

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Моторна возила и мотори

Предмет: Ергономија моторних возила

Број индекса: 344/2012

Ивана Т. Танасковић
**Виртуелни модели за оцену термичке
удобности возила**
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јованка Лукић, проф.-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

- анализу релевантних параметара за оцјену термичке удобности возила
- преглед и критичку анализу модела за оцјену термичке удобности возила

Препоручена литература:

1. Лукић Ј.: Комплексна удобност возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
2. Hajime Oi, Koji Tabata, Yasuhito Naka, Akira Takeda, Yutaka Tochihara, Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period, Applied Ergonomics, Volume 43, Issue 2, March 2012, Pages 360-367, ISSN 0003-6870
3. Ali Alahmer, Mahmoud Abdelhamid, Mohammed Omar, Design for thermal sensation and comfort states in vehicle cabins, Applied Thermal Engineering, Volume 36, April 2012, Pages 126-140, ISSN 1359-4311
4. Mezrhab, M. Bouzidi, Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment, Applied Thermal Engineering, Volume 26, Issues 14–15, October 2006, Pages 1697-1704, ISSN 1359-4311.
5. Alahmer, Ahmed Mayyas, Abed A. Mayyas, M.A. Omar, Dongri Shan, Vehicular thermal comfort models; a comprehensive review, Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issues 6–7, May 2011, Pages 995-1002, ISSN 1359-4311.

Крагујевац, 27.02.2014

ментор:

Др Јованка Лукић, проф.

Резиме

У оквиру овог рада представљене су анализе релевантних параметара и модела за оцену термичке удобности возила. Температура и влажност су једни од основних параметара удобности. Чак у неким подацима термин комфор се директно повезује са термичком удобношћу- климатизацијом простора.

Тренутна контрола климатских система на возилу је изузетно појачана. Дизајнери имају за циљ да ефикасно постигну топлотну удобност путничког простора. Све већи је развој нумеричког и екперименталног алата за предвиђање топлотног комфора у неуниформном прелазном термичком окружењу. Овај алат укључује коначан алат- модел људске физиологије. Овај топлотни психолошки модел може да предвиди и локалну и глобалну термичку удобност. Има тако добре карактеристике да се за тестирање може користити и у стварним возилима.

Кључне речи: температура, комфор,модел...

Summary

This paper presents the analysis of the relevant parameters and models for evaluating the thermal comfort of the vehicle. Temperature and humidity are some of the basic parameters of comfort. Even in some of the data term comfort is directly related to thermal comfort-conditioned space.

Current climate control system of the vehicle is extremely enhanced. Designers aim to efficiently achieve thermal comfort of the passenger compartment. The increasing development of experimental and numerical tools to predict thermal comfort in non-uniform transitional thermal environment. This tool includes a comprehensive tool-model of human physiology. This heat psychological model can predict both local and global thermal comfort. It has such good characteristics to be used for testing and the actual vehicle.

Key words: temperature, comfort, model ...

Садржај:

Увод.....	2
1.Термичка удобност.....	3
2.Термичко окружење – здравље.....	4
3.Термичко окружење – радна способност.....	4
4.Термички комфор у унутрашњости аутомобила.....	5
5.Показатељи термичке удобности.....	7
6.Индекси термичке удобности.....	10
7.Виртуелна оцена термичке удобности возила.....	13
8.Модел путничког простора.....	15
9.Модел човека у термичком окружењу.....	18
9.1.Модел одевености.....	20
9.2.Физиолошки одговор тела на услове окружења.....	20
9.3.Физиолошки модел човека за оцену термичке удобности.....	22
10.Примери најчешће коришћених манекена и њихов развој.....	24
10.1.Манекен ADAM.....	25
10.1.1.Карактеристике ADAM-а.....	29
10.2.Манекен FIALA-FE.....	29
10.3. Манекен TOM.....	34
10.4 Манекен CLOUSSEAS.....	34
10.5 Манекени MANIKIN1, MANIKIN2 и MANIKIN3.....	35
10.6 Манекен COPELIUS.....	36
10.7 Манекен WALTER.....	36
10.8 Манекен TORE.....	37
11.Виртуелни модели возила за предвиђање и оцену термичке удобности.....	38
Закључак.....	44
Литература.....	45

Увод

Човек је *хомеотерм*, што значи да човечије тело покушава да одржи температуру у опсегу око 37 °C. Ако се тело изложи термичком стресу, тада систем терморегулације реагује преласком у конзистентно стање којем одговара унутрашња температура блиска опсегу термичког стреса.

Овакав одзив човечијег тела на термичко окружење делује на:

- здравље,
- удобност и
- радну ефикасност.

Регулисање температуре човечијег тела врши се на два начина:

- хемијском и
- физиолошком регулацијом температуре.

Код хемијске регулације температуре, процеси сагоревања у органима тела контролишу се тако да се стварање топлоте мења зависно од температуре крви, а да се при томе не прекорачи базални метаболизам од око $1,2 \text{ Wkg}^{-1}$ телесне масе. Зависно од осећаја температуре, јавља се потреба за већим или мањим телесним радом и покретањем мишића.

При физиолошком регулисању температуре делује велики број фактора истовремено, како би се спољашње одавање топлоте тела прилагодило телесној температури. Одавање топлоте врши се:

- конвекцијом топлоте са површине тела на ваздух,
- провођењем топлоте на површинама које се додирују са телом
(преко седалног дела или стопала),
- зрачењем топлоте са површине тела на околне површине,
- испаравањем воде на кожи,
- дисањем,
- уношењем хране и др. [2]

1. Термичка удобност

Термичка удобност се може дефинисати као: *“стање ума које изражава задовољство термичким окружењем”*.

Велики број фактора утиче на удобност: температура околних површина, одећа, пол, конституција, здравље, уношење хране, годишње доба, старост, врста рада, расвета, бука, мириси, контакт са околином.

Постоји шест главних фактора који се могу користити за оцену одзива човека на термичко окружење:

- температура ваздуха,
- средња температура зрачења зидова,
- брзина струјања ваздуха,
- влажност ваздуха,
- активности корисника возила и
- степен одевеност. [2]

Поред тога постоје и други, хигијенски, фактори који су значајни за стање ваздуха у унутрашњости возила, а то су: чистоћа, мириси, наелектрисаност, итд...

Топлотна неудобност је у вези са претопљавањем изазваном немогућношћу испаравања знојењем. Неудобност изазвана хладноћом је у директној вези са просечном температуром коже тела. У том случају топлотна равнотежа се може одржати али није довољна за дефинисање услова термичке удобности. Средња температура коже и брзина знојења су прихватљиви параметри удобности и дефинишу се на основу експерименталних истраживања.

Један од услова термички термички удобног окружења је непостојање локалних неудобности изазваних промајом, асиметричним зрачењем или променљивим температурним градијентом. [2]

2. Термичко окружење - здравље

Када човечијем телу постане сувише хладно или сувише топло оно реагује на такав начин да одржи унутрашњу температуру тела на релативно непромењеном нивоу. Када се тело налази под термичким стресом јављају се два главна механизма губљења - одвођења топлоте. Почетна реакција је, када се периферни крвни судови шире и преносе крв и самим тим и топлоту до делова тела преко којих се може топлота изгубити разменом са околином. Ако унутрашња температура наставља да расте јавља се знојење и самим тим значајно је губљење топлоте испаравањем. Ако и ови механизми нису довољни да се одржи топлотна равнотежа онда унутрашња температура тела расте.

Када је човечије тело изложено хладноћи два главна механизма за одржање унутрашње температуре се активирају. Почета реакција на хладноћу је када се периферни крвни судови скупљају и смањују проток крви до површина које могу да редукују топлотне губитке. Ако унутрашња температура и даље наставља да пада додатна топлота се генерише дрхтањем. Ако температура и даље пада долази до помућења свести и смрти. Такође могућа су и обољења (промрзине, рововско стопало,...) [2]

3. Термичко окружење – радна способност

Тачно предвиђање ефеката окружења на радне способности при специфичним и стварним задацима је врло тешко. Ово је скопчано са специфичностима радних задатака.. Прво је потребно поделити задатак на металне и мануелне компоненте. Ефекти окружења на сличне менталне задатке могу се одредити из претходних истраживања. Значајани параметри су физиолошки, које треба такође узети у обзир као што су пажња и мотивација, ако и остали фактори који утичу на степен аклиматизације особе на средину. Нешто топлија окружења могу да имају успављујуће дејство нарочито на задатке који захтевају опрезност. Хладно окружење може да доведе до повређивања и смањења способности и вештина.

У данашњем радном окружењу, могу битне значајне варијације у појединачним приоритетима удобности због разлике у одевености и нивоу активности. У погледу одевености, ако особа смањи ниво одевености од пословног одела ($Cl_o=0,9$), до одевености са панталонама и кратким кошуљама ($Cl_o=0,5$), температура просторије може бити повећана до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а да се особа осећа угодно. [2]

Активност- управљање возилом	Брзина метаболизма
	МЕТ
Возило	1.5
Мотоцикл	2.0
Теретно возило	3.2
Управљање авионом	1.4
Приземљење авионом	1.8

Табела 1- Брзина метаболизма за различите степене активности [2]

4. Термички комфор у унутрашњости аутомобила

Путнички простор у аутомобилу се греје током зимских месеци циркулисањем загрејане расхладне течности кроз топлотни размењивач и на тај начин загрева ваздух у кабини. Систем за грејање је конципиран тако да функционише заједно са системом за вентилацију. Са интензивним захтевима за смањењем димензија мотора, смањењем потрошње горива постоји тежња за пројектовањем ефикасног HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) система код возила, како би се обезбедио термички комфор у екстремним условима као што су зимски или летњи период. Аутомобил представља врло специфичан термички систем због великих стаклених површина и ефекта стаклене баште, што је са једне стране лоше за термичку удобност путника, а са друге стране доводи до повећане потрошње горива.



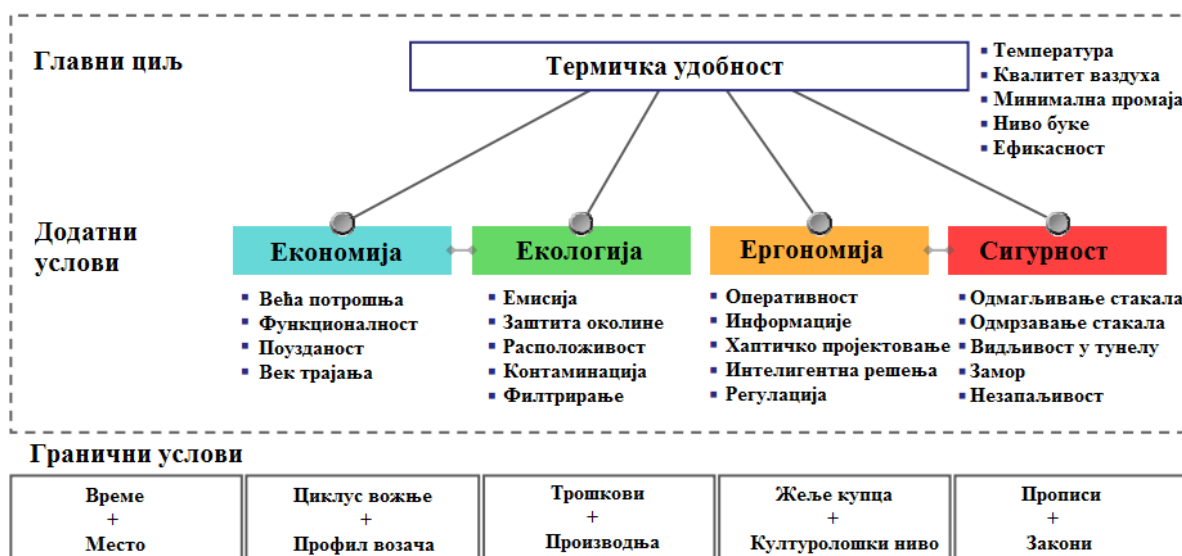
Слика 1 – Термички систем возила [2]

У зимском периоду, при нарочито ниским температурама, возилу је потребно извесно време да се постигне стање стабилне термичке равнотеже. Током овог периода постоји и проблем неуниформности услова средине за различите делове тела путника. Ту је изражено хлађење делова тела који су у контакту са хладним седиштем, точком управљача, као и од положаја командне табле и регистрима за довод ваздуха. Док ваздух не стигне до кабине његова температура и влажност се драстично мењају, што много утиче на удобност путника.

Иако возило има мање димензије од собе или канцеларије, има веће температурне промене. Многи аутомобили имају HVAC (Heat Ventilation Air Conditioning) системе. Овај систем се суочава са компликованим тродимензионалним нестабилним турбулентним струјањем и променама у унутрашњости возила. На струју проветравања може да делује више параметара као што су облик и положај отвора за вентилацију, брзина струје ваздуха, удаљеност од путника итд.

Основни захтеви климатског комфора у возилу су:

- грејање/хлађење,
- спречавање појаве промаје,
- спречавање магљења и смрзавања стакала,
- климатизовање седишта,
- спречавање мириса, филтрирање ваздуха и регулисање влажности. [2]



Слика 2 –Захтеви које треба да испуни возило са сановишта термичке удобности [2]

Контрола климе обухвата постојање сензора за влажност ваздуха како би се извршила контрола климатских параметара у кабини возила са једне стране и са друге да се смањи што је могуће више потрошња горива. Потребно је да поједине команде система HVAC буду једноставне и лаке за разумевање и употребу.

Захтеви од ситема за проветравање:

- правилно интегрисање водова за вентилацију на командној табли,
- побољшане технике кондиционирања ваздуха (филтри за полен, прашину, антибактеријско филтрирање, овлаживање ваздуха),
- различите климатске зоне (под и кров возила).

