

**Avtor:**  
**dr. Nikola Holeček**

## **Optimiranje aeroakustičnih lastnosti kondenzatorjev sušilnika perila**

*Poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta*

**Dr. Nikola Holeček je vodja  
 Raziskovalne skupine 1446  
 – 001: Raziskovalna enota  
 Gorenje, d.d.**

**Raziskovalna enota Gorenje  
 je prispevala 62 procentov  
 raziskovalnih ur in v Gorenje je  
 prispelo v ta namen vsako leto  
 okoli 39.000 EUR, oziroma v času  
 trajanja celotnega projekta skupaj  
 117.000 EUR**

**Raziskovalna naloga je bila  
 usmerjena v študijo prenosnih  
 pojavov in študijo akustične  
 emisije na spremenjeni zasnovi  
 kondenzatorja**

**Tehnična rešitev je bila  
 patentirana in omogoča Gorenju  
 prednost pred konkurenčnimi  
 podjetji na trgu sušilnih stojev**

Leta 2004 so Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport na eni strani in Gorenje, d.d. ter Fakulteta za strojništvo v Ljubljani na drugi strani podpisali pogodbo o sofinanciranju projekta Optimiranje aeroakustičnih lastnosti kondenzatorjev sušilnika perila. Projekt je bil uvrščen na nacionalno listo temeljnih in aplikativnih projektov pod številko L2-6591-0782-05, s skupno 1889 odobrenimi letnimi urami in 402 urami brez plače, v cenovnem razredu C, za obdobje 36 mesecev. Projekt je trajal od 1. 7. 2004 do 1. 7. 2007.

Raziskovalna enota Gorenje je prispevala 62 % raziskovalnih ur in v Gorenje je prispelo v ta namen vsako leto okoli 39.000 EUR, oziroma v času trajanja celotnega projekta skupaj 117.000 EUR. Ob prijavi smo se obvezali, da Gorenje financira 26 % celotne vrednosti projekta, oziroma 21.870 EUR letno. To pomeni, da so vse aktivnosti projekta v Gorenju bile plačane z strani Ministrstva v neto višini 51.390 EUR v treh letih.

Raziskave so bile usmerjene v analizo prenosnih pojavov v toplotnih izmenjevalnikih. Cilj projekta je bil razvoj novega kondenzatorja gospodinjskega sušilnega stroja. Izhodišče razvoja je predstavljal nabor na trgu dosegljivih kondenzatorjev, za katere je značilno, da so v kovinski izvedbi z deterministično - periodično zasnovano strukturo površine sekundarnega pretočnega trakta. Vpliv urejene geometrijske strukture se zazna na aerodinamskem hrupu, ki ima poudarjena frekvenčna področja, kar moteče vpliva na subjektivno percepcijo hrupa celotnega stroja.

Zaradi tega problema se je raziskovalna naloga usmerila v študijo prenosnih pojavov in študijo akustične emisije na spremenjeni zasnovi kondenzatorja. Z uvajanjem novih materialov, kot so vlaknaste strukture in porozni penasti materiali, so bili doseženi značilni rezultati, z manj izrazito akustično emisijo ob sočasnem doseganju funkcionalnih prenosnih karakteristik kondenzatorja.

Oblikovala se je tehnična rešitev, ki predstavlja osnovo za nov tehnološki proces izdelave kondenzatorjev in širše toplotnih izmenjevalnikov. Glede na to, da je predvidena izdelava z novimi materiali, kot je keramika ali kovinska pena, se odpirajo v slovenskem prostoru nove možnosti za proizvodnjo takih materialov in proizvodnjo nove generacije toplotnih izmenjevalcev. Tehnična rešitev je bila patentirana in omogoča Gorenju prednost pred konkurenčnimi podjetji na trgu sušilnih stojev.

V dosedanjem delu so bile izvedene vse aktivnosti, ki so bile predvidene v časovnem planu projekta:

- Izvedene so bile meritve aeroakustičnih lastnosti obstoječih kondenzatorjev na mikro in makro krajevni skali. Za ta namen sta bili izdelani v Gorenju in na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani eksperimentalni postaji.
- Pri razvoju prve generacije kondenzatorskega sušilnika perila je bilo v fazi testiranja stroja uporabljenih več tipov kondenzatorjev različnih proizvajalcev. Meritve energetskih in akustičnih lastnosti stroja so pokazale, da se rezultati razlikujejo glede na tip vgrajenega kondenzatorja. Razlike v ravni hrupa v sklopu sušilnega stroja so znašale do 3 dB(A). Za določanje karakterističnih spremenljivk, ki so za te razlike odgovorne, so bile opravljene aeroakustične meritve na vstopnih in izstopnih kanalih kondenzatorja. Meritve so zajemale časovno-prostorske fluktuacije hitrosti in zvočnega tlaka, zvočno moč in zvočno jakost. Meritve hitrostnega polja so bile izvedene z HW in LDA metodo, za meritev zvočnega tlaka pa so bili uporabljeni mikrofoni z

