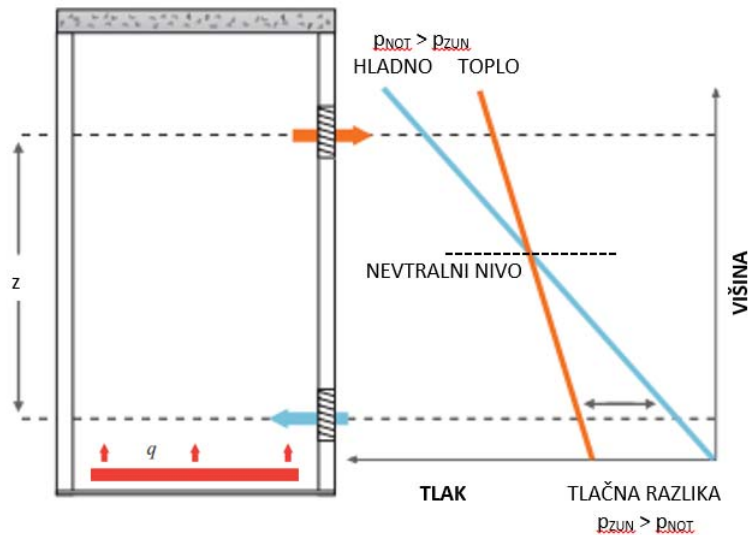


ZA UVOD IN V POMOČ RAZUMEVANJU PODANIH IZRAČUNOV

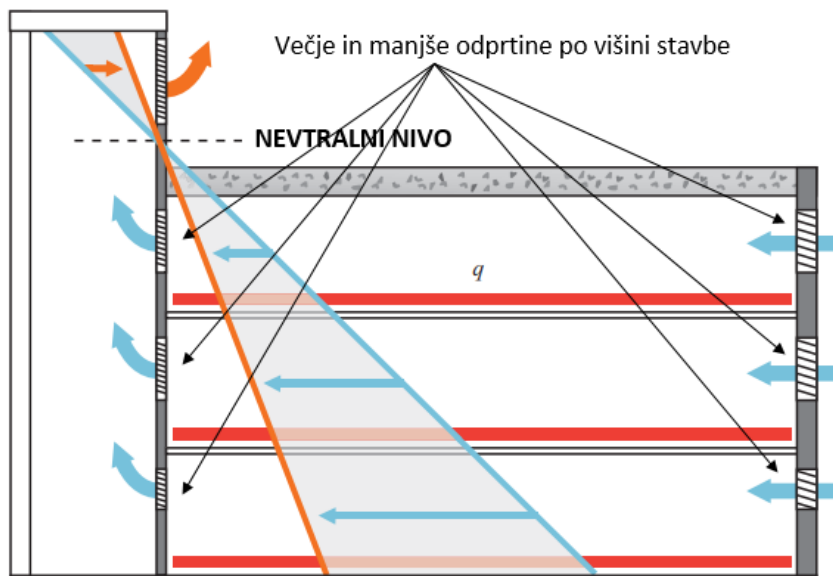
Pri izračunih upoštevajte osnovno zakonitost, da naravno prezračevanja poganja tlačna razlika - vzgon, predstavljena na sliki spodaj.



Neutrlni nivo je na sredini višine »z« v primeru, da sta odprtini za dovod in odvod enako veliki, in se pomika navzgor/navzdol z njunim spreminjanjem. Vezano na izračunano dovodno in odvodno odprtino (A) v korakih 3 in 4, zanju velja naslednja medsebojna zakonitost:

$$(1/A)^2 = \frac{1}{2} * [(1/A_{Dov})^2 + (1/A_{Odv})^2]$$

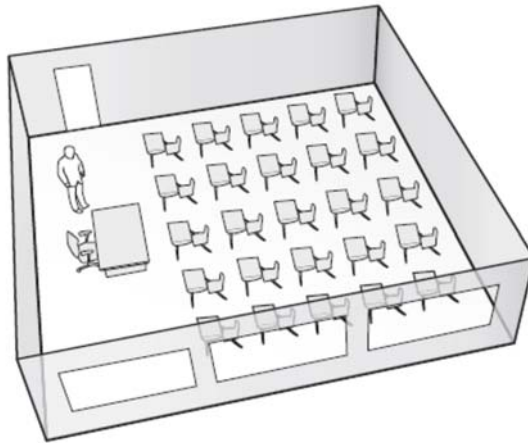
V primerih, da ima stavba več nivojev, se je potrebno nevtralnemu nivoju še posebej posvetiti. Nivo med odprtinami za dovod in odvod zraka je potrebno zagotoviti z določanjem njihove različne velikosti! Ob upoštevanju gornje enačbe glede velikosti površin.



Opomba: Občasen vpliv vetra pri izračunih ni upoštevan!

NAČRTOVANJE NARAVNEGA PREZRAČEVANJA NA PRIMERU ŠOLSKE UČILNICE

Predstavljajte si učilnico s 25 dijaki in enim učiteljem, 3 računalniki z LCD zasloni in fluorescenčno razsvetljavo T8. Učilnica je široka/globoka 8 m, dolga 9 m in ima višino stropa 3 m (slika spodaj). Zunanja stena je ena sama, obrnjena na SZ, in ima 10 m² okenskih površin ter zunanosti izpostavljen strop/streho. Učilnica je zasedena od 7.00 do 17.00 ure. Odprtine za naravno prezračevanje so umeščene s sredino 30 cm nad tlemi in 30 cm pod stropom.



Povzeto so vhodni računski podatki naslednji:

- Povprečna občutena obremenitev s strani oseb je 75 W.
- 10 W/m² s strani razsvetljave.
- 90 W na računalnik z LCD zaslonom.
- Toplotne izgube zunanjega ovoja znašajo 25 W/K, v prehodnem obdobju toplotni dobitki nič.
- Predvideno je senčenje oken, ki omejuje največjo obremenitev sončnega sevanja na 20 W/m² (talne površine).
- Specifična toplota in gostota zraka sta $c_p = 1,007$ kJ/kgK in $\rho = 1,2$ kg/m³.

1. V prvem koraku po SIST EN 15251 določimo potrebno količino zunanjega zraka za prezračevanje, ki je odvisno od števila oseb in površine poda:

$$V_{zr} = R_p * P_z + R_a * A_z = 5 \text{ l/s (osebo)} * 26 \text{ oseb} + 0,6 \text{ l/s m}^2 * 8 \text{ m} * 9 \text{ m} = \mathbf{173,2 \text{ l/s}}$$

2. V naslednjem koraku izračunamo potrebno količino zunanjega zraka za izničenje notranjih toplotnih obremenitev v prehodnem času pri dovoljenem ogretju notranjega zraka za 5 K, za kar glejte tabelo:

Osebe	26 * 75 W	1950 W
Računalniki	3 * 90 W	270 W
Razsvetljava	10 W/m ² * 72 m ²	720 W
Sončno sevanje	20 W * 72 m ²	1440 W
Skupaj:		4380 W

$$Q = V_{zr} * \rho * c_p * dt \rightarrow V_{zr} = Q / (\rho * c_p * dt) = 4380 \text{ W} / (1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kg} * 5 \text{ K}) = \mathbf{724,9 \text{ l/s}}$$

Opomba: Za preprečitev dviga temperature prostora za več kot 5 K, je potrebno količino zunanjega zraka glede na potrebno za prezračevanje povečati za 4,2-krat (724,9/173,2).

3. V tretjem koraku izračunamo potrebno prsto velikost stalne odprtine (dovodne in odvodne!) za zagotavljanje dviga temperature ne več kot 5 K v prehodnem obdobju:

$$V_{zr} = A * [g * h * dt / (t_z + 273)]^{1/2} \rightarrow A = V_{zr} / [g * h * dt / (t_z + 273)]^{1/2} = 724,9 \text{ l/s} * (\text{m}^3 / 1000 \text{ l}) * [9,81 \text{ m/s}^2 * (3 \text{ m} - 0,3 \text{ m} - 0,3 \text{ m}) * 5 \text{ K} / (25+273 \text{ K})]^{-1/2} = \mathbf{1,15 \text{ m}^2}$$

4. Zgolj za primer, da srednico spodnje odprtine dvignemo neposredno pod okna, to je s predhodnih 30 na 90 cm, potem znaša potrebna velikost stalne odprtine (dovodne in odvodne) za zagotavljanje dviga temperature ne več kot 5 K v prehodnem obdobju:

$$V_{zr} = A * [g * h * dt / (t_z + 273)]^{1/2} \rightarrow A = V_{zr} / [g * h * dt / (t_z + 273)]^{1/2} = 724,9 \text{ l/s} * (\text{m}^3 / 1000 \text{ l}) * [9,81 \text{ m/s}^2 * (3 \text{ m} - 0,3 \text{ m} - 0,9 \text{ m}) * 5 \text{ K} / (25+273 \text{ K})]^{-1/2} = \mathbf{1,33 \text{ m}^2}$$

5. Sedaj se osredotočimo na obremenitve prostora pozimi, zato pri predpostavljeni zunanji temperaturi za 15 K nižji od notranje najprej izračunamo temperaturo toplotnega ravnotežja za ohranjanje notranje temperature 22 °C (pri tem privzamemo v prvem koraku izračunano najmanjšo potrebno količino zraka za prezračevanje):

Osebe	26 * 75 W	1950 W
Računalniki	3 * 90 W	270 W
Razsvetljava	10 W/m ² * 72 m ²	720 W
Sončno sevanje	0 W * 72 m ²	0 W
Izgube ovoja	-25 W/K * 15 K	-375 W
Skupaj:		2565 W

$$Q = V_{zr} * \rho * c_p * dt \rightarrow dt = t_{pr} - t_{zu} = Q / (\rho * c_p * V_{zr}) \rightarrow t_{zu} = t_{pr} - Q / (\rho * c_p * V_{zr}) = 22 \text{ °C} - [(2565 \text{ W} / (1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * 173,2 \text{ l/s})] = \mathbf{9,7 \text{ °C}}$$

6. Ker zrak z v predhodnem koraku izračunano temperaturo (9,7 °C) ne moremo/smemo dovajati v učilnico brez določenega ogretja, v tem koraku izračunamo potrebno toploto za njegovo ogretje na 16 °C, ki predstavlja po pravilih stroke najnižjo sprejemljivo vtočno temperaturo zraka (pri tleh):

$$Q = V_{zr} * \rho * c_p * dt = 173,2 \text{ l/s} / 1000 \text{ l/m}^3 * [1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * (16 \text{ °C} - 9,7 \text{ °C})] = \mathbf{1319 \text{ W}}$$

7. Ob izračunanih toplotnih dobitkih učilnice v 5. koraku (2565 W) in vtočnem zunanjem zraku s temperaturo 16 °C ter količino 173,2 l/s, v tem koraku izračunamo končno temperaturo prostora:

$$t_{pr} = t_{vt} + Q / (\rho * c_p * V_{zr}) = 16 \text{ °C} + [(2565 \text{ W} / (1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * 173,2 \text{ l/s})] = 16 + 12,3 \text{ °C} = \mathbf{28,3 \text{ °C}}$$

8. Ker je v prejšnjem koraku izračunana končna temperatura zraka v prostoru previsoka, je potrebno povečati zunanjo količino, da ta ne preseže (recimo) še sprejemljive najvišje vrednosti 24,5 °C. V tem koraku izračunamo potrebno količina zunanjega zraka za nepreseganje temperature 24,5 °C po enačbi:

$$Q = V_{zr} * \rho * c_p * dt \rightarrow V_{zr} = Q / (\rho * c_p * dt) = 2565 \text{ W} / [1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * (24,5 - 16) \text{ K}] = 0,2497 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{249,7 \text{ l/s}}$$

9. Sedaj (zgolj v namen preverjanja energijske učinkovitosti naravnega prezračevanja) izračunamo povečano potrebo za ogretje zvišane količine zunanjega zraka, potrebne za ohranjanje ustrezne notranje temperature:

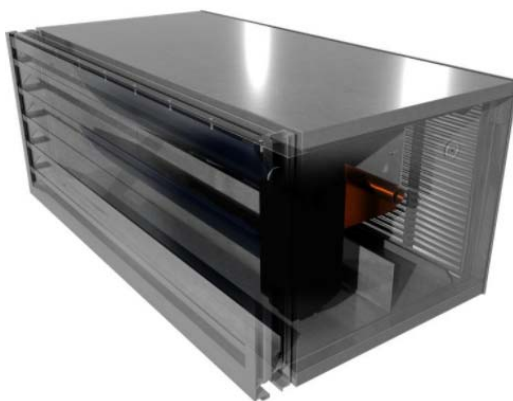
$$Q = dV_{zr} * \rho * c_p * dt = (249,7 \text{ l/s} - 173,2 \text{ l/s}) * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * (16 \text{ °C} - 8,6 \text{ °C}) = \mathbf{684,1 \text{ W}}$$

10. Kot izhaja iz izračunov v korakih 6 do 9, je potrebno na odprtine zunanjega zraka namestiti naprave za ogretje zraka. Te imajo vgrajene toplotne menjalnice - grelnike (sicer brez zračnih filtrov!), ki povzročajo padec tlaka, zato znaša njihov koeficient pretočnosti C_d v povprečju okoli 0,2 (tudi manj). Pomeni, izračunano velikost odprtine v koraku 3 (ali 4) je potrebno povečati po enačbi:

$$A_{dej} = A/C_d = 1,15 \text{ m}^2 / 0,2 = \mathbf{5,75 \text{ m}^2}$$

11. Posamezna naprava vtočnega zraka z grelnikom in žaluzijami, predstavljena na sliki na naslednji strani, katere zunanja velikost znaša okoli 1,6 m x 0,6 m x 0,6 m, ima dejansko vtočno površino $A_{dej} = 0,96 \text{ m}^2$ (1,6 m * 0,6 m). Pomeni, za predmetno učilnico moramo izbrati naslednje število takšnih naprav (pod okni):

$$N = 5,75 \text{ m}^2 / 0,96 \text{ m}^2 = 5,99 = \mathbf{6}$$



12. V zgornjem delu učilnice je potrebno zagotoviti odprtine s prosto površino, kot ta izhaja iz koraka 3 oziroma 4. Pomeni, za izračunano potrebno odprtino s prostim presekom $1,33 \text{ m}^2$ s srednico $0,3 \text{ m}$ pod stropom, lahko izberemo 3 odprtine po $0,44 \text{ m}^2$. Na primer velikosti $3 \times 1,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$. Da se ne bo prenašal zvok iz hodnika ali zunanosti v učilnico, bodo te opremljene z dušilniki zvoka.



Iz prikazanih izračunov izhajajo naslednji zaključki:

- Z naravnim prezračevanjem je za primer učilnice praviloma mogoče doseči predpisano kakovost zraka, saj je ta zaradi toplotnih obremenitev prostora in posledično potrebne povečane količine zunanjega zraka za njihove izničenje celo boljša od primera z mehanskim prezračevanjem. Pomeni, upoštevajoč PURES, sedaj tudi GZ, ne smemo projektirati (uporabljati) hibridnega in mehanskega prezračevanja¹.
- Priključna moč ogrevanja bo posledično (za nekajkrat) višja od moči potrebne pri mehanskem prezračevanju, saj mora mehansko biti opremljeno z napravo za zajemanje toplote zavrženega zraka. Od 1. januarja 2018 s toplotnim izkoristkom najmanj 73%.²
- Letno porabljen energija za ogrevanje bo precej višja za primer naravnega prezračevanja od primera z mehanskim prezračevanjem. Seveda pa v primeru naravnega prezračevanja ne bo nikakršne porabe električne energije za pogon ventilatorjev. Vendar, ali nikakršna raba električne energije izniči povečano rabo ogrevalne energije? Odgovor najdete na naslednjih straneh.

¹ Odstop od zapisanega zaključka predstavlja primer, kjer je okoliški zunanji zrak močno onesnažen in potrebuje precejšnjo stopnjo obdelave. Obdelave s fizičnimi in kemijskimi filtri. Kar je pričakovano lahko primer v določenih mestnih središčih, sicer ne. S tem v zvezi glej tudi opombi 5 in 6.

² <http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/aktualno/aktualno-letno-2015/Clanek-Naj-te-ne-povozi-evropska-direktiva-27-10-15.pdf>

ENERGIJSKA UČINKOVITOST NARAVNEGA PREZRAČEVANJA IN CILJ GRADNJE sNES

Računske predpostavke in rezultati vmesnih izračunov:

- Mehansko prezračevanje deluje vedno z v 1. koraku izračunano količino zunanega zraka **173,2 l/s**, saj z vtokom zraka od izpod stropa z mešanjem lahko uporabimo nižjo temperaturo, naravno prezračevanje privzeto na polovici med to količino in pa izračunano v 8. koraku $\rightarrow (249,7 \text{ l/s} + 173,2 \text{ l/s}) / 2 = \mathbf{211,5 \text{ l/s}}$.
- Potrebna električna energija za pogon motorjev ventilatorjev mehanskega prezračevanja je izračunana kot posledica pretočne količine (173,2 l/s), potrebnega tlaka za premagovanje uporov sistema v skupni višini 600 Pa in celotnega izkoristka v višini 65 % $\rightarrow P_{el} = 173,2 \text{ l/s} * (\text{m}^3 / 1000 \text{ l}) * 600 \text{ Pa} / 0,65 = \mathbf{160 \text{ W}}$
- Zunanje povprečne temperature po mesecih so privzete za Ljubljano za GK koordinati X = 102500 in Y = 462500, pri čemer te znašajo (brez obeh poletnih mesecev, ko so šolske počitnice)

