

Fakultet inženjerskih nauka

Univerziteta u Kragujevcu



Naziv studijskog programa: Mašinsko inženjerstvo

Nivo studija: Osnovne akademske studije

Modul: Energetika i procesna tehnika

Predmet: Prenos toplote i mase

Broj indeksa: 25/2005

Nemanja Z. Milutinović

Ispitivanje toplotnih gubitaka motača zgrade pri menom infracrvenekamere

Završni rad

Komisija za pregled i odbranu:

1. Prof. dr. Nebojša Lukić-mentor

2. _____

3. _____

Datum odbrane: _____

Ocena: _____

U okviru ovog završnog radakandidat treba da

Da osnove merenja temperature, teorije prostiranja toplote, prolaza toplote i toplotnih gubitaka. Posle toga je potrebno odraditi snimanje omotača zgrade objekta "B" Fakulteta inženjerskih nauka infracrvenom kamerom i dobijene slike obraditi u odgovarajućem programu da bi se rezultati prezentovali u odgovarajućoj formi. Na osnovu dobijenih rezultata izneti potrebne zaključke u cilju poboljšanja postojećeg stanja.

Preporučena literatura:

[1] Milorad Bojić; *Termodinamika*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2011.

[2] Slobodan Zrnić, Živojin Ćulum; *Grejanje i klimatizacija*, Beograd, 1988.

Kragujevac, 05.10.2012. mentor:

Prof. dr. Nebojša Lukić

Rezime

U radu su predstavljene osnove merenja temperature, teorija prostiranja toplote (kondukcija, konvekcija i zračenje) i prolaz toplote. Data je osnovna teorija o toplotnim gubicima prema **EN12831** standardu. Odrađeno je snimanje objekta "B" Fakulteta inženjerskih nauka infracrvenom kamerom i slike su obrađene odgovarajućim programom da bi se mogle prezentirati u predviđenoj formi. Na slikama su označena i objašnjena mesta od važnosti.

Abstract

This work contains basics of temperature measurement, theory of heat distribution (conduction, convection and radiation) and heat transfer. Also presented is the heat loss theory in accordance with **EN12831** standard. Pictures of Faculty of Engineering, building "B", are taken with infrared camera and then processed with appropriate software so that they could be presented in proper form. Details of importance are marked on all pictures.

Sadržaj

1 Uvod.....	5
1.1 Osnove merenja temperature.....	6
2 Prostiranje toplote	10
2.1 Kondukcija	10
2.2 Konvekcija.....	11
2.3 Zračenje toplote	12
2.4 Prolaz toplote.....	14
2.5 Toplotni gubici	16
3 Termografsko snimanje objekta "B", FIN	19
4 Zaključak.....	58
5 Literatura.....	59

1 Uvod

Ceo svet se danas suočava sa dva velika energetska problema. Prvi je nedostatak energije i nesigurnost njene količine i nabavke, a drugi je zagađenje okoline i klimatske promene nastale prevelikom i neracionalnom potrošnjom energije. Proizvodnja, distribucija i potrošnja su delatnosti koje direktno ili indirektno utiču na sva područja ljudskog delovanja, kao i na socijalni i ekonomski napredak svake zemlje. Porastom naučnog istraživanja na temu globalnog zagrevanja, razvijene zemlje se okreću obnovljivim izvorima energije (energija vetra, vode, geotermalna, solarna, itd.) i energetske efikasnosti. Pojam energetska efikasnost se najčešće susreće u dva moguća značenja, od kojih se jedno odnosi na uređaje, a drugo na mere i ponašanja. Pod energetske efikasnim uređajem smatramo onaj uređaj koji ima veliki stepen korisnog dejstva, tj. male gubitke prilikom transformacije jednog vida energije u drugi. Kada je reč o merama pod energetske efikasnošću podrazumjevamo mere koje se primenjuju u cilju smanjenja potrošnje energije. Ali samo smanjenje potrošnje energije ne porazumeva energetske efikasnost ako se smanjenjem energije gubi nivo komforta i produktivnosti. Znači uz smanjenje potrošnje energije potrebno je povećati nivo udobnosti i efikasnost (ili zadržati na istom nivou), a to postizemo tehnološkim promenama ili boljom organizovanošću i menadžmentom. Sve je veći razvoj i izgradnja energetske efikasne kuća i zgrada. Kuće koje imaju visok stepen termalne izolacije zidova, podova i krova kuće, kvalitetne prozore i vrata. Grejanje i klimatizacija se vrši pomoću toplotnih pumpi, a takođe ima solarne kolektore. Kuća koja u nekim periodima energiju dobija iz energetske mreže, a u ostalim periodima se energija vraća u energetske mrežu.

Srbija po pitanju energetske efikasnosti dosta kasni za razvijenim zemljama. **Srbija troši 40 odsto više energije za grejanje i hlađenja od evropskog proseka. Između 300.000 i 400.000 kuća u zemlji energetske neefikasne jer nemaju izolaciju zidova.-RTS (10. okt 2010).** Evropska Unija kao jedan od uslova za priključivanje Srbije zahteva i poboljšanje na polju energetske efikasnosti i Resorno ministarstvo priprema pravilnik po kome novi objekti moraju imati pasoše energetske efikasnosti. Kod nas je izgradnja energetske efikasne i zgrade koje koriste obnovljive izvore pojedinačni slučaj. Jedan primer zgrade koja koristi solarnu energiju je zgrada **Office Park B23 Beograd**, koja je projektovana kao zeleni poslovni ekološki objekat. Iako nove zgrade trebaju biti predvodnici novih tehnologija i energetske efikasnosti, rešenje treba biti u rekonstrukcija postojećeg stambenog fonda.

1.1 Osnove merenja temperature

Temperatura je veličina stanja koja je proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji velikog broja molekula. Temperatura se ne može meriti neposredno, jer bi to značilo merenje kinetičke energije svakog molekula, već za merenje temperature upotrebljava se bilo koji parametar ili osobina sistema koja zavisi od temperature - termometrijska osobina. Sistem kojim vršimo merenje naziva se termometar. Klasifikacija najčešće upotrebljavanih termometara data je u sledećoj tabeli 1:

Tabela 1.1 Klasifikacija termometara

Tip	Termometrijsko telo	Termometrijska osobina
Dilatacioni ($p=\text{const}$)	čvrsto telo tečnost (Hg, alkohol) gas	dužina zapremina zapremina
Manometarski ($V=\text{const}$)	gas	pritisak
Otporni	električni provodnik	električni otpor
Termoparovi	spoj dva provodnika	elektromotorna sila
Pirometri		elektromagnetno zračenje

Kada smo odabrali termometrijski sistem i osobinu onda je postupak merenja sledeći:

Ako je X_1 pokazivanje termometra pri nekoj temperaturi $t(X_1)$ nekog standardnog sistema čije se stanje lako reprodukuje, a X_2 pokazivanje pri temperaturi $t(X_2)$ nekog drugog standardnog i lako reproduktivnog stanja, i ako je zakon promene izabrane osobine sistema od temperature linearan:

$$t = t(X) = aX + b \quad (1.1)$$

tada se nepoznata temperatura određuje pomoću formule:

$$t(X) = \frac{t(X_1) - t(X_2)}{X_1 - X_2} (X - X_2) + t(X_2) \quad (1.2)$$

Lako reproducibilno stanje nekog standardnog sistema naziva se fiksna tačka.

Celzijusova temperaturska skala uzima kao nulu temperature $t(X_2)=0^\circ\text{C}$, temperaturu ravnoteže leda i vode, a kao $t(X_1)=100^\circ\text{C}$ temperaturu stanja ravnoteže vode i vodene pare na atmosferskom pritisku. Veličina jedinice za merenje jednog stepena 1°C dobija se kada se interval temperatura od 0°C do 100°C podeli sa 100.

Kako je:

$$t(X_1) - t(X_2) = 100^\circ\text{C}, \quad (1.3)$$

onda dobijamo:

$$t(X) = 100 \frac{X - X_2}{X_1 - X_2} \quad (1.4)$$

Linearan zakon promene može da se primeni sa dovoljnom tačnošću samo pri radu sa gasnim termometrima. Međutim, ni za jedan drugi termometrijski sistem zakon zavisnosti termometrijske osobine od temperature nije linearan i različit za svaki od tih sistema i osobina.

Tako će jedan živin i jedan alkoholni termometar pokazivati isto samo na **0°C** i **100°C** dok će na primer pri pokazivanju živinog termometra od **50°C** alkoholni pokazivati **48°C**, ako nije baždaren za svaki stepen. Za precizna merenja ove razlike su značajne. Kako nema jedinstvene skale, jer ova zavisi od sistema i osobine, to se ni pokazivanja dva termometra ne mogu upoređivati međusobno, pa ni rezultati merenja na raznim mestima sa različitim termometrima.

Vrste termometara koje postoje:

1. Gasni termometri
2. Termometri sa tečnošću
3. Otpornična termometrija
4. Termoelementi ili termoparovi
5. Pirometri

1.1.1 Gasni termometri

Gasnim termometrom, obično sa vodonikom, vršimo precizno određivanje pojedinih fiksnih tačaka. Gasni termometar se ne koristi u industriji, već samo u laboratorijama za određivanje fiksnih tačaka. Na slikama 1.1, 1.2 prikazani su gasni termometri sa rigidnom osnovom, kapilarom i princip rada gasnog termometra.



Slika 1.1. Gasni termometri sa rigidnom osnovom i sa kapilarom **Slika 1.2.** Shema rada gasnog termometra

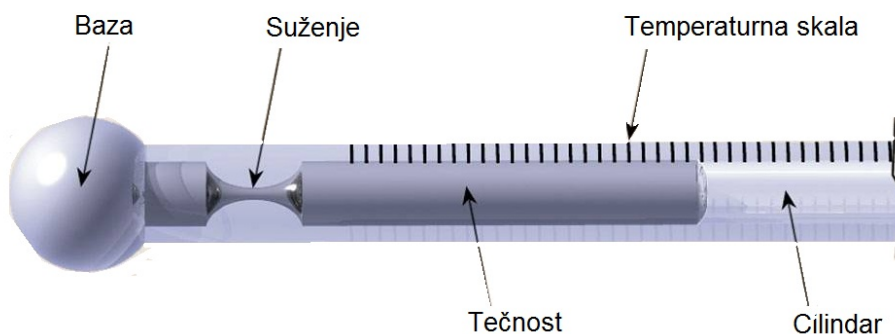
1.1.2 Termometri sa tečnošću

Iako se za merenje temperature najčešće koriste termometri kod kojih je termometrijsko telo tečnost, valja odmah istaći da su oni vrlo neprikladni za ione tačnija merenja. Termometar sa tečnošću sastoji se od staklene kapilarne cevi sa rezervoarom koja je najčešće napunjena živom ili

alkoholom. Živnim termometrom mogu se meriti temperature od -38°C do 250°C . Na slikama 1.3, 1.4 prikazani su živin termometar i princip rada živinog termometra.



Slika 1.3. Živin termometar



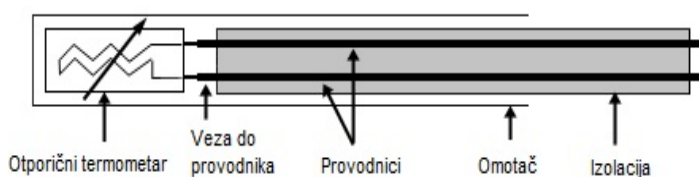
Slika 1.4. Shema rada živinog termometra

1.1.3 Otporična termometrija

Električni otpor provodnika i poluprovodnika menja se sa temperaturom najčešće na vrlo pravilan i reproducibilan način tako da se to njihovo svojstvo može iskoristiti za vrlo tačno i precizno merenje temperature. Najčešće se prave od platine i polako zamenjuju termoparove u industrijskoj primeni za temperature do 600°C usled veće preciznosti. Na slikama 1.5, 1.6 prikazani su otporični termometar i princip rada tog termometra.



Slika 1.5. Otporični termometar



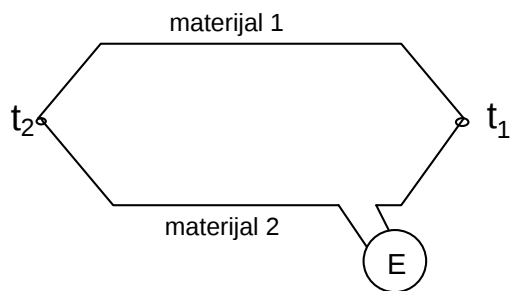
Slika 1.6. Shema rada otporičnog termometra

1.1.4 Termoelementi ili termoparovi

Upotreba termoelemenata za merenje temperature zasniva se na pojavi elektromotorne sile u kolu termopara sastavljenog od dva različita materijala. Ova elektromotorna sila može se izmeriti milivoltmetrom. Na slikama 1.7, 1.8 prikazani su termopar uređaj i princip rada tog uređaja.



Slika 1.7. Termoparni uređaj



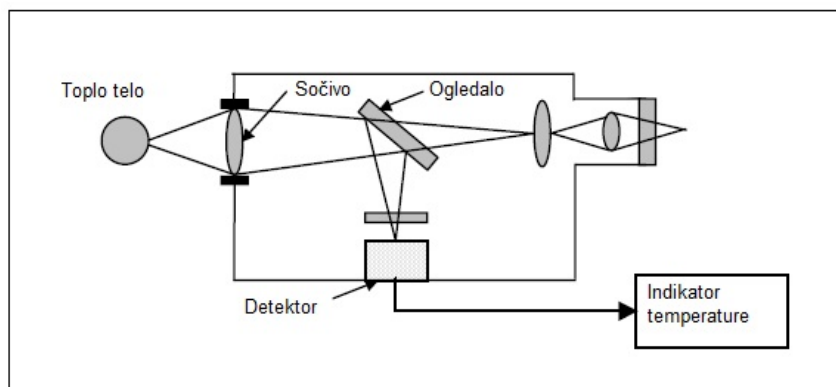
Slika 1.8. Shema rada termoparnog uređaja

1.1.5 Pirometri

Kod pirometra kao termometrijska osobina upotrebljava se elektromagnetno zračenje. Pri merenju temperature koristi se zavisnost energije zračenja nekog sistema od temperature. Na slikama 1.9, 1.10 prikazani su pirometar i princip rada pirometra.



Slika 1.9. Pirometar



Slika 1.10. Shema rada pirometra

2 Prostiranje toplote

Problematika prostiranja toplote prisutna je u inženjerstvu kada se nastoji da se prostiranje toplote ili intezivira ili uspori, ili kada treba optimizirati veličine toplotnih sistema. Toplota se spontano prenosi sa tela koje je na višoj temperaturi na telo koje je na nižoj temperaturi. Toplota se može raznim tehničkim procesima odvoditi ili dovoditi na tri različita načina:

1. **Kondukcijom** (provođenjem) od jednog delića materije do drugog kada se delići materije (atomi, molekuli) ne kreću;
2. **Konvekcijom**, kada se čestice materije kreću i nose sa sobom svoju energiju;
3. **Zračenjem**, kada se toplota pretvara u energiju zračenja - energiju elektromagnetnih talasa kojima se prenosi kroz prostor, pa i vakuum, a nailaskom na drugu materiju ponovo transformiše u toplotu.

Stvarno prostiranje toplote je **kombinovano**, što znači da su u izvesnoj meri i istovremeno zastupljena sva tri načina prostiranja toplote.

2.1 Kondukcija

Kondukcija ili provođenje toplote, odvija se po sledećem mehanizmu. Molekuli čvrstih materija koji su na višim temperaturama vibriraju brže oko svog ravnotežnog položaja. Pri sudaru sa molekulom niže temperature prenose na njega energetski impuls zbog čega mu se ubrzaju vibracije, a povećava mu se i temperatura. Istovremeno se molekulu koji odaje impuls smanjuje brzina vibracije i temperatura. Opisani mehanizam se nastavlja sve dok postoji termička neravnoteža između molekula u telu. Ovaj način prostiranja toplote je manje izražen kod fluida, a gotovo uvek kod čvrstih tela.

Skup temperatura u svim tačkama nekog prostora u datom trenutku posmatranja čini temperatursko polje. Temperatura u bilo kojoj tački tog prostora određena je koordinatama te tačke (x, y, z) i vremenom τ .

$$T = T(x, y, z, \tau) \text{ matematički izraz temperaturnog polja} \quad (2.1)$$

Ako se temperature ili srednje temperature u datom temperaturskom polju ne menjaju tokom vremena onda je takvo temperatursko polje ustaljeno ili stacionarno, a ako se temperature menjaju sa vremenom tada je takvo temperatursko polje neustaljeno ili nestacionarno. Primenom ove definicije temperaturskog polja na proces provodjenja dobija se slučaj ustaljenog ili stacionarnog provođenja i slučaj neustaljenog ili nestacionarnog provođenja toplote. Sve tačke sa istim temperaturama u temperaturskom polju formiraju površine jednakih temperatura koje se nazivaju izotermnim površinama.

$$Q = \varphi A \tau \text{ - količina dovedene ili odvedene toplote [J].} \quad (2.2)$$

φ - gustina toplotnog fluksa [$\text{J}/(\text{m}^2 \text{ s})$]

A - površina [m^2]

$$\dot{Q} = \varphi A \text{ - toplotni protok (fluks) [W]} \quad (2.3)$$

2.2 Konvekcija

Pri konvekciji toplota se prostire kretanjem samog fluida (tečnosti ili gasa):

- 1) kroz fluid
- 2) sa fluida na čvrstu površinu
- 3) sa čvrste površine na fluid

Prostiranje toplote se odvija tako što deo fluida (delići materije) prelazi iz sredine sa jednom temperaturom u sredinu sa fluidom na drugoj temperaturi gde se meša sa njim. Prilikom mešanja razmenjuje se unutrašnja energija mase fluida koja je na višoj temperaturi sa unutrašnjom energijom mase fluida koja je na nižoj temperaturi. Tada se masi fluida koja je na višoj temperaturi smanjuje temperatura, dok se masi tela koja je na nižoj temperaturi uvećava temperatura.

Najčešće nas interesuje ona količina toplote koja prelazi sa nekog fluida na neku čvrstu površinu (ili obrnuto).

$$\varphi = \frac{Q}{\tau A} = \frac{\dot{Q}}{A} = h(T_z - T) \quad (2.4)$$

T - temperatura fluida

T_z - temperatura zida

h - toplotna prelaznost [W/(m² K)] (koeficijent prelaza toplote)

Ovaj koeficijent najvećim delom obuhvata prostiranje toplote u fluidu prostiranjem toplote konvekcijom (kretanjem delića materije). Medjutim kako se toplota i prostire u fluidu provođenjem (molekularno) veoma malim intezitetom to **h** obuhvata i to. Molekularno prostiranje zavisi od temperaturskog polja, a prostiranje toplote kretanjem delića materije od brzinskog i temperaturskog polja. Prenos toplote konvekcijom i samim tim **h** zavisi od sledećih faktora: vrste fluida, oblika i stanja površine na kojoj se razmjenjuje toplota, uslova i brzine strujanja i temperaturske razlike.

2.3 Zračenje toplote

Zračenje toplote je još jedan način prostiranja toplote pored kondukcije i konvekcije. To je proces prostiranja toplote koji se dešava između bilo koja dva objekta koja se nalaze na različitim temperaturama. Svaki objekat emituje toplotno zračenje jer su na nekoj temperaturi. Ako se prenos toplote odvija na visokim temperaturama ili ako se kondukcija ili konvekcija ne odvijaju kod vakumskih izolacija onda se obično značajna količina toplote prenosi zračenjem. Sva tela sa svojih površina zrače toplotu na druge površine pomoću elektromagnetnih talasa čija se talasna dužina kreće od 0,1 μm do 1000 μm. Svako zračenje toplote imaće odgovarajući intezitet i spektralni raspored koji veoma zavisi od temperature tog objekta sa kojeg se zrači i prirode njegove površine. Čvrsta tela i tečnosti emituju toplotu punim spektrom, tj. u talasnim dužinama od ultravioletnih (kada je talasna dužina zračenja reda veličina blizu 0,8 μm) do infracrvenih (kada je talasna dužina zračenja reda veličine blizu 400 μm). Gasovi emituju i apsorbuju energiju samo određenih talasnih intervala - selektivno zračenje. Uopšteno se može reći da vazduh potpuno propušta zračenje. Količina toplote koja se prenosi zračenjem zavisi od: temperatura površina između kojih se toplota prenosi zračenjem, veličina površina i stepena crnoće površine(sivoća površine) dok ne zavisi od: razmaka površina, a ponekad i od fluida između njih i temperature fluida između njih. Ukupna energija koju zrači 1 m² neke površine u jedinici vremena naziva se sjaj površine φ_s. U njoj može biti sadržano:

1. Zračenje koje je nastalo u samom telu (emitovano zračenje)
2. Zračenje koje je nastalo u nekom drugom telu, dozračeno je na posmatrano telo pa se sa njegove površine reflektuje (reflektovano zračenje)
3. Zračenje dozračeno sa drugog tela i prolazi kroz posmatrano telo, (prolazno zračenje)

Energija snopa zraka Q [W] koja naiđe na drugo telo delom se odbije (reflektuje) od površine tela Q_r [W], delom apsorbuje Q_a [W] i delom "d" prolazi kroz telo Q_d [W] (slika 2.1) pa je :

$$Q = Q_r + Q_a + Q_d \text{ [W]} \quad (2.5)$$

Kada se prethodni izraz podeli sa Q tada se dobija:

$$1 = (Q_r/Q) + (Q_a/Q) + (Q_d/Q) = r + a + d \quad (2.6)$$

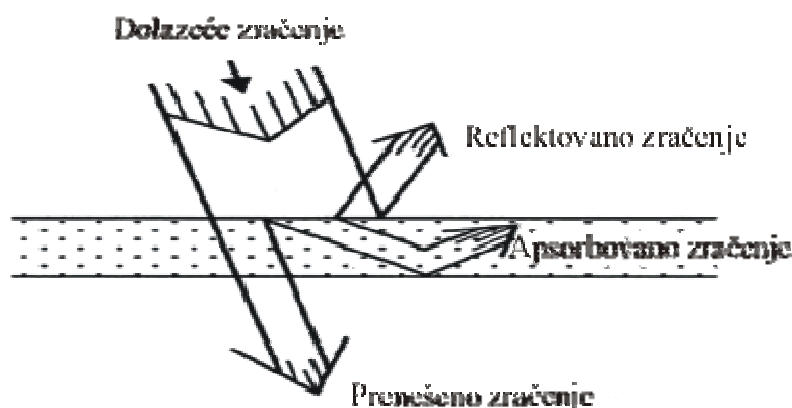
Sledi da je:

$$r + a + d = 1 \quad (2.7)$$

r -koeficijent refleksije (za crno tijelo $r=0$, $a=1$, $d=0$ za sjajnu površinu (ogledalo) $r=1$, $a=0$, $d=0$)

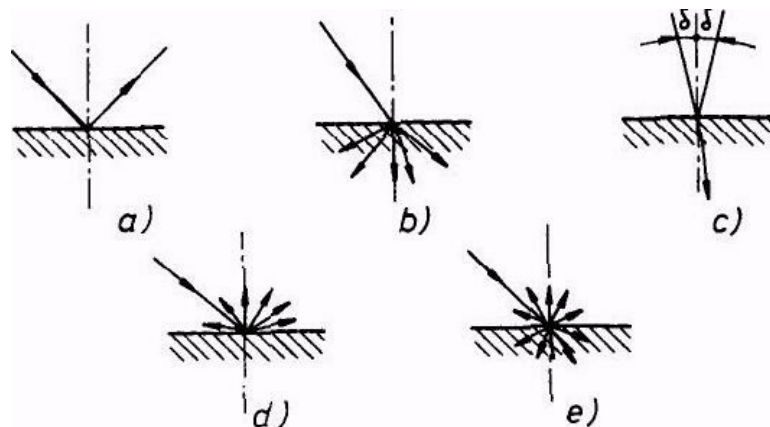
a -koeficijent apsorpcije (za crno tijelo $a=1$, $\epsilon=1$)

d -koeficijent dijafermije (prozirnosti) (za neprozirno telo $d=0$)



Slika 2.1. Energija snopa zraka koja nailazi na neko telo

Odnos toplote zračenja običnog tela i toplote zračenja crnog tela je koeficijent emisije ϵ . Koeficijent emisije jednak koeficijentu apsorpcije $a = \epsilon$. Vrednost koeficijenta emisije iznosi od **0** za apsolutno belo telo, pa do **1** za apsolutno crno telo. To znači da neko telo jako emituje toplotno zračenje ako ga jako i apsorbuje.