Систем HVAC треба да омогући још и што ниже нивое буке (компресор), коришћење “Ozon friendly” расхладне течности, као и вентилирање седишта, уградња додатних грејача за предгревање, односно хлађење (parking cooling) итд.

Искусни путници траже од произвођача да се смањи ниво буке. Бука настала због грејања, вентилације и климатизације (HVAC) систем постаје мета за боље акустичке перформансе. HVAC систем је сложен, састоји од дуваљке и мешања јединице у комбинацији са многим каналима кроз које ваздух се транспортује на разним локацијама, укључујући и лице и ноге предњих и задњих путника, као и ветробранско стакло и бочне стаклене површине. Вентилатор мора да обезбеди довољно притиска глави да се постигне жељени проток ваздуха за сваку поставку топлотне удобности. Бука је генерисана услед ротације вентилатора, а од турбулентног струјања ваздуха у јединици за мешање, кроз покретање кроз канала, и изласка (вентилационих отвора). Код пројектовања HVAC система тешко је предвидети да ли ће циљеви бити испуњени по питању буке, и да се постигне мултидисциплинарна оптимизација перформанси. Компромиси између проток, топлотне и акустичке перформансе могу довести касније до промене у дизајну или деградираног путничког комфора.

Поред затева које треба да задовољи систем HVAC, посебна пажња се обраћа на истраживање и пројектовање седишта како би се задовољили услови термичке удобности, Термички удобно седиште треба буде неутралан ефекат на човечије тело, да не блокира пренос топлоте или да не спречава одвођење влажности који генерише тело. Зато се посебна пажња обраћа на систем грејања, хлађења и вентилирања седишта у склопу целокупног система HVAC возила. Обзиром да је тело у директном контакту са седиштем преко одеће неопходно је за седиште изабрати одговарајуће материјале који омогућују стабилан термички систем човек-седиште. [2]

5. Показатељи термичке удобности

Термичка удобност возила је веома сложена и не може се оценити само преко једног показатеља. Да би се адекватно описала удобност возила користи се велики број показатеља.

Могу се поделити у три групе:

Емпиријски индикатори су они који су добијени експерименталним путем. Испитаници су излагани различитим термичким оптерећењима и њихови одзиви су снимани. Резултати се могу користити и за формирање модела и за предвиђање одзива човека. Пример је WTG (Wet Globe Temperature). Састоји се из влажне кугле у чијем центру је термометар. Кугла реагује на термичку радијацију и температуру ваздуха и зато што ће брзина испаравања влаге (и хлађења) зависити од релативне влажности и брзине ваздуха. Изведени индикатор не даје увек тачан одзив човечијег тела на задато термичко окружење, али може да да неке смернице.

Термички манекени су модели човека који се користе за одређивање термичких карактеристика одевености, као и да се преко њих анализира пренос топлоте кроз човечије тело, што се такође може узети у обзир као термички индекс. Еквивалентни температурски индекс обухвата температуре које се јављају на манекенима, како би се оценио термички комфор у возилу.

Рационални индикатори су изведени из математичких модела како би описали понашање човечијег тела у термичком окружењу. Ако тело остаје при приближно сталној температури, онда, просечно топлотни губици тела морају бити једнаки топлотним добицима тела. Ово је познато као топлотна равнотежа и користи се као полазна тачка за дефинисање једначине топлотне равнотеже:

$$M - W = E + R + C + K + S$$

где су:

M - енергија произведена метаболичким процесима у организму,

W - енергија потребна за реализовање физичког рада,

E - топлотни губици испаравањем,

R - губици радијацијом,

C - губици конвекцијом,

K - топлотни губици кондукцијом и

S - је акумуларана енергија. [2]

Одређивање практичних начина на које се топлота размењује између човечијег тела и окружења, једначине се могу одредити на основу преноса топлоте одређене из параметара измерених у физичком окружењу (температура ваздуха, влажност, итд.). Број показатеља који се могу одредити, на основу акумулиране енергије током времена или испаравања неопходног за топлотну равнотежу.

Модел за оцену термичког окружења су превазишли термичке показатеље и развили до оних за представљање термичких карактеристика човечијег тела (сало, мишићи, кожа, крв, труп, рамена, шаке, ноге, стопала, итд) са моделима терморегулације човечијег тела и преноса топлоте у математичком облику. Компјутерска симулација физиолошког одзива на било какво окружење може се такође урадити. Предвиђање физиолошких одзива може бити у релацији са ефектима окружења на здравље, комфор и радне способности. [3]

Практичан приступ оцени ефеката топлотног стреса на раднике је дат примером простог модела који се користи код “World Health Organisation” (WHO, 1969). Две области дефинисане као зоне преко којих човечије тело може да одржава топлотну равнотежу под одређеним оптерећењем (услед знојења, итд.) и зоне где се топлотна равнотежа не може одржати и онда унутрашња температура расте. Једноставна метода за оцену окружења требало би да се користи као изведен показатељ на пример ISO 7243 (1995) омогућује ограничене вредности термичког окружења на основу индекса *wet bulb globe temperature* (WBGT). Границе су дефинисане на основу броја брзине рада аклиматизованих и неаклиматизованих особа. Детаљнија оцена може се обезбедити једначинама топлотне равнотеже. У оквиру дефинисаних зона испаравање се захтева како би се одржала топлотна равнотежа и мера је термичког оптерећења тела и индекс оптерећења заједно са граничним вредностима. Граничне вредности су обично засноване на количини знојења које даје тело, количини воде коју тело може да изгуби а да не дехидрира и количини задржане топлоте (и дакле максимално повишење унутрашње температуре).

У дефинсаним зонама окружења топлотна равнотежа се не може одржати и самим тим се израчунава дозвољено време излагања, уобичајно засновано на максимално дозвољеном повећању унутрашње температуре тела. Ако унутрашња температура тела расте изнад прихватљивих граница психички замор може да се јави и смрт може врло брзо да наступи. Максимална унутрашња температура од 38 °C се често користи као граница за радна окружења. Смрт наступа ако је унутрашња температура 42 °C. Такође треба истаћи да термички стрес може изазвати бројна оштећења у организму човека.

Једноставан показатељ је индекс дрхтања услед ветра *The Wind Chill Index* (WCI) који се може користити да узме у обзир ефекат температуре и брзине ваздуха. Добијена вредност се користи као гранична вредност. Искуство у коришћењу WCI говори да се он може користити у неким веома хладним зградама. Може се применити, на пример, у расхладним коморама. Оптрећење човечијег тела може се квантификовати али се мора и узети у обзир и степен одевености. Ако је одевеност нижа од захтеване, унутрашња температура ће пасти испод дозвољених граница и дозвољено време излагања се може срачунати у функцији максималног пада унутрашње температуре.

Практичан приступ оцени термичког окружења даје ISO 7730. Показатељ PMV (*Predicted Mean Vote*) предвиђа средњу вредност на скали термичке остељивости велике групе субјеката у соби.

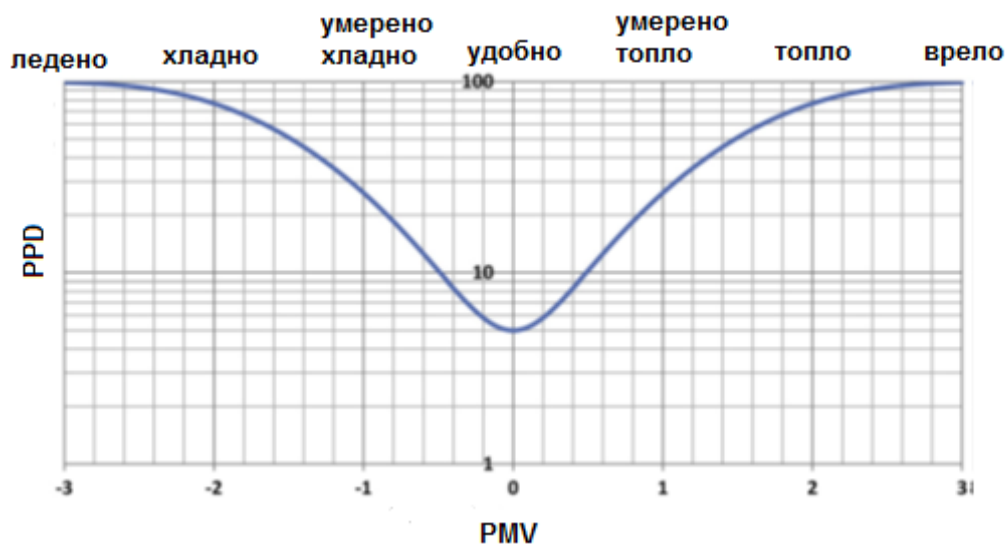
Скала се креће од -3- (вруће) преко 0 (неутрално - мера удобности) до +3 (ледено).

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-2	-3
Осећај	врело	топло	умерено топло		Неутрално		умерено свеже	свеже	Хладно
PPD,%	90	75	25	10	5	10	25	75	90

Табела 2- Термичка удобност према ISO 7730 [2]

Стандард ISO 7730 препоручује да PMV индекс буде у границама - 0.5 ÷ + 0.5. Уколико се препоручене границе промене до 10% окружење је термички неудобно. Индивидуалне разлике се узимају у обзир коришћењем методе предвиђања процента неслагања “*Predicting the Percentage Dissatisfied*” (PTRD) са околином као функцијом PMV. Показатељ PMV је широко примењен метод за оцену термичког комфора. И у најбољим условима увек постоји 5% незадовољних особа. [4]

Постоје бројни други показатељи термичког комфора као што је *стандардна ефективна температура* (standard effective temperature) SET, изведена у САД (Nishi and Gagge, 1977). SET је сложен показатељ који се може користити и код топлих и хладних оптерећења као мера термичког комфора. Показатељ PMV је усвојен као стандардни метод за оцену термичког комфора (ISO 7730, 1994).



Слика 3- Однос вредности индекса и предпостављени проценат незадовољних [3]

6.Индекси термичке удобности

На термичку удобност утиче неколико величина. Оне нису хомогене и долази до проблема међусобне корелације због различитости у димензијама, физичком значењу и утицајном нивоу на термичку удобност. То су:

- општа термичка равнотежа тела (I_E),
- неугодност изазвана струјањем ваздуха (промајом) (I_G),
- вертикални градијент температуре (I_{VT}) и
- хоризонтални градијент температуре (I_{LT}).

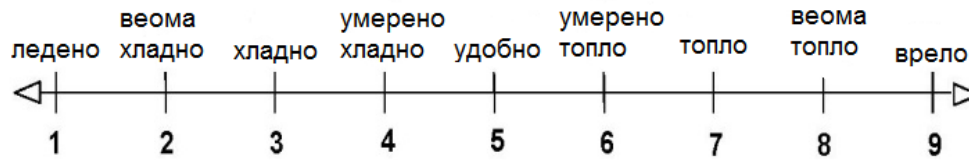
Сваки индекс се вреднује на скали од 0 до 10. Да би се утврдио појединачни допринос сваког индекса понаособ узета су два услова:

- оптимални ниво термичке удобности $I=10$ и
- задовољавајући ниво термичке удобности $I=6$.

Општи облик индекса термичке удобности (I_T) добија се као средња вредност одређене вредности сваког индекса појединачно по експоненцијалном закону.

$$I_T = (K_1 I_E + K_2 I_G + K_3 I_{VT} + K_4 I_{LT}) / 4$$

где су: K_i – тежински фактори, одређени на основу искустава са другим возилима и добијени на основу корелације између термичке удобности и доприноса појединачног параметара. Тежински фактори се могу мењати за различита стања и врсте возила, што је погодно за анализирање различитих радних услова. [2]



Слика 5- ОЕМ скала термичке удобности [1]

У стварности коефицијент преноса топлоте конвекцијом у хомогеној микроклими зависи од разлике између површинске температуре и ЕНТ-а.

