

TARTU ÜLIKOOL  
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND  
Füüsika Instituut

**Konstantin Arutjunov**

Bakalaureusetöö arvutitehnikas (12 EAP)

Inteli® 64-bitiste protsessorite ajalooline areng

Juhendaja: Prof. Ergo Nõmmiste

Kaitsmisele lubatud .....

Juhendaja ..... *allkiri, kuupäev*

Tartu 2015

# 1 Sisukord

2 Sissejuhatus .....	4
3 Inteli protsessorite üldajalugu .....	5
3.1 X86 arhitektuur .....	5
4 Inteli 64 bitiste protsessorite ajalugu.....	5
4.1 Inteli 64 bitine arhitektuur .....	6
5 64 bitiliste protsessorite tehnilised andmed .....	6
5.1 IA-64 arhitektuuri protsessorid .....	6
5.1.1 Itanium .....	6
5.1.2 Itanium 2 .....	7
5.2 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur NetBurst .....	8
5.2.1 Pentium D .....	8
5.2.2 Pentium Extreme Edition .....	9
5.2.3 Xeon .....	9
5.3 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Intel Core .....	10
5.3.1 Xeon .....	10
5.3.2 Intel Core 2 .....	11
5.3.3 Pentium Dual Core .....	12
5.3.4 Celeron .....	13
5.3.5 Celeron M .....	14
5.3.6 Celeron Dual Core .....	14
5.4 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Intel Atom.....	15
5.4.1 Intel Atom .....	15
5.5 EM64T arhitektuur, mikroarhitektuur Nehalem (1. põlvkond) .....	16
5.5.1 Intel Celeron .....	16
5.5.2 Intel Pentium .....	17
5.5.3 Intel Core i3 .....	17
5.5.4 Intel Core i5 .....	18
5.5.5 Intel Core i7 .....	18
5.5.6 Intel Core i7 Extreme Edition .....	19
5.5.7 Intel Xeon .....	20

5.6 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Sandy Bridge (2. põlvkond) .....	20
5.6.1 Intel Celeron .....	21
5.6.2 Intel Pentium .....	21
5.6.3 Intel Core i3 .....	22
5.6.4 Intel Core i5 .....	22
5.6.5 Intel Core i7 .....	22
5.6.6 Intel Core i7 Extreme Edition .....	23
5.6.7 Intel Xeon E3 .....	23
5.7 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Ivy Bridge (3. põlvkond) .....	24
5.7.1 Intel Core i3 .....	24
5.7.2 Intel Core i5 .....	25
5.7.3 Intel Core i7 .....	25
5.7.4 Intel Core E7 v2 .....	26
5.8 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Haswell (4. põlvkond) .....	26
5.8.1 Intel Core i3 .....	26
5.8.2 Intel Core i5 .....	27
5.8.3 Intel Core i7 .....	27
5.8.4 Intel Core E7 v2 .....	28
6 Protsessori üldine ülesehitus .....	28
7 Käsustik .....	29
7.1 Arhitektuuri käsustik.....	29
7.2 Mikroarhitektuuri käsustik.....	29
8 Analüüsimine.....	30
8.1 Intel 64 bitiste protsessorite tarvidus.....	30
8.2 EMT64T mikroarhitektuuri analüüs.....	30
8.3 Tehnilise protsessi (nm) vähenemise võimalused.....	32
8.4 EMT64T protsessori tehnilise andmete analüüs.....	33
9 Kokkuvõte .....	36
10 Summary.....	37
11 Kasutatud kirjandus .....	38
12 Terminite seletus .....	39
13 Lisad .....	41

## 2 Sissejuhatus

1976. aastal töötati välja esimene 16 bitine Intel 8086 protsessor, mis pani aluse IA-32 põlvkonnale. Kui muutusid tehnoloogiad, muutusid ka protsessorite põlvkonnad. Meie tänapäevane, kõige viimane „Inteli“ protsessorite põlvkond on 64-bitised protsessorid. Käesoleva töö eesmärgiks on kirjeldada 64-bitiste protsessorite ajaloolist arengut ning jälgida, kuidas uued tehnilised lahendused on mõjutanud selle protsessoritüübi arenemist ja arusaamu tuleviku protsessoritest.

Antud töö võib pakkuda huvi nendele, kes tegelevad arvutite ja elektroonikaga, keda huvitab selle temaatika ajalugu. Teema on hästi seotud Tartu ülikooli arvutitehnika õppekava ainega „Arvutikomponendid“, kus tutvustatakse erinevate arvutikomponentide tööpõhimõtteid.

Antud töö on referatiivne, siin uuritakse 64-bitiste protsessorite ehitust ja seda, miks neid nii palju kasutakse. Veel tutvustatakse protsessorite käsustiku evolutsioon.

### 3 „Inteli“ protsessorite üldajalugu

Esimese „Inteli“ protsessori ajalugu algab umbes aastal 1965, millal protsessori osad ei kujutanud endast veel ühte mikroskeemi. See tekitas integreerimise probleeme, kuna riistvara jaoks oli vaja teha unikaalsed protsessori osad. 1969. aastal tellis Jaapani firma „*Nippon Calculating Machine*“ „Intelilt“ mikroskeemi, mida võiks kasutada taskuarvutis. Inteli insenerid said aru, et nendel ei ole otstarbekas teha erinevaid skeeme erineva riistvara jaoks. Seega mõeldi välja, kuidas panna kõik protsessori osad ühe kiibi peale, et see oleks universaalsem. Maailma esimene mikroprotsessor loodi 1971. aastal „Inteli“ firmas, selle nimetus oli 4004. Sellega said alguse mikroprotsessorite põlvkonnad. [1][2].

#### 3.1 X86 arhitektuur

Inteli protsessorite arhitektuur sai oma nime protsessori mudelite hulgast (8086, 80186, 80286, 80386, 80486), kus esimene arv on 8 ja viimane on 6. Järgnesid Pentium, Pentium Pro, Pentium II, Pentium III, Pentium IV ja Pentium HT. Neid kõiki kutsutakse IA-32 perekonnaks (*Intel Architecture*). Aastal 1978 pandi alus 16 bitise X86 käsustikule, mida oli võimalik kasutada ka tuleviku protsessorites. Edasi hakkasid „Inteli“ protsessorid kasutama samasugust arhitektuuri, milles ei muutunud vanad käsud, vaid hoopis lisandusid uued. Aastal 1985 tehti 32 bitine käsustik. Ja viimane oli 64 bitine käsustiku laiendus 2003 aastal [3].

### 4 „Inteli“ 64 bitiste protsessorite ajalugu

Seoses sellega, et tarkvara arendus oli üsna dünaamiline, läksid rakendused keerulisemaks ja vajasid kiiremat töötlemist ning rohkem mälu. Seega uut tüüpi protsessori loomine oli aja küsimus. Paljud tarkvarad: serveri rakendused, graafika töötlemise programmid ja mängud vajasid rohkem aadressruumi. Tulevikus oleks 32-bitise protsessoriga tööd teha raske, sest sellel on piiratud aadressruum ja seega ka aeglasem töökiirus.

2001. aastal loodi uus arhitektuur nimega IA-64, milles olid 64 bitised käsud. Kõige suurem miinus oli see, et IA-64 ei olnud tagasiühilduv x86 arhitektuuriga. Hiljem tegi AMD Inteli arhitektuuri põhjal AMD-64, mis oli tagasiühilduv x86-ga.

Esimene Inteli 64-bitine protsessor sai nimeks „Itanium“ ja tuli välja 29. mail 2001. aastal. See kasutas IA-64 arhitektuuri, mis ei olnud väga universaalne. Selle ilmumine turule oli revolutsiooniline, kuid mitte väga konkurentsivõimeline. Edaspidine arendus pühendati juba uuele „Itanium 2“, milles likvideeriti kõik esimese „Itaniumiga“ seotud tehnilised vead.

Tänapäevased protsessorid kasutavad 64-bitilist arhitektuuri, kuid nende arenduse eesmärk on suurema töötlemiskiiruse ja kompaktsuse saavutamine. Ei ole

veel teada, mis võib asendada sellist arhitektuuri [4][5].