Slika 2.2. Primeri zračenja tela

Zavisno od vrednosti pojedinih koeficijenata javljaju se i osnovne osobine površina (slika2.2):

- a) Ogledalo potpuno reflektuje zrak
- b) Crno telo potpuno upija zrak
- c) Glatka površina delimično reflektuje i upija zrak ($r+a=1$)
- d) Bela površina uglavnom reflektuje, ali i rasipa zrak
- e) Hrapave površine apsorbuju, reflektuju i rasipaju zrak

Debljina zida od nekoliko μm kod čvrstih tela može ih načiniti neprolaznim pa se za čvrsta tela obično može smatrati da je $d=0$.

$\varphi_{zc} = \sigma T^4$ - Stefan-Boltzman-ov zakon prema kojem je količina energije (2.8)
(koja nastaje u samom telu) u $[\text{W}/\text{m}^2]$ koju zrači m^2 crne površine temperature T u jedinici vremena.

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)]$ - konstanta zračenja crnog tela

Proizilazi da se Stefan-Boltzman-ovim zakonom dokazalo, da je zračenje crnog tela proporcionalno četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature. Za praktičnu primenu pogodnije je pisati za emitovano zračenje koje nastaje u samom crnom telu:

$$\varphi_{zc} = C_c \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (2.9)$$

$C_c = 100^4 \sigma = 5,67 [\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)]$ - koeficijent zračenja crnog tela

Za siva tela (površine) važi:

$$\varphi_z = \varepsilon C_c \left(\frac{T}{100} \right)^4 ; \left(\frac{\varphi_z}{\varphi_{zc}} = \varepsilon \right) \quad (2.10)$$

$C = \varepsilon C_c$ - koeficijentom zračenja sivog tela

Potrebno je prilagoditi proračun prenosa toplote zračenjem proračunu prenosa toplote konvekcijom i kondukcijom. Zato se uvodi prelaznost toplote zračenjem (koeficijent prelaza toplote zračenjem) h_z . Za dva susedna zida moguće je napisati relaciju:

$$\dot{Q}_{12} = h_z A (T_1 - T_2) = AC_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.11)$$

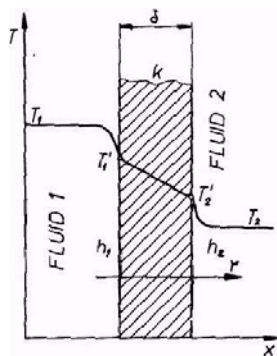
, gde je:

$$h_z = C_{12} \frac{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}{T_1 - T_2} \quad (2.12)$$

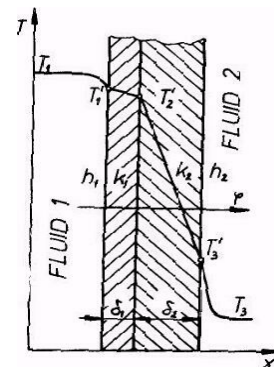
2.4 Prolaz toplote

Kada neka količina toplote Q prelazi sa nekog fluida kroz neki čvrsti zid na neki drugi fluid to je tzv. prolaz toplote. U tom slučaju se istovremeno koriste svi načini prostiranja toplote: **kondukcija, konvekcija i zračenje**.

-Prolaz toplote kroz ravan zid



Slika 2.3. Prolaz toplote kroz jednoslojni ravan zid



Slika 2.4. Prolaz toplote kroz višeslojni ravan zid

U stacionarnom stanju za jednoslojan ravan zid (slika2.3) mogu se postaviti tri jednakosti:

$$Q = Ah_1(T_1 - T_1')\tau \quad (2.13)$$

$$Q = A\left(\frac{k}{\delta}\right) (T_1' - T_2')\tau \quad (2.14)$$

$$Q = Ah_2(T_2' - T_2)\tau \quad (2.15)$$

Ovde su T_1 temperatura fluida 1, T_1' temperatura površine zida u fluidu 1, T_2 temperatura fluida 2, i T_2' temperatura površine zida u fluidu 2. Prva jednakost predstavlja izraz za količinu toplote [J] koja prelazi konvekcijom (i eventualno zračenjem) sa fluida 1 na površinu 1 ravnog zida. Druga jednakost predstavlja izraz za toplotu koja se provodi kroz ravni zid debljine δ i koeficijenta

provodjenja toplote k . Treća jednakost predstavlja izraz za prelaženje toplote konvekcijom sa zida 2 u fluidu 2 na fluid 2. Ovde se smatra da su obe površine zida i to prema fluidu 1 i 2 jednake i imaju vrednost A .

Iz ovih jednačina eliminisanjem temperatura pomenutih površina zidova T_1' i T_2' dobija se:

$$Q = A (T_1 - T_2) \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_2}} \tau \quad (2.16)$$

Toplotna otpornost se definiše u $[K/W]$ izrazom:

$$R = \frac{1}{KA} = \left(\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_2} \right) \frac{1}{A} \quad (2.17)$$

$K [W/(m^2 K)]$ - Koefficient prolaza toplote

Na kraju dobijamo:

$$Q = R^{-1} (T_1 - T_2) \tau = AK (T_1 - T_2) \tau \quad (2.18)$$

Za višestruki ravan zid (slika 2.4) važi :

$$K = (h^{-1} + \sum_{i=1}^n \delta_i / k_i + h_2^{-1})^{-1} \quad (2.19)$$

n - broj zidova

$$Q_e = k A \Delta t \text{ - delimični gubici toplote kroz omotač} \quad (2.20)$$

$A [m^2]$ - površina zida

$k [Wm^{-2}K^{-1}]$ - koefficient prolaza toplote

$\Delta t = t_u - t_s [K]$ razlika unutrašnje i spoljašnje temperature

2.5 Toplotni gubici

Toplotni gubici u kućama i zgradama se mogu podeliti na:

2.5.1. Transmisione toplotne gubitke (prolazi toplote kroz spoljašnje zidove, krov, pod, prozore i vrata)

2.5.2. Ventilacijske toplotne gubitke (gubici toplote usled cirkulacije vazduha između prostorija)

Transmisioni toplotni gubici Φ_T u pojednostavljenom obliku proračuna (prema **EN12831**):

$$\Phi_T = H_T \cdot (\theta_{int} - \theta_e)$$

$$H_T = \square A \cdot (U + \Delta U_{WB}) \cdot f_k$$

$$\Phi_T = H_T \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = \square A \cdot (U + \Delta U_{WB}) \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \cdot f_k$$

Φ_T [W]- transmisioni toplotni gubici

H_T [W/K]- koeficijent transmisijih toplotnih gubitaka

θ_{int} [°C]- unutrašnja projektna temperatura (tabela 2.1)

θ_e [°C]- spoljašnja projektna temperatura (tabela 2.2)

A [m²]- površina zida

U [W/(m²K)]- koeficijent prolaza toplote

ΔU_{WB} [W/(m²K)]- dodatak za toplotne mostove

f_k - temperaturni korekcionni factor (tabela 2.3)

Tabela 2.1 Projektna temperatura vazduha u prostorijama-zimi

Vrsta/namena prostorije	θ_{int} [°C]
kupatila	24
kancelarije	20
velike kancelarije	20
prostorije za sastanke	20
učionice	20
jaslice, dečiji vrtići	20
restorani	20
ostale stambene prostorije	20
tržni centri	16
muzeji, galerije	16
crkve	15

Tabela 2.2 Zimske spoljašnje projektna temperatura

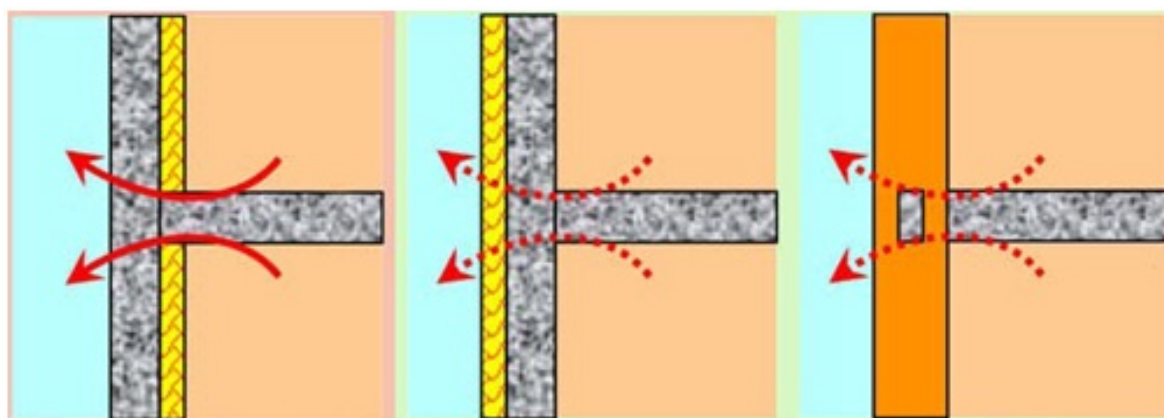
Mesto	θ_e [°C]
Beograd	-12
Vrnjačka Banja	-13
Gornji Milanovac	-15
Zaječar	-15
Kragujevac	-14
Kraljevo	-15
Niš	-11
Novi Sad	-15
Subotica	-15
Čačak	-15

Na inicijativu Agencije za energetska efikasnost Republike Srbije, uz podršku JKP "Beogradske elektrane" i Društva za klimatizaciju, grejanje i hlađenje (KGH), usvojen je predlog usaglašavanja nacionalnih standarda, kojim će se spoljne projektne temperature za područje Beograda i ostalih gradova Srbije, u zimskom periodu, promeniti, na primer, za Beograd, sa -18°C na -12°C . Tabela 2.2 daje zimske spoljašnje projektne temperature za veće gradove u Srbiji, dok tabela 2.1 daje projektne temperature vazduha u prostorijama za isti period.

Tabela 2.3 Temperaturski korekcionni faktori

Toplotni gubici		f_k
prema spoljašnosti	za izolovane toplotne mostove	1.00
	za neizolovane toplotne mostove	1.40
	za prozore i vrata	1.00
prema negrejanim prostorijama	za izolovane toplotne mostove	0.80
	za neizolovane toplotne mostove	1.12
prema podu	za izolovane toplotne mostove	0.30
	za neizolovane toplotne mostove	0.42
prema krovu	za izolovane toplotne mostove	0.90
	za neizolovane toplotne mostove	1.26
za viseći pod	za izolovane toplotne mostove	0.90
	za neizolovane toplotne mostove	1.26
prema susednoj zgradi	za izolovane toplotne mostove	0.50
	za neizolovane toplotne mostove	0.70
prema susednom stanu	za izolovane toplotne mostove	0.30
	za neizolovane toplotne mostove	0.42

Tabela 2.3 predstavlja temperaturske korekzione faktore za kuće i zgrade. Toplotni mostovi (slika 2.5) nastaju u omotačima zgrada kada materijali sa relativno visokom toplotnom provodljivošću (čelik ili beton) naprave puteve za gubitke toplote zaobilazeći toplotnu izolaciju. Toplotni mostovi su često rezultat same strukture zgrade, pojavljuju se na spoju između zidova i podova, između zidova i krova, u uglovima ili oko prozora ukoliko nisu pravilno postavljeni. Toplotni mostovi ne mogu biti u potpunosti izbegnuti, ali cilj je da se negativni efekti ovih mostova umanje na tolerantni nivo i da ne kreiraju nikakvo oštećenje zgrade. Spoj sa balkonom ili terasom je jedan od najčešćih izvora geometrijskih toplotnih mostova. Armirana betonska ploča ima visok faktor toplotne provodljivosti i preseca sloj toplotne izolacije. To uzrokuje prolazak toplote koji vodi sniženju unutrašnje površinske temperature.



Slika 2.5. Neizolovan i izolovan toplotni most

3 Termografsko snimanje

Za praktičan primer rada uzeta je zgrada Fakulteta inženjerskih nauka Objekat "B".

Snimanja su izvršena termovizijskom kamerom **Testo 875**.

- Detektor tipa FPA 160x120 piksela, a.Si
- Toplotna sensitivnost (NETD) 180mK na +30°C
- Geometrijska rezolucija (IFOV) 3.3mrad (standardno sočivo)
- Temperaturna rezolucija < 80mK(0.08°C)
- Širina vidnog područja 32° FOV i 9 ° FOV
- Temperaturni opseg od -20 °C do +280 °C
- Preciznost ±2°C
- Podesiva emisivnost od 0,01 do 1
- Vidno polje 32°x23° (standardno sočivo), 9°x7° (telefoto sočivo)

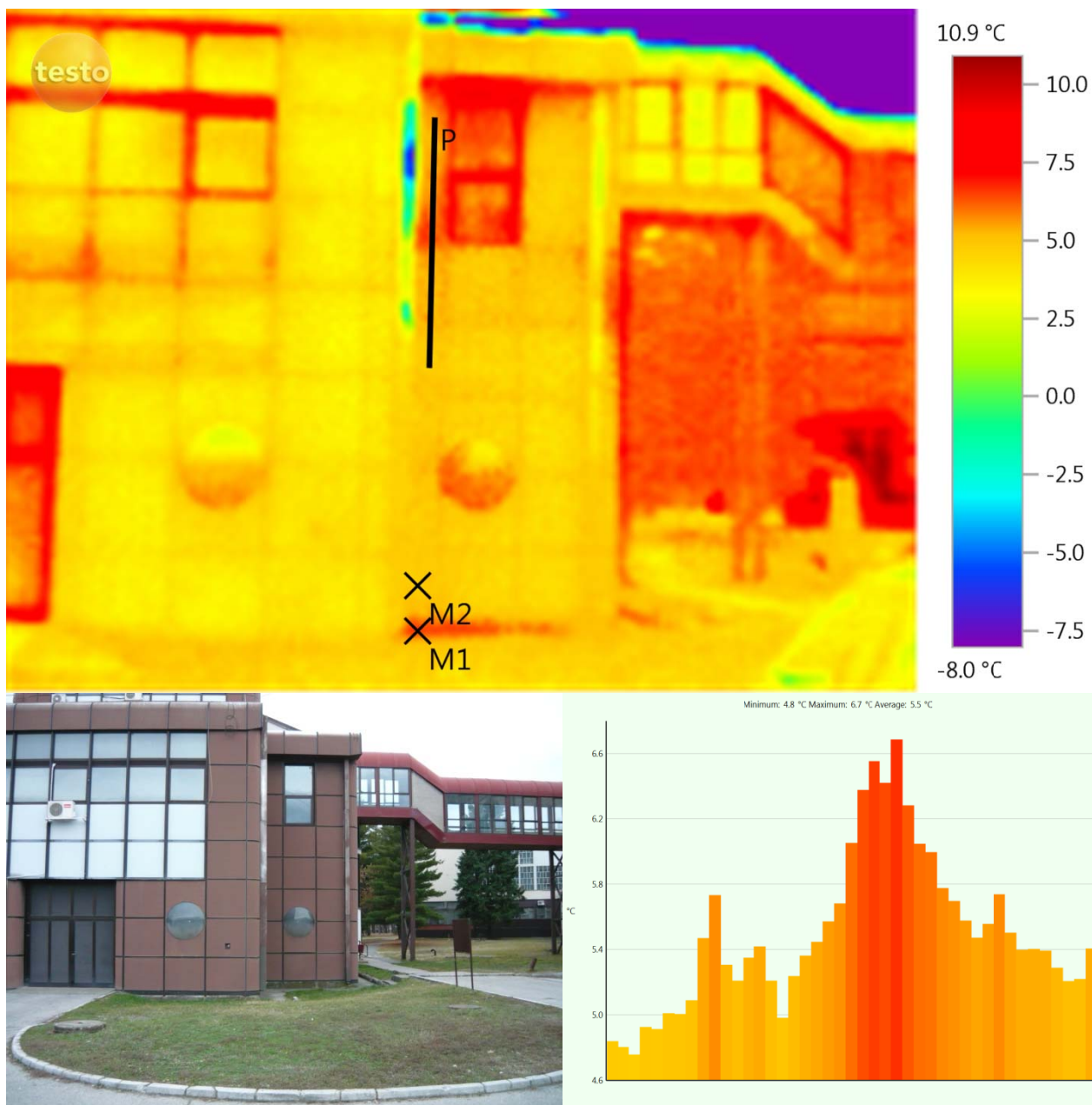


Snimanje je izvršeno:

09.11.2011. 19:00h Spoljašnji omotač zgrade:

Spoljašnja temperatura $T_s=4^{\circ}\text{C}$,

Unutrašnja temperature $T_u=21^{\circ}\text{C}$

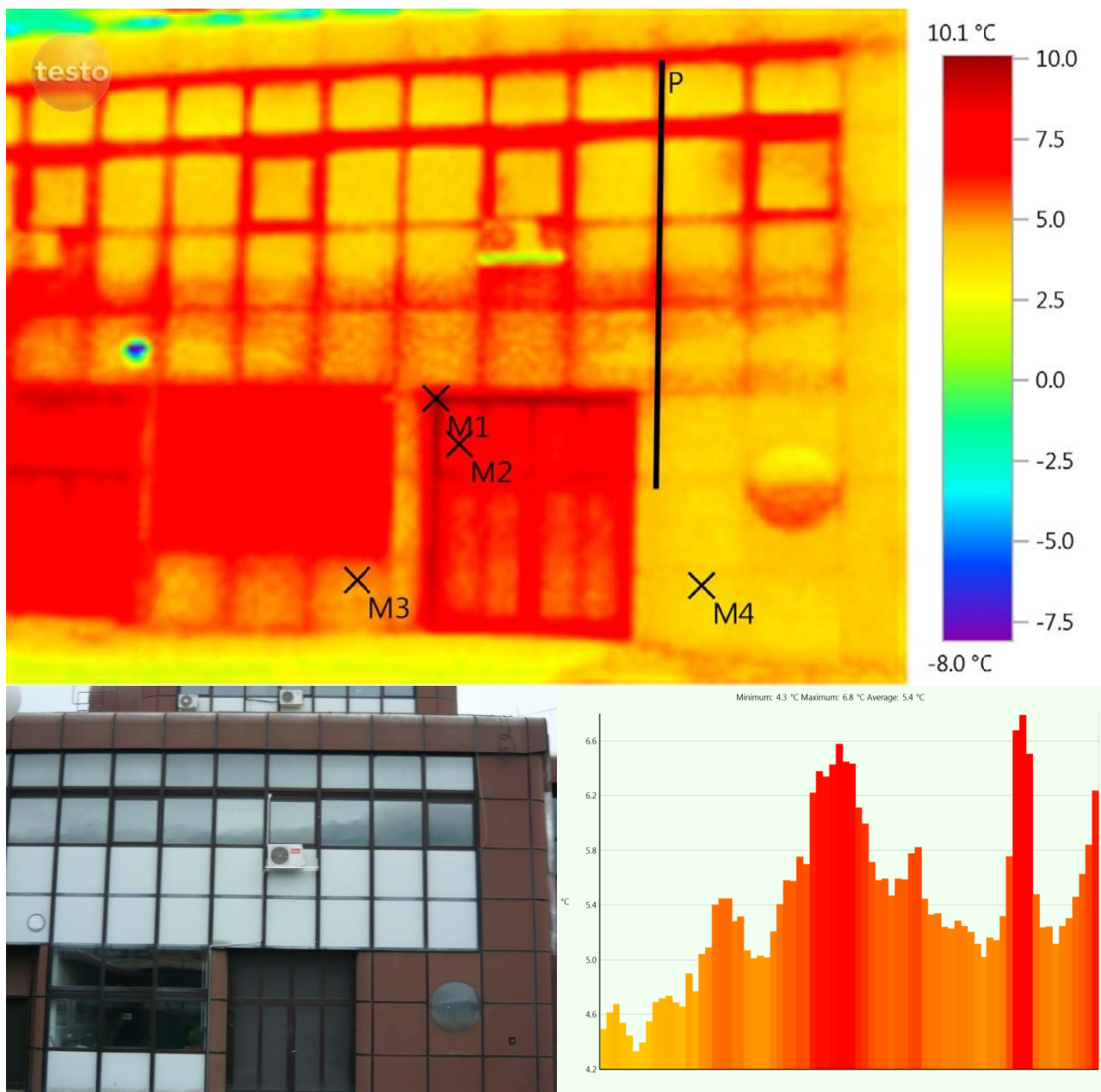


Slika 3.1. Snimak objekta sa severne strane - 1

M1=6.5°C

M2=4.8°C

Snimanje na slici 3.1 je urađeno sa severne strane. Gubici toplote u neizolovanom delu između zida i poda su najveći u tački M1. Takođe se javljaju gubici od prozora uz pravu P.



Slika 3.2. Snimak objekta sa severne strane - 2

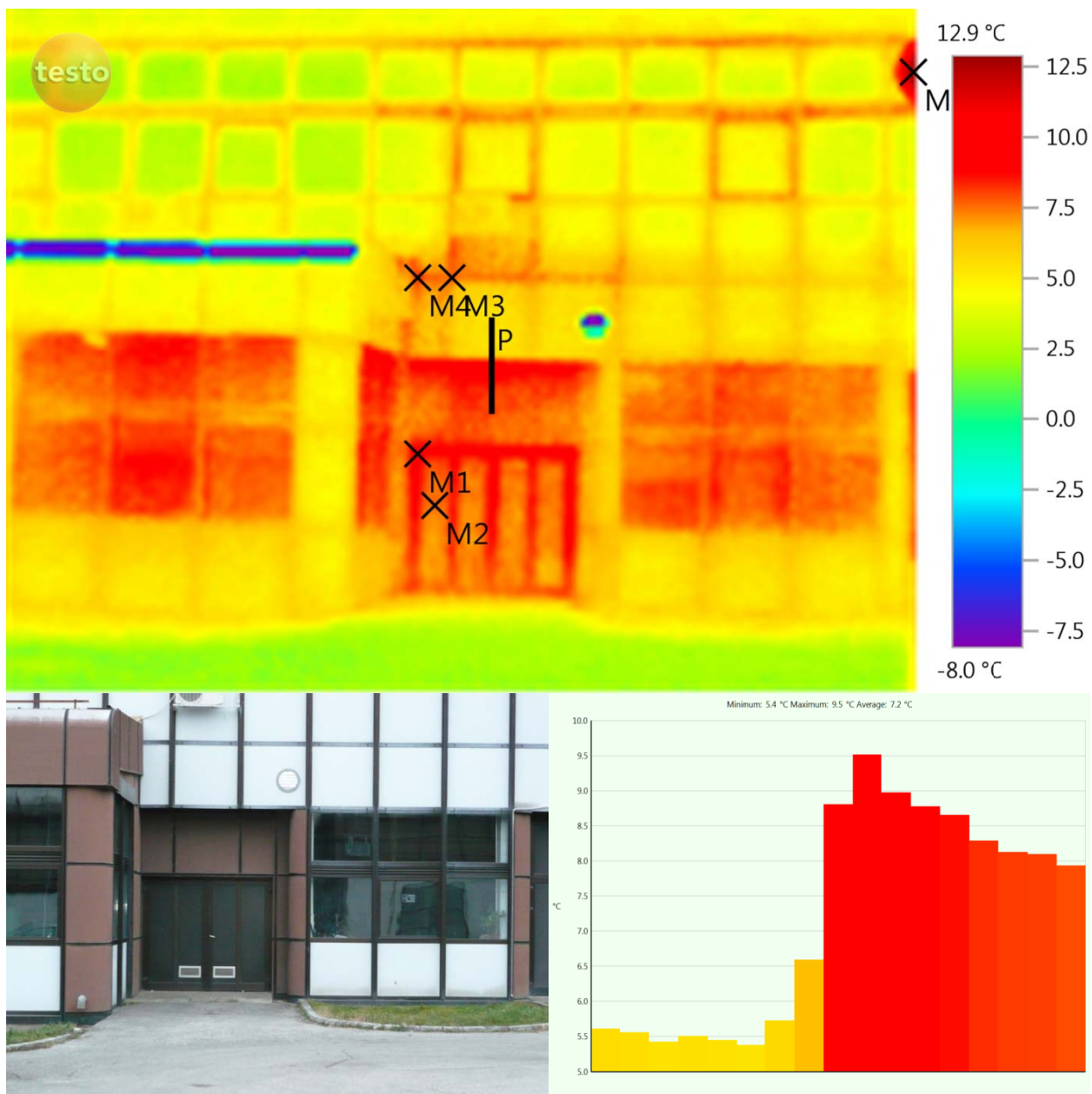
M1=10.0°C

M2=6.8°C

M3=5.3°C

M4=3.9°C

Snimanje na slici 3.2. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici na okviru vrata u tački M1, takođe je vidan prolaz toplote između ramova panela iznad vrata. Gubitke imamo i na prozorima na prizemlju sa leve strane vrata, iznad tačke M3.



Slika 3.3. Snimak objekta sa severne strane - 3

M1=9.9°C

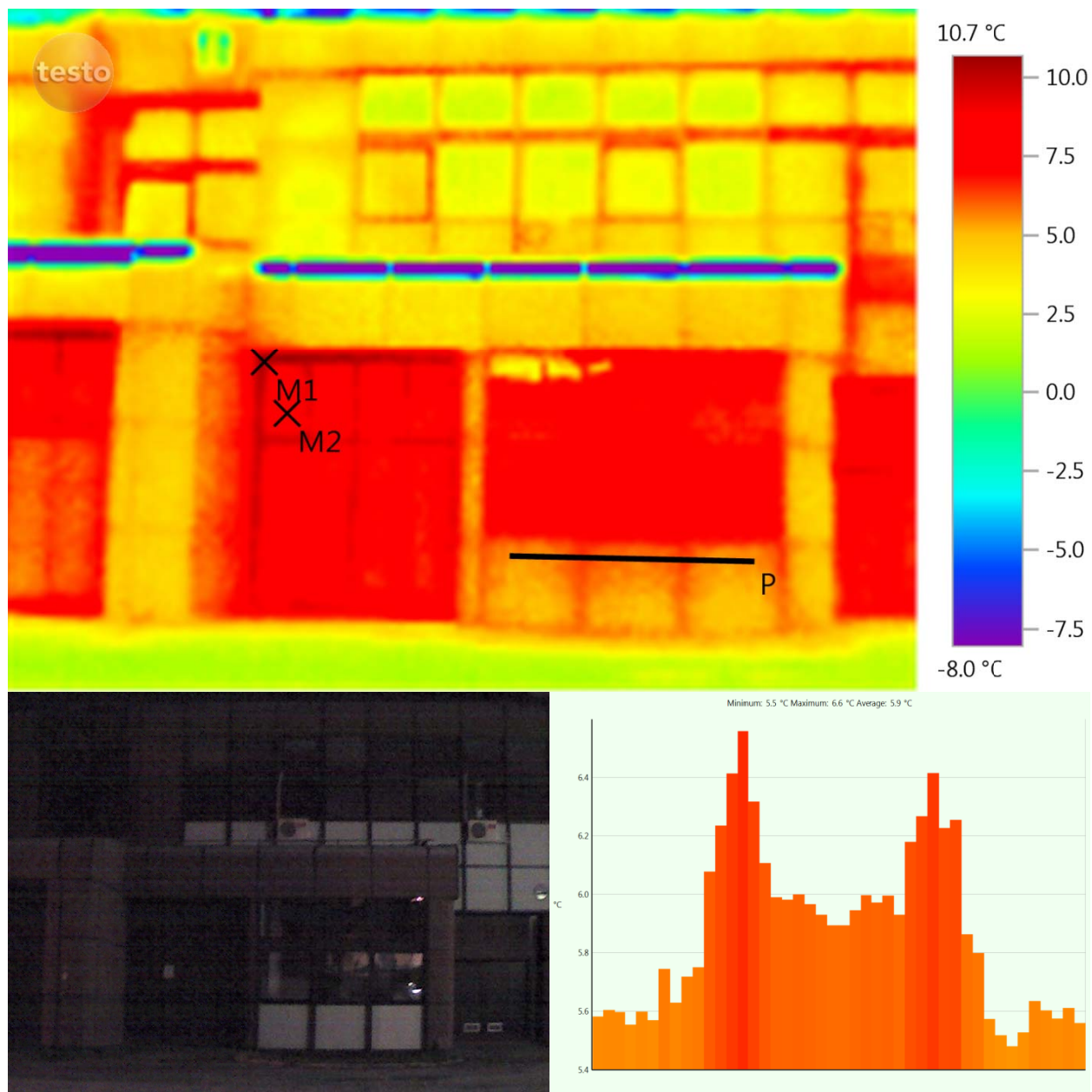
M2=7.5°C

M3=7.8°C

M4=8.3°C

M-Ulično osvetljenje

Snimanje na slici 3.3. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze na vratima u tački M1. Veliki prolaz toplote između prvog i drugog panela iznad vrata, a takođe se vide gubici između drugog i trećeg panela u tačkama M3 i M4.

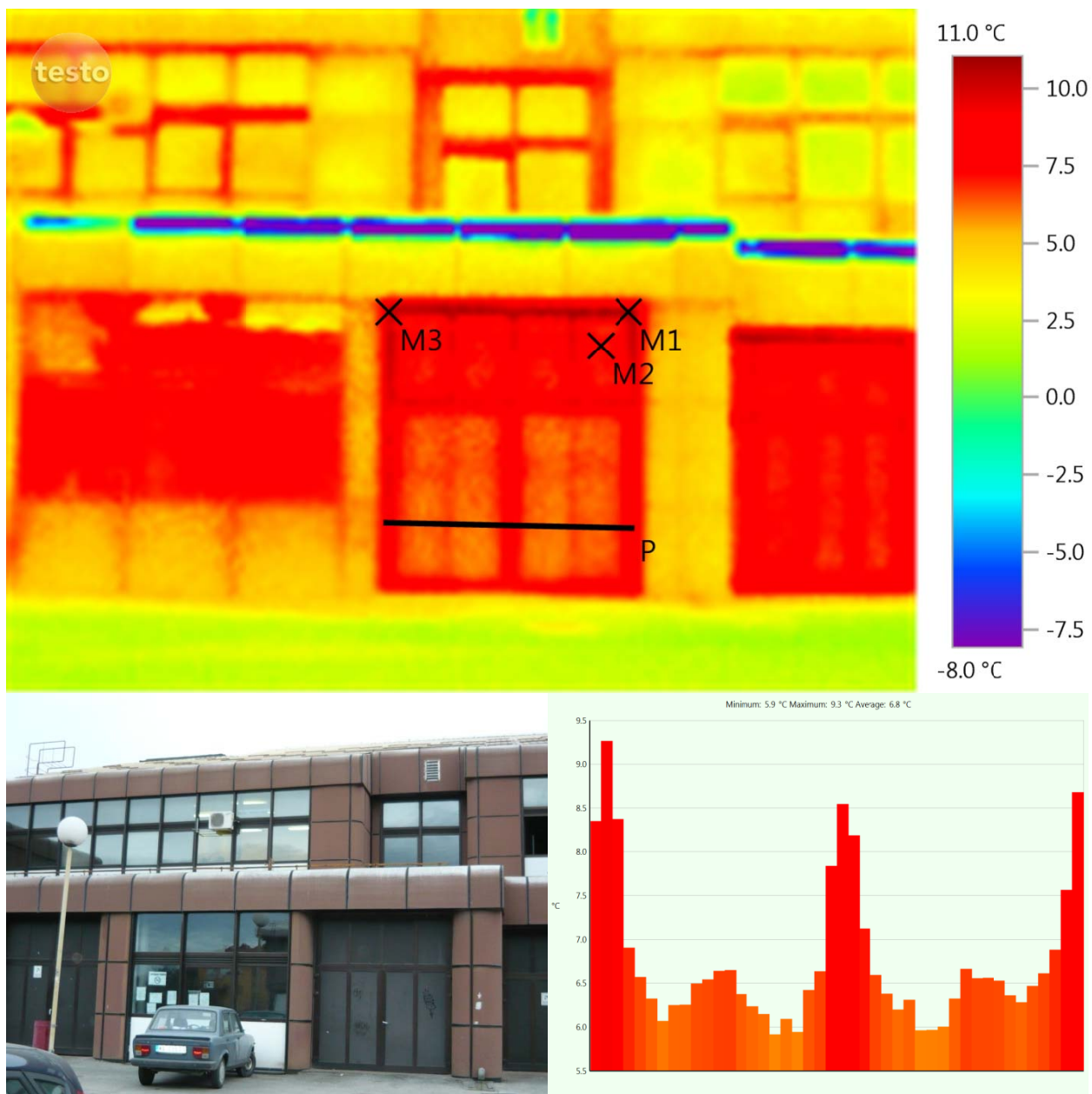


Slika 3.4. Snimak objekta sa severne strane - 4

M1=10.6°C

M2=7.7°C

Snimanje na slici 3.4. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze na vratima u tački M1. Gubici se vide i na prozorima sa desne strane vrata, kao i između panela ispod prozora.



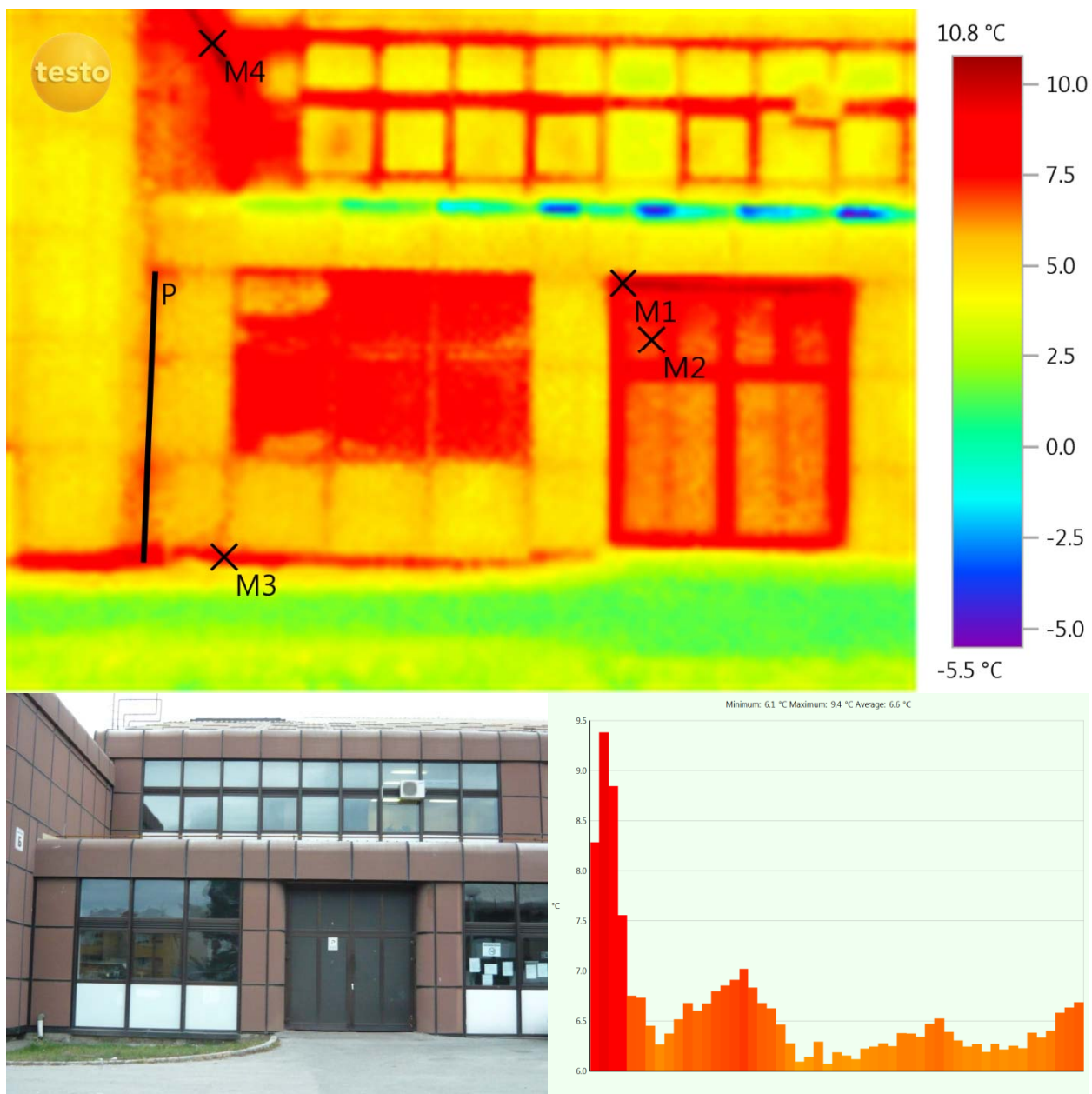
Slika 3.5. Snimak objekta sa severne strane - 5

M1=10.9°C

M2=7.4°C

M3=10.6°C

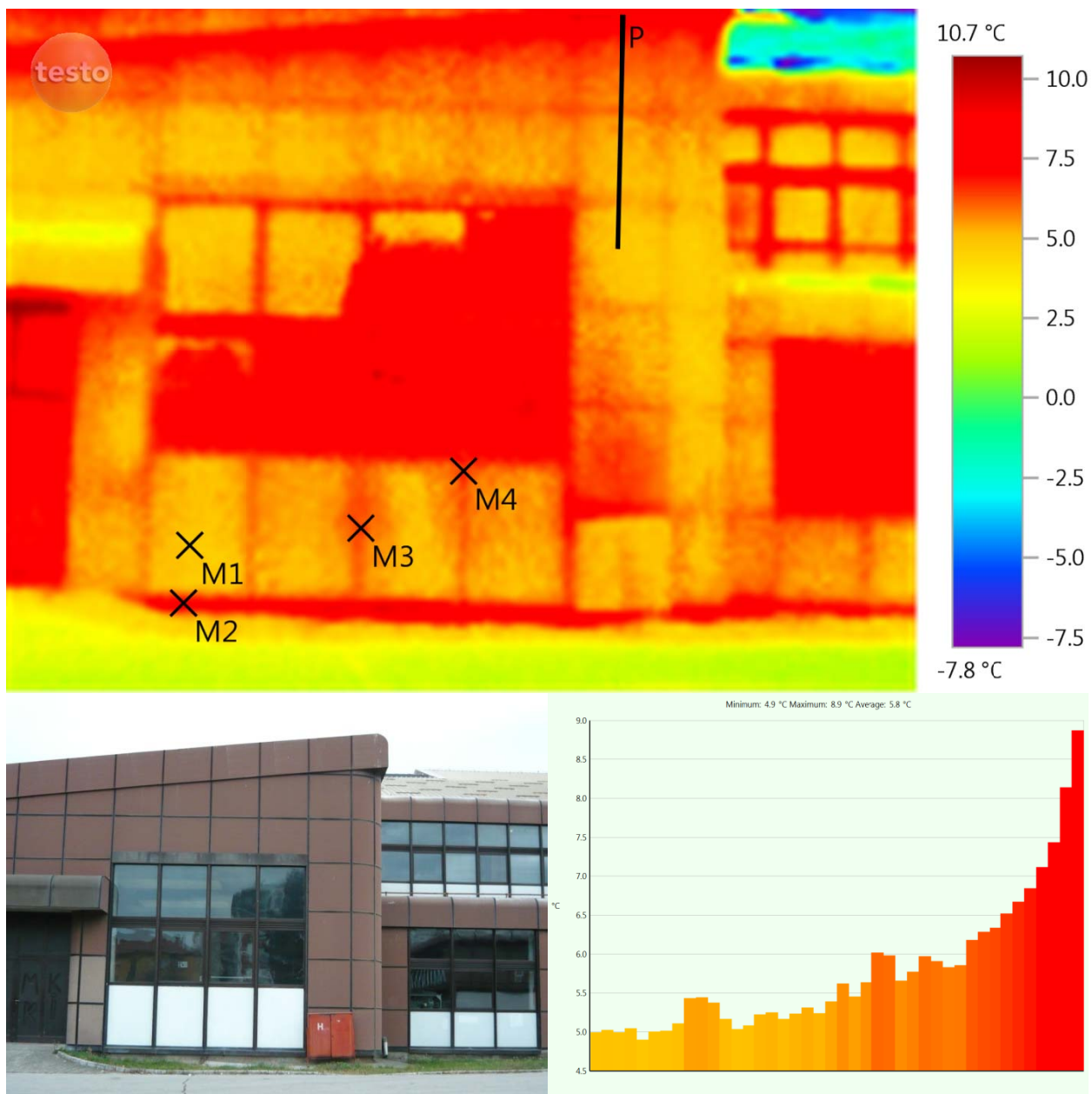
Snimanje na slici 3.5. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze na vratima u tačkama M1 i M3. Prolaz toplote na prozorima sa leve strane vrata i između panela ispod prozora.



Slika 3.6. Snimak objekta sa severne strane - 6

M1=10.2°C
M2=7.0°C
M3=8.0°C
M4=10.6°C

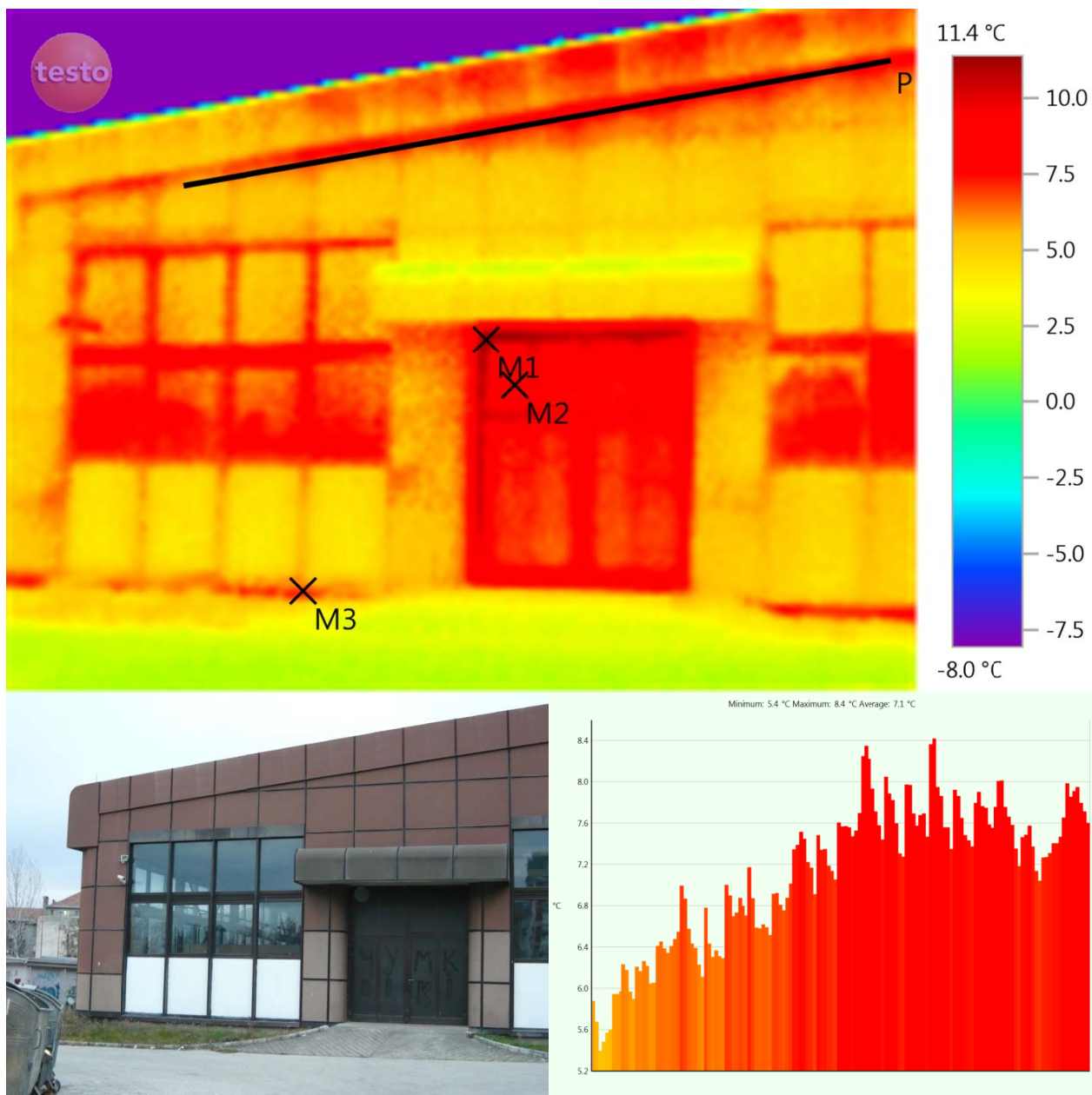
Snimanje na slici 3.6. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze u tački M4 (moguća degradacija ili nepostojanje izolacije). Gubici toplote na vratima najizraženiji su u tački M1, a vidljivi gubici su i između zida i poda u tački M3.



Slika 3.7. Snimak objekta sa severne strane -7

M1=4.9°C
M2=7.5°C
M3=6.4°C
M4=6.5°C

Snimanje na slici 3.7. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze u neizolovanom delu između zida i poda u tački M2. Prolaz toplote na prozorima i na mestu gde se zid spaja sa krovom.



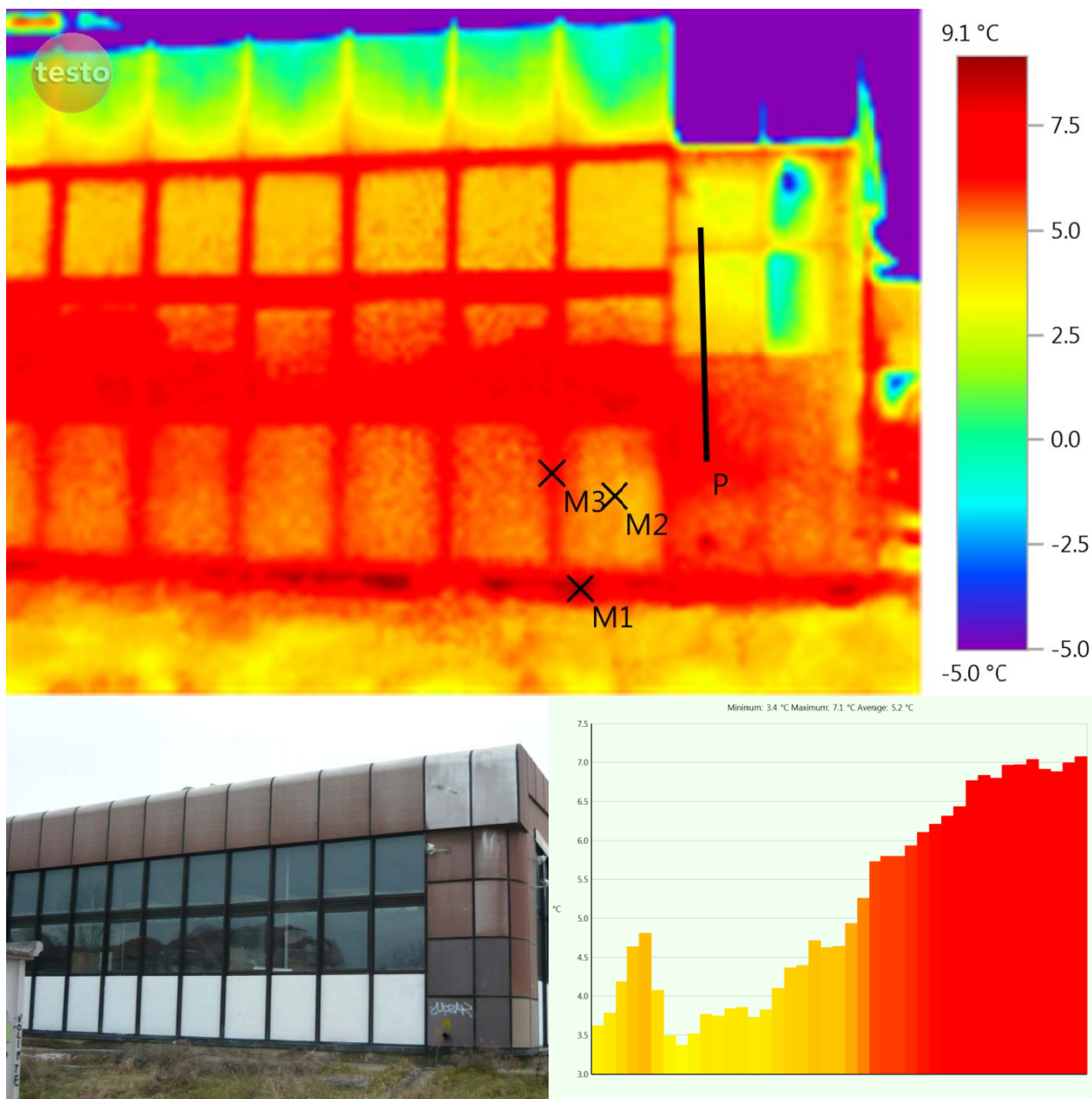
Slika 3.8. Snimak objekta sa severne strane - 8

M1=11.3°C

M2=7.8°C

M3=7.0°C

Snimanje na slici 3.8. je urađeno sa severne strane. Najveći gubici se nalaze na vratima u tački M1. Prolaz toplote u neizolovanom delu između zida i poda, kao i na mestu gde se spajaju zid i krov duž prave P.



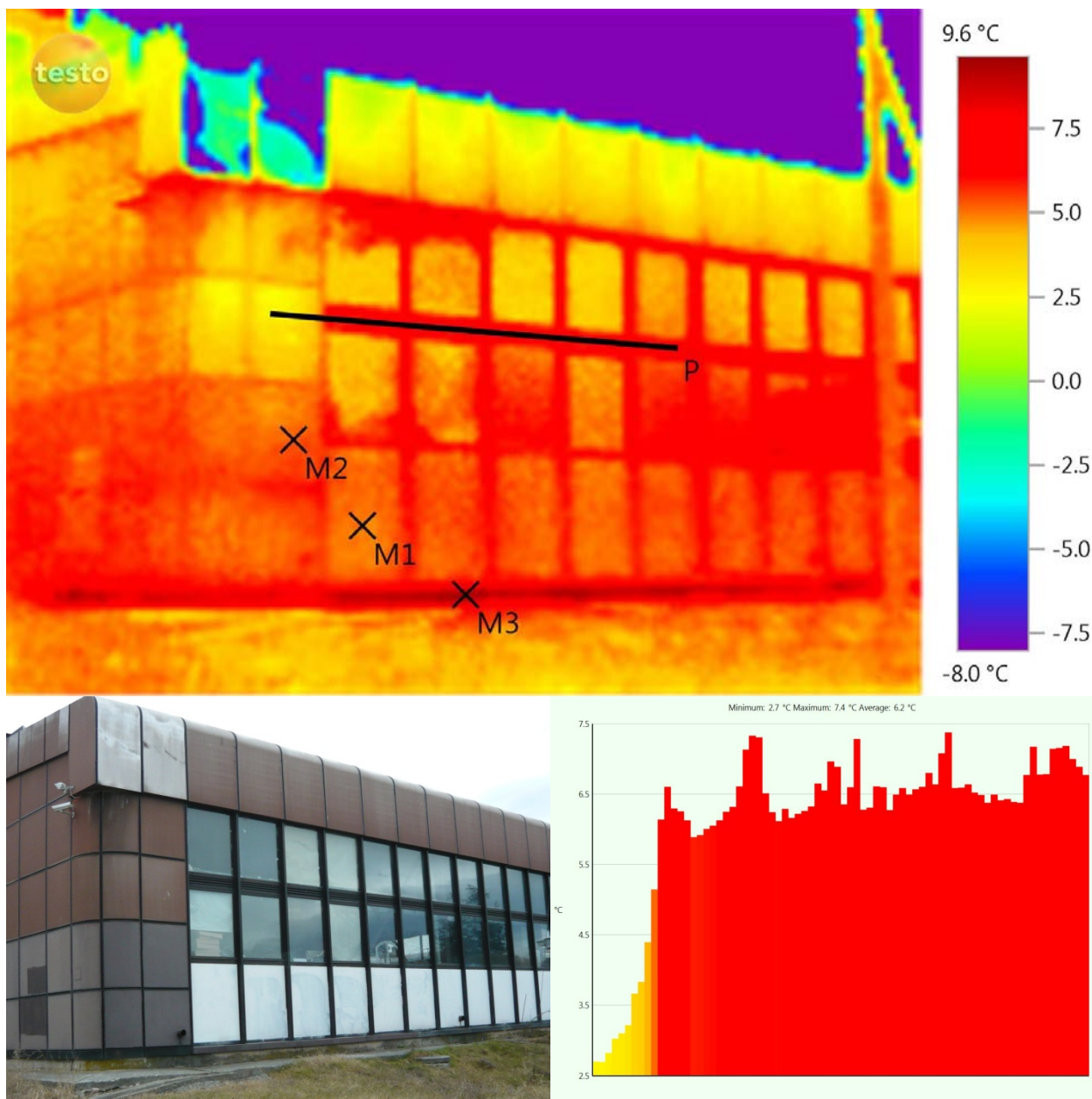
Slika 3.9. Snimak objekta sa istočne strane - 1

M1=8.8°C

M2=4.9°C

M3=6.4°C

Snimanje na slici 3.9. je urađeno sa istočne strane. Najveći gubici se nalaze u tački M1. Gubici na prozorima kao i između panela ispod prozora.



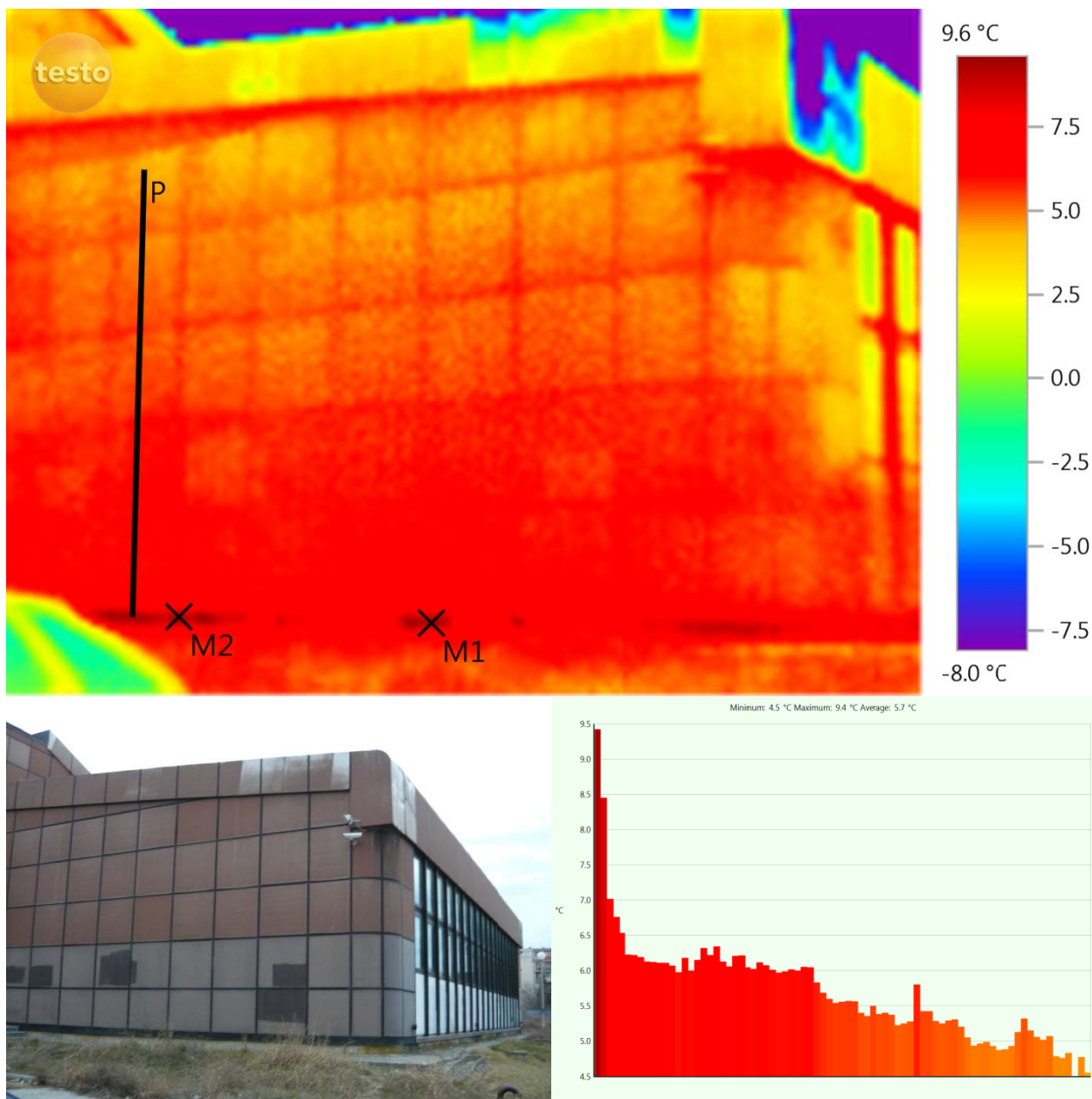
Slika 3.10. Snimak objekta sa istočne strane - 2

M1=5.0°C

M2=5.2°C

M3=9.6°C

Snimanje na slici 3.10. je urađeno sa istočne strane. Najveći prolaz toplote se nalazi u tački M3, gubici toplote na prozorima i između panela ispod prozora.

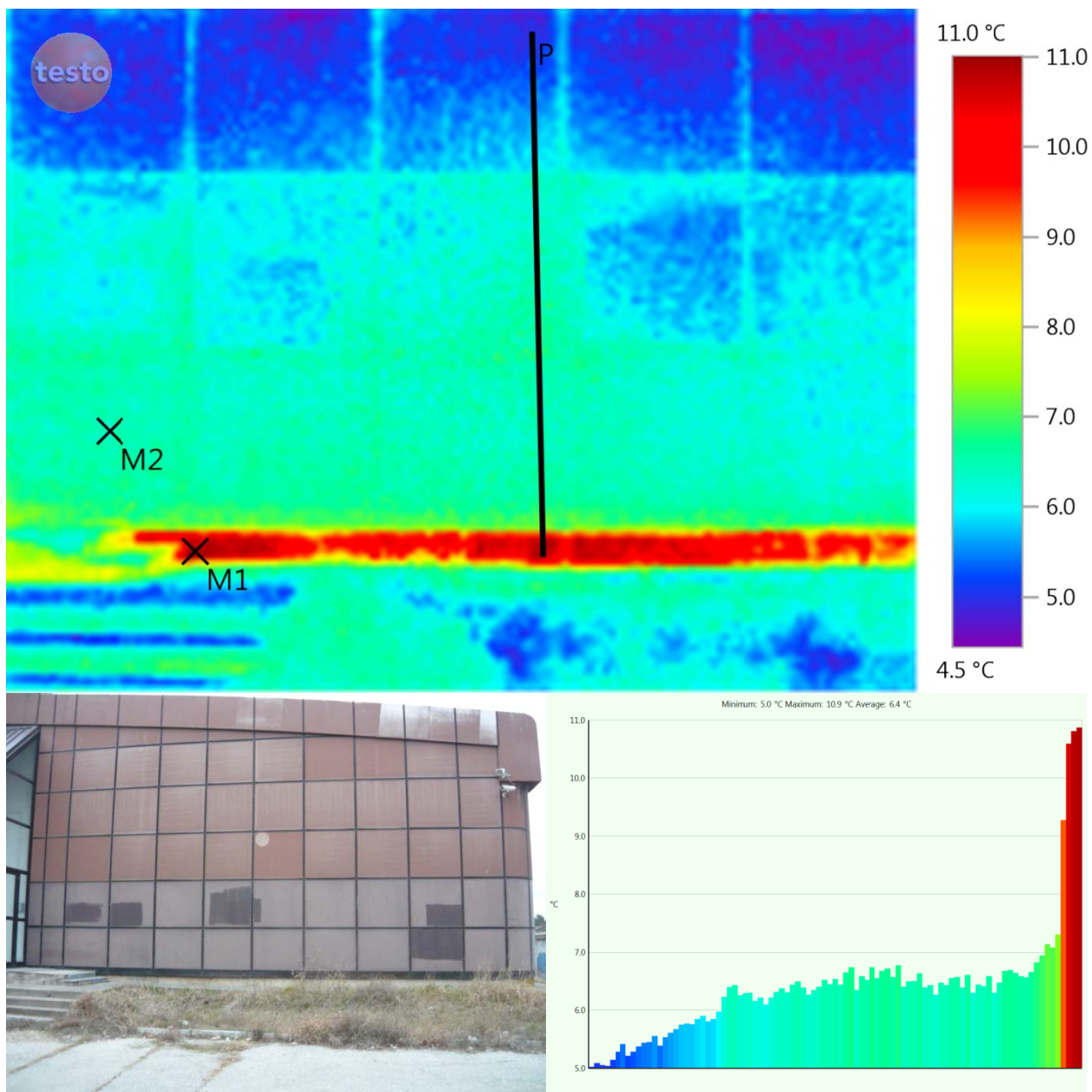


Slika 3.11. Snimak objekta sa južne strane - 1

M1=9.5°C

M2=9.6°C

Snimanje na slici 3.11. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici toplote se nalaze u tačkama M2 i M1. Gubici toplote se smanjuju sa visinom zida.

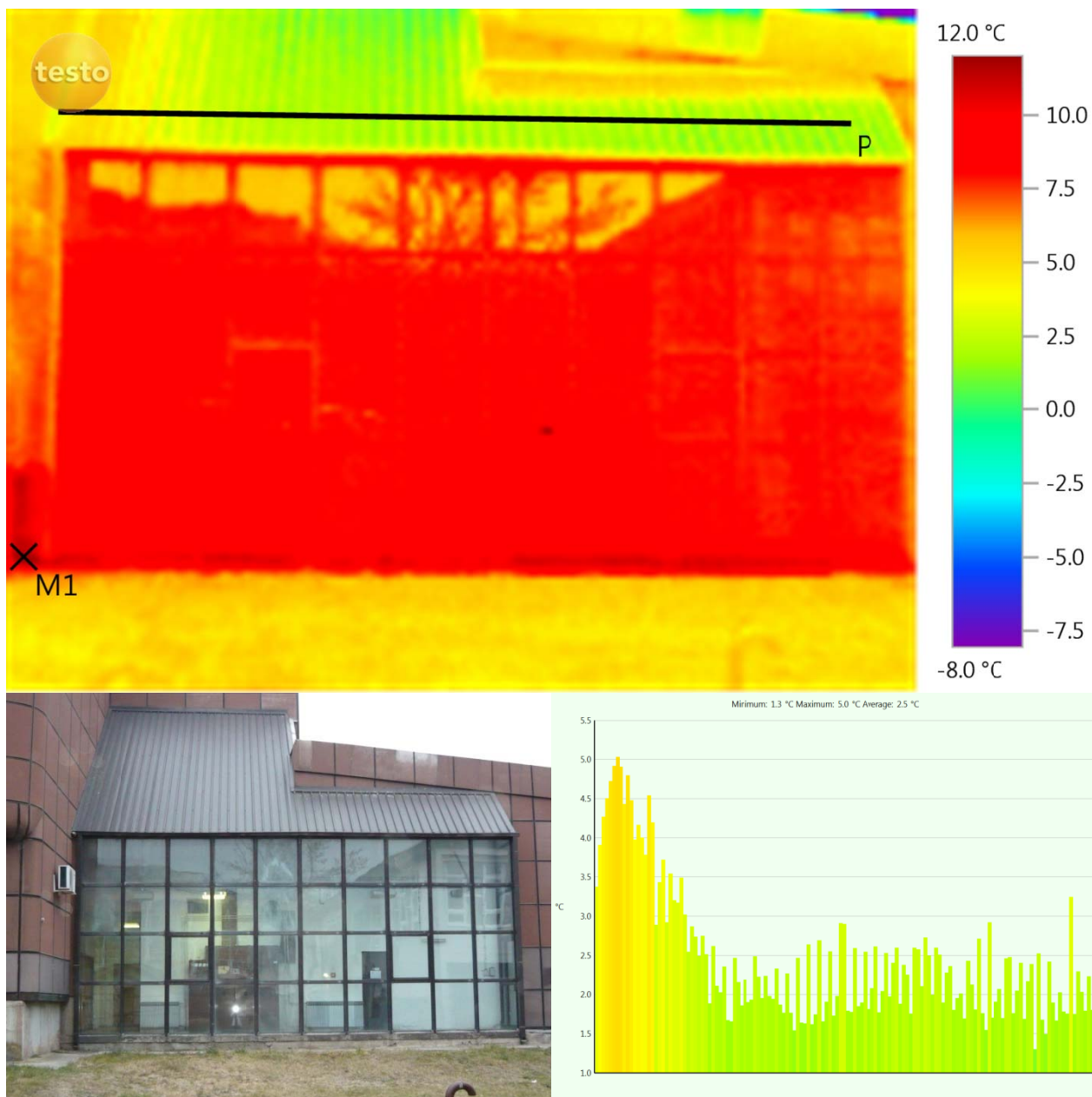


Slika 3.12. Snimak objekta sa južne strane - 2

M1=11.0°C

M2=6.3°C

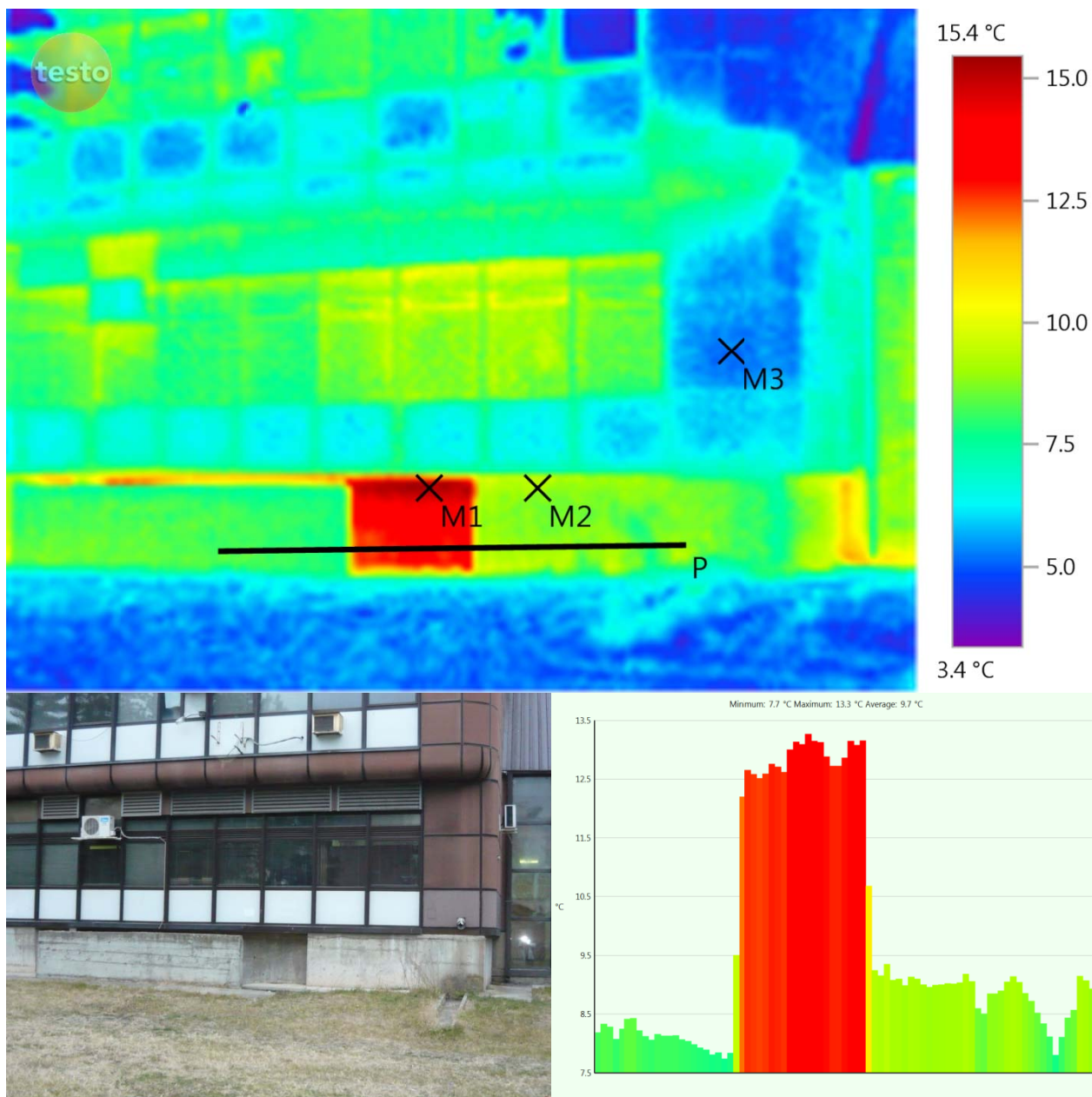
Snimanje na slici 3.12. je urađeno sa južne strane. Gubici toplote se nalaze na neizolovanom delu između zida i poda.



Slika 3.13. Snimak objekta sa južne strane - 3

M1=12.0°C

Snimanje na slici 3.13. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici se nalaze u tački M1, takođe vidimo gubitke na prozorima.



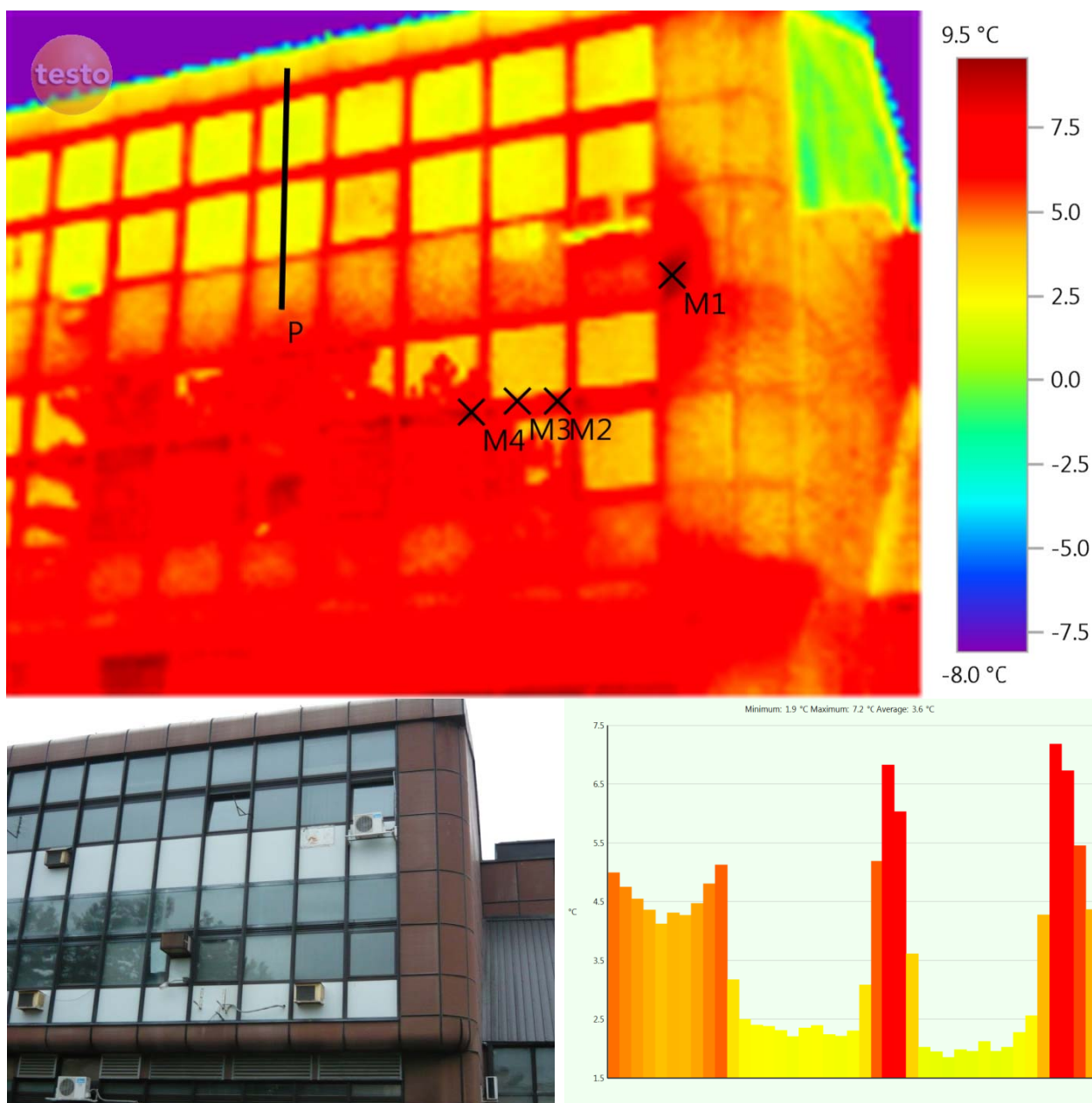
Slika 3.14. Snimak objekta sa južne strane - 4

M1=15.4°C

M2=9.1°C

M3=5.1°C

Snimanje na slici 3.14. je urađeno sa južne strane. Prolaz toplote je najveći na neizolovanom zidu u tački M1, iza koga se nalazi kotlarnica.



