, prototyp.výhřev, oba okruhy, potah tkanina a pletenina. Zdroj: Autor, [130]

Použití 3D pleteniny se ukázalo být méně výhodné ve srovnání s potahem z tkaniny (Tabulka 21). Dosažená povrchová teplota je ve srovnání s tkaninou nižší a k ustálení dojde za více jak dvojnásobnou dobu. Idea použití tohoto typu textilie se váže k jejím specifickým vlastnostem. 3D pleteniny jsou tvořeny ze dvou vrstev, které jsou spojeny kolmo kladenými monofily [121]. Mezi výhody distančních pletenin patří především vysoká prodyšnost, která dovoluje mikrocirkulaci podél monofilů. V případě automobilové sedačky to znamená odvod tělesné vlhkosti a její transport pryč od těla uživatele. 3D osnovní pletenina je rovněž nenasákavá tj. molekuly vlhkosti rovnoměrně distribuují po celé ploše, což umocňuje efekt ochlazování těla řidiče. Přidanými vlastnostmi jsou nízká hmotnost a použitím syntetických materiálů i antialergičnost.

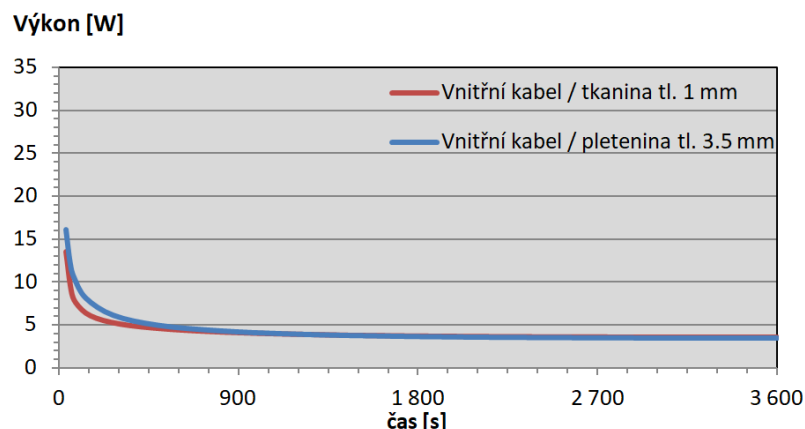
Tabulka 21 - Porovnání jednotlivých variant výhřevů a různých typů povrchů. Zdroj: Autor, [130]

Varianta výhřevu	Varianta potahu	Ustálená teplota	Čas dosažení ustálené teploty	Rozdíl dosažených teplot	Rozdíl v čase ustálení teploty
původní, sériový výhřev	tkanina 1mm	33.1 °C	370 s	3.2 °C	430 s
původní, sériový výhřev	pletenina 3.5 mm	29.9 °C	800 s		
inovovaný, prototypový, jeden okruh	tkanina 1mm	32.9 °C	680 s	3.6 °C	620 s
inovovaný, prototypový, jeden okruh	pletenina 3.5 mm	29.3 °C	1300 s		
inovovaný, prototypový, dva okruhy	tkanina 1mm	32.9 °C	630 s	3.5 °C	530 s
inovovaný, prototypový, dva okruhy	pletenina 3.5 mm	29.4 °C	1160 s		

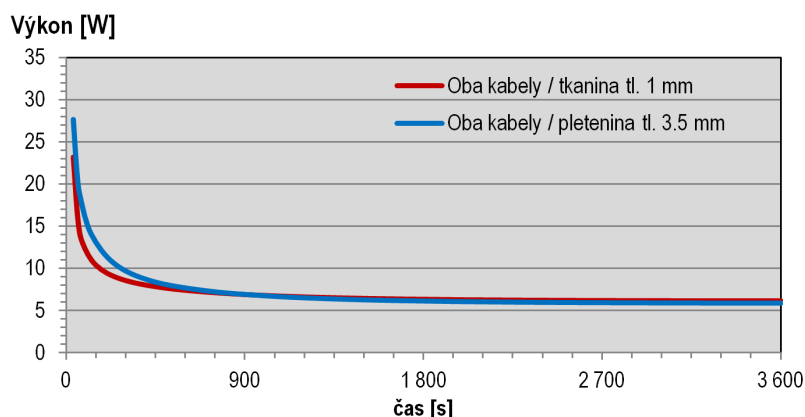
Výstupem z MKP simulace bylo grafické srovnání závislostí dodávaných výkonů na čase. Porovnání dodaných výkonů potřebných k dosažení ustálené teploty pro sériovou kombinaci dečka/potah z tkaniny a pleteniny (Graf 32). Dodané výkony pro variantu prototypová dečka (vnitřní okruh) potah z tkaniny a pleteniny zobrazuje Graf 33. Závislost dodaných výkonů v čase pro variantu prototypové sedačky (oba okruhy) potahy tkanina a pletenina jsou zobrazené v Grafu 34.



Graf 32 - Porovnání dodaných výkonů, ser.výhřev, potah tkanina a pletenina. Zdroj: Autor, [130]

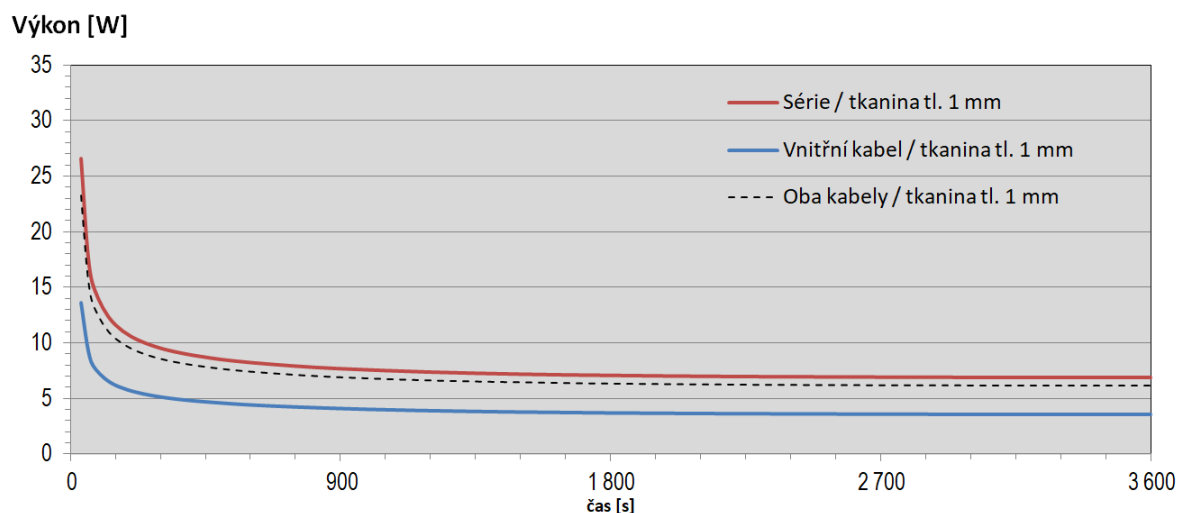


Graf 33 - Porovnání dodaných výkonů, prototypový výhřev, vnitřní okruh. Zdroj: Autor, [130]

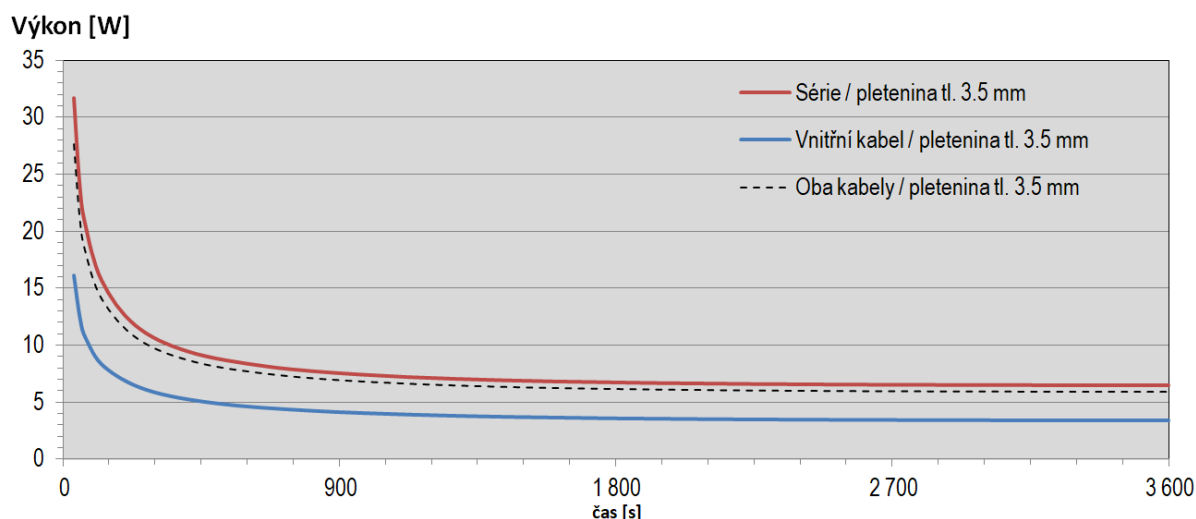


Graf 34 - Porovnání dodaných výkonů, prototypový výhřev, oba okruhy. Zdroj: Autor, [130]

Dalším výstupem ze simulace MKP bylo souhrnné srovnání dodaných výkonů (vlivem přestupu tepla do okolního prostředí) v grafické podobě. Graf 35 prezentuje srovnání variant sériový, prototypový výhřev s jedním a oběma zapojenými okruhy a tkaninovým potahem. Graf 36 představuje rozdíly v dodávaných výkonech potřebné k dosažení ustálené teploty pro varianty sériový, prototypový výhřev s jedním a oběma zapojenými okruhy a 3D pleteným potahem.



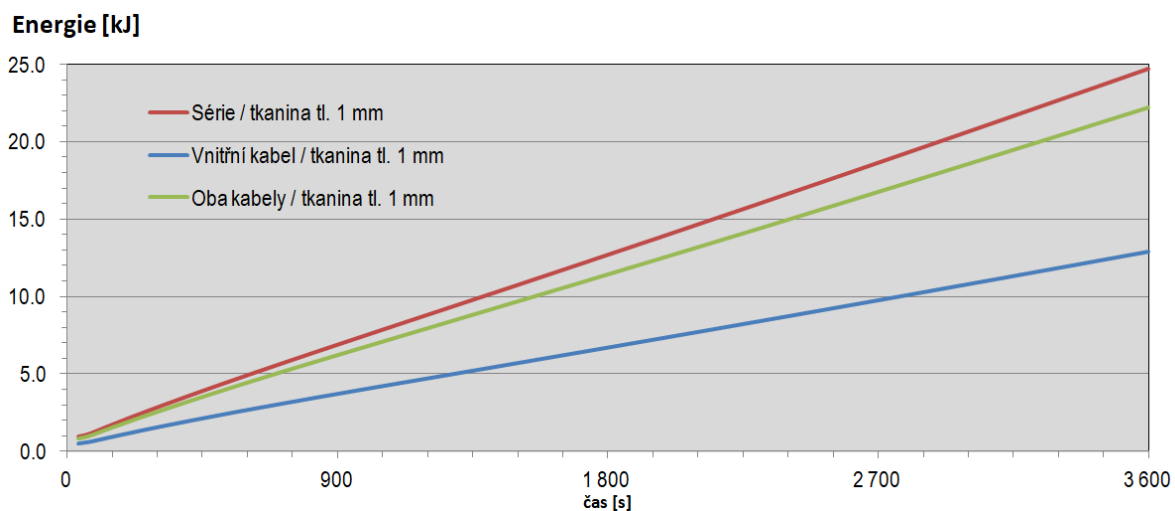
Graf 35 - Porovnání dodaných výkonů, potah tkanina. Zdroj: Autor, [130]



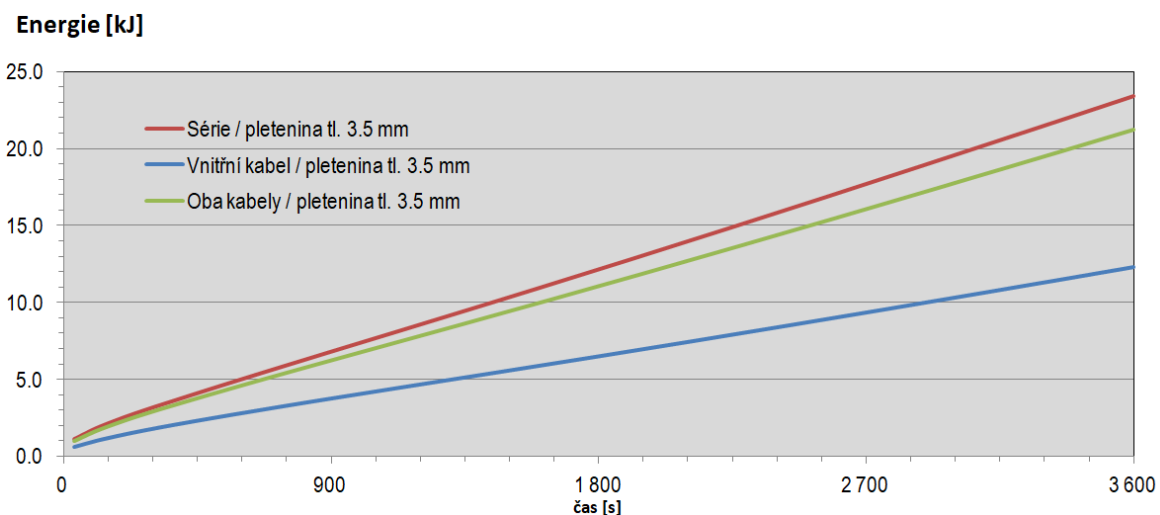
Graf 36 - Porovnání dodaných výkonů, potah 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]

Z Grafu 35, 36 je patrné, že výkon P [W] potřebný k dosažení ustálené teploty je vždy vyšší u sériové sedačky, bez ohledu na druh potahu. Důvodem je větší plocha aktivního výhřevu, trasování a celková délka odporového vodiče dečky výhřevu. U prototypové sedačky došlo ke zkrácení délky vodiče a selektivnímu trasování odporového drátu přes partie s největší citlivostí ke gradientu teploty. Další energetickou úsporou bylo rozdělení vodiče na dva okruhy s možností nezávislého ovládání podle aktivní zasednuté plochy sedáku.

Grafická podoba výstupu shrnujícího dodávané energie vlivem přestupu tepla do okolního prostředí jsou prezentovány v Grafu 37 a v Grafu 38. Porovnání časových průběhů dodávaných energií pro potah z tkaniny napříč dostupnými variantami výhřevů jsou prezentovány v Grafu 37, pro potah z 3D pleteniny v Grafu 38.



Graf 37 - Porovnání dodaných energií, potah tkanina. Zdroj: Autor, [130]



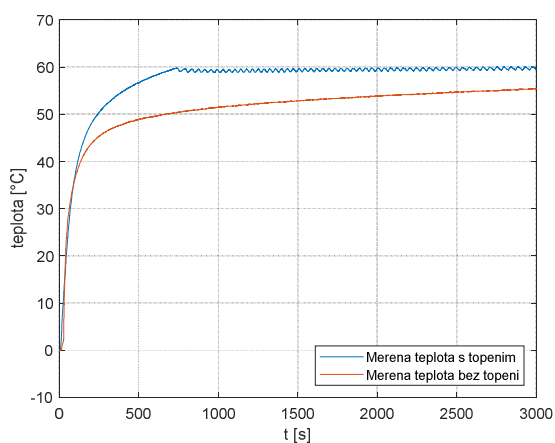
Graf 38 - Porovnání dodaných energií, potah 3D pletenina. Zdroj: Autor, [130]

Při vzájemném srovnání všech simulovaných parametrů tj. teplot t [°C], dodaných výkonů P [W] a spotřebovaných energií E [J] se jeví varianta sériové sedačky s potahem z distanční pleteniny (tloušťka $d = 3,5$ mm) jako nejméně vhodná. Důvodem je dlouhá reakční doba potřebná k proteplení potahu v kontaktu s uživatelem sedačky a nižší dosažená teplota $t_{\max}$, $t_{\min}$ [°C]. Kombinace má nejhorší sledované parametry PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfaction), TSV (Thermal Sensation Votes), což je v přímém souladu se závěry odborných článků a publikací (14, 74, 72, 68) zabývajících se tepelným komfortem a subjektivním zákaznickým hodnocením tepelného komfortu.

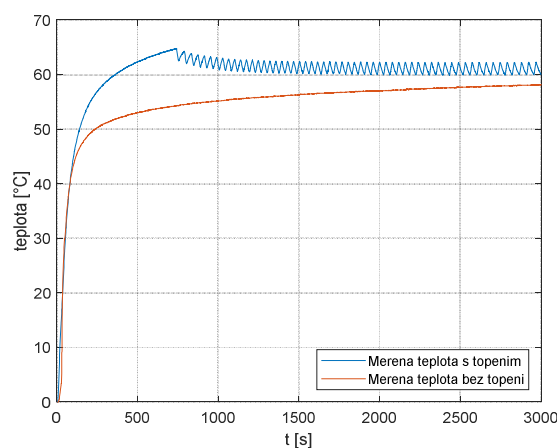
6 Matematický model regulátoru výhřevu sedačky

Matematický model sériové a prototypové sedačky nahrazuje matematicko-fyzikální model, který s pomocí parciálních diferenciálních rovnic popisuje šíření tepla v celém objemu sedačky. Nalezený model aproximuje a linearizuje popis pro konkrétní případ. Byl sestavený na základě dat naměřených na sériové sedačce za podmínek stanovených normou VW pro provádění zkoušek výhřevu automobilových sedaček. Model je možné použít pro nastavení regulátoru ohřevu sedačky, případně k provádění simulačních experimentů. Pro danou situaci byla zvolena struktura diferenciálních rovnic druhého řádu s první derivací na straně buzení. Do šíření tepla se zahrnuje jak šíření tepla vedením, kondukcí, tak sáláním a radiací. Model byl pro každý bod popsán soustavou dvou diferenciálních rovnic. První DR vyjadřuje vliv teploty těla sedícího pasažéra a druhá je vyjádřením samotného topného tělesa. Výsledná teplota je dána součtem teplot t_{body} a t_{heat} . Prvním vstupem pro analýzu (Graf 39) byl záznam průběhu teploty t_{max} naměřené na povrchu sedáku sériové sedačky v místě nad vodičem obsazené tělem respondenta a záznam teploty, kdy byla sedačka temperovaná pouze tělem účastníka testu. Stejným způsobem byla získána data ze zádové opěry sedačky (Graf 40). Červená křivka popisuje vývoj teploty opěry temperované pouze tělem respondenta. Modrá křivka je výsledkem měření teploty opěry zad zatížené a temperované tělem respondenta, měřeno nad vodičem.

Model výhřevu sériové sedačky automobilu

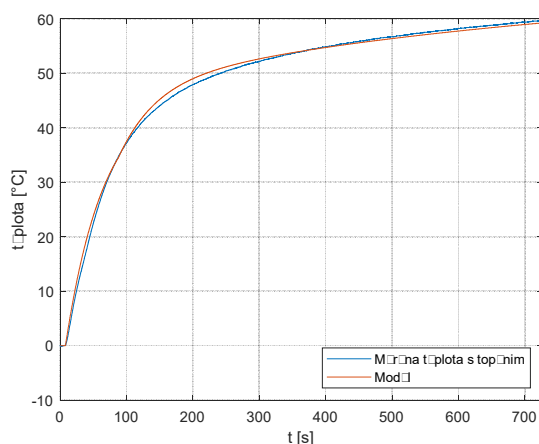


Graf 39 – Měření sér.sedáku. Zdroj: Autor

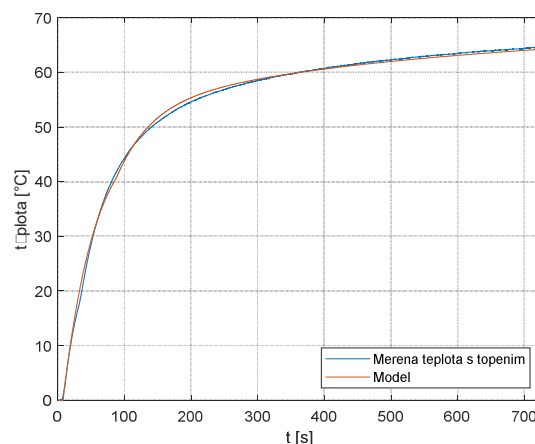


Graf 40 – Měření sér.opěry. Zdroj: Autor

Na experimentálně získaných datech naměřených na sériové sedačce, byla provedena parametrická identifikace a nalezeny jednotlivé parametry. Následně byla sestavena dvojice diferenciálních Rovnic 28, 29 a 30, 31. Byla provedena verifikace modelu s naměřenými daty. Graf 41 prezentuje porovnání naměřených dat na sedáku sériové sedačky s vytvořeným modelem. Graf 42 zobrazuje porovnání vytvořeného modelu s reálnou dynamikou výhřevu opěry zad, získanou měřením na sériové sedačce.



