

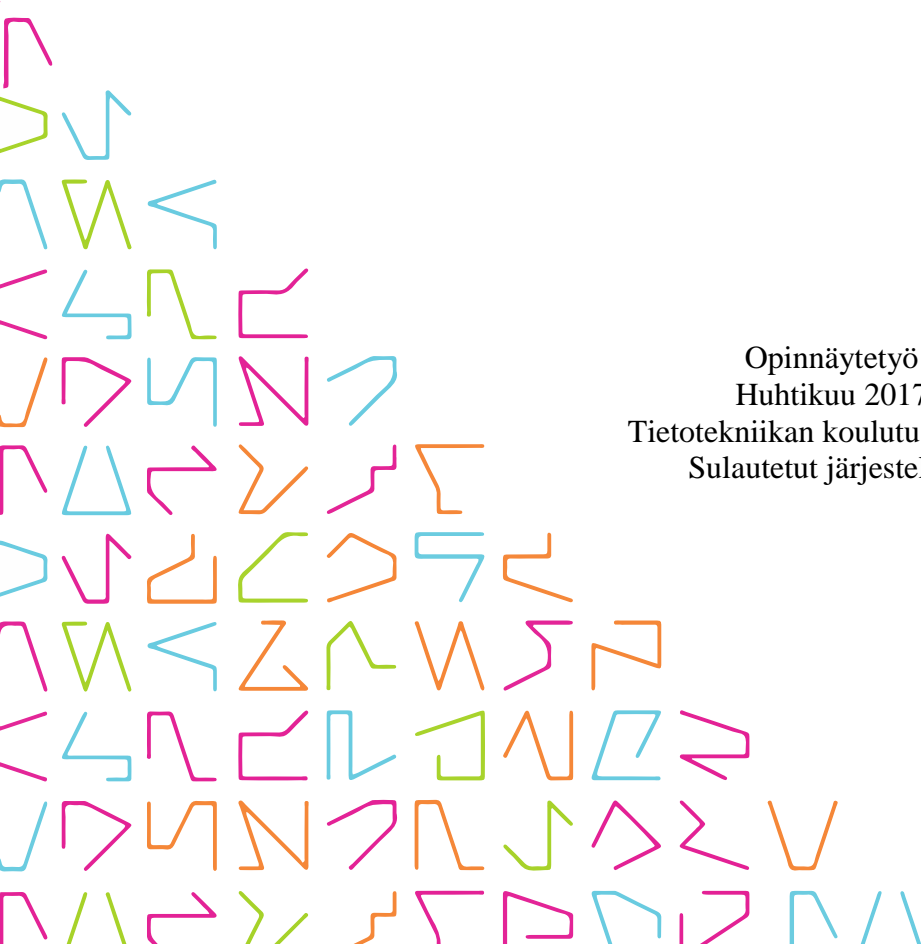


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# BLACK KNIGHT –FLIPPERIN ENTISÖINTI

Kai Mononen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Sulautetut järjestelmät



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Sulautetut järjestelmät

MONONEN, KAI:  
Black Knight –flipperin entisöinti

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli entisöidä Williams Electronicsin valmistama Black Knight -flipperi. Työ toteutettiin yhteistyössä Reprocade Oy:n kanssa ja työn tavoitteeksi asetettiin toimiva ja pelikuntoinen flipperi. Entisöintiprosessi painottui elektroniikan huoltotoimenpiteisiin sisältäen myös kosmeettisesti ja pelin toiminnan kannalta olennaisen mekaniikkaosien ylläpitoa.

Työn aikana flipperin äänikortti, pisteenlaskunäyttö, pop bumper, EOS-kytkimet, kytkin- ja valaisinmatriisi huollettiin. Elektroniikan huollon jälkeen pelin kolikko-ovi asennettiin takaisin paikalleen, taustalasiin lisättiin valaistus, pallonlaukaisimen toimintaa parannettiin ja pelikentältä puuttunut kumilenkki asennettiin paikoilleen. Lopuksi peliä testattiin ja varmennettiin pelin olevan toimintakuntoinen.

Työhön asetetut tavoitteet saavutettiin, ja työn tuloksena tietotaito flippereiden toiminnasta ja elektroniikan huollosta kasvoi merkittävästi.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
ICT Engineering  
Embedded Systems and Electronics

MONONEN, KAI:  
Black Knight Pinball Restauration

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 9 pages  
April 2017

---

The subject of this thesis was to restore a Black Knight pinball machine manufactured by Williams Electronics Inc. The thesis was carried out in cooperation with Reprocade Oy and the goal was to achieve a fully working and functional pinball machine. The restoration process of this thesis consists mainly of electronics maintenance including cosmetic and mechanical service essential for the normal operation of the pinball.

Game's sound card, scoring display, pop bumper, EOS switches, switch matrix and lamp matrix were serviced. The coin door was installed, lamps were added behind the back glass, plunger's functionality was improved and a missing rubber band was added on the playfield after electronics maintenance. After the restauration process the game was tested and functionality was verified.

The goal of the thesis was achieved and knowledge of pinballs and electronics maintenance increased significantly during the process.

---

Key words: pinball, restauration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	FLIPPERIN TOIMINTA .....	8
2.1	Proessorikortti .....	8
2.2	Ohjainkortti .....	8
2.2.1	Valaisin- ja kytkinmatriisi.....	9
2.3	Äänikortti .....	10
2.4	Näytönohjain.....	10
2.5	Diagnostiikka ja asetukset .....	11
2.5.1	Proessorikortin diagnostiikkatesti .....	11
2.5.2	Valaisin-, solenoidi-, ääni- ja kytkintesti .....	12
2.5.3	Pelin asetukset.....	13
3	VALAISINMATRIISIN HUOLTO .....	15
3.1	PIA:n vaihto .....	15
4	ÄÄNIKORTIN HUOLTO .....	18
4.1	Äänikortin diagnostiikkatesti .....	18
4.2	ROM-piirin testaus .....	19
4.3	Digitaal-analogimuuntimen mittaus .....	20
4.4	Kiteen mittaus ja prosessorin vaihto .....	20
4.5	Header-liitinten vaihto .....	22
5	KYTKINMATRIISIN HUOLTO.....	23
5.1	Kytkinrivien mittaus .....	23
5.2	Inverttereiden vaihto .....	24
5.3	Buffereiden vaihto .....	25
6	PISTEENLASKUNÄYTÖN VIALLISET 7-SEGMENTIT .....	27
6.1	Näytönohjainpiirien vaihto .....	28
7	EOS-KYTKINTEN YLLÄPITO.....	30
8	POP BUMPERIN HUOLTO.....	31
9	VIIMEISTELY JA TESTAUS.....	32
9.1	Kolikonohjaimen asennus.....	32
9.2	Taustalasin valaistus .....	33
9.3	Pallonlaukaisin.....	34
9.4	Kumilenkin asennus.....	34
9.5	Testaus .....	34
10	YHTEENVETO .....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET .....	37

Liite 1. Prosessorikortin kokoonpanopiirustus .....	37
Liite 2. Prosessorikortin kytkentäkaavio .....	38
Liite 3. Ohjainkortin kokoonpanopiirustus .....	39
Liite 4. Valaisinmatriisin kytkentäkaavio .....	40
Liite 5. Kytkinmatriisin kytkentäkaavio.....	41
Liite 6. Äänikortin kokoonpanopiirustus.....	42
Liite 7. Äänikortin kytkentäkaavio.....	43
Liite 8. Näytönohjaimen kokoonpanopiirustus .....	44
Liite 9. Näytönohjaimen kytkentäkaavio .....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

ROM	Read Only Memory, lukumuisti, jonka sisältöä voidaan ainoastaan lukea ja sen sisältämä ohjelmakoodi säilyy virrankatkaisun jälkeen
RAM	Random Access Memory, keskusmuisti/työmuisti, johon latautuu ohjelmien käyttämät sovellukset ja niiden tarvitsemat tiedot
Backbox	Flipperin osa, joka sisältää pelin piirilevyt, taustalasin ja pisteenlaskunäytöt
PIA	Peripheral Interface Adapter, mikropiiri, jonka avulla prosessori ohjaa I/O-toimintoja
BCD	Binary Coded Decimal, desimaalinumeroiden binäärimuotoinen esitystapa
7-segmenttinäyttö	Näyttö, joka koostuu seitsemästä yksittäisestä ledistä. Näytön avulla voidaan esittää numeroita tai kirjaimia
Attract-moodi	Flipperin perustila, jonka tarkoituksena on houkutella pelaajia pelaamaan peliä

## 1 JOHDANTO

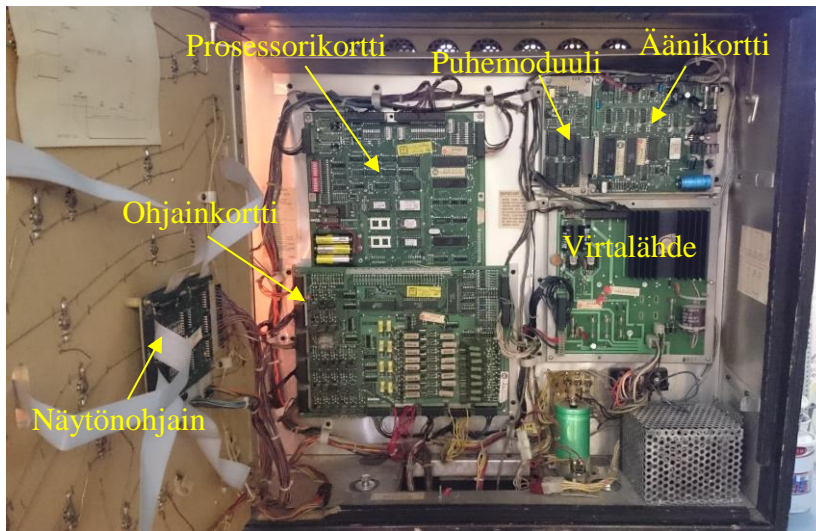
Flippereiden suosio pitää edelleen pintansa harrastelijoiden keskuudessa, vaikka niiden kultakausi on mennyt ohi jo vuosia sitten. Pelit ovat siirtyneet baarien ja huoltoasemien nurkista keräilijöiden autotalleihin ja varastoihin, joissa aktiiviset flipperiharrastelijat ylläpitävät niitä ja pyrkivät elvyttämään flipperikulttuuria.

Virtuaalisten ja edullisempien vaihtoehtojen vallatessa markkinoita, aito ja alkuperäinen flipperi on kuitenkin edelleen vertaansa vailla oleva kokemus. Tällaisesta kokemuksesta harrastuksesta kiinnostunut on valmis maksamaan ja pelin toimintakunnon ylläpitämiseksi harrastelija on valmis näkemään vaivaa. Ulkoisesti ja toiminallisesti hyväkuntoisten kultakauden flippereiden arvo nousee niiden muuttuessa harvinaisemmaksi ja vaikeammaksi saada. Tämän vuoksi ne ovat myös hyvä sijoituskohde ja pätevä harrastelija kykenee jopa pienellä rahallisella panostuksella tekemään taloudellista voittoa entisöimällä flippereitä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli entisöidä Williams Electronicsin vuonna 1980 valmistama Black Knight -flipperi. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Reprocade Oy:n kanssa ja opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin täysin toimiva ja pelikuntoinen flipperi.

## 2 FLIPPERIN TOIMINTA

Black Knight on Williamsin System 7 -sarjan puolijohdeflipperi, joita valmistettiin vuosina 1980-1984. Peli koostuu pelikentästä sekä backboxista. Backboxin sisällä on pelin virtalähde ja pelilogiikka (kuva 1).



KUVA 1. Backbox

### 2.1 Prosessori kortti

Pelin prosessori kortilla sijaitsee Motorolan 6808-prosessori, pisteenlaskunäyttöjen ohjaus, pelilogiikan sisältävät ROM-piirit ja kortin toiminnan testaukseen käytettävä diagnostiikkakytkin.

### 2.2 Ohjain kortti

Ohjain kortilla prosessori kommunikoi pelin I/O-toimintojen kanssa. Toimintoja ovat esimerkiksi kytkinten tilojen lukeminen, lamppujen sytyttäminen ja solenoidien aktivoiminen. PIA-piirit toimivat I/O-toimintojen ja prosessorin välisenä rajapintana, joita luke-  
malla ja joihin kirjottamalla prosessori ohjaa pelin aikaisia tapahtumia.



## 2.2.1 Valaisin- ja kytkinmatriisi

Pelin kytkimien tiloja luetaan ja lamppuja ohjataan matriisien avulla. Matriisissa on 8 riviä ja 8 saraketta, joista jokainen on värikoodattu erivärisillä johtimilla (kuva 2).

COLUMN	1	2	3	4	5	6	7	8	
ROW	YEL-BRN 2J5-8	YEL-RED 2J5-9	YEL-ORN 2J5-6	YEL-BLK 2J5-7	YEL-GRN 2J5-3	YEL-BLU 2J5-5	YEL-VIO 2J5-1	YEL-GRY 2J5-2	
1	RED-BRN 2J7-1	SAME PLAYER SHOOT AGAIN	RIGHT MAGMA-SAVE LAMP	BOTTOM LEFT 3-BANK LAMP	BOTTOM LEFT 3-BANK LOWER ARROW	TOP LEFT 3-BANK LOWER ARROW	LEFT RAMP ROLLUNDER EXTRA BALL WHEN LIT	"2" BONUS	"10" BONUS
2	RED-BLK 2J7-2	BALL IN PLAY	LEFT MAGMA-SAVE LAMP	BOTTOM RIGHT 3-BANK LAMP	BOTTOM LEFT 3-BANK CENTER ARROW	TOP LEFT 3-BANK CENTER ARROW	LEFT LOCK LAMP	"3" BONUS	"20" BONUS
3	RED-ORN 2J7-3	TILT	LEFT OUTLANE	TOP LEFT 3-BANK LAMP	BOTTOM LEFT 3-BANK UPPER ARROW	TOP LEFT 3-BANK UPPER ARROW	NOT USED	"4" BONUS	"30" BONUS
4	RED-YEL 2J7-4	GAME OVER	RIGHT OUTLANE	TOP RIGHT 3-BANK LAMP	2X SCORING	JET BUMPER	NOT USED	"5" BONUS	"40" BONUS
5	RED-GRN 2J7-5	MATCH	RIGHT SPINNER	CENTER LOCK LAMP	BOTTOM RIGHT 3-BANK RIGHT ARROW	TOP RIGHT 3-BANK LOWER ARROW	NOT USED	"6" BONUS	2x
6	RED-BLU 2J7-6	HIGH SCORE TO DATE	RAMP ROLLUNDER	TURNAROUND EXTRA BALL WHEN LIT	BOTTOM RIGHT 3-BANK CENTER ARROW	TOP RIGHT 3-BANK CENTER ARROW	NOT USED	"7" BONUS	3x
7	RED-VIO 2J7-9	CREDITS (PLAY FIELD)	RIGHT INSIDE ROLLOVER	TURNAROUND SPECIAL	BOTTOM RIGHT 3-BANK LEFT ARROW	TOP RIGHT 3-BANK UPPER ARROW	SAME PLAYER SHOOT AGAIN (PLAYFIELD)	"8" BONUS	4x
8	RED-GRY 2J7-8	BONUS BALL TIME	LEFT INSIDE ROLLOVER	LOWER PLAYFIELD EJECT HOLE	3X SCORING	RIGHT LOCK LAMP	"1" BONUS	"9" BONUS	5x

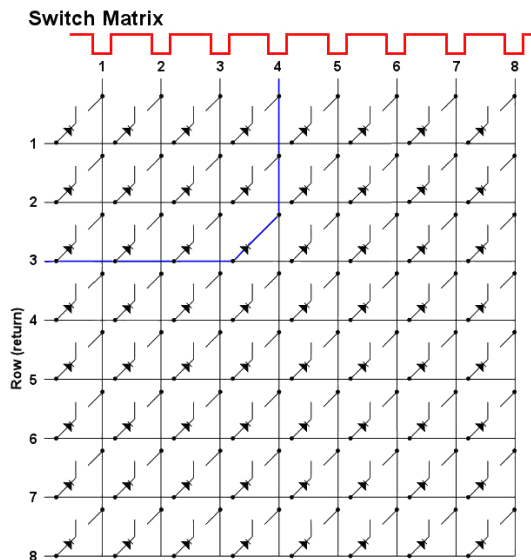
Figure 1. Lamp Matrix

## KUVA 2. Valaisinmatriisi (Black Knight, 1980)

Matriisissa rivit toimivat yleensä paluulinjana maahan. Matriisin avulla saadaan 64 ohjattavaa lamppua ja kytkintä pienellä määrällä komponentteja ja mahdollisimman vähällä johdotuksella.

Kytken sarakelinjoja pulssitetaan 500 kertaa sekunnissa ja jokainen sarake vaihtaa tilaansa 2 ms ajaksi (Switch matrix, 2012). Lamppujen ohjauksessa myös rivilinjoja pulssitetaan. Pulssituksella luodaan kaksi näennäistä kytkintä lamppujen molemmille puolille. Lamppu syttyy molempien kytkinten ollessa kiinni (Lamp matrix, 2012).

Jokaiseen lamppuun ja kytkimeen on yhteydessä estodiodeja, jolla eristetään kytkin tai lamppu muista matriisin osista (kuva 3).



KUVA 3. Kytkinmatriisi (Pinball Rehab, 2012)

Eristyksellä estetään muiden kytkinten tai lamppujen aktivoituminen tai virheellisten kytkintilojen luku. Vikaantunut, irronnut tai oikosulussa oleva diodi on yksi syy matriisin käyttäytymiseen normaalisti poikkeavalla tavalla.

### 2.3 Äänikortti

Äänikortti toimii itsenäisenä kokonaisuutena sisältäen oman prosessorin ja ROM-piirin. Äänikortilla tuotetaan pelin aikaiset ääniefetit. Black Knightissa on myös puhemuoduli, johon on tallennettu puhenäytteitä.

### 2.4 Näytönohjain

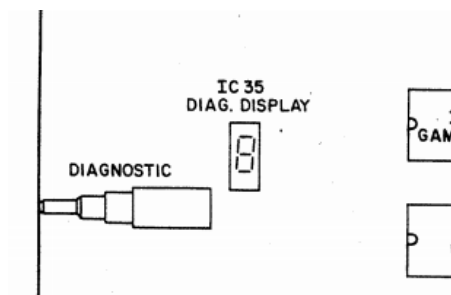
Näytönohjaimella ohjataan pisteenlaskunäyttöjä ja credit/match -näyttöä. Näytönohjain dekodaa prosessorikortin BCD-datan kaasupurkausnäyttöjen 7-segmenteille ja syöttää näytöille vaaditut käyttöjännitteet.

## 2.5 Diagnostiikka ja asetukset

Williamsin System 7 –flipperit sisältävät sisäänrakennettuja diagnostiikkatoimintoja, joilla voidaan tarkastaa pelin toimintaa ja säätää pelin asetuksia.

### 2.5.1 Prosessorikortin diagnostiikkatesti

Prossessorikortin diagnostiikkakytkintä painettaessa kortin sisäinen testausohjelma testaa pelin ROM- ja RAM-piirit. Mikäli ohjelma havaitsee vian, tulostetaan virhekoodi kytkimen viereiseen 7-segmenttinäyttöön (kuva 4)



KUVA 4. Diagnostiikkakytkin ja 7-segmenttinäyttö (Williams, 1980)

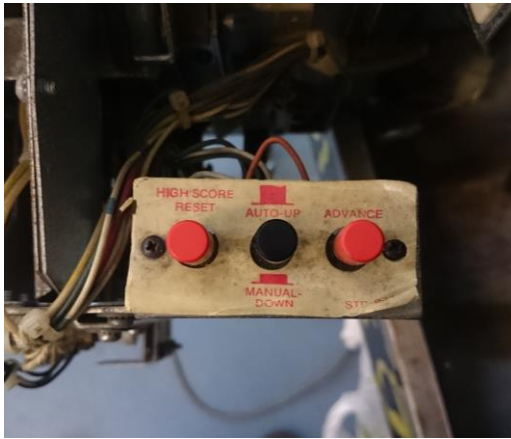
Taulukossa 2 on esitetty virhekoodien selitykset (Williams 1980, 19).

TAULUKKO 2. Virhekoodien selitykset

Virhekoodi	Selitys
0	Test Passed
1	IC13 RAM Faulty
2	IC16 RAM Faulty
3	IC17 ROM 2 Faulty
4	IC17 ROM 2 Faulty
5	IC20 ROM 1 Faulty
6	IC14 Game ROM 1 Faulty
7	IC26 Game ROM 0 Faulty
8	IC19 CMOS RAM or Memory Protect Cir- cuit Faulty
9	Coin-door closed, Memory Protect Cir- cuit Faulty or IC19 CMOS RAM Faulty

### 2.5.2 Valaisin-, solenoidi-, ääni- ja kytkintesti

Pelin kolikko-oven takana on ohjauspaneeli (kuva 5), jolla voidaan testata pelikentällä olevia lamppeja, solenoideja ja kytkimiä.



KUVA 5. Ohjauspaneeli

Valaisintestissä peli välkyttää kaikkia flipperin valaisinmatriisin valoja noin sekunnin välein, lukuun ottamatta jatkuvasti päällä olevia yleisvaloja. Testillä on helppo havaita, jos jokin osa valaisinmatriisista on viallinen. Solenoiditesti toimii valaisintestin tavoin, mutta solenoidit aktivoidaan vuorotellen.

Kytkintesti näyttää vuorotellen credit/match –näytöllä (liite 8) kaikki kytkimet, jotka peli tulkitsee olevan kiinni. Black Knightin tapauksessa kytkinmatriisiin ei kuulu normaalisti kiinni olevia kytkimiä, joten pelin toimiessa oikein, testi ei tulosta näytölle mitään.

Äänitesti aktivoi äänikortille tallennetut ääniefektit vuorotellen lukuun ottamatta puhe-moduulin ääninäytteitä. Ääninäytteet voidaan aktivoida äänikortin erillisellä diagnostiikkatestillä.

### 2.5.3 Pelin asetukset

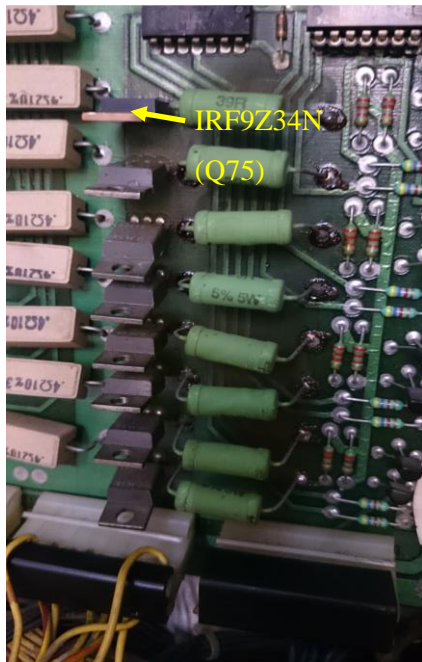
Asetuksia voidaan muuttaa ohjauspaneelin avulla. Kuvassa 6 on esitettyinä pelin sääntöihin ja kulkuun vaikuttavat asetukset.

FUNCTION	DESCRIPTION	NOTES	*FACTORY SETTING
13	Backup High Score to Date [HSTD Credits Awarded]	1	2,500,000
14	Replay 1 Score [Times exceeded]	2	1,000,000
15	Replay 2 Score [Times exceeded]	2	2,000,000
16	Replay 3 Score [Times exceeded]	2	0
17	Replay 4 Score [Times exceeded]	2	0
18	Maximum Credits	3	30
19	Standard and Custom Pricing Control (00-08)	4	01/03
20	Left Coin Slot Multiplier	4	03/09
21	Center Coin Slot Multiplier	4	12/45
22	Right Coin Slot Multiplier	4	03/18
23	Coin Units Required for Credit	4	04/05
24	Coin Units Bonus Point	4	15/45
25	Minimum Coin Units	4	00
26	Match: 00 = Match ON; 01 = Match OFF	—	00
27	Special: 00 = Awards Credit; 01 = Awards Bonus Ball; 02 = Awards Points	—	00
28	Replay Scores: 00 = Awards Credit; 01 = Awards Extra Ball or Bonus Ball	—	00
29	Maximum Plumb Bob Tilts	—	03
30	Number of Balls(03 or 05)	—	03
31	Magna-Save Feature: 03-09 = on time in seconds	5	05
32	Attract Mode Sound; 00 = ON; 01 = OFF	—	00
33	Drop Target Timing: 00-09 = 6-15 seconds	—	03
34	"Bonus Ball" Time: 00 = not allowed; 01-99 = Time in seconds	—	30
35	Bell: 00 = Bell OFF; 01 Bell ON	—	01
36	Extra Ball Difficulty 00 = 1st EB from pair of drop target banks 01 = All EBs from four drop target banks	—	00
37	Multi-Ball Difficulty: 00 = Liberal; 01 = Moderate	—	00
38	Locked Ball lamps: 00 = Memory; 01 = No Memory	—	01
39	Background Sound: 01 = ON; 00 = OFF	—	01
40	High Score Credits	1	03
41	Maximum Extra Balls at one time (00 = No Extra Ball)	—	04

KUYA 6. Pelin asetukset (Williams, 1980)

### 3 VALAISINMATRIISIN HUOLTO

Black Knightin valaisinmatriisin lamput eivät toimineet. Silmämääräisen tutkimisen jälkeen havaittiin lamppujen sarakeohjaimena käytettävän transistorin (Q75, TIP42) olevan lähes irti juotoksistaan. Transistori oli aikaisemmin vaihdettu uuteen katkaisemalla alkuperäisen komponentin jalat ja juottamalla uusi komponentti vanhoihin komponenttialkoihin. Komponentti poistettiin ja tilalle vaihdettiin MOSFET IRF9Z34N (kuva 7).

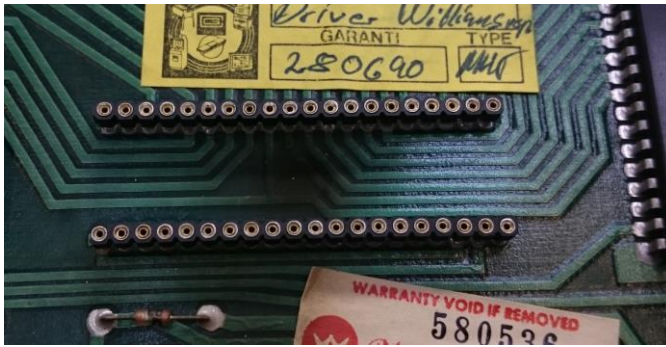


KUVA 7. Vaihdettu MOSFET

Transistorin vaihdon jälkeen suurin osa valaisinmatriisin valoista toimi hetkellisesti ja kuvan 7 vihreät 27  $\Omega$  vastukset (R149-R156) alkoivat kuumentua todella kuumaksi.

#### 3.1 PIA:n vaihto

Logiikka-anturilla havaittiin valaisinmatriisia ohjaavan PIA:n (IC10, liite 5) usean ulos-  
tulopinnan olevan kolmitilassa. PIA-piiri poistettiin piirilevyltä ja tilalle juotettiin piiri-  
kannat (kuva 8)



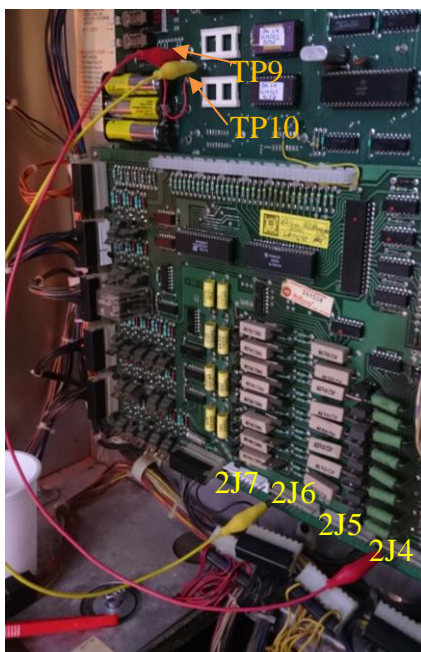
KUVA 8. PIA:n piirikannat

Piirikantojen juottamisen jälkeen uusi PIA laitettiin piirikantoihin (kuva 9)



KUVA 9. PIA:n piirikannat

Piirin vaihdon jälkeen piirin toiminta testattiin syöttämällä hauenleuoilla lamppujen B+ liittimeen 2J4 5 V prosessorikortin testipisteestä TP9 ja maadoittamalla lamppujen maaliitin 2J6 prosessorikortin maan testipisteeseen TP10 (kuva 10).



KUVA 10. PIA:n testaus



Logiikka-anturilla mitattiin kuvassa 10 esitettyjen lamppujen riviohjainliittimen 2J7 ja sarakeohjainliittimen 2J5 pinnien tilat valotestin aikana. Liittimen 2J7 pinnit antavat pulsin noin yhden hertsin taajuudella ja liittimen 2J5 pinnit pysyvät 1-tilassa. Lamppujen liittimet laitettiin takaisin ja testattiin uudestaan. Vastukset eivät enää kuumentuneet ja kaikki muut lamput toimivat oikein, lukuun ottamatta 2J5 pinniin 1 kytketyn sarakkeen lamppuja.

Yleismittarilla tarkistettiin liittimen 2J5 pinniä 1 vastaavan kelta-violetin johtimen johtavuus pelikentän alapuolella. Johdin oli oikosulussa, koska johtimen eristevaippa oli haljennut. Halkeama korjattiin kutistesukalla, jonka jälkeen kaikki lamput toimivat halutulla tavalla.

## 4 ÄÄNIKORTIN HUOLTO

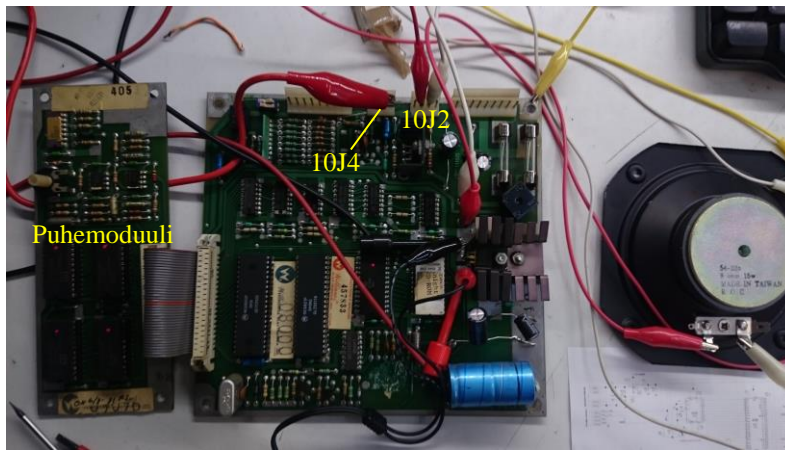
Äänikortista ei kuulunut ääniä pelin eikä äänitestin aikana. Syöttöjännitteeksi mitattiin syötön nollan ja vaiheen väliltä 36 V:n vaihtojännite, joka vastaa ohjekirjan mukaista syöttöjännitettä. Äänikortin 12 V:n testipisteestä mitattiin noin 10 V:n tasajännite, jonka seurauksena viaksi epäiltiin iän myötä vikaantuneita lasiputkisulakkeita tai 3N253-tasasuuntaajaa (liite 6). Sulakkeet F1 ja F2 vaihdettiin uusiin ja sulakekantoja puhdistettiin paremman kontaktin saamiseksi (kuva 11). Hapettuneet kannat ja huonokuntoiset sulakkeet voivat toimia vastuksena ja alentaa syöttöjännitettä.



KUVA 11. Vaihdetut sulakkeet

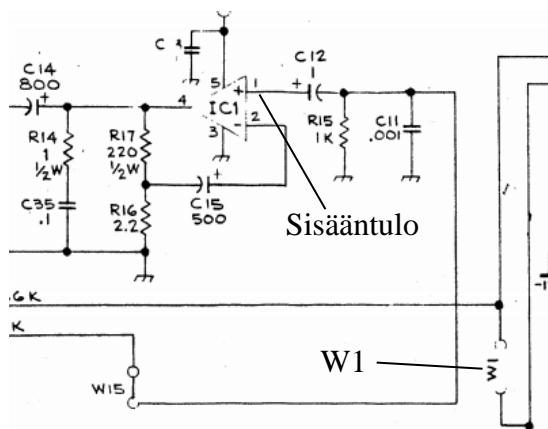
### 4.1 Äänikortin diagnostiikkatesti

Äänikortti ja puhemuodi irrotettiin flipperin backboxista ja nostettiin työpisteelle. Jännitelähteestä syötettiin testipisteisiin TP1 12 V, TP2 -12 V ja TP4 5 V (liite 6). Jännitteiden syöttäminen testipisteisiin ohitti tasasuuntaajan, ja äänikortille pystyttiin syöttämään sen vaatimat jännitteet. Äänikortin liittimeen 10J2 kytkettiin kaiutinelementti testaamista varten ja äänenvoimakkuuden säätö ohitettiin oikosulkemalla liittimen 10J4 pinnit 1 ja 2 hauenleualla (kuva 12).



KUVA 12. Äänikortin testaus

Diagnostiikkakytkintä SW1 (liite 6) painamalla kaiuttimesta ei kuitenkaan kuulunut ääntä. Puhemuoduuli irrotettiin ja jumpperi W1 juotettiin paikalleen, jotta pelkät ääniefektit ovat käytössä. Tämän avulla pystyttiin poissulkemaan vika puhemuoduulista ja toteamaan vian olevan äänikortilla. Logiikka-anturilla syötettiin audiovahvistinpiiriin (TDA2002V, IC1) sisääntuloon (kuva 13) 400 Hz testisignaalia, joka kuului puhtaasti kaiuttimesta. Vahvistinpiiri ei näin ollen ollut viallinen.



KUVA 13. Audiovahvistinkytkentä (Williams 1980, muokattu)

## 4.2 ROM-piirin testaus

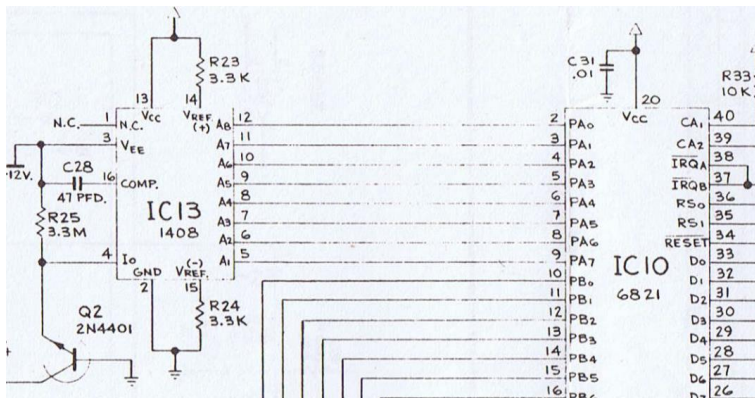
Äänikortin ROM-piiri IC12 (liite 6) testattiin irrottamalla se piirikannasta ja lukemalla sen sisältämä ohjelmakoodi kuvan 14 Dataman-48LV -ohjelmointilaitteella. Ohjelmakoodin luku onnistui ja voitiin olettaa ROM-piirin olevan ehjä.



KUVA 14. Dataman-48LV -ohjelmointilaite

### 4.3 Digitaal-analogimuuntimen mittaus

Logiikka-anturilla mitattiin D/A-muuntimen (IC13) sisääntulojen A1-A8 tilaksi 0-tila diagnostiikkatestin aikana. Sisääntuloja ohjataan 6821 PIA -piirillä (IC10), jonka epäiltiin olevan viallinen. Kuvassa 15 on esitettyä D/A-muuntimen kytkentä.

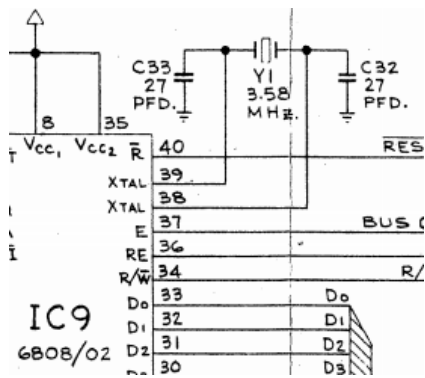


KUVA 15. D/A-muuntimen kytkentäkaavio (Williams 1980)

Piirilevylle juotettiin piirikanta ja PIA-piiri vaihdettiin. Vaihto ei kuitenkaan ratkaissut ongelmaa.

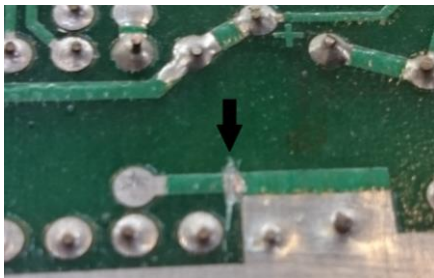
### 4.4 Kiteen mittaus ja prosessorin vaihto

3,58 MHz:n kiteen (Y1) toiminta varmistettiin oskilloskoopilla ja 6808-prosessorin (IC9) pinnejä mitattiin logiikka-anturilla. Kuvassa 16 on esitettyä kiteen kytkentä prosessorille.



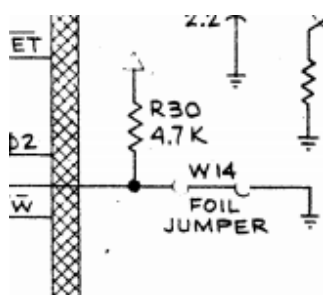
KUVA 16. Kiteen kytkentäkaavio (Williams 1980)

Proessori oli jatkuvassa pysähdystilassa ja se vaihdettiin uuteen 6802-prosessoriin. Proessorin mallin vaihtamisen vuoksi W14-foliojumpperi täytyi katkaista (kuva 17).



KUVA 17. Katkaistu jumpperi

Jumpperin katkaisu nostaa prosessorin ram enabled -pinnin (RE) vastuksen R30 kautta 1-tilaan (kuva 18).

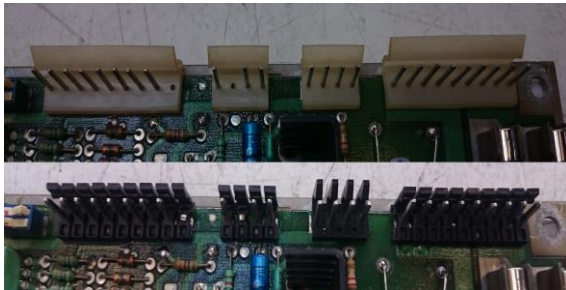


KUVA 18. RE-pinnin ohjaus (Williams 1980)

Proessorin vaihto korjasi ongelman ja äänet kuuluivat normaalisti diagnostiikkatestissä. W1-jumpperi poistettiin ja äänimoduuli kytkettiin paikoilleen. Puhe ja ääniefektit toimivat moitteettomasti.

#### 4.5 Header-liitinten vaihto

Ennen backboxiin sijoittamista vanhat valkoiset header-liittimet vaihdettiin kontaktiongelmin ennaltaehkäisemiseksi (kuva 19).



KUVA 19. Vaihdetut header-liittimet

Neliönmuotoisella liitinpinnillä saadaan parempi kontaktipinta verrattuna aikaisempiin ympyränmuotoisiin pinneihin.

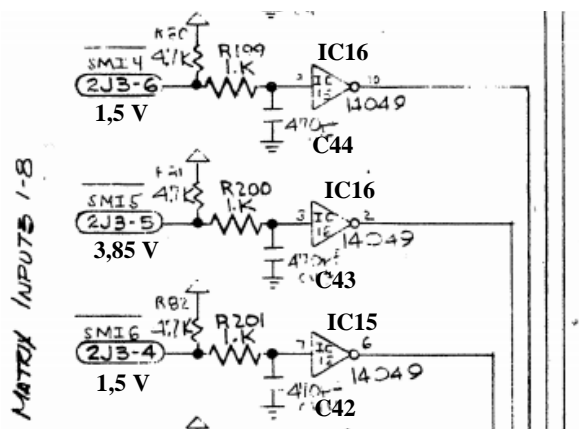
Äänikortti asennettiin takaisin ja toiminta varmistettiin uudestaan. 12 V:n testipisteestä saatiin kuitenkin yhä noin 9,7 V äänikortin toimiessa oikein. Syy jännitteen alenemiseen ei selvinnyt. Äänikortti toimi kuitenkin työpisteellä stabiilisti jännitteen pysyessä suurempana kuin 8,3 V.

## 5 KYTKINMATRIISIN HUOLTO

Pelin ollessa attract-moodissa solenoidi, jolla pallot nostetaan rampille odottamaan pallonlaukaisimelle pääsyä, aktivoitui noin sekunnin välein. Solenoidia ohjaava kytkin tarkastettiin oikosulun varalta. Ongelmaa etsittiin solenoidi- ja kytkintestin avulla. Kytkintestissä havaittiin usean kytkimen olevan suljettuina, vaikka kytkimet olivat pelikentällä avoimena.

### 5.1 Kytkinrivien mittaus

Kytkinmatriisin rivit ovat yhteydessä ohjainkortin liittimeen 2J3. Liittimen pinnejä mittaamalla havaittiin kytkinrivien 6 ja 4 jännitteiden olevan 1,5 V muiden pinnien jännitteiden ollessa 3,85 V (kuva 20). Alhaisten jännitteiden vuoksi pelin logiikka tulkitse kytkinten olevan 0-tilassa.



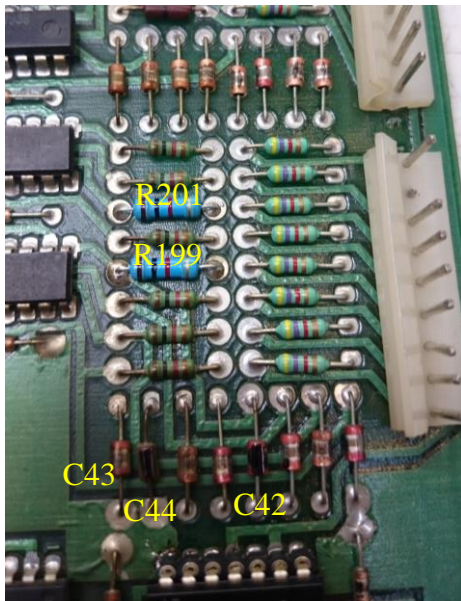
KUVA 20. Kytkinrivien sisääntulokytkentä (Williams 1980, muokattu)

Syyksi jännitteen alenemiseen epäiltiin 470 pF kondensaattoreita C44 ja C42. Kondensaattorit mitattiin katkaisemalla komponentin toinen jalka piirilevyiltä ja mittaamalla kapasitanssi komponentin jaloista komponenttitestillä. Normaalisti toimivan rivin kondensaattori C43 mitattiin vertailukohteeksi. Taulukossa 1 on esitettyä kondensaattorien mittaustulokset.

TAULUKKO 1. Kondensaattorien mittaustulokset

Kondensaattori	Kapasitanssi
C44	685 pF
C42	720 pF
C43	702 pF

Tulokset eivät vastanneet komponenteissa ilmaistua kapasitanssia sillä komponentit eivät olleet irti piirilevytä. Testaus antoi kuitenkin suuntaa antavan tuloksen, josta olisi ilmennyt, mikäli komponentit olisivat toimintakyvyttömiä. Varmistukseksi kondensaattori C42 juotettiin piirilevytä ja mitattiin komponenttiterillä uudelleen. Kapasitanssiksi saatiin 485 pF, joka vastaa lähes komponentissa ilmoitettua arvoa. 1 k $\Omega$  vastukset R201 ja R199 vaihdettiin (kuva 21) jännitteiden pysyessä edelleen matalana.

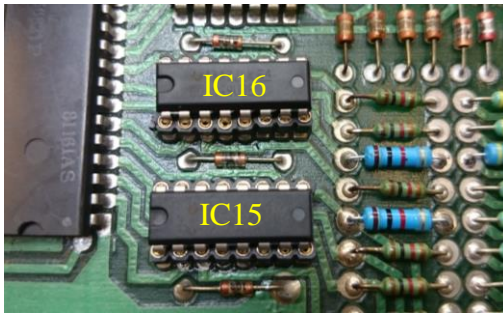


KUVA 21. Vaihdetut vastukset

## 5.2 Inverttereiden vaihto

Ongelman jatkuessa, epäiltiin kytkinrivien tiloja inverttoivien MC14049UB-inverttereiden IC16 ja IC15 olevan vaurioituneet (liite 3). Vanhat invertterit korvattiin CD4049UBE-invertterillä (kuva 22), jonka ominaisuudet vastaavat alkuperäisiä.





KUVA 22. CD4049UBE-invertterit

Inverttereiden vaihdon jälkeen jokaisen kytkinrivin sisääntulo oli 3,85 V ja virheellisesti toiminut solenoidi ei enää aktivoitunut attract-tilassa. Kytkintestissä kaikki kytkimet olivat avoimena, mikäli kytkimiä ei painanut kiinni. Peli testattiin pelaamalla ja havaittiin pelin menevän tilt-tilaan, jos kytkimet 41 ja 42 olivat kiinni.

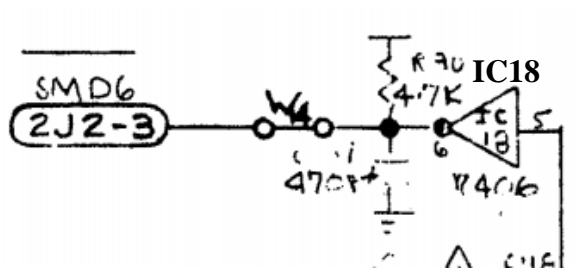
Kytkimen 41 rivi on yhteydessä pelikentällä alla olevaan heilurikytkimeen ja kytkimen 42 rivi on yhteydessä kytkimeen (ball roll tilt), jotka aktivoituvat, jos flipperiä kallistetaan (kuva 23). Tilt-tilassa pelin mailat kytkeytyvät pois käytöstä ja pelaaja menettää pelissä olevan pallon. Tilt-tilalla estetään huijaaminen pelissä ohjaamalla pallon liikkeitä kallistamalla ja nostamalla flipperiä.



KUVA 23. Tilt-kytkimet

### 5.3 Buffereiden vaihto

Kytkinsarakkeiden tiloja inverttoivien SN7406-puskuripiirien IC18 ja IC17 (liite 3) jalkoja mitattiin yleismittarilla ja havaittiin IC18 pinnin 5 sisääntulon kulkevan inverttoimattomana ulostulopinnissä 6 (kuva 24). Ulostulolla ohjataan sarakkeen 6 tilaa, johon kytkimet 41 ja 42 ovat yhteydessä.

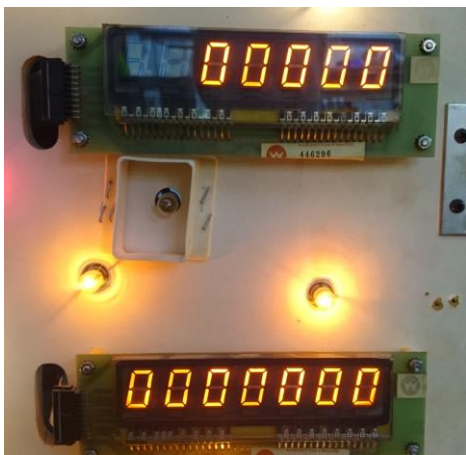


KUVA 24. Sarakkeen 6 ohjauskytkentä (Williams 1980, muokattu)

Sarake 6 oli jatkuvassa 0-tilassa kytkimiä ohjaavan PIA:n IC11 (liite 3) ulostulosta riippumatta. IC18 vaihdettiin uuteen SN7406-piiriin ja tulevaisuuden ongelmien ennaltaehkäisemiseksi myös IC17-piiri vaihdettiin. Vaihdon jälkeen sarakkeen invertointi toimi oikein, eikä aiheuttanut enää tilt-tilaan joutumista pelin aikana.

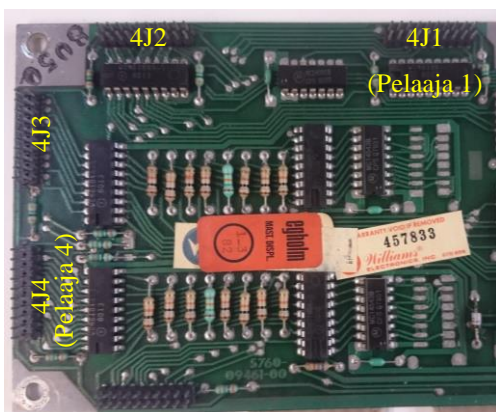
## 6 PISTEENLASKUNÄYTÖN VIALLISET 7-SEGMENTIT

Pelaajan kaksi pisteenlaskunäytön miljoonaa ja kymmentä tuhatta pistettä vastaavat 7-segmenttinäytöt eivät toimineet (kuva 25).



KUVA 25. Vikaantuneet segmentit

Pelaajan kaksi ja kolme näyttömoduulit vaihdettiin keskenään pitäen näyttöjen lattakaapelit paikoillaan näytönohjaimen liittimissä 4J2 kakkospelaajalle ja 4J3 kolmospelaajalle (kuva 26).

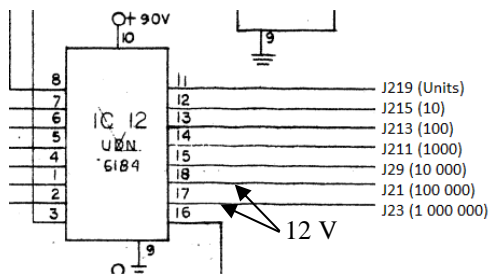


KUVA 26. Näytönohjaain

Ongelma pysyi edelleen kakkospelaajan näytössä, joten todettiin vian olevan näytön kytkevässä lattakaapelissa tai näytönohjaimen osassa, joka ohjaa kakkospelaajan näyttöä. Lattakaapelin vaihtaminen ei korjannut ongelmaa.

## 6.1 Näytönohjainpiirien vaihto

Yleismittarilla mitattiin toimivan ja vikaantuneen näytön pinnien jännitteet näytönohjaimella ja niiden tuloksia vertailtiin keskenään. Havaittiin, että pelaajan kaksi näytönohjauspiirin (UDN-6184A, IC12) miljoonaa ja kymmentä tuhatta pistettä vastaavien segmenttien pinnien 17 ja 18 jännitteet olivat noin 12 V (kuva 27) kun vertailukohteena toimineen piirin jännitteet olivat noin 19 V.



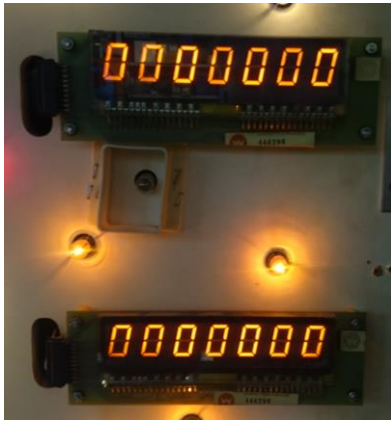
KUVA 27. IC12 kytkentä (Williams 1980, muokattu)

Pelaajan neljä pisteenlaskunäyttö on tuhoutunut jossain vaiheessa flipperin elämänkaarta. Suuren hinnan ja vaikean saatavuuden vuoksi päätettiin, että vikaantunut kakkospelaajan näytönohjauspiiri IC12 vaihdetaan nelospelaajan näytönohjauspiiriin IC7 tilalle ja IC7 IC12:sta tilalle (kuva 28).



KUVA 28. Vaihdetut piirit

Vaihdon jälkeen kakkospelaajan näyttöjen kaikki segmentit toimivat normaalisti (kuva 29) ja jännitteet pinneissä olivat kohonneet vertailukohdetta vastanneeseen 19 volttiin. Piireihin juotettiin piirikannat, jotta ne ovat tulevaisuudessa helppo vaihtaa etenkin, jos nelospelaajan näyttö päätetään uusia.



KUVA 29. Toimiva pisteenlaskunäyttö

## 7 EOS-KYTKINTEN YLLÄPITO

Noin 90-luvun alkuun asti flippereiden mailoissa käytettiin EOS-kytkimiä (End of Stroke) vähentämään mailoja ohjaavan solenoidin virrankulutusta, kun mailaa pidetään yläasennossa (kuva 30). Pitkäaikainen suuri virta solenoidin kelassa voi aiheuttaa sulakkeen palamisen, ohjaustransistorin tai solenoidin kelan tuhoutumisen. (EOS (End of Stroke) Switch, 2012).



KUVA 30. EOS-kytkin

Black Knightin tapauksessa EOS-kytkimet ovat normaalisti kiinni olevia lehtikytkimiä, jotka avautuvat, kun mailan liikerata lähestyy yläasentoa. Kytkinkontaktit hapettuvat ja likaantuvat ajan kuluessa, jolloin niiden läpi kulkeva virta heikkenee. Sen seurauksena myös mailojen lyöntiteho heikkenee. Kytkimiä taivutettiin asentoon, jossa ne aukeavat mahdollisimman lähellä mailan ääriasentoa, jotta saataisiin maksimiteho mailan koko liikkeen ajaksi. Lisäksi kytkinten kontaktit viilattiin puhtaiksi (kuva 31).

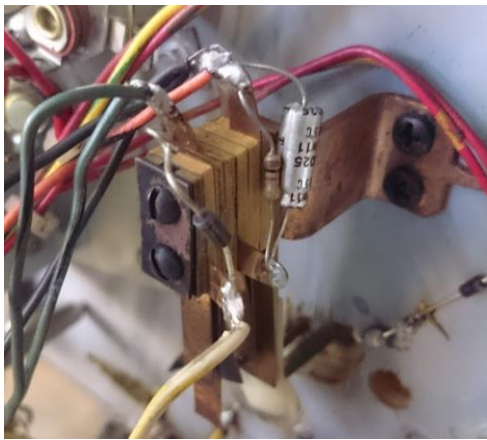


KUVA 31. Viilattu EOS-kytkin

Huollon jälkeen mailat toimivat huomattavasti lähtötilannetta paremmin ja tehokkaammin.

## 8 POP BUMPERIN HUOLTO

Flipperin pelikentän pop bumper ei aktivoitunut pallon osuessa sen kaulukseen. Pop bumperin kaulus on yhteydessä pelikentän alla olevaan lehtikytkimeen (kuva 32), joka sulkeutuu, kun pallo osuu bumperin kaulukseen. Sulkeutunut kytkin aktivoi solenoidin, joka laukaisee pallon taaksepäin. Lehtikytkimen toinen kontakteista oli vääntynyt, jonka seurauksena kauluksen liikerata ei riittänyt yhdistämään kontakteja. Vääntynyt kontakti taitutettiin takaisin alkuperäiseen asentoon ja molemmat kontaktit puhdistettiin.



KUVA 32. Pop bumperin lehtikytkimet

Bumperin sisällä oleva hehkulamppu ei palanut sillä toinen johtimista oli irronnut. Tilalle vaihdettiin modernimpi valaisinkanta ja vähemmän virtaa kuluttava LED-valaisin (kuva 33).

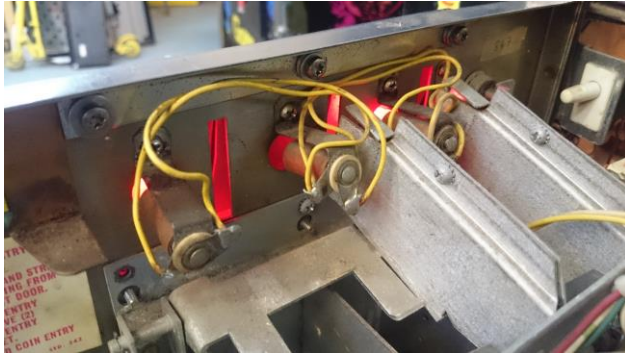


KUVA 33. Pop bumperin LED-valaisin

## 9 VIIMEISTELY JA TESTAUS

### 9.1 Kolikonohjaimen asennus

Kolikko-oven kolikonohjaimet asennettiin takaisin puhdistuksen jälkeen ja kolikko-reikien valaisinkantoihin lisättiin punaiset LED-lamput (kuva 34).



KUVA 34. Kolikko-oven valaisimet

Peli toimii ilmaiseksi, joten kolikontunnistusmekanismeja ei asennettu paikoilleen ja kolikkoreiät peitettiin Williamsin peitelevyillä ja alumiinilevyllä (kuva 35).

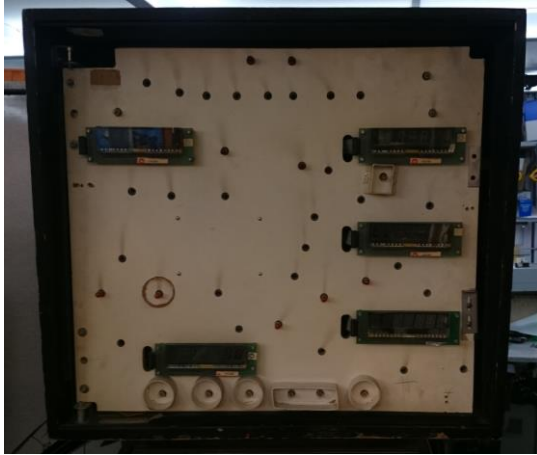


KUVA 35. Peitelevyt



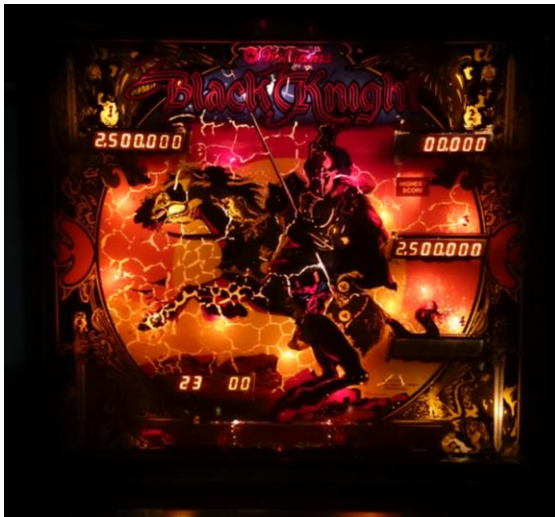
## 9.2 Taustalasin valaistus

Black Knightin taustalasin takaa puuttui suurin osa taustalasin valaisevasta yleisvalaistuksesta ja muutama pelin aikana välkkyvä efektivalo (kuva 36).



KUVA 36. Puuttuvat hehkulamput

Tyhjiin lampunkantoihin lisättiin taustalasin taidetta mukaillen sopivan värisiä hehkulamppuja (kuva 37) ja testattiin efektivalojen toiminta pelikäytössä.



KUVA 37. Valaistus ja taustalasi

### 9.3 Pallonlaukaisin

Pallonlaukaisimen jousi, kaulus ja suojakumi vaihdettiin uusiin (kuva 38), sekä varsi puhdistettiin rasvasta ja liasta ennen kuin se asennettiin takaisin paikoilleen. Suojakumi suojaa palloja naarmuuntumiselta ja kolhuilta palloa laukaistaessa.



KUVA 38. Jousi, suojakumi ja kaulus

### 9.4 Kumilenkin asennus

Pelikentältä puuttui kumilenkki ja lenkin kiinnityspylväs, jonka seurauksena pallo juuttui satunnaisesti mailan ja rampin väliin pelin aikana. Lenkin lisäämisen jälkeen (kuva 39) pallo pysyi liikkeessä eikä aiheuttanut enää pelikatkoksia.



KUVA 39. Kumilenkki ja kiinnityspylväs

### 9.5 Testaus

Peliä testattiin pitämällä sitä attract-moodissa vuorokauden ajan ja pelaamalla sitä tasaisin väliajoin. Testaaminen simuloi normaalia käyttöä, jonka pelin tulee kestää ongelmitta. Peliä kallistettiin ja heilutettiin pelaamisen aikana, jolla testattiin liitinten ja juotosten kestävyys etenkin silloin, kun flipperiä halutaan kuljettaa. Peli suoriutui testeistä moitteettomasti.

## 10 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä tarkasteltaessa jälkepäin, nousee muutamia asioita päällimmäisenä esille. Suurimman osan haasteista tuotti kokemattomuus flippereistä ja niiden toiminnasta. Vianetsintä vaati ehdottomasti suurimman osan työssä käytettävästä ajasta ja eri kokonaisuuksien korjaaminen paljasti uusia vikoja muilta osa-alueilta. Uusien komponenttien toimitusajat pidensivät myös omalta osaltaan työn valmistumista. Ongelmista ja esteistä huolimatta opinnäytetyö saatiin päätökseen odotettua nopeammin ja sille asetetut tavoitteet saavutettiin.

Entisöintiprosessi kasvatti merkittävästi tietämystä elektroniikasta ja etenkin flippereiden toiminnasta. Vianetsintätaidot karttuivat suuresti ja erilaisten mittalaitteiden käyttötaidot parantuivat entisestä. Black Knightiin on myös erinomaisesti saatavilla kytkentäkaavioita ja muuta dokumentaatiota internetistä. Flippereille on lisäksi olemassa aktiivisia harrastelijaryhmiä, joiden keskustelupalstoilla ja YouTube-kanavilla on paljon informaatiota peleistä ja ongelmanratkaisusta. Harrastelijoiden tuottamasta sisällöstä, kuten myös Reprocade Oy:n Toni Cavénin ja Teemu Kiiskilän ammattitaidosta, oli paljon apua vianetsinnässä ja ongelmien ratkaisussa.

## LÄHTEET

EOS (End of Stroke) Switch. Luettu 15.3.2017

<http://www.pinballrehab.com/1-articles/pinball-101/terminology/137-eos-end-of-stroke-switch>

Switch Matrix - Theory and Troubleshooting. Luettu 18.4.2017

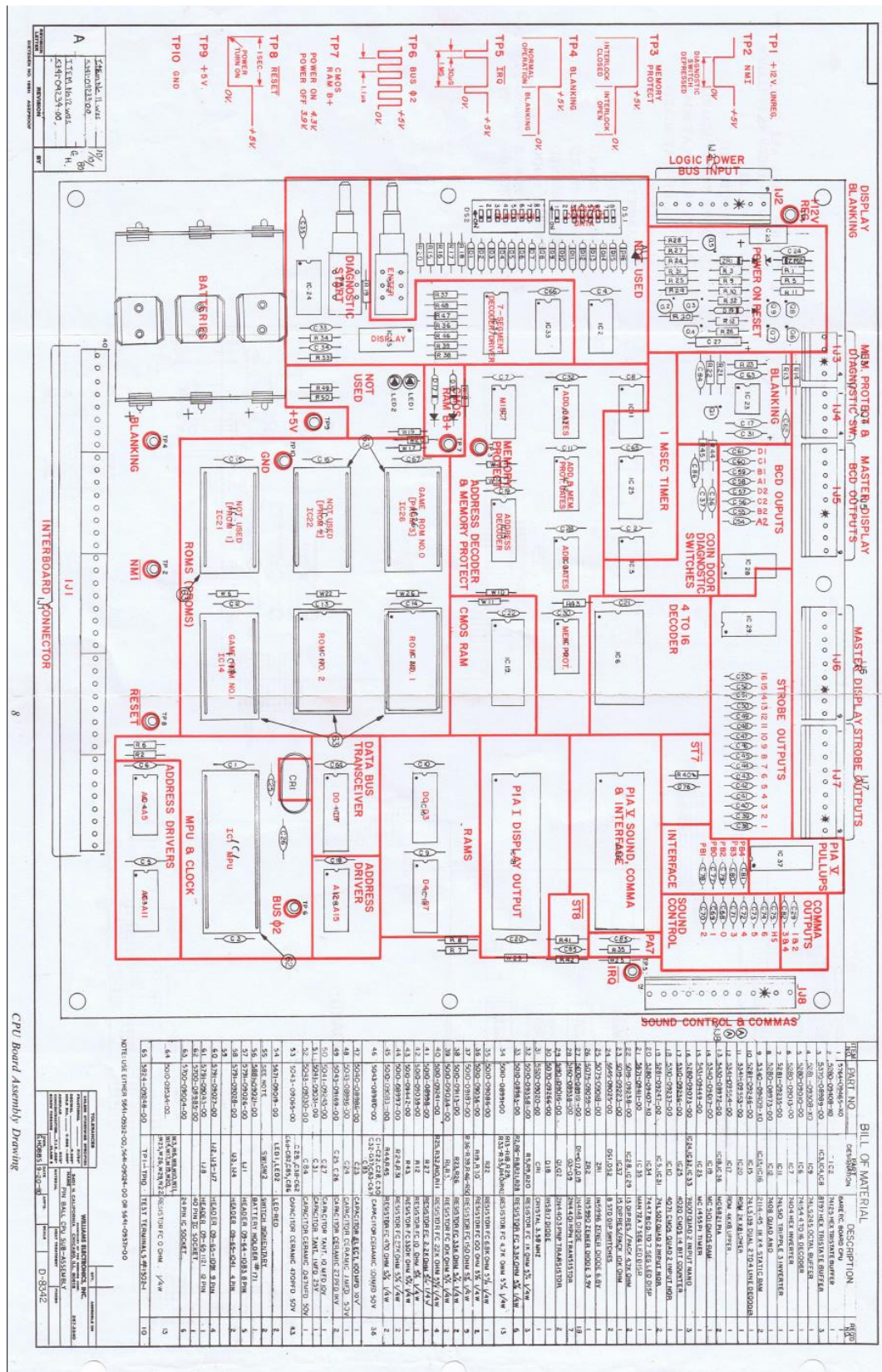
<http://pinballrehab.com/1-articles/solid-state-repair/repair-guides/146-switch-matrix-theory-and-troubleshooting>

Lamp Matrix - Theory and Troubleshooting. Luettu 18.4.2017

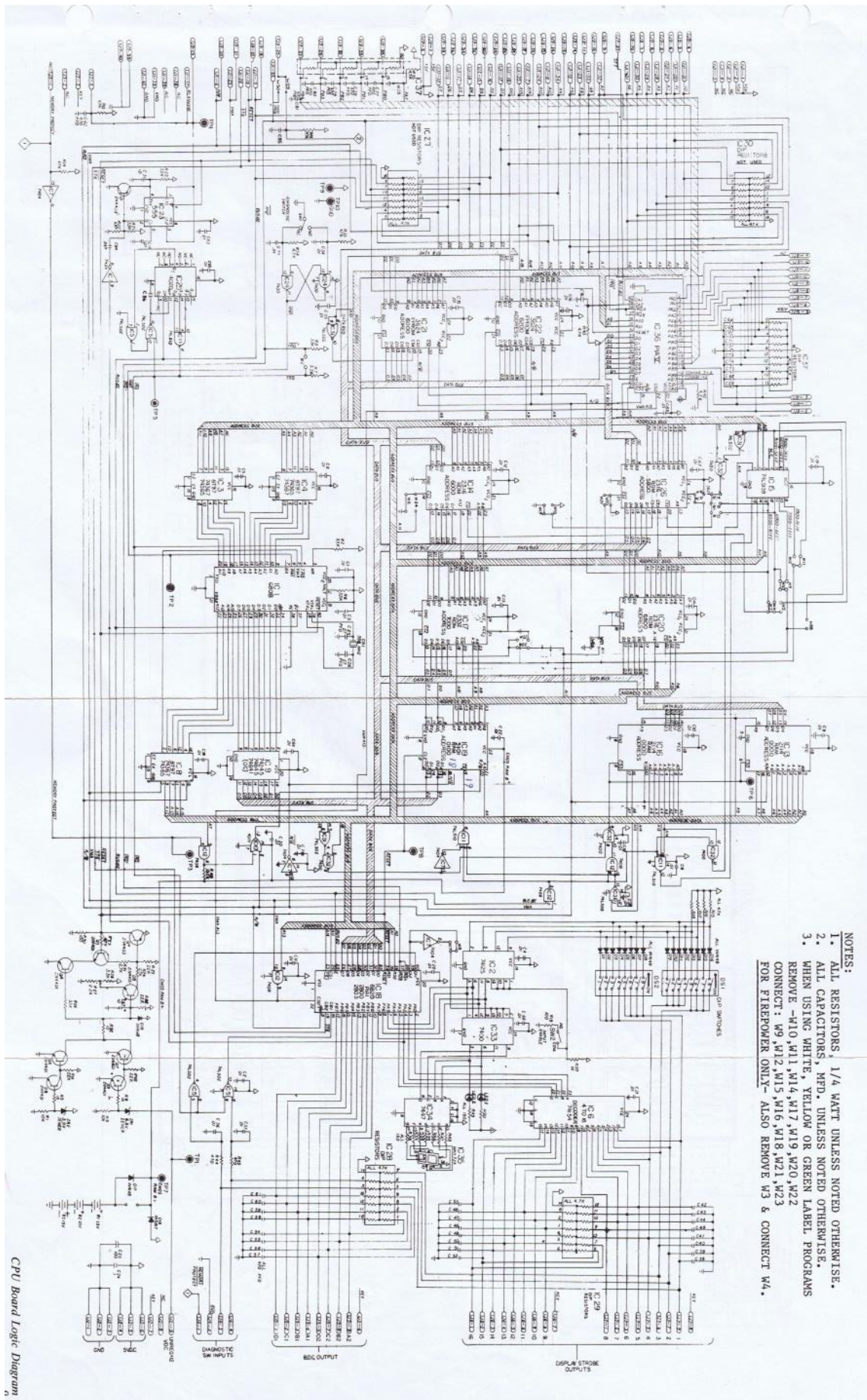
<http://pinballrehab.com/1-articles/solid-state-repair/repair-guides/148-lamp-matrix-theory-and-troubleshooting>

Williams Electronics Inc. 1980, Black Knight

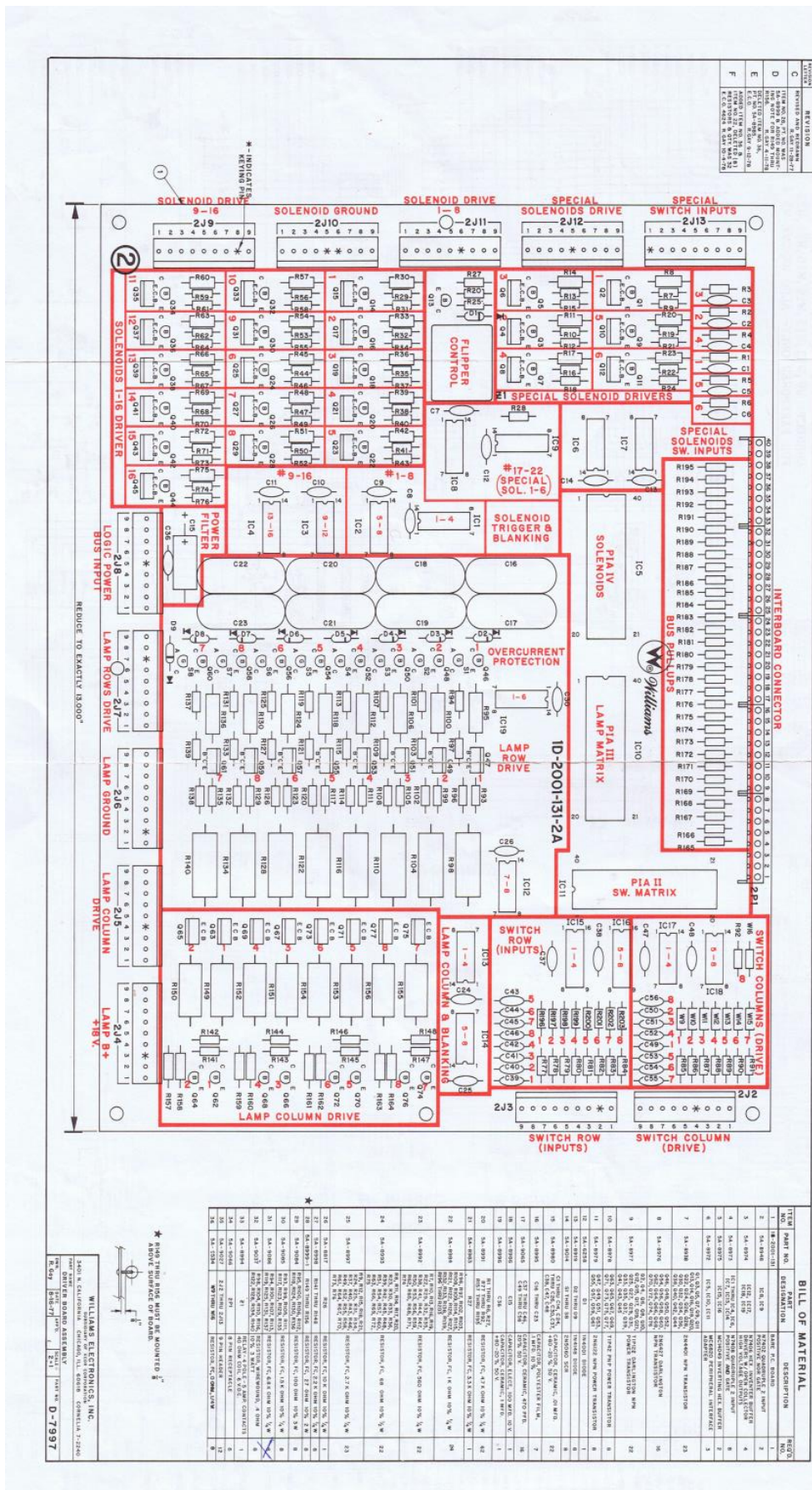
Liite 1. Processorikortin kokoonpanopiirustus (Black Knight, Williams 1980)