Slika 3.15. Snimak objekta sa južne strane - 5

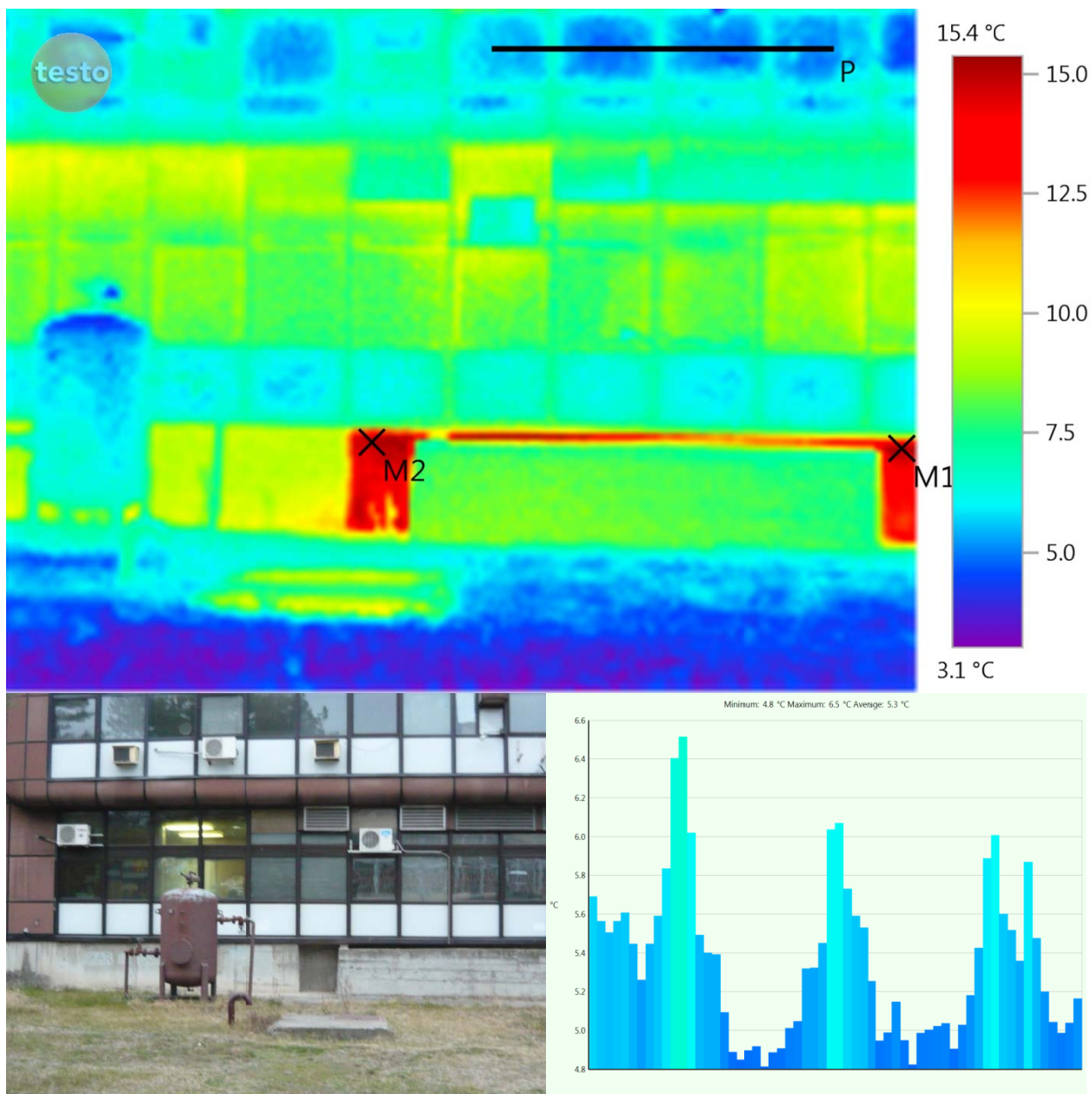
M1=9.5°C

M2=8.9°C

M3=7.1°C

M4=9.1°C

Snimanje na slici 3.15. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici se nalaze u tački M1. Takođe imamo toplotne gubitke na okvirima prozora.

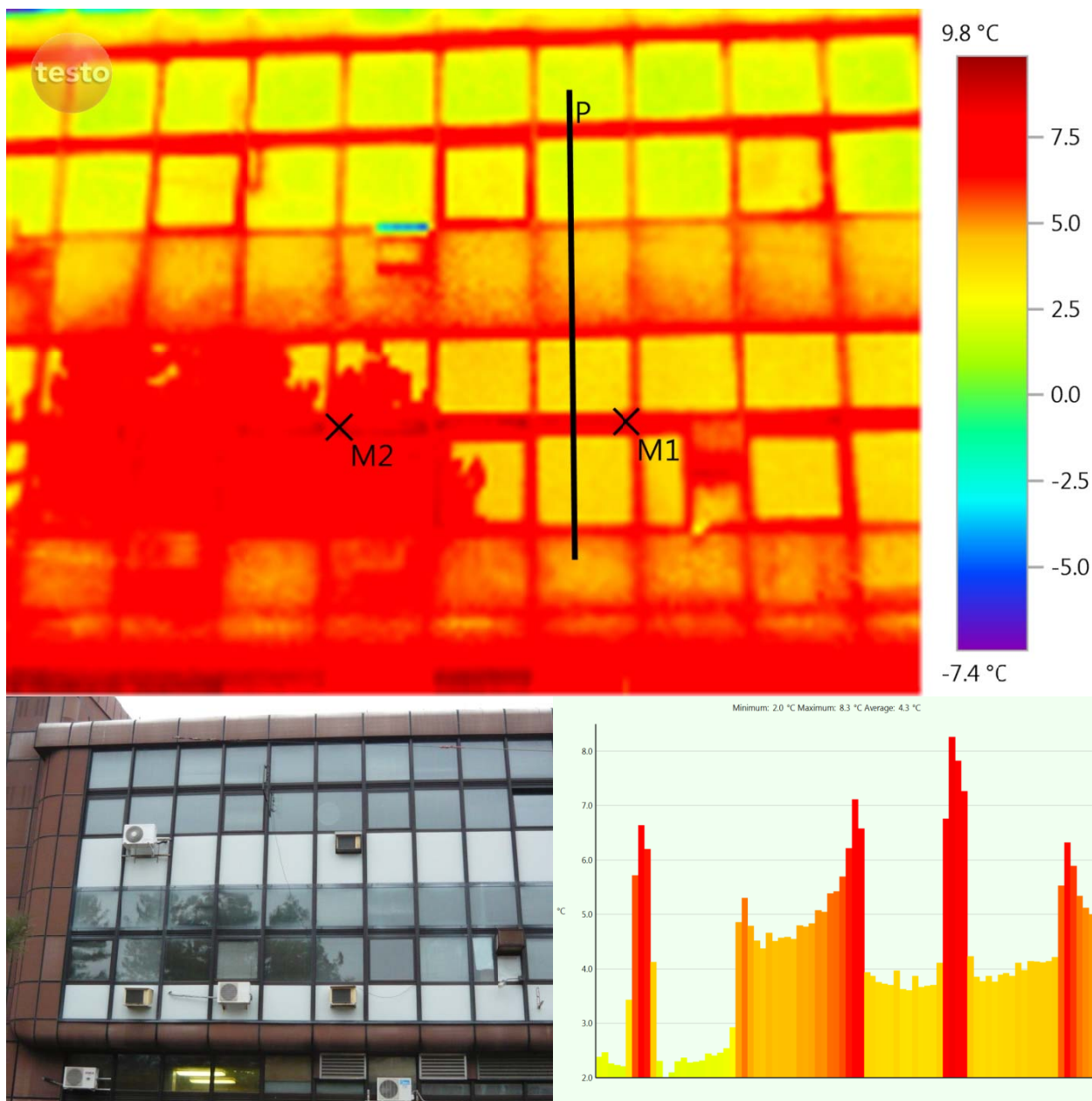


Slika 3.16. Snimak objekta sa južne strane - 6

M1=15.1°C

M2=15.2°C

Snimanje na slici 3.16. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici se nalaze na neizolovanom zidu u tačkama M2 i M1.

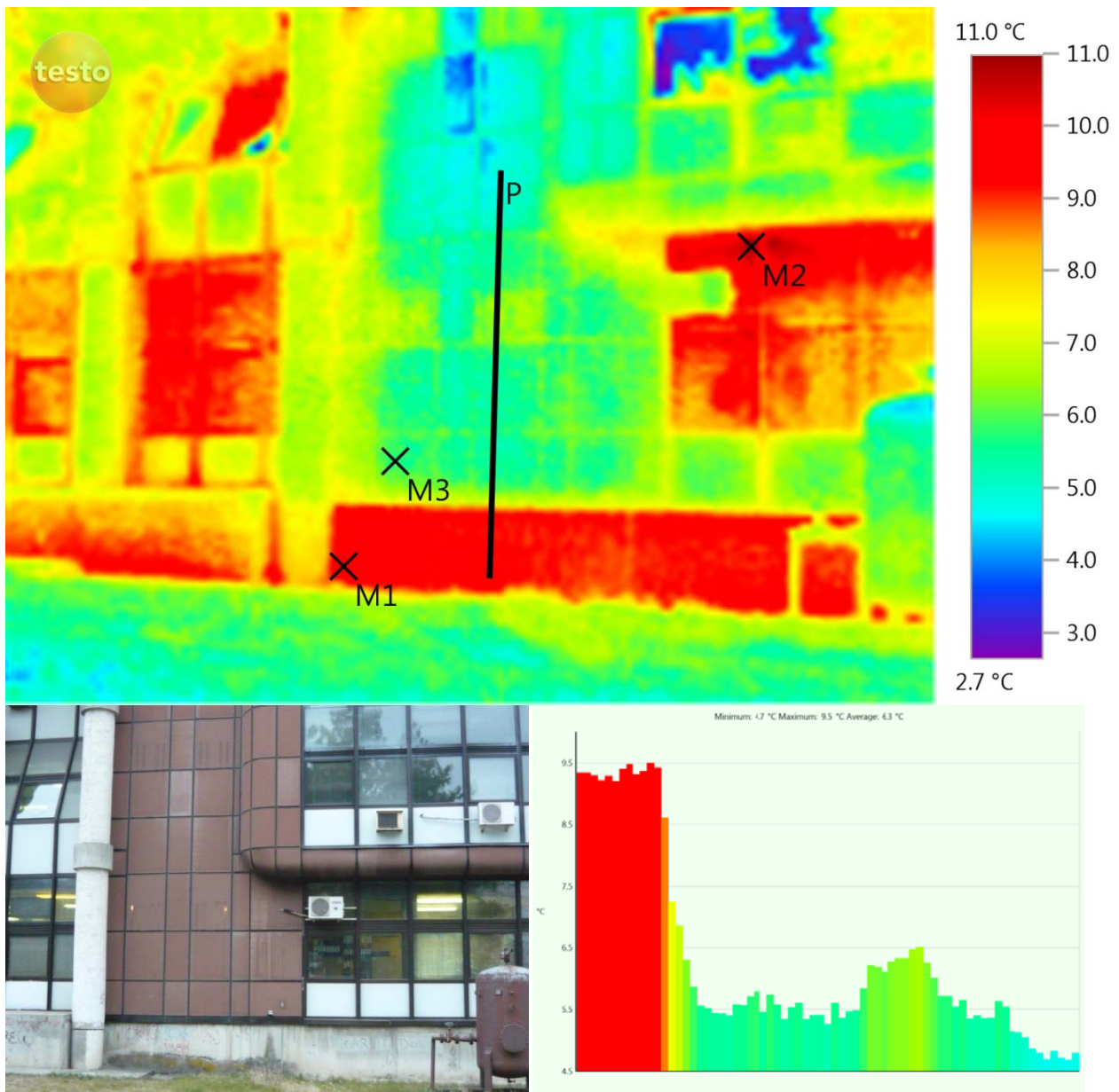


Slika 3.17. Snimak objekta sa južne strane - 7

M1=8.8°C

M2=9.0°C

Snimanje na slici 3.17. je urađeno sa južne strane. Gubici na okvirima prozora.



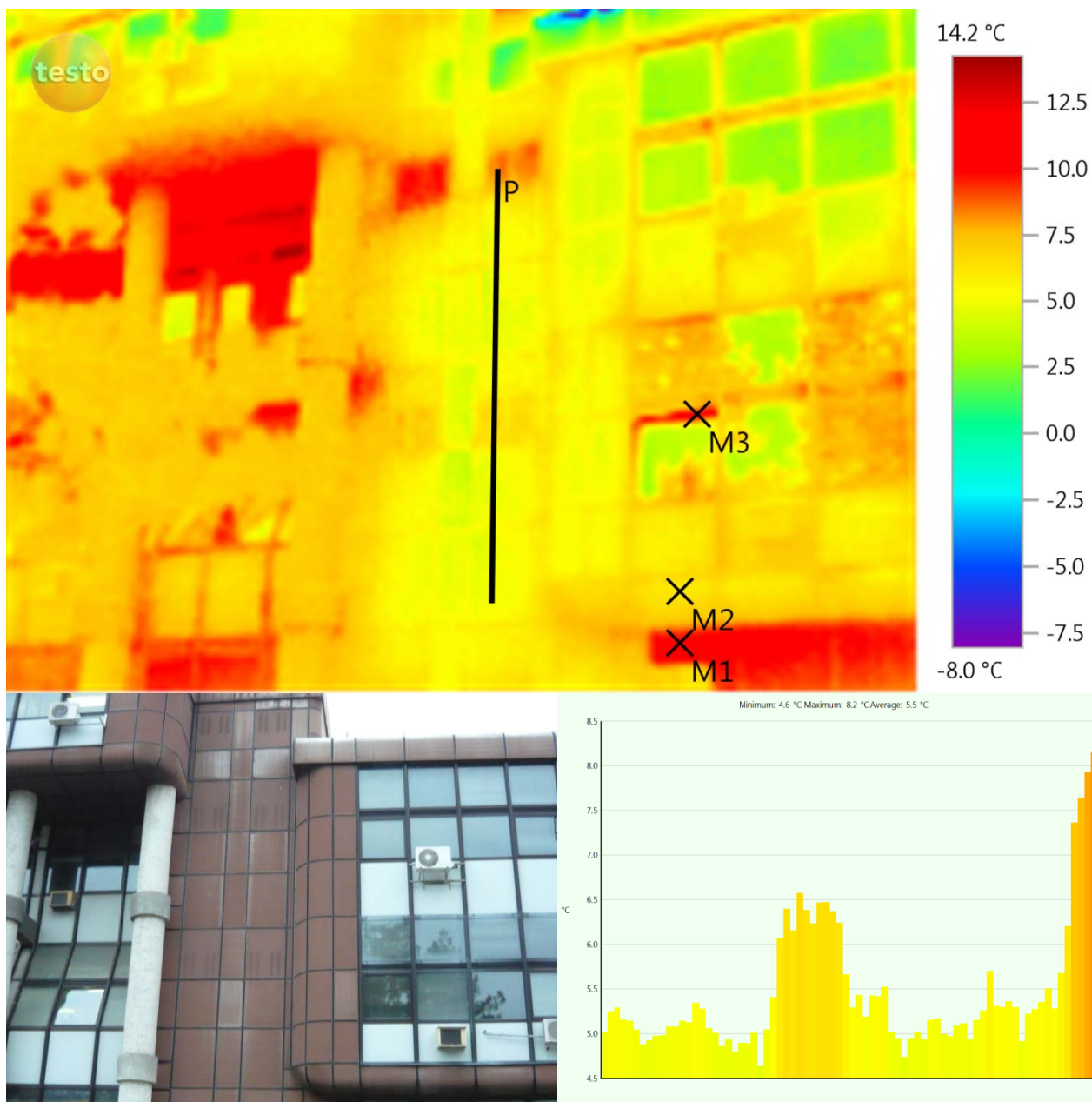
3. 18. Snimak objekta sa južne strane - 8

M1=10.2°C

M2=11.0°C

M3=5.8°C

Snimanje na slici 3.18. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici se nalaze na okviru prozora u tački M2, takođe postoje gubici na neizolovanom zidu u tački M1.



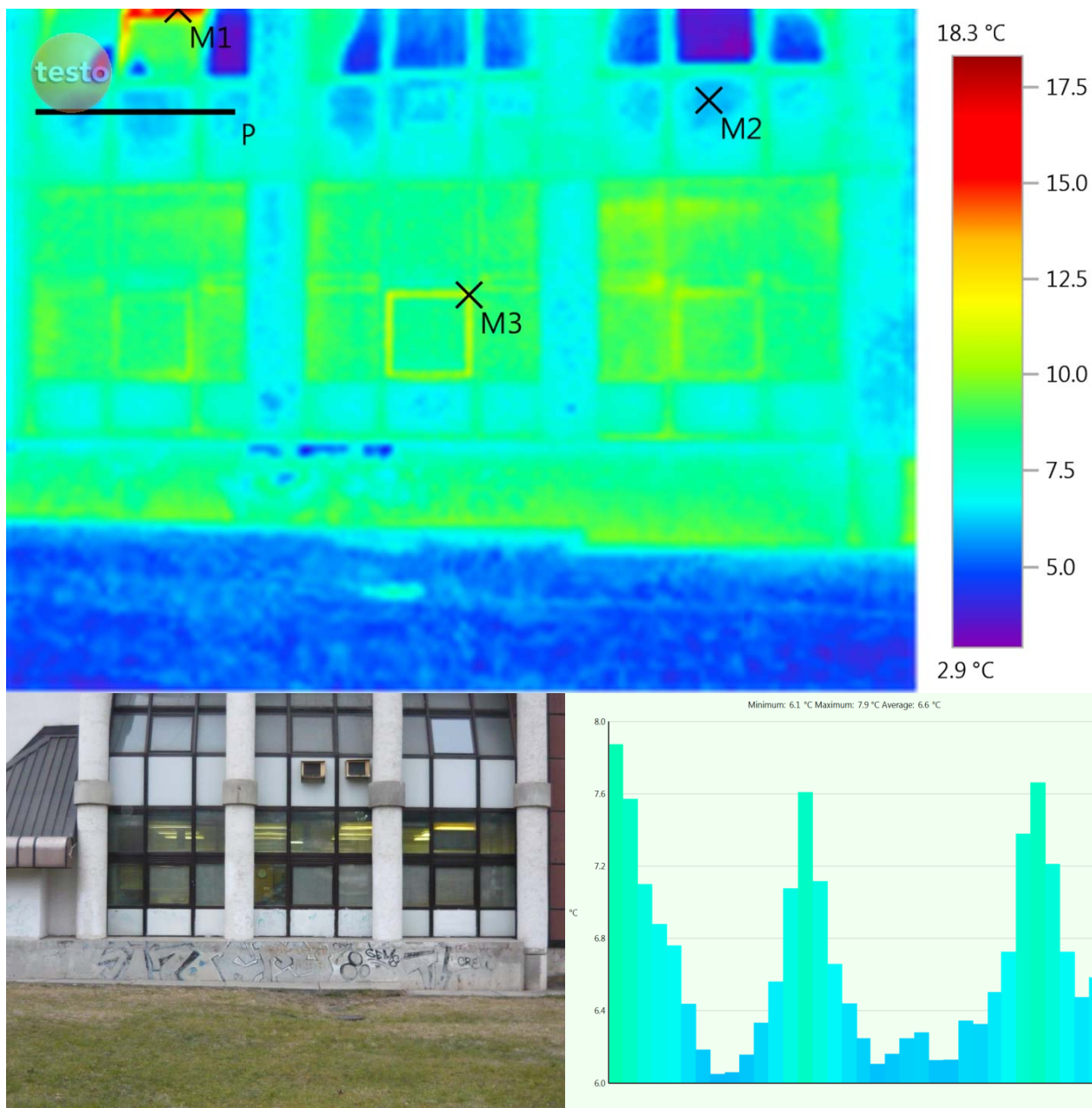
Slika 3.19. Snimak objekta sa južne strane - 9

M1=10.0°C

M2=5.9°C

M3=12.6°C (otvoren prozor)

Snimanje na slici 3.19. je urađeno sa južne strane. Gubici toplote u tački M1.



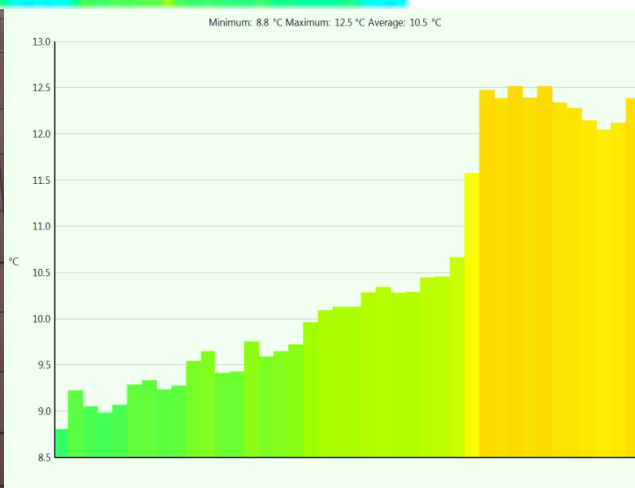
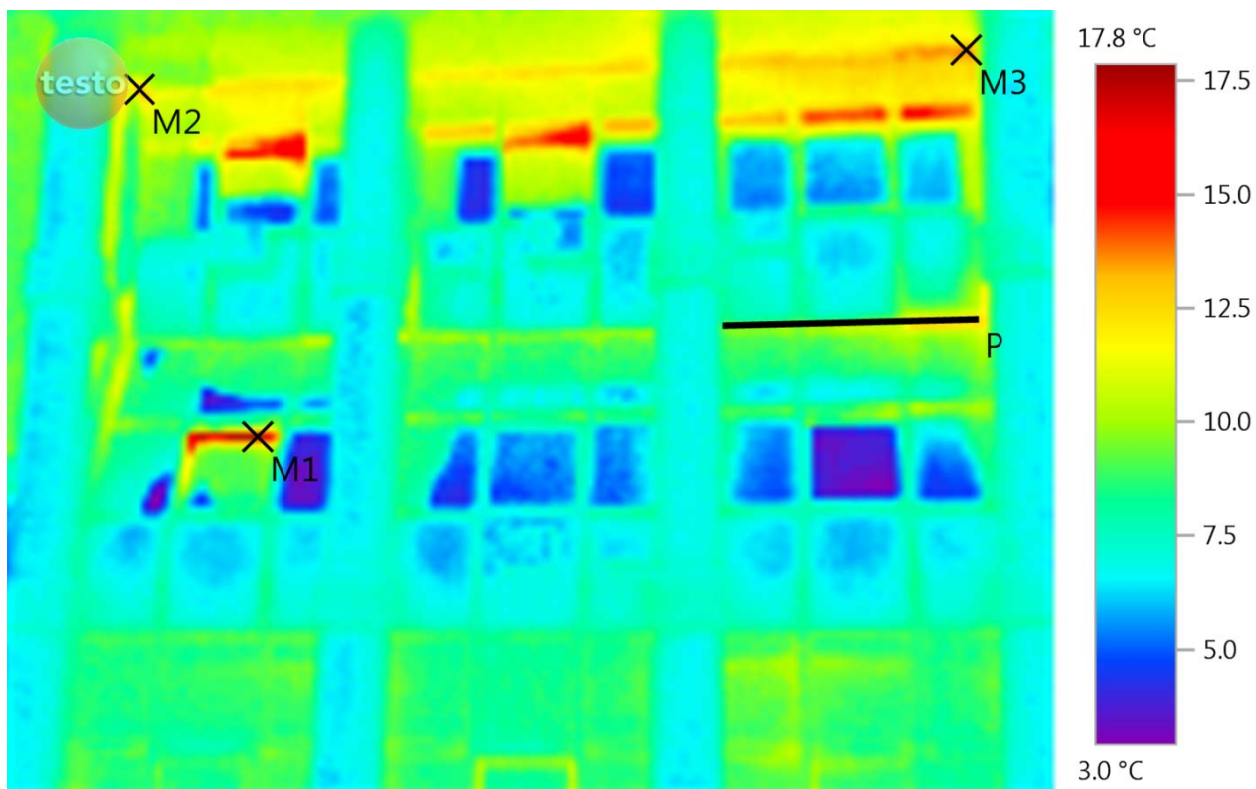
Slika 3.20. Snimak objekta sa južne strane - 10

M1=18.3°C (otvoren prozor)

M2=6.1°C

M3=11.2°C

Snimanje na slici 3.20. je urađeno sa južne strane.