Graf 41 - Porovnání pro sedák. Zdroj: Autor



Graf 42 - Porovnání pro opěru. Zdroj: Autor

Popis modelu sedáku sériové sedačky vyjádřený soustavou DR:

$$1) \quad \ddot{t}_{2 \text{ body}} + 0,0186 \times \dot{t}_{2 \text{ body}} + 1,478^{-5} \times t_{2 \text{ body}} = 0,8011 \times \dot{u}_{\text{body}} + 8,33^{-4} \times u_{\text{body}} \quad (28)$$

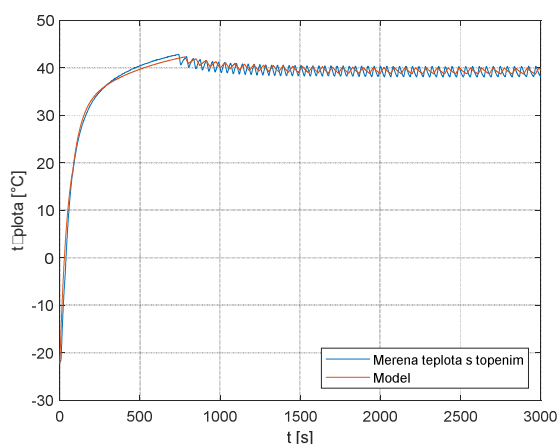
$$2) \quad \ddot{t}_{2 \text{ heat}} + 0,02039 \times \dot{t}_{2 \text{ heat}} + 3,492^{-5} \times t_{2 \text{ heat}} = 6,798^{-2} \times \dot{u}_{\text{heat}} + 4,27^{-4} \times u_{\text{heat}} \quad (29)$$

Popis modelu opěry zad sériové sedačky vyjádřený soustavou DR:

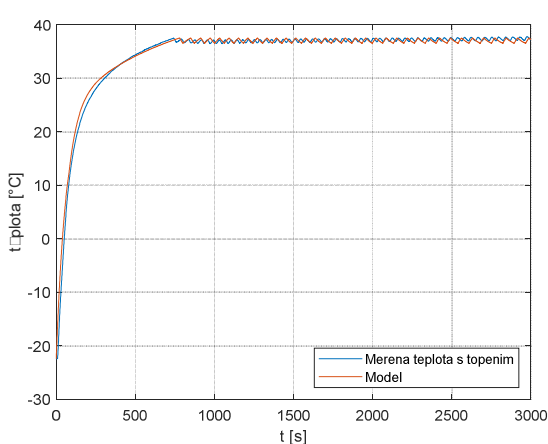
$$1) \quad \ddot{t}_{2 \text{ body}} + 0,02196 \times \dot{t}_{2 \text{ body}} + 1,988^{-5} \times t_{2 \text{ body}} = 1,043 \times \dot{u}_{\text{body}} + 1,167^{-3} \times u_{\text{body}} \quad (30)$$

$$2) \quad \ddot{t}_{2 \text{ heat}} + 0,01905 \times \dot{t}_{2 \text{ heat}} + 4,75^{-5} \times t_{2 \text{ heat}} = 8,686^{-2} \times \dot{u}_{\text{heat}} + 5,464^{-4} \times u_{\text{heat}} \quad (31)$$

Byl proveden experiment s dvoupolohovou regulací pro vytvořený matematický model sériové sedačky. Verifikace proběhla opět na datech získaných v průběhu měření reálné sériové sedačky. Graf 43 zobrazuje porovnání modelu dvoupolohové regulace výhřevu opěry sériové sedačky s naměřenými daty. Graf 44 ukazuje porovnání modelu dvoupolohové regulace výhřevu sedáku ve srovnání s daty naměřenými na sedáku sériové sedačky.



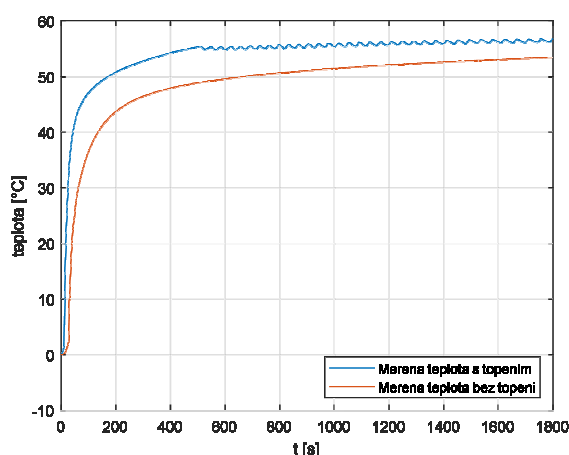
Graf 43 - Srovnání modelu opěry. Zdroj: Autor



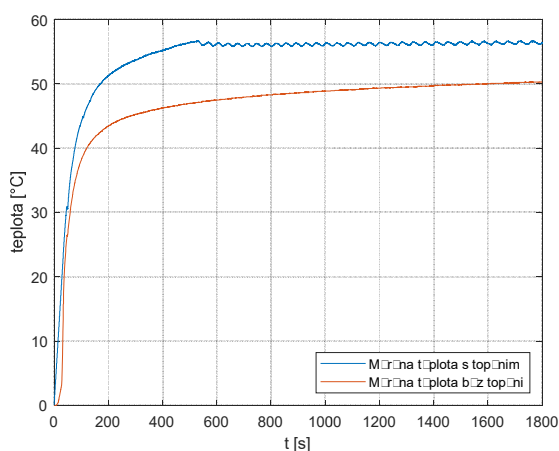
Graf 44 - Srovnání modelu sedáku. Zdroj: Autor

Model výhřevu prototypové sedačky automobilu

Na základě dat získaných měření na prototypové sedačce byl sestaven matematický model popisující soustavou diferenciálních rovnic sedák (Rovnice 32, 33) a zádovou opěru prototypové sedačky (Rovnice 34, 35). Graf 45 zobrazuje vývoj teploty sedáku prototypové sedačky v závislosti na čase. Červená křivka popisuje výhřev sedáku pouze tělem respondenta. Modrá křivka je záznam měření výhřevu sedáku prototypové sedačky dečkou výhřevu a zároveň tělem respondenta. Graf 46 je záznamem závislosti teploty na čase zádové opěry prototypové sedačky. Červená křivka zobrazuje výhřev opěry zad pouze tělem respondenta. Modrá křivka zobrazuje výhřev opěry zad sedadla prototypovým výhřevem a současně tělem respondenta.



Graf 45 - Prototypový sedák. Zdroj: Autor



Graf 46 - Prototypová opěra. Zdroj: Autor

Popis modelu sedáku prototypové sedačky vyjádřený soustavou DR:

$$1) \ddot{t}_{2 \text{ body}} + 0,02133 \times \dot{t}_{2 \text{ body}} + 1,874 \times 10^{-5} \times t_{2 \text{ body}} = 0,8054 \times \dot{u}_{\text{body}} + 9,871 \times 10^{-4} \times u_{\text{body}} \quad (32)$$

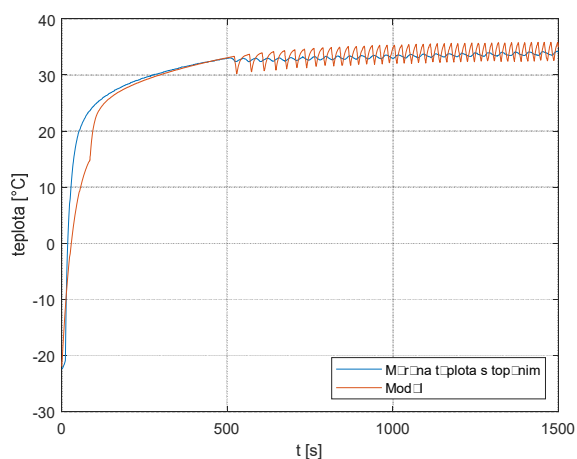
$$2) \ddot{t}_{2 \text{ heat}} + 0,114 \times \dot{t}_{2 \text{ heat}} + 9,7 \times 10^{-4} \times t_{2 \text{ heat}} = 0,3635 \times \dot{u}_{\text{heat}} + 8,961 \times 10^{-3} \times u_{\text{heat}} \quad (33)$$

Popis modelu opěry zad prototypové sedačky vyjádřený soustavou DR:

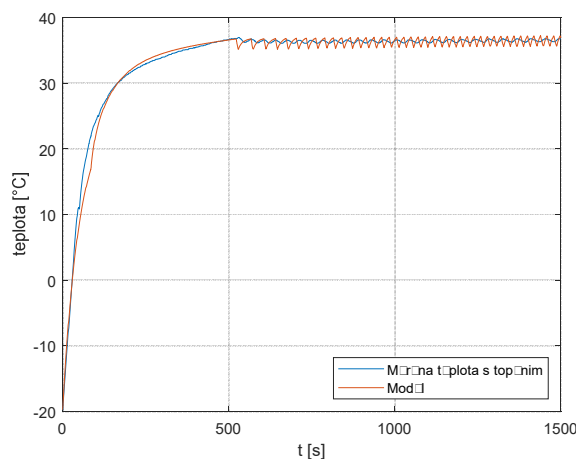
$$1) \ddot{t}_{2 \text{ body}} + 0,02886 \times \dot{t}_{2 \text{ body}} + 2,9 \times 10^{-5} \times t_{2 \text{ body}} = 1,109 \times \dot{u}_{\text{body}} + 15,71 \times 10^{-4} \times u_{\text{body}} \quad (34)$$

$$2) \ddot{t}_{2 \text{ heat}} + 0,1277 \times \dot{t}_{2 \text{ heat}} + 4,99 \times 10^{-4} \times t_{2 \text{ heat}} = 0,7875 \times \dot{u}_{\text{heat}} + 5,583 \times 10^{-3} \times u_{\text{heat}} \quad (35)$$

Bylo provedeno ověření vytvořeného modelu prototypové sedačky s dvoupolohovou regulací, popsaného soustavou diferenciálních Rovnic 32, 33 a 34, 35. K verifikaci modelu (Graf 47, 48) byla použita data naměřená na reálné prototypové sedačce.



Graf 47 - Ver.sedáku prototypu. Zdroj: Autor.



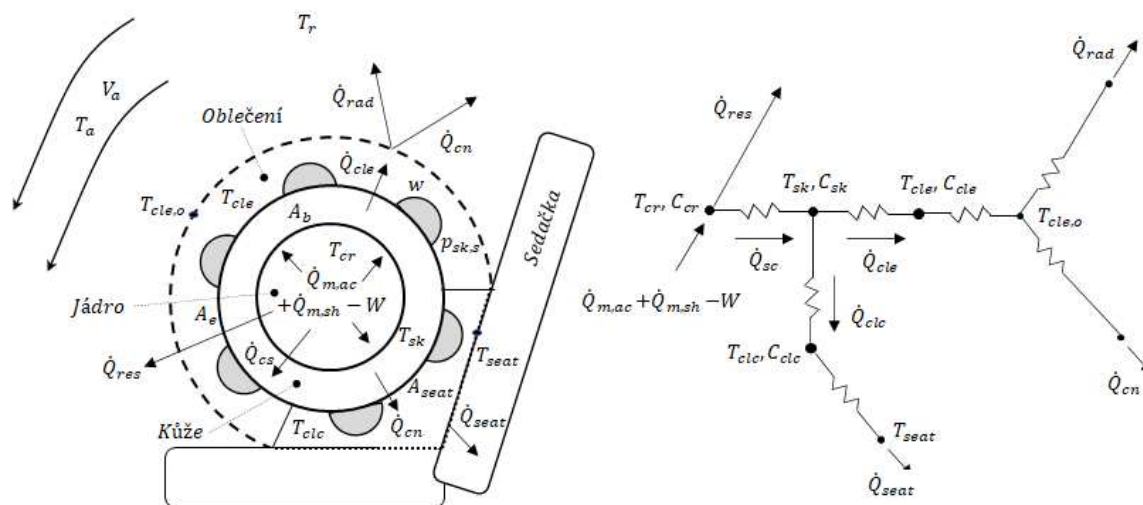
Graf 48 - Ver.opěry prototypu. Zdroj: Autor.

Z výsledků porovnávajících navržené modely sériové a prototypové sedačky a dat získaných měření na reálných sedadlech je vidět patrná shoda mezi předlohou a modelem. Takto získaný model nalezne uplatnění při tvorbě regulátoru výhřevu sedadla osobního automobilu. Model byl vytvořený na základě reálných dat s ohledem na tělesnou termoregulaci organismu uživatele a na jeho subjektivně hodnocený tepelný komfort.

7 Fyzikální model hodnocení zákaznického komfortu

Tento text popisuje definici tepelné pohody člověka v kontaktu s automobilovou sedačkou. Při standardních podmínkách vzniká teplo v lidském těle na základě metabolismu. Aby bylo možno dodržet tepelnou rovnováhu, tj. aby nedocházelo ke zvyšování teploty těla, je nutno tuto produkci tepla odvádět. Právě rovnováha mezi teplem generovaným lidským tělem a teplem odváděným z lidského těla prostřednictvím různých mechanismů, je základem modelování tepelné pohody. Z mechanismů, které se na přenosu tepla podílejí, se jedná zejména o vedení tepla (prostřednictvím vzájemných srážek částic), přenos tepla prouděním (konvekce – z pevné látky do tekutiny), radiací a vypařování. Jedná se tedy o současný přenos tepla a současně i hmoty. Je třeba si uvědomit, že každá látka má charakteristické tepelné vlastnosti, které ovlivňují průběh tepelné bilance. Jedná se zejména o tepelnou vodivost a měrnou tepelnou kapacitu. Například látka s vyšší tepelnou kapacitou se bude déle ohřívat, ale současně bude i déle chladnout a naopak. Tepelnou vodivost zase ovlivňuje rychlost, s jakou se teplo šíří uvnitř látek. Dále je třeba připomenout, že hodnoty tepelných vlastností lidského těla (i oblečení a materiálu sedačky) mohou být značně nehomogenní a je třeba pracovat s jejich středními hodnotami.

Tepelný výkon je v lidském těle generován na základě metabolismu $\dot{Q}_{m,ac}$ případně na základě termoregulačních mechanismů prostřednictvím svalového třesu $\dot{Q}_{m,sh}$ a může být snížen realizací mechanické práce, resp. mechanického výkonu W . Tepelný výkon generovaný lidským tělem může být následně odveden do okolí nebo přiveden z okolí základními mechanizmy přenosu tepla, respektive přenosu tepla a hmoty. Jedná se vlastně o tepelné ztráty a tepelné zisky, výkony. Generovaný výkon je odváděn dýcháním $\dot{Q}_{rs}$, vedením $\dot{Q}_{cn}$, konvekcí $\dot{Q}_{cv}$, radiací $\dot{Q}_{rd}$ a vypařováním vlhkosti $\dot{Q}_{ev}$. Model tepelné bilance člověka v kontaktu s automobilovou sedačkou zobrazuje Obrázek 94.



Obrázek 94 - Model tepelné bilance člověka na sedačce. Zdroj: Autor, [123, 124, 126, 129]

Tepelná pohoda člověka závisí právě na rozdílu tepelného výkonu generovaného lidským tělem a tepelného výkonu odváděného do okolí, případně přiváděného z okolí. Tento rozdíl představuje v lidském těle $\dot{Q}_{ac}$ akumulovaný výkon nebo přesněji akumulované teplo. Matematickou formulaci (Rovnice 36) uvedené bilance můžeme zapsat například následující rovnicí [124] :

$$\dot{Q}_{ac} = \dot{Q}_m - \dot{Q}_{cn} - \dot{Q}_{cv} - \dot{Q}_{rd} - \dot{Q}_{ev} - \dot{Q}_{rs} \quad (36)$$

Abychom mohli určit tepelnou pohodu člověka, musíme tuto rovnici pro konkrétní situaci vyjádřit. V této práci budeme vycházet zejména z modelu, který pro sestavení tepelné bilance použil Burch [124] a který byl adaptován na realizovaný experiment. Pro vyhodnocení tepelné pohody byla použita rovnice, která vychází z korelace, kterou zavedl Fanger [125]. Parametry modelu vychází zejména z práce [126] a [129]. Základní koncept modelu tepelné bilance je znázorněn na Obrázku 94. Model je složen ze tří vrstev: jádra, kůže a oblečení, která jsou charakterizovány jejich středními teplotami T_{cr} (core), T_{sk} (skin) a oblečení, přičemž vrstva oblečení je rozdělena na vrstvu přiléhající k sedačce T_{clc} a vrstvu přiléhající k vnějšímu prostředí T_{cle} . Jádro představuje pomyslný vnitřek těla, který je potažen kůží, kde přenos tepla mezi vnitřkem těla – jádrem, je realizován prostřednictvím toku krve cévami a žilami a následně odváděn povrchem kůže do volného prostoru, přes oděv případně přes oděv do sedačky, volantů či dalších částí interiéru automobilu. Množství tepla generovaného uvnitř těla je dáno aktivitou, kterou člověk vykonává. Hodnoty metabolismu $\dot{Q}_m$ jsou pro běžné činnosti uvedeny v Tabulce 22. Jednotka met uvedená v Tabulce 1 byla zavedena pro posouzení tepelné pohody a odpovídá přibližně tepelnému toku 58.2 W/m^2 . Pokud budeme uvažovat řízení automobilu, lze předpokládat, že se jedná o práci v sedě a hodnota metabolismu zde bude okolo $\dot{Q}_m = 70 \text{ W/m}^2$. Z použité jednotky je zřejmé, že hodnota tepla produkovaného metabolismem bude záviset na ploše povrchu těla. Povrch těla A_b [m^2] lze v závislosti na hmotnosti a výšce určit z rovnice, kterou stanovil Dubois [128] v následujícím tvaru:

$$A_b = 0.202 \cdot \text{výška}^{0.725} \cdot \text{hmotnost}^{0.425} \quad (37)$$

Tabulka 22 - Hodnoty metabolismu při tělesné aktivitě. [128]

Činnost	[W]	[W/m ²]	met [-]
Spaní	70	40	0,7
Odpočívání, ležení na posteli	80	46	0,8
Sezení, odpočívání	100	58	1
Stání, práce v sedě	120	70	1,2
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	160	93	1,6
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	200	116	2
Středně těžká práce (tanec)	300	175	3
Těžká práce (tenis)	600	350	6
Velmi těžká práce (squash, práce v hutích)	700	410	7

Produkci metabolického tepla dokáže lidské tělo zvýšit v případě, kdy dojde k poklesu teploty povrchu kůže pod určitou teplotu. Mechanismem zvýšení produkce tepelného výkonu v lidském těle je svalový třes a jeho hodnota (Rovnice 38) je funkcí teploty tělesného jádra T_{cr} , teploty povrchu kůže T_{sk} a lze ji vyjádřit ve tvaru [124]:

$$\dot{Q}_{m,sh} = 34.9 \cdot (33.7 - T_{sk}) \cdot (36.8 - T_{cr}) \quad (38)$$

Tepelný výkon produkovaný uvnitř těla je následně odváděn přímo z jádra těla do okolí dýcháním (respirační ztráta) $\dot{Q}_{rs}$ a krví potom do kůže $\dot{Q}_{cs}$, odkud je dále předáváno do vnějšího prostředí. Množství vdechovaného vzduchu je funkcí produkovaného metabolického výkonu (Rovnice 39) a lze jej vyjádřit v následujícím tvaru [124] :

$$\dot{m}_{ai} = \dot{Q}_m \cdot 0.0000013 \quad (39)$$

Pokud budeme předpokládat, že vzduch je z těla vydechován jako nasycený, můžeme množství tepla (Rovnice 40) obsažené ve vydechovaném vzduchu (respirační ztráta) vyjádřit pomocí následující rovnice [124]:

$$\dot{Q}_{rs} = \dot{m}_{ai} \cdot (l_{evap} \cdot (x_{cr} - x_a) + c_{p,a} \cdot (T_{cr} - T_a)) \quad (40)$$

kde $l_{evap} = 2450 \text{ kJ/kg}$ je výparné teplo vzdušné vlhkosti, $c_{p,a} = 1005 \text{ J/kg.K}$ je měrná tepelná kapacita vzduchu, x_a a T_a jsou měrná vlhkost a teplota vdechovaného vzduchu a x_{cr} je měrná vlhkost vydechovaného vzduchu při teplotě jádra těla. Pokud známe relativní vlhkost vzduchu φ a teplotu vzduchu T můžeme obecně měrnou vlhkost (Rovnice 41) vypočítat následovně [124]:

$$x_{cr} = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{v,cr}^{sat}}{p_{bar} + \varphi \cdot p_{v,cr}^{sat}}, \quad x_a = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{v,a}^{sat}}{p_{bar} + \varphi \cdot p_{v,a}^{sat}} \quad (41)$$

$$p_v^{sat} = e^{28.926 - \frac{6148}{273.15 + T}} \quad (-20 \text{ až } 0^\circ\text{C})$$

$$p_v^{sat} = e^{23.58 - \frac{4044.2}{235.6 + T}} \quad (0 \text{ až } 80^\circ\text{C})$$

V (Rovnice 41) je p_v^{sat} je parciální tlak vodních par na mezi sytosti, který je funkcí pouze teploty. Pro vydechovaný vzduch předpokládáme, že vystupuje z těla plně nasycený a platí, že $\varphi = 1$. Výkon předávaný krví (Rovnice 42) mezi jádrem těla a vrstvou kůže je funkcí rozdílu teplot mezi jádrem těla T_{cr} a teplotou kůže T_{sk} a objemovým tokem krve mezi jádrem těla a kůží $\dot{V}_{bl,cs}$ a lze jej vyjádřit v následujícím tvaru [124]:

$$\dot{Q}_{cs} = (K_{cs} + c_{p,bl} \cdot \rho_{bl} \cdot \dot{V}_{bl,cs}) \cdot (T_{cr} - T_{sk}) \cdot A_b \quad (42)$$

Proměnná $K_{cs} = 5.28 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ je průměrná měrná tepelná vodivost vztažená na plochu těla, $\rho_{p,bl} = 1010 \text{ kg/m}^3$ je hustota krve a $c_{p,bl} = 4145 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ je měrná tepelná kapacita krve. Objemový tok krve (Rovnice 43) mezi jádrem a kůží $\dot{V}_{bl,cs}$ lze dle [124] vyjádřit jako funkci teploty kůže a teploty jádra ve tvaru [124, 129] :

$$\dot{V}_{bl,cs} = \frac{\dot{V}_{bl,bas} + C_{bl,dil} \cdot (T_{cr} - 36.8)}{1 + C_{bl,str} \cdot (33.7 - T_{sc})} \quad (43)$$

Veličina $\dot{V}_{bl,bas} = 1.75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ představuje tok krve v důsledku basálního metabolismu, $C_{bl,dil} = 5.56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$ je koeficient vazodilatace a $C_{bl,str} = 0.1 \text{ K}^{-1}$ je součinitel vazokonstrikce. Objemový tok krve podobně jako tepelná vodivost těla je vztažen k povrchu těla, respektive kůže. Tepelný výkon (Rovnice 44) odvedený z povrchu těla odpařováním lze vyjádřit následujícím vztahem [124, 129] :

$$\dot{Q}_{ev} = \left(\frac{w \cdot A_e}{R_{m,sa}} \right) \cdot (p_{sk,s} - p_a) \quad (44)$$

Plocha A_e představuje plochu těla, která je vystavena vnějšímu prostředí, tj. není v kontaktu se sedačkou. $p_{sk,s}$ je parciální tlak sytých vodních par při teplotě kůže, který můžeme stanovit z Rovnice 44 a $R_{m,sa}$ je odpor proti difuzi vodní páry přes oblečení (Rovnice 45) a vzduchovou vrstvu a můžeme ho vyjádřit z následujícího výrazu [124]:

$$R_{m,sa} = \frac{\frac{x_{cl}}{k_{cl}}}{\eta_{cl} \cdot Le} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_{cv} \cdot Le} \quad (45)$$

k_{cl} a x_{cl} jsou tepelná vodivost a tloušťka vrstvy oblečení, $\eta_{cl} = 0.45$ je účinnost pronikání vlhkosti oděvem, f_{cl} je poměr plochy těla zakrytého oděvem a nezakrytého těla, kdy předpokládáme, že zimní oblečení zvýší povrch těla přibližně o 10%, h_{cv} je součinitel přenosu tepla konvekcí (Rovnice 46, 47), který můžeme vyjádřit jako funkci rychlosti proudění vzduchu V_a [124] :

$$h_{cv} = 8.6 \cdot V_a^{0.53} \quad (46)$$

nebo jako funkci produkovaného tepla [124]:

$$h_{cv} = 5.66 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_m}{58.2} - 0.85 \right)^{0.39} \quad (47)$$

přičemž v modelu je vždy použita hodnota vyšší z Rovnic 46, 47 Veličina Le (Rovnice 45) je Levisův koeficient, který představuje poměr přenosu tepla v důsledku vypařování s přenosem tepla v důsledku konvekce vzduchu.