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Sept	Okt	Nov	Dec
-1 °C	1 °C	6 °C	10 °C	15 °C	18 °C	15 °C	10 °C	4 °C	1 °C

- Prezračevanje deluje vedno 10 ur dnevno, 21 dni v mesecu, skupaj **210 ur** mesečno, zunanji zrak potrebuje v povprečju ogretje na **18,5 °C**, kar predstavlja razliko temperatur:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Sept	Okt	Nov	Dec
dt	19,5 K	17,5 K	12,5 K	8,5 K	3,5 K	0,5 K	3,5 K	8,5 K	14,5 K	17,5 K

- Potrebna toplota za ogretje zraka v primeru naravnega in mehanskega prezračevanja znaša – po enačbi: $Q = V_z * \rho * c_p * dt * (1-\eta)$ oziroma za:

Primer naravnega prezračevanja: $Q = 211,5 \text{ l/s} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * dt * (1 - 0)$

Primer mehanskega prezračevanja: $Q = 173,2 \text{ l/s} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,007 \text{ kJ/kgK} * dt * (1 - 0,73)$

Q (kW)	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Sept	Okt	Nov	Dec
NAR	4,98	4,47	3,19	2,17	0,89	0,13	0,89	2,17	3,71	4,47
MEH	1,10	0,99	0,71	0,48	0,20	0,03	0,20	0,48	0,82	0,99

- Poraba toplote za ogrevanje znaša (210 ur obratovanja mesečno) po mesecih in skupno:

Q(kWh)	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Sept	Okt	Nov	Dec	Σ
NAR	1046	939	670	456	187	27	187	456	779	939	5686
MEH	231	208	149	101	42	6	42	101	172	208	1260

- Poraba električne energije za pogon ventilatorjev (160 W) znaša po mesecih (210 ur obratovanja mesečno) in skupno:

P(kWh)	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Sept	Okt	Nov	Dec	Σ
MEH	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	336

- Povzeto po tabeli 3 dodatka Tehnične smernice TSG-1-004: 2010 znašajo primarni faktor za električno energijo $f_{P,EL} = \mathbf{2,5}$, za daljinsko ogrevanje s kogeneracijo $f_{P,DG} = \mathbf{1,0}$ in za ostala fosilna goriva (olje, plin premog) $f_{P,DG} = \mathbf{1,1}$. Pomeni za izračune upoštevanje enačbe: $E_P = E * f_P$.

Rezultati izračunane energijske in stroškovne učinkovitosti:

- Poraba toplote pri **naravnem prezračevanju** znaša $Q = 5686 \text{ kWh}$, kar pri pretvorbi v primarno energijo pomeni njeno letno porabo: 1. pri daljinskem ogrevanju s kogeneracijo $E_{P,Q} = \mathbf{5686 \text{ kWh}}$; 2. pri ostalih gorivih $E_{P,Q} = \mathbf{6255 \text{ kWh}}$. Obe številki povprečimo na $E_P = \mathbf{5971 \text{ kWh}}$. Pri uporabni površini poda učilnice $A_U = 72 \text{ m}^2$, znaša specifična letna poraba primarne energije za (zakonsko prednostno) naravno prezračevanje $Q_P/A_U = \mathbf{82,9 \text{ kWh/m}^2}$. Površino poda učilnic podvojimo z namenom zajetja še hodnikov in podobno, kar pomeni, da je specifična poraba primarne energije razpolovljena – **41,5 kWh/m²**.
- Poraba toplote pri **mehanskem prezračevanju** znaša $Q = 1260 \text{ kWh}$, kar pri pretvorbi v primarno energijo pomeni letno porabo primarne energije: 1. pri daljinskem ogrevanju s kogeneracijo $E_{P,Q} = \mathbf{1260 \text{ kWh}}$; 2. pri ostalih gorivih $E_{P,Q} = \mathbf{1386 \text{ kWh}}$. Obe številki povprečimo na $E_{P,Q} = \mathbf{1323 \text{ kWh}}$. Pri mehanskem prezračevanju je potrebno dodati še pogonsko energijo ventilatorjev v višini $P = 336 \text{ kWh}$, kar znese po pretvorbi v primarno energijo $E_{P,P} = \mathbf{840 \text{ kWh}}$. Skupna poraba primarne energije pri mehanskem prezračevanju tako znaša seštevek obeh, to je $E_P = \mathbf{2163 \text{ kWh}}$ (1323+840). Pri uporabni površini poda učilnice $A_U = 72 \text{ m}^2$, znaša specifična letna poraba primarne energije za (zakonsko zapostavljeno)

