

MIT-97/2001.VIII. /2006

SZAKDOLGOZAT

Szalókiné dr. Németh Mariann

2006

Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki Kar
Műszaki Informatika Tanszék

SZAKDOLGOZAT

A fahulladékok energetikai hasznosításának bemutatása
a HALEX 25 típusú aprítékégető berendezésen keresztül

Készítette: Szalókiné dr. Németh Mariann
Témavezető: Maczák András

Pécs

2006

**PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
POLLACK MIHÁLY MŰSZAKI KAR
Műszaki Informatika Tanszék
7624 Pécs, Rókus u. 2.**

Szakedolgozat száma:

MIT-97/2001.VIII./2006.

SZAKDOLGOZAT FELADAT

Szalókiné Dr. Németh Mariann
hallgató részére

A záróvizsgát megelőzően szakedolgozatot kell benyújtania, amelynek témáját és feladatait az alábbiak szerint határozom meg:

Téma:

A fahulladékok energetikai hasznosításának bemutatása a HALEX 25 típusú aprítékégető berendezésen keresztül.

Feladat:

1. HALEX 25 típusú aprítékégető beüzemelése, tesztelése.
2. A szabályozási kör leírása és a szabályozás pontosabbá tétele.
3. Mérésekkel az optimális üzemi paraméterek meghatározása.
4. Megvalósítás elemzése.
5. Továbbfejlesztési lehetőségek számbavétele.

A szakedolgozat készítéséért felelős tanszék:

PTE PMMK MIT

Témavezető: Maczák András
munkahelye: PTE PMMK MIT

Pécs, 2005. október 17.

dr.Szakonyi Lajos
tanszékvezető

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye. A felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Egyéb jelentősebb segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban talált eredményeket a főiskola, a feladatot kiíró intézmény saját céljaira térítés nélkül felhasználhatja.

Pécs, 2006. január. 10.

.....

hallgató aláírása

TARTALOM

1. Bevezetés	1
2. Biomassza energetikai hasznosításának lehetőségei	3
2.1. A keletkező fahulladék	3
2.2. Hulladékhasznosítás	5
3. A fatüzelés technikája	9
3.1. Szilárd tüzelésű berendezések típusai	17
3.1.1. Egyaknás berendezések	17
3.1.2. Kétaknás tüzelőberendezések	17
3.2. A kémények műszaki jellemzői	18
3.3. A kazánokkal szemben támasztott műszaki követelmények	20
3.4. Fafűtéses rendszerek	22
3.4.1. Központi fűtés.	22
3.4.2. Hőtárolásos fafűtés.	22
3.4.3. Automatizált rendszerek.	25
4. A rendszer határai	27
4. 1. Fűtési rendszer	27
4. 1. 1. A fűtési rendszerek szabályozásának lehetőségei	32
4. 2. Irányítástechnikai bevezető	33
4. 3. Szabályozás	34
4. 3. 1. Állásos szabályozások	35
5. Miért a HALEX 25?	40
5. 1. Alternatívák	40
5. 2. Röviden a kiépített fűtésrendszer egyes berendezéseiről	42
5. 3. Hővesztesség?	44
5. 4. A HALEX 25 működése	45
6. Az irányítási feladat megoldása	49
6.1. Égőkosárszint szabályozás	51
6.2. Termosztátos szabályozás	52

6. 3. Biztonsági berendezések	56
6. 3. 1. Visszaéégsgátlás	56
6. 3. 2. Visszajáratás	58
6. 3. 3. Biztonsági lefúvató	59
6. 3. 4. Motorvédő automata	59
7. Kronológia – fűtéstörténet	60
7. 1. Az aprítékégető beüzemelése	60
7. 2. Túl az első módosításokon	67
7. 3. A fűtési rendszer kibővítése	76
7. 4. Újabb tüzelőanyag kipróbálása	85
8. A továbbfejlesztési lehetőségeinek számbavétele	88
8. 1. A szabályozási kör bővítése	88
8. 2. A termosztátos szabályozás kiinduló paraméterei	89
8. 3. A műszaki rendszer bővítése	89
9. Összegzés	91
Irodalomjegyzék	92
Táblázatok, ábrák és képek jegyzéke	94
Mellékletek	I
I. HALEX 25	I
I. 1. HALEX 25 típusú aprítékégető felépítése	II
I. 2. A berendezésen eszközölt változtatások képekben.	IV
II. Az épület energiaviszonyainak elmélete	VIII
II. 1. Nézzük a házfelújítást!	XI
II. 2. Tervezés és megvalósítás	XIII
III. Grafikonok	XV
IV. Galéria	XXI

1. Bevezetés

„Az energiatakarékosság, a környezetgazdálkodás, a hulladék újrafeldolgozása és -felhasználása az aktív környezetvédelem elengedhetetlen eleme. [...] A biomassa energetikai célra történő termesztése és felhasználása egyre inkább az erdőgazdálkodás gazdasági lehetőségévé válik. Felveti az agro-erdészet, illetve az energiatermelő agrárágazat megteremtésének, illetve kibővítésének igényét. [...] A megújuló energiaforrások területén már eddig is születtek eredmények, de az áttörés érdekében egyesíteni kell az erdészeti, mezőgazdasági és ipari kutatási-fejlesztési eredményeket. „ [14]

„A biomassa különböző formáit (fa, fahulladék, kóró, szárított trágya) az ember ősidők óta használja *tüzelésre, fűtésre*. A fatüzelés lassú reneszánsza mellett napjainkban más biomassa eredetű nyersanyagokat is felhasználnak energianyerésre. Keményítő, fahulladék aerob erjesztésével ún. bioetanolhoz, biometanolhoz, növényi olajok kémiai átalakításával (észterésítés) *biodízelhez* lehet jutni. Ezek tisztán vagy benzinhoz, ill. dízelolajhoz keverve belsőégésű motorok meghajtására alkalmasak. Szennyvíziszapból, hígtrágyából anaerob erjesztéssel *biogáz* állítható elő, hő- és áramtermelés céljára. A biomassa eredetű nyersanyagok azonban táplálkozási hasznosításukon kívül *számos más módon* is felhasználhatók. A keményítő és a cellulóz (rost) a *papír és a textilipar*, az alkoholgyártáson át pedig a *vegyipar* fontos alapanyagai, a növényi olajokat nem nélkülözheti a *vegyipar és a kozmetikai ipar* sem. E nyersanyagok élelmiszeripari és más iparági feldolgozása során keletkező *szerves melléktermékek, hulladékok* szintén értéket képviselnek. A mezőgazdaságnak nemcsak arra kell törekednie, hogy energiaszükségletének minél nagyobb hányadát fedezze saját forrásból, hanem arra is, hogy az ipar számára minél több, a kőolaj alapú nyersanyagok helyébe állítható anyagot termeljen, és hogy a működésekor keletkező másodlagos biomasszát és az elsődleges biomassa melléktermékeit *minél nagyobb mennyiségben vigye vissza a biológiai körforgásba* (reciklizálás).” [1]

Számos helyen olvashatunk ilyen, és ehhez hasonló megfogalmazásokat a környezettudatos gondolkodásmód elterjedésével. A HALEX 25 típusú aprítékégető

berendezés szintén ennek a gondolkodásmódnak egy konkrét megvalósulása. Egy ilyen témánál nem tekinthetünk el rész- egész kapcsolatok feltárásától, a rendszer-elem helyének pontos meghatározásától a rendszeren és a renden belül, azaz a rendszer és környezetének tágabb összefüggéseitől sem. Természetesen ezt a dolgot keretei, csak a teljesség igénye nélkül engedik meg.

Röviden először a keletkező fahulladékról, annak különböző eredetéről és felhasználásáról írok, majd elsősorban az energetikai célú felhasználásról. Folytatom a fatűz különlegességével, kezdve az égéssel és befejezve a tüzelőberendezésekkel. A fatűz részletes bemutatását azért tartom igen fontosnak, mert nélküle nem érthető meg szabályozásának mikéntje. Ahogy haladunk előre úgy veszi át az egyszerű leírástól a szakmai specifikáció a szerepet. Majd szinte újra kezdéssel a Rendszer határai című fejezetben először a fűtési rendszerről, annak szabályozási lehetőségeiről írok. Szintén ebben a fejezetben esik szó az idevonatkozó irányítástechnikai alapfogalmakról. Az ezt követő fejezetek mindegyike már a konkrét műszaki tartalommal van megtöltve, de itt is az általánosabb bemutatástól tartok az egyre részletesebb leírásokig. Írok a szabályozással kapcsolatos alapvetéseinkről, majd a mérések részletes elemzésével azokat alátámasztom. Tapasztalataink alapján újabb ötleteket vetünk fel, amelyek egy részét mérésekkel igazoltuk, de más részük időhiányban, még csak ötlet maradt, amik a fejlesztés későbbi irányát fogják megadni.

Azért használok egyszer egyes számot, máskor többeset, mert a berendezés üzemeltetése alapvetően csapatmunka volt, míg a dolgot megírása nem.

2. Biomassza energetikai hasznosításának lehetőségei

2. 1. A keletkező fahulladék

A fa- és asztalosipar valamennyi ágában keletkezik fahulladék. A fakitermelés és a fűrészipari feldolgozás során keletkező hulladék az összes hulladék 3/4-ét adja. A következő táblázat a különböző hulladéktípusokat foglalja össze.

Hulladéktípus	A keletkezés helye											
	kitermelés	tárolás	szállítás	fűrészáru-termelés	furnér- és rétegepl. gyártás	faforgácslapgyártás	farostlemezgyártás	épületasztalos-ipar	bútoripar	faépületelem-gyártás	egyéb	véghasználat
Rönk	X	X	X	X								
Ág-, gally- és csúcsanyag, tönk,	X											
Kéreg	X			X	X	X	X					
Darabolási eselék	X			X	X			X	X	X	X	
Léc, széldeszka, hámozási maradványhenger, furnér, egyéb tömör ipari hulladék				X	X			X	X	X	X	
Faanyagú lapok szabási hulladéka					X	X	X	X	X	X	X	
Forgács				X	X			X	X	X	X	
Fűrészpor	X			X				X	X	X	X	
Csiszolatpor, egyéb apró hulladék				X	X	X	X	X	X	X	X	
Használt visszanyerhető faanyag										X		X
Veszélyes anyaggal kapcsolatba került faanyag (impregnált, felületkezelt)				X	X	X	X	X	X	X	X	X

2. 1. táblázat. A fahulladékok keletkezése.

Az épületasztalos-iparban a késztermékben realizált fanyersanyag mintegy 60-70%-ra tehető.

Megnevezés	Térfogat- százalék %
Forgács	49,8
Fűrészpor	18,4
Vegyes: forgács + fűrészpor	12,7
Darabolási és szélezési hulladék	14,6
Technológiai hulladék	2,2
Lemezhulladék	2,3

2. 2. táblázat. Az épületasztalos-ipar összes hulladékának becsült megoszlása.

A táblázat alapján is beigazolódni látszik az a tény, hogy legnagyobb mennyiségben faforgács, darabos eselék, valamint faporok (fűrészpor, csiszolatpor) keletkeznek, melyek szinte minden, fával foglalkozó cég esetén megfigyelhetők.

A faalapú hulladékok kezelése esetén a fahulladékok nem tekinthetők hulladéknak, hanem olyan mellékterméknek, melyet visszaforgatással egy másik technológiai folyamatba, vagy más hasznosítással gazdaságosan fel lehet használni. Fontos tehát ezen hulladékok keletkezési helyén történő gyűjtése, onnan történő elszállítása, és a további hasznosításig szakszerű tárolása. Az elődleges fafeldolgozó üzemekben megvalósítható hulladékprítás miatt lényegében háromféle hulladéktípussal lehet számolni: apríték, gyaluforgács, fűrészpor. A hasznosítás egyik módja, amikor a forgácslapgyárakba ez a nyersanyag érkezik. De addig a szakszerű tárolást megoldandó, nézzük meg a zárt térben való tárolás lehetőségeit.

A zárt térben való tárolásra környezetvédelmi, időjárási, zárt anyagszállítási rendszerek, automatizálási szempontok miatt kerül sor. A faiparban ez a megoldás a legelterjedtebb. Por-forgács halmazt (ömlesztett anyag) silókban (felül nyitott zárt „edény”, mely az anyagot teljes mértékben zárt formába kényszeríti) célszerű tárolni. A silók típusai a következők: előtároló silók, adagoló silók, gyűjtősilók. A silók lehetnek anyaguk szerint téglából, vasbetonból, acélból, faforma szerint pedig hengeresek, hasáb, vagy kocka formájúak, csonka kúp, vagy gúla alakúak. Elhelyezésük szerint készülhetnek talajszintre helyezett, magasított vagy lábakon álló, talajszint alá süllyesztett kivitelben. A silóürítés végett a silókat korszerű tároló, bolygató (vibrációs, pneumatikus, mechanikus, légágyús bolygató), kihordó (csigás, bolygatókaros, körben

forgó kaparóláncos, csúszókeretes, mozgó padlós) berendezésekkel látták el. Nagy jelentősége van az idegen fémes elemek, a méreten felüli fadarabok, a kő kiválasztásának, melyet fémkereső készülékkel, szitákkal, vibrációs vályúkkal végeznek. [3] A továbbiakban az energetikai célú hasznosítás lehetőségeiről esik szó.

2. 2. Hulladékhasznosítás

A biomassza energetikai hasznosításának legegyszerűbb módja a biomassza eltüzelése, ami esetünkben faipari termelés hulladékaként jelenik meg. Példaként vegyük az asztalosüzemeket, ahol mindenesetben por és forgács keletkezik, ezek közül a legtöbben olyan mennyiségben, hogy annak eltávolítása gondot és jelentős többletköltséget eredményez. Megfelelő berendezésekkel a fahulladék hőtermelésre használható fel, és ezzel az energiával igen gazdaságosan megoldható az üzem vagy kapcsolódó létesítményeinek fűtése, meleg vízzel történő ellátása, technológiai hőenergia (szárítóban, gőzölőben) termelése.

A faporok, illetve -forgácsok megfelelő határfokkal és a környezetre legkevésbé káros füst-gázemisszió mellett csak az alapanyag tulajdonságainak megfelelő berendezésekben égethetők el. Az asztalosipari porforgács jellemzője a kis térfogati sűrűség, a viszonylag állandó és alacsony nedvességtartalom, a viszonylag nagy porhányad és a porfinomforgács frakcióméret. Ezek a tulajdonságok kedvező feltételeket biztosítanak az eltüzeléshez, de ezen hulladékok energetikai hasznosítása esetén még további szempontokat is figyelembe kell venni. Ezek a következők: milyen intenzitással és időbeni eloszlásban keletkezik a hulladék, van-e lehetőség a sok helyet igénylő por-forgács hulladék tartós tárolására, biztosítható-e, hogy tárolás közben az anyag ne nedvesedjen, milyen jellegű és mértékű az energiaigény, van-e szükség hőenergia előállítására, milyen mértékben változik az energia iránti igény az évszakok függvényében. [2]

A fahulladékok hagyományos tüzelőberendezésben való eltüzeléséhez az egyik lehetőség az anyag tömörítése. Ezt a gyakorlatban brikettálásnak vagy pelletálásnak nevezik. Az asztalosüzemekben jellemzően az üzem technológiai hőigénye viszonylag kicsi, és jelentősebb mennyiségű hulladék energetikai hasznosítására csak a fűtési

idényben van lehetőség, ugyanakkor a hulladék egész évben keletkezik, tehát a hulladék tárolását kellene megoldani. Ez azonban hely- és költségigényes. Ilyen esetben célszerű a fentemlített tömörítés, ami forgács, mint speciális fahulladék esetében bálázást jelent, porforgács hulladék esetében a pedig brikettálást. Bálázást kisebb műhelyekben indokolt alkalmazni, mert a bálázó viszonylag olcsó, ezért kihasználtságára nem kell különösebb gondot fordítani, ugyanakkor nem igényel folyamatos üzemeltetést sem. A speciális forgácsbálázóval az eredeti térfogat negyedére, felére tömöríthető a hulladék. A keletkező bála a műhelyek fűtésére alkalmas 40–80 kW teljesítményű kisbátatüzelőkben is jól elégethető.

Nagyobb mennyiségű por-forgács keletkezése esetén indokolt lehet a fabrikettprések használata. A fabrikett előnye az, hogy a hamutartalma kicsi (0,5–1,5%), fűtőértéke viszonylag nagy (17–18 MJ/kg), a sűrűsége is nagy (0,8–1,1 kg/dm³), ezért tárolása nem helyigényes, kötőanyag nélkül, nagy nyomások alkalmazása mellett készül, ezért a tiszta fa tulajdonságaival rendelkező környezetbarát tüzelőanyag. Az asztalosműhelyek porforgács hulladéka 10% nedvességtartalmú, ezért a brikett jól ég, 1 kg fabrikett energia tartalma közel 0,5 kg tüzelőolaj energiataralmával egyezik meg, elégetésekor a füstgázok kéndioxidot nem tartalmaznak, ezért a fabrikettel történő energiatermelés rendkívül környezetbarát. [2]

Az utóbbi időben – elsősorban külföldön – terjed ez a megoldás, mert a brikettálással, illetve a termék tüzelőanyagként történő hasznosításával számos olyan probléma oldható meg, amelyre az apríték – illetve fahulladéktüzelés különböző okok miatt nem célszerű vagy nem gazdaságos. Ez elsősorban a kisteljesítményű lakossági tüzelőberendezésekre értendő. A fahulladék illetve aprítéktüzelő berendezések számos előnyük mellett két problémát vetnek fel. Az egyik a hulladék illetve apríték halmazsűrűsége viszonylag kicsi, ezért szállítása és tárolása költséges, helyigényes, az alapanyag nedvességtartalma pedig változó. A másik pedig a hagyományos tüzelőberendezések nem vagy csak részben alkalmasak az apríték és vegyes hulladék jó hatásfokú elégetésére, ezért az új tüzelőanyag felhasználása berendezéscserét igényel. [4]

Brikettnek nevezzük az \varnothing 50 mm vagy ennél nagyobb kör, négyszög, sokszög, vagy egyéb profilú tömörítvényeket, melyeket dugattyús és csigás préseken gyártanak,

pelletnek pedig a körcellás, görgős préseken készített nagyobb tömörségű \varnothing 10-25 mm-es tömörítvényeket. A tüzelési célra alkalmas biobrikett, vagy tűzipellet legfőbb jellemzője a nagy sűrűség, tömörség (1-1,3 g/cm³), melyet 800 bar-nál (800 kg/cm²-nél) nagyobb nyomással lehet elérni. A fahulladékból a biobrikettet rendszerint kötőanyag nélkül készítik, ezért is célszerű különböző fahulladékok összekeverése, illetve bekeverése, például a fűrészpor, fenyőfakéregnek, viasz, adalékanyagkénti hozzáadása javítja a biobrikett szilárdságát, de lehet az adalékanyag kondicionáló (nedvességtartalom beállító) szerepe is. A különböző fahulladékok nedvességtartalma és tömöríthetősége igen változó, de az előállítás során a végtermék, a biobrikett vagy tűzipellet 1-1,3 g/cm³ tömörségű és nedvességtartalma legfeljebb 10-12% lesz. A tömörségen kívül az alacsony nedvességtartalom az, mely igen kedvező tüzeléstechnikai tulajdonságokat ad a brikettált fahulladéknak, valamint a biobrikett csak éghető (meddő nélküli) anyagokat tartalmaz. A biobrikett-gyártás céljára elsősorban a 20% alatti nedvességtartalmú fahulladékok vehetők számításba, így közvetlenül, vagy közvetve brikettálható a fűrészpor, a csiszolatpor, a faforgács, az apríték, a fahulladék és a fakéreg.

A tűzifa, vagy hasábfá eltüzelésére hagyományos berendezések alkalmasak. A hagyományos alatt ma már általában nem a tüztéri kialakítást, hanem a hagyományos felhasználási területet kell érteni: általában egyedi, vagy kisteljesítményű központi fűtésekhöz alkalmazzák a tűzifa eltüzelésére kialakított kazánokat, kályhákat, kandallókat. A tüztéri kialakítás az utóbbi években megváltozott elsősorban a használat kényelme, szabályozhatósága és a környezetvédelem követelményei miatt. Ma már egy fatüzelésű kazán tűzterét ill. a beadagolás lehetőségét úgy oldják meg, hogy lehetőleg napjában csak egy alkalommal kelljen a kazánba tüzelőanyagot berakni, a tüzelést pedig a levegő-bevezetés szabályozásával a mindenkori hőelvételhez igazítani. Gyakran a füstgázvezetésnél ún. λ szondát építenek be az emissziós értékek és a hatásfok javítása érdekében. A fatüzelésű berendezésekben a tűzifa helyett ún. biobrikettet is lehet használni.

A biomassza eltüzelésének legígéretesebb területe az aprítéktüzelés. Az aprítéktüzeléssel megoldható a tüzelőanyag automatikus adagolása és a teljesítmény szabályozása is. Az aprítéktüzelő berendezések teljesítménytartománya nagyon széles

az egyedi fűtőberendezések néhány kW teljesítményétől a távhőellátás MW teljesítményig. Az apríték tárolása kisteljesítményű berendezések esetén a tüzelőberendezések melletti napi, vagy több napra elegendő mennyiségben, nagyobb teljesítmények esetén aprítéktároló helyiségekben általában az egész fűtési időszakra való mennyiségben történik. A tüzelőanyag betárolásának ideje általában a nyári időszak, de ilyenkor is szükséges, vagy célszerű az apríték szárítása. Ezt az aprítéktároló megfelelő szellőztetésével, vagy gyakran még a nap energiájának felhasználásával is elő szokták segíteni. Az apríték a tárolótól a tüztérbe általában csigas adagolóval kerül. A beadagolást természetesen a teljesítményigényhez igazodóan, tűzvédelmi és a visszaégést megakadályozva kell biztosítani

A pellettüzelők szerkezeti kialakításukat tekintve olyanok, mint az aprítéktüzelők, de a pellettüzelőket kisebb teljesítmények esetén alkalmazzák. A pellet minőségi állandósága, nagy energiasűrűsége és jó csomagolhatósága a kisteljesítményű kazánok, vagy egyedi fűtőberendezések számára kedvező tüzelőanyagot jelentenek.

Összegezve, a fahulladéktüzelés alkalmazási területe alapvetően ahhoz kötődik, hogy ne kelljen messzire szállítani a kis energiasűrűségű energiahordozót, és lehetőleg ne kelljen hosszú időn keresztül tárolni. Általában elmondható, hogy a tűzifa, pellet és brikett egyedi fűtő, használati melegvíz-termelő, vagy sütő-főző berendezésekhez használható, az apríték és pellet a központi illetve távfűtési rendszerekben. [5]

3. A fatüzelés technikája

Ismerjük meg a tüzet! Mielőtt rátérnénk a fatüzelés és azon belül az aprítékégetés ismertetésére, kezdjük az égés fogalmával. „Égésnek nevezzük azt a vegyi folyamatot, melynek során valamely anyag nagy hőfokon hőfejlődés mellett egyesül a levegő oxigénjével. Az égés feltétele, hogy a tüzelőanyag éghető részét az anyagnak megfelelő gyulladási hőmérsékletre felmelegítsük és az égéshez megfelelő mennyiségű levegőt vezessünk oda, hogy a kellő mennyiségű oxigén rendelkezésre álljon. Az oxigénnel való egyesülés során a természetben előforduló tüzelőanyagok legfontosabb alkotói a szén (carbon C) szén-dioxiddá, a hidrogén (H^2) vízzé, a kén (S) kéndioxiddá (SO_2), az egyéb anyagok szintén oxidokká égnek el hőfejlődés közben. A tüzelőanyagok az égéshez az összetételüknek megfelelő mennyiségű oxigént, illetve levegőt igényelnek. A tüzelőberendezésekbe azért, hogy a tüzelőanyag minden éghető részecskéje találkozzon a levegő oxigénjével, az elméletinél több levegőt vezetnek be, így az égés általában légf feleslegben történik.”

Napjainkban fontos szempont, hogy a fa égetése értelmes erdőgazdálkodás mellett CO_2 - semleges, azaz égése során nem kerül a levegőbe több szén-dioxid, mint amennyit a fa fotoszintézis révén megköt. Mindezek ellenére azt kell mondani, hogy a fa és fahulladékok környezetbarát égetése mégsem olyan egyszerű dolog, mivel a fa égetésének folyamata meglehetősen összetett. Az 1. ábrán ennek a folyamatnak egyszerűsített sémáját láthatjuk. [6]

A fa meggyulladásánál figyelembe kell vennünk azt a tényt, miszerint minnél nagyobb a fadarab térfogatához viszonyított felülete, annál könnyebben gyullad meg. Ezért használunk vékonyra hasított gyújtóst, vagy rőzsét, ha nem idegen energiát fektetünk be. Itt jegyzem meg, hogy a finom megoszlású fűrészpor oxigénben gazdag környezetben magától is, robbanásszerűen gyulladhat meg. De a fa meggyulladása nem kizárólag a darabosságától függ, hanem például a fajtájától is. Így a kis sűrűségű lucfenyő fája, amely alig tartalmaz szervesetlen ásványi anyagokat, különösen gyúlékony. Ellenben a sűrűbb és több ásványianyagot tartalmazó tölgy gesztfája lassabban gyullad meg. A fa különféle összetevőinek égési tulajdonságai is különböznek, így a lignin

például nehezebben gyullad meg mint a cellulóz, a cellulóz pedig nehezebben mint a hemicellulóz.

Az anyag tulajdonsága	Az anyag fajtája	Halmazállapot égéskor	Tömegarány %	Elemi összetevők tömeg %
Éghető	Faszén	Szilárd	14	43 % karbon
	Szénhidrogének	Gáz alakú	67	5 % hidrogén 33 % oxigén
Nem éghető	Víz (gőzalakú)	Gázalakú	18	2 % hidrogén
	Hamu	Szilárd	<1	16 % oxigén 1 % ásványi anyag

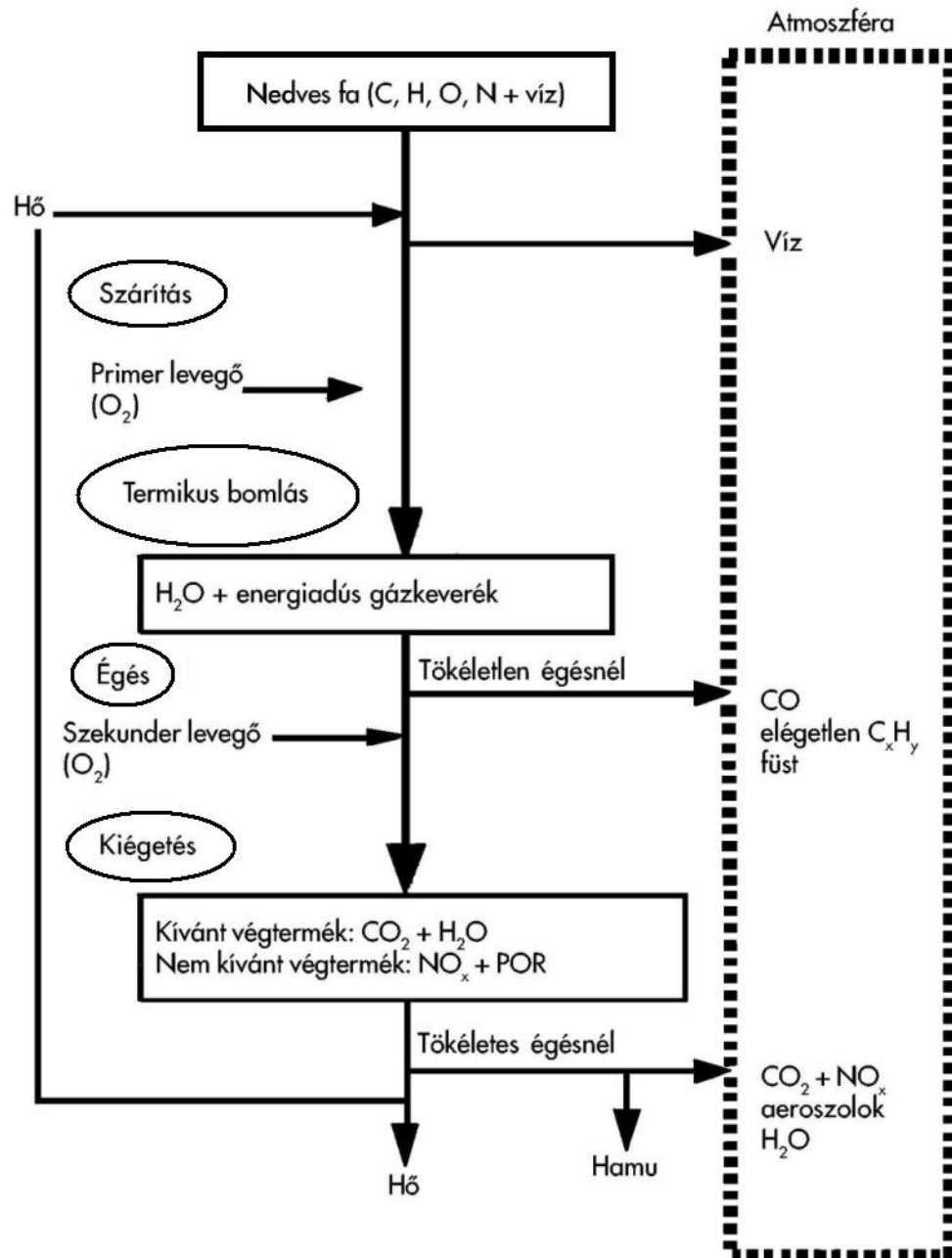
3. 1. táblázat. A faenergiát adó összetevők és azok tulajdonságai.

Bár a fa szilárd tüzelőanyag, mégis meggyújtva túlnyomórészt fagázként ég el. Ez pontosan azt jelenti, hogy a fa éghető összetevőinek tömeg szerint 83 %-a gázalakban ég el. Ez a gázalakban eléggő 83 % adja a fa fűtőértékének csaknem 70 %-át. Mivel a fa túlnyomórészt fagázként ég el, a jó elégéshez nagy égéstérre és oxigénben gazdag friss többletlevégre van szükség, hogy a fagáz maradéktalanul eléghessen.

Az összetevő megnevezése	Az összetevő %-os aránya a szárazanyagban	A bomlás kezdeti hőmérséklete °C	Közbenső bomlási termékek	A legnagyobb bomlási sebesség hőmérséklete °C
Fapoliókok, hemicellulóz	20	150		230 - 270
Cellulóz	50	170 - 270	Levoglukozán, faecet, aceton, fenolok	330 - 370
Lignin	26	200 - 280	Metanol, faecet, aceton, hangyasav	375<
Olajok, gyanták, zsírok	4		Nagyon inhomogén csoport	

3. 2. táblázat. A fa összetevőinek reakciója az elégés folyamán.

A légszáraz fánál már kevés hő közlése is elegendő a mintegy 230 °C gyulladási hőmérséklet túllépésére. [7] A begyújtás után beindul a fa égetése, mely ciklikus folyamat és a következő szakaszokban zajlik, ezek a szárítás, a termikus bomlás, az égés és a kiegészítés.



3. 3. ábra. A fa égetésének folyamata.

Az első szakasz a szárítás, melynek során a fa kiszárad, mert csak az abszolút száraz fa képes égésre. A kiszáritáshoz a hőt a begyújtáskor külön forrásból kell

biztosítani, míg az égési folyamat beindulása után a keletkező hő egy része erre a célra emésztődik fel. A kiszáritott fa a továbbiakban hő hatására bomlásnak indul.

Ez a második szakasz a *termikus bomlás*, mely kezdetben hőelnyelő (endoterm), amit egy hőtermelő (exoterm) folyamat követ. A fa összetevői nagyjából egyidőben kezdenek folyékonyvá válni, majd a molekuláik hasadni és párologni kezdenek. 100 – 200 °C között képződő gázok a fát még nagyon lassan hagyják el. Mintegy 225 °C-ig kell a fával hőenergiát közölni, hogy az endoterm reakció exotermmé váljon. A termikus bomlás végeredménye nagy mennyiségű energia, dús gázok, ún. égésgázok keletkezése. (Ezek alapvetően szénmonoxid és különböző szénhidrogének keverékei.) Lánggal égéskor ezek a gázok fognak meggyulladni 220-260 °C-on, míg 260-290 °C-on megindul a tartós égés.

A harmadik szakasz az *égés*, tehát döntően a termikus bomlási folyamatban keletkező égésgázok minőségétől és mennyiségétől, valamint az exoterm folyamat hőtermelésétől függ. A gyorsan távozó fagáz miatt nem jut elegendő oxigén a fadarab felületére, ezért az egyre inkább faszénné alakul át, ami a gázok eltávozása után 500 – 800 °C hőmérsékleten elizzik. Tehát a fa termikus bomlása után beindul a visszamaradó szénváz izzással történő égése is. Ekkor köztes oxidációs terméként újfent szénmonoxid kerül az égésgázokba. Folyamatos égetéskor a lánggal égés és az izzás együtt van jelen. Az égés kezdetekor a hőmérséklet csak lassan, fokozatosan emelkedik, de a fa tartós égésekor a hőmérséklet már eléri a 800-1100 °C-ot is.

Ilyen magas hőmérsékleten indulhat el a negyedik szakasz, a teljes *kiégetés*, amely az égésgázok teljes oxidációját eredményezheti. Ha az égetés e fontos szakaszának kifejlődését nem biztosítjuk, akkor az égésterméként jelentkező füstgázban tökéletlen égés miatt olyan légszennyező anyagok jelennek meg, melyek elkerülhetők lennének. Ilyenek a szénmonoxid, az elégetlen szénhidrogének és a füst.

Eddig elsősorban a keletkező füstgáznak szenteltünk figyelmet, de nem feledkezhetünk meg a fahamuról sem. A kiégett fahamu többnyire 24 óra hosszat izzó parázsszemeket, zsarátnokokat tartalmaz, ezért azt fémtartókban célszerű tárolni a kiizzásig. A fahamu általában az elégetett fa 0,3 tömegszázaléka. Ha azonban kérget, lombot, gallyakat is tüzelünk, akkor a hamu részarány növekszik. A részarány a fával

eltüzelte szennyezőanyagokkal, mint például a föld, is megnő. A fahamu többnyire nem olvad salakká, mert az olvadáspontja 1300 – 1400 °C, amit az elégségi hőmérséklet nem ér el. A fahamu összetételét tekintve átlagosan 50 % kalcium (CaO), 16 % kálium (K₂O), 15 % magnézium (MgO), 7 % foszfor (P₂O₂), 5 % szilícium (SiO₂), 5 % nátrium (NaO₂) és kis mennyiségű vas, mangán és egyéb összetevők együttese, ebből következik, hogy a tiszta fahamu kerti trágyának felhasználható. [7] Egyéb felhasználási területe például, hogy a baromfiak fürdőjeként segíti azokat az élősködőktől megszabadulni.