Levisův koeficient (Rovnice 48) je funkcí teploty kůže a můžeme ho vyjádřit následujícím vztahem [124]:

$$Le = \frac{15.15 \cdot (T_{sk} + 273.2)}{273.2} \quad (48)$$

Veličina w reprezentuje celkovou míru pokrytí pokožky potem a je definována jako poměr mezi aktuálním vypařováním a maximálním možným vypařováním z pokožky. Pokud hodnota $w > 1$ znamená to, že pot začne z pokožky stékat. Na pokožce dochází jednak k samovolnému vypařování z vlhké pokožky označované jako suché pocení a také k odpařování vlhkosti ulpělé na pokožce označované jako mokré pocení. Množství potu generovaného mokřím pocením (Rovnice 49, 50) je dáno termoregulačními mechanizmy lidského těla a lze jej určit z následujících vztahů [124, 129]:

$$\dot{m}_{sw} = (0.0000472) \cdot f_{sw} \cdot (T_b - 36.5) \quad (49)$$

kde

$$f_{sw} = e^{\frac{(T_{sk}-33.7)}{10.7}} \quad (50)$$

Teplota T_b (Rovnice 49) představuje střední teplotu těla, která je vypočtena jako hmotově vážená průměrná teplota mezi kůží a jádrem těla (Rovnice 51) a vyjádříme jí z následujícího vztahu [124, 129]:

$$T_b = \alpha_{sk} \cdot T_{sk} + (1 - \alpha_{sk}) \cdot T_{cr} \quad (51)$$

Část hmoty těla příslušející kůži (Rovnice 52) můžeme pak vyjádřit v závislosti na průtoku krve ze vztahu [124, 129]:

$$\alpha_{sk} = 0.0418 + \frac{0.754}{3600000 \cdot \dot{V}_{bl,cs} + 0.585} \quad (52)$$

Celková hodnota pokrytí kůže vlhkostí se skládá ze dvou složek. Jedná se jednak o pocení (Rovnice 53) jako důsledek regulace teploty w_{sw} (přehřátí těla) a difuzi (Rovnice 54) tj. vlhkost kůže w_{df} , které můžeme vyjádřit pomocí následujících vztahů [124, 129]:

$$w_{sw} = \frac{h_{fg} \cdot \dot{m}_{sw}}{\frac{(p_{sk,s} - p_a)}{R_{m,sa}}} \quad (53)$$

a

$$w_{df} = 0.06(1 - w_{sw}), \quad (54)$$

To vyjadřuje představu, že zhruba 6 % z celkového množství vlhkosti je přenášeno difuzí kůží. Výkon přenášený z kůže do oděvu je rozdělen do dvou složek. Jedná se jednak o tepelnou ztrátu z kůže do oděvu (Rovnice 55), který je vystaven vnějšímu prostředí [124, 129]:

$$\dot{Q}_{cle} = \left(\frac{k_{cl}}{0.5 \cdot x_{cl}} \right) \cdot A_e \cdot (T_{sk} - T_{cle}) \quad (55)$$

a tepelnou ztrátu z kůže do oděvu (Rovnice 56), který přilehá k sedačce [124], [129] :

$$\dot{Q}_{clc} = \left(\frac{k_{cl}}{0.5 \cdot x_{cl}} \right) \cdot A_{seat} \cdot (T_{sk} - T_{clc}) \quad (56)$$

kde A_{seat} je plocha kontaktu oblečeného těla se sedačkou, T_{cle} je teplota uprostřed vrstvy oděvu vystaveného venkovnímu prostředí a T_{clc} je teplota uprostřed vrstvy oděvu v kontaktu se sedačkou. Nyní je potřeba vyjádřit tepelný výkon, který je odváděn z povrchu oděvu jednak do vnějšího prostředí a jednak do sedačky. Přenos tepla (Rovnice 57) konvekcí do okolního prostředí lze vyjádřit následujícím vztahem [124, 129]:

$$\dot{Q}_{cv} = h_{cv} \cdot f_{cl} \cdot A_e \cdot (T_{cle,o} - T_a), \quad (57)$$

kde $T_{cle,o}$ je teplota povrchu oblečení vystaveného vnějšímu prostředí. Vztah mezi vnější a vnitřní teplotou oděvu můžeme vyjádřit pomocí výkonu přenášeného přes oděv ze předpokladu, že teplota T_{cle} (Rovnice 58) je stanovena uprostřed vrstvy oděvu následovně [124, 129]:

$$T_{cle,o} = T_{cle} - \frac{\dot{Q}_{cle}}{\frac{2 \cdot k_{cl} \cdot A_e}{x_{cl}}} \quad (58)$$

Z povrchu oblečení je tepelný výkon přenášen prostřednictvím radiace (Rovnice 59), což můžeme vyjádřit následující rovnicí [124, 129]:

$$\dot{Q}_{rd} = h_{rd} \cdot f_{cl} \cdot A_e \cdot (T_{cle,o} - T_r) \quad (59)$$

kde

$$h_{rd} = 4 \cdot f_{rd} \cdot \varepsilon_{cl} \cdot \sigma \cdot \left((T_{cle,o} - T_r) \cdot 0.5 + 273.2 \right)^3 \quad (60)$$

h_{rd} (Rovnice 60) je součinitel přenosu tepla radiací, $f_{rd} = 0.7$ je část oblečeného těla, které vyzařuje, $\varepsilon_{cl} = 0.9$ je emisivita oblečení, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta a T_r je radiační teplota. Protože radiační teplota nebyla při experimentu měřena, použijeme pro její určení Rovnici 61 uvedenou v práci [124] pro situaci člověka sedícího na sedačce v následujícím tvaru:

$$T_{rd} = 0.94 \cdot T_a - 1.38 \quad (61)$$

Nyní můžeme vyjádřit tepelnou ztrátu, případně tepelný zisk do sedačky, případně ze sedačky (Rovnice 62), pomocí následujícího vztahu [124, 129]:

$$\dot{Q}_{seat} = \left(\frac{k_{cl}}{0.5 \cdot x_{cl}} \right) \cdot A_{seat} \cdot (T_{clc} - T_{seat}), \quad (62)$$

kde T_{seat} je teplota povrchu oděvu v kontaktu se sedačkou. Tuto teplotu můžeme dopočítat pomocí FEM výpočtu přenosu tepla v samotné sedačce, případně použít teplotu naměřenou na povrchu sedačky v průběhu experimentu. Nyní můžeme pro jednotlivé vrstvy modelu zapsat odpovídající tepelné bilance. Je třeba si uvědomit, že každá z vrstev modelu, tj. jádro těla, kůže a oblečení mají akumulární schopnost, která je charakterizována tepelnou kapacitou vrstvy a ovlivňuje časový průběh teploty. Obecně lze bilanční rovnici definovat tak, že změna veličiny, v našem případě tepla uvnitř dané vrstvy v čase, je dána rozdílem generovaného nebo přivedeného výkonu a odvedeného výkonu. Pro jednotlivé vrstvy můžeme tyto bilance vyjádřit (Rovnice 63, 64, 65, 66) následujícími vztahy [124, 129]:

$$\dot{Q}_{ac,cr} = C_{cr} \left(\frac{dT_{cr}}{dt} \right) = \dot{Q}_m - \dot{Q}_{rs} - \dot{Q}_{sc} \quad (63)$$

$$\dot{Q}_{ac,sk} = C_{sk} \left(\frac{dT_{sk}}{dt} \right) = \dot{Q}_{cs} - \dot{Q}_{ev} - \dot{Q}_{cle} - \dot{Q}_{clc} \quad (64)$$

$$\dot{Q}_{ac,cle} = C_{cle} \left(\frac{dT_{cle}}{dt} \right) = \dot{Q}_{cle} - \dot{Q}_{cv} - \dot{Q}_{rd} \quad (65)$$

$$\dot{Q}_{ac,clc} = C_{clc} \left(\frac{dT_{clc}}{dt} \right) = \dot{Q}_{clc} - \dot{Q}_{cn} \quad (66)$$

Diferenciální změnu v Rovnicích 63, 64, 65, 66 můžeme pro malou změnu teploty v čase aproximovat pomocí následujících vztahů [124, 129]:

$$T_{cr}(t) = T_{cr}(t - \Delta t) + \left(\frac{\dot{Q}_{ac,cr}}{C_{cr}} \right) \cdot \Delta t \quad (67)$$

$$T_{sk}(t) = T_{sk}(t - \Delta t) + \left(\frac{\dot{Q}_{ac,sk}}{C_{sk}} \right) \cdot \Delta t \quad (68)$$

$$T_{cle}(t) = T_{cle}(t - \Delta t) + \left(\frac{\dot{Q}_{ac,cle}}{C_{cle}} \right) \cdot \Delta t \quad (69)$$

$$T_{clc}(t) = T_{clc}(t - \Delta t) + \left(\frac{\dot{Q}_{ac,clc}}{C_{clc}} \right) \cdot \Delta t \quad (70)$$

Pokud dosadíme za tepelné toky v Rovnicích 67, 68, 69, 70 z Rovnic 63, 64, 65, 66 můžeme v případě znalosti počátečních podmínek vypočítat časové změny $T_{cr}(t)$, $T_{sk}(t)$, $T_{cle}(t)$ a $T_{clc}(t)$.

Na základě Rovnic 63 až 66 a Rovnic 67 až 70 můžeme také vyjádřit poměr mezi teplem odváděným z těla a teplem akumulovaným v těle, které použijeme k vyjádření tepelné pohody v čase. Tepelné kapacity využitě ve výše uvedených rovnicích jsou součinem měrné tepelné kapacity dané vrstvy a její hmotnosti. Měrné tepelné kapacity tělesné tkáně a oblečení jsou přibližně $c_{p, \text{flesh}} = 3490 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ a $c_{p, \text{cl}} = 1200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Hmotnosti jádra těla a kůže můžeme určit z Rovnice 52.

V některých rovnicích jsou ve výpočtech použity signály, které odpovídají termoregulačním mechanismům lidského těla. V Rovnici 43 jsou to výrazy $(T_{cr} - 36.8)$ a $(33.7 - T_{sc})$ a v Rovnicích 49, 50 pak výrazy $(T_b - 36.5)$ a $(T_{sk} - 33.7)$. Pokud je jejich hodnota záporná, jsou nastaveny na hodnotu nula.

Rovnice tepelné pohody využijeme dle vztahu Fanger [125] prostřednictvím PMV (Predicted Mean Vote) indexu, který definuje předpokládané procento nespokojených v daném prostředí. Uvedený index PVM (Rovnice 71) můžeme na základě výše uvedených tepelných bilancí specifikovat následovně [124, 129]:

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot \dot{Q}_m} + 0.028) \cdot \dot{Q}_{ac} \quad (71)$$

Vztah je popisem subjektivního zákaznického hodnocení tělesného komfortu pomocí fyzikálních veličin.

8 Diskuze poznatků a výsledků

Měřením tepelného komfortu byl získán obsáhlý soubor dat a praktických poznatků. Jejich sumarizace nebyla vzhledem k obsáhlosti a povaze naměřených dat jednoduchá. Cílem diskuze je najít jejich význam a korektní interpretaci. Měření probíhala za transientních a ustálených podmínek, a jak v teoretickém modelu MKP, tak v reálném měření bylo nutné některé veličiny stanovit jako konstantní (vlhkost prostředí, okolní teplota aj.). Naměřené hodnoty posloužily k vytvoření grafického výstupu, který je nápomocen k pochopení makroskopického systému subjektivního zákaznického hodnocení jako interakce mezi vyhřívanou sedačkou, organismem pasažéra a okolními vlivy.

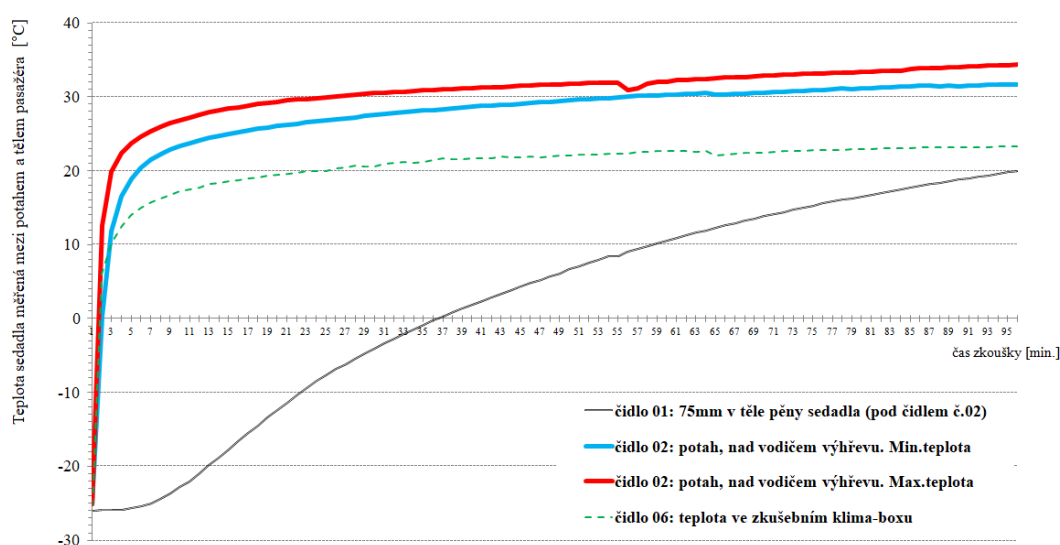
Cílem této práce bylo vytvořit prototypovou sedačku s funkčním inovovaným výhřevem, která by respektovala specifika tělesné sensoriky člověka a požadavky na termoregulaci organismu tj. diferenciaci teplotních polí lidského těla. K naplnění těchto cílů byly podniknuty následující kroky:

- Shromáždění relevantních informací k problematice z dostupných zdrojů a vědecké literatury.
- Vypracování literární rešerše shrnující současný stav vědy v dané oblasti.
- Provedení patentového průzkumu pro seznámení se s konkurenčními technickými řešeními.
- Vytvoření mapy teplotních polí člověka v interakci s automobilovou sedačkou na základě faktů a poznatků současné vědy. Mapa teplotních polí lidského těla zohledňuje: sensoriku lidského těla, tepelnou bilanci a energetické nároky, perceptuální a termoregulační mechanismy ovládané na podvědomé úrovni.
- Návrh metodiky hodnocení lokálního a celkového tělesného komfortu, která převádí subjektivní zákaznické hodnocení na měřitelné fyzikální parametry.
- Stanovení postupu měření, měřicího a sensorického vybavení a okrajových podmínek ve spolupráci s vývojovým dodavatelem.
- Příprava měřicího stanoviště a externího klimatického boxu k provádění zkoušek výhřevu sedadla v extrémních podmínkách.
- Provedení reverzního engineeringu původní sériové sedačky.
- Provedení analýzy výhřevu sériové sedačky s využitím inovačních metod TRIZ, stanovení opatření na odstranění slabých míst.
- Návrh nového řešení výhřevu pomocí metod TRIZ.
- Vytvoření virtuálního modelu prototypové sedačky se zákaznický orientovaným výhřevem v CAD datech.
- Analýza, ladění a finalizace modelu pomocí metod MKP / FEM.
- Vytvoření funkčního prototypu sedadla opatřeného zákaznický orientovanou temperací.

- Fyzické měření parametrů prototypového sedadla a porovnání výsledků s teoretickými daty získanými z MKP/FEM simulace.
- Porovnání mezi sériovým sedadlem a prototypem sedačky na základě výsledků měření, náběhových křivek a hodnocení lokálního a celkového tělesného komfortu.
- Výsledné zhodnocení kladů a přínosů generačně odlišného funkčního návrhu prototypové sedačky ve srovnání s původním stavem.

8.1 Sériové řešení výhřevu sedačky

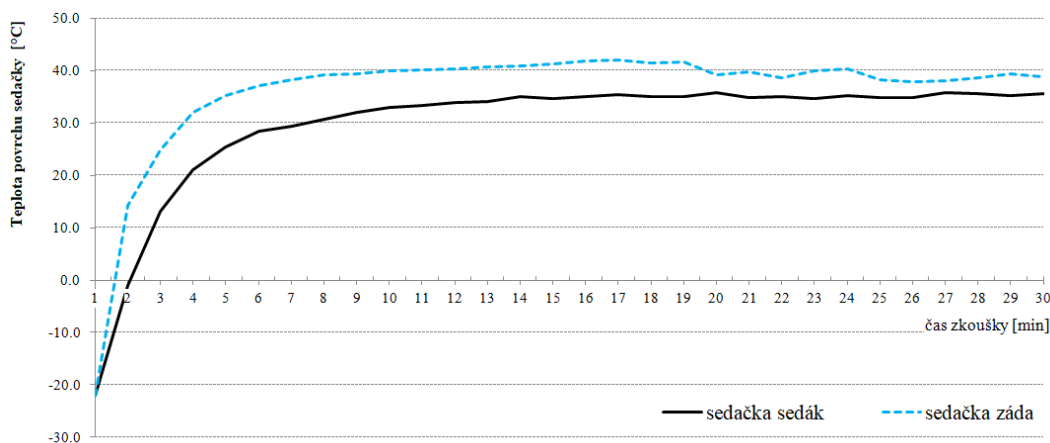
Grafy zobrazující závislosti teploty na čase byly vytvořeny v rámci hodnocení naměřených veličin postprocesingem z hlavních sledovaných veličin. Graf 49 zobrazuje výsledek teploty sedadla bez aktivního výhřevu. Graf 49 popisuje vývoj teploty na rozhraní mezi potahem sedadla a oblečením pasažéra. Křivky z čidla 02 jsou záznamem maximální a minimální teploty získané měřením na respondentech. Čidlo 01 bylo umístěno 75mm hluboko do hmoty PUR pěny sedadla a zobrazuje teplotní gradient ($\frac{dT}{dt} > 0$) rychlosti akumulace tepla ve hmotě sedadla. Čidlo 06 zaznamenává vývoj teploty v klimakomoře v průběhu testu. Rychlost akumulace (ohřevu) je závislá na tepelné energii zdroje, povrchové teplotě lidského těla a rychlosti tělesného metabolismu resp. na tepelném toku a na výměně tepla mezi okolím a sedadlem.



