

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miran MOVRIN

**ANALIZA TOPLOTNIH IZGUB
PRI RAZLIČNIH OKENSKIH SISTEMIH**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**ANALYSIS OF HEAT LOSSES
BY DIFFERENT WINDOW SYSTEMS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za mehanske in obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Bojana Bučarja in za recenzenta prof. dr. Marjana Mediča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Miran Movrin

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 694.6:536.35
KG	toplotne izgube/okno/les/PVC/aluminij/steklo
AV	MOVRIN, Miran
SA	BUČAR, Bojan (mentor)/MEDIČ, Marijan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2006
IN	ANALIZA TOPLOTNIH IZGUB PRI RAZLIČNIH OKENSKIH SISTEMI
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 41 str., 30 pregl., 31 sl., 6 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ob vseobsegajočih razvojnih trendih tudi okna niso bila izvzeta, njihov razvoj je med drugim šel tudi v smeri zmanjševanja toplotnih izgub. Raziskovali smo, kolikšne so toplotne izgube pri okenskih sistemih z različno okvirno konstrukcijo, s steklom in z distančno letvijo. Ugotovili smo, da imajo lesena, aluminijasta in PVC-okna z novimi PVC-distančniki manjše toplotne izgube od dosedanjih izdelanih s klasičnimi, aluminijastimi distančniki. Ugotovitev pa je tudi rezultat primerjave velikosti oken. Čim manjše je okno, tem večji je delež stekla z distančnikom, s tem pa večje tudi toplotne izgube, in nasprotno – čim večje je okno, tem manjši je vpliv distančnika na toplotne izgube.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 694.6:536.35
CX	heating loss/window/wood/PVC/aluminium/glass
AU	MOVRIN, Miran
AA	BUČAR, Bojan (supervisor)/MEDIČ, Marijan (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2006
TI	ANALYSIS OF HEAT LOSSES BY DIFFERENT WINDOW SYSTEMS
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	IX, 41 p., 30 tab., 31 fig., 6 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Windows were no exception to the all-encompassing development trends; in their case, progress has also taken the path of minimising heat losses. We studied heat losses in various window systems with different frame constructions, fitted with window glass and spacing board. It was found out that wooden, aluminium and PVC windows with the new PVC spacer all featured reduced heat losses, compared to the windows with usual aluminium spacers. Another finding came from the comparison of window sizes. The smaller the window, the larger the proportion of glass with the spacer, which results in greater heat losses, and vice versa; the larger the window, the smaller its spacer contribution.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	3
2.1 TOPLOTNA PREHODNOST (U-VREDNOST).....	3
2.2 ZASTEKLITEV	3
2.3 NIZKOEMISIJSKI NANOS	4
2.4 ŽLAHTNI PLINI.....	4
2.5 ZASTEKLITVENI DISTANČNIK	4
2.6 OKVIRJI (LES, PVC ALI ALUMINIJ).....	5
3 MATERIAL IN METODE	6
3.1 MATERIAL	6
3.2 METODE DELA	10
4 REZULTATI.....	12
4.1 TOPLOTNE IZGUBE PRI ŠKATLI	12
4.1.1 Prikaz meritev toplotnih izgub pri škatli.....	14
4.1.1.1 Prikaz meritev moči P (W) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C.....	14
4.1.1.2 Prikaz meritev temperature znotraj škatle T (°C) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C ...	17
4.1.1.3 Prikaz primerjave meritev temperature znotraj škatle in poraba moči pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C	19
4.1.1.4 Prikaz meritev temperature znotraj zamrzovalne skrinje T (°C) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C	22
4.2 TOPLOTNE IZGUBE PRI RAZLIČNIH SISTEMIHI.....	24
4.2.1 Toplotne izgube pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom	28
4.2.2 Toplotne izgube pri lesenem oknu s PVC-distančnikom.....	28
4.2.3 Toplotne izgube pri PVC-oknu z aluminijastim distančnikom	29
4.2.4 Toplotne izgube pri PVC-oknu s PVC-distančnikom.....	29
4.2.5 Toplotne izgube pri aluminijastem oknu z aluminijastim distančnikom ...	30

4.2.6	Toplotne izgube pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom.....	30
4.3	UGOTOVITEV TOPLOTNE IZGUBE PRI RAZLIČNIH SISTEMIH IN DIMENZIJAH OKEN S FORMULO ZA IZRAČUN	31
4.3.1	Izračuni vrednosti s formulo za izračun	32
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	34
5.1	RAZPRAVA	34
5.1.1	Rezultati meritev	34
5.1.2	Rezultati, dobljeni po formuli za izračun toplotnega koeficienta.....	37
5.1.3	Primerjava rezultatov, dobljenih pri meritvah in po formuli za izračun toplotnega koeficienta	38
5.2	SKLEPI	39
6	POVZETEK	40
7	VIRI.....	41
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Rezultati meritev pri škatli.....	12
Preglednica 2: Toplotna prevodnost in prehodnost pri škatli	13
Preglednica 3: Rezultati meritev pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom	28
Preglednica 4: Toplotna prevodnost in prehodnost pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom	28
Preglednica 5: Rezultati meritev pri lesenem oknu s PVC-distančnikom	28
Preglednica 6: Toplotna prevodnost in prehodnost pri lesenem oknu s PVC-distančnikom	28
Preglednica 7: Rezultati meritev pri PVC- oknu z aluminijastim distančnikom	29
Preglednica 8: Toplotna prevodnost in prehodnost pri PVC- oknu z aluminijastim distančnikom	29
Preglednica 9: Rezultati meritev pri PVC-oknu s PVC-distančnikom	29
Preglednica 10: Toplotna prevodnost in prehodnost pri PVC-oknu s PVC-distančnikom	29
Preglednica 11: Rezultati meritev pri aluminijastem oknu z aluminijastim distančnikom	30
Preglednica 12: Toplotna prevodnost in prehodnost pri aluminijastem oknu z alum. distančnikom	30
Preglednica 13: Rezultati meritev pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom.....	30
Preglednica 14: Toplotna prevodnost in prehodnost pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom	30
Preglednica 15: Parametri lesenega, PVC- in aluminijastega okna.....	31
Preglednica 16: Rezultati pri oknu dimenzije 400 x 400 mm.....	32
Preglednica 17: Rezultati pri oknu dimenzije 500 x 500 mm.....	32
Preglednica 18: Rezultati pri oknu dimenzije 700 x 700 mm.....	32
Preglednica 19: Rezultati pri oknu dimenzije 1000 x 1000 mm.....	33
Preglednica 20: Rezultati pri oknu dimenzije 1500 x 1500 mm.....	33
Preglednica 21: Rezultati pri oknu dimenzije 2000 x 2000 mm.....	33
Preglednica 22: Toplotna prehodnost pri oknih z aluminijastim distančnikom	34
Preglednica 23: Toplotna prehodnost pri oknih s PVC-distančnikom.....	34
Preglednica 24: Delež robne cone pri različnih dimenzijah stekla	35
Preglednica 25: Vrednosti linearnega toplotnega prehoda za distančnike iz aluminija...	36
Preglednica 26: Primerjava rezultatov med različnimi okenskimi sistemi.....	36
Preglednica 27: Teoretični rezultati iz vira (Govedič, 2004).....	36

Preglednica 28: Rezultati, dobljeni po formuli za izračun toplotnega koeficienta	37
Preglednica 29: Izboljšanje toplotne vrednosti pri rezultatih, dobljenih z meritvami	38
Preglednica 30: Izboljšanje toplotne vrednosti pri rezultatih, dobljenih s formulo	38

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dimenzije škatle.....	6
Slika 2: Slika škatle	6
Slika 3: Detajl dvojnega roba škatle.....	7
Slika 4: Detajl izreza stranice škatle	7
Slika 5: Prekrivanje okna na okvirju	8
Slika 6: Grelec v škatli	8
Slika 7: Naprave za merjenje rezultatov poizkusa	9
Slika 8: Računalniški program za prikaz rezultatov.....	9
Slika 9: Rezultati meritev pri škatli.....	12
Slika 10: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rdeča črta predstavlja povprečje).....	14
Slika 11: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rdeča črta predstavlja povprečje).....	14
Slika 12: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rdeča črta predstavlja povprečje).....	15
Slika 13: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (rdeča črta predstavlja povprečje).....	15
Slika 14: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segment)	16
Slika 15: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segment)	16
Slika 16: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	17
Slika 17: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	17
Slika 18: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	18
Slika 19: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	18
Slika 20: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	19
Slika 21: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	19
Slika 22: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	20
Slika 23: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	20
Slika 24: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segment).....	21
Slika 25: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	22
Slika 26: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	22
Slika 27: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	23
Slika 28: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	23
Slika 29: Detajl lesenega okna	24
Slika 30: Detajl okna iz umetne mase	25
Slika 31: Detajl okna iz aluminija	26

1 UVOD

Potreba po svetlobi v notranjosti bivališč in svež zrak sta pogoja, od katerih je bil odvisen razvoj oken skozi obdobja.

V začetku je bilo okno samo luknja v steni z lesenim okvirjem in s križem. Tako sta svetloba in zrak lahko prišla v notranjost zgradbe, skozi odprtino pa ni mogel sovražnik oz. nepovabljen oseba.

Ko je človek spoznal, da skupaj s svežim zrakom pride tudi mraz, je leseno okno uokviril in ga tako naredil gibljivega. Najprej je za zakritje uporabil tanko živalsko kožo. Z izumom stekla pa je prišlo do velikega skoka pri razvoju oken. Človeku je uspelo iz stekla narediti okensko šipo, ki jo je lahko vgradil v okno. Z nadaljnjim razvojem se je poleg lesa in stekla začela uporabljati še kovina. Iz nje so naredili tečaje, okovje in olive. Ti tehnični izumi izhajajo že iz srednjega veka. Značilnost omenjenega obdobja je tudi debela masivna zunanja stena, v njej pa majhna preprosta okna, na začetku s steklom debeline 1–2 mm (pozneje 3–5 mm), s kovinskim kavljem in z aretiranim krilom, pred njim vrtljiva polkna, pod oknom pa znotraj lesena polica.

Šele pred nekaj sto leti smo lahko rekli, da je bilo enojno okno dobro in da je opravljalo svojo funkcijo. Pozneje so ugotovili, da bi bilo dobro, če bi temu oknu dodali še eno okno zunaj oziroma znotraj. Obrobe v vmesnem prostoru pa so obdelali z lesom. Tako je bilo izumljeno škatlasto okno.

Ko pa so mizarji bili prisiljeni varčevati, mogoče je bil vzrok tudi povečanje udobja, so obe okni združili in opustili obdelavo vmesnih prostorov med oknom. In tako so nastala vezana okna.

Ker pa so se stekla teh oken na notranji strani nenehno rosila, še posebej v zimskem času, in ker jih je bilo tudi težko čistiti, so pozneje izumili izolacijsko steklo. Zaradi tega ni bilo več potrebe po vezanem oknu in tako smo prišli do oken, ki jih uporabljamo še zdaj.

Vendar pa les ni ostal edini material za izdelavo oken. Pred nekaj deset leti sta se mu pridružila aluminij (Al) in umetna masa (PVC). Aluminijasta okna so napredovala v svojem razvoju od enokomornih do večkomornih profilov, v zadnjem času pa izdelujejo tudi taka s toplotnim mostom. Pri PVC-oknih pa so napredovali iz 3-komornih v 4-, 5-, 6- in tudi 7-komorne profile. Z večanjem števila komor so dosegli manjšo toplotno izgubo. Pri lesu to dosežemo z debelino okvirja in krila. Pri steklu pa tudi niso počivali. Razvili so posebne nanose, uporabili žlahtne pline namesto običajnega zraka ter uvedli distančnike iz PVC-ja namesto aluminijastih.

S tem so sedanji proizvajalci tako lesenih, aluminijastih in PVC-oken ter proizvajalci stekla dosegli zmanjševanje toplotne izgube. Kot vemo, je danes ogrevanje vse dražje, še posebej se zvišujejo cene naftnih derivatov.

Osnovni namen naloge je ugotoviti, kolikšne so toplotne izgube različnih okenskih sistemov. V raziskavo so bili vključeni okenski sistemi z različnimi izvedbami okvirne konstrukcije, stekla in distančne letve. Analizirali smo toplotne izgube okvirnih konstrukcij iz lesa, PVC-ja in aluminija pri dveh različnih zasteklitvah. Vpliv zadnje smo ovrednotili tako, da smo analizirali toplotne izgube pri različnih kombinacijah stekla in distančnih letev.

Domnevamo, da bodo toplotne izgube v primeru okenskega sistema z aluminijasto okvirno konstrukcijo največje, še posebej v primeru, ko bo zastekljeno s stekli, ločenimi z aluminijastim distančnikom. Manjše toplotne izgube lahko pričakujemo pri okvirnih konstrukcijah iz lesa in plastike (PVC), pri čemer pa naj bi postal delež toplotnih izgub, ki so posledica zasteklitve, večji.

Namen raziskave je ugotoviti, kateri okenski sistem ima najmanjše toplotne izgube.

2 PREGLED OBJAV

Danes proizvajalci in tudi kupci težijo k oknom, ki so energijsko čim varčnejša. Kot vemo, nakup novih oken ali obnova obstoječih ni mala investicija. Zaradi tega kupci vedno bolj gledajo na karakteristike, s katerimi bi najbolj zmanjšali toplotne izgube in so še cenovno sprejemljive. Oglejmo si nekaj osnovnih karakteristik, v katerih se kažejo prednosti in pomanjkljivosti lesenih, PVC- in aluminijastih oken.

2.1 TOPLOTNA PREHODNOST (U-VREDNOST)

Med glavnimi vzroki hitrega razvoja oken v zadnjih letih je poleg estetskih, varnostnih, tehnoloških in drugih zmanjševanje toplotnih izgub.

Iz energetske bilance zgradbe izhaja, da so prav okna tista, skozi katera pri dobro izoliranem zunanjem ovoju in strehi uhaja največ toplote.