Еквивалентна хомогена температура (ЕНТ) је погодан параметар за оцену термичке удобности. Обухвата пренету топлоту конвекцијом и зрачењем кроз реалну средину. ЕНТ температура се одређује према обрасцу:

$$t_{eq} = t_s - \frac{Q}{h_{cal}}$$

где су:

t_s - температура површина,

Q -количина топлоте пренета конвекцијом и зрачењем,

h_{cal} - коефицијент преноса топлоте. [2]

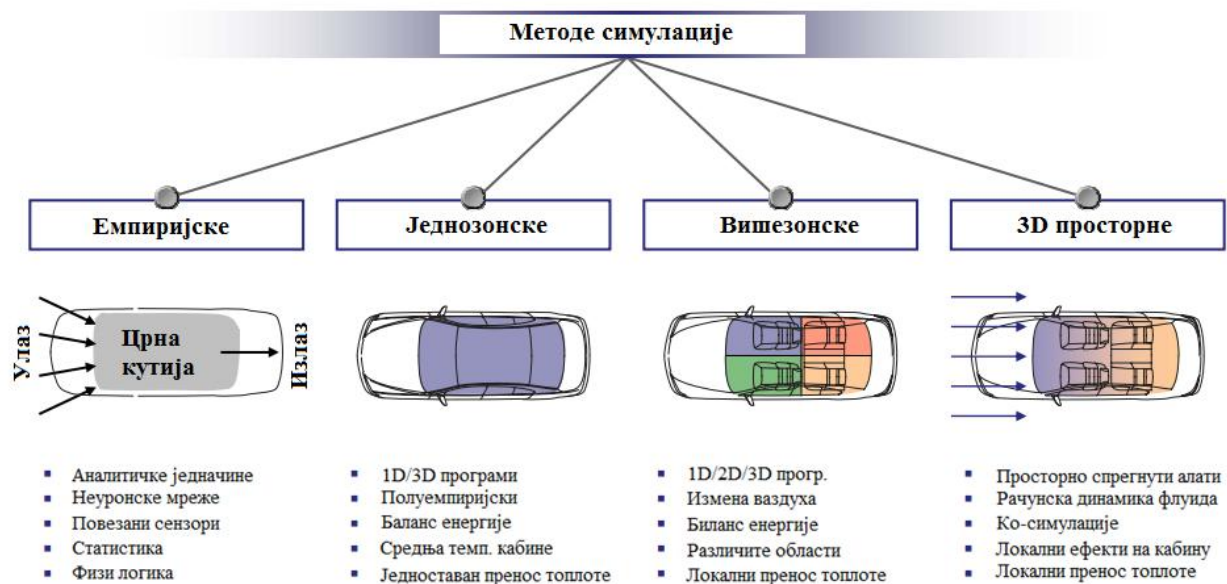
У стандардима ЕНТ је једнолика температура у замишљеном затвореном простору при чему је брзина струјања ваздуха једнака нули. Лице би разменило исту величину суве топлоте и путем зрачења и путем конвекције када би се налазило у реалној неједнакој средини. Дакле, човечије тело је изложено двема различитим срединама. У условима неједнолике и униформне климе. Предпоставка је да је ниво одевености, активности и положај тела идентичан у обе средине па је размена суве топлоте из човечијег тела иста у оба случаја. ЕНТ представља физичку величину која интегрише независне ефекте као што су температура ваздуха, брзина струјања ваздуха, средње зрачење и губитак топлоте из тела под утицајем сунчевог зрачења. Однос између ЕНТ и термичке микроклиме у окружењу најбоље се описује топлотним осећајем целокупног тела.

Уколико не постоје подаци о ЕНТ целог тела, онда се користе подаци о измереном топлотном флуксу за поједине сегменте тела и то:

- еквивалентна температура целог тела,
- еквивалентна температура сегмената,
- једносмерна еквивалентна температура и
- вишесмерна еквивалентна температура. [2]

7. Виртуелна оцена термичке удобности возила

Виртуелна оцена термичког комфора је погодна за оцену термичког оптерећења у кабини возила. Оваква врста симулације омогућује брзу оцену различитих параметара термичког комфора још у раној фази развоја возила. Тродимензионална термичка анализа узима у обзир геометријску конфигурацију путничког простора, укључујући и застакљене површине и подешене физичке и термичке карактеристике. Тачна предвиђања протока ваздуха и расподелу температуре у путничком простору су од примарног значаја код моделирања. Применом виртуелне оцене термичког комфора могу се развити различите контролне стратегије још у раној фази развоја возила, што знатно скраћује време развоја новог модела и снижава трошкове. [2]



Слика 6 – Методe симулације термичког окружења возила и оцене термичке удобности [2]

Методe симулације термичког окружења и методe за оцену термичне удобности возила могу посматрати кабину возила као: црну кутију и притом користити емпиријске методe прорачуна, једну зону, вишезонски простор и просторно спрегнуто тродимензионално окружење.

Методe	Предности	Недостаци
Емпиријске	Изузетно брзо време одзива, добро за грубе прорачуне, главна употреба клима, једноставне формуле, пренети на друге апликације.	Обично само за одређену сврху, даље подешавање за сваки модел, једини резултат вредности-не шарене слике, смањен узорак простора, занемарен локални ефекат.
Једнозонске	Брз одзив/ кратко време моделирања, главна примена код параметарских анализа, добри за пројектовање концепта, општи интеграциони модели, нешто детаљнији алгоритми, добра контрола зависности.	Само средња температура, недовољна примена конвективних процеса, занемарени локални ефекти, 1D алати без сенки, понекад су неопходна подешавања, велики број улазних података.
Вишезонске	Прихватљиво време одзива, први локални ефекти, ближе реалности, прецизнија анализа преноса топлоте	Велики напор при моделирању, мала просторна резолуција, захтева ваздух курс између зона, понекад је потребно подешавање.
3D просторно спрегнуте	Екстремна локална резолуција, блиско реалним условима, највећа прецизност, обухваћени сви феномени, потребан мањи број улазних података.	Дуго време прорачуна, велики напор при моделирању, велике инвестиционе потребе (софтвер+ хардвер), могу само експерти да га користе, могућност грешака.

Табела 3 -Предности и недостаци методе симулација [2]

8. Модели путничког простора

Термичка удобност корисника возила је битан аспект у пројектовању возила. Како је заступљена тенденција примене све више стаклених површина, тежња је да се потрошња горива сведе на минимум, да се примењују мање ефикасне али за средину сигурне расхладне течности, да се смањи проток ваздуха и да кондензатор практично ради на празном ходу, постаје заиста изазов решити проблем климатизације путничког простора. Тако да је неопходно решавању овог проблема приступити још у раној фази развоја возила.

Предвиђање термичког комфора је веома сложено с обзиром на брзо транзијентно понашање хлађења после наглог загревања и неуниформно термичко окружење заједно са уско локализованом брзином струјања ваздуха и расподеле температуре, соларног флуksа и радијације топлотног флуksа унутрашњих површина. Алат за анализу расподеле температуре и брзине у путничком простору спрегнут је са предвиђањима термичке удобности може се користити у раној фази развоја возила.

Формирани модели обухватају и студију осетљивости ефеката различитих кабина возила, обухватајући :

- промене температуре,
- брзину струјања ваздуха,
- температуру ваздуха даха,
- соларни интензитет и
- соларни упадни угао. [2]

У окружењу као што је возило многи од ових параметара зависе једни од других и међусобни односи су веома сложени и нису у потпуности познати.

Геометрија путничког простора је кључни параметар који треба да буде познат како би се применила витруелна процена термичке удобности возила. Параметри у процесу пројектовања које је важно знати су: положај и димензије издувних канала система за кондиционирање ваздуха, угао нагиба возачког стакла, положај вентилатора и многи други фактори који се могу софверски лако мењати и усађивати са потенцијалним променама у процесу пројектовања. Када је једом формиран модел путничког простора, пројектовање и развој HVAC система је огроман. Генерисање мреже у поређењу са класичним методама рачунске динамике флуида драстично смањује време рачунања.

Моделирање кабине се врши из три корака:

Први корак- модел путничке кабине (кључни параметар дизајна):

- локација и величина А/С система,
- угао ветробранског стакла,
- положај и размештај водова и канала у возилу.

Други корак-соларно оптерећење:

- карактеристика стакала,
- нападног угла сунчевих зрака,
- спектра сунчевих зрака.

Трећи корак- термичко окружење путничке кабине

- CAD геометрија (уведена из GAMBITA)
- Примена једначина *Reynolds-average Navier-Stokes* [1]



Слика 7 – Шематски приказ виртуелне темичке удобности [2]

Сунчево зрачење које се преноси у путнички простор зависи од карактеристика стакла, упадног угла сунчевог зрачења и улазног сунчевог спектра. Апсорбција, провођење и рефлексивост стакла се мења и зависи од упадног угла сунчевих зрака и таласне дужине упадног сунчевог зрачења. Интезитет зрачења зависи од времена, датума, положаја и оријентације возила. Количина коју корисници возила апсорбују утиче на термичку удобност и нарочито зависи од степена одевености. За потребе валидног моделирања потребно је формирати базу различитих врста стакала која се користе у ауто индустрији.

Радациона топлота се измењује између испитаника и окружења. Током процеса хлађења и загревања возила радиационо топлотно оптерећење има исти утицај као температура ваздуха на термичку удобност корисника возила. Примена реалних 3D модела човека могу да се виде фактори између полигона који дефинишу испитаника и површине у унутрашњости возила. Укупан број полигона потребан за анализу рачунске динамике флуида унутрашњости возила је јако велики, па се велике површине ентеријера описују положајем, површином, температуром и емитансом. Оваква апроксимација показала се тачнија него Средња температура зрачења (Mean Radiant Temperature -MRT). Метода MRT је апроксимативна и прикладнија је за униформне термичке средине.

Тродимензионални модел за анализу процеса хлађења и загревања возила представља саставни део система за виртуелу оцену HVAC система. Термичко окружење може се срачунати директно на основу 3D анализе протока и термичке анализе. CAD модел унутрашњости се дели на коначне запремине и преко Навије-Стоксових једначина заједно са једначинама о одржању енергије могу се предводити протоци ваздуха, температура, влажност и њихова расподела око корисника. Да би се симулирало термичко окружење унутрашњости возила потребно је детаљно описати окружење око корисника: брзина струјања ваздуха, температура ваздуха радијационо оптерећење око делова тела према физиолошком моделу човека. Тродимензионална рачунска динамика флуида и физиолошка симулација човека описују пренос топлоте између кабине возила и корисника током термичких симулација. Како су термичке интеракције између корисника и окружења кабине релативно слабе, корисници у кабини значајно мењају токове струјања и на тај начин утичу на укупан проток и температуру ваздуха у кабини. [2]

Највећи изазов у HVAC систему јесте обухватити све физичке параметре, који адекватно описују микроклиму удобности.

Температура даха-температура сувог ваздуха образованог близу лица путника.

Средња температура зрачења MRT-униформна површинска температура у замишљеном затвореном простору у које би путници разменили својим зрачењем исту количину топлоте, као и у простору који је температурно неуједначен.

Брзина струјања ваздуха - вектор правца и односа просторне промене мале запремине ваздуха. За термичку удобност возила је значајан интензитет брзине струјања ваздуха. Користи се при прорачуну конвективног преноса топлоте.

Сунчево зрачење - зависи од особина стакла, нагнутости и дијапазона сунчевих зрака. Пренос и рефлексија стакла зависи од угла сунчевих зрака. Ниво утицаја сунчевог зрачења на кабину возила зависи од:

- својства стакала,
- упадног угла сунчевог зрака и
- спектра сунчевог зрачења.

Релативна влажност - однос парцијалног притиска водене паре и притиска засићене водене паре. [2]

Системи HVAC се пројектују тако да одржавају апсолутну влажност ваздуха око 0,012 или мање при притиску водене паре 1,910 kPa при стандардном ваздушном притиску и јутарњој температури 16,8 °C. У стандарду не постоји препорука за доњу границу влажности, али при ниској влажности ваздуха јављају се претерано исушивање коже, иритација слизокоже, сувоћа очију и појава статичког електрицитета. Повећана влажност ваздуха смањује опасност од прехладе.

Путници не осећају температуру ваздуха у кабини, већ имају осећај губитка топлоте из тела. Фактори који утичу на термичку удобност, утичу и на губитак топлоте из тела.

9. Модели човека у термичком окружењу

Белдинг је прво направио манекена без главе и руку од цеви и металних превлака. Манекен је имао унутрашњи грејач и вентилатор за прерасподелу топлоте. Године 1942. Белдинг је у сарадњи са Џенерал Електрик направио новог термичког манекена. На манекену су могле да се мењају површинске температуре шака и стопала независно од осталих делова тела. Неки од њих су коришћени и у процесима пројектовања HVAC система. Ово је био робусан и поуздан манекен па се користи и данас. Захтеви и потребе за већим бројем података и информација условили су развој термичких манекена са више сегмената независно контролисаних. Сви данашњи манекени имају преко 15 сегмената. Како би се смањили трошкови и тежине велики број манекена се израђују од алуминијума и пластике. Још један значајан сегмент је и примена техника дигиталне регулације. Ово омогућује флексибилније регулационе технике и прецизнија мерења.

Статички термички манекени у стојећем положају омогућују тестирање одевености. Манекени који имају зглобове су погодни за тестирања у седећем положају. Уколико су робусније конструкције и могу да се крећу користе се за анализе кретања. Многи од развијених манекена користе се за оцену карактеристика одевености. За истраживања карактеристика одеће за заштиту од хладне воде користе се специјални манекени.

Значајне карактеристике термичких манекена су:

- релевантна симулација размене топлоте човечијег тела у целини и појединих сегмената,
- мерења тродимензионалне размене топлоте,
- интеграција сувих губитака топлоте у реалним условима,
- објективне методе мерења изолационих карактеристика одеће,
- брзи, тачни и поновљиви процеси,
- cost-effective инструменти за компаративна мерења и развој производа,
- обезбеђивање вредности за предикционе моделе, моделе одевености, изолационе отпорности и отпорности испаравања, губитка топлоте. [2]

Термички манекени имају широку примену, користе се за решавање проблема путника у екстремним условима дуже време. Модели спадају у групу високе технологије они су вишенаменски, софистицирани и једноставни за коришћење. Постоје две главне области истраживања: одређивање топлотних карактеристика преко одеће и утицај топлотног окружења на тело човека.

Термички манекени су модели човека који се користе за одређивање термичких карактеристика одевености, као и да се преко њих анализира пренос топлоте кроз човечије тело, што се такође може узети у обзир као термички индекс. Еквивалентни температурни индекс обухвата температуре које се јављају на манекенима, како би се оценила термичка удобност у возилу.

Модели за оцену термичког окружења су превазишли термичке показатеље и развили до оних за представљање термичких карактеристика човечијег тела (сало, мишићи, кожа, крв, труп, рамена, шаке, ноге, стопала, итд.) са моделима терморегулације човечијег тела и преноса топлоте у математичком облику. Компјутерска симулација физиолошког одзива на било какво окружење може се такође урадити. Предвиђање физиолошких одзива може бити у релацији са ефектима окружења на здравље, удобност и радну способност. [2]

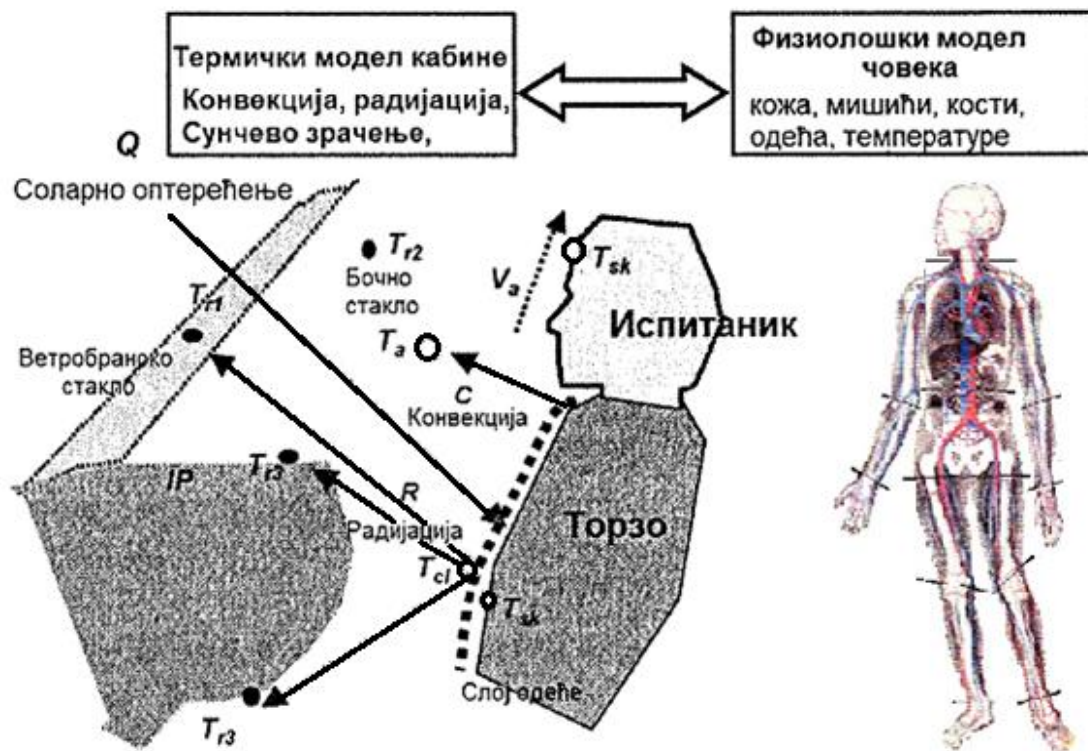
Главна поља примене термичких манекена су:

- оцена HVAC система,
- контрола и изградња зграда,
- контрола и конструкција возила,
- контрола и конструкција инкубатора,
- оцена квалитета унутрашњег ваздуха,
- симулација држања човека,
- испитивање термичких карактеристика,
- испитивање заштитне опреме,
- оцена изведене одевености,
- физиолошке симулације. [2]

Физиолошки модел човека може да симулира произвољан број сегмената тела. Посебна серија нодова која представља артерије и вене обезбеђује пренос топлоте конвекцијом између нодова ткива и броја откуцаја срца између артерија и вена. Човек остварује термичку регулацију тела преко крвног притиска, тако да је реалан модел крвног протока веома важан. Тело користи процесе скупљања и ширења крвних судова да регулише крвни притисак и на тај начин контролише температуру коже зависно од окружења.

Модели садрже и нод одевености како би се моделирале капацитивне топлоте и влажности одевености. Топлотни капацитет одела је важан јер се могу срачунати топлотни губици услед знојења. Ово је такође потребно због рачунања релативне влажности ваздуха.

Физиолошке карактеристике човечијег тела значајно се разликују између појединаца и ове разлике се односе на перцепцију термичке удобности. На пример, бржи метаболизам или вишак сала изазива осећај топлоте. Код моделирања најчешће се узима за летње услове степен одевености $Clo=0,5$ а за зимске услове $Clo=1,0$ и брзина метаболизма је 60 Wm^{-2} .



Слика 8 – Шематски приказ укупне топлотне равнотеже човечијег тела у спољњем простору и окружењу путничке кабине [1]

Човеково осећање термичке удобности је веома сложено и са физиолошког и са психолошког аспекта особе које се налази у одређеним условима. Еквивалентна хомогена температура је величина која се користи за описивање неуниформних окружења и даје границе термичке удобности. Код тродимензионалних термичких модела човека, еквивалентна хомогена температура се рачуна за све делове тела.

9.1. Модел одевености

Физиолошки модел човека-лутка се састоји од великог броја чворова у одећи, који могу дати квалитетне информације о простирању топлоте и капацитету влажности одеће. Простирање топлоте преко одеће је јако важно, ако се посматрају прелазна стања. Капацитет влажности одеће је јако важан због моделирања топлотних губитака услед испаравања. Приликом прорачуна количине топлотних губитака из тела, модел процене влажности користи повратни приступ. Тада се мора водити рачуна и о специфичности тканине у задатим условима релативне влажности. Топлотни капацитет је важан када се разматрају ефекти прелазног стања. Капацитет влажности има важну улогу како би се правилно одредили топлотни губици преко одеће услед испаравања тела. [2]

9.2. Физиолошки одговор тела на услове окружења

Веза између интензитета стимуланса и интензитета осетљивости човека може се описати једначином:

$$\Psi = K (\varphi - \varphi_0) a$$

где су:

K - зависна константа са скале стимуланса,

φ - ниво стимуланса,

φ_0 – подстрек стимуланса и

a – експонент који зависи од услова стимулације и приказа. [2]

Температура људског тела се одржава константном, успостављањем равнотеже између стварања и емитовања топлоте. У условима равнотежног стања, стварање топлоте ослања се на метаболизам и мора бити изједначено са топлотним флуksom површине тела ка спољној средини. Енергетски биланс човечијег тела се може представити помоћу првог принципа термодинамике. Своју примену наћи ће у стандардној путничкој кабини и то у облику:

$$M - C_{res} - E_{res} - C - R - S - E_D = \Delta$$

где су:

M – енергија метаболизма,

C_{res} - енергија емитована дисањем,

E_{res} - енергија емитована испаравањем дисања,

C – количина топлоте површине тела предата конвекцијом (са одеће),

R – топлота површине тела предата зрачењем (са одећом),

S – размењена топлота испаравањем,

E_D - енергија расута испаравањем путем коже (дифузија) и

Δ - енергетски дебаланс. [2]

Tsk-средња вредност термичке осетљивости

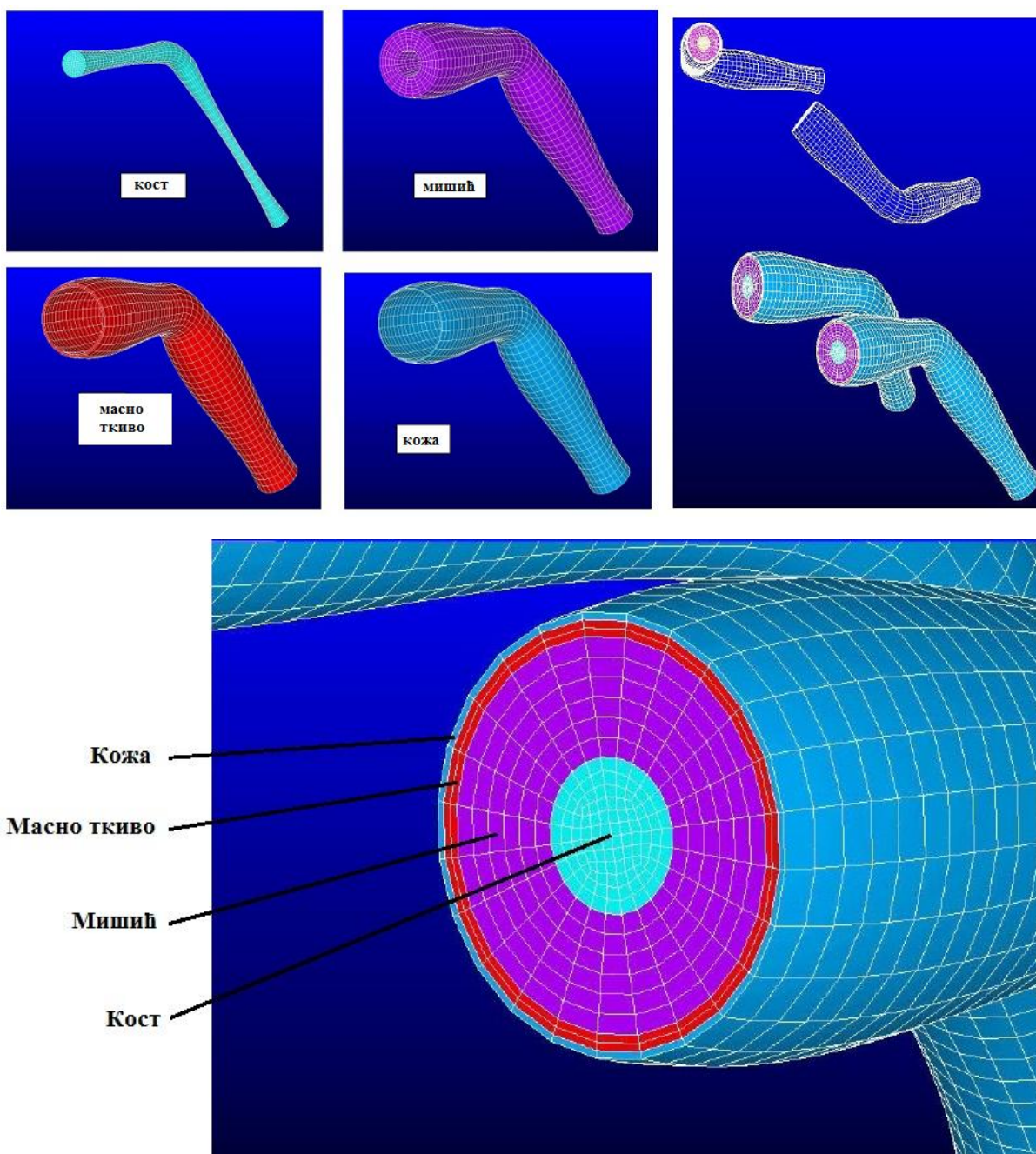
	Површина	Осетљивост на топлоту	Осетљивост на хладноћу	Tsk
Лице	0,07	0,21	0,19	0,20
Груди	0,09	0,10	0,08	0,09
Горњи део леђа	0,09	0,11	0,09	0,10
Стомак	0,18	0,17	0,12	0,145
Горњи део ногу	0,16	0,15	0,12	0,135
Доњи део ногу	0,16	0,08	0,15	0,115
Рамена	0,13	0,12	0,13	0,125
Горњи део руку	0,12	0,06	0,12	0,09
Укупно	1	1	1	1

Табела 4– Енергетски биланс људског тела [1]

9.3. Физиолошки модел човека за оцену термичке удобности

Приликом хлађења и загревања кабине, путници немају стварну перцепцију хладноће или топлоте. Ту функцију обављају терморецептори са својим сигналимa који се упућују ка мозгу. Терморецептори су сензори који сигнал о окружењу и утицају на човека обликују као форму термичког осећаја. Терморецептори се налазе у слојевима коже, на просечној дубини од 0,15 mm до 0,17 mm за хладно и 0,3 mm до 0,6 mm за топло. Физиолошки модел човека може изводити симулацију са произвољним бројем сегмената тела. Сваки од ових сегмената се састоји од 4 слоја (кост, мишић, сало и кожно ткиво) и слоја одеће, *слика 9*. [6]

Посебне линије чворишта представљају артерије и вене које обезбеђују конвекцијски пренос топлоте између сегмената и ткивних чворова. У супротном смеру, обезбеђује се размена топлоте између артерија и вена. Топлотну равнотежу, човечије тело углавном постиже регулацијом протока крви. Зато је важно направити што реалнији модел протока, јер он представља важан чинилац у динамичком моделу термичке удобности. Да би се регулисала расподела крви ка површинским деловима тела, тело користи принцип сужења и ширења крвних судова. Тиме се смањују или повећавају топлотни губици у окружење, односно регулише температура коже. У моделу вене и артерије су упарене, чак и до врло малих чворишта, а вене су задужене да преносе топлоту из артерија и назад у тело. Модел је тако направљен да је у могућности да предвиди температуру језгра и екстремитета са прихватљивом тачношћу, у зависности од услова окружења. [2]



Слика 9 – Физиолошки термички модел човека [6]

10.Примери најчешће коришћених манекена и њихов развој

Број развијених манекена је у сталном порасту. У *табели 5.* приказани су само карактеристични манекени који су направили прекретницу у развоју термичких манекена. Сваки нови пример представља значајно побољшање у односу на претходни модел. Термички модели се не користе само за мерења топлотних губитака услед конвекције, кондукције и радијације. У топлим окружењима битан је процес регулисања топлотне равнотеже знојењем. Број манекена код којих је могуће симулирати процес знојења је све већи.