Graf 49 - Teplota sedadla s respondenty a bez aktivního výhřevu. Zdroj: Autor

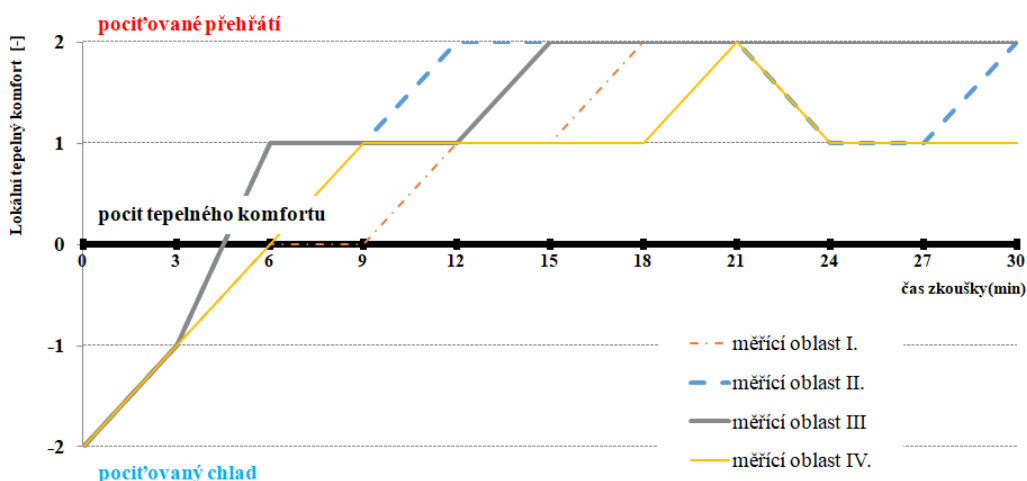
Graf 50 zobrazuje vývoj teploty v mezní vrstvě mezi povrchem sedadla a tělem respondenta. V tomto testu byl výhřev aktivovaný a sedačka obsazená respondentem. Měřící čidla byla umístěná na povrchu sedadla v měřících bodech určených interní normou VW pro zkoušení tepelného komfortu. Graf sleduje teplotu v partii sedáku sedačky a bederní opěry. Kolísání teplot je projevem změn polohy těla respondenta vůči poli fixně umístěných měřících senzorů. Sada měření byla provedena se vzorkovací frekvencí 60 Hz, dále aproximována a proložena vyhlazenou křivkou.

Z grafu je viditelné kolísání teploty po ustálení teploty požadované. Kolísání teploty je způsobeno charakterem regulačního obvodu a tvarem hysterezní křivky zprostředkované termistorem hlídajícím maximální dosaženou teplotu. V průběhu prováděné zkoušky na sériové sedačce stav pociťovaného lokálního tepelného diskomfortu osciluje, přestože teplota povrchu sedačky v místě sedáku a opěry zad je relativně stabilní.



Graf 50 - Výhřev původní, sériové sedačky s aktivovaným výhřevem. Zdroj: Autor

Graf 51 ukazuje subjektivní zákaznické hodnocení lokálního tepelného komfortu, data shromážděná dotazováním poučených respondentů. Na čtyřbodové stupnici je hodnocen lokální tepelný komfort, graf zobrazuje míru uspokojení respondentů s lokální povrchovou teplotou sedadla jako odpovědi na vývoj teploty v kontaktní vrstvě. Na grafu lze sledovat vývoj lokálního tepelného komfortu od neuspokojivého tj. -2; pociťovaný chlad, který je vystřídán po cca 6 minutách stavem diskomfortu tj. 1 a 2; pociťované lokální přehřátí.



Graf 51 - Hodnocení lokálního tepelného komfortu sériové sedačky. Zdroj: Autor

Tabulka 23 zobrazuje data získaná dotazováním na subjektivní lokální tepelný komfort v průběhu testování. Z důvodu sjednocení zkoušky bylo dbáno na jednotnost měření a eliminaci rušivých vlivů. Zavedeno bylo normalizované oblečení respondentů a dodržení 15 minutového klidového stavu před měřením.

Tabulka 23 - Hodnocení lokálního tepelného komfortu původní, sériové sedačky. Zdroj: Autor

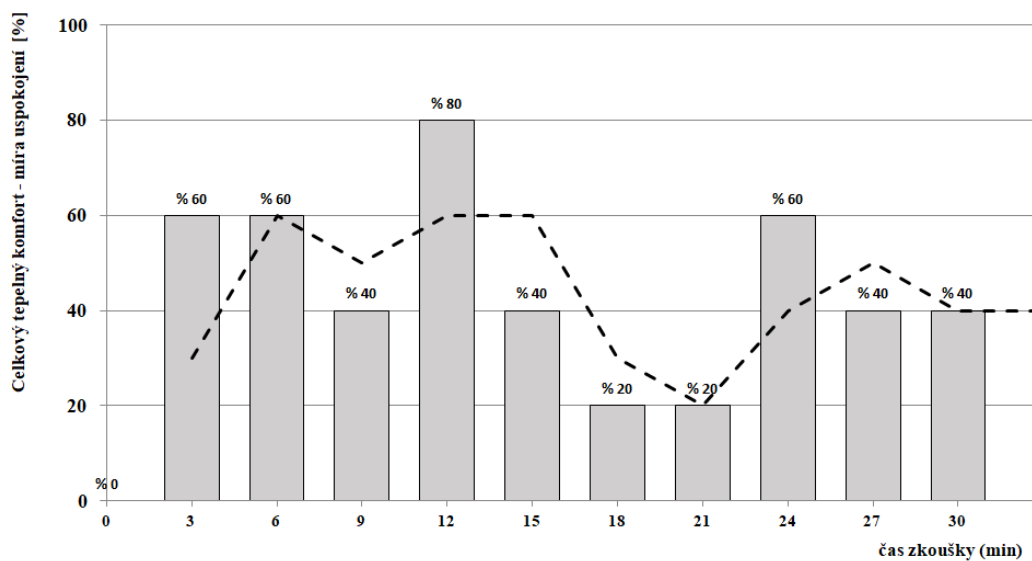
Lokální tepelný komfort											
měřicí oblast	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
1. a 2.	-2	-1	0	1	1	1	1	2	1	1	1
3. a 4.	-2	-1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
5. a 6.	-2	-1	1	1	2	2	2	2	1	1	2
7. a 8.	-2	-1	0	0	1	1	2	2	1	1	1

Tabulka 24 je záznamem hodnocení celkového tepelného komfortu. Data byla získána od poučených respondentů zkoušky v průběhu měření tepelného komfortu. Celkový tepelný komfort tvoří spojnici mezi reálně naměřenými teplotami a subjektivně hodnoceným zákaznickým hodnocením tepelného komfortu. Signifikantní je zákazníkem pociťovaný tepelný diskomfort (od 18. minuty zkoušky), který narůstá, přestože je teplota na povrchu sedačky už stabilizovaná (viz. Graf 50).

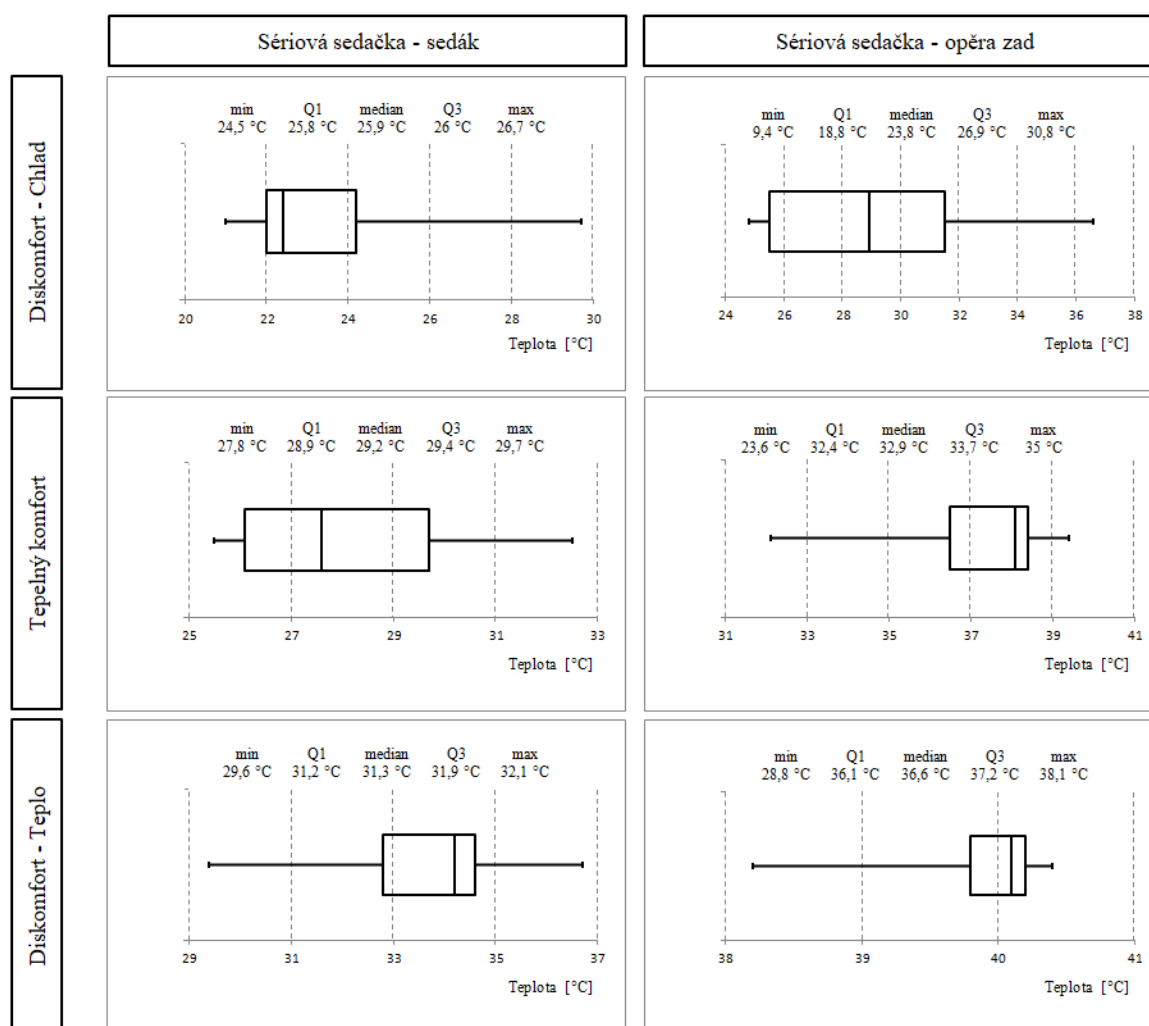
Tabulka 24 - Hodnocení celkového tepelného komfortu původní, sériové sedačky. Zdroj: Autor

Celkový tepelný komfort											
měřicí oblast	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
+ non OK							x	x			x
OK			x	x	x	x			x	x	
- non OK	x	x									

Graf 52 zobrazuje procentuální souhrn celkového tepelného komfortu všech účastníků zkoušky. Míra tepelného diskomfortu se odvíjí od sledovaných parametrů: vystavení těla respondenta lokálnímu a celkovému tepelnému toku z dečky výhřevu, dosažení hodnoty lokální teploty ve vymezené oblasti a délky expozice v průběhu testu. Všechny shora vyjmenované vlivy jsou příčinou spuštění procesu tělesné termoregulace respondenta a výsledná míra pociťovaného tepelného komfortu / diskomfortu je odrazem intenzity podnětu. Graf 53 zobrazuje rozložení teplot napříč sedákem a opěradlem sériové sedačky a z toho plynoucí respondenty subjektivně pociťovaný tepelný komfort vlivem expozice dodávaného tepla.



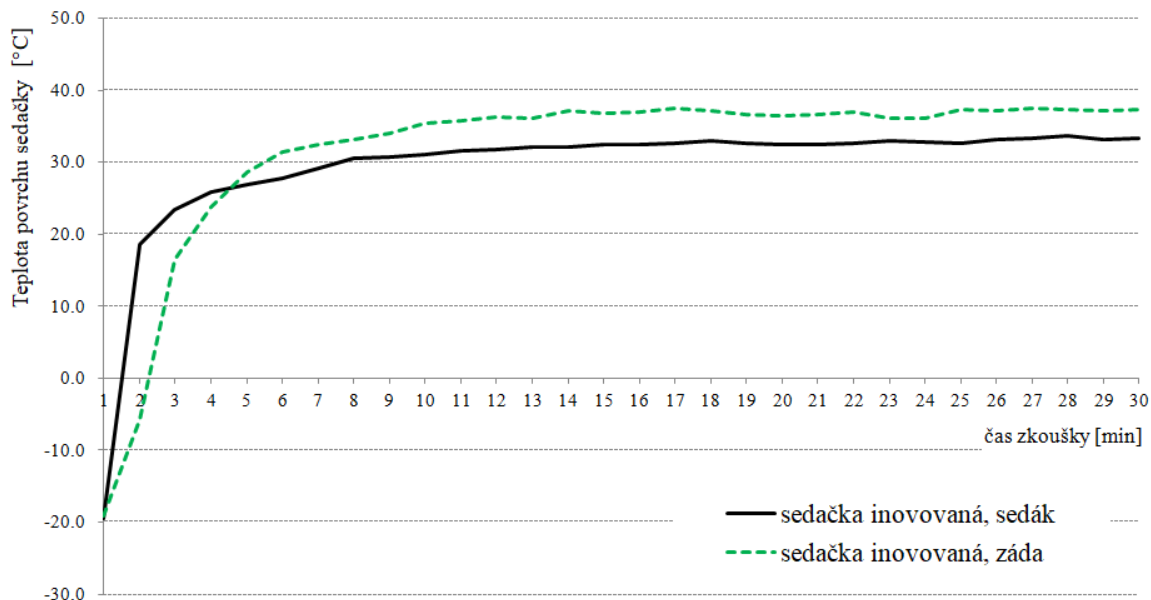
Graf 52 – Souhrnné hodnocení celkového tepelného komfortu původní sedačky. Zdroj: Autor



Graf 53 - Rozpětí teplot a pociťovaný tepelný komfort na sériové sedačce. Zdroj: Autor

8.2 Prototypové řešení výhřevu sedačky

Graf 54 prezentuje vývoj teploty v mezní vrstvě mezi povrchem sedačky a tělem respondenta měřené na sedačce s inovovaným trasováním výhřevu a upraveným regulačním obvodem.



Graf 54 - Výhřev prototypové sedačky s inovovaným trasováním výhřevu. Zdroj: Autor

Z porovnání Grafu 50 s Grafem 54 prototypové sedačky je zřejmé, že povrchová teplota sedačky se snížila v průměru o cca 2 – 4 °C, rovněž se zmenšil rozdíl teplot mezi sedákem a zádivou opěrou.

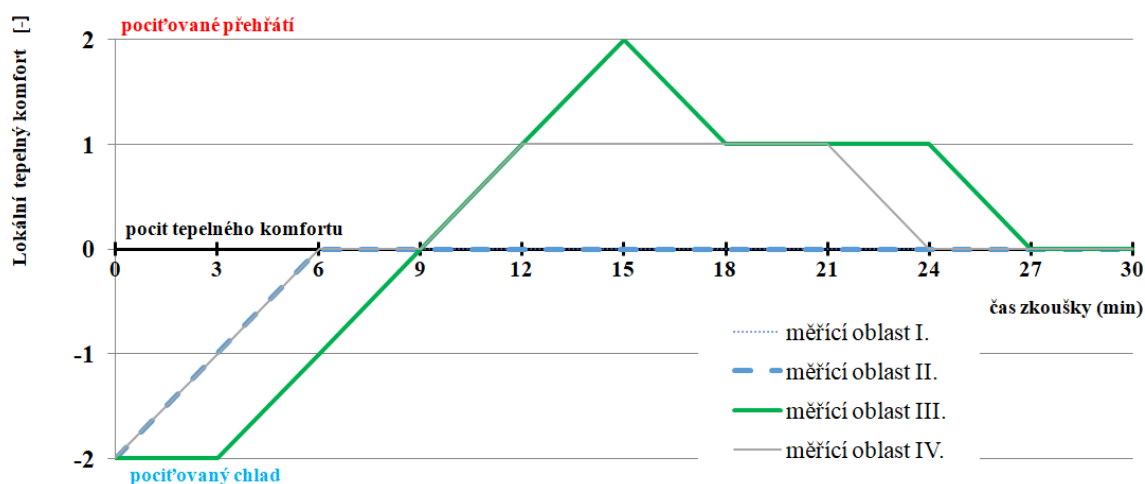
Výsledkem snížení teplot a změnou trasování dečky výhřevu bylo zvýšení respondenty pocítovaného lokálního teplotního komfortu (Tabulka 25). Inovace trasování výhřevu zohledňovala indiferencovanou senzorku lidského těla ve vztahu ke vnímání tepla / chladu, rovněž tak nepravidelnosti v rozmístění tělesných receptorů.

Tabulka 25 - Hodnocení lokálního tepelného komfortu sériové sedačky. Zdroj: Autor

Lokální tepelný komfort											
měřicí oblast	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
1. a 2.	-2	-1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
3. a 4.	-2	-2	-1	0	1	2	1	1	1	0	0
5. a 6.	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. a 8.	-2	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0

Z Tabulky 25 je ve srovnání se sériovou sedačkou (Tabulka 24) viditelná zvýšená míra subjektivního uspokojení lokálního tepelného komfortu respondentů. Na sedáku i opěráku sedačky se v průběhu testu, až na výjimky, prakticky neobjevilo lokální přehřátí.

Grafické zobrazení (Graf 55) ukazuje zvýšení lokálního tepelného komfortu ve srovnání se sériovým řešením výhřevu (Graf 51). V Grafu 55 je vidět postupné zvyšování tepelného komfortu s extrémem a lokální přehřátí v oblasti bederní páteře v 15. minutě testu, které odpovídá teplotě 37°C. V průběhu testu pocit diskomfortu vlivem přehřátí klesá a vrací se k rovnovážné poloze lokálního tepelného komfort (hodnocení 0 až 1 na čtyřbodové škále).



Graf 55 - Hodnocení lokálního tepelného komfortu inovované, prototypové sedačky. Zdroj: Autor

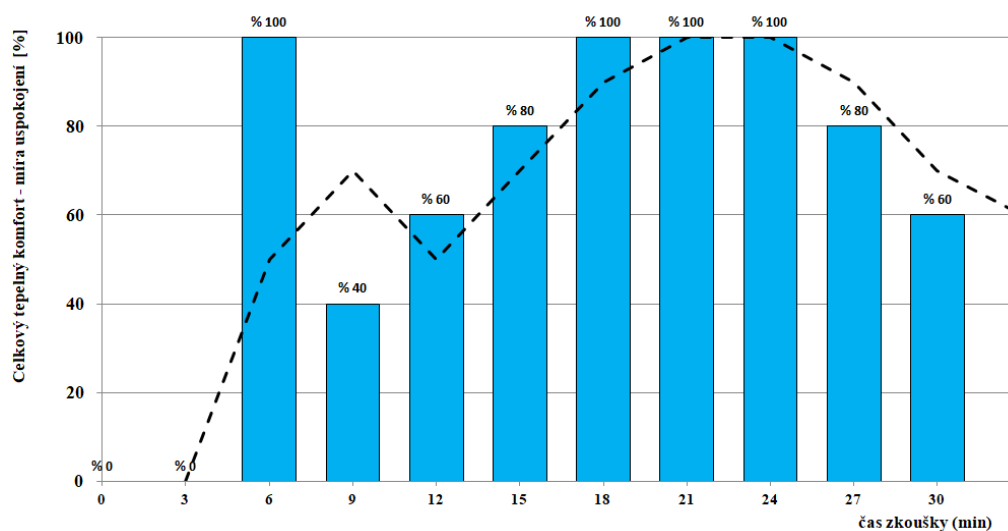
Míra uspokojení celkového tepelného komfortu je zobrazena v Tabulce 26. Data byla získána dotazováním za stejných podmínek, jako při měření sériové sedačky. Ve srovnání s Tabulkou 24 je vidět větší rozestup mezi extrémními hodnotami hodnocení (mezi pocity chladu a přehřátí) a vyšší míra celkového uspokojení i ve finální části testu v oblasti mezi 15. a 30. minutou.

Tabulka 26 - Hodnocení celkového tepelného komfortu prototypové sedačky. Zdroj: Autor

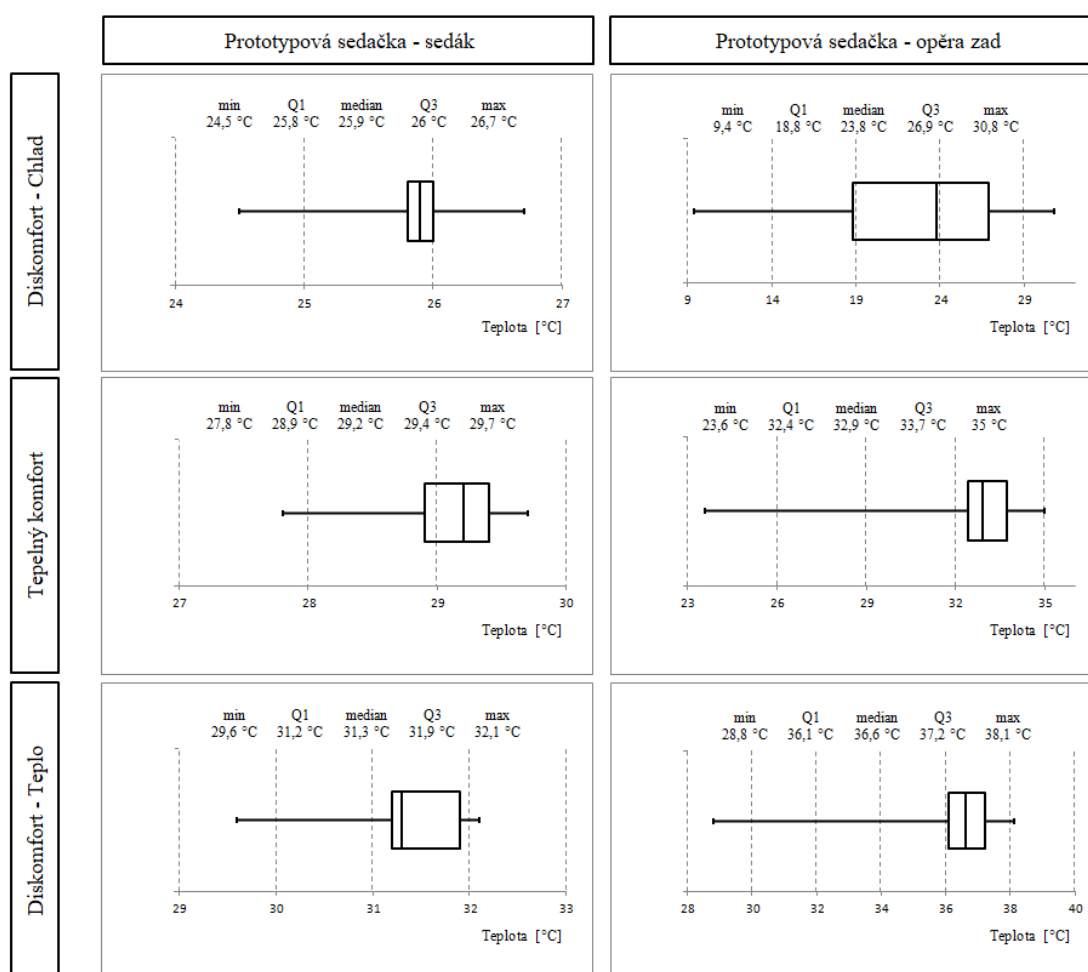
Celkový tepelný komfort											
měřicí oblast	Čas zkoušky										
	0 min	3 min	6 min	9 min	12 min	15 min	18 min	21 min	24 min	27 min	30 min
	0 s	180 s	360 s	540 s	720 s	900 s	1080 s	1260 s	1440 s	1620 s	1800 s
+ non OK					x	x					
OK			x	x			x	x	x	x	x
- non OK	x	x									

Graf 55 je výsledným hodnocením celkového tepelného komfortu. V porovnání se sériovou sedačkou (Graf 52) došlo: ke snížení teploty povrchu sedačky, zmenšení rozdílu teplot sedák-opěra sedačky, ke změně trasování výhřevu cílenou na tělesné termoreceptory, což vedlo ke zvýšení tepelného komfortu respondentů. Nižší dodávaný objem tepelné energie způsobuje tepelný diskomfort (pocit chladu) v počáteční fázi testu tj. mezi 0. a 5. minutou.

Nárůst nespokojenosti vlivem lokálního přehřátí se posunul z 12. až 15. minuty (sériová sedačka) na 27. až 30. minutu testu (prototypová sedačka). Graf 56 popisuje rozsah teplot považovaný respondenty na prototypové sedačce za komfortní či diskomfortní (teplo, zima).



Graf 55 - Souhrnné hodnocení celkového tepelného komfortu prototypové sedačky. Zdroj: Autor

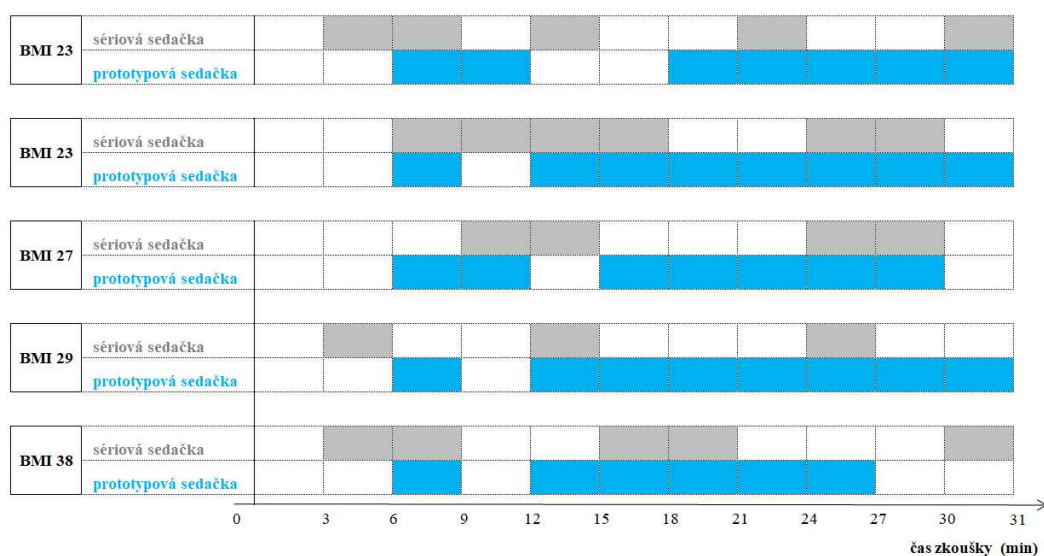


Graf 56 - Rozpětí teplot a pocitovaný tepelný komfort na prototypové sedačce. Zdroj: Autor

8.3 Porovnání celkového tepelného komfortu sériové a prototypové sedačky

Respondenti, kteří se zúčastnili měření, byli seřazeni podle Body Mass Indexu, BMI. Důvodem bylo najít spojitost mezi subjektivně pociťovaným tepelným komfortem a škálou respondentů diferencovaných tělesnou hmotností, výškou, rychlosti metabolismu, pohlavím, či poměrem svalů a tělesného tuku (Tabulka 27). Sloupce znázorňují časový interval. Neprázdné buňky znamenají, že v daném časovém intervalu pociťovat respondent tepelný komfort. Prázdné buňky v řádku představují tepelný diskomfort.

Tabulka 27 - Srovnání celkového tepelného komfortu obou sedaček dle BMI a času. Zdroj: Autor

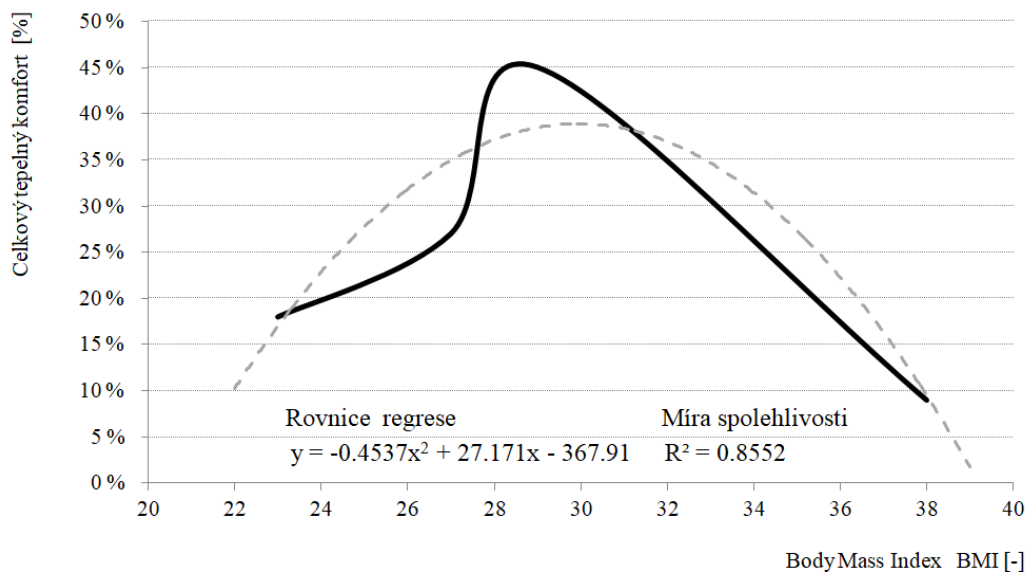


Tabulka 28 zobrazuje srovnání celkového tepelného komfortu u obou sedaček v procentech. Ve sloupci "rozdíl: prototyp-série" je procentuálně vyjádřen přínos prototypové sedačky oproti sériové sedačce.

Tabulka 28 - Hodnocení celkového tepelného komfortu dle BMI procentuálně. Zdroj: Autor

Body Mass Index	Typ sedačky	Celkový tepelný komfort [%]	Celkový tepelný komfort rozdíl: prototyp - série [%]
BMI 23	sériová sedačka	45 %	18 %
	prototypová sedačka	64 %	
BMI 23	sériová sedačka	55 %	18 %
	prototypová sedačka	73 %	
BMI 27	sériová sedačka	36 %	27 %
	prototypová sedačka	64 %	
BMI 29	sériová sedačka	27 %	45 %
	prototypová sedačka	73 %	
BMI 38	sériová sedačka	45 %	9 %
	prototypová sedačka	55 %	

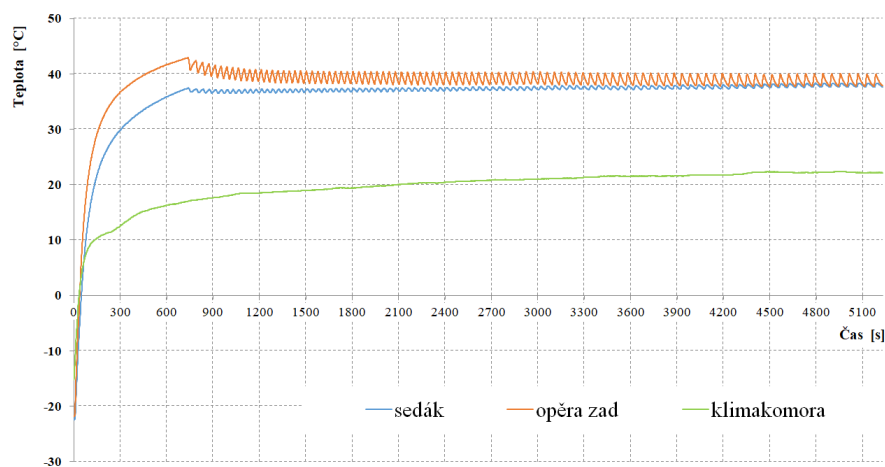
Chybová úsečka v Grafu 57 zobrazuje predikci míry spokojenosti / uspokojení celkového tepelného komfortu zákazníků s prototypovou sedačkou v závislosti na jejich BMI.



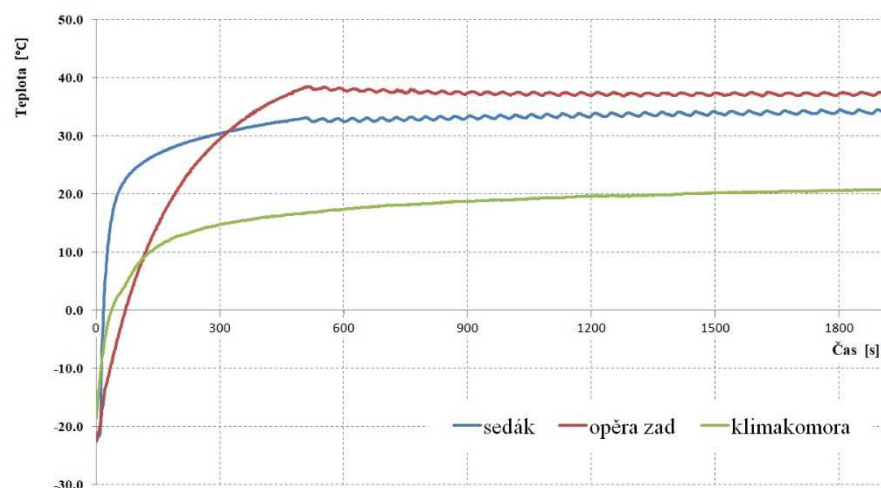
Graf 57 - Predikce celkového tepelného komfortu prototypové sedačky. Zdroj: Autor

8.4 PMV – prediktivní model tepelného komfortu pro srovnání sedaček

Pro srovnání sedaček byl vytvořený prediktivní model hodnotící tepelný komfort zákazníků dle Fanger [30, 125, 129] a zavádí termín PMV (Predicted Mean Vote). V případě porovnání sériové a prototypové sedačky PMV definuje, jak velké procento zákazníků bude nespokojeno s tepelným komfortem. Srovnávány byly sériová (Graf 58) a prototypová sedačka (Graf 59), hodnocen byl tepelný komfort se zákazníkem (BMI 23).

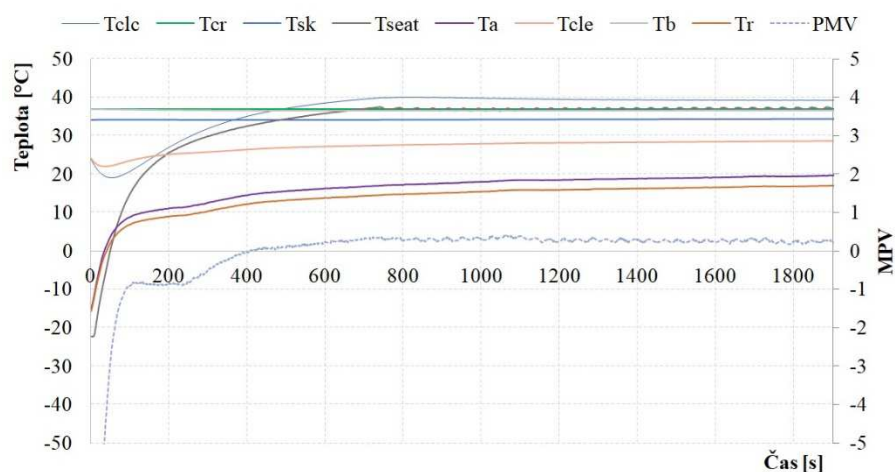


Graf 58 - Vývoj teploty během testu sériové sedačky. Zdroj: Autor.

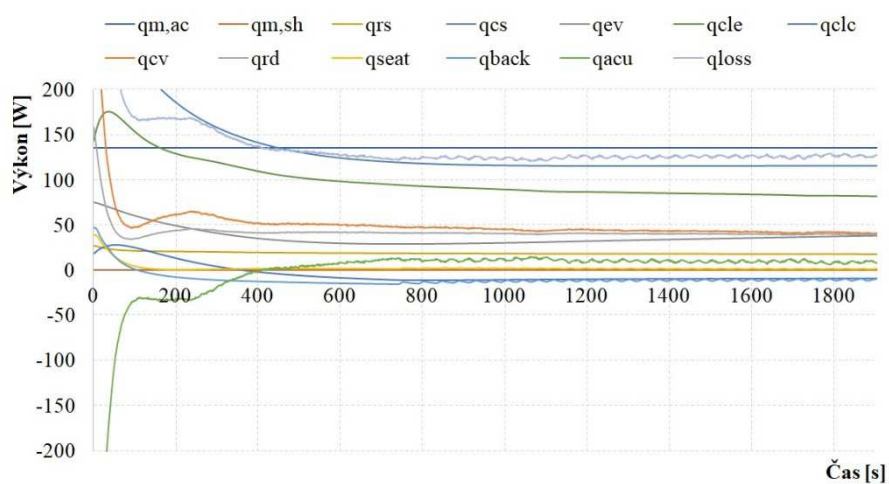


Graf 59 - Vývoj teploty během testu prototypové sedačky. Zdroj: Autor

Během testu sériové sedačky byl sledován vývoj teplot na těle subjektu a hodnocený PMV index (Graf 60), dále byly sledovány energetické bilance (Graf 61).

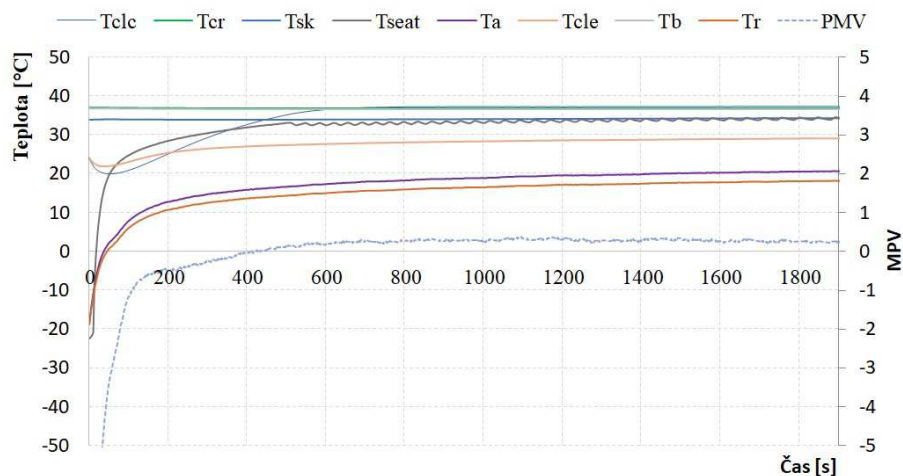


Graf 60 - Teploty a PMV během testu sériové sedačky. Zdroj: Autor

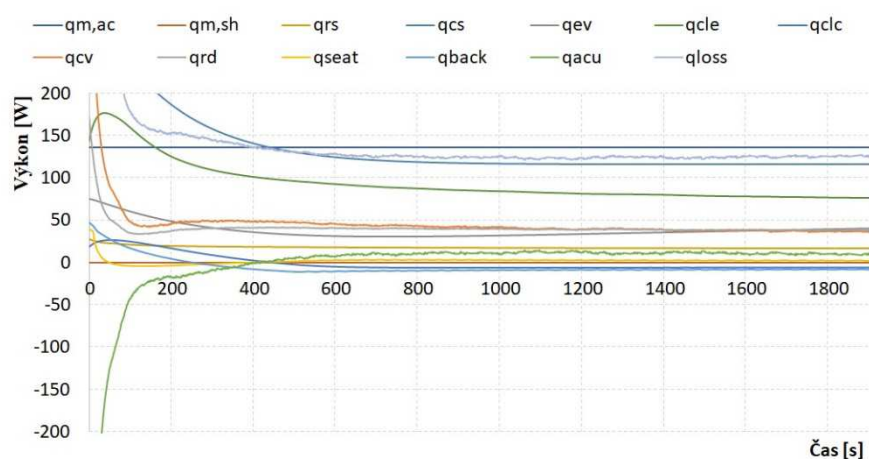


Graf 61 - Energetické bilance při testu sériové sedačky. Zdroj: Autor

V průběhu testu prototypové sedačky byl sledován vývoj teplot na těle subjektu a hodnocený PMV index (Graf 62), dále byly sledovány energetické bilance (Graf 63).



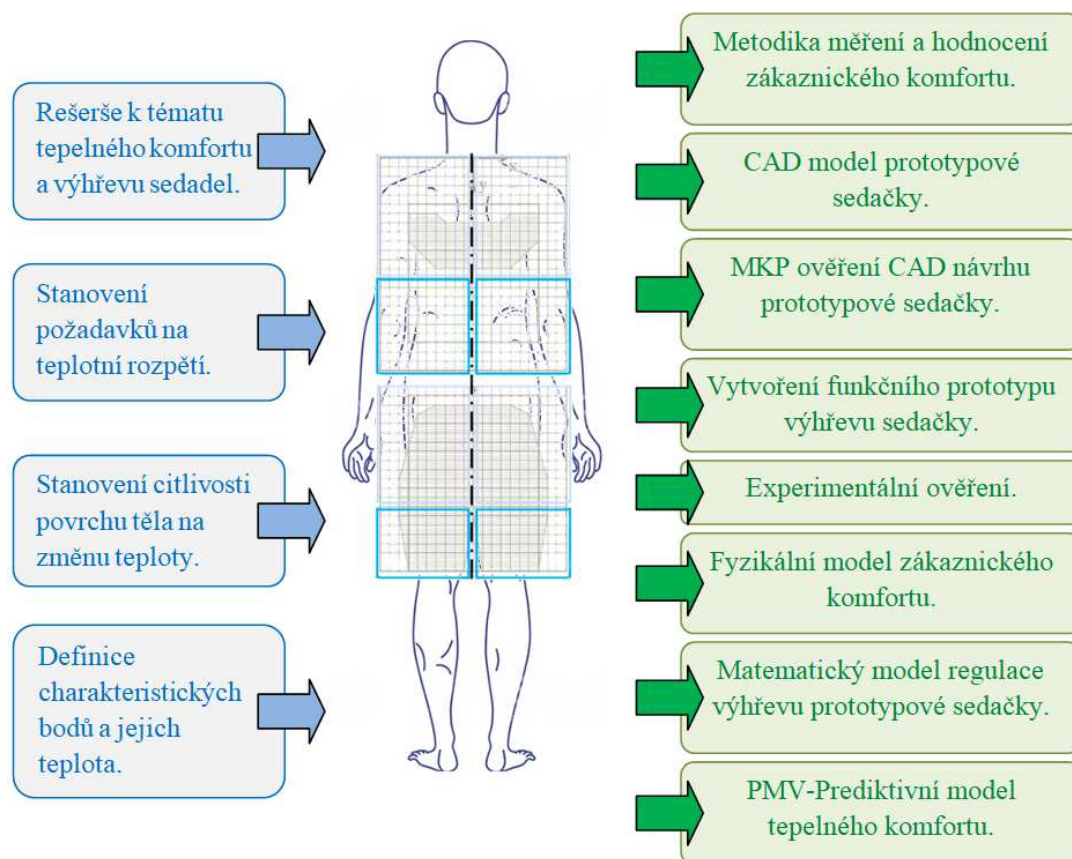
Graf 62 - Teploty a PMV během testu prototypové sedačky. Zdroj: Autor



Graf 63 - Energetické bilance při testu prototypové sedačky. Zdroj: Autor

Z porovnání sériové a prototypové sedačky pomocí parametru PMV je vidět u prototypové sedačky hladší průběh křivky bez výrazných odchylek s očekávaným množstvím reklamací v čase 107s cca $PMV > 1,0$ % a v čase 357 sekund cca $PMV > 0,2\%$ (Graf 59, 62). Toho je dosaženo při nižší energetické náročnosti výhřevu (Graf 61 a Graf 63).