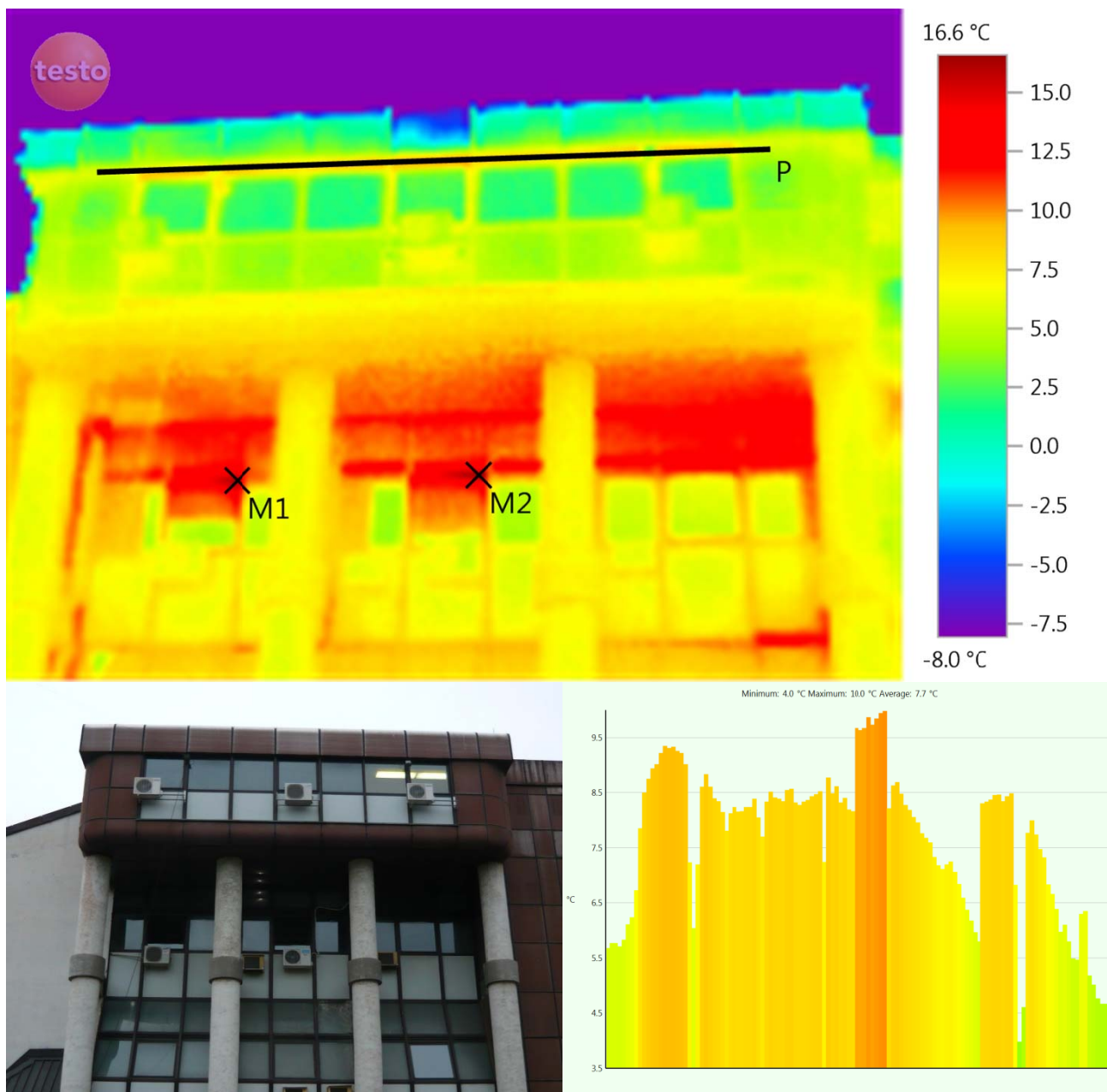
Slika 3.21. Snimak objekta sa južne strane - 11

M1=17.8°C (otvoren prozor)

M2=13.1°C

M3=13.5°C

Snimanje na slici 3.21. je urađeno sa južne strane. Gubici toplote se nalaze između panela duž prave P i u tački M3.

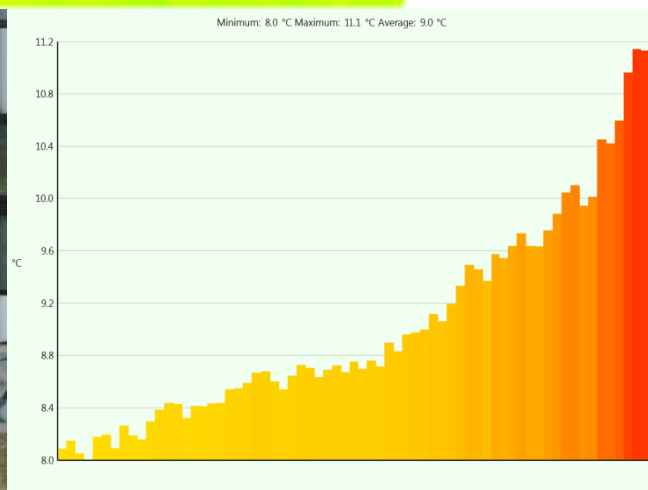
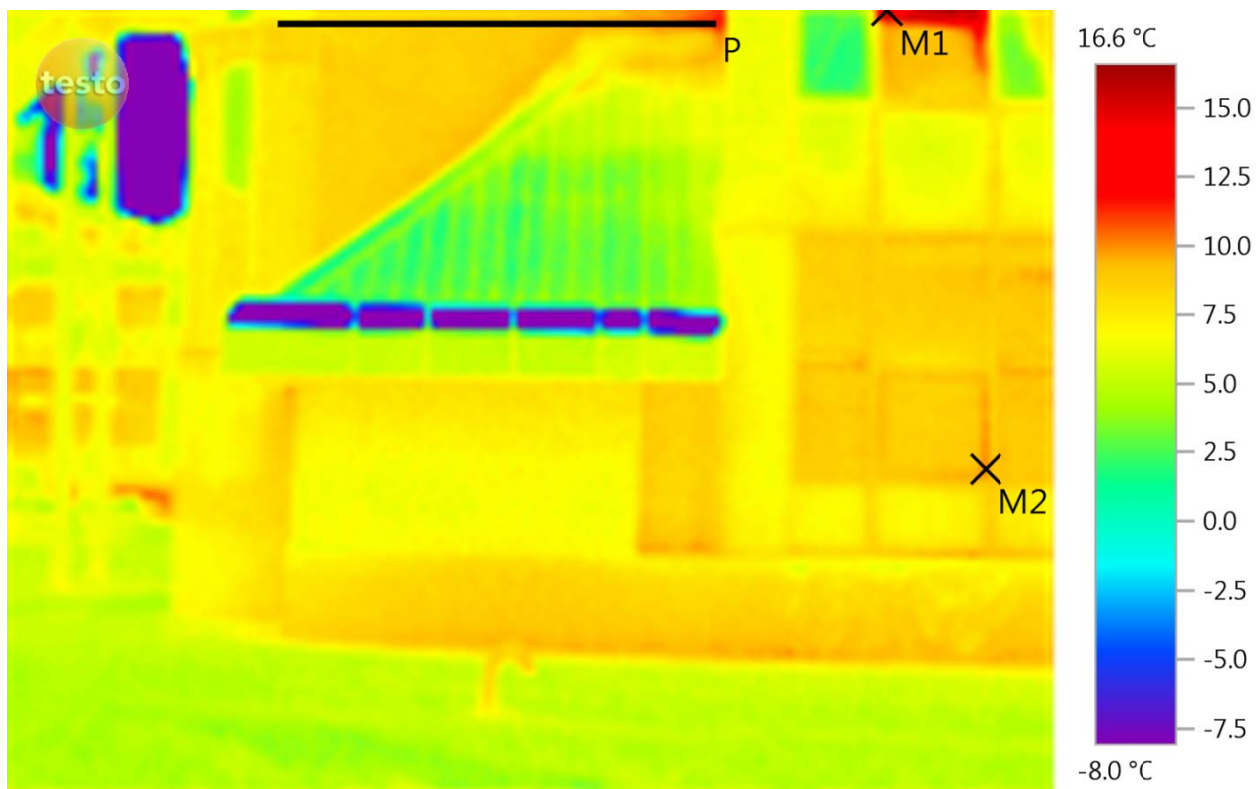


Slika 3.22. Snimak objekta sa južne strane - 12

M1=15.8°C (otvoren prozor)

M2=16.6°C (otvoren prozor)

Snimanje na slici 3.22. je urađeno sa južne strane. Gubici toplote duž prave P na mestu spoja zida i krova, kao i između panela.

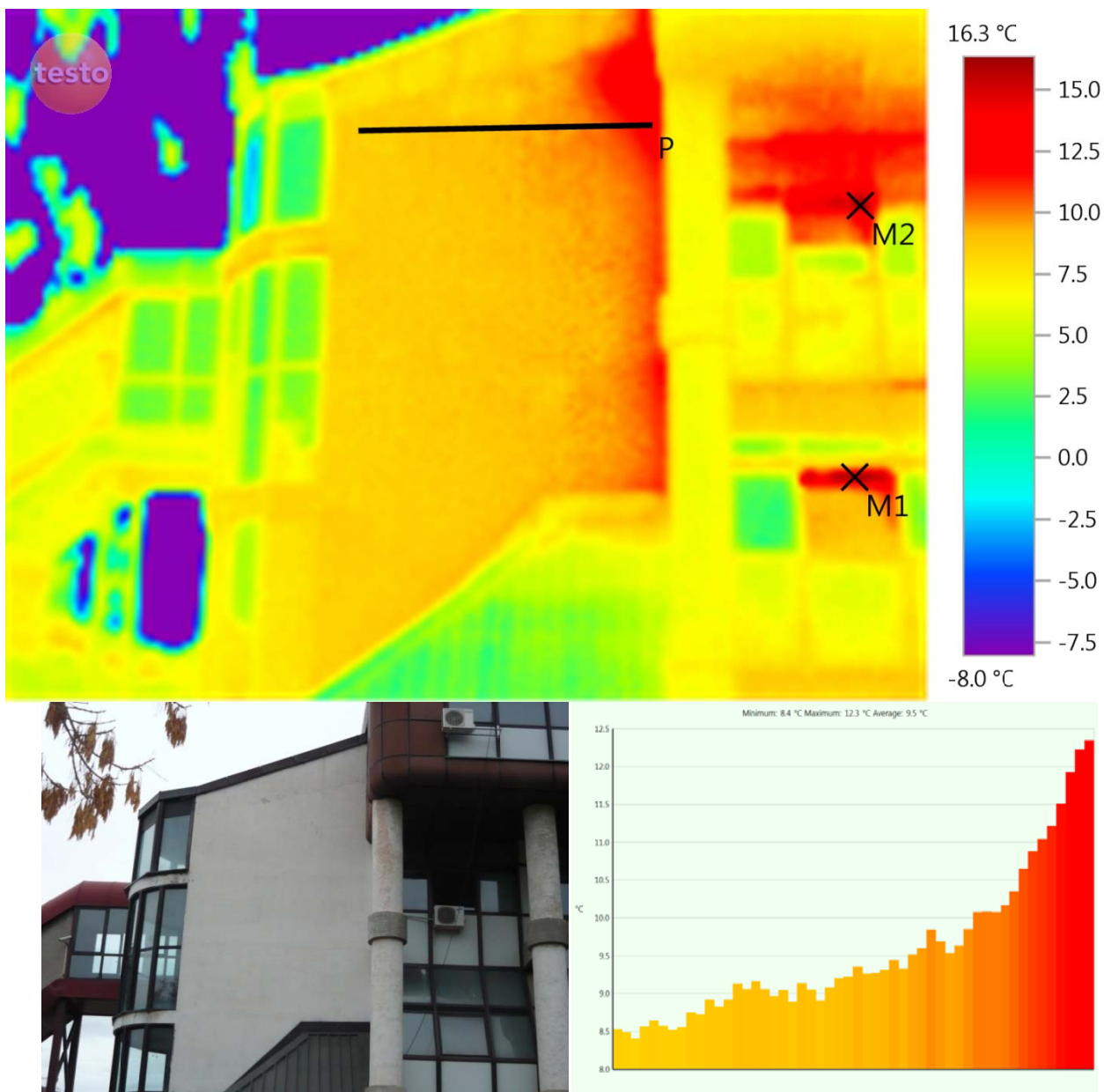


Slika 3.23. Snimak objekta sa južne strane - 13

M1=16.2°C (otvoren prozor)

M2=10.1°C

Snimanje na slici 3.23. je urađeno sa južne strane.

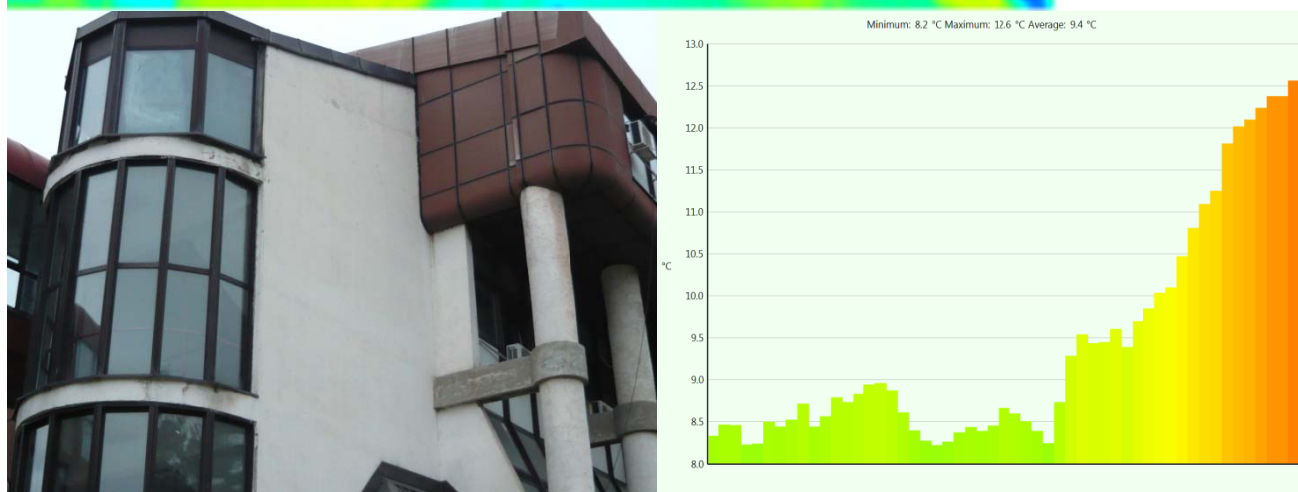
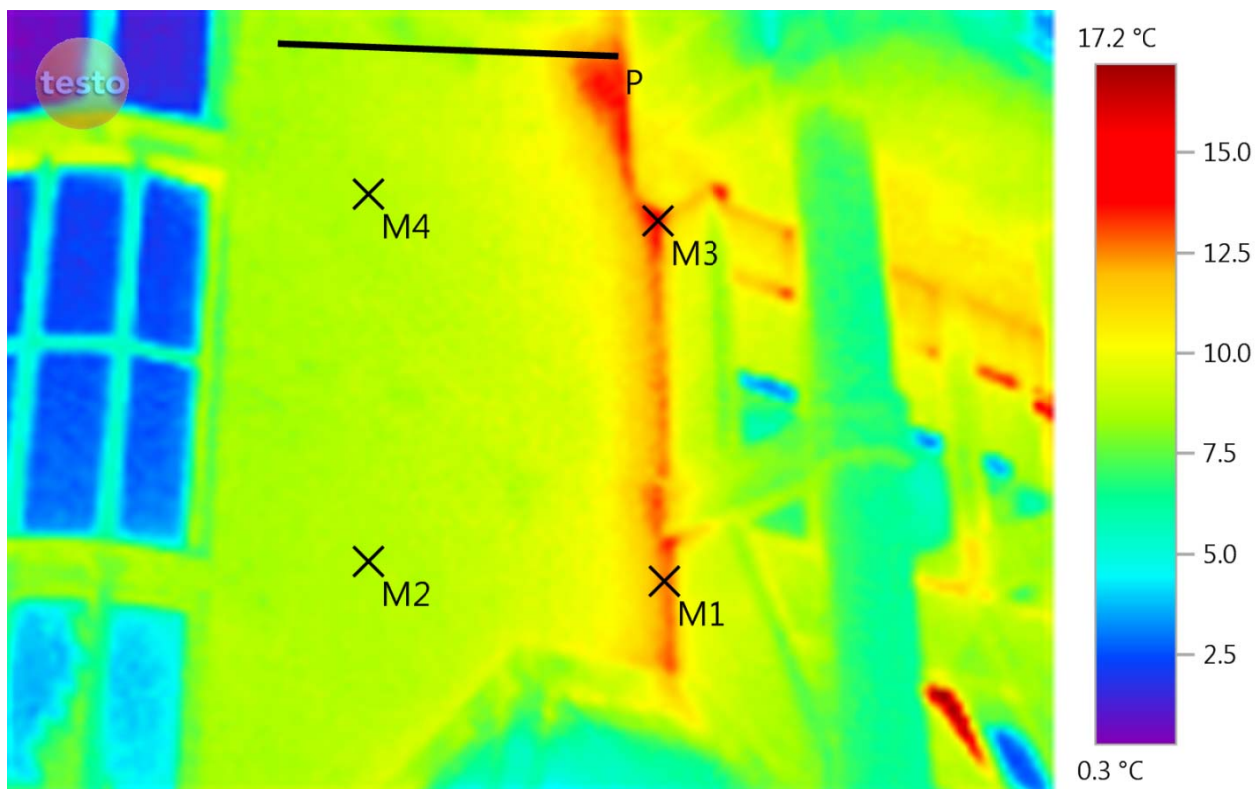


Slika 3.24. Snimak objekta sa južne strane - 14

M1=16.0°C (otvoren prozor)

M2=16.0°C (otvoren prozor)

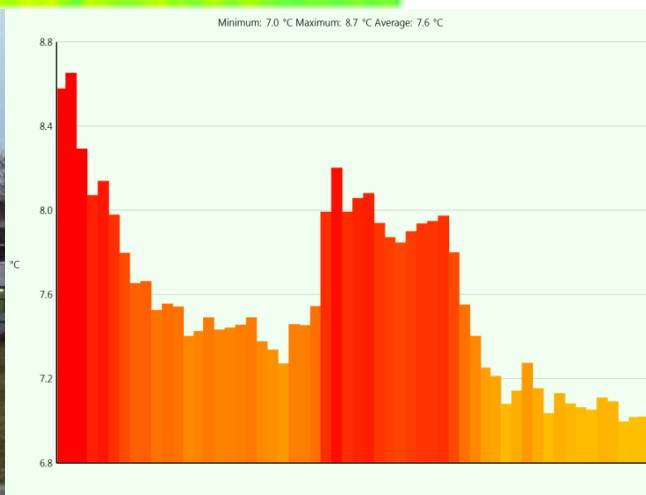
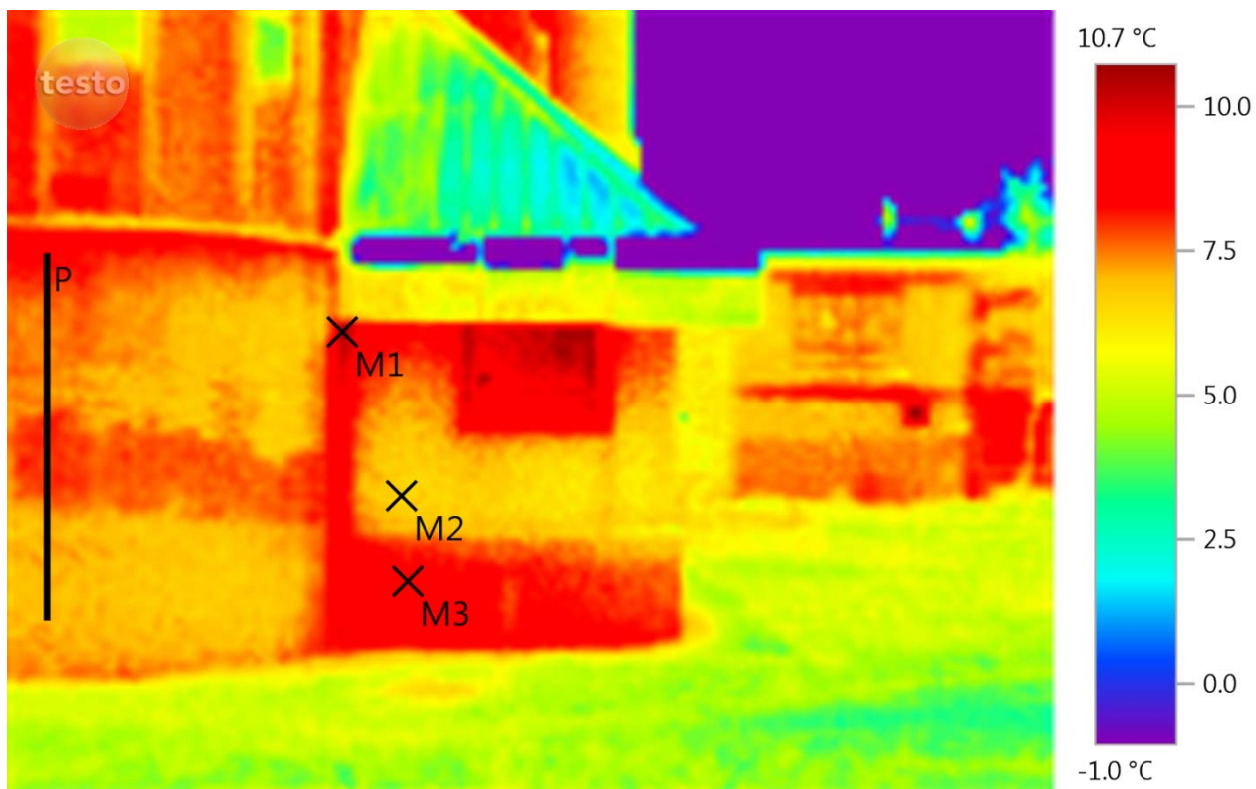
Snimanje na slici 3.24. je urađeno sa južne strane. Porast prolaza toplote duž prave P.



Slika 3.25. Snimak objekta sa južne strane - 15

M1=12.6°C
M2=8.6°C
M3=14.2°C
M4=8.7°C

Snimanje na slici 3.25. je urađeno sa južne strane. Najveći gubici toplote se nalaze u tačkama M3 i M1.