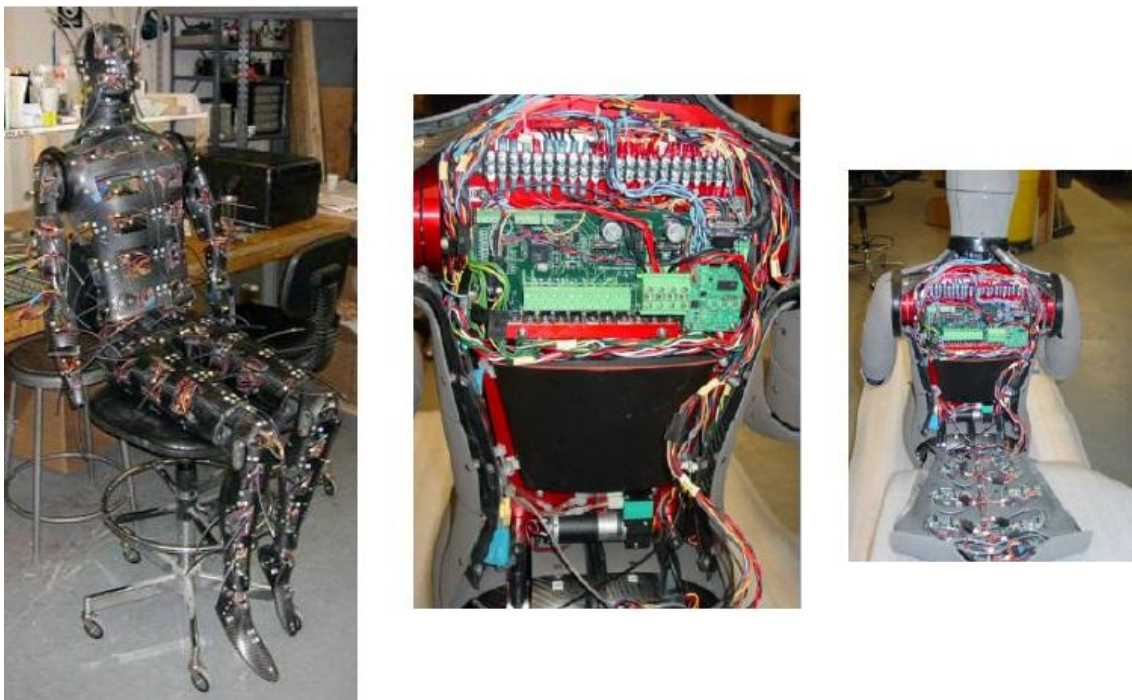
Број сегмената	Манекен	Материјал	Регулација	Положај	Земља, година
1-сегмент	SAM	бакар	анлогна	стојећи	САД, 1942
11-сегмената	ALMANKIN	алуминијум	анлогна	стојећи	УК, 1964
радијациони манекен	CEPAT400	алуминијум	анлогна	стојећи	Француска, 1972
16-сегмената	HENRIK2	пластика	анлогна	покретни	Данска, 1973
16-сегмената	CHARLIE	пластика	анлогна	покретни	Немачка, 1978
16-сегмената	SIBMAN	пластика	дигитална	седећи, стојећи	Шведска, 1980
19-сегмената	VOLTMAN	пластика	дигитална	седећи	Шведска, 1982
36-сегмената	ASSMAN, MANIKIN1	пластика	дигитална	седећи	Шведска, 1983
19-сегмената	TORE	пластика	дигитална	покретни	Шведска, 1984
7-сегмената	CLOUSSEAU	пластика	анлогна	стојећи	Шведска, 1987
манекен знојења	COPELIUS	пластика	дигитална	покретни	Финска, 1988
манекен жена	NILLE	пластика	удобност	покретни	Данска, 1989
33+3-сегмената	HEATMAN, MANIKIN2	пластика	мулти	седећи	Шведска, 1991
1-сегментни знојења	WALTER	тканина	вода	покретни	Хонг Конг, 1991
36-сегмената	HEATMAN	пластика	дигитална	покретни	Француска, 1995
манекен дисања	NILLE	пластика	мулти	покретни	Данска, 1996
манекен знојења	SAM	пластика	дигитална	покретни	Швајцарска, 2001
26-сегмената	TOM	бакар	дигитална	покретни	САД, 2003
126-сегмената	ADAM	композити	модел	покретни	САД, 2003

Табела 5 – Развој термичких манекена [2]

Физиолошки модел човека може да симулира произвољан број сегмената тела. Сваки део тела састоји се од четири слоја (сржи мишића, сала и ткива) и слоја одеће. Посебна серија нодова која представља артерије и вене обезбеђује пренос топлоте конвекцијом између нодова ткива и броја откуцаја срца између артерија и вена. Човек остварује термичку регулацију тела преко крвног притиска, тако да је реалан модел крвног протока веома важан. Тело користи процесе скупљања и ширења крвних судова да регулише крвни притисак и на тај начин контролиште температуру коже зависно од окружења. Модели садрже и нод одевености како би се моделирале капацитивне топлоте и влажности одевености. Топлотни капацитет одела је важан јер се могу срачунати топлотни губици услед знојења. Ово је такође је потребно због рачунања релативне влажности ваздуха. У скоро сваком окружењу човечије тело је у контакту са чврстим површинама и губи или добија топлоту кондукцијом. У возилу контакт са седиштем узима значајни део човечијег тела и мора се тачно унети у модел. [2]

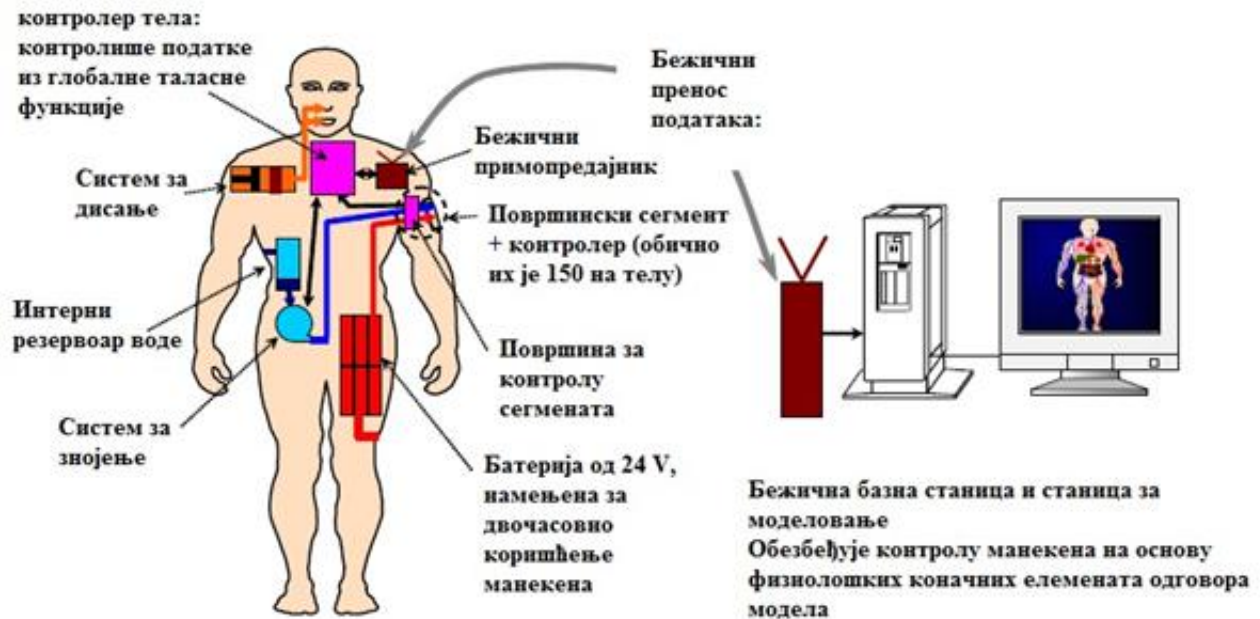
10.1.Манекен ADAM

Нови модели термичких манекена су развијени као погодни алати за оцену термичке удобности возила. Манекен ADAM (Advanced Automotive Manikin) има 126 сегмената са металним композитним облогама са независном контролом површинских температура и брзине знојења и мере транзијентног топлотног флукса, *слика 10*. Интерна ваздушна пумпа симулира дисање како би се добили реални токови ваздуха. Код ADAM -а спрегнути су нумерички модели за превиђање одзива терморегулације човека и опажене удобности. [2]



Слика 10 –Изглед лутке ADAM [7]

Пресек лутке ADAM и његова бежична повезаност са базном станицом приказан је на *слици 11*. Састоји се из контролера који контролише податке, система за дисање, резервоара са водом, система за знојење, бежичног примопредајника, батерије и великог броја сегмената. Спољашњи изглед ADAM - а приказан је на *слици 12*.



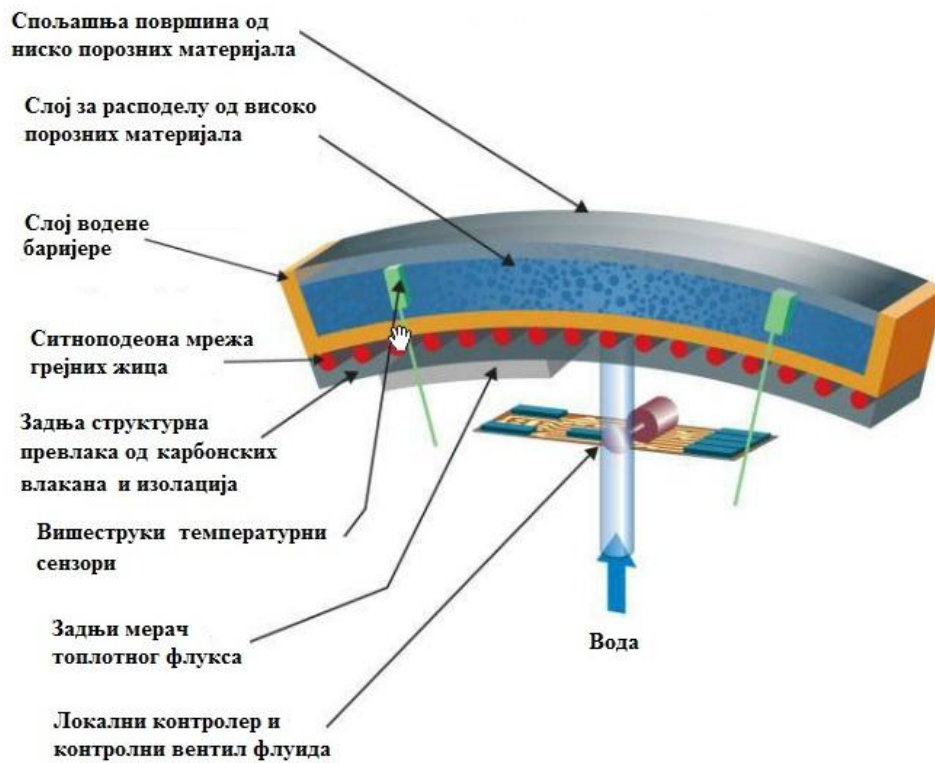
Слика 11 – Изгед пресека манекена ADAM и пренос података до станице [6]

Манекен ADAM контролише нумерички физиолошки модел. Како се температуре контролишу и управљају окружењем, резултујуће брзине преноса топлоте се преносе у физиолошки рачунски модел. Модел рачуна температуру коже и расподелу унутрашње температуре тела и брзину површинског знојења. Информација се враћа манекену, који генерише дефинисану температуру коже, брзину површинског знојења и брзину дисања. [2]

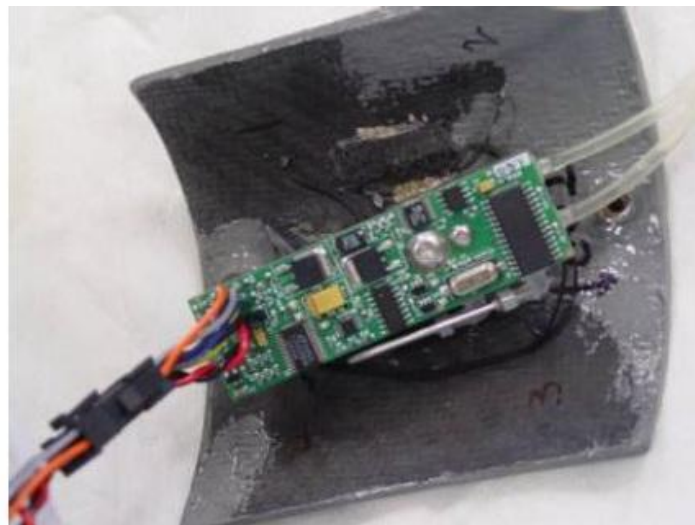


Слика 12 - Спољашњи изглед лутке ADAM [7]

Термички манекен ADAM намењен је за оцену термичке удобности човека. Основне компоненте су 120 појединачно контролираних површинских зона, чија је површина појединачно 120 cm^2 . Сваки сегмент (слика 13) је самостојећи уређај са интегрисаним грејачима, сензорима температуре, расподела знојења и оцене топлотног флукса и локални контролери за функционисање петљи. Површина знојења је сва метална конструкција оптимизована за униформно термичко окружење и брзину одзива. Температура коже сваке зоне се одређује преко термистора, најчешће 4 за сваку зону. Спољашњи и унутрашњи изглед сегмента лутке приказан је на слици 14. [7]



Слика 13 – Пресек сегмента термичког манекена [7]



Слика 14 – Спољашњи и унутрашњи сегмент лутке [7]

10.1.1. Карактеристике ADAM -а

Нормална брзина дисања која се састоји од удисаја и издисаја до 5 l/min. Систем може да дозволи континуалну брзину издисања приближно од 8 l/min.

Тежина: 61 kg, висина: 161 cm. Могућност облачења одеће због сложених процеса преноса топлоте радијацијом, испаравањем и кондукцијом.