#### 4.1 „Intel“ 64 bitine arhitektuur

Inteli 64-bitise protsessorite arhitektuur on x86 käsustiku laiendus, mida tavaliselt tähistatakse x86-64. Sellega saab kiiremini töödelda 64-bitiseid arve, otse adresseerida palju suuremat füüsilist ja virtuaalset mälu kui x86. Seega on võimalik kasutada suuremaid andmekogumeid.

Inteli 64 bitine protsessor kasutab vanu ja lisatud on uued käsud, seega on ta täiesti ühilduv x86-32 protsessoriga [6].

### 5. 64 bitiliste protsessorite tehnilised andmed

#### 5.1 IA-64 arhitektuuri protsessorid

##### 5.1.1 Itanium

Itanium oli esimene 64-bitine protsessor, mis pidi olema suurim tehniline saavutus 2001 aastal. Aga temal olevad mõned tehnilised probleemid ei andnud suurt müügitulu. Lisaks võttis „Itaniumi“ arendus palju aega, turule tuli ta 2001 aastal, aga pidi tulema aastatel 1998-1999.[7]

##### Plussid:

- Saab töödelda kuni 6 käsku ühe tsükli ajal.
- Ujuvkoma arvu kiirem töötus kasutades 64 bitilisust.
- Suur aadressruum, 64 bitti virtuaalset mälu ja 50 bitti füüsilist mälu.
- Väike ja energiasäästlikum tuum.
- Suur kiirus, kui on vaja töödelda palju erinevaid rakendusi.

##### Miinused:

- Suured viivitused 3. vahemälu tasemel.
- Liiga väike 1. ja 2. vahemälu mahtuvus (32 Kb ja 96 Kb ).
- Uus IA-64 arhitektuur ei olnud universaalne ja ei saa töötada koos x86.

##### Tehnoloogiad:

###### Merced 180 nm

- SIMD (Single Instruction Multiple Data)
- MMX ja SSE
- SDRAM

Tabel 1 | Tehnilised andmed.(Itanium).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	tuumad	L1 vahemälu	L2 vahemälu	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Itanium Merced	800 Mhz	266MT/s	1	32 Kb	96 Kb	2/4 Mb	180 nm	116	2001

## 5.1.2 Itanium 2

Järgmine 64 bitine protsessor oli Itanium 2. Seoses paljude puudustega esimesel mudelil otsustas "Intel" lõpetada Itaniumi tootmise juba 1 aasta pärast. Itanium 2 oli kasutusel aastatel 2002-2010. See protsessor oli rohkem mõeldud serverarvutile, esimese Itanium 2 koodinimi oli *McKinley*. [7]

### Plussid:

- Suurendatud 1. ja 2. vahemälu mahtuvused.
- Laiendatud võimsus ja soojuskontroll.
- Kättesaadavam hind.

### Miinused:

- IA-64 arhitektuur ei olnud universaalne.

### Tehnoloogiad:

#### **McKinley 180 nm**

- SIMD (Single Instruction Multiple Data)
- MMX ja SSE
- SDRAM

Tabel 2 | Tehnilised andmed.(Itanium 2).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	L1 vahemälu	L2 vahemälu	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsust arve, W	Aasta
Itanium 2 900 <b>McKinley</b>	900 Mhz	400MT/s	1	32 Kb	256 Kb	1.5 Mb	180 nm	130 W	2002
Itanium 2 900 <b>Madison</b>	900 Mhz	400MT/s	1	32 Kb	256 Kb	1.5 Mb	130 nm	90 W	2003
Itanium 2 9110N <b>Montvale</b>	1.6 Ghz	1066MT/s	1	32 Kb	256 Kb	12 Mb	130 nm	75 W	2007
Itanium 2 9010 <b>Montecito</b>	1.6 Ghz	1066MT/s	1	32 Kb	256 Kb	6 Mb	90 nm	104 W	2008

## 5.2 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur NetBurst

NetBurst mikroarhitektuur oli kaustusel 2004-2007 aasta vahemikus. Oli arendatud selleks, et saavutada kõrgemaid taktsagedusi.

### Tehnoloogiad:

- Kasutab **Hyper Pipelining** (laiendatud **branch target buffer** ja uus ennustusalgoritm.)
- **Rapid Execution Engine** tehnoloogia, mis tõstab NetBurns protsessori täisarvude operatsiooni töötamise kiirust. Seega taktsagedus tõuseb
- **Replay System** korduvusprotsessi tehnoloogia.
- **HyperThreading**

### 5.2.1 Pentium D

Esimene kahetuumaline protsessor, mis tuli välja 25 mail 2005. Tema nimes D täht tähistab sõna „Dual“ nagu kahetuumaline. Tema tuum kujutas endast kahte „Prescott“ kristalli. Seoses selles, et standardi järgi oli vaja mitte ületada 130 Wati võimsus, oli kristalli sagedus piiratud väärtusega 3.2 Ghz. Üldiselt Pentium D jõudlus ei olnud väga suur.

Pentium D-ga oli seotud kaks tuuma, nimed nagu Smithfield (mis oli esimene) ja Presler, mis oli tehnilises mõtte palju edukam.[8]

### Plussid:

- Võrdluses Itanium 2-ga (1,6 Ghz), sagedus oli palju suurem (2,66 Ghz) palju suurem
- Kahetuumaline protsessor
- 130 Watti võimsustarve

### Miinused:

- Piiratud jõudlus, mis ei vasta nii suure võimsusele
- Kallis

### Tehnoloogiad:

#### **Smithfield 130 nm**

- Hyper-threading
- No-execute Bit

#### **Presler 130 nm**

- Samad nagu Smithfield
- Lisaks veel Enhanced Intel Speed Step Technology

Tabel 3 | Tehnilised andmed.(Pentium D).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	L1 vahemälu	L2 vahemälu	Tehnoloogiarotsess	Võimsustarve, W	Aasta
Pentium D 805 <b>Smithfield</b>	2.66 Ghz	1066MT/s	2	16 Kb	1024 Kb	90 nm	130 W	2005
Pentium D 915 <b>Presler</b>	2.8 Ghz	1600MT/s	2	16 Kb	2048 Kb	65 nm	130 W	2006

### 5.2.2 Pentium Extreme Edition

„Inteli“ protsessori tüüp, mis oli toodetud üldiselt entusiastidele ja selleks, et konkureerida sellise protsessoriga nagu AMD Athlon 64 FX. Tootmine algas 23. novembril 2003 aastal.[9]

Tabel 4 | Tehnilised andmed.(NetBurst protsessorid Pentium XE).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	L1 vahemälu	L2 vahemälu	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Pentium XE <b>Gallatin</b>	3.2 Ghz	1600MT/s	1	8 Kb	512 Kb	2048Kb	130 nm	110 W	2003
Pentium XE <b>Prescott 2M</b>	3.73 Ghz	2132MT/s	1	16 Kb	2048 Kb	4096Kb	90 nm	115 W	2005

### 5.2.3 Xeon

Serveri ja tööjaama protsessori tüüp. Varasemate mudelite nimed koosnesid protsessori nimest ja sõnast Xeon. Aga kaasaegsed mudelid on nimetatud lihtsalt Xeon. Xeon protsessoril on laiendatud vahemälu ning suurendatud erineva mikroprotsessori süsteemide toetust.[10]

#### Plussid:

- Laiendatud cache
- Toetab L2 vahemälu tippsagedusel
- Kiiresti arendatav serveri protsessor.

Tabel 5 | Tehnilised andmed.(NetBurst protsessorid Xeon Cranford 90nm).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Xeon MP 3.16 <b>Cranford</b>	3.166 Ghz	1334MT/s	1	125 miljon	1024 Kb	90 nm	110 W	2005
Xeon MP 2.83 <b>Cranford</b>	2.833 Ghz	1334MT/s	1	125 miljon	1024 Kb	90 nm	129 W	2005

### 5.3 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Intel Core

Arendajad panid tähele, et NetBurst protsessoril kasvab sagedus ja seoses sellega volutarve, mis põhjustab veel kõrgendatud jahutuse nõudeid. Seega sageduste suurendamine ja vastav käsu konveier ei ole efektiivsed. Seoses selle puudusega Intel lõpetas NetBurst arhitektuuri kasutamise ja järgmine arhitektuur oli Intel Core, mis tuli turule 2006. aastal. Intel Core annab suure tööluse kiiruse erinevas keskkonnas.