Po določitvi uredbe Vlade Republike Slovenije o določitvi kriterijev energetske učinkovitosti, manjše porabe vode in manjšega obremenjevanja okolja za nekatere proizvode široke rabe (Ur. l. RS, št. 8 z dne 12. 3. 1996) znaša zahtevana toplotna prehodnost okna (za okvir in steklo) $U_{st} \leq 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toplotna prehodnost stekla pa mora biti manjša od $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabe energije v stavbah, ki velja od avgusta 2002, predpisuje, da toplotna prehodnost oken v odvisnosti od materiala okvirjev ne sme biti večja od $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ pri oknih z lesnim profilom, s profilom iz umetne mase in profilom iz kombinacije materialov, katerih osnova je profil iz lesa ali iz umetne mase, oziroma $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ pri oknih s kovinskimi ali z betonskimi okvirji. V ogrevanih prostorih stavbe je dovoljeno uporabljati zasteklitev toplotne prehodnosti $U_{st} \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ s faktorjem prehoda celotnega sončnega sevanja najmanj 0,55. Če se za izpolnitev predpisanih zahtev o zvočni zaščiti stavb vgradi zasteklitev s povišano zvočno zaščito, mora biti njena toplotna prehodnost $U_{st} \leq 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Skupna toplotna prehodnost okna je določena glede na povprečje toplotnih prehodnosti okvirja in zasteklitev glede na deleže njihovih površin ob upoštevanju toplotnih izgub na stikih.

2.2 ZASTEKLITEV

Tehnologija izdelave oken je naredila velik korak naprej. Danes je na trgu za sprejemljivo ceno dostopna dvojna zasteklitev, pri kateri so toplotne izgube kar 2,7-krat manjše kot pri običajni »termopan« zasteklitvi. Tak primer je dvojna zasteklitev z eno plastjo nizkoemisijskega nanosa in s plinskim (argonskim) polnjenjem v medstekelnem prostoru. Še boljši rezultat dobimo s trojno zasteklitvijo. (Govedič, 2004)

2.3 NIZKOEMISIJSKI NANOS

Sevalni toplotni tok predstavlja kar 2/3 celotnih toplotnih izgub, zato je šel tehnološki razvoj predvsem v smeri zmanjševanja sevalnih toplotnih izgub z uporabo nizkoemisijjskih (angl. low-e) nanosov. Toplota pa skozi zasteklitev ne prehaja le s sevanjem, ampak tudi s kondukcijo in konvekcijo.

Nizkoemisijjski nanos na steklu omogoča neoviran prehod kratkovalovnega sončnega sevanja v prostor, ne prepušča pa dolgovalovnega toplotnega sončnega sevanja predmetov, segretyh na sobno temperaturo. Nanos predstavlja tanek in neviden kovinski oksid, ki zmanjša emisivnost površine do vrednosti 0,04. Najboljši rezultat se doseže z nanosom plasti iz srebra, in sicer debeline 1/100000 mm (10 nm). (Govedič, 2004)

2.4 ŽLAHTNI PLINI

Uporaba žlahtnih plinov (najpogosteje argona) kot polnil je smiselna le v primerih nizkoemisijjskih nanosov, ker z uporabo žlahtnega plina zmanjšamo konvekcijske in kondukcijske toplotne izgube.

V primeru dvojne zasteklitve brez nizkoemisijjskega nanosa uporaba žlahtnega plina ekonomsko ni upravičena, ker velike sevalne toplotne izgube izničijo zmanjšanje konvekcijskih in kondukcijskih izgub.

Če bi pri zasteklitvi s $U_{st} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ namesto argona uporabili zrak, bi se U-vrednost povečala na $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tako toplotno prehodnost zasteklitve lahko pričakujemo po izgubi žlahtnega plina iz medstekelnega prostora. Izkušnje pa kažejo, da žlahtni plin ostane v medstekelnem prostoru približno deset let. Pri zamenjavi argona s kriptomom pa zmanjšamo vrednost na $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tehnološko je mogoče izdelati tudi zasteklitev z U-vrednostjo pod $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (taka je na primer vakuumška zasteklitev), vendar je cena zelo visoka. (Govedič, 2004)

2.5 ZASTEKLITVENI DISTANČNIK

Zasteklitveni aluminijasti distančnik med šipama povzroča velik toplotni most, ki nastane zaradi večje toplotne prevodnosti aluminija v primerjavi z zrakom ali s plinskim polnjenjem (argonom) v preostalem delu zasteklitve.

Ker je okenski okvir na mestu stika med zasteklitvijo in okvirjem zožen, lahko nastaneta toplotni most in površinska kondenzacija na notranji površini šipe. Tako tudi veliko število komor pri profilu iz PVC-ja na tem mestu ne pride do prave veljave.

Zaradi teh težav imajo najsodobnejša okna namesto aluminijastega distančnika vgrajen distančnik iz toplotnoizolacijskega materiala (na primer trdega silikona, votlega polikarbonata, distančnik, pri katerem je toplotni most prekinjen z vložkom iz umetne snovi ali obstojnega PVC-ja, ki je na bokih in hrbtu prevlečen s tanko plastjo plemenite kovine). Toplotna prevodnost takih distančnikov je manjša od $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Razlika v toplotni prehodnosti med aluminijastim distančnikom in obstojnim PVC-jem, ki je na bokih in hrbtu prevlečen s tanko plastjo plemenite kovine, se zmanjša za vrednost $0,05\text{--}0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Govedič, 2004)

2.6 OKVIRJI (LES, PVC ALI ALUMINIJ)

Odgovoriti na vprašanje o prednostih in slabostih lesenih oken, oken iz PVC-ja ali oken iz aluminija ni preprosto.

Pri lesenem okvirju toplotni upor okvirja narašča z njegovo debelino. Med energijsko varčne štejemo okvirje z debelino 70 mm in več. Toplotna prehodnost okvirja iz lesa se giblje med 1,5 do 1,8 W/m²K. Za izdelavo se uporablja pretežno les iglavcev. Standardno enojno leseno okno debeline 70 mm s plinskim polnjenjem in z zasteklitvijo ($U = 1,1$ W/m²K) pa ima skupno toplotno prehodnost približno 1,4 W/m²K. (Govedič, 2004)

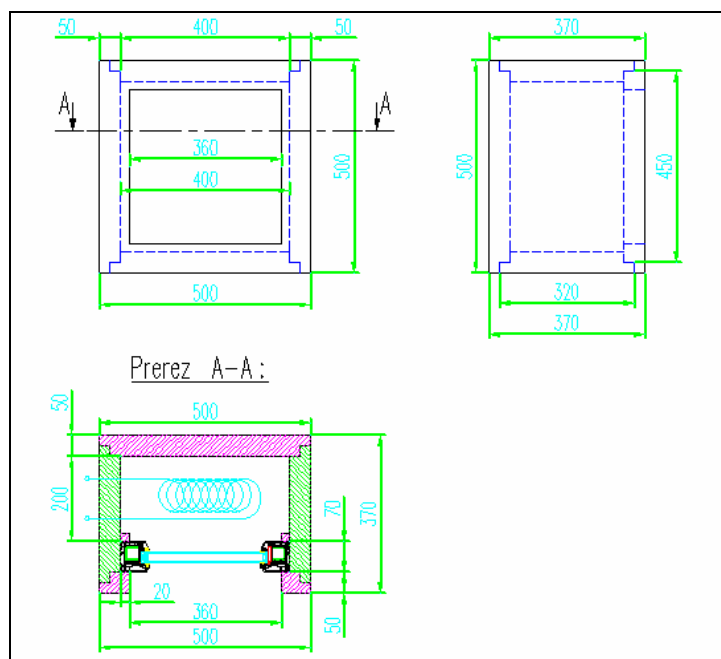
Razvoj PVC-profilov, iz katerih se izdelujejo okvirji za okna, je šel od dvokomornega in trikomornega do pet- in šestkomornih profilov, ki so že dostopni na našem trgu. Slabši PCV-profilu imajo U-vrednost od 2 do 2,4 W/m²K. Trikomorni profil ima U-vrednost okoli 1,5 W/m²K, medtem ko petkomorni profili dosegajo U-vrednost približno 1,3 W/m²K. Seveda ti podatki veljajo za PVC-okvirje. Če pa je v njih še kovinska ojačitev, se vrednosti povečajo za 0,2 W/m²K. Kot vemo, je kovinska ojačitev skoraj vedno nujna, le pri oknih majhnih dimenzij je ni. Sodobni PVC-okvirji so tudi odpornejši na UV-sevanje. Tako ima na primer okno s plinskim polnjenjem povprečnih dimenzij iz petkomornega profila PVC s kovinsko ojačitvijo in z zasteklitvijo ($U = 1,1$ W/m²K) skupno toplotno prehodnost približno od 1,4 do 1,5 W/m²K. (KBE Fenstersysteme, 2004)

Pri aluminijastih oknih je razvoj prav tako napredoval. Izdelovalci so z dvo- in trikomornega prešli na petkomorni profil. Vendar pa komore niso predstavljale velikega zmanjšanja toplotne prehodnosti. Vemo, da je za aluminij že tako značilna velika toplotna prehodnost. Zaradi tega so aluminij prekinili z vstavljenim vložkom iz umetne snovi. Tako ima najslabši dvokomorni profil debeline 45 mm brez prekinjenega toplotnega mostu U-vrednost okoli 6 W/m²K, profil debeline 63 mm s prekinjenim toplotnim mostom okoli 2,5 W/m²K, najboljši profil debeline 70 mm pa ima U-vrednost pod 2 W/m²K. Tako ima okno s plinskim polnjenjem povprečnih dimenzij in debeline 63 mm s prekinjenim toplotnim mostom in z zasteklitvijo ($U = 1,1$ W/m²K) skupno toplotno prehodnost približno od 1,7 do 1,8 W/m²K. (ALUK, 2004)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

Da bi ugotovili, kolikšne so toplotne izgube različnih okenskih sistemov, smo izdelali škatlo zunanje dimenzije 500 x 500 x 370 mm. Škatla je bila izdelana iz trdega stirodura (polistirena) proizvajalca DOW Europe GmbH iz Nemčije, vrste Roofmate SL-A in debeline 50 mm. Ta material smo izbrali zato, ker ima slabo toplotno prevodnost oziroma je dober toplotni izolator. Njegova toplotna prevodnost je 0,035 W/mK oziroma pri debelini 50 mm 0,7 W/m²K.



Slika 1: Dimenzije škatle



Slika 2: Slika škatle

Spoji škatle so bili izdelani z dvojnim robom, predvsem zaradi tega, da ni bilo togih spojev, skozi katere bi bil omogočen toplotni most. Pri tem bi namreč lahko dobili napačne podatke. Pozneje smo z rezultati ugotovili, da je bilo tesnjenje škatle zelo dobro in da skozi spoje ni uhajalo veliko toplote.



Slika 3: Detajl dvojnega roba škatle

V eno stranico škatle smo pozneje naredili odprtino velikosti 360 x 360 mm. Namesto te smo pozneje vstavljali različna okna z različno zasteklitvijo. Notranja dimenzija škatle je bila 400 x 400 x 270 mm. Tako je okno prekrivalo pri stranici 400 x 400 mm na vsakem robu 20 mm. Teh 20 mm prekrivanja smo izbrali zato, da bi se čim bolj približali načinu vgradnje okna v steno. Pri tem se namreč okno prav tako prekrije s približno 20 mm ometa ali zunanje fasade.

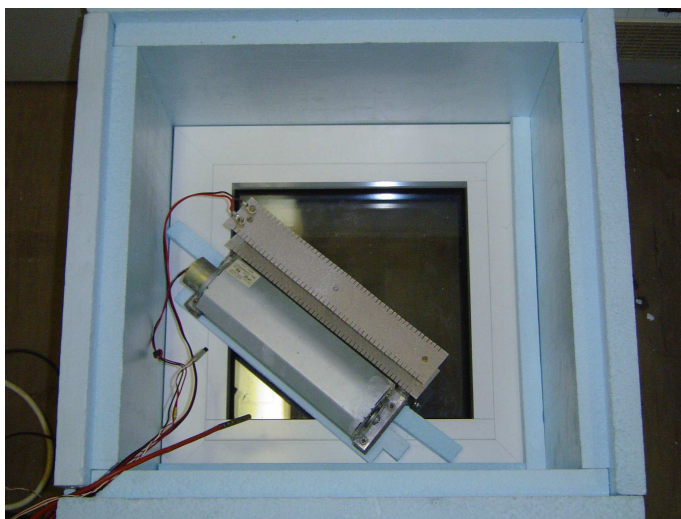


Slika 4: Detajl izreza stranice škatle



Slika 5: Prekrivanje okna na okvirju

Za ustvarjanje toplotne razlike smo v škatlo dali grelec z močjo 100 W, s katerim smo v notranjosti dosegali določeno temperaturo, celotno škatlo pa smo dali v zamrzovalno skrinjo. Da pa je bila temperatura konstantna po celotni prostornini v škatli, je bil zraven grelca še ventilator. Tako smo lahko poljubno ustvarjali konstantne temperaturne razlike. Mi smo se odločili, da bomo dosegli temperaturno razliko 25, 30, 35 in 40 °C. Pri 40 °C temperaturne razlike lahko rečemo, da že gre za ekstremnejše razmere, ki so v naravnem okolju redke, in še takrat le za kratek čas.



