

Szigetelt kapcsolóüzemű egyen-egyen átalakítók analízise és modellezése

Badacsonyi Ferenc

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet,
Bécsi út. 94-96., H-1034 Budapest, badacsonyi.ferenc@kvk.uni-obuda.hu

Tartalmi kivonat: A cikk az alapvető szigetelt kapcsolóüzemű egyen-egyen átalakítók analízisével és modellezésével foglalkozik. Az elméleti vizsgálat periodikus állandósult üzemmódban értelmezi a működési elveket és a vonatkozó időfüggvényeket illetve összefüggéseket. A modellezés szabályozott kapcsolásokat vizsgál állandósult és tranzienst üzemmódban általában feszültség szabályozással, illetve áram-módú vezérlésnél áram korlátozós üzemmódban is. A vizsgált kapcsolások a záróüzemű (flyback), nyitóüzemű (forward) egy- és kéttranzisztoros megoldással, illetve az ellenütemű (push-pull) kapcsolások..

Kulcsszavak: teljesítményelektronikai átalakítók; harmonikusok; szűrés; kondenzátor áram

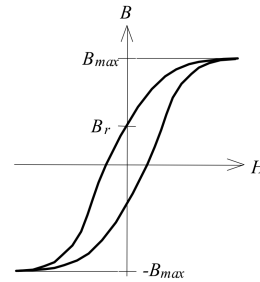
1 Bevezetés

A szigetelt, azaz transzformátoros kapcsolóüzemű egyen-egyen átalakítók többnyire az egyenáramú tápegységek részét képezik. Az egyenáramú tápegységek általában elektronikus áramkörök tápellátására szolgálnak, vagy megfelelő szabályozó-vezérlő körökkel önálló feladatokat is elláthatnak, mint pld. akkumulátor töltés, LED meghajtás, stb. Ezen kapcsolások tápforrása leggyakrabban a váltakozó áramú hálózat, teljesítményszinttől függően egy- vagy három fázis, de működhetnek akkumulátorokról is, vagy táplálhatók közvetlenül a napelemekről is. A szigetelt megoldás első sorban hálózati táplálásnál elengedhetetlen életvédelmi és a működés biztonsága szempontjából. A transzformátor másrésről a feszültség szintek illesztése miatt is szükséges lehet.

A tápegységek pár tíz watt felett a mai állás szerint már kizárólag kapcsolóüzemű félvezető elemekkel üzemelnek a jó hatásfok (90...98%) elérése céljából. Innen ered a kapcsolóüzemű tápegység elnevezés. Az alkalmazott kapcsolási frekvencia néhány 10kHz-től több száz kHz-ig terjed, illetve rezonáns, vagy más néven lágy kapcsolású körökkel akár a MHz-es tartomány is elérhető. A kapcsolási frekvencia növelésével kisebb paraméterű L , C szűrő elemek és kisebb méretű transzformátorok, tehát kisebb méretű kapcsolások és a gyorsabb szabályozhatóság érhető el.

Az egyenáramú tápegységeknek általában szabályozott a kimenet feszültsége, illetve ritkábban az árama. Szükség esetén a kimeneti feszültségszabályozást egy beállítható áramkorláttal társítják. Általában kívánalom a gyors rövidzárlat védelem. Ezt megoldhatják a tranzisztorvezérlésbe történő gyors beavatkozással, vagy működési elvükből eredően automatikusan ilyenek az árammódú vezérlések (current mode control), amikor a feszültség szabályozó kimeneti jele a tranzisztorok maximális áramát írja elő. Ha korlátozzuk ennek értékét, az egyfajta áramsúcs korlátot jelent. Ennek egyik előnye az, hogy automatikus gyors túláram védelmet jelent a bemeneti oldalon (és egyben a kimeneti oldalon is). Másik előny, hogy a tranzisztorok árama általában magába foglalja a mágnesező áramot is, tehát azt is korlátozza a módszer, másrészt szimmetrizálja is pld. ellenütemű vagy push-pull kapcsolásnál ami létfontosságú, hogy a vas ne mágneseződjön el valamelyik irányban.

A potenciálfüggetlen kimenetű egyen-egyen átalakítók egyik csoportosítási szempontja lehet a nagyfrekvenciás szigetelő transzformátor vastestének mágnesezése (1. ábra). A vasmag gerjesztése szempontjából az egyenáramú szaggatók üzemelhetnek egyirányú vagy kétirányú vasmag gerjesztéssel a telítési tartományon belül. Értelem szerűen a legnagyobb ΔB indukció változás kétirányú gerjesztéssel érhető el, tehát adott vasmagnál és frekvencián ebben az üzemmódban vihető át a legnagyobb teljesítmény.



1. ábra.

Transzformátor vastest B-H görbéje

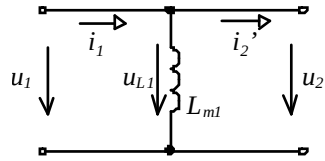
Egyirányú vasmag gerjesztéssel üzemel az átviteli tulajdonságait tekintve feszültségcsökkentő-növelő (buck-boost) kapcsolásra visszavezethető záróüzemű (flyback) átalakító, illetve a feszültségcsökkentő (buck) kapcsolásra visszavezethető nyitóüzemű (forward) egy- vagy kéttranzisztoros átalakítók. Kétirányú vasmag gerjesztéssel üzemelnek az átviteli tulajdonságaikat tekintve szintén feszültségcsökkentő egyenáramú szaggató leszármaztatásának tekinthető közbenső inverteres egyen-egyen átalakítók. A szokásos inverter topológiák a két primer tekercses ellenütemű vagy push-pull átalakító, illetve a félhíd-, és teljes hídkapcsolású push-pull átalakítók amelyek csak egy-egy primer tekercset tartalmaznak.

A továbbiakban a számításoknál a nagybetűk általában középtéket jelölnek!

2 A leválasztó transzformátor helyettesítése

Egy egyfázisú transzformátor idealizált helyettesítő modelljét a 2. ábrán láthatjuk, ha a szekunder oldalt redukáljuk a primerre. A modellben elhanyagoltuk a tekercs ellenállásokat, a vasvesztéseket reprezentáló ellenállást és a szórás inductivitásokat, csak az L_{m1} primer oldali főmező inductivitás maradt. A szekunder oldali

L_{m2} primer oldalra redukált L_{m2}' értéke megegyezik L_{m1} -el. A szekunder oldali mennyiségek redukálási szabályai a transzformátor N_1/N_2 menetszám áttételével:



2. ábra.

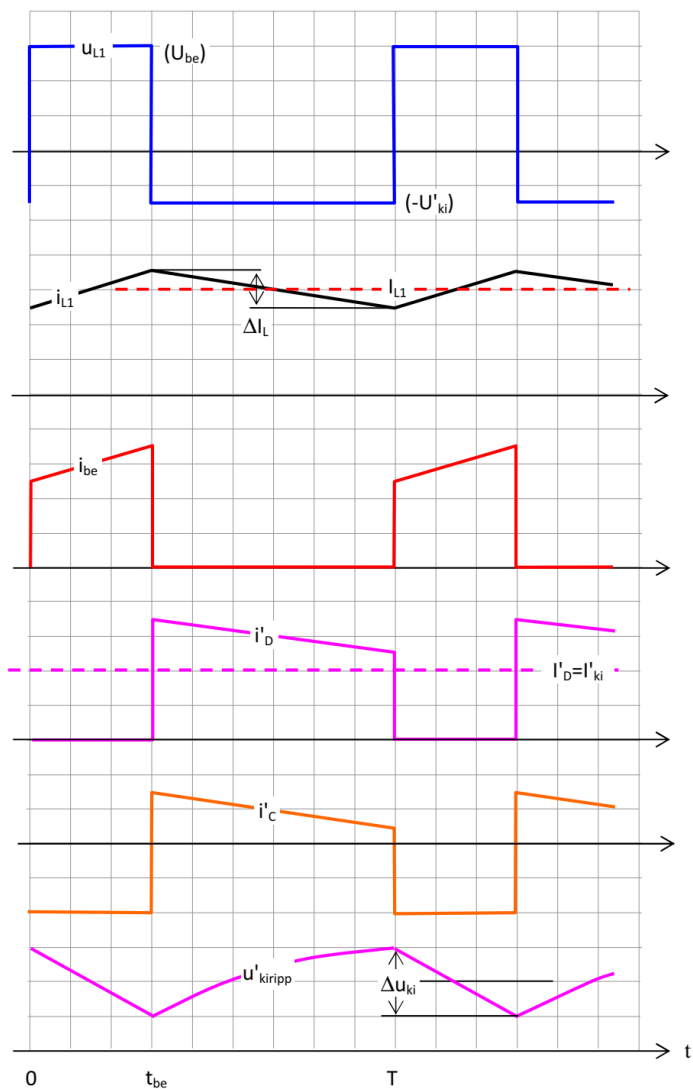
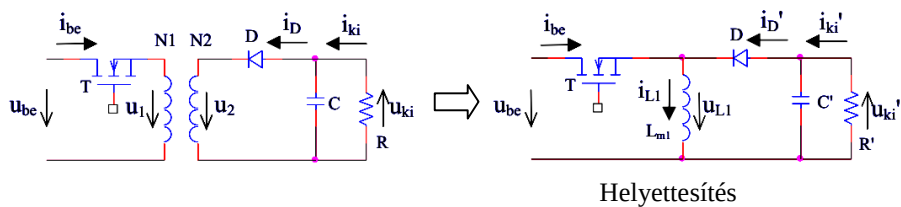
Ideális transzformátor helyettesítő modellje

- feszültségekre	:	$u' = (N_1 / N_2) \cdot u$,	
- áramokra	:	$i' = (N_2 / N_1) \cdot i$,	
- ellenállásokra	:	$R' = (N_1 / N_2)^2 \cdot R$,	
- induktivitásokra	:	$L' = (N_1 / N_2)^2 \cdot L$,	
- kapacitásokra	:	$C' = (N_2 / N_1)^2 \cdot C$,	
- átalakító redukált áttétele	:	$y' = \frac{U_{ki}'}{U_{be}} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{N_1}{N_2} \cdot y$	(1)

3 Záróüzemű (flyback) átalakító

Ha a 3. ábrán látható záróüzemű vagy flyback átalakító szekunder oldalát a primer oldalra redukáljuk és transzformátort csak az L_{m1} főmező induktivitásával helyettesítjük, akkor az így kapott helyettesítő áramkör egy buck-boost átalakítóval egyenértékű. A záróüzemű átalakító kimeneti feszültsége lehet kisebb és nagyobb is, mint a bemeneti feszültséggel arányos $N_2 U_{be} / N_1$ érték (szekunder oldalra redukált bemeneti feszültség). Ennél a kapcsolásnál az L_{m1} főmező induktivitás energiatároló képessége a működés feltétele, tehát itt L_{m1} -et véges értékűnek kell tekinteni.

A buck-boost átalakítóban az induktivitás fluxusa arányosan az áramával az üzemmódtól függően lehet folyamatos vagy szaggatott és egyik esetben sem változtatja meg irányát. Ennek megfelelően a flyback átalakító vasmagjában is a fluxus és a gerjesztés az üzemmódtól függően lehet folyamatos vagy szaggatott és egyik sem változtatja meg irányát. A tranzisztor bekapcsolt állapotában a primer áram és vele együtt a fluxus is növekszik, majd a kikapcsolás pillanatában a szekunder áram ugrásszerűen átveszi a gerjesztést, a menetszám áttételnek megfelelő áramszinten. Folyamatos fluxus esetén a bekapcsolás pillanatában is hasonló ugrásszerű gerjesztés váltás következik be a szekunderről a primer oldal irányába. Szaggatott fluxusnál a kikapcsolási intervallum alatt a fluxus nullára csökken és ennek megfelelően a bekapcsolás pillanatában a primer áram nullá-



3. ábra

A flyback és a helyettesítő buck-boost átalakítók és időfüggvényeik folyamatos i_{L1} -nél

ról indul. Összegezve, a kapcsolások pillanataiban a megszűnő, illetve belépő áram gerjesztése azonos kell, hogy legyen, mivel a fluxus ugrásszerűen nem változhat.

A flyback átalakító 3. ábrán látható helyettesítő kapcsolásában a redukált mennyiségek között továbbra is helytállóak a buck-boost kapcsolás összefüggései, jelleggörbéi és időfüggvényei. Az ábra a folyamatos induktivitás áramú üzemmód időfüggvényeit mutatja ideális kapcsolóelemelekkel.

A redukált mennyiségek kifejezései:

$$U'_{ki} = \frac{N_1}{N_2} \cdot U_{ki}; \quad R' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R; \quad C' = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \cdot C. \quad (2)$$

A helyettesítő buck-boost kapcsolás összefüggései az időfüggvényekkel összhangban, ahol $b = t_{be}/T$ a tranzisztor bekapcsolási aránya, T a periodusidő:

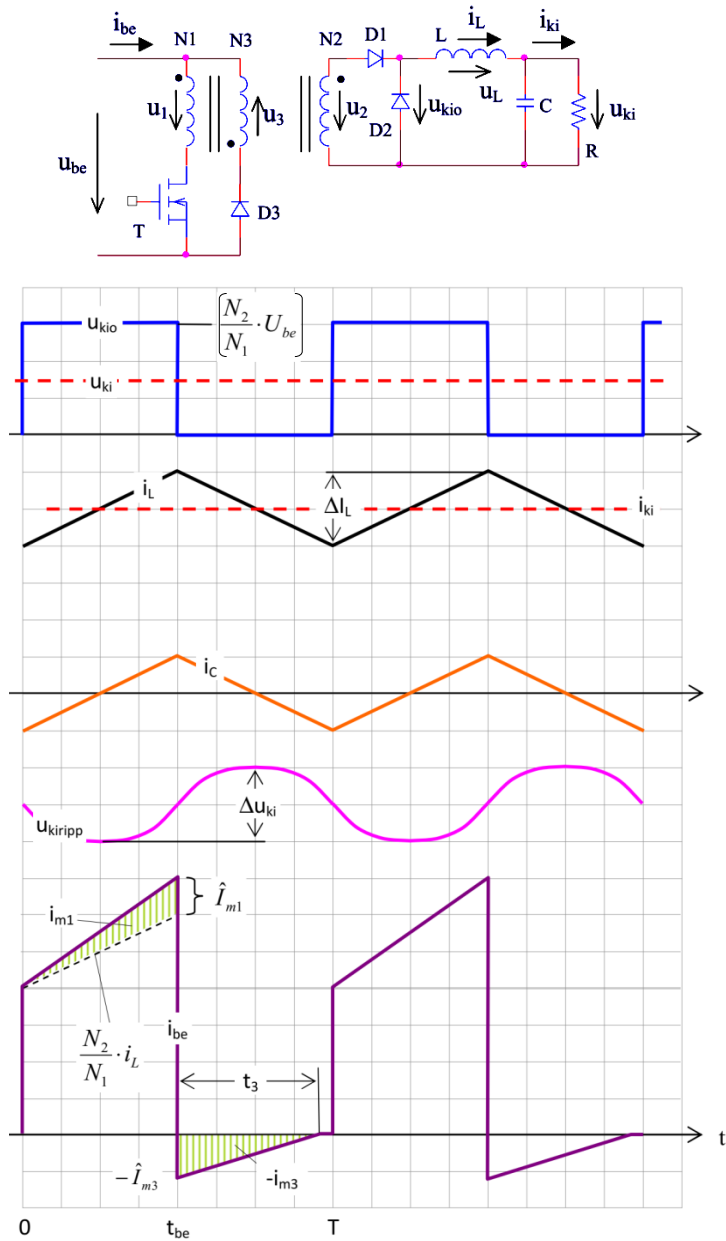
$$\begin{aligned} \frac{U'_{ki}}{U_{be}} &= \frac{I_{be}}{I'_{ki}} = \frac{b}{1-b}; \quad I'_{ki} = I'_D = \frac{U'_{ki}}{R'}; \quad I_{L1} = I_{be} + I'_{ki}; \\ \Delta I_{L1} &= \frac{t_{be} \cdot U_{be}}{L_{m1}}; \quad \Delta U'_{ki} = \frac{t_{be} \cdot I'_{ki}}{C'}. \end{aligned} \quad (3)$$

A tranzisztor bekapcsolása alatt a dióda zárva van, az L_{m1} -re U_{be} jut, kikapcsolt tranzisztornál a dióda vezet és L_{m1} -re $-u_{ki}$ jut. Az L_{m1} feszültség közéértéke 0V, amiből felírható a ki/bementi feszültségek aránya. Ideális veszteségmentes kapcsolásnál a ki/bemeneti teljesítmények egyformák, amiből a ki/bementi áram közéértékek aránya is felírható figyelembe véve a feszültségarányt. A Kirchoff egyenletek periodikus esetben a közéértékek között is igazak. Az energia tárolókra vonatkozó differenciál vagy integrál összefüggések megadják a jelek meredekségeit, illetve szakaszonként a változások nagyságait. A helyettesítő kapcsolásban az i_{L1} felfutó szakasza a bemeneti áram, a lefutó a diódaáram redukált értéke, tehát egy kompozit mennyiség. Vissza-redukálással minden eredeti mennyiség megkapható.

4 Nyitóüzemű (forward) átalakító

A lemágnesező tekercses, illetve a kéttranzisztoros forward átalakítók ismereteseek. Az első típus hátránya a másikkal szemben, hogy kb. kétszeres tápfeszültség jut a tranzisztorra, míg az utóbbinál csak egyszeres. Tehát pl. egy 50...100kHz alkalmazáshoz MOSFET-eket alapul véve az első típusnál csak drága 900...1200V-os típus alkalmazható, az IGBT ugyanakkor lassú. A kéttranzisztoros kapcsolásban a többlet tranzisztor mellett pl. szinteltolós vagy szigetelt meghajtás kell az egyik tranzisztornak, tovább drágítva a vezérlést, de egyfázisú táplálásnál

elegendő lehet az olcsóbb pl. 650V-os MOSFET-ek alkalmazása. A két változat működése nagyon hasonló.



4. ábra

Lemágnesező tekercses forward átalakító kapcsolási rajza és időfüggvényei

A 4. ábrán látható az egytranzisztoros nyitóüzemű vagy forward átalakító és időfüggvényei folyamatos kimeneti szűrő induktivitás áramú üzemmódban. A be- és kimeneti feszültség viszonya a bekapcsolási arány függvényében megegyezik a feszültségcsökkentő (buck) kapcsolásra jellemző feszültségarány és a transzformátor N_2/N_1 áttételének szorzatával. A transzformátor egy harmadik, úgynevezett *lemágnesező tekercset* (N_3) is tartalmaz, amely lehetővé teszi a transzformátor mágneses energiájának visszatáplálását a tápforrásba.

Ha a kapcsolóelem bekapcsolt állásban van, a D_3 -ra

$$u_{D3} = -(U_{be} + u_3) = -\left(1 + \frac{N_3}{N_1}\right) \cdot U_{be}, \quad (4)$$

nagyságú záróirányú feszültség jut, tehát ekkor D_3 leválasztja a N_3 tekercset. Az u_1 -el arányos u_2 nyitja D_1 -et és az u_{kio} szűretlen kimeneti- és az L szűrő induktivitás u_L feszültsége ekkor:

$$u_{kio} = u_2 = \frac{N_2}{N_1} U_{be}, \quad u_L = \frac{N_2}{N_1} U_{be} - U_{ki}. \quad (5)$$

Az pozitív u_L lineárisan növeli i_L -t. Ez idő alatt a bemeneten ennek N_2/N_1 áttételszerese folyik amihez még hozzáadódik a primer oldali i_{m1} mágnesező áram is. A bekapcsolási ütemben i_{m1} az

$$L_{m1} \frac{di_{m1}}{dt} = U_{be} \quad (6)$$

differentiálegyenletnek megfelelően lineárisan növekszik, és növekszik a transzformátorban tárolt mágneses energia is.

A kapcsolóelem kikapcsolását követően ugrásszerűen megszűnik N_1 árama, de megszűnik N_2 árama is, mivel a tekercselési irányokat és a diódákat figyelembe véve az i_{m1} mágnesező áram kikapcsolás előtti gerjesztését csak az N_3 -as lemágnesező tekercs képes átvinni. Amíg N_3 tekercsen folyik az i_{m3} mágnesező áram, a lemágnesező tekercs feszültsége $u_3 = -U_{be}$ állandó pillanatértékű negatív érték.

Ekkor a tranzisztorra

$$u_{tr} = \left(1 + \frac{N_1}{N_3}\right) \cdot U_{be} \quad (7)$$

feszültség jut nyitó irányban. Az $u_3 = -U_{be}$ feszültségnek a hatására i_{m3} lineárisan csökken, miközben az áramirányt tekintve visszatáplálja a mágneses energiát a tápforrásba. Ezen időszakban a szekunder oldal feszültsége, figyelembe véve a tekercselési irányokat, $u_2 = -N_2 U_{be} / N_3$ állandó pillanatértékű negatív érték. Ez a feszültség záróirányban jut a D_1 diódára, miközben a D_2 vezeti az i_L induktitás áramot. Mivel az a cél, hogy a transzformátor teljesen lemágnesezett legyen, mielőtt a következő bekapcsolási ütem kezdődik, t_3 csökkenési időnek kisebbnek kell lenni a kikapcsolási időnél. Amint megszakad az i_{m3} , a kikapcsolási ütem hátra levő részében D_3 -ra záró irányban fog jutni az U_{be} feszültség, és az összes tekercsfeszültség nulla szintű. Mivel az egész kikapcsolási ütemben a D_2 vezeti az

induktivitás i_L áramát, az u_{kio} szűretlen kimeneti- és az L szűrő induktivitás u_L feszültsége ekkor:

$$u_{kio} = 0V, \quad u_L = -U_{ki}, \quad (8)$$

tehát i_L lineárisan csökken.

Láthatjuk, hogy u_{kio} ugyanolyan négyszögfeszültség, mint egy buck kapcsolás szűretlen kimeneti feszültsége, azzal a különbséggel, hogy a magas szintje

$$\frac{N_2}{N_1} \cdot U_{be}, \quad (9)$$

illetve maga a kapcsolás is u_{kio} -tól jobbra megegyezik egy buck-al. Ennek megfelelően a kimeneti oldal számításai analóg módon végezhetőek a buck kapcsolásával.

Például a folyamatos i_L áramú üzemmódban a feszültség átviteli tényező:

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{I_{be}}{I_{ki}} = \frac{N_2}{N_1} \cdot b. \quad (10)$$

A működés feltétele, hogy a lemágnesezés a kikapcsolási fázisban megtörténjen. Ahhoz, hogy a t_3 lemágnesezési idő kisebb legyen, mint kikapcsolási idő, adott kapcsolási frekvenciánál nem lehet tetszőlegesen értékű a bekapcsolási idő. Figyelembe véve, hogy a mágnesező induktivitások a menetszámok négyzeteivel arányosak:

$$t_3 = \frac{N_3}{N_1} t_{be} = \frac{N_3}{N_1} bT. \quad (11)$$

A fenti kifejezés felhasználásával a lemágnesezés feltétele:

$$t_3 < t_{ki} \quad \Rightarrow \quad \frac{N_3}{N_1} bT < (1-b)T,$$

amelyből

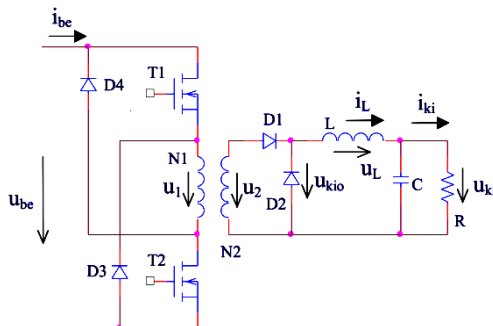
$$b < \frac{N_3}{N_1 + N_3}. \quad (12)$$

Ez azt jelenti, hogy a primer és a lemágnesező tekercsek menetszámát azonosra választva, a maximális bekapcsolási arány $b_{max}=0.5$ alatt kell hogy legyen megfelelő biztonsággal.

A fentiek alapján az ideális veszteségmentes kapcsolás fő összefüggései az időfüggvényekkel összhangban:

$$\begin{aligned} \frac{U_{ki}}{U_{be}} &= \frac{I_{be}}{I_{ki}} = \frac{N_2}{N_1} \cdot b; \quad I_{ki} = I_L = \frac{U_{ki}}{R}; \quad \hat{I}_{m1} = \frac{N_3}{N_1} \cdot \hat{I}_{m3} = \frac{U_{be} \cdot t_{be}}{L_{m1}}; \quad t_3 = \frac{N_3}{N_1} \cdot t_{be}; \\ \Delta I_L &= \frac{t_{ki} \cdot U_{ki}}{L}; \quad \Delta U_{ki} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{8 \cdot C}; \quad \hat{U}_{tr} = \left(1 + \frac{N_1}{N_3}\right) \cdot U_{be}; \quad \hat{U}_{D3} = \left(1 + \frac{N_3}{N_1}\right) \cdot U_{be}. \end{aligned} \quad (13)$$

Az 5. ábrán látható a kéttranzisztoros nyitóüzemű vagy forward átalakító.



5. ábra

Kéttranzisztoros forward átalakító kapcsolási rajza

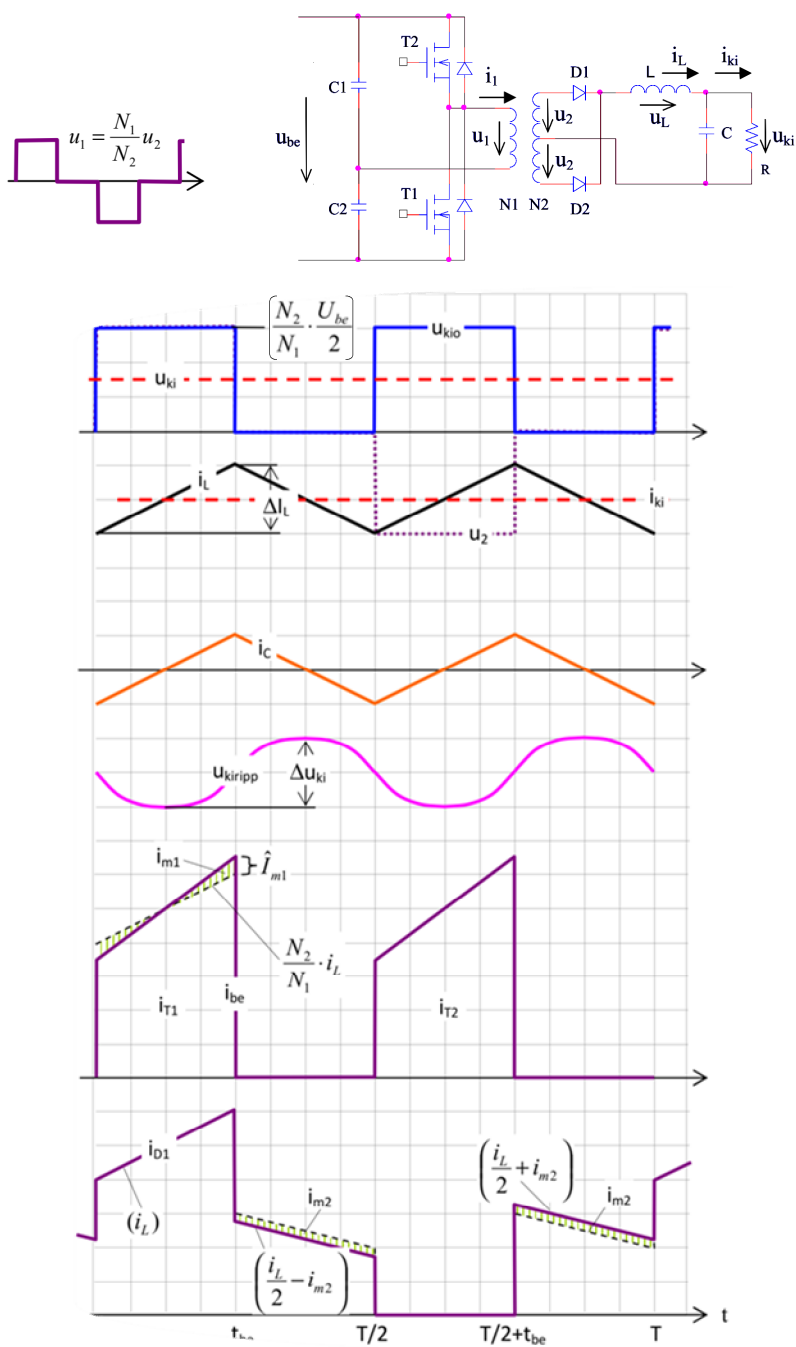
Itt a két tranzisztort szinkronban kell vezérelni. Bekapcsolt tranzisztoroknál a primer tekercsre az egytranzisztoroshoz hasonlóan szintén a tápfeszültség jut és a szekunder oldal viszonyai is teljesen azonosak az előző kapcsoláshoz. A primer tekercs mágnesező árama is ugyanúgy nő, mint előzőleg és a bemeneti áram is azonos. A D_3 , D_4 diódákra ekkor a tápfeszültség jut záró irányban. A tranzisztorok kikapcsolásakor a primer tekercs mágnesező árama marad, nem ugrik másik tekercsre, hanem irányát megtartva a D_3 , D_4 diódákon át visszafelé folyik a tápforrásba. Ekkor a primer tekercsre a negatív tápfeszültség jut, tehát a mágnesező áram ugyanolyan sebességgel csökken, mint ahogy nőtt. Értelmezhetően a lemágnesezési idő azonos a bekapcsolásával. Lemágnesezés alatt a tranzisztorokra a tápfeszültség jut nyitó irányban. Kikapcsolás alatt a szekunder oldal viszonyai az előző esettel azonosak.

Az összes időfüggvény a 4. ábrának megfelelően az egytranzistoroshoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy a bemeneti áramban i_{m3} szerepét átveszi i_{m1} , ennek negatív csúcsa abszolút értékben azonos a pozitívval, t_3 lemagnezesezési idő meg azonos t_{he} -vel.

5 Ellenütemű (push-pull) félhíd átalakító

A 6. ábrán egy push-pull félhíd átalakító kapcsolási rajza és időfüggvényei láthatók folyamatos i_L esetén egyutas egyenirányítással. Az átalakító a bemeneti feszültséggel arányos $N_2 U_{be}/N_1$ értéknél kisebb középtértékű kimeneti feszültséget hoz létre.

Az átviteli tulajdonságait tekintve a kör egy feszültségcsökkentő egyenáramú szaggató leszármaztatásának tekinthető. A nagyfrekvenciás transzformátor tekercsein a push-pull inverter váltakozó négyzöghullámú feszültséget állít elő. A kimeneti oldalon középpont-megcsapolásos szekunder tekercs található amelyre egyutas diódás egyenirányító csatlakozik. Az egyenirányított feszültség szűrését a buck kapcsolásnál is alkalmazott LC szűrőtag



6. ábra

Két primer tekercses Push-pull átalakító kapcsolási rajza és időfüggvényei folyamatos i_L esetén egyutas egyenirányítással

biztosítja. Kisfeszültségű kimenetnél a határfok szempontjából lényeges lehet, hogy egyszerre csak egy diódán esik feszültség. Magasabb szintű kimeneti feszültségnél egyetlen szekunder tekercset és diódás hídkapcsolást is alkalmazhatunk.

A vizsgált kapcsolás PWM vezérlése két szimmetrikus félciklusból áll. A 6. ábrán láthatóan először a T_1 kapcsol be t_{be} időtartamra, majd mind a két kapcsolóelem t_{ki} ideig ki van kapcsolva. A második félciklusban ugyanez a T_2 kapcsolóelemmel játszódik le. Láthatjuk, hogy egy-egy kapcsolóelem bekapcsolási ideje $t_{be} < T/2$, ahol T egy kapcsolóelem vezérlésének periódusideje.

Amikor T_1 be van kapcsolva, figyelembe véve a transzformátor tekercselési irányait és menetszamarányait:

$$u_1 = \frac{U_{be}}{2} \quad \Rightarrow \quad u_2 = \frac{N_2}{N_1} u_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_{be}}{2}, \quad (14)$$

tehát a pozitív előjelű u_2 miatt az egyenirányító D_1 ága fog vezetni. Ezt figyelembe véve a szűrőten u_{kio} kimeneti feszültség és a szűrő induktivitás u_L feszültsége:

$$u_{kio} = u_2 = \frac{N_2}{N_1} \frac{U_{be}}{2}, \quad u_L = u_{kio} - U_{ki}. \quad (15)$$

Állandó u_L -nél i_L a D_1 -en át lineárisan növekszik. A transzformátor áttétel alapján a primer tekercs és a T_1 árama ebben a tartományban:

$$i_1 = i_{T1} = \frac{N_2}{N_1} i_L + i_{m1}, \quad (16)$$

azaz az i_L primer oldalra redukált értéke és a primer tekercs i_{m1} mágnesező áramának összege. A T_1 vezetése alatt az i_{m1} az

$$L_{m1} \frac{di_{m1}}{dt} = u_1 = \frac{U_{be}}{2}, \quad (17)$$

differenciálegyenletnek megfelelően lineárisan nő, mivel $U_{be}/2$ állandó érték. A két félciklus szimmetrikus működése esetén a T_1 vezetésének elején i_{m1} kezdeti értéke $-\hat{I}_{m1}$, míg a vezetés végén $\hat{I}_{m1}$, tehát a teljes változás $2\hat{I}_{m1}$, ami arányos a primer tekercsre kapcsolt feszültség-idő területtel:

$$2\hat{I}_{m1} = \frac{U_{be} \cdot t_{be}}{2 \cdot L_{m1}}, \quad (18)$$

A T_1 kikapcsolásakor, amikor egyik tranzisztor sem vezet, az $N_1 \hat{I}_{m1}$ gerjesztés ideális esetben értékét megtartva ugrik át a két szekunder tekercsre azonos irányban, rászuperponálódva azok áramaira. Felírható, hogy

$$N_1 \hat{I}_{m1} = 2N_2 \hat{I}_{m2} \quad \Rightarrow \quad \hat{I}_{m2} = \frac{N_1}{2 \cdot N_2} \hat{I}_{m1}, \quad (19)$$

A tranzisztorok t_{ki} kikapcsolási intervallumában, amikor mind a két kapcsolóelem kikapcsolt állapotban van, egyrészt az L árama egyenlő részekre válik szét a két szekunder tekercs között, illetve erre még rászuperponálódik a primer oldalról átugró gerjesztés. Ekkor:

$$i_{D1} = \frac{i_L}{2} - \hat{I}_{m2}, \quad i_{D2} = \frac{i_L}{2} + \hat{I}_{m2}, \quad (20)$$

tehát i_{D1} ugyanannyival kisebb a fél i_L -nél, mint i_{D2} nagyobb. Ebben a tartományban az u_{kio} szüretlen kimeneti feszültség pillanatértéke megközelítőleg nulla, mivel bármelyik szekunder tekercsre felírható feszültségegyenlet alapján:

$$u_2 = u_{kio} = -L_{m2} \frac{di_{Lm2}/2}{dt} + M_{m2} \frac{di_{Lm2}/2}{dt} = 0, \quad (21)$$

ahol L_{m2} egy szekunder tekercs induktivitása, illetve M_{m2} a két szekunder tekercs közötti kölcsönös induktivitás. A tekercsek közötti szoros csatolás és az azonos N_2 menetszámok miatt $L_{m2} \approx M_{m2}$. Mivel $u_2=0$ ebben a tartományban, az $i_{m2} = \hat{I}_{m2}$ is állandó. A tekercsek csatolása miatt a primer tekercsek feszültsége is nulla. Az $u_{kio}=0$ tartományban a szűrő induktivitás u_L feszültsége:

$$u_L = -U_{ki}, \quad (22)$$

tehát i_L lineárisan csökken. A t_{ki} kikapcsolási intervallumok alatt a szekunder tekercseken ellentétes irányban folyó $i_L/2$ áramok eredő gerjesztése nulla, tehát a primer áramok és így a primer áram is nulla szintűek.