8.5 Zhodnocení výsledků pro vědní obor a technickou praxi



Obrázek 95 - Vstupy a výstupy z disertační práce. Zdroj: Autor

Práce (Obrázek 95) obsahuje souhrn informací a poznatků o problematice tepelného komfortu automobilového sedadla v interakci s uživatelem. Na základě získaných informací a výstupů z provedených experimentů byly vyvozeny následující závěry a na ně navazující kroky:

- Hodnocení tepelného komfortu [42, 125, 129] prováděné zákazníkem bylo třeba doplnit měřením fyzikálních veličin. Cílem bylo **ztotožnit subjektivní zákaznické hodnocení s naměřenými fyzikálními parametry**, hodnotami, které lze škálovat a naměřená data dále statisticky zpracovávat.
- Termoregulace lidského těla je proces, kterým **tělo na podvědomé úrovni chrání teplotu tělesného jádra [43, 44] a udržuje ji na relativně konstantní úrovni**. Odborné zdroje se rozcházejí v konkrétních hodnotách, ale přibližně lze hovořit o teplotě 37,1°C. **Výkyvy teplot nad či pod tuto hodnotu spouští podvědomé termoregulační procesy [45, 127, 113, 114]**.
- Lidské tělo je diferencovaně citlivé k tepelným podnětům**. Z evolučního hlediska je tělo lépe vybavené na boj s prochladnutím. Tělo má násobně víc senzorů indikujících chlad, než senzorů na indikaci přehřátí.

-
- **Tělesná senzorika je rozmístěná nepravidelně** [42, 46, 113, 114]. Chodidla, paže a horní část hrudníku mají méně receptorů chladu než tváře, zadní část krku, spodní část hýždí a spodní část zad jsou naopak 2x až 3x citlivější.
 - Získané poznatky byly vstupem pro **vytvoření teplotní mapy lidského těla v interakci s automobilovou sedačkou** a byly využity pro návrh prototypového výhřevu sedadla osobního vozu. Jako **nejcitlivější na expozici chladem byla určena místa s nejhustší sítí termoreceptorů a nervových zakončení** [49, 113, 114] tj. přechod zadní části stehů na sedací svaly s vyloučením pánevního dna, neboť zde jsou uloženy reprodukční orgány. V oblasti zad byla jako nejcitlivější na expozici chladem vyhodnocena partie nad křížovou kostí a oblastí bederní páteře [42, 43, 49, 78], která se kryje s uložením ledvin a močovodů v dutině břišní. Trasování odporového vodiče prototypové sedačky respektovalo tyto zákonitosti.
 - Byla **navázána spolupráce s technickým vývojem Škoda-Auto a.s.** Z nalezených zdrojů doplněných o volně dostupné informace [25, 125] byla převzata a doplněna hodnotící a měřicí metodika.
 - Byla **vytvořena vlastní měřicí metodika pro měření kontaktních teplot**. Byly **stanoveny charakteristické hodnotící a měřicí body**. Touto metodikou bylo měřeno jak sériové, tak prototypové sedadlo.
 - Byla **vytvořena měřicí metodika hodnocení lokálního tepelného komfortu a celkového tělesného komfortu**. Byl připravený formulář pro hodnocení tepelného komfortu.
 - Bylo **vytvořeno měřicí stanoviště s klimakomorou** vybavené měřicí technikou pro měření teplot a hodnocení tepelného komfortu.
 - Byl **postaven externí klima-box pro měření sedadla s respondentem** pro potřeby testování.
 - Byl **sestaven testovací tým figurantů středního věku**. Z literární rešerše vyplynulo, že většina testů byla prováděna na adolescentních jedincích bez příznaků civilizačních chorob, ale ti nejsou cílová skupina uživatelů osobních vozů.
 - Metodikou TRIZ **byla proveden víceúrovňová analýza technického systému sériové sedačky**. Byl definovaný technický systém, **byly stanoveny technické rozpory (TR) a fyzikální rozpory (FR)**. Výstupem byla tabulka vazeb TS systému původní sedačky a **definice nedostatků sériové sedačky s výhřevem**. Zjištěná doporučení byla zpracována v návrhu prototypové sedačky.
 - Bylo **provedeno měření s cílem zjistit rozložení hmoty řidiče v sedadle**. Největší koncentrace hmoty je v oblasti pánevní kosti tj. nejintenzivnější přítlak k sedadlu a nejintenzivnější přenos tepla mezi sedadlem a respondentem. Získané informace posloužily k **upřesnění trasování odporového vodiče prototypové sedačky**.
 - V rámci přípravy metodiky bylo měřicím přístrojem **THG Area View 3.2 otestováno původní sedadlo**. Výsledek měření prokázal latenci a teplotní offset ve srovnání s čidly PT100.

-
- Pro potřeby analýzy metodou konečných prvků MKP/FEM **byly analyzovány termofyzikální charakteristiky materiálů sedačky** zařízením TCi.
 - Byl **vytvořen CAD model prototypové sedačky** s výhřevem. Ten zohlednil všechna doporučení, výsledky TRIZ analýzy a zjištění z literární a patentové rešerše.
 - Byla **provedena MKP analýza sériové a prototypové sedačky**. Vstupní parametry, okrajové a počáteční podmínky byly zjištěny experimentálně nebo z VW norem. Porovnány byly dosažené teploty, časy, dodané a ztrátové energie.
 - Byl **vytvořený regulační obvod výhřevu prototypové sedačky**. Základem modifikovaného regulačního systému výhřevu byl původní regulační obvod.
 - Byl **vytvořený matematický model regulátoru teploty**, který soustavou diferenciálních rovnic popisuje sériovou a prototypovou sedačku.
 - Byl **vytvořen fyzikální model popisující energetické bilance lidského těla**.
 - Byl **vytvořený model predikce zákaznického hodnocení tepelného komfortu**.
 - Výsledkem inovace je **zvýšení celkového tepelného komfortu o 9 až 45%** (hodnoceno s vybranými respondenty roztríděnými podle BMI indexu).
 - **Bylo dosaženo materiálové úspory a energetické úspory** změnou trasování odporového vodiče a přepracováním regulačního obvodu.

8.6 Doporučení pro další výzkum

V problematice tepelného komfortu pasažérů osobního automobilu, jak ukazuje literární rešerše i výsledky této práce, vyvstaly další otázky, které pobízejí k dalšímu výzkumu na tomto poli. Z hlediska vědního poznání je třeba, dle mého názoru, vyřešit následující úkoly:

- Rozšířit výzkum na vzorek "přirozené" populace, tj. demograficky rozvrstvené respondenty s ohledem na jejich zdravotní stav. Cílem je zohlednit stárnutí populace rozvinutých zemí.
- Doplnit mapu teplotních polí na povrchu lidského těla a zohlednit vliv přídavných zdrojů tepla či chlazení. Přechem na elektromobilitu není zdrojem ohřevu vzduchu teplota chladicího média pohonné jednotky, ale tepelné čerpadlo.
- Zahrnout do testování tepelného komfortu i vlivy fyziologické, psychické, rychlost metabolismu, sensitivitu senzorky lidského těla a pohlaví.
- Analýza TRIZ ukázala, že cesta ke zvýšení tepelného komfortu vede přes nekonvenční řešení, např. prověření možnosti využití mikrovln k výhřevu těla pasažéra, případně jiný druh neionizujícího záření.
- Zaměřit se na personalizaci sedadla, podporu životních funkcí, ochranu zdraví uživatele při současném důrazu na ochranu životního prostředí, biodegradabilitu a recyklovatelnost.

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat interakci mezi tepelným komfortem pasažéra a automobilovou sedačkou v kabině osobního vozu. Byl vypracován průzkum současného stavu medicínských a technických znalostí v dané oblasti, který pomohl lépe pochopit termoregulační pochody v lidském těle v souvislosti s jejich využitím v automotive. Tepelný komfort člověka je závislý na teplotě okolí. Energetická bilance přijaté a vydané energie se odráží na teplotě jádra těla, kterou se organismus snaží udržet konstantní. Měnicí se tělesná teplota povrchu lidského těla vypovídá o spuštění termoregulačních pochodů. Nastat pak mohou dva stavy: ochlazení nebo přehřátí. Oba stavy provází tepelný diskomfort vyvolaný nerovnováhou mezi příjmem a výdajem energie. V okamžiku stabilizace teploty jádra nastupuje tepelný komfort. Technicky lze k problematice řešení výhřevu sedadla přistupovat z mnoha úhlů, vždy v součinnosti s vybraným fyziologickým parametrem zákazníka. Ani zobecněný přístup však nedokáže postihnout všechny aspekty v dané oblasti.

K objasnění tepelného komfortu pasažéra byla vyrobena klimatická komora, která sloužila k provádění testů výhřevu sedadla osobního automobilu. Byl sestavený tým respondentů, se kterými byla tepelný komfort lidského těla hodnocen. Hodnocení probíhalo na sériových sedadlech opatřených regulovaným výhřevem. Na základě informací získaných z literární rešerše byla sestavena teplotní mapa lidského organismu, která zohlednila fyziologická specifika a limitní expozice teplot a časů. Pro potřeby testování byla vytvořena metodika hodnotící lokální a celkový tepelný komfort pasažéra osobního vozu. Samotné testování probíhalo dle podmínek stanovených metodikou VW pro hodnocení výhřevu sedadel za podpory vývojového oddělení automobilového producenta Škoda Auto a.s. Byl proveden materiálový rozbor sériové sedačky a TRIZ analýza. Výsledky získané měřeními na sériovém sedadle posloužily k vytvoření návrhu vlastního prototypového sedadla s funkcí výhřevu. Navržený prototyp byl otestovaný konečněprvkovými metodami FEM / MKP. Byla provedena finalizace a vyroben funkční prototyp sedačky s výhřevem zacíleným na uspokojení zákaznického komfortu.

K otestování prototypové sedačky byla použita stejná skupina respondentů. Výsledky měření posloužily k porovnání sériové a prototypové sedačky. Z porovnání vznikl matematický model popisující funkci regulace výhřevu sedačky a fyzikální model hodnocení zákaznického komfortu predikující míru uspokojení celkového tepelného komfortu na základě sledovaných parametrů. Takto vzniklé výstupy mohou sloužit k dalšímu výzkumu, stejně jako k návrhu nových prototypů vyhřívání automobilových sedadel, zohledňujících diferencovanou fyziologii pasažérů osobního automobilu.

Výsledky práce:

- Sestavení metodiky hodnocení lokálního a celkového tepelného komfortu,
- vytvoření funkčního prototypu sedadla s výhřevem respektujícím teplotní mapy člověka,
- prediktivní model hodnocení tepelného komfortu pasažéra osobního vozu.

Mezi významné poznatky jsou zařazeny:

- Metodika hodnocení tepelného komfortu, která byla experimentálně ověřena v praxi a prokázala svojí funkčnost.
- Převod subjektivního zákaznického hodnocení na měřitelné fyzikální parametry, na základě kterého byl zlepšen tepelný komfort uživatele a sníženo lokální přehřátí organismu,
- Univerzálnost využití metodiky pro hodnocení tepelného komfortu. Lze použít i v jiných oblastech, například v oděvním průmyslu, stavebnictví, při návrhu pracovního prostoru a všude tam, kde je vyžadováno hodnocení tepelného komfortu.

SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

- (1) BARTONÍČEK, P., and MAŠÍN, I.: Component Parameters Measurement with regard to Ergonomics and Customers Comfort. ICMD 2016. Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia in Pilsen.
- (2) BARTONÍČEK, P., and MAŠÍN, I.: Measuring Customer Comfort Of The Side Door Selfequipment For Automobile Industry. ICMD 2017. Czech Univeristy of Life Sciences Prague Faculty of Engineering. ISBN 978-80-213-2769-6.
- (3) BARTONÍČEK, P., and MAŠÍN, I.: Design Optimization of the Octavia SK37x Driver's Seat -DFMA Principle Application. ICMD 2018. EDIS Publisher of Univerzity of Žilina. ISBN 978-3-030-33146-7.
- (4) BARTONÍČEK, P., and MARTONKA, R., and MAŠÍN, I., and RYVOLOVA, M.: Customer Car Seat Heating, E-Mobility Strategy. ICMD 2019. Institute of Machine and Industrial Design Brno University of Technology.
- (5) BARTONÍČEK, P., and MARTONKA, R., and RYVOLOVA, M.: Comparison Comfort Of The Car Seat At A Freezing Temperature. EAN 2019. Brno University of Technology – Faculty of Mechanical Engineering. ISBN 978-80-214-5753-9.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) *International Energetic Agency*, 2020 [online]. Data and Statistics. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/>.
- (2) EVANS, Simon, 2018. In: Carbon Brief , EU Emission [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.carbonbrief.org/eu-got-less-electricity-from-coal-than-renewables-2017/>.
- (3) *Sandbag and Agora Energiewende*, [Obr.1]. In: The European Power Sector in 2017 [online]. Analysis. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://sandbag.org.uk/wpcontent/uploads/2018/01/EU-power-sector-report-2017.pdf>.
- (4) MAŠÍN, Ivan: *Inovační inženýrství. Plánování a návrh inovovaného výrobku*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.
- (5) MAŠÍN, I; and JIRMAN, P: *Metody systematické kreativity*, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.
- (6) *Muzeum Škoda-Auto*, 2019 [online]. [cit. 20.5.2019]. Historie a základní informace. Dostupné z: <https://museum.skoda-auto.cz/>.
- (7) *First Porsche revealed to be an electric car from 1898*, [Obr.3] in: BBC News [online]. History [cit. 20.5.2019]. Dostupné z : <https://www.bbc.com/news/business-25934289>.
- (8) *Lohner-Porsche Mixed Hybrid electric car*. [Obr.4] in: Wikipedie [online]. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z : <https://en.wikipedia.org/wiki/Lohner-Porsche>.
- (9) *Elektromobil*. In: Wikipedie [online]. Historie elektromobility [cit. 20.5.2019]. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil>. [online].

-
- (10) KOZUBÍK, Libor, 2013. Technický pokrok v oblasti akumulátorových baterií [Obr.5], in: Konference Ampér, Perspektivy elektromobility 2013 [online]. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2013/emob/07-amper-2013-pemb-kozubik-ibm.pdf>.
 - (11) MAJLING, Eduard, 2019. Problém s nestabilitou slibných lithium-sírových baterií může podle vědců vyřešit greenová houba [online]. in: Oenergetice, akumulace energie [cit.25.5.2019]. Dostupné z <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/problem-nestabilitou-slibnych-lithium-sirovych-baterii-muze-podle-vedcu-vyresit-grafenova-houba>.
 - (12) Škoda-Auto a.s.. In: Interní publikace a materiály. 2018. [cit. 20.5.2019].
 - (13) KUBĚNA, R.: Přenos vibrací automobilovými sedačkami, 1999 [online]. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z: <http://akce.fs.vsb.cz/1999/asr99/Proceedings/papers/54/54.htm>.
 - (14) ADLER, Steffen: The relation between long-term rating comfort and driver movement. Jena, 2007. Disertační práce. Der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Der Fakultät für Sozial und Verhaltenswissenschaften. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://d-nb.info/985183993/34>.
 - (15) ČIPEROVÁ, L.: Současná prevence a léčba dekubitů ve zdravotnických zařízeních. Brno, 2007 [online]. [cit. 20.5.2019]. Diplomová práce. Masarykovy univerzita. Dostupné z : https://is.muni.cz/th/204417/lf_m/diplomova_prace.pdf.
 - (16) HELANDER, M. G., and ZHANG, L.: 1997. Field studies of comfort and discomfort in sitting. [online]. Ergonomics 40:895-915. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/001401397187739>.
 - (17) BRATTGARD, S. O., and Severinsson, K.: Investigations of pressure, temperature, and humidity in the sitting area in a wheelchair. 1978. In E. Asmussen & K. Jorgensen (Eds.), Biomechanics VI-B. International series on biomechanics (Vol. 2-B, pp. 270-273). University Park, MD: University Park Press. [cit.10.1.2020]. ISBN 0839112424, 9780839112426.
 - (18) HABSBURG, S., and MIDDENDORF L.: What is really connecting in seating comfort? Studies of correlates of static seat comfort. 1997. In: SAE Paper 770247. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/770247>.
 - (19) HELANDER, M. G., and CZAJA, S. J., and DRURY, C. G., and CARY, J. M., and BURRI, G.: An ergonomic evaluation of office chairs. In: Office Technology and People, 1987. Page 246-262.[online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z : https://www.researchgate.net/publication/235304387_An_ergonomic_evaluation_of_office_chairs.
 - (20) KAMIJO, K., and TSUJIMURA, H., and OBARA, H., and KATSUMATA, M.: Evaluation of seating comfort (SAE Paper 820761). 1982. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z <https://doi.org/10.4271/820761>.
 - (21) MICHEL, D., and HELANDER, M. G.: Effects of two types of chairs on stature change and comfort for individuals with healthy and herniated disks. 1994. In: Ergonomics, 37, 304-332 [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140139408964901>.
 - (22) FARZANEH, Y., and TOOLOONCH, A. A.: Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller. Applied Thermal Engineering [online]. [cit.10.1.2020]. 2008. Volume 28, Issue 14-15, Pages 1906 - 1917. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.025>.
 - (23) FOJTLÍN, M., and POKORNÝ, J., and FIŠER, J., and TOMA, R. and TUHOVČÁK, J.: Impact of measurable physical phenomena on contact thermal comfort. 2017. [online]. [cit.10.1.2020].EJP Web of Conference 143, 02026 (2017). Dostupné z: DOI: 10.1051/epjconf/201714302026.

-
- (24) SIMION, M., and SOCACIU, L., and UNGURESAN, P.: Factors which influence the thermal comfort inside of vehicles. 2015. [online]. [cit.10.1.2020]. Eenviro -YRC 2015. Energy Procedia, volume 85 (2016) Pages 472-480. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/292150248_ScienceDirect_Factors_which_influence_the_thermal_comfort_inside_of_vehicles.
- (25) TEMMING, J.: Comfort requirements for heating, ventilation and air conditioning in motor vehicles. 1980. Research and Development Division. In: Volkswagenwerk AG. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.library.northwestern.edu/find-borrow-request/interlibrary_loan/lending-institutions.html.
- (26) BODE, F., and NASTASE, I., and MESLEM, A., and CROITORU, C.: Rans and Les Models of a Lobed Jet Flow Integrated in a Personalized Ventilation System. 2013. In: The 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor, Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Prague, 2013. [cit.10.1.2020].
- (27) APPAH-DANKYI, J., and KORANTENG, C.: An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra. 2012. In: Ghana Advances in Applied Science Research no. 3, page: 535-547. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: www.pelagiaresearchlibrary.com.
- (28) RIACHI, Y., and CLODIC, D.: A numerical model for simulating thermal comfort prediction in public transportation buses. 2014. In: International Journal of Environmental Protection and Policy no.2, page: 1-8. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi: 10.11648/j.ijep.20140201.11.
- (29) HUANG, L., and HAN, T.: Validation of 3-D Passenger Compartment Hot Soak and Cool-Down Analysis for Virtual Thermal Comfort Engineering, 2002. In: SAE International Technical Paper (2002). [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: DOI: <https://doi.org/10.4271/2002-01-1304>.
- (30) ALAHMER, A., and OMAR, M. A., and MAYYAS, A., and QATTAWI, A.: Analysis of vehicular cabins, thermal sensation and comfort state, under relative humidity and temperature control, using Berkeley and Fanger models. 2012. [online]. [cit.10.1.2020]. In: Building and Environment no.48, page: 46-163. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257171304_Analysis_of_vehicular_cabins'_thermal_sensation_and_comfort_state_under_relative_humidity_and_temperature_control_using_Berkeley_and_Fanger_models.
- (31) ZHANG, H., and HUIZENGA, C., and ARENS, E., and WANG, D.: Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environment. 2003. In: European Journal of Applied Physiology. 92(6):728-33. DOI: 10.1007/s00421-004-1137-y. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/8487721_Thermal_sensation_and_comfort_in_transient_non-uniform_thermal_environments.
- (32) LEYVA, P.H., and SANAHUJA, S.: Thermal comfort laboratory for automotive seat. 2011. [online]. In: Biomecínica vol.51. 21-24. 2011. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/275408045_Thermal_comfort_laboratory_for_automotive_seats.
- (33) FIALA, D., and LOMAS, K. J. and STOHRER, M.: A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental condition-the passive system. De Montfort University Leicester, University of Applied Sciences Stuttgart Journal of Applied Physiology, 1999, Vol. 87, no. 5, pp. 1957-1972. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.1999.87.5.1957>.
- (34) *Theseus-FE software*. In: Simulate and Evaluate Human Thermal Behaviour [online]. Software.[cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.theseusfe.com/simulation-software/human-thermal-model>.