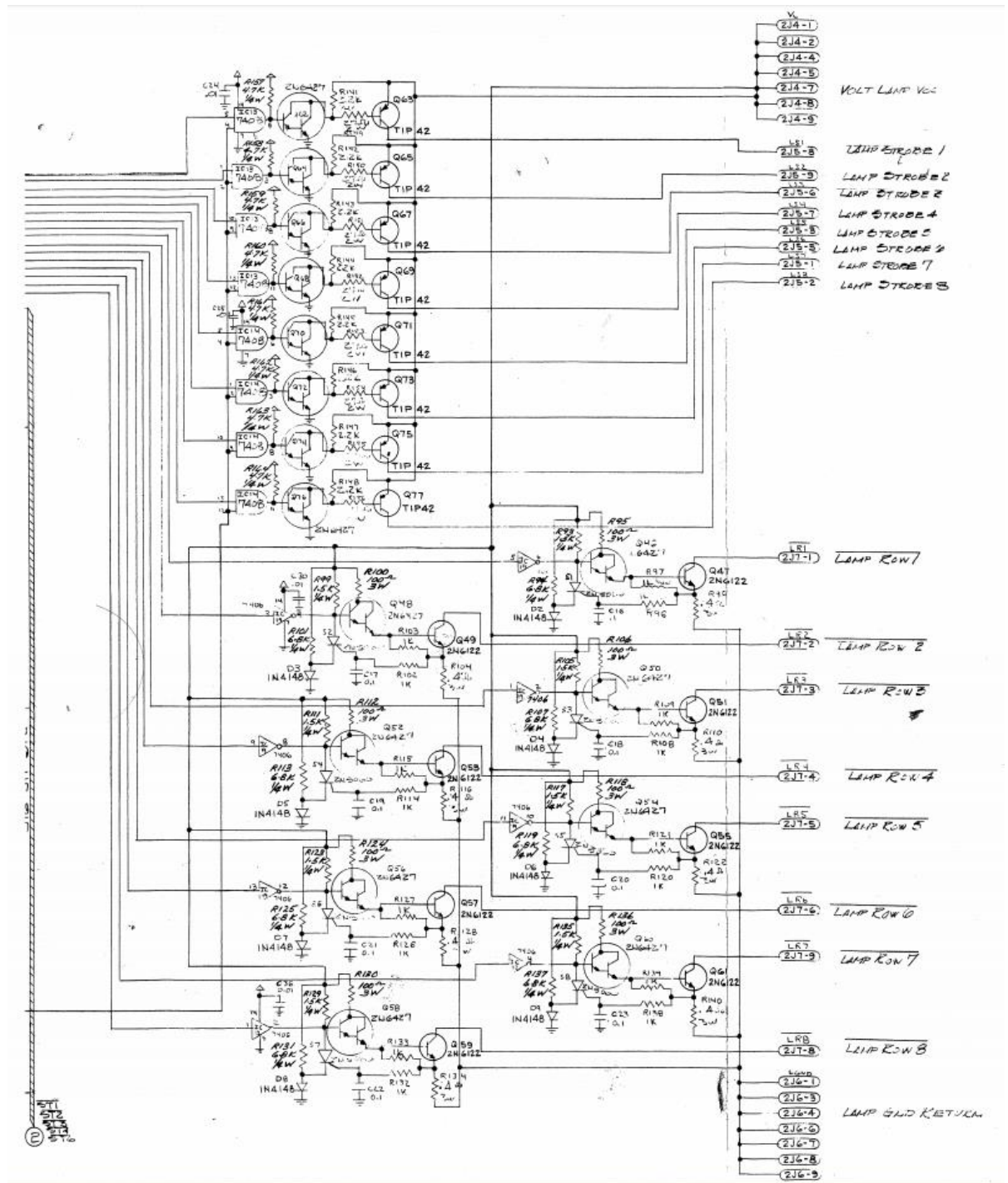
Liite 2. Prosessorikortin kytkentäkaavio (Black Knight, Williams 1980)



Liite 3. Ohjainkortin kokoonpanopiirustus (Black Knight, Williams 1980)

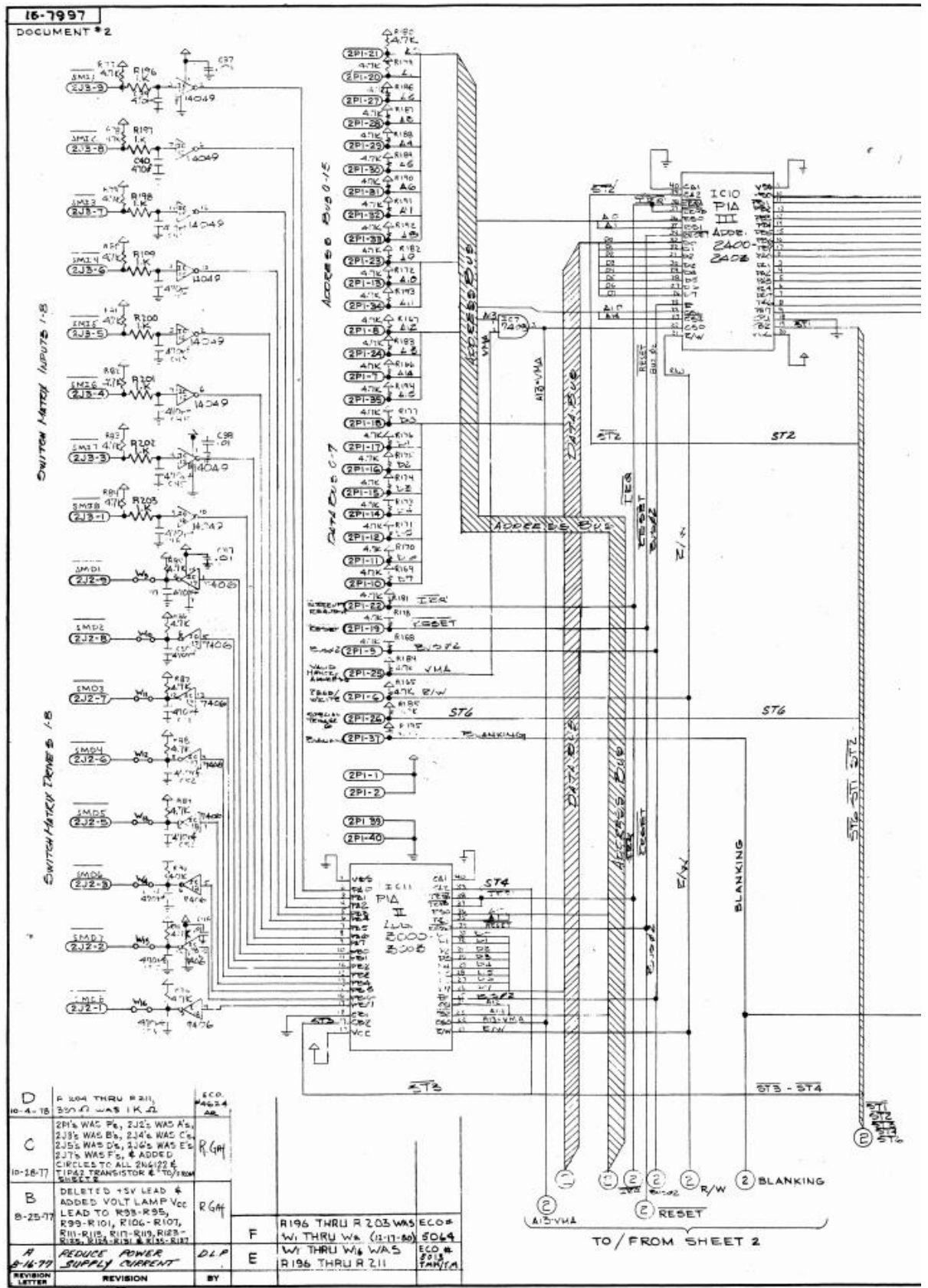


Liite 4. Valaisinmatriisin kytkentäkaavio (Black Knight, Williams 1980)

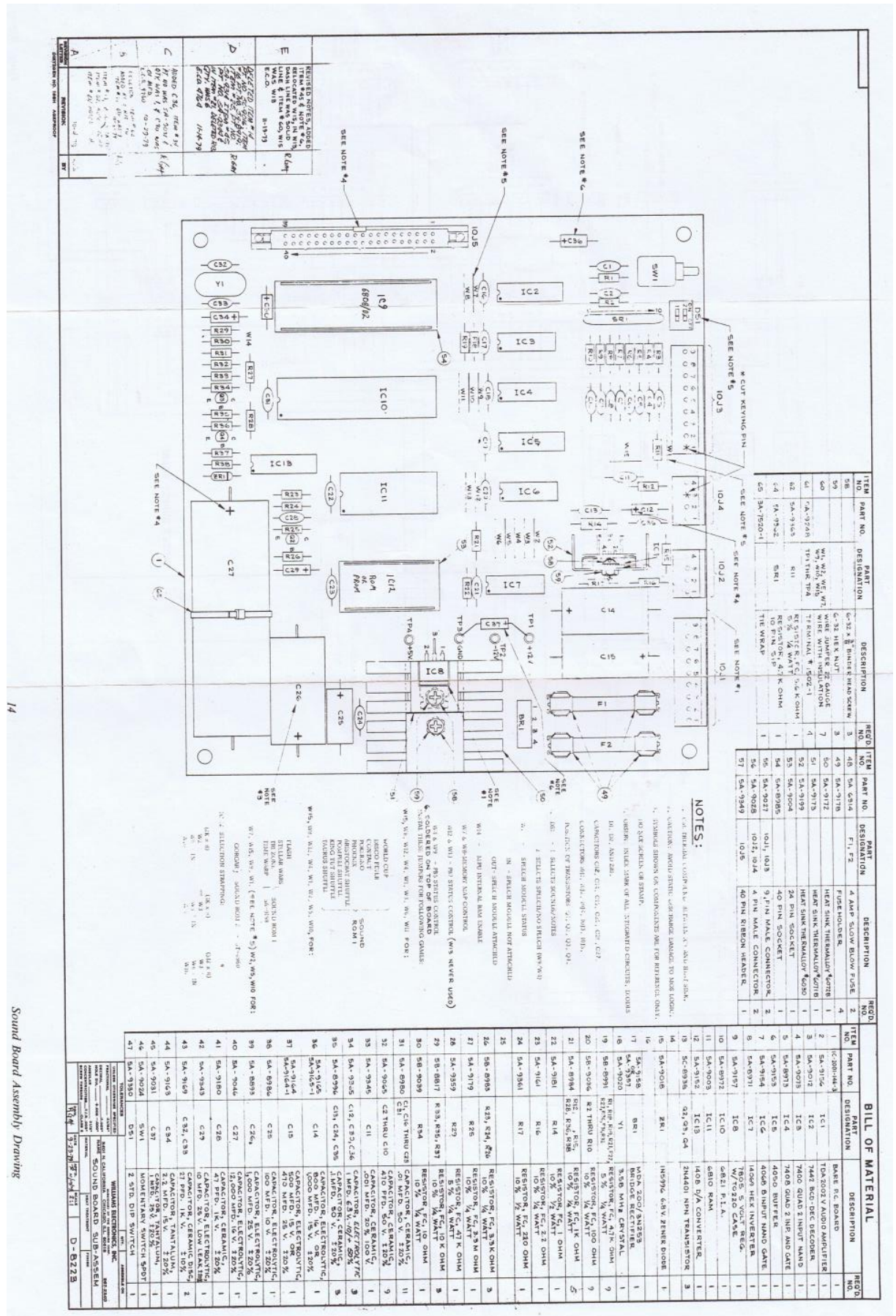




Liite 5. Kytkinmatriisin kytkentäkaavio (Black Knight, Williams 1980)



