

DIPLOMADOLGOZAT

Baráth-Gyomlai Angéla

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet

Vezetés és szervezés mesterképzési szak

**FENNTARTHATÓSÁGI MEGKÖZELÍTÉSEK ÉS ZÖLD
INFORMATIKAI MEGOLDÁSOK A
SZUPERSZÁMÍTÓGÉPEK TERÜLETÉN**

Belső konzulens: Dr. Szalay Zsigmond Gábor
egyetemi docens, tanszékvezető

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Agrárdigitalizációs és
Szaktanácsadási Tanszék
Vidékfejlesztés és Fenntartható
Gazdaság Intézet

Készítette: Baráth-Gyomlai Angéla
JT4M0S

Budapest, 2024

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	2
2. A MUNKA CÉLJA ÉS MÓDSZERTANA.....	4
2.1. Célkitűzés	4
2.2. Kutatási módszertan	4
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
3.1. Szuperszámítógépek.....	6
3.1.1. Információtechnológiai fogalmak tisztázása.....	7
3.1.2. A szuperszámítógépek jelentősége a tudományos kutatásban, az iparban és a mindennapi életben	10
3.1.3. A szuperszámítógépek energiafogyasztása	10
3.1.4. Szuperszámítógépek Magyarországon.....	13
3.2. Green IT	13
3.2.1. A Green IT kialakulása	14
3.2.2. Környezetvédelmi definíciók ismertetése	15
3.2.3. Környezetvédelem az informatika területén.....	17
3.3. Kérdőív.....	18
3.3.1. A kutatás célja	18
3.3.2. Kutatásmódszertan	18
3.3.3. A kérdőív kitöltői	19
3.3.4. Eredmények.....	20
3.3.5. Eredmények összefoglalása.....	29
3.4. Szuperszámítógépek alkalmazása a zöld informatika tükrében	30
3.4.1. A szuperszámítógépek környezeti kihívásai	30
3.4.2. Zöld megoldások és alternatív energiaforrások alkalmazása a szuperszámítógépek területén	30
3.4.3. A zöld megoldások alkalmazásának előnyei a szuperszámítógép-ipart tekintve.	36
3.4.4. Zöld megoldások a szuperszámítógépek területén magyarországi berkekben.	36
3.4.5. Eredmények értékelése, konklúziók levonása.....	37
3.4.6. Hulladékkezelés a szuperszámítógépek területén	39
4. ÖSSZEFOGLALÁS	41
5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	42
6. IRODALOMJEGYZÉK	43
7. ÁBRÁK- ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	48

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a környezetvédelem és a fenntarthatóság kiemelkedő fontosságú területekké váltak, ahogy a globális kihívásokra való válaszok keresése is egyre sürgetőbbnek ígérkezik. Az éghajlatváltozás, a természeti erőforrásaink kimerülése, valamint a mai modern ember felgyorsult és egyre nagyobb teret igénylő élete az élővilág veszélyeztetését is magában hordozza, s ezek a problémák kivétel nélkül mindannyiunkat érintenek.

A fenntarthatóság iránti igény napról napra erősödik, az egyének, a vállalatok, valamint a kormányok egyaránt felelősséget kell hogy vállaljanak a jövő generációit érintő optimális életkörülmények megőrzéséért. A fenntartható gyakorlatok és a „zöld” technológiák terjedése új dimenziókat nyithat meg a gazdasági növekedés és a társadalmi fejlődést tekintetében is. A környezetvédelmi problémák megoldására való törekvés nem csak erkölcsi kötelesség, hanem egyben stratégiai lépés a bolygónk és az emberiség hosszútávú védelme érdekében.

Korábbi egyetemi éveimet ugyanezen felsőoktatási intézményben töltöttem, ahol biomérnök hallgatóként környezetvédelmi szakirányon tanultam, és alapszakos szakdolgozatomat szintén környezetvédelmi témában írtam. Emellett jelenleg egy félvezetőket gyártó multinacionális cégnél dolgozom, mint környezetvédelmi megfelelőségi mérnök, így a környezetvédelem és a fenntarthatóság több szálon keresztül kapcsolódik mindennapjaimhoz.

A fentiekből kifolyólag egyértelmű volt számomra, hogy ideális volna olyan témát választanom mesterszakos diplomadolgozatomban megírásához is, amely közvetlenül érinti a környezetvédelmi problémaköröket, hiszen szakmai elkötelezettségem révén nem csak szakértelmet szereztem környezetvédelmi területeken, hanem maximálisan el is ismerem azoknak a fenntarthatósági kihívásoknak a fontosságát és jelentőségét, amelyekkel a jelen kor emberének szembe kell néznie.

A zöld informatikát egy módfelett izgalmas területnek tartom, így örömmel esett a választásom erre a témára, hiszen így ötvözhetem a környezetvédelemmel kapcsolatos érdeklődésemet az információmenedzsment szakirányon elsajátított tudással.

A szuperszámítógépek az információs technológia éllovasai, olyan rendszerek, amelyek számos tudományos területen nyújtanak kiemelkedő teljesítményt, úgy mint űrkutatás, gyógyszerfejlesztés, meteorológia, csillagászat, különböző ipari folyamatok, gyártásoptimalizálás, pénzügy, valamint a fentiek mellett kijelenthető, hogy a nagy mennyiségű adatok tárolásában és feldolgozásában is jelentős szerepük van. Az előbbieket nyomán nem meglepő, hogy folyamatos az igény a magasabb számítási teljesítményű platformokra, és ez a

tendencia várhatóan a jövőben is folytatódik az IT technológia fejlesztéseinek köszönhetően (Bergman et al., 2008).

Ezeknek az eszközöknek rendkívül nagy az energiaigénye, ezért kiemelkedően fontos a fenntarthatósági kérdések számbavétele a téma kapcsán. Mivel napjainkban túlnyomó többségben fosszilis tüzelőanyagokból származik az az elektromos energia amit ezen berendezések felhasználnak, elmondható, hogy a szuperszámítógépek üzemeltetése nagyban hozzájárul az üvegházhatású gázok nagy mértékű kibocsátásához.

Az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások irányába történő elmozdulás elengedhetetlen lépés ahhoz, hogy ezen gépek ökológiai lábnyoma csökkenő tendenciát mutasson.

A szuperszámítógépekről kijelenthető továbbá, hogy nem csak hatalmas energiafogyasztásuk miatt jelentenek környezetvédelmi kihívást, hanem extrém hűtési igényük kapcsán is, hiszen ezen rendszerek működésük közben tekintélyes mennyiségű hőt termelnek, amelynek kezelése és elvezetése sok esetben komoly kihívást jelent.

Összességében elmondható, hogy a szuperszámítógép-parkok és azok üzemeltetői komoly felelősséggel bírnak a fenntarthatóság témakörét illetően, és működésük kapcsán folyamatos innovációra van szükség ahhoz, hogy minimalizálják környezeti hatásait. Ezen cél elérésében különböző közvetett és közvetlen megoldások alkalmazása lehet a vállalatok segítségére.

2. A MUNKA CÉLJA ÉS MÓDSZERTANA

2.1. Célkitűzés

Dolgozatom célja a szuperszámítógépekkel kapcsolatos, az energiafogyasztás csökkentéséhez és a környezeti fenntarthatósághoz hatékonyan hozzájáruló zöld informatikai megoldások részletes számbavétele és kritikai elemzése, amelyek hatékonyan hozzájárulnak a szuperszámítógépek energiafogyasztásának csökkenéséhez, valamint a környezeti fenntarthatósághoz. Az elemzés célja az, hogy feltárja ezen megoldások előnyeit, korlátait, valamint a gyakorlati alkalmazhatóságukat a szuperszámítógépek területén.

Munkám további célja annak vizsgálata, hogy milyen mértékű a társadalmi érdeklődés a környezetvédelmet érintő kérdések, ezen belül pedig a zöld informatikai kezdeményezések iránt. Ennek fontossága megkérdőjelezhetetlen, hiszen a közvélemény és az üzleti szféra érzékenysége egyaránt meghatározható lehet abban, hogy milyen gyorsan és hatékonyan lehet bevezetni az új, fenntarthatósági szempontból is optimális technológiákat és megoldásokat.

2.2. Kutatási módszertan

Az általam választott témák feldolgozása különböző szakmai folyóiratok, tudományos publikációk, és egyetemi tankönyvek segítségével valósult meg. Igyekeztem az egyes problémaköröket több aspektusból megvizsgálni, azokra kritikus gondolkodási móddal tekinteni, a felmerülő nehézségekre megoldást nyújtó technológiák és eszközök széles tárházát felsorakoztatni.

Szakdolgozatom írása során nagymértékben támaszkodtam az Elsevier cég által működtetett Science Direct weboldalra, ahol számos szuperszámítógépekkel, környezetvédelmi témákkal, valamint zöld informatikával kapcsolatos tartalmat volt lehetőségem elolvasni, elemezni, és szakmai támpontként használni. Hasonlóan sokrétű szakmai ismereteket szerezhettem a Google Scholar tudásbázis publikációi által is.

Munkám másik fontos eleme egy kérdőíves felmérés volt, melynek célja az emberek véleményének és álláspontjának feltérképezése volt. Kérdőívemet körültekintéssel készítettem, igyekeztem kérdéseimet úgy összeállítani, hogy az azokra érkezett válaszok informatívak és kiértékelhetőek legyenek. Az adatok összegyűjtéséhez a Google által üzemeltetett „Google Űrlapok” platformot használtam, a kész kérdőívet pedig különböző közösségi felületeken

osztottam meg, figyelve arra, hogy az a felnőtt lakosságon belül lehetőleg minden korosztály és a legtöbb társadalmi réteg számára elérhető legyen. Ennek megvalósítása érdekében különböző korcsoportba tartozó, eltérő típusú lakhelyen élő ismerőseim segítségét kértem, akik kérdőívem terjesztésével nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy a fenti kritériumok teljesüljenek. A beérkezett válaszok alapján később részletes kiértékelést végeztem Microsoft Excel segítségével, mely nyomán átfogó képet kaptam az emberek véleményét és prioritásait illetően a zöld informatika berkein belül.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Szuperszámítógépek

A szuperszámítógépek a XXI. század technológiai csúcának tekinthető számítástechnikai eszközök, amelyek hatalmas memóriájukkal és rendkívüli számítási teljesítményükkel forradalmasítják a számítástechnikai iparágat. Az ezen eszközökkel való munkavégzést angolul „High Performance Computing”-ként emlegetik, mely elnevezés egyértelműen utal a szóban forgó berendezések grandiózus tudására. A szuperszámítógépek nem csak elképesztően gyors sebességgel és tökéletes pontossággal számolnak, hanem olyan hatalmas mennyiségű adatok feldolgozására is képesek akár párhuzamos módon is, amelyekre más számítástechnikai eszközök nem feltétlenül alkalmasak.

A szuperszámítógépek az űrkutatásban, időjárás modellezésben, különböző gyártási, ipari és kutatási folyamatokban, valamint a mesterséges intelligencia területén is forradalmi áttöréseket hoznak létre. Az egyetemek és kutatóintézetek a szuperszámítógépek segítségével képesek bonyolult szimulációk végrehajtására és hatalmas mennyiségű adatok elemzésére. A vállalati szférában a szuperszámítógépek haszna a rendkívül gyors számítási sebességben mutatkozik meg, ami által lehetővé válik a minél gyorsabb és pontosabb döntéshozatal, ez pedig a vállalatok versenyképességének megtartását segíti elő.

A „Super Computing” angol kifejezés, melynek magyar megfelelőjeként a „szuper számítástechnika” szóösszetételt használhatnánk, legelőször az amerikai New York World című újságban bukkant fel 1929-ben, de ekkor még nem beszélhettünk klasszikus értelemben vett szuperszámítógépről. Inkább jelölt ez egy olyan számítástechnikai berendezést, amelyet lyukkártyákon tárolt információk összegzésére használtak (Eames & Eames, 1973).

Később, 1964-ben Seymour Clay, a Control Data Corporation (CDC) egyik tervezője alkotta meg a CDC 6600 névre hallgató első szuperszámítógépet, amely a korabeli számítógépekhez képest hatalmas teljesítménnyel bírt (Chen et al., 2009). A mostani szuperszámítógépekhez viszonyítva a 3 MFlops (Anthony, 2012) nem tűnik nagy teljesítménynek, ám a maga idejében ez hatalmas előrelépést jelentett a számítástechnika területén. 4 évvel a CDC 6600 debütálása után megjelent egy továbbfejlesztett változat, amely szintén Cray nevéhez fűződött, ez a CDC 7600 modell volt, amely bár 1968-ban megkapta „A világ leggyorsabb számítógépe” címet (Hannan, 2008), mégsem bizonyult olyan

népszerűnek, mint elődje. Cray a későbbiekben elhagyta a CDC-t, és saját vállalkozást alapított, ahol létrehozott három olyan modellt, amelyeket CRAY-nek nevezett el.

Kezdetekben az IBM által kifejlesztett FORTRAN (Mathematical **F**ormula **T**ranslating System) programozási nyelv volt a legelterjedtebb a szuperszámítógépek körében (Thornton, 1980). A mai szuperszámítógépek leggyakrabban használt programnyelve pedig a C/C++, de a Python, a Java és a Scala nyelvek is frekvencián alkalmazott nyelveknek számítanak (Amaral et al., 2020).

Ha nagyon le szeretnénk egyszerűsíteni a szuperszámítógépek működési metodikáját, akkor azt mondhatjuk, hogy a szuperszámítógépek azokat a valóban elvégzendő, óriási mennyiségű kísérleteket takarítják meg nekünk, amelyek szükségesek lennének a különböző tudományos prognózisok, kutatási eredmények kézhez vételéhez. Ennek megvalósulásához a szuperszámítógépek a megfelelő szoftverekkel kooperálva különböző számításokat végeznek, majd kielemezik a kapott eredményeket. Mindezek fejében még arra is képesek, hogy a várható kimenetek valószínűségét meghatározzák (Licht, 2018).

A szuperszámítógépek egyértelmű előnyei közé tartozik az is, hogy egyszerre akár több száz felhasználó munkavégzését is lehetővé teszik. A fentiek alapján elmondható, hogy ezek a berendezések jelentős mennyiségű energiát, pénzt és időt takarítanak meg a tudományos munkát végző szakemberek számára (Pagani, 2018). Ebből a perspektívából nézve akár környezetbarát eszközöknek is tekinthetnénk ezen berendezéseket, ám a mérleg másik serpenyőjében az a hatalmas energiafogyasztás áll, amit a szuperszámítógépek működése, valamint azok hűtésének kivitelezése generál. Így mindenképp egyértelmű, hogy komolyan kell foglalkozni a téma körüli fenntarthatósági problémák megoldásával.

Összességében kijelenthető, hogy a számítógépek teljesítményét egyre inkább a fogyasztásuk korlátozza (Wulf és McKee, 1995).

3.1.1. Információtechnológiai fogalmak tisztázása

A szuperszámítógépek működésének alaposabb megértéséhez szükséges tisztázni néhány információtechnológiai alapfogalmat, mely segítségünkre lehet abban, hogy jobban átlássuk azt, hogy miként kapcsolódik egymáshoz a szuperszámítógépek hatékonysága és a környezetvédelmi szempontok mentén vizsgált fenntarthatósági kérdések.

3.1.1.1. Integrált áramkörök

Az integrált áramkörök olyan kis méretű elektronikai eszközök, amelyek különböző tranzisztorokat, ellenállásokat és kondenzátorokat integrálnak egyetlen chipre. Ezen chippek lehetővé teszik, hogy nagy számú áramkörök legyenek elhelyezve kis helyen. Ennek a megoldásnak több előnye is akad: a csökkentett méretű eszközök alacsonyabb mértékű energiafelhasználással járnak, valamint további előnyük a diszkrét félvezető alkatrészekkel szemben a magasabb szintű megbízhatóság is (Maex, 1993). Sajnos hátrányként említhető az integrált áramkörök kapcsán az, hogy meghibásodás esetén nehezen kivitelezhető az eszközök javítása, így ilyen esetben az egész egységet cserélni szükséges. Ez a megoldás hulladéktermelő mivolta kapcsán a fenntarthatósági törekvésekkel ellentétes folyamatnak tekinthető.

3.1.1.2. Processzorok

A processzorok, más néven központi feldolgozó egységek (angol nyelven Central Processing Unit = CPU) az informatikai eszközök alapvető elemei, melyek az adatok feldolgozását és végrehajtását végzik a számítógépekben és szuperszámítógépekben. A processzorok sebessége és teljesítménye az alábbi paraméterekkel mérhető: órajel frekvencia, magok száma, utasítások végrehajtásának hatékonysága. A szuperszámítógépekben található processzorok általában összekapcsolódnak és szinkronizáltan működnek egyéb eszközökkel, pl. nagy sebességű memóriával, vagy nagy sáv szélességű hálózati kapcsolatokkal. Ez elengedhetetlen a rendkívül magas teljesítmény eléréséhez.

3.1.1.3. Mikroprocesszorok

A mikroprocesszor, mint ahogy a neve is sugallja, egy kis méretű integrált áramkör, amely egyetlen chipeszközön található, és a számítógépes utasítások végrehajtásáért felelős. Ezek az eszközök a modern számítógépek központi feldolgozó egységeinek tekinthetők, és kulcsfontosságú szerepet játszanak az adatfeldolgozásban és a számítógépes rendszerek vezérlésében. Ezek a chippek végzik a számítógépes instrukciók végrehajtását, beleértve a számításokat, a memória kezelését és az adatok átvitelét. A mikroprocesszorok bináris adatokat dolgoznak fel, és ugyanilyen formában is továbbítják a vezérlő rendszernek (Gronowski et al., 1998).

3.1.1.4. Többmagos processzorok

A többmagos processzorok olyan mikroprocesszorok, amelyekben több CPU mag van egyetlen chipen. A CPU (Central Processing Unit) mag az a fizikai számítási egység a processzoron belül, amely az utasítások végrehajtásáért és az adatok feldolgozásáért felelős. A többmagos processzorok vitathatatlan előnye egymagos társaikhoz képest, hogy több feladat egyidejű elvégzésére képesek, valamint a teljesítményük is nagyobb. A CPU magokról elmondható, hogy képesek egymástól függetlenül dolgozni, ami lehetővé teszi a párhuzamos feladatvégzést (Blake et al., 2009).

Fontos megjegyezni, hogy a „processzor” és „mikroprocesszor” fogalmak közötti különbség általában a terminológia pontos használatán alapul, de a két szóval gyakran ugyanarra a hardverkomponensre utalnak. A mikroprocesszor általában egyetlen integrált áramkört jelent, amely magában foglalja a központi feldolgozóegységet, valamint más fontos funkciókat is. Továbbá az is elmondható, hogy a „processzor” fogalmát általánosabban használják, ezzel utalva a számítógép/szuperszámítógép központi feldolgozó egységére. Összességében elmondható, hogy a két fogalom jelentése kontextustól függően változhat.

3.1.1.5. Szuperszámítógép

A szuperszámítógép általában több ezer vagy több millió processzor, memóriaegység, tárolóegység és nagy sebességű hálózati kapcsolatok kombinációjából áll. Az előbbiek mellett rendszerint speciális hűtési és energiaellátási megoldásokkal is rendelkezik a magas teljesítmény és megbízhatóság érdekében.

A szuperszámítógépek teljesítményét az egy másodperc alatt végrehajtott lebegőpontos műveletek számában fejezik ki, melyet „flops” mértékegységben mérnek. Az elnevezés a „Floating point Operations Per Second” angol kifejezésből származik (Matsuoka et al., 2016).

1. táblázat: Szuperszámítógépek teljesítményének kifejezése
(http1)

Elnevezés	Érték	Műveletek száma/másodperc
kiloflops	10^3	ezer
megaflops	10^6	egymillió
gigaflops	10^9	egymilliárd
teraflops	10^{12}	egybillió
petaflops	10^{15}	egybilliárd
exaflops	10^{18}	trillió

3.1.2. A szuperszámítógépek jelentősége a tudományos kutatásban, az iparban és a mindennapi életben

3.1.2.1. Egy magyar példa a szuperszámítógépek tudományos felhasználására

A Kormányzati Informatikai Fejlesztési Ügynökség hivatalos honlapján több aktívan futó magyar projekt absztraktja megtalálható. Az egyik ilyen tudományos munka a Debreceni Egyetem kutatóihoz fűződik, akik a „DENOLEN” elnevezésű projekt keretein belül azon dolgoznak, hogy feltárják a lencse (*Lens culinaris* L.) teljes genetikai kódját.

A lencsével kapcsolatos kutatási projektek jelenleg limitáltak, mivel ezen növény genomjának teljes szekvenciája egyelőre még nem ismert. A projekt célja az őszi lencse teljes genomjának meghatározása különböző új generációs szekvenálási és bioinformatikai módszerekkel, amelyek kivitelezése szuperszámítógépek közreműködésével zajlik. A kutatás elsődleges célja a növénynevelési törekvések elősegítése, amelyek a lencse teljes genetikai térképének ismeretében minden eddiginél pontosabban és könnyebben megvalósíthatóak majd.

3.1.3. A szuperszámítógépek energiafogyasztása

A szuperszámítógépek általában rendkívül nagy energiafogyasztással bírnak, mivel hatalmas teljesítményű hardverkomponensekből állnak, amelyek intenzív számítási műveleteket végeznek. Ezek a rendszerek gyakran több ezer vagy több tízezer processzort tartalmaznak, amelyek nagy mennyiségű áramot fogyasztanak.

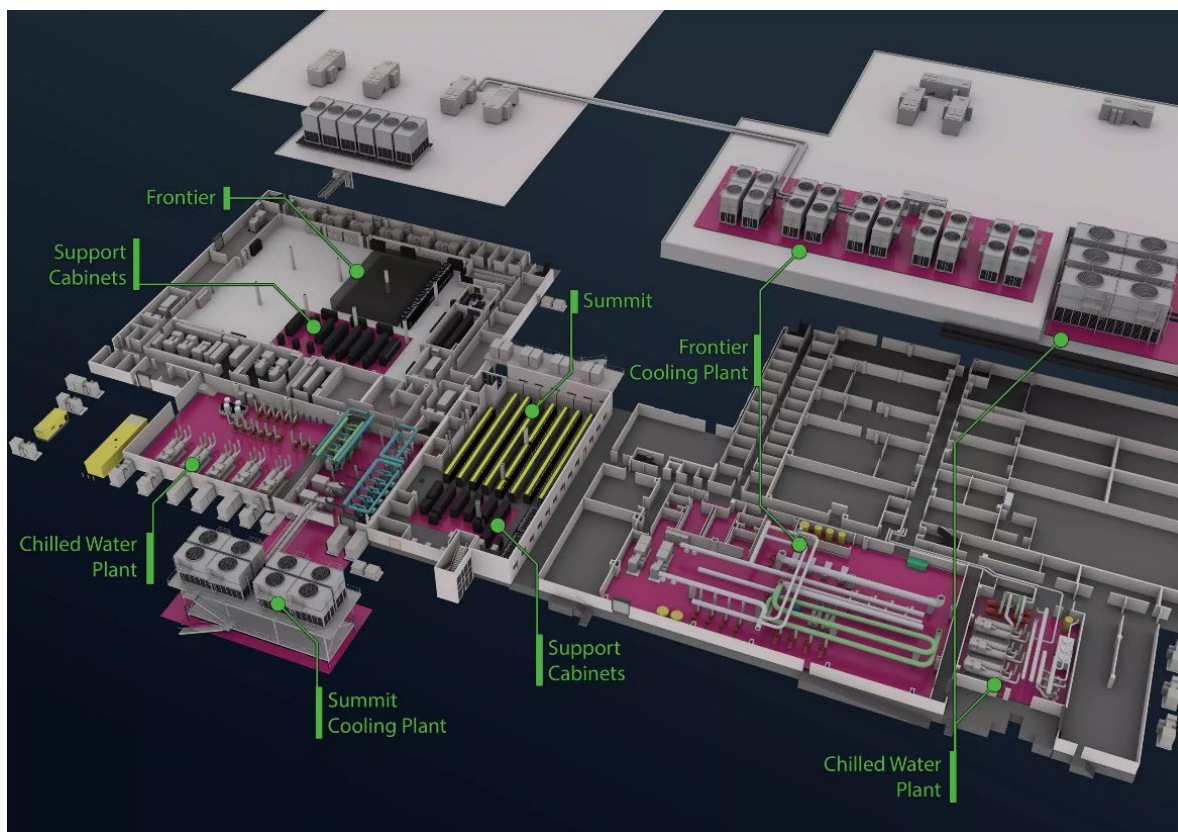
Egy exascale szuperszámítógép építése a jelenkor technológiáit alkalmazva mintegy 0,5 gigawatt teljesítményfelhasználást eredményezne (Dongarra et al., 2011).

Ezen túlmenően jelentős mértékben növeli a szuperszámítógépek energiaigényét a hardverkomponensek számottevő hűtési igénye. A folyamatosan növekvő energiahatékonyság ellenére még mindig kiemelkedő jelentőségű problémát jelent a melegező áramköri elemek optimális hőmérsékletének biztosítása a modern számítástechnikai eszközöket illetően is, mely a szuperszámítógép várható élettartamának szempontjából szintén stratégiai fontosságúnak tekinthető. A számítási egységek hőmérsékletének változása ráadásul hatással van a teljesítményre és a (nem hűtési célú) energiafogyasztásra is, amely eltérés már a hűtőközeg néhány Celsius fokos megváltozása esetén is megfigyelhető mértékű (Nonaka et al., 2020).

Általánosságban elmondható, hogy egy adatközpont hűtésének energiaigénye a rendszer összes energiafogyasztásának átlagosan mintegy 40%-át teszi ki, de előfordulnak olyan esetek is, melyekben az összes energiafelhasználás több, mint fele szolgál a megfelelő működési

hőmérséklet biztosítására (Rong et al., 2016). A fenti megállapítások szemléletesen mutatják tehát, hogy az egyre komplexebb rendszerek a számítási kapacitás és a feldolgozott adatmennyiség folyamatos növekedése mellett a hűtési rendszer kapacitás növelésének szükségességét is magukban hordozzák, újabb kihívás elé állítva ezzel az energiahatékonyság szintjének emelésén dolgozó mérnököket (Nonaka et al., 2020).

1. ábra: A Frontier szuperszámítógép hűtését ellátó rendszer az épület 3D alaprajzán (http2)



3.1.3.1. A világ leggyorsabb szuperszámítógépei

A világ leggyorsabb szuperszámítógépeit a Top500 nevű lista rangsorolja a teljesítményük alapján. Ez a lista a számítógépek abszolút számítási teljesítményére összpontosít anélkül, hogy figyelembe venné az energiahatékonysági szempontokat, vagy más egyéb fenntarthatósági paramétereket.

2. táblázat: Szuperszámítógépek top10-es listája – 2023. November
(http3)

Helyezés	Rendszer	Ország	Rmax (Pflop/s)	Magok száma	Teljesítmény (kW)
1	Frontier	USA	1,194.00	8,699,904	22,703
2	Aurora	USA	585.34	4,742,808	24,687
3	Eagle	USA	561.20	1,123,200	N/A
4	Fugaku	Japán	442.01	7,630,848	29,899
5	LUMI	Finnország	379.70	2,752,704	7,107
6	Leonardo	Olaszország	238.70	1,824,768	7,404
7	Summit	USA	148.60	2,414,592	10,096
8	MareNostrum 5 ACC	Spanyolország	138.20	680,96	2,560
9	Eos NVIDIA DGX SuperPOD	USA	121.40	485,888	N/A
10	Sierra	USA	94.64	1,572,480	7,438

A legfrissebb adatokat tartalmazó fenti táblázat szerint a világ leggyorsabb szuperszámítógépe a Hewlett Packard Enterprise által gyártott „Frontier” fantázianévre hallgató berendezés. Ez az új konfiguráció szimbolikus értékkel is bír, hiszen a szuperszámítógépek történetében ez az első olyan rendszer, mely számítási teljesítményét tekintve átlépte az 1 Exaflop/s -os lélektani határt, elérve ezzel a HPC-k exascale szintjét.

2. ábra: Frontier
(http1)



3.1.4. Szuperszámítógépek Magyarországon

Bár kapacitását tekintve elmaradnak a világ leggyorsabb szuperszámítógépeitől, mégis fontosnak érzem megemlíteni azt, hogy Magyarország is büszkélkedik szuperszámítógépekkel. Jelenleg 6 darab eszköz áll a magyar kutatók rendelkezésére, melyek közül a legismertebb a „Komondor” névre hallgató példány. A Komondor jelenleg a 226. helyet foglalja el a szuperszámítógépek Top 500-as listáján, ami nemzetközi viszonylatban egy egészen kiemelkedő teljesítménynek számít. A Top 500-as listán túl a szuperszámítógépek rangsorolása egy másik mutató alapján is megtörténik, ez pedig a Green 500-as lista, amely energiahatékonyság szempontjából állítja sorba a szuperszámítógépeket. Kiemelkedő eredményként könyvelhető el az a tény, hogy a Komondor ezen a listán az előkelő 24. helyet tudhatja magáénak (<http6>).

3.2. Green IT

Napjaink egyik legsürgetőbb környezetvédelmi feladata a globális felmelegedés folyamatának lassítása. Földünk átlaghőmérsékletének fokozatos emelkedése a jégsapkák olvadását, a tengerszint emelkedését, és az egyre szélsőségesebb időjárási viszonyok kialakulását eredményezi. A bolygónkat érintő éghajlatváltozás egyik oka a növekvő villamosenergia-felhasználásban keresendő. Bár összességében kijelenthető, hogy a világ teljes villamosenergia-felhasználásának mindösszesen pár százalékát teszik ki a szuperszámítógépek alkalmazó létesítmények és adatközpontok, azonban ez az arány folyamatosan növekvő tendenciát mutat az informatikai infrastruktúra fejlődésével, valamint az adatközpontok számának növekedésével (Patki et al., 2013).

A nemzetközi viszonylatban „Green IT”-ként emlegetett zöld informatika vagy más néven fenntartható számítástechnika egy olyan irányzatnak tekinthető, amely környezetbarát módon létrehozott és alkalmazott számítástechnikai erőforrásokat foglal magába. A környezetbarát informatikai megoldások alkalmazása pozitív hatással bír a fenntarthatóságot illetően (Molla et al., 2014). A zöld informatika elsődleges célja a környezeti terhelés minimalizálása (Paul et al., 2023). Ezen irányzat egyik kulcsfontosságú eleme az energiahatékonyságra való törekvés. Számos lehetőség nyílik ennek megvalósítására, ilyen lehet az adatközpontok optimalizálása és energiatakarékos számítástechnikai eszközök és módszerek alkalmazása. Mindemellett a zöld informatika szorgalmazza a környezetbarát gyártási folyamatok elterjedését, valamint az újrahasznosítható anyagok felhasználását a

különböző informatikai eszközök előállítása során. Ennek elérése érdekében figyelmet kell fordítani a különböző elektronikai eszközök tervezése és előállítása során a könnyű szétszerelhetőségre és a különböző alkatrészek ismételt felhasználhatóságára is.

A téma aktualitásának vitathatatlanságát támasztják alá azok a számadatok, amelyek az Amerikai Egyesült Államokban található adatközpontok energiafogyasztására vonatkoznak: míg 2000-ben 28 milliárd kW/h fogyasztást mértek, addig 2005-re ez a szám 61 milliárd kW/h-ra emelkedett. A számok globális szinten is hasonló léptékű növekedésről tesznek tanúbizonyságot.

Egy másik alarmírozó számadat lehet az a globális szinten mért CO²-kibocsátás, amely 2014-ben 9,1 milliárd tonnát jelentett, és ez az érték 49%-kal magasabb, mint amit 1990-ben mértek (Bener, 2014).

Fontos kiemelni, hogy a zöld informatika nyújtotta környezetbarát lehetőségek kiaknázása elsősorban a vállalati szférában lenne nélkülözhetetlen. Elmondható, hogy a zöld informatikai eszköztárak alkalmazásának előnyei nem csupán a környezetvédelmi szempontokra korlátozódnak, hanem hosszútávon jelentős költségmegtakarításokat is eredményezhetnek a vállalatok számára (Li és Lin, 2013). Ennek ellenére a zöld informatikai megoldások implementálása sok esetben megghiúsulni látszik, mert a szervezetek elsősorban gazdasági érdekektől vezérelve cselekszenek (Liang et al., 2007), és rövid távlatokat tekintve sok esetben nem jár finansiális előnyökkel a fenntarthatósági problémák megoldása. Az előbbiek alapján elmondható tehát, hogy a zöld informatika nem csupán egy technológiai irányzat, hanem egy olyan, globális kihívásokra választ adó törekvés, amely a fenntartható jövő iránti elkötelezettséget, valamint az informatika fejlődésének szinkronizálását tűzi ki célul, hozzájárulva ezzel a környezetünk megvédéséhez, továbbá az erőforrásaink hatékonyabb felhasználásához is.

3.2.1. A Green IT kialakulása

A zöld informatikai törekvések legelső lépéseivel az 1990-es években találkozhatunk, amikor az Amerikai Egyesült Államokban az EPA (Environmental Protection Agency) elindította az „Energy Star” névre hallgató programot, amely az energiahatékonysági szabványoknak megfelelő elektronikai eszközök azonosítására szolgált (Journal of Environmental Health, 1998).

A fogalom köztudatba való megérkezése ugyanakkor csak a 2000-es években történt meg, különösen az internet elterjedésekor.

A fenntartható informatika idővel a felhő alapú számítástechnikában is megjelent, ahol az energiafogyasztás csökkentésére és a veszélyes anyagok felhasználásának minimalizálására irányultak a törekvések. Az előbbiek ellenére sajnos kijelenthető, hogy a felhő alapú számítástechnika elterjedése növekvő CO² kibocsátást eredményezett, lévén az adatközpontok hatalmas energiaigénnyel bírnak (Manoj et al., 2020).

3.2.2. Környezetvédelmi definíciók ismertetése

A környezetvédelmi problémák alapos elemzése érdekében érdemes néhány alapfogalmat tisztázni, melyek ismertetését az alábbiakban teszem meg.

Fenntartható fejlődés: Ezt a fogalmat az ENSZ által 1987-ben megjelentetett Brundtland jelentés az alábbi módon definiálta: a fenntartható fejlődés „kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket", vagyis a fenntartható fejlődés lényege, hogy a jelen problémáinak kezelése során szem előtt kell tartani a jövő generációinak érdekét is.

ESG: Az ESG egy mozaikszó, amely az angol „Environmental, Social, Governance” kifejezések rövidítését takarja. Környezetvédelmi, társadalmi és vállalatirányítási szempontokat figyelembe vevő rendszerről van szó, amit sokszor a fenntarthatóság szinonimájaként emlegetnek.

Az ESG 3 fő területe az alábbi témákra fókuszál:

- Környezetvédelem: Ez a terület az ökológiai fenntarthatóságra helyezi a hangsúlyt, beleértve a klímaváltozás elleni küzdelmet, az erőforrások legoptimálisabb használatát, és a környezetvédelmi kezdeményezéseket.
- Társadalmi felelősségvállalás: Ide tartozik az emberi jogok tiszteletben tartása, a munkaerőt illető diverzitás támogatása, valamint a vállalati tevékenységek társadalmi hatásainak monitorozása a közösség fejlesztése érdekében
- Vállalatirányítás: Jelen pont az etikai normák betartására, a vállalati transzparenciára és a vállalatok hosszútávú értékteremtésére helyezi a hangsúlyt.

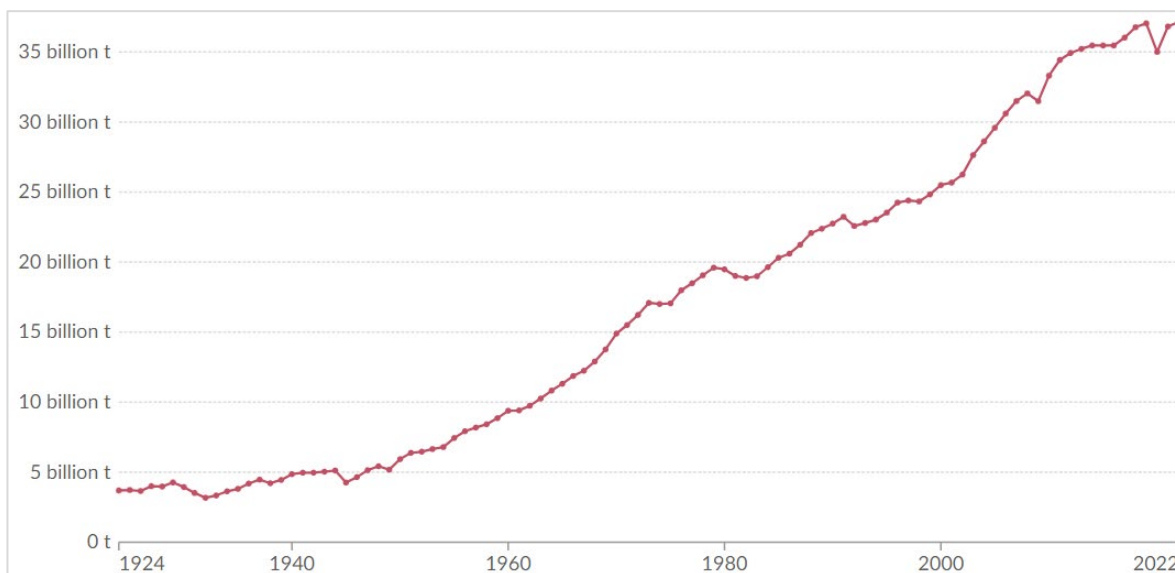
Mint a korábbiakban tisztázásra került, a szuperszámítógépek nagy energiaigényű számítástechnikai eszközök, amelyek nagy környezeti terhelést jelentenek. Az energiahatékonyság, a megújuló energiaforrások használata és az ökológiai lábnyom csökkentése iránti törekvések mind elősegíthetik az ESG célok mielőbbi elérését.

Ökológiai lábnyom: A kifejezés William Rees és Mathis Wackernagel ökológusok nevéhez köthető. Definíció szerint „Az ökológiai lábnyom egy olyan elszámolási keretrendszer, amely bemutatja, hogy az ökoszisztéma termékeiből és szolgáltatásaiból mekkora részt képvisel a humán célú felhasználás, és ennek meghatározásához a termékek és szolgáltatások előállításához szükséges bioproduktív területek (szárazföld és tenger) nagyságát használja fel mutatóként.” (Ewing et al., 2010)

Karbonlábnyom: Thomas Wiedman és Jan Minx megfogalmazásában a karbonlábnyom az ökológiai lábnyom azon része, mely valamilyen tevékenység, személy, terület stb. által közvetlenül, vagy közvetetten a légkörbe juttatott széndioxid összes mennyiségét méri, illetve azt a területegységet, mely ezen mennyiség semlegesítéséhez szükséges (Bakosné, 2016).

Üvegházhatású gázok: Az üvegházhatású gázok olyan gáz halmazállapotú vegyületek, amelyek az atmoszférában megtartják a napból érkező hősugárzást, amely hozzájárul a Föld felszínének felmelegedéséhez. A legismertebb üvegházhatású gáz a szén-dioxid (CO_2), ám üvegházhatású gázként tekintünk a metánra, a nitrogén-oxidokra, és az ózónra is.

3. ábra: Fosszilis tüzelőanyagokból és ipari folyamatokból származó CO_2 -kibocsátás növekvő tendenciája az elmúlt 100 évben (http4)



Hulladékgazdálkodás, e-hulladék: Elektronikai hulladéknak, vagy más néven e-hulladéknak nevezzük azoknak a hulladékoknak a csoportját, amelyek használhatatlan vagy elavult elektronikai berendezéseket és alkatrészeket tartalmaznak. Angolul WEEE-ként emlegetik ezeket a típusú hulladékokat, mely mozaikszó a „Waste Electrical and Electronic Equipment” kifejezésből származik.

REACH Rendelet: Az Európai Unió legjelentősebb vegyi anyagokra vonatkozó jogszabálya, amely az angol „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals” szavakból alkotott mozaikszó, azaz Regisztrálás, Értékelés, Engedélyezés a Vegyi Anyagokra vonatkozóan. A rendelet fő célja az emberi egészség és a környezet védelme a vegyi anyagok biztonságos felhasználása révén Az Európai Unióban (<http5>) A jogszabály relevanciája számottevő a fenntartható informatikát illetően, hiszen a szuperszámítógépek gyártása és üzemeltetése során számos vegyi anyag kerül felhasználásra, amelyek a REACH rendelet hatálya alá tartoznak. Ilyenek lehetnek például a mikrochipekben és tranzistorokban használt vegyi anyagok, mint: az ólom,

3.2.3. Környezetvédelem az informatika területén

A környezetvédelem és az informatika kapcsolata egyre inkább előtérbe kerül napjainkban.

Az informatikai eszközök gyártása, üzemeltetése és hulladékkezelése jelentős környezeti hatással bír, ezért kiemelkedően fontos, hogy a szektor aktív szerepet vállaljon a fenntarthatóság és a környezetvédelem területén. Az egyik kulcsfontosságú lépés lehet az informatikai eszközök gyártásának fenntarthatóbbá tétele, hiszen ezen berendezések gyártása során óriási mennyiségű energiafelhasználásra kerül sor, emellett pedig komoly környezeti hatásokkal kell számolni a nyersanyagok bányászása, az alkatrészek transzportálása nyomán is. Egy másik megoldási alternatíva lehet a környezetterhelés csökkentése érdekében olyan zöld adatközpontok létrehozása és üzemeltetése, melyeknél energiatakarékos megoldások alkalmazása valósulhat meg, úgy mint, megújuló energiaforrások használata, energiatakarékos hardverek alkalmazása, valamint optimalizált hűtési rendszerek kialakítása. Emellett a digitalizáció és a felhőalapú szolgáltatások elterjedése is hozzájárulhat a környezetünk védelméhez, hiszen a digitális dokumentációk használata és az online felületen gyakorolt munkavégzés terjedése közvetett módon nagyban csökkentheti a globális energiafogyasztást azáltal, hogy minimalizálja a papíralapú munkavégzést és az utazással járó káros környezeti hatásokat. Komoly kihívást jelentenek az informatikai hulladékok is, melyek tetemes mennyiségben vannak jelen napjainkban.

A folyamatos technológiai újítások révén egyre rövidebb ciklusok során cserélődnek le az informatikai eszközök újabb, gyorsabb és hatékonyabb társaikra, emiatt az elektronikai hulladékok mennyisége szignifikáns növekedést mutat. Az elhasznált eszközök újrahasznosítása nélkülözhetetlennek bizonyul a környezeti terhelés csökkentése érdekében.

Mindemellett célszerű olyan tervezési stratégiákat alkalmazni, amelyek révén hosszabb élettartam biztosítható az eszközök számára, illetve karbantartásuk és javításuk is egyszerűen kivitelezhető.

3.3. Kérdőív

3.3.1. A kutatás célja

Mint munkám bevezetőjében említésre került, diplomadolgozatom témaválasztását az aktuális és időszerű kérdések iránti érdeklődés motiválta, mivel számomra kiemelt fontosságú az, hogy a választott kutatási területem releváns legyen az aktuális társadalmi és gazdasági kihívásokat illetően.

Kérdőívem összeállítása során arra törekedtem, hogy minél átfogóbb képet kaphassak arról, hogy jelenkori társadalmunk milyen mértékű érdeklődéssel tekint a környezetvédelemre, valamint az informatikai ágazat fenntarthatósági szempontokat is figyelembe vevő törekvéseire és megoldásaira.

3.3.2. Kutatásmódszertan

Bár kutatási témám nem csupán az általános zöld informatikai témákra fókuszál, hanem azoknál sokkal specifikusabb területet fed le, kérdőívem létrehozása során optimálisabb iránynak tartottam a hétköznapi életben és köztudatban is aktívabban jelen lévő generikus fenntarthatósági témákra fókuszálni az informatika berkein belül, mintsem a szuperszámítógépekkel és azok környezettudatos használatával kapcsolatban megfogalmazott véleményeket összegyűjteni.

Kutatásom alapját így hát az a kérdőív képezte, melynek célja az emberek véleményének és álláspontjának feltérképezése volt általános környezetvédelmi kérdésekben, valamint a fenntartható informatikai megoldások kapcsán. Kérdőívemet körültekintéssel készítettem, igyekeztem kérdéseimet úgy összeállítani, hogy az azokra érkezett válaszok informatívak és kiértékelhetőek legyenek. Az adatok összegyűjtéséhez a korábbiakban ismertetettek szerint a Google által üzemeltetett „Google Űrlapok” platformot használtam, a kész kérdőívet pedig különböző közösségi felületeken osztottam meg, figyelve arra, hogy az a felnőtt lakosságon belül lehetőleg minden korosztály és a legtöbb társadalmi réteg számára elérhető legyen. Ennek megvalósítása érdekében különböző korcsoportba tartozó, eltérő típusú lakhelyen élő

ismerőseim segítségét kértem, akik kérdőívem terjesztésével nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy a fenti kritériumok teljesüljenek.

A beérkezett válaszok alapján később részletes kiértékelést végeztem Microsoft Excel program, valamint annak kiegészítő statisztikai moduljának segítségével, mely nyomán átfogó képet kaptam az emberek véleményét és prioritásait illetően a zöld informatika berkein belül.

3.3.3. A kérdőív kitöltői

Kérdőívemet 2024.01.14-én hoztam nyilvánosságra, a kitöltőknek 2024.01.23-ig volt lehetőségük megválaszolni az általam feltett általános környezetvédelmi témájú, illetve fenntartható informatikával kapcsolatos kérdéseket. A kérdőív online felületen keresztül jutott el a válaszadókhoz, az egyik népszerű közösségi oldalon osztottam meg a kutatásomat, amely nyilvános mivolta miatt szűk 1,5 hét alatt kifejezetten sok emberhez jutott el. A kérdőívem nagy mértékű kitöltöttségéhez továbbá az is hozzájárult, hogy ismerőseim jelentős része tovább küldte a kérdőívet olyan személyek számára is, akik nincsenek jelen közösségi platformokon.

A válaszok beérkezését és lezárását követően a Google Forms felületéről exportálás útján .xls kiterjesztésű fájlt készítettem. Az adatok kiértékelését és statisztikai elemzését Microsoft Excel szoftverrel végeztem, amely az „Analysis ToolPak” nevű kiegészítő modul eszköztára által széleskörű vizsgálati lehetőségeket nyújtott számomra.

Első körben az életkorra vonatkozó adatok kapcsán végeztem el egy leíró statisztikai műveletet, melynek eredményeit az alábbi táblázat foglalja össze:

3. táblázat: Leíró statisztikai eredmények az életkorra vonatkozóan
(Forrás: saját szerkesztés)

<i>Az Ön életkora:</i>	
Mean	43,46
Standard Error	0,73
Median	42,00
Mode	32,00
Standard Deviation	11,49
Sample Variance	131,92
Kurtosis	-0,27
Skewness	0,53
Range	59,00
Minimum	18,00
Maximum	77,00
Sum	10734,00
Count	247,00

A kérdőív 249 db kitöltéssel zárult, az életkorra vonatkozó adatot 247 db kitöltő adta meg, így az életkorra vonatkozó adatot kihagyó válaszadók adatait töröltem a fenti vizsgálat elvégzése előtt. A leíró statisztikai eredmények közül a számunkra releváns adatokat halványzöld háttérrel jelöltem. A fenti táblázatból egyértelműen látható, hogy a legfiatalabb kitöltő 18, míg a legidősebb 77 éves volt, így kijelenthető, hogy a kérdőívem a felnőtt korosztály széles skálája számára volt hozzáférhető. A kérdőívet kitöltő személyek átlagéletkora egy tizedesjegyre kerekítve 43,5 év volt, a medián 42 év, a módusz pedig -amely a leggyakrabban előforduló életkor jelöli- 32 év volt.

A kérdőívem segítségével az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- *Kimutatható-e bárminemű összefüggés az emberek életkora, végzettsége vagy lakhelye és a környezetvédelmi témák iránti érdeklődés mértéke között?*

A kérdőív témája kapcsán az alábbi hipotéziseket fogalmaztam meg:

Hipotézis 1: A magasabban iskolázott emberek környezetvédelem iránti érdeklődése erőteljesebb, mint az alacsonyabb iskolázottságú személyeké

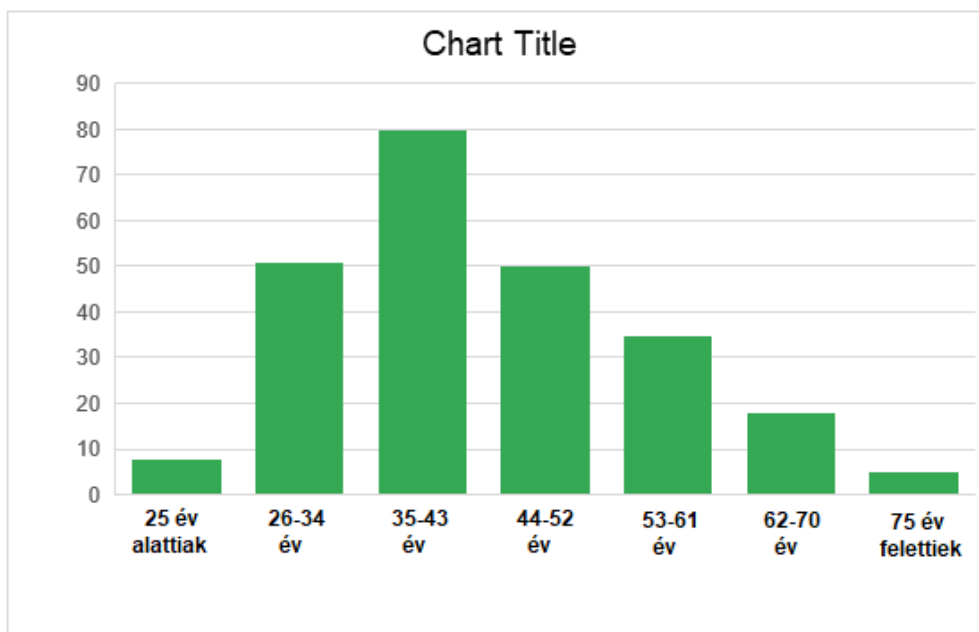
Hipotézis 2: A fiatalabb korosztály környezetvédelem iránti érdeklődése erőteljesebb, mint az idősebb generációké

Hipotézis 3: Azok a személyek, akik intenzív érdeklődést mutatnak a környezetvédelem iránt, hajlandóak többet fizetni környezetbarát informatikai megoldásokért

3.3.4. Eredmények

Első körben ellenőriztem, hogy az összegyűjtött adataim normális eloszlást mutatnak-e az életkor tekintetében. 249 db kitöltő vett részt a kutatásomban, a válaszadók közül kettő személy nem adta meg az életkorát, így adattisztítást végeztem, azaz a fenti két válaszadó adatait nem vettem figyelembe a normális eloszlás ellenőrzésekor, valamint azon vizsgálatok elvégzésekor, ahol az életkor is releváns adatnak számított. Az életkorral kapcsolatos válaszokat 7 darab csoportba osztottam, majd az adatokat hisztogram segítségével vizualizáltam. A kapott értékek feldolgozás alapján elmondható, hogy az életkorra vonatkozó adataim normális eloszlásúak.

4. ábra: Az adatok normális eloszlásának ábrázolása
(Forrás: saját szerkesztés)



Az első hipotézis vizsgálata:

H^0 : Nincs szignifikáns különbség az iskolázottság szintje és a környezetvédelem iránti érdeklődés között.

H^1 : Van szignifikáns különbség az iskolázottság szintje és a környezetvédelem iránti érdeklődés között.

Kérdőívem kiértékelésének első szakaszában azt szerettem volna megvizsgálni, hogy van-e korreláció a válaszadók iskolai végzettsége és a környezetvédelem iránti általános érdeklődésük mértéke között. A végzettségi szintet egy 5 tagú skálán vizsgáltam (általános iskolai; középiskolai; Ba/Bsc; Ma/Msc; posztgraduális végzettség), a környezetvédelem iránti affinitás megméréséhez pedig a korábbiakban említettek szerint 4 tagú skálát választottam.

Az adatok összevetését követően az alábbi korrelációs együtthatót kaptam:

$$r = 0,07897$$

A fent kapott eredmény tükrében kijelenthető, hogy az iskolai végzettség és a környezetvédelem iránti érdeklődés között nincs korreláció, azaz nem jelenthető ki, hogy a magasabb iskolai végzettség feltétlenül nagyobb érdeklődést jelent a környezetvédelmi témák iránt. A fenti hipotézis alátámasztására vagy megcáfolására nem éreztem kellőképpen elegendőnek a fenti vizsgálat elvégzését, így a korrelációs együttható kiszámítása mellett elvégeztem egy paraméteres próbát is.

Választásom a kétmintás t-próbára esett, amelynek eredményeit az alábbi táblázat foglalja össze:

4. táblázat: Kétmintás t-próba elvégzése során kapott eredmények
(Forrás: saját szerkesztés)

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	Variable 1	Variable 2
Mean	3,510121457	3,63562753
Variance	0,75497844	0,281327145
Observations	247	247
Pooled Variance	0,518152793	
Hypothesized Mean Differenc	0	
df	492	
t Stat	-1,937623074	
P(T<=t) one-tail	0,026620561	
t Critical one-tail	1,647956594	
P(T<=t) two-tail	0,053241123	
t Critical two-tail	1,964797356	

A t-próba során a szignifikanciaszintet leggyakrabban 5%-ra állítjuk be, így jelen vizsgálat során én is ezzel az értékkel kalkuláltam. A táblázat első három sorában az átlagot, a varianciát, valamint a mintaelemszámot láthatjuk.

T-próba esetén a hipotézis elutasítása vagy elfogadása a p-érték alapján történik. Ha a p-érték kisebb, mint a beállított szignifikanciaszint, akkor elutasítjuk a nullhipotézist, és egyúttal elfogadjuk a hipotézist.

Az általam kapott eredmény $p=0,026620561$ egyirányú teszt esetén, amely érték kisebb, mint az általunk megadott $\alpha=0,05$, amely 5%-os szignifikanciaszintet jelent. Ebből kifolyólag elutasítjuk a nullhipotézisünket, és jelen mintára nézve elfogadjuk a hipotézist, amely alapján elmondható, hogy van különbség az eltérő iskolázottsági szinteken a környezetvédelemhez való hozzáállásban.

A fenti két eredmény első ránézésre ellentmondásként hathat, ám fontos megjegyezni, hogy a két módszer két különböző aspektusból vizsgálja meg a kérdésünket. Míg a Pearson-féle korrelációs együttható az mutatja meg, hogy két változó közötti lineáris összefüggés milyen erős, addig a t-próba arra összpontosít, hogy van-e szignifikáns különbség az iskolai végzettség és a környezetvédelem iránti érdeklődési szintek között.

A második hipotézis vizsgálata:

H^0 : A fiatalabb és az idősebb korosztály számára ugyanolyan fontos a környezettudatos döntések meghozatala a mindennapi élet során

H^1 : A fiatalabb korosztály számára fontosabb, hogy a mindennapi élete során környezettudatos döntéseket hozzon, mint az idősebb korosztály számára

Hipotézisem vizsgálatát egyváltozós varianciaanalízis (ANOVA) segítségével végeztem el. Első lépésként megvizsgáltam a kérdőívre kapott válaszok életkorra vonatkozó részeit, az életkort nem megadó válaszadókat töröltem (2 fő), valamint a nem szimplán numerikus módon megadott válaszokat javítottam és elemezhető formára hoztam. A legfiatalabb kitöltő 18 éves, míg a legidősebb válaszadó 77 éves volt. A statisztikai elemzés elvégzése előtt a válaszadókat 3 korcsoportba osztottam:

- 1. korosztály: 18-30 év
- 2. korosztály: 31-50 év
- 3. korosztály: 51-77 év

Az életkorra vonatkozó oszlop mellett kialakítottam egy másik oszlopot, amelybe a fenti korcsoport besorolás szerinti számok kerültek. A táblázat harmadik oszlopába azok a válaszok kerültek, amelyek az alábbi kérdésre érkeztek: „Mennyire fontos az Ön számára az, hogy a mindennapi élete során környezettudatos döntéseket hozzon?”.

A válaszok az alábbiak lehettek:

- Nagyon fontos (4)
- Fontos (3)
- Nem túl fontos (2)
- Egyáltalán nem fontos (1)

A statisztikai próba elvégzéséhez szükséges volt a fenti válaszokat numerikus alakba hozni, így egy 4-fokú skála tagjaiként az 1,2,3, valamint 4-es számot rendeltem a szöveges válaszok mellé a fenti felsorolásban jelzettek szerint.

Az ANOVA lefuttatása után az alábbi eredményeket kaptam:

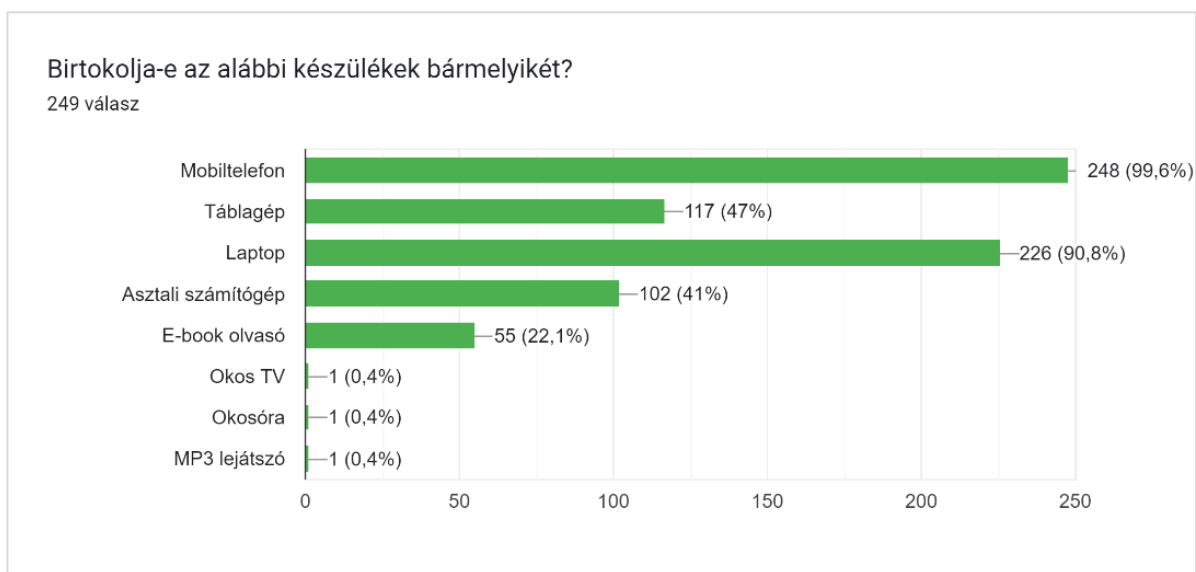
5. táblázat: Az egyszempontos varianciaanalízis lefuttatása után kapott eredmények
(Forrás: saját szerkesztés)

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Column 1	247	777	3,145749	0,385175		
Column 2	247	535	2,165992	0,309733		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	118,5506	1	118,5506	341,198	2,94E-58	3,860428649
Within Groups	170,9474	492	0,347454			
Total	289,498	493				

Hasonlóan a t-próbához, az egyváltozós ANOVA kiértékelése során is a kapott p-érték hordozza magában a legfontosabb információt, melynek segítségével eldönthetjük, hogy a hipotézisünk elfogadható vagy sem. A fenti táblázat alapján a p-érték egy nagyon kicsi szám, amely közelít a nullához. Az „E”-betű az exponenciális szó rövidítését takarja, 2,94-et a 10^{-58} hatványával kapjuk meg a konkrét összeget. Mivel jelen esetben is 5%-os értéket adtuk meg szignifikanciaszintnek, könnyen belátható, hogy a kapott p-érték ennél a számnál kisebb, így az átlagok közötti különbség szignifikánsnak tekinthető. Ennek értelmében a nullhipotézist elutasítjuk, és kijelenthetjük, hogy a hipotézisként megadott állítás -mely szerint a fiatalabb korosztály számára fontosabbak a mindennapi élet során meghozott környezettudatos döntések, mint az idősebb korosztály számára- igaznak bizonyul. Így a hipotézist elfogadhatónak tekintjük jelen vizsgálati mintára nézve.

Kérdőívemben az általános környezetvédelmi témákkal kapcsolatos kérdések feltevése mellett olyan információk megszerzése is célom volt, amelyek a fenntartható informatikai megoldásokkal kapcsolatos álláspontokat igyekeztek vizsgálni. Ennek első lépéseként megkérdeztem a teszt kitöltőit, hogy milyen készülékekkel rendelkeznek az általam felsorolt 5 eszköz közül. A kérdés megválaszolásánál saját további opciók megadására is lehetőség adódott, ezért került plusz három válasz a lenti grafikonra.

5. ábra: A válaszadók készülék birtoklását ábrázoló sávdiagram
(Forrás: saját szerkesztés)



A fenti diagram adatai alapján elmondható, hogy mobiltelefonnal egy darab kitöltő kivételével minden személy rendelkezik. A második legnépszerűbb számítástechnikai eszköz a laptop, amellyel a válaszadók 90,8%-a rendelkezik. A kérdőívet kitöltők közel fele birtokol táblagépet, valamint asztali számítógépet is. E-book olvasóval a kitöltők 22,1%-a rendelkezik. A fenti válaszok alapján megállapítható, hogy a számítástechnikai eszközök valamilyen formában gyakorlatilag az összes válaszadó háztartásában megtalálhatóak, így az informatikai terület fenntarthatósági problémakörei minden kitöltőt közvetlenül érintenek.

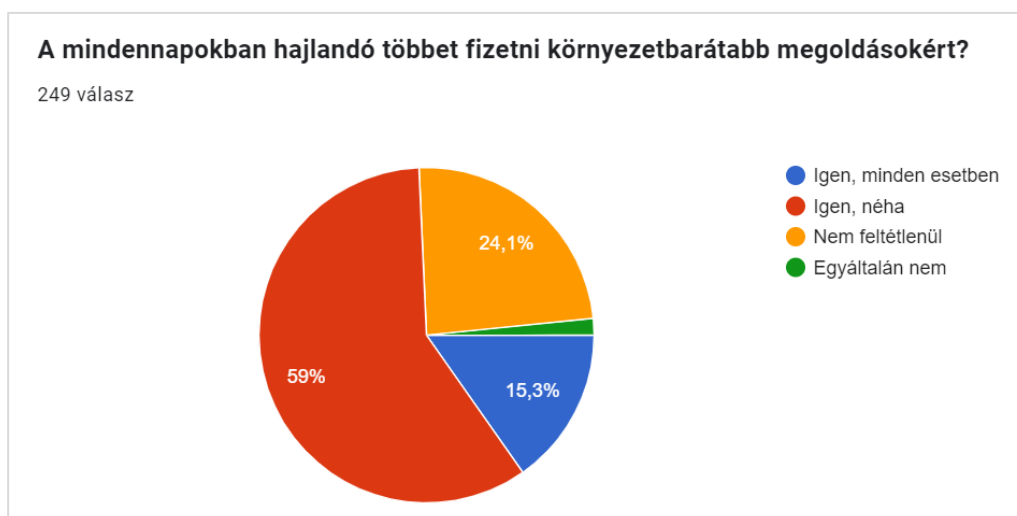
Kérdőívemben szerettem volna választ kapni arra a kérdésre, hogy az embereket milyen mértékben érdekli az, hogy az általuk használt számítástechnikai berendezések fokozott energiahatékonysággal kerültek-e legyártásra. A válaszok kiértékelése során megállapíthattam, hogy a válaszadók 49,8%-a, azaz közel fele nagy mértékben fontosnak tartja ezt a tulajdonságot, 43,4% pedig szimplán fontosnak tartja ezt. A válaszadók csupán 4,8%-a van azon az állásponton, hogy ez egy kevésbé fontos tényező, míg a válaszadók 2%-a (mindösszesen 5 személy) gondolja azt, hogy ez egyáltalán nem lényeges szempont.

6. ábra: Az elektronikai eszközök energiahatékonyságának fontosságát megítélő válaszok kördiagramja
(Forrás: saját szerkesztés)



Kérdőívemben szerettem volna megvizsgálni azt is, hogy az emberek milyen viszonyban állnak a környezettudatos életmóddal abban az esetben, ha ezen irányzat követése esetenként financiaális terheket von maga után. Kérdéseim egyike arra irányult, hogy a hétköznapi életben hajlandóak-e bevállalni magasabb kiadásokat környezetbarátabb megoldásokért cserébe, a másik kérdésem pedig arra vonatkozott, hogy egy környezetbarát módon működő adatközpont szolgáltatásaiért cserébe vállalnák-e az emelkedett tarifát. A válaszok mindkét kérdés esetén egy 4 fokú skálán helyezkedtek el.

7. ábra: Környezetbarát megoldásokat illető fizetési hajlandóságot vizsgáló kérdésre adott válaszok kördiagramja
(Forrás: saját szerkesztés)



8. ábra: Adatközpontok környezetbarát működésével kapcsolatos fizetési hajlandóságra vonatkozó kérdésre kapott válaszok kördiagramja

(Forrás: saját szerkesztés)



A két kérdésre kapott válaszokat ismételten összevettem korrelációt keresve, és statisztikai vizsgálatom eredményeként azt kaptam, hogy a két adatsor korrelációs együtthatója **$r=0,4741$** .

A kapott érték arra enged következtetni, hogy közepes erősségű lineáris kapcsolat áll fenn a két változó között.

A harmadik hipotézis vizsgálata:

H^0 : Azok a személyek, akik intenzív érdeklődést mutatnak a környezetvédelem iránt, nem hajlandóak többet fizetni környezetbarát informatikai megoldásokért

H^1 : Azok a személyek, akik intenzív érdeklődést mutatnak a környezetvédelem iránt, hajlandóak többet fizetni környezetbarát informatikai megoldásokért

Kérdőívem elemzésének következő állomásán szerettem volna megvizsgálni azt, hogy azok, akik a mindennapokban:

- fontosnak tartják az energiatakarékos üzemmód használatot
- lényeges szempontnak gondolják a környezetbarát módon való termékellátást a számítástechnikai eszközöket illetően
- hangsúlyos szerepbe helyezik a fokozott energiahatékonyságú elektronikai eszközöket, hajlandóak lennének-e többet fizetni azért, hogy a különböző adatközpontok környezetbarát megoldásokat használjanak a működésük során.

Korrelációanalízist végeztem a fenti adatsorok kapcsán, melyet követően az alábbi eredményeket kaptam:

6. táblázat: Korrelációanalízis eredményei
(Forrás: saját szerkesztés)

Energiatakarékos üzemmódok használata és fizetési hajlandóság korrelációja	$r=0,16576$
Érdeklődés a környezetbarát módon előállított termékek iránt és fizetési hajlandóság korrelációja	$r=0,47868$
Energiahatékonyság fokozásának fontossága és fizetési hajlandóság korrelációja	$r=0,34857$
A fenti három kérdés válaszainak szummázott listája és a fizetési hajlandóság korrelációja	$r=0,43423$

A fenti elemzések elkészítésének alapjait az a négy kérdés adta, amelyeket a kérdőívemben az alábbiak szerint fogalmaztam meg:

1. Használ-e energiatakarékos üzemmódokat az eszközein?
2. Milyen mértékben befolyásolná a döntését egy termék vagy szolgáltatás választásakor, ha tudná, hogy az adott számítástechnikai eszköz környezetbarát módon lett előállítva?
3. Mennyire tartja fontosnak, hogy a számítógépek és egyéb elektronikai eszközök energiahatékonyságát fokozzák a gyártás során?
4. Hajlandó lenne-e többet fizetni azért, hogy egy adatközpont környezetbarátabb megoldásokat használjon a működése során?

A korrelációanalízis eredményeiből kiderül, hogy míg a felhasználók energiatakarékos üzemmód-használata és a fizetési hajlandóság között nincs korreláció, addig a másik két kérdés esetén már megfigyelhető közepes erősségű kapcsolat a két változó között. A három kérdés válaszainak numerikus alakban történő összegzése, majd ennek korrelációvizsgálata a fizetési hajlandóságot tekintve szintén azt az eredményt hozta, hogy közepes erősségű a korreláció a két változó között.

A fenti vizsgálat eredményeit szeretném varianciaanalízis által is megerősíteni, így a fent található első három kérdés válaszainak összegzése után lefuttatásra került az egyfaktoros ANOVA, mely eredményeit a következő oldalon található táblázat foglalja össze.

7. táblázat: Egyfaktoros varianciaanalízis
(Forrás: saját szerkesztés)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4374,291	1	4374,291	2111,159	4,0857E-180	3,860429
Within Groups	1019,417	492	2,071986			
Total	5393,709	493				

A táblázat alapján elmondható, hogy a p-értékünk kisebb, mint a szignifikanciaszintként beállított $\alpha=0,05$. Ebből kifolyólag a nullhipotézisünket elutasítjuk, és a hipotézist, mely szerint azok a személyek, akik intenzív érdeklődést mutatnak a környezetvédelem iránt, hajlandóak többet fizetni környezetbarát informatikai megoldásokért, elfogadjuk.

3.3.5. Eredmények összefoglalása

Az általam összeállított kérdőívre kapott válaszok statisztikai elemzése alapján az alábbi következtetések vonhatóak le. Jelen mintára nézve elfogadható az a hipotézis, miszerint az iskolázottság mértéke befolyással bír a környezetvédelmi tudatosságot illetően. Vizsgálataim alapján kijelenthető, hogy minél magasabb végzettséggel rendelkezik valaki, annál nagyobb affinitást mutat a környezetbarát megoldásokkal szemben. Továbbá az is elmondható, hogy jelen mintát tekintve van szignifikáns különbség a különböző korosztályok és környezetvédelmi érdeklődésük között, vizsgálati eredményeim alapján a fiatalabb korosztály aktívabb a fenntarthatósági megoldások keresése és alkalmazása terén, mint az idősebb korosztály. Ennek a jelenségnek több oka is lehet. Egyrészt a fiatalabb generációk valószínűleg nagyobb mértékben vannak kitéve környezetvédelmi tematikájú üzeneteknek az oktatás, valamint a média által. Ez hozzájárulhat a környezettudatosság kialakulásához és erősödéséhez. A fentiekén túl megállapítható az is, hogy a fiatalabb generációk gyakrabban használnak olyan technológiákat és eszközöket, amelyek környezetbarát megoldásokat kínálnak. Fontos azonban megjegyezni, hogy nem lehet és nem is szabad messzemenő következtetéseket levonni egy olyan eredményből, amely mindösszesen egy 249 db mintaelemszámú kutatásra épül.

A kérdőív válaszadóinak körét illetően továbbá az is megállapítható, hogy azok a személyek, akik intenzív érdeklődést mutatnak a környezetvédelem iránt, hajlandóak többet fizetni környezetbarát informatikai megoldásokért. Mivel kutatásom során az adatgyűjtés csak

a sokaság egy kiválasztott részének megfigyelésével zajlott, és ez a rész nem feltétlenül tükrözi hűen a sokaságot, így kutatásom nem tekinthető reprezentatívnak.

3.4. Szuperszámítógépek alkalmazása a zöld informatika tükrében

A korábbiakban ismertetett információk alapján elmondható, hogy az elmúlt évtizedekben lezajlott technológiai fejlődés következtében a mai szuperszámítógépek kapacitását illetően szignifikáns növekedés tapasztalható. Ezen folyamattal párhuzamosan pedig nőtt a berendezések energiaigénye is, ez pedig napjainkban komoly fenntarthatósági kérdéseket vet fel.