A teljes oxidáció a fa égetése során azonban önmagától nem következik be, megvannak a sajátos műszaki, tüzeléstechnikai követelményei. Az égéshez levegőre, elsősorban oxigénre van szükség, de nagyon fontos, hogy ez szakaszosan primer és szekunder, esetleg tercier levegő bevezetés formájában történjen. [6] Az égési levegő 80 %-át primer levegőként kell az égéstérbe juttatni, hisz enélkül nem mehetne végbe a fa összetevőinek bomlása, a fagázképződés, a faszén elégsége. Az égési levegő 20 %-át pedig szekunder levegőként a fagázlángok térségébe, ha nem számolunk az esetleges tercier levegővel. A szekunder levegő a fagáz tökéletes elégségre kell, ezért szükséges, hogy azt lehetőleg forrón juttassuk oda. [7] Csak így tudjuk elérni, hogy az égetés egyes szakaszaiban az optimális égésgáz/égéslevegő arány (λ szám) biztosítva legyen. A levegőfelesleg pontos mértéke többek között az égés körülményeitől, a berendezés típusától, a tüzelőanyag fajtájától függ. A kiégető zónában a biztonságos oxidáció érdekében általában egy és kettő között van ($1 < \lambda < 2$).

Ez levegőfelesleggel biztosítható. A levegőfelesleg azonban legyen jól behatárolt, azért, hogy a megfelelő égési hőmérséklet tartható legyen, miközben nem szabad a levegőfeleslegnek az égészónát lehűtenie sem. Ugyanakkor biztosítani kell a levegő és az égésgázok jó összekeveredését is. Ezért az égészóna jó geometriai kialakítása és megfelelő méretezése elengedhetetlen. Az elmondottak alapján érthető tehát, hogy már a tiszta fa, illetve fahulladék környezetbarát égetése is magas követelményeket támaszt a kazánok műszaki kialakításával és üzemvitelével szemben. Még összetettebb lesz a helyzet, ha nem tiszta, hanem vegyi anyagokkal társított, vagy szennyezett fa, illetve fahulladék, valamint elhasznált fatermékek égetéséről van szó. Ezek legtöbbször olyan idegen anyagokat

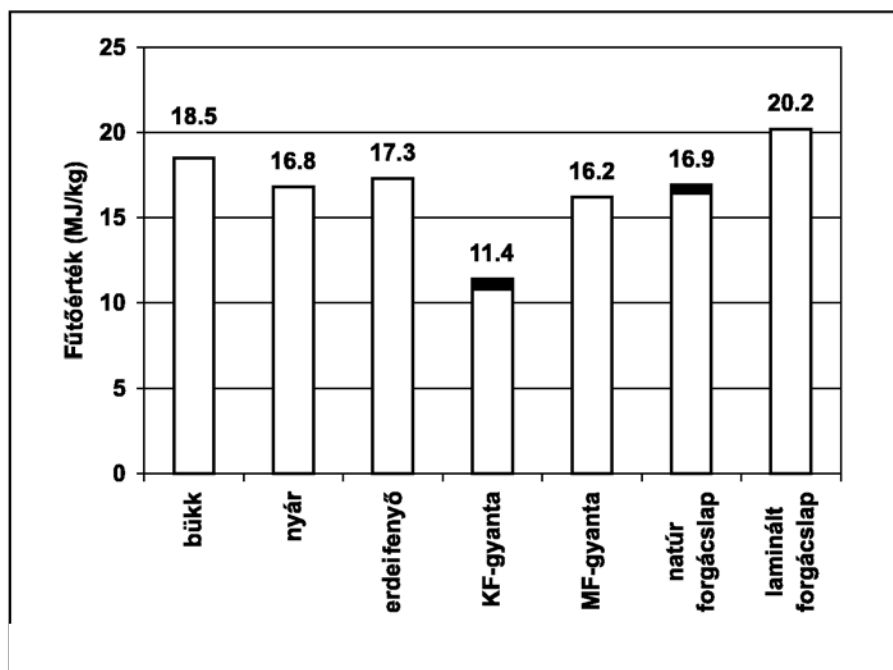
is tartalmaznak, melyek az égetes folyamatát befolyásolják, megzavarják és járulékos légszennyező anyag kibocsátást okoznak.

A fa és fahulladékokat égetés szempontjából a nedvességtartalommal, a fűtőértékkel, az alakisággal és az idegenanyag-tartalommal jellemezhetjük.

A *nedvességtartalom* mértéke jelentősen képes befolyásolni az égetés folyamatát. Növekvő nedvességtartalommal csökken az égés hőmérséklete és ezáltal a hőtermelés is. Ugyanakkor csökkenő égési hőmérsékletnél romlik, vagy el is maradhat a kiégetési szakasz hatása, ami nagy mennyiségű légszennyező anyag képződéshez vezet.

A fa és fahulladékok igen különböző nedvességtartalommal rendelkezhetnek. A frissen döntött tűzifa, illetve apríték nedvessége akár a 120%-ot is elérheti. Fűrészüzemi hulladékok nedvessége általában 60% alatt van. Elhasznált fatermékek esetében légszáraz állapot, 15-30%-os nedvességtartalom várható, míg legalacsonyabb az ipari hulladékok nedvessége ami 6-12% közötti.

A *fűtőérték* az a szám, mely megadja, hogy 1 kg tüzelőanyag elégetésekor mekkora hőmennyiség szabadul fel. Abszolút száraz fa fűtőértéke fafajtól függően 17-19 MJ/kg. Növekvő nedvességtartalom mellett csökken a fűtőérték, míg például a vegyi anyagokkal társított laminátos forgácslap égetésénél a társításhoz használt melamin gyanta megnöveli a fűtőértéket, ami hőtermelés szempontjából előnyös. A 2. ábra, ahol különböző anyagok fűtőértéke látható, jól szemlélteti ezt a tény.



3. 4. ábra. Különböző anyagok fűtőértéke (Széll Andrea mérései)

Alakiság alatt a tüzelésre kerülő fa és fahulladékok darabosságát, a fadarabok méreteit és megjelenési formáját értjük. A faiparban igen gyakran finom, kisméretű hulladék (fűrészpor, csiszolatpor) keletkezik, ami más technika alkalmazását kívánja, mint például az apríték, vagy a durva darabos hulladék. A tüzelés számára kedvezőbb alakúságot előkészítő műveletekkel lehet biztosítani. A finomszemcsés hulladékokból brikett, vagy pellet készíthető, míg a durva darabos, vagy nagyméretű hulladékokat aprítással tehetjük alkalmassá az alkalmazott technika számára. Minél homogénebb a fa és fahulladék az alakúság és a nedvesség szempontjából, annál kedvezőbb körülmények között zajlik az égetés.

A fahulladékok, különösen az elhasznált fatermékek, igen gyakran különböző *idegen anyagokat* tartalmaznak, melyek a fa feldolgozása során alkalmazott technológia következtében szándékolt társítással kerültek a faanyaghoz, illetve olyan anyagok, melyek a fa és fahulladék szállítása, kezelése, használata közben véletlenszerű szennyeződésként jelentkeznek. Az idegen anyagokról

általában elmondhatjuk, hogy a fa és fahulladékok égetésének folyamatát zavarják és járulékos légszennyezést okoznak, ezért eltávolításuk célszerű volna. Néhány idegen anyagot azonban egyáltalán nem, vagy csak igen nehezen lehet elkülöníteni. Az 1. táblázat a legjellemzőbb idegen anyagokat tünteti fel. [6]

Leválasztható	Nem, vagy csak nehezen leválasztható
műanyag, fém	favédő szerek
üveg, üvegszál	pácok
csempe, gipsz	ragasztóanyagok
kátránypapír	éégsgátló szerek
linóleum	egyéb impregnáló szerek
vakolat	lakkbevonatok
gitt, tömítőanyagok	laminátbevonatok
tégla, beton	főliabevonatok
egyéb szervesetlen szennyeződések	egyéb bevonatok

3. 5. táblázat. Fa és fahulladékok jellemző idegen anyagai.

3. 1. Szilárd tüzelésű berendezések típusai

3. 1. 1. Egyaknás berendezések

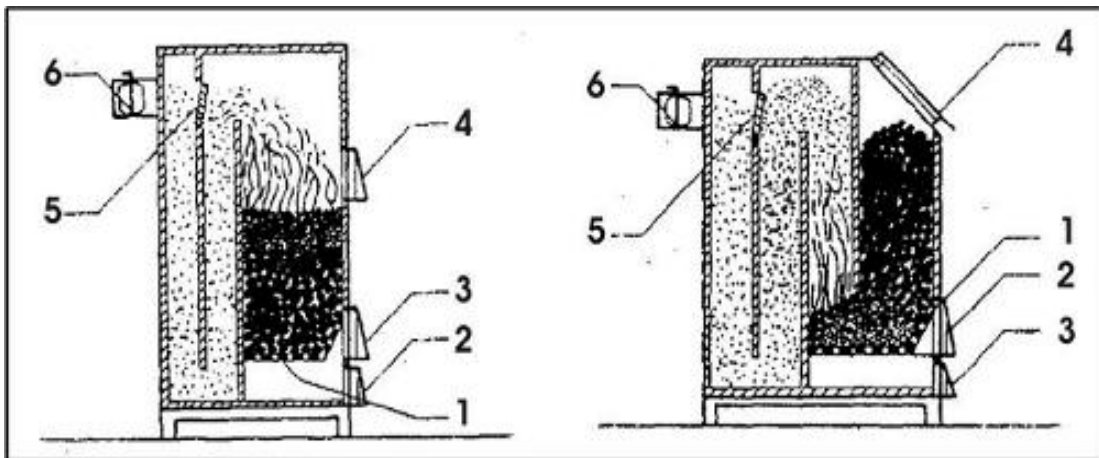
„A változó tüzréteg-vastagságú, szakaszos üzemű melegvíz-kazánok, kályhák, tűzhelyek és vízmelegítők tartoznak ebbe a csoportba. Jellemzőjük, hogy a rostély felett elhelyezkedő henger vagy hasáb alakú, a tüzelőanyag befogadására alkalmas akna egyben a tüztér is. A begyűjtés felülről történik és a tüzelőanyag lefelé ég. A füstjáratok lehetnek vízszintesek vagy függőlegesek. A rostély általában álló, de lehet kézi mozgatású is.”[9] [10]

3. 1. 2. Kétaknás tüzelőberendezések

„A kézi berendezések közé az állandó tüzréteg-vastagságú kézi, vagy kézi- mechanikus tüzelésű, folyton égő melegvíz-kazánok és kályhák tartoznak. Jellemzőjük, hogy a tüzelőanyagot az egyik aknába adagolják és a másik aknában, illetve annak irányába

égetik el. A rostélyon elégetett tüzelőanyag helyébe a másik aknából folyamatosan friss tüzelőanyag kerül. Rendszeres utántöltés és salakolás mellett a tűz folyton égő.

A rostély típusától függően lehet álló, vízhűtéses, kézi mozgatású és nyitható típus. A füstjáratok lehetnek vízszintesek vagy függőlegesek.” [9] [10] „Mind az egyaknás mind a kétaknás tüzelőberendezések szabályozása a tűztérbe vezetett primer és szekunder levegő mennyiségének változtatásával történik.” [10] A két különböző típusú tüzelőberendezés elvi vázlatát a 3. számú ábra mutatja.



3. 6. ábra. Egyaknás tüzelőberendezés

Kétaknás tüzelőberendezés

1. tűztér, 2. rostély, 3. hamutérajtó, 4. töltőajtó, 5. indítócsappantyú,
6. füstgázcsappantyú

3. 2. A kémények műszaki jellemzői

A kéményeket tűzálló és rossz hővezető anyagokból szükséges megépíteni. A faalapú tüzelőanyagok használatakor a kéménynek legalább 5 m magasnak és vakolatlanul is teljesen légzárónak kell lennie.

A kémény huzatja legyen inkább erősebb mint gyengébb, mivel a huzat fékezése műszakilag könnyebben és lényegesen olcsóbban oldható meg. A kémény huzatja a tűzrostély és a kémény torkolata közötti magasságkülönbségtől, azaz a kémény

magasságtól és a belső keresztmetszetétől függ. A fa elégése során keletkező gázok nyomása a természetes huzatot erősíti. A tüzelőberendezést azon az épületszinten belül kell a kéményhez csatlakoztatni, ahol áll. Az új építésű kéményekre a hatályos műszaki előírás alapján már nem építhető a kémény a falba, hanem attól el kell különülnie. Műszaki előírások közé tartozik még az a biztonságtechnikailag igen fontos pont, hogy a gázfűtés párhuzamos üzemeltetését más tüzelőberendezéssel egy kéményben üzemelni, nem engedélyezik.

Ha a kéményhuzat túl erős vagy az égéskamra túl kicsiny, az utóégés a hőcserélő-felületeken vagy a kéményben megy végbe. Mindkét esetben energiaveszteség történik.

Természetes huzatnak tekintjük, amikor a fatűz tág határok között önszabályozással jut hozzá a szükséges levegőhöz. Ha újabb fát rakunk a tűzre, a keletkező fagázlángok kiterjednek és ezáltal meglökik a füstcsatornák és a kémény légáramát. A levegőáramlás felmelegedése miatt is meggyorsul a füstgáz áramlása. Amikor a fa gázosodása véget ér, a füstgáz áramlása lelassul és a füstcsatornák ismét lehűlnek.

A fa nem teljesen lebomlott összetevői hideg felületeken fekete korom formájában csapódnak le. A kkorom a tökéletlen égés miatt el nem égett karbon. Ha hideg tűztérbe gyújtunk be, a koromképződés elkerülhetetlen, de ha a tűz már jól ég, nem szabad koromnak keletkeznie. A koromréteggel borított kályhafal nehezebben veszi át a hőt, ezért nem kívánatos jelenség.

A fa füstje mindig tartalmaz vizet, és ha a kémény nagyon hideg, a víz már a kéményben kicsapódhat. A légszáraz fa füstjének harmatpontja 45 °C körül van, nedves fa esetében ez 60 °C fölötti érték. Ezért lényeges, hogy a kéményfejnél kilépő füst minimális hőmérséklete e fölött legyen. Ehhez a kéménybe lépő füstgáznak 130 – 150 °C-osnak kell lennie, ha száraz fával tüzelünk, az égés kielégítően jó és a kémény szigetelése is megfelelő.

Emisszióvédelem szempontjából csak a száraz fa tekinthető kevés füstöt adó tüzelőanyagnak. A fa nem vagy csak alig tartalmaz ként, klórvegyületeket és nehézfémeket, ezért a fafűtés különleges szűrők alkalmazása nélkül is kíméli a

környezetet. A tökéletes égéshez szükséges magas hőmérsékleten légszerűleg mellett a levegő nitrogénjének kis része a levegő oxigénjével nitrogénoxidokat képez. A tökéletlenül elégett fa füstje számos szerves vegyületet, többek között benzol, szerves savakat, aldehideket, krezolokat, fenolokat és más aromás vegyületeket tartalmaz, ezért is fontos a tökéletes égést biztosító berendezések használata és a szabályozás. [7]

3. 3. A kazánokkal szemben támasztott műszaki követelmények

A megfelelő λ szám beállítása csak akkor hozhat eredményes oxidációt, ha egy időben gondoskodunk az égésgázok és az égéslevegő jó összekeveredéséről is. Ez nagymértékben a kazán konstrukciós kialakításától függ. Így például célszerű a kiégető zónában füstgázirányfordítókkal, vagy más módon, például szűkületekben (fűvókákban) okozott örvényképződéssel, a keveredést elősegíteni. Ez annál fontosabb, minél forróbbak az égő fából az égéskamrába jutó gázok, mivel a forró gázok igen nehezen keverednek.

Ha már jól beállítottuk a kiégető zónában az optimális égéslevegő/égésgáz arányt, és sikerült nagyjából homogén gázkeveréket létrehozni, akkor is csak úgy számíthatunk eredményes oxidációra, azaz tökéletes elégésre, ha a kiégető zóna (égéskamra) hőmérséklete 850 – 1000 °C közötti, de legalább 600 °C, és a gázkeverék legalább 2 másodpercig tartózkodik ebben a térben.

Általában az égéshez levegőtöbbletet szokás biztosítani, ezáltal jut elég oxigén oda, de a túl rövid reakcióidő gondot szokott okozni. Hiszen egy alulméretezett égéskamrából a forró fagázok túl gyorsan sodródhatnak ki. Leggyakoribb hiányosságot az égéskamra túl alacsony hőmérséklete szokta okozni.

Tehát olyan konstrukciójú kazánok alkalmazásáról van szó, melyek a fa égetési folyamatának teljes lefolytatására alkalmasak, és így biztosítják az égésgázok minél tökéletesebb kiégetését. A többfokozatú égéslevegő-bevezetés azt jelenti, hogy az égéshez szükséges levegőt (oxigént) nem egyszerre és egy helyen juttatjuk be a kazánba, hanem az égetés folyamatában jól elkülönülő zónákban, az ott zajló jelenségekhez igazított

mennyiségben. A primer levegőt, mely az égést táplálja, például rostélyos kazánok esetében, a rostély alatt vezetik be, ezzel hűtik a rostélyt, miközben a levegő felmelegszik.

A szekunder és esetleg terciér levegő viszont már a kiégetést táplálja, ezért bevezetése egyszerűbb esetben a rostély feletti térben, vagy füstgázfordítók után külön a kiégetés céljára kialakított zónában történik. Az osztott égéslevegő-bevezetés mellett fontos, hogy a forró fagázok elégetését és a hőcserét a kazánon belül időben és térben élesen el kell különíteni. Ha a fagázok még nem égtek ki teljesen, de már hőcsere jön létre, az égés leáll.

Az égetési folyamat irányítása az előzőekben felsorolt alapkövetelmények eredményes teljesítésének feltétele. Ez az irányítás történhet kézi vezérléssel, valamint automatikus mérő- és szabályozó technika segítségével.

A kézi vezérlés amellet, hogy gyakori, vagy állandó felügyeletet igényel, nem hatékony módszere az égetési folyamatok irányításának, sem az emissziók csökkentésének. Ezért csak kis kazánoknál jöhet szóba.

A kiégetés különböző paramétereinek optimális összehangolása nagy teljesítményű berendezéseknél viszont már megfelelő mérő- és szabályozó technika alkalmazását teszi szükségessé. Ez a szabályozás két területre terjed ki, egyik a teljesítményszabályozás, a másik az égésfolyamat-szabályozás.

A teljesítményszabályozásnak az a célja, hogy összehangolja az égetőberendezés hőtermelését a hozzá csatlakozó felhasználó hőigényével. Bármilyen okból változó hőigény esetén ez alapvetően a tüzelőanyag és a primer, illetve szekunder égéslevegő-beadagolás mennyiségi szabályozásával megoldható. Általában folyamatos gépi tüzelőanyag-betáplálás esetén alkalmazható eredményesen.

Az égésfolyamat-szabályozásnak az a célja, hogy tökéletes kiégetésre törekedve növelje a berendezés termikus hatásfokát, és egyben csökkentse a szennyezőanyag-kibocsátást. Indirekt módszerrel az égetés hőmérsékletét, illetve a levegőfelesleget mérik, míg direkt módszer alkalmazásakor a kilépő füstgázban lévő elégetlen gázkomponensek, elsősorban a szén-monoxid (CO) koncentrációját. A mért adatok alapján a beavatkozás megint csak a tüzelőanyag és a primer, illetve szekunder

égéslevegő- beadagolás mennyiségi szabályozásával oldható meg. Lehetséges kiegészítő beavatkozási módszer még a füstgáz részleges visszavezetése is. [8]

3. 4. Fafűtéses rendszerek

3. 4. 1. Központi fűtés

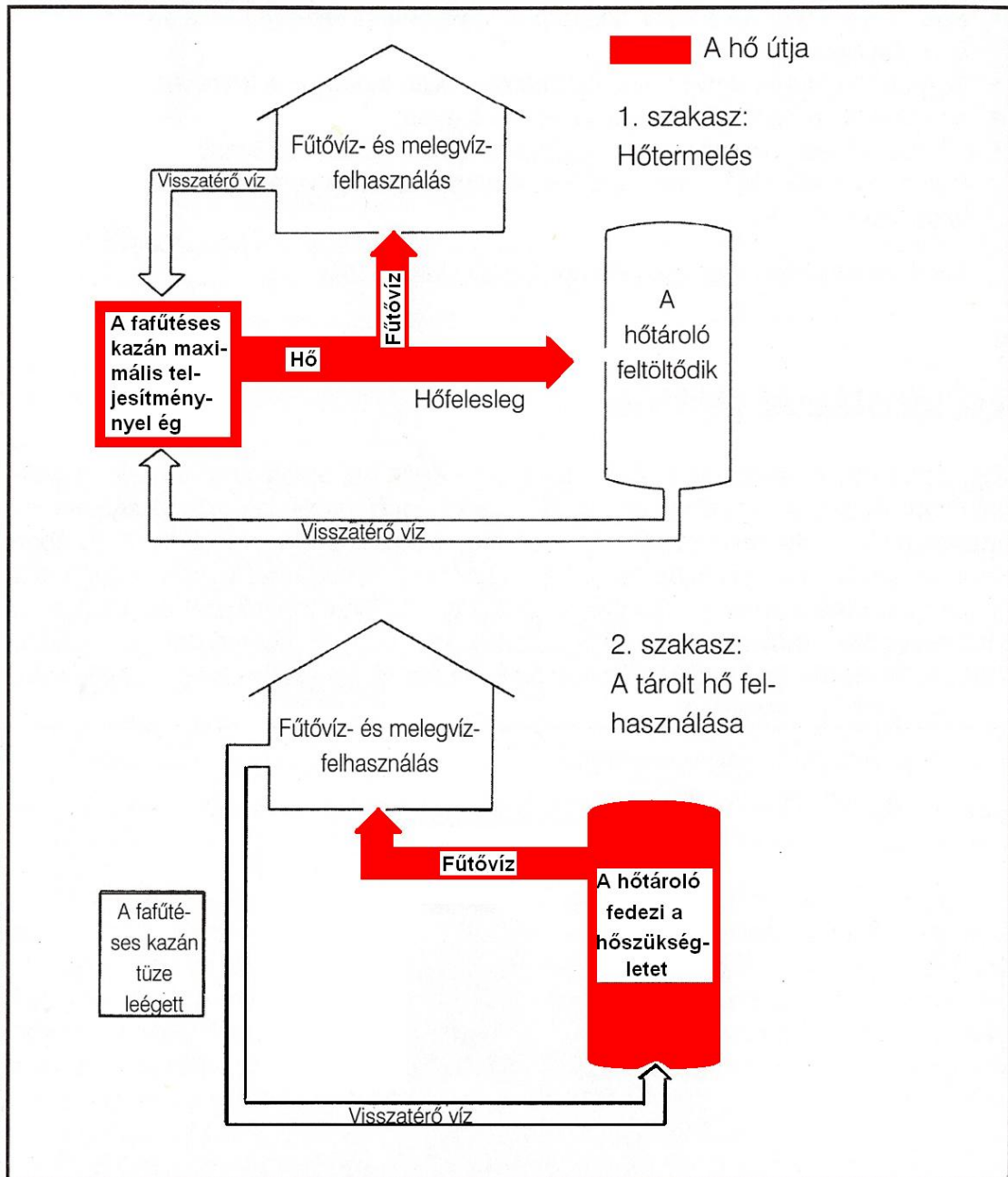
A központi fűtéses kazánok hőhordozója a víz, mert meleg vízzel viszonylag nagy energiamennyiségek továbbíthatók. A fafűtéses kazán három fő részből – fatárolóból, égéskamrából és hőcserélőből – áll. A hőcserélő a kazán hőenergiáját a víznek adja át, amit egy szivattyú keringet a rendszeren, ezért is szükséges hozzá. A hőcserélő falának hőmérséklete nem emelkedhet 100 °C fölé, emiatt a hőcserélőt a nagy égéskamra mögött, attól jól elkülönítve kell elhelyezni. A fagázoknak előbb tökéletesen ki kell égniük, csak azután találkozhatnak a hőcserélő kisebb hőmérsékletű falával. A kazánvíz körfolyamatát úgy kell kialakítani, hogy a fűtő körfolyamatba csak akkor adjon hőt, amikor vize már legalább 80 °C-os. Ezzel a hőcserélő-felületek viszonylag melegebben tarthatók, nem csapódik ki kondenzvíz és kevesebb fakátrány képződik.

3. 4. 2. Hőtárolásos fafűtés

Egy adott kazán esetében akkor a legjobb az égés hatásfoka, ha az maximális teljesítménnyel éghet. A teljesítményt az év leghidegebb napjainak hőszükségletéhez mérten szokás megtervezni. Ezzel viszont az érhető el, hogy legtöbbször nem lesz a kazán teljesítménye kihasználva. Ennek áthidalása az időszakos teljes terheléses üzem és a hő tárolása. A teljes terheléses üzemben több hőt állítunk elő, mint amire pillanatnyilag szükségünk van, de a fel nem használt hőt egy hőtárolóba vezetjük, ahol amikor a víz 90 °C-ra felmelegszik, a fatüzet leállítjuk. Utána a hőtároló fogja biztosítani a szükséges hőt a következő begyűjtásig. Ezzel az alacsony terhelésű üzem hátrányai kiküszöbölhetőek. Folytatólagos égéssel ugyanis a fa összetevői tökéletesen égnek

el, ezáltal a kazánban és a kéményben korom, kátrány és szurok rakódik le. Ezzel nő a karbantartási igény és csökken a berendezések élettartalma.

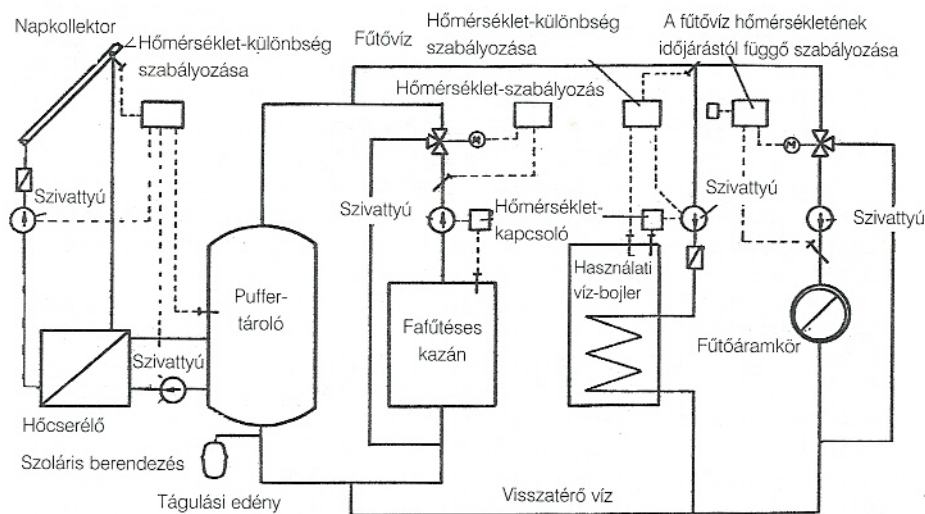
A puffertárolók (hidraulika-váltók) rendszerint álló helyzetű tartályok, amelyekbe a forró vizet felülről nyomják be, míg a hideg víz alul folyik vissza a kazánba. A tárolt hő felhasználásakor a melegvizet felülről veszik ki, miközben alul a hideg víz folyik be. A forró vízzel feltöltött puffertárolóban a hőmérséklet rétegződik. A tágulási edényeket a hőtárolósos fűtésnél nagyobbra kell méretezni.



3. 7. ábra. A hőtárolásos fűtés működési elve.

A tárolási kapacitás meghatározásához vegyük a névleges fűtőtéljesítmény kW-jaként 100 – 180 liter vizet.

Kedvező a tárolásos fafűtés összekötése hőszivattyúval vagy szoláris berendezéssel, mivel mindegyikük képes e tároló feltöltésére.



3. 8. ábra. Puffertárolós fafűtés szoláris berendezéssel kombinálva.

3. 4. 3. Automatizált rendszerek

Az automatizált fafűtés előfeltétele a könnyen továbbítható fadarabok megléte. Az aprítéksilóból a faapríték teljesen automatizáltan jut a kazánba. Az aprítékot a silón belül lengő- vagy központi csiga, a silótól a kazánig pedig több szállító csiga, majd az adagoló csiga továbbítja. A szállítócsigák közötti visszaégést celláskerekes zsilipek vagy biztonsági csappantyúk akadályozák meg.

A tüzelőanyag égéskamrán belüli mozgásának módjai az alátolásos és a befűvasos. Az alátolásos tüzelésnél az adagolócsiga a tüzelőanyagot az égéskamrába juttatja, majd egy teknőbe tolja, ahol az elég, a gázmaradékok pedig a teknő feletti égéskamrában szekunder levegő hozzáadásával égnék el. A levegőt egy fűvó hozza az égő anyaggal kapcsolatba. Előtolórostélyos rendszer esetében még a lépcső alakú rostélyrendszer a tüzelőanyagot a felső rostélysíkról az alsóra rázza le, amivel még jobb lesz a kigázosodás hatásfoka.

Befűvasos tüzelésnél az égés gyorsabban és tökéletesebben megy végbe, de az ilyen tüzelés előfeltétele a finom szemcséjű tüzelőanyag. A szálló szemcsék a levegőben égnék el, a rostélyon képződő parázság pedig jórészt elégő faszénből áll.

A tüzelőanyag adagolása automatizált fűtési rendszerben oly módon szabályozható, hogy a továbbítási sebességet állítjuk be, vagy megszakításos üzemre térünk át. Ameddig a parázság gyújtóképes, a tüzelőanyag utánpótlásával a tűz ismét fellobbantható.

Ilyen rendszerekben a visszaégés-gátlásról gondoskodni kell. Megoldható a következőképpen. Az adagolócső hőmérséklet-szabályzója folyamatosan méri a hőmérsékletet. Ha ez túl magas, akkor az elárasztó működésbe lép. Ezért a locsolóberendezés sohasem nélkülözhető. Ezenkívül a cellekerekcső zsilip a tároló és az égéskamra közötti összeköttetést szakítja meg, a biztonsági vagy visszacsapócsappantyú a csigás továbbító végén helyezkedik el és túlhevüléskor zár.

Az automatizált fafűtéses berendezések egyszerűen és jól szabályozhatók, hatásfokuk nagy, viszont idegen energiától függnék. Ezért célszerű minden eshetőségre felkészülni és áramfejlesztőt is bekötni a rendszerbe. [7]

4. A rendszer határai

E fejezet két fő részre osztható, mert a lehetséges megközelítési módok közül a következő fogalmakat tekintetem kiinduló pontnak úgy, mint a fűtési rendszer és az irányítástechnika. A különböző fafűtéses rendszerek bemutatása után már látnunk kell, hogy egy berendezés, mint a HALEX 25, csak egy fűtési rendszer részeként üzemelhet. De a fűtési rendszer is csak a környezetében nyer értelmet. Fogalmazhatunk úgy, hogy ez a környezet szűkebb értelemben, azaz a fűtési rendszer és a fűtendő környezete szerves egységet képez, sőt tekinthetők egy rendszer két fő elemének is. Ezért található a mellékletek között II. szám alatt az épületek energiaviszonyainak elmélete.

4. 1. Fűtési rendszer

A korszerű fűtési rendszerrel szembeni elvárások:

- A termikus kényelemérzet legyen az adott rendeltetésű helységnek megfelelő.
- A helység levegőjének relatív nedvességtartalma 40-70% között legyen légnedvesítés nélkül.
- A levegő függőleges hőmérsékletgradiense a padló felett legfeljebb 2,5 °C/m legyen. A légtér legyen stabil, azaz a fűtési rendszertől, a helyiség rendeltetésétől és a napszaktól függetlenül padlószint felett 1,5 magasan mérve a beállított értéket tartsa.
- Hosszú élettartamú és kis karbantartási igényű legyen.
- Könnyen kezelhető, kis késedelemmel rendelkező, jól szabályozható legyen.
- A beépítés, a kivitelezés költségei alacsonyak legyenek.
- Az üzemeltetés költségei szintén legyenek alacsonyak.
- A kellemes hőérzet, takarékos hőfelhasználással legyen elérhető, a korszerű hőszigetelések alkalmazásával.
- Ne változtassa meg a levegő kémiai összetételét, ne növelje a portartalmat, a zajt.

- Környezetvédelmi szempontból is megfelelő legyen.

A központi fűtési rendszereknél az energiahordozó eltüzelése kazánban történik. Az így előállított hőenergiát közvetítő közeg segítségével juttatjuk el a hőleadókhoz. A központi fűtőberendezés fő részei: a tüzelőberendezések, a csővezeték-hálózatok, elzáró és szabályozó szerelvények, a biztonsági berendezések, a hőleadók.

A melegvíz-fűtések a következő szempontok alapján csoportosíthatók: az energiahordozók, a keringetés módja, a hőleadás típusa, a csővezetékek kialakítása, elrendezése, a fűtőberendezések kiterjedtsége.

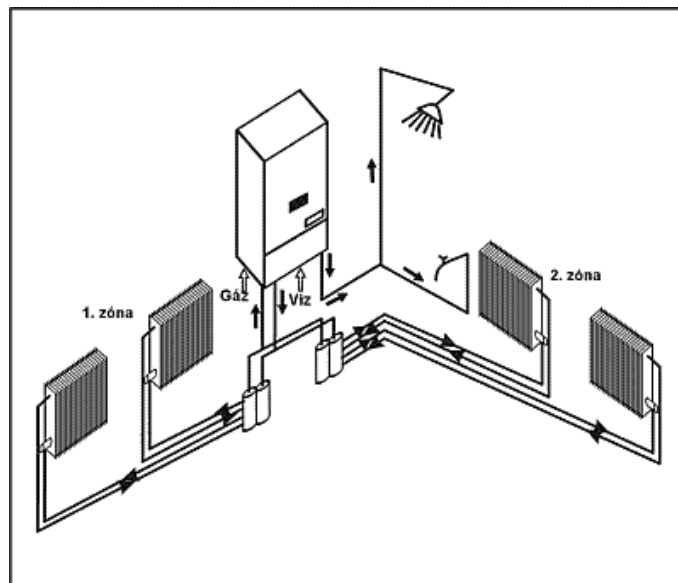
Az energiahordozó eltüzelése szerint a tüzelőberendezések lehetnek szilárd tüzelőanyaggal üzemelők, olajtüzelésűek, gáztüzelésűek. Szerkezeti anyagukat tekintve ezek a leggyakrabban acéllemez- és öntöttvas-kazánok. A kazán kiválasztásánál lényeges szempont, hogy a kazán csak akkora teljesítményű legyen, amekkorát az épület vagy a lakás hőigénye megkíván. Mint tudjuk a tüzelőberendezések névleges teljesítményükhöz közeli paraméterek mellett működnek a legjobb energetikai hatásfokkal.

A fűtési víz keringtetésének módja szerint megkülönböztethetünk gravitációs és szivattyús, azaz kényszerkeringtetéses fűtőberendezéseket. „A gravitációs fűtéseknel a fűtővíz keringtetését a meleg és a lehűlt víz fajsúlykülönbsége, a hőtermelő és hőleadó magasságkülönbsége idézi elő. Előnye, hogy a fűtés elektromos energia nélkül is működhet. Hátránya, hogy a kazánt a fűtőtestekkel összekötő csővezeték lényegesen nagyobb méretű a kényszerkeringetésűnél, vagyis megvalósítási költsége nagyobb. A mai fűtési gyakorlatban gravitációs fűtések elenyésző hányadban alkalmaznak.” [13]

„A kényszerkeringetésű vagy szivattyús melegvíz-fűtések előnye, hogy a rendszer vékonyabb csővezetékekből és kisebb vízterű hőleadókból építhető meg. Ennél a megoldásnál jobban alkalmazhatók nagyobb ellenállást képviselő kisebb méretű elzáró és szabályozó szerelvények. A szivattyúzás villamosenergia-költsége viszont állandóan jelentkezik.” [13]

A csővezetékek különböző anyagúak lehetnek, így készülhetnek acélcsőből szabadon, rézcsőből szabadon vagy eltakarva (falban, falszegélyben, padlóban)

szerelve, műanyag csövekből falban és padlóban szerelve, továbbá különféle fém- és műanyagcső kombinációkból. A kazán és a fűtőtestek közötti csővezeték kialakítása szerint lehet kettős vagy egycsöves fűtési rendszer. A kétsöves fűtésnél a fűtőtestekhez két csővezeték megy, amiből az egyik előremenő melegebb víz, a másikon a lehűlt, visszatérő víz áramlik. A fűtőtestek párhuzamosan vannak kapcsolva, így minden fűtőtesthez közel azonos hőmérsékletű víz érkezik (4. 1. ábra).

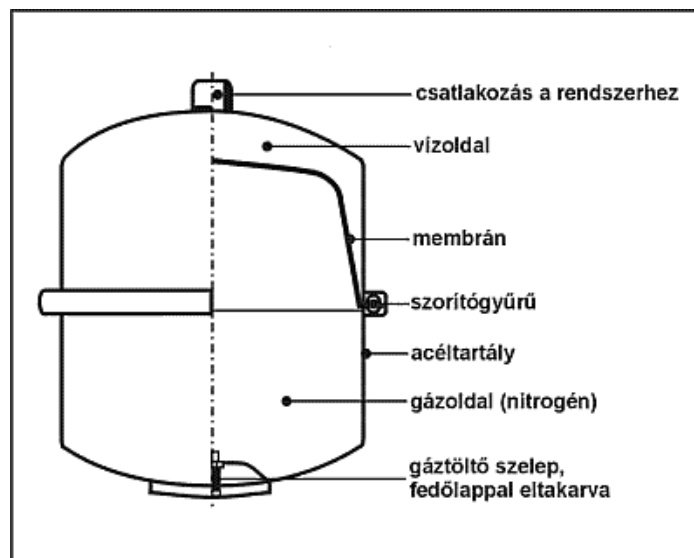


4. 1. ábra. Kétszónás, kétsöves fűtési rendszer, osztó gyűjtővel.

A hőleadók lehetnek sugárzó vagy konvekciós típusúak, miszerint a hőleadás nagyobb hányada konvekciósan vagy sugárzás útján történik. A jellegzetesen konvekciós hőleadók a radiátorok. Az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések pedig a mennyezet-, fal- vagy padlófűtések. A fűtővizet a kazán és a hőleadók között általában szivattyú keringtetik. A szivattyúkat a fűtőberendezés teljesítményéhez igazodóan kell megválasztani. A korszerű szivattyúk jelleggörbéje lépcsőzetesen vagy folyamatosan

változtatható, ezzel a szivattyú munkapontját hozzá lehet igazítani a fűtési hálózat hidraulikai ellenállásához, illetve változó tömegáramú berendezést lehet létrehozni.

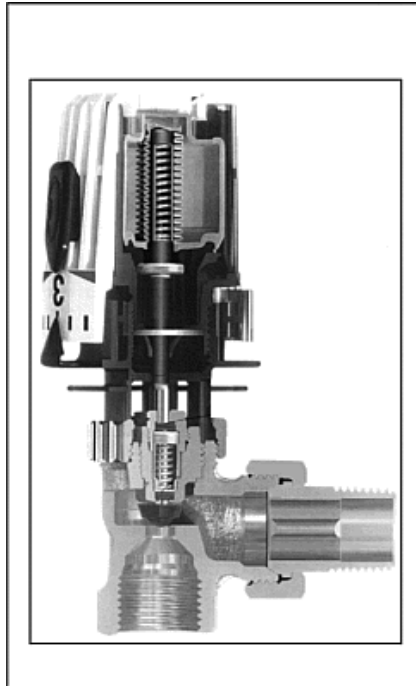
A melegvíz fűtési rendszerek lényeges szerkezeti eleme a központi vagy helyi légtelenítés, amellyel biztosítani lehet, hogy a berendezésben csak a víz keringjen. A víz hőtágulásának felvételére nyitott vagy zárt tágulási tartályt lehet alkalmazni. A nyitott tágulási tartályokhoz csatlakoznak a tágulási, biztonsági előremenő és visszatérő, valamint a túlfolyó vezetékek, míg a zárt tágulási tartályok lehetnek állandó vagy változó nyomásúak. A zárt fűtőberendezés lényeges biztonsági eleme az ábrán látható a biztonsági szelep és a nyomásmérő. (4. 2. ábra)



4. 2. ábra. Tágulási tartály.

A központi fűtés akkor jó hatásfokú, ha a kazánban előállított víz lehűlése nem jelentős a hőleadóig, ezért a fűtetlen helységekből szerelt fűtési alap-vezetéseket hőszigeteléssel célszerű ellátni.

A központi fűtőberendezéseknél a helyi szabályozást termosztátfejes radiátorszelepekkel oldható meg (4. 3. ábra). Ezek a berendezések érzékelik a helyiség hőmérsékletét, és azt a mindenkori hőigény szerint beállított értékre szabályozzák.



4. 3. ábra. Folyadékfeltöltésű termosztatikus szelep.

A *központi szabályozás* megvalósítható a kazánoknál a tüzelés intenzitásának szabályozásával vagy a fűtővíz hőmérsékletének egyéb úton történő változtatásával, ahol a szabályozás lényege, hogy az épület és a fűtőberendezés szabályozástechnikai jellemzőjének figyelembevételével összefüggés állapítható meg a külső hőmérséklet és a fűtővíz hőmérséklete között. A teljesítmény szabályozása a fűtővíz hőmérsékletének változtatásával érhető el, ahol ezt táblázatok alapján a tüzelés intenzitásának változtatásával a fűtőberendezés kezelője végzi, vagy automatikusan működő szabályozó berendezés avatkozik be a külső hőmérséklet folyamatos mérése alapján.

Az energiatakarékosság lényeges eleme lehet a családi háznál és lakásoknál alkalmazható, programozható szobatermosztát, aminek segítségével az épület fűtöttségét napszakok szerint változtathatjuk. Így például az éjszakai hőmérséklet csökkentése 15-16 °C-ra kifejezetten jó hatású. Ha jó hőszigetelésű, azaz jó a hőtároló képességű falak esetében így a fűtés teljesen leállítható, és a hőmérséklet ennek ellenére

nem süllyed reggelre 15 °C alá (az újra felfűtés így könnyű, és jelentős energiafelhasználás takarítható meg). De például fűtőtest-hőfokszabályozó szeleppel a helyiség rendeltetésének megfelelő mértékű hőmérséklet állítható be. A különböző helyiségek általánosan elfogadott hőmérséklet igénye a következő: a lakószoba 20 °C, a gyerekszoba 21-22 °C, az étkező 20 °C, a konyha 18 °C, a hálószoba nappal és éjszaka 16-18 °C, a fürdőszoba a használati idő alatt 23 °C, csecsemőknél ez 28 °C, az előtér és közlekedő 15 °C.

4. 1. 1. A fűtési rendszerek szabályozásának lehetőségei

A fűtési hőmérséklet, a lakóhelyiségek megkívánt hőmérséklettartása sok mindentől függ, például a külső hőmérséklettől, a napsugárzástól, a szélereősségtől, a hőveszteségtől és a helyiségben található hőforrásoktól. Egy beállított és ezzel együtt takarékos fűtőberendezés üzeme tehát csak állandó szabályozó berendezéssel érhető el. Egy jó szabályozó az előremenő víz hőmérsékletét pontosan beállítja, ezért célszerű egy automatikus szabályozó alkalmazása, mely a belső és külső hőmérsékletet veszi figyelembe és a helyiség hőmérsékletét optimális tüzelőanyag-felhasználással megfelelő hőmérsékletre szabályozza.

A dióhéjban néhány energiatakarékos szabályozórendszer-változatról is essék szó. Az előremenő víz hőmérsékletének szabályozása történhet kézi keverőszeleppel. A víz hőmérsékletet a kazánban tartósan 60 °C-on kell tartani, de nagyon hideg napokon a kazán hőmérsékletet magasabbra is be lehet állítani. Az előremenő víz hőmérsékletét a visszatérő víz hozzákeverésével szabályozza. A fűtőrendszerben lévő vízmennyiség határozza meg, a rendszer tehetetlenségét, azaz hogy a berendezés milyen gyorsan alkalmazkodik a változó időjárási viszonyokhoz.

Belső hőmérsékletet érzékelő szabályozó alkalmazásakor a kiválasztott helyiségben elhelyezett szobatermosztáton kézzel vagy egy kapcsolóórával lehet a kívánt hőmérsékletet beállítani. A hőfokérzékelő kapcsolhatja a keringető szivattyút ki és be, és így állandó a szükséges meleg hozzávezetése a fűtőtestekhez. Hőfokérzékelő

elhelyezésére olyan helyet válasszunk, ahonnan biztosítható az egész ház egyenletes hőelosztása.

Fűtőtest-hőfokérzékelő szelep (keverőszelep és keringető szivattyú) ön maga szabályozza a fűtőtest által leadott hőmennyiséget, az átáramló víz mennyiségének növelésével vagy lezárásával, a beállított hőmérsékletnek megfelelően, a helyiség valóságos hőfokigényének figyelembevételével. [11]

4. 2. Irányítástechnikai bevezető

Automatizálás az irányítási folyamatok önműködővé tétele, részeinek tekinthetők a műszaki-technológiai folyamatok mérése, vezérlése és szabályozása, illetve a folyamatok és berendezések kidolgozása, gyártása, szerelése, üzembe helyezése, üzemeltetése és karbantartása. „Az irányítás tehát olyan művelet, amely valamely folyamatot elindít, fenntart, megváltoztat vagy megállít. [...] A jel a jelhordozó minden olyan értéke, vagy értékváltozása, amely alkalmas a hozzárendelt információ megszerzésére, továbbítására vagy tárolására.”¹ Az irányított folyamat állapotát jellemző, illetve befolyásoló paramétereket - például a hőmérséklet, a nyomás, a koncentráció - jellemzőknek nevezzük. „Az irányítási rendszert az irányított és irányító berendezés együttese képezi.”² Az irányítás közvetlen célja, hogy a folyamatba egy alkalmas helyen úgy avatkozzunk be, hogy a beavatkozás következtében egy adott paraméter állandó értéken maradjon, vagy meghatározott módon változzon a zavaró hatások ellenére. Az irányítás attól függően, hogy tartalmaz-e visszacsatolást, lehet vezérlés vagy szabályozás.

Az alapjelképző, a különbségképző, a jelformáló és az erősítő szervek egybeépített szerkezeti egysége alkotja a szűkebb értelemben vett szabályzót, amely az ellenőrző jel fogadására, az alapjel előállítására, az ítéletalkotás és a jelformálás műveletének elvégzésére alkalmas. A végrehajtó jel a rendelkező jellel arányos, ha a jelformáló szerv arányos (P) működésű. A szabályozási körben a beavatkozás helyén van elhelyezve a végrehajtó és a beavatkozó szerv, gyakran egy szerkezeti egységet

¹ [16] 8-9. oldal.

² [16] 10. oldal.

alkotnak. A végrehajtó szervet a szabályzó kimenő jele, a végrehajtó jel működteti. A végrehajtó kimenő jele a beavatkozó jel, ami a beavatkozó szerv elmozdulását jelenti. A beavatkozó szerv az érzékelő szervhez hasonlóan közvetlen kapcsolatban áll a szabályozott szakasszal, annak bemenő jellemzőjét, a módosított jellemzőt befolyásolja. A módosított jellemző rendszerint anyagáram vagy energiaáram jellegű mennyiség, változtatása megszabja a szabályozott jellemző alakulását.

Távadók érzékelőkből és mérőjel-átalakítókból állnak, s szerkezetileg egy egységet alkotnak. Az érzékelő szerv közvetlenül érintkezik a folyamattal, s annak mérendő jellemzőjének pillanatnyi értékével kapcsolatos, többnyire arányos, időkésleltetés nélküli természetes jelet ad. Az érzékelő kimenőjelét a mérőjel-átalakító egységes jeltartományú jellé alakítja át. [16]

4. 3. Szabályozás

„A szabályozás feladata az, hogy a szabályozott jellemzőt az alapértéken, vagy annak nem túl nagy környezetében tartsa a különféle zavaró jellemzők hatása ellenére. [...] A szabályozással szemben támasztott legalapvetőbb követelmény a stabilis működés, tehát a szabályozó tegye lehetővé, hogy zavarás esetén a szabályozott jellemző visszatérjen előző egyensúlyi helyzetébe. A stabilis működésű szabályozás akkor lenne ideális, ha a szabályozott jellemző értéke mindig az alapértéket venné fel, tehát a szabályozásnak nem lenne hibája sem az átmeneti, sem az állandósult állapotban. A szabályozási körben mindig meglévő, időkésést jelentő tagok (szakasz időkésleltetése, érzékelési, beavatkozási késések, szabályozó saját időkésleltetése) miatt azonban ideális szabályozás nem valósítható meg. Egy szabályozási kör működése minél jobban megközelíti az ideális szabályozást, a rendszer kiépítése annál bonyolultabb, költségesebb. A szabályozási rendszer megvalósításánál észszerű kompromisszumot kell találnunk a szabályozás jósága és az egyszerűbb, kevésbé költséges berendezéseket tartalmazó kiépítés között. A stabilis működésen túlmenően a kialakított szabályozási rendszernek több, ún. minőségi követelményt is ki kell elégítenie.”³

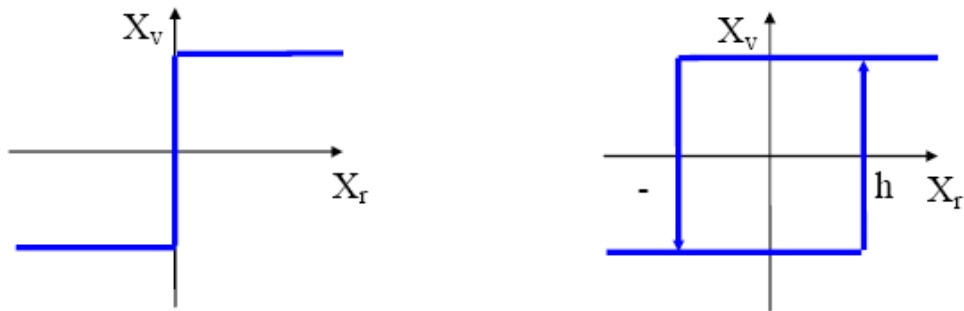
³ [15] 7. oldal.

A szabályozott szakasz jelformáló, jelátvivő tulajdonságát tekintve, az arányos szakasznál a szabályozott jellemző arányos a módosított jellemzővel állandósult állapotban. PT_1 viselkedés jellemző, ha a szakasz elsőrendű időkéleltetéses, azaz a szakasz módosított jellemzőjének változására a szabályozott jellemző rögtön változni kezd, de csak bizonyos idő elteltével (időkéleltetés) mutat arányos változást. PT_1 szakasznak tekinthetők általában a közvetlen hőátvitellel kapcsolatos folyamatok. Ha viszont a hőátvitel nem közvetlen, akkor már másodrendű időkéleltetéses, arányos szakasról (PT_2) beszélhetünk. E szakaszok két energiatárolót tartalmaznak, melyek egymástól nem mindig választhatók el szerkezetileg, ezért használunk két időállandó helyett egy T_2 közepes időállandót és egy csillapítási tényezőt (ζ).

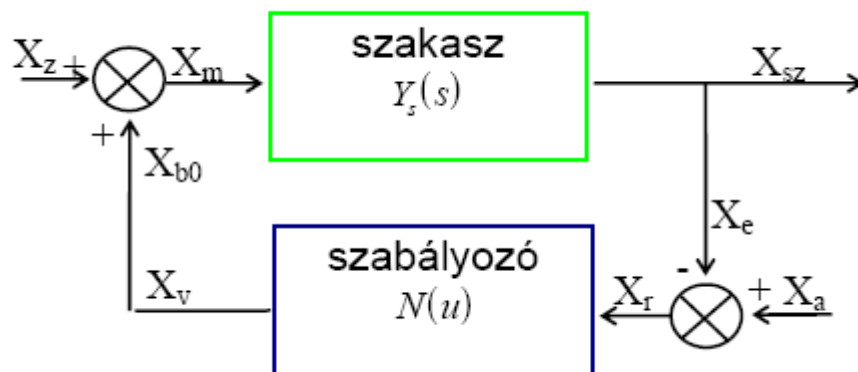
Ezen kívül meg kell említeni a holtidőt, ami az egyes transzport folyamatok véges sebessége idéz elő. Azt az időtartalmat tekintjük holtidőnek, amely a módosított jellemző változása és a szabályozott jellemző változásának kezdete között telik el. [15]

4. 3. 1. Állásos szabályozások

A műszaki gyakorlatban, igénytelenebb szabályozási feladatok megvalósításánál igen gyakran alkalmazzák az ún. állásos szabályozókat, mint például a termosztátokat. Az állásos szabályozók végrehajtójele csak véges számú, diszkrét értékeket vehet fel, amely ha a csak két különböző állapotot jelent (1/0 jelállapot, amely megfelelhet valamely áramkör megszakításának, illetve zárásának, be- ill. kikapcsolásnak - pl.: egy relé segítségével -), akkor kétállású (vagy kétpontos) szabályozóról beszélünk. Ha ugyanazon rendelkező jel értéknél kapcsol be, illetve ki a szabályozó, akkor hiszterézis nélküli a szabályozó statikus karakterisztikája, ha más-más rendelkező jel értéknél kapcsol be, illetve ki a szabályozó ($\pm h$), akkor hiszterézises a statikus karakterisztika.



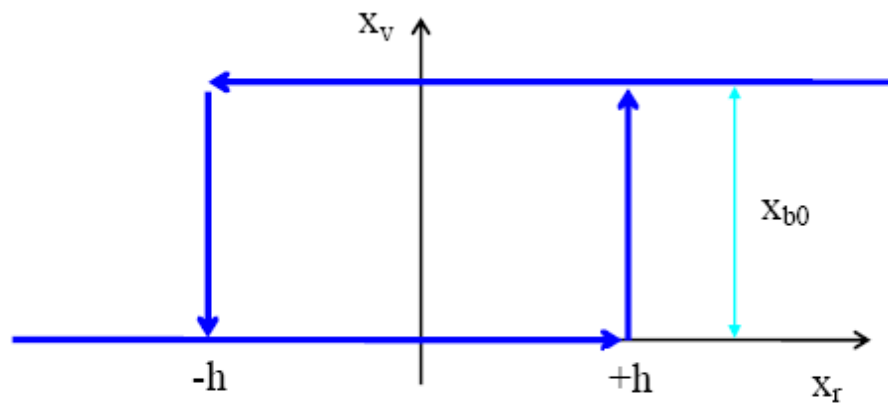
4. 4. ábra. A hiszterézis nélküli és a hiszterézises kétállású szabályozó statikus karakterisztikája



4. 5. ábra. Szabályozási kör hatásvázlata.

A termosztátos szabályzót nemlineárisnak tekintjük és elkülönítve, $N(u)$ leírófüggvénnyel jellemezzük, míg a többi lineáris tagot összevontan kezeljük és az átviteli függvénnyel közelítjük, ahol:

- A - a jelátviteli tag erősítése,
- T_1 - a domináns tárolókéesség,
- T_H - az összes többi időállandót és holtidőt tartalmazó egyenértékű idő-állandó



4. 6. ábra. A szabályzó statikus karakterisztikája

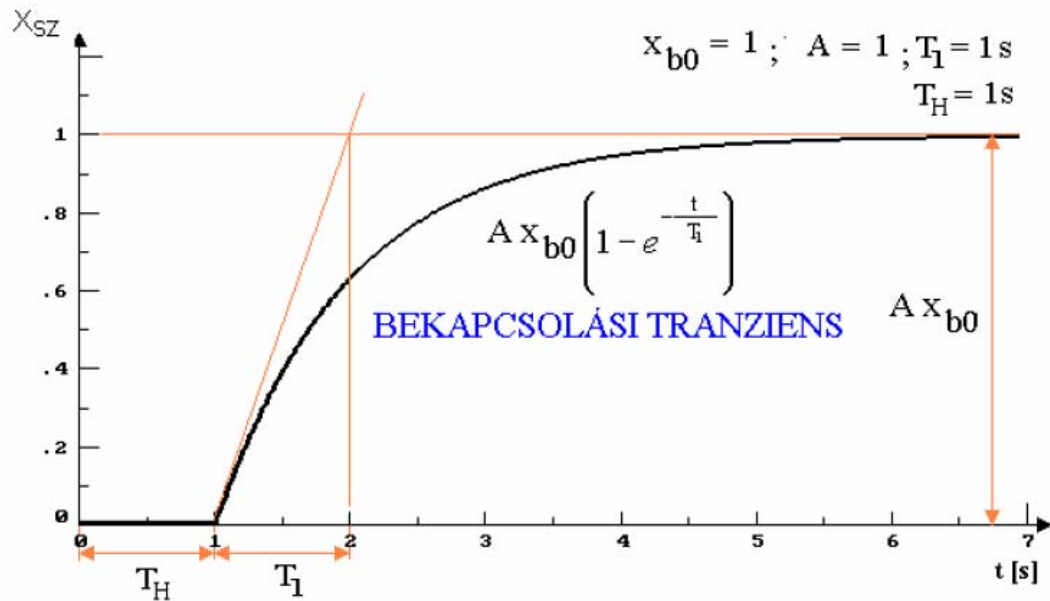
x_{b0} : beavatkozó jel

h : hiszterézis érték

A szabályzó a bekapcsolási állapotban $x_{b0} =$ állandó jelet ad az $Y_s(s)$ átviteli függvényű tag bemenetére, amelyen a szabályozott jellemző T_H holtidő után az

$$x_{sz}(t) = Ax_{b0}(1 - e^{-t/T_1}) \quad (4.7.)$$

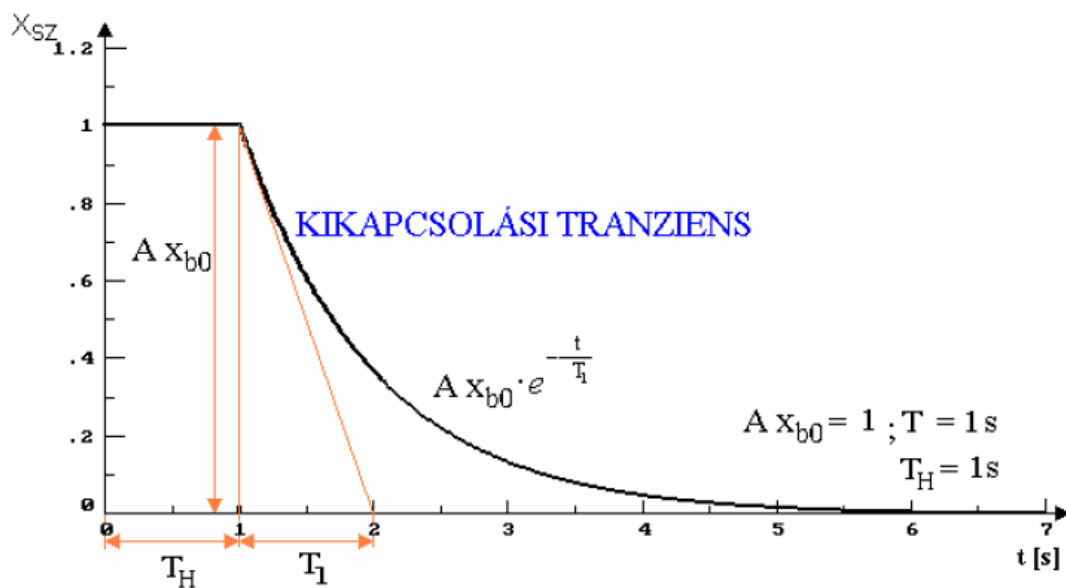
függvény szerint változik, az egytárolós arányos jellegének megfelelően.



4. 8. ábra Bekapcsolási tranziens.

A függvény $t \rightarrow \infty$ esetén az $A x_{b0}$ értékhez tart (bekapcsolási tranziens).

Ha a szabályozó kikapcsol, $x_b=0$ jelet ad $Y(s)$ bemenetére, a szabályozott jellemző a kikapcsolási tranziens szerint változik és zérushoz tart. [15]



4. 9. ábra. Kikapcsolási tranziens.

„A szabályozó kimenetén x_{b0} jel keletkezik, amelynek a hatására a szabályozott jellemző T_H holtidő után a bekapcsolási tranziens szerint változik. A szabályozott jellemző (a hőmérséklet) és így az ellenőrző jel mindaddig növekszik, míg $+h$ értékkel meg nem haladja az alapjel értékét, x_{sz} növekedésével x_r csökken, majd negatívra változik, míg elérve $-h$ értéket, a szabályozó kikapcsol és kimenete $x_b = 0$ értékű lesz. A kikapcsolás hatása azonban csak T_H holtidő után jelentkezik, ezen idő alatt a szabályozott jellemző még a bekapcsolási tranziens által előírt módon változik, ami Δx_{sk} kikapcsolási túllendülést okoz. A holtidő elteltével a szabályozott jellemző a kikapcsolási tranziens szerint csökken mindaddig, míg h értékkel kisebb nem lesz az alapjelnél. Ekkor a rendelkező jel ismét $x_r = +h$ stb. Hasonlóan a kikapcsoláshoz, a Δx_{sb} bekapcsolási túllendülés értéke.”⁴

⁴ [15] 161. oldal.

5. Miért a HALEX 25?

5. 1. Alternatívák

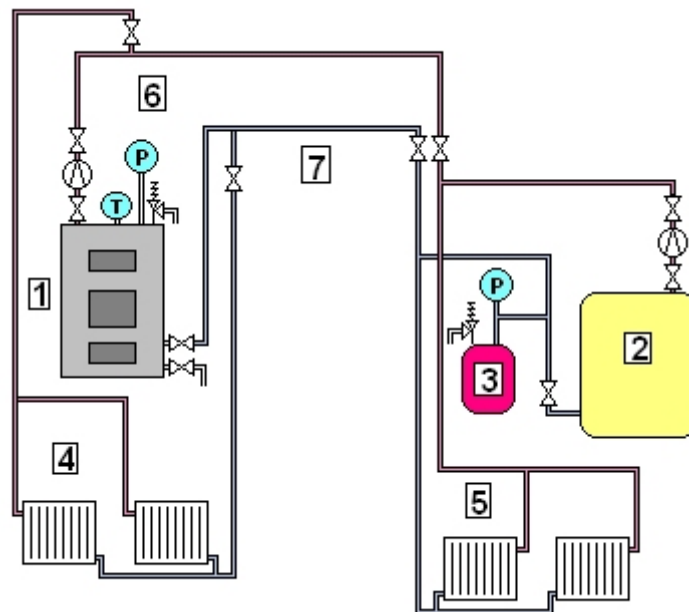
Ez a rész nem különböző aprítékégető berendezésekről szól, hanem az alternatív fűtési (al)rendszerekről. A fűtési rendszer megtervezése, azon belül a HALEX 25 helyének és szerepének tisztázása gondos előkészítést igényelt már a ház átalakítási terveinél is. Fontosnak tartottuk, hogy valódi alternatív megoldásokat valósítsunk meg az energia felhasználás minden területén. Jelen dolgozat írása közben sem készült el még minden. Az ilyen „több lábon álló” megoldások beruházási költsége magasabb, mintha csak egyfajta fűtési mód valósulna meg, de hosszútávon a választás lehetősége megtérül, hisz mindig az energiatakarékosabb megoldást használhatjuk. Másik megközelítésben pedig az esetleges tüzelőanyag-hiány sem okozhat gondot, hisz nem valószínű, hogy egyszerre szünetel az áramszolgáltatás, a gázszolgáltatás és még a tűzifa is elfogy, sőt a faapríték is. De gondolhatunk arra is, hogy ha több napig nem lakott a ház, akkor nem üzemeltet senki fafűtési rendszert, még automatikusot sem. Ilyenkor sem hűl le nagymértékben a ház, ha üzemel a gázkazán, főleg ha programozható a termosztát és még telefonon keresztül is felhívható, hogy a lakók megérkezésekor kellemes hőmérséklet uralkodjon.

De milyen megoldások közül is lehet választani. Mivel a teljes rendszer összekötött, ezért minden fűtőtest ellátható - a házban és a melléképületben is - mindkét kazánnal. A gázkazán a ház szuterinjában található, s tőle hozzávetőlegesen 15 méterre a melléképület szuterinjában a fatüzelésű kazán. Általában vegyes tüzelésű kazán elnevezést használnak, de ez a kazán kimondottan a fával való tüzelésre lett paraméterezve (füstgázterelő - csöves szerkezetű-, konvekciós felületek, kis víztér, hengeres kazánköpeny, csőrostély). További választási lehetőséget biztosít, hogy a fatüzelés is alternatív, azaz hasábfával, darabos fahulladékkal is megoldható, illetve az aprítékégető közbeiktatásával 20 mm-nél kisebb fahulladékkal is, ráadásul automata üzemmel. Ezen kívül csak a lakás komfortossága növelt villamos padlófűtéssel a fürdőszobákban, valamint a felső szinten a dupla kémény másik ágába kandalló köthető,

ami később szintén ráköthető a fűtési-rendszerre, és üzeme közben rásegít a másik kazánok fűtésére az esztétikai élmény mellett.

Természetesen egy ilyen méretű és különböző rendeltetésű alrendszerekből álló fűtési-rendszerrel célszerű szétválasztó szerelvények beépítése, amivel a különböző berendezések, azok üzeme egymásról leválaszthatók, illetve összeköthetők. Ezek lehetnek egyszerű elzáró szelepek, vagy mágnes szelepek.

De nemcsak a két kazán van ráköthető a fűtési rendszerre, hanem a kazánokhoz elsősorban külön-külön illesztett szivattyúk esetében is lehetőség van arra, ha valamilyen meghibásodás miatt szükséges, hogy átvegyék a másik feladatát, s így nem áll le a keringetés. A már megvalósult fűtési hálózat műszerezési folyamatábráján (ábra) mindezek láthatók.



5. 1. ábra. Az alternatív fűtési rendszer szerkezeti vázlata.

- 1 - fatüzelésű kazán
- 2 - gázkazán
- 3 - tágulási tartály
- 4 - műhely fűtés, a rövid kör, időben később került kiépítésre

- 5 - lakás fűtés, a radiátorok egy része termosztátos radiátor szeleppel van ellátva, a hosszú kör
- 6 - előremenő víz
- 7 - visszatérő víz

Jelenleg csak a lakás fűtését végzi a rendszer, de ki fog egészülni a műhelyek fűtésével is, és egy használatimelegvíz-készítővel is. A műhelyfűtéssel együtt egy mágnesszelep kerül beszerelésre, ami a kazán már kihűlő vizét leválasztja a lakás felé előremenő ágról, arra már nem fog keringeni a víz, és csak a műhely felé fogja biztosítani a fagymentességet. Szintén mágnesszeleppel lesz megoldva a két szivattyú közötti váltás, ugyanis ha a fatüzelésű kazán szivattyúja valamilyen okból kiesik, azonnal a helyébe lép a gázkazán szivattyúja. Természetesen a gázkazán védelme érdekében megoldásra kerül annak a leválasztása a keringő vízrendszerről, azaz a gázkazánon ne folyjon keresztül fűtött víz. (ThermoColor ÖV-35)

A már említett gázkazán csak alternatív biztonságítartalék-fűtési funkciót tölt be. Célunk a fahulladék hasznosítása mellett, a környezettudatos viselkedés, amely arra ösztönöz, hogy minél kevesebb hulladékkal, káros anyag emisszióval terheljük környezetünket, s mindezt a legkisebb költségekkel.

5. 2. Röviden a kiépített fűtési rendszer egyes berendezéseiről

A fűtendő terek, maga a fűtési rendszer, és az egész épületgépészeti együttes jól átgondolt tervezés eredménye, a benne élők igényeihez, komfort elképzeléseihez teljes mértékben igazított. Rövid műszaki leírás fog háttérrel és életterrel adni egész témánknak, hisz a rész egész nélkül nem élhet.

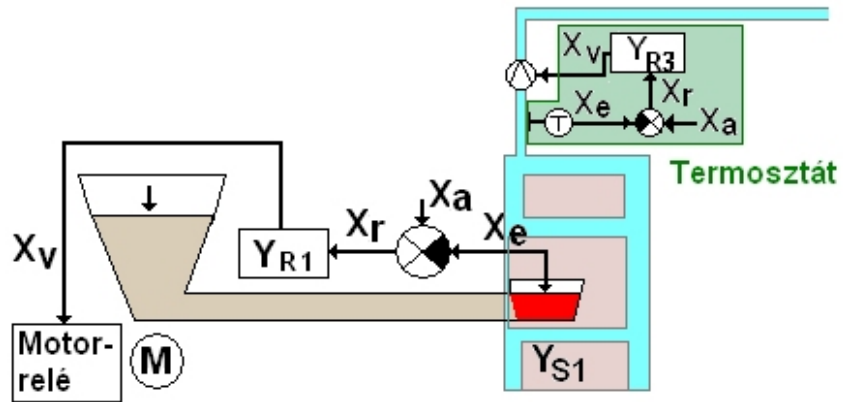
A *kazán*, amit az aprítékégetővel üzemeltetünk, egy egyedi gyártású hengeres testű kazán, ami 35000 W hőteljesítménnyel rendelkezik. Jellemző tulajdonságai: csőrostélyos, duplafalú, kis vízterű, a füstgázterelők egyben a kazán vízterét is jelentik nagy hőátadó felületet adva, mivel összehegesztett csövek alkotják. Hagyományosan három ajtaja van, a tüzelőanyag adagoló, a salakozó, és a tisztító-betekintő. Alsó bekötésű a visszatérő víz, és felsőbekötésű az előremenő víz. A víz keringetését egy

MYSON (Type: LA5210 N° 800) szivattyú végzi. (A műszaki paramétereit: 50 Hz, 220 V, Max. 10 bar, Max. 110°C, 100 W.)



5. 2. kép. A kazán nyitott tüzelőanyag adagoló ajtóval.

A későbbi változtatásokkor az előremenő ágra még a szivattyú előtt egy *csőtermosztát* került, amellyel mért előremenővíz-hőfok, irányítja a szivattyút. A csőtermosztát kapcsolási hőmérséklete 25 °C-ra van beállítva, mivel kényszer cirkulációs rendszerről van szó, ezért a kazánon kívül eső csőszakasz (a szivattyú előtti előremenő ág) lassabban melegszik, mert nincs áramlás, csak hőkúszás, ezért cca. 40 °C-nál kapcsol csak be a szivattyú és 25 °C-os vízhőfoknál leállítja a szivattyút, hogy az ne hűthesse ki a fűtött teret. (Megjegyzésként hozzátehetjük, mivel a kazánház az épület alatt található, nyáron átállított csőtermosztáttal hűthető is a radiátorokkal a belső tér.) Ez a cca. 15 °C-os hiszterézis nagyobb a gyári értéknél - ami 5 °C-os - és ez kedvezőbb a számunkra.



5. 3. kép. Szivattyú a csőtermosztáttal. A szabályozási kör része a termosztáttal szabályozott szivattyúműködtetés.

A kazán biztonsági szelepe nyomásmérővel⁵ kombinált, túlnyomásakor kinyit, és egy gyűjtőtartályba vezeti a vizet, gőzt. A kazánnak a ~ 3,5 bar-os volt a nyomáspróbája.

Felfűtéskor folyamatosan emelkedik a vízhőfok. Mivel jelentős hőpuffer képződik a kazánban a szivattyú indulásakor egyből forró víz kerül a rendszerbe, ami jelen esetben egy lengéssel áll be a kívánt hőmérséklet, mert a visszatérő víz, ami a hőjét a radiátorokon keresztül átadta a helységek levegőjének átmenetileg lehűti azt.

5. 3. Hővesztesség?

A hővesztések csökkentése érdekében a szakirodalom a szigetelés fontosságára hívja fel a figyelmet. Én viszont a látszólagos hővesztésekre szeretném a figyelmet irányítani. Azért különítem el a valódi és a látszólagos hővesztésget, mert az utóbbit

⁵ Lásd a IV. 11. képet.

hőnyereségnek tekintem. Teszem ezt azért, mert megkímél a szigetelés költségeitől, és egyéb plusz fűtési költségektől.

Először vegyük magát a kazánt. Ha a kazánházunk egyben tüzelőanyag tároló is, akkor a szigetetlen kazán által sugárzott hő temperálja a kazánházat, és szárítja az ott tárolt tüzelőanyagot, és ezzel növeli az égés hatékonyságát.

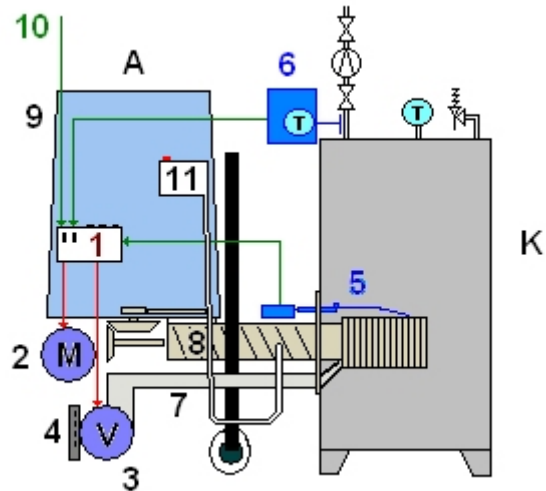
Másodszor már a helyi sajátosságokat figyelembe véve szólhatok a műhely felé vezető fűtővezetésekről. Ha az előremenő és visszatérő ág között vezetjük el a hidegvíz vezetékét (ívóvízvezeték) és még össze is szigeteljük őket, akkor a fűtési időszakban azon az 5 m-en kézmosásra alkalmas langyos-meleg vizet kapunk külön vízmelegítő üzemeltetése nélkül.

Harmadszor a melléképület szuterinja (kazánház) fölötti fűtetlen nyári konyháról essék szó, ahol a kémény is természetesen keresztül halad. Virágok fagymentes telettetését teszi lehetővé a kazánházból fölszivárgó és a kémény falából sugárzó hő. A melléklet grafikonjáról⁶ leolvasható, hogy ez több mint + 4 °C-ot jelent, és a fűtésekor ez mindig egyenletesen emelkedik.

5. 4. A HALEX 25 működése

Az irányítási feladat megoldásához elengedhetetlenül szükséges a berendezések és azok részeinek, valamint a működésük mélyreható ismerete. A berendezés pontos megnevezése szerint aprítéktüzelésű automatikus égőfej vegyestüzelésű kazánokhoz. Az égőfej alkalmas minden 20 mm szemcsenagyság alatti faapríték, fahulladék magas hatásfokú közvetlen eltüzelésére, bármely vegyestüzelésű kazán közbeiktatásával. A következő ábrán ezt az összeillesztést szemléltetem, és a IV.1. képen üzem közben látható a kazán és az aprítékégető csatlakozási felülete.

⁶ III. 1. és III. 2. ábra.



5. 4. ábra. A kazánhoz illesztett aprítékégető szerkezeti vázlata.

- 1 - Elektromos doboz
- 2 - Csigahajtó motor
- 3 - Égéslevegő ventilátor
- 4 - Levegő mennyiség beállító lemez, perdület szabályozó
- 5 - Égőkamárszint érzékelő és távadó
- 6 - Csőtermosztát kazánvízhőfokra szabályoz
- 7 - Égéslevegő szállító cső
- 8 - Anyagtovábbító (faapríték) csiga
- 9 - Tüzelőanyag-tartály
- 10 - Szobatermosztát jelvezetéke
- 11 - Oltóvíz-tartály
- A - Aprítékégető
- K - Kazán

A berendezés kifejezetten fahulladék eltüzelésére lett kifejlesztve. Az aprítékot a tüzelési tartályba kell betölteni. A tartály leürítési ideje nagymértékben függ a tüzelőanyag fűtőértékétől, és a kazán teljesítményétől, illetve a hő elvételétől. Mindezekről függően egy teljesen feltöltött tartály üzemideje 2 – 10 óra között van.

Az égőfej üzembe helyezéséhez, azt a nyitott tüzelőajtó elé kell állítanunk, vagy ha az már üzemelt, akkor kihúzzuk a kazánból, és a tűzteret megtisztítjuk a visszamaradt salaktól, majd ellenőrizzük a légbefúvó furatok tisztaságát. Ezután kell a tüzelőanyag tároló tartályt feltölteni faaprítékkal, majd a berendezést áram alá helyezni (a szabványos 380 V, 16 A-os, 5 pólusú aljzatban csatlakoztatjuk a villamos hálózatra, és az elektromos dobozon található piros kapcsolójával és a motorvédő automata gombjának benyomásával). Fontos, hogy eközben a ventilátor zöld színű kapcsolója kikapcsolt állapotában legyen.

A kapcsoló bekapcsolásakor a tüzelőanyag behordása megindul. Miután az égőkösárba megfelelő mennyiségű tüzelőanyag került, a behordás automatikusan leáll. Ezután a tüzelőanyagot el kell teríteni úgy, hogy a befúvónyílásokat eltakarja. Az égőfejben lévő aprítékot meggyújtjuk, és az égési levegőszabályzó csappantyúját kinyitjuk, majd bekapcsoljuk az égéslevegő ventilátort. A tüzelőanyag meggyulladás után az égőfejet betoljuk a kazánba úgy, hogy a takarólemez a kazánajtó nyílását a legjobban lefedje. Fűtéskor a kazánon lévő ajtókat és nyílásokat a tüzelőajtó kivételével zárva kell tartani. Miután az égőfejben az intenzív égés kialakult a csappantyút a kazán huzatához igazodva állítjuk be. Ekkor az aprítékégetőt a kazán teljesítményéhez kell beállítani.

Üzem közben, mivel az égőfej automatikus, csak a tüzelőanyag töltéséről kell gondoskodni. A tüzelőanyag-tartály feltöltését megfelelő odafigyeléssel kell végezni, tekintettel arra, hogy a megengedettnél nagyobb méretű apríték komoly károsodást okozhat a berendezésben. Az asztalosipari berendezésekhez kapcsolt elszívó berendezésekből kikerülő fahulladék rostálás nélkül felhasználható. Ha más eredetű az apríték, akkor rostát célszerű alkalmazni, amely biztosítja, hogy maximum 20 mm élhosszúságú legyen a tartályba kerülő anyag. A tartályban lévő aprítékot tömöríteni nem szabad, és tűzbiztonsági szempontból üzem közben a tartály fedelét zárva kell

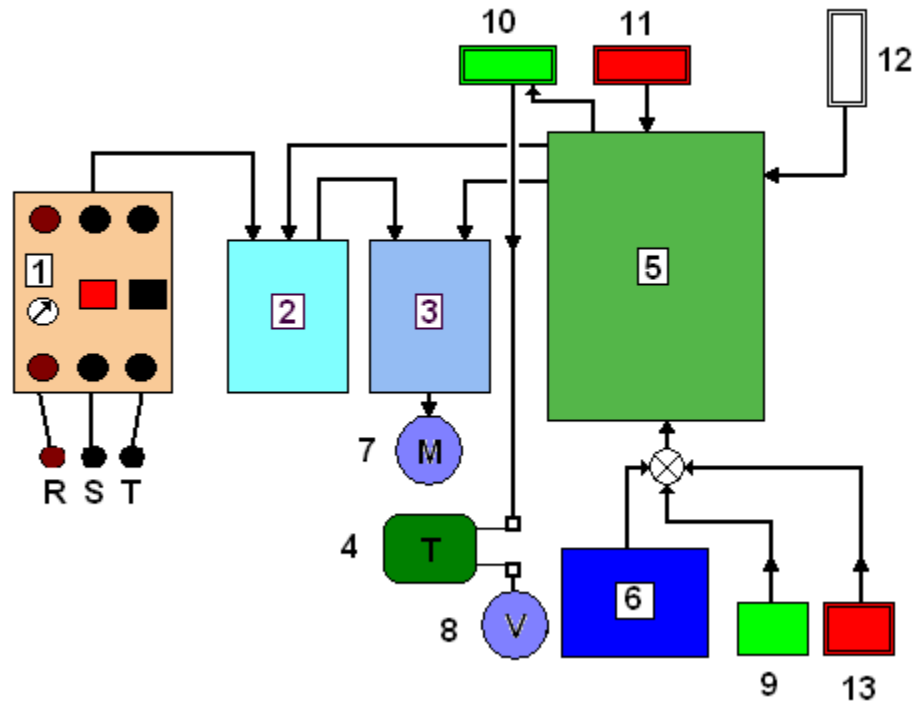
tartani, hogy ellenőrizetlen többlet levegő ne juthasson az égéstérbe, illetve ilyen módon ne növeljük a visszaégés kockázatát.

Összefoglalva előnyös tulajdonságait elmondhatjuk, hogy a HALEX 25 típusú aprítékégető berendezés a meglévő fűtési rendszerekhez (vegyestüzelés: fa, szén, pellet) átalakítás nélkül illeszthető, ezért az ár-teljesítmény viszonya a hazai piacon a legjobb. Többfajta kazánajtónyíláshoz illeszthető (előzetes megrendeléssel igényelhető). Kialakításából adódóan alacsony a szervizigénye a kiforrott technológia és több éves gyártói tapasztalat miatt. Többfajta tüzelőanyaggal (fűrészpor, faforgács, lapszabászati fűrészpor, napraforgó-héj, kerti hulladékok, növényi alapú pellet 20 mm nagyságig, dió- illetve mogyoróhéj) magas hatásfokú tüzelés végezhető minimális salakanyag képződés mellett. Magas oxidációs képesség miatt igen alacsony a füstgáz-emisszió. A tűztér nem hajlamos a kormozódásra, ami a kazán konvekciós felületeit, illetve a kéményjáratokat kedvezően érinti. Mivel a berendezés átalakítás nélkül illeszthető és mobil kialakítású, ezért a korábban alkalmazott fosszilis tüzelőanyagok továbbra is tetszés, és lehetőség szerint használhatók (kiterjesztett alternatív tüzelés). Jól automatizálható, szoba- illetve csőtermosztáttal (kazánvízhőfokot mérve) szabályozható, minimális felügyeletet igényel. 250 m² fűtésére elegendő (2,6 m-es belmagassággal számolva) a berendezés 25 kW teljesítménye, ami főleg lakások, családi házak és kis műhelyek fűtésére teszi alkalmassá.

6. Az irányítási feladat megoldása

Általánosan elfogadott nézet, hogy a lakásfűtések szabályozásnál egy adott hőmérsékleten tartás a cél vagy állandóan, vagy előre programozott menetrend szerint. Ez viszont nem teljesen egyezik az emberi természettel. Az ember igényli, hogy a befűtésekor kicsit magasabb legyen a hőmérséklet, majd hűljön vissza, valamint a hőleadók elég melegek legyenek ahhoz, hogy jóleső érzés legyen a közvetlen közelükben tartózkodni. Ráadásul más-más tevékenységek mellett a hőigény is más. Ezt előre beprogramozni szinte lehetetlen, ezért rábízhatjuk a lakókra, hogy mikor gyűjtanak be, ha ilyen fűtési módot választanak. E mellett az ember jó alkalmazkodó képességekkel rendelkezik, nem abszolút a hőigénye sem, tehát túlzott pontosságot a szabályozási rendszerünkől elvárni felesleges, s csak többlet költségeket eredményezne. Ez a rövid gondolatsor természetesen nem a szabályozás szükségességét kérdőjelezi meg, csupán az állandó hőmérsékleten tartást tekinti feleslegesnek. A hőigény esetén körbeírása után térjünk rá a konkrét szabályozásra.

Az aprítékégető oldalára szerelt elektromos dobozban futnak össze a szabályozáshoz szükséges jelvezetékek. Ezek és az elektromos dobozban található elektronikai alkatrészek alkotják a szabályozás lelkét. Működése a 6.1. ábráról leolvasható.



6. 1. ábra. Az elektronikai doboz (szabályozó) tömbvázlata.

- 1 - motorvédő kapcsoló (fáziskimaradás és túláram ellen)
- 2 - motor-relé
- 3 - forgásirányváltó-relé
- 4 - termosztát(ok)
- 5 - időzítő elektronika (szűkebb értelemben vett szabályozó)⁷
- 6 - égőkosárszint érzékelő/távadó
- 7 - csigahajtó motor
- 8 - égéslevegő ventilátor
- 9 - visszaégésgátló időzítő áramköre⁸
- 10 - ventilátorkapcsoló

⁷ PIC16827F (gyártói leírásban PIC16F627_P) általános célú programozható 18 lábú mikrokontroller.

⁸ ZIK2D1 típusú NIVELCO időzítő-relé dupla időtaggal, ami két egymástól függetlenül állítható időállandó

- 11 - csigakapcsoló
- 12 - nyugtázó-visszajárató gomb
- 13 - kézi anyagtovábbító gomb

6. 1. Égőkösárszint szabályozás

Az alap szabályozási kör elemei a következőképp feleltethetők meg egymásnak: a kazán víztere a szakasz, az aprítékégető elektromos dobozában⁹ található a szabályozó, az anyagtovábbító-csiga¹⁰ (továbbiakban csiga) motorja¹¹ a beavatkozó szerv, az égőkösárszint érzékelő és tapintó papucs távadó¹², az érzékelő/távadó. Alap esetben a szabályozó bemenetén kétállapotú (1, 0) jelet fogad, ami jelenti az égőkösár szintjét, úgymint megfelelő, és mint alacsony (histerézis nélküli állásos szabályozás).



6. 2. kép. Égőfej az égőkösárszint érzékelővel.

Megfelelő szint esetén nem történik semmi, de alacsony jel esetén a beavatkozó szerv bemenetén jelet kap, azaz induljon el a csiga hajtómotorja. Részletesebben a 6.1.

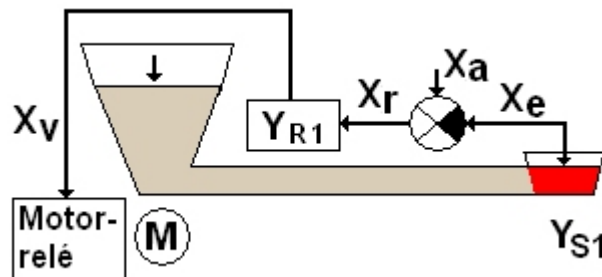
⁹ Lásd az 5.4. ábra 1-es számú elemét, és az IV. 5. képet, valamint a 6.1. ábrát.

¹⁰ Lásd az 5.4. ábra 8-as számú elemét.

¹¹ Lásd az 5.4. ábra 2-es számú elemét, és a 6.1. ábra 7-es számú elemét.

¹² Lásd az 5.4. ábra 5-ös számú elemét.

ábra alapján látható, hogy a szabályozó (5) jele a motor-relé (2) egyik bemenetére kötött, ezzel kapcsolja be a motort, ha a motor-relé másik bemenetére kötött motorvédő (1) kimenetén megjelenik a három fázis. De a motor-relé kimenete nem közvetlenül van a motorra (7) kötve, hanem a forgásirányváltó-relén (3) keresztül, ami alaphelyzetben átengedi a jelet. A csiga mindaddig jár, amíg el nem éri az égőkösár a megfelelő szintet. Az égőkösárban lévő apríték szintjét a tapintó papucs érzékeli. A távadó közelítésérzékelő Reed-cső. Az érzékelő/távadó működése: a tolórúd végén elhelyezkedő állandó mágnes a reed csőhöz közelítve ad biztos és tiszta kontaktust (magas kapcsolásszám biztos működést jelent), mivel az a védőgázzal töltött üvegsőben jön létre, tehát az állandó mágnes hatására kapcsol.



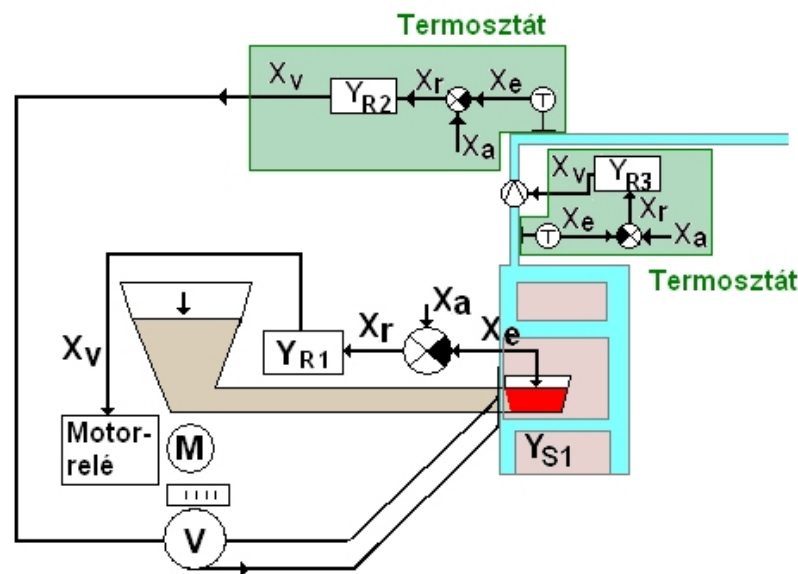
6. 3. ábra. Égőkösárszint szabályozás. Alap szabályozási kör.

A szabályozón további két, egymással sorba kapcsolt termosztátjel bemeneti lehetőség van. Ez a két termosztát lehet a csőtermosztát, ami a kazánból előremenő víz hőmérsékletére kapcsol, illetve a szobatermosztát, vagy helységtermosztát, ami a fűtendő helységben fellépő hőigénynek megfelelően ad jelet.

6. 2. Termosztátos szabályozás

Az égőfej szabályozása történhet a kazánvíz, illetve a fűtendő helység hőmérsékletével. A kazánvíz hőmérsékletével történő szabályozás beüzemeléséhez, az elektromos dobozban lévő gyorscsatlakozón található átkötést kiszedve, annak helyére csatlakoztatva kell a kazánra kötni a szerelt termosztátot, amely ilyenkor az égéslevegő-

ventilátort¹³ (továbbiakban ventilátor) (4) kapcsolgatja, azaz rajta keresztül záródik a kör. Ehhez szükséges, hogy a ventilátorkapcsoló (10) bekapcsolt állapotában legyen, de az csak akkor lehetséges, ha a csigakapcsoló is bekapcsolt állapotában van, amitől az elektronika közbejöttével kap jelet.¹⁴ A csőtermosztáton beállított hőfok alapján, annak elérésekor megszakítja a ventilátor üzemét, hőfok visszaesése után pedig bekapcsolja azt. Az analóg csőtermosztát, más néven érintkező hőfokszabályzó egy pólusú, dobozos kiserelésű, amely vezetékvezetővel van ellátva. Különösen alkalmas a fűtőrendszerek csővezetékein uralkodó hőmérséklet mérésére. A termosztát rugós bilincsel rögzíthető a csövekre, amely biztosítja a csővezetéken való állandó és szoros felfekvést. A termosztát szabályozási tartománya 10 – 90 °C, differenciálja 5 °C + 10 °C és 5 °C-os hiszterézissel rendelkezik.



6. 4. ábra. Többhurkos szabályozási kör kazánvízhőfokra történő szabályozással.

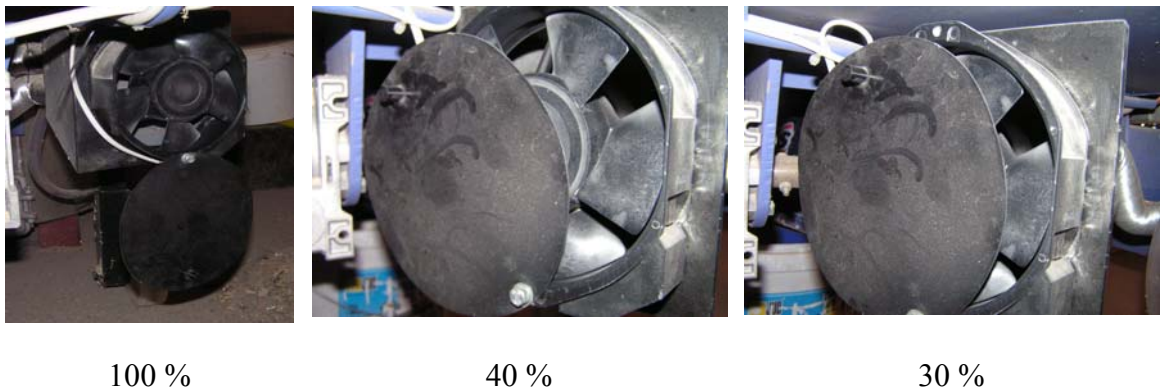
A fűtendő helység hőmérsékletével történő szabályozás esetén a kazántermosztáttal sorba kell kötni a szobatermosztátot is. Ilyenkor a kazántermosztátot úgy kell beállítani, hogy a kazán túlmelegedését megakadályozandó kapcsolja le az intenzív égést biztosító ventilátort. Kikapcsolt ventilátor esetén az égés

¹³ Lásd az 5.4. ábra 3-as számú elemét, és a 6.1. ábra 8-as számú elemét.

¹⁴ Anyaglefogyáskor az elektronika letiltja a ventilátor üzemét, azaz csak az elektronikától kapott engedélyező jellel üzemelhet a ventilátor.

hozzávetőlegesen 10%-ra csökken, mintegy óránként biztosítva a későbbi aktív működéshez.

A szobatermosztát kapcsoló jele a ventilátorra hat, mégpedig az üzemére, azaz ha hőmérséklet igény van, akkor a ventilátor üzemel. Ha nincs igény, azaz elérte a kívánt hőmérsékletet, a ventilátor nem üzemel. A ventilátor másik paramétere, a szállított mennyiség manuálisan állítható, ami a faapríték nedvességtartalmától függ. Begyújtás és 15 – 20 % nedvességtartalomnál 100% a perdület, azaz teljesen nyitott a perdületszabályzó¹⁵. Ennél magasabb nedvességtartalmú apríték automatikus üzemben nem égethető el, mert kialszik a tűz (tűzoltó fa). A felfűtés után a hőigénynek megfelelő csökkentett perdület állást kell manuálisan állítani, ez átlagosan a 60 °C-os kazánvíz hőfok elérése után 20 %-ot jelent. Ha nincs hőmérséklet igény a ventilátor leáll, és még a perdületállás is 0%-ra állítható, ezzel az égőkosárban található parázs minimálisan izzik, de megtartja az automatikus újraindítás lehetőségét.



6. 5. kép. A ventilátor perdület állásaihoz megadott égéslevegő mennyiség százalékosan.

Mivel az apríték nedvességtartalma jelentősen befolyásolja a ventilátor perdületét, ezért célszerűnek tűnik, ennek mérése és bevonása a szabályozási körbe. A fa nedvességtartalmát kapacitív érzékelőkkel lehet mérni, amit a csigaledobó, torkába

¹⁵ Lásd az 5.4. ábra 4-es számú elemét.

helyezhető el. A szabályozásba még egy a csigahossznak megfelelő késleltetést kell beilleszteni, hogy mire az a megmért apríték kerül az égőkosárba, a neki megfelelő mennyiségű levegő legyen oda vezetve. A kapacitív érzékelő működése azon alapszik, hogy a nagyobb nedvességtartalmú fa esetén kisebb a kapacitás, mert a fegyverzetek között vezetés van. Tehát a szárazabb fa inkább viselkedik szigetelőként. Egy ilyen mérőeszköznél fontos, hogy a fegyverzetek közötti távolság mindig állandó legyen. De a fa nedvességtartalmára történő levegőmennyiség szabályozás bekerülési költségei az egész projekt teljes bekerülési költségéhez mérten többszörös is lehet, tehát jelen körülmények között a kiépítése nem célszerű.

A szobatermosztát kétállású kapcsolón keresztül csatlakozik vagy a gázkazánhoz, vagy az aprítékadagolóhoz. Ez az úgynevezett alternatív hőmérséklet szabályzás kettő vagy több fűtési rendszerhez applikálva. Mivel a fentiekben tárgyalt fűtési rendszer nemcsak lakóházat, hanem egy viszonylag nagy alapterületű (50 m²) több helységből álló műhelyt is fűt, meg kell oldani, - ha szobatermosztáttal szabályozunk -, hogy a műhely akkor is fűthető legyen, ha a lakásból nem érkezik hőigény. Ezért is a csőtermosztátos előremenő hőmérséklet szabályzás szükségtelessé válhat. Ennek oka, hogy a két termosztát jele sorba kötött, a csőtermosztáté megelőzi a szobatermosztátét, tehát ha a csőtermosztát jelére leáll a ventilátor, hiába jelent be hőigényt a szobatermosztát. Ilyenkor a kazántermosztátot (csőtermosztátot) úgy kell beállítani, hogy a kazán túlmelegedését akadályozza meg. Esetleges beépítésekor felsőhatárérték kapcsoló szerepe lehet, mielőtt a biztonsági szelep működne, ami 250 kPa nyomás értéknél kinyit (lefúj). Mivel ezen a nyomáson már forró a gőz, figyelniük kell a forrázás veszélyre, ezért a lefűtató csövet célszerű egy tároló edénybe elvezetni, és lerögzíteni. Ez a felsőhatárérték 90 °C lehet, vagy még inkább 80 °C, ugyanis a radiátoroknál nem célszerű még 80 °C-nál magasabb hőmérséklet sem az égésveszély miatt. Ha termosztátos radiátor szelepet használunk, akkor az, 70 °C fölé nem engedi a radiátor hőmérsékletét, még teljesen nyitott állásnál sem. Mivel a berendezés (kazán) illetően képen kizáródhat, ezért szükséges, hogy 2-3 termosztát nélküli radiátor is legyen a fűtési rendszerbe kapcsolva.

6. 3. Biztonsági berendezések

6. 3. 1. Visszaégésgátlás

A HALEX-25 típusú berendezés egy rendkívül ötletes és egyszerű visszaégés-gátlási módszerrel van ellátva. Az adagoló csiga tartály utáni szakaszán van beépítve egy olvasófólia-betétes csatlakozó, amely egy átlátszó Mipolan-csővel össze van kötve egy ejtő-tartállyal¹⁶, amiben kb. 1 l víz van tárolva. A tartály és az olvasófólia közti szakaszon légsák van kiképezve. Hosszabb ideig tartó áramszünet, vagy a megengedettnél nagyobb méretű apríték miatti leállás esetén előfordulhat visszaizzás. Az adagoló csigában esetlegesen visszaégő apríték kiolvasztja a fóliabetétet és az ejtőtartályban (oltótartályban) lévő víz lefolyik és eloltja a beizzott aprítékot, ezzel megszünteti a visszaizzást. Ebből adódóan nyilvánvaló, hogy a berendezés újraindításához el kell távolítani a nedves aprítékot kijáratással, ki kell cserélni fóliabetétet, és fel kell tölteni a víztartályt, valamint feltétlenül meg kell győződni arról, hogy az olvasó fólia feletti csőrészben csak levegő található körülbelül 15 – 20 cm hosszan.



6. 6. kép. Visszaégésgátló víztartály és összekötése az adagoló csigával.

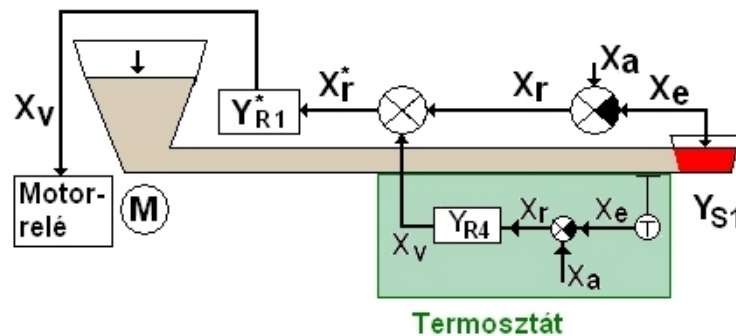
Mivel a berendezés visszaégés esetén üzemképtelenné válik, ezért célszerű egy megelőző fokozatot kiépíteni. Így a vizes oltórendszer gyakorlatilag biztonsági- védelmi

¹⁶ Lásd az 5.4. ábra 11-es számú elemét, és a 6.6. képet.

fokozattá válik, úgy hogy az egyes fokozat működése esetén a berendezés üzemben marad.

A tervezett egyes fokozat az adagoló csiga hőmérsékletét felügyeli egy csőtermosztáttal. Először a csiga középső szakaszára egy csőtermosztát lett felszerelve, melynek jele egy időrelébe¹⁷ fut. Az első beállításként a csiga hőmérséklet-emelkedésekor (60 °C-nál) 10 sec. ideig elindítja a csigát, majd vár 3 percet. Ha a feltétel fennáll, ismétlődik a ciklus. A folyamat párhuzamos a kosárszint-érzékelő működésével. A szerkezet beépítését a laza szerkezetű asztalos-forgács tette indokolttá, mert az könnyebben visszaég. Valamint feltételezzük, hogyha a szoba-termosztát rákapcsolása bekövetkezik, és az a ventillátort leállítja, a laza levegős forgács hajlamos lesz a visszaégésre, és a berendezés a visszaégés miatt kiesik az automatikus üzemből.

Következő beállításnál a visszaégésgátló 45 °C hőmérséklet elérését követően elindítja a csigát 8 másodpercen keresztül égőkosárszinttől függetlenül, majd vár 40 másodpercet és ezt ismételteti a feltétel fennállásáig. Mivel a csőtermosztát (Cewal - T50) hiszterézise ± 5 °C, ezért 40 °C-nál billen vissza a feltétel megszűnése esetén.



6. 7. ábra. Alap szabályozási kör a visszaégésgátlás első fokozatával.

¹⁷ Lásd I. 6. képet.



6. 8. kép. A visszaégésgátlás első fokozata. A felhelyezett csőtermosztát.

6. 3. 2. Visszajáratás

Előfordulhat olyan eset, hogy az anyag úgy égett össze, hogy az égőkosárszint érzékelő alatt az elégett tüzelőanyag nem roskadt össze, de az égőkosár többi részén kiégett, így a tűz elalvásának veszélye fenyegetett. Ilyenkor a beépített nyomógomb segítségével a kosárszint-érzékelő meg lett kerülve, így szükség esetén manuálisan is kijáratható a csiga.

A szabályozó eredeti kiépítése szerint egy mikrokontroller - a bekapcsolást követően a lefogyásjelzést nyugtázó gomb nyomva tartásával – utasítja a forgásirányváltó-relét, amivel a motor-relén keresztül érkező három fázisból kettőt megcserél. A berendezés szaggatott sípoló hang és fényjelzéssel figyelmeztet a csiga fordított irányú működésére, (visszajáratás). A visszajáratás mindaddig működik, míg a nyugtázó gomb lenyomva van. Biztonsági szempontból igen korrekt megoldás, mivel ez csak manuálisan végezhető, így nem fordulhat elő, hogy a berendezés fordított üzemből adódóan a felügyelet nélkül üzemelő berendezésből izzó illetve égő tüzelőanyag kerül a tartály alá. Az esetlegesen megszorult csiga visszajáratásával a szorulást okozó anyagdarab kiszabadítható. A készülék maximum 20 mm-es darabok adagolására és elégetésére alkalmas, azaz még por formájú is (a hatályos tűzrendészeti előírások betartásával), hiszen például a bükkfa parketta csiszolatpora robbanásszerűen ég. Természetesen ekkora méretű tüzelőanyag esetén nem akadhat el a csiga, de még

megfelelő méretre kirostált anyagban is lehetnek kavicsok, kődarabok, csavarok és egyéb darabos szennyező anyagok, amik már előidézhetnek szorulást.

A csigának egyoldalas laza felfüggesztése van, azért nehezebben akadhat el benne az anyag, mert nem feszül be, mivel a csiga meghajtó motorja szerény teljesítményű 250 W/380V.

6. 3. 3. Biztonsági lefúvató

A rendszeren kettő található, amik 2,5 bar-os nyomásnál fúnak le. Mindkettő rugóterhelésű biztonsági szelep. Az egyik a vegyeskazánon van, a másik a tágulási-tartály mellett. A tágulási-tartály belső táguló-elemes kivitel térfogata 50 l, maximális üzemi nyomása 450 kPa (4,5 bar). A fatüzelésű kazánhoz azért kell (célszerű) saját biztonsági szelepet beépíteni, mert a két fűtési kör szétszakaszolható, és a tágulási tartály a gázos fűtési-rendszerhez van illesztve. A két rendszer kettő darab 1''-os szakaszoló csappal választható szét (előremenő- visszatérő ág) a gázos kazánházban.

6. 3. 4. Motorvédő automata

Mint már írtuk fáziskimaradás, illetve túláram esetén megvédi a háromfázisú motort a meghibásodástól. Egyszerűen megszakítja mindhárom fázist a motor felé, így az nem kap áramot.

7. Kronológia – fűtéstörténet

A fűtési idény kezdetén csak időszakosan lett fűtve a ház a fatüzelésű kazánal, értem ez alatt, hogy csak az esti fürdési időszakra. Ezzel csak a belső levegő lett temperálva, így a tűz kialvása után a belső hőmérséklet fokozatosan visszaállt a fűtés előtti hőfokra, s a kora reggeli órákra tovább hűlt¹⁸. Ebben az időszakban még jelentős volt a nappali felmelegedés, ennek hatására még fűtés nélkül is emelkedett a belső hőmérséklet.

A következő időszakban már a nappali felmelegedés nem okozott akkora belső hőmérsékletemelkedést, így célszerűvé vált a ház kifűtése, még mindig csak a kazánal. Ezzel átmenetileg napokon keresztül - a befűtéskor - túl lett fűtve a ház, a belső hőmérséklet elérte a 23 – 24 °C-ot rövid időre, de a falak és a nagytömegű berendezési tárgyak kellően átmelegedtek, s a továbbiakban hőtároló funkciót láttak el. Ezzel elérhető, hogy a javasolt rendszeres intenzív szellőztetések ellenére a belső hőmérséklet ne essen le, hisz a falakat nem hűtjük ki és a szellőztetés befejeztével felmelegítik a friss és hideg levegőt. A hőmérséklet érzékelők nem is igazán követik le a hőmérsékletesést, hisz nem alkalmasak a gyors változások azonnali megjelenítésére, s mire beállnának már újra a szellőztetést megelőző belső hőmérséklet uralkodik a házban.

7. 1. Az aprítékégető beüzemelése

A már kifűtött ház további fűtésénél felváltva üzemelt a kazán az aprítékégetővel és anélkül. Az aprítékégető beüzemelésekor (2005. 10. 16.) semmilyen beavatkozást nem végeztünk sem a berendezésen, sem az irányításán. Három perccel a begyújtás után az égés egyre intenzívebb, ez a betekintő nyíláson¹⁹ keresztül látható, ami a takarólemezen lévő kör keresztmetszetű nyílás egy egyszerű félreleffenthető lemez mögött. Ugyanakkor a kéményen keresztül kiáramló füstgáz nem látható, ami annak a jele, hogy az erősen oxidáló égés alacsony emissziós értékekkel rendelkezik. Az égőkosárszint

¹⁸ Eddig még egyszer sem hűlt 18,5 °C alá, ami a ház megfelelő szigeteltségét jelenti.

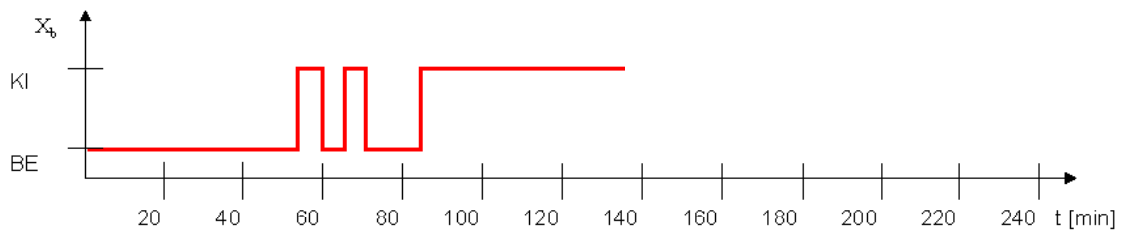
¹⁹ Lásd a IV. 10. képen.

szabályozó az adagoló szakaszosan működését eredményezi. Kézi beállítással az égéslevegőt növelve egyre intenzívebb égést érünk el. Az elégetett fűrészpor - forgács darabkák az égéslevegő hatására kirepülnek az égőkosárból, ez az öntisztulás. A begyújtás után 24 perccel - amikor a kazánvízhőfok elérte a 40 °C-ot - a keringető szivattyút kézi indítással üzembe helyeztük²⁰, majd azt követően 4 perc elteltével melegnek a radiátorok, majd újabb 1 perc múlva a víz megfordul. A visszatérő víz összesen 3 °C-kal lehűti a kazánvizet, és az égésre is hatással van a hőelvétel megindulása. Ez a visszaesés mindösszesen 25 percig tart. Ezután változtatásképp a kosárszintet megemeljük (a berendezésen lehetőség van állítócsavarokkal a kosárszint-érzékelő beállítására, annak megváltoztatására)²¹, mindez teljesítménynövekedéssel jár együtt. Ezután a ventilátor manuális ki- és bekapcsolásával történik a kazánvízhőfok beállítása, hogy ne haladja meg a 70 °C-ot, mivel nincsenek a termosztátok bekötve a berendezésbe, amik a ventilátor üzemére - és általa a beállított hőfokon tartásra - lehetnének hatással. A begyújtás után 85 perccel a ventilátor le lett állítva, minimális égéslevegőt biztosítottunk az előtolós (csigás) üzemmóddhoz. Majd 2 óra 15 perccel a begyújtás után a 250 liter fahulladék (forgács és fűrészpor) teljesen elégett szabályozás nélkül, és 70 °C-os maximális előremenő vízhőfokot (a begyújtást követő 100. percben) és 23,1 °C-os maximális belső hőmérsékletet (a begyújtást követő 210. percben) eredményezett.

Az égőkosárszint szabályozás mellett, ami a berendezés minimális szolgáltatása, a ventilátor ki-be kapcsolásával kézzel beavatkoztunk, és ezzel szabályoztuk a kazánvíz hőfokát. Célunk az volt, hogy a kazánvízhőfok ne emelkedjen jelentősen 70 °C fölé. A grafikonon jól látható, hogy az időszakos kikapcsolásokkal, azaz csökkentett égéslevegővel, a kazánvízhőfok emelkedése megtört, míg teljes kikapcsolásnál (még nem volt a falslevegő útja elzárva) a hőfok rohamosan csökkent még a tüzelőanyag elfogyása előtt.

²⁰ A kazán aprítékégető nélküli üzemeltetésekor tapasztaltuk, hogy jobb az égés hatásfoka és intenzívebben melegszik a kazánvíz, ha nem a begyújtást követően szinte azonnal indítjuk el a szivattyút, hanem később, amikor az már elérte a 40 °C-ot. Ez egy optimális beállítás, ami két elvárásnak felel meg egyszerre. Az egyik, hogy a begyújtást követően a lehető leghamarabb melegnek legyenek a radiátorok, és érezhető legyen a melegedés. A másik a fatűz sajátosságából fakad, miszerint kezdetben endoterm majd exoterm folyamat, így nem célszerű a korai hőelvétel.

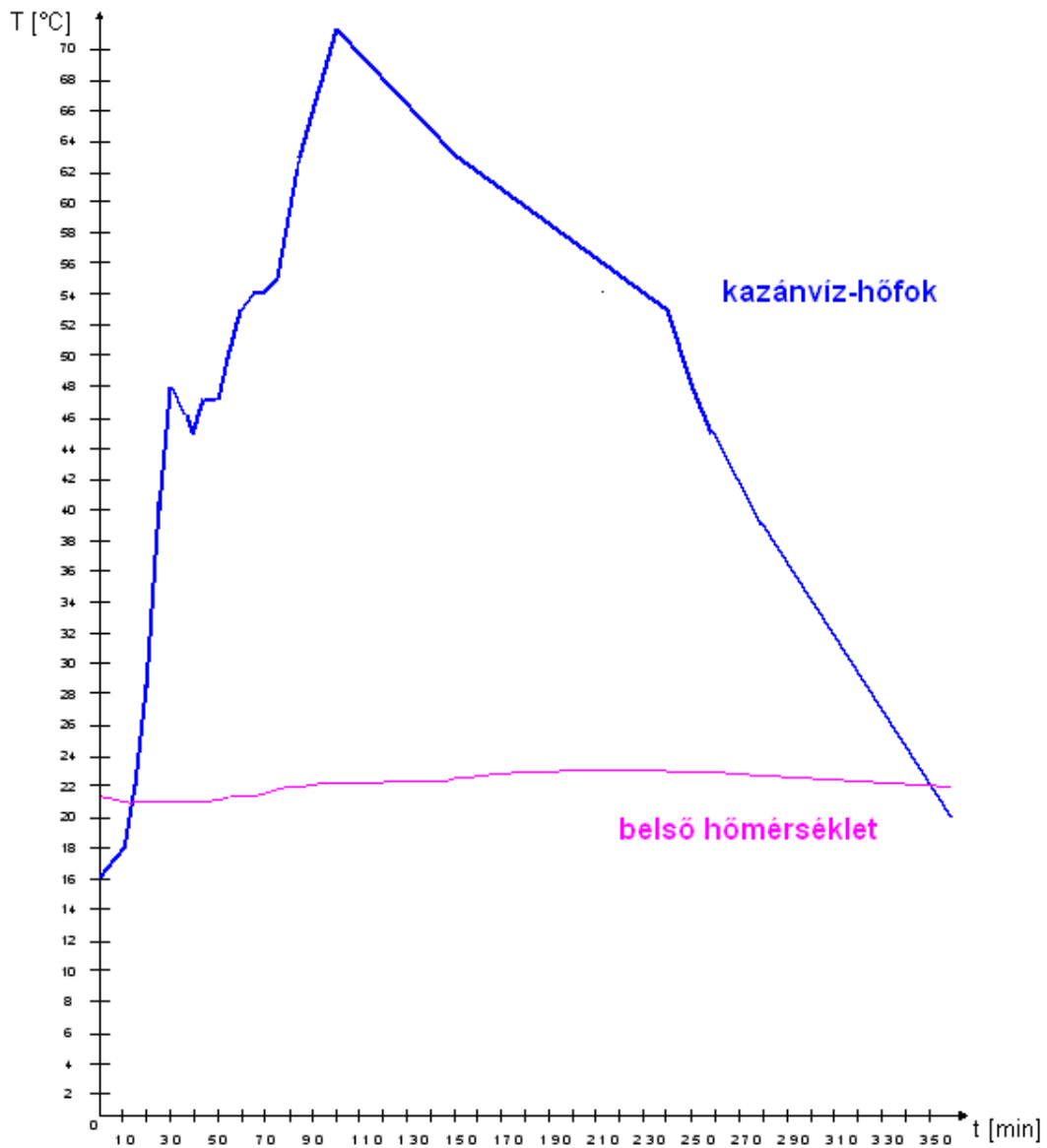
²¹ A gyártó külön felhívja a figyelmet erre az állítási lehetőségre, hogy a helyi adottságokhoz (pl. a tüzelőanyag, a kazán) igazítható, és így minél jobb hatásfokú legyen az égetés.



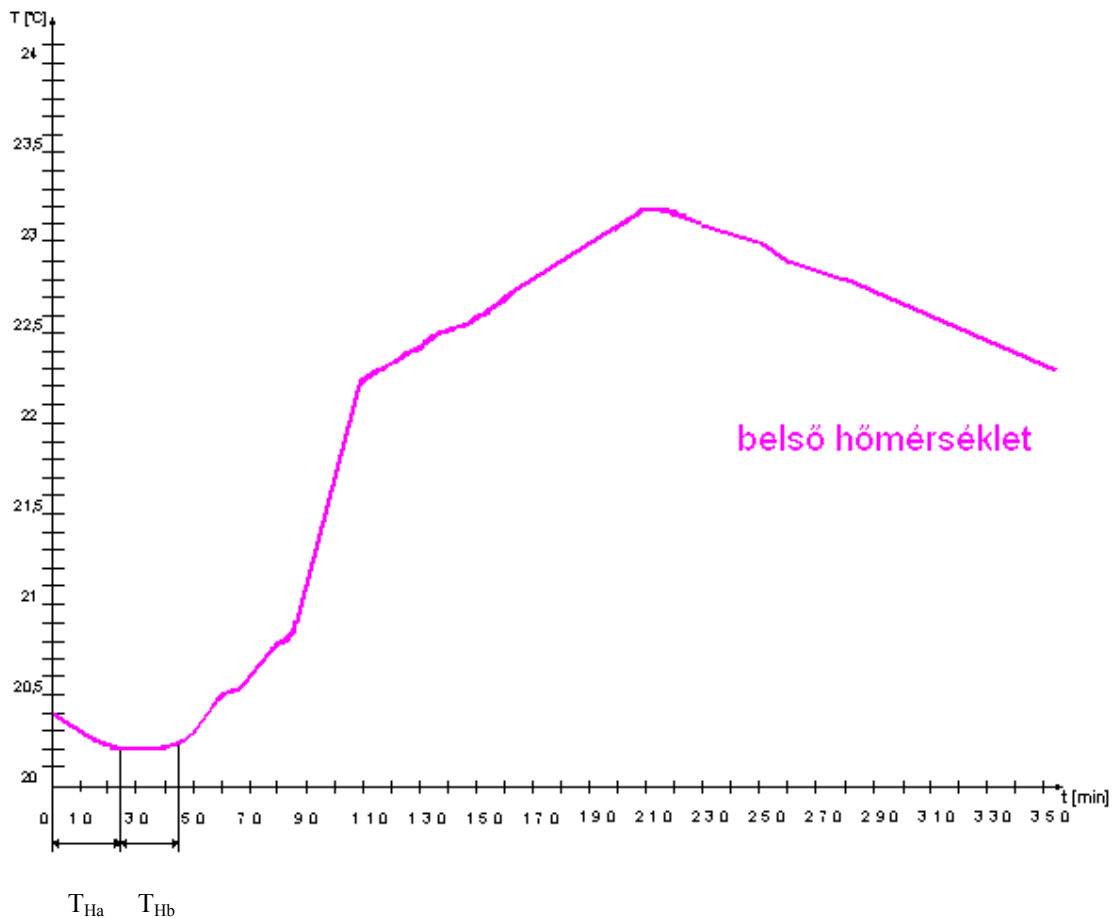
7. 1. ábra. A beavatkozó jel (ami a ventilátor üzeme) átmeneti függvénye.

A beavatkozó jel időbeni változását mutatja a 7.1. ábra. A beavatkozó jel tipikusan egységugrás-függvénynek felel meg. Erre szakasz ellenőrző jelének átmeneti függvénye a 7. 2. ábráról olvasható le. A két ábra mutatja a szakasz válaszidő függvényét. A szakaszunk PT_2 -jelátviteli tagnak tekinthető, de méréseink időtartalma valamint a beavatkozások között eltelt idő túl rövid, ahhoz, hogy a válaszidő függvény teljes lefutása a grafikonon látható legyen.

Jól látható, hogy az első másfél órában, a felfűtés alatt, és a folyamatos beavatkozásokkor a kazánvízhőfok először még csökken is, majd többször mérséklődik a növekedés üteme, de utána oly mértékben növekszik, hogy szükségessé vált a beavatkozás. Most ez a beavatkozás a ventilátor kikapcsolása volt. Hatásaként visszaesett a kazánvízhőfok, s mivel a tüzelőanyag is kifogyott ez a csökkenés nem állt le. A belső hőmérséklet elég magasnak találtuk, ezért nem fűtöttünk tovább. Ez a magas belső hőmérséklet természetesen nemcsak annak köszönhető, hogy a belső hőmérséklet minimuma a mérés alatt $21,1\text{ °C}$ volt, hanem a 5 °C feletti külső hőmérsékletnek is.



7. 2. ábra. A kazánvízhőfok és a belső hőmérséklet azonos léptékű közös grafikonja az idő függvényében. A grafikon egyben mutatja az ellenőrző jel (kazánvízhőfok) átmeneti függvényét.



7. 3. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében az előző grafikontól eltérő léptékben 10. 16-án. Átmeneti függvény.

T_{Ha} – hozzáadott holtidő, amíg a kazánvízhőfok 40 °C –os lesz

T_{Hb} – a fűtendő rendszer holtideje

A holtidő a rendszer késleltetése, amíg a belső hőmérséklet nem reagál a fűtés tényére. Ez teljesen természetes, hiszen a kazán és a radiátorok között hozzávetőlegesen 25 m a távolság, s ezt a csővezetékben keringetett előremenő víznek meg kell tennie, ami időbe tart, Ez a grafikonon T_{Hb} -vel jelzett időtartalom. A szivattyú elindítása előtt az előremenő víz hőfoka megegyezik a begyújtás előtti kazánvízhőfokkal (16 °C), majd utána ugrásszerűen 40 °C -os lesz. Erre a változásra válaszol holtidővel a belső

hőmérséklet, csak hogy közben a kazánvízhőfok emelkedése nem áll meg, sőt állandóan változik, így a válasz is ezt követi némi késéssel, de folyamatosan.

Most is és a későbbiekben is csak a holtidőket tüntetem fel a grafikonokon, egyrészt mert ezek jól láthatóak, másrészt a fűtő közeg és a fűtött közeg közötti hőmérséklet különbség óriási, illetve a fűtött közeg tehetetlensége nagyon nagy, ráadásul csak időszakosan fűtünk, s sosem cél a teljes hőmérséklet azonosság. Elég annyit tudnunk, hogy a szakaszok (első olvasatban a kazánvízhőfok a szakasz, második olvasatban a belső hőmérséklet, később a műhely hőmérséklet, amikor is a kazánvízhőfok mint beavatkozó jel viselkedik) több tárolós arányos viselkedésűek és minden olvasatban fokozatosan közelítenek a magasabb hőfokhoz. Mivel nem folyamatosan üzemelünk mindig van felfűtési és lehülési szakasz, beállítás bizonyos hőfokra nagyon rövid ideig tart, vagy be sem következik. De még a holtidők feltüntetése sem mindig egyértelmű, mert a kazánvízhőfok visszaesése csak hozzávetőlegesen 55 °C-tól lefelé kezd a belső hőmérsékletben is visszaesést okozni bizonyos késéssel.

Az első üzemből levont következtetések a következők. A fals levegő útjának megszüntetését meg kell oldani. Ennek érdekében a betekintő nyílás hőálló üvegezését, illetve annak szilikonos tömítését javasoljuk. A szilikon megfelelő hőállósággal rendelkezik a fatűz sugárzó hőjét tekintve. A rátolásnál szintén hőálló tömítést kell beépíteni. Mivel a szabályozás nagymértékben a levegő hozzáadásával, illetve elvételével történik ventilátor segítségével, ezért fontos, hogy ellenőrizhetetlen fals levegő ne kerülhessen a rendszerbe. Ez a levegő a visszaégés lehetőségének kockázatát is növeli. Biztonságtechnikai okokból, a tartályból teljes kijáratás szükséges, mivel öntöttvas égőkösár hőmérséklete igen magas az égetés után is. Ezt a forró égőkösarat nem célszerű az égéstérből üzemelés után sem kihúzni, mert tőle az éghető anyagok meggyulladhatnak, ami akkor jelenthet nagy kockázatot, ha a kazánház egyben tüzelőanyag tároló is. Sőt ez a forró égőkösár biztosítja egy ideig az automatikus visszagyújtás lehetőségét, ha a tartályt ismét feltöltjük, de ha ezzel a lehetőséggel nem is élünk, a kazán tűzterét tovább temperálja sugárzó hőjével.

A következő két napban (2005. 10. 17. és 2005. 10. 18.) a különféle eredetű fahulladékokkal való üzemelés kipróbálására került sor tapasztalatszerzés céljából. Ez elsősorban többféle minőségű (nedvességtartalmú) fahulladékkal való tüzelést jelentett.

Először egy alacsony nedvességtartalmú asztalosipari fahulladékkal (faforgács és fűrészpor), ami lucfenyőből (borovi) származott. A következőket tapasztaltuk: jól ég, könnyen gyújtható, alacsony füstgázhőfokkal alacsony az emissziója, minimális a hamu mennyiség, levegőelzárással volt elérhető, hogy a kazánvízhőfok ne legyen magasabb 70 °C-nál, könnyebben visszaég, mert laza szerkezetű.

Másodszor egy magas nedvességtartalmú fűrészporral. A következőket tapasztaltuk: nagy légfeszüléssel tüzelhető csak, nagyon sokat füstöl, azaz magas a füstgáz-emissziója, kevés a felszabadult hő, maximum kazánvízhőfok 42 °C, elégtelen tüzelőanyag hullott az égőkösárből a tüztérbe, ami ott később égett el, állandó felügyeletet igényelt, mert a hamu nem roskadt össze, ami az égőkösárszint szabályozását megzavarta, nem ég vissza, alacsony füstgázhőfokkal magas az emissziója.

Harmadszor egy viszonylag magas nedvességtartalmú építési fa (lucfenyő) fűrészporral. A következőket tapasztaltuk: tömörebb, mint a gyaluforgács, ami az égés szempontjából kedvezőbb, jól égett, jól szabályozható, kazánvízhőfok 50 °C felett jól tartható, de lassabban melegszik fel a kazánvíz.

Összegzésként elmondható, hogy a különböző fahulladékok keverése célszerű, hisz minden hulladékot meg kívánunk semmisíteni.

Az aprítékégető berendezésen a felmerülő problémák orvoslására, változtatásokat eszközöltünk. Így a kémlelőnyílásba egy jénai üvegből készített betét került beragasztásra, ami így már nem légáteresztő, de átlátható és hőálló²².

Módosításra került sor az égőkösár és a tartály közti anyagszállító szakasz lemezborítása²³. A korábbi vízszintes síkú borítás helyett, jelenleg domború borítás helyezkedik el úgy, hogy a korábbi vízszintes magasságot nem haladja meg. Ennek oka a visszaégés kockázatának csökkentése volt (jelenlévő pangó-tér), mivel a sarkokban az áramlás lassabb, de a sarkok megszüntetésével a főáramhoz képest csökkent a különbség.

Az elektromos doboz kiegészült egy nyomógombbal, amivel közvetlenül lehet járatni a csigát előre, ha visszaégés gyanúja merül fel, annak ugyanis kisebb a

²² Lásd I. 5. kép.

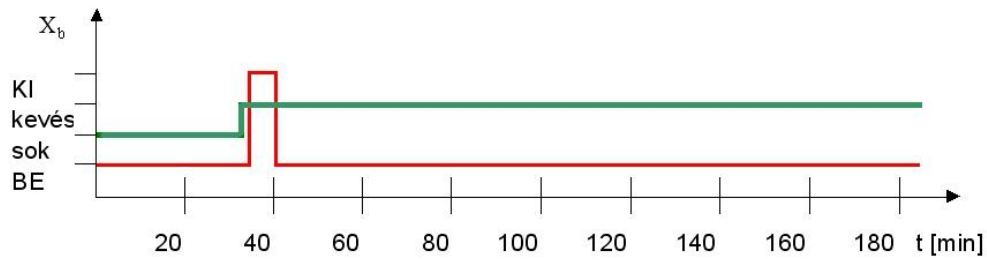
²³ Lásd I. 3. kép.

kockázata, ha az égőkosárból izzó anyag kerül a kazán tűzterébe, s ott elég. Ezzel még idejében megfogható, nem kell a vízzel oltást alkalmazni. Ez ki fog egészülni egy hőmérsékletérzékelővel, mert így nem manuálisan kell majd esetlegesen előre járítani, hanem az érzékelő jelzését veszi figyelembe a berendezés. (Kétfokozatú visszaésgátlás)

Beszerezésre kerül még egy füstgázhőmérő is. (Füstgáz-emisszió és a hőveszteség kérdésének valamint összefüggésének tisztázására.)

7. 2. Túl az első módosításokon

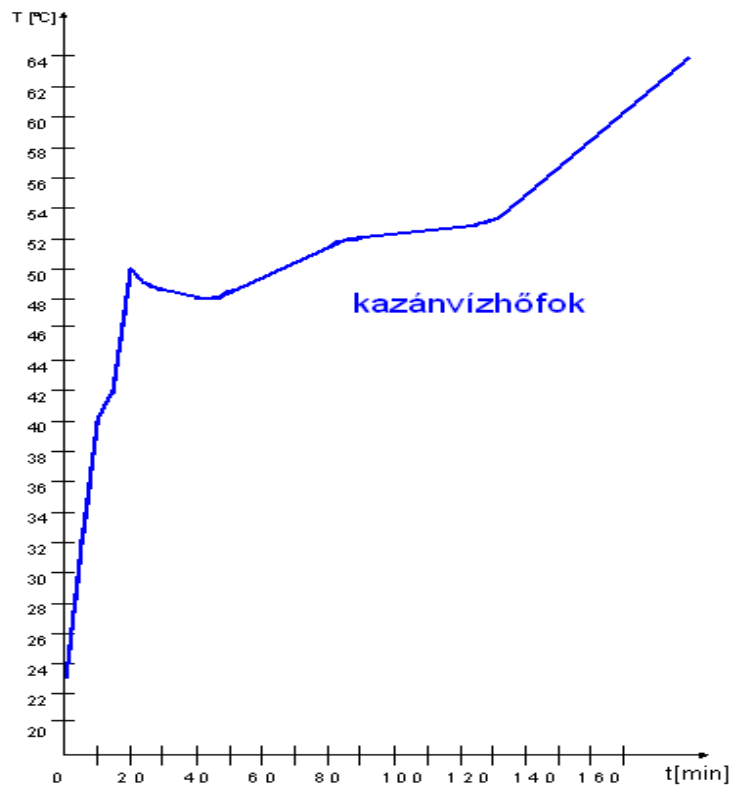
A következő mérés alkalmával (2005. 11. 02.) szintén asztalosipari hulladékkal üzemeltünk, de most csiszolatporos fenyőfa forgáccsal. Mivel nagyon száraz és finom szemcseszerkezetű tüzelőanyaggal gyújtottunk be már az azt követő 10. percben elérte a kazánvíz a 40 °C-ot, és a szivattyú be lett kapcsolva. Ha visszatekintünk a 10. 16-ai mérésre ott a szivattyú 24 perccel a begyújtás után lett bekapcsolva szintén 40 °C-nál. Látható, hogy a tömítettség és a szárazabb tüzelőanyag jobb hatásfokú égetést biztosít. 50 °C-os kazánvízhőfoknál (20 perccel a begyújtás után) az égéslevegő csökkentve lett, majd a ventilátor kikapcsolva. 5 perc múlva a kazánvízhőfok el kezdett visszaesni, ezért a ventilátor be lett kapcsolva minimális levegőmennyiséggel. Hiszen a falslevegő útját álltuk, így kikapcsolt állapotban szinte semennyi levegő sem jutott az égéshez. Amikor a forgács elfogyott 64 °C-os volt a kazánvízhőfok, ami radiátoros hőátadókkal rendelkező központi fűtésnél minden szempontból jó. Ilyen fűtési üzemmellel a 100 l forgács 3 óra 10 percre volt elegendő, ami ezzel a berendezéssel nagyon jónak számít. Tehát a nem túl magas előremenő vízhőfokot jól beállított levegő visszafajtással lehet elérni. A visszafajtás akkor jó, ha még elég a levegő az égéshez, de az nem túl intenzív, így ezzel a füstgázzal kiáramló hőveszteség is csökken.



7. 4. ábra. A beavatkozó jelek változtatásának (ami a ventilátor üzeme és a levegőmennyiség) átmeneti függvényei.

A zöld vonal a levegőmennyiséget jelöli, úgymint sok (kb. 100 %) illetve kevés (kb. 20 %), a piros vonal a ventilátor ki vagy bekapcsolt állapotát mutatja az idő függvényében. A levegőmennyiség változtatása szintén ugrásjelnek felel meg. Mindkét változtatás együttesen fejt ki hatását a kazánvízhőfokra, de látványos hőfokvisszaesést a ventilátor kikapcsolása eredményez, a levegőmennyiség csökkentése az emelkedés ütemét fogja vissza, de a radiátoron keresztüli hőátadás megindulásával együttesen nagyobb a hatása.

A kazánvízhőfok szabályozásánál a két beavatkozó jelünk ugrásjelként viselkedik, amire a válaszütem-függvénynek kazánvízhőfok alakulása tekinthető. Ekkor a radiátorokon keresztüli hőátadás mint zavarás jelentkezik. A kevés levegővel üzemelő ventilátor a kazánvízhőfok egyenletes emelkedését vonja maga után, s csak akkor emelkedik gyorsabban, amikor hőátadás beáll, azaz a zavarás hatása csökken. Természetesen végső célunk a belső hőmérséklet emelése, kívánt érték körül tartása.

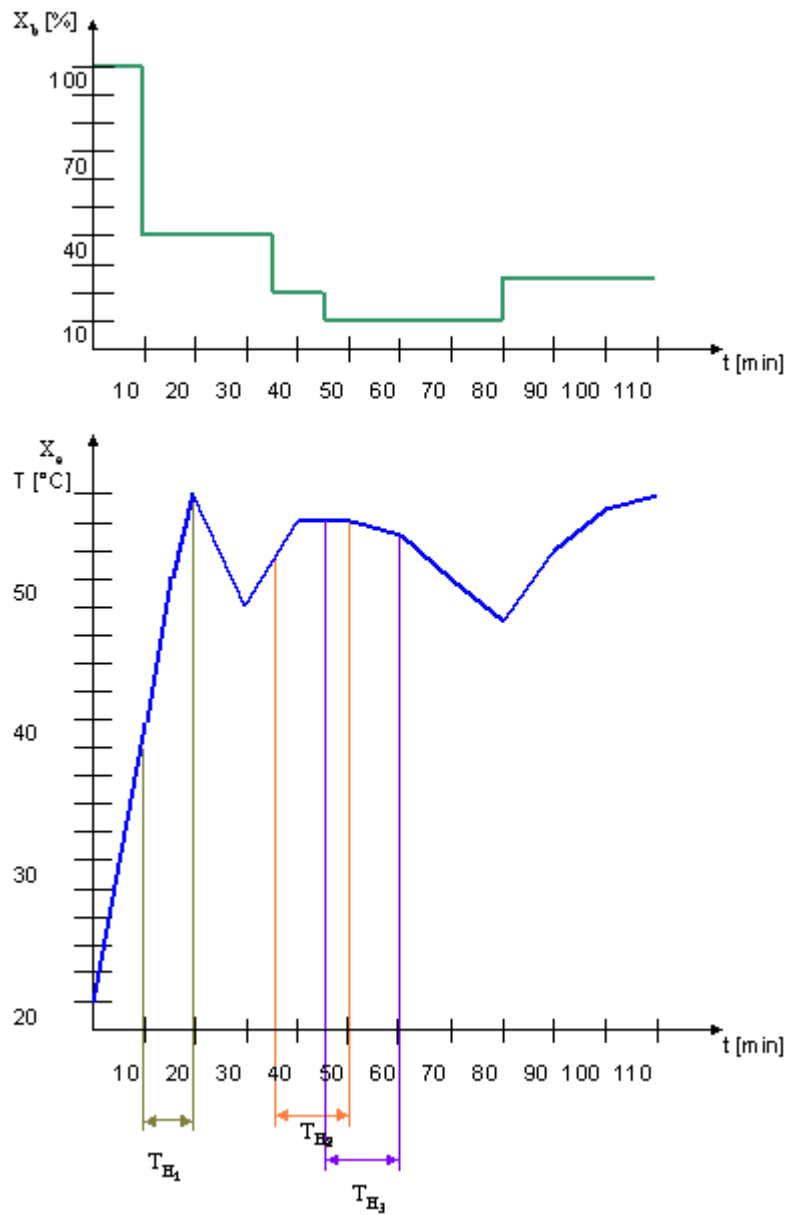


7. 5. ábra. A grafikon mutatja az ellenőrző jel (kazánvízhőfok) átmeneti függvényét.

A következő mérésnél (2005. 11. 28.) az égéslevegő-mennyiség megváltoztatásának a következményeit vizsgáltuk, úgy hogy az égéslevegő-ventilátort nem kapcsolgattuk. Tüzelőanyagként összesen 100 l építési faforgács került a tartályba. Először 50 l. Jellemzője a magasabb nedvességtartalom mellett, hogy nagyobb méretű, hajlamosabb az elakadásra, és lazább szerkezetű, ezzel nagyobb a fajlagos térfogata. Megállapíthatjuk, hogy a tömörebb asztalosipari hulladékból 100 l nagyobb hőmennyiséget szolgáltat elégeésekor, mint a lazább építési faforgács 100 l-re. A begyűjtást követően 10 percig a levegőmennyiség kézzel beállított értéke 100 % -os, ami az égés önfenntartóvá válásáig szükséges. Ezután 40 % -ra lett beállítva. 35 perccel a begyűjtás után még 25 l került a tartályba és a levegő 20 % -ra lett visszafojtva, majd 10 perccel később 10 % -ra. A kazánvíz hőmérséklet visszaesés észlelésekor (35 perc elteltével) a levegő visszafojtás mértékét 25 % -ra mérsékeltek. A teljes forgácsmennyiség 1 óra 50 perc alatt fogyott el, és csupán 56 °C-os maximális kazánvízhőfokot eredményezett, ami korábbi állításomat alátámasztja, hisz a 100 l

asztalosipari forgács 3 óra 10 percre volt elegendő, és 64 °C-os maximális kazánvízhőfokot eredményezett. Az alacsonyabb kazánvízhőfok nemcsak a „kevesebb” tüzelőanyagnak tudható be, hanem a magasabb nedvességtartalom kedvezőtlen hatására az égéskor felszabadult hő tekintetében.

Levegőbeállítással a kazánvízhőfok kézi szabályozással is beállítható, de figyelembe kell venni a felszerelt termosztátos radiátorszelepek állását, mert az befolyásolja, zavarja.



7. 6. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszidő-függvénye.

T_{H1} , T_{H2} , T_{H3} - a beavatkozásokhoz kapcsolódó holtidők.

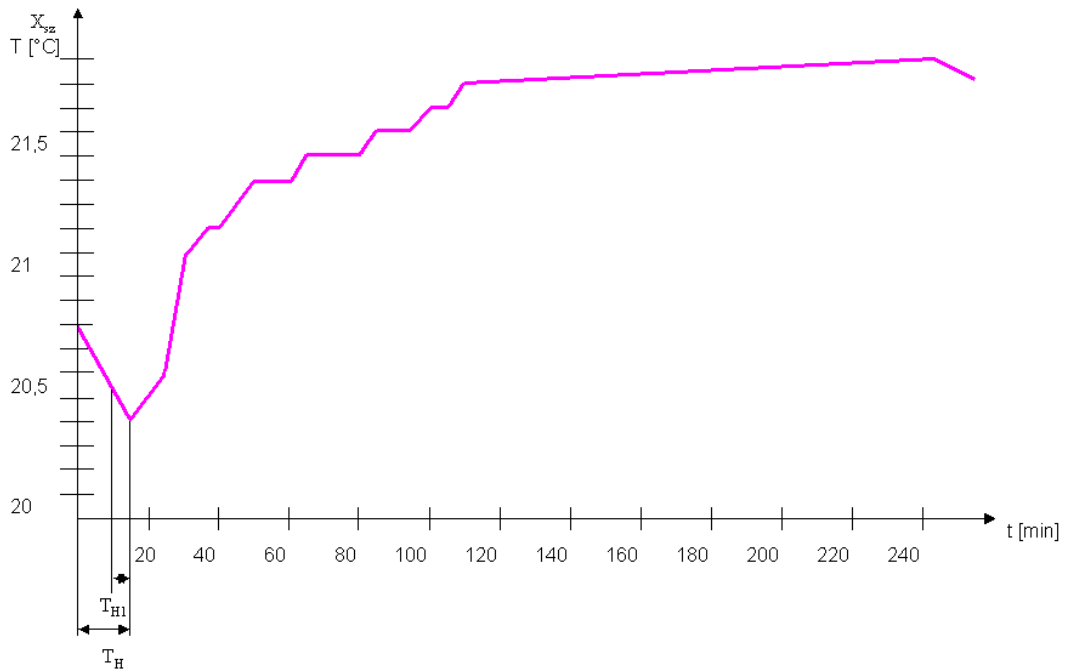
A két grafikon jól szemlélteti, hogy a kazán (mostani vizsgálatunkat tekintve mint szakasz) viselkedése holtidős arányos (persze két tárolóval kiegészítve, de jelen vizsgálatunk most nem erre összpontosít). Az is jól látható, hogy a rendszer tehetetlenségéből adódó holtidő nagysága függ az ugrásszerű beavatkozó jel változás (levegőmennyiség a módosított jellemző) mértékétől. A 60 % - os változásra 10 perc elteltével válaszolt a szakasz, míg a 20 % - ra 15 perc elteltével, tehát csökkenő mértékű változás hosszabb holtidőt eredményez. A grafikon azt is megmutatja, miként módosulnak az eredmények, ha a szakasz reagálása előtt újabb ugrásszerű beavatkozás történik. Látható, hogy a második és harmadik ugrásszerű beavatkozást követő holtidők egymást átfedik, de a szakasz PT_2 viselkedéséről is tudva nem okoz gondot az elkülönítésük.

A fatűz sajátosságaiból adódik (a 40 % levegő elegendő a jó hatásfokú égéshez az exoterm szakaszban), hogy a levegő visszafojtás az első beavatkozás után csak időlegesen (10 percig) okoz kazánvízhőfok csökkenést, utána csak a hőmérséklet-emelkedés mértéke esik vissza a korábbihoz képest. Az is leolvasható, hogy a 40 % -os beállítás hatása a begyújtást követő 50. percig érvényesül, utána a második beavatkozás, a 20 % -os levegőmennyiség hat egészen a 60. percig, ahonnan a 10 %-os beállítása.

