

PODNO GRIJANJE STARIH SAKRALNIH OBJEKATA

U članku se razmatra problematika uvođenja niskotemperaturnog toplovodnog podnog grijanja u stare sakralne objekte na primjeru Crkve uzvišenja sv. Križa u Tvrdi, baroknoj jezgri Osijeka. Opisan je zahtjevan sustav podnog grijanja: od osnovne ideje, projektiranja i izvedbe pa sve do višegodišnje uspješne uporabe, prateći korak po korak realizaciju te nastojeći realno sagledati njegove prednosti i nedostatke.

Kada se spomene podno grijanje, kod većine se ljudi javlja asocijacija na instalaciju grijanja novijeg vremena. Međutim, arheološka istraživanja govore o tome da je već u 3. stoljeću prije Krista u Kini postojalo površinsko grijanje - u zidovima i podovima nalazili su se kanali za dim koji su služili za zagrijavanje kuća. Slični uređaji za zagrijavanje mogu se naći i u ostacima iz rimskog vremena, uključujući i hipokaust - prostor ispod poda kuće ili kupaonice koji je bio ispunjen zrakom koji se zagrijavao toplinom plinova izgaranja iz peći (il. 1). To je prakticirano i u prostorima javnih i privatnih bazena koji su se grijali pomoću kanala smještenih u podu.

Međutim, intenzivnija ugradnja instalacija podnog grijanja u svijetu je započela tijekom druge polovice prošlog stoljeća i traje sve do danas.

Ipak, u članku je težište na podnom grijanju crkvi kao karakterističnih objekata sa svim dobrim i lošim svojstvima. Kako bi se suzilo područje interesa, odlučili smo se za crkve 'stare' gradnje jer se mnoga ograničenja iz te skupine dotiču i ostalih starih objekata (kina, kazališta, sportski objekti, radni prostori i dr).

Rubni uvjeti proračuna

Crkve stare gradnje spadaju u onu vrstu gradnje za koje je vrlo teško napraviti besprijekoran proračun toplinskih gubitaka i odabir grijanja, s obzirom na niz čimbenika koji izravno utječu na donošenje konačne odluke. Nestacionaran pogon grijanja, nepovoljna građevinska fizika objekta, velike visine prostorije te zahtjevi konzervatora stvaraju poteškoće u proračunu potrebne topline. Zbog specifičnosti objekta i povremene uporabe sakralni se objekti moraju



Ilustracija 1
Male rimske
terme u
Sirmiju
(4. st. pr.Kr)

proračunavati na poseban način. U nemogućnosti šireg elaboriranja načina proračuna takvih objekata, valja se zadržati samo na definiranju najznačajnijih rubnih uvjeta. Tri su osnovna razloga za to:

- povremena uporaba objekata - ili nema potrebe stalnog grijanja tijekom tjedna (ovisno o mjesnim prilikama) ili se potreba za grijanjem uglavnom svodi na 1 - 2 sata dnevno
- crkve imaju vrlo debele, masivne zidove i visoke unutarnje prostore te se na taj način ne postiže stacionarno stanje grijanja koje je uvjet za korektan proračun
- radi čuvanja mobilijara, freski, orgulja i dr. naglašen je zahtjev konzervatora da temperaturne promjene moraju biti vrlo spore (1 - 2 K/h).

U razmatrane rubne uvjete svakako valja uvrstiti i potrebno vrijeme zagrijavanja 4 - 8 h (koje izlazi iz spomenutih dopuštenih temperaturnih promjena po satu) te određenu izmjenu zraka.