A következő félciklusban, amikor a T_2 kapcsol be t_{be} időtartamra, figyelembe véve a transzformátor tekercselési irányait és menetszámárait:

$$u_1 = \frac{-U_{be}}{2} \Rightarrow u_2 = \frac{N_2}{N_1} u_1 = -\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_{be}}{2}, \quad (23)$$

tehát a negatív előjelű u_2 miatt az egyenirányító D_2 ága fog vezetni. Ezt figyelembe véve a szüretlen u_{kio} kimeneti feszültség:

$$u_{kio} = -u_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_{be}}{2}, \quad (24)$$

megegyezik az előző bekapcsolási ütem értékével. Ezt figyelembe véve ebben a tartományban a D_2 dióda körében és a kimeneti oldalon ugyanaz a folyamat játszódik le, mint az előző ciklusban.

A T_2 bekapcsolásakor a lefelé irányuló $\hat{I}_{m2}$ gerjesztése azonos irányú $\hat{I}_{m1}$ mágnesező áramként ugrik vissza a primer oldalra. Ez az áram viszont a T_2 áramában negatív előjellel van jelen, hasonlóan a T_1 vezetésénél tapasztaltakkal. A primer tekercsre kapcsolódó negatív fél tápfeszültség a mágnesező áramot a T_2 szempontjából ugyanolyan sebességgel növeli pozitív irányban, mint az a T_1 -nél volt. A primer tekercsen felfelé és a T_2 -n vezető irányban ugyanúgy alakul az áram, mint az előző ciklusban a primer tekercsen lefelé és a T_1 -en vezető irányban.

A push-pull félhíd kapcsolás kimeneti oldalát tekintve a jelek hasonlóak egy $(N_2/N_1)U_{be}/2$ tápfeszültségű kétszeres kapcsolási frekvenciájú feszültségcsökkentő (buck) kapcsoláshoz, ahol a bekapcsolási arány és a kimeneti feszültség

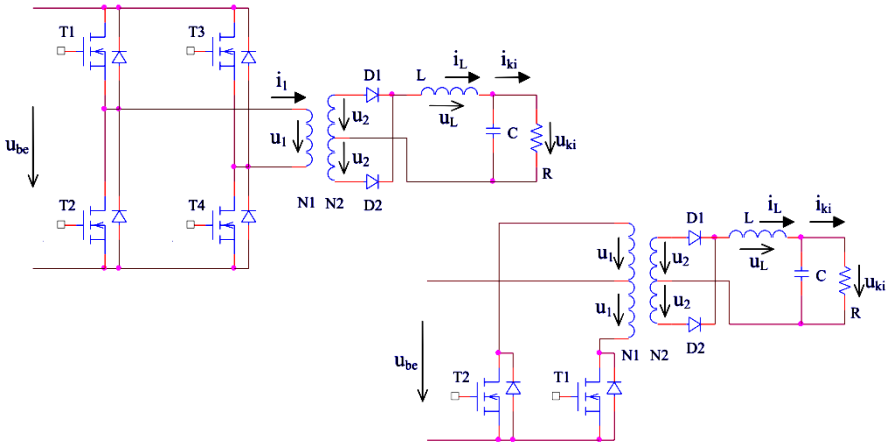
$$\begin{aligned} \frac{t_{be}}{T/2} &= 2b \\ U_{ki} &= 2b \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_{be}}{2} = b \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{be}. \end{aligned} \quad (25)$$

A kimeneti oldal egyéb jelei analóg módon számíthatók a buck kapcsolással, figyelembe véve azt, hogy a tranzisztorok kapcsolási frekvenciájának a duplája a kimeneti frekvencia.

A fentiek alapján az ideális veszteségmentes kapcsolás fő összefüggései az időfüggvényekkel összhangban:

$$\begin{aligned} U_{ki} &= b \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{be}; \quad I_{ki} = \frac{U_{ki}}{R}; \quad \hat{I}_{m1} = \frac{U_{be} \cdot t_{be}}{4 \cdot L_{m1}}; \quad \hat{I}_{m2} = \frac{N_1}{2N_2} \cdot \hat{I}_{m1}; \\ \Delta I_L &= \frac{t_{ki} \cdot U_{ki}}{L}; \quad \Delta U_{ki} = \frac{\Delta I_L \cdot T}{16 \cdot C}; \quad \hat{U}_{tr} = U_{be} \end{aligned} \quad (26)$$

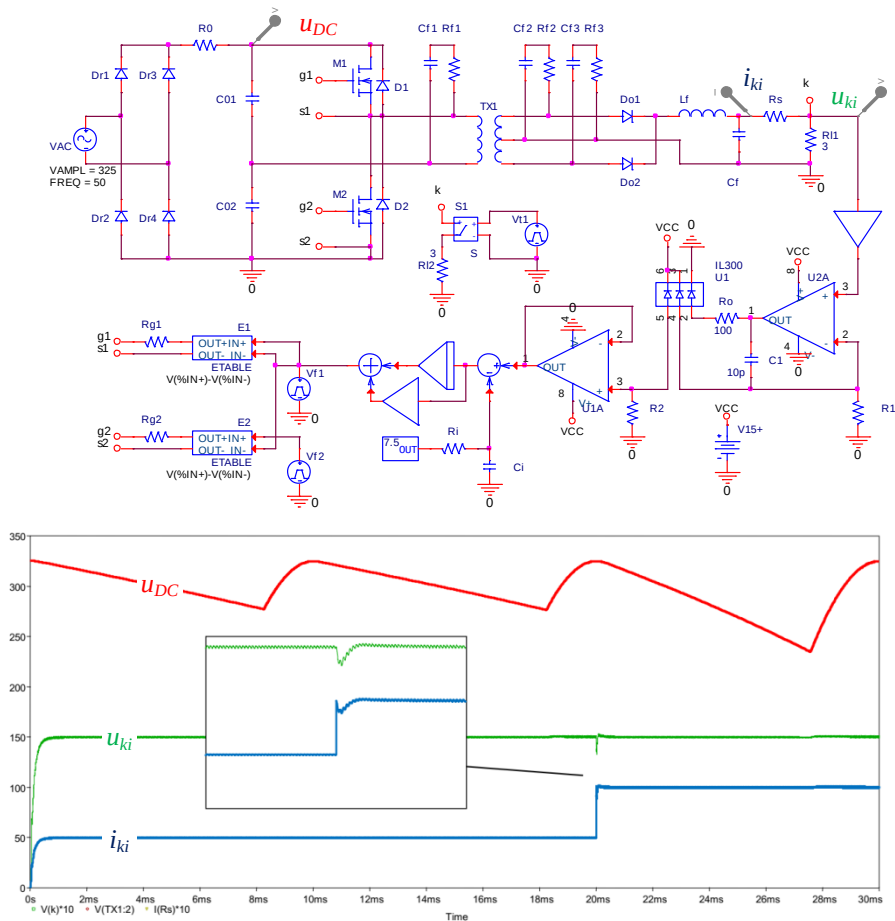
Teljes hídkapcsolású, illetve két primer tekercses push-pull átalakító kapcsolásokat láthatunk a 7. ábrán. A működésük hasonló a push-pull félhíd átalakítóéval. Magasabb kimeneti feszültség szintnél természetesen itt is alkalmazható az egy tekercses szekunder oldal diódás híd egyenirányítással. A két primer tekercses megoldás fő hátránya az, hogy a primer oldali félvezetőkre kétszeres tápfeszültség jut, ez MOSFET-ek alkalmazásánál nagy hátrány. A teljes hídkapcsolású verziónál egyszeres tápfeszültség jut a tranzisztorokra. A push-pull vezérlés ezeknél a megoldásoknál is azt jelenti, hogy T_1 (és T_4), illetve T_2 (és T_3) azonos időre, fél kapcsolási periódussal eltolva vezérelt, közöttük szünettel. Mind a két megoldásnál a primer tekercsre a tranzisztorok $\pm$ tápfeszültséget kapcsolnak, tehát ugyanolyan teljesítményhez a félhidas megoldáshoz képest fele primer áram szükséges.



7. ábra.

Teljes hídkapcsolású, illetve két primer tekercses push-pull átalakító kapcsolások egyutas egyenirányítással

6 Szigetelt műveleti erősítő feszültség visszacsatolással ellátott hálózati táplálású push-pull félhíd átalakító modellezése

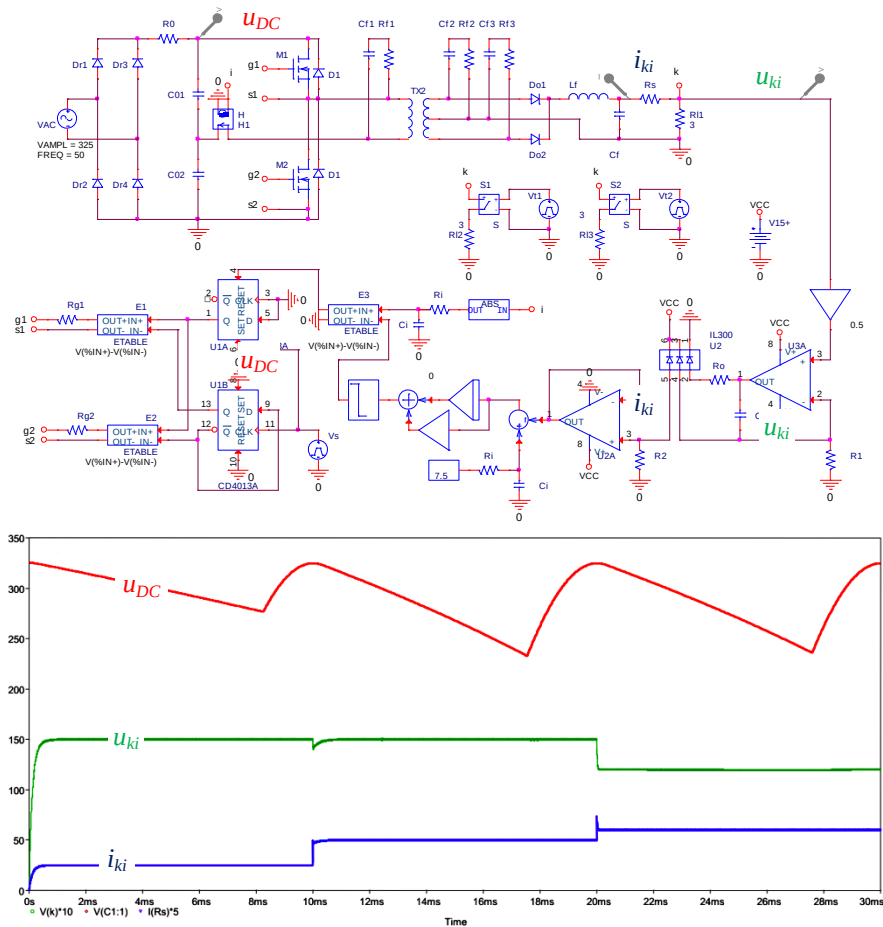


8. ábra

Szigetelt műveleti erősítő feszültség visszacsatolással ellátott hálózati táplálású push-pull félhíd átalakító modelje és jelei

A 8. ábrán egy szigetelt műveleti erősítő (IL300) feszültség visszacsatolással ellátott hálózati táplálású push-pull félhíd átalakító Pspice modeljét és időfüggvényeit láthatjuk. A szabályozás-vezérlés elemi modellekkel, pl. fűrészes komparátorokat helyettesítő E1, E2 transzfer karakterisztikákkal, integrátorral, lett felépítve a tanulmányozhatóság miatt, nem SMPS modellel. Az u_{ki} alapjele

indulásnál $100\mu\text{s}$ időállandóval emelkedik (*soft start*). Az egyen oldali táplálás diódás híd kondenzátoros szűréssel. A modellezési cél az volt, hogy a szabályozó kör megfelelő módon tartsa a kimeneti feszültséget akár az egyen tápfeszültség 100Hz -es $20..30\%$ -os ingadozása, vagy 100% -os terhelés ugrás esetén is. Ehhez a 100kHz -es kapcsolási frekvencia, és a kapcsolási periódusidő kb. 10 -szeresére választott feszültség szabályozó integrálási időállandó és az LC szűrő sajátregzési periodus idő elegendően gyorsnak bizonyult a futtatási szerint. A 8. ábrán az u_{ki} kimeneti feszültség, az egyen oldali 100Hz -el ingadozó u_{dc} tápfeszültség és az i_{ki} kimeneti áram látható. Az áramirányító az egyen tápfeszültség csúcsánál indul. A kimeneti feszültség a kb. az azonos időállandók 5 -szöröse, azaz $500\mu\text{s}$ alatt túllendülés nélkül éri el a szabályozott értéket. A vizsgálati idő kétharmadánál a 100% -os terhelés ugrás kb. $100\mu\text{s}$ alatt lecsengő



9. ábra

Szigetelt műveleti erősítő feszültség visszacsatolással és áram-módú vezérléssel ellátott hálózati táplálású push-pull félhíd átalakító modelje és jelei

tranzienst eredményez a u_{ki} kimeneti feszültségben és i_{ki} kimeneti áramban. Ez megfelelő szintű és elkerülhetetlen. A kimeneti áramban látható kezdeti túllendülést a kimeneti szűrő kondenzátor kezdeti feszültség értéke határozza meg. Az egyen tápfeszültség ingadozás a terhelés ugrás után kb. 80%-al nő meg, de a kimeneti feszültségben ennek hatása nem érzékelhető.

A 9. ábrán egy szigetelt műveleti erősítő (IL300) feszültség visszacsatolással és áram-módú vezérléssel ellátott hálózati táplálású push-pull átalakító Pspice modeljét és időfüggvényeit láthatjuk. A szabályozás-vezérlés itt is elemi modellekkel valósul meg. A modell az előzőhöz képest csak az áram-módú működést megvalósító részletekben különbözik. Ennek megfelelően az u_{ki} és i_{ki} indulása is kb. teljesen azonos, és azonos az u_{DC} egyen oldali feszültség terhelés függése is. A vizsgálati idő egyharmadánál a 100%-os terhelés ugrás itt az előző vezérléshez képest hosszabb, kb. $500\mu s$ alatt lecsengő tranzienst eredményez a u_{ki} kimeneti feszültségben és i_{ki} kimeneti áramban. A vizsgálati idő kétharmadánál az újabb terhelés ugrást viszont már megfogja az áram-módú vezérlés áram korlátja, egyben szabályozott érték alá csökkentve a kimeneti feszültséget, a tranzienst kb. $100\mu s$. Itt is bármelyik terhelés ugrásnál a kimeneti áramban látható kezdeti túllendülést a kimeneti szűrő kondenzátor kezdeti feszültség értéke határozza meg. Pont ennek töltés tartalmát lehet csökkenteni magas a magas kapcsolási frekvencián alkalmazható kisebb kapacitásokkal. Interleaved kapcsolásokkal a kapacitás tovább csökkenthető. Az egyen tápfeszültség ingadozás hatása továbbra sem érzékelhető a kimeneti feszültségben.

Következtetések

A tanulmány pontos analízissel szolgál az alapvető ideális szigetelt kapcsolóüzemű egyen-egyen átalakítók tekintetében, részben hiánypótló szándékkal. A végén ismerteti az egyik legfontosabb szigetelt megoldás, az ellenütemű vagy push-pull félhíd átalakító valósághoz közelítő körülmények, hálózati táplálás és terhelés ugrások melletti viselkedését, beleértve az áram korlátozást is. Az eredmények közel állnak a tényleges áramkörök mérési eredményeihez. Megállapítható, hogy a paraméterek megfelelő megválasztásával a szabályozott jellemzőt egyes zavarjelek szinte nem befolyásolják, illetve vagy csak kis mértékben.

Irodalom

- [1] Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook/ edited by Muhammad H. Rashid. – 3rd ed. Copyright 2011, Elsevier Inc.
- [2] N. Mohan, Power Electronics, John Wiley, 2003
- [3] Sanjaya Maniktala, Switching Power Supplies A–Z, 3rd ed., Copyright 2012, Elsevier Inc.
- [4] Keith Billings, Taylor Morey, Switchmode Power Supply Handbook- 3rd ed., Copyright 2011, McGraw-Hill Companies.
- [5] Muhammad H. Rashid, Hasan M. Rashid, SPICE for Power Electronics and Electric Power - 2nd ed., 2006 by Taylor & Francis Group

Kandó Nyári Egyetem Kandó Summer University

BORBÉLY Endre docens

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Híradástechnika Intézet
H-1084 Budapest, VIII. Józsefváros
Tavaszmező utca 17.
mob.: +36-30-299-54-96
tel.: +36-1-666-50-18
fax.: +36-1-666-51-31
borbely.endre@kvk.uni-obuda.hu
www.uni-obuda.hu

Rövid összefoglaló:

Az Óbudai Egyetemen és annak jogelőd intézményeiben 1982 óta folyamatosan szervezünk Nyári Egyetemi képzést a határon túli magyar anyanyelvű egyetemi és főiskolai hallgatók számára. A Kandó Kálmán Nyári Egyetemen nemcsak szakmai előadásokat tartunk a részt vevőknek, hanem szakmai programokat és szakmai kirándulásokat valamint múzeumlátogatásokat szabadidős lehetőségeket is biztosítunk számukra.

Abstract:

Since 1982 we have been organizing a Summer University training course at the University of Óbuda and its predecessor institutions for university and college students with Hungarian mother tongue. At the Kandó Kálmán Summer University, we are not only organizing professional lectures, but also providing professional programs and excursions as well as visiting museums for leisure time opportunities

Kulcsszavak:

Nyári Egyetem, határon túli magyar egyetemi hallgatók, részképzés

Keywords:

Summer University, Hungarian undergraduate students, part-time training

Szép hagyomány az Óbudai Egyetemen, a határon túli magyar anyanyelvű hallgatók számára megtartott Nyári Egyetem. Idén már a 29. alkalommal szerveztünk ilyen részképzést számukra.

Az első alkalmat, a határon túli magyar hallgatók számára, 1982-ben tartottuk a Híradásipari Intézetben. Eleinte csak néhányan tudtak eljönni hozzánk Budapestre. Az első pár alkalommal csak 4-6 határon túli magyar egyetemi hallgatót tudtunk fogadni. Ugyanis nagyon bonyolult volt akkor a Magyarországra való utazás Romániából. Nem volt telefon pláne mobil, levelezni nem lehetett, ugyanis mire valakihez eljutott egy pár sor, addig azt már nagyon sokan végig böngészték. A meghívólevelet alá kellett íratni a főigazgatóval és egyéb vezetővel és hivatalosan lefordítani, majd elküldeni a jelentkezőknek. A hallgatók ezekkel a papírokkal adhatták be az útlevelekérelmüket, melyet vagy megkapott, vagy nem.

Később a politikai helyzet (és az utazási lehetőségek) javulásával, a '90-es években már sokkal egyszerűbb volt az utazás és egyre többen tudtak részt venni. A legtöbben az

ezredforduló éveiben voltak nálunk. Akkor volt olyan év is, amikor több mint 100 hallgatót tudtunk fogadni. Később beállt a tankör létszámnak is megfelelő 25-30-as létszám.

Idén több mint 30 határon túli magyar anyanyelvű egyetemi és főiskolai hallgató vett részt a XXIX. Kandó Kálmán Nyári Egyetemen. A hallgatók Felvidékről, Kárpátaljáról, Erdélyből, Partiumból, Bácskából, Bánátból érkeztek.



A XXIX. Kandó Kálmán Nyári Egyetemet a határon túli magyar egyetemi és főiskolai hallgatók számára 2018. július 7-16. között Székesfehérvárott, a magyar királyok városában, az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karon tartottuk.

A XXIX. Kandó Kálmán Nyári Egyetem ünnepélyes megnyitóját Székesfehérvár Megyei Jogú Város városházájának Dísztermében rendeztük. A város nevében Dr. Cser-Palkovics András polgármester, az Óbudai Egyetem részéről Dr. Tick József rektorhelyettes, Dr. habil Kádár Péter a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar dékánja, Dr. habil. Györök György az Alba Regia Műszaki Kar dékánja és Borbély Endre docens köszöntötte a Nyári Egyetem részt vevőit.

Plenáris előadást Dr. habil Györök György: Beteg ló áramkörök és vizsgálatok, Dr. habil Kádár Péter: A villamosenergia-termelés alternatívái, valamint Körösi Mária és Borbély Endre: Hidak és sorsok (Széchenyi szellemisége) címmel tartottak.

A XXIX. Kandó Kálmán Nyári Egyetemre Felvidékről, Kárpátaljáról, Erdélyből, Partiumból, Délvidékről, Bácskából, Bánátból vártunk egyetemi és főiskolai képzésben részt vevő magyar anyanyelvű hallgatókat. Nagyon örültünk, hogy Kárpátaljáról a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskoláról tudtunk idén is hallgatókat fogadni.

A szakmai előadásokra az egyetemünk oktatói közül, szinte az egyetem minden karáról jelentkeztek előadás tartására. Az előadásokat az Óbudai Egyetem oktatói tartották. Ugyan akkor a különböző szakmák kiváló kutatói, mérnökei is beszámoltak kutatásaikról, kísérleteikről, eredményeikről. Az előadásokat délelőttönként az egyetem előadóiban tartottuk.



Ismertettük, hogy az anyaországban Hungaricumként Tudományos Diákköri Konferenciákat szervezünk. Óbudai Egyetemen is minden félévben tartunk ilyen hallgatói konferenciát. A hallgatók bemutatják kísérleteiket, ismertetik eredményeiket az úgynevezett házi konferencián. Itt a legeredményesebb előadók lehetőséget kapnak, hogy az Országos Tudományos Diákköri Konferencián is bemutathassák munkájukat. Elmeséltük, hogy a két évente megrendezésre kerülő Országos Tudományos Diákköri Konferencia a tudományok 16 Szekciójában kerülnek megrendezésre az ország különböző egyetemein. Az egyik legnagyobb létszámú OTDK Műszaki Tudományi Szekcióját 2015-ben az Óbudai Egyetem szervezte több mint ezer részt vevővel. 55 tagozatban mutatták be itt a hallgatók az eredményeiket.

Az OTDT két szekcióját ebben a tanévben, 2019 tavaszán az Óbudai Egyetem szervezi, az Informatika Tudományi Szekciót valamint a Had- és Rendészettudományi Szekciót. Ismertetjük a TDK jelentőségét és a lebonyolítás rendjét. Meghívtuk az aktív tervező és kivitelező hallgatókat a házi konferenciánkra, valamint buzdítottuk őket, hogy szervezzenek ők is az egyetemükön ilyen hallgatói kutatói TDK konferenciákat. Temesvárott már fogantja is volt, mert a Műszaki TDK-t több éve szerveznek, tartanak. A Sapientia Magyar Tudományegyetemen is komoly hagyományai vannak ennek a Hungaricumnak.

Szakmai programokról is gondoskodunk az előadásokon kívül. A Budapesti Elektromos Művek Óbuda transzformátor állomásánál, a Kaszásdűlői Alállomásnál szakmai kirándulást tettek. Ez az állomás Budapest északi városrészeinek teherelosztó központja. Itt a legmodernebb berendezéseket tekinthették meg a hallgatók, ez is teljesen felügyelet nélküli teherelosztó akár a többi Magyarországon. Megtekintették Székesfehérvár egyik legnagyobb gyáregységét a világ 15 városában tevékenykedő Videoton Holdingot. Látogatást tettek a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóságnál és több gyárban, hatóságnál is.



Szakmai előadásokon és bemutatókon kívül különböző kulturális programokat is szerveztünk (Székesfehérvár, Budapest, Velence, Balaton Bory vár) részükre.

A Kandó Kálmán Nyári Egyetem részt vevői megtekintették a Magyarország Országgyűlés Parlamentjének épületét is, ahol a Szent Korona mellett összeszorult szívvel elénekelték nemzeti imádságunkat, a Himnuszt, valamint a Székely Himnuszt. Utána megtekintették az Országgyűlés kiállításait is.

Székesfehérvárott egy interaktív városismereti foglalkozás keretében ismerkedtünk a város történetével, nevezetességeivel, látogatást tettünk a Terkán Lajos Bemutató Csillagvizsgálóban. Bory Jenő által a két világháború között saját kezűleg épített Bory várban, ahol az unoka vezetette végig minket.

Rétmajori Aranypony halastavainál nagyon kellemes délutánt töltöttünk el halászlé megismerésével, ugyanis sokan még nem ettek eddig ilyen halételt. Budapesten a Tromos Sportpályán is a nagy nyári melegben tudtak kikapcsolódni a hallgatók a friss vizű medencékben. Budapest csodálatos panorámáját nem csak sétálva és autóbusszon valamint villamoson, hanem a Dunán kishajóval utazva is megismerték a Nyári Egyetem résztvevői.

Lehetőséget biztosítottunk a részt vevőknek, hogy megismerjék a magyar tengert, a Balatont is, ahol fürdésre is volt lehetőség. A Velencei tóban szintén fürödhettek a hallgatók és vadvízi evezésen is részt vehettek.

Külön említést érdemel a budapesti és székesfehérvári múzeumok megtekintése, többek között a Magyar Nemzeti Múzeum, a Telefónia Múzeum, az Elektrotechnika Múzeum, a Terrorháza Múzeum, a Bory-vár látogatása is szerepelt a programban.

Köszönjük a részt vevő határon túli magyar anyanyelvű hallgatóknak, hogy elfogadták meghívásunkat és eljöttek hozzánk, valamint köszöntjük szüleiket és a felkészítő oktatóikat, tanáraikat.



Reméljük, hogy a jövő nyáron, 2019-ben megrendezésre kerülő XXX. Jubileumi Kandó Kálmán Nyári Egyetem ugyanolyan sikeres és eredményes lesz, mint az eddig megtartottak. Erre az alkalomra szeretettel várjuk a határon túli magyar anyanyelvű egyetemi hallgatókat.



3 KVA ÉS 30 KVA-ES NAPELEMES ENERGIATÁROLÓ RENDSZEREK FÓTON

3 KVA AND 30 KVA SOLAR ENERGY STORING SYSTEMS IN FÓTON

DOHÁNY László¹, VÁRHELYI Nándor²

¹erősáramú fejlesztőmérnök, pqinfo@powerquattro.hu
¹Powerquattro Zrt. Budapest 1161 János utca 175

²erősáramú fejlesztőmérnök, pqinfo@powerquattro.hu
²Powerquattro Zrt. Budapest 1161 János utca 175

Kivonat: A cikkben bemutatásra kerül egy 3 kVA-es és 30 kVA-es napelemes energia átalakító rendszer, amelynek feladata a hálózatról felvett energia optimalizálása, illetve fogyasztók szünetmentes energia ellátása. A beépített energia tároló egység (akkumulátor telep) segítségével a rendszer autonóm üzemben is működik. Az energiaellátó rendszer a hálózatról energia felvételre, tárolásra, valamint energia visszatáplálásra alkalmas, illetve autonóm (hálózattól független) üzemben is működik. A cikket a napelemes energiatároló rendszerekről készült fényképek teszik szemléletessé.

Abstract: In the article will demonstrate a 3 kVA and a 30 kVA solar cells energy converter systems, which task to optimize the take in energy from the mains as well as to provide the uninterruptible energy for consumers. The system works also in autonomic mode with the help of the inbuilt energy storing unit (battery plant). The power supply system is suitable for taking in energy from the mains, storing that and as well as feeding the energy back to the mains respectively it works in autonomic mode (independently from the mains). The photos made from the solar energy container systems make the article picturesque.

A rendszerek célja a hálózatról felvett energia csökkentése, minél hatékonyabb felhasználása a fogyasztók felé. A napenergia elektromos energiává alakításával jelentősen csökkenthető a hálózatról felvett energia. Akkumulátorok alkalmazásával elektromos energiatárolást valósítunk meg, mellyel szünetmentes energiaellátó egység létesíthető, vagy akkumulátoros villamosenergia-tároló segítségével tervezhetőbbé tehetjük a hálózatról felvett energiát. A rendszerek automata üzemben működnek, a felügyeleti rendszerük lehetővé teszi az energiaáramlás nyomon követését, figyelését, valamint biztosítja a felhasználó részéről a beavatkozás lehetőségét (kézi üzem).

1. 3 KVA-ES NAPELEMES ENERGIATÁROLÓ RENDSZER

A 3 KVA-es névleges teljesítményű háztartási méretű energiatároló rendszer (Home Storage System) (ld. 1. ábra) kisebb fogyasztók táplálására használható, minimális hálózati energiaigénnyel (a nappal megtermelt többlet napenergiát akkumulátorokban tárolva éjszaka bocsátja a fogyasztók rendelkezésére). A napelemek által előállított energia túltermelést a rendszer a hálózatba táplálja vissza.

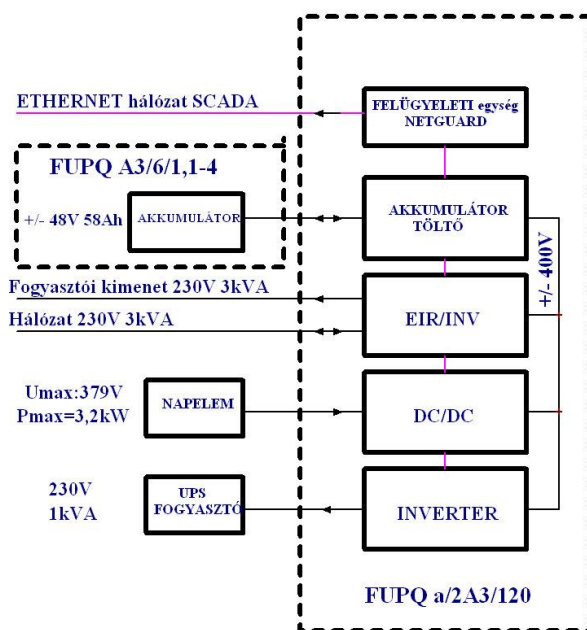
1.1. Az FUPQ a/2A3/120 típusú 19"-os moduláris energiatároló áramellátó (HOME STORAGE) rendszer felépítése

A rendszer blokkvázlata (ld. 2. ábra.) Az FUPQ a/2A3/120 típusú 19"-os modulokból felépített rendszer 599x641x1120mm méretű kereken gurulós szekrényből és egy FUPQ A3/6/1,1-4 típusú akkumulátor szekrényből állnak. Az FUPQ a/2A3/120 típusú szekrény fogadja az akkumulátoros egységet, 3 kVA-es teljesítményű egyfázisú hálózatot egy 2x5db-os

napelem cellát, amely egy kocsi beálló tetején nyert elhelyezést és rendelkezik 1 kVA-es szünetmentes váltakozó feszültségű kimenettel, valamint 3 kVA-es fogyasztói váltakozó feszültségű kimenettel (ld. 2. ábra.).



1. ábra: 3 kVA-es napelemes energiatároló rendszer:



2. ábra: 3 kVA-es napelemes energiatároló rendszer blokkvázlata

Az egyfázisú hálózati feszültséget egy EIR/INV (egyenirányító/inverter) modul alakítja át egyenirányító üzemmódban, szinuszos áramfelvétellel egy úgynevezett közbensőköri DC +/- 400V-os feszültséggé. Ebbe a közbensőköri feszültségbe tápláljuk be és ebből vételezzük ki az energiát úgy, hogy az energiaegyensúly mindig létre jöjjön, vagyis a DC +/- 400V-os feszültség állandóan biztosított!

Az AKKUMULÁTOR TÖLTŐ modul az akkumulátor töltéséhez is a +/- 400V-os közbensőköri feszültségből nyeri az energiát, illetve hálózati feszültség kimaradáskor az energia áramlás megfordításával ide táplálja vissza az energiát az akkumulátorból.

A szünetmentes kimeneti feszültséget az INVERTER modul szolgáltatja ugyancsak a közbensőkörből, amely egy klíma berendezést működtet.

A napelem energiáját a DC/DC modul alakítja át feszültség növelő (booster) üzemben +/- 400V-os közbensőkörhöz. A napelemből maximálisan kinyerhető energia érdekében a DC/DC modul maximális teljesítmény munkapont kereső programmal (Maximum Power Point Tracking, MPPT) rendelkezik. A napenergia maximális hasznosítása csak abban az esetben lehetséges, ha a közbensőköri energia felhasználása folyamatosan biztosított (energiaegyensúly). Ha az akkumulátorok feltöltött állapotban vannak, a fogyasztói kimeneteken nincs energia felhasználás, akkor a napelem terhelése csak akkor biztosított megfelelően, ha az EIR/INV modulok inverter üzemmódban az energiát a hálózatba táplálják vissza. A felhasználó kézi üzemben egyedileg beállíthatja a hálózatba visszatápláló áram nagyságát, függetlenül a napenergia intenzitásától. Ha a napelemek által termelt energia nagyobb, mint a kézzel beállított visszatáplálható áram nagysága, akkor nem optimális a napenergia hasznosítása, ha viszont kisebb a megújuló energia mennyisége (felhős időjárás), mint a kézzel beállított visszatápláló áram értéke, akkor a különbségi energiát az akkumulátorból nyeri ki a rendszer.

A rendszer folyamatosan a hálózatra csatlakozik, és a mért adatok alapján a napelemek által termelt energiát az akkumulátorokba tölti, tárolja, majd a fogyasztói kimeneten keresztül a belső hálózatába juttatja vissza. A fogyasztói kimenet nem szünetmentes energiát szolgáltat.

Az energiatároló rendszeren a felügyeleti és kijelző egységen keresztül lehet a ki-bekapcsolást és egyéb üzemállapotokat váltani, az akkumulátor töltöttségének és a napenergia nagyságának megfelelően. Amennyiben nem áll rendelkezésre napenergia, csak egyirányú teljesítményáramlás van, vagy akkumulátortöltés van a hálózathoz, vagy hálózati visszatáplálás az akkumulátorból.

A cél, hogy a rendszer minél több megtermelt megújuló energiát tároljon az akkumulátorokban, és a lehető legkisebb energiát vételezzon a hálózathoz.

Ha van napenergia és ki van választva a hálózathoz visszatáplálós üzem is, valamint a szünetmentes kimenet is energiát igényel, feltölti az akkumulátorokat, és a többlet napenergiát a szünetmentes kimenet táplálására és a hálózathoz történő visszatáplálásra fordítja.

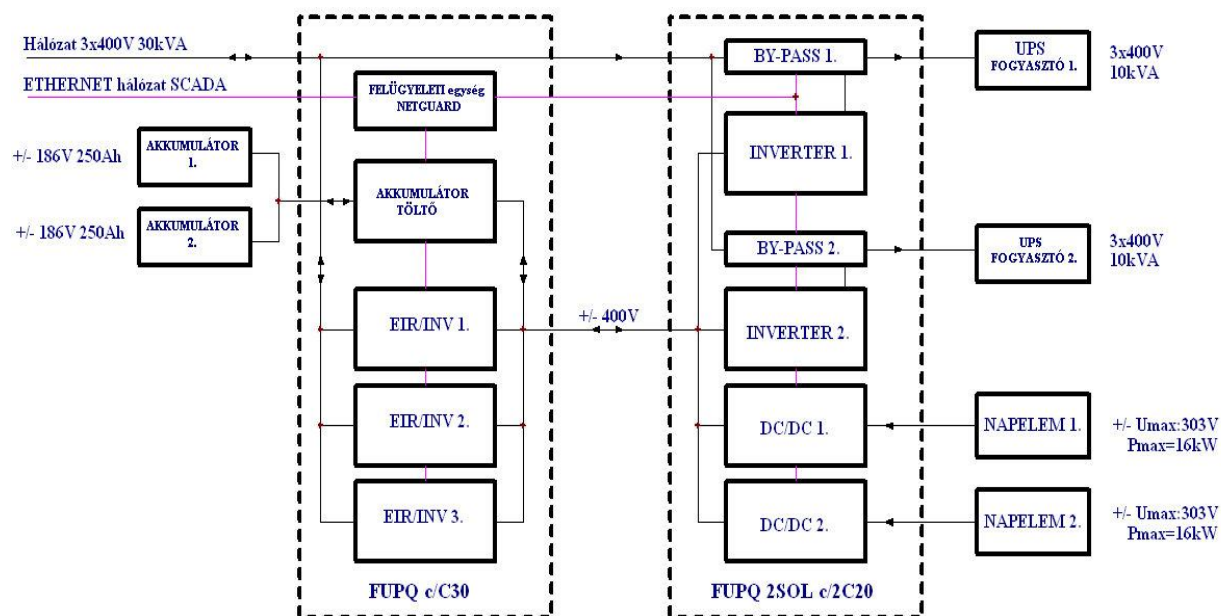
Napfénymentes időszakban, ameddig csak lehetséges az energiát az akkumulátorból biztosítja a rendszer a fogyasztók számára.

Az „AUTOMATA” üzemben 5 perces teljesítmény mérleg átlagszámítással állítja be a visszatáplálás nagyságát, hogy a hálózathoz felvett energiát minimálisra csökkentse.

2. 30 KVA-ES NAPELEMES ENERGIATÁROLÓ RENDSZER

2.1. Az FUPQ c/C30 típusú 19"-os moduláris energiatároló áramellátó rendszer felépítése

A 30 kVA-es energiaellátó rendszer szünetmentes áramforrásként (UPS) üzemel. A napenergia elsődlegesen az akkumulátorokba töltődik, illetve a fogyasztókat táplálja, valamint az ezen felül termelt elektromos energiát a hálózatba táplálja vissza. Az akkumulátorok töltöttsége hálózati feszültség tartós megléte esetén teljesen feltöltött, kisütésük a hálózat kimaradásakor történik.



3.ábra: 30 kVA-es napelemes energiatároló rendszer blokkvázlata:

A rendszer blokkvázlata (ld. 3. ábra) látható. Két 600x600x2000mm méretű szekrényben foglal helyet a modulokból felépített FUPQ c/C30 típusú és FUPQ 2SOL c/2C20 típusú (ld. 4. ábra.) vezérlő és energia átalakító rendszer. A szekrények fogadják a két napelemes és a két akkumulátoros egységet (ld. 5. ábra.), valamint 2x10 kVA/2x10 kW teljesítményű, 3x400V-os háromfázisú fogyasztókat látnak el szünetmentes energiával.



4.ábra: 30 kVA-es napelemes szünetmentes áramellátó rendszer



5.ábra: 30 kVA-es UPS akkumulátor telepe

A rendszer bemenetére kapcsolt 3x400V hálózati feszültséget 3db három fázisú EIR/INV (egyenirányító/inverter) modul alakítja át egyenirányító üzemmódban, szinuszos áramfelvétellel egy közbensőköri DC +/- 400V-os feszültséggé. Hasonlóan az előbb bemutatott rendszerhez a közbensőkörbe tápláljuk be és ebből vételezzük ki az energiát úgy, hogy az energiaegyensúly mindig meglegyen. Az akkumulátorok töltése, kisütése, a napelemek illesztése DC-DC átalakító és a szünetmentes kimenetre tápláló inverterek funkciója megegyezik az 3 kVA-es rendszerben leírtakkal. A rendszerben található egy hálózat-inverter átkapcsoló egység (BY-PASS), amely a rendszer fogyasztói kimenetén található. A BY-PASS modulon választható ki a „HÁLÓZAT”, illetve „INVERTER” alapüzem.

A hálózati feszültség meglétekor a BY-PASS modul „HÁLÓZAT” alapüzemű beállításnál a hálózati feszültség energiáját kapcsolja a szünetmentes kimenetre.

Ha a hálózati feszültség nem áll rendelkezésre, akkor elsődlegesen a napelemekből előállított energia, másodsorban az akkumulátorban tárolt energia - INVERTER és a BY-PASS modulok segítségével- fedezi a szünetmentes tápellátást igénylő fogyasztók szükségleteit. INVERTER, vagy BY-PASS modul meghibásodása esetén lehetőség van szerviz üzemben, direkt hálózati feszültség kiadására. Ezen üzemállapotot kismegszakítók lekapcsolásával és a kerülő ági kismegszakítók bekapcsolásával lehet létrehozni.

Az ismertetett két rendszer felügyeletét ETHERNET kábelén keresztül a SCADA rendszerű számítógépes vezérlő és adatfeldolgozó látja el, valamint CAN protokollon, optikai fénykábelén keresztül tartja a kapcsolatot és vezérli a rendszer moduljait.

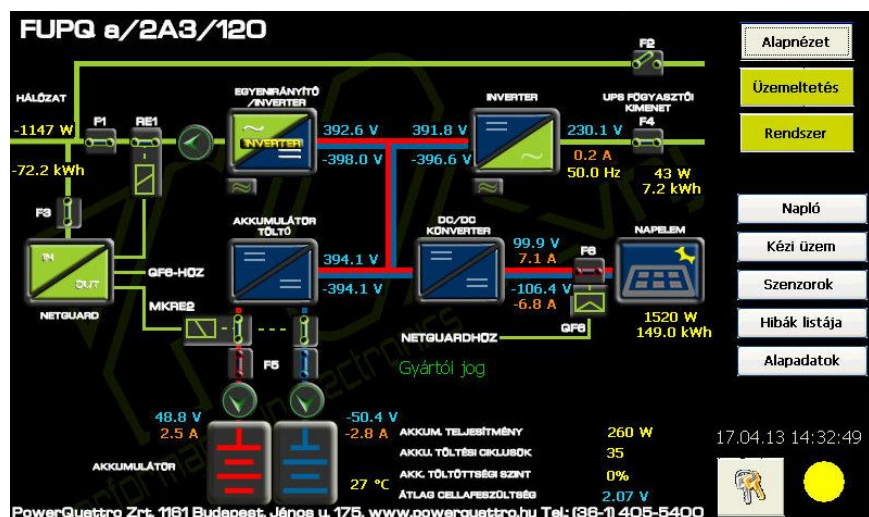
A FELÜGYELET feladata a rendszer vezérlése, üzemmódjának beállítása, a modulok működésének és állapotainak nyomon követése.

A 3 kVA-es rendszer az Ethernet hálózaton keresztül a SCADA rendszernek csak információkat küld és egy belső program biztosítja az „AUTOMATA” üzemet.

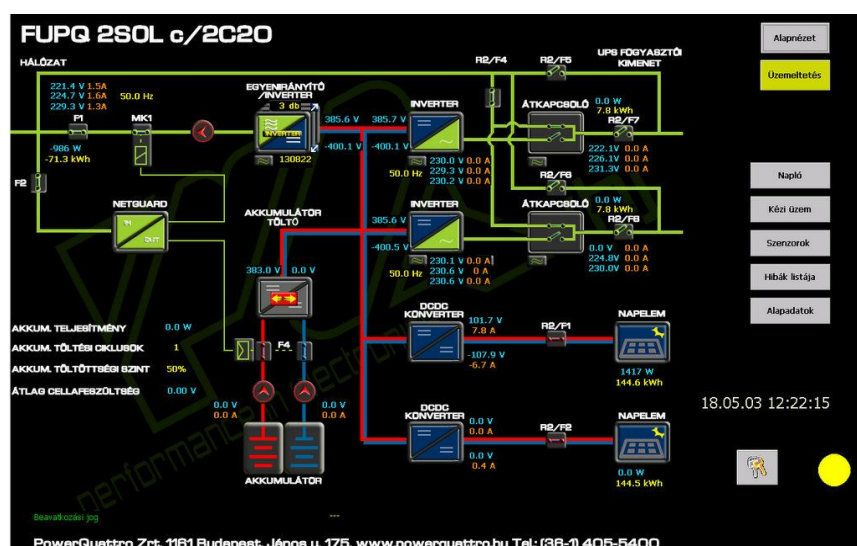
A 30 kVA-es napelemes rendszer vezérlési feladatokat is ellát, így ennek az „AUTOMATA” üzemet a SCADA rendszer biztosítja egy programmal. A kijelző modulok érintőképernyőt tartalmaznak, amelyeken kiválasztható több képernyő, sématabla, kapcsolási vázlat. A jellemző pontokon mért feszültségek, áramok, teljesítmények, összegzett energiák az akkumulátortelep villamos paraméterei, akkumulátor egység töltöttségi szintje, az akkumulátor cellák átlagos feszültsége, a napelem paramétereinek értékei olvashatók le. Kijelzi még a rendszer működése közben előállt eseményeket, állapotokat, hibákat. Az események, és az energia mérleg bejegyzésre és mentésre kerülnek az eseménynaplóba, dátum és idő bélyeggel együtt. Az alap képernyő és kezelőfelület „Megtekintési joggal” rendelkezik, jelszó nélkül. A „beavatkozási és a gyártói” jog, jelszó köteles. A felügyelet programja úgy működik, hogy ha van feszültség a közüzemi hálózaton, a napenergia tölti az akkumulátort és a többlet teljesítményt pedig visszatáplálja a hálózatba. Ha nincs hálózati feszültség, akkor a visszatáplálás nem engedélyezett.

A NETGUARD rendszer üzemállapot jeleket generál. Üzemképessége esetén az akkumulátor töltést és mélykisülést felügyeli. Mélykisülés határán kiüti az akkumulátor kismegszakítóját. Működése nem függ össze a FELÜGYELET üzemképességétől. Visszatápláló üzemben a hálózati feszültség megszűnésekor (sziget üzemben) lekapcsolja a visszatáplálást. Figyeli a 3 fázisú hálózat feszültségét, frekvenciáját, és fázishelyzetét. A hálózati feszültség visszatérése után automatikusan visszakapcsolja a rendszert egy előre beállított idő után (5perc).

A rendszer sématablája mutatja a modulok egymás közötti kapcsolatait és a be-kimeneti paraméterek aktuális értékeit. (ld. 6,7. ábra)



6. ábra: 3 kVA-es napelemes rendszer sématablája:



7. ábra: 30 kVA-es napelemes rendszer sématablája:

2.2. A rendszerek üzemállapotai

„HELYI” és „TÁVVEZÉRELT” üzem.

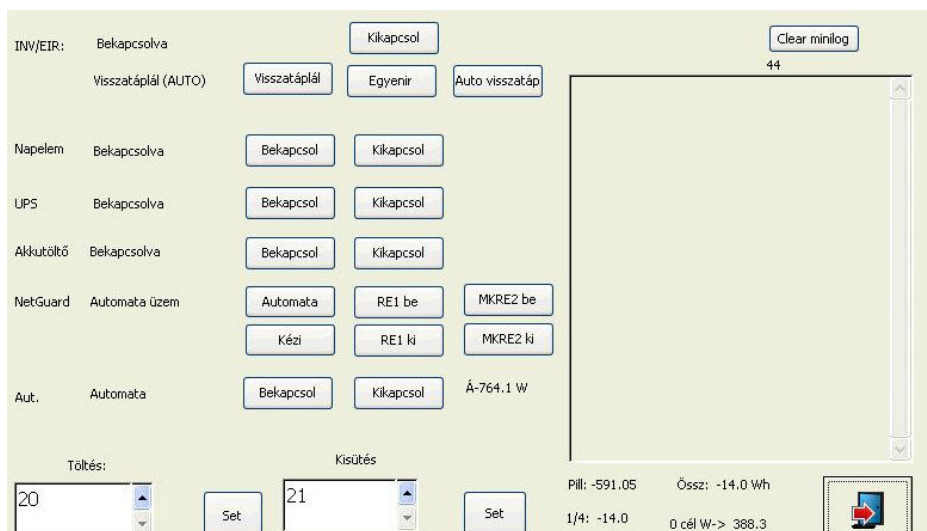
„HELYI” üzemben a felügyeleti egységen lévő érintőpaneles kijelzőn lévő gombokkal, a 30kVA-es rendszernél „TÁVVEZÉRELT” üzemben a SCADA távfelügyeleti rendszerről vezérelhető a rendszer.

„HELYI” és „TÁVVEZÉRELT” üzemállapotok, valamint a modulok be-kikapcsolása a sématablán láthatóak:

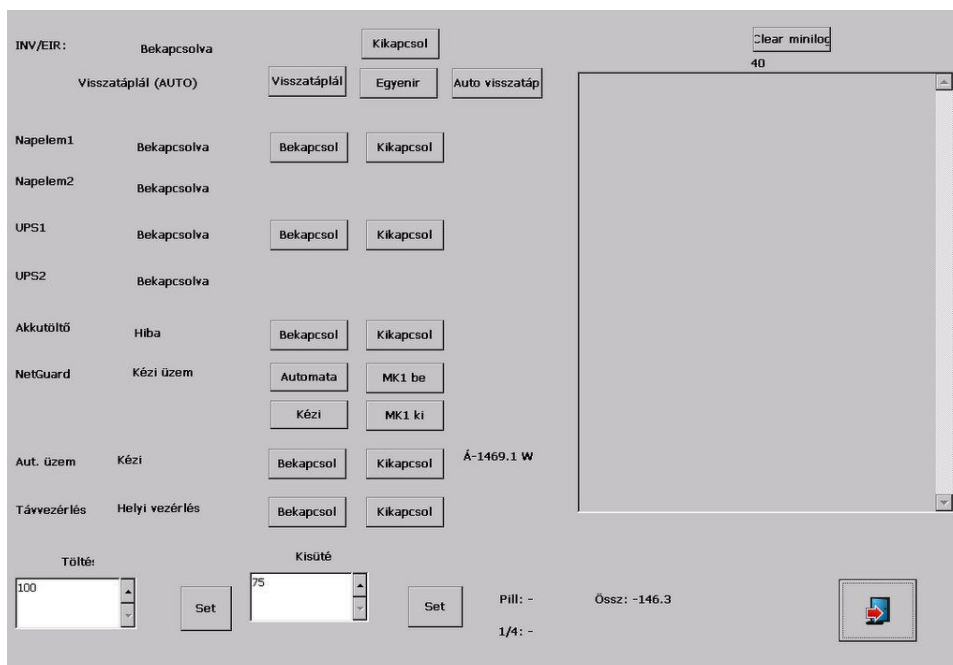
3 kVA-es (ld. 8. ábra.) 30 kVA-es (ld. 9. ábra.)

- Akkumulátortöltő modul be-kikapcsolása
- Akkumulátortöltés kézi, 10-100 %-os alapjel állítás
- Akkumulátor kisütés=visszatáplálás 10-100 %-os alapjel állítás
- Napelem DC/DC átalakító modul be-kikapcsolása
- INVERTER modulok be-kikapcsolása

- EIR/INV modulok be-kikapcsolása
- EIR/INV modulok egyenirányító üzem
- EIR/INV modulok visszatáplálásos üzem
- EIR/INV modulok AUT. visszatáplálásos üzem
- NETGUARD egység AUT/KÉZI üzemállapot bekapcsolása
- AUTOMATA vagy KÉZI üzem bekapcsolása a 3 kVA-es rendszernél
- TÁV vagy HELYI vezérlés bekapcsolása a 30 kVA-es rendszernél



8. ábra: 3 kVA-es napelemes rendszer üzemállapotok sématablája:



9. ábra: 30 kVA-es napelemes rendszer üzemállapotok sématablája:

3. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **RINGLER CSABA, SZÜCS ATTILA:** *A $\pm 400V$ közbensőköri feszültségű moduláris kialakítású szünetmentes áramellátó rendszercsalád.* Vezetékek világa 2016/2 XXI. évfolyam, 2. szám.
- [2] **RINGLER CSABA, SZÜCS ATTILA:** *Moduláris felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerek.* Elektrotechnika folyóirat 2016/3

Dohány László (1957), erősáramú fejlesztőmérnök.

1979-ben végzett villamos üzemmérnökként a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola Automatika szakán, teljesítményelektronika ágazaton. 1979-től a Villamosipari Kutató Intézet, majd jogfolytonosan az EPOS-PVI Rt., 1991-től a Villamos Hajtás és Járműelektronika Kft, majd 2013-tól PowerQuattro Zrt. erősáramú fejlesztőmérnöke. Fő tevékenységi körébe tartozik csúszógyűrűs aszinkron motorok kaszkád fordulatszám szabályozó berendezések, valamint szünetmentes áramellátó rendszerek, fejlesztése tervezése.

Elérhetőségek: PowerQuattro Zrt., 1161 Budapest, János utca 175.

Tel.: +36-1-405-5400, e-mail: pqinfo@powerquattro.hu



Várhelyi Nándor (1973), erősáramú fejlesztőmérnök.

2000-ben végzett a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Villamosmérnöki Karán, Teljesítményelektronika szakirányon. 2000-től a PowerQuattro Zrt. erősáramú fejlesztőmérnöke. Fő tevékenységi körébe tartozik a szünetmentes áramellátó rendszerek, berendezések fejlesztése, tervezése.

Elérhetőségek: PowerQuattro Zrt., 1161 Budapest, János utca 175.

Tel.: +36-1-405-5400, e-mail: pqinfo@powerquattro.hu



GaAs hordozón növesztett nano-szerkezetek modellezése

Farkas Zoltán¹, Ürmös Antal¹, Takács Jenő², Nemcsics Ákos¹

¹Mikroelektronikai és Technológiai Intézet, Óbudai Egyetem, 1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. Budapest, Magyarország

²Department of Engineering Science, University of Oxford, Parks Road, Oxford OX1 3PJ, Oxford, United Kingdom

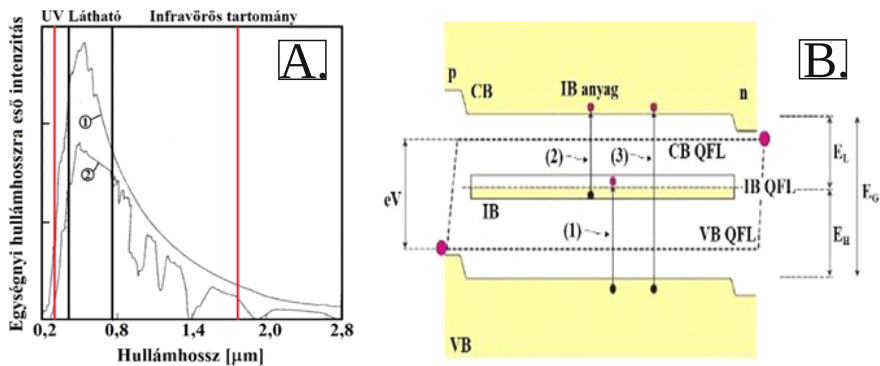
e-mail: urmos.antal@kvk.uni-obuda.hu

Kivonat: Jelen cikkben az önszerveződés útján kialakuló GaAs-alapú nano-szerkezetek alakjának matematikai leírásával és a valós formához való függvényillesztéssel foglalkozunk. Az alkalmazás szempontjából rendkívül fontos, hogy adott tulajdonságú (geometriájú és felületi sűrűségű) nano-szerkezeteket tudjunk tervezni és előállítani. Cikkünkben először röviden bemutatjuk a témában végzett kutatásaink előzményeit. Ezt követően vegyület-félvezető hordozón (AlGaAs ill. GaAs), csepp-epitaxia útján, önszerveződéssel kialakuló nulla-dimenziós nano-struktúrák matematikai leírását mutatjuk be, mely függvényillesztés koefficienseinek meghatározására egyedi szoftvert készítettünk.

Keywords: nanoszerkezet; önszerveződés; csepp-epitaxia; GaAs;

1 Bevezetés

Ismeretes, hogy az önszerveződés útján kialakuló nano-szerkezetek segítségével újfajta félvezető eszközök készíthetők (pl. kvantum-pont sejtautomaták [1] [2]), vagy a jelenleg már alkalmazott eszközök paramétereit is jelentős mértékben javítani lehet ezekkel a nano-szerkezetekkel. Utóbbira egy jó péla a nagyhatásfokú napelemek [3] [4]. Az egyszerű pn-átmenetes GaAs alapú napelemek hatásfoka maximum 30% lehet a Schockley-Queisser korlát következtében [5]. További jelentős mértékű hatásfok-növekedés, pl. III-V-alapú nano-szerkezeteket tartalmazó struktúrával érhető el. Ezen nano-szerkezetek alkalmazásával a napelemek, a napsugárzás spektrumából egy szélesebb hullámhossz-tartományt képesek hasznosítani (1/A. ábra).

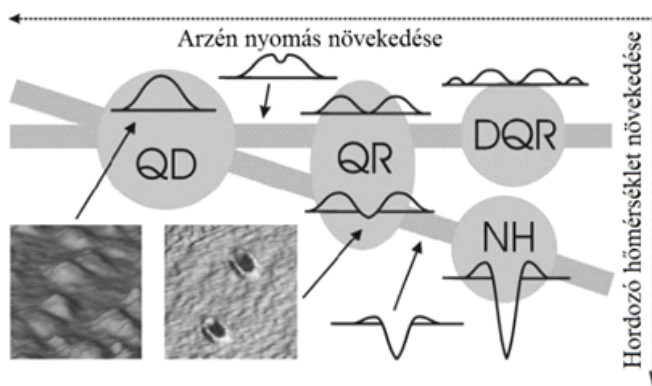


1. ábra

(A) A napsugárzás spektrumából hasznosított hullámhossz-tartomány, hagyományos c-Si napelem (fekete vonalak közötti tartomány) és GaAs-alapú nano-struktúrák napelem esetén (piros vonalak közötti tartomány). (B) Egy (IBQD - Intermediate Band Quantum Dot) napelem sávábrája [4].

A tiltott sávban közbenső kvantum-pont rétegeket hozunk létre (IBQD - Intermediate Band Quantum Dot) [4]. E kvantum-pont rétegek hatására a napelem nemcsak a (3) energiájú fotonokat tudja abszorbeálni, hanem az (1) és a (2) energiájú fotonokat is (lásd. 1/B ábra). A szélesebb hasznosuló spektrum-tartomány következtében e napelemek hatásfoka akár 60-80% is lehet.

Ezeket a nano-szerkezeteket a molekulásugár-epitaxia (molecular-beam epitaxy, MBE) egy változatával, az ún. csepp-epitaxiával (droplet-epitaxy, DE) lehet előállítani. Az eljárás működésének a lényege, hogy atom vagy molekulásugarat irányítunk ultranagy-vákuum (UHV) környezetben egy fűthető mintatartóra. Az atomok a minta felületén kondenzálódnak. A csepp-epitaxia elgondolását Koguchi és munkatársai dolgozták ki először az 1990-es évek elején [6] [7] [8] [9]. A technológia lényege, hogy az első lépésben a hordozóra (pl. GaAs-ra) egy a III-főcsoportból származó fém (pl. Ga-ot) választunk le. A második lépésben a minta hőmérsékletének és a háttérben lévő V-főcsoportból származó maradékgáz (pl. As) nyomásának a függvényében különféle nano-struktúrák alakulnak ki a cseppesedő Ga kristályosodásának során. Ezek a struktúrák a technológia függvényében nemcsak a konvencionális kvantum-pont-formák, de kvantum-gyűrűk és további egzotikus nano-méretű formák lehetnek (2. ábra).



2. ábra

Csepp-epitaxia során kialakuló nanoszerkezetek, különböző növesztési paraméterek esetén [6].

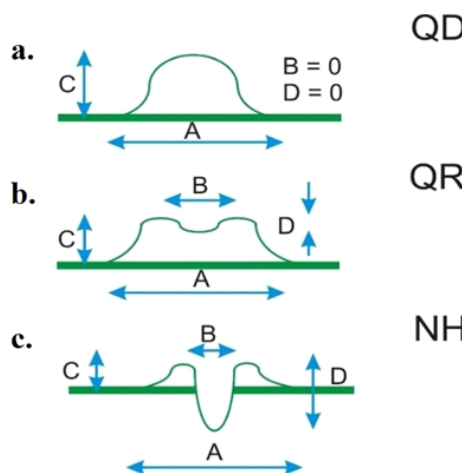
A csepp-epitaxia segítségével félvezető eszközök például nagyhatásfokú napelemek, kvantum-pont-sejtautomaták [10] vagy egyéb áramkörök, például memóriaelemek [11] is készíthetők.

A újszerű elektronikus eszközök készítéséhez kontrollált méretű és sűrűségű nanostruktúrákra van szükség [12] [13] [14] [15] [16]. A célunk egy eljárást kidolgozni a struktúrához tartozó technológia meghatározására, azaz egy kívánt struktúra milyen paraméterek (pl. Ga részecskeáram, As nyomás, hordozó hőmérséklete stb.) esetén formálódik. Ehhez először ezen nanoszerkezetek formájának analitikus leírásával és a megvalósult alakok illeszkedésének vizsgálatával foglalkozunk.

2 Kutatásaink előzményei

A különféle nulla-dimenziós nano-szerkezetek leírása nem egyszerű feladat, mivel közöttük az átmenet folyamatos, tehát nem létezik éles határ, ami a különféle nano-szerkezetek osztályokat egyértelműen elkülönítené. Első közelítésben ezen nano-szerkezetek osztályozásának kvantitatívva tételéhez egy ún. formatényezőt vezettük be. A formatényező segítségével az egyes nano-szerkezetekhez egy leíró vektort rendeltünk. E formatényezőt Kohonen leképezéssel [17] és fuzzy következtető rendszer alkalmazásával [18] [19] is meghatároztuk. A nano-szerkezetek alakját négy geometriai adattal írjuk le, melyek a 3. ábrán láthatók. A geometriai paraméterek értelmezése a következő: Az A méret a nano-stuktúra alapkörének az átmérője, amit következő módon defináltuk:

$$A = A(d) = \begin{cases} d, & \text{ha } C \geq 0,1 \text{ nm} \\ 0, & \text{máshol} \end{cases} \quad (1)$$



3. ábra

A nulla-dimenziós nano-szerkezetek geometriai paraméterei kvantum-pont (a.), kvantum-gyűrű (b.) és nano-lyuk (c.) esetén [12].

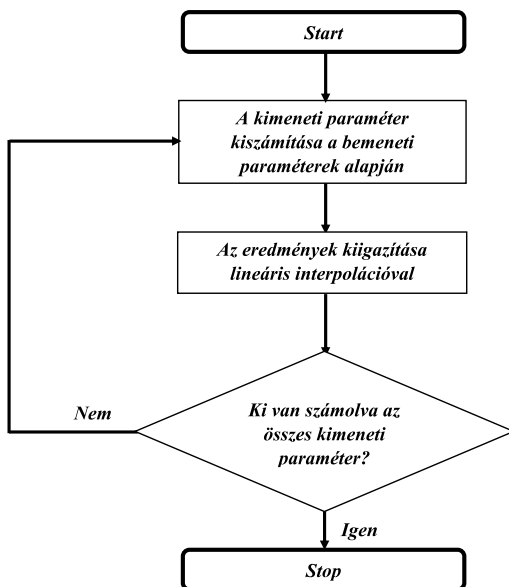
A B méret a nano-szerkezet belső körének az átmérője, a C méret a nano-szerkezet legfelső pontjának és a hordozónak a távolsága. A D méret a nano-szerkezet legfelső pontjának és a lokális vagy globális minimumának a távolsága, abszolút értékben.

A Kohonen-féle önszerveződő leképezés egy iteratív algoritmus, ami a bemeneti vektorokat jelen esetben kétdimenziós térbe képezi le. Emiatt a formatényező egy (x,y) virtuális koordinátájú pont. Ennek a pontnak a helye megadja, hogy a hozzá tartozó bemeneti vektor milyen mértékben hasonlít a többi ponthoz (a többi bemeneti vektorhoz). Az egyes bemeneti pontok egymáshoz képest való elhelyezkedése megadja, hogy az adott pont (bemeneti vektor) a leképezés alapján milyen mértékben számít kvantum-pontnak, kvantum-gyűrűnek vagy nano-lyuknak [12] [13] [15].

A nulla-dimenziós nano-szerkezetek fuzzy-alapú osztályozásáról egy korábbi cikkben [13] már beszámoltunk. Első közelítésben feltételezzük, hogy a nano-struktúrák fejlődése a hordozó felületét tekintve izotróp. Ez azt jelenti, hogy a méretek hordozó síkjával párhuzamosan (B -méret) és hordozó síkjára merőlegesen (C és D -méretek) ugyanolyan arányban változnak. Emiatt a korábbi munkában az osztályozásnál csak a C és a D paraméterek viszonyát vizsgáltuk meg. Egy további modellben már figyelembe vettük a B , C és D -méretek változását is [14]. A fuzzy-alapú osztályozásnál a formatényező egy 0 és 1 közötti szám.

Megvizsgáltuk ugyanezen nulla-dimenziós nano-szerkezetek fuzzy-alapú tervezésének lehetőségét is. A továbbiakban bemeneti paraméterek alatt a geometriai méreteket és a nano-szerkezetek felületi sűrűségét értjük, míg tervezési

esetben a kimeneti paraméterek a hordozó hőmérséklete, Ga fluxusa, As háttérnyomása, hőkezelés ideje és a hőmérséklete. Megjegyzendő, hogy technológiai szemszögből nézve a kimeneti és a bemeneti paraméterek felosztása fordított. A kimeneti paraméterek kiszámításának menete a 4. ábrán látható. A geometriai adatokat és a felületi sűrűség értékeket több szerző munkáiból [20] [21] [22] [23] [24] [25] vettük. A modellt valós technológiai adatokkal ellenőriztük és jó egyezést adtak [14].



4. ábra

A kimeneti paraméterek kiszámításának folyamatábrája.

3 Új modell a nanoszerkezetek leírására

A cikkben tárgyalt új modellben szétválasztottuk a nulladimenziós nanoszerkezetek geometriai paramétereinek és felületi sűrűségének leírását. Itt csak a nano-szerkezetek geometriájának a leírásával foglalkozunk. Ebben a modellben 2x2 paramétert (a_1 , a_2 , α_1 , α_2) tartalmazó hiperbolikus függvénycsaláddal írjuk le a nano-szerkezetek alakját [26]. Ez a függvény két részre osztható fel: egy kvantum-pontot és egy nano-lyukat leíró részre. A kvantum-pontot leíró rész kifejezése a következő:

$$y_{QD} = a_1 * \operatorname{sech}(\alpha_1 * x)^2, \quad (2)$$

ahol az a_1 paraméter a nano-szerkezet magasságával kapcsolatos, az α_1 paraméter

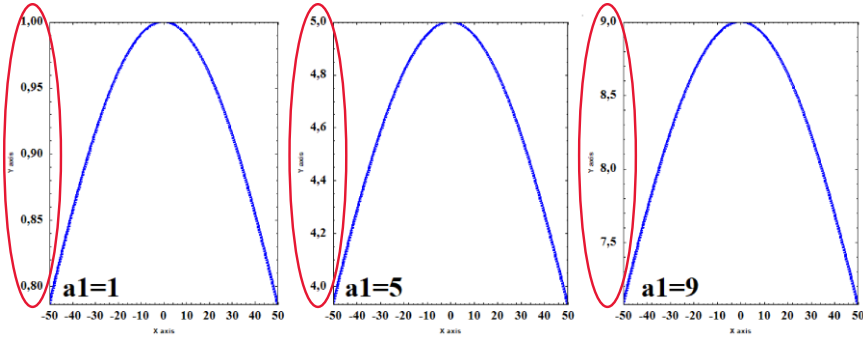
egy karcsúsággal kapcsolatos tényező. A nano-lyukat leíró rész kifejezése a következő:

$$y_{NH} = 2 * a_2 * \text{sech}(\alpha_2 * x)^4 + 4 * a_2 * \text{sech}(\alpha_2 * x)^2 * \tanh(\alpha_2 * x)^2 \quad (3)$$

ahol az a_2 paraméter a nano-szerkezet mélységével kapcsolatos, az α_2 paraméter szintén egy karcsúsági tényező. A nano-szerkezet eredő alakját az (2)-es és a (3)-as kifejezések összege adja:

$$Y = y_{QD} - y_{NH} \quad (4)$$

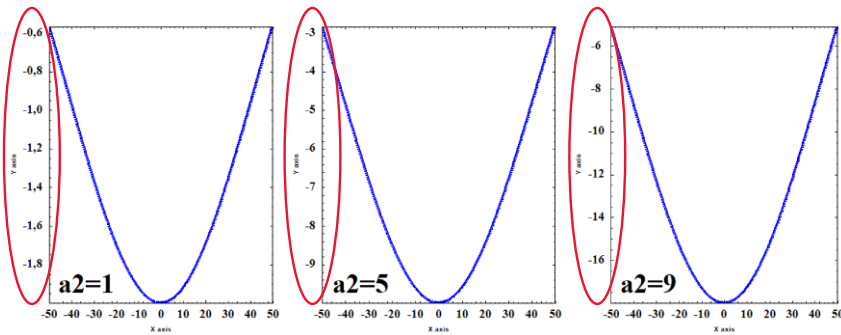
A következő ábrákon az a_1 , az a_2 paraméterek változását láthatjuk. Ez a két paraméter az adott görbe magasságát befolyásolja. Az a_1 paraméter esetében az $\alpha_1 = 0.1$, az $a_2 = 0$ és az $\alpha_2 = 0$ változatlanok (5. ábra).



5. ábra

Az a_1 paraméter változása.

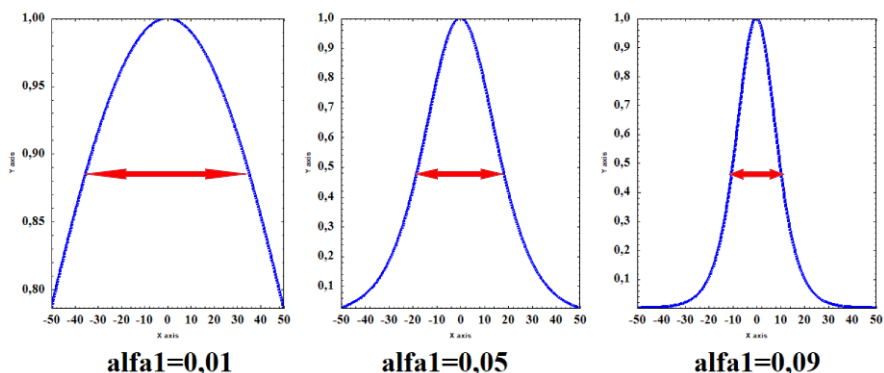
Az a_2 paraméter esetében az $a_1 = 0$, az $\alpha_1 = 0$, és az $\alpha_2 = 0.01$ változatlanok (6. ábra).



6. ábra

Az a_2 paraméter változása.

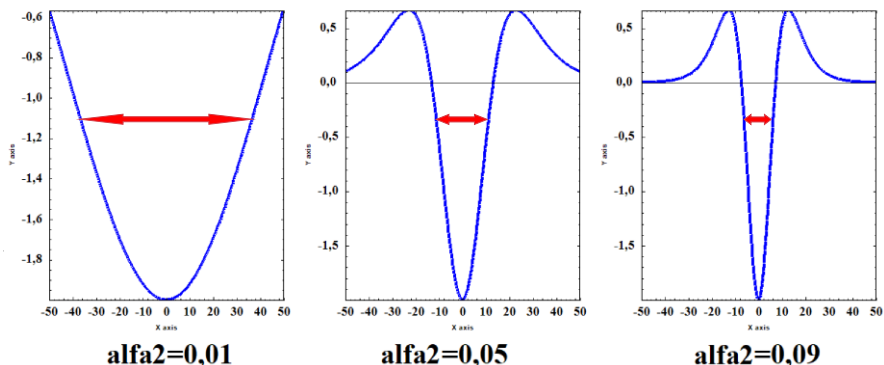
A következő ábrákon az α_1 , az α_2 paraméterek változását láthatjuk. Ez a két paraméter az adott görbe karcsúságát jellemzi. Az α_1 paraméter esetében az $a_1 = 1$, az $a_2 = 0$, és az $\alpha_2 = 0$ változatlanok (7. ábra).



7. ábra

Az α_1 paraméter változása.

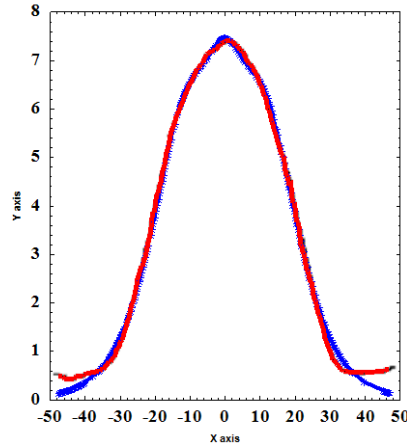
Az α_2 paraméter esetében az $a_1 = 0$, az $a_2 = 1$, és az $\alpha_1 = 0$ változatlanok (8. ábra). A következő két ábrán a görbeillesztés eredménye látható tipikus kvantum-pont és nano-lyuk esetére. A görbéket a [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] cikkekben található atomerő-mikroszkópos (Atomic Force Microscopy, AFM) keresztmetszeti adatokra illesztettük. Mindkét esetben a piros színnel jelölt görbe az eredeti digitalizált görbe, míg a kék színnel jelölt görbe az illesztett görbe. Az ábrák (001)-es orientációjú GaAs felületen készültek, [-110] kristálytani irányból nézve.



8. ábra

Az α_2 paraméter változása.

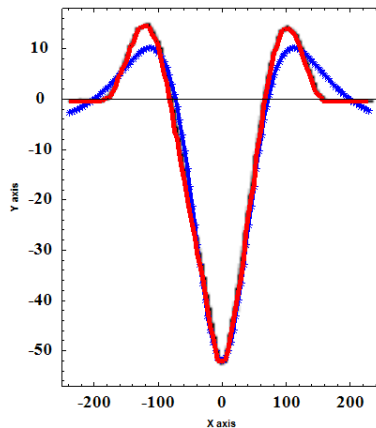
Kvantum-pont esetén a következő illesztési paraméterek adódtak (9. ábra): $a_1 = 16,8933$, $\alpha_1 = 0,1067$, $a_2 = 4,7188$, $\alpha_2 = 0,067$. Az illesztés jósága a következő: SSE: 5,175, R^2 : 0,996, Adjusted R^2 : 0,996, RMSE: 0,1608.



9. ábra

A görbeillesztés eredménye kvantum pont esetén. A piros színnel jelölt görbe az eredeti digitalizált görbe, míg a kék színnel jelölt görbe az illesztett görbe.

Nano-lyuk esetén a következő illesztési paraméterek adódtak (10. ábra): $a_1 = -5,4413$, $\alpha_1 = 3,02 \cdot 10^{-7}$, $a_2 = 23,3132$, $\alpha_2 = 0,0102$. Az illesztés jósága a következő: SSE: 1103,3156, R^2 : 0,9732, Adjusted R^2 : 0,973, RMSE: 3,0708.



10. ábra

A görbeillesztés eredménye nanolyuk esetén. A piros színnel jelölt görbe az eredeti digitalizált görbe, míg a kék színnel jelölt görbe az illesztett görbe.

Konklúzió

Az önszerveződés útján kialakuló nano-struktúrák segítségével a félvezető-eszközök paramétereit jelentős mértékben javítani lehet. Emiatt fontos, hogy adott tulajdonságú (geometriájú és felületi sűrűségű) nano-szerkezeteket tudjunk tervezni és előállítani. Sikerült jól egyező illesztést készíteni a hiperbolikus függvényen alapuló leírásra, mely függvény koefficienseinek meghatározására egyedi szoftvert készítettünk. Következő kutatási tervünk technológiai paraméterek meghatározása illetve hozzárendelése az illesztési paraméterek alapján. További célunk az ismertetett függvény pontjainak a meghatározása a nano-szerkezetek geometriai paramétereire alapján.

Irodalomjegyzék

- [1] G.L. Snider, A.O. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G.H. Bernstein, C.S. Lent, J.L. Merz and W. Porod, "Quantum Cellular Automata," *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, vol. 17, pp. 1394-1398, 1999.
- [2] G.L. Snider, A.O. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G.H. Bernstein, C.S. Lent, J.L. Merz and W. Porod, "Quantum-dot cellular automata: Review and recent experiments (invited)," *Journal of Applied Physics*, vol. 85, pp. 4283-4285, 1999.
- [3] K.W.J. Barnham, I. Ballard, J.P. Connolly, N.J. Ekins-Daukes, B.G. Klufthinger, "Quantum well solar cells," *Physica E*, vol. 14, pp. 27-36, 2002.
- [4] A. Luque, A. Martí, C. Stanley, "Understanding intermediate-band solar cells," *Nature Photonics*, vol. 6, pp. 146-152, 2012.
- [5] W. Shockley, H. J. Queisser, "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells," *Journal of Applied Physics*, Volume 32 (March 1961), vol. 32, pp. 510-519, 1961.
- [6] Á. Nemcsics, "Growth of GaAs and related materials based nano-structures by droplet epitaxial method," *Recent Res. Devel. Mat. Sci. Eng.*, vol. 4, 2011.
- [7] N. Koguchi, S. Takahashi, T. Chikyow, "New MBE growth method for InSb quantum well boxes," *J. of Crystal Growth*, pp. 688-692, 1991.
- [8] N. Koguchi, K. Ishige, "Growth of GaAs Epitaxial Microcrystals on an S-Terminated GaAs Substrate by Successive Irradiation of Ga and As Molecular Beams," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 32, p. 2052, 1993.
- [9] S. Sanguinetti, N. Koguchi, "Droplet Epitaxy of Nanostructures," in *Molecular Beam Epitaxy: From Research to Mass Production*, 1st Edition. Waltham, MA, USA: Elsevier Science, pp. 95-111, 2013.

-
- [10] Nemcsics Akos, Urmos Antal, Toth Lajos, "Droplet Epitaxy and its Possibilities in Nano-electronics," in IEEE, vol. International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE 2018), Taipei, Taiwan, pp. 122-124, 2018.
 - [11] S. Panyakeow, "Quantum Nanostructures by Droplet Epitaxy," Engineering Journal, vol. 13, pp. 51-56, 2009.
 - [12] A. Ürmös, Z. Farkas, M. Farkas, T. Sándor, L. T. Kóczy, Á. Nemcsics, "Application of Self-Organizing Maps for Technological Support of Droplet Epitaxy," Acta Polytechnica Hungarica, vol. (in press), 2017.
 - [13] Z. Farkas, M. Farkas, T. Sándor, L. T. Kóczy, Á. Nemcsics A. Ürmös, "Fuzzy and Kohonen SOM based classification of different 0D nanostructures," in IEEE, 2017, vol. SAMI 2017 : IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herlany, Szlovákia, pp. 000365-000369, 2017.
 - [14] Antal Ürmös, Zoltán Farkas, Tamás Sándor, Ákos Nemcsics, "Soft-computing based classification and design of quantum dot nanostructures on GaAs substrate," in IEEE, vol. IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics : SISY 2017, Subotica Serbia, pp. 123-127, 2017.
 - [15] A. Urmos, M. Farkas, L. T. Kóczy, A. Nemcsics, "Quantum structure classification by Kohonen Self-Organizing Map and by Fuzzy C-Means algorithm," in IEEE, Budapest, Hungary, pp. 313-318, 2013.
 - [16] Ürmös Antal, Farkas Zoltán, Farkas Márk, Sándor Tamás, Kóczy T. László, Nemcsics Ákos, "Önszerveződő leképezés alkalmazása csepp epitaxia technológiai támogatására," in Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar , Budapest, Magyarország, pp. 1-19, 2016.
 - [17] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, 3rd ed.: Springer, 2001.
 - [18] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and Control, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
 - [19] L. T. Kóczy, D. Tikk, Fuzzy systems. Budapest, Hungary, 2007.
 - [20] Á. Nemcsics, C. Heyn, A. Stemmann, A. Schramm, H. Welsch, W. Hansen, "The RHEED tracking of the droplet epitaxial grown quantum dot and ring structures," Materials Science and Engineering B, vol. 165, pp. 118-121, 2009.
 - [21] Á. Nemcsics, B. Pődör, L. Tóth, J. Balázs, L. Dobos, J. Makai, M. Csutorás, A. Ürmös, "Investigation of MBE grown inverted GaAs quantum dots," Microelectronics Reliability, vol. 59, pp. 60-63, 2016.
 - [22] Á. Nemcsics, A. Stemmann, J. Takács, "To the understanding of the formation of the III–V based droplet epitaxial nanorings," Microelectronics Reliability, vol. 52, pp. 430-433, 2012.
-

- [23] C. Heyn, D. Sonnenberg, and W. Hansen, "Local Droplet Etching: Self-assembled Nanoholes for Quantum Dots and Nanopillars," in *Nanodroplets*. New York: Springer Science, pp. 363-383, 2013.
- [24] C. Heyn, T. Bartsch, S. Sanguinetti, D. Jesson, W. Hansen, "Dynamics of mass transport during nanohole drilling by local droplet etching," *Nanoscale Research Letters*, pp. 10-67, 2015.
- [25] T. Kuroda, T. Mano, T. Ochiai, S. Sanguinetti, K. Sakoda, G. Kido, N. Koguchi, "Optical transitions in quantum ring complexes," *Physical Review B*, vol. 72, p. 205301, 2005.
- [26] J. Takács, Á. Nemcsics, "Scientific Review," vol. 4, no. pp. 74-79, 2018.
- [27] C. Heyn, A. Stemann, A. Schramm, H. Welsch, W. Hansen, Á. Nemcsics, "Faceting during GaAs quantum dot self-assembly by droplet epitaxy," *Applied Physics Letters*, vol. 90, p. 203105, 2007.
- [28] Ákos Nemcsics, "On the shape formation of the droplet epitaxial quantum dots," *Microelectronics Reliability*, vol. 56, pp. 73-77, 2016.
- [29] Á. Nemcsics, L. Tóth, L. Dobos, Ch. Heyn, A. Stemann, A. Schramm, H. Welsch, W. Hansen, "Composition of the "GaAs" quantum dot, grown by droplet epitaxy," *Superlattices and Microstructures*, vol. 48, pp. 351-357, 2010.
- [30] A. Stemann, Ch. Heyn, T. Köppen, T. Kipp, and W. Hansen, "Local droplet etching of nanoholes and rings on GaAs and AlGaAs surfaces," *Applied Physics Letters*, vol. 93, p. 123108, 2008.
- [31] Alvason Zhenhua Li, Zhiming M. Wang, Jiang Wu, Yanze Xie, Kim A. Sablon and Gregory J. Salamo, "Evolution of Holed Nanostructures on GaAs (001)," *Cryst. Growth Des.*, vol. 9, pp. 2941–2943, 2009.
- [32] Ch. Heyn, A. Stemann, R. Eiselt, W. Hansen, "Influence of Ga coverage and As pressure on local droplet etching of nanoholes and quantum rings," *Journal of Applied Physics*, vol. 105, p. 054316, 2009.
- [33] Ch. Heyn, A. Stemann, W. Hansen, "Nanohole formation on AlGaAs surfaces by local droplet etching with gallium," *Journal of Crystal Growth*, vol. 311, pp. 1839-1842, 2009.

Mechanikai feszültség hatására keletkezett változások vizsgálata műanyag szemüveglencséken képfeldolgozási módszerekkel

**Kiss Tamás¹, Kárász Géza², Ürmös Antal¹, Sándor Tamás¹,
Fried Miklós¹, Nemcsics Ákos¹**

¹Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 1084 Budapest, 1084, Tavaszmező u. 17.

²GrandVision Hungary Kft, 1113 Budapest, Bocskai út 134.

Jelen dolgozatban műanyag szemüveglencsék mechanikai behatásra adott optikai tulajdonságváltozását vizsgáljuk. Korábbi kutatásaink alapján tudjuk, hogy a műanyag szemüveglencsék esetén a látásélmény minősége nagyban függ a befogási feszültségtől. Ebben a munkában egy új mérési elrendezést mutatunk be, melyben a műanyaglencsék feszültség hatására bekövetkező leképzési anomáliáit vizsgáljuk egy nagy felbontású OLED-mátrix kijelző segítségével. A létrehozott elrendezés és képfeldolgozó algoritmus képes akár 10 μm nagyságú leképzési torzulás detektálására is. A munkánk során különböző lencsákat mértünk és hasonlítottunk össze.

Keywords: műanyag szemüveglencse, optikai leképezés, képfeldolgozás, mechanikai feszültség

1 Bevezetés

Az emberi népesség jelentős hányada szemüveges. Előnyös tulajdonságai miatt (könnyű, nem törik stb.) sokan használnak a szemüvegben műanyag lencsét. A szemüveglencse gyártása és a felhasználói visszajelzések során képződött adatok mutatják, hogy sok esetben a látszólag tökéletes szemüveg nem eredményez tökéletes látásélményt [1]. A nagy adathalmaz feldolgozása arra a sejtésre vezetett, hogy a tökéletlen látásélmény a lencsebefogás során létrejövő mechanikai feszültségre vezethető vissza [1]. Vizsgálatainkat polarizációs feszültségoptikai mérésekkel kezdtük. A polarizációs mintázat megjelenése, inhomogenitása és befogástól való függése egyértelműen jelezte a problémát. A látott mintázat és a különböző kamerákkal detektált mintázat jelentősen eltért egymástól, így a mérések összehasonlíthatósága vált problémássá [1]. A

vizsgálatainkat jelen munkában a leképzés-torzulás detektálásával folytattuk. A leképezendő tárgy egy OLED raszter volt, melyet a lencse túloldalán egy kamerával figyeltük és a jelet képfeldolgozó programmal értékeltük ki.

A dolgozat első részében rövid ismertetőt adunk a műanyag lencséről ill. a mérés előzményeit mutatjuk be. Cikkünk következő részében a mérési elrendezésünket és ennek működését ismertetjük. Majd néhány mérési eredménnyel illusztráljuk a mérés hatékonyságát. A dolgozat végén a továbblépés lehetőségeit vázoljuk fel.

2 Néhány szó a műanyaglencséről

A műanyag szemüveglencsék anyagai különféle polimerek. A polimerizáció során telítetlen, vagyis kettős kötésű monomer vegyületek azonos molekulái egy nagy molekulává egyesülnek többnyire melléktermék keletkezése nélkül. Ez végbe mehet nemcsak azonos monomerekkel, de kettő, vagy akár három különböző monomerrel is [4]. Műanyag szemüveglencsék anyagaként általában CR-39 jelű (poli-allildiglikol-karbonát) és a PMAA (plometil-metakrilát), PC (plokarbonát) használatos[5]. Leggyakrabban a CR-39 jelűt használják, melyet a második világháború során állították elő. A 39-es szám egy sikeres kísérletsorozatra utal [5]. Ennek a polimernek fontosabb tulajdonságai a következők: törésmutatója 1.50, Abbe száma 57.8, nagy törés- és karcállóságú, könnyű, optikailag tiszta és színezhető [5]. A műanyag lencsét öntéssel eljárással gyártják, melynél egy előre elkészített öntőformába juttatják, majd polimerizálják és hőkezelik [1, 6]. A polimerizáció során az anyag zsugorodik, ezért belső feszültségek keletkeznek. A Tapasztalat szerint ezek a feszültségek nem rontanak a látásélményen, ráadásul a hőkezeléssel minimális szintre csökkennek [6]. A lencsék anyagát a törésmutatón kívül az ún. Abbe számmal jellemezzük [5].

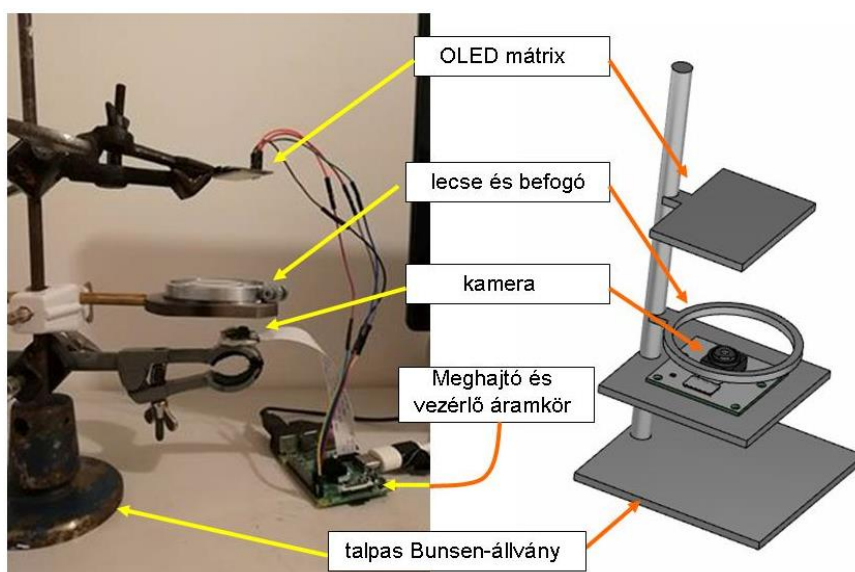
3 Kísérleti rész

3.1 Mérési elrendezés

A mérési elrendezés az 1. ábrán látható. A leképezendő tárgy egy OLED mátrix-kijelző. A detektálás egy kamerával történt. E kettő közé került a lencsebefogó a lencsével. A befogás egy csavaros bilincssel történt, ahol a befogó csavar meghúzásának erősségét egy precíziós nyomatékkulccsal mértük. A mérés egyes elemei egy laboratóriumi talpas Bunsen-állvány függőleges rúdja csavaros dióval felerősített nyeles szűrőkarikák segítségével történt. Ezekre a fém keretekre erősítettük fel a mérés egyes elemeit. Ez azért volt előnyös, mert így szabadon változtathattuk az egyes elemek egymáshoz képesti helyzetét. A szemüveglencse

laterális képképzési inhomogenitását figyelembeveendő a mérési elrendezés úgy került kialakításra, hogy vízszintes irányba is mozgatható legyen mind a kamera mind pedig a kijelző. Erre főképp a későbbi vizsgálatokhoz volt szükség, kiszűrendő minden lehetséges hibaforrást, valamint további paraméterek meghatározásához.

A vezérlő és képfeldolgozó program Python nyelven írt kóddal működik. A mérés és az alábbi szekvencia alapján történik: 1. a kamera és az OLED mátrix konfigurálása, 2. képkészítés, 3. a középpontok és a kontúrok meghatározása, 4. mentés. Ez után történik a lencsebefogó megfeszítése, majd újból az előző szekvencia, majd az így készült két kép összehasonlítása következik.



1. ábra

A szemöveglencse vizsgáló mérési összeállítás

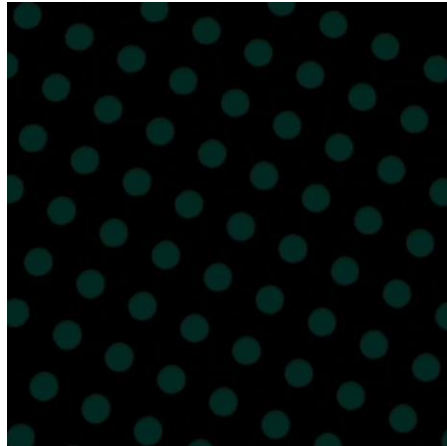
3.2 A mérés menete

A lencse alumínium gyűrűbe való behelyezése után a megfelelő fényviszonyok beállítása következett. Ez után készült egy kép a nyugalmi, azaz előfeszítetlen állapotról, mely a további mérések referenciájául szolgált. A kamera és a kijelző távolsága kb. 10 cm. A váz elmozdítása nélkül, a befogó gyűrű kivétele után precíziós nyomaték kulcs segítségével megtörtént a meghatározott előfeszítés. Majd az óvatosan visszahelyezett lencséről elkészült egy másik kép. A legalább 5 mérési pont felvétele érdekében a nyomaték-változást 5 Nm-el növeltük, így a következő értékeken történt a mérés: 5 Ncm, 10 Ncm, 15 Ncm, 20 Ncm, 25 Ncm,

30 Ncm. Minden nyomatéknál készült kép, melyet egy adott mappában tárolt a program. Ez a folyamatot vittük végig több különböző lencsék esetére.

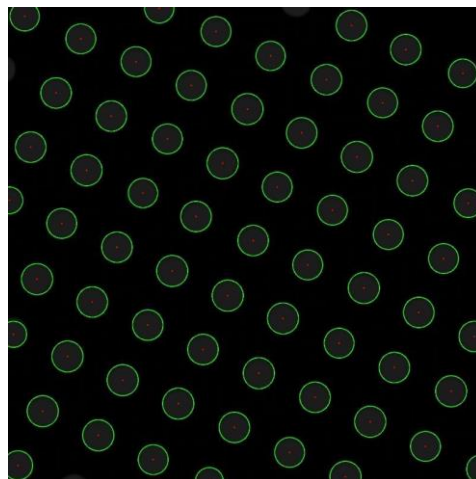
3.3 Képfeldolgozás

A képfeldolgozási lépések után az OLED kijelzőről a 2. ábrán látható képet kaptuk. Ezután detektáltuk a képen lévő köröket, melyekből számoltuk az elmozdulást.



2. ábra

OLED-mátrixról készült kép a képfeldolgozás után



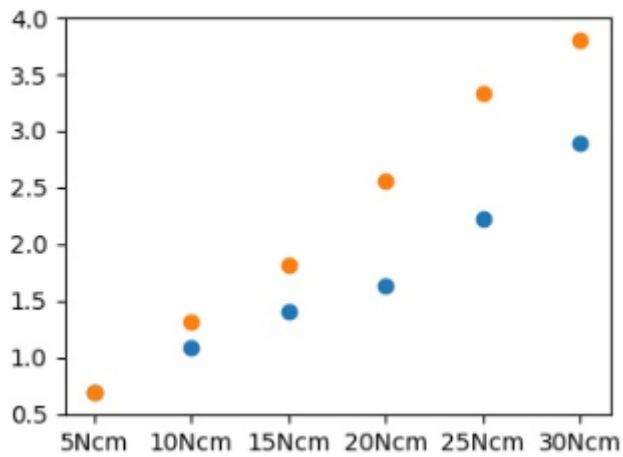
3. ábra

A 2. ábra alapján meghatározott kontúrok

4 Mérési eredmények

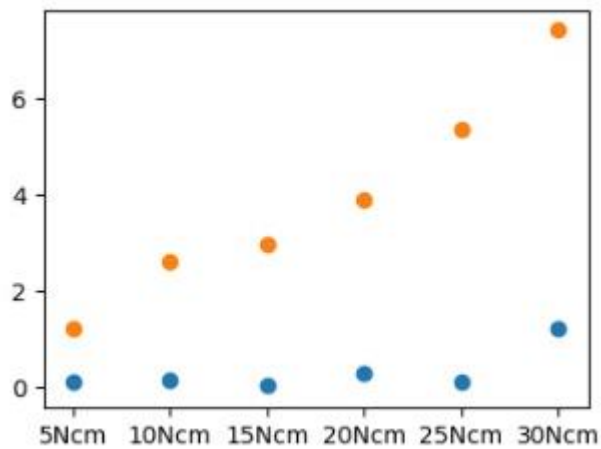
Az OLED mátrixon két fénypont távolsága 0,23 mm. Az elkészült képeken minden hatodik világít, így ki tudjuk számolni az 1 pixelnyi elmozdulást mikrométerben. A középpontok távolságából meghatározva 8,46 fénypont fér el 1500 pixelen. Így $(6 \text{ db fénypont} \times 0,23 \text{ mm} \times 8,46 \text{ db fénypont} = 11,67 \text{ mm})$ 1500-nek 11,67 mm felel meg. Az elmozdulás mérésének felbontása $[(11,67 \text{ mm} / 1500 \text{ pixel}) \times 1000 = 7,76 \text{ } \mu\text{m}]$ elég jó, 1 pixelnyi változásnak 7,76 μm felel meg. Nulla dioptriás lencsével végzett mérésből az alábbi eredmények születtek (lásd táblázat). A mérések több mérés átlagából születtek.

Előfeszítési nyomaték	Detektált pixel elmozdulás x tengely [pixel]	Számított elmozdulás x tengely [μm]	Számított elmozdulás y tengely [μm]	Detektált pixel elmozdulás y tengely [pixel]
5Ncm	-0,5	-3,88	0,69	5,35
10Ncm	-1,09	-8,45	1,32	10,24
15Ncm	-1,41	-10,96	1,82	14,12
20Ncm	-1,64	-12,73	2,56	19,87
25Ncm	-2,22	-17,22	3,34	25,92
30Ncm	-2,89	-22,43	3,81	29,57



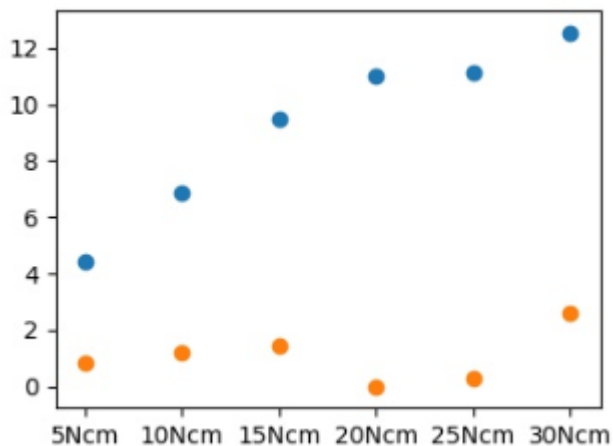
4. ábra

Nulla dioptriás lencsén mért elmozdulások mértéke: narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel]
 kék: |X| elmozdulás [pixel]

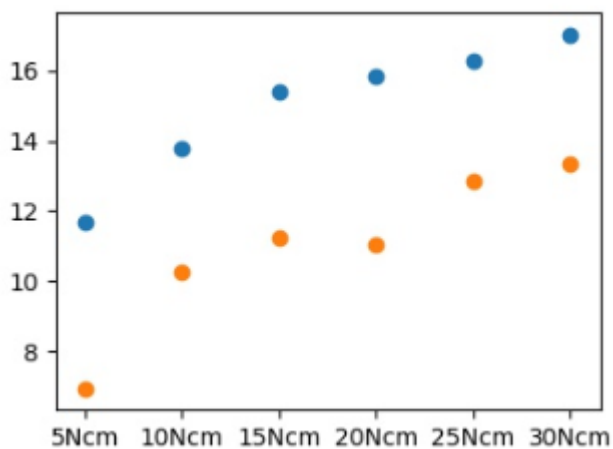


5. ábra

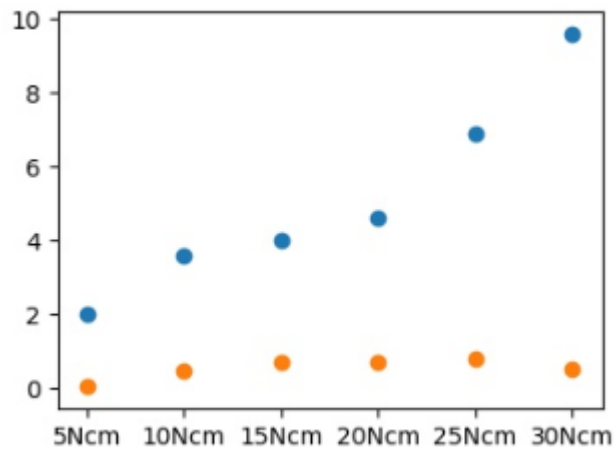
+1 dioptriás lencse vizsgálatának eredményei pixelekből, narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel],
 kék: |X| elmozdulás [pixel]



6. ábra
+2 dioptriás lencse vizsgálatának eredményei pixelekből, narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel],
kék: |X| elmozdulás [pixel]

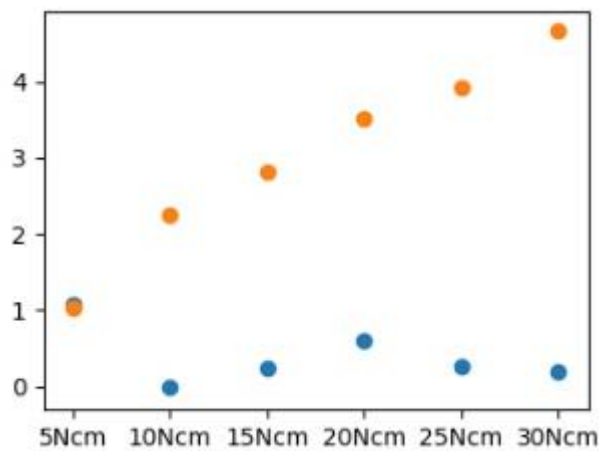


7. ábra
+5 dioptriás lencse vizsgálatának eredményei pixelekből, narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel],
kék: |X| elmozdulás [pixel]



8. ábra

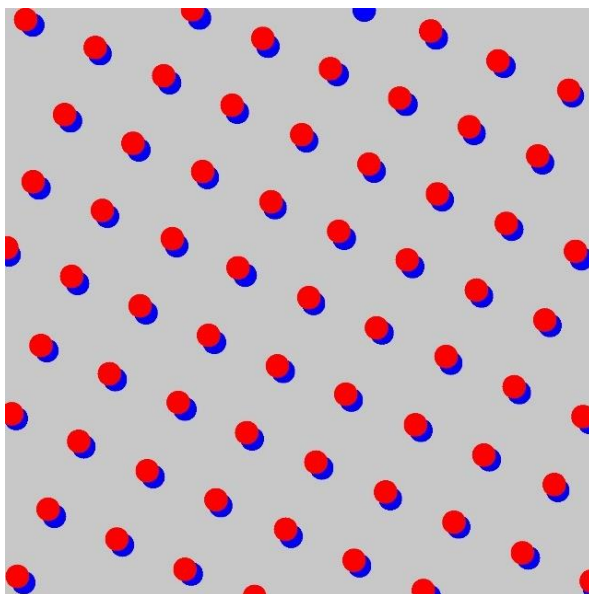
-1 dioptriás lencse vizsgálatának eredményei pixelekből, narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel],
kék: |X| elmozdulás [pixel]



9. ábra

-2 dioptriás lencse vizsgálatának eredményei pixelekből, narancssárga: |Y| elmozdulás [pixel],
kék: |X| elmozdulás [pixel]

Az elmozdulás szemléltetésére generáltuk az alábbi ábrát, ahol a piros körök a referencia állapotot mutatják, míg a kék körök a mechanikai feszültség hatására történő leképzési elmozdulást reprezentálják.



10. ábra

+5 dioptriás lencse 30Ncm-es előfeszítési nyomatékából származó elmozdulás mértéke, piros: eredeti ábra (0 Ncm), kék maximálisan megfeszített állapot (30 Ncm)

Konklúzió

A dolgozatban a mechanikai feszültség leképzésre tett hatását vizsgáltuk. Méréseinkből látható, hogy a keret okozta befogási feszültség módosítja a leképzést. Mivel a korábbi polarizációs feszültségoptikai mérésünket nem tudtuk kvantitatívvá tenni, ezért a jelen mérésünket mindenképpen eredménynek könyvelhetjük el.

További vizsgálatokat folytatunk a lencse típusok, a lencse vastagságok és a vizsgáló fény hullámhossza tekintetében. Észrevettük, hogy a befogás relaxációja véges idejű. További vizsgálatainkban szerepel a folyamat reverzibilitásának ill. hiszterézisének feltérképezése.

Hivatkozások

- [1] Kárász Géza: Műanyag szemüveglencsék optikai tulajdonságainak mechanikai feszültségtől való függésének vizsgálata (BSc szakdolgozat) OE-BGK (2017) T003037/FI12904/B
- [2] <http://uni-obuda.hu/users/balazsz/FizikaIInev%E9dett/Latas.pdf>
- [3] Budó Ágoston, Mátrai Tibor: Kísérleti Fizika III. (Optika és Atomfizika) TK, Bp (1977)
- [4] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai (2007)
- [5] Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag és gyártásismerete; Semmelweis Egyetem, Bp (2003)
- [6] Paolo Baiocchi; Gian G. Giani: Process for the Manufacture of Spectacle Lenses Made of Diglycol Allyl Carbonate or the Like; Parma, US4260564A

Akit a színpad füstje megcsapott...

Korán Ádám

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és
Automatizálási Intézet
H-1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. – TA.III.315
adam@koranadam.hu

Markella Zsolt

Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és
Automatizálási Intézet
H-1084 Budapest, Tavaszmező utca 17. – TC.IV.413
markella.zsolt@kvk.uni-obuda.hu

Napjaink nagy színpadi attrakciói nem valósulhatnak meg egyetlen apró, észrevétlen szereplő a füst nélkül. Ebben az előadásban bevezetjük az érdeklődőket a színpadi és a színpadon túli füstgépek világába, majd az általánosan szükséges ismeretek birtokában elkalauzoljuk egy konkrét géphez, melynek felújítása és átalakítása adja mondandónk szakmai részét.

A szakmai értekezés területei lesznek a gépek vezérléséhez használható DMX-512, a gépekben alkalmazott fázishasítás, hőmérséklet-szabályozás, biztonsági előírások. Végül az alkalmazott megoldások hardverterveibe és forráskódjaiba nyújtunk betekintést.

Kulcsszavak: füstgép, füsteffekt, DMX512

1. Bevezető

1.1. Mi a füst és mi a köd?

A füst olyan diszperz rendszer, ahol gáznemű anyagban szilárd anyagrészek találhatók többé-kevésbé egyenletes eloszlásban.

Ködnek nevezzük diszperzitás szempontjából a gázban (gáznemű anyagban) eloszlott, folyadékcseppekkel telt anyagot.

Mint azt láthatjuk a két fogalom nagyon különböző. Fontos tisztázni, hogy a szakmában és a köznyelvben füstgépként emlegetett szerkezetek fizikai szempontból ködöt állítanak elő! (A színpadi szakmában megszokott megnevezéshez hűen tudományos pontatlansága ellenére a cikkben a füst kifejezést fogjuk használni.)

1.2. A hagyományos füstgép működési elve

A füstgépek működésük során glicerines vizes elegyet porlasztanak a levegőbe. A folyadékot egy előre felfűtött szűk zárt térbe az úgynevezett kazánba fecskendezik, ahol az anyag nagy sebességgel elpárolog és a nyomásnövekedés hatására kilövell a kazán fűvókáján a szabadba. Ez működés közben nagy zajt eredményez. [1]

2. A javított füstgép

A fejlesztés tárgyát képező füstgép évekig szolgálta a megrendelők igényeit különféle rendezvényeken, ám az egyik alkalommal a készülék belsejébe folyadék került, rövidzárat képezett és a panel összes kisfeszültségű aktív elektromos alkatrészét működésképtelenné tette. A kazán és a folyadékpumpa átvészelte a balesetet, kiszáradás után megfelelően üzemelt tovább. A készülék csekély értékű, garanciája nem érvényes és a javíttatása gazdaságtalan, így ideális alany a kísérletezéshez, kutatáshoz.

A gép egy 1150 Watt fűtőteljesítményű kazánnal van felszerelve, melynek felfűtési ideje 8 perc. Üzemeleg állapotban 15 másodpercig képes folyamatosan füstöt kilövellni, ezután kettő – három percnyi fűtés következik. A gép kialakítása folyadéktartály nélküli. A boltban vásárolható két literes folyadék kannájával együtt a gépbe helyezhető, a kanna szájára az eredeti csavar helyett a szívócsövet tartalmazó lyukas csavart kell felhelyezni. Ennek a kialakításnak köszönhetően nem kell a folyadék áttöltésével bajlódni. A berendezés rendelkezik saját távirányítóval. Ez a távirányító vezetékes kapcsolatban áll az eszközzel, melynek minden funkcióját képes irányítani. A távirányítós vezérlés mellett beépítésre került a DMX512 színpadi buszrendszer támogatása is. A gép egy csatornás, DMX-en keresztül csak a kibocsátott füst intenzitása befolyásolható 0 – 100% tartományban lineárisan. [2]

2.1. A DMX512 buszrendszer rövid ismertetése

A DMX512 egy digitális adatátviteli szabvány, ami RS485-ös buszon alapszik és leggyakrabban a színpadi látványtechnika vezérlésében fordul elő. A szimmetrikus adatátvitelnek köszönhetően zavarokra kevésbé érzékeny, mint a korábbi aszimmetrikus analóg megoldások.

A DMX512 simplex kapcsolat, egyszerű master – slave rendszer, nincs lehetőség a visszajelzésre, a vezérlő folyamatosan küldi a parancsokat, amiket a vezérelt eszközök végrehajtanak. Ahhoz, hogy minden eszköz a tőle elvárt működést produkálja tudniuk kell értelmezni az adatfolyamot, ezt a címzés segítségével valósítják meg. Az adatfolyam folyamatosan küldésre kerül az adatvonalra, mind az 512 bájt. A bájtok közül a nulladik egy úgynevezett startkód, ehhez viszonyítva találják meg a készülékek a nekik szóló részt az adatfolyamból. Tulajdonképpen minden slave eszköz kap egy sorszámot, ami azt jelenti, hogy a nulladik bájtól számított hányadik bájt tartalmazza a neki szükséges parancsot. Ha egy készülék többcsatornás, például egy tizenkét csatornás dimmer, akkor a címe azt a kezdő sorszámot jelenti, amittől kezdődően az adatfolyamból értelmeznie kell a tizenkét csatornához szükséges tizenkét bájtot. [3]

2.2. Az eredeti vezérlőpanel és a megvalósítandó funkciók

Az eredeti NYÁK-on egy hagyományos transzformátoros tápegység szolgáltatja az energiát az áramköröknek. A transzformátorból érkező többféle váltakozó feszültséget egyenirányították majd soros áteresztő tranzistoros stabilizátorokra vezették. Így állt elő a +5V, a +12V és a -12V.

A panelen helyet kapott egy a típuszámától csiszolással gondosan megszabadított mikrovezérlő. Ehhez a 64 lábú kontrollerhez csatlakozott a DMX512 illesztését végző RS485 buszmeghajtó áramkör, a hőmérsékletmérést megvalósító műveleti erősítő áramkör, a folyadékpumpát hajtó TRIAC-os kapcsolás, a fűtőteljesítményt kapcsoló relé, a DMX kezdőcím megadására szolgáló DIP kapcsolósor és a vezetékes távirányító.

A készülék képes a füst mennyiségének szabályozására. Ezt úgy érték el, hogy a folyadékpumpát hajtó teljesítményt szabályozták, aminek hatására több – kevesebb mennyiségű folyadék jutott a kazánba. A pumpa teljesítményét fázishasítással módosították egy TRIAC-kal. Ennek a meghajtása optocsatolón át történt biztosítva a galvanikus leválasztást.

A DMX csatlakozás és a hozzá tartozó funkciók megmaradnak. A DMX512-n keresztül állítható füstintenzitás csak a folyadékpumpa fázishasított meghajtásával biztosítható, így ez is marad a meghajtást végző optocsatolós TRIAC-os megoldással együtt.

A kazán fűtését kapcsoló relé nagy helyet foglal és kapcsoláskor nagy áramot vesz fel a tápegységből. A relé közvetlenül nem kapcsolható a mikrovezérlővel és a kontaktusai is beéghetnek ezért ezt a megoldás nem marad meg. A fűtést is félvezető fogja kapcsolni, aminek köszönhetően kisebb transzformátor is elegendő.

A készülék kazánjában egy K típusú hőelem rejtőzik, ennek az illesztését végezték egy műveleti erősítő áramkörrel a mikrovezérlőhöz. Az áramkör szimmetrikus feszültségű táplálást igényel, ezzel növelve a tápegység költségét és bonyolultságát. A kazán hőmérsékletét feltétlenül mérni kell. A beépített hőelem nem hibásodott meg, ezért az felhasználható. A hőelem illesztése lehetséges a meglévő műveleti

erősítő megoldással, de mindenképp a kettős tápfeszültséget mellőző kialakítás a cél, hogy a táp tovább egyszerűsödjön.

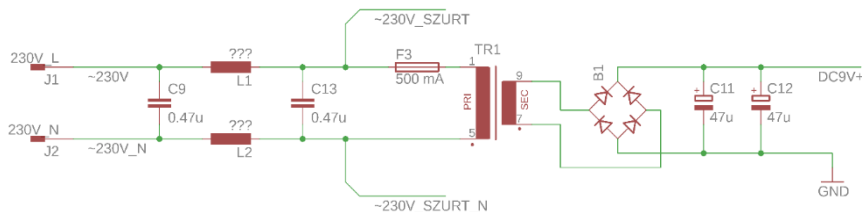
A készülék DMX kezdőcímét a lehető legegyszerűbb és ősbibb módon egy DIP kapcsolósoron lehetett megadni binárisan. A beépített kapcsolósor egyszerű és kényelmes megoldás, a továbbiakban is használatban marad.

A vezetékes távirányító egy 5 pólusú XLR csatlakozón keresztül kapcsolódott a gépre szükség esetén. Azt, hogy az öt vezetéken milyen kommunikációt végez a mikrovezérlővel lehetetlen megállapítani. Az öt vezetékek közül kettő minden bizonnyal tápvezeték a maradék pedig valamilyen szinkron vagy aszinkron soros kapcsolat. A távirányítót szétszerelve sem derül ki közelebbi adat, ugyanis az abban rejtőző mikrovezérlő jelöléseit is alaposan lecsiszolták. Tekintve, hogy a központi mikrovezérlő működésképtelen nincs lehetőség a kommunikáció lehallgatására és megfejtsére ezért a későbbiekben a vezetékes távirányító elhagyása mellett döntöttünk.

3. A berendezés újjáépítése

3.1. A tervezett hardver

3.1.1. Tápegység

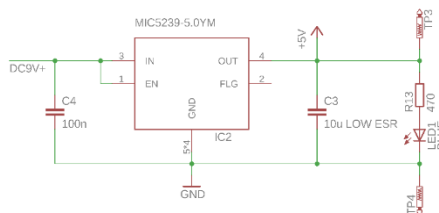


1. ábra

A stabilizálatlan egyenfeszültséget szolgáltató tápegység

A fent megfogalmazott gondolatok alapján az áramkör egyszerű +5 voltos tápfeszültségről működik majd. Ezt egy NYÁK-ra szerelhető 3VA-es transzformátor és egy LDO állítja elő. Az elvart 5V-os kimeneti feszültség feltétele az LDO bemeneti oldalán meglévő 5 voltnál magasabb feszültség, ezért a transzformátor 9V-os váltakozófeszültséget állít elő a hálózati feszültségből. A transzformátor primer oldalára került egy biztosíték, mely a túláram védelemért felel. A szekunder oldalon nincs biztosíték, mert az LDO gondoskodik a megfelelő védelmekről. A transzformátor szekunder tekercse egy integrált Graetz hídra kapcsolódik, majd az előállított egyenfeszültség két darab 47 mikrofárados pufferkondenzátorra. Tekintve, hogy a tápegységből csak pár miliamperes áramot vesz fel a kapcsolás többi része nem volt szükség ennél nagyobb kondenzátorra. A

feszültség a továbbiakban egy 100 nF-os hidegítő kondenzátoron át az LDO bemenetére jut, majd abból kilépve már stabil 5V formában a táplálandó részekhez.

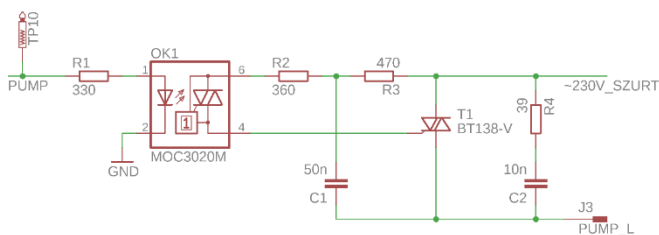


2. ábra
Az 5 voltos feszültségstabilizátor

Az említett LDO a Microchip – Micrel MIC5239-es integrált áramkörének fix 5V kimenettel rendelkező verziója. Ez az áramkör képes a bemenetén akár 30V fogadására – ezért a 9V-os transzformátor megfelelő - melyből stabil 5V-ot állít elő legfeljebb folyamatos 500 mA-es kimeneti áram mellett. Az IC rendelkezik hővédelemmel, áramkorláttal, túlfeszültség védelemmel és fordított polaritás elleni védelemmel is. Magasfokú integráltságának köszönhetően működése nem igényel külső alkatrészeket. A bejövő feszültséget a bemenetére és az enable lábára kell kapcsolni a kimeneti feszültséget pedig a kimeneti lábáról kell levenni. Ezen felül csak a föld lábát kell bekötni. Az IC az említetteken kívül rendelkezik még hibajelző open-collector kimenettel, amin jelez, ha a kimeneti feszültség 5%-kal az elvárt alá esik. Ezt a funkciót nem használjuk ebben az alkalmazásban. [4]

3.1.2. TRIAC-os teljesítményszabályozás

A tervezett kapcsolás bemutatását az „erősáramú” részek ismertetésével folytatva vegyük szemügyre a TRIAC-os meghajtó áramköröket. Ebből az áramkörből kettő darab teljesen egyforma került kialakításra. A folyadékpumpát és a fűtőszálat ugyanolyan alkatrészek képesek kapcsolni. A különbség csak a mikrovezérlőben futó szoftverben mutatkozik meg. A felhasznált áramkör BTA16 TRIAC-ra épül. [5]

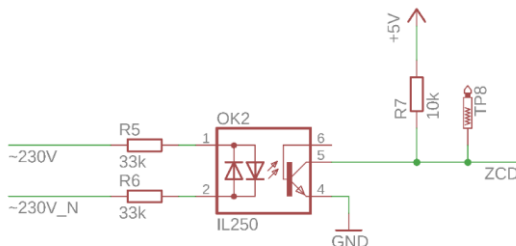


3. ábra
Galvanikusan leválasztott TRIAC-os teljesítmény-szabályzó áramkör

A TRIAC mikrovezérlős vezérléséről a MOC3020-ra épülő kapcsolás gondoskodik. A TRIAC begyújtása megoldható lett volna egyszerű tranzisztoros kapcsolással, ám

fontos a hálózati feszültség teljes galvanikus leválasztása a mikrovezérlőről és az 5 voltos környezetről. Ennek a kívánságnak a MOC3020 eleget tesz. [6]

3.1.3. Nullátmenet érzékelés



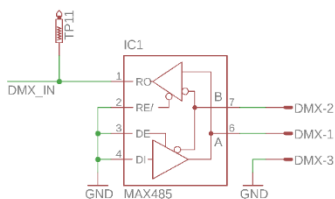
4. ábra

Galvanikusan leválasztott nullátmenet érzékelő áramkör

A nullátmenet figyelő működése a következő. A hálózati feszültség szinuszhullámának bármelyik félperiódusában az optocsatoló két LED-je közül valamelyik biztosan fényt bocsát a fototranzisztorra, amely emiatt vezet és a mikrovezérlő nullátmenet figyelő lábát földre húzza. Amikor a szinuszhullám a nulla volt közelébe érkezik az infra LED-ek kialszanak és a fototranzisztor lezár, erre a felhúzó ellenállás a mikrovezérlő lábát magas szintre húzza. Ebből a működésből következően akkor van nullátmenet, amikor a megfelelő bemeneti láb magas szintet kap. [7]

3.1.4. DMX512 jel illesztés

A kapcsolat fontos eleme a DMX512 illesztésért felelős RS485 buszmeghajtó. Erre a feladatra a Maxim MAX485 áramkört választottuk és maradtunk az adatlapban ajánlott alapkapsolásnál. Mivel a kommunikáció ezen az RS485 buszon egyirányú az illesztő IC bekötésekor hardveresen beállítható a kívánt üzemmódba. [8]



5. ábra

RS485 busz illesztő áramkör

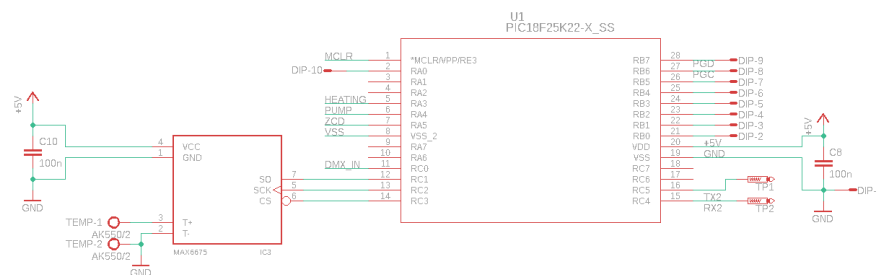
3.1.5. Hőmérsékletmérés

A feladat megoldásához megismerkedtünk a MAX6675 integrált áramkörrel, amely egy hidegponti kompenzációval ellátott K típusú hőelemhez fejlesztett analóg – digitális konverter. Működése nem igényel külső alkatrészeket, közvetlenül a

hőelemre köthető. (A kapcsolást lásd lentebb a mikrovezérlőnél.) A gyártói ajánlás szerint a hőelemhez minél rövidebb árnyékolt vezetékkel kapcsoljuk hozzá és a táp lábakhoz a lehető legközelebb helyezzünk el 100 nF-os kerámiakondenzátort. A hőmérsékletmérés hibáját növelheti a fázishasításból származó elektromos zaj, ezért különösen fontos az árnyékolás.

Ez az integrált áramkör nullától ezerhuszonnégy Celsius fokig képes hőmérsékletet mérni negyedfokos felbontással. Ezt figyelembe kell venni a kész készülék üzemeltetési körülményeinél is! Ettől kezdve a gép nem használható szabad téren nulla fokos környezeti hőmérséklet alatt, mert nem lesz képes az elektronika a kazán hőmérsékletének megállapítására. A hőmérő a mikrovezérlővel SPI kompatibilis soros interfészen tarthat kapcsolatot.

3.1.6. Mikrovezérlős központegység



6. ábra
A mikrovezérlő és a hőelem illesztő egység

A kisfeszültségű oldal legfontosabb eleme a mikrovezérlő. A mikrovezérlő egy Microchip PIC18F25K22 (A továbbiakban röviden csak PIC.) A működés során fontos szerepe van az Interrupt on Change perifériának. A periféria a kiválasztott lábak állapotát folyamatosan figyeli és a beállításoktól függően fel vagy lefutó élre megszakítást generál. Ezzel a megoldással fogja figyelni a rendszer a DMX512 kezdőcím megváltozását, illetve a hálózati feszültség nullátmeneteit is.

A kontroller első számú UART perifériája hardveres szinten képes a DMX adatfolyam értelmezésére a megfelelő paraméterezés után. Ezt a funkciót figyelembe véve választottuk ezt a mikrovezérlőt a projekthez.

3.2. A tervezett szoftver

A szoftver meglehetősen összetett és nagy kódból állt össze, melyet teljes egészében nem cél bemutatni. Csak a működés megismeréséhez szükséges kisebb részletekről számolunk be a terjedelmes inicializáló kódok nélkül.

3.2.1. Interrupt on Change (IOC) használata

A tervek szerint a szoftver két dolgot kezel IOC segítségével. A DIP kapcsolók változását és a nullátmenet érzékelést, ezért ezekhez a lábakhoz került beállításra a periféria. A DIP kapcsoló minden kapcsolójának bármilyen változása, a nullátmenetnek csak a felfutó éle vált ki megszakítást.

```
void PIN_MANAGER_IOC(void) {  
    if (IOCAFbits.IOCAF5) { //nullátmenet  
        IOCAFbits.IOCAF5 = 0; //flag törlése  
        HEAT_LAT = (~EnableFromHeat) & 0x01;  
    }  
    else {  
        IOCAF = IOCBF = 0; //Interrupt flagek törlése  
        DMX_Address = (uint16_t) (~((DIP10_GetValue() << 8) | PORTB)) &  
0x1FF;  
        DMX_Data = 0;  
    }  
}
```

A fenti kódrészlet az IOC megszakítás kiszolgáló rutinja. A kód megállapítja mely lábon történt változás, törli a megszakítás jelző flaget majd elvégzi a kívánt műveletet. A megszakítás kiszolgálását azzal kezdi, hogy eldönti nullátmenet történt-e. Ha azon a lábon volt változás törli a lábhoz tartozó flaget. Az igaz ágban található második utasítás a kazán fűtésének feltételes bekapcsolása. A HEAT_LAT névvel ellátott regiszter értéke határozza meg a fűtőtéljesítmény jelenlétét a kazánon. Az, hogy valóban szükség van-e fűtésre nem itt dől el, azt a hőmérsékletet mérő kód dönti el és jelzi az EnableFromHeat szemaforral. Ez a szemafor abban az esetben rendelkezik '1' értékkel, ha a hőmérséklet megfelelően magas, nincs szükség fűtésre tehát a füstki bocsátás a fűtő áramkör részéről engedélyezett. Innen ered a neve, Enable from Heat. Ha a kazán kihűlt és fűteni kell, akkor ennek az értéke logikai nulla, mert nem engedélyezett a füstki bocsátás. Ebben az esetben a kimenetet magas szintre kell állítani, de ez nem tehető meg bármikor. A kazán kilowattos terhelést jelent a hálózat számára, nem célszerű véletlenszerűen bekapcsolni például a szinuszhullám csúcsánál. Ezt elkerülendő van itt a fűtést kapcsoló láb állapotának megadása a nullátmenetet jelző IOC megszakításban. Ha éppen nullátmenet van, akkor kapcsolható a kazán, ha szükséges. Ezt foglalja C kódba az igaz ág második sora.

Ha nem a nullátmenet figyelő okozott megszakítást, akkor kizárásos alapon csak a felhasználó módosíthatta a DMX-512 kezdőcímet, ezért a hamis ágon ezt kezeli a szoftver. A cím beállító kapcsolósor tíz darab kapcsolóból áll melyek közül kilenc darab használatos. Minden egyes kapcsoló megfelel a készülék DMX512 kezdőcíme bináris ábrázolásának egyik – egyik bitjének. A kapcsolósor nem csak beállítja, de fizikailag tárolja is a címet, ezért nem kell nemfelejtő memóriát használni a beállítás megőrzéséhez.

3.2.2. A DMX512 feldolgozása az UART1 segítségével

A felhasznált PIC első UART perifériája képes a DMX adatfolyamot hardveresen feldolgozni és csak a címzés szerinti szükséges adatokat visszaadni az adatfolyamból. Ez a megoldás sok terhet levesz a programozó és a processzor válláról. A bevezető anyagban ismertetett DMX512 ismeretek közül emlékezzünk a DMX címre. Mindössze ennek az ismerete szükséges az UART periféria számára, hogy a kívánt darabszámú bájtot szolgáltatassa az adatfolyamból. [9]

Az UART által szolgáltatott adatokhoz csupán a periféria konfigurálása szükséges, a fogadott adatokat a PIC első DMA csatornája automatikusan a megfelelő változóba juttatja amint az lehetséges.

3.2.3. A közvetlen memória hozzáférés (Direct Memory Access)

A PIC18-as család DMA vezérlői rendelkeznek Trigger és Abort bemenettel. A Trigger bemenetre érkező jel indítja el a DMA periféria működését, míg az Abort bemenetre jutott jel leállítja azt. Az elindulás után a periféria a megadott számú bájtot továbbítja a megadott módon. Képes egy memóriacímről egy másik memóriacímre másolni állandóan, de lehetőség van a forrás és / vagy célcím inkrementálására és dekrementálására is. A DMA a PIC összes létező memória területét képes elérni így a programmemóriát is, ezért körültekintően kell használni!

A DMA periféria feladata az érkező bájtok mozgatása az UART1 vételi regiszterből a DMX_data változóba.

3.2.4. A hőmérsékletmérés

A hőmérő áramkör nem képes jelezni új mért eredmény jelenlétét, ezért azt periódikusan ellenőrizni kell. Erre a célra használjuk el a Timer0-t, ami egy másodpercenként okoz megszakítást. Mivel a hőmérséklet lassan változó jellemző és ez az alkalmazás kevésbé kényes a pontosságára ez a periódusidő megfelelő választás.

A MAX6675 képes 4 MHz sebességgel is kommunikálni. Ettől a sebességtől a PIC I/O műveletei elmaradnak, ezért a kommunikáció során nem kell kényszerben várni a megfelelő időzítések betartására. A fent említett kódrészlet az adatok beolvasása után megvizsgálja, hogy a hőmérő rendben működik-e. Amennyiben problémát talál lehetetlen hőmérséklet értéket visszaadva jelzi a meghívójának a problémát. Ezt a hőmérséklet számoló függvényt a már említett Timer0 megszakítása hívja meg.

Ez a megszakítási szubrutin megvizsgálja a mért hőmérsékletet majd az alapján döntést hoz a fűtésről és egyben a lehetséges füstkibocsátásról. Ha fűteni kell a kazánt, azt nem itt kapcsolja be, hanem a korábban ismertetett nullátmeneti IOC megszakításban.

3.2.5. A főprogram ismertetése

A szoftverbe beérkezett adatok feldolgozása a főprogramban történik. Itt dönti el a mikrovezérlő, hogy a kapott DMX-512 adatbájt értéke milyen műveletet kíván. 0-30 értékek között a készülék nem bocsát ki füstöt, 30-tól felfelé lineárisan egyre nagyobb mennyiségűt. A kibocsátott füst mennyisége a kazánba juttatott folyadék mennyiségével változtatható. A folyadék mennyisége pedig a szivattyúra kapcsolt villamos teljesítménytől függ. Ez a teljesítmény fázishasítással van szabályozva, amit a Timer2 végez One Shot üzemmódban minden periódusban.

```
if (DMX_Data < 30) EnableFromDMX = 0; //OFF
else if (DMX_Data > 30) {
    /* A DMX adatfolyamban érkező adatok közül a 30 - 255 tartomány jelent
    * értelmes vezérlést.
    * A Timer a 0 - 164 tartományban képes a fázisszög beállítására.
    * A DMX adatok tartományát a Timer tartományára kell konvertálni.
    * A konvertálást szorzás oldja meg:  $164 / (255 - 10) = 0.661$ 
    * A DMX adatfolyam és a fázisszög fordítottan arányos, ezért kell
    * egy kivonás is:  $164 - \text{Data} = \text{fázisszög} *$ 
    D_DataTemp = (DMX_Data - 10) * 0.661; //double típus!
    T2PR = (uint8_t)(164 - D_DataTemp); //castolás egészre és átadás
    EnableFromDMX = 1;
}
```

3.2.6. A fázishasítás megvalósítása a Timer2 segítségével

A fázishasítás lényege, hogy a fogyasztóra nem engedjük eljutni a hálózati feszültség teljes félperiódusait, hanem csak egy részét. Ezt a nullátmenettől számított időméréssel valósíthatjuk meg. A kívánt teljesítmény arányos a nullátmenettől eltelt idővel. Ezt az időmérést valósítja meg a Timer2 One Shot üzemmódban. A One Shot üzemmód azt jelenti, hogy a Timer az elindulása után elszámol a megadott értékig, kivált egy megszakítást és befejezi a működést. A választott PIC-ben a Timer2 rendelkezik trigger bemenettel, ami a megfelelő pillanatban elindítja a számlálást. Ez a trigger bemenet a T2IN, ami ezen PIC18 családnál szabadon elhelyezhető bármely I/O lábon. Az áthelyezhetőségnek hála be tudtuk állítani, hogy a T2IN legyen összekapcsolva a nullátmenet figyelő lábbal, így nullátmenetkor automatikusan elindul az időmérés. A Timer2 által lemert időtartamot a T2PR regiszteren át a főprogram határozza meg a DMX512 parancsok szerint. Minél nagyobb a T2PR értéke, annál kisebb teljesítmény jut a folyadékpumpára és annál kevesebb füstöt ad a készülék. A Timer2 számlálási sebességét úgy kellett meghatározni, hogy a lehető legjobb felbontással hasítható legyen a hálózati feszültség egy félperiódusa.

A trigger jel megérkezte után elindult számlálás végén egy megszakítási szubrutin hívódik meg, amiben a folyadékpumpa bekapcsolása történik az engedélyező jelek függvényében.

```
void TMR2_ISR(void) {  
    PIR4bits.TMR2IF = 0; // Timer2 megszakítás flagg törlése  
    PUMP_LAT = (uint8_t)(EnableFromDMX & EnableFromHeat);  
    __delay_us(10); //Egy rövid impulzus elég begyújtani a triakot  
    PUMP_SetLow();  
    TMR2_Start(); //A következő nullátmenettől megint mehet a timer  
}
```

A teljesítményt kapcsoló TRIAC-ok működési elvéből fakadóan nincs szükség folyamatos bekapcsolt állapotú jelre a félperiódus alatt, sem kikapcsoló jelre. A TRIAC-ok egy rövid impulzussal begyújthatók, majd a félperiódus végén közel a nullátmenethez maguktól kialszanak. A One Shot üzemmódnak köszönhetően a Timer ettől kezdve nem dolgozik tovább, nem vár újabb trigger impulzusra. Mivel a hálózati feszültség és a gép működése is periódikus a Timer2-t újra el kell indítani a művelet végén, ezt teszi a megszakítási szubrutin utolsó kódsora.

4. Összefoglalás

Jelen cikk megírásáig a projekt a laboratóriumi körülmények közötti élesztésig és tesztelési jutott el, ezért az új elektronika színvonaláról nem tudunk beszámolni. A labortesztek alkalmával a fázishasítás megvalósítása mutatott gyengeségeket. A nullátmenet érzékelési pontatlansága miatt a fázishasítás csak hozzávetőlegesen 20% és 80% közötti teljesítményt tudott kiadni a kimenetre. A 20%-os alsó küszöb nem jelent gondot, mert a folyadékszivattyú tehetetlensége miatt ilyen kicsi teljesítményre meg sem bír mozdulni. A 100%-os kimenet hiánya zavaróbb probléma. Ezt úgy orvosolhatjuk, hogy bizonyos elvárt szint felett a főprogram nem fázishasítással hajtja meg a pumpát, hanem nullátmenetkor teljes teljesítményt kapcsol rá, akár csak a kazánra.

Előre látható probléma lesz a berendezéssel, hogy a füst kibocsátási karakterisztikája nem fog egyezni a gyári állapotú azonos típusú berendezésekkel. Ez további hosszadalmas finomhangolással korrigálható a főprogramban végzett számítások módosításával. A problémát még fel kell tárni és mérlegelni kell a javításba fektetendő energia mennyisége alapján a feladat elvégzését.

Felhasznált irodalom

- [1] <http://www.safex.de> – 2018. január
- [2] Stairville VertiFog VF1200 adatlap – 2018 Február 13 ID 362289 – www.thomann.de
- [3] Korán Ádám – Art-Net – DMX512 átjáró Raspberry Pi alapokon – Tudományos Diákköri Dolgozat 2016
- [4] Microchip Micrel MIC5239 adatlap – 2007 December M9999-121007 – www.microchip.com/mic5239
- [5] ST BTA16 Triac adatlap – 2010 Március Doc ID 7471 Rev 9 – www.st.com
- [6] MOC3020 adatlap – 2005 Doc Rev. 1.0.2. Fairchild Semiconductor Corporation – www.fairchildsemi.com
- [7] Vishay IL250 adatlap – 2018 február 21 Doc. Num.: 83618 Rev. 1.9 – www.vishay.com
- [8] Maxim MAX6675 adatlap – 2014 április 19-2235 Rev. 2 – www.maximintegrated.com
- [9] Microchip PIC18(L)F24/25K42 adatlap – 2017 DS40001869B – www.microchip.com/pic18f25k42

Instabil pozícióra szabályzás fuzzy logika használatával

Menich Péter

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem, 1034 Budapest Bécsi út 96/b. Magyarország email: peter.menich@gmail.com

Dr. Kopják József

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem, 1034 Budapest Bécsi út 96/b. Magyarország email: kopjak.jozsef@kvk.uni-obuda.hu

A cikk a Golyó a keréken (Ball On the Wheel) instabil pozícióra szabályzás problémájának megoldásával foglalkozik. A cikk bemutatja a probléma megoldására választott fuzzy logikán alapú szabályzó rendszert tervezését és megvalósítását. A feladat egy szabadon gördülő golyó egyensúlyozása egy hajtott kerék tetején, melynek nehézségét az adja, hogy a forgó golyó miatt a szabályzásnak végtelen sok egyensúlyi pontja van, azaz a kerék, és ezen keresztül a golyó minden állandó szögsebességéhez tartozik egy ilyen pont. A cél egy egyszerű és olcsó szabályzó megvalósítása volt, ezért esett a választás a fuzzy logikára és egy dsPIC mikrokontrollerre. A kerék egy BLDC motorral ellátott elektromos kerékpár kereke, melynek beépített HALL jeladói szolgáltatnak a kommutációhoz, illetve a fordulatszámhoz információval. A vezérlő panel X2C development board dsPIC33EP256MC502 mikrokontrollerrel. A felépített matematika modell alapján a szabályzót Scilab Xcos használatával ellenőriztük, majd implementáltuk és teszteltük a megvalósított hardveren. Az így elkészített rendszer jól használható az oktatásban is, mind a motor hajtás, mind fuzzy logika bemutatására.

Kulcsszavak: fuzzy logic; unstable position control; ball on the wheel; microcontroller; scilab/xcos

1 Bevezetés

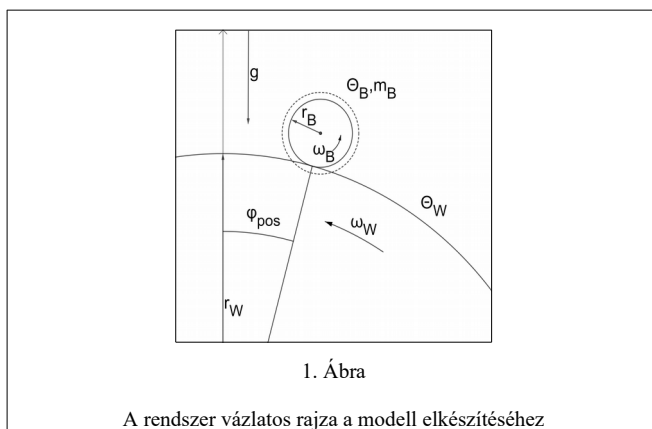
A cikk mikrokontrolleres instabil pozícióra szabályzás megvalósítását mutatja be fuzzy szabályzó használatával. A felépített matematikai modell csupán szimulációhoz, a szabályzásban rejlő lehetőségek vizsgálatához és nem a szabályzó megvalósításához készült. Arra voltunk kíváncsiak, hogy egy beágyazott rendszerben könnyen implementálható, egyszerű fuzzy szabályzó

hogyan birkózik meg a golyó a keréken (ball on the wheel) feladat szabályzásával. Itt a klasszikus fordított inga feladattal szemben a problémát az jelenti, hogy ha a gördülési ellenállástól eltekintünk, akkor nem egy, hanem végtelenül sok egyensúlyi pozíciója van a rendszernek, hiszen a felső holtpontra nem csak álló, hanem tetszőleges sebességgel forgó állapotban is meg lehet tartani a golyót.

2 Matematikai modell

A megvalósított fizikai modell paramétereit használtuk fel a matematikai modell változóinak beállításához mint például a golyó tömege, sugara, tehetetlenségi nyomatéka, kerék tehetetlenségi nyomatéka stb.

A rendszer sematikus modelljét mutatja a 1. ábra.



2.1 Lagrange formula

A formula felírásához szükséges a rendszer helyzeti és mozgási energiájának felírása. $L = T + U$ (1)

Mozgási energia:

$$T = T_w + T_B = \frac{1}{2} \Theta_w \omega_w^2 + \frac{1}{2} \Theta_B \omega_B^2 + \frac{1}{2} m_B ((r_w + r_B) \dot{\phi}_{pos})^2 \quad (2)$$

átírva ϕ_{pos} és ϕ_w paraméterekre:

$$T = \frac{1}{2} \Theta_w \dot{\phi}_w^2 + \frac{1}{2} \Theta_B \left(\frac{r_w}{r_B} (\dot{\phi}_{pos} - \dot{\phi}_w) \right)^2 + \frac{1}{2} m_B ((r_w + r_B) \dot{\phi}_{pos})^2 \quad (3)$$

Helyzeti energia:

$$U = m_B g (r_B + r_w) \cos(\phi_{pos}) \quad (4)$$

Veszteségek

$$Q_M = \frac{K_M (U_a - K_U \dot{\phi}_w)}{R_a} \quad (5)$$

$$Q_w = K_{w1} \cdot \text{sign}(\dot{\phi}_w) + K_{w2} \cdot \dot{\phi}_w \quad (6)$$

$$Q_B = K_{B1} \cdot \text{sign}(\dot{\phi}_{pos} - \dot{\phi}_w) + K_{B2} \cdot \dot{\phi}_w \quad (7)$$

$$Q = \begin{bmatrix} Q_M - Q_w + Q_B \\ -Q_B \end{bmatrix} \quad (8)$$

Lagrange egyenlet

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} \Theta_w + \Theta_B \frac{r_w^2}{r_B^2} & -\Theta_B \frac{r_w^2}{r_B^2} \\ -\Theta_B \frac{r_w^2}{r_B^2} & \Theta_B \frac{r_w^2}{r_B^2} + m_B (r_w + r_B)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\phi}_w \\ \ddot{\phi}_{pos} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ m_B g (r_B + r_w) \sin(\phi_{pos}) \end{bmatrix} = Q \quad (10)$$

Ezek alapján felírhatók a ϕ_{pos} és ϕ_w második deriváltjai a

$\sin(\phi_{pos}), \text{sign}(\dot{\phi}_{pos} - \dot{\phi}_w), \dot{\phi}_w, \text{sign}(\dot{\phi}_w), U_a$ segítségével.

Behelyettesítve Táblázat 1 értékeit:

$$A = \begin{bmatrix} 22,84 & -17,94 & -0,17 & -0,00235 & 7,115 \\ 0,6 & -56,34 & 0,01 & -0,00738 & 22,375 \end{bmatrix} \quad (11)$$

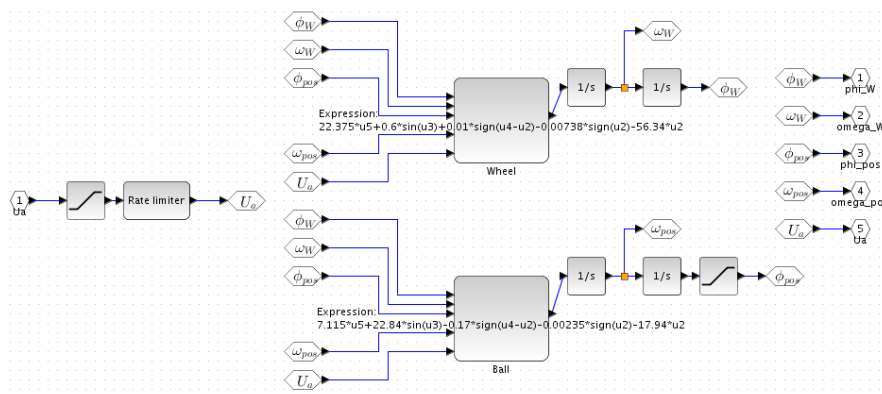
$$\begin{bmatrix} \ddot{\phi}_{pos} \\ \ddot{\phi}_W \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \sin(\phi_{pos}) \\ \dot{\phi}_W \\ \text{sign}(\dot{\phi}_{pos} - \dot{\phi}_W) \\ \text{sign}(\dot{\phi}_W) \\ U_a \end{bmatrix} \quad (12)$$

Táblázat 1

A rendszer fizikai paramétereit (forrás [6] és saját mérés)

Jelölés	Érték	M.egység	Jelölés	Érték	M.egység
Θ_W	0,30618	kg·m ²	r_W	0,27	m
Θ_B	0.0000731	kg·m ²	r_B	0,0254	m
m_B	0,203	kg	R_a	0,300	Ω
K_M	2,093	V·s/rad	K_U	2,518	N·m/A
K_{W1}	0,0023	N·m	K_{B1}	0,045	N·m
K_{W2}	0,0003	N·m·s	K_{B2}	0,005	N·m·s

Ezt a nemlineáris modellt alkottuk meg Xcos-ban, hogy megvizsgáljuk, hogyan viselkedik a rendszer különböző fuzzy szabályzó paraméterek használatakor.

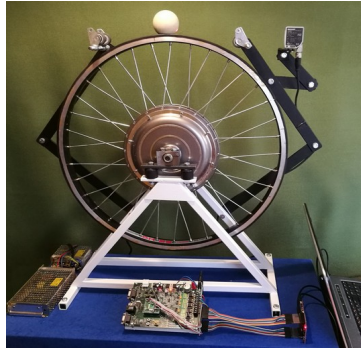


2. Ábra

Nemlineáris rendszer modellje

A modellt egy superblokkban hoztuk létre, és minden paramétert kiveztünk a kimenetekre.

3 A fizikai modell



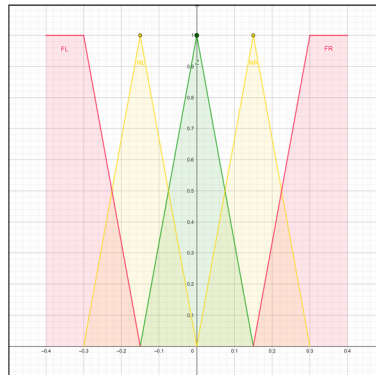
3. Ábra

A megvalósított golyó a keréken (Ball On the Wheel) rendszer

A megvalósított eszköz egy elektromos kerékpár kereke, ami egy három HALL szenzorral ellátott BLDC motort tartalmaz. A golyó a felnin gurul, ami a tapadás biztosítása érdekében gumival lett bevonva. A kereket egy acél váz tartja, amin az irányváltások okozta ütések csökkentése érdekében rezgéscsillapítót alakítottunk ki. A golyó pozíciójának mérésére egy BALLUFF BOD 21M-LA04-S92 lézeres távolságmérőt használunk. A BLDC meghajtó áramkör egy Microchip MCLV fejlesztőkártya, míg a vezérlés egy X2C fejlesztőkártyával van megvalósítva.

4 Fuzzy szabályzó

A fuzzy szabályzó használatánál a mikrokontrolleres alkalmazás miatt a lehető legegyszerűbb megvalósításra törekedtünk, ezért a tagsági függvények csak háromszög és trapéz formát vehettek fel. A trapéz speciális eseteként, de a végtelen meredekség elkerülése érdekében a széleken alkalmazott jobb és baloldali teljes kitöltésű tagsági függvény külön került implementálásra (l. 4. Ábra).

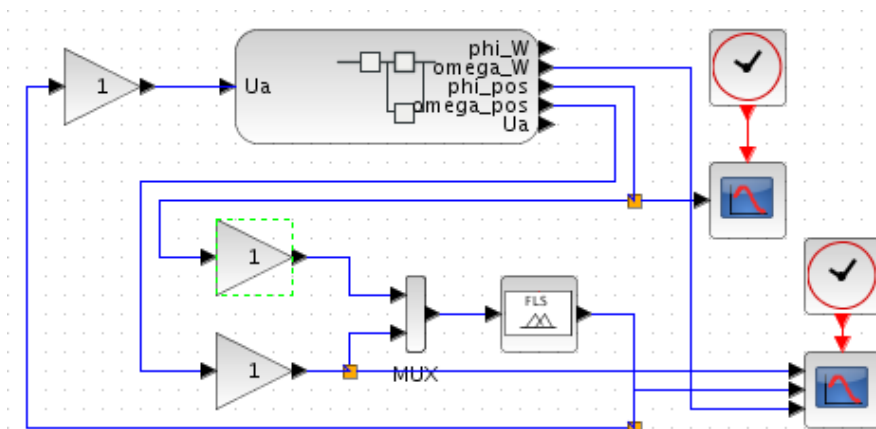


4. Ábra

A pozíció szögéhez (φ_{pos}) tartozó fuzzy tagsági függvény alapkonfigurációja

A végleges szabályzó 2 bemeneti és egy kimeneti értékkel rendelkezik. Bemenetként a lézer távmérő távolság jelét mint a golyó pozíciójának a szögét, és annak két mérés közti változását, mint a pozíció szögsebességét használja. A kimenet jel az U_a kapocsfeszültség, amelyet PWM segítségével állít elő, azaz a kimenetre megfelelő kitöltési tényezőjű négyszögjelet ad. A kommutáció a HALL szenzorok jelei alapján történik.

A teszteléshez a Scilabhoz letölthető SciFLT fuzzy toolboxot használtuk. Arra kerestük a választ, hogy képes-e valamilyen nagyon egyszerű konfigurációjú fuzzy szabályzó a feladat megoldására.



5. Ábra

Fuzzy szabályzókör

4.1 Golyó megtartása a holtponton

Ahhoz, hogy a golyó a holtponton megmaradjon, a szabályzónak képesnek kell lenni korrigálni annak pozícióját. Mivel a rendszernek végtelen egyensúlyi helyzete van, azaz a holtponton a golyó úgy is tartózkodhat, hogy közben állandó szögsebességgel pörög (valójában ebben a esetben a gördülési veszteség miatt kicsit a holtponton túl, hogy a nehézségi erő által okozott gyorsulás ellensúlyozza a veszteség okozta lassulást). Lehetséges ilyen szabályzó építése is [3], de mi most a hangsúlyt az egyszerű, kis számítási kapacitást igénylő, az álló golyó megtartására képes fuzzy szabályzó megvalósítását tűztük ki célul. Feltettük azt, hogy a golyó impulzusmomentuma a holtponton, vagy annak közelében csekély, azaz valamilyen módszerrel sikerült már feljuttatni a kerék tetejére úgy, hogy csak „kicsit” pörögjön. A modellben azt vizsgáltuk, hogy

- a) Melyek azok a minimálisan szükséges bemenő paraméterek, amelyekkel a feladat megoldható?
- b) Milyen kimenő paraméterekkel oldjuk meg a feladatot?
- c) Kis szögeltérés esetén, hogyan képes a szabályzó a korrigálásra?
- d) A holtponton kis laterális sebesség esetén (álló kerék, pörgő golyó) hogyan képes szabályozni.

4.1.1 Bemenő paraméterek

A megépített fizika rendszer a következő paraméterek mérésére alkalmas:

- Golyó pozíciójának mérése (ϕ_{pos}) lézer távolságmérő segítségével. Valójában ez, ha a golyó görbületétől eltekintünk, a golyó pozíció szögének szinuszával arányos értéket mér, de kis szögeknél $\sin \alpha \approx \alpha$.
- A kerék szögsebességének mérése (ω_w) a BLDC motor jeladóinak segítségével. Sajnos az abszolút pozíció (ϕ_w) nem mérhető és a relatív is csak kb. 2,6° pontossággal (46 állandó mágnes 3 jeladó). Ha pontos pozíciót, szögsebességet szeretnénk, akkor modellt kell készítenünk hozzá. Pontos pozíciót a HALL jeladók jelei jelentik. Köztük a kiadott U_a és a visszamért áram alapján becsülhető lenne a motor pozíciója és szögsebessége, így újabb szenzor nélkül lehetne ezekkel a paraméterekkel is dolgozni. Mivel mi a legegyszerűbb megvalósításra törekedtünk, így ezekkel nem számoltunk.
- Nyomaték becslés az áramfelvételtől.

A szabályzás szempontjából felhasználható, számítható mennyiségek:

- Golyó pozíciójának szögsebessége (ω_{pos}), ami a pozíció két mérésének különbségéből és a mérések közti időből számítható.
- A golyó forgásának szögsebessége az $\frac{r_W}{r_B}(\omega_{pos} - \omega_W)$ (13)

képletből számolható, ahol r_W a kerék és r_B a golyó sugara. A pontosságot főleg az ω_W értékének hibája határozza meg. Nagyon hasznos lehet a szabályzás szempontjából, hiszen ha a golyó „jó” irányba pörög, azaz felfelé szeretne gurulni a nehézségi gyorsulással szemben, akkor a mozgási energiája

$$h = \frac{1}{2} \Theta_W \frac{1}{m_B \cdot g} \omega_B^2 = c \cdot \omega_w^2 \quad (14)$$

magasság megtételére elég. A képletbe h helyére behelyettesítve a holtponthoz tartozó magasságot $(r_w + r_b)(1 - \cos(\phi_{pos}))$ (15)

megkapjuk azt, hogy álló keréknél mekkora az a golyó szögsebesség, amellyel felgurul a holtpontra.

$$1 - \cos(\phi_{pos}) = 2 \sin^2\left(\frac{\phi_{pos}}{2}\right) = c_2 \cdot \omega_{whp}^2 \quad (16)$$

a $\sin \alpha \approx \alpha$ közelítéssel $\phi_{pos}^2 \approx c_3 \cdot \omega_{whp}^2$ tehát $\phi_{pos} \propto \omega_{whp}$ amivel korrigálható a szabályzás.

Elsődlegesen a két legegyszerűbben felhasználható paramétert a ϕ_{pos} és ω_{pos} paramétereket használtuk fel, hiszen a cél a számítási szükséglet minimalizálása volt, a legegyszerűbb szabályzást szeretnénk volna megvalósítani. Mivel ez már kielégítő eredményt adott, így a többi kipróbálására nem került sor.

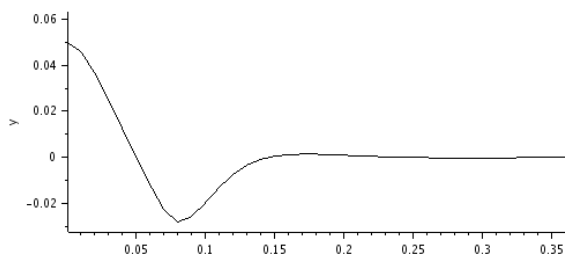
4.1.2 Kimenő paraméter

A fuzzy szabályzó kimenő paramétereként a kapocsfeszültség természetes módon adódik. A megvalósításban ezt használtuk fel.

Mivel a golyó mozgására a kerék gyorsulásával tudunk hatni, így a gyorsulás lenne az igazán jó kimenő jel, viszont ebbe csak közvetve tudunk beavatkozni, így szükséges lenne egy újabb szabályzó kör, ami a kerékgyorsulást állítaná a kívánt értékre az U_a és a visszamért áramjel segítségével. Az egyszerűsége való törekvés miatt esetünkben így ezt nem vettük számításba.

4.1.3 Kis szögeltérés korrekciója

Kis szögeltérés esetén a szimuláció szerint kb. 3° eltérés esetén még képes volt a rendszer korrigálni.

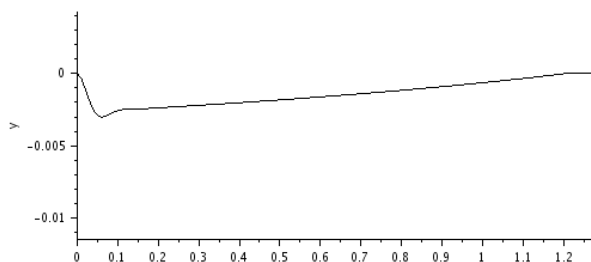


6. Ábra

Korrekcio 0,05 radián eltérésű kezdőpozícióval

4.1.4 Kis laterális sebesség korrekciója

A szögeltéréshez hasonló módon kerestük azt, hogy milyen laterális sebességet képes a rendszer kompenzálni. A modell azt mutatta, hogy kb. 0,135 m/s sebességet tud a rendszer kezelni.



7. Ábra

Golyó pozíciójának változása 0,5 rad/s kerék kezdősebesség esetén

4.2 A golyó felvitele a holtpontra

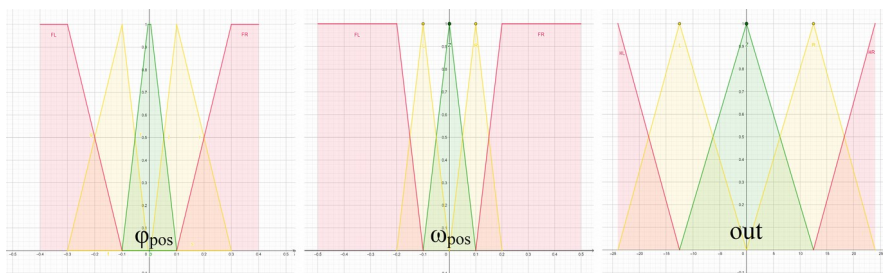
Mivel a szabályzó már jól kezelte a golyó holtponton tartását, már „csak” az odajuttatást kellett megoldani. Mivel a szabályzó a holtponton 0 körüli sebességet feltételez, azaz a golyó nem foroghat, ezért úgy kell feljuttatni, hogy a holtponton „megálljon”. Erre két lehetőség van.

Az egyik, hogy az ütközőkön a golyót annyira felpörgetjük, hogy a kereket megállítva a mozgási energiája elég legyen arra, hogy feljusson a holtpontra és ott megálljon. A szabályzás az holtponton álló golyónál indul.

A másik lehetőség, hogy az ütközőn csak annyira pörgetjük fel a golyót, hogy a kerék ellentétes irányú forgása a holtpontig a golyót megállítsa. Ekkor a megfelelő felpörgetés után azonnal indulhat a szabályzás, hiszen az a golyót már a szabályzó juttatja fel. Ez utóbbinak több előnye van a másik megoldással szemben. Egyrésről a szabályzás a felpörgetés után azonnal indul, nincs szükség arra, hogy megvárjuk a holtpont elérését. A másik az, hogy maga a felvitel a szabályzóval sokkal kontrolláltabb, nem csak a kezdeti feltételektől függ, hiszen a szabályzó folyamatosan figyeli a golyó pozícióját és annak sebességét, így be tud avatkozni a folyamatba, kevésbé érzékeny a rendszer a kezdeti feltételekre. Ez utóbbi megoldás került implementálásra a fizikai rendszerben.

4.3 A megvalósított szabályzó

Az implementált szabályzó nem sokban változott a kiinduló állapothoz képest. A pozíció tagsági függvény közepén trapéz lett, hogy a holtponton nyugalomban legyen a rendszer, ugyanis a fizikai modell tetején kb. 1mm-es sávban a golyó megáll, valamint kicsit eltolódtak a tagsági függvények pontjai.



8. Ábra

Megvalósított fuzzy szabályzó tagsági függvényei

A szabályrendszer megalkotásánál a természetes, magától értetődő szabályokat alkalmaztunk. A két paraméter, azaz a pozíció és a pozíció szögsebesség tagsági függvényei szerepelnek mint bemenő adatok, logikai ÉS kapcsolattal összekötve. A szabályokhoz tartozó kimenő U_a kapocsfeszültség tagsági függvénye az alábbi táblázat értéke.

Táblázat 2
A szabályrendszer

POS/ ω_p	FL	L	S	R	FR
VL	HR	HR	HR	R	Z
L	HR	HR	R	Z	L
C	HR	R	Z	L	HL
R	R	Z	L	HL	HL
VR	Z	L	HL	HL	HL

POS: VL – Very Left, L – Left, C – Center, R – Right, VR – Very Right

ω_p : FL – Fast Left, L- Left, S -Stop, R – Right, FR – Fast right

U_a: HL – High Left, L – Left, Z – Zero, R – Right, HR – High Right

Következtetések

A megalkotott szimulációs modell megmutatta, hogy segítségével be lehet állítani a fizikai modell szabályozójának paramétereit. Sikertült egy nagyon egyszerű fuzzy szabályzóval megoldani a golyó a keréken problémát. Ezen felül megfelelő kiindulási feltételek esetén a megépített eszköz alkalmas arra is, hogy a golyót felvigye a felső holtpontra, úgy, hogy ott képes megtartani.

Az így elkészült hardver és szoftver az oktatásban is jól használható. Egyrésztől bemutatható vele az instabil rendszer, valamint a hasonló rendszerek szabályozási problémái, másrésztől a fuzzy szabályzás és a BLDC hajtás demonstrálására is alkalmas.

Az eszközben a továbbfejlesztés lehetősége is megvan. A jelenlegi megoldás stabilan fenntartja a golyót még kis mértékű zavaró hatások ellenére is. Más bemeneti jelek választásával, esetleg a szabályzó input paramétereinek számának növelésével vagy más jellegű tagsági függvények használatával a zavartűrést tovább lehetne szélesíteni.

A fejlesztés során felmerült, hogy komplexebb fuzzy szabályzó segítségével esetleg megoldható lenne a golyót adott szögsebességen tartani a felső holtpontra. Ehhez biztosan nem elegendő a most használt bemeneti paraméterek, tehát legalább a kerék forgásának szögsebessége is szükséges. Megvizsgálandó, hogy a korábban leírt módszerrel elérhető-e a megfelelő pontosság, vagy kiegészítő jeladó felszerelése szükséges.

Köszönetnyilvánítás

A fejlesztési munkát az Óbudai Egyetem támogatta. Köszönjük, hogy a fizikai modellt a rendelkezésünkre bocsátotta. Továbbá szeretnénk köszönetet mondani Kasovitz Artúrnak és Dobány Imrének az előzőleg elvégzett munkáért és mérésekért, amelyek megkönnyítették munkánkat, továbbá szeretnénk köszönetet mondani Gyimesi Máténak, aki az X2C és MCLV kártyák illesztését megvalósította,

Irodalomjegyzék

- [1] E.H. Mamdani, S. Assilian, International Journal of Man-Machine Studies 7 (1975) pp. 1-13
- [2] Ming-tzu Ho, Yi-wei Tu, Hao-shuan Lin IEEE Control Systems Magazine 29 (2009) pp. 93-101
- [3] Sven-Olaf Lindert, Christian Höfler, Kurt Schlachere e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 135 (2018) pp. 286-293
- [4] R.W. van Gils, „Control of the Ball on the Wheel System,” Technische Universiteit Eindhoven (2007)
- [5] Miasa, Samer & Al-Mjali, Mohammad & Ibrahim, Anas & Tutunji, Tarek. (2010). „Fuzzy control of a two-wheel balancing robot using DSPIC.” 7th International Multi-Conference on Systems Signals and Devices (SSD), 2010
- [6] Dobány Imre, Instabil pozícióra szabályozó demonstrációs eszköz fejlesztése (2017)
- [7] Attila Nemes, „Continuous Periodic Fuzzy-Logic Systems and Smooth Trajectory Planning for Multi-Rotor Dynamic Modeling” Acta Politechnica Hungarica (2016) Vol 13. Issue 6.
- [8] Martin Kratmüller, Combining Fuzzy/Wavelet Adaptive Error Tracking Control Design Acta Politechnica Hungarica (2010) Vol 7. Issue 4.

Kompozitok a sokrétű felhasználási igények kielégítésére

Composites to meet multiple usage needs

Szabó Rudolf¹ – Borbély Endre²

¹Rejtő Sándor Alapítvány (RSPT), Nyáry Pál utca 5. 1056 Budapest, Hungary, ingtex@t-online.hu

²Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Tavaszmező utca 17. 1084 Budapest, Hungary
borbely.endre@kvk.uni-obuda.hu

Kivonat: A technika, a gyártási sebességek gyors ütemű növekedése új, nagy teljesítményű, különleges funkcióknak megfelelő szerkezeti anyagokat igényelnek. A korábbi szerkezetek anyaga döntően fémötvözetek voltak, amelyekkel elérhető specifikus (tömegre vonatkoztatott) tulajdonságok számos műszaki területen alatta marad a különleges funkció-igényeknek. A nagy sűrűségű, izotróp, tömör anyagok helyett - a fejlesztéseknek köszönhetően - a kis sűrűségű, erősítő szálból és mátrixból készített üreges, rácsos, anizotróp un. kompozit struktúrákkal számos műszaki területen jelentős előrelépés érhető el. A mechanikai tulajdonságokat korábban a keresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos jellemzők helyett kifejezőbb a tömegre (súlyra) vonatkoztatott un. specifikus tulajdonságok használata. A könnyű szerkezetekkel jelentős teljesítménynövelés érhető el, csökkenthető a fajlagos energia-felhasználás, ami a környezetvédelmi szempontokból is nagy jelentőségű.

Keywords: fibers, textile structures, composites, properties

Kulcsszavak: szálak, textil szerkezetek, kompozitok, tulajdonságok

0. Bevezetés

Az emberiség által használt meghatározó szerkezeti anyagok koronként változtak (1. ábra).



1. ábra

A szálak szerkezeti anyagok használata több ezer éve az ember civilizáció meghatározó eleme, mint alapvető ruházat, valamint a társadalmi helyzet, a rang kifejezőeként, de műszaki területen használata (kötelek, vitorlavásznak) is döntő fontosságú. Az utóbbi évtizedekben a műszaki megjelenésével a szál tulajdonságok igények szerinti alakításával a szálak felhasználása a hagyományos ruházati- és lakás- textíliákon túlmenően új, fontos területeken, a műszaki textíliák és a kompozit területén is kulcsfontosságúvá váltak. A tanulmány a kompozit erősítő szálak – különös tekintettel a szénszála – jellemzőit, felhasználását mutatja be.

1. Kompozitok jellemzői

A kompozit két vagy több lényegesen eltérő tulajdonságú komponensből készített új anyag, amelyben az összetevők elkülönülten vannak jelen. A kompozitokban az összetevők előnyös tulajdonságai érvényesíthetők, de a késztermék tulajdonságai nem vezethetők vissza a komponensek tulajdonságaira (2. ábra).

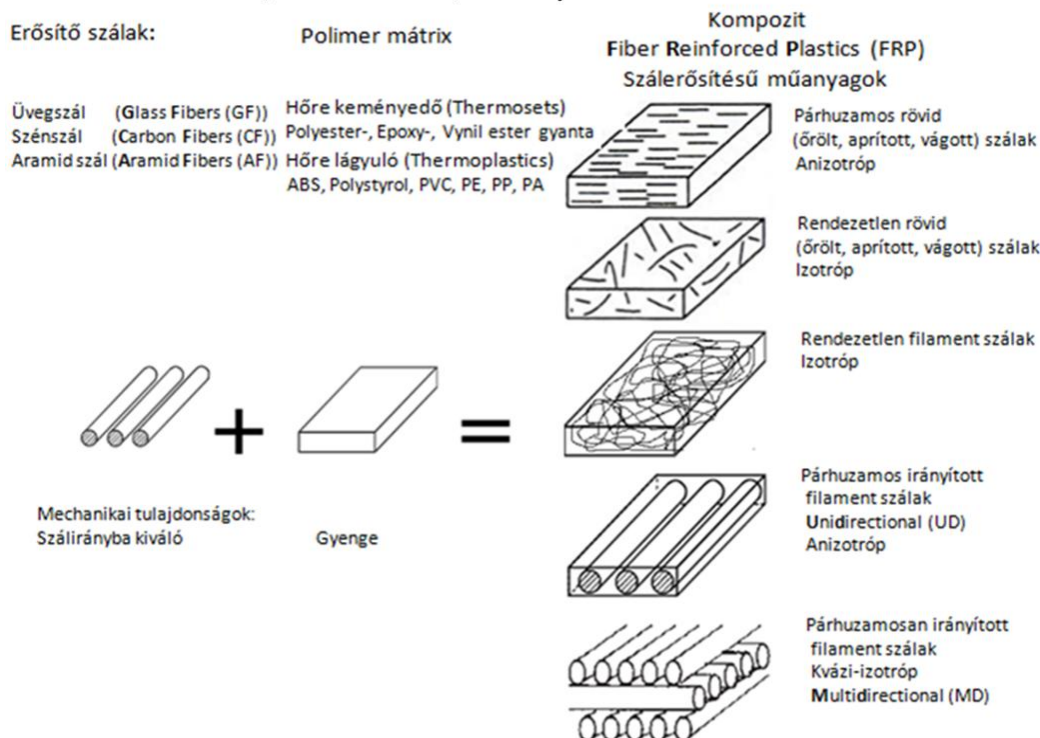
Kompozit tulajdonságainak jellemzői



2. ábra

Az erősítő szálak fajtájától, elrendezésétől, a felület aktivizálásától (sizing), a mátrix megválasztásától (hőre keményedő, -lágyuló) és a gyártástechnológiától (szerkezet alakja, mag-, adalék anyagoktól (nano-szálak, grafén)) függően a kompozitok sokfélesége alakítható ki az igényeknek megfelelően (3. ábra)

Erősítő szálak, mátrixok, kompozitok szálelrendeződése

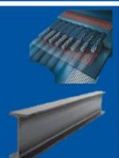
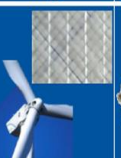


3. ábra

4. Erősítő szálak

A kis átmérőjű (5-25 μm) szálak (a hossz nagyságrendekkel nagyobb az átmérőnél) anyagok (üveg, szén, bazalt, p-aramid, fém) kialakításával (olvasztás, oldás) nagy szilárdság érhető el a tömb formához képest (4. ábra).

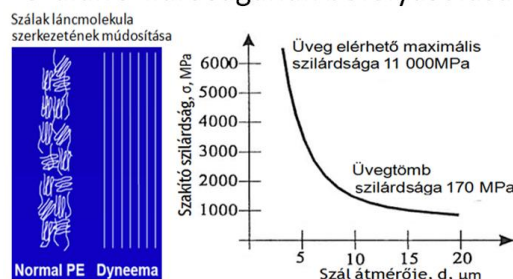
Szerkezeti anyagok szál és tömb formájú szilárdsága

	Szén	Acél	Üveg	Polimer
				
Sűrűség	1.8 g/cm ³	7.8 g/cm ³	2.5 g/cm ³	1.0 g/cm ³
Szilárdság Szál forma 	7.1 GPa	4.0 GPa	4.0 GPa	3.20 GPa
Szilárdság Tömb forma 	0.1 GPa	1.4 GPa	0.5 GPa	0.03 GPa

4. ábra

A kompozitokhoz használt ún. nagy teljesítményű szálak vékonyításával a nagy merevségük ellenére is hajlíthatók, a kábelekből (sodratlan szálköteg) kialakított struktúrák jól formázhatók. A nagy molekulájú szerves szálak nyújtással vékonyítva a láncmolekulák tengelyirányba rendeződésével, míg az amorf szerkezetű (üveg) szálak esetén a szilárdság az anyaghibák (repedések) csökkenésével a vékonyabb szálak szilárdsága számottevően növelhető (5. ábra).

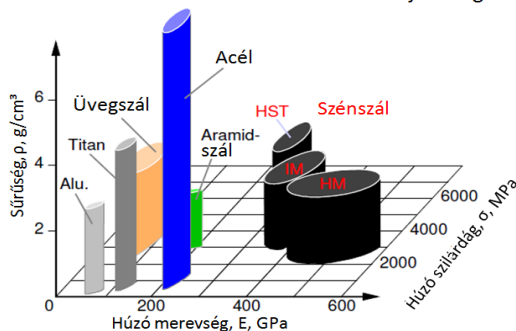
Szálak szilárdságának befolyásolása



5. ábra

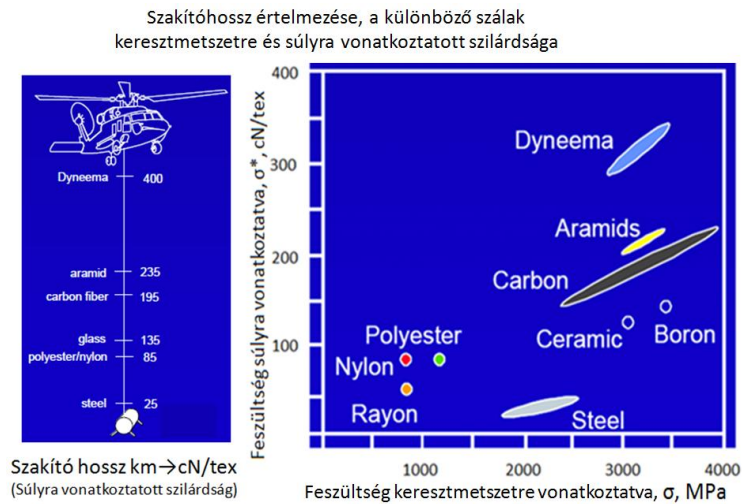
A különböző szálak, ill. a kompozitok sűrűségű lényegesen kisebb a fémekénél (6. ábra).

Erősítő szálak és fémek mechanikai tulajdonságai



6. ábra

A szerkezeti anyagok mechanikai jellemzőinek realisabb összehasonlítására a keresztmetszetre kidolgozott összefüggések (Pa) helyett a tömegre (súlyra) vonatkoztatott specifikus mechanikai tulajdonságok (km, cN/tex) használata ajánlott (7. ábra).

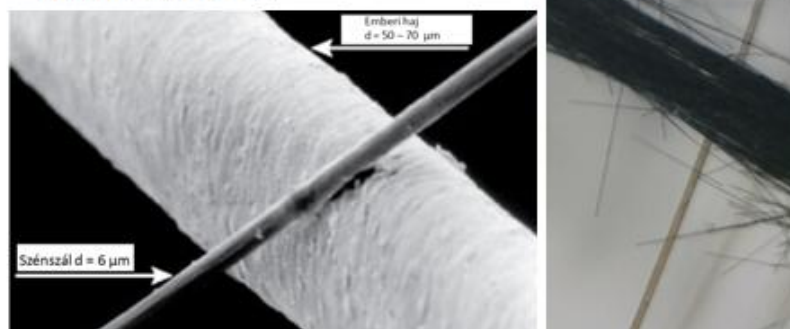


7. ábra

A szénszál (CF – Carbon Fiber) nagy specifikus merevsége, szilárdsága és számos kiváló további tulajdonsága (8. ábra) révén a nagy teljesítményű kompozitok gyártására kulcsfontosságú, magas ára ellenére használata széles területen gyorsan növekvő.

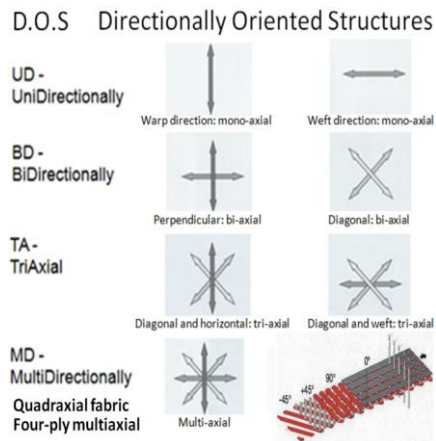
Szénszál főbb jellemzői

- Szénszál nagyon vékony ($d = 5-7\mu\text{m}$, $\sim 0,7$ dtex)
- Szénatom tartalma ($> 0,95\%$)
- Szénszálat nagyjából kompozit erősítésre használják:
CFRP- carbon fiber reinforced polymers $\rightarrow$
szénszál erősítésű polimer, C&C, C-SiC....
- Szénszálakat felületkezelés után sodratlan kábelként (tow) keresztcsévélik, 1000 (1k) filamentenként jelölik:
Kis kábel: 1k, 3k, 6k, 12k, 24k
Nagy kábel: 48k, 50k, 60k ...



8. ábra

Az **advanced** (irányított filament szál elrendezésű) kompozitok esetén a sodratlan kábelek a kelmében az igénybevételeknek megfelelően különböző irányokban fektethetők (9. ábra).



9. ábra

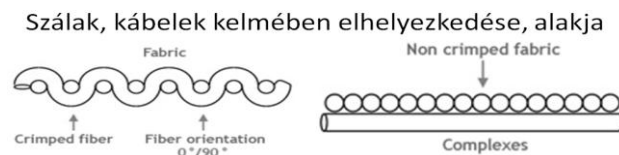
Preform, a kábelek mechanikai feldolgozása során a végleges formát alakítják ki (10. ábra).

Preform a kábel feldolgozása (fonatolás) során kialakított végleges forma



10. ábra

Egyenes szálhelyzetű kelme (NCF- Non Crimped Fabrics) kialakítására – különösen a nagy merevségű kompozitok esetén – kell törekedni (11. ábra).

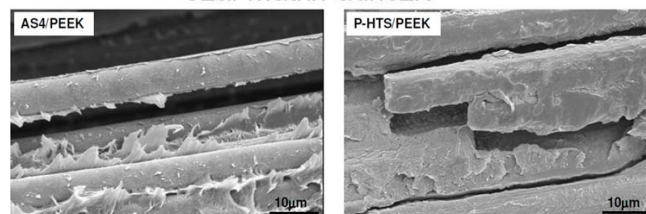


11. ábra

Prepreg esetén a száraz kelmét átítatják a mátrix-val, ami rövid ideig hidegen tárolható.

Szálfelület aktiválásával, sizing felvitelével a szál és a mátrix közötti kémiai kötés erőssége növelhető (12. ábra).

Szál-mátrix adhézció



12. ábra

A szálkábelek vezetését a filament szálak károsodásának mérséklésére sok esetben speciálisan kialakított felületen (narancshéj alakú) célszerű vezetni.

5. Polimer mátrix anyagok

Kompozitok gyártása során az erősítő szálakat, kelmét a folyékony mátrix anyaggal átítatják, majd kikeményítik. A kompozitok (eltérő tulajdonságú anyagokból készült új anyagok) sokfélesége széles területet ölel fel (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polimer, C/C – Carbon/Carbon Composites, CMC – Ceramic Matrix Composites, stb.) széles területet ölel fel. A tanulmány elsősorban csak a polimer mátrixú kompozitokra, ezen belül kiemelten a CFRP – szénzál erősítésű polimerek bemutatására szorítkozik.

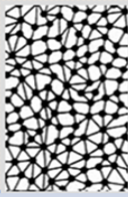
A polimer alapú mátrix anyagok:

Hőre keményedő (thermosets) kiinduló folyékony epoxi anyagok hő vagy aktiváló szerek hatására a láncmolekulák között létrejövő erős kötések hatására megkeményednek. Az így létrejövő stabil szilárd szerkezet már nem alakítható vissza a kiinduló állapotra.

Hőre lágyuló (thermoplastics) anyagok hő hatására megolvadnak, a láncmolekulák új kapcsolódása hozható létre. Lehűlve megszilárdulnak, de ismételt melegítés hatására újra megolvaszthatók.

Elasztomer anyagok láncmolekulák a térbeli spirál alakjukat a megszilárdult végtermékben (gumi) is megtartják, így rugalmas szerkezetek kialakítását teszi lehetővé (13. ábra).

Polimerek fajtái és sajátosságai

Polimer csoportok	Példák	Leírás	Szerkezet modelje
Hőre keményedő Thermosets Duroplaste Kikeményíthető műanyag, ami továbbiakban plasztikusan nem alakítható. Magas hőmérsékleten elszéneseíthető.	Epoxi Polieszter Poliuretán Vinileszter	Molekuláláncok háromdimenziós elrendeződésűek, minden irányba egymással kapcsolódnak.	
Hőre lágyuló Thermoplastics Thermoplaste Polimert felhevítve alakítható. Olvasztás után a gyökök újra kapcsolódnak. Sok hőre lágyuló anyag szerves oldószerben feloldódik. Összekapcsolás lehetséges hegesztéssel, vagy „hideg hegesztéssel” oldással.	ABS Polisztirol PVC Polietilen PP PA PEEK	Nagyon hosszú rendezetlen molekuláláncok.	
Elasztikus Elastomers Elastomere Gumiszerű elasztikus anyagok. Feszítés hatására az anyag deformálódik, erő megszűnte után az anyag az egyensúlyhoz közeli állapotba visszaalakul. Az elasztikus anyagok az elszéneseídesi pontig hőállóak, hővel nem hegeszthetők-, kapcsolódása vulkanizálással lehetséges.	Szilikon gumi, Gumi	Hosszú, spirál alakú molekuláláncok, amelyek feszültség hatására megnyúlnak.	

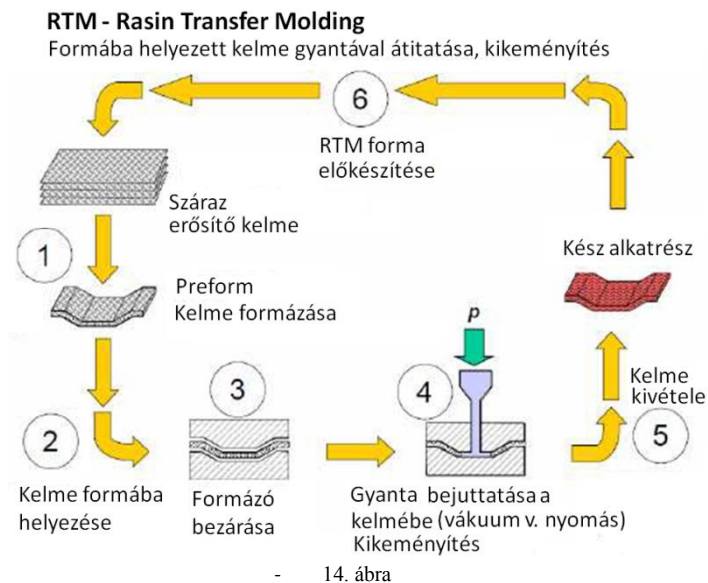
13. ábra

6. Kompozitok készítése

A kompozit termék alakjától, méretétől függően kifejlesztett főbb technológiák:

- Extrúder, fröccsöntés
- Kézi laminálás
- Tekercselés
- Pultrúzió

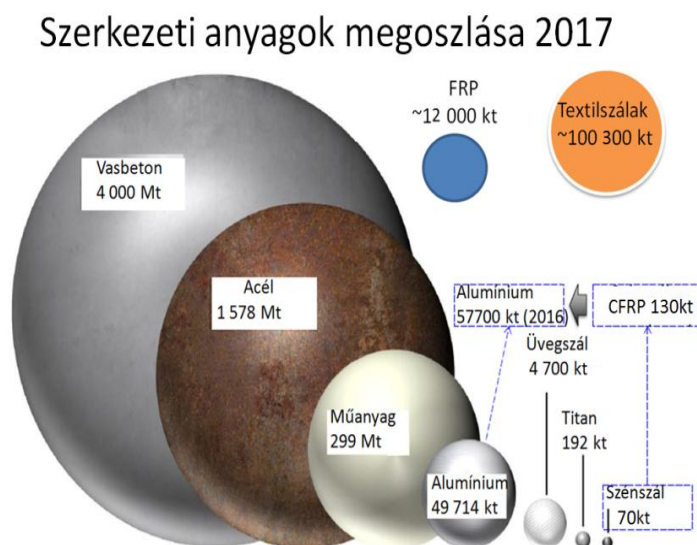
- RTM (Resin Transfer Molding → formába helyezett száraz kelme átítatása mátrix-val, kikeményítése (14. ábra).
- Infúzió
- Autoklav



Kompozitok gyártásakor fontos az erősítő szálak igényeknek megfelelő egyenletes elrendezése, a szálak közötti részek folyékony mátrix-val teljes (légrés mentes) kitöltése. A kompozitokban előforduló üreges részek, a szálak és a mátrix egyenlőtlen elrendeződése a mechanikai tulajdonságokat nagyban lerontják.

7. Kompozitok alkalmazása

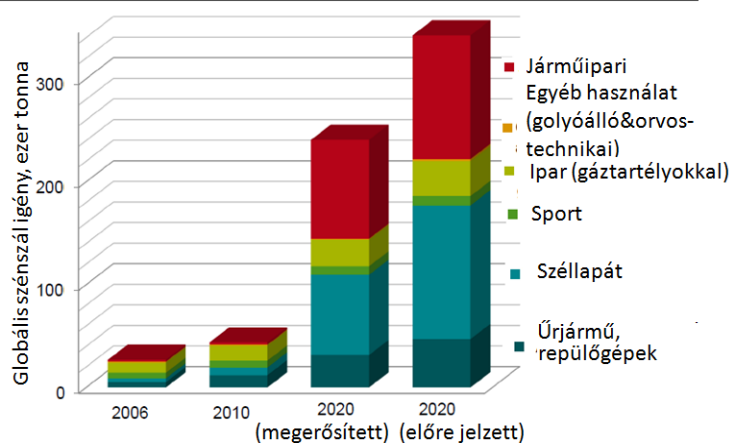
A ma használatos szerkezeti anyagok mennyiségi összehasonlítása a 15. ábrán látható).



15. ábra

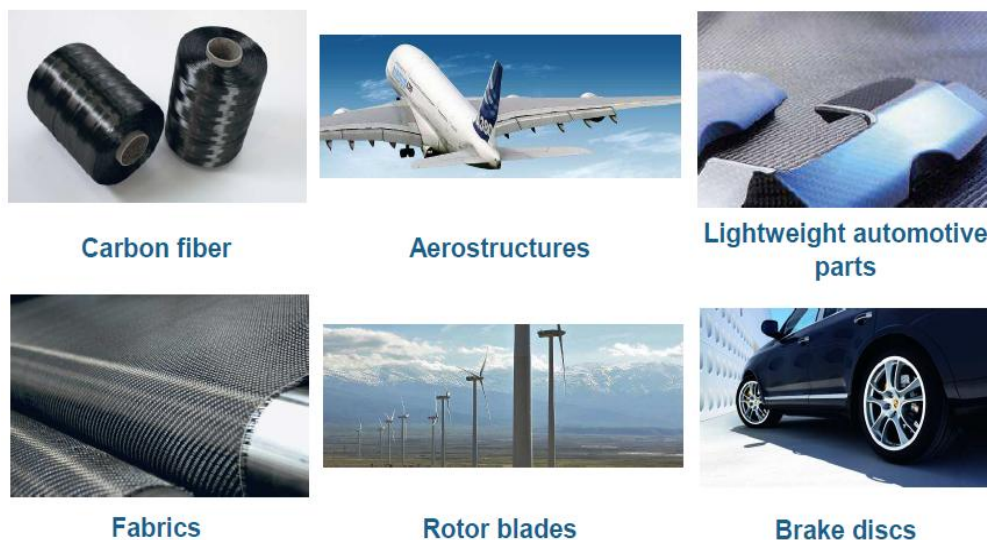
A világon évente gyártott polimer mátrixú kompozitok kb. 12 Mt, amelynek ~99%-a üvegszál-, míg ~1%-a szénuszál erősítésű. A polimer mátrixú szénuszál erősítésű kompozitok (CFRP) ugyan kis hányadot képviselnek, de kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően számos alkalmazási területen kulcsfontosságúak (16. ábra). A magas árak ellenére a mennyiségük 5-7 évenként duplázódik, az alapanyagok árának csökkentésével és a gyártási technológiák javításával (gyártási idő csökkentésével) várhatóan ez a dinamikus növekedés a következő évtizedekben tovább folytatódik, a tömeggyártás területén (autóipar) is széleskörűen használják.

Szénuszál globális piaca



16. ábra

Az ún. advanced (CFRP) főbb alkalmazási területeire a 17. ábra mutat példát.



17. ábra

Űr- légi közlekedés, hadi ipar területén a magas ár ellenére a CFRP anyagok használata szükségszerű. Ipari alkalmazás (szélturbina lapát, autóipar, gáz- hidrogén tartály, lendítő tárcsák, robot karok, különböző sajátos szakmai igények, stb.) területén is gyors növekedés tapasztalható. A járművek estén kulcsfontosságú a súlycsökkentés, ezáltal hozzájárul a környezet- védelemhez, a CO₂ kibocsátás szigorú előírásának eléréséhez. Sporteszközök területén a CFRP használata meghatározó, egyben a CFRP kiváló reklám lehetősége is.

8. Összefoglalás

Az elektronika széleskörű alkalmazása, az automatizálás, robotizálás nagy lehetőséget nyitott a termelő berendezések, teljesítményének növelésére, számos területen elérték a korábban alkalmazott fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságainak felső határát. A CFRP használata a közlekedés területén a kerékpártól a repülőig a súlycsökkentés, a használhatóság, a gazdaságosság, a környezetvédelem (CO₂ csökkentés) szempontjából egyaránt kulcsfontosságú. Nehéz olyan területet találni, ahol a CFRP kiváló tulajdonságai nem érvényesíthető, így használatuk fényes jövő előtt áll.

Felhasznált irodalom:

- [1] Steinmann: Carbon fibers: an overview on manufacturing, research and market ITA/RWTH Aachen University Mitteilungen 2015.
- [2] Szabó L. – Szabó R.: Kompozitok Magyar Textiltechnika 2014/4. p. 2-7.
- [3] T. Gries, – B.: Veihelmann: Kombinierte Faserverbundstrukturen zum Aufprallschutz Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA)
- [4] Czvikovszky T. – Nagy P. – Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi Kiadó 2000. 455 p.
- [5] Borbély E. – Szabó R.: Szélenergia hasznosítás és kihívások XIX. ENELKO 2018.Tusnádfürdő, 2018. október11-13. p. 13-19.

Lakóegységek és közintézmények tisztított víz felhasználást csökkentő többciklusú vízhasznosítási rendszer kifejlesztését megcélzó kutatás

Vajdovich Ádám

Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem, 1084 Budapest,
Tavasmező utca 17., Budapest, Magyarország

vajdovichadam@gmail.com

Abstract: Ez a tanulmány bemutatja egy vízhatékonysági kutatás első részét, amely a lakóegységek és közintézmények tisztított víz felhasználásának csökkentésére vonatkozó lehetőségeken alapul. Napjainkban egyre nagyobb problémát jelent a világ minden táján a klímaváltozás, különösen a bolygónk édesvíz készleteinek csökkenése. Mivel a tiszta víz létünk alapja, így társadalmunk számos más eleme is ezen alapul. Azonban, nem csak az éghajlatváltozás járul hozzá az édesvíz készleteink csökkenéséhez, hanem a rekord sebességű népességnövekedés és az emberi tényező, azaz a tiszta víz pazarlása is. Kutatásom célja a háztartásokban és a közintézményekben a tisztított víz felhasználás csökkentése egy új, összetett rendszer létrehozásával, amely lehetővé teszi a szürke és az esővíz hatékony felhasználását, valamint a klímaberendezések, szárítógépek és páramentesítő készülékek által kibocsátott kondenzvíz összegyűjtését és újra felhasználását. Kutatásom másik célja a szürke és az esővíz kinetikus energiájának használata, továbbá az elfolyó használati melegvíz hőenergiájának felhasználása. Munkám során primer kvantitatív és szekunder kvalitatív kutatási módszereket alkalmaztam. Primer kvantitatív kutatás során kérdőíves felmérést végeztem a tudatos vízfelhasználásról és vízügyi kérdésekről az oktatási intézmények, önkormányzatok, egészségügyi intézmények és magánszemélyek körében. Szekunder kvalitatív kutatás során pedig sok olyan irodalmat tanulmányoztam, amelyek a vízhiánnyal kapcsolatosak, beleértve ENSZ dokumentumokat és magyar disszertációkat. Továbbá pedig a szűrési és fertőtlenítési eljárásokat, illetve ezek hatékonyságát is vizsgáltam. Ezenkívül sikeresen kapcsolatba léptem adatigénylés céljából a londoni önkormányzattal és az izraeli kormánnyal, hogy a legmegbízhatóbb információk birtokába jussak. Fokváros önkormányzatával jelenleg is zajlik az egyeztetés ezen célból. Kutatási eredményeim és következtetésem hasznosak lehetnek a vízügyi problémák enyhítésében a fejlődő és fejlett országokban egyaránt, illetve csökkenthetik a vízfogyasztásból származó költségeket.

Kulcsszavak: vízhatékonyság, szürke víz, klímaváltozás, kondenzvíz, esővíz, kinetikus energia, szűrés, fertőtlenítés, hőenergia, öntözés, tisztított víz, emberi tényező

1. Bevezetése

Napjainkban egyre fokozódó problémát jelent a klímaváltozás, amely új kihívások elé állítja az emberiséget a jelenben és a jövőben egyaránt. A Föld legkülönbözőbb pontjain évről évre egyre sűrűbben találkozhatunk a víz szélsőséges megnyilvánulásaival. Egyes helyeken árvizek tombolnak, míg másutt aszályok pusztítanak. Erről a 2018.-as év is tanúbizonyságot tett, elég csak az Indiai árvizekre vagy az Ausztráliában lévő aszályra gondolni. Nem véletlen, hogy az ENSZ a 2018-2028-as időszakot a Víz és a Fenntartható Fejlődés Nemzetközi Évtizedévé nyilvánította.

"Víz! Se ízéd nincs, se zamatod, nem lehet meghatározni téged, megízlelnék, anélkül, hogy megismernének. Nem szükséges vagy az életben: maga az élet vagy." írta Saint-Exupéry.

Különösen súlyos következményekkel jár bolygónk édesvíz készleteinek csökkenése szerte a világon, hiszen az édesvíz létünk alapja. Társadalmunk számos más fontos eleme ettől függ, mint például, a gazdasági gyarapodás, egészségünk, biztonságunk, étel- és energiaellátásunk, munkahelyeink. Édesvíz készleteink csökkenéséhez azonban a klímaváltozás mellett hozzájárul a rekord sebességű népességnövekedés és az emberi tényező, azaz a tiszta víz pazarlása.

Kutatásom során arra keresem a megoldást, hogyan lehetséges vízfogyasztásunk csökkentése, milyen kiaknázatlan lehetőségek állnak rendelkezésre ennek megvalósításához, illetve hogyan vonható be az ember ebbe a folyamatba, mint aktív résztvevő.

2. Motiváció

Kutatásom megkezdéséhez a motivációt elsősorban a fokvárosi extrém vízhiányról szóló hírek jelentették. Részletesen tanulmányoztam az ott kialakult helyzetet, továbbá sikeresen felvettem a kapcsolatot a város önkormányzatával adatigénylés céljából, amellyel kapcsolatos egyeztetések jelenleg is zajlanak. Összeségében elég szomorú képet fest az ott kialakult helyzet a jövőre nézve. Jelenleg 50 liter/fő/nap az ajánlott vízfogyasztás, emellett pedig kijelölték a Nulladik Napot. Ez azt jelenti, hogy ha nem sikerül mérsékelni a vízhiányt, akkor a Nulladik Napon elzárják a vezetékes vizet és a jelentősebb közintézményeket leszámítva fejadagrendszer lépne életbe. Dolgozatom írásakor a Nulladik Nap 2019-re volt kijelölve. Összehasonlításképpen hazánkban az átlag egy főre jutó napi vízfogyasztás 110 liter.

Magyarországon jelenleg ugyan elképzelhetetlen egy a fokvárosi vízhiányhoz hasonló helyzet kialakulása, azonban ez a jövőben változhat és ezért még inkább fontosnak tartom édesvíz készleteink megóvását és vízfogyasztásunk csökkentését. Úgy gondolom, hogy ha időben cselekszünk hazánkban és a világ más tájain, akkor elkerülhető egy súlyos vízhiány kialakulása és ennek negatív következményei, mint például a vízfogyasztással kapcsolatos megszorítások, az árak emelkedése, élelmiszerhiány és nagyobb haszonállat állományok elpusztulása.

Kutatásom elindulásának másik oka személyes tapasztalatokon alapul. Ruhaszárító géppel, páramentesítővel és légkondicionáló készülékkel rendelkezem. Ezen berendezések egyik mellékterméke a kondenzációs víz, amely a ruhaszárító és a páramentesítő esetében egy tartályban gyűlik össze, míg a légkondicionálónál a szabadba kifolyik, esetleg bele van vezetve az esőcsatornába. Egy - egy nagyobb mosás után szembesültem azzal, hogy a ruhaszárító víztartályát többször kell üríteni és ezekben az esetekben tetemes mennyiségű vizet kellett kiöntenem a lefolyóba. Emellett pedig a melegebb napokon igazán nagy mennyiségű kondenzációs víz gyűlt össze a légkondicionáló kültéri egysége alatt. Ezen tapasztalatok vezettek ahhoz a felismeréshez, hogy rengeteg vizet öntök ki és a hozzám hasonlóan ilyen berendezéseket használók, gyakorlatilag teljesen feleslegesen. Így felmerült bennem a gondolat, hogy valamilyen módon hasznát lehetne venni ezeknek kondenzációs vizeknek.

Természetesen az említett két ok mellett nem elhanyagolható az a tény sem, hogy 2015-ben 2,1 milliárd ember nem jutott hozzá biztonságos ivóvízhez. Kutatásom motivációját legjobban Charles Franklin Kettering amerikai mérnök gondolatai foglalják össze: "Engem a jövő azért érdekel, mert életem hátralevő részét ott fogom eltölteni"

3. Célkitűzések és hipotézisek

3.1. Célkitűzések

Véleményem szerint a lakóegységek és közintézmények esetén számos lehetőség áll rendelkezésre az ivóvízfogyasztás csökkentéséhez. Elsősorban rengeteg lehetőség rejlik a szűrkevíz jól átgondolt felhasználásában. Szűrkevíznek tekinthető a fürdőkád, tusoló, mosdókaagyló, mosógép, mosogatógép és mosogató lefolyóvize. Természetesen mielőtt felhasználnánk ezeket a vizeket, a felhasználás céljától függően különböző tisztítási és fertőtlenítési eljárásokat kell elvégezni.

Kutatásom egyik célja, hogy olyan eljárást vagy szűrkevíz kezelési folyamatot találjak, amely energiafelhasználás szempontjából hatékony, a felhasznált

eszközök élettartama minél hosszabb és a kezelt szűrkevíz nem veszélyezteti az ételkészítés biztonságát és a felhasználók egészségét.

Motivációm során már említést tettem a légkondicionáló berendezés, páramentesítő készülék és ruhaszárító gép kondenzációs vizeinek felhasználási lehetőségeiről. Ezek a vizek a keletkezés folyamatából fakadóan tisztának tekinthetők, azonban a desztillált vizek így ásványi anyagokban rendkívül szegények, tehát emberi fogyasztásra alkalmatlanok. Szárítógép esetében, viszont felmerül a kérdés, hogy bármilyen mosó- vagy öblítőszer maradvány megtalálható-e a keletkezett vízben. Ennek biztos megállapításához laboratóriumi vízvizsgálat elvégzése lehet szükséges.

Kutatásom másik célja, hogy megfelelő felhasználási és tárolási lehetőséget találjak ezen desztillált vizeknek.

Az ivóvízfogyasztás csökkentéséhez azonban nem csupán a már említett két forrás áll rendelkezésre. Számításba kell venni az esővíz felhasználás lehetőségét is. Az esővíz mennyisége ugyan erősen függ a földrajzi elhelyezkedéstől, azonban felhasználás tekintetében két fő irányt is célba lehet venni. Elsődlegesen az esővíz különböző célokra való felhasználását tartom jó iránynak, azonban fontolóra kell venni az esővíz mozgási energiájának felhasználását is.

Kutatásom további célja tehát az esővíz és az esővíz mozgási energiájának felhasználása, valamint a szükséges eljárások tanulmányozása.

Mindemellett nem csak új források vagy már meglévő források új módon való bevonásával lehetséges az ivóvíz felhasználás csökkentése. Véleményem szerint fontos lenne az embereket is bevonni a folyamatba aktív résztvevőként. Szükség van új, ezen a területen eddig nem használt módszerekkel ösztönözni a fogyasztókat, hogy csökkentsék ivóvíz felhasználásukat. Ehhez azonban az emberek érdekes, izgalmas és átfogó tájékoztatásra lesz szükség.

Összesítve tehát a következő célokat fogalmaztam meg kutatásom elvégzéséhez:

C1: Olyan szűrkevíz kezelési folyamat megvalósítása, amely energiafelhasználás szempontjából hatékony, a felhasznált eszközök élettartama minél hosszabb és a kezelt szűrkevíz nem veszélyezteti az ételkészítés biztonságát és a felhasználók egészségét.

C2: A légkondicionáló berendezésből, szárítógépből és páramentesítő készülékből származó kondenzációs vizek megfelelő felhasználási és tárolási lehetőségeinek kidolgozása.

C3: Az esővíz és az esővíz mozgási energiájának hatékony felhasználása, tárolása és a szükséges eljárások tanulmányozása.

C4: Az emberi tényező vizsgálata, módszerek keresése a víz újrahasznosítási rendszerek vonzóvá tételére és az ivóvízfogyasztás csökkentésének ösztönzésére.

3.2. Hipotézisek

Mivel kutatásom során egy nagyobb téma különböző problémaköreit vizsgálom, így elengedhetetlen, hogy tiszta és világos hipotéziseket fogalmazzak meg. Ezek az előzetes feltevések lefedik kutatásom minden aspektusát. Következésképpen célkitűzéseim megvalósításának alapját az alábbi hét hipotézis képezi.

H1: Lehetséges a vízfogyasztás csökkentése a lakóegységek és közintézmények esetében.

H2: Lehetséges a légkondicionáló berendezések kondenzációs vizének hatékony felhasználása.

H3: Ruhaszárító gépek és páramentesítő készülékek melléktermékeként keletkezett kondenzációs vize újra felhasználható.

H4: Az elfolyó használati melegvíz hőenergiája visszanyerhető és környezetbarát hatékony módon felhasználható.

H5: A szürkevíz és esővíz mozgási energiája felhasználható villamos áram termelésre.

H6: Legionella baktérium ellen a réz ezüst ionizációs fertőtlenítés a leghatékonyabb.

H7: Vonzóvá lehet tenni a fogyasztók számára a vízfogyasztás csökkentését átfogó és izgalmas tájékoztatás útján.

4. Eredmények és értékelésük

A következő fejezetben bemutatom a primer és szekunder kutatás eredményeit. A keletkezett eredményeket értékelem és meghatározom a kutatás szempontjából lényeges konklúziókat.

4.1. Primer kvantitatív kutatás

A primer kvantitatív kutatás során négy kérdőív elkészítésére került sor egy komplex kérdéskör vizsgálata céljából. Többek között vizsgáltam, hogy a megkérdezettek rendelkeznek-e szárítógéppel, mosogatógéppel, légkondicionáló berendezéssel vagy páramentesítő készülékkel. Továbbá felmértem, hogy a megkérdezettek rendelkeznek-e valamilyen vízfogyás csökkentésére alkalmas berendezéssel, eszközzel (pl.: víztakarékos WC öblítő tartály, víztakarékos zuhanyrózsa stb.). Emellett pedig vizsgáltam, hogy részt vennének-e vízfogyasztás

csökkentését ösztönző programokban és hajlandóak lennének-e vízfogyasztás csökkentésére alkalmas eszközök alkalmazására a jövőben.

A minta kiválasztása során a következő két módszer alkalmazására került sor. Nem véletlenszerű célirányos mintavétellel vizsgáltam a már említett kérdések kapcsán a kórházakat, oktatási intézményeket és önkormányzati hivatalokat, tekintve, hogy a közintézmények között ez a három csoport a legnagyobb vízfogyasztó. Az egyszerű véletlen mintavétel módszerével, pedig a magánszemélyek megkérdezésére került sor.

4.1.1. Konklúzió

Kérdőíves felméréseim során számos problémára és lehetőségre is fény derült. Elsősorban egyértelműen látszik, hogy a lakosság körében növelni kell az olyan programok számát, ami elősegíti, hogy az emberek tudatosabb vízfogyasztóvá váljanak, és ezzel csökkenjen a pazarlás mértéke. Erre kiváló lehetőséget biztosít a közösségi média számos felülete, amelyen keresztül több millió ember elérhető, és nem mellesleg ilyen kezdeményezéssel még nem találkoztam a közösségi médiában. Emellett a felmérés rámutatott, hogy ezekre a programokra és tájékoztatásra lenne is igény, ami bizonyítja H7-as hipotézisem, miszerint vonzóvá lehet tenni a fogyasztók számára a vízfogyasztás csökkentését átfogó és izgalmas tájékoztatás útján.

Továbbá az is elmondható a kérdőívek eredményei alapján, hogy az intézmények és magánszemélyek körében egyaránt számos lehetőség áll rendelkezésre a vízfogyasztás csökkentésére. Ez megvalósítható többek között víztakarékos WC öblítő tartályok, víztakarékos csaptelepek, illetve esővíz és szűrkevíz újrahhasznosító rendszerek alkalmazásával. Ezekre a megoldásokra pedig a többség nyitott és szívesen használná, azonban az ár egy fontos szempont, főként a magánszemélyek körében. A víztakarékos csaptelepek és WC öblítő tartályok kapcsán azonban meglepő, hogy nagyon kevés egészségügyi intézmény rendelkezik ezen eszközök érintés nélkül működő változatával, amelyek a vízfogyasztás csökkentése mellett csökkentik a baktériumok és fertőzések terjedését. Azonban a válaszadók többsége ilyen berendezéseket is szívesen alkalmazna. Ezek az eredmények alátámasztják H1-es hipotézisem, miszerint, lehetséges a vízfogyasztás csökkentése a lakóegységek és közintézmények esetében.

A felmérés arra is rámutatott, hogy nagyon változó a légkondicionáló, páramentesítő és ruhaszáritó gépek száma, illetve ezen berendezések megléte nem tekinthető alapvetőnek, azonban a válaszadók jelentős része rendelkezik ezen berendezések valamelyikével vagy esetleg mindegyikével. Ebből az a megállapítás vonható le, hogy a tervezendő víztisztító-újrahhasznosító rendszert moduláris, az igényeknek megfelelően testre szabható szerkezetűre kell kialakítani, ezzel biztosítva, hogy mindig csak a szükséges szűrési, fertőtlenítési és tárolási lépések kerülnek kialakításra.

Összeségében tehát a kérdőíves felmérés sikeres volt, és a kapott eredmények nagyban segítik a célul kitűzött víztisztító – újrahasznosító rendszer kialakítását, illetve azt a célt, hogy az emberek tudatosabb vízfogyasztóvá váljanak.

4.2. Szekunder kvalitatív kutatás

Szekunder kvalitatív kutatás során sok olyan irodalmat tanulmányoztam, amelyek a vízhiánnyal kapcsolatosak, beleértve ENSZ dokumentumokat és magyar disszertációkat. Emellett a szűrési és fertőtlenítési eljárásokat, illetve ezek hatékonyságát is vizsgáltam. A következőkben ennek kutatási résznek az eredményeit és következtetéseit mutatom be.

4.2.1. Szekunder információk és elemzések

Az első és a legfontosabb dolog, ami a dokumentumok elemzése során kirajzolódott, hogy milyen kiterjedten kapcsolódik a víz társadalmunk számos más, fontos eleméhez, mint például az élelmiszerbiztonsághoz, egészséghez, békéhez, oktatáshoz és még sorolhatnám. [1] [2] [3] Ezeket legjobban a Fenntartható Fejlődési Célok (Sustainable Development Goals – SDG) foglalják össze, amelyek 2015-ben kerültek elfogadásra az ENSZ keretein belül.



1. ábra A víz és a fenntartható fejlődési célok kapcsolata

Látható, hogy alapvetően mind a 17 SDG kapcsolódik a vízhez (1. ábra), ami alátámasztja azt, hogy elengedhetetlen a vízügyi problémák megoldására való

törekvés. A legfrissebb információk szerint, azonban a világ nincs azon az úton, hogy 2030-ra megvalósuljon az SDG6, azaz mindenki számára biztosított legyen a tiszta ivóvíz és az elérhető szanitáció. [1]

A dokumentumok további elemzése során azokra az elemekre koncentráltam, amelyek fontosak lehetnek a kutatás szempontjából. Arra a megállapításra jutottam, hogy 6 fő probléma különböztethető meg, amelyek kapcsolatban vannak a kutatással, illetve ezek megoldásának elősegítéséhez juthatnak közelebb (1. táblázat).

Az elemzésekből arra a megállapításra jutottam, hogy a lakóegységek és közintézmények tisztított víz felhasználásának csökkentése nem oldható meg egyetlen rendszer által. A kitűzött cél(ok) elérése érdekében átfogó megoldásokra, új eszközökre és módszerekre van szükség. [4] A következőkben ismertetem az elemzés során felderített megoldásra váró problémákat, és a megoldásokkal kapcsolatos lehetséges elképzeléseimet.

Megoldandó problémák	Lehetséges megoldás
Öntözés hatékonyabbá tétele	Okos öntözés támogató rendszer
Vízfogyasztás monitorozás	Komplex vízfogyasztás mérő
Információ megosztás	Víz takarékossgal és higiéniaival kapcsolatos információk megosztása a közösségi média segítségével
Víz újrahasznosítás	Többciklusú esővíz és szürkevíz újrahasznosító rendszer.
Víztakarékos csapok és WC öblítő tartályok	Porlasztás elvén működő kézmosó egység, érintés nélkül működő csaptelep és WC öblítő tartály
Nem megfelelő kézmosás	Információ megosztás és porlasztás elvén alapuló kézmosó egység kifejlesztése

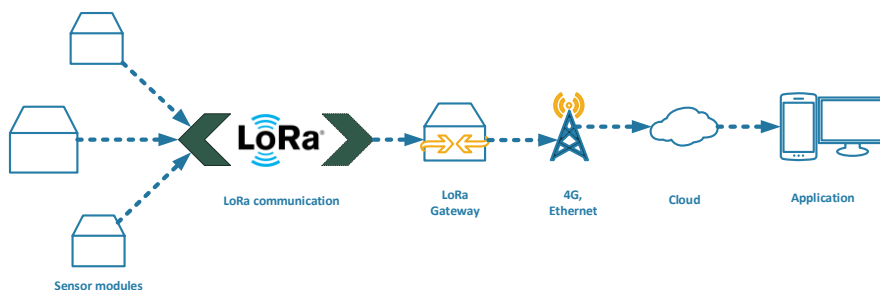
1 táblázat Problémák és lehetséges megoldások

4.2.1.1. Öntözés hatékonyabbá tétele

Számos szekunder forrásban olvasható, [5] [6] hogy a mezőgazdaság a világ ivóvízfogyasztásának 70% -ért felelős. Ez igen számottevő arány, ráadásul a becslések szerint 2050-re a népességnövekedés hatásából fakadóan 60%-kal több élelmiszerre lesz szükség. [7] A termelés hatékonyságának fokozása érdekében számos lehetőség áll rendelkezésre, a kutatás szempontjából azonban az öntözés hatékonyságának növelése a fontos. A hatékony és gazdaságos mezőgazdasági

termesztés során kritikus pont a megfelelő öntözés, amennyiben nem elegendő a vízmennyisége, a növények nem megfelelő termésmennyiséget szolgáltatnak, azonban túlzott öntözéssel is ártani lehet a termésnek, illetve a víz feleslegesen kerül felhasználásra. Ennek kapcsán egyeztettem az izraeli kormánnyal is, hogy náluk milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a probléma megoldása kapcsán. Három fő termék található meg náluk, a CorpX talajnedvesség- és talajhőmérsékletmérője [8], a Manna-Irrigation műholdas megoldása [9], és a Phytex növény szár összehúzódás mérő megoldása. [10] Ezek mind remek megoldások az öntözés hatékonyabbá tételére, azonban vagy drágák, és csak a nagyobb bevételű gazdaságoknak éri meg, vagy nem adnak öntözési ajánlásokat, előrejelzéseket.

Az öntözés hatékonyabbá tétele érdekében egy olyan okos öntözés támogató rendszer megtervezése a célom, amely alkalmazható akár a mezőgazdaságban, akár otthoni kert vagy intézmények kertje esetén. A tervezendő rendszer egy fő és több alárendelt egységből áll. A tápellátást napelem és akkumulátor, esetleg szuperkondenzátor biztosítja. Alapvető funkciók közé kell, hogy tartozzon a talajnedvesség, talajhőmérséklet, környezeti hőmérsékletmérés. A mért adatokat az öntözni kívánt terület nagyságától függő egy vagy több alárendelt egység vezeték nélküli kommunikáció segítségével továbbítja a master felé. Az összegyűjtött adatokat felhőben tárolva és elemelve, az időjárási adatok összevetése mellett, lehetséges lenne a növény-specifikus öntözés meghatározása.



2. ábra Öntözés támogató rendszer - Logikai rendszerterv

4.2.1.2. Vízfogyasztás monitorozása

A szekunder információk elemzése során fény derült arra, hogy a vízfogyasztás monitorozása is elengedhetetlen a vízfelhasználása hatékonyabbá tételének érdekében. [4] [6] [1] [2] [5] [3] A dokumentumok számos említést tesznek arról, hogy globális, országos és lokális szinten is szükség van ennek a területnek a fejlesztésére, azonban kutatásom során csak a fogyasztási helyen történő vízméréssel foglalkozom. A klasszikus vízórák nem közölnek és tárolnak részeredményeket, hanem a nullázás időpontjától mérik és tárolják folyamatosan az átáramoltatott folyadékmennyiségét. Emellett vannak okos vízórák is, amelyek képesek továbbítani az adatokat a szolgáltató felé.

Az én célom egy olyan komplex vízfogyasztásmérő létrehozása, amely amellet, hogy képes a szolgáltató felé adatot közvetíteni egy víz újra hasznosító rendszer kiegészítéseként is képes működni, azaz figyeli és elemzi a vízfogyasztást és ajánlásokat tesz, hogy hol és mivel lehetséges a fogyasztás csökkentése. Például, ha rendszeresen érzékeli az esti órákban, hogy 20 percen keresztül nagy a fogyasztás, akkor ajánlást tehet a rendszer egy applikáción keresztül, hogy legalább mennyire érdemes csökkenteni a tusolás időtartamát, és ez éves szinten milyen megtakarítást jelent, ezzel is ösztönözve a fogyasztót a spórolásra.

Emellett egy másik mérő-vezérlő egységet is szeretnék kialakítani, amely kifejezetten víz újrahasonosító rendszerek kiegészítését szolgálja. A készülék célja, hogy a lehető legoptimálisabban vezérelje a megtisztított szürkevíz és esővíz felhasználását a vízfogyasztási és időjárési adatokat alapul véve. Amennyiben a rendszer érzékeli, hogy hamarosan eső várható, abban az esetben például a csatlakoztatott WC öblítőtartály az esővíz gyűjtőből töltődik újra. Viszont, ha nincs sem esővíz, sem megtisztított szürkevíz, akkor úgy képes átkapcsolni a normál hálózatra.

4.2.1.3. Információ megosztás

Az információmegosztás ugyan nem kapcsolódik szorosan a villamosmérnöki alkalmazásokhoz, de nagyon fontos részét képezi a kutatásnak. A dokumentumok elemzése rámutatott, hogy megfelelő információmegosztás nélkül nem érhető el a vízfogyasztás csökkentése. [7] [11] [6] [3] Kérdőíves kutatásom során pedig kiderült, hogy nem sok intézmény vett részt ilyen programban, azonban lenne erre igény. Az információ megosztásban nagyon fontos szerepet játszanak az oktatási intézmények, hiszen ott sok ember érhető el egyszerre, emellett pedig a családba is hazaviszik ezeket az információkat. A klasszikus szórólapos vagy rövid informatív előadások útján történő környezettudatos felvilágosítás mellett a közösségi média biztosítja azt a felületet, ahol a leggyorsabban lehet elérni a legtöbb embert. Egy rövid kutatás során arra a megállapításra jutottam, hogy a Facebookon lehet ugyan találkozni ilyen témájú oldalakkal, de Instagramon már sokkal kevésbé. Ráadásul az eMarketer [12] [13] kutatása szerint egyre több fiatal használja az Instagramot és a Snapachatet. Ezért úgy gondolom, hogy fontos lenne ezeken a közösségi média platformokon vízfogyasztás csökkentéséről szóló és általános energiamegtakarítási kampányokat folytatni és felhívni az emberek figyelmét a mihamarabbi cselekvés fontosságára. A célkitűzésem megvalósítása érdekében létrehoztam egy Instagram oldalt @savewatersavefuture néven.

4.2.1.4. Víztaarékos csapatok és WC öblítő tartályok

A kérdőíves felmérés egyértelműen kimutatta, hogy nincs elegendő víztaarékos csaptelep és WC öblítőtartály, különösen igaz ez az egészségügyi intézményekre, azon belül is az érintés nélkül működő modellekre. A vízfogyasztás csökkentésére az egyik legjobb megoldás a perlátor, illetve WC tartályok esetén a két öblítési mód. Ezzel kapcsolatban az izraeli kormányval való egyeztetés során

fény derült egy nagyon jó gyakorlatra. Izraelben törvény írja elő a közintézmények számára a perlátor és a víztakarékos WC öblítőtartály használatát. Véleményem szerint ezt a szabályozást minél több helyen be kellene vezetni, természetesen a megfelelő anyagi támogatás mellett.

Perlátoros csaptelepek és piszoárok esetén megoldott ugyan az érintés nélküli működés és WC öblítő tartályok terén is létezik erre megoldás, ami azonban nem elterjedt (én még sehol nem találkoztam ilyennel). Vízfogyasztás csökkentése és higiénia növelés érdekében több eszköz implementálását tervezem. Elsősorban egy olyan mosdókagyló létrehozását, amely porlasztás segítségével több irányból juttatja a vizet a kézre, de ha a felhasználó igényli normál csapteleppel is felszerelhető kiegészítésként. A kéz érzékelését pedig közelségérzékelő szenzor végzi majd. Ezzel a megoldással biztosított az érintés nélküli működés és a vízfogyasztás minimalizálása.

Másodsorban egy olyan WC öblítő rendszert szeretnék létrehozni, amely tárgyreflexiós infra érzékelők segítségével végzi az öblítést, illetve az illemhelyiség ajtajának nyitását és zárását. Ezzel a megoldással elérhető, hogy a WC öblítés minden alkalommal megtörténjen és a működés teljesen érintésnélküli legyen, így csökkentve a baktériumok és fertőzések terjedését. Ezt a rendszert az angol WC -hez tervezem kialakítani tehát nem összetévesztendő a piszoárok öblítő megoldásával.

4.2.1.5. *Víz újrahasznosítás*

Kutatásom központi részét képezi egy víz tisztító-újrahasznosító rendszert kialakítása. A kérdőíves felmérés már rámutatott, hogy egyrészt kevés ilyen rendszert használnak háztartásokban és közintézményekben egyaránt, másrészt pedig a rendszert moduláris, az igényeknek megfelelően testre szabható szerkezetűre kell kialakítani. A szekunder adatok ugyancsak azt mutatják, hogy egyre égetőbb szükség van ilyen rendszerek alkalmazására. A londoni önkormányzattal való egyeztetés során fény derült arra, hogy náluk 2025-ben léphetnek fel problémák az ivóvíz ellátásban és 2040-ben már súlyossá válhat a helyzet. [14] Másrészt a világ népessége egyre csak növekszik, ezzel párhuzamosan pedig a vízfogyasztás is. Ha pedig nem történik változás vízfogyasztás terén, 2050-re a világ népességének 40%-a fog vízhiányban szenvedni. [7] Víz újrahasznosításban Izrael élen jár 80%-os aránnyal, őt követi másodikként Spanyolország 17% - al, majd az USA 5% - al. [15] Ezek a számadatok ugyan a központosított újrahasznosításra vonatkoznak, ebből is látszik, hogy jelentős fejlesztésekre van szükség a világ sok országában ezen a területen.

A célkitűzéseknek megfelelően egy olyan víz tisztító-újrahasznosító rendszert szeretnék létrehozni, amely energiateljesítmény szempontjából hatékony, a felhasznált eszközök élettartama minél hosszabb és a kezelt szürkevíz, esővíz és kondenzációs vizek nem veszélyeztetik az élelmiszer biztonságot és a

felhasználók egészségét. A kondenzációs vizek felhasználása mellett szól, hogy ilyen megoldásról még az izraeli kormánynál sem hallottak, azonban a szennyezettségi szint megállapításához szükséges lesz laboratóriumi vízvizsgálat elvégzése. Emellett úgy szeretném kialakítani a rendszert, hogy az esővíz és a szürkevíz mozgási energiáját kihasználva a rendszer képes legyen villamosenergiát termelni. Ezt az energiát valamilyen módon pedig tárolni kell majd. Erre lehetséges megoldásként szóba jöhetnek a napelemes rendszerek akkumulátorai. A villamosáram termelés ezen módjának lehetőségét az is alátámasztja, hogy Ausztriában olajvezetékekkel termelnek áramot. [16] Tehát egy csővezetékben áramló folyadék hajt meg generátort, ami áramot termel. Mindemellett szeretném felhasználni az elfolyó használati melegvíz hőenergiáját. Az izraeli kormánnyal való egyeztetés során kiderült, hogy náluk nem létezik ilyen fejlesztés.

A rendszer megtervezésénél több fontos szempontot is figyelembe kell venni. Elsősorban a szürkevíz, esővíz és kondenzációs vizek kezeléséhez más – más szintű szűrési és fertőtlenítési eljárást kell megvalósítani mivel a szennyezettségi szint is más – más szintű. Ennek érdekében vizsgáltam a szűrési és fertőtlenítési eljárásokat kutatásom során. Másodsorban azt is figyelembe kell venni, különösen a szürkevíz elvezetésénél, hogy a mosdókagyló és fürdőkád/tusoló tisztításához különböző vegyszerek kerülnek alkalmazásra. Így annak érdekében, hogy ezek a vegyszerek ne kerüljenek bele a szürkevíz tisztító rendszerbe a mosdókagyló és a fürdőkád/tusoló lefolyójának átkapcsolhatónak kell lennie a szennyvíz hálózatra. Továbbá figyelembe kell venni az esővíz kezelése során annak egészségügyi kockázatait is. A felhasználni kívánt esővizet meg kell tisztítani a betegséget okozó mikroorganizmusoktól (baktériumok, vírusok, állati véglények) az állati eredetű ürüléktől és az esetleges ólomszármazékoktól. [17]

4.2.2. Szűrési és fertőtlenítési módszerek kiválasztása

Az eljárások tanulmányozása során arra a megállapításra jutottam, hogy a szűrési eljárások közül az ülepítésre és lassú homokszűrésre biztosan szükség lesz. Különösen a szürkevíz és esővíz kezelés során lesz szükség az ülepítésre, hogy a technológiai sorban következő homokszűrőhöz már előkezelten és a nemkívánatos apró szemcsés anyagoktól megtisztítva érkezzen a víz, ezzel is növelve a homokszűrő élettartamát. A homokszűrő alkalmazása mellett számos érv szól (2. táblázat, 3. táblázat), azonban a rendszer kialakítása során számításba kell venni a lassú homokszűrő helyigényét, illetve annak elhelyezését, ugyanis a hideg hőmérséklet csökkenti a szűrés hatékonyságát. A kondenzációs vizek megfelelő tisztításához az aktív szén szűrést gondolom a legjobb megoldásnak, azonban a biztos kiválasztásához szükséges lesz, a már említett laboratóriumi vízvizsgálatok elvégzése. Viszont az biztos, hogy ülepítésre nem lesz szükség mivel, a kondenzációs vizek keletkezésük módjából fakadóan nem tartalmaznak kisebb nagyobb szemcsés szennyeződések.

Előnyök	Hátrányok
A baktériumok, vírusok, protozoák, zavarosság és nehézfémek nagyon hatékony eltávolítása szennyezett vízben	A hideg hőmérséklet lecsökkenti a hatékonyságot mivel csökken a biológiai aktivitás
Nagy megbízhatóság és képes ellenállni a vízminőség ingadozásának	Nagy helyet igényelhet a szűrő és manuálisan kell tisztítani
Hosszú élettartam	A víz előkezelése szükséges lehet
Ha csak gravitációs áramlással van megépítve akkor nincs szükség szivattyúra	Rendszeres karbantartást igényelhet, illetve kémiai és fizikai paraméterek ellenőrzését
Nem szükséges vegyi anyagok alkalmazása	Alacsony szűrési sebesség

2. táblázat Lassú homokszűrés előnyei és hátrányai

Nagyon hatékony ellene	Közepesen hatékony ellene	Nem hatékony ellene
Protozoa	Szag	Sók
Vírusok	Vas, Mangán	Fluorid
Zavarosság	Szerves anyag	Trihalogén
Nehézfémek (Zn, Cu, Cd, Pb)	Arzén	A legtöbb vegyi anyag

3. táblázat Lassú homokszűrés hatékonysága

A fertőtlenítési eljárások kiválasztása már egy jóval nehezebb dolog. Mivel különböző forrásokból származó vizeket fog kezelni a rendszer, így elengedhetetlen a megfelelő fertőtlenítés elvégzése még akkor is, ha csak WC öblítésre lesz használva a kezelt víz. Például WC öblítés során alkalmazandó újrahasznosított víznél figyelembe kell venni a szagot és a zavarosságot is a felhasználói elfogadás miatt. Ennél azonban fontosabb szempont a különböző baktériumok és fertőzések terjedésének megakadályozása. Különös tekintettel az egyes, esővízből vagy fürdővízből származó szennyeződésekre és a Legionella pneumophila baktériumra. Ha Legionella baktériumot tartalmazó apró vízcseppeket belélegezzük az komoly megbetegedést vagy akár végső esetben halált is okozhat. A szekunder adatok tanulmányozása alapján arra jutottam, hogy a legmegfelelőbb vízfertőtlenítési módszer a réz ezüst ionizáció. Ez a módszer

hatékony, környezetbarát és nem termel a környezetre vagy az emberre veszélyes mellékterméket. Továbbá ezzel a módszerrel az egész vízkezelési rendszer fertőtleníthető és a többi eljárással ellentétben sokkal hatékonyabb a *Legionella pneumophila* baktériummal szemben [18] Amennyiben szükséges a rendszer kiegészíthető még aktív szén szűréssel a megfelelő szag és szín elérése érdekében.

Előnyök	Hátrányok
Biztonságos	Befolyásolja a pH
Nem képződik veszélyes melléktermék	Horganyzott acélt korrodálhatja
Van visszamaradó hatás tehát fertőtleníti az egész hálózatot	A túlzott ionszint a víz feketés és a porcelán levendulás elszíneződéséhez vezethet
Több vízi eredetű kórokozóval szemben is hatékony (<i>Legionella pneumophila</i>)	-
Nem befolyásolja a hőmérséklet	-

4. táblázat Réz ezüst ionizáció előnyei és hátrányai

4.2.3. Mérendő paraméterek

A víztisztító - újrahasznosító rendszer megfelelő és biztonságos működése érdekében elengedhetetlen bizonyos paraméterek mérése, mivel bizonyos határértékek túllépése vagy az átlagshoz képest szokatlan változás negatívan hathatnak a vízminőségére és a rendszer hatékonyságára. Az első és legfontosabb paraméter a hőmérséklet. Ennek a mérése több szempontból is fontos. Elsősorban a *legionella pneumophila* baktérium megelőzése érdekében, mivel ez a vízi organizmus 25°C és 45°C között képes növekedni. Másodsorban, ha a hőmérséklet meghaladja a 30°C-ot az növeli más mikroorganizmusok jelenlétét és a roszdásodás esélyét is. [19] Azonban nem csak a felső határookra kell figyelni, mivel, ha túl alacsony a hőmérséklet az a lassú homokszűrő hatékonyságát rontja.

A következő mérendő paraméter az a pH érték. Elsősorban technológia okokból szükséges, mivel a pH érték befolyásolja a réz ezüst ionizációs fertőtlenítést, illetve a megfelelő értéken tartással elkerülhető a vízkő kiválás. Másodsorban akkor fontos még a pH érték, ha a megtisztított vizet öntözésre is szeretnénk használni, ugyanis a pH érték befolyásolja a talaj tápanyag szolgáltató képességét, azaz nem megfelelő érték esetén egyes tápelemek felvehetetlenné válnak a növények számára és hiánybetegségek lépnek fel. [19] [20]

A már említett értékek mellett fontos mérni a víz elektromos vezetőképességét is. Az elektromos vezetőképesség (EC), melynek mértékegysége mS/cm a víz összes

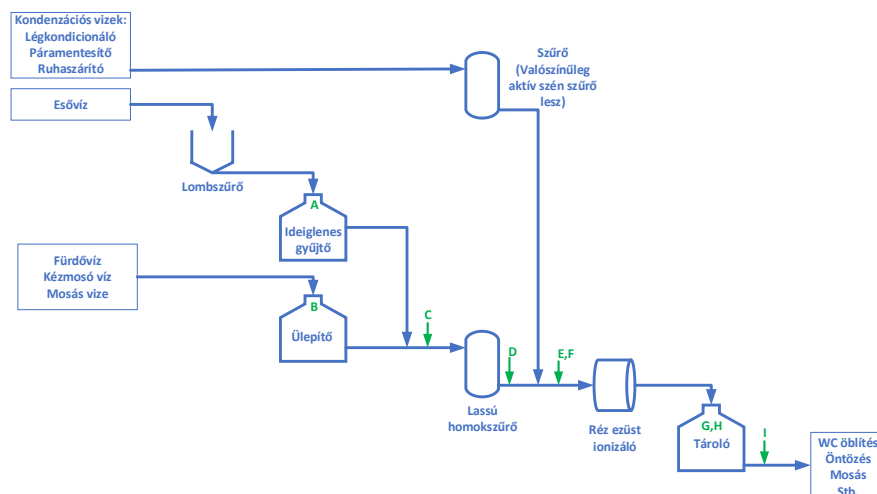
oldott sótartalmára utal. Tehát ahol magas az ásványi sók koncentrációja, ott a vízben nő az ionok mennyisége, vagyis nő a vezetőképesség és az EC-érték magasabb lesz. Ennek a paraméternek a mérése több szempontból is fontos. Egyrészt, ha az újrahasznosított vizet öntözésre használjuk akkor, figyelemmel kell kísérni, milyen minőségű a felhasznált víz, ugyanis a növények nagyrészt oldott ásványi sók formájában képesek felvenni a számukra szükséges tápanyagokat. Másrészt a víz keménységét a benne oldott magnézium és kalcium sók okozzák. Tehát minél keményebb a víz, annál magasabb az EC érték. Amennyiben pedig az újrahasznosított vizet mosásra használjuk, a kemény víz nem tenne jót a mosógépeknek és a mosás hatékonyságát is csökkentené. [19] [21]

Mindezek mellett mérni kell még a zavarosságot, amit turbidimetriának neveznek és folyadékok minőségének fotometriai módszerrel történő meghatározását jelenti. A zavarosság meghatározásához több mértékegység is létezik, én azonban az NTU-t, azaz a nefelometriás zavarossági egységet fogom használni. 1 NTU értéknek 1mg/L szilícium dioxid felel meg. A mérésnek nagy szerepe van a megfelelő lassú homokszűrés elérése érdekében, mivel, ha a megszárt víz zavarossága 1.0 -ás nefelometriás érték alatt marad, akkor a vírusok és baktériumok 90 – 99%-át sikerült kiszűrni. [22] [23]

Végezetül a megfelelő működés érdekében szükséges lesz még a tároló tartály(ok) szintmérésére, illetve a hatékony szűrés és fertőtlenítés meghatározásához az áramlási sebesség mérésére.

5. Logikai rendszerterv

Miután kiválasztásra kerültek a szűrési és fertőtlenítési eljárások, illetve meghatároztam a legfontosabb mérendő paramétereket meghatározható a víztisztító - újrahasznosító alapvető logikai rendszerterve (3. ábra). Ebben ismertetem a legfontosabb technológiai elemeket, illetve a mérendő paramétereket és ezek mérési helyét.



3. ábra Víz tisztító-újrahasznosító logikai rendszerterv

A rendszer első része a kondenzációs vizek szűrését végzi. Mivel ezek a vizek lassan keletkeznek, így véleményem szerint, nagyobb keresztmetszetű csővel elkerülhető az ideiglenes gyűjtőtartály alkalmazása. A kondenzációs vizek ezután egy aktív szenes szűrőn keresztülhaladva jutnak el a réz ezüst ionizációs fertőtlenítő berendezéshez, onnan pedig a tároló tartályba.

A rendszer második része az esővíz tisztítását végzi. Mivel az esővíz hirtelen nagy mennyiségben gyűlik össze, azt nem tudná kezelni a lassú homokszűrő és nem lenne megfelelő a szűrési sebesség sem. Ezért itt ki kell alakítani egy ideiglenes gyűjtőtartályt, illetve azelőtt egy lombszűrőt kell elhelyezni, ami kiszűri a faleveleket és egyéb természetes szennyeződések. A megtisztított esővíz a homokszűrőt követően szintén a réz ezüst ionizációs fertőtlenítőn keresztülhaladva a tárolóba kerül.

A rendszer harmadik része a szürkevizet gyűjti és tisztítja. Itt egy ülepítő tartályt kell elhelyezni, aminek használatával csökken a szürkevíz zavarossága és ezzel a módszerrel növelhető a homokszűrő élettartama is. Az ülepítőből a lassú homokszűrőn és a fertőtlenítőn keresztül szintén a tárolóba jut a megtisztított víz.

A legfontosabb mérendő értékeket a következő táblázat foglalja össze. Az ábrán a zöld színű betűk és nyilak jelölik ezeket a paramétereket (3. ábra).

Jelölés	Paraméter
A	Ideiglenes gyűjtő tartály folyadékszintje
B	Ülepítő tartály folyadékszintje
C	Lassú homokszűrő bemenő folyadék hőmérséklete
D	Lassú homokszűrő kimenő folyadék zavarossága
E	Réz ezüst ionizáló bemenő folyadék pH-ja
F	Folyadék áramlási sebesség
G	Tárolótartály folyadék szint
H	Tárolótartály folyadék hőmérséklete
I	Megtisztított víz EC értéke

5. táblázat Mérendő paraméterek

6. Okos otthon kompatibilitás

Az általam tervezett víztisztító - újrahasznosító, vízfogyasztás monitorozó és az öntözést hatékonyabbá tevő rendszerek megvalósítását illetően mindenképpen fontosnak tartom az okos otthon kompatibilitás megvalósítását. Ilyen okos otthon rendszerek például a Google Home vagy az Amazon Alexa. A következő táblázat összefoglalja milyen előnyökkel és hátrányokkal jár a kompatibilitás megvalósítása (6. táblázat).

A táblázat alapján látható, hogy a kompatibilitás megvalósítása számos előnnyel és néhány hátránnyal is jár. Összeségében azonban az előnyök kiszorítják a hátrányokat és megfelelő hardver és szoftver létrehozásával elkerülhető a hátrányok megvalósulásának többsége. A kompatibilitás megvalósítása tehát lehetséges és érdemes.

Előnyök	Hátrányok
Információk megjelenítése telefonon: Hiba esetén azonnali beavatkozás lehetősége Karbantartási igény jelzése	Aki nem rendelkezik okosház rendszerrel/eszközzel annak ezt is be kell szerezni
Folyamatos rendszerfelügyelet	Növelheti a fejlesztési időt
Megtakarított víz mennyiségének nyomon követése	Különösen veszélyes lehet, ha internetes vírus támadja meg a rendszert
Csökkenti a költségeket, ha egy már meglévő rendszerrel alakítók ki kompatibilitást	Más szolgáltató applikációjától vagy termékétől is függ a saját termékem
Eladhatóbbak lesznek az eszközök	-
Öntözés egyszerűbb vezérlése	-
Kevesebb vezeték szükséges	-
A felhasználónak nem egy új vezérlőrendszert csupán egy applikációt kell kezelni, amit akár távolról is elér	-

6. táblázat Okos otthon kompatibilitás előnyei és hátrányai

7. Összegzés

Munkám során a víz újrahasznosításnak számos részét vizsgáltam, amelyek ugyan nem mind villamosmérnöki vonatkozásúak, de elengedhetetlenek voltak a problémák feltárásához és a helyes következtetések meghozásához.

A kérdőíves felmérés rámutatott, hogy a lakosság körében növelni kell az olyan programok számát, amelyek elősegítik, hogy a fogyasztók tudatosabb vízfogyasztóvá váljanak és ezzel csökkenjen a pazarlás mértéke. Emellett az is kiderült, hogy ezekre a programokra lenne is igény, ami a H7-as hipotézisem bizonyítja, miszerint vonzóvá lehet tenni a fogyasztók számára a vízfogyasztás csökkentését átfogó és izgalmas tájékoztatás útján. A felmérés során arra is fény derült, hogy számos lehetőség rendelkezésre áll a vízfogyasztás csökkentésére a lakóegységeknél és közintézményeknél egyaránt, ami alátámasztja a H1-es hipotézisem. Tehát sikeres volt a kérdőíves felmérés, sikerült bizonyítani a

témához tartozó hipotéziseket és sikerült olyan információkat gyűjteni, amelyek segítik a rendszer kidolgozását. Összeségében pedig teljesítettem a 4-es célkitűzésem, mivel tanulmányoztam az emberi tényezőt a víz újrahaznosításban és sikerült megoldást is találnom a problémára, amit az információ megosztás című fejeztben részletesen kifejtettem.

Munkám során sikeresen tanulmányoztam a szekunder információkat és ezekből megállapítottam a kutatás szempontjából releváns problémákat, amelyek megoldásának elősegítéséhez ismertettem a lehetséges elképzeléseimet. Azaz a vízfogyasztás monitorozását, az öntözés hatékonyabbá tételét, a víz újrahaznosítást, az információ megosztást és a víztakarékos WC öblítő tartályok és csapok fejlesztési lehetőségeit.

Mindemellett tanulmányoztam az egyes szűrési és fertőtlenítési eljárásokat, illetve a mérendő értékeket. Ezek közül kiválasztottam a megfelelőket a rendszer megvalósításához az ismertett paraméterek alapján és kidolgoztam a víz tisztító - újrahaznosító logikai rendszertervét. Ezzel sikerült bizonyítanom a H6-es hipotézisem, miszerint a Legionella baktérium ellen a réz ezüst ionizációs fertőtlenítés a leghatékonyabb. Továbbá ismertettem a logikai rendszerterv alapján a működést és a mérendő értékek fontosságát is meghatároztam. Ezáltal bizonyítottam a H2-es és H3-as hipotézisem, azaz lehetséges a légkondicionáló, páramentesítő és szárító gépekből származó kondenzációs vizek felhasználása, illetve eleget tettem C1-es és C2-es célkitűzésemnek. Igyekeztem egy olyan rendszert megtervezni, amelyben minél hosszabb a felhasznált eszközök élettartama és a kezelt víz nem veszélyezteti az ételmeziszer biztonságot vagy a felhasználók egészségét.

Munkám során sikerült bizonyítanom a felvázolt hipotézisek jelentős részét és a célkitűzések nagyobb részének is eleget tettem, azonban sok munka áll még előttem. A jövőben szeretném kidolgozni a víz tisztító - újrahaznosító és a többi eszköz fizikai rendszertervét, illetve elkészíteni ezek prototípusát. A hipotézisek közül még bizonyítanom kell a jövőbeni munkám során, hogy az elfolyó használati melegvíz hőenergiája visszanyerhető és környezetbarát módon felhasználható, illetve, hogy a szűrkevíz és esővíz mozgási energiája felhasználható villamos áram termelésre.

Véleményem szerint kutatási eredményeim és következtetéseim hasznosak lehetnek a vízügyi problémák enyhítésében a fejlődő és fejlett országokban egyaránt, illetve csökkenthetik a vízfogyasztásból származó költségeket.

Irodalomjegyzék

- [1] UN. 2018 HLPF Review of SDG implementation:SDG 6 – Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all.

-
- [2] The Critical Role of Water in Achieving the Sustainable Development Goals: Synthesis of Knowledge and Recommendations for Effective Framing, Monitoring, and Capacity Development.
- [3] VÍZÜGYI ELNÖKI TESTÜLET ZÁRÓJELENTÉS
http://www.keh.hu/pic/upload/files/VET_jelentes_0314.pdf
- [4] State-of-Israel. Israeli Know-How and Adaptation Technologies for Climate Change.(14)
- [5] UNSGAB. The UNSGAB Journey
- [6] Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2018. New York, New York 10017, United States of America : United Nations, 2018. ISBN: 978-92-1-101370-2.
- [7] WATER USE EFFICIENCY FOR RESILIENT ECONOMIES AND SOCIETIES. 2017.
- [8] Corpx. [Online] [Hivatkozva: 2018.. szeptember 24.]
<https://www.cropx.com/>.
- [9] Manna Irrigation Intelligence. [Online] [Hivatkozva: 2018.. október 2.]
<https://manna-irrigation.com/team/>.
- [10] Phyttech. [Online] [Hivatkozva: 2018.. október 10.]
<https://www.phyttech.com/>.
- [11] UN. Introduction to the proposal of the open working group for sustainable development goals.
- [12] Facebook Losing Younger Users, but not all are migrating to Instagram. eMarketer. [Online] [Hivatkozva: 2018.. november 2.]
<https://www.emarketer.com/content/facebook-losing-younger-users-at-even-faster-pace>.
- [13] Facebook losing young users even faster to Snapchat, eMarketer says. USA Today. [Online] [Hivatkozva: 2018.. november 1.]
<https://eu.usatoday.com/story/tech/2018/02/12/facebook-losing-young-users-even-faster-snapchat-emarketer-says/323765002/>.
- [14] Waterwise. Water Efficiency Strategy for the UK. 2017.
- [15] The Art of Water Conservation in Israel. [Online] [Hivatkozva: 2018.. szeptember 10.] <https://www.entymag.com/art-water-conservation-israel/>.
- [16] Ausztriában a világon elsőként termelnek áramot olajvezetékkel. [Online] [Hivatkozva: 2018.. október 15.]
http://www.kisalfold.hu/kulfold_hirek/ausztriaban_a_vilagon_elsokent_termelnek_aramot_olajvezetekkel/2574032/.
-

- [17] Rainwater Treatment Guide
<https://www.health.nsw.gov.au/environment/water/Documents/Rainwater-Treatment-Guide.pdf>
- [18] Dr.-N.-Walraven-and-Dr.-C.-Chapman. The efficacy of various disinfection methods against Legionella pneumophila in water systems. 2016.
<https://hollandwater.com/wp-content/uploads/2016/10/10-comparion-Legionella-Disinfection-Techniques-22-09-2016.pdf>
- [19] Zsuzsanna, Dávidovits. A lakossági ivóvízellátás környezetbiztonsági kockázatai csökkentésének lehetőségei és az ivóvízbiztonsági tervezés kapcsolatrendszere. Budapest : ismeretlen szerző, 2015.
- [20] A talajok pH értéke és a tápanyag felvehetőség. <http://kertlap.hu/talajok-ph-erteke/>
- [21] GYAKORI KÉRDÉSEK AZ EC/TDS-MÉRÉSEL KAPCSOLATBAN
http://www.laboreszkozok.hu/Gyakori_k%C3%A9rd%C3%A9sek_GYIK/Gyakori_k%C3%A9rd%C3%A9sek_az_EC/TDS_m%C3%A9r%C3%A9ssel_kapcsolatban.html
- [22] Slow Sand Filtration. [Online] [Hivatkozva: 2018.. szeptember 20.]
<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/slow-sand-filtration>.
- [23] Turbidimetria. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Turbidimetria>
- [24] Sedimentation. [Online] [Hivatkozva: 2018.. szeptember 20.]
<https://sswm.info/sswm-university-course/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation-2/sedimentation>
- [25] Adsorption (Activated Carbon). [Online] [Hivatkozva: 2018.. szeptember 20.]
[https://sswm.info/sswm-university-course/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation-2/adsorption-\(activated-carbon\)](https://sswm.info/sswm-university-course/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation-2/adsorption-(activated-carbon)).