#### Tehnoloogiad:

- **Wide Dynamic Execution** - uus tehnoloogia, mis jagab **instruction pipeline** konverteri väikse osa igale tuumale.
- **Advanced Smart Cache** – kahetuumaline cache optimiseerimine, kus L1 cache on seotud L2 cache mäliga, mis on kahe tuuma vahel ühine. See annab lisa arvutusvõimust.
- **Macro Fusion** – annab võimaluse ühineda laiendatud x86 **instruction pipelinega**.

#### 5.3.1 Xeon

Uues mikroarhitektuuris Xeon protsessor hakkas toetama sümmeetrilist multitöötlust (Symmetric mutiprotssing) , kahetuumaline Dual-Core mikroprotsessor, SIMD: SSE4 käsulaiendi toetus.[10]

#### Tehnoloogiad:

##### Woodcrest 65 nm

- Intel Virtualization Technology - mitme OS toetus ühel arvutil.
- Intel Active Management Technology - arvuti kaugjuhtimine.
- LaGrande Technology – uus turvalise riistvara laiendus.
- SIMD: SSE4 käsulaiendi toetus.

### **Clovertown 65nm**

- Neljatuumaline mikroprotsessor (Quad-Core)

### **Harpertown 45 nm**

- Neljatuumaline mikroprotsessor (Quad-Core)

Tabel 6 | Tehnilised andmed.(Intel Core protsessorid Xeon).

Nimi	CPU Kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Xeon 5160 <b>Woodcrest</b>	3.0 Ghz	2666MT/s	2	291 miljon	4 Mb	65 nm	80 W	2009
Xeon X5355 <b>Clovertown</b>	2.66 Ghz	2666MT/s	4	582 miljon	8 Mb	65 nm	120 W	2006
Xeon E5410 <b>Harpertown</b>	2.33 Ghz	2666MT/s	4	820 miljon	12 Mb	45 nm	80 W	2007

### 5.3.2 Intel Core 2

Järgmine Core mikroarhitektuuri protsessor, mis oli turul 2006 kuni 2011 aastatel. Jagatakse ühetuumalise (Solo), kahetuumalise (Duo), neljatuumalise (Quad) ja laiendatud sagedusega mudelile (Extreme). Populaarne lauaarvuti protsessor.[10]

#### **Tehnoloogiad:**

##### **Conroe 65 nm**

- Intel Active Management Technology - arvuti kaugjuhtimine.
- LaGrande Technology – uus turvaline riistvara laiendus.
- Execute Disable Bit
- Enhanced Intel Speed Step Technology

##### **Allendale 65 nm**

- Intel Active Management Technology - arvuti kaugjuhtimine.
- LaGrande Technology – uus turvaline riistvara laiendus.
- Execute Disable Bit
- Enhanced Intel Speed Step Technology

##### **Conroe XE 65 nm**

- Samad nagu Conroe

##### **Merom 65 nm**

- Samad nagu Conroe

##### **Kentsfield 65 nm**

- Samad nagu Conroe, aga omab 4 tuuma

### **Wolfdale/Yorkfield 45 nm**

SIMD: SSE4.1 toetus

Tabel 7 | Tehnilised andmed.(Intel Core protsessorid).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Core 2 Duo E6850 <b>Conroe</b>	3.0 Ghz	2666MT/s	2	291 miljon	4 Mb	65 nm	65 W	2007
Core 2 Duo E4700 <b>Allendale</b>	2.60 Ghz	1600MT/s	2	167 miljon	2 Mb	65 nm	65 W	2008
Core 2 Extreme X6800 <b>Conroe XE</b>	2.93 Ghz	2132MT/s	2	291 miljon	4 Mb	65 nm	75 W	2006
Core 2 Duo T7800 <b>Merom</b>	2.60 Ghz	1600MT/s	2	291 miljon	4 Mb	65 nm	35 W	2007
Core 2 Extreme QX6850 <b>Kentsfield</b>	3.0 Ghz	2666MT/s	4	582 miljon	8 Mb	65 nm	130 W	2007
Core 2 Extreme QX9775 <b>Wolfdale/Yorkfield</b>	3.2 Ghz	3200MT/s	4	820 miljon	12 Mb	45 nm	150 W	2008

### 5.3.3 Pentium Dual Core

Alguses oli mõeldud sülearvutile, aga 2007 alguses hakati tooma tavaarvutile. Tema hind oli madalam kui mõnel teise protsessoril, erinevus oli ainult selles, et Dual Coril oli vähem L2 cache vahemälu.

#### **Tehnoloogiad:**

##### **Merom-2M 65 nm**

- Intel Active Management Technology - arvuti kaugjuhtimine.
- LaGrande Technology – uus turvaline riistvara laiendus.
- Execute Disable Bit

##### **Allendale 65 nm**

- Intel Active Management Technology - arvuti kaugjuhtimine.
- LaGrande Technology – uus turvaline riistvara laiendus.
- Execute Disable Bit

##### **Wolfdale 45 nm**

##### **Wolfdale-2M 45 nm**

Tabel 8 | Tehnilised andmed.(Dual Core mikroprotsessor).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Pentium T2390 <b>Merom-2M</b>	1.86 Ghz	1066MT/s	2	291 miljon	1 Mb	65 nm	35 W	2007
Intel Pentium E2220 <b>Allendale</b>	1.73 Ghz	1066MT/s	2	291 miljon	1 Mb	65 nm	35 W	2008
Intel Pentium E5700 <b>Wolfdale</b>	3.0 Ghz	1600MT/s	2	228 miljon	2 Mb	45 nm	65 W	2010
Intel Pentium E6800 <b>Wolfdale-2M</b>	3.33 Ghz	2132MT/s	2	228 miljon	2 Mb	45 nm	65 W	2010

### 5.3.4 Celeron

Suur protsessorite hulk, mis oli suunatud odavamate kodu- ja kontoriarvutite turule. Üks madala hinna põhjustest on nende protsessorite nõrgem jõudlus võrreldes teiste seeriade mudeliga. Seda saavutatakse kahe põhimeetodiga: protsessori esisiini sageduse vähendamisega ja vahemälu L2 lukustamisega.

#### Tehnoloogiad:

##### Conroe-L

- Execute Disable Bit
- SIMD: SSE3 käsulaiendite toetus.

##### Conroe-CL

Tabel 9 | Tehnilised andmed.(Intel Core Celeron 65 nm).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Celeron 450 <b>Conroe-L</b>	2.20 Ghz	1600MT/s	1	105 miljon	512 Kb	65 nm	35 W	2008
Intel Celeron 445 <b>Conroe-CL</b>	1.86 Ghz	2132MT/s	1	105 miljon	512 Kb	65 nm	35 W	2008

### 5.3.5 Celeron M

Celeron M aluseks on Pentium M sarnased tuumad ja nad on mõeldud mobiilsete arvutite jaoks. Sellel protsessoril oli kärbitud L2 vahemälu ja ta ei toetanud SpeedStep tehnoloogiat. SpeedStep puudumise tõttu on akude kestvus oluliselt lühem, kuid kuna Celeron M TDP (nõutav jahutusvõimsus) oli madalam kui Pentium M mudelitel said nad üsnagi populaarseks.

#### Tehnoloogiad:

##### Merom-L

- Execute Disable Bit
- SIMD: SSE3 käsulaiendi toetus.

Tabel 10 | Tehnilised andmed.(Intel Core Celeron M Merom-L 65 nm).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Celeron M 550 <b>Merom-L</b>	2.0 Ghz	1066MT/s	1	291 miljon	1Mb	65 nm	31 W	2006
Intel Celeron M 560 <b>Merom-L</b>	2.13 Ghz	1066MT/s	1	291 miljon	1 Mb	65 nm	31 W	2008

### 5.3.6 Celeron Dual Core

Kahetuumaline Celeron protsessor, tuli turule 2008 aastal. Kasutab 2 erinevat tehnoloogist protsessi Conroe-L 65 nm ja Wolfdale 45 nm)

#### Tehnoloogiad:

##### Conroe-L 65 nm

- Execute Disable Bit
- SIMD: SSE3 käsulaiendi toetus.