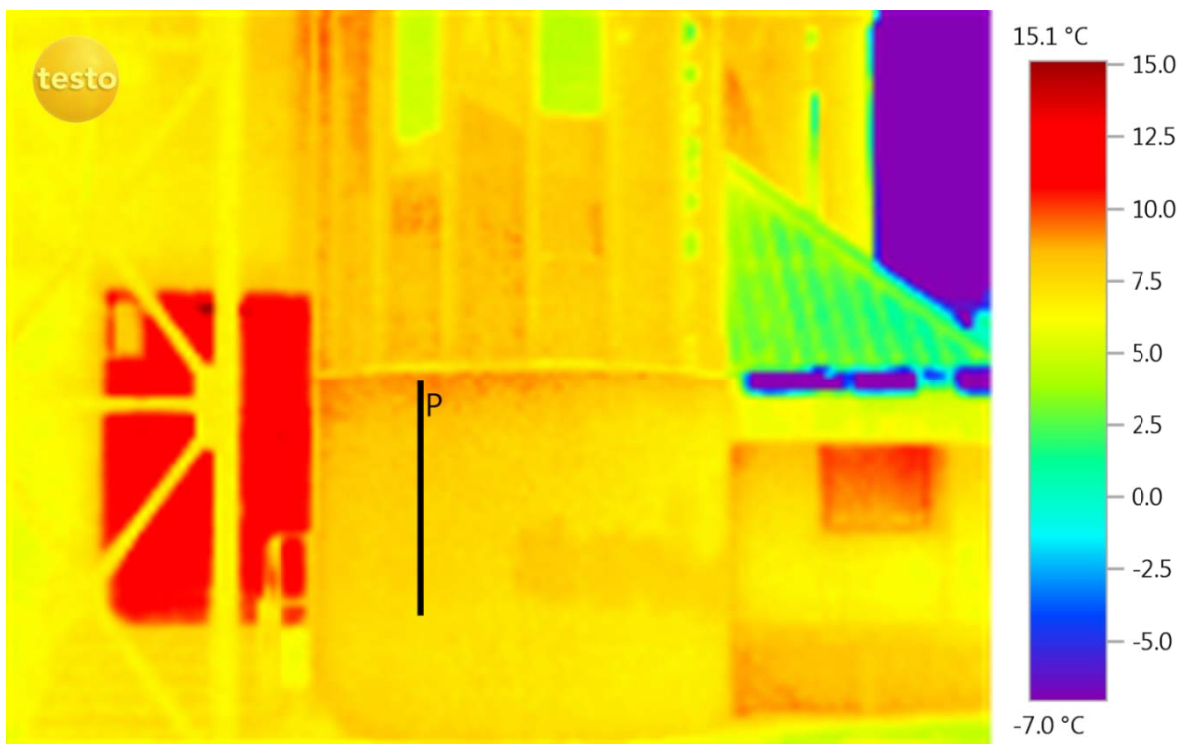
Slika 3.26. Snimak objekta sa zapadne strane - 1

M1=10.5°C

M2=6.7°C

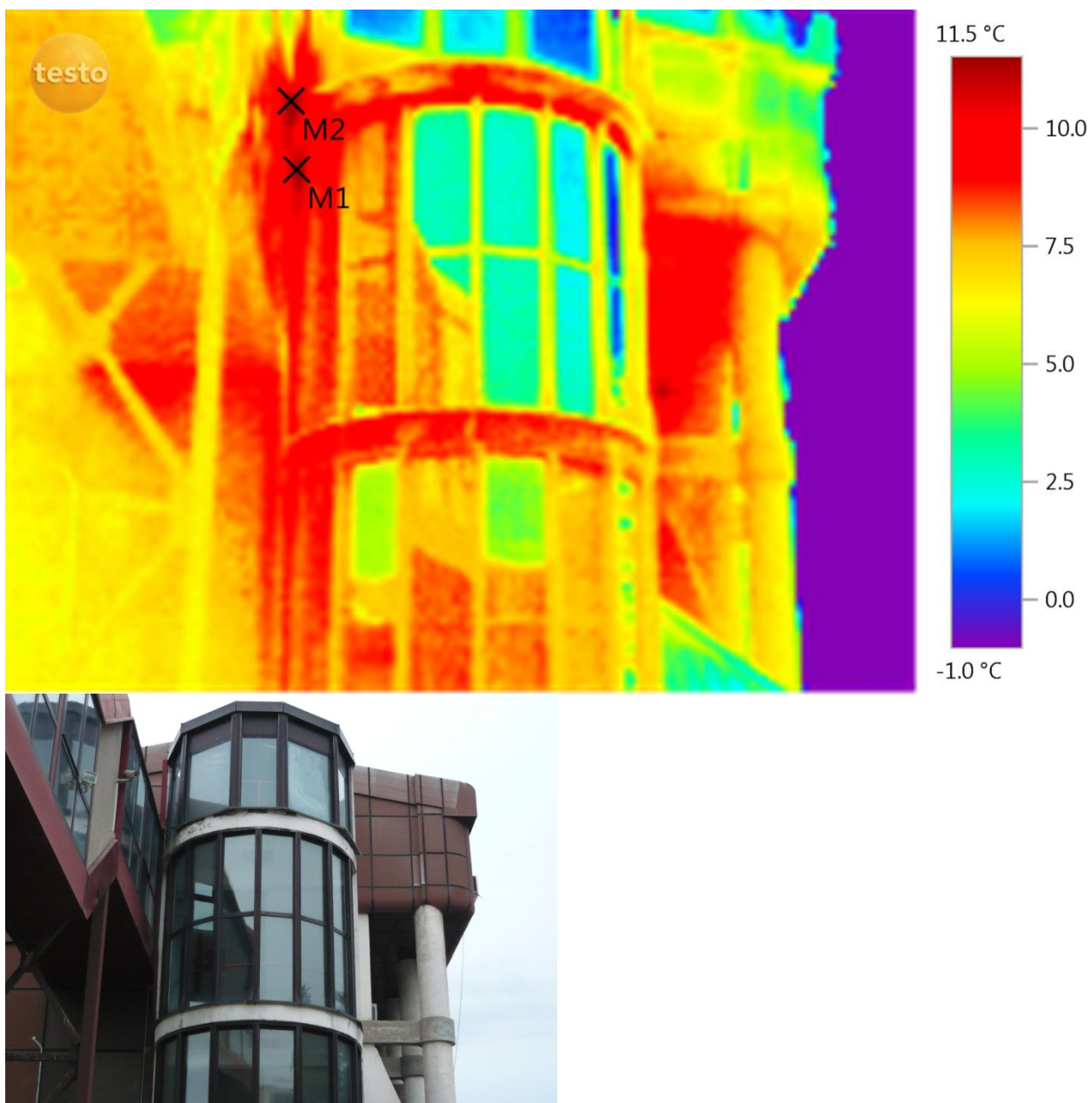
M3=8.7°C

Snimanje na slici 3.26. je urađeno sa zapadne strane. Gubici toplote se nalaze na zidu u tačkama M1 i M3 kao i duž prave P. Gubici na okviru prozora.



Slika 3.27. Snimak objekta sa zapadne strane - 2

Snimanje na slici 3.27. je urađeno sa zapadne strane. Značajni gubici toplote samo sa vrata.

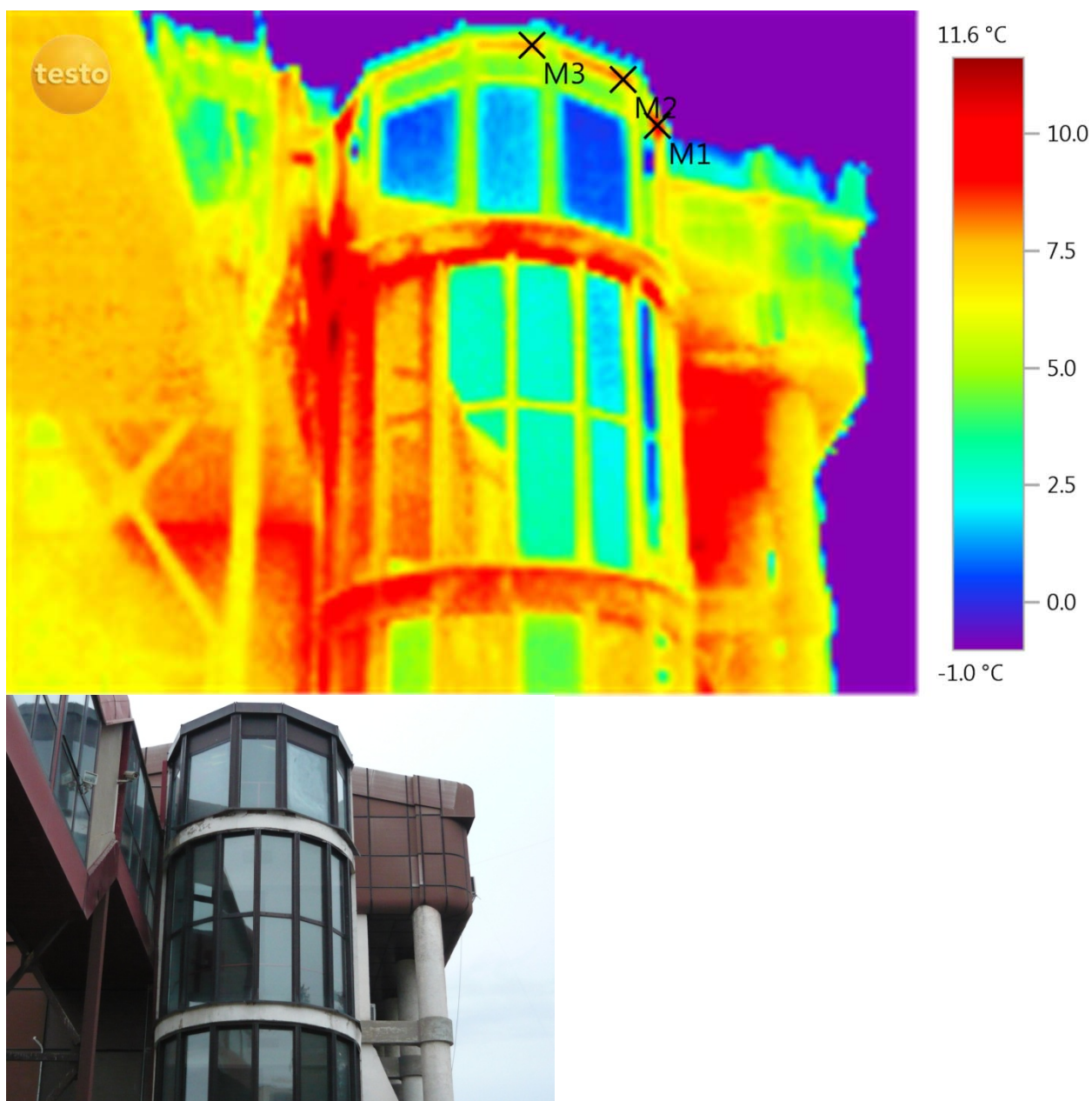


Slika 3.28. Snimak objekta sa zapadne strane - 3

M1=11.5°C

M2=11.5°C

Snimanje na slici 3.28. je urađeno sa zapadne strane. Gubici toplote u tačkama M1 i M2.



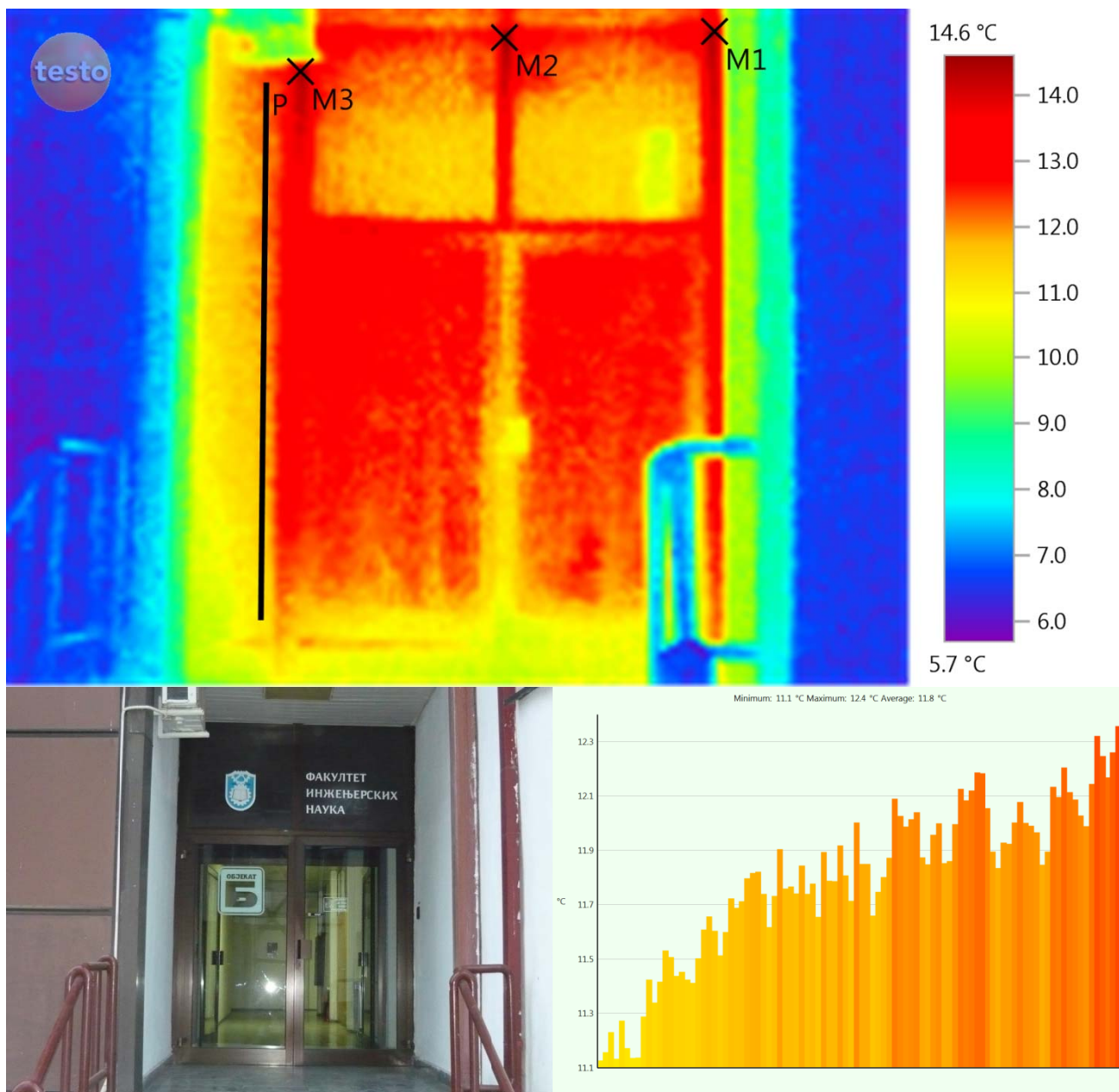
Slika 3.29. Snimak objekta sa zapadne strane - 4

M1=9.4°C

M2=8.2°C

M3=8.1°C

Snimanje na slici 3.29. je urađeno sa zapadne strane. Gubici toplote u tačkama M1, M2 i M3.



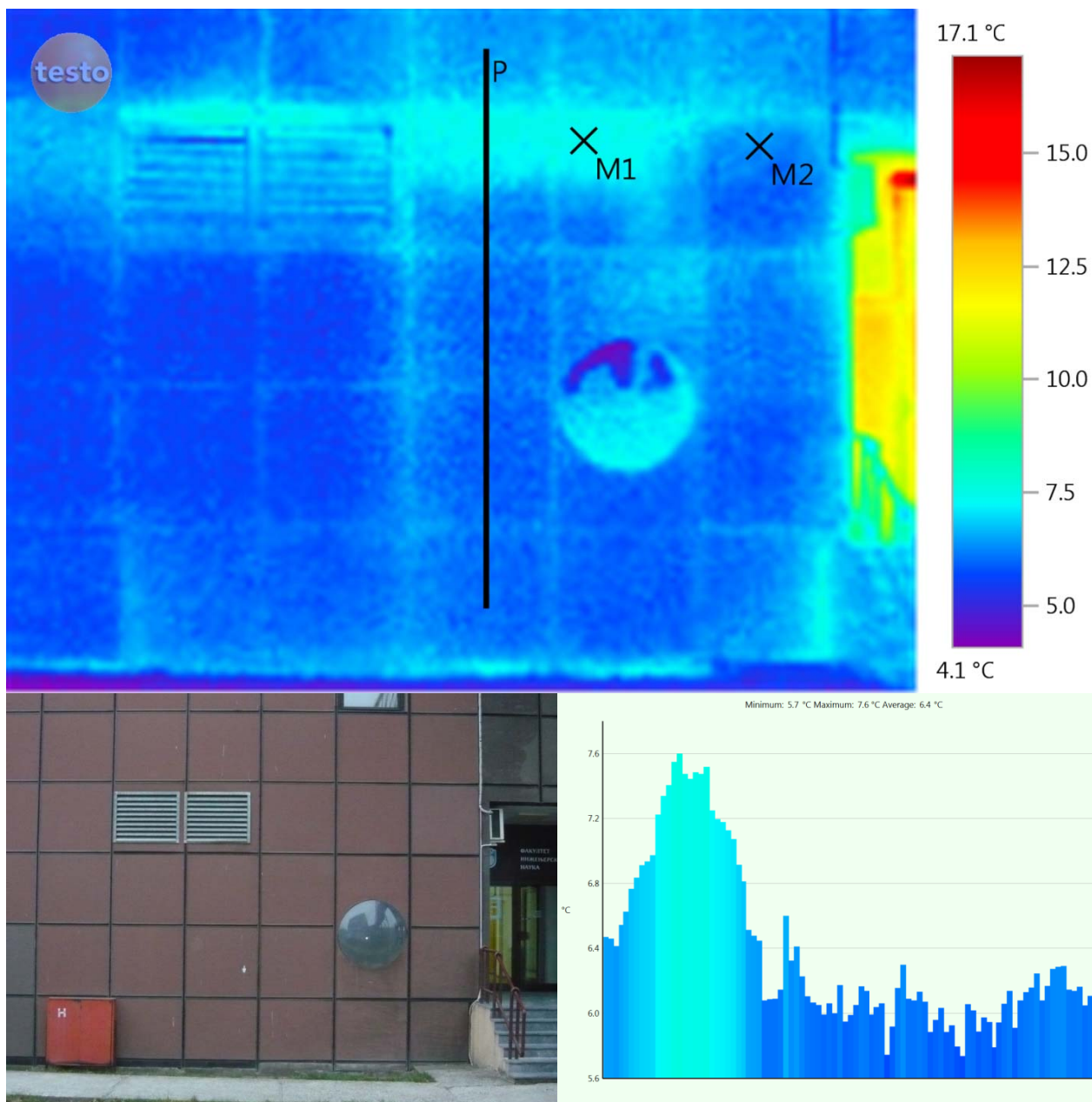
Slika 3.30. Snimak objekta sa zapadne strane - 5

M1=14.4°C

M2=14.6°C

M3=14.3°C

Snimanje na slici 3.30. je urađeno sa zapadne strane. Ulazna vrata, najveći gubici toplote se nalaze u tačkama M1, M2 i M3.

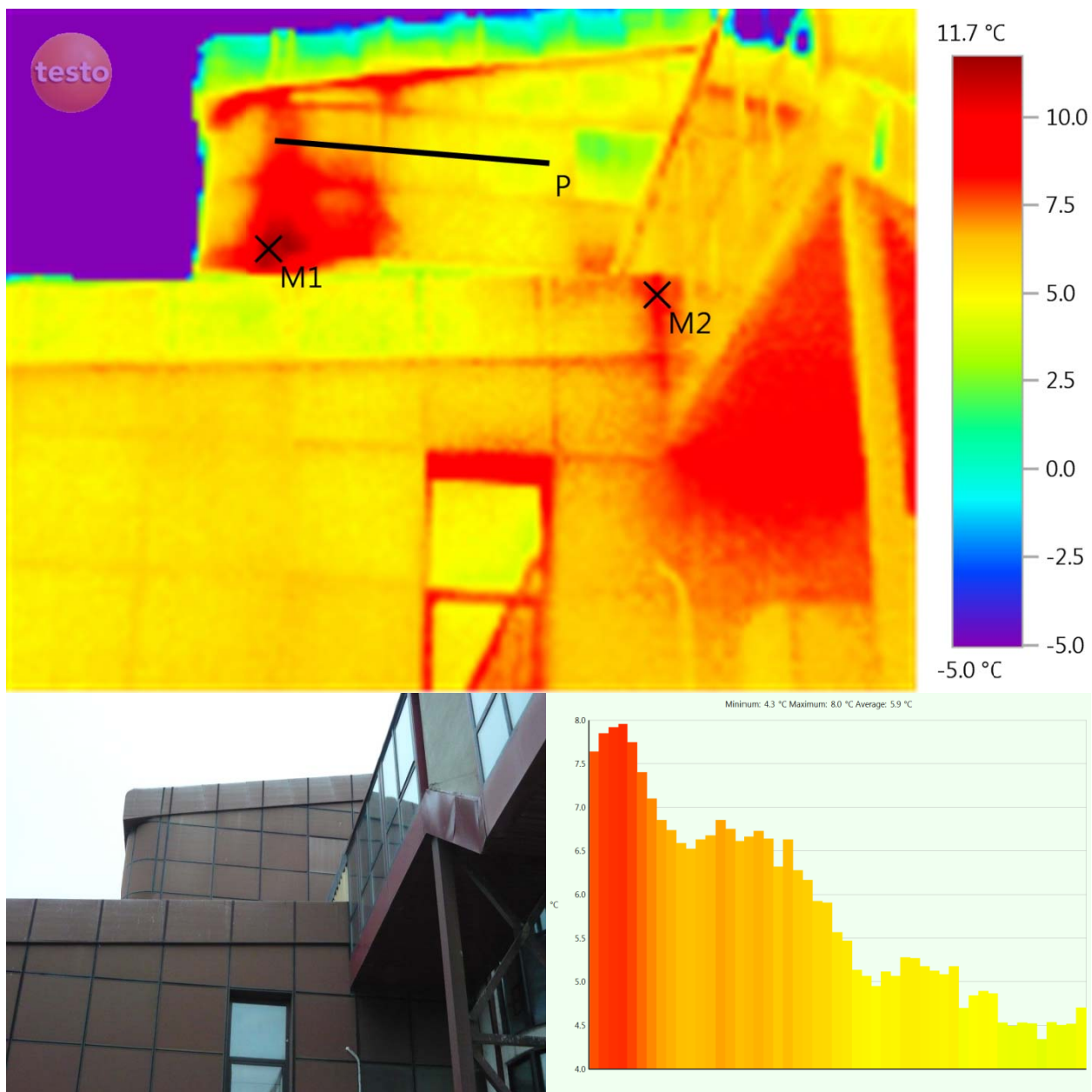


Slika 3.31. Snimak objekta sa zapadne strane - 6

M1=7.4°C

M2=6.2°C

Snimanje na slici 3.31. je urađeno sa zapadne strane. Manji gubici toplote se nalaze u području oko tačke M1.

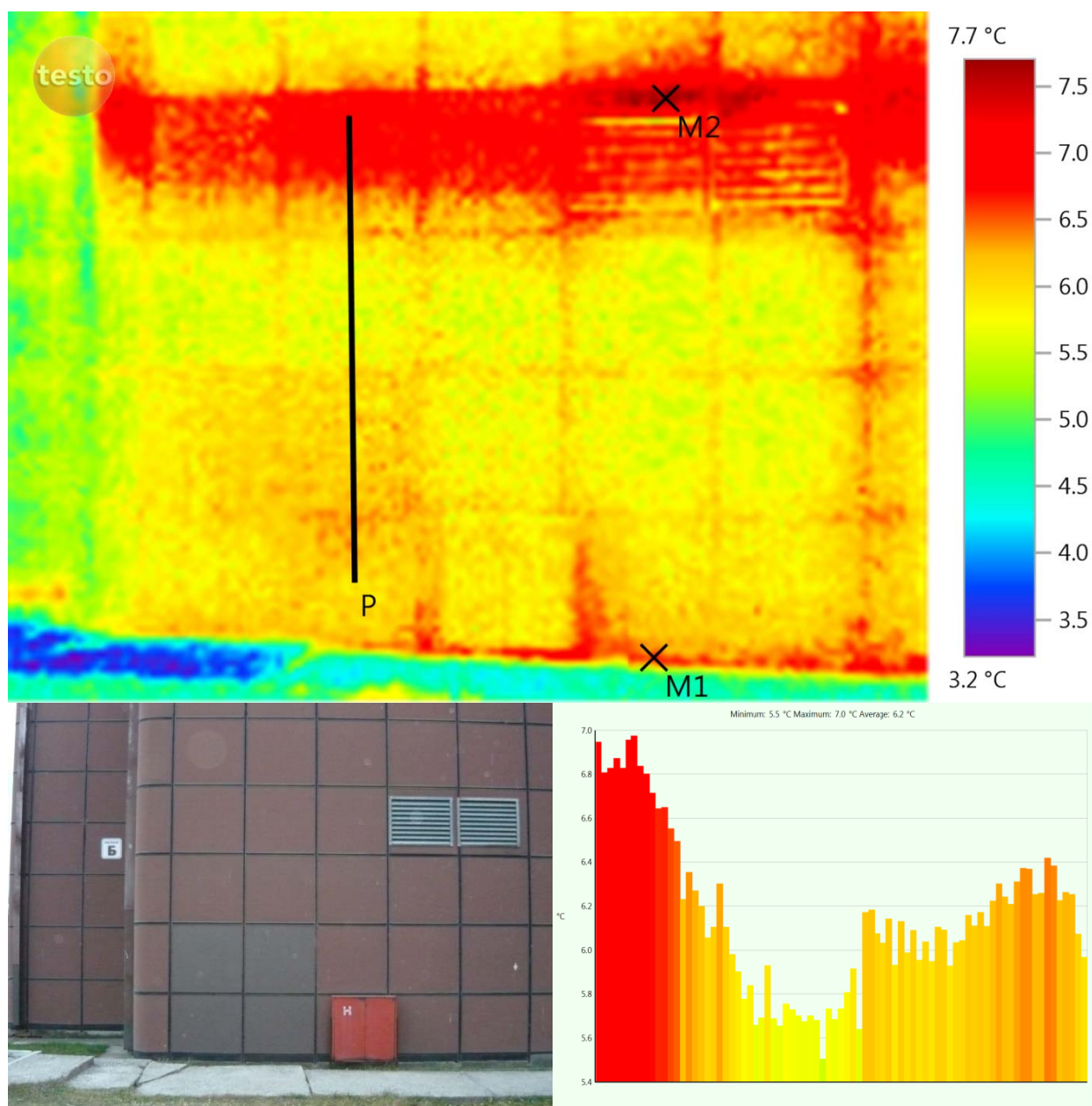


Slika 3.32. Snimak objekta sa zapadne strane - 7

M1=11.7°C

M2=8.6°C

Snimanje na slici 3.32. je urađeno sa zapadne strane. Gubici toplote su najizraženiji u tački M1, kao i u tački M2 i na spoju zida i krova.