Slika 6: Grelec v škatli

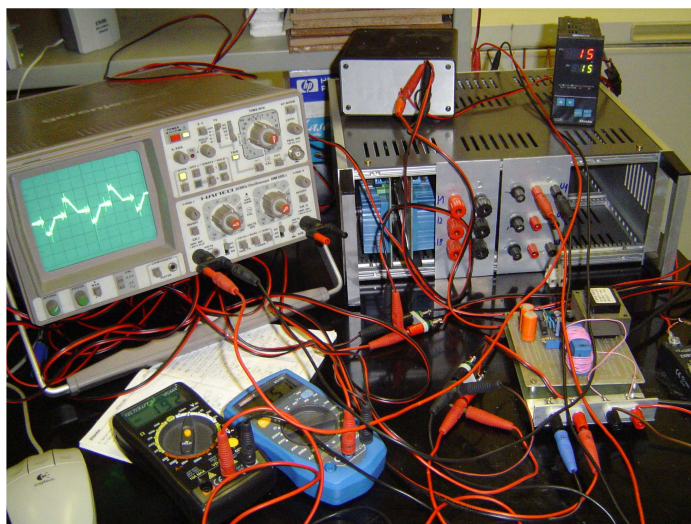
Zraven ventilatorja in grelca sta še dve sondi. Ena je priključena na multimeter, prek katerega smo merili temperaturo v škatli, druga sonda pa je priključena na zvezni temperaturni (PID) regulator.

Da bi na podlagi poizkusov dobili podatke, smo morali združiti več naprav, in jih nekaj tudi narediti, ter vse skupaj spremljati in obdelati s posebnim računalniškim programom.

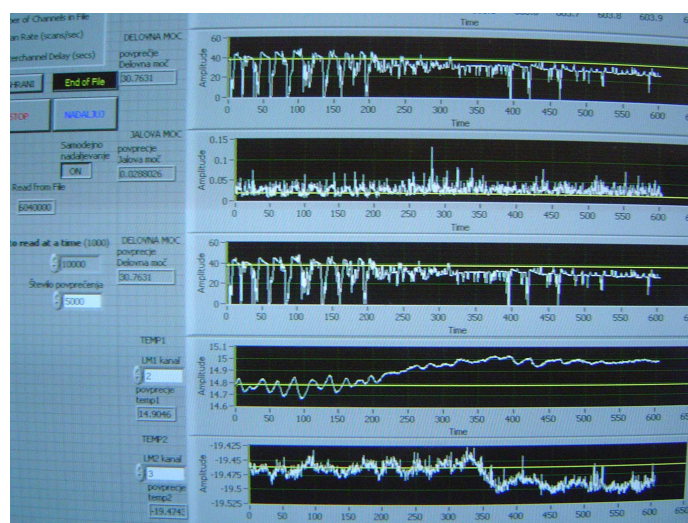
Uporabljali smo naslednje naprave in aparate, ki so prikazani na sliki:

- osciloskop, s katerim smo opazovali potek toka oziroma napetost;
- dva multimetra, s katerima smo merili izhodno napetost merilnikov temperature v skrinji in v škatli (napetost je sorazmerna temperaturi);
- napajalnik za ventilatorje in merilnike temperature;
- zvezni temperaturni (PID) regulator (proizvajalec Shinko);
- merilnik toka in
- merilnik napetosti.

Podatke smo zajemali s 16-bitno merilno kartico National Instrument PCI-6014.



Slika 7: Naprave za merjenje rezultatov poizkusa



Slika 8: Računalniški program za prikaz rezultatov

3.2 METODE DELA

V raziskavi so bili izbrani trije okenski sistemi, vsak z različno zasteklitvijo, v katerih je bila različna distančna letev. Opravili smo sedem preizkusov.

Za vse te poizkuse oziroma raziskave smo uporabili veliko naprav in aparatur, s katerimi smo izvajali in spremljali poizkuse in prek njih tudi dobivali podatke, ki smo jih nato obdelovali.

Tako smo pri raziskavi uporabljali naslednje:

- škatlo iz trdega stirodurja – vanjo smo vlagali različne vzorce oken in ustvarjali temperaturo v območju od 5 do 20 °C;
- leseno okno z dvojno različno zasteklitvijo (aluminijasti in PVC-distančnik);
- PVC-okno z dvojno različno zasteklitvijo;
- aluminijasto okno z dvojno različno zasteklitvijo;
- zamrzovalno skrinjo – z njo smo ustvarjali temperaturo pod lediščem v območju okoli –20 °C – vanjo smo dali škatlo;
- osciloskop, s katerim smo opazovali potek toka oziroma napetost;
- dva multimetra, s katerima merimo izhodno napetost merilnikov temperature v skrinji in v škatli (napetost je sorazmerna temperaturi);
- napajalnik za ventilatorje in merilnike temperature;
- zvezni temperaturni (PID) regulator (proizvajalec Shinko);
- merilnik toka;
- merilnik napetosti;
- dva ventilatorja;
- tri sonde za merjenje temperature;
- osebni računalnik;
- 16-bitno merilno kartico National Instrument PCI-6014.

Za vsak material so značilne določene toplotne izgube. Kljub temu da smo vedeli, kolikšna je toplotna prevodnost materiala za škatlo, smo najprej izmerili škatlo. Hoteli smo se prepričati, ali so podatki proizvajalca točni. Material za škatlo je bil trdi stirodur (polistiren) proizvajalca DOW Europe GmbH iz Nemčije, vrste Roofmate SL-A, debeline 50 mm. Pozneje pa so sledili različni okenski sistemi.

Pri meritvah smo v škatlo najprej dali okno. Položili smo ga na stranico, kjer je bila odprtina. Na okno smo dali ventilator z grelcem ter dva temperaturna senzorja. Z enim smo spremljali višino temperature v škatli, drugi pa je služil za regulator PID (zvezni temperaturni regulator). Škatlo smo tesno zaprli in jo dali v zamrzovalno skrinjo, v katero smo prav tako namestili ventilator, ki je vzdrževal enakomerno temperaturo po celotni notranjosti skrinje. V skrinjo pa smo dali tudi sonde za merjenje temperature. Služili sta za vizualni pogled, druga za temperaturni regulator.

Ko smo skrinjo zaprli, smo prižgali grelec in meritve so se lahko začele. Menjava oken je morala potekati hitro. Čim dlje je bila zamrzovalna skrinja odprta, tem večje so bile izgube, zaradi česar smo morali čakati dlje, da se je temperatura spet spustila na okoli –20 °C.

Meritev smo najprej opravljali pri razliki temperature med škatlo in zamrzovalno skrinjo $\Delta T = 25$ °C. Po približno eni uri je temperatura v skrinji padla na željeno temperaturo,

regulator PID je s pomočjo senzorja v škatli prižigal grelec in vzpostavljal določeno temperaturo v njej. Ko se je temperatura ustalila, smo pri poizkusu počakali še 10 minut, da bi bili rezultati natančnejši. Po 10 minutah smo začeli z meritvami. Meritve smo zajemali s 16-bitno merilno kartico National Instrument PCI-6014, ki je bila povezana z računalnikom, računalniški program pa je zapisoval podatke in si jih shranjeval.

Meritev smo opravljali 10 minut. Po 10 minutah smo na regulatorju nastavili višjo temperaturo za 5 °C. Regulator je poskrbel za dvig temperature v škatli za natanko 5 °C. Ta temperatura je bila dosežena po 10–15 minutah. Spet smo počakali 10 minut, preden smo nadaljevali meritev. Postopek smo nadaljevali tako dolgo, da smo dosegli temperaturno razliko 40 °C.

Ta postopek smo ponovili za vse okenske sisteme. Najprej smo izmerili vsa okna z izolacijskim steklom z aluminijastim distančnikom. Sledila je menjava stekla, ki smo ga zamenjali z izolacijskim steklom z distančnikom iz PVC-ja (TGI-ja).

Med vsakim usklajevanjem temperature je bil čas za zagon računalniškega programa, ki je obdelal vse meritve, ki smo jih predhodno shranili. Program je izračunal povprečne vrednosti za čas 10 minut. Dobili smo podatke za povprečno temperaturo znotraj skrinje, povprečno temperaturo v škatli in povprečno delovno moč, ki jo je porabil grelec.

4 REZULTATI

Domnevali smo, da bodo toplotne izgube v primeru okenskega sistema z aluminijasto okvirno konstrukcijo največje, še posebej v primeru, ko bo zastekljeno z izolacijskim steklom, ki ju ločuje aluminijasti distančnik. Manjše toplotne izgube smo pričakovali pri okvirnih konstrukcijah iz lesa in plastike (PVC), pri čemer pa naj bi bil delež toplotnih izgub, ki so posledica zasteklitve, večji.

4.1 TOPLOTNE IZGUBE PRI ŠKATLI

Da bi ugotovili, kolikšne so toplotne izgube različnih okenskih sistemov, smo izdelali škatlo zunanjih dimenzij 500 x 500 x 370 mm.

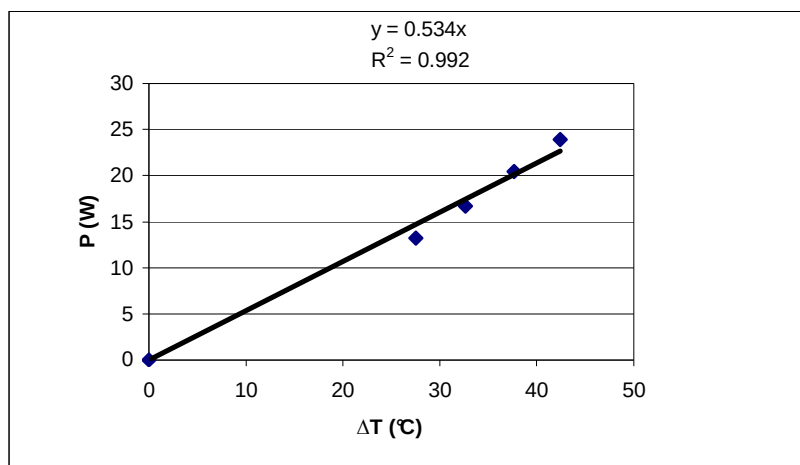
Notranjost škatle pa je bila izdelana tako, da se je natančno prilegala robovom oken dimenzije 400 x 400 mm, predvsem zaradi tega, da toplota na mestih med steno in oknom ne bi uhajala. V globino pa je bila notranja dimenzija 270 mm, kar pa je bilo dovolj za okna debeline do 70 mm; dovolj velik je bil tudi prostor za grelec. Čim manjša je bila notranjost škatle, tem hitreje smo dosegli notranjo temperaturo.

Škatla je bila izdelana iz trdega stirodura (polistirena) proizvajalca DOW Europe GmbH iz Nemčije, vrste Roofmate SL-A in debeline 50 mm. Njegova toplotna prevodnost je 0,035 W/mK oziroma pri debelini 50 mm 0,7 W/m²K.

Spoji škatle so bili izdelani z dvojnim robom, predvsem zaradi tega, da ni bilo togih spojev, skozi katere bi bil omogočen toplotni most.

Preglednica 1: Rezultati meritev pri škatli

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zavr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,58	-21,91	27,49	13,25
10,64	-22,03	32,67	16,68
15,66	-21,99	37,65	20,44
20,70	-21,72	42,42	23,88



Slika 9: Rezultati meritev pri škatli

Preglednica 2: Toplotna prevodnost in prehodnost pri škatli

ΔT (°C)	P (W)	λ (W/mK)	U (W/m ² K)
25,000	8,400	0,035	0,700
30,000	10,080	0,035	0,700
35,000	11,760	0,035	0,700
40,000	13,440	0,035	0,700

V prejšnjo tabelo so vpisani podatki, ki smo jih izmerili in dobili z rabo naprav, računalnika in računalniškega programa. Obe temperaturi in moč smo dobili iz računalniškega programa, izračunati je bilo treba le temperaturno razliko.

Temperaturno razliko ΔT in moč P smo pozneje vnesli v graf, iz katerega so bile razvidne naše meritve, dodali pa smo še regresijsko črto, s katero smo dobili formulo za izračun.

Formula je bila namenjena za izračun vrednosti za temperaturno razliko 25, 30, 35 in 40 °C. Naši podatki niso dosegali natančnih temperaturnih razlik, ampak so bila odstopanja. Točnost pa je bila nujna za poznejšo primerjavo različnih sistemov.

Toplotno prehodnost U dobimo tako, da moč P, ki jo porabi grelna telo za vzdrževanje temperaturne razlike ΔT v škatli, delimo s temperaturno razliko in površino, skozi katero želimo dobiti toplotno prehodnost.

$$U = \frac{P}{A \cdot \Delta T} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Toplotna prevodnost λ pa je definirana kot produkt toplotne prehodnosti in debeline snovi d, ki ji želimo določiti toplotno prevodnost.

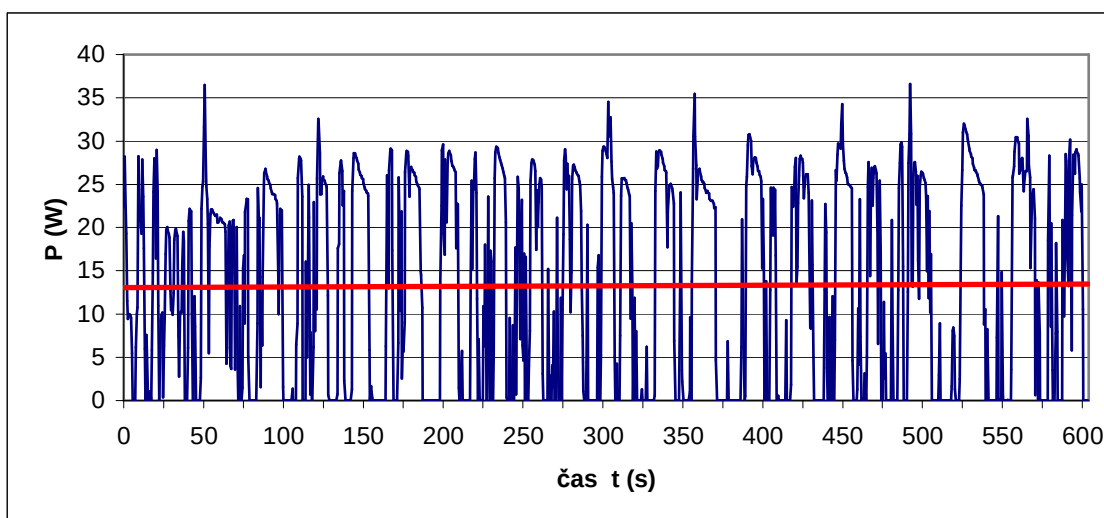
$$\lambda = \frac{P \cdot d}{A \cdot \Delta T} = U \cdot d \text{ (W/mK)}$$

Rezultati kažejo, da je bilo tesnjenje škatle zelo dobro. Toplotna prehodnost je bila v mejah, kot jo je določil proizvajalec. Ta je določil vrednost 0,035 W/mK ali 0,7 W/m²K.

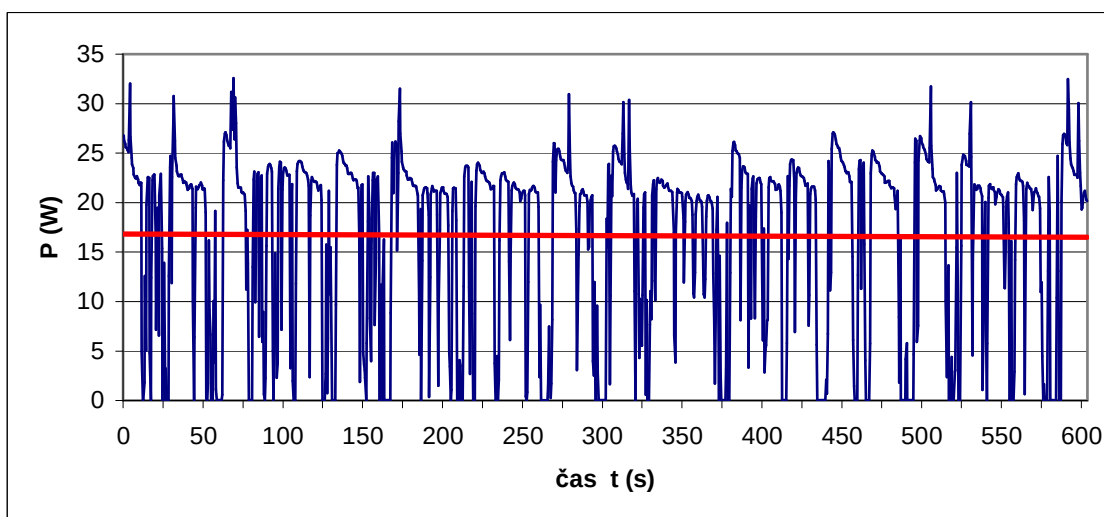
4.1.1 Prikaz meritev toplotnih izgub pri škatli

Vsako temperaturno razliko smo merili 10 minut oziroma 600 sekund. Programsko smo nastavili, da sta bili vsako sekundo opravljene dve meritvi. Tako smo na koncu dobili za vsako meritev 1200 vrednosti.

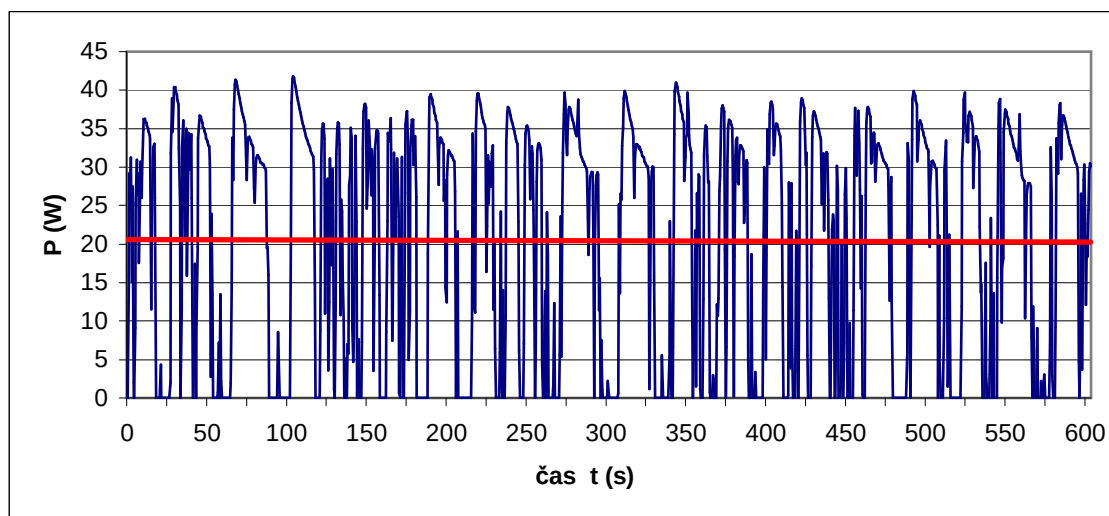
4.1.1.1 Prikaz meritev moči P (W) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C.



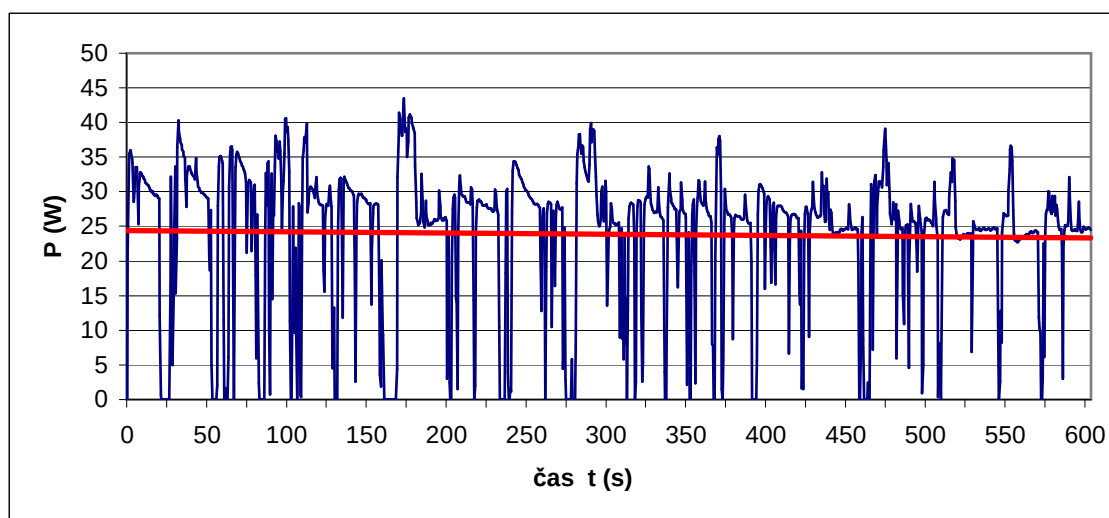
Slika 10: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 25$ °C (rdeča črta predstavlja povprečje)



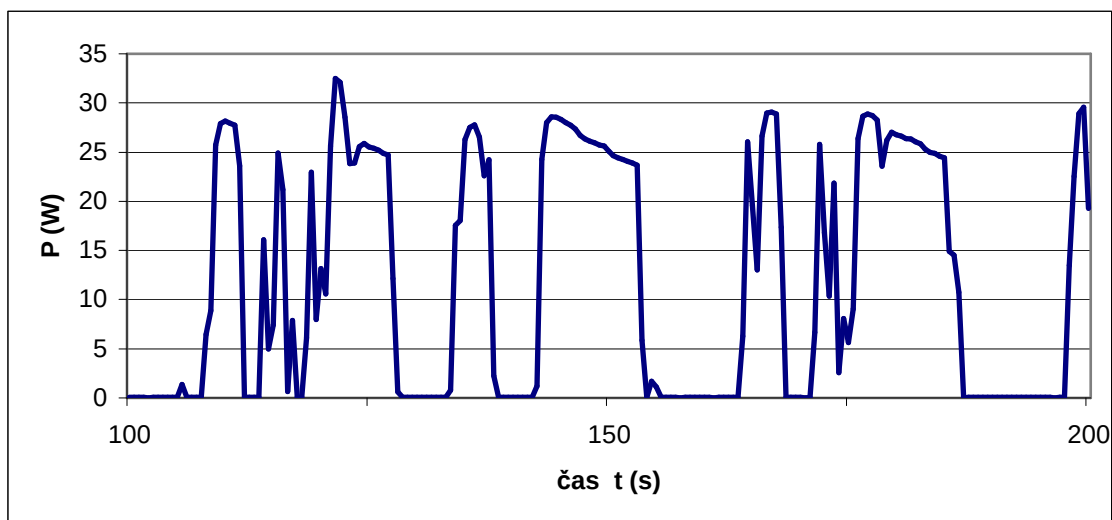
Slika 11: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 30$ °C (rdeča črta predstavlja povprečje)



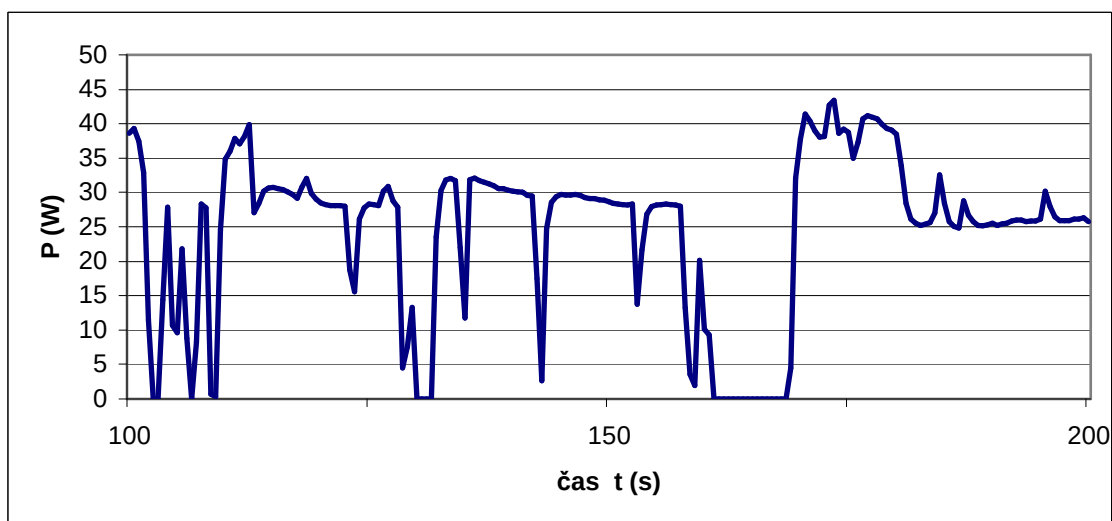
Slika 12: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 35$ °C (rdeča črta predstavlja povprečje)



Slika 13: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 40$ °C (rdeča črta predstavlja povprečje)



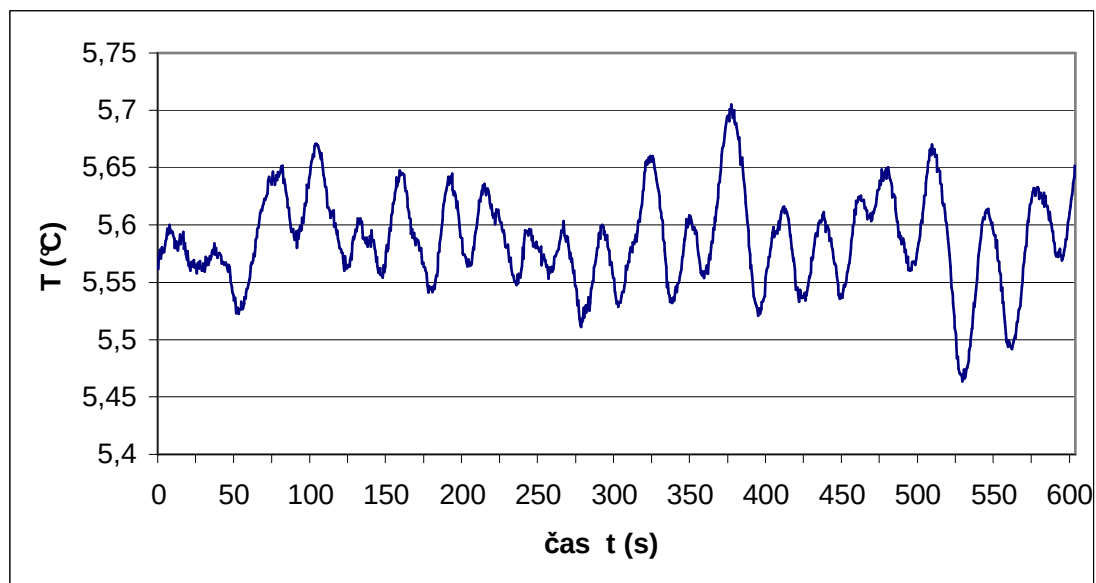
Slika 14: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segment)



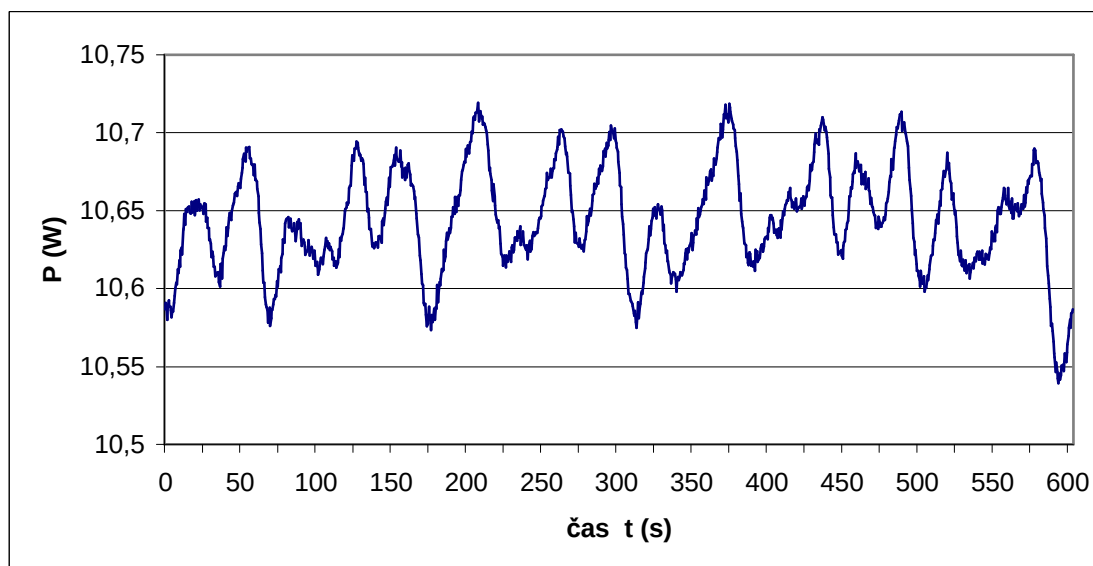
Slika 15: Toplotne izgube škatle pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segment)

Krivulje v grafih kažejo porabo moči za določeno temperaturno razliko. Iz grafov je razvidno, da se pri temperaturni razliki $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ grelec v skrinji še velikokrat izklopi, če pa gledamo temperaturno razliko pri $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, vidimo, da se je grelec le malokdaj izklopil, večino časa pa je bil prižgan.