-
- (35) KARIMI, G., and CHAN, E.C., and CULHAM, J.R.: Thermal modeling of driver / seat interface in automotive application. 2004. [online]. In: Societa of Automotive Engineers, Inc. DOI: 10.4271/2004-01-2143. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265889358_Thermal_Modeling_of_DriverSeat_Interfaces_in_Automotive_Applications.
- (36) DURAIRAJANAYAGAM, D., and SHARMA, K. R., and PLESSIE, S., and AGARWAL, A.: Testicular Heat Stress and Sperm Quality. 2014. [online]. In: Sexual Issues: Role of Sexually Transmitted Infections on Male Factor Fertility (pp.105-125). [cit.10.1.2020]. DOI: 10.1007/978-1-4939-1040-3_8. Dostupné z : https://www.researchgate.net/publication/269988305_Testicular_Heat_Stress_and_Sperm_Quality.
- (37) WAITES, G. M.: Thermoregulation of the scrotum and testis: Studies in animals and significance for man. 1991. In: Adv. Exp. Med. Biol. 1991; no.286: page 9–17. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4684-5913-5_2.
- (38) LUE, Y. H., and HIKIM, A.P., and SWERDLOFF, R. S., and IM, P., and TAING, K.S., and BUI, T., and LEUNG, A., and WANG, C.: Single exposure to heat induces stage-specific germ cell apoptosis in rats: Role of intratesticular testosterone on stage specificity. Endocrinology. 1999 In: Endocrinology; no. 140(4): 1709–17. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10098507?dopt=Abstract>.
- (39) SCHOOR, R. A., and ELHAMBY, S.M., and NIEDBERGER, C.: The pathophysiology of varicocele-associated male infertility. 2001. In: Current Urology Report. 2001; no 2(6): page 432–6. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11934-001-0035-7>.
- (40) CAI, H., and REN, Y., and LI, X. X., and YANG, J. L., and ZHANG, C.P., and CHEN, M., and FAN, C.H., and HU, X.Q., and GQO, F., and LIU, Y.X.: Scrotal heat stress causes a transient alteration in tight junctions and induction of TGF-beta expression. 2011. In: Int J Androl. 2011;34(4):352–62. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20633196?dopt=Abstract>.
- (41) THONNEAU, P., and BUJAN, L., and MULTIGNER, L., and MIEUSSET, R.: Occupational heat exposure and male fertility. 1998. In: A review. Human Reproduction. 1998; no.13(8), page 2122–5. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/humrep/13.8.2122>.
- (42) LUO, M., and ZHANG, H., and ARENS, E., and WANG, Z.: Micro-scale thermal sensitivity mappings of human body. (2019). [online]. In: International Symposium of Heating, Ventilation, and Air-Conditioning 2019. Conference paper. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/334520742_Microscale_thermal_sensitivity_mappings_of_human_body.
- (43) FOURNET, D., and ROSS, L., and VOELCKER, T., and REDOITIER, B., and HAVENITH, G.: Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold. 2013. In: Journal of Thermal Biology. no. 38 (2013), page 339–344. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtherbio.2013.04.005.
- (44) Filingeri, D., and Zhang, H., and Arens, E. A.: Thermosensory micromapping of warm and cold sensitivity across glabrous and hairy skin of male and female hands and feet. 2018. In: Journal of Thermal Physiology (2018). [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: doi:10.1152/japplphysiol.00158.2018.
- (45) M. LUO, M., and ARENS, A. E., and ZHANG, H., and WANG, Z.: Thermal comfort evaluated for combinations of energy-efficient personal heating and cooling device. 2018. In: Building Environment no.143 (2018), page: 201–216. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.008.

-
- (46) NAKAMURA, M., and YODA, T., and CRAWSHAW, L. I., and YASUHARA, S., and SAITO, Y., and KASUGA, M., and NAGASHIMA, K., and KANOSUE, K.: Regional differences in temperature sensation and thermal comfort in humans, 2008. In: *Journal of Thermal Physiology* 105 (2008) 1897–1906. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90466.2008>.
 - (47) WANG, Z., and LUO, M., and Zhang, Z.: The Effect of a Low-Energy Wearable Thermal Device on Human Comfort. 2018. In: *Proceeding Indoor Air 2018*. (n.d.). Conference: The 15th Conference of the International Society Indoor Air Quality & Climate (ISUAQ), At Philadelphia, PA, USA. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/334520742_Micro-scale_thermal_sensitivity_mappings_of_human_body.
 - (48) LUO, M., and ZHANG, H., and ARENS, E., and WANG, Z., and FILINGERI, D., and JIN, L., and GHAMRANI, A., and CHEN, W., and HE, Y., and SI, B.: High-density thermal sensitivity maps of human body. (2020). [online]. In: Elsevier, *Building and Environment*. Volume 167. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106435>.
 - (49) FILINGERI, D., and FOURNET, D., and HODDER, S.D., and HAVENITH, D.: Body mapping of cutaneous wetness perception across the human torso during thermo-neutral and warm environmental exposures. 2014. [online]. [cit. 10.1.2020]. In *Journal of Applied Physiology* 117(8):887. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/264548756_Body_mapping_of_cutaneous_wetness_perception_across_the_human_torso_during_thermo-neutral_and_warm_environmental_exposures.
 - (50) ZHANG, H., and Arens, E., and HUIZENGA, C., and HAN, T.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments. 2010. Part III: whole-body sensation and comfort. In: *Building and Environment*, 45(2), 399-410. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://escholarship.org/uc/item/4bq4n92h>.
 - (51) ZHANG, H., and ARENS, E., and ARENS, C.: Using a driving game to increase the realism of laboratory studies of automobile passenger thermal comfort. 2002. In: *SAE Technical Paper Series 2003-01-2710*. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://escholarship.org/uc/item/4bq4n92h>.
 - (52) HUIZENGA, C., and ZHANG, H.: A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. 2001. In: *Building and Environment* 36(6), 691 – 699. Also in *Proceedings, 6th Annual International Building Performance Simulation Association (IBPSA) Conference, Kyoto, Japan, September 1999*. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://escholarship.org/uc/item/3sq8z441>.
 - (53) WANG, M., and WOLFE, E., and GHOSH, D., and BOZEMAN, J., and CHEN, K., and HAN, T., and ZHANG, H., and ARENS, E.: Localized cooling for human comfort. 2014. In: *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems* no.7(2), page 755-768. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://escholarship.org/uc/item/9x2366mk>.
 - (54) FARZANEH, Y., and TOOLOONCH, A. A.: Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2008. Volume 28, Issue 14-15, Pages 1906 - 1917. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.025>.
 - (55) DAVIS, L. I., and SIEJA, T. F., and MATTESON, R.W., and DAGE, G.A., and AMES, R.: Fuzzy logic for vehicle climate kontrol. 1994. In: *3rd IEEE International Fuzzy Systems Conference, Orlando. 1994*, pp. 530–534. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: [doi: 10.1109/FUZZY.1994.343729](https://doi.org/10.1109/FUZZY.1994.343729).
 - (56) TABE, T., and MATSIU, K., and KAKEHU, T., and OHBA, M.: Automotive climate kontrol. 1986. In: *IEEE Control Systems Magazine* (Volume: 6, Issue: 5, October 1986). [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: [doi: 10.1109/MCS.1986.1105136](https://doi.org/10.1109/MCS.1986.1105136).

-
- (57) WEI, K. C., and DAGE, G. A.: An Intelligent Automotive Climate Control System. 1995. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century. Vancouver, BC, Canada. 1995, pp. 2977-2982 vol.4. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: doi: 10.1109/ICSMC.1995.538237.
- (58) DUROVIC, B. D., and KOVACEVIC, B. D.: Control of heating, ventilation and air conditioning system based on neural network. 2004. In: 7th IEEE Seminar on Neural Network Application in Electrical Engineering, 2004. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi: 10.1109/NEUREL.2004.1416527.
- (59) GAGGE, A. P., and FOBELETS, A. P., and BERGLUND, L.: A standard predictive index of human response to the thermal environment. 1986. In: ASHRAE Transactional. Vol. 92 (1986), page 709–731. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/236424692_A_standard_predictive_index_of_human_response_to_the_thermal_environment.
- (60) POKORNY, J., and JICHA, M.: Coupling of models of human psychology and thermal comfort. 2013. [online]. Brno University of Technology, Energy institute. EPJ Web of Conferences 45, 01077. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1051/epjconf/20134501077>.
- (61) FIALA, D., and University Leicester: Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort. 1998. In: Ph.D. Thesis, Institute of Energy and Sustainable Development. Leicester, De Montfort University. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/35402573_Dynamic_Simulation_of_Human_Heat_Transfer_and_Thermal_Comfort.
- (62) TANABE, S., and KOBAYASHI, K., and NAKANO, J., and OZEKI, Y., and KONISHI, M.: Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD) 2002. In: Energy and Buildings, 34, 6, 637-646. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00014-2).
- (63) NILSSON, H.O., and University of Gävle: Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models. 2004. In: Ph.D. Thesis, University of Gävle. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.semanticscholar.org/paper/Comfort-climate-evaluation-with-thermal-manikin-and-Nilsson-Holmér/824bd5e78d6b1d_ef42acb285c315602f8381d4b8.
- (64) TANAKA, M., and DESRUELLE, AV., and SARI, H., and CANDAS, V., and TANAKA, K., and MAEDA, T.: Effects of Decreasing Air Temperature on Peripheral Thermal Reactions in Males and Females. 2003. [online]. Environmental Health and preventive medicine 8, Pages 178-183. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/50833398>.
- (65) EVANS, E., and RENDELL, M., and BARTEK, J., and CONNOR, S., and BAMISEDUN, O., and DOVGAN, D., and GIITTER, M.: Thermally-induced cutaneous vasodilation in aging. 1993. In: J. Gerontology Med. Science 1993; 48: M53–M57. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: DOI: 10.1093/geronj/48.2.m53.
- (66) CHARKOUDIAN, N., and JOHNSON, J. M.: Altered reflex control of cutaneous circulation by female sex steroids is independent of prostaglandin. 1999. In: American J. Physiology 1999; 276: H1634–H1640. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi: 10.1152/ajpheart.1999.276.5.H1634.
- (67) ROOKE, G. A., and SAVAGE, M. V., and BRENGELMANN, G. L.: Maximal skin blood flow is decreased in elderly men. 1994. In: Journal of Appl. Physiology 1994; 77: 11–14. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi: DOI: 10.1152/jappl.1994.77.1.11.
- (68) DEAR, R.: Thermal comfort in practice. 2004. [online]. In: Indoor Air no.14. Suppl 7(s7):32-9. February 2004. [cit.10.1.2020] DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x. Dostupné https://www.researchgate.net/publication/8381106_Thermal_comfort_in_practice.

-
- (69) CAROLINA, S. R., and D'ALESSANDRO, M.: Indoor thermal comfort review: The tropics as the next frontier, 2019. In: *Urban Climate*. Crossref. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi:DOI: 10.1016/j.uclim.2019. 100488.
- (70) YUE, Q., and JUNJIE, L., and DAYI, L., and HUIBO, Z., and XIAODONG, C., and SHEN, W., and HIROSHI, Y.: Large-Scale and Long-Term Monitoring of the Thermal Environments and Adaptive Behaviors in Chinese Urban Residential Buildings. 2019. In: *Building and Environment*. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106524>.
- (71) UDREA, I., and CROITORU, C., and NASTASE, I., and CRUTESCU, R., and BADESCU, V.: First adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in Buchares. 2017. Romania, In: *International Journal of Ventilation*. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14733315.2017.1356057>.
- (72) ZHANG, H., and DIA, L., and XU, G., and LI, Y., and CHEN, W., and TAO, W.: Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part II: Simulation results and discussion. 2009. [online]. In: *Applied Thermal Engineering*. 6. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/229138260_Studies_of_airflow_and_temperature_fields_inside_a_passenger_compartment_for_improving_thermal_comfort_and_saving_energy_Part_II_Simulation_results_and_discussion.
- (73) HUAJUN, Z., and LAN, D., and GUOQUAN, X., and YONG, L., and WEI, Ch., and WENQUAN, T.: Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. 2009. Part I: test/numerical model and validation. In: *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 2022–2027. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.10.005>.
- (74) ZHANG, Z., and WANG, J., and FENG, X., and CHANG, L., and CHEN, Y., and WANG, X.: The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review. 2018. [online]. In: ELSEVIER, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.005. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325536892_The_solutions_to_electric_vehicle_air_conditioning_systems_a_review.
- (75) CHAN, C., and CHAU, K.: Modern electric vehicle technology. 2001. In: Published Oxford: Oxford University Press, 2001. ISBN: 0198504160, 9780198504160.
- (76) PINO, F. J., and MARCOS, D., and BORDONS, C., and ROSA, F.: Car air-conditioning considerations on hydrogen consumption in fuel cell and driving limitations. 2015. In: *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 40, Issue 35, 21 September 2015, Pages 11696–11703. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.079>.
- (77) IN-SOO, S., and MINYOUNG, L., and JEDOK, K., and SANG, T. O., and JONG-PHIL, W.: Design and experimental analysis of an efficient HVAC (heating, ventilation, air-conditioning) system on an electric bus with dynamic on-road wireless charging. 2015. In: *Energy*, Volume 81, 1 March 2015, Pages 262–273. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.038>.
- (78) STUKE, P., and BENGLER, K.: Interior air conditioning for electric vehicle EVA New approach on vehicle interior cooling to increase comfort and reduce energy consumption. (2014). [online]. In: COFAT 2014, conference paper. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/bbb4/c3f21bf773d40cff9b447c20b1a7cf12ad7a.pdf>.
- (79) EL-HOMOSSANI, M., and GAWAD, M. A. and KHALIFA, T. F. and HAFEZ, H. S.: Achieving optimum thermal comfort properties for automotive seat fabrics. *International journal of advance research in science and engineering*. [online]. [cit.10.1.2020]. Vol.No4, Issue 11, page 424–435. Nov. 2015. ISSN 2319-8354. Dostupné z: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EuvzgDNQccJ:https://www.ijarse.com/images/fullpdf/1448421584_51Research_Paper.pdf+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz.

-
- (80) LUSTBADER, J.A.: Evaluation of Advanced Automotive Seats to Improve. Thermal Comfort and Fuel Economy. 2005. [online]. In: Vehicle Thermal Management Systems. Conference and Exhibition. Toronto. [cit.10.1.2020]. DOI: 10.4271/2005-01-2056. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228648221_Evaluation_of_Advanced_Auto-motive_Seats_to_Improve_Thermal_Comfort_and_Fuel_Economy.
- (81) MORE, R. U., and BINDU, R. S.: Comfort Analysis of Passenger Car Vehicle Seat. 2015. In: International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 4, Issue 4, July 2015. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: http://www.ijesit.com/Volume%204/Issue%204/IJESIT201504_13.pdf
- (82) HUMPHREYS, M., and FERGUS, N., and RAJA, I. A.: Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach. 2007. In: Advances in Building Energy Research 1(1):55-88. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: DOI: 10.1080/ 17512549.2007.9687269.
- (83) HALL, A., and KOLICH, M.: Optimizing Occupant Thermal Comfort for Automotive Seating Systems. 2016. In: SAE Technical Paper. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: DOI: <https://doi.org/10.4271/2016-01-1435>.
- (84) ELARUSI, A., and ATTAR, A., and LEE, H.: Optimal Design of a Thermoelectric Cooling / Heating System for Car Seat Climate Control (CSCC). 2014. [online]. In: Journal of Electric Materials, Vol. 46, No 4. 2017. [cit.10.1.2020]. DOI: 10.1007/s11664-016-5043-y. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/311445486_Optimal_Design_of_a_Thermoelectric_CoolingHeating_System_for_Car_Seat_Climate_Control_CSCC.
- (85) FEHRER, S.: Thermoelectric Air Conditioned Variable Temperature Seat (VTS) and Effect Upon Vehicle Occupant Comfort, Vehicle Energy Efficiency, and Vehicle Environmental Compatibility. 1993. In: SAE Technical Paper 931111 (1993). [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: Doi:10.4271/931111.
- (86) TEERSTRA, P., and YOVANOVICH, M. M., and CULHAM, J. R: Analytical forced convection modeling of plate fin heat sinks. 1999. In: Fifteenth Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (1999). [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: doi:10.1109/STHERM.1999.762426.
- (87) ORMUŽ, K., and MUFTIČ, O.: Main Ambient Factors Influencing Passenger Vehicle Comfort. 2004. In: Proceedings of 2nd International Ergonomics Conference, Ergonomics 2004. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://bib.irb.hr/datoteka/179414.179414.pdf>.
- (88) MAZARI, F. B., and MAZARI, A., and HAVELKA, A., and WIENER, J.: Effect of a Superabsorbent for the Improvement of Car Seat Thermal Comfort. 2017. [online]. In: Fibres and Textiles in Eastern Europe . 25(2):83-87 · April 2017. [cit.10.1.2020]. DOI: 10.5604/12303666.1228187. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/316957945_Effect_of_a_Superabsorbent_for_the_Improvement_of_Car_Seat_Thermal_Comfort.
- (89) HAGHI, A.K.: Mechanism of Heat and Mass Transfer in Moist Porous Materials. 2002. In: UTM Jurnal Teknologi, vol.36. June 2002. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v36.579>.
- (90) URBÁŠEK, J.: Termomechanika a mechanika tekutin. V Liberci: Technická univerzita v Liberci, 2005. 77 s. Číslo publikace 55-038-05, ISBN 80-7083-943-0.
- (91) DADO, S., and KREIDL, M.: Senzory a měřicí obvody. V Praze: ČVUT, 1996. 214 s. ISBN 80-01-01500-9.
- (92) *Platinové teploměry*. In: Automatizace [online]. Teorie zpracování signálu platinových teplotních senzorů. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z <https://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>.

-
- (93) *Měření teploty*. In: Učebnice měřicí a řídicí techniky. [online]. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm#k432>.
- (94) WUHAN YUNHE CAR SEAT CO LTD. Automobile seat frames , car seat and car. Čínská lidová republika. Patent CN208119004U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/064184457/publication/CN208119004U?q=pn%3DCN208119004U>.
- (95) WUHAN YUNHE AUTOMOBILE SEAT CO LTD. Take heating device's car seat and car. Čínská lidová republika. Patent CN208149123U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/064389473/publication/CN208149123U?q=pn%3DCN208149123U>.
- (96) LANGFANG JINSE SHIGUANG TECHNOLOGY DEV CO LTD. Seat heating ventilation unit and car seat. Čínská lidová republika. Patent CN204774813U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/054514925/publication/CN204774813U?q=pn%3DCN204774813U>.
- (97) DONG XUHUA. Car seat heating device. Čínská lidová republika. Patent CN107962990A. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061994793/publication/CN107962990A?q=pn%3DCN107962990A>.
- (98) JIANGSU SHUANGJU AUTOMOBILE PARTS CO LTD. Car seat heating structure. Čínská lidová republika. Patent CN105857139A. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/056626286/publication/CN105857139A?q=pn%3DCN105857139A>.
- (99) ANHUI JINSHENGJINSHI ELECTRONIC TECH CO LTD. Car seat with heating function. Čínská lidová republika. Patent CN108556703A . 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063531794/publication/CN108556703A?q=pn%3DCN108556703A>.
- (100) DENG YUDE. Car seat with adjustable temperature and car. Čínská lidová republika. Patent CN106904107A. 2017. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/059195756/publication/CN106904107A?q=pn%3DCN106904107A>.
- (101) YUHUAN FEIDIE VEHICLE SEAT CUSHION FACTORY. Car seat for car of massage can heat. Čínská lidová republika. Patent CN207173396U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061747694/publication/CN207173396U?q=pn%3DCN207173396U>.
- (102) ANHUI CAREMIC CONSULTING CO LTD. Multifunctional car seat. Čínská lidová republika. Patent CN107351738A. 2017. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060293507/publication/CN107351738A?q=pn%3DCN107351738A>.
- (103) ANHUI JINSHENGJINSHI ELECTRONIC TECH CO LTD. Automatic heating device for car seat. Čínská lidová republika. Patent CN108515889A. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063433237/publication/CN108515889A?q=pn%3DCN108515889A>.
- (104) CHEN CHIEN-CHOU [TW]. Warming device for a car seat cover. Čínská lidová republika. Patent US2007056946A1. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS2007056946A1>.
- (105) TIANJIN BOXIN AUTOMOBILE PARTS. Heating gasket for automobile seat. Čínská lidová republika. Patent CN103818287A. 2014. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DCN103818287A>.

-
- (106) SHAO JINGBIAO. Car seat heating structure. Čínská lidová republika. Patent CN207225146U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061851190/publication/CN207225146U?q=pn%3DCN207225146U>.
- (107) JIANGLING HOLDINGS CO LTD. Automobile seat heating systém. Čínská lidová republika. Patent CN109606219A. 2019. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/066010163/publication/CN109606219A?q=pn%3DCN109606219A>.
- (108) WU SHAOHUI. Heating and cooling car seat cushion. Čínská lidová republika. Patent CN207607384U. 2018. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/062798039/publication/CN207607384U?q=pn%3DCN207607384U>.
- (109) CHANG CHIA-CHIEH [TW]. Car seat air-conditioning systém. Čínská lidová republika. Patent TW201328914A. 2013. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/048751564/publication/TW201328914A?q=pn%3DTW201328914A>.
- (110) HEBEI ANWEN AUTOMOBILE COMPONENTS CO LTD. Automobile seat heating pad. Čínská lidová republika. Patent CN209063941U. 2019. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/067097420/publication/CN209063941U?q=pn%3DCN209063941U>.
- (111) CHANGCHUN LIANHENG ZHANYE ELECTRONIC CO LTD. Car seat air conditioning system with ventilation heating function. Čínská lidová republika. Patent CN205523824U. 2016. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/056774790/publication/CN205523824U?q=pn%3DCN205523824U>.
- (112) UNIWORM CO LTD [KR]. Heater for car seats with carbon fiber. Čínská lidová republika. Patent KR20160040364A. 2016. [online]. [cit.10.1.2020]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/055801357/publication/KR20160040364A?q=pn%3DKR20160040364A>.
- (113) MAŘA, P., and FONTANA, J.: Termoregulace. In: Multimediální skript. Funkce buněk a lidského těla [online]. 2013 [cit. 2020-01-10]. Vydavatel: Karlova univerzita v Praze, Fakulta medicíny. SIGILLUM FACULTATIS MEDICAE TERTIAE UNIVERSITATIS CAROLINAE. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/xi-regulacni-mechanismy-1-endokrinni-regulace/11-termoregulace/>.
- (114) *Inovace SEBS a ASEBS*. In: Fyziologie a patofyziologie člověka v extrémních podmínkách. [online]. [cit. 20.5.2019]. Multimediální skript. FSS Masarykova univerzita v Brně. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/fyziologie/fyziologie-a-patofyziologie>.
- (115) *XSENSOR® Technology Corporation*. In: Official sites. High accuracy sensors. [online]. [cit. 20.5.2019]. Dostupné z <https://xsensor.com/sensors/high-accuracy-sensors/>.
- (116) *Pracovní pomůcky*. In: Pracovní a reklamní textil. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://www.pracovni-pomucky.com/>.
- (117) *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR*. In: Výběrové šetření o zdravotním stavu české populace (2002), III.díl, č.48. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/system/files/>.
- (118) ACS, Angelantonio Test Technologies Srl.. In: Home page. Environmental Test Chambers. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: <http://www.acstestchambers.com/Product/>.
- (119) *Interní norma č.23-303-01/01*. In: Vnitřní norma Fakulty textilní TUL: Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií. [cit. 20.1.2020].
- (120) *TCi Thermal Conductivity Analyser*. In: C-Therm Technologies, Products. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z: https://ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/.