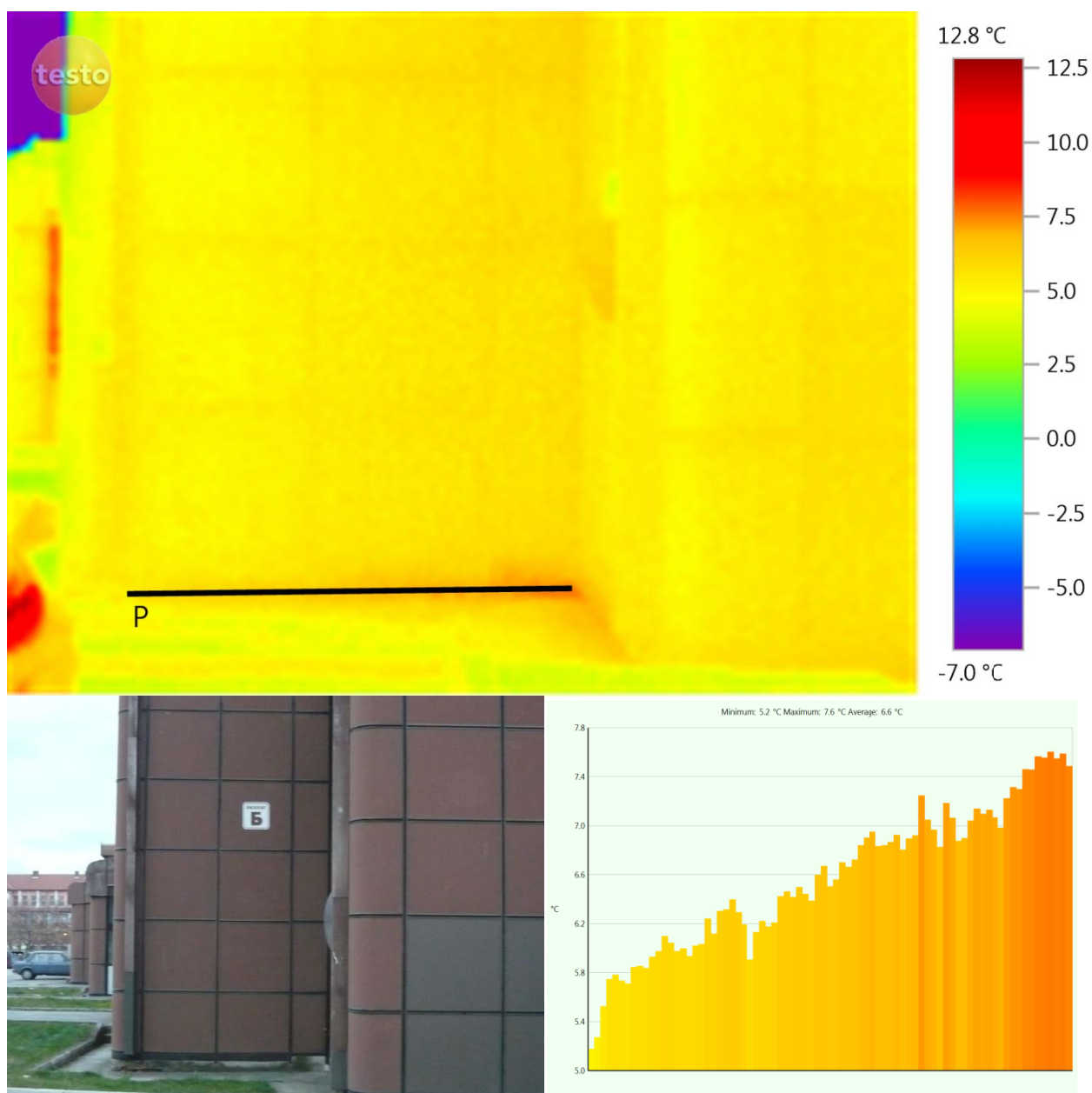


Slika 3.33. Snimak objekta sa zapadne strane - 8

M1=6.7°C

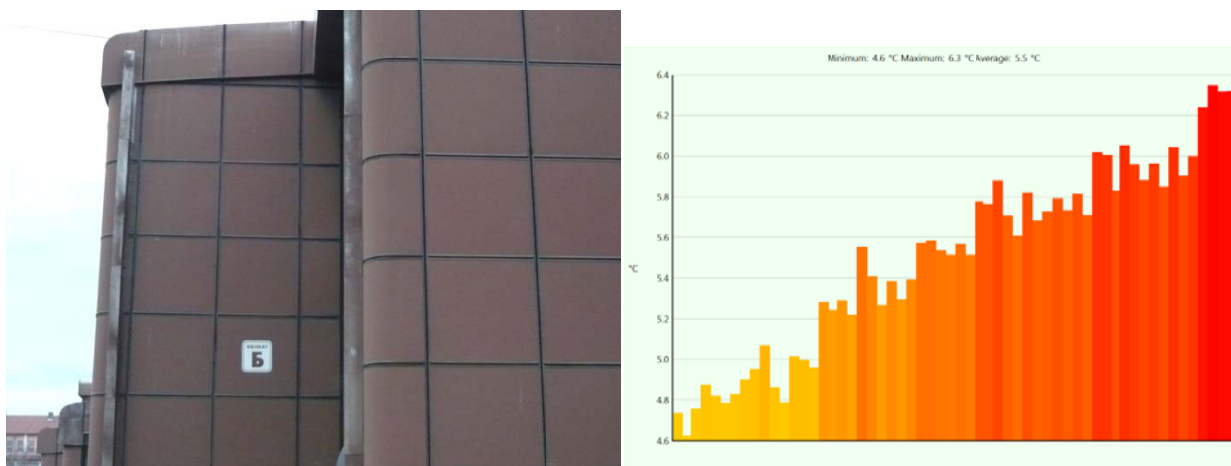
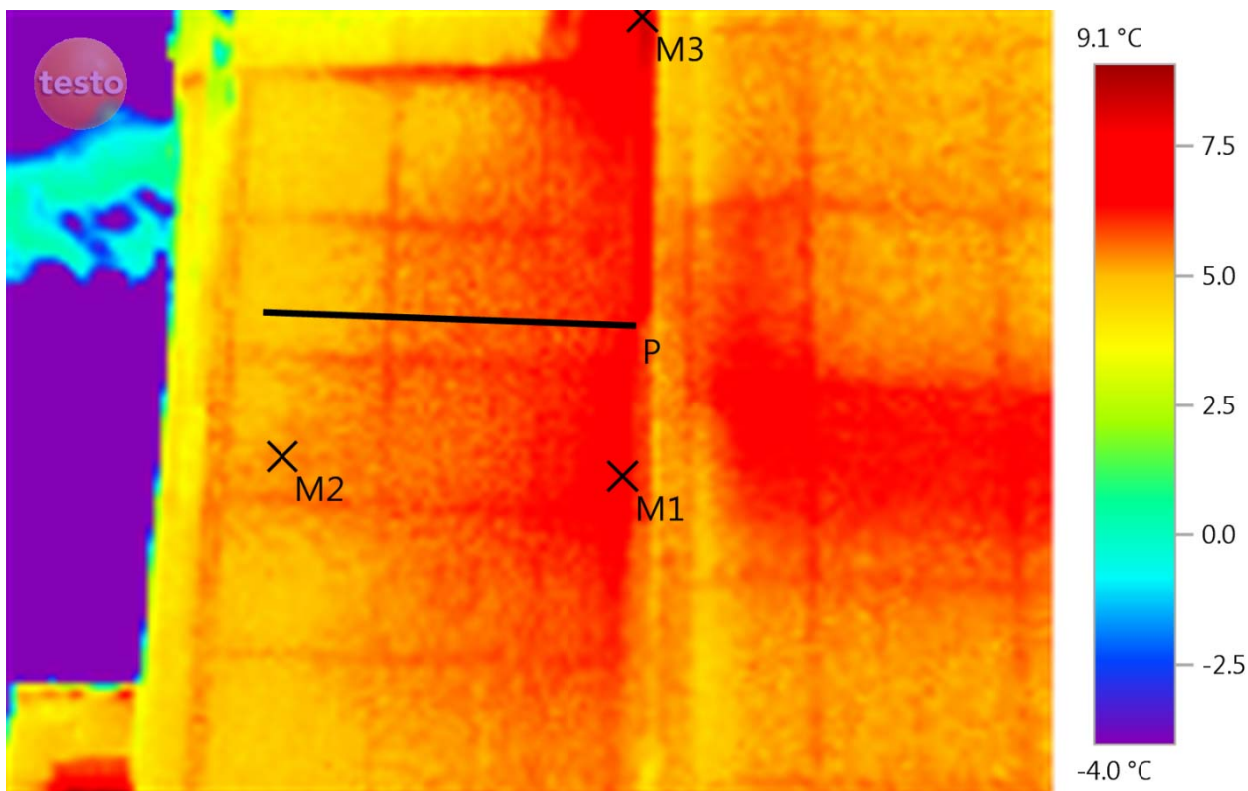
M2=7.7°C

Snimanje na slici 3.33. je urađeno sa zapadne strane. Prolaz toplote se vidi u tačkama M1 i M2.



Slika 3.34. *Snimak objekta sa zapadne strane - 9*

Snimanje na slici 3.34. je urađeno sa zapadne strane. Gubici toplote na neizolovanom betonu.



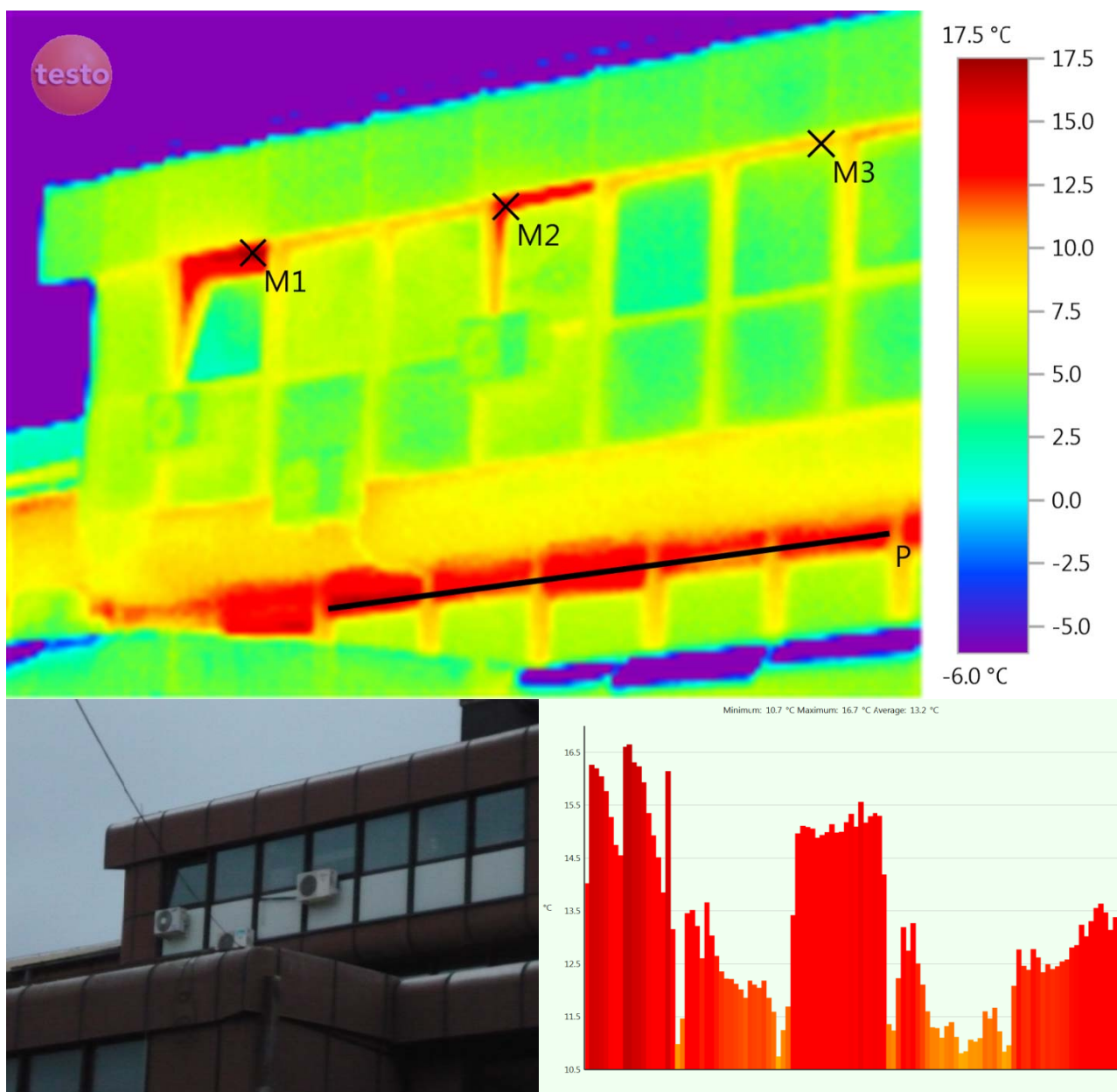
Slika 3.35. Snimak objekta sa zapadne strane - 10

M1=7.6°C

M2=5.3°C

M3=9.1°C

Snimanje na slici 3.35. je urađeno sa zapadne strane. Prolaz toplote se vidi u tačkama M1 i M3, kao i u području oko tih tačaka.



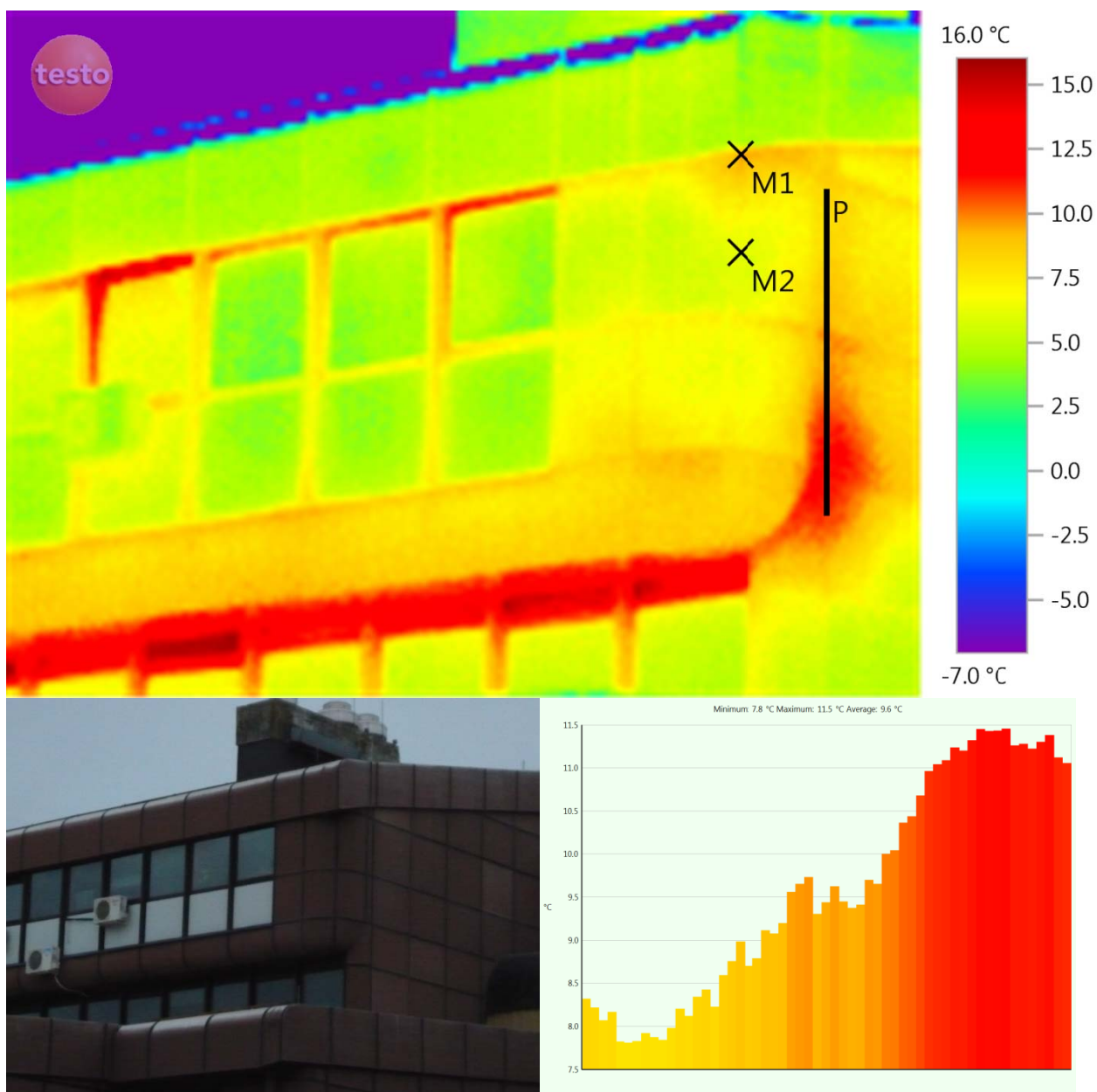
Slika 3.36. Snimak objekta sa severne

M1=17.5°C (otvoren prozor)

M2=14.6°C (otvoren prozor)

M3=10.1°C

Snimanje na slici 3.36. je urađeno sa severne strane telefoto sočivom 9°x7°. Gubici toplote se nalaze duž prave P.

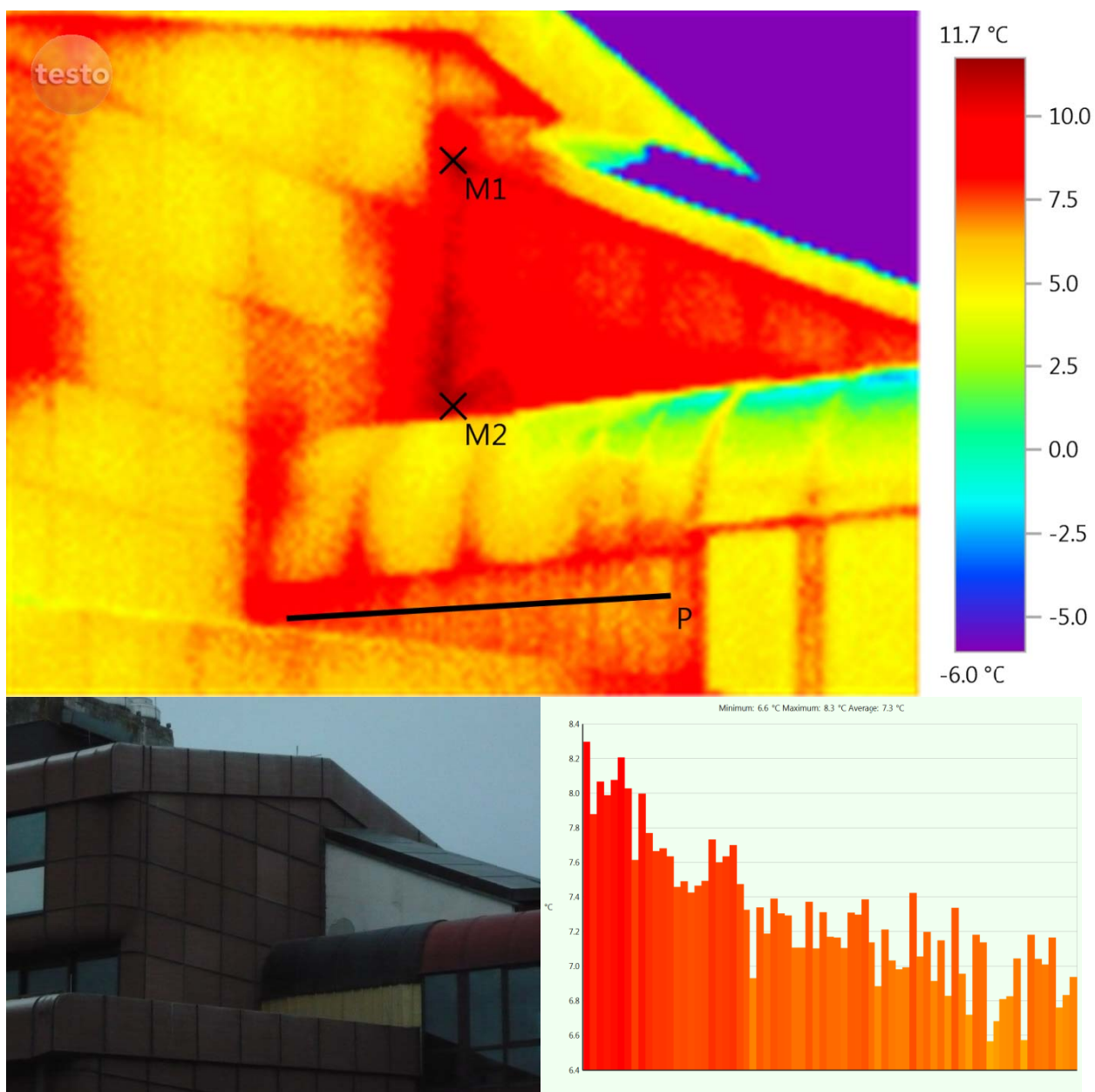


Slika 3.37. Snimak objekta sa severne

M1=9.5°C

M2=6.0°C

Snimanje na slici 3.37. je urađeno sa severne strane telefoto sočivom 9°x7°. Prolaz toplote se nalazi duž prave P.



Slika 3.38. Snimak objekta sa severne strane

M1=11.7°C

M2=11.7°C

Snimanje na slici 3.38. je urađeno sa severne strane telefoto sočivom 9°x7°. Prolaz toplote se nalazi u tačkama M1 i M2, kao i duž prave P.

4 Zaključak

U ovom radu je prikazan detaljni IC pregled fasade objekta "B" Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu. Pregled snimaka sa severne strane objekta ukazuje na toplotne gubitke na svim vratima. Takođe, imamo gubitke u neizolovanom podnožju zgrade usled toplokih mostova koji mogu biti sprečeni postavljanjem izolacije od stiropora. Toplotni gubici između metalnih panela ukazuju na moguću degradaciju postojeće izolacije, tako da je preporuka da se paneli skinu i da se stavi nova izolacija. Preporučuje se sanitacija zida da bi se sprečilo dalje oštećenje i takođe rad nove spoljašnje izolacije. Na slikama sa istočne strane takođe imamo problem sa toplotnim mostovima u podnožju zgrade. Ventilacioni otvori između okvira prozora predstavljaju problem zato što su metalni i neizolovani tako da doprinose toplotnim gubicima. Najveći gubici postoje između panela i okvira prozora. Na južnoj strani imamo probleme sa toplotnim mostovima u podnožju objekta. Na slikama sa južne strane možemo primetiti da se toplotni gubici između panela povećavaju što su paneli bliži zemlji. Ponovo se pojavljuju gubici na ventilacionim otvorima između okvira prozora, kao i na ventilacionim otvorima u panelima. Sa zapadne strane takođe problem sa toplotnim mostovima u podnožju objekta. Toplotni gubici se javljaju i na ulaznim vratima sa zapadne strane, kao i na ventilacionim rešetkama i između panela.

Nakon pregleda skeniranih IC slika dolazi se do zaključka da je termički omotač objekta "B" Fakulteta inženjerskih nauka u lošem stanju.

5 Literatura

- [1] Milorad Bojić; Termodinamika, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2011.
- [2] Slobodan Zrnić, Živojin Čulum; Grejanje i klimatizacija, Beograd, 1988.
- [3] <http://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/IZ-Proracun%20gubitaka%20topline-v02.pdf>
[preuzeto 20.12.2011.]
- [4] <http://www.efikasnost.com/2011/09/27/pravilnik-o-energetskoj-efikasnosti/> [preuzeto
20.12.2011.]