Физиолошки модел

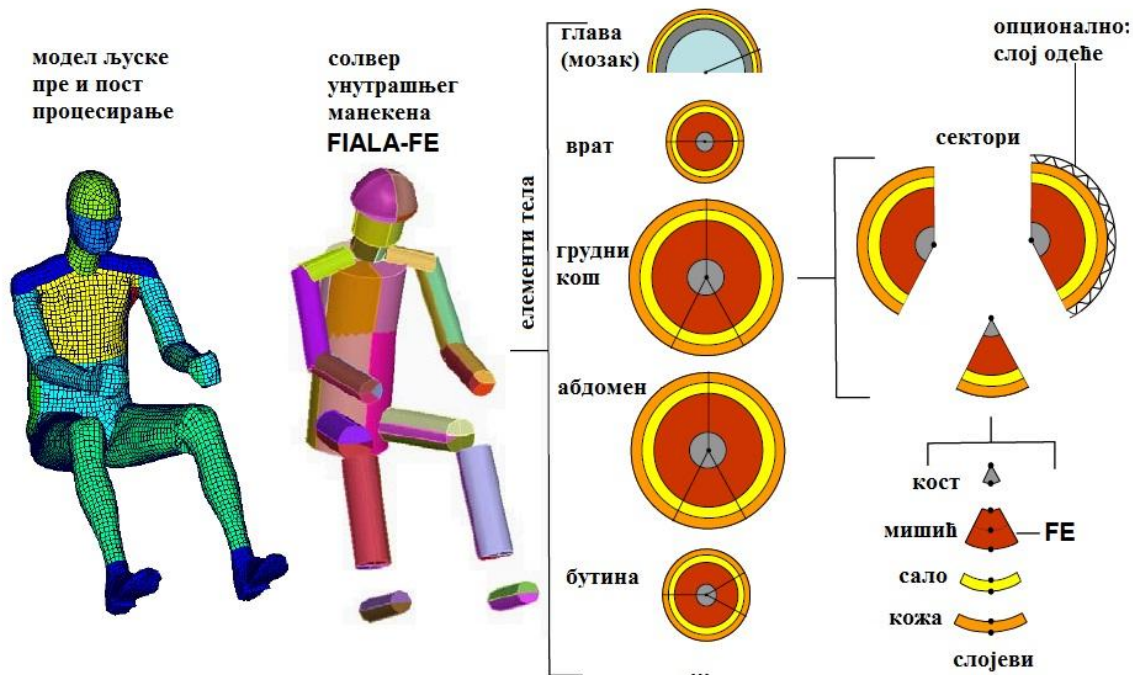
Тродимензионални модел човека развијен је како би се симулирали унутрашњи термички физиолошки системи и термолегулишући одзив као што је метаболичко генерисање топлоте. Модел је развијен помоћу програмског пакета ANSYS. Методом коначних елемената се рачуна пренос топлоте кондукцијом, конвекцијом и пренос масе крвотоком. Модел система ткива човека представља човечије тело и обухвата физиолошке и термичке карактеристике ткива. Руке и ноге су састављене од костију, мишића, масти и коже. Такође су узета у обзир и плућна, абдоминална и мождана ткива у зонама торза и главе. Модел рачуна пренос топлоте кондукцијом на основу температурног градијента између нодова ткива. Ток крви се моделира преко мреже доводних и повратних водова у свакој зони.

Физиолошки модел је изведен из сегмената који чине шака, подлактица, надлактица, стопало, потколеница и натколеница за леву и десну страну. Тело је изведено као торзо са вратом и главом. Сваки део се генерише појединачно и прекривен је артеријама и венама.

Главни крвни судови су преко капилара спојени са слојем коже. Терморегулациони систем модела контролише физиолошке одзиве као што је вазомоторна контрола, знојење, дрхтање и метаболичке промене. Крвни судови се скупљају и шире различитим брзинама у различитим зонама тела зависно од температуре коже и температуре језгра. Једначине скупљања и ширења судова засноване су на медицинским експериментима. Одзив знојењем је функција температуре коже и језгра као и бројних знојних жлезда у свакој зони. Са приближно 40000 нодова и елемената сложени модел даје детаљну слику расподеле температуре у телу. Физиолошки модел даље шаље и прима податке термичком манекену и даље их шаље моделу за оцену термичке удобности. [2]

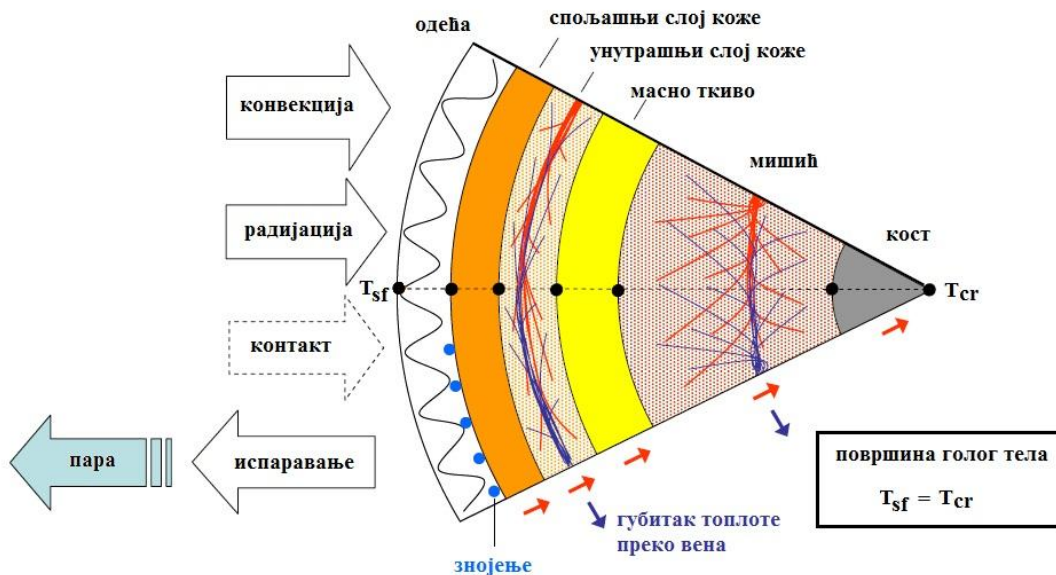
10.2. Манекен FIALA-FE

Прва верзија термичког манекена FIALA-FE је развијен 1998. године. Термички манекен FIALA-FE узима у обзир све физиолошке утицаје на човека који су објављени до прве верзије модела 1998. године. Са математичког становишта човечији организам се дели на два сегмента терморегулације: активни- контролни и пасивни- контролни систем. Активни систем симулиран је помоћу кибернетских модела за предвиђање регулаторних одзива: дрхтање, вазодилатација, вазоконстрикција и знојење. Пасивни систем је моделиран преко процеса топлоте између човека и контактних површина. Сегменти човечијег тела представљени су цилиндрима или сферама од којих се сваки сегмент састоји од коже, масног ткива, мишића и кости (слика 15).



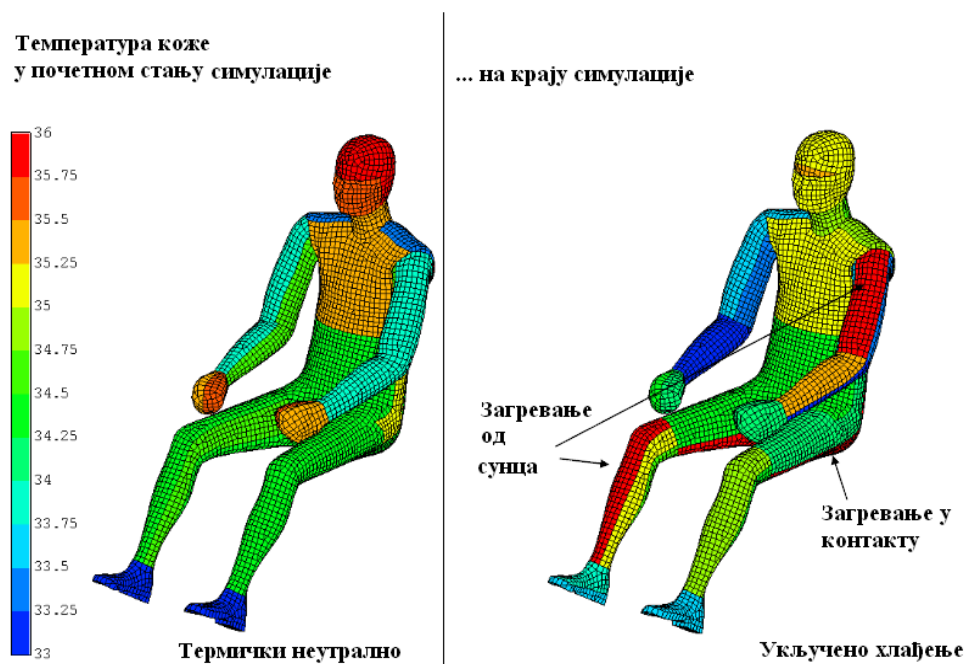
Слика 15 – Термофизиолошки модел *FIALA-FE* [8]

Новије верзије модела комбинују активни и пасивни систем у сложен модел који је верификован експерименталним истраживањима. Надградњом модела *FIALA-FE* настао је програмски пакет термичког окружења *THESEUS-FE* који омогућује корисницима да развију сопственог манекена са произвољним бројем сегмената, сектора и слојева. Тако се могу додати прсти, нос и уши. У транзијентним сегментним окружењима, манекен *FIALA-FE* је у спрези са окружењем преко конвекције, испаравања, радијације и контакта. Топлота добијена конвективном разменом између спољашњих површина манекена и околних ваздушних зона. Губици испаравањем са површине коже настају услед струјања ваздуха који подиже апсолутну влажност ваздуха са карактеристичним брзинама струјања ваздуха због знојења у топлотном окружењу.



Слика 16 –Гранични услови у топлотном окружењу [8]

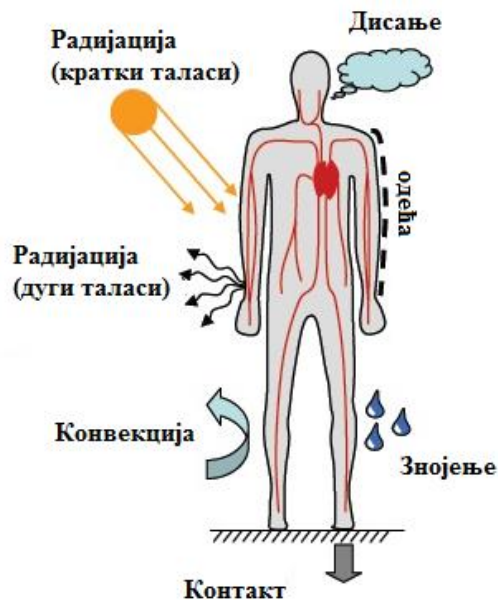
Модел FIALA-FE обухвата и оцену термичке удобности. Користе се: PVM индекс и динамички индекс топлотне осетљивости, DTS, док се ЕНТ одређује за сваки сегмент тела. Локална термичка удобност се предвиђа преко THESEUS-FE. Динамички индекс топлотне осетљивости, DTS је део постпроцесирања у THESEUS-FE, верификован експерименталним резултатима. Он је функција температура хипоталамуса, средње температуре коже и температурног градијента. На слици 17 је приказан модел FIALA-FE у току процесуирања термичке удобности.



Слика 17 – Изглед модела на почетку и крају симулације [8]

Манекен у возилу на пример може бити у потпуности спојен са околином, при чему се конвекција, зрачења и контакт са седиштем, као и испаравање, дисање и влажност, дешавају истовремено (слика 18). Изолацијски резултати од одеће треба да се доделе сваком делу тела. FIALA-FE комбинује пасивни и активни систем у сложени модел, како би се достигли потпуно тачни експериментални резултати. Проток крви кроз артерије преноси топлоту и загрева тело. У хладним срединама крвни судови се сужавају, што узрокује ограничен и успорен проток крви, смањење телесне топлоте, што изазива да се топлота пренесе на површину коже. У топлијим крајевима крвни судови се шире. Проток крви се повећава услед смањења васкуларног отпора и топлота се преноси на површину коже. Манекен FIALA-FE обезбеђује термална решења за реалне људске реакције. Високи квалитет симулација је доказан на великом броју примера, што показује добру усклађеност између измерених и симулираних температура коже.