V prvem delu raziskovalne naloge so bile raziskave usmerjene predvsem v analizo različnih kondenzatorjev in vgradnjo le-teh pri sušilnih strojih

Na osnovi spoznanj, ki so temeljile na Lighthillovi teoriji, je bila oblikovana nova tehnična rešitev kondenzatorja - rešitev je bila patentirana

visokim dinamičnim obsegom. Raziskani so bile medsebojne odvisnosti med hitrostnimi fluktuacijami in fluktuacijami zvočne moči. Dobljeni rezultati eksperimentalne analize navajajo na medsebojne povezanosti hitrostnega in zvočnega polja. To je omogočalo konstruiranje novega tipa kondenzatorja.

- Na podlagi ugotovitev raziskovalnega dela je bila oblikovana tehnična rešitev novega kondenzatorja s porozno strukturo sekundarnega pretočnega trakta, ki zagotavlja homogeno turbulentno polje in efektiven transport toplotnega toka iz primarne na sekundarno stran kondenzatorja.
- V kolikor so prisotni nehomogeni robni pogoji hitrostnega polja na vstopu v sekundarni del kondenzatorja, predložena rešitev omogoča s spremembo lokalne gostote porozne strukture enostavno korekcijo lokalnih lastnosti kondenzatorja. Z uvedbo take rešitve se doseže v sekundarnem pretočnem polju kondenzatorja prerazporeditev volumnskega toka hladilnega zraka in lokalno homogenizacijo prestopa toplote.

V prvem delu raziskovalne naloge so bile raziskave usmerjene predvsem v analizo različnih kondenzatorjev sušilnih strojev. Posebna pozornost so bile raziskane vgradnje posameznih kondenzatorjev v sušilni stroj. Pri tem so bile izvedene študije robnih pogojev kot so hitrostna in temperaturna polja na vstopu v primarni in sekundarni del kondenzatorja. S posebnim poudarkom so bili raziskani vplivi nehomogenih robnih pogojev na integralne karakteristike sušilnih strojev. Potrjena je bila hipoteza o potrebnem spreminjanju pretočnega trakta sušilnega stroja za doseganje optimalnih funkcionalnih karakteristik stroja. V tej raziskovalni fazi je bil optimiran pretočni trakt sekundarnega in primarnega pretočnega trakta sušilnega stroja. Za potrebe merjenja integralnih karakteristik kondenzatorjev je bila razvita in izdelana eksperimentalna postaja, tako da je omogočena analiza poljubnih kondenzatorjev.

Poleg tega je bila izvedena študija aeroakustičnih lastnosti vgrajenih kondenzatorjev, kjer so bile raziskane strukturne frekvence, ki so bile povezane s periodično zasnovano geometrijsko strukturo sekundarnega pretočnega trakta. Potrjen je bil tudi značilen doprinos tega efekta na nivo hrupa sušilnega stroja. Za dani sušilni stroj je bil v zaključni fazi izbran kondenzator.

Na osnovi spoznanj, ki so temeljile na Lighthillovi teoriji o povezanosti turbulentnih lastnosti zračnega toka in emitirane zvočne moči, je bila oblikovana nova tehnična rešitev kondenzatorja s porozno vlaknasto strukturo. Rešitev je bila patentirana. **V zaključnem delu raziskav pa se je skozi raziskovalno delo oblikovala še nova tehnološka rešitev s porozno keramično strukturo, ki je s tehnološkega stališča bolj perspektivna in za katero ocenjujemo, da bi lahko bila na trgu konkurenčna ter se aplicirala na različna tehnična področja.**

Raziskovalno delo je bilo zaključeno z izvedbo prototipne izvedbe kondenzatorja, kar je bil tudi cilj projekta. Predvideni so nadaljni koraki v smeri razvoja proizvodne tehnologije. V Gorenju d.d. se je v sklopu projekta okrepilo razvojno delo na področju analize in modeliranja hrupa. V raziskovalni skupini Gorenje je bilo v sklopu projekta dokončano doktorsko delo s področja modeliranja aerodinamskega hrupa. Na osnovi dela na projektu in pomena problematike hrupa gospodinskih strojev je Gorenje d.d. pristopilo k oblikovanju skupine za računalniško modeliranje hrupa.

Na podlagi rezultatov tega projekta je Gorenje d.d. organiziralo delovno skupino za razvoj keramičnih kondenzatorjev s porozno anizotropno strukturo, v kateri sodelujejo Gorenje, Institut Jožef Stefan, ETI Izlake, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani in Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru.