

IZPOSTAVLJENA TEMATIKA

»DALT« V LUČI DOKAZOVANJA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI STAVB

Avtor: Mitja LENASSI, univ.dipl.inž.str.

Uvod

Prezračevalni sistemi so praviloma sestavljeni iz klimatskih naprav, kanalskih mrež in priključnih enot (regulatorjev pretoka, ventilatorskih konvektorjev, difuzorjev ...). Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji (Ur. l. RS, št. 42/02 in 105/02) v 22. členu od izvajalca prezračevalnega¹ sistema izrecno zahteva, da med drugim dokaže tudi »njegovo zračno tesnost«, Pravilnik o dokazilu o zanesljivosti objekta (Ur. l. RS, št. 55/08)² prav tako izrecno zahteva, da se vsa dokazila vpišejo v tabelarično kazalo in vložijo v mapo s prilogami³. Za pooblaščenega inženirja strojne stroke v kateri koli vlogi pri graditvi objektov je pomembno, da dobro pozna pravila stroke, povezana s tesnostjo prezračevalnih sistemov, še posebno danes, ko so izpostavljene zahteve glede energetske učinkovitosti stavb in se bodo kmalu tudi pri nas pojavile že prve energetske izkaznice⁴. Inženir je že ali pa še bo pri tem vsekakor naletel na »DALT« (»Duct Air Leakage Test«) oziroma v slovenskem prevodu na »Preizkus tesnosti zračnih kanalov«.

Klimatske naprave

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji v 21. členu zahteva za klimatske naprave, da so zgrajene skladno s standardom SIST EN 1886, ta pa med drugimi tehničnimi lastnostmi opredeljuje tudi razrede zračne tesnosti ohišja naprav. Zato zanje glede dokazovanja tesnosti ni oziroma ne bi smelo biti nobenih težav. Izdan certifikat za klimatsko napravo se skladno s Pravilnikom o dokazilu o zanesljivosti objekta (Ur. l. RS, št. 55/08) preprosto vloži v mapo s prilogami, njegova številka pa vpiše v tabelarično kazalo dokazil pod IV. Strojno inštalacijska dela.



Razredi tesnosti ohišij klimatskih naprav se v izvirniku standarda imenujejo razredi puščanja (»Air Leakage Classes«). Razredi so trije, L1, L2 in L3. Svojo osnovo za razvrstitev imajo v razredih tesnosti (puščanja) zračnih kanalov, A, B in C v standardu SIST EN 12237 za okrogle in v SIST EN 1507 za pravokotne pločevinaste kanale. Razred tesnosti ohišja L1 odgovarja razredu tesnosti kanalov C, razred L2 razredu B in razred L3 razredu A. Ohišja naprav se preizkušajo na podtlaku pri 400 Pa in nadtlaku pri 700 Pa, razredi tesnosti in največja dovoljena puščanja pa so prikazani v tabeli 1.

Vežano na energetske učinkovitosti je treba opozoriti, da Tehnična smernica TSG-01-004: 2010 Učinkovita raba energije v zadnjem odstavku poglavja 6.3 za klimatske naprave zahteva, da so njihova ohišja razreda A (dejanska oznaka po SIST EN 1886 je L3), pri higiensko zahtevnih sistemih pa razreda B (dejanska oznaka L2).

Razred tesnosti	Največje dovoljeno puščanje pri podtlaku 400 Pa (f_{400}) (l/(s*m ²))	Razred zračnega filtra (EN 779)
L3 (A)	1,32	G1 do G7
L2 (B)	0,44	F8 do F9
L1 (C)	0,15	>F9

Razred tesnosti	Največje dovoljeno puščanje pri nadtlaku 700 Pa (f_{700}) (l/(s*m ²))
L3 (A)	1,90
L2 (B)	0,63
L1 (C)	0,22

Tabela 1: Razredi tesnosti ohišij klimatskih naprav.

¹ Upoštevač 1. člen pravilnika »prezračevanje« pomeni »prezračevanje in klimatizacijo stavb«, torej se dokazovanje tesnosti zračnih kanalov izvaja za prezračevalne in klimatizacijske sisteme.

² Pred tem pravilnikom je bil v veljavi Pravilnik o obliki in vsebini dokazila o zanesljivosti objekta (Ur. l. RS, št. 91/03) iz leta 2003.

³ Kakšen zaključek izhaja iz zapisanega? Brez dvoma najmanj ta, da so dokazila o zanesljivosti objekta vse polna dokazov o tesnosti prezračevalnih sistemov vseh tistih stavb, ki so v zadnjem desetletju pridobile uporabna dovoljenja. Pa je temu tako? Odgovor na vprašanje poznajo predvsem odgovorni vodje del, odgovorni nadzorniki in strokovnjaki, imenovani v komisije tehničnih pregledov.

⁴ Tesnost prezračevalnih sistemov seveda ni povezana zgolj z energetske učinkovitostjo stavb, ampak tudi s kakovostjo zraka v prostorih, kar je še posebej pomembno pri določenih vrstah stavb in dejavnostih (farmaceutvska industrija, bolnišnice, kuhinje ...).

Zračne kanalske mreže

Tehnična smernica TSG-01-004: 2010 Učinkovita raba energije v predzadnjem odstavku poglavja 6.3 zahteva zračno tesnost kanalov s tlačno razliko do 150 Pa, ki potekajo znotraj toplotnega ovoja stavb, najmanj razreda A, za kanale zunaj toplotnega ovoja in s tlačno razliko večjo do 150 Pa pa najmanj razreda B. Navedeno je tudi, da se zračna tesnost C uporablja za sisteme s posebno povišano tlačno razliko ali kadar zračna netesnost pomeni tveganje za zdravje ljudi. Kot že obrazloženo pri poglavju klimatskih naprav so razredi A, B in C (za posebne primere tudi D) opredeljeni v standardu SIST EN 12237 za okrogle in SIST EN 1507 za pravokotne pločevinaste kanale. Opredeljeni so s faktorjem tesnosti »f«, v izvorniku imenovanem »Air Leakage Factor«, ki predstavlja razmerje količine puščanja zraka na enoto površine zračnega kanala. Razredi tesnosti pravokotnih zračnih kanalov in omejitve statičnega tlaka glede na tlačne razrede so prikazani v tabeli 2, razredi tesnosti okroglih zračnih kanalov in omejitve statičnega tlaka pa v tabeli 3.

puščanja kanalskih mrež v odstotkih. To je ob upoštevanju kriterija stroški/učinkovitost pri običajnih sistemih omejeno na 5 % in pri visokotlačnih ter sistemih, vodenih na prostem, na 2 %. Slednje pomeni, da je treba ustrezni tlačni razred prednostno izračunati, ne pa kar povzeti iz tehnične smernice, saj bistven delež v enačbi predstavlja dejanska površina zračnih kanalskih razvodov. Velja opozoriti, da klimatska naprava praviloma že izgublja okoli 1 % pretočne količine. Računski primer z obrazložitvijo zapisanega je predstavljen v okvirju št. 1.

Vežano na projektiranje velja spomniti še na eno bistveno pravilo stroke, ki ga predstavlja zapis v »ASHRAE Handbook: Fundamentals« in se preprosto glasi: »Use round and oval prefabricated duct wherever possible to reduce both leakage and friction losses«.⁶

»DALT«

Kot obrazloženo v uvodu »DALT« predstavlja uveljavljeno okrajšavo za »Duct Air Leakage Test«

Razred tesnosti	f_{\max} (l/(s*m ²))	Omejitev statičnega tlaka p_s (Pa)			
		Negativen	Pozitiven pri tlačnem razredu		
			1	2	3
A	$0,027 \times p^{0,65}$	200	400		
B	$0,009 \times p^{0,65}$	500	400	1000	2000
C	$0,003 \times p^{0,65}$	750	400	1000	2000
D*	$0,001 \times p^{0,65}$	750	400	1000	2000

*razred D je predviden za posebne primere

Tabela 2: Razredi tesnosti in omejitve statičnega tlaka pravokotnih zračnih kanalov po SIST EN 1507

Razred tesnosti	f_{\max} (l/(s*m ²))	Omejitev statičnega tlaka p_s (Pa)	
		Negativen	Pozitiven
A	$0,027 \times p^{0,65}$	500	500
B	$0,009 \times p^{0,65}$	750	1000
C	$0,003 \times p^{0,65}$	750	2000
D*	$0,001 \times p^{0,65}$	750	2000

*razred D je predviden za posebne primere

Tabela 3: Razredi tesnosti in omejitve statičnega tlaka okroglih zračnih kanalov po SIST EN 12237.

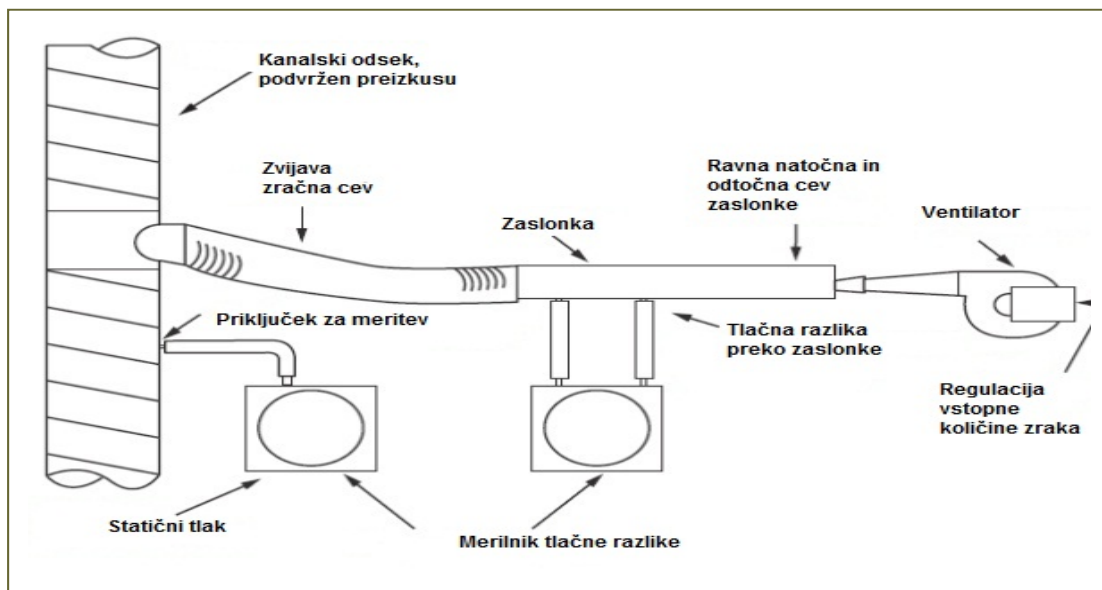
Glede tesnosti je tako naloga projektanta, da določi ustrezen razred tesnosti zračnih kanalov glede na potrebe in to na risbah tudi jasno označi. Pri tem velja opozoriti, da ni pravilno slepo se držati zapisanega v Tehnični smernici⁵, ampak je treba izhajati pri določitvi tesnosti v odvisnosti od priporočenega največjega

oziroma v slovenskem prevodu za »Preizkus tesnosti zračnih kanalov«. Za izvedbo preizkusa je potrebna naslednja oprema, predstavljena shematično tudi na sliki 1:

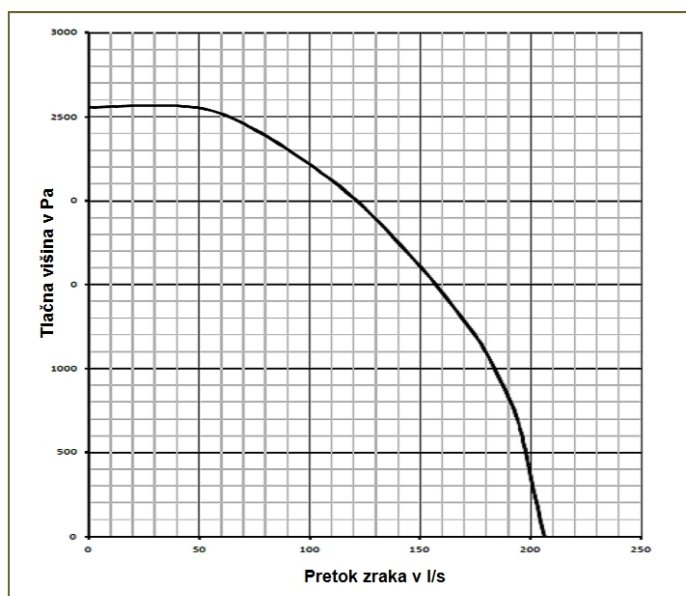
- ventilator z regulacijo območja pretočna količina / tlak zraka (prednostno s frekvenčnim pretvornikom – primer delovnega območja takšnega ventilatorja je prikazan na sliki 2),
- merilnik pretoka zraka (ustreza že umerjena zaslonka z natočno cevjo),
- dva merilnika tlačne razlike (na zaslonki in na kanalski mreži),
- zvijava zračna cev za priključitev kanalskega odseka,
- opsijsko: generator dima za ugotavljanje mest puščanja.

⁵ Tehnična smernica TSG-1-001: 2010 očitno izhaja iz standarda EN 13779: 2004, kjer je v informativnem dodatku »A« glede priporočenih razredov tesnosti kanalov napisano vsebinsko enako, pri tem pa standard izhaja iz priporočenega največjega puščanja celotnega sistema v višini 6 % pretočne vrednosti ventilatorja. Izdaja istega standarda iz leta 2007 pa ta odstotek znižuje zgolj na 2 % in zato predpisuje povsod najmanj uporabo zračnih kanalov tesnostnega razreda B.

⁶ V prevodu: »Uporabi okrogle in ovalne predizdelane kanale, kjer je to mogoče, v namen zmanjšanja puščanja in izgub zaradi trenja.«



Slika 1:
Shema izvedbe DALT.



Slika 2:
Delovno območje primernega ventilatorja za izvajanje »DALT«.

Izvajalec sistema prezračevanja pripravi postavljeni del kanalske mreže v odsekih, ki odgovarjajo delovnemu območju ventilatorja, kot to izhaja iz predpisanega preizkusnega tlaka in razreda tesnosti. Za ventilator z delovnim območjem iz slike 2 izhaja, da je za primer preizkusnega nadtlača 500 Pa in razreda tesnosti B ($f_{\max} = 0,009 \times p^{0,65}$) lahko največja preizkusna površina odseka zračnih kanalov, kot to izhaja iz njegove pretočne sposobnosti, pri tem tlaku $\rightarrow V = 190$ l/s. Izračun največje površine odseka je predstavljen tu: $f_{\max} = 0,009 \times p^{0,65} = 0,009 \times 500^{0,65} = 0,511$ l/(s*m²) $\rightarrow A_{\text{ods}} = f_{\max} \times V = 0,511 \times 190 = 97$ m².

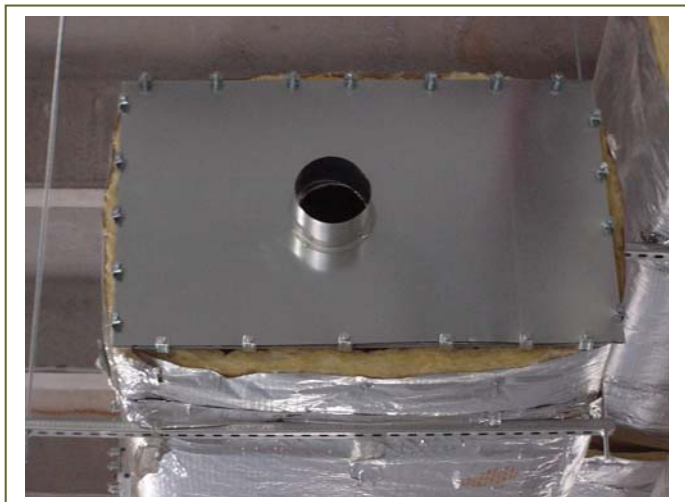
Torej mora izvajalec pripraviti kanalske odseke, ki ne prekoračujejo izračunane zunanje površine. Za glavni razvodni kanal velikosti na primer 1000 x 650 mm to pomeni okvirno razdaljo največ 29 m.

Nadalje je pomembno, da izvajalec pripravi kanalske odseke ustrezno zaslepljene, izolacija zračnih kanalov pa pri preizkusu ne sme biti položena tudi preko spojev. Pravilno pripravljen kanalski odsek za preizkus prikazuje slika 3.

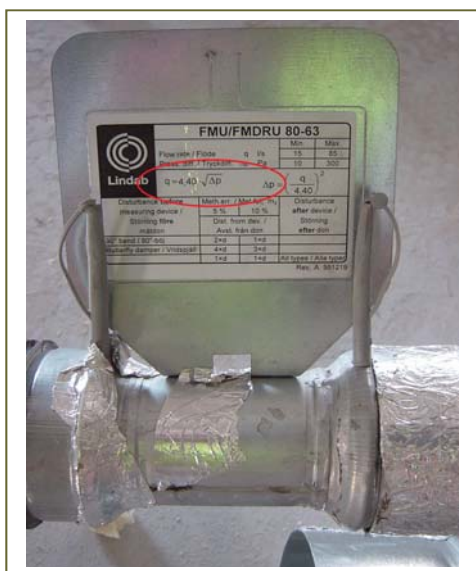


Slika 3:
Pravilno pripravljen odsek zračnih kanalov za izvedbo »DALT«.

Tako pripravljen kanalski odsek izvajalec preizkušanja priključi preko zvižave zračne cevi in merilne zaslonke s podano karakteristiko in z ustreznima natočno in odtočno razdaljo na ventilator. Prikluček za zvižavo cev na kanalskem odseku je prikazan na sliki 4, merilna zaslonka s podano karakteristiko pa na sliki 5. Slika 6 prikazuje merilno progo z ventilatorjem in zvižavo cevjo. Prikluček za meritev statičnega tlaka v mreži naj bo vsaj 1 m oddaljen od priključka zvižave cevi.



Slika 4:
Priključek za zračno zvijavo cev.



Slika 5:
Primer merilne zaslonke s podano karakteristiko.



Slika 6:
Primer merilne proge z ventilatorjem in zvijavo zračno cevjo.

Meritev tesnosti, upoštevajoč priročnik SMACNA⁷, se izvaja prednostno z nadtlakom ne glede na to, ali so zračni kanali namenjeni za priključitev na tlačno ali podtlačno stran ventilatorske enote. Slednje izhaja iz praktične ugotovitve, da puščanje skozi vzdolžne in prečne spoje ni bistveno drugačno, nadtlak pa ob uporabi dima omogoča tudi lažje odkrivanje netesnosti.

Ob zagonu ventilatorja je treba pretočno količino zraka povečevati postopoma, da ne bi prišlo do poškodovanja zračnih kanalov zaradi previsokega statičnega tlaka, po vzpostavitvi ravnovesja v kanalski mreži v trajanju najmanj treh minut pa odčitati merjene vrednosti. Pri tem izmerjena pretočna količina zraka preko zaslonke predstavlja dejansko puščanje pri odčitnem nadtlaku. Če se pokaže v izjemnih primerih za potrebno, se lahko izvede meritve tudi z dvema vzporedno postavljenima merilnima progama.

Priporočljivo je, da izvajalec opravi že sam predpreizkus in se najprej sam prepriča v ustrezno izvedbo kanalske mreže.

V uradnem poročilu o preizkusu »DALT« izvajalec preizkušanj, nastavitvev in uravnovešanj⁸ izpiše najmanj naslednje:

- datum poteka preizkusa,
- ime in fazo projekta,
- opis preizkušanih odsekov kanalske mreže, njihovo umestitev, način tesnjenja in razred tesnosti,
- načrtovan in dejanski preizkusni tlak,
- načrtovano dopustno puščanje in dejansko puščanje,
- izračun največjega dopustnega puščanja kanalskega odseka,
- rezultat preizkusa: »ustrezno«/»neustrezno«,
- podatke o uporabljeni zaslonki: proizvajalec, serijska številka/oznaka, velikost, karakteristika in datum umerjanja,
- izmerjeno tlačno razliko in izračunan pretok,
- ime izvajalca in ostalih prisotnih pri preizkusu.

⁷ SMACNA priročnik se v izvorniku imenuje »HVAC Air Duct Leakage Manual«, v njegovi drugi izdaji (2012) je v dodatku F predstavljeno tudi preizkušanje tehničnih podov na tesnost.

⁸ V angleškem izvorniku se ta izvajalec imenuje »Testing, Adjusting & Balancing Agency« oziroma skrajšano »TAB Agency«. Za razliko od prakse pri nas, kjer meritve na področju prezračevanja in klimatizacije izvaja kdor koli, ki ima to dejavnost zgolj registrirano, je »TAB agencija« drugje praviloma za to usposobljena in vsakoletno preverjena!

- določiti dele prezračevalnega sistema⁹, ki morajo biti podvrženi preizkusu tesnosti,
- določiti metodo preizkušanja,
- predpisati tlak preizkušanja, ki ne prekoračuje izbranih tlačnih razredov kanalske mreže,
- predpisati dopustni odstotek puščanja prezračevalnega sistema.

Izvajalec mora:

- pripraviti kanalsko mrežo za preizkus,
- medsebojno ločiti kanalske odseke na način, da sposobnost naprave za preizkušanje ne bo presežena,
- pripraviti priključke za preizkuševalno napravo,
- izvesti popravke tesnosti kanalske mreže, kjer se to izkaže za potrebno.

Izvajalec preizkušanj, nastavitvev in uravnovešanj mora:

- izvesti preizkus in zabeležiti dobljene rezultate,
- pripraviti poročilo o poteku preizkusa.

Zaključek

Ni mogoče dovolj poudariti, da se preizkušanje tesnosti zračnih kanalov (»DALT«) začne že pri samem projektiranju. Ne samo da z jasno opredelitvijo preizkusnih kriterijev in označbami tlačnih stopenj v risbah projektant oskrbi izvajalca del s potrebnimi navodili glede izvedbe ustreznega tesnjenja in spajanja zračnih kanalov, ampak s tem določi v delu sistemov prezračevanja in klimatizacije tudi določeno stopnjo energetske učinkovitosti stavbe in posledično njen vpliv na okolico preko emisije CO₂. Primer tozadevnega vrednotenja je prikazan v okvirju št. 2.

Prav tako pa izvedba »DALT« pravočasno odkrije morebitne napake izvedbe in z njihovo odpravo praviloma izniči dodatne stroške in/ali zamude ob predaji del¹⁰. Če se vsi sodelujoči zavedajo svojih vlog ter medsebojno aktivno sodelujejo in sledijo usklajenemu poteku izvedbe, se lahko morebitni glavobol spremeni v nekaj, kar zniža obratovalne stroške lastniku stavbe, zadosti zahtevam projektanta in ohranja projekt energetske učinkovit ter »zelen«.

Primer 1: Izračuna potrebnega razreda tesnosti kanalske mreže

Delež puščanja se izračuna po enačbi:

$$V_{\text{del,puš}} = [(f \cdot dp^{0,65}) / V_{\text{vent,naz}}] \cdot 100,$$

pri čemer je:

$V_{\text{del,puš}}$ delež puščanja glede na pretočno vrednost ventilatorja v %

f faktor tesnosti v l/s na Pa^{0,65}

dp tlačna razlika sistema v Pa

$V_{\text{vent,naz}}$ pretočna vrednost ventilatorja na enoto površine kanalov v l/(s·m²)