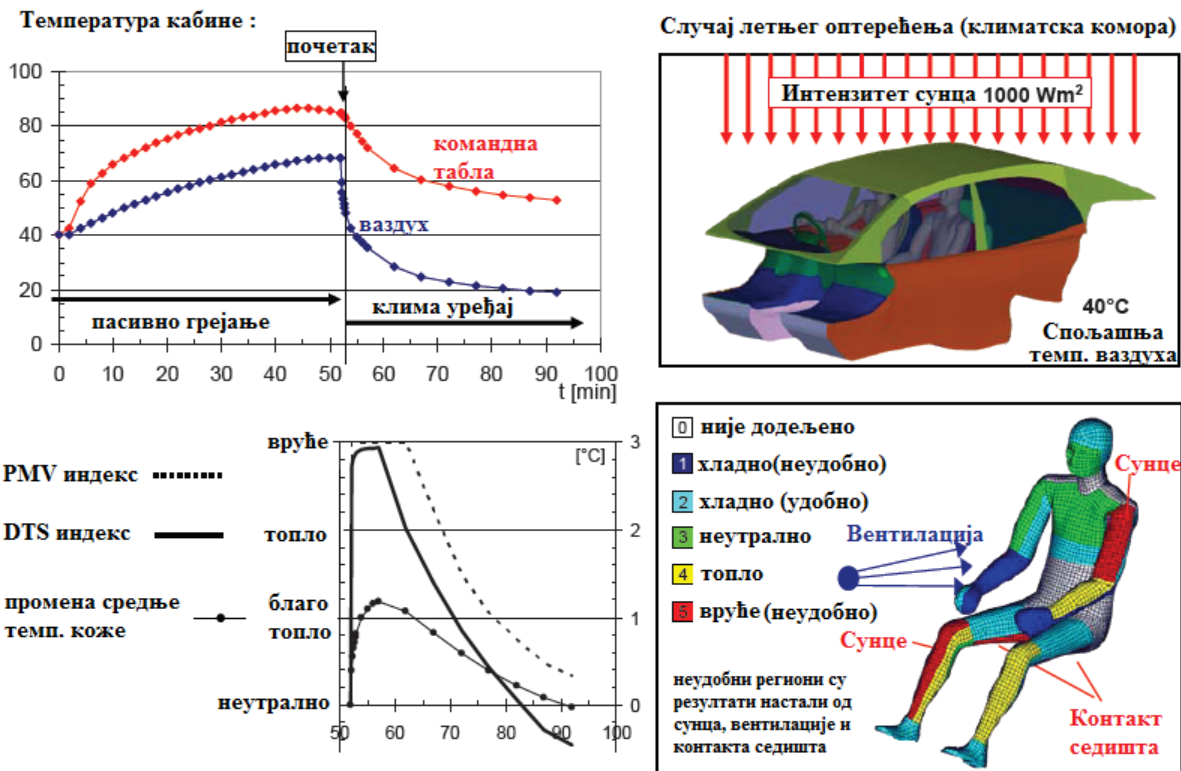
Глобални гранични услови:



Слика 18 - Топлотна расподела између човека и окружења [9]

Слика 19 показује пример аутомобилске симулације (студија летњих услова) када сунце загрева шкољку аутомобила са 1000 W/m^2 . Убрзани пораст унутрашње температуре претежно је проузрокован кратким таласима трансмисије кроз ветробранско стакло. Природна процес конвекције на командној табли онда загрева ваздух у кабини до 70°C , након око 50 минута. До тог тренутка симулација се одвија без манекена.

Онда манекен улази у кабину. Из тог разлога симулација се најпре зауставља и онда поново започиње са манекеном FIALA-FE који се ставља у претходно празну кабину. Иницијалне температуре манекена су оне из термалне неутралности. Све друге температуре сада почињу са коначним вредностима пасивног загревања и остварује се контакт. Температура коже расте са $34,4$ на $35,4^\circ\text{C}$.



Слика 19 - Термички комфор у кабини аутомобила [9]

Овај изненадни пад чини да се DTS индекс подигне до своје максималне вредности од +3 која представља „вруће“. PMV индекс узима у обзир стварне параметре граничних услова унутар кабине и приказује понашање прилично слично DTS -у. Коначно (након 90 минута) оба показатеља достижу неутралне услове. Температура коже коначно стиже на своју почетну вредност од 34,4 °C поново.

Са једне стране глобални индекси показују удобне термалне услове на крају симулације, док са друге стране локални модел удобности (заснован на EN ISO 14505-2) води ка потпуно другачијој процени. Различите граничне вредности топлотних услова примењене на различите делове људског тела изгледа да могу да буду непријатне у неким деловима. Док у глобалним моделима удобности регије превише топлог и регија превише хладног занемарују једна другу у целокупном балансу енергије.

Манекени ADAM и THESEUS-FE су сличне конструкције, тачније поседују исте елементе тела и крвне судове. Код THESEUS-FE постоји могућност локалног испитивања термичке удобности. А сами корисници могу да развију сопственог манекена, па могу да додају прсте, нос и уши. ADAM има бежични пренос података, подаци се обрађују и информације се враћају назад моделу, на тај начин се регулише сам модел. Док се код THESEUS-а само читавају добијене вредности.

10.3. Манекен ТОМ

Манекен ТОМ (Thermal Observation Manikins) је пројектован за примену у возилима у спрези са сензорима топлотног флуksа да би се одредило топлотно појачање када су изложени екстремним термичким условима. Преко овог физиолошког модела човека, добијају се подаци о топлотном флуksу, температури и снази. ТОМ је бакарне конструкције и поседује 26 сегмента.

10.4. Манекен CLOUSSEAU

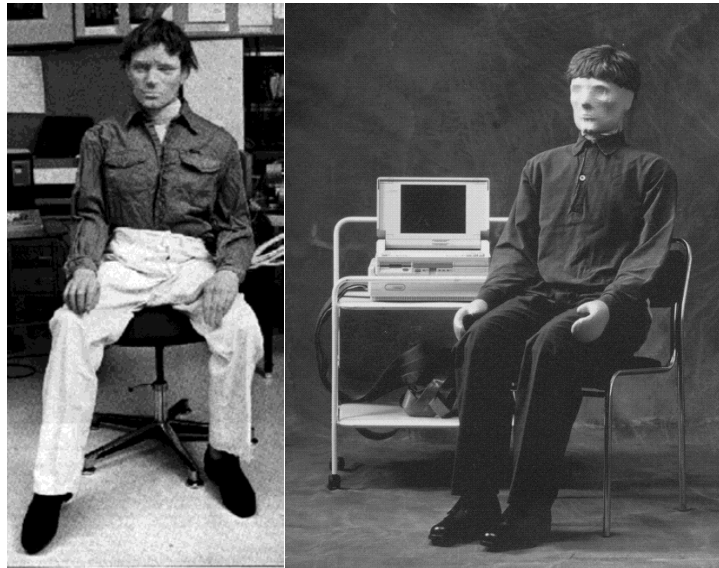
Интересовање за овим термичким манекеном почело је 1987. године. Буквалан превод је „једноставан топлотни манекен“. Поседује 7 сегмената. Улазна снага је контролисана помоћу неколико грамофона трансформатора. Користи се за утврђивање коефицијента преноса топлоте за различите делове људског тела.



Слика 20 - Манекен CLOUSSEAU [10]

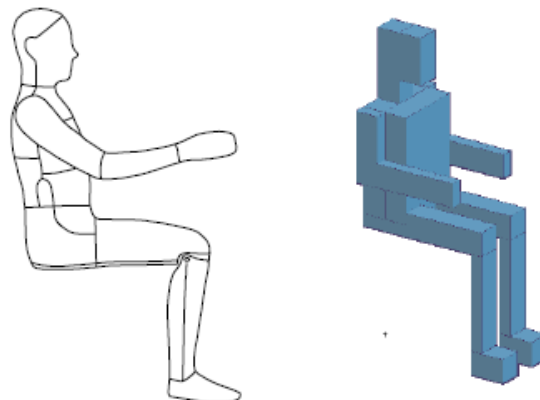
10.5. Манекени MANIKIN1, MANIKIN2 и MANIKIN3

За потребе испитивања термичке удобности настала су ова два незнатно различита манекена. MANIKIN1 из 1983.године и MANIKIN2 настао 1991.године. Оба манекена су у седећем положају, направљени од пластике. MANIKIN2 је комплетнији манекен, пружа детаљније информације о термо ефекту. Има могућност да повећа тежину, уметањем оловних тегова. Термо манекен мери губитак топлоте (потрошња енергије у року од 20 минута).



Слика 21 - *MANIKIN1* и *MANIKIN2*[10]

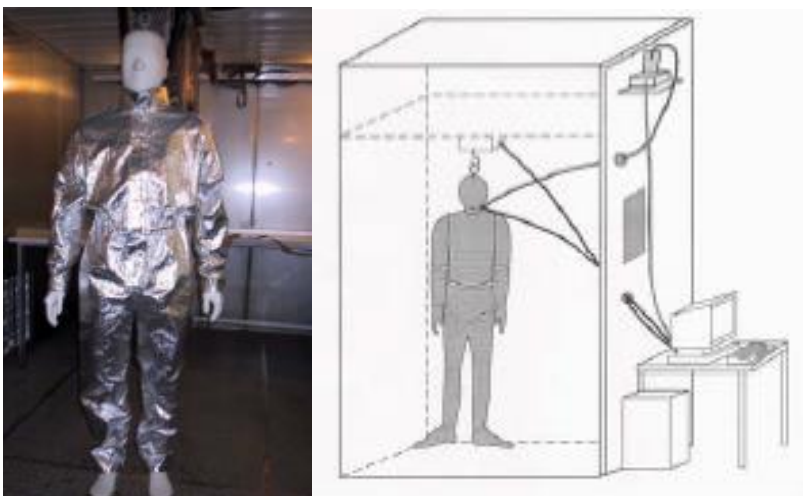
MANIKIN3 је виртуелни манекен, настао унутар рачунара. MANIKIN3 врши мерење у виртуелном свету пре или након стварања окружења. Виртуелни манекен је коцкастог облика и формиран је са (колико је то могуће) истим величинама, површином и бројем зона као реални MANIKIN2. Овај манекен нема детаље облика тела као претходна два манекена.



Слика 22 - Геомерија реалног (*MANIKIN2*) и виртуелног (*MANIKIN3*) манекена [10]

10.6. Манекен COPELIUS

COPELIUS или манекен знојења, користи се за мерење топлоте и преноса влаге кроз одећу у климатску комору. Површина лутке је подељена у 18 одвојених сегмената грејања, и 187 знојних жлезди се дистрибуирају преко површине (осим главе, руку и ногу, који су не зноје). Време тестирања је 60 минута сувог стања и 180 минута знојења.



Слика 23 - Термални манекен COPELIUS одевен са алуминијумским комбинезоном и шематски цртеж лутке у климатској комори [11]

10.7. Манекен WALTER

Манекен знојења се састоји од следећих подсистема:

- систем циркулације воде,
- систем за симулацију ,
- система за снабдевање водом,
- контрола и систем за мерење.

Висина	172 cm
Врат	45 cm
Обим груди	95 cm
Обим струка	89 cm
Обим кукова	100 cm
Површина	1,79 m ²

Табела 6— Димензије WALTER – а [11]

WALTER има следеће карактеристике:

- пренос влаге из утрбе манекена кроз милионе сићушних пора на кожи,
- WALTER симулира људску топлотну физиологију. Температурно језгро тела се контролише на 37 °C и регулација телесне температуре се постиже пумпом која снабдева топлом водом екстремитете из основног дела,
- губитак топлоте и испаравање воде из лутке се мери веома прецизно, потребан је само један корак да се измере важни параметри- топлотна изолација и отпорност на влагу паре,
- руке и ноге WALTER -а могу да се моторизују да симулирају кретање,
- знојење се може регулисати променом температуре коже или избором тканине различите пропустљивости,
- пошто се углавном састоји од воде, има сличну тежину и топлотни капацитет као људско тело, које је такође састављено углавном од воде. [11]



Слика 24 - Манекен WALTER [11]

10.8. Манекен TORE

Термални манекен TORE је направљена од пластике са металним оквиром унутра да придржава делове тела за зглобове. TORE је подељен на 17 појединачно контролисаних зона: глава, груди, леђа, стомак, задњица, лева и десна надлактица, лева и десна подлактица, лева и десна шака, лева и десна надколеница, лева и десна подколеница и лево и десно стопало. Поред тога, 3 пнеуматски температурна сензора постављена су на висинама од 0.1, 1.1 и 1.7 m од ђонова, који су повезани за систем. Рачунарски систем омогућава коришћење 3 режима мерења, а то су:

- константна температура,
- константан губитак топлоте и
- удобност .

Најчешће користи режим мерења константне температуре. Површинска температура свих зона се чува на 34 °C и губици топлоте (улазна снага) се евидентира у интервалима од 10 секунди. Ово омогућава брзу стабилизацију, читавање температуре и изолациону вредност одеће . Обично се подаци од последњих 10 минута користе за анализу.



Слика 25 - Манекен *TORE* [11]

11. Виртуелни модели возила за предвиђање и оцену термичке удобности

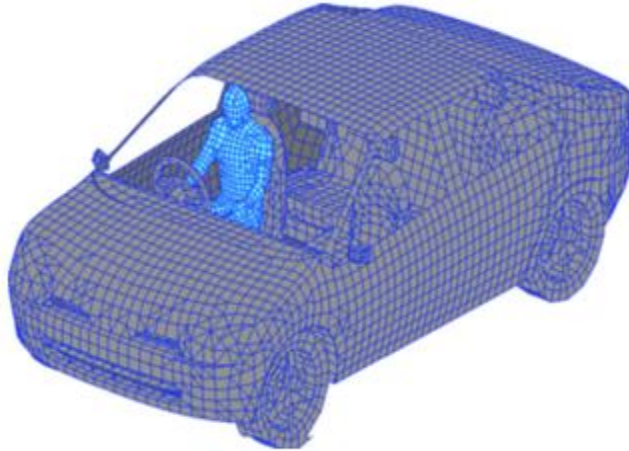
Предвиђање термичке удобности у возилу је веома комплексно, због краткотрајног прелазног стања, а после наглог снижења температуре услед апсорције топлоте из путничке кабине, један од утицаја је и неуједначено термичко окружење возила.

Брзина струјања ваздуха и његова температура представља моћан алат и добру основу за оцену могућег дизајна, још у раној фази процеса производње возила.

Термичка удобност путника је веома важан проблем у пројектовању возила. Дизајн аутомобила, сукоби и проблеми услед захтева за смањеном потрошњом горива, грејање и хлађење седишта, примена еколошких расхладних течности и смањење потребне снаге за рад компресора, представљају значајне изазове при постизању оптималне удобности путника.

Термички модели (манекени) за оцену термичке удобности возила користе се као интегрални део програмских пакета за анализу, тестирање и оцену примењених савремених HVAC система у возилима у реалним условима.

За термичку анализу возила могу се користити једнозапремински и више запремински модели, целокупна унутрашњост возила посматра је преко пет карактеристичних запремина, са специфичним температурним карактеристикама.