Tako se ukupne toplinske potrebe mogu izraziti kao zbroj akumulirane topline (toplinskog toka) od graničnih ploha zida (Q_a), gubitke kroz ostakljene plohe (Q_s) i topline ventilacijskih gubitaka (Q_v) formulom:

$$Q_{sa} = Q_a + Q_s + Q_v, W.$$

Stalna zimska temperatura u sakralnim objektima treba iznositi minimalno 4 - 8 °C. Projektna temperatura zraka za vrijeme bogoslužja treba iznositi oko 12 - 15 °C što je maksimum da bi se ljudi u zimskoj odjeći još osjećali ugodno. Ako se u prostoru predviđaju i koncertne priredbe, temperatura zraka u prostoru iznosi oko 18 °C. Pri tome primjena niskotemperaturnog toplovodnog grijanja izravno utječe na smanjivanje toplinskih gubitaka u odnosu na, npr. toplozračno ili radijatorsko grijanje do čak 30%.



Ilustracija 2

Obnovljena Crkva uzvišenja sv. Križa u Osijeku

Relativna vlažnost za vrijeme korištenja stalno treba biti u granicama 45 - 75%. Odstupanja tijekom dana oko 10% su u području tolerancije. Grijanje crkava uz održavanje spomenutih rubnih uvjeta je vrlo važno za održavanje građevinske fizike (vlažnost zidova itd) te zaštitu kompletnog interijera, starog namještaja, orgulja, freski i sl.

Poznato je da je za visoke prostore podno grijanje vrlo povoljno zbog jednoličnog temperaturnog polja u prostoriji uz gotovo okomit temperaturni gradijent, s višim temperaturama pri podu, a nižima pri stropu. Pri tome je promjena okomitog temperaturnog gradijenta u području 1,5 - 2 K/m što je gotovo savršeno (brojna ispitivanja udobnosti nedvojbeno su pokazala da je podno grijanje najpovoljnije za osobe u sjedećem položaju s 5% udjela nezadovoljnih). Čovjek preko stopala (nogu) gubi istu količinu topline kao i preko cjelokupne ostale površine tjela (prof. J. Amor) pa je fiziološki povoljnije da u zoni nogu temperatura bude viša, a u zoni glave niža. Zbog takve osjetljivosti sniženje temperature na stopalu za više od 4 °C čovjek osjeća kao izrazitu hladnoću u nogama. Podnim grijanjem je omogućena gotovo savršena raspodjela temperatura u prostoriji pri čemu je temperatura uz pod viša, a prema stropu opada ('tople noge - hladna glava').

Kako je osjećaj ugodnosti vrlo individualan pokazatelj, praksa je pokazala da je zadovoljavajuća i niža temperatura od spomenute (8 - 12 °C), posebno u hladnijem zimskom razdoblju kada ljudi dolaze najtoplije odjeveni, čime se postižu dodatne uštede energije (10 - 12%).

Dakle, primjenom niskotemperaturnog podnog grijanja starih sakralnih objekata osigurava se učinkovito grijanje u zoni boravka ljudi s vrlo dobrom temperaturnom udobnosti u području nogu (s površinskim temperaturama 20 - 26 °C). Time se postižu zadovoljavajući osjetilni učinci čak i bez posebnog toplinskog djelovanja tople plohe na temperaturu zraka u prostoriji.

Kao glavni nedostatak kod podnog grijanja crkvi ostaje povremenost pogona te inertnost sustava što se značajno može ublažiti održavanjem stalne minimalne temperature u prostoriji.

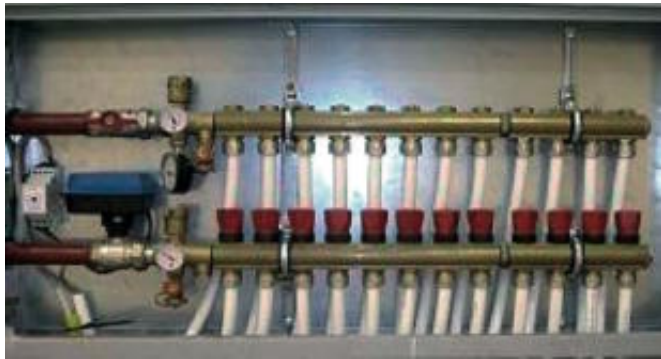
Iako nije tema članka, treba spomenuti da je, na žalost, u praksi zbog manjih investicijskih troškova nerijetko prevladao koncept ventilokonvektorskog sustava (npr. industrijski kaloriferi) s plinom ili uljem kao energentima, koji prije samog bogoslužja kreće u intenzivan pogon pri čemu se zanemaruje uvjet dopuštene brzine progrijavanja i promatra se samo da pogon što kraće traje s ciljem smanjivanja troškova grijanja. Ti uređaji rade u području velike buke i velikih istrujnih brzina te ih zbog buke nije moguće koristiti za vrijeme mise. Na taj se način zrak u prostoriji razmjerno brzo ugrije, međutim praktično bez učinka na osjećaj ugodnosti u prostoriji čim se grijanje ugasi, a i bez utjecaja na hladni pod pa su potrebne temperature zraka u prostoriji značajno više kako bi se kompenzirao efekt hladnog poda. Visoke podstropne temperature utječu na povećanje toplinskih gubitaka (i to ne samo kroz strop, nego i po visini prostorije). Uređaji su glomazni i ne uklapaju se u rustikalni interijer. Takav sustav grijanja ne odgovara ni održavanju interijera niti je povoljan u smislu energetske uštede.

Izvedba grijanja Crkve uzvišenja sv. Križa u osiječkoj Tvrdi

Niskotemperaturno podno grijanje zbog uvođenja strojarskih instalacija u građevinski element (pod) dotiče rubno područje graditeljstva i strojarstva te upućuje na potrebnu tiješnju suradnju stručnjaka iz oba područja. Stoga je u članku ipak naglasak više na problematici strojarskih instalacija uz minimalan opis građevinskih radova koji s tim instalacijama čine funkcionalnu cjelinu (ogrijevnu plohu crkve).

Temeljni kamen Crkve sv. Križa u Osijeku blagoslovio je Đuro Patačić, bosanski biskup, 1709. godine. Nešto pobliže o tijeku izgradnje samostanske crkve nije zapisano jer se tada još nije vodila samostanska Spomenica. Iz samostanskog je arhiva prema sačuvanoj ispravi poznato da je crkva sagrađena i uređena do 1732. godine. Tijekom 18. stoljeća provedene su izmjene u crkvi. Glavni oltar, koji je načinjen 1726. godine u Beču, izvorno je bio smješten u središtu svetišta jer je iza njega bio kor. U obnovi 1752. godine pomaknut je prema zidu da bi bilo više mjesta, a u preuređeni je oltar u bogato ukrašenu vitrinu smješten čudotvorni Gospin kip koji se do tada nalazio na pokrajnjem oltaru Majke Božje. Godine 1770. glavni je oltar ponovno odmaknut od pozadinske stijene kako je to i danas. Koliko je poznato, crkva je obnovljena i 1917. godine.

Samostanska crkva sv. Križa građena je po ustaljenom običaju baroka, ali vrlo jednostavno, u smjeru istok - zapad. Svetište je na istoku, a glavni ulaz na zapadu. Crkva ima i pokrajnji ulaz na južnoj strani. Duga je nešto više od 30 m, a široka 13 m. Prednji dio svetišta i toranj s lijeve strane vjerojatno su ostaci stare crkve. Pročelje crkve podijeljeno je na dva dijela i dugo 17,40 m kao jednostavna ploha s profiliranim vijencem. Crkva je izvana nedavno renovirana (il. 2).



Ilustracija 3
Razdjelni ormarić s kompletnom opremom

Na ulazu s lijeve strane je kapelica Lurdske Gospe. Pročelje ima na visini od 4 m dvije obostrane niše u kojima su kipovi sv. Franje Asiškoga i sv. Roka, zaštitnika od kuge i zaštitnika trećoredaca. Gornji dio pročelja ima tipični piramidalni barokni završetak. S lijeve strane svetišta je toranj visok oko 38 m s četiri zvona, vjerojatno podignut na temeljima turskog minareta. Na vrhu crkve i tornja je biskupijski križ zahvaljujući nadbiskupu Summi čija se bista i epitaf nalaze u crkvi.

Svetište je prostrano (10 × 10 m), a izvorno je imalo sakristiju gdje je danas jedna od kripti za pokapanje. Završava trostranično s po jednim prozorom na sjevernoj i na južnoj strani.

Pri projektiranju, a uvažavajući oblik prostora, potrebne hidrauličke karakteristike pojedinih ogrjevnih krugova i toplinsko opterećenje prostora, prema iskustvu i tehničkim smjernicama proizvođača sustava podnog grijanja usvojena je veličina ogrjevnog registra do 16 m², a dilatacijskog polja do 40 m². Ukupno je u prostoru crkve izvedeno 19 toplinskih (ogrjevnih) krugova s ukupno četiri razdjelna ormarića (il. 3).

U jesen 1993. godine ugrađen je niskotemperaturni podni toplovodni sustav tipa 'Polytherm'.

Osnovni tehnički podaci

Grijana površina poda iznosi $A = 305 \text{ m}^2$, toplinsko opterećenje crkve pri projektnim uvjetima $Q = 33,8 \text{ kW}$, specifično toplinsko opterećenje $q = 112 \text{ W/m}^2$, radni režim je 45/35 °C s maksimalnom temperaturom poda oko 25 °C i zraka 10 °C (kod vanjske temperature -18 °C), dok razmak ugradnje cijevi iznosi 160 mm.

Ugrađeno je glavnih materijala:

- osnovnih elemenata: 330 m²
- ogrjevnih cijevi $\varnothing 16 \times 2 \text{ mm}$: 1800 m
- razdjelnih ormarića s kompletnom opremom
- razna oprema i armatura toplinske podstanice sa svom projektiranom opremom i automatikom.

Tijek montaže

Najprije je izvedena ugradnja i opremanje razdjelnih ormarića usijecanjem u sjeverni zid crkve. Prije montaže izolacijskih podnih ploča na granične rubove toplog poda prema zidovima je ugrađena specijalna rubna izolacijska

traka debljine oko 7 mm i visine 15 cm koja osigurava 5 mm prostora za dilatiranje podne konstrukcije. Rubna traka se postavila neprekidno oko svih obuhvatnih zidova i ugradnji (vrata, stupovi i sl). Zatim je na standardno pripremljenu betonsku podlogu čija je površina izvedena prema DIN 18 202, 'Mjerne tolerancije u visokogradnji' i temeljito očišćena, postavljena vodonepropusna barijera u skladu s DIN 18 195. Zbog sigurnosnih je razloga kao podloga elementima dodatno položena PE folija debljine 0,2 mm. Na foliju su ugrađene osnovne kombinirane ploče od pjenastog poliestirola (toplinska i zvučna izolacija) koje ispunjavaju zahtjeve prema DIN 18 164-1, 'Izolacijski materijali za toplinsku izolaciju'. S gornje strane ploče imaju izvedene držače cijevi (čepove) koji osiguravaju održavanje projektiranog razmaka cijevi te fiksne visine ogrjevnih cijevi (sa svrhom potpunog zalijevanja cijevi cementnim estrihom). Utori po rubu cijevi omogućavaju brzo i sigurno spajanje čime se sprječava nastajanje toplinskih i zvučnih mostova, dok raster na donjoj strani omogućava brzo i pravocrtno krojenje ploča prema potrebi. Sistemske ploče su se položile preko cijele površine, a spojevi ploča se izveli bez križanja s predviđenim dilatacijskim fugama.