A negyedik ugrásszerű beavatkozásnál úgy tűnhet, hogy azonnal reagált a szakasz, de az csak egybeesés az amúgy is bekövetkezendő lassabb hőmérsékletemelkedéssel. Mivel a berendezés üzeme abbamaradt nem tudunk következtetni a holtidő mértékére.

Elmondhatjuk, ha a szabályozásunk ugrásszerű beavatkozó jelre az égéslevegőmennyiséget módosítja, ami közvetlenül hat a tűz intenzitására és ezzel a hőtermelő-képességére, akkor a szabályozott jellemzőnk (x_{sz} , x_e) nem lineáris viselkedést mutat, hisz a szabályozási kör egy nem lineáris tag mellett is nem lineárisává válik.

De tudnunk kell, hogy a fenti mérések célja nem az volt, hogy milyen %-os állás mellett biztosítható egy adott kazánvízhőfok, hanem a fatűz által igényelt primer és szekunder levegő mennyiségének meghatározása az adott nedvességtartalmú fahulladékhoz. A 25 - 30 %-os állás megfelelő mennyiségű szekunder levegőt szolgáltat az építési faforgácshoz.



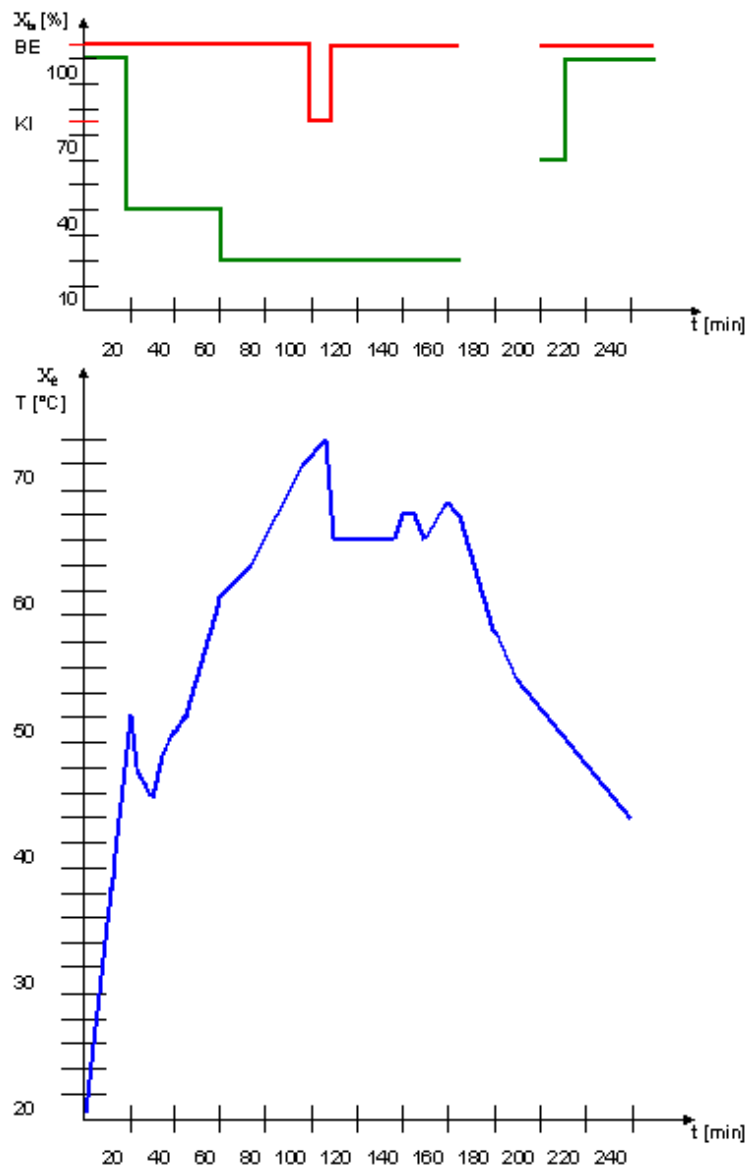
7. 7. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 11. 28-án.

Átmeneti függvény.

Ha a belső hőmérsékletet tekintjük ellenőrző jelnek és a kazánvízhőfokot beavatkozó jelnek, akkor szintén egy holtidővel terhelt PT_2 szabályozási körrel állunk szemben. Két holtidőt is láthatunk. T_H a teljes holtidő, amibe beletartozik az is, amikor a szivattyú még nem indul el. T_{H1} pedig a szivattyú elindulását követő a belsőhőmérséklet emelkedésének kezdetéig tartó holtidő. A görbe további részében jól látszik, hogy a levegőmennyiségbe avatkozás hatása a belső hőmérsékletre, ami az egész szabályozási kört tekintve többletárolós viselkedést mutat, hisz a belső hőmérséklet már vissza sem esik, csak a növekedés ütemében láthatóak a törések. Sőt a fűtés befejezése után is, amíg a víz folyamatosan hőt tud átadni egyenletesen és lassan nő a belső hőmérséklet (amíg megy a szivattyú, az ugyanis cca. 25 °C – os kazánvízhőfoknál leáll), utána lassú hőmérséklet visszaesés következik.

A következő mérésnél (2005. 11. 29.) egy üzemen belül két különböző minőségű fahulladékkal tüzeltünk. Elsősorban az égéslevegő-mennyiség

megváltoztatásának a következményeit vizsgáltuk, és együttes hatását az égéslevegő-ventilátor ki-bekapcsolásával. A tartály 100 l asztalosipari hulladékkal lett feltöltve, az égéslevegő-mennyisége 100 %-ra lett beállítva. A begyújtást követő 14. percben a kazánvíz keringetése elindult 42 °C-os előremenő víznél. Azt követő pár percben kezd melegedni a radiátor a lakásban. A füst alig látható. 18 perccel a begyújtás után a víz megfordult, melynek ellenőrzése kézzel rátapintással történt. Majd 4 perc múlva az égéslevegőt 40 %-ra visszafajtottuk. A begyújtást követő 25. perctől a belsőhőmérséklet emelkedni kezd, majd azt követő 35. perctől az égéslevegő 20 %-os. Az üzem 100. percében az égéslevegő-ventilátor leállítottuk 71 °C-os kazánvízhőfoknál. Ennek következtében a kazánvízhőfok visszaesett, így a 106. percben a ventilátort bekapcsoltuk 66 °C-nál. A 100 l forgács 2 óra 45 perc alatt fogyott el. Ekkor rátöltöttünk 30 l nagyon magas nedvességtartalmú fűrészporral. A következő 10 percben a levegőt előbb 60 %-ra majd 100 %-ra kellett állítani, és közben folyamatosan lazítani kellett a fűrészport, hogy égni tudjon, 40 perc múlva a fűrészpor elfogyott.



7. 8. ábra. A beavatkozó jelek változtatása, ami az égéslevegő mennyisége %-osan és a ventilátor üzeme, valamint annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok.

Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszütem-függvénye.

X_b – beavatkozó jel

KI – állapot esetén a ventilátor nem üzemel

BE – állapot esetén a ventilátor üzemel

X_e – ellenőrző jel

Itt is jól látható, hogy amíg a levegő visszafajtása csak a kazánvízhőfok emelkedésének mértékét csökkenti, addig a ventilátor kikapcsolása (a szinte teljes levegőelvétel²⁴) annak csökkenését eredményezi. Az eddigi mérésekből is kiderül, miért is a ventilátor üzemére hat a majdan bekötésre kerülő termosztát²⁵.

A grafikonon a szakadást a rátöltés és az újra beüzemelés okozta, de ez csak azért ilyen látványos mert egy nagyon vizes fűrészpör 'eltüntetése' volt a cél, amiből valódi hőtartalom nem volt kinyerhető, ezért a kazánvízhőfok alakulásából arra is következtethettünk volna, hogy elfogyott a tüzelőanyag.

7. 3. A fűtési rendszer kibővítése

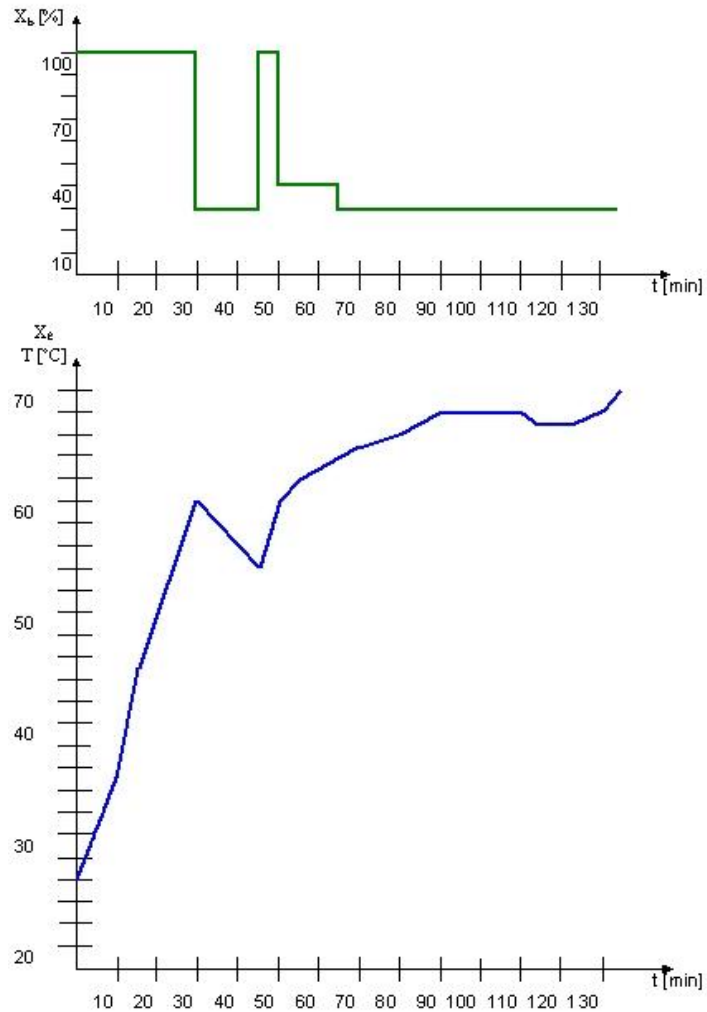
A 28 m²-es műhely rákötése a fűtési rendszerre megtörtént. A tapasztalatok a következők. Mivel rövid fűtési körről van szó (összesen 45 m), és a meglévő főrendszerhez képest nagyobb keresztmetszetű (15/18 mm, átmérő) és a műhely felső elosztású, tehát felül van az elosztás (szifon-fűtés) a ~ 3 m szintkülönbség a termocirkuláció megindulását eredményezte a keringető szivattyún keresztül is, így úgy tűnik, hogy a rákapcsolt új rendszernek köszönhetően a kazán a külső fűtőkörön keresztül segédenergia nélküli fűtésre is alkalmas lesz. Esetleges áramszünet esetén nem okoz túlmelegedést és a biztonsági lefűvató működését. Ilyen módon a csőtermosztát hiszterézise cca. 4 –5 °C- kal közelebb került a gyári hiszterézishez. A rövid külső kör miatt az oda kiáramló felmelegített víz gyakorlatilag 1 perc alatt visszafordul intenzív keveredést, okozva a kazán viszonylag hideg alsó vízterében. Ez a begyújtást követő hőmérséklet felfutás – visszaesés amplitúdójának csökkenését okozta. Így a felfűtés utáni hőmérséklet görbe arányosabbá vált. Mivel műhelyről van szó az ott lévő munka miatt a hőigény kisebb (15 °C ajánlott) az oda beépített hőcserélők (radiátorok) szándékosan aláméretezettek.

A következő mérésnél (2005. 12. 28.) a már rákötött műhely-fűtés, a rövid kör hatását nézhetjük meg. Most elsősorban az égéslevegő-mennyiséget változtattuk meg,

²⁴ Akkor tekinthetnénk teljesnek, ha a perdület is 0 %-os lenne, ugyanis a természetes huzat a ventilátor kikapcsolása esetén is megvan.

²⁵ Lásd a 6. 2. pontban leírtakat a termosztátos szabályozásról.

és a tartály 100 l asztalosipari hulladékkal (fűrészporos forgács) töltöttük fel. Különlegessége a kiinduló feltételeknek még, hogy a keringetés az előző üzem miatt még nem állt le, tehát a szivattyú a begyújtáskor is üzemelt. Begyújtáskor a kazánvízhőfok 26 °C-os volt, az égéslevegő-mennyisége 100 %-ra lett beállítva. Mivel magasabb hőmérsékletről indult a kazánvízhőfok emelkedés, és a szivattyú is üzemelt egyenletesebben emelkedett a kazánvízhőfok, illetve 40 °C körüli érték után nem tört meg az üteme, csak az intenzív hőelvétel megindulásakor. 30 perccel a begyújtás után a levegőmennyiséget 30 %-ra visszafajtottuk, amire szinte azonnal reagált a kazánvízhőfok, és csökkenni kezdett, 15 perc alatt visszaesett 54 °C-ra, s ekkor 5 percre 100 %-ra visszaállítottuk, majd 40 %-ra fajtottuk, és csak 15 perc elteltével állítottuk 30 %-ra, amikor már elérte a 64 °C-ot. Ezzel a beállítással egyenletesen bő egy óra alatt elérte a 70 °C-ot. Ilyen üzem mellett a 100 l asztalosipari hulladék összesen 3 órára volt elegendő.

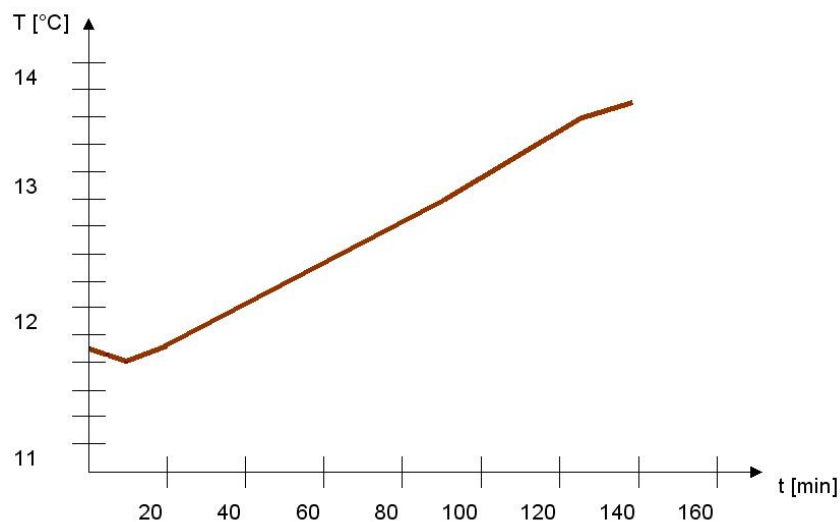


7. 9. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

Együttesen az ellenőrző jel válaszütem-függvénye.

A grafikonról leolvasható, hogy ha a peridületet 100 %-ról 30 %-ra visszavesszük, akkor mindenképp lesz egy szakasz, amikor a kazánvízhőfok csökkenni fog. Ezt csak azzal rövidíthatjuk le, ha átmenetileg ismét megemeljük a peridületet, és utána is csak 40 %-ra fojtjuk a levegőt. Majd amikor hozzávetőlegesen magas hőmérsékleten (most 64 °C-on) ismét 30 %-nyi levegőt juttatunk az égőkosárba, akkor 67 – 68 °C körül várhatóan néhányat lengeni fog a rendszerünk. Mivel a hőelvétel a kívánt hőmérséklethez közeledve csökken, arra következtethetünk, hogy a

kazánvízhőfok ismét emelkedni fog. Ha a termosztát üzemel, akkor beállított hőfok elérésekor ki fogja kapcsolni a ventilátort, ami mindenképpen kazánvízhőfok csökkenéssel jár együtt. Ha nincs termosztát, de a radiátorok egy része termosztátos radiátorszeleppel rendelkezik, akkor ez a szelep azon a radiátoron lezárja a hőátadást, ha a beállított hőfokot eléri a szoba hőmérséklete. Ez szintén a kazánvízhőfok emelkedésével jár együtt. Ez az emelkedés viszont véges, egyrészt mert az ilyen szeleppel nem rendelkező radiátoroknál a hőátadás nem szűnik meg, másrészt mint a példa mutatja, a tüzelőanyag elfogy, ami biztosan a kazánvízhőfok csökkenéséhez vezet.



7. 10. ábra. A műhely hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án.

Átmeneti függvény.

Amint várható volt a rövid körön a műhely belső hőmérsékletének emelkedése előbb (20 perccel a begyújtás után) megindul, mint a hosszú körön a lakás belső hőmérséklete (30 perccel a begyújtás után). Az is látható, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű műhely szinte egyáltalán nem érzékeny a kazánvízhőfok változásaira, ha

kering a meleg víz, akkor a műhely hőmérséklete egyenletesen emelkedik. Viszont a belső hőmérsékletnél tapasztalhatók kisebb törések.



7. 11. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 12. 28-án.

Átmeneti függvény.

Az asztalos anyaggal történő aprítéktüzeléskor összességében azt tapasztaltuk, hogy az égéslevegő mennyiségét célszerű 30 %-ra beállítani a felfűtési szakasz után – még akkor is, ha ez magasabb kazánvízhőfokot eredményez -, mert 20 %-nál könnyebben visszaég.

Korábbi, de nem mért aprítékégető nélküli tüzelések tapasztalata alapján, arra a következtetésre jutottunk, hogy a darabos hulladékkal, illetve tűzifával való fűtés kevésbé hatékony, rosszabbul szabályozható és több felügyeletet valamint beavatkozást igényel. Majdnem utolsó mérésünk (2005. 12. 29.) legyen egy darabos fahulladékkal (légszáraz) való fűtés nyomon követése. Mint már tudjuk, hogy ha a kazánvízhőfok ~ 25 °C alá süllyed, a szivattyú leáll és megszűnik a keringetés, de azzal együtt a hőelvétele is. Így fordulhat elő, hogy a kazán víztere a fűtés után, a maradék még izzó

parázstól ismét felmelegszik. Jelen esetben a begyújtáskor a kazánvízhőfok 28 °C volt. A begyújtáskor az égéslevegő 100% volt cca. 5 percig, amikor is 50 %-ra vettük vissza, ekkor indult el a szivattyú is 38 °C-nál. A kazánvízhőfok folyamatosan emelkedett 58 °C-ig a begyújtást követő 25. percig, majd lassan csökkenni kezdett, mert megindult a hőelvétel. Egészen 50 °C-ig esett vissza a begyújtást követő 38. percig, amikor tettünk a tűzre és 30 másodpercig 100 % levegőt biztosítottunk, majd 50 %-ra visszavettük az égéslevegőt. A kazánvízhőfok 5 perc után rohamosan emelkedett, és 70 °C-nál az égéslevegőt visszafojtottuk 25 %-ra a begyújtást követő 54. percben. Még két percig emelkedett a hőfok egészen 71 °C-ig. Utána a hőfok fokozatosan esett először a visszafojtás következményeként, majd a tüzelőanyag elégeése, fogyása miatt egészen 58 °C-ig. Amikor a begyújtást követő 1 óra 24. percben ismét tettünk a tűzre, és a levegőt 100 %-ra állítottuk, ekkor a hőfok 1 percig esett 2 °C-ot, majd ismét emelkedett. Két perc elteltével pedig 2 °C-ot emelkedett, és a levegőt 50 %-ra állítottuk. A begyújtást követő 1 óra 33 percben a levegőt 25 %-ra fojtottuk 68 °C-nál. Ekkor még emelkedett 2 percig 70,5 °C-ig. A begyújtást követő 2 óra 20 perc után, 60 °C-os kazánvízhőfoknál ismét tettünk a tűzre (levegő 100 %). Ezt követően 1 °C-os hőfok csökkenés után emelkedés indult meg, és a levegőt 50 %ra állítottuk 4 perc elteltével. 6 perc múlva 66 °C-nál 25 %-ra, és újabb 2 perc múlva 70 °C-nál 15 %-ra, így ismét visszaesett a hőfok. 3 óra 58 perccel a begyújtás után ismét ráraktunk a tűzre (levegő 100 %), mert a kazánvízhőfok visszaesett 40 °C-ra. 3 perc elteltével már 46 °C-os a víz (levegő 50 %). Majd 5 perc után 15 %-ra fojtjuk a levegőt 61 °C-nál. 1 perces és 1 °C-os emelkedés után ismét csökkent a hőfok. Mivel az előbb csak kevés fát tettünk rá, ezért a begyújtást követő 4 óra 16. percben megint tettünk a tűzre, és a kezdeti 100 %, majd 50 % után 8 perc elteltével 25 %-ra állítottuk a levegő mennyiségét, de továbbra is emelkedett a kazánvízhőfok 65 °C-ig, majd ismét csökkent. Emlékeztetőül a 100 % levegő a gyorsabb szárítás érdekében előnyös, de ez után elegendő az intenzív égéshez az 50 % is, ami még mindig légfelesleget okoz, ezért nem észlelünk ilyen esetben hőfokesést, csak a 25 % vagy 15 %-os valódi fojtásnál. A következő képsorozaton az égéslevegő állítási módját, illetve a különböző beállításokat láthatjuk.



100 %

50 %

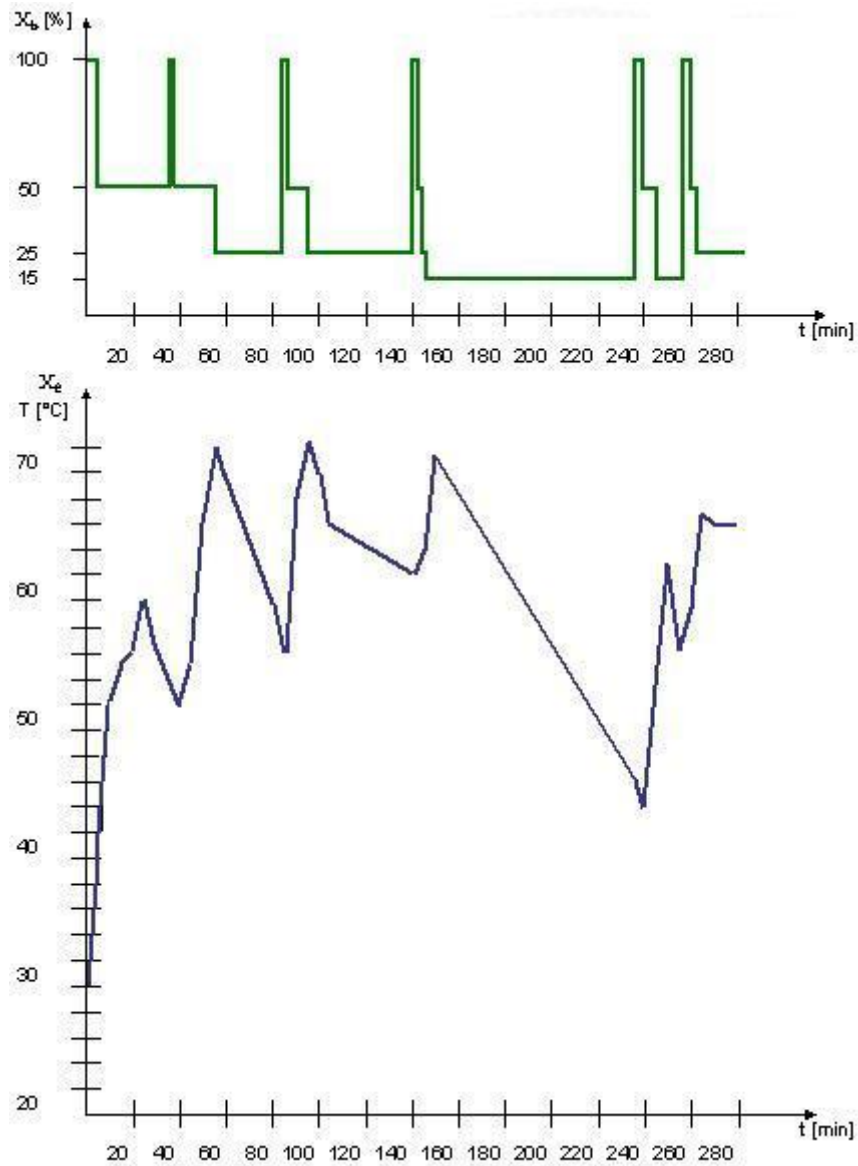
25 %

15 %

7. 12. kép. Égéslevegő állítás a fatüzelésű kazánál. Alatta az állásokhoz tartozó égéslevegő mennyiség százalékosan.

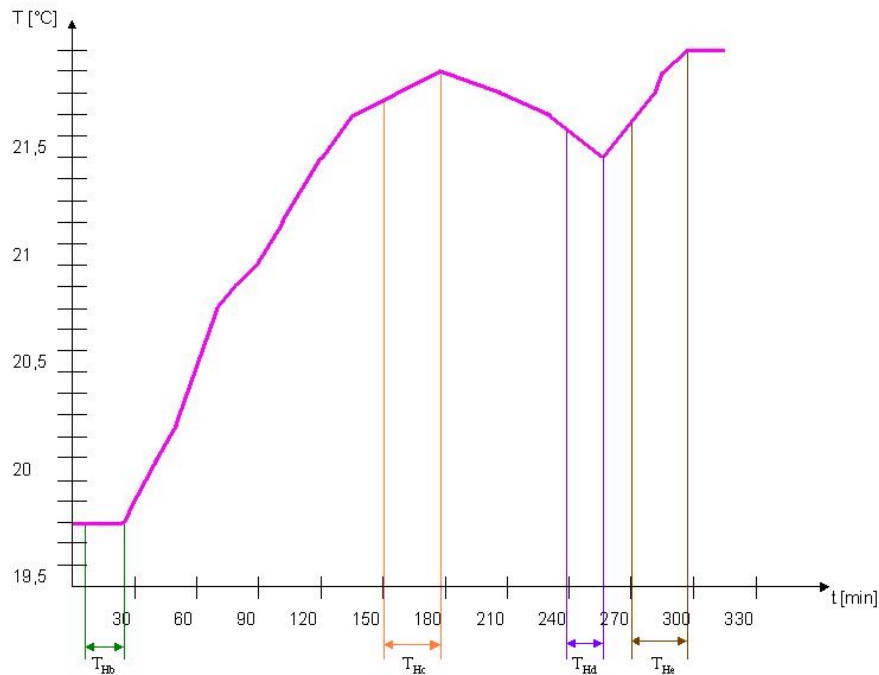
A grafikonok elemzése előtt már láthatjuk, hogy lényegesen több munkát ad a hagyományos darabos fával való tüzelés, és a kazánvízhőfok lényegesen tágabb határok között és gyorsabban ingadozik, ezért is folyamatos beavatkozást igényel.

A lényegesen több munka elsősorban abból adódik, hogy a tüzelőanyagot a tűztérbe kézzel kell betenni. Ez a hozzávetőlegesen óránkénti rárakást jelent, ráadásul a fatűz sajátosságaiból adódóan, rendszeresen változtatni kell az égéslevegő mennyiségét. Mindezek a kazánvízhőfok folyamatos ingadozásához vezetnek. Ennek ellenére nem okoz visszaesést – a belső hőmérsékletet tekintetében –, ha a kazánvízhőfok nem esik tartósan 60 °C alá.



7. 13. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

Együttesen az ellenőrző jel válaszdő-függvénye.



7. 14. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 12. 29-én.

Átmeneti függvény.

T_{Hb} , T_{Hc} , T_{Hd} , T_{He} - a fűtendő rendszer holtidói

Látható, hogy a belső hőmérséklet mindaddig viszonylagosan egyenletesen növekszik, amíg a kazánvízhőfok nem esik tartósan hozzávetőlegesen 60 °C alá. Ha viszont bekövetkezik, akkor már a belső hőmérsékleten is megmutatkozik a visszesés. Ellenkező esetben csak a belső hőmérséklet növekedésének üteme lassul - természetesen holtidós rendszer lévén – mindig késéssel. De ezek a holtidók csak kazánvízhőfok csökkenés esetén mutatják meg magukat a grafikonon jól láthatóan. Felmerülhetne az a kérdés, ha a holtidó a fűtőcsövön való út megtételének az ideje, akkor miért nem mindig ugyanannyi. Azért mert a rendszer tehetetlensége is hozzájárul, olyan nagy mennyiségű belső levegőt kell a lényegesen kevesebb víznek a radiátorokon keresztül felmelegítenie, hogy ez csak bizonyos késéssel válik mérhetővé, érzékelhetővé.

7. 4. Újabb tüzelőanyag kipróbálása

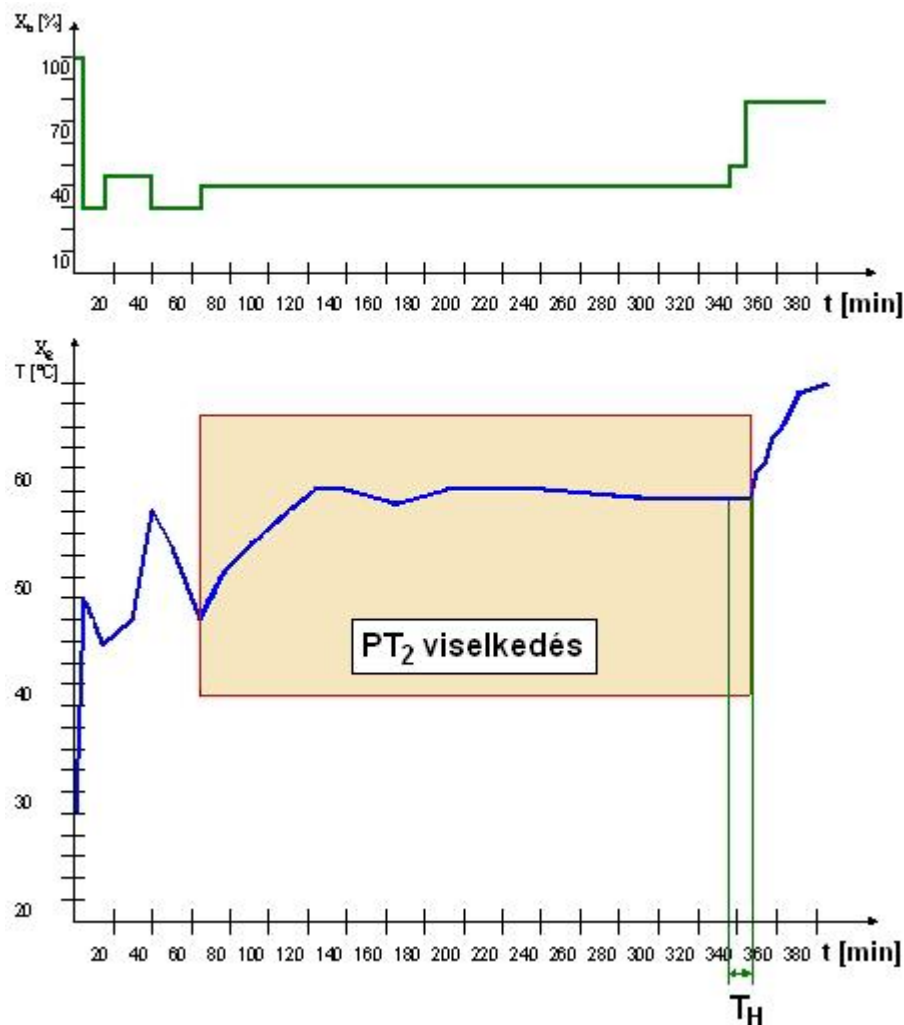
Váratlanul 01.03-án hozzájutottunk lapszabászati fűrészporhoz. Tudnunk kell róla, hogy nagyon száraz, szinte por alakú, homogénnek tekinthető a szemcseméretet tekintve, tömör szerkezetű, így ugyanaz a 100 l lényegesen nehezebb a forgácshoz képest. Minden tulajdonsága arra utal, hogy hosszabb ideig fog égni, mint ugyanannyi térfogatú faforgács. Nézzük először a mérés menetét.

Begyűjtáskor a szivattyú nem üzemelt, a kazánvízhőfok 28 °C-os volt. A lapszabászati por olyan könnyen gyuladt be, hogy amikor a kazánba tolás előtt a ventilátor el lett indítva lángoszlopként égett²⁶. A begyűjtást követő 3. percben elindult a keringetés, az 5. percben pedig már a kazánvízhőfok elérte a 48 °C-ot, az égéslevegő mennyiségét 30 %-ra állítottuk. Ez kevésnek bizonyult így a 15. percben 45 %-ra állítottuk, mert visszaesett a kazánvízhőfok 44 °C-ra. Utána ismét emelkedni kezdett egészen a 40. percre, amikor elérte az 56 °C-t, ekkor a levegőt 30%-ra fojtottuk. Ismét csökkent a kazánvízhőfok, ezért a 65. percben 40%-ra állítottuk a levegő mennyiségét. Ez a beállítás a felfutási időszak után jónak bizonyult, a kazánvízhőfok 57 és 58 °C között látszott beállni. A 335. percben azért állítottuk 50 %-ra, majd 10 perc után 80 %-ra a levegő mennyiségét, hogy hamarabb fejeződjön be az égetés, valamint magasabb kazánvízhőfokról kezdődjön a rendszer visszahűlése (hő-akkumuláció). Így 6 óra 30 perc alatt fogyott el a tüzelőanyag, de valószínűleg a 40 %-os beállítással 7 órára lett volna elegendő, ami messze több mint a faforgács esetében.

Az első következtetéseink. Az üzemeltetés közben és az adagoló indításakor fokozottan ügyelni kell a tűzvédelmi előírásokra. Az égéslevegő ventilátort beindítani csak az égéstérbe betolt adagoló helyzetében szabad, mivel a tüzelőanyag por halmazállapotú és robbanásszerűen gyullad be. Fordított a fa illetve a forgács tüzeléshez képest a levegőigénye. A forgácstüzelésnél a több levegő magasabb égési hőmérsékletet és láthatóan füstmentes égést eredményezett. Portüzelésnél az égés stabilitása miatt alacsonyabb égőkosárszintet és ezzel arányosan alacsonyabb égési levegőszükségletet eredményezett. Az égés stabilitása érdekében portüzelésnél a cél a tüzelőanyag

²⁶ Füstérzékelők jeleztek.

égőkosárban tartása az égés teljes időtartama alatt. Amennyiben ez nem sikeres az égés tökéletlenné válik, és oxidálatlan égéstermékek juthatnak a környezetbe. Ez látható füstölést eredményez, mely részleges levegő elvétellel kompenzálható. Optimális esetben a szükséges hőteljesítmény (felmelegítés, hőntartás) nem látható füst kíséretében elérhető. Jelen állapotban az illetett rendszernél 57 – 58 °C kazánvízhőfok eléréséhez 30 – 40 % közti levegőmennyiség szükséges, ez az adott rendszer por halmazállapotú tüzelőanyaghoz optimalizált égés-levegő szükséglete.



7. 15. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

Együttesen az ellenőrző jel válaszdő-függvénye.

A grafikonon jól látható, hogy a felfűtés időszakában a változtatásokra szinte azonnal reagál a rendszer, azaz holtidő nélküli a viselkedése. Egy órával a begyűjtés után a felfűtés időszaka véget ért, beállítottuk az optimális égéslevegő-mennyiséget, a belső hőmérséklet emelkedése is intenzívvé vált. Így a következő 5 órában különösebb zavarás és ezért beavatkozás nélkül üzemelt a berendezés. Viselkedése csillapodó lengésekkel beálló PT_2 -ként jellemezhető (a kazánvízhőfokkal leírható szakasz). Holtidővel a stabilan beállt rendszer reagált a beavatkozásokra (T_H).