Liite 6. Äänikortin kokoonpanopiirustus (Black Knight, Williams 1980)



ITEM NO.	PART NO.	DESCRIPTION	REQD. NO.	ITEM NO.	PART NO.	DESCRIPTION	REQD. NO.
56	SA-914	4 AMP SLOW BLOW FUSE	2	48	SA-914	FT 1/2	2
57	SA-915	FIDE HOLDER	1	49	SA-912	HEAT SINK THERMAL/400	1
58	SA-916	HEAT SINK THERMAL/400	1	50	SA-912	HEAT SINK THERMAL/400	1
59	SA-917	HEAT SINK THERMAL/400	1	51	SA-913	HEAT SINK THERMAL/400	1
60	SA-918	HEAT SINK THERMAL/400	1	52	SA-919	40 PIN SOCKET	1
61	SA-919	40 PIN SOCKET	1	53	SA-904	40 PIN MALE CONNECTOR	2
62	SA-920	40 PIN MALE CONNECTOR	2	54	SA-905	40 PIN RIBBON HEADER	1
63	SA-921	40 PIN RIBBON HEADER	1	55	SA-922	IC12, IC14	1
64	SA-922	IC12, IC14	1	56	SA-923	IC15	1
65	SA-923	IC15	1	57	SA-924	IC16	1

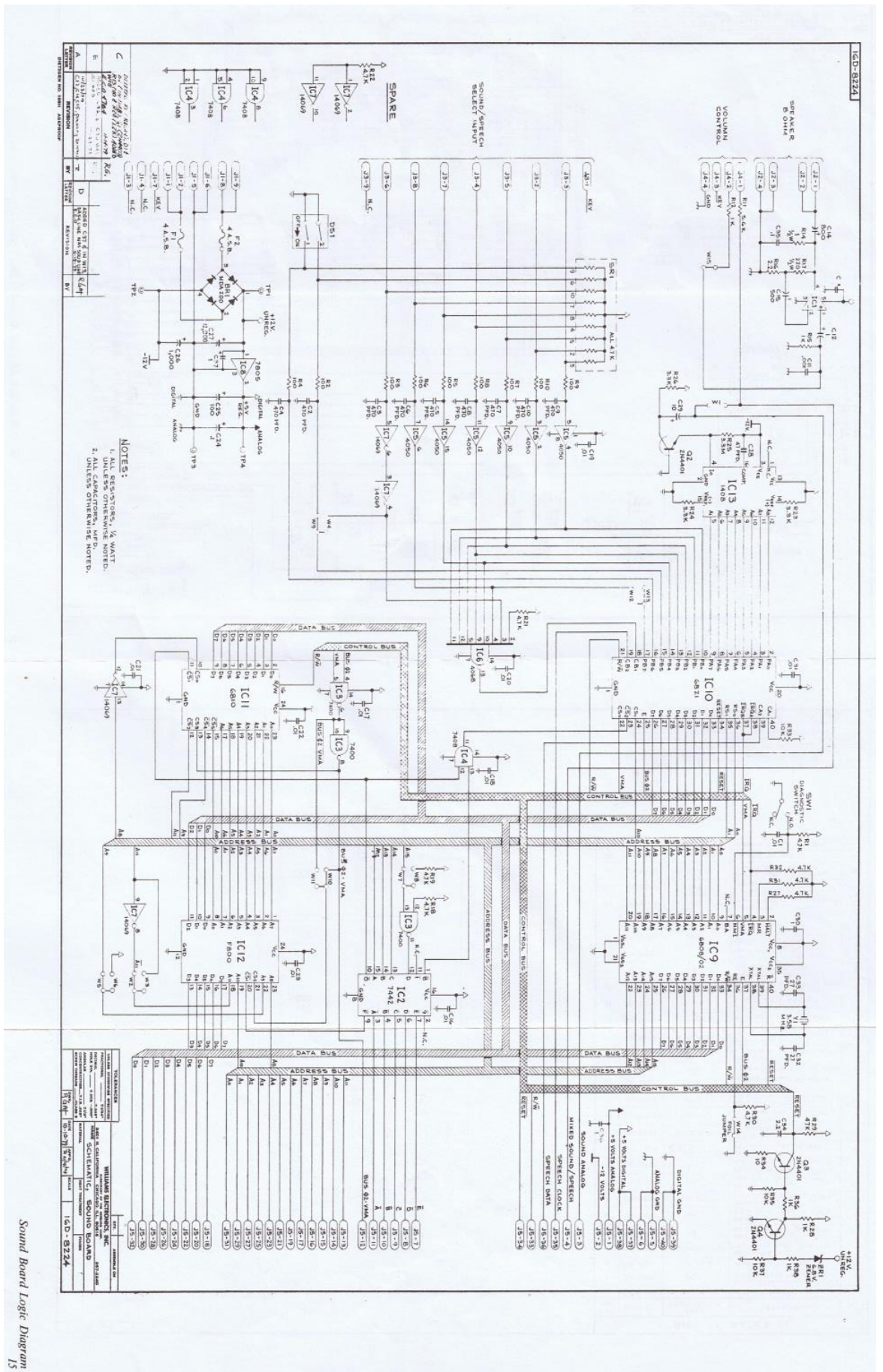
**NOTES:**  
 1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.  
 2. STANDARD BOARD OR COMPONENTS ARE FOR REFERENCE ONLY.  
 3. USE THE FOLLOWING PARTS LIST FOR THE BOARD.  
 4. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 5. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 6. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 7. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 8. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 9. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 10. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 11. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 12. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 13. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 14. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 15. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.  
 16. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN MALE CONNECTOR.  
 17. BOARD IS TO BE MOUNTED ON A 40 PIN RIBBON HEADER.

ITEM NO.	PART NO.	DESCRIPTION	REQD. NO.
1	IC8001-44	BASE IC BOARD	1
2	SA-915	10A 200V 1/4 AMP FUSE	1
3	SA-916	7448 BCD DEC DECODER	1
4	SA-917	7400 QUAD 2 INPUT NAND	1
5	SA-918	7400 QUAD 2 INPUT AND GATE	1
6	SA-919	4000 BUFFER	1
7	SA-920	4000 BI-DIR 4000 GATE	1
8	SA-921	4000 HEX INVERTER	1
9	SA-922	7400 5 VOLT REG.	1
10	SA-923	IC10	1
11	SA-924	IC11	1
12	SA-925	IC12	1
13	SA-926	IC13	1
14	SA-927	IC14	1
15	SA-928	IC15	1
16	SA-929	IC16	1
17	SA-930	IC17	1
18	SA-931	IC18	1
19	SA-932	IC19	1
20	SA-933	IC20	1
21	SA-934	IC21	1
22	SA-935	IC22	1
23	SA-936	IC23	1
24	SA-937	IC24	1
25	SA-938	IC25	1
26	SA-939	IC26	1
27	SA-940	IC27	1
28	SA-941	IC28	1
29	SA-942	IC29	1
30	SA-943	IC30	1
31	SA-944	IC31	1
32	SA-945	IC32	1
33	SA-946	IC33	1
34	SA-947	IC34	1
35	SA-948	IC35	1
36	SA-949	IC36	1
37	SA-950	IC37	1
38	SA-951	IC38	1
39	SA-952	IC39	1
40	SA-953	IC40	1
41	SA-954	IC41	1
42	SA-955	IC42	1
43	SA-956	IC43	1
44	SA-957	IC44	1
45	SA-958	IC45	1
46	SA-959	IC46	1
47	SA-960	IC47	1

Sound Board Assembly Drawing

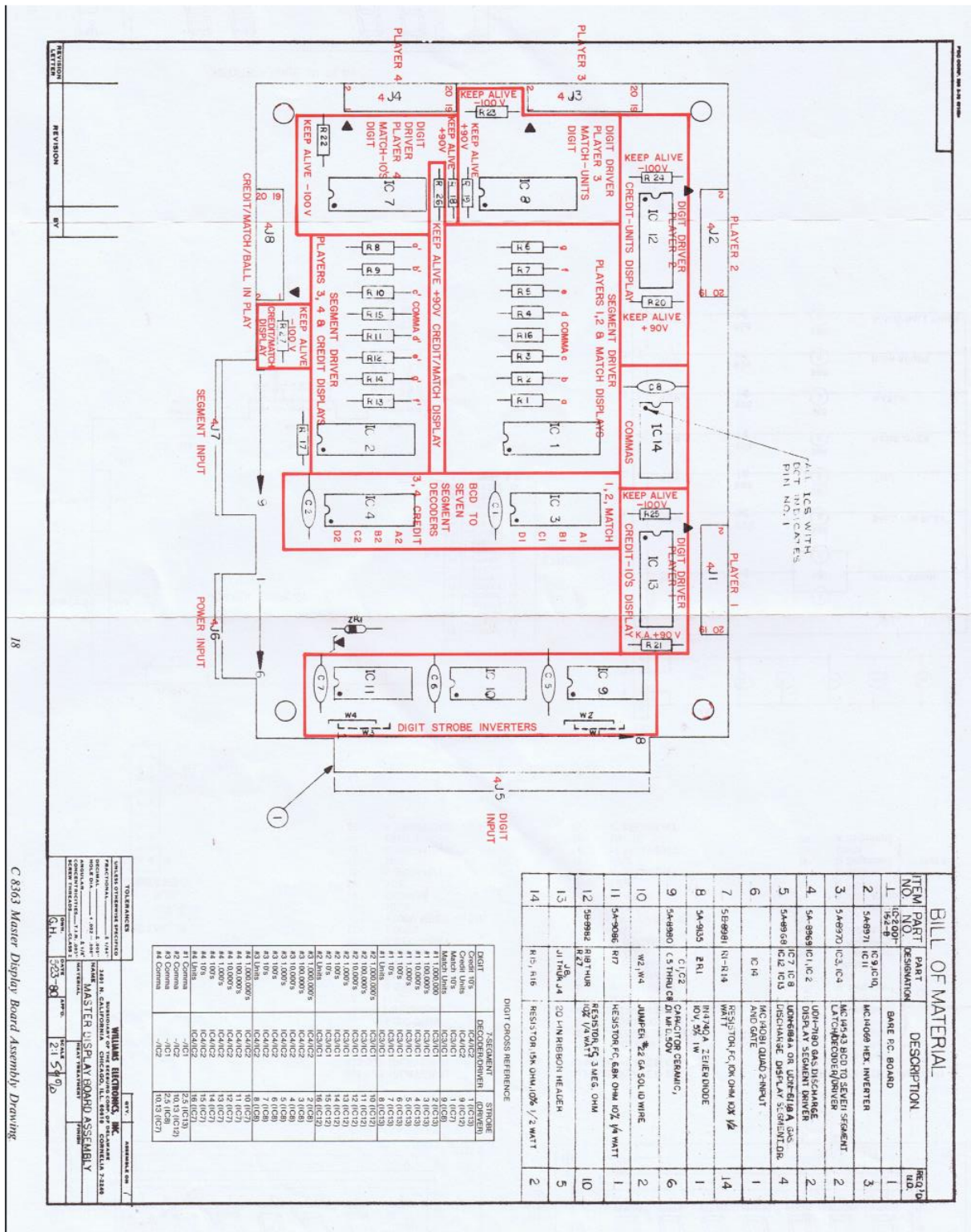
14

Liite 7. Äänikortin kytkentäkaavio (Black Knight, Williams 1980)



Sound Board Logic Diagram 15

Liite 8. Näytönohjaimen kokoonpanopirustus (Black Knight, Williams 1980)



BILL OF MATERIAL

ITEM NO.	PART NO.	DESCRIPTION	QTY	REQ'D
1	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
2	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
3	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
4	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
5	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
6	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
7	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
8	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
9	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
10	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
11	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
12	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
13	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10
14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	IC 1, IC 2, IC 3, IC 4, IC 5, IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 10, IC 11, IC 12, IC 13, IC 14	14	10

C 8363 Master Display Board Assembly Drawing

Liite 9. Näytönohjaimen kytkentäkaavio (Black Knight, Williams 1980)