Слика 26- Шема лутке која је смештена унутар аутомобилске кабине [11]

Интегрисано моделирање возила обухвата:

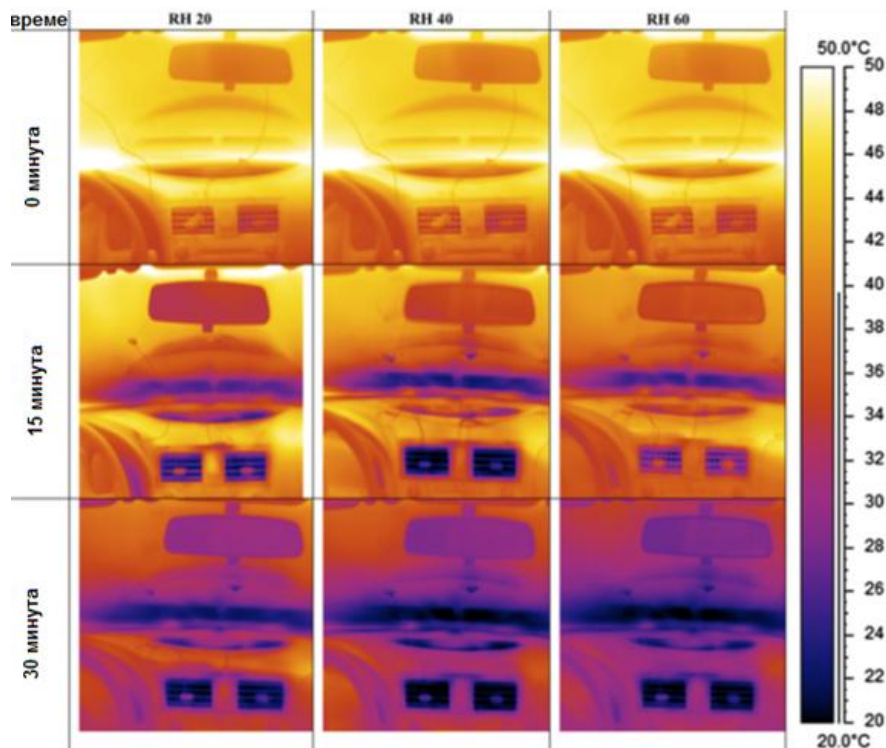
- CAD моделирање чиме се дефинише унутрашња геометрија возила и генерише мрежа за CFD анализе,
- модел застакљености рачуна соларно оптерећење возила на бази геометрије кабине, положаја возила извора сунчевог зрачења карактеристика стакала
- модел соларног зрачења даје податке о сунчевом зрачењу и рачуна спектар сунчеве ирадијације као функцију положаја возила,
- термички модел кабине обухвата проток ваздуха унутар кабине као и температуре површина, ваздуха и влажности,
- модел термичке удобности човека предвиђа психолошки и физиолошки одзив човека на транзијентно, неуниформно окружење
- транзијентни модел A/C система даје процену могућности смањења снаге компресора. [2]



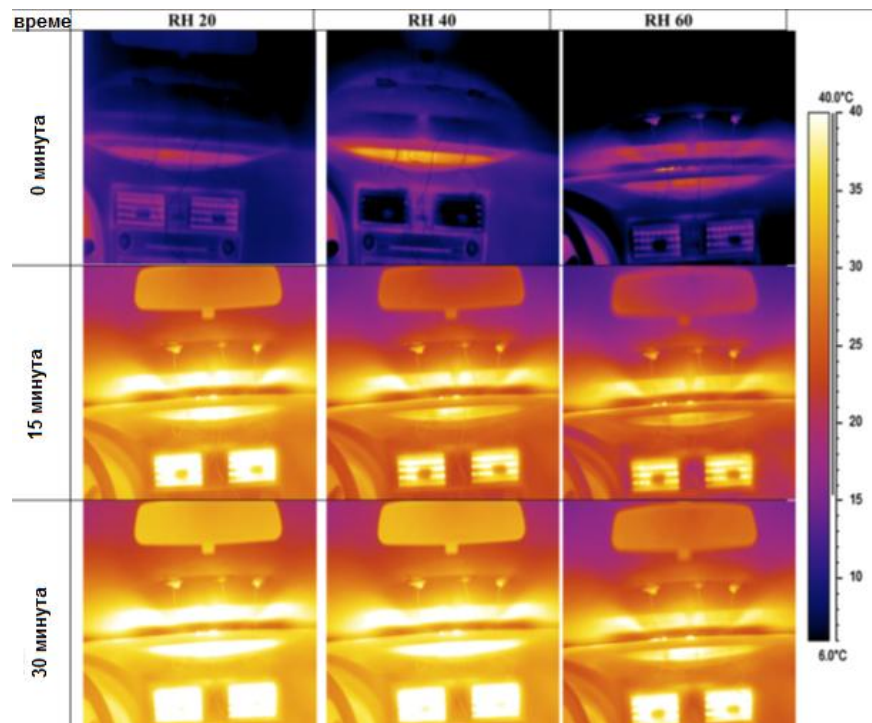
Слика 27- IR камера за мерење температуре лица возача [5]



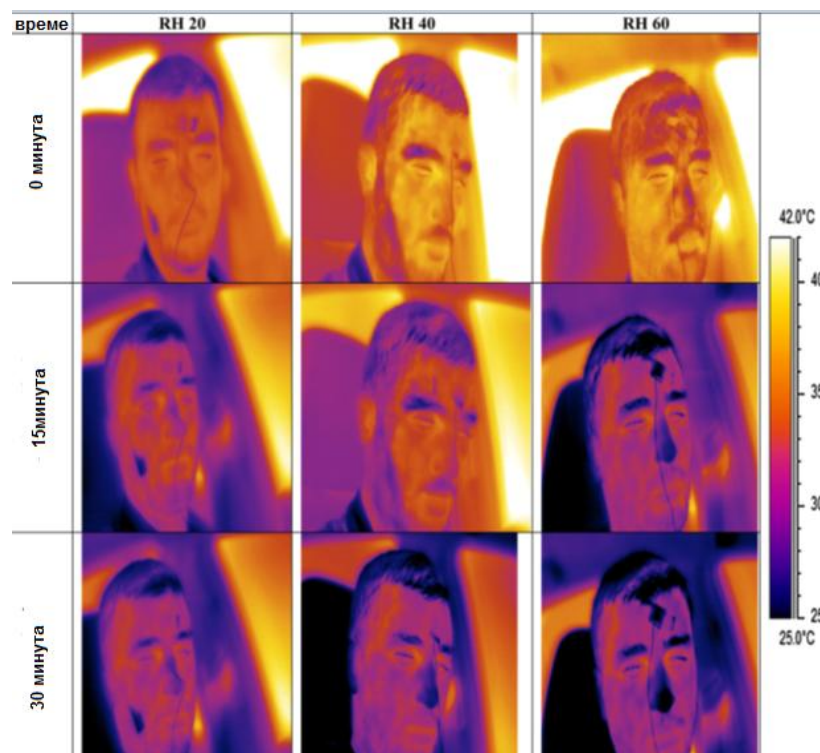
Слика28 - IR камера за мерење температуре са задње стране кабине [5]



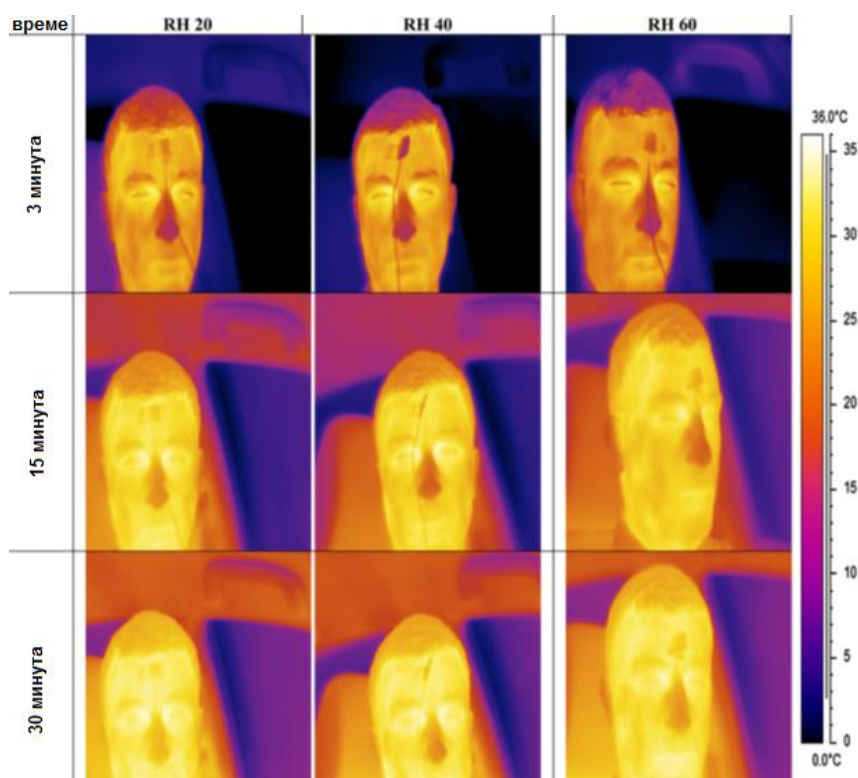
Слика 29- Предње ветробранско стакло унутар путничке кабине у периоду грејања за различите релативне влажности [5]



Слика 30- Предње ветробранско стакло унутар путничке кабине у периоду хлађења за различите релативне влажности. [5]



Слика 31- Лице возача у периоду грејања за различите сценарије релативне влажности [5]



Слика 32- Лице возача у периоду хлађења за различите сценарије релативне влажности[5]

Као што је приказано на слици 29 висока температура у кабини се представља светлом бојом . Како време пролази површине постају све тамније што указује на то да се температура смањује. Док је у периоду хлађења супротан процес.

Како температура унутар путничке кабине опада временом и температура коже човека се смањује. На температурној скали можемо видети да је температура главе и лица возача нижа него температура путничког простора . [5]



Слика 33- Поређење човека и модела [7]

Закључак

Дигитално људско моделирање омогућава инжењерима у развоју производа да одговоре на питања везана за ергономију и људски фактор у почетној фази процеса развоја производа.

Модел термичке удобности у путничком простору у аутомобилу развијени су како би се помогло инжењерима у аутомобилској индустрији у оцени и одабиру параметара приликом дизајнирања возила како би се оптимизирала људска удобност. Ови модели могу да буду коришћени као самосталне алатке или се могу користити заједно са независно развијеним моделом HVAC система. Модели имају јединствену калкулацију топлотне удобности сваког од путника у возилу зависно од температуре зрачења, брзине протока ваздуха, релативне влажности ваздуха, директног соларног флукса као и од нивоа активности самог путника и врсте одеће путника. Антропометријски модели већ показују добре перформансе скоро упоредиве са стварним људима.

Манекен ADAM контролише нумерички физиолошки модел. Код ADAM-а спрегнути су нумерички модели за превиђање одзива терморегулације човека и опажене удобности. Како се температуре контролишу и управљају окружењем, резултујуће брзине преноса топлоте се преносе у физиолошки рачунски модел. Модел рачуна температуру коже и расподелу унутрашње температуре тела и брзину површинског знојења. Информација се враћа манекену, који генерише дефинисану температуру коже, брзину површинског знојења и брзину дисања. Терморегулациони систем модела контролише физиолошке одзиве као што је вазомоторна контрола, знојење, дрхтање и метаболичке промене.

Манекен FIALA-FE комбинује пасивни и активни систем у сложени модел, како би се достигли потпуно тачни експериментални резултати. Надградњом модела FIALA-FE настао је програмски пакет термичког окружења THESEUS-FE који омогућује корисницима да развију сопственог манекена са произвољним бројем сегмената, сектора и слојева. Тиме се манекену могу додати прсти, нос и уши. Манекен у возилу може бити у потпуности спојен са околином, при чему се конвекција, зрачења и контакт са седиштем, као и испаравање, дисање и влажност, дешавају истовремено.

Литература:

- [1] Ј. Лукић: Предавања из Ергономије моторних возила, Зимски семестар школске 2012/2013 године
- [2] Ј. Лукић : Комплексна удобност возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [3] Hajime Oi, Koji Tabata, Yasuhito Naka, Akira Takeda, Yutaka Tochihara, Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period, Applied Ergonomics, Volume 43, Issue 2, March 2012, Pages 360-367, ISSN 0003-6870
- [4] Ali Alahmer, Mahmoud Abdelhamid, Mohammed Omar, Design for thermal sensation and comfort states in vehicle cabins, Applied Thermal Engineering, Volume 36, April 2012, Pages 126-140, ISSN 1359-4311
- [5] Mezrhab, M. Bouzidi, Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment, Applied Thermal Engineering, Volume 26, Issues 14–15, October 2006, Pages 1697-1704, ISSN 1359-4311.
- [6] <http://escholarship.org/uc/item/66k6g8dh#page-1> - приступљено 10.5.2014.
- [7] <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/38236.pdf> - приступљено 26.5.2014.
- [8] http://www.theseus-fe.com/downloads/publications/implementation_of_fiala_2007.pdf
- приступљено 2.6.2014.
- [9] <http://www.theseus-fe.com/thermal-manikin/thermal-manikin-comfort-assessment.html>
- приступљено 3.6.2014.
- [10] https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/4340/1/ah2004_02.pdf - приступљено 25.6.2014.
- [11] [http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/manikin%20meeting%202006/2nd%20publish%20Proceeding_all-in-one\[061005\]rev02.pdf](http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/manikin%20meeting%202006/2nd%20publish%20Proceeding_all-in-one[061005]rev02.pdf) - приступљено 25.6. 2014.