Azt a következtetést vonhatjuk le a különböző üzemekből, hogy a lapszabászati porhulladék homogenitása miatt jobban szabályozható annak az égetése, mint bármelyik faforgáccsal való tüzelés. A beállított értéket jól tartja, sokkal kevesebb beavatkozást és felügyeletet igényel.

8. A továbbfejlesztési lehetőségeinek számbavétele

8. 1. A szabályozási kör bővítése

Füstgáz hőfokra történő szabályozás az égéslevegő-ventilátor perdületét szabályozza. A perdületet mindig a szívó ágon szabályozzuk. A szívóági fojtás nem igényel a ventilátortól többlet teljesítményt, ugyanis az áramlástani elven működő ventilátorok kitöltési tényezőjét variálja. Következés képen egy teljes szívóági fojtás a ventilátor üresjáratának felel meg, amikor is a legkisebb a teljesítmény felvétele. A ventilátorok²⁷ felépítése kétfajta lehet: axiális és radiális. Ehhez a berendezéshez illesztett ventilátor axiális elrendezésű az égéslevegő-ventilátor motor teljesítménye pedig 30W/220V.

Más megfogalmazásban: felmerült, hogy a levegőmennyiség szabályzót a távozó füstgáz hőfokra lenne érdemes kidolgozni. Ha eléri a 150 °C-ot vegyen vissza a levegőmennyiségből, vagy csak 200 °C-nál, amikor a hőveszteség már igen jelentős. Kérdés meddig szabályozza vissza a levegőt? Ennek tükrében hogyan alakul a belső hőfok. Javul-e az égés hatásfoka, vagy a hőveszteség csökkentés annak rovására történik?

Későbbi tervek közé tartozik, a *hidraulika-váltó* megépítése. Többkörös fűtési rendszereknél hidraulika-váltót szokás alkalmazni, amely áll egy rövid fűtőkörből és több különböző hőigényű fűtési körből. A fő fűtőkörben felmelegített víz a hidraulikaváltónak nevezett tartályon keresztül kering, ami nem más, mint egy keverő edény(puffer). A fűtési-rendszerek nyomástartása is a fűtött körön keresztül kerül megvalósításra (ipari gőz szolgáltatási rendszereken ez általában a fűtőgőz kondenzátumából történik). Az alrendszerek (egyedi fűtőkörök) hőmérséklet-szabályozása a napszakonként változó hőigényeknek megfelelően ún. három-utú szelepekkel történik (ezek terelő szelepek, amiknek egy bemenete van és két kimenete,

²⁷ Ipari környezetben a radiális fajta az elterjedt. A radiális is lehet egyszeres- vagy kettős beömlésű. A radiális megjelölés mindig a ventilátor forgórészéből távozási irányt jelöli. Lapátozását tekintve lehet előre vagy hátrahajló típusú. Az axiális ventilátornak a be- és kiömlése is axiális, lapátozása pedig hátrahajló típusú. Zajszintje egy axiális ventilátornak azonos teljesítmény esetén mindig magasabb, mint egy radiálisnak. Előnye viszont, hogy olcsóbb és kis helyigényű.

amely arányosan az egyik nyitásával a másik záródik, azaz nincsen fojtás), így fojtásmentes szabályozást eredményez, így a keringetési veszteség viszonylag kicsi. Az egyedi fűtőkörök saját keringető szivattyúval rendelkeznek, amelyek a fűtési körök méretéhez és hőigényéhez méretezettek. Ismerünk olyan rendszereket is, ahol a fűtési-alrendszerek hűtő-fűtő hőcserélőkkel(Fan-coil)vannak felszerelve, ahol is, a hidraulikaváltóhoz nagyteljesítményű hűtőkompresszor is kapcsolt, melyek nyári üzemben hűtési (klimatizálási) funkciót látnak el.

8. 2. A termosztátos szabályozás kiinduló paraméterei

A mérésekből levonhatunk olyan következtetéseket, hogy ha a kazánvízhőfokot megközelítőleg 55 – 70 °C között tartjuk, akkor az a belső hőmérséklet egyenletes emelkedését eredményezi. Továbbá azt is megfigyelhettük, hogyha a kazánvízhőfok csökkenése nem tart 30 percig, vagy nem esik 60 °C alá, akkor az nem okoz a belső hőmérsékletben visszaesést. Ezek kiinduló pontját képezhetik a kazánvízhőfokra való szabályozás beállításának. Így például első megközelítésben, ha továbbra is csak felfűtésekben és nem állandó hőmérsékleten tartásban gondolkodunk, akkor a termosztátot 62 °C-ra állíthatjuk 10 °C-os (± 5 °C) hiszterézissel. A termosztátot az előremenő vízvezetékre helyezzük fel, akkor első lépésben azt kell ellenőrizni, hogy a beállított értékek megegyeznek-e a tényleges kazánvízhőfokkal (valóban 67 °C-os kazánvízhőfoknál kapcsolja ki a ventilátort). Ezt további mérésekkel lehet pontosan beállítani.

8. 3. A műszaki rendszer bővítése

Továbbiakban kiépítésre kerül egy olyan információs tábla mely szerint a lakótérből közvetlen információ nyerhető a berendezés üzemére vonatkozóan (visszaégés 1-es, 2-es fokozat, tüzelőanyag elfogyása, illetve a berendezés üzemen kívül helyeződése, tűzjelző - füstérzékelő) hang és fényjelzéssel. A berendezés hőszolgáltatási kibővítése a

későbbiekben a garázs és nyári konyha fűtésével kiegészül, illetve tervek szerint összekapcsolásra kerül a nyári időszakban üzemelő használati-melegvízkészítő (napkollektor) rendszerrel. Ezért a fűtési körbe bekerül még egy hőcserélő és egy 200 literes puffer, amely állandó cirkulációval lesz összekötve a belső forróvíztároló tartállyal (120 l), így nyári üzemben a napkollektor, téli üzemben a biomasszával tüzelő kazán biztosítja a háztartás számára szükséges melegvizet.

9. Összegzés

A jelen gazdasági helyzetben az ilyen megoldások még időszerűbbek, mint valaha. Célunk, hogy felhívjuk a figyelmet a 'több lábon álló' fűtési rendszerek szükségességére.

Összességében elmondhatjuk a különböző tüzelőanyagok kipróbálása után, hogy a legjobban szabályozható a lapszabászati (bútorlap) fűrészporral való tüzelés volt. Azzal a por alakú tüzelőanyaggal, amit háztartási körülmények között, csak ilyen berendezésben lehet eltüzelni, hagyományos vegyestüzelésű kazánokban egyáltalán nem, csak eloltaná a tüzet. Nagyságrendekkel homogénebb, mint bármely faforgács, faapríték. Mivel az égést befolyásolja a darabosság (méret és alak), a nedvességtartalom, a fafajtája, sőt annak egyedei között is van eltérés még akkor is, ha azonos területről származnak. Ezek közül egyik szerint sem tekinthető teljesen homogénnek a faforgács, csak hozzávetőlegesen. Márpedig a szabályozás és a tüzelés hatásfokát is növeli a homogén szerkezetű tüzelőanyag használata.

Mivel általában azonos térfogatú tüzelőanyagot használtunk, ez alapján kijelenthetjük, hogy a építési faforgács és fűrészpor lazább szerkezetű, nedvesebb és 100 l cca. 1 óra 50 percre elegendő. Az asztalosipari fűrészporos forgács már tömörebb és szárazabb, így 100 l már cca. 3 óra 10 percre elegendő. Míg a lapszabászati (forgácslap) por hulladék még tömörebb, szárazabb, s 100 l már 6 és fél – 7 órára elegendő. A szabályozás pontosságát, minőségét, hatékonyságát tekintve is ez a sorrend.

De mivel kifejezetten a faipari hulladékok energetikai felhasználása, azon belül az aprítékégető közbejöttével való minél jobb hatásfokú eltüzelése a cél, nem a tüzelőanyagok közötti választásra helyezném a hangsúlyt, hanem az eltérő tulajdonságokhoz igazított optimális szabályozási paraméterek beállításokra.

Irodalomjegyzék

- [1] http://www.omgk.hu/MGUT5/mgut5_2.html
- [2] Dr. Marosvölgyi Béla: Hulladékhasznosítás In: Magyar Asztalos és Faipar 1994.
<http://www.faipar.hu/02.htm>
- [3] Németh Gábor - Dr. Varga Mihály: Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága III. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/9 számából
<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fafeldolgozas09.pdf>
- [4] Dr. Marosvölgyi Béla: A fahulladékok energetikai hasznosítása I. In: Magyar Asztalos és Faipar 1991/05 számából
www.faipar.hu/faipar/cikkek/ene_91.htm
- [5] A megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségei Bács-Kiskun Megyében 4. Fejezet
www.bacskiskun.hu/ecostep/megujulo-energiak/09-f8.htm
- [6] Dr. Schöberl Miklós - Széll Andrea: Fa és fahulladékok égetése I. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/10 számából
<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fahulladek10.pdf>
- [7] Hans-Peter Ebert: *Fatüzelés* Budapest, Cser Kiadó 1997.
- [8] Dr. Schöberl Miklós: Fa és fahulladékok égetése II. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/11 számából
<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/egetes11.pdf>
- [9] Széll Andrea: Fa és fahulladékok égetése IV. In: Magyar Asztalos és Faipar 2003/3 számából
<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2003/faegetes.pdf>
- [10] Pecznik Pál: Biomassza: a régi-új energiaforrás III.rész In: Agrárágazat 2001/11 számából
www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2001-ev/11-november/agrarag2001-11-17.html
- [11] Stumphauer Tamás - Dr. Csiszár Antal: *Energiahatékonysági kézikönyv* Regionális Energia- és Anyagtakarékossági Központ és az Életfa Környezetvédő Szövetség 1999.

www.reak.hu/kk/index.htm

[12] Stumphauer Tamás - Dr. Csiszár Antal: *Energiahatékonysági kézikönyv* Regionális Energia- és Anyagtakarékossági Központ és az Életfa Környezetvédő Szövetség 1999.

www.reak.hu/kk/004.htm

[13] Stumphauer Tamás - Dr. Csiszár Antal: *Energiahatékonysági kézikönyv* Regionális Energia- és Anyagtakarékossági Központ és az Életfa Környezetvédő Szövetség 1999.

www.reak.hu/kk/010.htm

[14] Prof. Dr. Kovács Jenő: Az erdészeti és faipari hulladékok energetikai hasznosításának eredményei II.

www.reak.hu/hirlevel/05.htm

[15] Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: Szabályozások. Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

[16] Dr. Szakonyi Lajos - Dr. Kapitányne Dr. Hantos Gizella: Irányítástechnika I. Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

Táblázatok, ábrák és képek jegyzéke

2. 1. táblázat. A fahulladékok keletkezése.

Forrása: Németh Gábor - Dr. Varga Mihály: Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága III. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/9 számából

<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fafeldolgozas09.pdf>

2. 2. táblázat. Az épületasztalos-ipar összes hulladékának becsült megoszlása.

Forrása: Németh Gábor - Dr. Varga Mihály: Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága III. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/9 számából

<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fafeldolgozas09.pdf>

3. 1. táblázat. A faenergiát adó összetevők és azok tulajdonságai.

Forrása: Hans-Peter Ebert: *Fatüzelés* Budapest, Cser Kiadó 1997.

3. 2. táblázat. A fa összetevőinek reakciója az elégés folyamán.

Forrása: Hans-Peter Ebert: *Fatüzelés* Budapest, Cser Kiadó 1997.

3. 3. ábra. A fa égetésének folyamata.

Forrása: Dr. Schöberl Miklós - Széll Andrea: Fa és fahulladékok égetése I. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/10 számából

<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fahulladek10.pdf>

3. 4. ábra. Különböző anyagok fűtőértéke (Széll Andrea mérései)

Forrása: Dr. Schöberl Miklós - Széll Andrea: Fa és fahulladékok égetése I. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/10 számából

<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fahulladek10.pdf>

3. 5. táblázat. Fa és fahulladékok jellemző idegen anyagai.

Forrása: Dr. Schöberl Miklós - Széll Andrea: Fa és fahulladékok égetése I. In: Magyar Asztalos és Faipar 2002/10 számából

<http://www.faipar.hu/faipar/cikkek/2002/fahulladek10.pdf>

3. 6. ábra. Egyaknás tüzelőberendezés, kétaknás tüzelőberendezés.

Forrása: Pecznik Pál: Biomassza: a régi-új energiaforrás III.rész In: Agrárágazat 2001/11 számából

www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2001-ev/11-november/agrarag2001-11-17.html

3. 7. ábra. A hőtárolásos fűtés működési elve.

Forrása: Hans-Peter Ebert: *Fatüzelés* Budapest, Cser Kiadó 1997.

3. 8. ábra. Puffertárolós fafűtés szoláris berendezéssel kombinálva.

Forrása: Hans-Peter Ebert: *Fatüzelés* Budapest, Cser Kiadó 1997.

4. 1. ábra. Kétfázisú, kétcsöves fűtési rendszer, osztó gyűjtővel.

Forrása: www.reak.hu/kk/010.htm

4. 2. ábra. Tágulási tartály.

Forrása: www.reak.hu/kk/010.htm

4. 3. ábra. Folyadéktöltésű termosztatikus szelep.

Forrása: www.reak.hu/kk/010.htm

4. 4. ábra. A hiszterézis nélküli és a hiszterézises kétállású szabályozó statikus karakterisztikája

Forrása: Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: *Szabályozások* Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

4. 5. ábra. Szabályozási kör hatásvázlata.

Forrása: Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: *Szabályozások* Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

4. 6. ábra. A szabályozó statikus karakterisztikája

Forrása: Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: *Szabályozások* Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

4. 8. ábra. Bekapcsolási tranziens.

Forrása: Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: *Szabályozások* Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

4. 9. ábra. Kikapcsolási tranziens.

Forrása: Dr. Szakonyi Lajos és Jancskárné Anweiler Ildikó: *Szabályozások* Pécs, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Műszaki Informatikai Tanszék, 2002

5. 1. ábra. Az alternatív fűtési rendszer szerkezeti vázlata.

5. 2. kép. A kazán nyitott tüzelőanyag adagoló ajtóval.

5. 3. kép. Szivattyú a csőtermosztáttal. A szabályozási kör része a termosztáttal szabályozott szivattyóműködtetés.

5. 4. ábra. A kazánhoz illesztett aprítékégető szerkezeti vázlata.

6. 1. ábra. Az elektronikai doboz (szabályozó) tömbvázlata.

6. 2. kép. Égőfej az égőkosárszint érzékelővel.

6. 3. ábra. Égőkosárszint szabályozás. Alap szabályozási kör.

6. 4. ábra. Többhurkos szabályozási kör kazánvízhőfokra történő szabályozással.

6. 5. kép. A ventilátor perdület állásaihoz megadott égéslevegő mennyiség százalékosan.

6. 6. kép. Visszaégésgátló víztartály és összekötése az adagoló csigával.

6. 7. ábra. Alap szabályozási kör a visszaégésgátlás első fokozatával.

6. 8. kép. A visszaégésgátlás első fokozata. A felhelyezett csőtermosztát.

7. 1. ábra. A beavatkozó jel (ami a ventilátor üzeme) átmeneti függvénye.

7. 2. ábra. A kazánvízhőfok és a belső hőmérséklet azonos léptékű közös grafikonja az idő függvényében. A grafikon egyben mutatja az ellenőrző jel (kazánvízhőfok) átmeneti függvényét.

7. 3. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében az előző grafikontól eltérő léptékben 10. 16-án. Átmeneti függvény.

7. 4. ábra. A beavatkozó jelek változtatásának (ami a ventilátor üzeme és a levegőmennyiség) átmeneti függvényei.

7. 5. ábra. A grafikon mutatja az ellenőrző jel (kazánvízhőfok) átmeneti függvényét.

7. 6. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszidő-függvénye.

7. 7. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 11. 28-án. Átmeneti függvény.

7. 8. ábra. A beavatkozó jelek változtatása, ami az égéslevegő mennyisége %-osan és a ventilátor üzeme, valamint annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

7. 9. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszidő-függvénye.

7. 10. ábra. A műhely hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án. Átmeneti függvény.

7. 11. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 12. 28-án. Átmeneti függvény.

7. 12. kép. Égéslevegő állítás a fatüzelésű kazánál. Alatta az állásokhoz tartozó égéslevegő mennyiség százalékosan.

7. 13. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszidő-függvénye.

7. 14. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 12. 29-én. Átmeneti függvény.

7. 15. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények. Együttesen az ellenőrző jel válaszidő-függvénye.

I. 1. kép. HALEX 25

I. 2. táblázat. A HALEX 25 és a HALEX 50 gyári adatai.

I. 3. kép. A kosárszint érzékelő tartó lemeze a csigaprofilhoz lett igazítva.

I. 4. kép. Égőkosár záró lemezére tisztító nyílás került.

- I. 5. kép. A betekintő nyílás szilikon tömitést és hőálló üvegezést kapott.
- I. 6. kép. A visszaéégsgátlás első fokozata. Az időzítő-relével kiegészített elektromos doboz.
- I. 7. kép. A perdületszabályozó rugós előfeszítése.
- III. 1. ábra. A nyárikonyha belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án.
- III. 2. ábra. A nyárikonyha belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 29-én.
- III. 3. ábra. A mûhely belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án.
- III. 4. ábra. A mûhely belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 29-én.
- III. 5. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 11. 29-én. Átmeneti függvény.
- III. 6. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.
- A 12. 29-én a begyújtást követő 84. percétől a második szakaszban a beavatkozás és a kazánvízhőfok alakulását láthatjuk az idő függvényében (válaszidő-függvény).
- III. 8. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.
- IV. 1. kép. HALEX 25 a kazánhoz illesztve.
- IV. 2. HALEX 25 üzem közben.
- IV. 3. kép. HALEX 25 üzem közben.
- IV.4. kép. A mobil HALEX 25 a kazánhoz illesztve.
- IV. 5. kép. Elektromos doboz.
- IV. 6. kép. Csigahajtás.
- IV. 7. kép. Égőkosárszint-távadó
- IV. 8. kép. Aprítéktartály alján található ledobónyílás a behordócsigával.
- IV. 9. kép. Nyitott tüzelőanyag tartály. A tartályban faforgács látható.

- IV. 10. kép. A betekintő nyíláson keresztül látható az égőkosárban égő tűz.
- IV. 11. kép. Nyomásmérő.
- IV. 12. kép. Füstérzékelő.
- IV. 13. kép. Előremenő víz.
- IV. 14. kép. Visszatérő víz.
- IV. 15. kép. Radiátor a szobatermosztáttal egy légtérben.
- IV. 16. kép. Radiátor termosztátos radiátorszeleppel.
- IV. 17. kép. Programozható szobatermosztát.
- IV. 18. kép. A szobatermosztát kijelzője.
- IV. 19. kép. Melléképületben a szigetelt és a nem szigetelt tetővel rendelkező rész jól látható.
- IV. 20. kép. Kevesebb hőveszteséggel rendelkező tetőtér.
- IV. 21. kép. Több hőveszteséggel rendelkező tetőtér.

Mellékletek

I. HALEX 25

A gyártó által készített kép a berendezésről, és alatta a gyártó adatai és az általa közölt műszaki adatok.



I. 1. kép. HALEX 25

A Halex Kft. (8790 Zalaszentgrót, Május 1. út 8. Tel/fax 83/360-093, Kapcsolat: Halász Tamás) által gyártott aprítékégetők műszaki paramétereit:

Típus: HALEX 25

fűtő teljesítmény:	25 kW
elektromos teljesítményigénye:	0,26-0,37 kW;
szükséges kazánajtó méret:	200x180x420
feltöltési mennyiség:	250 dm ³
kiterjedése: szélesség:	560 mm
hosszúság:	1600 mm
magasság:	1250-1650 mm
ár:	198.000 Ft+Áfa

Típus: HALEX 50

fűtő teljesítmény:	50 kW
elektromos teljesítményigénye:	0,37 kW
szükséges kazánajtó méret:	280x210x460
feltöltési mennyiség:	440 dm ³
kiterjedése: szélesség:	620 mm
hosszúság:	1600 mm
magasság:	1550-1900 mm
ár:	292.000 Ft+Áfa

I. 2. táblázat. A HALEX 25 és a HALEX 50 gyári adatai.

I. 1. HALEX 25 típusú aprítékégető felépítése

-vázszerkezet a kerekkel,magasság-állítással

-aprítéktartály (250 l)

-adagolócsiga + bolygatás

-közlömű + motor

-égőkosár

-vízartály (visszaégés-gátlás)

-vilamos kapcsolódoboz

-ventilátor

Aprítéktartály

Lemezből hajlított nyolcszögletű lefelé bővülő edény. A középtengely aljában egy bolygatókar van,ami az adagolócsigával együtt forog.

Áttétel: 1:3 csigafordulat.

Szerepe: az esetlegesen összetapadt,felboltozódott aprítékot segíti a csiga ledobónyílásába bejuttatni.

Ledobónyílás

A tartály fenéklemezéből van kivágva a sugár 2/3 hosszában, 8 cm széles. Alatta a behordócsiga helyezkedik el. A nyílás keresztmetszete a csiga felé bővülő.

Égőkösár

9 db szekcionált öntöttvas szegmensből, ami 4db $\varnothing 10$ -es köracélra van felfűzve. Az utolsó 5 szegmens 7-7 bevágást tartalmaz 6mm mélyen. Ezek az égéslevegő-nyílások. A legkülső szegmens után egy 6mm-es kazánlemezből egy záróelem van kiképezve.

Módosítás: a záróelem alul ki van vágva az égőkösár könnyebb tisztíthatósága végett.

Adagolócsiga

Egy 0,25 kW-os 3 fázisú villanymotorral hajtott porvédett hajtómű adja a nyomatókat a csiga felé. A csigatengely közepén van a bolygatókar meghajtása egy kúpkerék-tányérkerék kapcsolattal. Ezután van a csigatengely egyetlen csapágyazása a csiga-vályú kezdeténél. Itt van a csiga-ledobónyílás kedete is. A csiga-vályú közepén helyezkedik el a visszaégés-gátlás csatlakozója (1/2") Ide kell betenni az esetlegesen kiolvadt fólia helyére a cseredarabot. Ezután következik a kémlelő-nyílással ellátott pajzslemez.

Módosítás: A kémlelő félrehajtható lemeze helyett egy hóálló üveg lett beépítve.

A csiga középső szakaszára egy csőtermosztát lett felszerelve egy időrelével kiegészítve. A csiga hőmérséklet-emelkedésekor (60°C) 10 sec. ideig elindítja a csigát, majd vár 3 percet. Ha a feltétel fennáll, ismétlődik a ciklus. A folyamat párhuzamos a kosárszint-érzékelő működésével. A szerkezet beépítését a laza szerkezetű asztalos-forgács tette szükségessé, mert feltételezzük, hogyha a szoba-termosztát rákapcsolása bekövetkezik, és az a ventilátort leállítja, a laza levegős forgács hajlamos lesz a visszaégésre, és a berendezés a visszaégés miatt kiesik az automatikus üzemből. Később ezt a beállítást megváltoztattuk, de a működési elvet nem.

Égéslevegő-ventillátor

\varnothing 160 mm-es axiális ventilátor manuális perdület-szabályozással. A szekcionált öntöttvas kosárelemekhez szállítja az égéslevegőt. Működését a szobatermosztát szabályozza. A perdület állását a tüzelendő apríték nedvességtartalma, és az égetési fázis határozza meg.

Begyűjtás: 100 %

Felfűtés: 50-60%

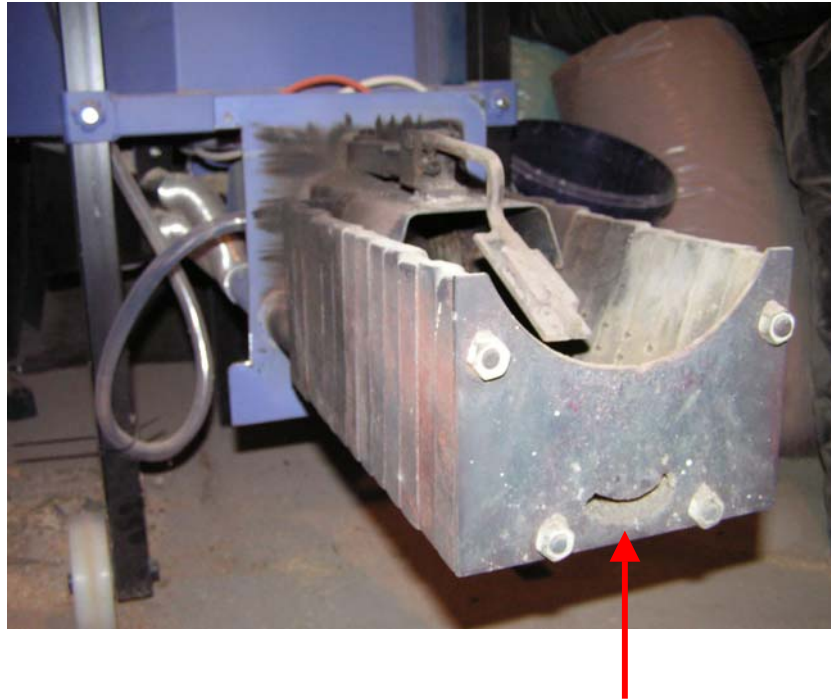
Hőntartás: 15-30%

A felfűtés és hőntartás százalékjai ~ 10%-os nedvességtartalmú aprítékra vonatkozik.
Magasabb nedvességtartalmú apríték esetén + 20-30%-al több levegő szükséges.

I. 2. A berendezésen eszközölt változtatások képekben.

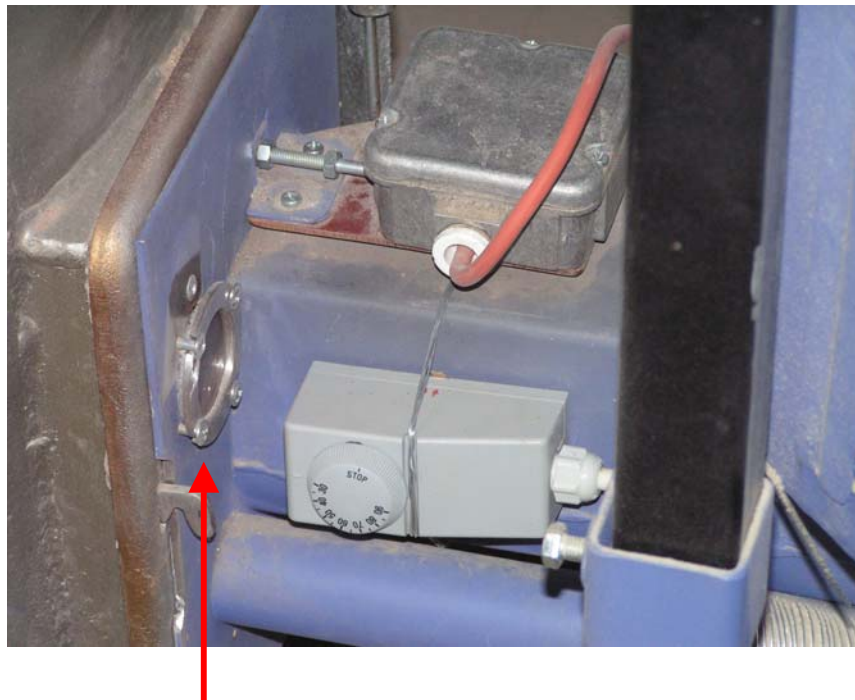


I. 3. kép. A kosárszint érzékelő tartó lemeze a csigaprofilhoz lett igazítva.



I. 4. kép. Égőkosár záró lemezére tisztító nyílás került.

Megjegyezzük, hogy ezen a kis nyíláson előtoláskor csekély mennyiségű fahulladék hull a kazán csőrostélyára, és ott ég, mivel természetesen a kazán tűzterében olyan magas hőmérséklet uralkodik. Abból az égésből felszabaduló hő szintén melegíti a kazán vízterét. Az apríték elfogyása után, ha azt választjuk, kihúzhatjuk az aprítékégetőt a kazánból (ügyelve az égésveszélyre) és a csőrostélyon található izzó parázsra darabos fát dobunk, valamint az égéstérbe levegőt juttatunk, akkor az ott meg fog gyulladni.



I. 5. kép. A betekintő nyílás szilikon tömítést és hőálló üvegezést kapott.



Elektomos doboz szemből.

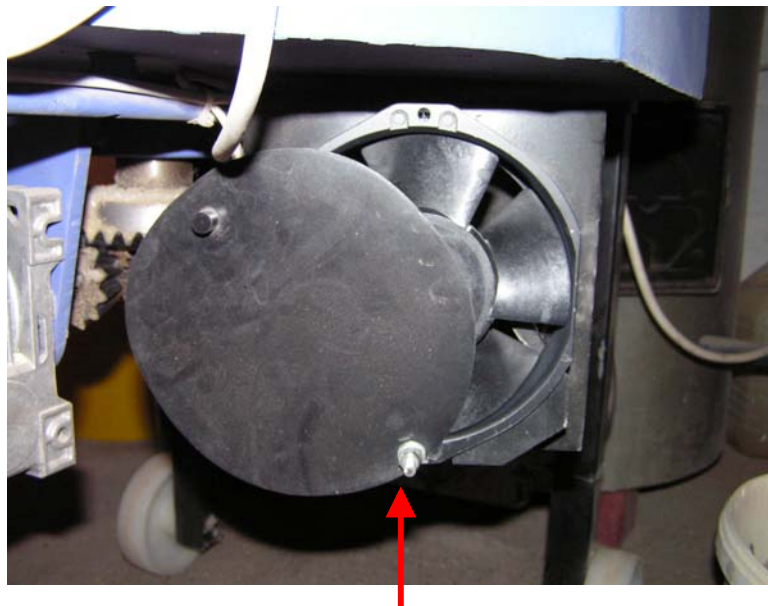


Elektomos doboz oldalról



Időzítő-relé

I. 6. kép. A visszaégésgátlás első fokozata. Az időzítő-relével kiegészített elektomos doboz.



I. 7. kép. A perdületszabályozó rugós előfeszítése.

A perdület szabályozó csavaros leszorítása helyett rugós előfeszítést kapott, így kevésbé hajlamos az üzem közbeni elállítódásra.

A többi változtatás kifejezetten a szabályozással összefüggésben készült el így azok a megfelelő helyeken vannak képpel illusztrálva.

II. Az épület energiaviszonyainak elmélete

Kezdem általánosan az épületek energiaviszonyaival, majd folytatom a házzal, vagy ha úgy szimpatikusabb a fűtendő környezettel, a fűtendő rendszerrel. Még összetettebbé teszi a helyzetet a ház átalakítása, mely az energiatakarékosság, a komfortosság, a szépség és a használhatóság jegyében zajlott, de még nem fejeződött be.

Az épület energiaviszonyait az alábbi szempontok alapján kell megvizsgáljunk. Először is megfelelő hőmérsékletviszonyokat és légállapotokat kell biztosítani. A levegő se meleg, se hideg, se túl száraz, se túl nedves ne legyen. Hőérzetünket befolyásolják még egyéb szempontok is, például a falak belső felületének hőmérséklete, a légmozgás is. A légviszonyokon kívül a komfortérzethez hozzátartozik a csendes környezet és a megfelelő tisztaságú levegő is. Ezek alapján a ház kialakításánál a következő fő védekezési rendszereket kell kialakítani: a szigetelési rendszert a hideggel és a meleggel szemben, a víz és a csapadék ellen, és a zajhatások ellen.

A mi éghajlati viszonyaink között az energiafogyasztás maximuma és annak magas költségei is a téli időszakra tehetőek. Ha a külső szerkezeteket úgy alakítjuk ki, hogy azok nagyon jól szigetelnek, akkor a betáplált fűtési energia lassabban távozik. Meg kell állapítanunk, hogy a fűtési hőszükséglet nem léghőmérséklet-arányos, hanem a külső lehűlő felület nagyságától és hőszigetelési értékétől függ. Külső felületnek számítanak a nyílászárók, a külső falak, a tetőszerkezet, a pince vagy szuterin. Például ezért is energiatakarékosabb a négyzetes alapterület.

A határoló szerkezetek tömítetlenségein bizonyos mértékű légcserre folyik (filtráció). Ez a filtrációs veszteség sok esetben akár 50-100%-ban is növeli a fűtési költségeket. Tömítetlenség leggyakrabban az elavult nyílászáróknál figyelhető meg. Egyrészt a tokszerkezet és a falazat között lehet hiányos a tömítés, másrészt a nyílászárók záródó felületein a filtrációs veszteségeket csökkentő beavatkozások általában 1-3 év alatt megtérülnek.

A külső térelhatároló szerkezetek – falak, nyílászárók, tetők, födémek – esetében elengedhetetlen, hogy jó szigetelésűek legyenek, hisz ez a téli és a nyári hőháztartás szempontjából is előnyös! A házak külső szerkezetei nem homogén folytonos

szerkezetek, a falakat ablakok, ajtók szakítják meg, és ezek a födémhez vasbeton koszorúval csatlakoznak. Itt alakulnak ki az úgynevezett hőhidak. „A hőhid olyan helye a szerkezetnek, ahol lokálisan a hőszigetelési érték kisebb, mint az általános helyen. Ilyen a szerkezeti hőhid – ha például egy téglafalba erősítő vasbeton pillért helyeznek el, – illetve a geometriai hőhid – pl. egy külső falsarok. Ezekre a hőhidakra jellemző, hogy a fal belső felületének hőmérséklete itt mindig alacsonyabb, mint az általános helyen. A hőhidak egy épületnél szükségszerűek, de méretezhetőek úgy, hogy azok megfeleljenek. Első és leglényegesebb szempont, hogy a viszonylagosan hidegebb felületen páralecsapódás ne történjen, ezért a hőhidakat megfelelően le kell szigetelni.” [12] A hőháztartás szempontjából előnyös, ha az épületek szerkezete nagy tömegű anyagokból készül. Ma már a jól hőszigetelő anyagok általában könnyűek, míg a rosszul hőszigetelő anyagok általában nehezek, ezért ezek optimumára kell törekedni. „Jó példa erre az évszázadokon keresztül alkalmazott vályogfal, melynek viszonylagosan jó hőszigetelő képessége mellett a súlya is nagy. Tapasztalhatjuk is, hogy a vastag falú vályogházak télen jól tartják a meleget, míg nyáron jó hűvösek maradnak. A nagy súly mellett szól a hangszigetelési követelmény is. A nagyobb tömegű szerkezetek a hangokat, főleg a magas hangokat sokkal jobban csillapítják.,, [12]

Az építőanyagok legjellemzőbb tulajdonságai a hővezetési tényező, a testsűrűség és a páradiffúziós tényező. A hővezetési tényező (λ), azt mutatja meg, hogy 1 °C hőmérsékletkülönbség hatására egységnyi vastagságú anyagon, egységnyi felületen mennyi energia jut át, azaz ez az érték minél kisebb, annál jobb az anyag hőszigetelő képessége. Másik jellemző érték a térfogattömeg vagy testsűrűség, ami tulajdonképpen a szerkezetnek a felmelegedéssel, illetve a lehüléssel szembeni tehetetlenségét fejezi ki. Minél nagyobb ez az érték, annál jobban kiegyensúlyozza a hőmérsékletkülönbségek változását. A harmadik jellemző érték a páravezetési tényező (δ), amely a páravándorlás, azaz a szerkezeten keresztüli vízgőz áramlás. Minél kisebb ez az érték, annál lassabban engedi át a párákat az anyag. Ennek a falszerkezetek kialakításánál van jelentősége, hiszen téli időszakban a belső levegő párásabb, azaz nagyobb a párányomás bent, így a falszerkezeten keresztül páraáramlás indul meg kifelé. Ha a külső réteg párazárása nagyobb a belső felületénél, akkor az nem engedi ki megfelelő sebességgel a

nedvességet, így az a falban felgyülemlik, lecsapódik, és a falszerkezetet nedvesíti. A megfelelő kialakítás az, hogyha belülről kifelé haladva az anyagok – ide kell érteni a festékeket, bevonó anyagokat is – páraáteresztő képessége egyre nagyobb.

Az építőanyagok közül a hőszigetelő anyagok jellemzően könnyű anyagok, melyek lehetnek szálal, vagy habosított kialakításúak. Itt kell megjegyezni, hogy ugyan a hőszigetelő anyagok sok levegőt tartalmaznak, de nem a levegő hőszigetel. A jelenség a hőátadással magyarázható. Mivel ahol a légnemű anyag, azaz a levegő találkozik a szilárd anyaggal, vagyis a falfelülettel, ott mindig hőátadás következik be, azaz hőmérsékletugrás van. Ezen rétegek növelésével egy idő után a rosszul hőszigetelő anyagokból jó hőszigetelő falat tudunk elérni. Így lehetséges, hogy rossz hőszigetelő anyagból, mint a kő és az üveg jó hőszigetelő anyagot készítenek, az ásványgyapotot és az üvegyapotot. A habosított anyagok közül leggyakrabban a polisztirol habot (az Austrothermet, Nikecell-t, vagy Hungarocellt) használjuk. Ez alapvetően három minőségben készül, így a hagyományos nyitott cellás, mely vízre érzékeny, az újonnan megjelent formahabosított, mely vízre kevésbé érzékeny, föld alatt is használható és a zártcellás, mely vízre egyáltalán nem érzékeny, ezért víz alatt is használható.

Főleg családi házaknál elterjedt, hogy magastető, sátortető készül padlással. Ezeknél a beépítetlen tetőknél viszonylag kis költséggel helyezhető el hőszigetelés. Ez a megoldás különösen gazdaságos lehet, hisz egy egyszintes lakásnál a hőnek nagyobb része távozik a mennyezeten, mint a falakon keresztül. Ezért a padlásfödémek felülről való hőszigetelése a fűtési költségek csökkentésének egyik leggazdaságosabb módja.

A tetőtér beépítésnél javasolt a minél vastagabb, minimum 12 cm hőszigetelés elhelyezése. A tetőtéri rétegrend kialakításánál és a héjazat, azaz a fedés között 5 cm vastag szellőztetett légrés szükséges. Ez azt jelenti, hogy az eresztől a gerincig a légrésnek végig kell futni, és mind alul az eresznél, mind felül a gerinc közelében ki kell szellőztetni. Ennek célja, hogy nyáron a héjazat és a hőszigetelés közötti levegőt átszellőztesse. A légrésben a hőmérséklet nem lesz olyan magas, a hőszigetelést érő külső és belső levegő közötti hőfokkülönbség is kisebb lesz, így kevésbé melegszik fel a tetőtér.

Gyakori probléma azoknak a tereknek a szigetelése, amelyek alatt nyitott, hőszigetetlen helyiség vagy tér található, ilyenek jellemzően a kapuáthajtók, garázsok fölötti lakások. Ezeknél a helyiségeknél a probléma mint kellemetlen hőérzet szokott jelentkezni. Ezt hőszigetelési módszerrel csökkenteni lehet, de teljesen megszüntetni nem, azaz a hőszigetelés vastagságának növelésével a hidegzóna mérete csökken, hőmérséklete nő, de a hidegzóna nem szűnik meg. Amennyiben a belső burkolat melegburkolat, ez a jelenség kevésbé intenzív. A szőnyeg jó hőszigetelő, így kevésbé érezzük hidegnek a felületet. Növeli a hőérzetet, ha a belső térben a padló temperált padlófűtéssel, elektromos vagy hagyományos vízfűtéses megoldással.

Mivel egy szokásos lakóépület hőhidjai annyira megszakítják a falazatokat, hogy szinte általános felület alig található rajta, amennyiben a fal hőszigetelésének javítása mellett döntünk, nagy gondot kell fordítani arra, hogy a hőhidakat és a kapcsolódó szerkezetet is megfelelően leszigeteljük. Ebből adódik, hogy a legkedvezőbb megoldás az, hogyha az egész épület kívülről leburkolják. [11]

II. 1. Nézzük a házfelújítást!

Egy meglévő családi háznál, amikor elmúlik már harminc éves, felmerül egy komoly felújítás gondolata. Mivel egy ilyen beruházás igen költséges jól meg kell tervezni minden részletét, értem ez alatt a valódi értéktöbblet hozzáadását. Ugyanis valamit jól, illetve rosszul megcsinálni szinte ugyanannyi időbe, pénzbe és fáradtságba kerül csak az eredmény látványosan eltérő.

Nézzük az adottságokat! Egy átlagos 90 m² alapterületű, 30-as blokkteglából épült sátortetős háznál szinte mindent fel lehet újítani, de csak célszerűen. Vegyük például a szigetelést.

Tudjuk, hogy 38-as falvastagságtól kerül a harmatpont a falon belülré a téli időszakban, tehát a 30-as fal belső felülete túlhűl, és rajta a belső levegő páratartalma kicsapódik, ami számos problémát hoz magával, ami részlegesen magas belső

hőmérséklettel és ezáltal jelentős többlet költséggel orvosolható. A megoldás a fal külső szigetelése.¹

Ugyanilyen problémák forrása az elöregedett dupla szárnyú, redőnytokos ablakok és egyéb nyílászárók. Egy ilyen jellegű felújításnál óhatatlanul szükségessé válik a nyílászárók teljes cseréje valamilyen hőszigetelt típusra.²

De hiába szigetelünk körbe, ha a tető irányába szökik a meleg. A jobb kihasználtság és a fajlagos költségek, illetve azok növekedését figyelembe véve, véleményem szerint arányaiban csekély az a nyereség, amit az egyszerű tetőcsere nyújt a tetőtér-beépítéssel szemben. Egy jól megépített és leszigetelt tetőtérrel nem fognak emelkedni a fűtési költségek a korábbi, de lényegesen kevesebb m² -hez viszonyítva. Egy tetőtér-beépítés számottevő plusz költségei a térdfal magasítás, az új koszorú, a belső válaszfalak, az épületgépészeti berendezések beépítése, a nyílászárók. De egy tetőtér az alsó szint hőérzetét, hőszigeteltségét növeli, főleg ha komoly mennyiségű szigetelőanyag kerül a padlás szintre. Sőt a tetőfóliából is választható hőtükros fajta. Ezek a magas, de egyszeri beruházási költségek a jövőre vonatkozóan megtérülnek, magukkal hozzák a minimális költségeket maximális komfortérzettel.

A belső tér átalakításánál is számos helyen építhetünk be takarékos, magas komfortérzetet biztosító berendezéseket, használhatunk korszerű anyagokat.

Például meglepően hatásos a falak hőszigetelő belső vakolása, vagy a mennyezetek esztétikai célú gipszkartonozása. A belmagasság csekély csökkenése mellett, a gipszkarton és a mennyezet közé beszorított levegővel hőszigetelő hatást értünk el. Persze a világítótestek felszerelésének helyét előzőleg jól meg kell tervezni, és erősíteni. A felső szintre hőszigetelő és lépéscsillapító elnyomó ajzatbetont érdemes tenni. A beton önmagában adalék anyagok nélkül sóder, cement és víz megfelelő arányú keveréke, statikailag előnyös építőanyag, de hőhidat képez. Ezért ma már a különböző adalék anyagokkal javítják, teszik előnyössé tulajdonságait.³

A teljesség igénye nélkül megemlíthetünk más kényelmi célú, komfortérzet-növelő kiegészítő berendezéseket is. Így az utólagos villanyal működő padló- esetleg

¹ Kivitelezve.

² Kivitelezve.

³ A bekezdésben felsoroltak kivitelezése megtörtént.

falfűtés a hidegburkolatú helységekbe. Átgondolt tervezéssel célszerű elsősorban a fürdőszobák járó útvonalait fűteni, másodsorban a többi helység nem bútorozott felületeit. A fürdő és WC helységek szellőztető ventilátorral való ellátása az időszakos magas páratartalom, illetve a kellemetlen szagok miatt növeli komfort-érzetünket. Hasznosak a radiátorra szerelhető termosztátos radiátor-szelepek, amikkel a különböző radiátorok más-más hőfokra állíthatók be. Irányítástechnikai szempontból fontos megjegyeznünk, hogy abban a helységben, ahol a szobatermosztát található, a radiátoron ne legyen termosztátos radiátor-szelep.⁴

II. 2. Tervezés és megvalósítás

Konkrétan a klímatudatos tervezési szemléletnek megfelelően a tervezés során több szempontot vettünk figyelembe. A meglévő belső teret meg kell változtatni, úgy hogy az alsó szint egy majdan megépülő felső szinttel szerves egységet alkosson. Minden helyiség funkciójához igazodó méretet kapjon a lehető legélhetőbb módon, természetesen a benne élők szempontjait figyelembe véve. Így került a fürdőszoba a déli oldalra és lett nagyobb, és így a tetőtérbe vezető belső lépcső alá pedig egy különálló WC. A kamra négyzetesebbé vált, de maradt az északi oldalon. Számos fal elbontásával született meg a viszonylag nagy konyha-étkező a nyugati oldalon. A tetőtérbe két gyerekszoba, egy nappali és egy fürdő került, megfelelően nagy alapterülettel, amit a tető síkja magas térdfalak miatt szinte nem is kisebbít. A korábbi szuterin megmaradt méretében és funkciójában is. A szuterinban található a gázkazán, a villanybojler, és itt futnak a különböző szerelvények, úgy, mint a víz-, szennyvíz-, gáz és információs-vezetékek. Célul tűztük ki a valódi választás lehetőségét az energiatakarékosság jegyében. A villany, a víz, de legfőképpen a hőtermelés viszonylatában. Valódi alternatívát jelent a melléképületben található kazánház, melyben helyet kapott a fatüzelésű kazán az apríték adagolóval.

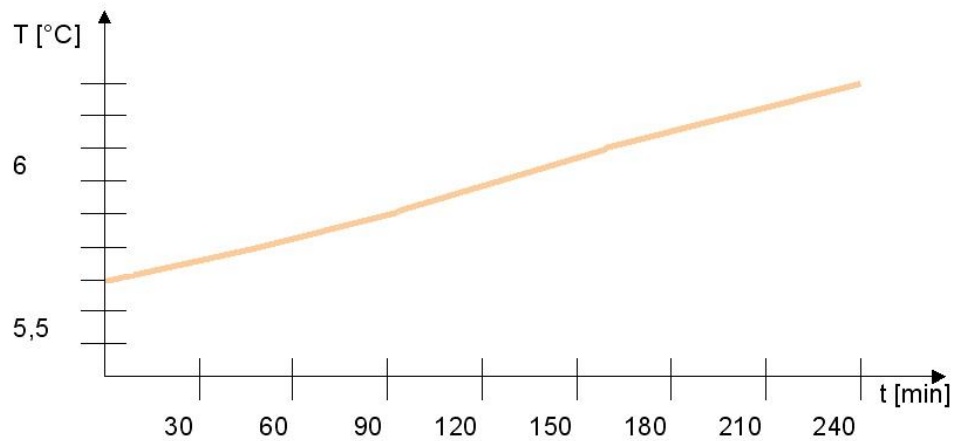
Tehát mi is valósult meg! A nyílászárók cseréje magába foglalja a hőszigetelt ablakok és bejárati-, illetve teraszajtók (Sofa) beépítését, valamint a szintén hőszigetelt

⁴ Szintén megvalósult ötletekről van szó a bekezdésben.

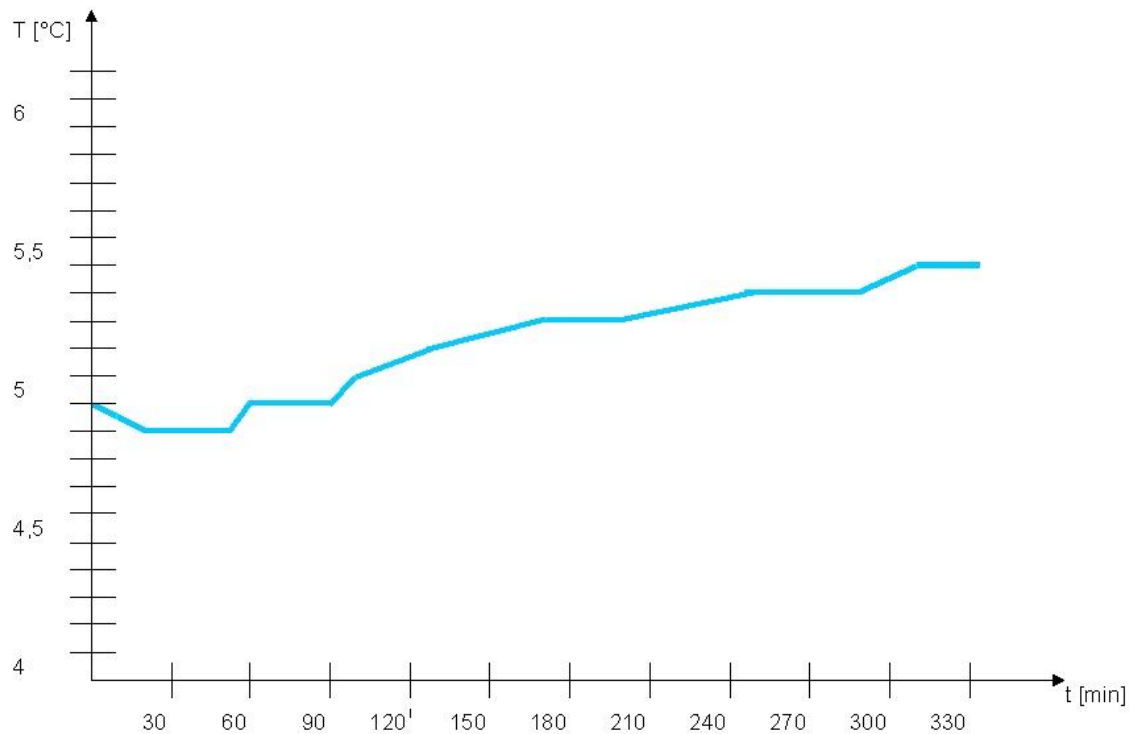
sík tetőtéri ablakokét (Velux). A külső homlokzati szigetelést, Nikecellal és Megas vakolattal lett megoldva. Mivel a tetőtér beépítésre került az ásvány gyapotos szigetelést kapott. A tetőtéri rétegrend kialakításánál és a héjazat, azaz a fedés között 3,5 cm vastag szellőztetett légrés készült el. A fűtési rendszerrel kapcsolatos beruházások megvalósulásával a következő fejezetek foglalkoznak részletesen.

További tervek között szerepel egy üvegház megépítése, melynek tetejére (részben) napkollektor kerül, amely a nyári időszakban elsősorban, de télen is a használati melegvíz ellátás alternatíváját jelenti a villanybojleres megoldás mellett.

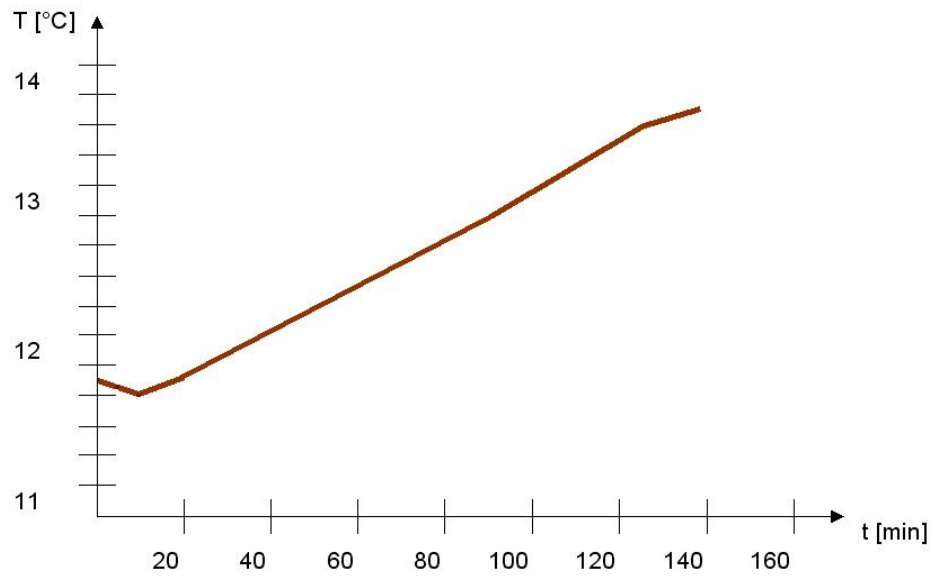
III. Grafikonok



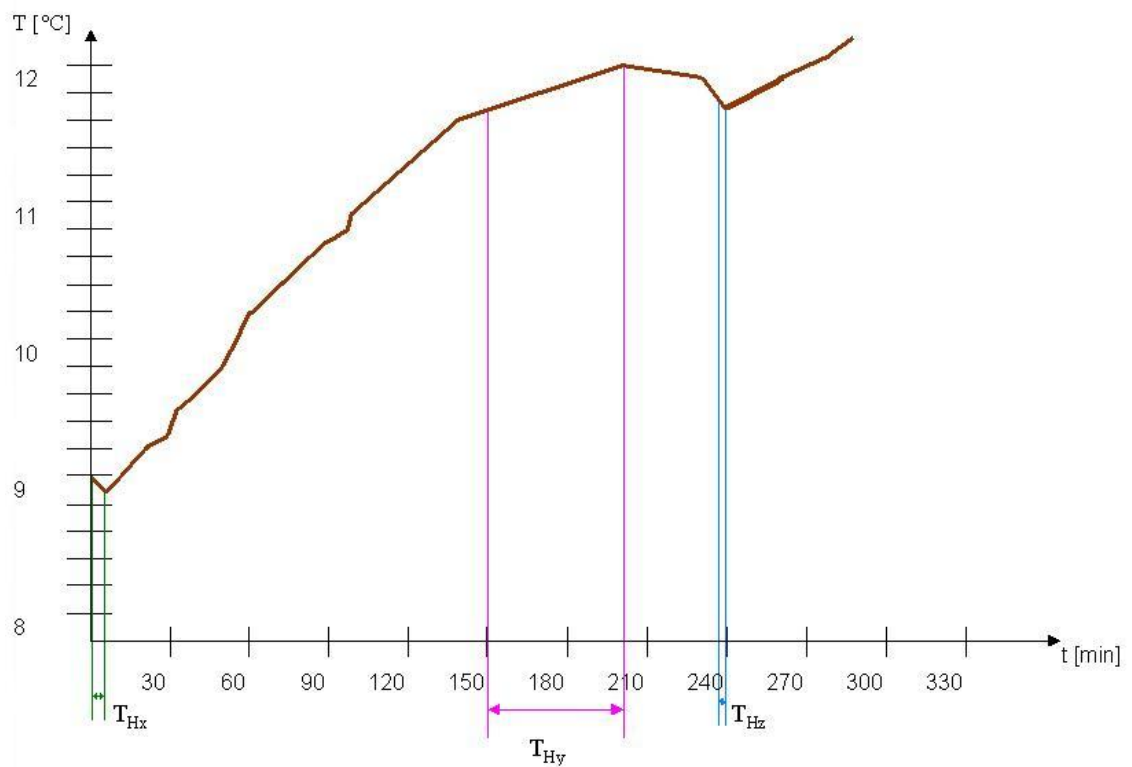
III. 1. ábra. A nyárikonyha belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án.



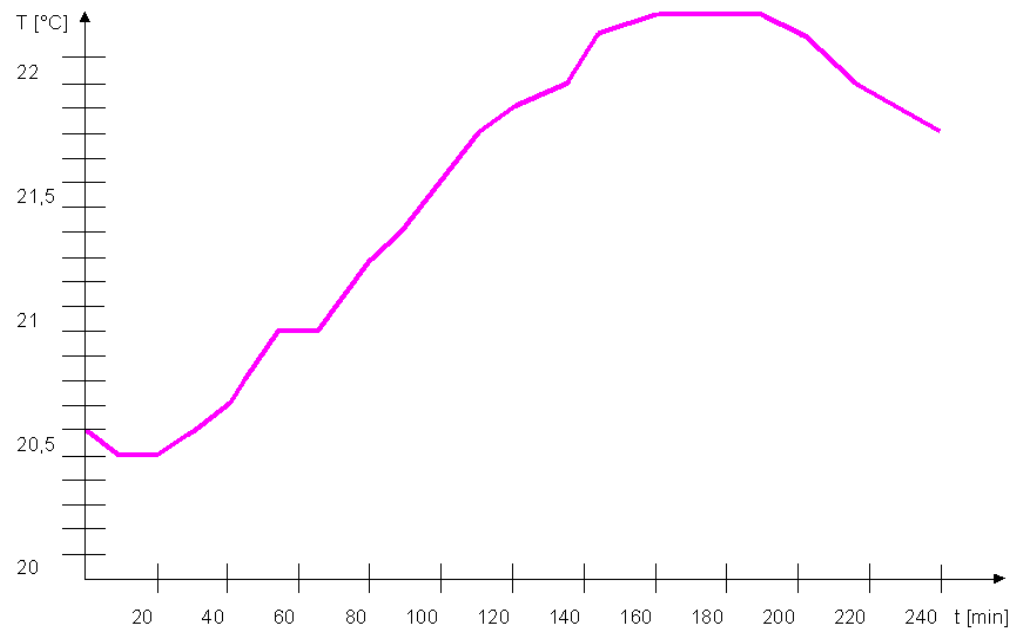
III. 2. ábra. A nyárikonyha belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 29-én.



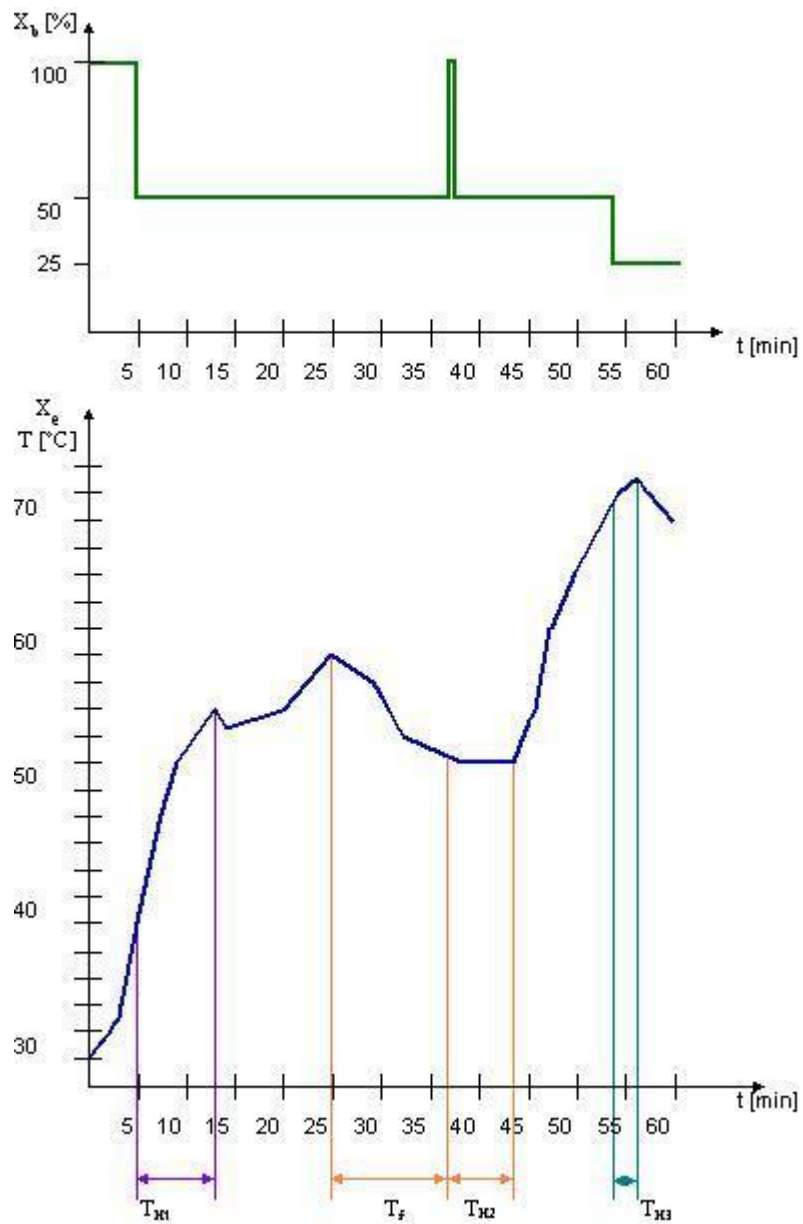
III. 3. ábra. A műhely belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 28-án.



III. 4. ábra. A műhely belső hőmérsékletének alakulása az idő függvényében 12. 29-én.

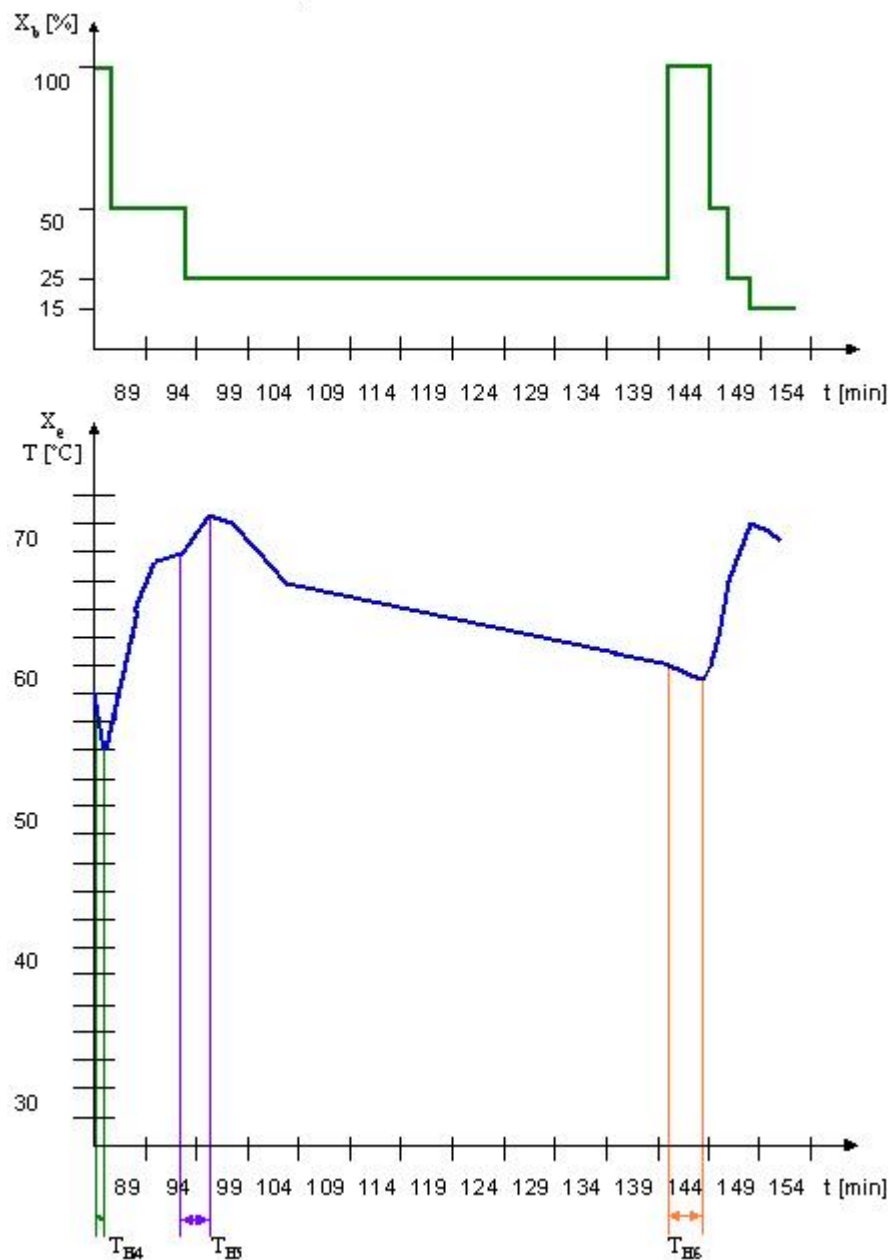


III. 5. ábra. A belső hőmérséklet alakulása az idő függvényében 11. 29-én.
Átmeneti függvény.



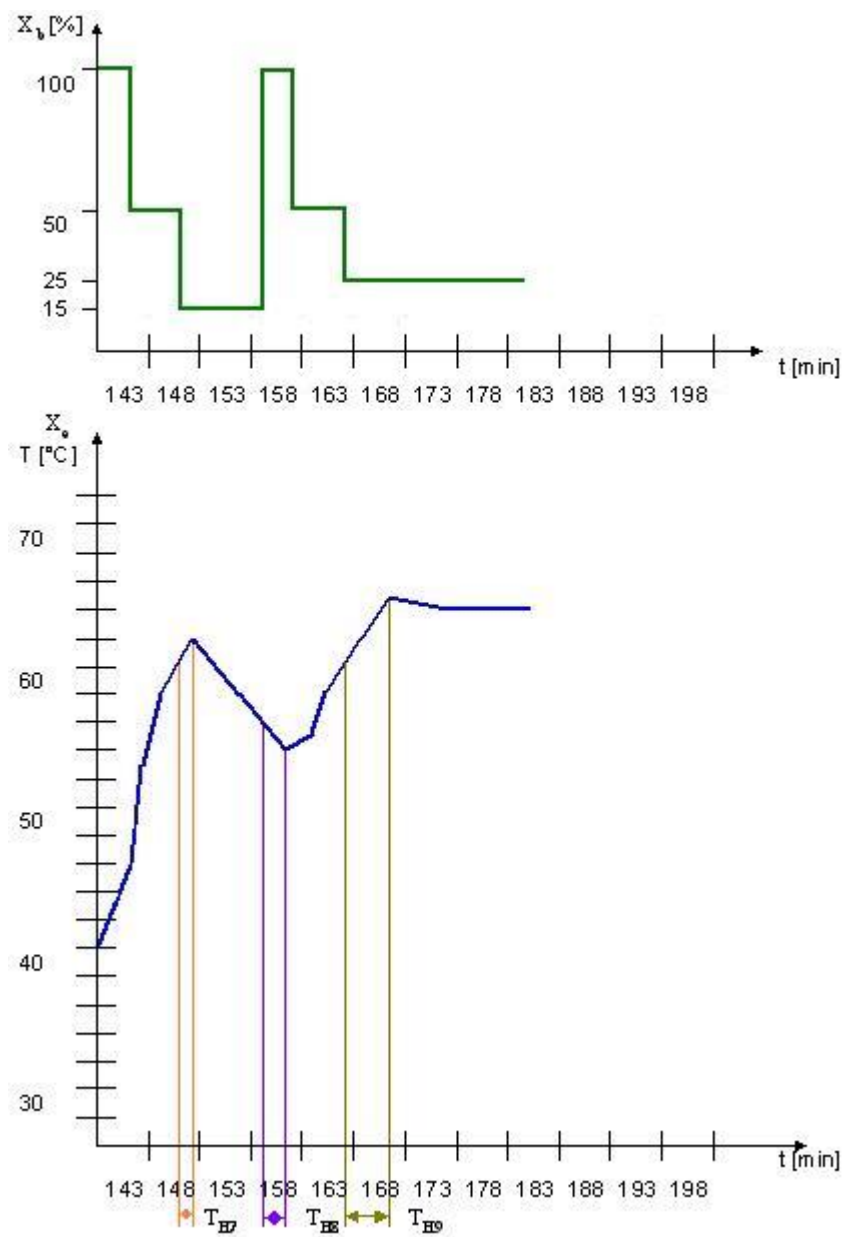
III. 6. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

A 12. 29-én a begyűjtést követő első 60 percben a beavatkozás és a kazánvízhőfok alakulását láthatjuk az idő függvényében (válaszidő-függvény).



III. 7. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelre, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

A 12. 29-én a begyűjtést követő 84. percétől a második szakaszban a beavatkozás és a kazánvízhőfok alakulását láthatjuk az idő függvényében (válaszidő-függvény).



III. 8. ábra. A beavatkozó jel változtatása, ami az égéslevegő mennyisége és annak hatása az ellenőrző jelle, ami a kazánvízhőfok. Átmeneti függvények.

A 12. 29-én a begyűjtést követő 138. percétől a harmadik szakaszban a beavatkozás és a kazánvízhőfok alakulását láthatjuk az idő függvényében (válaszidő-függvény).

IV. Galéria



IV. 1. kép. HALEX 25 a kazánhoz illesztve.



IV. 2. HALEX 25 üzem közben.



IV. 3. kép. HALEX 25 üzem közben.



IV.4. kép. A mobil HALEX 25 a kazánhoz illesztve.



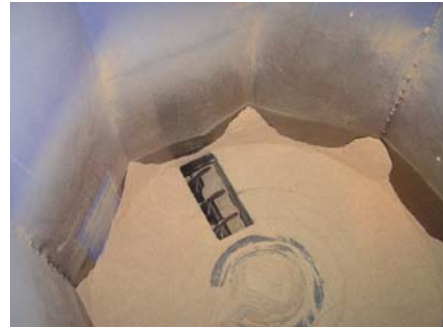
IV. 5. kép. Elektromos doboz.



IV. 6. kép. Csigahajtás.



IV. 7. kép. Égőkossárszint-távadó



IV. 8. kép. Aprítéktartály alján található ledobónylás a behordócsigával.



IV. 9. kép. Nyitott tüzelőanyag tartály. A tartályban faforgács látható.



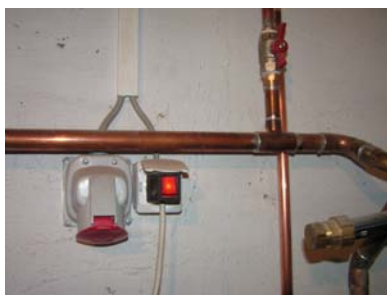
IV. 10. kép. A betekintő nyíláson keresztül látható az égőkossárban égő tűz.



IV. 11. kép. Nyomásmérő.



IV. 12. kép. Füstérzékelő.



IV. 13. kép. Előremenő víz.



IV. 14. kép. Visszatérő víz.



IV. 15. kép. Radiátor a szobatermosztáttal egy légtérben.



IV. 16. kép. Radiátor termosztátos radiátorszeleppel.



IV. 17. kép. Programozható szobatermosztát.



IV. 18. kép. A szobatermosztát kijelzője.



IV. 19. kép. Melléképületben a szigetelt és a nem szigetelt tetővel rendelkező rész jól látható.



IV. 20. kép. Kevesebb hővesztéssel rendelkező tetőtér.



IV. 21. kép. Több hővesztéssel rendelkező tetőtér.