Nakon spajanja cijevi na razdjelnik provedeno je polaganje ogrjevnih cijevi (16 × 2 mm prema rasteru polaganja na izolacijskoj ploči s minimalnim radijusom savijanja 5*d* u skladu s DIN 4726. Cijevi su izrađene od umreženog polietilena i difuzijski su nepropusne za kisik iz zraka. Posebno je bilo potrebno paziti na prolaz cijevi kroz dilatacijske fuge. Polaganje cijevnog registra kroz fuge nije dopušteno, dok se priključne cijevi ogrjevnog kruga, koje neizbježno moraju prolaziti kroz dilataciju, moraju voditi u zaštitnoj cijevi kako bi se omogućilo slobodno dilatiranje. Priključci ogrjevnih cijevi na razdjelnike su napravljeni kroz zaštitne dovodne lukove i na taj su način cijevi bez napetosti izvedene iz estriha.

Pri tome je bitno napomenuti da pravilno projektiranje i izvođenje instalacije podnog grijanja zahtijeva pridržavanje dugogodišnjih iskustvenih parametara u pogledu veličine dilatacijskog polja do 16 m², veličine dilatacijskog polja do 40 m² (jedna stranica $l_{\text{max}} = 8 \text{ m}$) te minimalne širine dilatacijske reške 5 mm (il. 4). Pri tome dilatacijska reška mora ići od osnovne izolacijske ploče do vrha podne obloge.

Zatim se pristupilo montaži dilatacijskih fuga koje služe formiranju trajnoelastičnih fuga kod grijanih cementnih podloga i ograničavanju polja cementnih podloga. Pri montaži fuga je bilo potrebno probiti potrebne otvore za priključne ogrjevne cijevi koje nužno moraju prolaziti kroz zaštitnu cijev.

Nakon polaganja dilatacijskih fuga cijevni razvod se odzračio, stavio pod tlak radnog medija (smjese vode i antifriz) od 10 bar i nakon 2 h ponovno digao na 10 bar (uklanjanje mogućnosti pada tlaka zbog širenja cijevi). Nakon toga je slijedilo 24-satno ispitivanje instalacije pod tlakom zbog dva razloga. Prvi je svakako provjera kvalitete montiranih spojeva, armature i opreme, a drugi je praktične naravi - da pri zalijevanju cijevi cementnim estrihom ne bi došlo do eventualnog udublivanja i smanjivanja njihovog



Ilustracija 4
Raspored dilatacijskih polja s položenim cijevnim registrima

hidrauličkog presjeka te da bi se eventualna propusna mjesta odmah mogla uočiti.

Zalijevanje dilatacijskih polja cementnim estrihom ukupne visine 65 mm uz dodatak dopunskog sredstva estriha je obavljeno naizmjenično poput šahovske ploče da se omogući podupiranje dilatacijskog profila s nezalivene strane (il. 5). Ipak, današnje tehnologije postavljanja dilatacijskih fuga s profilnim ispunama između podupirajućih cijevnih čepova omogućavaju normalno zalijevanje dilatacijskih polja, jedno za drugim. Dodatna komponenta estriha ima funkciju olakšavanja ugradnje i poboljšanja svojstava cementne podloge, homogenizaciju njezine strukture, poboljšanje elastičnosti i otpornosti na tlak te termotehničkih svojstava. U cementni estrih je na zahtjev statičara u dva sloja postavljena armaturna mreža (iznad ogrjevnih cijevi i ispod završne obloge).

21 dan nakon zalijevanja cementnog estriha započelo se sa zagrijavanjem cementne podloge (zahtjev prema DIN 4725-4) na maksimalnu projektnu temperaturu koja je zadržavana četiri dana bez snižavanja noćne temperature. Također su napravljene i probe s variranim temperaturama u intervalu 5 - 10 K, koje su kao i glavna proba prošle bez utvrđenih nedostataka i smetnji.