Računski primer 1:

pretočna količina zraka sistema $V_z = 18.000 \text{ m}^3/\text{h} = 5000 \text{ l/s}$

površina zračnih kanalov $A = 350 \text{ m}^2$

pretočna vrednost ventilatorja (V_z/A) $V_{\text{vent,naz}} = 14,29 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$

tlačna razlika sistema $dp = 150 \text{ Pa}$

faktor tesnosti (izbran po TSG → A) $f = 0,027 \text{ l/(s} \cdot \text{Pa}^{0,65})$

izračunan delež puščanja $V_{\text{vent,naz}} = 4,91 \% < 5 \%$

Računski primer 2:

pretočna količina zraka sistema $V_z = 18.000 \text{ m}^3/\text{h} = 5000 \text{ l/s}$

površina zračnih kanalov $A = 380 \text{ m}^2$

pretočna vrednost ventilatorja (V_z/A) $V_{\text{vent,naz}} = 13,16 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$

tlačna razlika sistema $dp = 150 \text{ Pa}$

faktor tesnosti (izbran po TSG → A) $f = 0,027 \text{ l/(s} \cdot \text{Pa}^{0,65})$

izračunan delež puščanja $V_{\text{vent,naz}} = 5,33 \% > 5 \%$

⁹ Ne glede na posplošeno zahtevo pravilnika glede dokazovanja tesnosti sistema dejansko ni smiselno izvajati preizkusov tesnosti za posamezne kanalske priključke običajnih končnih distributivnih elementov (difuzorjev in rešetk), katerih statični tlak znaša na primer do ±20 Pa.

¹⁰ Seveda zgolj v primeru, če se napake zaradi netesnosti kanalske mreže sploh opazijo – smiselna povezava z opombo št. 3.

Primer 2: Energetsko, stroškovno in emisijsko vrednotenje netesnosti kanalske mreže

Energetsko vrednotenje puščanja zračnih kanalov:

$$E_{el}/a = P_{el} * (t_{obr}/a)$$

Stroškovno vrednotenje puščanja zračnih kanalov:

$$\epsilon_{el}/a = P_{el} * (t_{obr}/a) * C_{el},$$

pri čemer je:

E_{el}/a	poraba električne energije v letu dni (kWh/a)
ϵ_{el}/a	strošek električne energije v letu dni (€/a)
P_{el}	raba električne energije motorja ventilatorja (kW)
T_{obr}	obratovalne ure v letu dni (h/a)
C_{el}	cena električne energije (€/kWh)



Privzete predpostavke:

pretočna količina zraka sistema	$V_z = 18.000 \text{ m}^3/\text{h}$
padec tlaka prezračevalnega sistema	$dp_{tot} = 1000 \text{ Pa}$
skupni izkoristek ventilatorja in motorja	$\eta = 0,75$
raba električne energije motorja	$P_{el} = 10,0 \text{ kW}$
obratovalne ure ventilatorja	$T_{obr} = 7000 \text{ h/a (80 \% časa)}$
cena električne energije	$C_{el} = 0,07 \text{ €/kWh}$

Padci tlaka se ob povečanem pretoku spreminjajo po karakteristiki prezračevalnega sistema oziroma po enačbi: $C_k = dp/V_z^2 \rightarrow dp = C_k * V_z^2$

Odstotek puščanja (%)	Pretok zraka (m^3/h)	Padec tlaka sistema (Pa)	Raba električne energije (kW)	Poraba električne energije (kWh/a)	Stroški električne energije (€/a)	Povečani stroški energije (€/a)	Povečani stroški energije (%)
0	18.000	1000	6,67	46.690	3268	0	0
2	18.360	1040	7,07	49.490	3464	196	6,0
5	18.900	1103	7,72	54.040	3783	515	15,8
10	19.800	1210	8,87	62.090	4346	1078	33,0
15	20.700	1323	10,14	70.980	4969	1701	52,1

Predstavljeno povečanje porabljene energije pa se neposredno odraža tudi na emisiji CO₂. Za primer 10 % puščanja zraka se raba energije motorja ventilatorja poveča za 33,0 %, torej se za enak odstotek poveča tudi emisija CO₂. Po tabeli 2 dodatka 1 TSG-1-004: 2010 znaša specifična emisija CO₂ za električno energijo 0,53 kg/kWh, kar pomeni, da znaša njegova emisija brez puščanja 24,75 tCO₂/a, pri puščanju 10 % pa 32,91 t CO₂/a (33,0 % več).