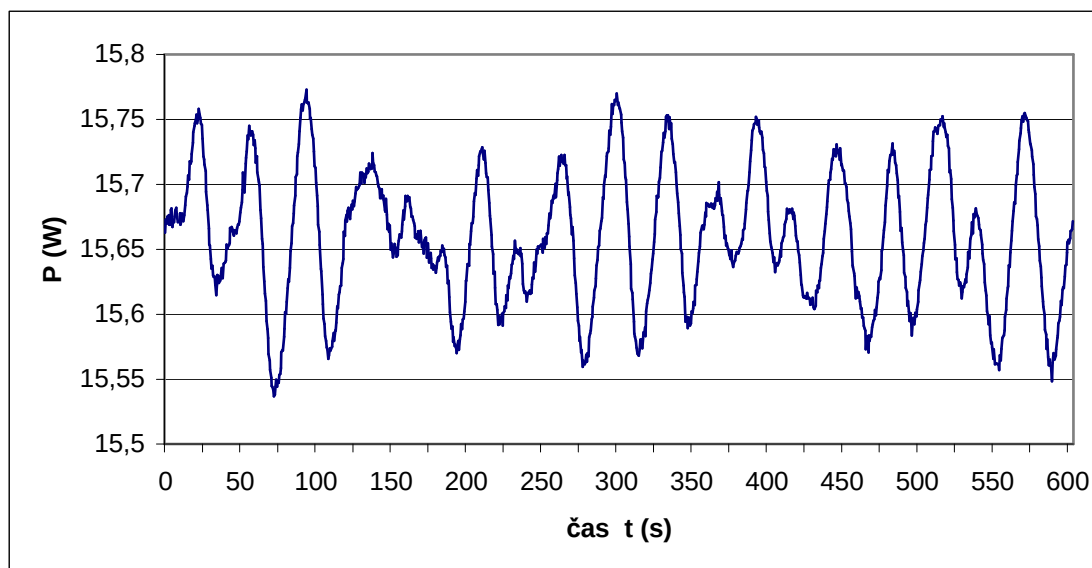
4.1.1.2 Prikaz meritev temperature znotraj škatle T (°C) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C



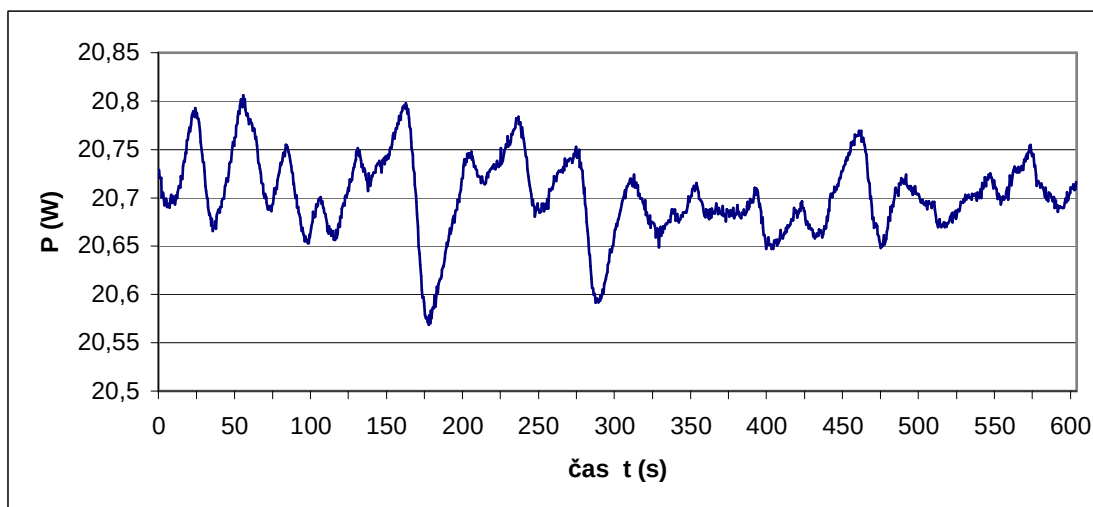
Slika 16: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 25$ °C



Slika 17: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 30$ °C



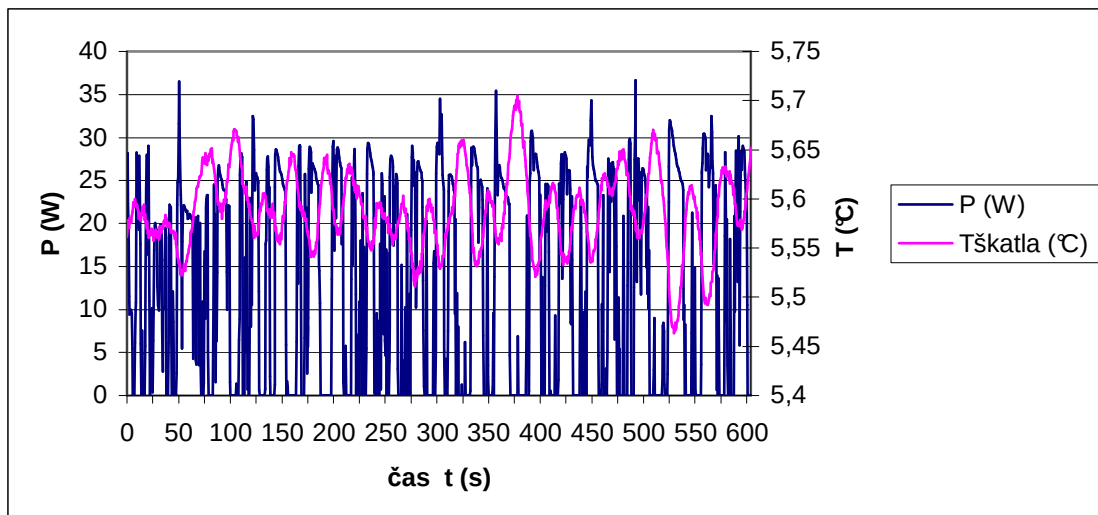
Slika 18: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$



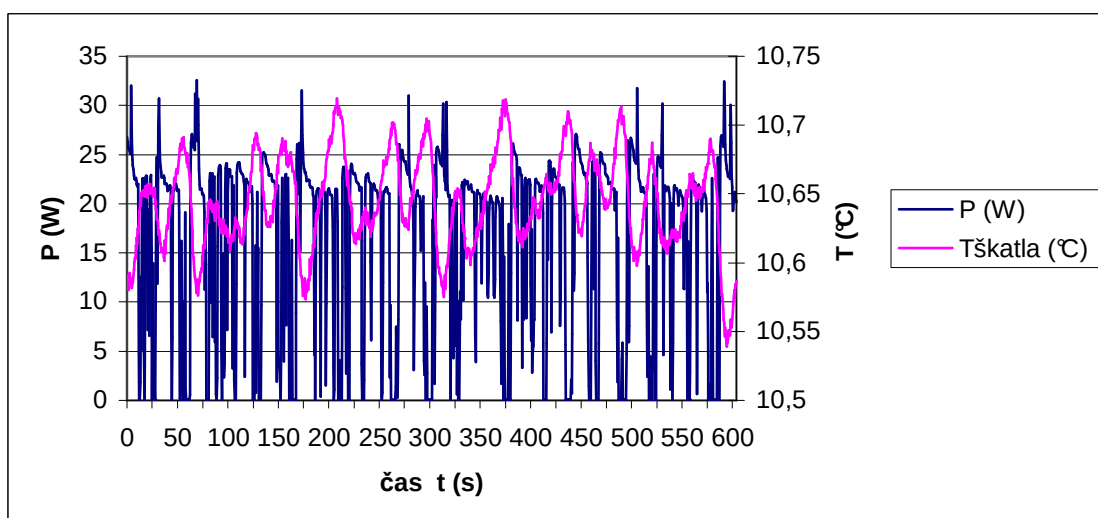
Slika 19: Temperatura znotraj škatle pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperaturo znotraj škatle je nenehno uravnaval regulator. Temperatura v škatli se je gibala od 5 do 20 °C, kar je bilo odvisno od tega, katero temperaturno razliko smo merili. Krivulja prikazuje nihanje temperature v škatli. Kot vidimo, odstopanje ni nikoli prestopilo meje 0,3 °C, kar pa je dobro vplivalo na točnost rezultatov. Da je bilo odstopanje minimalno, smo dosegli z ventilatorjem, saj je zrak nenehno krožil in je bila zato v celotni notranjosti škatle enaka temperatura.

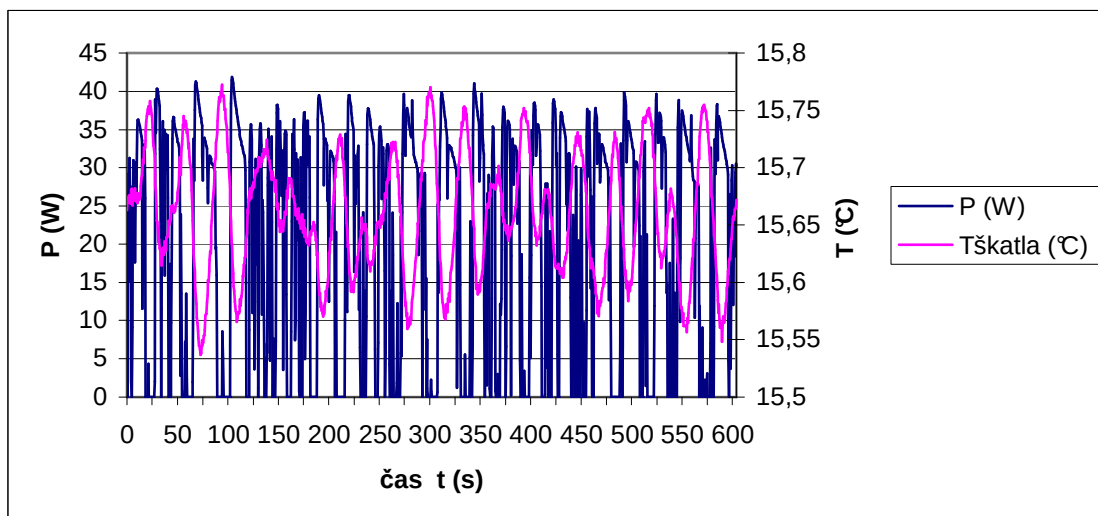
4.1.1.3 Prikaz primerjave meritev temperature znotraj škatle in poraba moči pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40^\circ\text{C}$



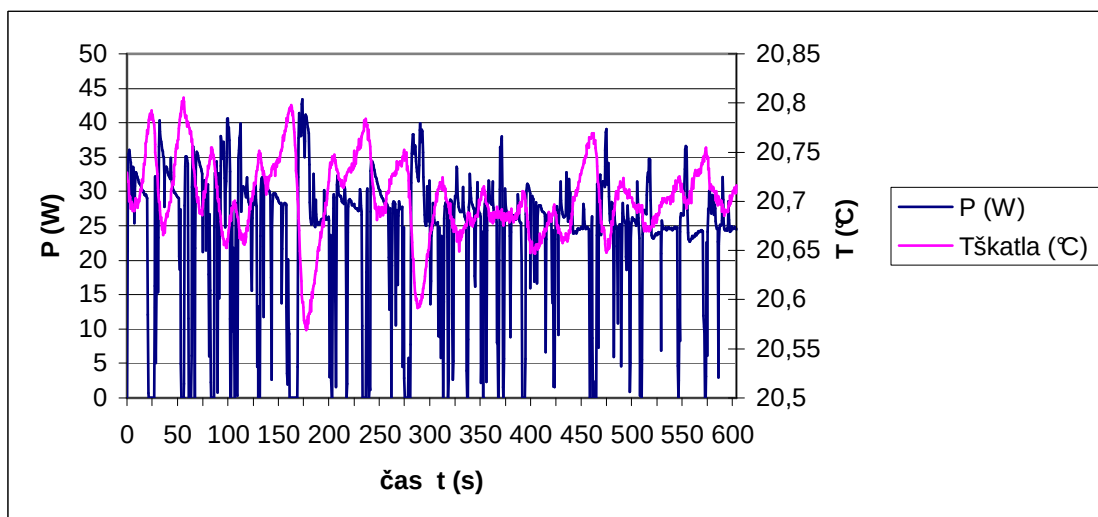
Slika 20: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 25^\circ\text{C}$



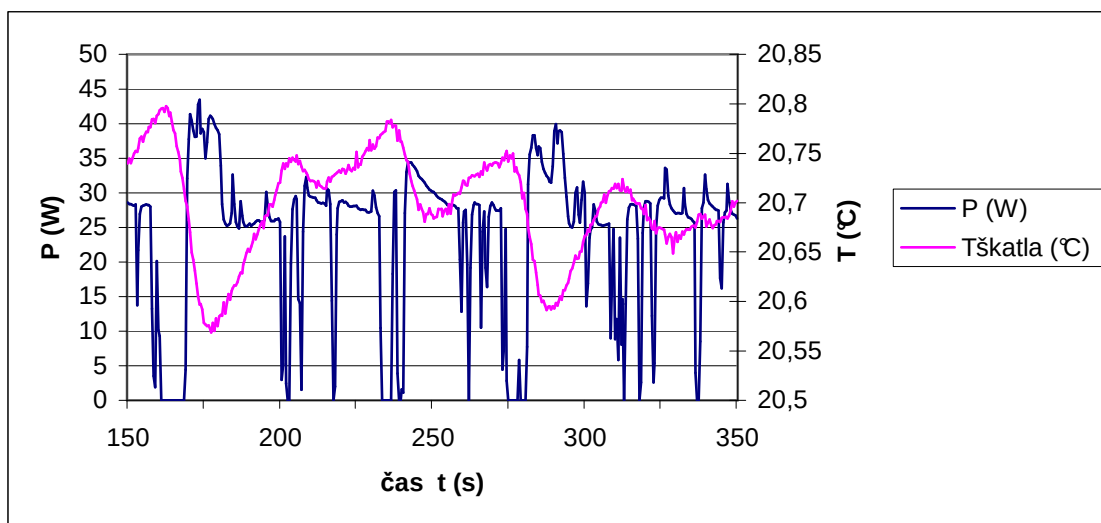
Slika 21: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 30^\circ\text{C}$



Slika 22: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Slika 23: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$



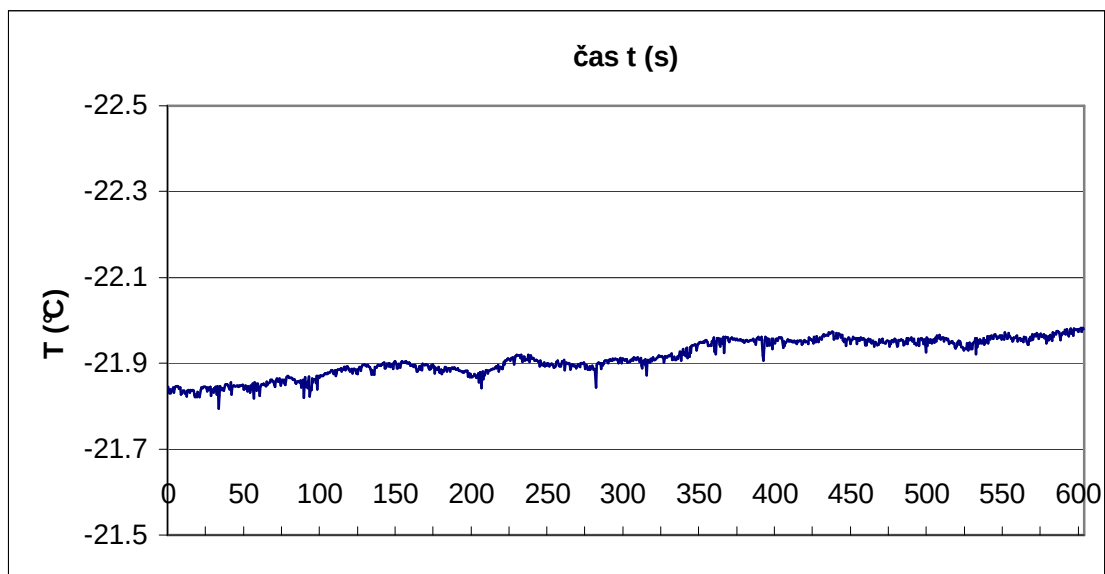
Slika 24: Primerjava temperature in moči pri $\Delta T \approx 40\text{ °C}$ (segment)

Primerjava temperature in poraba moči znotraj škatle kažeta, da so bili padec temperature in vžig grelca ter poraba moči soodvisni.

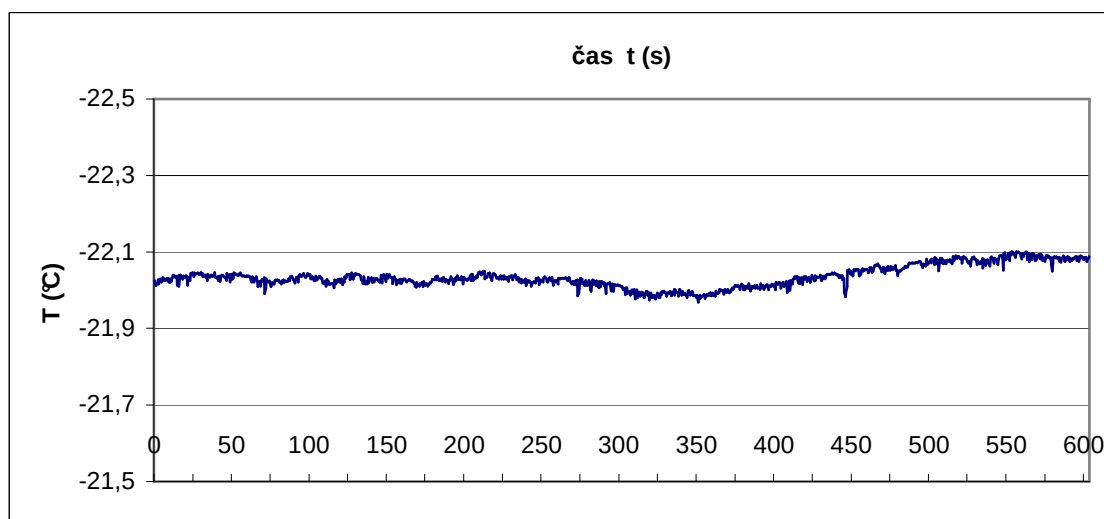
Če pogledamo krivulje, vidimo, da se je grelec, ko se je temperatura povečevala, izklopil oziroma je porabljal minimalno količino moči in nasprotno – ko je temperatura padala, je bil vključen.

Še posebej se to vidi, kadar je temperatura močno odstopila v eno ali drugo smer. Tedaj je bil grelec določen čas popolnoma izključen oziroma je bil nekaj časa pod polno obremenitvijo.

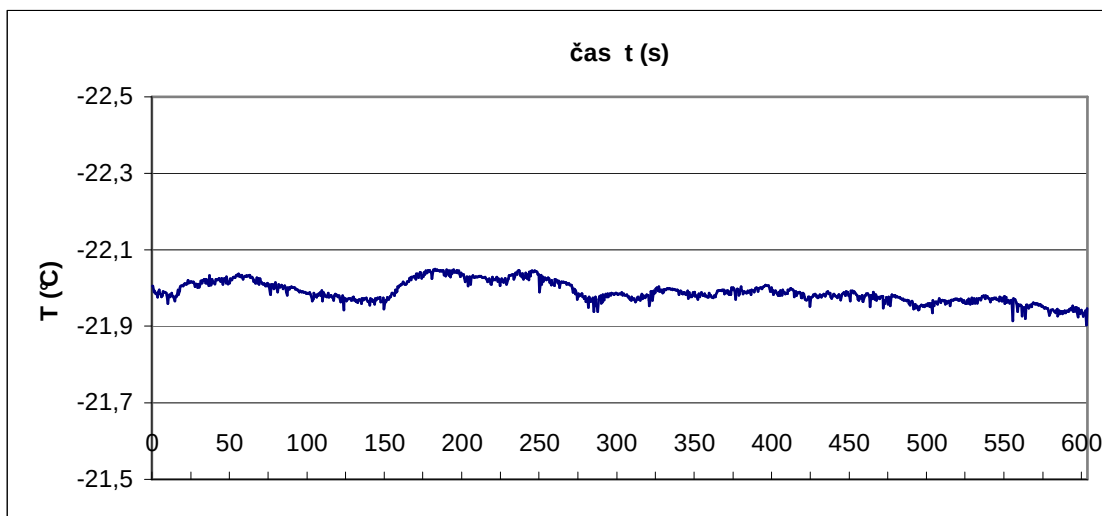
4.1.1.4 Prikaz meritev temperature znotraj zamrzovalne skrinje T (°C) pri $\Delta T \approx 25, 30, 35, 40$ °C



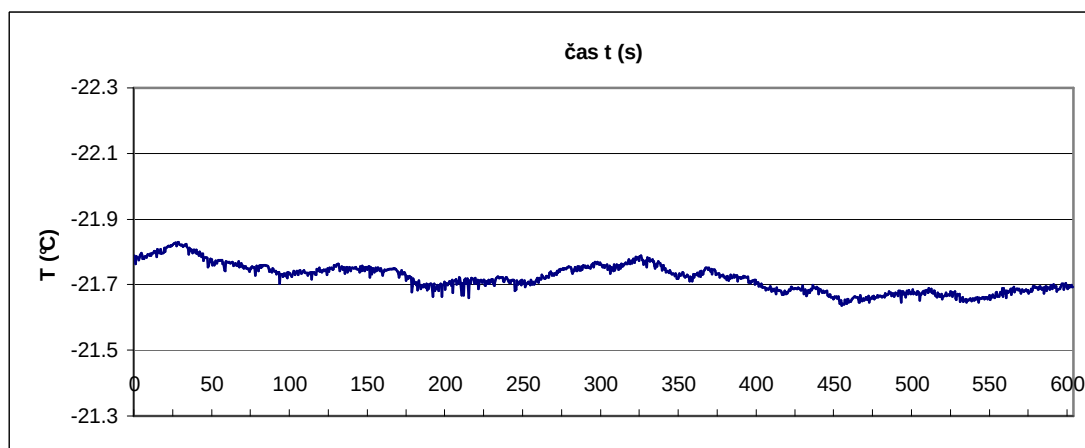
Slika 25: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 25$ °C



Slika 26: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 30$ °C



Slika 27: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 35\text{ }^{\circ}\text{C}$



Slika 28: Temperatura znotraj zamrzovalne skrinje pri $\Delta T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

V primerjavi s temperaturo znotraj škatle je ta v zamrzovalni skrinji veliko bolj umirjena. Nihanja navzgor in navzdol so veliko počasnejša. Razlog za to je zamrzovalna skrinja. Stabilnost temperature je povezana s tehnično stabilnostjo sistema, ki je tehnično povezana z velikostjo sistema. Njeni merilniki temperature so učinkoviti in natančni, kot so bili naši. Vendar pa na rezultat vplivata masa in velikost skrinje, ki je veliko večja od škatle.

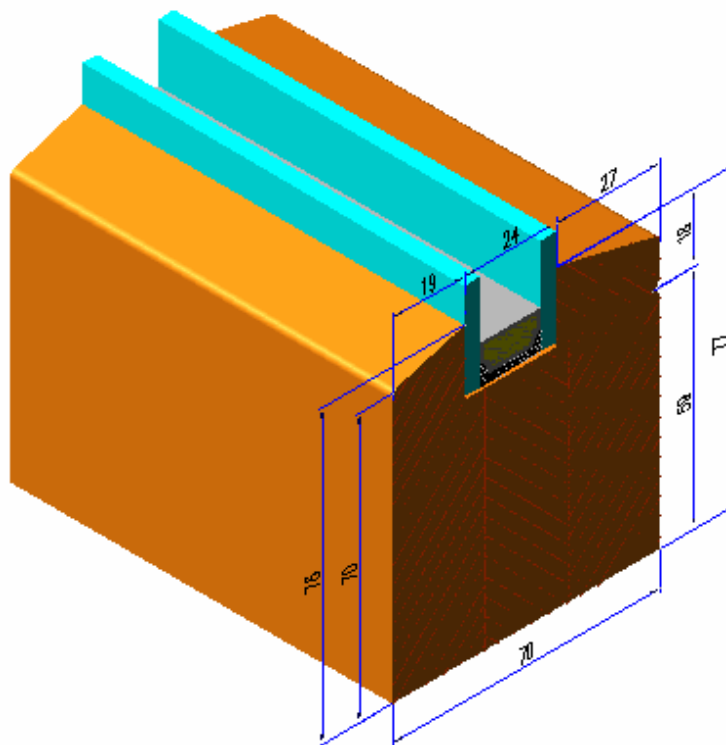
A tudi pri tem ni bilo večjega odstopanja. Največje odstopanje je bilo enako kot pri škatli (0,3 °C). Temperatura je bila sicer nekoliko nižja, kot smo jo pričakovali (od -21,5 do -22 °C), vendar je zamrzovalno skrinjo veliko težje ustrezno nastaviti, saj je bila mogoča le ročna nastavitvev, nastavitvev naših naprav pa je bila digitalna.

4.2 TOPLOTNE IZGUBE PRI RAZLIČNIH SISTEMIH

Za raziskavo smo uporabili tri različne sisteme, ki so danes na trgu najaktualnejši. Uporabili smo leseno, PVC- in aluminijasto okno. Pri vsakem sistemu smo imeli dve različni zasteklitvi – enkrat z aluminijastim distančnikom, ki se danes zelo pogosto uporablja, in enkrat s PVC-distančnikom, ki je novost na trgih in še ni dovolj znan.

Leseno okno

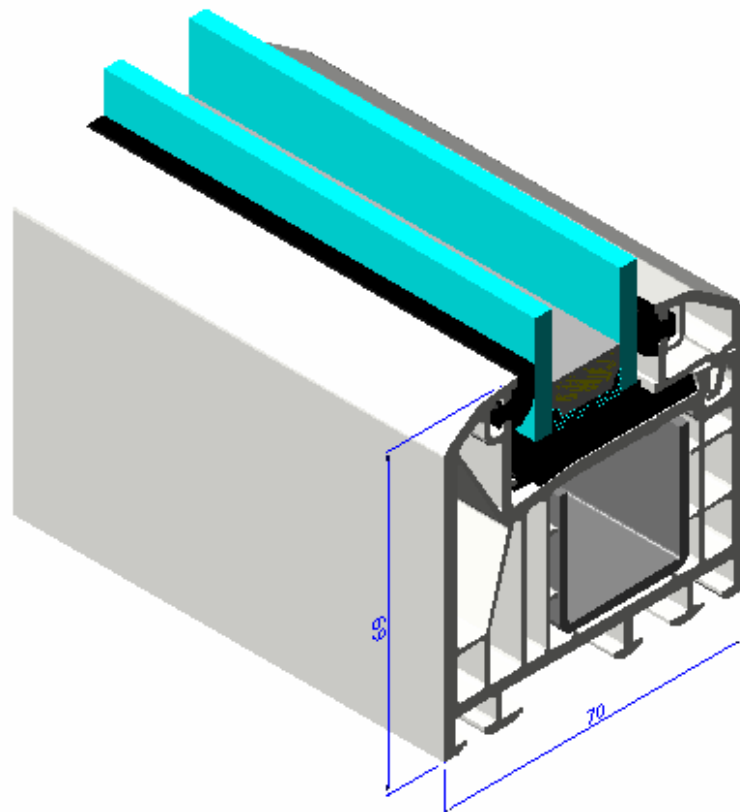
Debelina okvirja je bila 70 mm, višina pa 75 mm. Uporabljen je bil les smreke, ki je bil širinsko lepljen iz treh kosov. Toplotna prehodnost okvirja iz lesa se giblje od 1,5 do 1,8 $\text{W/m}^2\text{K}$. Okno debeline 70 mm s plinskim polnjenjem in z zasteklitvijo ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) pa ima skupno toplotno prehodnost približno 1,4 $\text{W/m}^2\text{K}$. (Grobovšek, 2000, Prednosti in slabosti PVC- in lesenih oken)



Slika 29: Detajl lesenega okna

PVC-okno

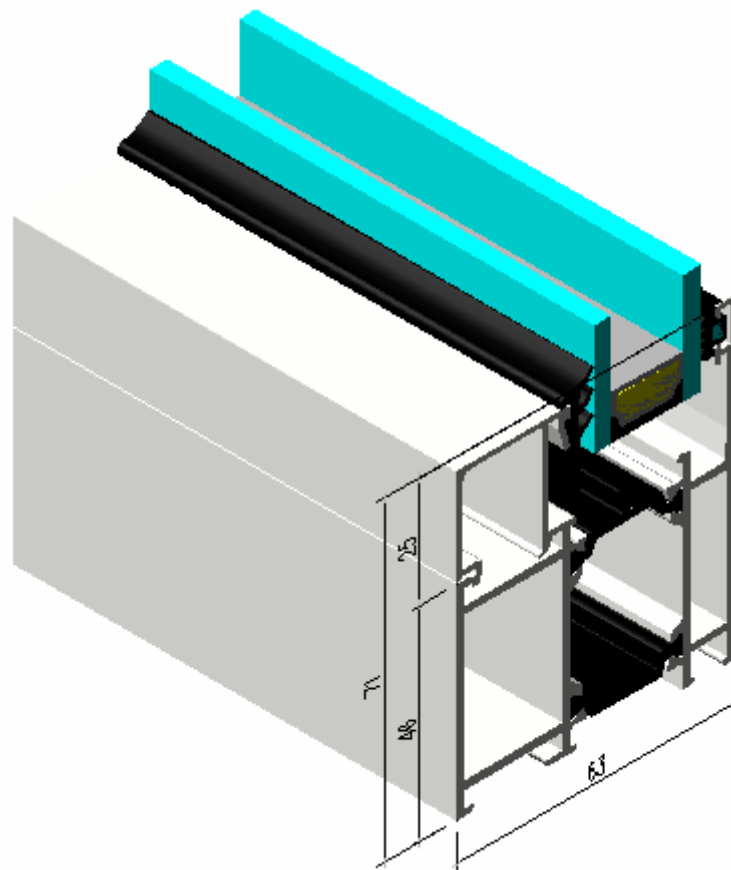
Okvir PVC-okna ima toplotno prehodnost $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. S kovinsko ojačitvijo v notranjosti pa ima toplotno prehodnost $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Okno s plinskim polnjenjem povprečnih dimenzij iz petkomornega profila PVC s kovinsko ojačitvijo in z zasteklitvijo ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) ima skupno toplotno prehodnost približno $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Govedič, 2004)



Slika 30: Detajl okna iz umetne mase

Aluminijasto okno

Profil debeline 63 mm s prekinjenim toplotnim mostom ima U-vrednost $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tako ima okno s plinskim polnjenjem povprečnih dimenzij in debeline 63 mm s prekinjenim toplotnim mostom in z zasteklitvijo ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) skupno toplotno prehodnost približno $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. (ALUK, 2004)



Slika 31: Detajl okna iz aluminija

Meritve so potekale enako kot meritve toplotnih izgub pri škatli. Razlika je bila v tem, da smo v eno stranico vrezali luknjo, nanjo pa smo pozneje dali eno izmed oken in tako improvizirali vgradnjo okna v steno.

Dobljene rezultate pa smo morali nekoliko obdelati. Temperature v zamrzovalni skrinji in v škatli ni bilo treba spreminjati, obdelati pa je bilo treba dobljeno moč. Podatek za moč, ki smo ga dobili iz računalnika, je veljal za celotno škatlo. Mi pa smo rabili samo moč za okno oziroma moč, ki je bila potrebna za prehod toplote skozi okno.

To smo dobili tako, da smo odšteli moči, potrebne za vzdrževanje določene ΔT v primerih prazne škatle in škatle z oknom. Dobili smo razliko med izgubami skozi površino okna in površino odstranjenega kosa izolacijskega materiala.

Iz dobljene moči za naše okno smo pozneje izračunali toplotno prehodnost in prevodnost.

$$P_{\text{okno}} \approx \frac{5}{6} P_{\text{škatle}} - P_{\text{škatle+okno}}$$

4.2.1 Toplotne izgube pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom

Preglednica 3: Rezultati meritev pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,45	-21,30	26,75	16,13
10,39	-21,40	31,79	21,34
15,36	-21,20	36,56	26,62
20,35	-20,87	41,22	32,01

Preglednica 4: Toplotna prevodnost in prehodnost pri lesenem oknu z aluminijastim distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,183	2,611

4.2.2 Toplotne izgube pri lesenem oknu s PVC-distančnikom

Preglednica 5: Rezultati meritev pri lesenem oknu s PVC-distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,69	-19,79	25,48	13,77
10,84	-20,02	30,86	19,92
15,62	-20,06	35,65	25,57
20,70	-19,92	40,65	31,15

Preglednica 6: Toplotna prevodnost in prehodnost pri lesenem oknu s PVC-distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,173	2,472

4.2.3 Toplotne izgube pri PVC-oknu z aluminijastim distančnikom

Preglednica 7: Rezultati meritev pri PVC- oknu z aluminijastim distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,82	-19,43	25,25	16,15
11,01	-20,42	31,43	22,45
16,07	-20,38	36,45	28,14
21,15	-20,15	31,30	32,75

Preglednica 8: Toplotna prevodnost in prehodnost pri PVC- oknu z aluminijastim distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,200	2,853

4.2.4 Toplotne izgube pri PVC-oknu s PVC-distančnikom

Preglednica 9: Rezultati meritev pri PVC-oknu s PVC-distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,70	-18,59	24,29	14,75
10,73	-19,13	29,86	20,44
15,72	-19,37	35,09	26,16
20,84	-19,36	40,20	31,48

Preglednica 10: Toplotna prevodnost in prehodnost pri PVC-oknu s PVC-distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,190	2,708

4.2.5 Toplotne izgube pri aluminijastem oknu z aluminijastim distančnikom

Preglednica 11: Rezultati meritev pri aluminijastem oknu z aluminijastim distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,50	-19,78	25,28	20,24
10,56	-20,06	30,62	25,91
15,55	-20,05	35,60	31,01
20,45	-19,85	40,30	36,11

Preglednica 12: Toplotna prevodnost in prehodnost pri aluminijastem oknu z alum. distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,227	3,602

4.2.6 Toplotne izgube pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom

Preglednica 13: Rezultati meritev pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom

$T_{\text{škatla}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{zamr. skrinja}} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	$P (\text{W})$
5,04	-18,70	23,74	12,62
10,01	-19,25	29,26	24,95
14,90	-19,47	34,37	30,76
19,94	-19,41	39,35	35,23

Preglednica 14: Toplotna prevodnost in prehodnost pri aluminijastem oknu s PVC-distančnikom

$\lambda (\text{W/mK})$	$U (\text{W/m}^2\text{K})$
0,214	3,394

4.3 UGOTOVITEV TOPLOTNE IZGUBE PRI RAZLIČNIH SISTEMIH IN DIMENZIJAH OKEN S FORMULO ZA IZRAČUN

Formula za izračun koeficienta toplotnega prehoda skozi okno je naslednja:

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi l}{A_w} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

U_w = koeficient okna (angl. window)

U_g = vrednost koeficienta stekla (angl. glass)

A_g = površina stekla

U_f = vrednost koeficienta okvirja (angl. frame)

A_f = površina okvirja

Ψ = linearni koeficient toplotnega prehoda

l = dolžina distančnika

A_w = površina okna

Preglednica 15: Parametri lesenega, PVC- in aluminijastega okna

	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,108	0,066
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,1		1,1		1,1	

Toplotni koeficient za steklo se spreminja s površino stekla. Kot vemo, ima robna cona distančnika velik vpliv (o tem več pozneje), če je ta iz aluminija, prav tako pa ima tudi vpliv vsebnost plina v steklu. Po podatku, ki ga navaja (Govedič, 2004), ima steklo površine 300 x 300 mm vrednost toplotnega prehoda 2,5 W/m²K. Toplotno vrednost 1,1 W/m²K pa doseže šele steklo površine 1100 x 1100 mm.

V rezultatih so upoštevane te vrednosti, tako da podatki za steklo v prejšnji tabeli veljajo za okno, večje od 1200 x 1200 mm.

4.3.1 Izračuni vrednosti s formulo za izračun

Preglednica 16: Rezultati pri oknu dimenzije 400 x 400 mm

Okno 400 x 400 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	2,5		2,5		2,5	
U_w okno (W/m ² K)	2,47	2,33	2,56	2,41	3,28	2,98
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+6,09		+6,01		+10,22	

Preglednica 17: Rezultati pri oknu dimenzije 500 x 500 mm

Okno 500 x 500 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	2		2		2	
U_w okno (W/m ² K)	2,22	2,10	2,26	2,14	2,87	2,61
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+5,93		+5,84		+10,05	

Preglednica 18: Rezultati pri oknu dimenzije 700 x 700 mm

Okno 700 x 700 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,5		1,5		1,5	
U_w okno (W/m ² K)	1,85	1,75	1,85	1,76	2,31	2,11
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+5,58		+5,49		+9,6	

Preglednica 19: Rezultati pri oknu dimenzije 1000 x 1000 mm

Okno 1000 x 1000 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,2		1,2		1,2	
U_w okno (W/m ² K)	1,53	1,46	1,52	1,45	1,85	1,71
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+5,00		+4,91		+8,77	

Preglednica 20: Rezultati pri oknu dimenzije 1500 x 1500 mm

Okno 1500 x 1500 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,2		1,1		1,1	
U_w okno (W/m ² K)	1,35	1,30	1,34	1,29	1,56	1,46
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+3,94		+3,84		+7,10	

Preglednica 21: Rezultati pri oknu dimenzije 2000 x 2000 mm

Okno 2000 x 2000 mm	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
Ψ vrednost (W/mK)	0,068	0,047	0,067	0,047	0,066	0,055
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,2		1,1		1,1	
U_w okno (W/m ² K)	1,29	1,25	1,28	1,24	1,45	1,37
izboljšanje v primerjavi z aluminij. distančnikom (%)	+3,14		+3,04		+5,78	

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Rezultati meritev

Preglednica 22: Toplotna prehodnost pri oknih z aluminijastim distančnikom

$U_{\text{les}} (\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{PVC}} (\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{Al}} (\text{W/m}^2\text{K})$
2,611	2,853	3,602

Preglednica 23: Toplotna prehodnost pri oknih s PVC-distančnikom

$U_{\text{les}} (\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{PVC}} (\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{Al}} (\text{W/m}^2\text{K})$
2,472	2,708	3,394

Toplotna prehodnost pri vseh oknih s PVC-distančnikom je v primerjavi z aluminijastim distančnikom manjša. Izraziteje se to kaže v rezultatu pri lesenem in aluminijastem oknu, manj izrazito pa pri PVC-oknu.

Pričakovali smo, da bo največja razlika pri aluminijastem oknu, vendar rezultati kažejo prav nasprotno. Poleg tega pa so vsi rezultati kar precej višji od tistih, ki jih navajajo proizvajalci.

Pri vseh proizvajalcih oken, tako lesenih, plastičnih in aluminijastih, se meritev opravlja pri temperaturni razliki 10 °C.

Pri proizvajalcu stekla sem zasledil naslednje: »Meritev po evropskih standardih poteka pri drugačnih mejnih pogojih. Pri starem standardu (DIN 52 619) je bila razlika med toplo in hladno ploščo 10 °K, evropski standard (meritev po SIST EN 674 in izračun po SIST EN 673) pa predpisuje, da je razlika 15 °K. Rezultat spremembe v metodi merjenja je ta, da so nove vrednosti koeficienta toplotnega prehoda za približno 0,1 W/m²K večje od starih.« (Govedič, 2004)

Na vrednosti koeficienta toplotnega prehoda pa zelo vpliva velikost oken, kajti z velikostjo oken se spreminjajo tudi odstotki določenega materiala, ki je v oknu. Čim večje je okno, tem večja je površina stekla in manjši je delež okvirja. Vemo pa, da ima vsak material svoj koeficient toplotne prehodnosti. Največjo toplotno prevodnost ima izmed vseh materialov, ki smo jih uporabili, aluminijasti distančnik s koeficientom toplotne prevodnosti 200 W/mK. Toplotna prevodnost zračne plasti v steklu je 0,057 W/mK. (Govedič, 2004)

Iz teh podatkov je razvidno, da teče skozi stik steklo–aluminij–steklo mnogo večji toplotni tok kot skozi stik steklo–zrak (plin)–steklo. Na tem mestu nastanejo toplotni mostovi. Z meritvami je dokazano, da sega vpliv aluminijastega distančnika od oboda stekla proti sredini stekla 15 cm globoko. (Govedič, 2004)

Preglednica 24: Delež robne cone pri različnih dimenzijah stekla

Dimenzija stekla (cm)	Površina stekla (m ²)	Robna cona (m ²)	Delež robne cone na celotni površini (%)
200 x 200	4,00	1,11	28
150 x 150	2,25	0,81	36
100 x 100	1,00	0,51	51
60 x 60	0,36	0,27	75
40 x 40	0,16	0,15	94
30 x 30	0,09	0,09	100

Vrednost, ki se navaja za koeficient toplotnega prehoda skozi steklo U (po starem k), velja za polje v sredini stekla. Dejanska vrednost pa se lahko zaradi dimenzij, predvsem pri manjših steklih, bistveno razlikuje od nazivne. Kot vidimo v prejšnji tabeli, sega pri steklu velikosti 1 m² vpliv distančnika skoraj do polovice njegove površine. Izračun kaže, da lahko toplotne izgube prek aluminijastega distančnika predstavljajo tudi do 10 % vseh izgub skozi okno. (Govedič, 2004)

Če pa pogledamo na velikost naših oken, ki je bila 400 x 400 mm in je bila velikost stekla manjša kot 300 x 300 mm, vidimo, da je delež robne cone enak 100 %. Iz tega sledi, da ne moremo govoriti o steklu, ki ima toplotno prehodnost 1,1 W/m²K, ampak je ta vrednost veliko višja.

Toplotni mostovi pri oknih pa ne vplivajo negativno le na toplotne izgube, temveč imajo tudi druge slabosti. Zaradi večjega toplotnega toka skozi robno cono so temperature ob steklenih robovih bistveno nižje kot v sredini stekla. Ker je tudi profil okenskega krila na tem mestu ožji, se lahko pri posebej neugodnih pogojih, kot sta nizka temperatura in visoka relativna vlažnost, na robni coni stekla pojavi celo kondenzacija vodne pare. Pojav kondenza ni samo estetski problem, temveč lahko povzroči nastajanje plesni in zato tudi škodo na oknih. (Govedič, 2004) Pri lesenih oknih trohnenje, pri aluminijastih oknih oksidacije profilov in pri PVC-oknih kondenzacija nimajo nobenega vpliva.

Evropska zakonodaja zajema problematiko toplotnih mostov že v formuli za izračun koeficienta toplotnega prehoda skozi okno. (Govedič, 2004)

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi l}{A_w} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Iz formule je razvidno, da se za opis toplotnih tokov v sistemu okenski okvir–robno tesnjenje–steklo kot toplotnotehnično karakteristiko uporablja linearni koeficient toplotnega prehoda Ψ (psi). Velikost vpliva toplotnih mostov, ki nastanejo v coni robnega tesnjenja (angl. warm edge efekt), podaja izraz Ψ .

Koeficient Ψ sicer upošteva toplotni prehod, ki izhaja iz kombiniranega vpliva okvirja, stekla in distančnika, vendar pa je najbolj odvisen od toplotne prevodnosti materiala, iz katerega je izdelan distančnik. (Govedič, 2004)

Vrednost linearnega toplotnega prehoda za distančnike iz aluminija je prikazana v naslednji tabeli. (Govedič, 2004)

Preglednica 25: Vrednosti linearnega toplotnega prehoda za distančnike iz aluminija

Material za okenske okvirje	Dvo- ali troslojno steklo brez low-e nanosov Ψ (W/m ² K)	Dvoslojno izolacijsko steklo (eno steklo z low-e nanosom) in troslojno izolacijsko steklo (dve stekli z low-e nanosom) Ψ (W/m ² K)
Leseni in PVC-okvirji	0,04	0,06
Kovinski iz toplotno prekinjenih profilov	0,06	0,08

Preglednica 26: Primerjava rezultatov med različnimi okenskimi sistemi

	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
U_f okvir (W/m ² K)	1,6		1,6		2,5	
U_g steklo (W/m ² K)	1,1		1,1		1,1	
U_w okno (W/m ² K)	2,611	2,472	2,853	2,708	3,602	3,394
izboljšanje v primerjavi z aluminijastim distančnikom	+5,6%		+5,3%		+6,1%	

Preglednica 27: Teoretični rezultati iz vira (Govedič, 2004)

	Leseno okno		PVC-okno		Aluminij. okno	
	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
vrsta distančnika	Al	PVC	Al	PVC	Al	PVC
U_f okvir (W/m ² K)	1,3		1,6		2,0	
U_g steklo (W/m ² K)	1,1		1,1		1,1	
U_w okno (W/m ² K)	1,33	1,28	1,43	1,38	1,66	1,55
izboljšanje v primerjavi z aluminijastim distančnikom	+3,9%		+3,6%		+7,1%	

Rezultati pri vseh okenskih sistemih ne odstopajo preveč od realnih rezultatov. Vrednost je višja pri lesenem in PVC-oknu, manjša pa pri aluminijastem.

Upoštevati moramo, da so bile naše meritve opravljene z okni dimenzije 400 x 400 mm. V teoretičnih meritvah, pa se uporabljajo dimenzije oken 1000 x 1000 mm. To odstopanje se vidi pri toplotni vrednosti okna (U_w okno).

Razlog za to je velikost stekla. Steklo je majhno, delež robne cone pa je velik. Vrednost stekla ni nikakor 1,1 W/m²K, ampak neprimerno večja (okoli 2,5 W/m²K). (Govedič, 2004)

5.1.2 Rezultati, dobljeni po formuli za izračun toplotnega koeficienta

Rezultati po formuli za izračun toplotnega koeficienta ob upoštevanju deleža robne cone in pri različnih dimenzijah oken.

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi l}{A_w} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Naslednja tabela prikazuje izboljšanje toplotne vrednosti okna v odstotkih (%), kadar namesto aluminijastega distančnika uporabimo PVC-distančnik.

Preglednica 28: Rezultati, dobljeni po formuli za izračun toplotnega koeficienta

Dimenzija okna (mm)	Leseno okno	PVC-okno	Aluminij. okno
400 x 400	6,09 %	6,01 %	10,22 %
500 x 500	5,93 %	5,84 %	10,05 %
700 x 700	5,58 %	5,49 %	9,60 %
1000 x 1000	5,00 %	4,91 %	8,77 %
1500 x 1500	3,94 %	3,84 %	7,10 %
2000 x 2000	3,14 %	3,04 %	5,78 %

Rezultati kažejo, da izboljšanje rezultatov, kadar uporabimo PVC-distančnik namesto aluminijastega, pri večjih dimenzijah upada. Najboljši rezultati se pokažejo pri manjših dimenzijah oken ter pri aluminijastih oknih.

Pri manjših oknih na rezultat bolj vplivata distančnik in površina okvirja, ki ima večji toplotni koeficient od stekla. Pri velikih oknih pa je nasprotno.

5.1.3 Primerjava rezultatov, dobljenih pri meritvah in po formuli za izračun toplotnega koeficienta

Tabela prikazuje izboljšanje toplotne vrednosti okna v odstotkih (%), kadar namesto aluminijastega distančnika uporabimo PVC-distančnik pri različnih okenskih sistemih, dobljenih s pomočjo meritev.

Preglednica 29: Izboljšanje toplotne vrednosti pri rezultatih, dobljenih z meritvami

	Leseno okno	PVC-okno	Aluminij. okno
Izboljšanje (%)	+5,6	+5,3	+6,1

Tabela prikazuje izboljšanje toplotne vrednosti okna v odstotkih (%), kadar namesto aluminijastega distančnika uporabimo PVC-distančnik, pri rezultatih, dobljenih s pomočjo formule za izračun toplotnega koeficienta.

Preglednica 30: Izboljšanje toplotne vrednosti pri rezultatih, dobljenih s formulo

Dimenzija okna (mm)	Leseno okno	PVC-okno	Aluminij. okno
400 x 400	+6,09 %	+6,01 %	+10,22 %
500 x 500	+5,93 %	+5,84 %	+10,05 %
700 x 700	+5,58 %	+5,49 %	+9,60 %
1000 x 1000	+5,00 %	+4,91 %	+8,77 %
1500 x 1500	+3,94 %	+3,84 %	+7,10 %
2000 x 2000	+3,14 %	+3,04 %	+5,78 %

Obe tabeli prikazujeta podobne rezultate. Vpliv distančnika je velik, kadar s PVC-distančnikom zamenjamo aluminijastega. Opazna sprememba je v spodnji tabeli, še posebej pri majhnih dimenzijah, ko se vrednost izboljšave veča.

Razlik med rezultati obeh tabel ni, največjo vrednost ima aluminijasto okno, sledita mu leseno in PVC-okno.

Na podlagi tega ugotavljam, da je najbolje zamenjati aluminijasti distančnik s PVC-distančnikom, še posebej, kadar so dimenzije oken razmeroma majhne (do 1000 x 1000 mm).

Najbolje pa je, da se uporabi nov PVC-distančnik pri vseh oknih, kajti že vsak odstotek, ki ga pridobimo, zmanjša stroške ogrevanja. Investicija v PVC-distančnik pa se hitro povrne, če gledamo na trajnost oken.

5.2 SKLEPI

Na osnovi diplomskega dela lahko navedem naslednje sklepe:

1. Rezultat diplomskega dela je ugotovitev toplotnih izgub pri različnih okenskih sistemih.
2. Z meritvami je bilo ugotovljeno, da se je vrednost toplotnih izgub pri vseh okenskih sistemih izboljšala, če smo v oknu zamenjali steklo z aluminijastim distančnikom s steklom, ki je imelo PVC-distančnik.
3. Rezultati, dobljeni s formulo za izračun toplotnega koeficienta, kažejo, da so toplotne izgube precej večje pri manjših dimenzijah oken kot pri večjih, kadar je okno zastekljeno z aluminijastim distančnikom.
4. Na toplotne izgube skozi okno zelo vpliva pravilna zasteklitev. Med steklom in okvirjem mora obvezno biti vstavljeno tesnilo, ki preprečuje toplotni most.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo analizirali toplotne izgube pri različnih okenskih sistemih. Danes poznamo tri vrste materialov za izdelavo oken (les, PVC in aluminij), čedalje več pa je tudi kombinacij teh materialov.

V raziskavi smo največjo pozornost namenili distančniku, ki je v izolacijskem steklu. Klasičen distančnik je bil iz aluminija, zaradi prizadevanja po zmanjšanju toplotnih izgub pa je bil izdelan PVC-distančnik.

V prvem delu smo raziskavo posvetili meritvam, ki smo jih opravljali na oknu iz lesa, PVC-ja in aluminija z različno zasteklitvijo.

V drugem delu smo rezultate dobili s formulo za izračun toplotnega koeficienta.

Pri obeh rezultatih smo dobili podatke o vrednostih, ki kažejo, za koliko je PVC-distančnik boljši od aluminijastega pri različni toplotni prevodnosti. Kot vemo, aluminij precej boljše prevaja toploto kot PVC.

Rezultati kažejo, da je pomembno, kateri distančnik je v steklu (aluminijasti ali PVC).

Prav tako na to vrednost zelo vpliva velikost okna. Čim manjše je okno, tem večja je pomembnost distančnika v oknu, s tem pa razlika med aluminijastim in PVC-distančnikom. Z večanjem velikosti okna se ta vpliv manjša.

Rezultati temeljijo na oknih enake dimenzije za vse tri vrste okna. Za boljše rezultate bi morali uporabiti več dimenzij oken. Prav tako pa bi lahko opravili več meritev glede temperaturnih razlik. Le takrat bi dobili popolno sliko o vplivu posamezne vrednosti na toplotne izgube.

Primerjava med različnimi materiali za izdelavo oken kaže, da so razlike, če gledamo na toplotne izgube, majhne. Leseno in PVC-okno sta v istem razredu, nekoliko zaostaja le aluminijasto okno. Večjo pozornost pa bo treba nameniti distančniku. Rezultati so pokazali, da njegov vpliv veliko prispeva k zmanjševanju toplotnih izgub.

7 VIRI

- ALUK. 2004. Heat transmission capacity coefficient. Tehnična dokumentacija
- Bumann M. 2002. Das Fenster - vom Licht- und Luftdurchlass zum hermetischen Hightech-Element, Unsinnigkeiten in der technischen Entwicklung. Berlin: 9 str.
<http://www.dimagb.de/info/baualt/fenster1.html>
- Govedič J. 2004. Gradimo s steklom. 2. popravljena izdaja. Gornja Radgona, Reflex: 335 str.
- Grobovšek B. 2000. Prednosti in slabosti PVC- in lesenih oken.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT62.htm>
- KBE Fenstersysteme. 2004. System_70mm, Technische Dokumentation. Berlin, profine: 100 str. Tehnična dokumentacija
- Strnad J. 2002. Fizika. Prvi del. Mehanika/Toplota. 9. natis. Ljubljana, DMFA založništvo: 281 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Bojanu Bučarju za vso podporo in nasvete pri izdelavi tega dela. Zahvalil bi se tudi recenzentu prof. dr. Marijanu Mediču za strokovno mnenje o tem delu. Zahvaljujem se tudi Miranu Merharju, univ. dipl. inž. lesarstva, za pomoč pri meritvah.

Vsem v diplomski nalogi že imenovanim kot tudi tistim neimenovanim, ki so kakorkoli pomagali pri nastajanju tega dela, z globokim spoštovanjem iskrena hvala.