##### Wolfdale 45 nm

L2 vahemälu 1 Mb

Tabel 11 | Tehnilised andmed.(Intel Celeron Dual Core).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Celeron E1600 <b>Conroe-L</b>	2.4 Ghz	1600MT/s	2	105 miljon	512 Kb	65 nm	65 W	2009
Intel Celeron E3500 <b>Wolfdale</b>	2.7 Ghz	1600MT/s	2	291 miljon	1 Mb	45 nm	65 W	2010

## 5.4 EM64T Arhitektuur, mikroarhitektuur Intel Atom

### 5.4.1 Intel Atom

Väga väikse voolutarbega Inteli protsessori nimi. Ehitatud 45 nm tehnoloogial. Seda kasutatakse põhiliselt minisülearvutil ja mobiilsetes interneti seadmetes. Tuli turule 2008 aastal ja on tänapäeval veel kasutuses.

#### Tehnoloogiad:

##### **Printview 45 nm**

- Execute Disable Bit
- Hyper-Threading (laiendab protsessori multitaskingut.)

##### **Diamondville 45 nm**

Tabel 12 | Tehnilised andmed.(Intel Atom).

Nimi	CPU kiirus	FSB kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L2 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Atom 330 <b>Diamondville</b>	1.6 Ghz	1066MT/s	2	94 miljon	512 Kb	45 nm	8 W	2008
Intel Atom D525 <b>Pineview</b>	1.8 Ghz	1066MT/s	2	94 miljon	1 Mb	45 nm	13 W	2010

## 5.5 EM64T arhitektuur, mikroarhitektuur Nehalem( 1. põlvkond)

Seoses sellega, et **Intel Core** mikroarhitektuur arendus oli edukas, otsustas „Intel“ luua uue Nehalem mikroarhitektuuri, mis on eelnevatega sarnane, aga omas mõned laiendused.

### Tehnoloogiad:

- Integreeritud mälu kontrollid, mis toetab 2 või 3 DDR3 SDRAM kanalit.
- Uus QPI (QuickPath Interconnect) siin.
- Integreeritud graafika protsessor.
- L3 cache lisamine.

### 5.5.1 Intel Celeron

Intel Celeron (Nehalem) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

### Tehnoloogiad:

**Arrandale** 32 nm (mobiilsüsteemida protsessor, integreeritud 45 nm videotuum)

- Enhanced Intel Speed Step Technology
- Intel Virtualization Technology (VT-x)
- Execute Disable Bit

**Clarkdale** 32 nm

- Samad nagu Arrandale

**Jasper Forest** 45 nm

- Intel Hyperthreading Technology

Tabel 13 | Tehnilised andmed.(Intel Celeron Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Celeron P4500 <b>Arrandale</b>	1.86 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	2 Mb	32 nm	35 W	2010
Intel Celeron G1101 <b>Clarkdale</b>	2.26 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	2 Mb	32 nm	73 W	2010
Intel Celeron P1053 <b>Jasper Forest</b>	1.33 Ghz	2.5 GT/s	1	382 miljon	2 Mb	45 nm	30 W	2010

### 5.5.2 Intel Pentium

Intel Pentium (Nehalem) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

##### Clarkdale 32 nm

- Samad nagu Celeron Clarkdale.

Tabel 14 | Tehnilised andmed.(Intel Pentium Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Pentium G6960 Clarkdale	2.93 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	3 Mb	32 nm	73 W	2011

### 5.5.3 Intel Core i3

Intel Core i3 (Nehalem) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

**Arrandale** 32 nm (mobiilsüsteemida protsessor, integreeritud 45 nm videotuum)

- Samad nagu Celeron Arrandale.
- Lisaks Hyper-Threading

##### Clarkdale 32 nm

- Samad nagu Celeron Clarkdale.
- Lisaks Hyper-Threading

Tabel 15 | Tehnilised andmed.(Intel i3 Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i3 380M Arrandale	2.53 Ghz	2.5 GT/s	2	177 miljon	3 Mb	32 nm	35 W	2010
Intel Core i3 530 Clarkdale	2.93 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	4 Mb	32 nm	73 W	2010

### 5.5.4 Intel Core i5

Intel Core i5 (Nehalem) protsessor. Keskmine hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

**Lynnfield** 45 nm

- Intel Virtualization Technology
- Execute Disable Bit
- Enhanced Intel Speed Step Technology

**Clarkdale** 32 nm

- Samad nagu i5 Lynnfield.
- Lisaks veel Turbo Boost

**Arrandale** 32 nm

- Samad nagu i5 Clarkdale

Tabel 16 | Tehnilised andmed.(Intel i5 Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumas id	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Core i5 760 <b>Lynnfield</b>	2.80 Ghz	2.5 GT/s	4	774 miljon	8 Mb	45 nm	95 W	2010
Core i5 680 <b>Clarkdale</b>	3.60 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	4 Mb	32 nm	73 W	2010
Core i5 580M <b>Arrandale</b>	3.60 Ghz	2.5 GT/s	2	382 miljon	3 Mb	32 nm	35 W	2010

### 5.5.5 Intel Core i7

Intel Core i7 (Nehalem) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

**Gulftown** 32 nm

- Intel Virtualization Technology
- Execute Disable Bit
- Enhanced Intel Speed Step Technology
- Hyper-Threading
- Turbo Boost
- QPI

### **Bloomfield 45 nm**

- Samad nagu i7 **Gulftown**.

### **Lynnfield 45 nm**

- Samad nagu i5 **Gulftown**

Tabel 17 | Tehnilised andmed.(Intel i7 Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	QPI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Core i7 970 <b>Gulftown</b>	3.20 Ghz	3.46 Ghz	4.8 GT/s	6	731 miljon	12 Mb	32 nm	130 W	2010
Core i7 960 <b>Bloomfield</b>	3.20 Ghz	3.46 Ghz	4.8 GT/s	4	731 miljon	8 Mb	45 nm	130 W	2009
Core i7 880 <b>Lynnfield</b>	3.06 Ghz	3.73 Ghz	2.5 GT/s	4	774 miljon	8 Mb	45 nm	95 W	2010

## 5.5.6 Intel Core i7 Extreme Edition

Intel Core i7 Extreme Edition (Nehalem) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

### **Tehnoloogiad:**

#### **Gulftown 32 nm**

- Samad nagu i7 **Gulftown**

#### **Bloomfield 45 nm**

- Samad nagu i7 **Bloomfield**

Tabel 18 | Tehnilised andmed.(Intel i7 Extreme Edition Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Core i7 990X <b>Gulftown</b>	3.46 Ghz	3.73 Ghz	6.4 GT/s	6	731 miljon	12 Mb	32 nm	130 W	2011
Core i7 975 <b>Bloomfield</b>	3.33 Ghz	3.6 Ghz	6.4 GT/s	4	731 miljon	8 Mb	45 nm	130 W	2009

### 5.5.7 Intel Xeon

Intel Xeon (Nehalem), serveri protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

- **Lynnfield** 45 nm  
Samad nagu i7 Lynnfield
- **Bloomfield** 45 nm  
Samad nagu i7 **Bloomfield**.

Tabel 19 | Tehnilised andmed.(Intel Xeon Nehalem).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	QPI kiirus	Tuumasid	Trans. Arv	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Xeon L5530 <b>Lynnfield</b>	2.40 Ghz	2.66 Ghz	5.86 GT/s	4	731 miljon	8 Mb	45 nm	60 W	2009
Intel Xeon W3580 <b>Bloomfield</b>	3.33 Ghz	3.6 Ghz	6.4 GT/s	4	731 miljon	8 Mb	130 nm	130 W	2009

### 5.6 EM64T arhitektuur, mikroarhitektuur Sandy Bridge (2. põlvkond)

Sandy Bridge on Intel Core mikroarhitektuuri 2. põlvkonna põhine protsessor. Sandy Bridge valmistatakse 32 nm tootmisprotsessiga. Tuli turule 2011 aastal.