Nakon završetka tih ispitivanja moglo se pristupiti postavljanju završne podne obloge od kamena prema zahtjevu konzervatora. 24 h prije polaganja završne kamene obloge grijanje je smanjeno na temperaturu površine poda 15 °C te je ona zadržana 28 d nakon postavljanja kamene obloge (sve sa svrhom postizanja pogodnih uvjeta za dozrijevanje vezivne mase).

Norme i propisi uz spomenutu problematiku

Pri projektiranju i izvođenju niskotemperaturnih podnog grijanja valja obratiti pozornost na sljedeće norme:

- HRN EN 12 832 (iz 2004. godine), 'Sustavi grijanja u građevinama - Postupak proračuna normiranoga toplinskog opterećenja' (EN 12 831 : 2003)
- HRN.C.T3.071, 'Opća načela osiguranja kvalitete završnih radova'

- HRN.T3.035, 'Postupci kontrole kvalitete zavarenih spojeva'
- HRN.U.J5.600 (iz 1987. godine), 'Tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada'
- HRN.U.J5.600/1 (iz 1989. godine), 'Tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada'
- HRN.E6.201, 'Sigurnosnotehnička oprema postrojenja za grijanje toplom vodom s temperaturom razvodne vode do 110 °C'
- HRN.M.E.012, 'Centralno grijanje i ispitivanje sustava'
- DIN 18 380 - VOB - C, 'Postrojenja za grijanje i postrojenja za zagrijavanje vode'
- DIN 4108, 'Toplinska izolacija u visokogradnji'
- DIN 4109, 'Zvučna izolacija u visokogradnji'
- DIN 18 560, 'Cementna podloga u građevinarstvu'
- DIN 18 165, 'Vlaknasti izolacijski materijali u građevinarstvu'
- DIN 18 164, 'Pjenasti sintetički izolacijski materijali u građevinarstvu'
- DIN 18 202, 'Mjerne tolerancije pri izgradnji'.

Iskustva 12-godišnjeg rada sustava podnog grijanja Crkve uzvišenja sv. Križa

Nakon punih 12 godina rada spomenutog sustava podnog grijanja može se zaključiti:

- da je instalacija bila redovito korištena kroz sve sezone grijanja
- da nije bilo kvarova ni ispada iz redovitog pogona
- da je podno grijanje potvrdilo visoki stupanj pouzdanosti, učinkovitosti i udobnosti primjene
- da cijena pogona uz zadane radne uvjete nije prelazila očekivane okvire i kretala se u okviru rasta cijena distributera prema načelu obračuna na osnovi paušala.

Izmjenama zakonske regulative (donošenjem tzv. Paketa energetskih zakona kojim je toplinski sustav ispaao iz sustava komunalnih usluga), prošla je godina dočekanu s ugrađenim mjeracom utroška topline pa je moguća dodatna i učinkovita kontrola potrošnje.



Ilustracija 5

Zalijevanje dilatacijskih polja cementnim estrihom

Zaključak

Razmatrajući sve relevantne činjenice i uvjete, uzimajući u obzir mjesne prilike, ekonomičnost grijanja i uvažavajući iskustva s drugih sličnih objekata, izabrano podno grijanje Crkve uzvišenja sv. Križa u praksi je potvrdilo sve teorijske postavke s kojima se krenulo u izradu projektne dokumentacije. I to je zasigurno značajan razlog zbog kojeg se investitori sve češće odlučuju na uvođenje podnog grijanja kao grijanja s najviše prednosti i udobnosti, iako je početno

ulaganje do 25% veće u odnosu na druge konkurentne vrste grijanja.

S obzirom na to da tehnološki napredak iz dana u dan donosi nove, strožije tehničko-tehnološke, ekonomske i, posebno, ekološke norme, valja se nadati da će se uz svekoliku stručnu javnost i država pobrinuti da poreznim olakšicama pri gradnji ekološki prihvatljivijih sustava doprinese značajnijem povećanju broja takvih instalacija kao što je to uobičajeno u razvijenim zemljama.

