

Vandens ir ðilumos kiekio matavimo tikslumo tyrimas

Andrius Bonèkus,

Antanas Pediðius

*Lietuvos energetikos institutas,
Ðiluminio árenginio tyrimo ir
bandymo laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas*

Atlikta vandens ir ðilumos kiekio matavimo tikslumo ir ávairio veiksnio átakos analizė. Vertinant vandens tûrø svėrimo metodu, eksperimentiðkai iðtirta vandens tankio ir iðgaravimo átaka visuminei tûrio neapibrėþiai. Iðgaravimo proceso teorinis modelis patvirtintas matavimais. Vertinant ðilumos kieká pagrindinæ átakà, ypaè esant maþiems tiekiamo ir gráptamo vandens temperatûrø skirtumams, pradeda vaidinti temperatûros matavimo tikslumas.

Raktaþodþiai: neapibrėptis, ðilumos ir vandens kiekio matavimas, tankis, garavimas

1. ÁVADAS

Vandens ir ðilumos kiekio matavimai yra labai svarbūs energetinio iðteklio apskaitoje. Ðiam tikslui Lietuvoje naudojama per milijonas ávairio skaitikliø, kurie skirti komerciniam atsiskaitymui, technologinio proceso kontrolei ir kitiems tikslams.

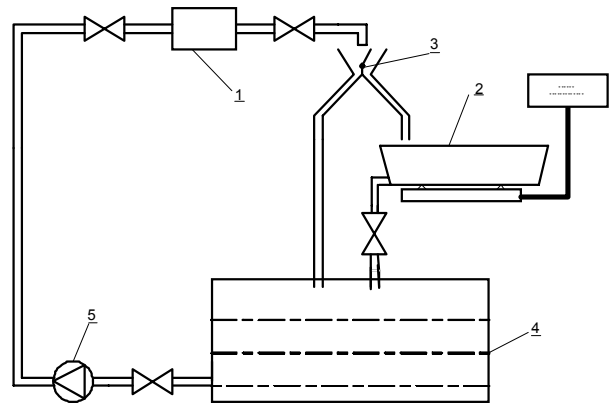
Norint ávertinti skaitiklio matavimo tikslumà, jà reikia kalibruoti, ir jei yra nustatyti tam tikri reikalavimai, būtina ávertinti atitiktà ðiems reikalavimams.

Paprastai vandens skaitiklio kalibravimà galima atlikti lyginant jo rodmenis su nuosekliai árengto kalibravimo árenginio vamzdyne etaloninio skaitiklio rodmenimis. Tokiu atveju esant sandariam vamzdynui per abu skaitiklius prateka tiek pat vandens ir kalibravimo procedûra gana supaprastėja.

Ðio metodo pagrindinis trûkumas – sunkumas parinkti etaloninà skaitiklã, kuris bûtø pakankamai stabilus ilgà laikà. Daþniausiai jà reikia pakartotinai kalibruoti taikant tûrinà arba svėrimo metodà. Todėl etaloniniai skaitikliai paprastai naudojami kaip papildoma etaloninë matavimo priemonė greta árangos, realizuojanèios tûrinà ar svėrimo metodus, kalibravimui ar patikrai paspartinti.

Tûrinis matavimo metodas pagrãstas vandens tûrio matavimu naudojant tûrio etalonà – saikiklã [1]. Techniðkai matavimas realizuojamas árenginyje, kurio schema analogiðka 1 paveiksle parodytai árenginio su svarstyklėmis schemai. Skirtumas yra tik tai, kad vietoje bako ant svarstykliø (2) árengiamas saikiklis arba keli saikikliai, kai norima matuoti didesnėse vandens srauto kitimo ribose.

Ðio metodo trûkumas yra tai, kad saikikliu matuojamas tam tikras ribotas vandens tûris, tenka naudoti kelis skirtingo tûrio saikiklius, matavimo



1 pav. Vandens skaitiklio kalibravimas sveriant pratekėjusà vandená: 1 – kalibruojamasis skaitiklis, 2 – matavimo bakas ant svarstykliø, 3 – tèkmės kreiptuvas, 4 – vandens surinkimo bakas, 5 – siurblys

veiksmai yra sudėtingesni ir juos sunkiau automatizuoti.

Pratekėjusio per kalibruojamàjà skaitiklã (1) vandens svėrimas (1 pav.) yra pats tiksliausias metodas [2], ypaè pradėjus naudoti elektronines svarstykles ir taikyti matavimà nestabdant vandens tèkmės. Tam tikslui árengiamas tèkmės kreiptuvas (3), kuris tekantà vandená nukreipia arba á surinkimo bakà (4), arba matavimui á bakà ant svarstykliø (2).

Þilumos skaitiklio kalibravimas vykdomas papildomai imituojant átekanèio á ðilumos vartotojo sistemà ir iðtekanèio ið jos vandens temperatûras. Daþniausiai temperatûroms imituoti naudojami termostatai, kuriuose palaikomos stabilios temperatûros bei reikiamas jø skirtumas ir á kuriuos talpinami ðilumos skaitiklio temperatûros jutikliai.

Điame straipsnyje nagrinėjami svarbiausieji veiksniai, turintys didžiausią átakà vandens ir ąilumos kiekio matavimo rezultatø neapibrėptims. Detaliau pateikiama vandens tankio ir išgaravimo átakø analizė, kuriai ankstesniuose darbuose [3, 4] buvo skirta mažiau dėmesio.

2. VANDENS IR ĄILUMOS KIEKIO SUMINĖS NEAPIBRĖPTIES SANDØ VERTINIMO REZULTATAI

2.1. Vandens tūrio nustatymas

Taikant svėrimo metodà didžiausią átakà vandens tūrio matavimo neapibrėpėiai turi šio dydžio ávertinimas:

- vandens masė;
- vandens tankio;
- vandens plūdrumo ore;
- kreiptuvo veikimo charakteristikø;
- vandens ištaškymo ir išgaravimo.

Vandens kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V = V_M + V_{kr} + V_i; \quad (1)$$

čia V_M – tūris, apskaičiuotas pagal pratekėjusio vandens masę; V_{kr} – tūrio pataisa dėl tėkmės kreiptuvo netolygaus darbo; V_i – tūrio pataisa dėl ištaškymo.

Pratekėjusio vandens masė randama pagal formulę:

$$M = k \left(1 - \frac{f_2}{\rho_{w2}} \right) m + V_B (f_2 - f_1) + \bar{q} \tau \bar{f}; \quad (2)$$

čia M – pratekėjusio vandens masė; f_1 ir f_2 – absoliutis oro drėgnumas svarstyklė bake matavimo pradžioje ir pabaigoje; m – svarstyklėmis išmatuota masė; V_B – svarstyklė bake tūris; \bar{q} – vidutinis vandens srautas; τ – matavimo laikas; ρ_{w2} – vandens tankis svarstyklė bake; \bar{f} – vidutinė išstumiamo iš svarstyklė bake oro absoliuėioji drėgmė; k – plūdrumo koeficientas.

Plūdrumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k = \frac{1 - \frac{\rho_o}{\rho_s}}{1 - \frac{\rho_o}{\rho_{w2}}}; \quad (3)$$

čia ρ_o – oro tankis; ρ_s – etaloninio svarsėio tankis, 8000 kg/m³.

Tūris randamas masė padalijus iš tankio:

$$V_M = \frac{M}{\rho_V}. \quad (4)$$

Tūrio pataisos dėl tėkmės kreiptuvo netolygaus darbo ir ištaškymo paprastai ávertinamos pagal eksperimentø rezultatus.

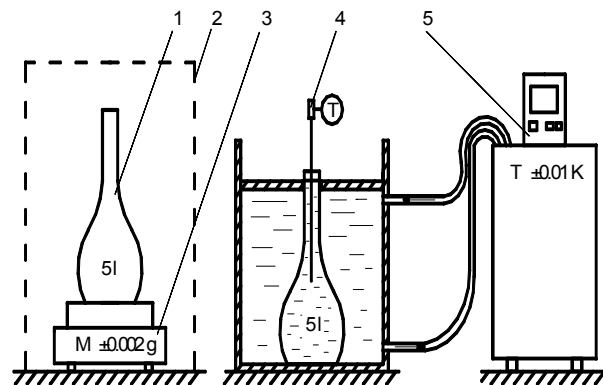
Taėiau dėl tam tikro šio matavimo rezultatø neapibrėptumo tikslinga šio pataisos áverėius prilyginti 0 ir jø átakà ávertinti padidinus matavimø neapibrėptà.

2.1.1. Tankio ávertinimas

Tam tikrø abejoniø, norint tiksliai apskaiėiuoti vandens tūrà visuomet sukelia vandens tankio ávertinimas.

Dapniausiai vandens tankis paimamas iš ávairiø duomenø bazio. Šios duomenø bazės sudarytos pagal tankio matavimus, esant ávairioms temperatūroms ir slėgiams, ir paskui aproksimuojant matavimo rezultatus. Dabar naudojami duomenys iš IAPWS-IF97 duomenø bazio [5]. Plaėiausiai paplitusios yra dar keletas kitø duomenø bazio: IAPWS-95, NBS/NRC-84, IFC-67. Visos šios duomenø bazės sudarytos tam tikram apibrėptos cheminės sudėties ir su ištirpusio oro kiekiu vandeniui. Taėiau realiai naudojamas vanduo yra gana skirtingas. Todėl buvo atlikti tankio matavimai siekiant nustatyti skirtumà tarp tankio verėio, paimtø iš duomenø bazio ir tiesiogiai išmatuotø.

Matavimø schema pavaizduota 2 pav.

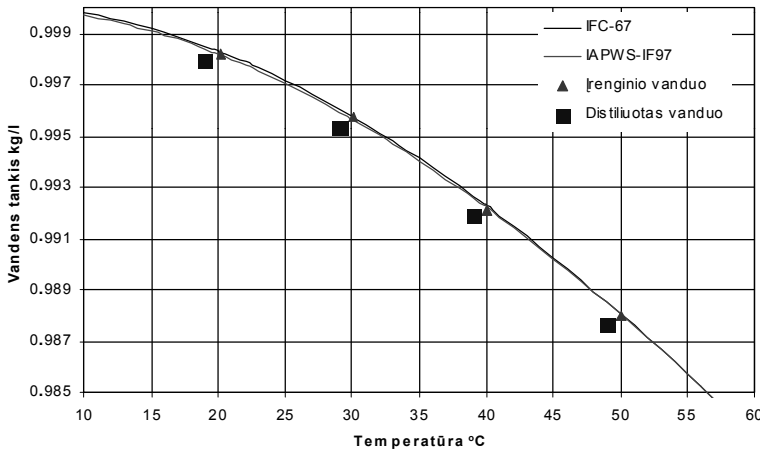


2 pav. Vandens tankio matavimo shcema: 1 – 5 dm³ kolba, 2 – masės komparatoriaus gaubtas, 3 – masės komparatorius, 4 – varšos termometras, 5 – termostatas

Matuota kalibruota etalonine 5 dm³ kolba (1), kurioje reikiama vandens temperatūra nustatoma termostate (5). Kolba buvo sveriamas naudojant masės komparatorio (3). Šiuo metodu buvo pasiekiamas tankio matavimo neapibrėptis, ne didesnė kaip ±0,02%.

Kaip matyti 3 pav., realiai árenginyje naudojamo vandens tankis geriausiai atitinka tankio vertes, kurias teikia IAPWS-IF97 bazės duomenys. Reikia atkreipti dėmesà á tai, kad OIML R75-1 dokumente [6] rekomenduojama naudoti šios bazės duomenis.

Taip pat matyti, kad tankio matavimo metodas yra pakankamai tikslus, nes matomas distiliuoto vandens ir árenginyje naudojamo mechaniškai valyto vandentiekio vandens tankio skirtumas. Tai reiškia, kad



3 pav. Eksperimentiškai išmatuotė ir paimtė iš duomenų bazės vandens tankio palyginimas

etaloniniame įrenginyje vandens tankis turi būti kontroliuojamas tiesioginiais matavimais.

2.1.2. Vandens garavimo įvertinimas

Kadangi kalibravimo įrenginys nėra uždara sistema (1 pav.), vandens išgaravimas, pildant matavimo baką ant svarstyklės, gali turėti įtaką vandens tūrio matavimo tikslumui. Praktinė patirtis rodo, kad esant vandens ir aplinkos temperatūrų skirtumui ne didesniai kaip 5°C garavimo reiškinio įtaka praktiškai nepastebima. Tačiau didinant vandens temperatūrą, garavimas intensyvesnis ir jį tenka vertinti. Matavimo metu tekantis vanduo išstumia orą lauk iš bako bei kartu ir atitinkamą kiekį vandens garo. Darbe [7] siūloma vandens masę svarstyklės bako vertinti pagal formulę:

$$M = k \left(1 - \frac{f_2}{\rho_{w2}} \right) m + V_B (f_2 - f_1) + m_a; \quad (5)$$

čia m_a – iš svarstyklės bako su oru išstumto vandens kiekis; kiti dydžiai tie patys, kaip ir (2) formulėje.

Dydis m_a aprašomas formule:

$$m_a = \int_0^{\tau} f(t) \frac{dV}{dt} dt = \int_0^{\tau} f(t) q dt; \quad (6)$$

čia τ – matavimo laikas; $f(t)$ – iš svarstyklės bako išstumiamo oro absoliutusias drėgnumas atitinkamu laiko momentu; q – tekančio vandens srautas atitinkamu laiko momentu.

Šią formulę galima supaprastinti, priimančias šias prielaidas:

- vandens srautas matavimo metu yra pastovus;
- išstumiamo oro drėgnumas vertinamas vidutine jo verte, suvidurkinta laike.

Tuomet išstumiamo su oru vandens kiekis:

$$m_a = \bar{q} \bar{f}_i; \quad (7)$$

čia τ – matavimo laikas; \bar{q} – vidutinis vandens srautas;

\bar{f}_i – vidutinis išstumto oro absoliutusias drėgnumas.

Siekiant patikrinti šio metodo patikimumą buvo atlikti eksperimentai. Eksperimentinio įrenginio schema parodyta 4 pav.

Eksperimento metu, keičiant vandens temperatūrą nuo 20 iki 50°C ir sustabdant siurblą, periodiškai buvo matuojamas vandens masės pasikeitimas dėl išgaravimo ir palyginamas su skaičiavimais pagal anksčiau aprašytą modelį (5 pav.). Matyti, kad teorinis modelis gana tiksliai aprašo vandens išgaravimą iš svarstyklės bako.

Kitas reiškinys – vandens ištaškymas tėkmės kreiptuvu, stebėtas ir matuotas eksperimento metu, turėjo

daug mažesnę įtaką vandens masės nustatymo rezultatams. Tačiau esant dideliems srautams realiuose įrenginiuose vandens ištaškymas gali turėti apčiuopiamą įtaką ir jį būtina vertinti.

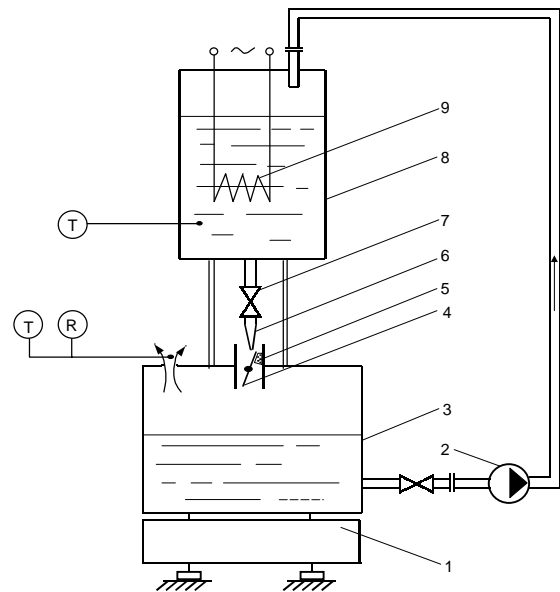
Gauti rezultatai rodo, kad vandens tankio ir jo garavimo įtakos dydžiai gali būti pakankamai tiksliai vertinami ir neturi keisti anksčiau [3, 4] nustatytų neapibrėžimų: tūriui $\pm 0,08\%$ ir srautui $\pm 0,12\%$.

2.2. Šilumos kiekio matavimas

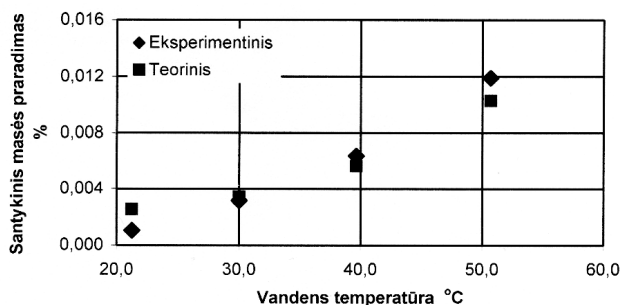
Šilumos kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q = V \rho (t_x, p) [h(t_p, p) - h(t_G, p)]; \quad (8)$$

čia Q – šilumos kiekis; V – pratekėjusio vandens tūris; ρ – vandens tankis; h – vandens entalpija; p –



4 pav. Eksperimentinio įrenginio garavimo įtakai tirti schema. 1 – svarstyklės, 2 – siurblys, 3 – svarstyklės bako, 4 – tėkmės kreiptuvas, 5 – medžiaga, sugerianti išsitaškantį vandenį, 6 – tūta, 7 – srauto reguliavimo vožtuvas, 8 – vandens bako, 9 – kaitinimo elementas



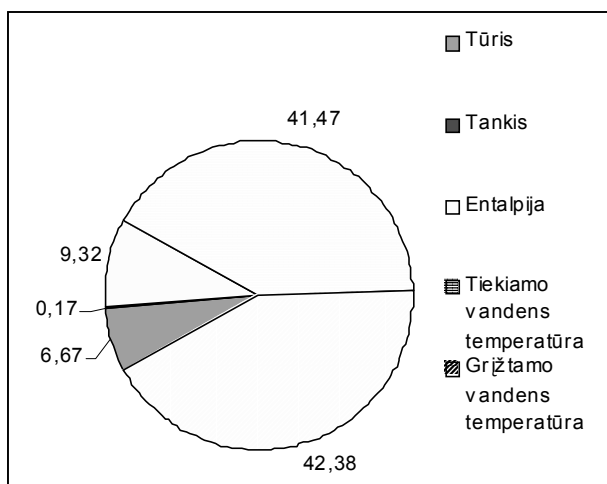
5 pav. Vandens masės praradimas dėl garavimo su išstumiama oru

vandens slėgis; t_p , t_G – tiekiamo ir grąžtančio vandens temperatūros; t_x – tiekiamo arba grąžtančio vandens temperatūra, kuri parenkama atsižvelgiant á ūilumos skaitiklio montavimo padėtá

Veiksniai, kurie turi átaká ūilumos kiekio nustatymo tikslumui, yra áie:

- vandens tūrio matavimas;
- tiekiamo ir grąžtančio vandens temperatūrø matavimas;
- vandens entalpijos ávertinimas;
- vandens tankio nustatymas.

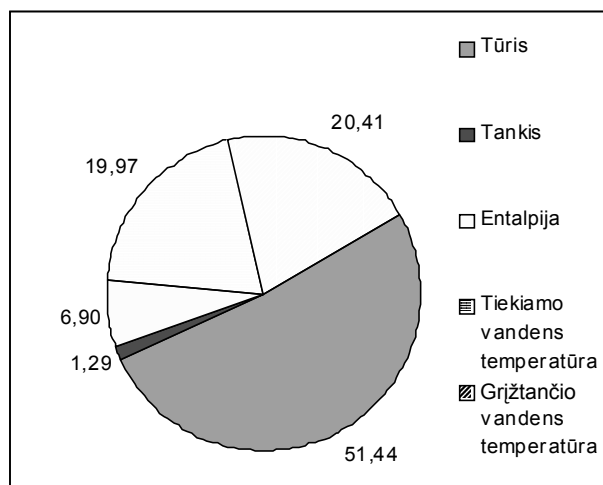
Áiuo veiksnio átaka yra skirtinga priklausomai nuo paëio dydþio verëio. Kai tiekiamo ir grąžtančio vandens temperatūrø skirtumas yra maþas, ūilumos kiekio skaiëiavimo neapibrëptis labiausiai priklauso nuo temperatūros matavimo tikslumo. 6 pav. pavaizduoti ūilumos kiekio skaiëiavimo iðplëstinës neapibrëpties sandø verëio analizës duomenys, esant temperatūrø skirtumui 3°C ir temperatūros matavimo neapibrëþiai $\pm 0,03^\circ\text{C}$. Matyti, kad temperatūros matavimo neapibrëptis sudaro iki 82,85% visuminës neapibrëpties, kuri áiuo atveju yra $\pm 0,96\%$.



6 pav. ūilumos kiekio skaiëiavimo santykinës neapibrëpties sandø dydþiai, esant temperatūrø skirtumui 3°C

Kai temperatūrø skirtumas didelis, pvz., 48°C, o visos kitos sálygos tos paëios, neapibrëpties sandø dydþiai parodyti 7 paveiksle.

Áiuo atveju temperatūrø matavimo neapibrëptis jau sudaro apie 40% visuminës neapibrëpties, o vandens tūrio matavimo neapibrëptis – apie 51,5% visuminës neapibrëpties, kuri áiuo atveju yra $\pm 0,27\%$.



7 pav. ūilumos kiekio skaiëiavimo santykinës neapibrëpties sandø dydþiai, esant temperatūrø skirtumui 48°C

3. IŠVADOS

Atlikus vandens ir ūilumos kiekio matavimo suminës neapibrëpties sandø tyrimá galima padaryti šias išvadas:

- eksperimentiškai nustatyta, kad kalibruojant vandens skaitiklius svërimo metodu, vandens tankis gali bûti vertinamas pagal IAPWS-IF97 duomenø bazes. Etaloniniuose árenginiuose vandens tankis turi bûti matuojamas tiesioginiu bûdu;
- pasirinktas modelis vandens garavimo átakai vertinti patvirtintas eksperimentinio tyrimø rezultatais;
- ūilumos kiekio neapibrëpties dydá, esant maþiems temperatūrø skirtumams, lemia temperatūros matavimo tikslumas, o didëjant temperatūrø skirtumui, didëja vandens tūrio ávertinimo átaka.

Gauta 2005 04 19

Literatūra

1. LST EN ISO 8316 Skysëio tekëjimo uþdaruose kanaluose matavimas. Skysëio surinkimo tūrio matavimo bakø metodas.
2. LST EN ISO 4185:1980, Measurement of flow in closed conduits – weighing method.
3. Skysëio srauto etalonø tyrimas siekiant sukurti etaloninio verëio áaltinius ir atkurti skysëio srauto vienetá. LEI MTD ataskaita B2-12-121-1.3. 2003. P. 100.
4. Final report of the EA inter-laboratory comparison FL 3 water meters. SWEDAC, SP Swedish testing and research institute.
5. The International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS). Release on the IAPWS industrial formulation 1997 for the thermodynamic properties of water and steam.

- 6. OIML R75-1 Heat meters Part1: General requirements.
- 7. Adunka F. Humidity effects of flow measurements with open containers. BEV, Austria/Viena, 2003.

Andrius Bonėkus, Antanas Pedišius

INVESTIGATION OF WATER FLOW-RATE AND HEAT QUANTITY MEASUREMENT ACCURACY

Summary

Water and heat quantity measurement accuracy and various factors that influence the analysis are discussed. By the weighing method there was experimentally explored water density and evaporation influence on the total water quantity uncertainty. The analytical model was confirmed by evaporation process measurements. The main influence on heat quantity measurements has temperature measurements, especially for small differences between forward and return temperatures.

Key words: uncertainty, water flow-rate and heat quantity measurement, density, evaporation

Atidpni Ati-eoni, Aioaian i yaeopni

ENNEAAI AAI EA OI xI I NOE ECI ADAI EB EI EE-xANOAA OAI EI YI ADAEE E AI AU

Daçpìa

Èçó-áí í äëýí eà ðaçèè-í úõ òàèõí ðí à í à òí-í í ñòü èçì àðáí èý èí èè-+añòàà òáí èí ýí àðäèè è í áúáí à òáí èí í í ñèðàèý (áí áú). Í àðäèèäèüí í ñ èçì àðáí eáí í áúáí à òáí èí í í ñèðàèý äáñí áúí í àðí áí í ýèñí àðèì áí òàèüí í èçó-áí í äëýí eà í èí òí í ñèè áí áú è èñí àðáí èý áí àðáí ý èçì àðáí èý. Áí äèèðè-+añèáý í í ääèü èñí àðáí èý í ðè çáí í èí áí èè èçì àðèðàèüí í áí áàèà í í àðáðäèäèáí à ýèñí àðèì áí òàèüí í. Áí èaçáí í, +òí í ðè èçì àðáí èè èí èè-+añòàà òáí eà á ñèó-+áá í äèúõ ðaçí í ñòäé í äæáó òáí í àðáðòðàí è á í í äàpçúáí è áí çáðáòí í í òðóáí í ðí áí äá, í ñí í áí óp ðí èü í ðè áúýäèáí èè í áí í ðááäèáí í í ñèè èäðáàð òí-í í ñòü èçì àðáí èý òáí í àðáðòðú.

Èep-+aaúa ñetáa: í áí í ðááäèáí í í ñòü, èçì àðáí eà èí èè-+añòàà òáí èí ýí àðäèè è í áúáí à òáí èí í í ñèðàèý, í èí òí í ñòü, èñí àðáí eà