- (121) MANDOT, A., and PARMAR, S., and LUNAGARIA, D., and GHOSH, S.: 3-Dimensional weaving-Taking textiles to the next dimension. 2012. [online]. In Textile Review, march 2012. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/6188/3-dimensional-weaving-taking-textiles-to-the-next-dimension>.
- (122) Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví. 2020 In: Sborníky. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z https://www.UNZM.cz/sbornika_th/nejistoty.
- (123) MACHONSKY, L., and BURIANOVÁ, L., and ČMELÍK, M.: Fyzikální laboratoře. Liberec, Technická univerzita v Liberci, Fakulta pedagogická, katedra fyziky. 2020.
- (124) BURCH, S. D., RAMADHYANI, S. and PEARSON, J.T.: Analysis of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditions. 1992. In: *ASHRAE Transactions* 97:247–57.
- (125) FANGER, P.O.: Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. 1972. McGraw-Hill, New York.
- (126) DOHERTY, T. J., ARENS, E.: “Evaluation of the Physiological Bases of Thermal Comfort Models,” 1988. In: *SHRAE Transactions*, 1988, Vol. 94, Part I, 1371-1385.
- (127) *Tepelná pohoda a nepohoda*. In: TZBinfo. [online]. [cit. 10.1.2020]. Dostupné z <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>.
- (128) DUBOIS, D., DUBOIS, E. F.: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916. *Nutrition*. 1989 Sep-Oct;5(5):303-11; discussion 312-3. PMID: 2520314.
- (129) ASHRAE Handbook: Fundamentals. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2001. ISBN 1-883413-88-5.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Název	Zdroj
Obrázek 1 Škoda Auto, výrobní hala M13	[6]
Obrázek 2 Porscheho Elektromobil P1 / Egger-Lohner C.2 Phaeton.	[7]
Obrázek 3 Hybridní elektromobil Lohner-Porsche Mixed Hybrid z roku 1900.	[8]
Obrázek 4 Sedadlo řidiče a rám sedačky bez čalounění, vůz Škoda.	[12]
Obrázek 5 Smysl působení tlakové a smykové síly.	[14]
Obrázek 6 Optimální sklon sedadla řidiče a rozložení pracovního prostoru.	[14]
Obrázek 7 Vymezení cílů disertační práce.	Zdroj: Autor
Obrázek 8 Faktory tepelného komfortu. Metabolismus v závislosti na tělesné aktivitě.	[24]
Obrázek 9 Manikina STAN, fyzická a s pomocí SW virtuální, simulovatelná podoba.	[32]
Obrázek 10 Detail rozdílných zón simulujících lidský metabolismus u STAN.	[32]
Obrázek 11 Regulace CN systému použitého modelu Fiala-FEM.	[33]
Obrázek 12 Model tepelného komfortu v automobilu a FEM model Fiala.	[33]
Obrázek 13 Distribuce tlaku v povrchu automobilového sedadla, opěrák a sedák.	[35]
Obrázek 14 Aktivní chlazení a devaporace sedáku vozu EVA.	[42]
Obrázek 15 Měřicí sonda s termočlánekem.	[42]
Obrázek 16 Citlivost těla k expozici chladem a horkem.	[42]

Obrázek 17	Citlivost horní poloviny zad na expozici chladem a teplem.	[42]
Obrázek 18	Test citlivosti při expozici chladem.	[49]
Obrázek 19	Hodnocení tepelného komfortu při vystavení chladu.	[49]
Obrázek 20	Potivost těla, jako výraz termoregulace.	[49]
Obrázek 21	Distribuce teploty a rychlost proudění vzduchu v kabině vozu bez pasažérů.	[72]
Obrázek 22	Typický A/C systém ve vozech se spalovacími motory.	[74]
Obrázek 23	Princip klimatizace v automobilu.	[74]
Obrázek 24	Schema A/C systému klimatizace používající ekologické médium R717.	[74]
Obrázek 25	Rozložení receptorů chladu a tepelný práh závislý na teplotě kůže.	[78]
Obrázek 26	Výdechy klimatizace ve voze EVA.	[78]
Obrázek 27	Aktivní chlazení a devaporace sedáku vozu EVA.	[78]
Obrázek 28	Schematický koncept CSCC návrhu klimatizování sedadla.	[84]
Obrázek 29	Termoelektrická klimatizace sedadla, chlazení a temperace.	[84]
Obrázek 30	Definice teplotního gradientu.	[90]
Obrázek 31	Vedení tepla složenou stěnou.	[90]
Obrázek 32	Schematické znázornění sdílení tepla prouděním, konvekcí.	[90]
Obrázek 33	Sdílení tepla sáláním, radiací.	[90]
Obrázek 34	Sedadlo automobilu s funkcí výhřevu loketních opěrek.	[99]
Obrázek 35	Sedadlo se zabudovanou A/C jednotkou.	[108]
Obrázek 36	Sedadlo využívající k temperaci A/C jednotku osobního vozu.	[109]
Obrázek 37	Sedadlo s výhřevem karbonovými vlákny.	[112]
Obrázek 38	Princip analytického nástroje víceúrovňového myšlení „9-Window“.	[4, 5]
Obrázek 39	Analýza TS automobilové sedačky. Víceúrovňové myšlení.	Zdroj: Autor
Obrázek 40	Idealizovaný model přestupu tepla řidič - sedadlo automobilu	[129]
Obrázek 41	Odezva na hypotermii	[114]
Obrázek 42	Odezva na hypertermii	[114]
Obrázek 43	Měřicí zařízení firmy XSENSORâ.	[115]
Obrázek 44	Vlastní měření rozložení hmotnosti v sedačce přístrojem XSENSOR.	Zdroj: Autor
Obrázek 45	Rozdělení sedadla na oblasti pro potřeby hodnocení a měření.	Zdroj: Autor
Obrázek 46	Řídící velín k provádění měření tepelného komfortu.	Zdroj: Autor
Obrázek 47	Sedadlo s teplotními sensory v temperovaném klima-boxu.	Zdroj: Autor
Obrázek 48	Vyhřívání manekina a řídící jednotka temperace s ovládání výtahu.	Zdroj: Autor
Obrázek 49	Jednotné oblečení účastníků testování.	[116]
Obrázek 50	Klimakomora ACS / ATT.	[118]
Obrázek 51	Klimakomora s připojeným externím boxem.	Zdroj: Autor
Obrázek 52	Dotěsnění externího boxu	Zdroj: Autor
Obrázek 53	Kontrola dotěsnění	Zdroj: Autor

Obrázek 54	Měřicí stanoviště řízení a vyhodnocování průběhu zkoušky.	Zdroj: Autor
Obrázek 55	Osmikanálová měřicí ústředna fy IMC.	Zdroj: Autor
Obrázek 56	Testované sedadlo opatřené čidly dle metodiky.	Zdroj: Autor
Obrázek 57	Elektrické schéma zapojení výhřevu sedadla.	[12]
Obrázek 58	Monitorování elektrických veličin během experimentu.	Zdroj: Autor
Obrázek 59	Elektrický výhřev sedadla měřený termokamerou.	Zdroj: Autor
Obrázek 60	Měření proudového odběru v průběhu testu.	Zdroj: Autor
Obrázek 61	Zařízení pro měření rozložení teploty v ploše.	Zdroj: Autor
Obrázek 62	Homogenita teplotního pole v průběhu testování.	Zdroj: Autor
Obrázek 63	Pohled na celou plochu sedadla s vyznačenými oblastmi hodnocení.	Zdroj: Autor
Obrázek 64	Výhřevu odporového vodiče snímaného termokamerou Fluke Ti.	Zdroj: Autor
Obrázek 65	Operátor při testování výhřevu sedadel osobního automobilu.	Zdroj: Autor
Obrázek 66	Model funkčně objektové analýzy obecného technického systému	[4, 5]
Obrázek 67	Funkčně objektová analýza TS automobilové sedačky	Zdroj: Autor
Obrázek 68	Obecný fyzikální model interakce lidské tělo - sedadlo vozu	Zdroj: Autor
Obrázek 69	Technický rozpor mezi výhřevem sedačky, délkou a teplotou	Zdroj: Autor
Obrázek 70	TR mezi plochou výhřevu, rychlostí výhřevu a fyzikální látkou	Zdroj: Autor
Obrázek 71	TR mezi plochou výhřevu, tvarem a ztrátou látky / hmoty	Zdroj: Autor
Obrázek 72	Definice fyzikálního rozporu (FR) technického systému (TS)	Zdroj: Autor
Obrázek 73	Výhřev sedačky inovovaný dle metodiky TRIZ.	Zdroj: Autor
Obrázek 74	Distribuce tlaku v ploše měřená zařízením Xsensorâ.	Zdroj: Autor
Obrázek 75	Inovované dečky výhřevu sedačky (vlevo sedák, napravo partie zad).	Zdroj: Autor
Obrázek 76	Porovnání původního a inovovaného řešení dečky výhřevu sedačky.	Zdroj: Autor
Obrázek 77	Princip čtyřvodičové metody měření odporu.	Zdroj: Autor
Obrázek 78	Modifikace zapojení inovované dvouokružové dečky výhřevu.	Zdroj: Autor, [12]
Obrázek 79	Prototyp inovované dečky výhřevu sedadla.	Zdroj: Autor
Obrázek 80	Struktura výkresové dokumentace prototypového výhřevu.	Zdroj: Autor
Obrázek 81	Respondent v klimatizovaném externím boxu.	Zdroj: Autor
Obrázek 82	Oprava poškozeného obvodu výhřevu inovované sedačky.	Zdroj: Autor
Obrázek 83	CAD model sedadla a sériovou dečkou výhřevu	Zdroj: Autor, [12]
Obrázek 84	Varianta I. model původní, sériové sedačky.	[130]
Obrázek 85	Varianta II. inovovaná, prototypová sedačka s 3D potahem.	[130]
Obrázek 86	Trasování odporového drátu sériové sedačky.	Zdroj: Autor
Obrázek 87	Trasování odporového drátu inovované sedačky s oběma okruhy.	Zdroj: Autor
Obrázek 88	Sériový výhřev sedáku, potah tkanina.	[130]
Obrázek 89	Sériový výhřev sedáku, potah 3D pletenina	[130]
Obrázek 90	Prototypový výhřev sedáku, vnitřní okruh; potah tkanina.	[130]

Obrázek 91	Prototypový výhřev sedáku, vnitřní okruh; potah 3D pletenina.	[130]
Obrázek 92	Prototypový výhřev sedáku, oba okruhy; potah tkanina.	[130]
Obrázek 93	Prototypový výhřev sedáku, oba okruhy; potah 3D pletenina.	[130]
Obrázek 94	Model tepelné bilance člověka na sedačce.	Zdroj: Autor, [123, 124, 126, 129]
Obrázek 95	Vstupy a výstupy z disertační práce	Zdroj: Autor

SEZNAM TABULEK

Název	Zdroj
Tabulka 1	Teplota interiéru a relativní vlhkost v korelaci s okolní teplotou. [24]
Tabulka 2	Srovnání technologií a principů A/C použitých v elektrovozech. [74]
Tabulka 3	Výběr z patentů pro kondicionování sedadel osobního vozu Zdroj: Autor
Tabulka 4	Rozložení tlaku v ploše, výsledky měření přístrojem XSENSOR Zdroj: Autor
Tabulka 5	Statistické rozložení metriky populace v ČR (ÚZIS ČR č.48/2002). [117]
Tabulka 6	Statistické rozložení kontrolní skupiny respondentů Zdroj: Autor
Tabulka 7	Termofyzikální a materiálové charakteristiky materiálů sedačky. Zdroj: Autor
Tabulka 8	Formulář pro hodnocení subjektivního lokálního komfortu Zdroj: Autor
Tabulka 9	Naměřené rozložení teplot na původní, sériové automobilové sedačce. Zdroj: Autor
Tabulka 10	Stanovení koeficientu bezpečnosti h z počtu měření n. [122]
Tabulka 11	Analýzy vzájemných vazeb v technickém systému autosedačky. Zdroj: Autor
Tabulka 12	Závěry objektově funkční analýzy technického systému autosedačky. Zdroj: Autor
Tabulka 13	Sumarizace doporučených principů překonávajících technický rozpor. Zdroj: Autor
Tabulka 14	Výpočet: R, I, U, a P na regulačním členu dečky výhřevu. Zdroj: Autor
Tabulka 15	Stanovení termoregulačního prahu u kontrolní skupiny respondentů. Zdroj: Autor
Tabulka 16	Schéma diskomfort => adaptace => komfort. Zdroj: Autor
Tabulka 17	Lokální hodnocení komfortu respondenty testu. Zdroj: Autor
Tabulka 18	Časový průběh teploty na sériové sedačce. Zdroj: Autor
Tabulka 19	Časový průběh teploty na prototypové sedačce Zdroj: Autor
Tabulka 20	Srovnání mezi původní, sériovou a prototypovou sedačkou. Zdroj: Autor
Tabulka 21	Porovnání jednotlivých variant výhřevů a různých typů povrchů. Zdroj: Autor
Tabulka 22	Hodnoty metabolismu při tělesné aktivitě [128]
Tabulka 23	Hodnocení lokálního tepelného komfortu původní, sériové sedačky. Zdroj: Autor
Tabulka 24	Hodnocení celkového tepelného komfortu původní, sériové sedačky Zdroj: Autor
Tabulka 25	Hodnocení lokálního tepelného komfortu sériové sedačky. Zdroj: Autor
Tabulka 26	Hodnocení celkového tepelného komfortu prototypové sedačky Zdroj: Autor
Tabulka 27	Srovnání celkového tepelného komfortu obou sedaček dle BMI a času. Zdroj: Autor
Tabulka 28	Hodnocení celkového tepelného komfortu dle BMI procentuálně. Zdroj: Autor

SEZNAM GRAFŮ

Název	Zdroj
Graf 1 Výroba elektrické energie, obnovitelné zdroje vs. spalování uhlí.	[3]
Graf 2 Porovnání spec.hustoty energie různých typů elektrických článků vs. benzín.	[10]
Graf 3 Přenosová funkce automobilové sedačky.	[13]
Graf 4 Subjektivní hodnocení tepelného komfortu při expozici zad chladem.	[31]
Graf 5 Průběh vývoje teplot v kontaktní ploše sedadla.	[35]
Graf 6 Metodika měření a stupnice hodnocení TSV.	[42]
Graf 7 Výsledek optimalizace klimatizování interiéru osobního vozu.	[54]
Graf 8 Vliv teploty a vlhkosti na celkový subjektivní tepelný komfort.	[60]
Graf 9 Teplota prstů a nohou u testovaných subjektů během pokusu.	[64]
Graf 10 "ASHRAE Standard 55's" doporučení pro kondicionování pracoviště.	[68]
Graf 11 Statická odezva teplotních receptorů.	[78]
Graf 12 Fyziologický dopad automobilových sedadel na vnímání komfortu.	[79]
Graf 13 Rozdíl mezi odvětrávanou a původní, sériovou sedačkou osobního vozu.	[80]
Graf 14 Pociťovaná subjektivní vlhkost v sedačce automobilu.	[88]
Graf 15 Snímače teploty Pt, Ni, NTC	[92]
Graf 16 Přehled snímačů teploty dle použitého materiálu a vlastností.	[93]
Graf 17 Respondenti experimentu seřídění dle výšky.	Zdroj: Autor
Graf 18 Účastníci experimentu rozdělení podle tělesné hmotnosti.	Zdroj: Autor
Graf 19 Rozvrstvení subjektů v testu dle příslušnosti k somatypu.	Zdroj: Autor
Graf 20 Grafický záznam měření výhřevu sedadla v klimakomoře	Zdroj: Autor
Graf 21 Kontrolní skupina respondentů rozložená dle BMI	Zdroj: Autor
Graf 22 Test rychlosti ochlazování v externím klimatickém boxu.	Zdroj: Autor
Graf 23 Stabilizovaná teplota v klimaboxu v počátku měření.	Zdroj: Autor
Graf 24 Měření výhřevu sedadla pomocí PT100 dle dodavatelské metodiky.	Zdroj: Autor
Graf 25 Opakované měření výhřevu a proteplení sedadla s čidly teploty PT100	Zdroj: Autor
Graf 26 Měření teplotního pole sériové sedačky s respondentem	Zdroj: Autor
Graf 27 Hodnocení celkového tepelného komfortu skupinou respondent	Zdroj: Autor
Graf 28 Měření teploty na inovovaném výhřevu automobilové sedačky	Zdroj: Autor, [130]
Graf 29 Porovnání, sériový výhřev sedáku, potah tkanina a 3D pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 30 Porovnání, proto.výhřev, vnitř.okruh, potah tkanina, pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 31 Porovnání, proto.výhřev, oba okruhy, potah tkanina a pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 32 Porovnání dod.výkonů, sériový výhřev, potah tkanina a pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 33 Porovnání dodaných výkonů, prototypový výhřev, vnitřní okruh.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 34 Porovnání dodaných výkonů, prototypový výhřev, oba okruhy.	Zdroj: Autor, [130]

Graf 35	Porovnání dodaných výkonů, potah tkanina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 36	Porovnání dodaných výkonů, potah 3D pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 37	Porovnání dodaných energií, potah tkanina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 38	Porovnání dodaných energií, potah 3D pletenina.	Zdroj: Autor, [130]
Graf 39	Měření sériového sedáku.	Zdroj: Autor
Graf 40	Měření sériové opěry.	Zdroj: Autor
Graf 41	Porovnání pro sedák.	Zdroj: Autor
Graf 42	Porovnání pro opěru.	Zdroj: Autor
Graf 43	Srovnání modelu opěry	Zdroj: Autor
Graf 44	Srovnání modelu sedáku	Zdroj: Autor
Graf 45	Prototypový sedák.	Zdroj: Autor
Graf 46	Prototypová opěra.	Zdroj: Autor
Graf 47	Verifikace sedáku prototypu.	Zdroj: Autor
Graf 48	Verifikace opěry prototypu.	Zdroj: Autor
Graf 49	Temperace sedadla s respondenty a bez aktivního výhřevu.	Zdroj: Autor
Graf 50	Výhřev původní, sériové sedačky s aktivovaným výhřevem	Zdroj: Autor
Graf 51	Hodnocení lokálního tepelného komfortu sériové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 52	Souhrnné hodnocení celkového tepelného komfortu původní sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 53	Rozpětí teplot a pocíťovaný tepelný komfort na sériové sedačce.	Zdroj: Autor
Graf 54	Výhřev prototypové sedačky s inovovaným trasováním výhřevu.	Zdroj: Autor
Graf 55	Souhrnné hodnocení celkového tepelného komfortu prototyp.sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 56	Rozpětí teplot a pocíťovaný tepelný komfort na prototypové sedačce.	Zdroj: Autor
Graf 57	Predikce celkového tepelného komfortu prototypové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 58	Vývoj teploty během testu sériové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 59	Vývoj teploty během testu prototypové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 60	Teploty a PMV během testu sériové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 61	Energetické bilance při testu sériové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 62	Teploty a PMV během testu prototypové sedačky.	Zdroj: Autor
Graf 63	Energetické bilance při testu prototypové sedačky	Zdroj: Autor

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres č.001.00.00	Výhřev_prototypové_sedačky.
Příloha 2	Výkres č.001.01.00	Výhřev_sedáku (prototypový) .
Příloha 3	Výkres č.001.02.00	Výhřev_opěry_zad (prototypový) .
Příloha 4	Výkres č.001.03.00	Sedadlo_řidiče.
Příloha 5	Výkres č.001.01.01	Výhřev_sedáku_vnitřní_okruh (prototypový) .
Příloha 6	Výkres č.001.01.02	Výhřev_sedáku_vnější_okruh (prototypový) .
Příloha 7	Výkres č.001.01.03	Nosič_výhřevu_sedáku (prototypový).
Příloha 8	Výkres č.001.02.01	Výhřev_opěry_zad_vnitřní_okruh (prototypový).
Příloha 9	Výkres č.001.02.02	Výhřev_opěry_zad_vnější_okruh (prototypový).
Příloha 10	Výkres č.001.02.03	Nosič_výhřevu_opěry_zad (prototypový).