#### Tehnoloogiad:

- 32 nm protsess.
- Lisatud L0 cache.
- Optimeeritud ja arendatud ennustus algoritm.
- Quick Sync
- Advanced Encryption Standard

#### 5.6.1 Intel Celeron

Intel Celeron (Sandy Bridge) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel

- HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)
- Intel Virtualization Technology
- Execute Disable Bit
- Enhanced Intel Speed Step Technology

Tabel 20 | Tehnilised andmed.(Intel Celeron Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogi protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Celeron G555 <b>Sandy Bridge</b>	2.70 Ghz	5 GT/s	2	2 Mb	32 nm	65 W	2012

### 5.6.2 Intel Pentium

Järgmise põlvkonna (Sandy Bridge) Pentium protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- Samad nagu Celeron **Sandy Bridge**

Tabel 21 | Tehnilised andmed.(Intel Pentium Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Pentium G860 <b>Sandy Bridge</b>	3.00 Ghz	5 GT/s	2	2 Mb	32 nm	65 W	2011

### 5.6.3 Intel Core i3

Järgmise põlvkonna (Sandy Bridge) i3 protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- Samad nagu Celeron **Sandy Bridge**

Tabel 22 | Tehnilised andmed.(Core i3 Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i3 2130 <b>Sandy Bridge</b>	3.40 Ghz	5 GT/s	2	3 Mb	32 nm	65 W	2011

### 5.6.4 Intel Core i5

Järgmise põlvkonna (Sandy Bridge) i5 protsessor. Keskmine hind ja arvutusvõimsus.

#### **Tehnoloogiad:**

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- Samad nagu Celeron **Sandy Bridge**
- Lisaks Turbo Boost

Tabel 23 | Tehnilised andmed.(Core i5 Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i5 2550K <b>Sandy Bridge</b>	3.40 Ghz	3.80 Ghz	5 GT/s	4	6 Mb	32 nm	95 W	2012

### 5.6.5 Intel Core i7

Intel Core i7 (Sandy Bridge) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### **Tehnoloogiad:**

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- Samad nagu Celeron **Sandy Bridge**
- Lisaks Turbo Boost

Tabel 24 | Tehnilised andmed.(Core i7 Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsus tarve, W	Aasta
Intel Core i7 2700K <b>Sandy Bridge</b>	3.50 Ghz	3.90 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	32 nm	95 W	2011

### 5.6.6 Intel Core i7 Extreme Edition

Intel Core i7 Extreme Edition (Sandy Bridge) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### **Tehnoloogiad:**

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- Samad nagu Celeron **Sandy Bridge**
- Lisaks Turbo Boost

Tabel 25 | Tehnilised andmed.(Core i7 Extreme Edition Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i7-3970X <b>Sandy Bridge</b>	3.50 Ghz	4.00 Ghz	5 GT/s	6	15 Mb	32 nm	150 W	2012

### 5.6.7 Intel Xeon E3

Intel Xeon E3 (Sandy Bridge) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### **Tehnoloogiad:**

Sandy Bridge 32 nm ( Protsessori kiibile on integreeritud graafika tuum Intel HD Graphiks, PCI Express 2.0 kontrolleri)

- PCI Express 3.0

Tabel 26 | Tehnilised andmed.(Xeon E3 Sandy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Xeon E3-1290 <b>Sandy Bridge</b>	3.60 Ghz	4.00 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	32 nm	95 W	2011

### 5.7 EM64T arhitektuur, mikroarhitektuur Ivy Bridge (3 põlvkond)

Kolmas Intel Core protsessori põlvkond, mis toodeti 22 nm protsessis. Ivy Bridge on täiesti ühilduv Sandy Bridge arhitektuuriga, aga omab mõned laiendused. Tuli turule 2012 aastal.

#### Tehnoloogiad:

- 22 nm protsess.
- PCI Express 3.0.
- USB 3.0 toetus
- Thunderbolt tehnoloogia toetus.
- Uue (Fin Field Effect Transistor) transistori tüübi kasutamine, mille tootlus on 37% suurem kui 32 nm Sandy Bridge.
- Turbo Boost

#### 5.7.1 Intel Core i3

Intel Core i3 (Ivy Bridge) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

- Ivy Bridge 22 nm
- PCI Express 3.0

Tabel 27 | Tehnilised andmed.(Intel Core i3 Ivy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i3 3240 <b>Ivy Bridge</b>	3.40 Ghz	5 GT/s	2	3 Mb	22 nm	55 W	2012

### 5.7.2 Intel Core i5

Intel Core i5 (Ivy Bridge) protsessor. Keskmine hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

Ivy Bridge 22 nm

- SpeedStep Technology
- Smart cache
- Intel Trusted Execution Technology
- Turbo Boost

Tabel 28 | Tehnilised andmed.(Intel Core i5 Ivy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i5 3570 <b>Ivy Bridge</b>	3.40 Ghz	3.80 Ghz	5 GT/s	4	6 Mb	22 nm	77 W	2012

### 5.7.3 Intel Core i7

Intel Core i7 (Ivy Bridge) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

Ivy Bridge 22 nm

- Turbo Boost

Tabel 29 | Tehnilised andmed.(Intel Core i7 Ivy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i7 3770K <b>Ivy Bridge</b>	3.50 Ghz	3.90 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	22 nm	77 W	2012

### 5.7.4 Intel Xeon E7 v2

Intel Xeon E7 v2 (Ivy Bridge) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

**Tehnoloogiad:****Ivy Bridge 22 nm**

- Lisaks Turbo Boost

Tabel 30 | Tehnilised andmed.(Intel Xeon E7 v2 Ivy Bridge).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i7 3770K <b>Ivy Bridge</b>	3.50 Ghz	3.90 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	22 nm	77 W	2012

**5.8 EM64T arhitektuur, mikroarhitektuur Haswell (4. põlvkond)**

Neljas Intel Core protsessori põlvkond, mis toodeti 22 nm protsessis. Haswell on madala energiatarbega arhitektuur, olulisteks omandusteks on parem jõudlus ja samaaegselt paranenud aku kestvus võrreldes eelmiste mikroarhitektuuriga. Tuli turule 2013 aastal.

**Tehnoloogiad:**

- Hyper-Threading
- DDR3 ja DDR4 toetus
- Madala võimsusega voluringete kasutus.
- ThunderBolt
- Turbo Boost

**5.8.1 Intel Core i3**

Intel Core i3 (Haswell) protsessor. Madal hind ja arvutusvõimsus.

**Tehnoloogiad:****Haswell 22 nm**

- PCI Express 3.0

Tabel 31 | Tehnilised andmed.(Intel Core i3 Haswell).

Nimi	CPU kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i3 4340 <b>Haswell</b>	3.60 Ghz	5 GT/s	2	4 Mb	22 nm	54 W	2013

### 5.8.2 Intel Core i5

Intel Core i5 (Haswell) protsessor. Keskmine hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

**Haswell** 22 nm

Tabel 32 | Tehnilised andmed.(Intel Core i5 Haswell).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i5 4690K <b>Haswell</b>	3.50 Ghz	3.90 Ghz	5 GT/s	4	6 Mb	22 nm	88 W	2014

### 5.8.3 Intel Core i7

Intel Core i7 (Haswell) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### Tehnoloogiad:

**Haswell** 22 nm

- Turbo Boost

Tabel 33 | Tehnilised andmed.(Intel Core i7 Haswell).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Core i7 3770K <b>Haswell</b>	3.50 Ghz	3.90 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	22 nm	88 W	2014

### 5.8.4 Intel Xeon E7 v2

Intel Xeon E7 v2 (Haswell) protsessor. Kõrge hind ja arvutusvõimsus.

#### **Tehnoloogiad:**

**Haswell 22 nm**

- Lisaks Turbo Boost

Tabel 34 | Tehnilised andmed.(Intel Xeon E7 v2 Haswell).

Nimi	CPU kiirus	Turbo Boost kiirus	DMI kiirus	Tuumasid	L3 vahemälu	Tehnoloogia protsess	Võimsustarve, W	Aasta
Intel Xeon E3-1285 <b>Haswell</b>	3.60 Ghz	4.00 Ghz	5 GT/s	4	8 Mb	22 nm	84 W	2013

## 6. Protsessori üldine ülesehitus

Protsessori põhilised funktsionaalsed komponendid.