mehansko prezračevanje $Q_p/A_u = 30,0 \text{ kWh/m}^2$. Enako, kot v prejšnji točki to številko razpolovimo – **15,0 kWh/m²**.

- Pri naravnem prezračevanju je izračunana letna poraba primarne energije 2,76-krat višja kot v primeru mehanskega (82,9/30,0 oziroma 41,5/15,0).
- Pri privzetih cenah električne energije $C_{EL} = 0,1 \text{ €/kWh}$ in toplote $C_{TOP} = 0,06 \text{ €/kWh}$, znaša letni strošek naravnega prezračevanja **341,2 €** (5686 kWh * 0,06 €/kWh) in strošek mehanskega prezračevanja **109,2 €** (1260 kWh * 0,06 €/kWh + 336 kWh * 0,1 €/kWh). 3,1-krat več.

Opomba: Z uporabo potrjene programske opreme, delujoče (seveda) po urni metodi (8760 ur/letno), ki upošteva tako toplotno zmogljivost stavbne konstrukcije, kot tudi odzive tehničnih sistemov na spremembe (v tem primeru mehanskega prezračevanja), pa tudi različne druge takšne in drugačne izgube sistemov, so dobljeni rezultati nekoliko drugačni, še vedno pa močno v škodo naravnemu prezračevanju. Ta preprosto sam po sebi ni energijsko učinkovit za uporabo preko celega leta. Zato bi veljalo v GZ glede prezračevanja napisati drugače – obvezno je mehansko prezračevanje, ki pa je v cilju večje celovite (energijske in stroškovne) učinkovitosti (na podlagi izvedene LCCA) v prehodnem obdobju dopolnjeno z naravnim in/ali hibridnim.

Dodatek, vezan na pripravo porabne tople vode (PTV) v šolah:

Tabela 19 tehnične smernice TSG-1-004: 2010 navaja specifično dnevno porabo energije za pripravo PTV v šolah brez prh $q_w = 170 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, pri tem velja vrednost na površino učilnic, in podaja enačbo št. 117³:

$$Q_w = q_w * (d_{w,M} * A_{ref}) / 1000$$

Ob privzeti površini učilnice $A_{ref} = 72 \text{ m}^2$ in 22 obratovalnih dneh v enem mesecu, to je $d_{w,M} = 22$, znaša mesečna poraba energije za PTV:

$$Q_w = 170 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) * (22 \text{ d} * 72 \text{ m}^2) / 1000 = 269,3 \text{ kWh}$$
 oziroma pri 10 mesecih obratovanja 2693 kWh letno.

Specifična letna toplota, potrebna za pripravo TPV, za primer privzema dvojne površine razreda kot celovite šolske stavbe ($2 \times 72 = 144 \text{ m}^2$), znaša $18,7 \text{ kWh/m}^2$ (2693/144). Pomeni, poraba primarne energije za pripravo PTV znaša za primer uporabe daljinskega ogrevanja s kogeneracijo **18,7 kWh/m²** in za primer uporabe plina, olja ali premoga **20,6 kWh/m²**. Iz prikazanega je mogoče zaključiti tudi, da bodo morali biti šolski objekti v cilju doseganja sNES grajeni brez prh, saj znaša zanje vrednost $q_w = 500 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, kar 2,9-krat več. Sicer se bo potrebno povsem odpovedati uporabi svetil ☺. Ali pa bo sedaj postavljeno mejo **55 kWh/m²** potrebno zvišati. Ali »sfrizirati« številke q_w ... Možnosti so številne, vendar bo na koncu števec pokazal pravo resnično porabo.



³ Z že odpravljen napako glede zapisane številke 365 kot delitelja/divizorja!