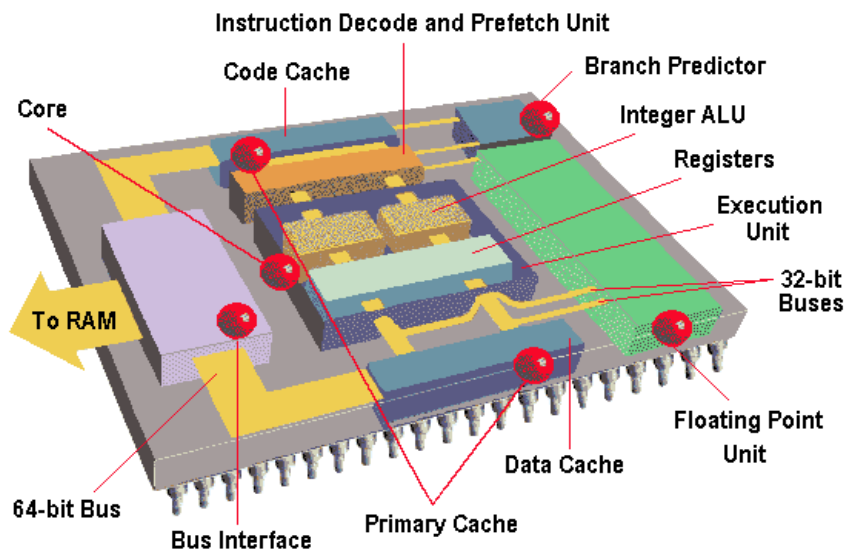
**Tuum (Core):** protsessori tähtsaim osa, täidab ja kontrollib käskude voogu, kui on olemas rohkem kui 1 tuum, siis protsessor saab töödelda mitut sõltumatut voogu ja käske.

**Hüppekäskude ennustaja (Branch Predictor):** moodul, mis proovib ennustada, missugune järjestus realiseerub iga kord kui käsul on tingimuslik hüppekäsk, nii et seaded saaksid juhised varem kätte.

**Ujukomaarvu plokk (Floating Point Unit):** moodul, mis töötleb ujuvkomaarve.

**Esmane vahemälu (Primary Cache):** (L1 Cache) Esimene vahemälu tase, kus on kõige sagedamam kasutatav info.

**Protsessori siin (Bus Interface):** seda mööda liiguvad käsud ja andmed.[11]



Pilt 1

## 7. Käsustik

### 7.1 Arhitektuuri käsustik

Arvuti arhitektuuri osa, mis määrab tegevused, mida mikroprotsessor on võimeline sooritama. Käsustiku komponentideks võib lugeda:

- Mälu arhitektuur
- Välisseadmete koostoime (BIOS)
- Adresseerimisrežiimid
- Registrid
- Masinkäsud
- Katkestajad

### 7.2 Mikroarhitektuuri käsustik

Mikroarhitektuuri käsustik on selline protsessori struktuur, kus on määratud tema põhilised funktsioonid. Sel tasemel on määratud:

- Protsessori põhilise osa sidumine.
- Tuuma struktuur
- Ennustus moodul
- Vahemälu struktuur
- Välis seadmete koostoime (BIOS)

## 8. Analüüsimine

### 8.1 Vajadus 64 bitiste “Inteli” protsessorite järele

Üksi põhjused, miks on nii suur vajadus 64 bitilise protsessori järele on seotud sellega, et nad toetavad palju suuremat aadressmassiivi kui 32-bitised. 32-bitised kiibid on piiratud sellega, et neile on kättesaadav mitte rohkem kui 2 või 4 Gb operatiivmälu. Tundub, et seda on palju, aga 4 Gb piirang võib olla tõsine probleem serverile ja arvutitele, mis töötavad suurte andmehulkadega.

64-bitistel protsessoritel ei ole selliseid piiranguid, sest aadressmassiiv, mis võib olla kasutatud operatiivmäluna on praktiliselt piiramatult.

64 bitine siin toetab palju suuremat sisend-väljund kiirust teisele riistvaradele nagu: kõvakettad ja video adapterid. Nimetatud omadused võivad märgatavalt tõsta süsteemi jõudlust.

## 8.2 EMT64T mikroarhitektuurite analüüs.

### NetBurst

Pärast seda kui Intel otsustas järgida uut EMT64T arhitektuuri standarti siis mõeldi välja uus 64 bittine NetBurst mikroarhitektuur, mis oli varem kasutusel 32 bitisel protsessoril. Temas kasutatud tehniline protsess oli 90 nm, aga mõned tuumad oli tehtud kasutades 65 nm. Selle arendamine oli üsna kiire ja dünaamiline, mõned tehnoloogiad nagu HyperThreading, Execution Trace Cache olid esmakordselt kasutatud. Sellise põlvkonna protsessoril oli üsna kõrge taktsagedus ja jõudlus, vastavalt tabeli andmele (Tabel 3,4,5,6). Aga varsti avastati mõned puudused nagu:

- 1) Liiga suur voolutarve kõrgel sagedusel
- 2) Ebaefektiivne vahemälu
- 3) Kõrged nõudmised jahutusele

### Intel Core

Inteli arendajad said aru, et selliste puudustega ei ole otstarbeks edasi liikuda. Oli vaja mõelda välja midagi teistsugust, mida võiks nimetada nagu „kuldne standard“. Järgmine mikroarhitektuur oli Intel Core, tema unikaalsus oli mitmetuumalisuses. Lisaks sellele kõrge jõudlus, energiasäästlikkus ja mitmetöötlus. Tema tehniline protsess oli peamiselt 65 nm, aga mõned tuumad olid 45 nm. Intel Core mikroarhitektuur oli printsipiaalselt uus ja ei olnud sarnane mingi varasema tehnoloogiaga. Oli arusaadav, et tehnoloogilist protsessi, ei saa kogu aeg vähendada ja esmakordselt kasutati rohkem kui 1 tuum korraga, mis pidi jagama käsu voogu ja täita keerulisemaid ülesanded osaliselt, aga mitte täiskoormusega nagu oli varem. Selle arendamine oli nii edukas, et see sai uueks „kuldseks standardiks“ ja edaspidised mikroarhitektuurid hakkasid arenema just Intel Core alusel.

### Nehalem

Seoses sellega, et Intel Core arendamine oli edukas, oli järgmine Nehalem mikroarhitektuur just selle baasil, siiski sisaldades mõned printsipiaalsed erinevused. Uue kristalli pindala oli väiksem võrreldes eelmise mikroarhitektuuri põlvkonnaga (enne oli 263 mm<sup>2</sup>, nüüd aga 214 mm<sup>2</sup>). Nehalemi tehniline protsess oli peamiselt 32 nm, aga mõnel mudelil nagu Jasper Forest oli 45 nm. Olid lisatud: uus QPI (Quick Path Interconnect) siin, integreeritud graafiline protsessor, L3 vahemälu tase. Kõige olulisem muutetus oli integreeritud graafiline protsessor, kuna järgmised põlvkonnad hakkasid seda kasutama just Nehalemi alusel. Üldiselt transistorite arvu suurendati, voolutarvet vähendati ja võimusus kasvas.

## **Sandy Bridge**

Kõige olulisemad erinevused eelmise mikroarhitektuuriga on uuendatud graafika tuum, mis on realiseeritud koos arvutustuumaga ühel kristallil. Loodi uus mikrokäsu L0 tase, mis annab võimaluse oluliselt tõsta protsessori võimsust, kuna selle kasutamine võtab umbes 80% kogu käsu täitmisest. Lisaks sellele L0 kasutamisel lülitatakse välja dekodeerid ja L1 vahemälu, millega kiip tarbib vähem voolu ja annab välja vähem soojust. Järgmine oluline aspekt on integreeritud Quick Sync tehnoloogia, mis on mõeldud välja, et töödelda videot. Vaatamata sellele, et Sandy Bridge ja Haswell on sarnased konstruktsioonid, on Sandy Bridgil rohkem töötlusplokki.

## **Ivy bridge**

Ivy Bridge kujutab endast eelmise põlvkonna moderniseeritud Sandy Bridge. Ivy Bridge kasutab uut 22 nm protsessi, seega oli võimalik vähendada voolutarvet, suurendada transistori arvu ja tõsta võimust uuele tasemele (37% suurem töötlus ja 50% madalam voolutarbe). Selliseid edasiminekuid ei oleks olnud võimalik saavutada ilma uue FET (Field Effect Transistor) transistorita.

Lisaks moderniseeritud:

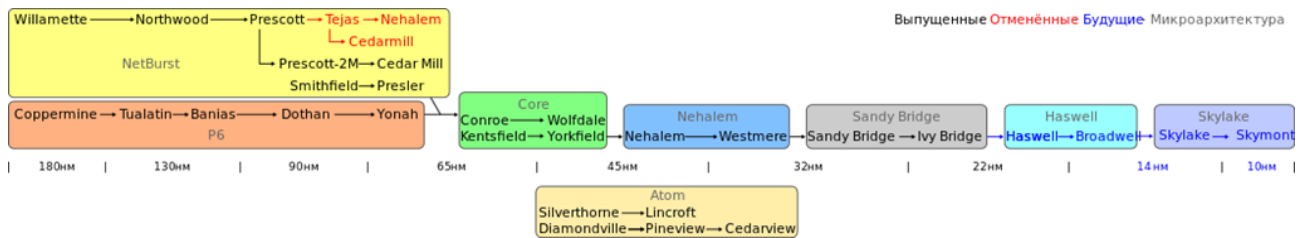
- 1) Graafikatuum
- 2) Quick Sync
- 3) Operatiivmälu kontrollid
- 4) PCI Express 3.0 toetus

## **Haswell**

Võrdne Ivy Bridge energiasäästlikkus, seotud madala võimsusega vooluringide kasutusega. ThunderBolt tehnoloogia kasutus, DDR3 ja DDR4 toetus, integreeritud vektorprotsessor, täiesti uus vahemälu struktuur.

## **8.3 Tehnilise protsessi (nm) vähenemise põhjused.**

Tehniline protsess on üks tähtsamaid protsessori parameetrid, mis tugevalt mõjutab nende omadusi. Protsessori tehnilist protsessi mõõdetakse nanomeetrites, mis on 10 astmes (-9) meetrit, piisavalt väike ühik. Mida väiksem on tehniline protsess seda rohkem transistoreid mahub samasuguse pinnale ja seega on tehnoloogia kompaktsem. Lisaks sellele, transistorite mõõtmete vähendamine tähendab protsessori jõudluse suurendamist, kuna mahub kristallile rohkem transistoreid, samuti väheneb voolutarve ja soojuse eraldumine.



## Pilt 2

### Näide:

Võrdleme 2 erineva mikroarhitektuuri ja tehnilise protsessiga protsessorit. Valime Celeron protsessori enam vähem sarnase taktsagedusega.

- 1. valik** on võetud Tabel 9 | Intel Core | Intel Celeron 450 Conroe-L 2.20 Ghz
- 2. valik** on võetud Tabel 13 | Nehalem | Intel Celeron G1101 Clarkdale 2.26 Ghz

Vastavalt Tabel 9 andmetele Intel Celeron 450 Conroe-L on tehtud kasutades 65nm protsessi ja temal on 105 miljonit transistori ja 35 Watti võimsus.

Teiseks vastavalt Tabel 13 andmele Intel Celeron G1101 Clarkdale on tehtud 32 nm protsessiga ja temal on 382 miljonit transistori ja 73 Watti võimsust.

Lisaks sellele mõlema protsessori suurus on sarnane 37.5mm x 37.5mm. Intel Celeron 450 on 1 tuumaline ja Intel Celeron G1101 on 2 tuumaline.

### Kokkuvõtte:

1. Kuna mõlema protsessori suurus on sarnane, siis saab öelda, et tehniline protsess annab transistorite arvu erinevuse. Mida väiksem on tehniline protsess, seda suurem transistori arv, mis on ka loomulik tulemus.
2. Kuna need protsessorid on erineva arvu tuumade arvuga, siis on raske arvutada nende võimsuse sõltuvust tehnilisest protsessist.

## 8.4 EMT64T protsessori tehnilise andmete analüüs.

Siin võrreldakse ainult sarnase nimega protsessorid, mis ilmuvad rohkem kui ühes mikroarhitektuuris.

### 8.4.1 NetBurst ja Intel Core Xeon

Vastavalt 5 ja 6 Tabeli järgi on näha, et:

- NetBurst Xeonil on suurem keskmine võimus kui Intel Coril.
- Intel Core Xeonil on palju rohkem transistoreid, seoses sellega, et Intel Coril on väiksem tehniline protsess
- NetBurst kasutab 1 tuuma, aga Intel Coril on 2 või 4
- Nende keskmised taktsagedused on umbes sarnased
- Intel Coril on 2 korda suurem FSB (Front Side Bus) kiirus, mis ei võiks olla seotud võimsusega, kuid ka taktsagedusega.

### 8.4.2. Intel Core, Nehalem ja Sandy Bridge Celeron

Siin me ei võta arvesse mobiili protsessoreid.

Vastavalt 9. ja 13. Tabeli järgi on näha, et:

- Intel Core Celeron 450 ja Nehalem Celeron G1101 taktsagedused on üsna sarnased, aga Celeron G1101 võimsus on rohkem kui 2 korda suurem.
- Nehalem Celeron on tehtud 32 nm protsessiga, seega temas on rohkem transistoreid.
- Nehalem Celeron on 2 tuumaline, temal on suurem DMI kiirus.
- Suurem vahemälu.

Vastavalt 13 ja 20 Tabeli järgi on näha, et:

- Sarnane L3 vahemälu, tehniline protsess ja tuumade arv.
- Sandy Bridge Celeronil G555 suurem taktsagedus, vastupidi Nehalem Celeron G1101 väiksem sagedus.
- Sandy Bridge Celeronil G555 suurem DMI kiirus.

### **8.4.3. Nehalem ja Sandy Bridge Pentium**

Vastavalt 14 ja 21 Tabeli järgi on näha, et:

- Tuumade arvu järgi on sarnased protsessorid.
- Sandy Bridge Pentiumil on suurem taktsagedus, aga nehalem Pentiumil on suurem võimsus. Kuna protsessori taktsagedus ja võimsus, ei ole lineaarsed sõltuvused, ei ole võimalik midagi objektiivselt öelda.
- Sandy Bridge Pentiumil on 5 GT/s DMI kiirus, mis on 2 korda suurem kui Nehalem Pentiumil.

**Seda võib põhjustada L0 vahemälu, integreeritud graafika kiip ja Sandy Bridge üldine siseehitus.**

### **8.4.4. Nehalem, Sandy Bridge, Ivy Bridge ja Haswell i3**

Vastavalt 15, 22, 27 ja 31 Tabeli järgi on näha, et:

- Igal järgneval mikroarhitektuuril kasvab protsessori taktsagedus.
- Igal järgmisel põlvkonnal langeb tarbitav võimsus.
- Nehalemil i3 on 2 korda väiksem DMI kiirus kui teisel.
- Erinevad tehnilised protsessid.

### **8.4.5. Nehalem, Sandy Bridge, Ivy Bridge ja Haswell i5**

Vastavalt 16, 23, 28 ja 32 Tabeli järgi on näha, et:

- Nehalem i5 680 on suurem taktsagedus, kui teistel.
- Nehalem i5 680 on kõige väiksem võimsus
- Nehalem i5 680 on 2 korda väiksem DMI kiirus võrreldes teistega.

### **8.4.6. Nehalem, Sandy Bridge, Ivy Bridge ja Haswell i7**

Vastavalt 16, 23, 28 ja 32 Tabeli järgi on näha, et:

- Sandy Bridge, Ivy Bridge ja Haswell i7 parameetrid on praktiliselt sarnased
- Nehalem i7 970 on 6 tuuma ja 12 Mb L3, mis on suurem kui teistel.
- Teistel Nehalem protsessoritel on viletsamad parameetrid

## **9. Kokkuvõtte**

Vastavalt kogutud informatsioonile ja saadud analüüsi tulemustele, on võimalik teha kokkuvõtte, milliste printsiipide alusel oli tehtud Inteli 64-bitiste protsessorite ajalooline arendamine. Tehnilised printsiibid:

- 1. Iga järgneva põlvkonnaga väheneb tehnilise protsessi mõõt selleks, et suurendada protsessori jõudlust ja vähendada energiatarvet.**
- 2. Taktsageduste uute piirväärtuste saavutamine**
- 3. Protsessori tuumade arvu suurendamine.**
- 4. Võimalik protsessori võimsuse vähendamine ja andmete töötamise efektiivsuse tõstmine.**
- 5. Uue vahemälu struktuuri loomine.**
- 6. Mitmetöötamise saavutamine**
- 7. Univirsaaalsus ja ühilduvus.**
- 8. Uued tehnoloogiad (TurboBoost).**
- 9. Ennestus ja arvutus paranemine.**
- 10. Osade sisend-väljundseadmete kontrollite integreerimine protsessoriga.**

## 10. Summary

### Intel® 64-bit processor historical development

The last „Intel“ processor generation includes 64-bit processors. The purpose of this research is to describe the historical development of 64-bit processors. Furthermore, it analyzes how new technical solutions have been affected by this type of processor. Insights are provided on future developments of the processor.

This research may be of interest to those who deal with computers and electronics, who are interested in processor generation history. This theme is well linked to the subject „Computer Components“ taught at Tartu University ,which introduces the operating principles of various computer components.

This work explores the 64-bit processor architecture and why these processors are so widely used.

According to the collected information and the results of the analysis, it is possible to make a conclusion on what basic principles the Intel 64-bit processors has historical development. Technical principles:

- 1. For each following generation the measurement of technological process is reduced in order to improve processor performance and reduce power consumption.**
- 2. CPU new clock speed limits achieving.**
- 3. Increasing the number of processor cores.**
- 4. Possible processor power reduction and the data processing efficiency.**
- 5. New data cache structure.**
- 6. CPU multitasking.**
- 7. Universality and compatibility.**
- 8. New technologies (Turbo Boost)**
- 9. Prevention and numeracy improvement.**
- 10. Processor I/O device controllers integration.**

## **11. Kasutatud kirjandus**

### **1. Esimene intel 4004 seeria protsessor**

<https://ru.wikipedia.org/wiki/4004> viimati vaadatud 16.10.2014.

### **2. Protsessori ajalugu**

<http://domcomputer.ru/interesno-o-kompyuterah/istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-protsessorov-dlya-kompyuterov.html> viimati vaadatud 17.10.2014.

### **3. Protsessori X86 arhitektuur**

<https://ru.wikipedia.org/wiki/X86> viimati vaadatud 19.10.2014.

### **4. 64 bittilised süsteemid**

<http://www.viva64.com/ru/1/0001/> viimati vaadatud 21.10.2014.

### **5. IA 64 arhitektuur**

<http://www.viva64.com/ru/1/0001/> viimati vaadatud 21.10.2014.

### **6. Intel Virtualization technology**

<http://www.intel.com/content/www/us/en/virtualization/virtualization-technology/intel-virtualization-technology.html> viimati vaadatud 27.04.2015.

### **7. Replay Systems**

<http://www.hawaiilibrary.net/article/whebn0003206970/replay%20system> viimati vaadatud 27.04.2015.

### **8. Intel Pentium D**

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Pentium\\_D](https://ru.wikipedia.org/wiki/Pentium_D) viimati vaadatud 02.03.2015.

### **9. LaGrande technology**

<http://www.hardwaresecrets.com/article/Intel-LaGrande-Technology-Explained/264>  
viimati vaadatud 27.04.2015.

### **10. Hyper Threading**

<http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/hyper-threading/hyper-threading-technology.html> viimati vaadatud 27.04.2015.

### **11. X86-64 arhitektuur**

<https://ru.wikipedia.org/wiki/X86-64> viimati vaadatud 21.10.2014.

### **12. Esimene 64 bittine protsessor Itanium**

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Itanium> viimati vaadatud 21.10.2014.

### **13. Protsessori üldine sisseehitus**

<http://works.tarefer.ru/96/1000017/index.html> viimati vaadatud 03.04.2015.

### **14. Pentium Extreme Edition**

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Pentium\\_Extreme\\_Edition](https://ru.wikipedia.org/wiki/Pentium_Extreme_Edition) viimati vaadatud 03.04.2015.

### **15. TurboBoost**

<http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/turbo-boost/turbo-boost-technology.html> viimati vaadatud 27.04.2015.

## 12. Terminite seletus

1. **FSB (Front Side Bus)** – protsessori andmesiin, mida mööda liigub kogu informatsioon protsessori ja süsteemi muude seadmete vahel.
2. **CPU (Central Processing Unit)** – arvuti osa, mis täidab arvutiprogrammide juhiseid ning on peamine vahend arvuti ülesannete täitmisel.
3. **DMI (Direct Media Interface)** - jadaühendusega andmesiin, toodetud „Inteli“ firmas, tema eesmärk on emaplaadi lõuna- ja põhjasilla ühendus.
4. **Hyper Pipelining** – protsessori siseehituse printsiip, mis võimaldab suurendada tuuma konveieri etappide arvu. See annab piisavalt erinevust taktsageduses võrdses protsessoril, millel on samasugune tehniline protsess.
5. **Branch target buffer** – protsessori osa, mille eesmärk on hargnemiskäsu ennustamine ja täitmine.
6. **Rapid Execution Engine** – tehnoloogia, mis võimaldab töödelda põhilised täisarvu operatsioonid. See aitab oluliselt tõsta, käsu töötlemise kiirust.
7. **Replay System** – Inteli protsessori laiendus, mille peamine ülesanne on püüda tehinguid, mis olid ekslikult saanud protsessori täitmise planeerija.
8. **HyperThreding** – NetBurst mikroarhitektuuri tehnoloogia, mis annab võimaluse kasutada protsessori ressursse efektiivsemalt. Iga tuum on võimeline kasutama mitmeid lõime. Suurendab jõudlust, parandab üldisi tulemusi.
9. **Enhanced Intel Speed Step Technology** – energiasäästlik tehnoloogia, mis põhineb dünaamilisel sageduse ja pingete muutusel.
7. **Advanced Smart Cache** – tehnoloogia, mis kujutab endast optimeeritud mitmetuumalist vahemälu, mis oluliselt vähendab viivitust tihedalt kasutatavate andmetega.
8. **Macro Fusion** – Intel Core mikroarhitektuuri tehnoloogia, mis võimaldab ühendada mõned ühised x86 juhised ühe käsu täitmiseks.
9. **Intel Active Management Technology** - riistvara tehnoloogia, mis annab konfiguratsiooni juhtimise ja arvuti turvalisuse juurdepääsu sõltumata operatsioonisüsteemist.
10. **LaGrande Technology** – turvatehnoloogia, mis on mõeldud, et turvaliselt edastada andmeid kahe või rohkemate allikate vahel.

11. **Turbo Boost** – võimsuse tehnoloogia, mis tõstab protsessori nominaalset taktsagedust juhul kui seda on vaja ja ei ole temperatuuri piirangud.
12. **Quick Sync** - video kodeeringu ja dekodeeringu kiirendus tehnoloogia.
13. **Thunderbolt** — ristvaraline liides, mille eelmine nimi oli “Light Peak”, tema eesmärk on arvuti välisseadme ühendus optilise kaabli kasutusel.

## 13. Lisad

### Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina \_\_\_\_\_ **Konstantin Arutjunov** \_\_\_\_\_  
(*autori nimi*)

(sünnikuupäev: \_\_\_\_\_ **23.02.1990** \_\_\_\_\_)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose

\_\_\_\_\_ **Inteli 64-bitiste protsessorite ajalooline areng** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on \_\_\_\_\_ **Ergo Nõmmiste** \_\_\_\_\_,  
(*juhendaja nimi*)

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus/Tallinnas/Narvas/Pärnus/Viljandis, \_\_\_**21.05.2015**\_\_\_ (*kuupäev*) \_\_\_\_\_ (allkiri)