3.4.1. A szuperszámítógépek környezeti kihívásai

A legtöbb szuperszámítógép több ezer, több tízezer vagy akár több százezer processzorral rendelkezik, amelyek párhuzamosan működnek a szuperszámítógép használata közben. Ebből kifolyólag nem meglepő a tény, hogy a szuperszámítógépek energiaigénye hatalmas. A fentiekén túl a processzorok folyamatos működése és a nagy teljesítményű adatkommunikáció nyomán rengeteg hő termelődik, amely megfelelő hűtési módszert igényel. Ezen folyamat további energiát emészt fel, ezzel növelve a szuperszámítógépek fogyasztását, hiszen a hűtést a legtöbb esetben nagy teljesítményű légkondicionáló berendezésekkel valósítják meg. Összességében elmondható, hogy a szuperszámítógép-parkok esetén a hűtési infrastruktúra felel a teljes rendszer energiafogyasztásának körülbelül 30-40%-áért (Meijer, 2010).

3.4.2. Zöld megoldások és alternatív energiaforrások alkalmazása a szuperszámítógépek területén

3.4.2.1. Megújuló energiaforrások alkalmazása

Napjainkban egyre gyakrabban esik szó a fosszilis energiahordozók hátrányairól, idő előtti kimerülésükről és ezen energiaforrások lehetséges alternatív helyettesítőiről. Az informatikai rendszerek jelentős hányada ezen energiahordozókra támaszkodva funkcionál, így kijelenthető, hogy ezen a területen is egyre sürgetőbbé válik az alternatív energiaforrások alkalmazásának bevezetése.

A leggyakrabban megújuló energiaforrásként emlegetett alternatíváink a Nap, a szél és a víz. Ezen felül beszélhetünk biomasszáról, geotermikus energiáról is. Az utóbbi években ezen

energiaforrások hasznosítása a szuperszámítógépek üzemeltetése kapcsán is egyre gyakrabban szóba kerülnek, ugyanis ezen opciók választása hozzájárulhat a szuperszámítógépek karbonlábnyomának csökkentéséhez, és ez által fenntarthatóbb működtetéséhez. Az alábbiakban a két legfrekvenciáltabban alkalmazott alternatív energiatermelő módszert ismertetem.

A megújuló energiaforrások alkalmazásának egy következő szintjét jelentheti az, ha a HPC központok saját maguk termelik meg a felhasználandó energiát (pl. napelemmel).

Napenergia: A napenergia alkalmazása egyre szélesebb körben elterjedt mind a háztartások, mint az ipari létesítmények területén. Ezen energiaelőállítási módszer olyan helyeken alkalmazható a leghatékonyabban, ahol magas a napsütéses órák száma. A napenergia hasznosításának működési mechanizmusa általában napkollektorokon vagy napelemes rendszereken alapul. A napkollektorok olyan eszközök, amelyek a napfény felhasználásával termelnek hőenergiát. Hő akkor keletkezik egy anyagban, ha az adott anyag a napfényt nem visszaveri vagy átengedi, hanem elnyeli, ebből kifolyólag a napkollektorok esetén a fő cél az, hogy az azokra érkező fény minél nagyobb arányban elnyelésre kerüljön (Sheikholeslami és Farshad, 2021). Fontos megjegyezni, hogy a napkollektorokkal nem villamosenergiát, hanem meleg vizet vagy levegőt lehet előállítani. A napenergia másik felhasználási módja a napelemes rendszerek alkalmazása, amely egy félvezető anyagot tartalmazó cellákból felépülő rendszer. A napelem cellák esetében általában szilíciumot használnak félvezető gyanánt (Wenham és Green, 1996). Ezeknél a berendezéseknél a napsugárzás által érkező napenergia villamosenergiává alakul át azáltal, hogy a napfény fotonjai átadják energiájukat azoknak az elektronoknak, amelyek a cellákban találhatóak.

Szélenergia: A napsugárzás hatására a Föld felszíne egyenetlenül melegszik fel, ami különböző hőmérsékleti övezetek kialakulásához vezet. Míg a melegebb levegő felfelé mozog, addig a hidegebb levegő lesüllyed, s ezen folyamatok által alakul ki a légáramlás. Ebből kifolyólag kijelenthető, hogy -közvetetten ugyan-, de a szélenergia is a Napból származik. A szélenergia hasznosítása során szélérőművek hoznak létre elektromos energiát. A szélérőműveken, azaz szélturbinákon lévő szélkerék lapátok a szél ereje által mozgásba kerülnek, melynek következtében forgásba hozzák azt a generátort, amely elektromos energia termelését viszi végbe (Blanco, 2009). A generátor által termel egyenáramot speciális áramátalakító berendezések, úgynevezett inverterek segítségével alakítják át váltóárammá, amelyet aztán betáplálnak a villamoshálózatba. A szélenergia előnyei közé tartozik a szélérőművek viszonylag egyszerű felépítése és telepíthetősége, valamint az, hogy ezen energiatermelő egységeknek a fosszilis tüzelőanyagok alkalmazásával szemben nincs

semmilyen károsanyag-kibocsátása. Hátrányai közé sorolható viszont az, hogy nagy hatékonyságú működésük csak akkor megoldott, ha optimálisak az időjárási körülmények.

3.4.2.2. Hűtési rendszerek fejlesztése

A szuperszámítógép-parkokat és adatközpontokat illetően kritikus fontosságú a hűtés folyamatának megfelelő kivitelezése. Ezek a létesítmények nagy mennyiségű szerverrel, tárolóegységgel és hálózati eszközzel rendelkeznek, amelyek működésük közben jelentős mennyiségű hőt termelnek. A hűtés fő célja az, hogy hatékonyan szabályozza a hőmérsékletet, megakadályozva ezzel a berendezések túlmelegedését és esetleges meghibásodását. A megfelelő hűtési megoldások alkalmazásával az eszközök élettartama meghosszabbítható, valamint a növekvő élettartammal párhuzamosan csökkenthető a szervizkiadások mértéke is. A legelterjedtebb hűtési folyamatot a szakirodalom léghűtésként emlegeti, mely során a létesítményekbe külső, friss levegőt juttatnak ventilátorok segítségével (Evans, 2004). Ugyan ez az egyik legelterjedtebb hűtési módszer, ám összességében megállapítható, hogy a hagyományos léghűtési megoldások hosszútávon nem jelentenek gazdaságos és fenntartható megoldást a probléma orvoslására (Oró et al., 2015), ezért mindenképp érdemes alternatív hűtési technológiák után kutatni.

A különböző anyagok eltérő mértékben vezetik a hőt. Ezen paraméter számszerűsítését a „hővezetési tényező”-vel tehetjük meg, jele λ (lambda), mértékegysége $[W/(m \cdot K)]$. A levegő hővezetési tényezője $0,024 [W/(m \cdot K)]$, míg a vízé $0,6 [W/(m \cdot K)]$. Ebből kifolyólag a hűtés vízzel való kivitelezése hatékonyabb megoldásnak bizonyulhat, így hosszútávon gazdaságosabb és fenntarthatóbb megoldást jelenthet a szuperszámítógépek hűtésére.

Egyik ilyen megoldás lehet a fent említett léghűtési technika folyadékhűtéssel való kombinálása, melyet hibrid hűtési módszernek hívnak. Ennél a hűtési technológiánál a folyadékot hőcserélőkön keresztül közvetlenül a legkritikusabb egységekhez –úgy mint, mikroprocesszorok és gyorsítók- vezetik (Li et al., 2014).

Fontos megjegyezni, hogy a már kialakított hűtési rendszerek fejlesztése és a technológia módosítása komoly pénzügyi terhekkel járhat, így érdemes megfontolni annak tényleges szükségességét.

3.4.2.3. Szoftverek optimalizálása

A szoftveroptimalizálás folyamata a szuperszámítógépek területén kiemelt jelentőséggel bírhat, hiszen a hatalmas energiaigény, amely a szuperszámítógépekre jellemző, szignifikánsan csökkenthető optimalizált szoftverek használatával, ráadásul a teljesítmény növelése is elérhető

1-1 megfelelően hangolt szoftver közreműködésével (Basar, 2014). A szoftveroptimalizálás egyik eszköze lehet a kódolás hatékonyságának javítása, amely segíthet redukálni a számítógép által elvégzendő műveletek számát, amely kevesebb erőforrás felhasználásához vezet (Supalov et al., 2014).

Szintén kiváló szoftveroptimalizálási módszernek tekinthető a párhuzamosítás folyamatának alkalmazása, amely során a szuperszámítógép egyidejűleg több feladatot hajt végre. Ennek egyik kiváló gyakorlati példája az Nvidia Corporate által gyártott grafikus feldolgozóegységek működése.

Az amerikai Nvidia Corporation-t 1993-ban alapítottak Kaliforniában. A vállalat széles termékpalettája magában foglalja a professzionális grafikus processzorokat, PC platformokat, digitális médialejátszókat és egyéb lényeges informatikai termékeket. Jelen kutatási témám szempontjából leginkább azok az eszközök jelentősek, amelyek GPU néven futnak. Ez a mozaikszó a „Graphics Processing Unit” kifejezésből származik, és magyarra fordítva grafikus feldolgozó egységet jelent. Ez egy olyan speciális számítási egység a számítógépekben, amely a grafikus adatok feldolgozásáért és megjelenítéséért felelős. Az Nvidia GPU-kra jelentős mértékű párhuzamosság jellemző, ezért a szuperszámítógépekben is kiválóan alkalmazhatóak: több ezer magot tartalmaznak, amelyek képesek párhuzamosan feldolgozni az adatokat, lehetővé téve számukra, hogy felgyorsítsák azokat a munkafolyamatokat, amelyek túl lassúak lennének a hagyományos CPU-kon való futtatás esetén.

3.4.2.4. Hardverek energiahatékonyságának növelése

A hardverek energiahatékonyságának növelése az üzemeltetési költségek csökkentése miatt vált az informatikai ipari fejlesztések egyik kiemelt céljává. Az energiahatékonyság javítása, ami az üzemeltetési költségeket csökkenti, csökkentheti a környezeti terhelést is (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2018).

3.4.2.5. A mesterséges intelligencia és gépi tanulás algoritmusai

A „Big Data Revolution”-ként emlegetett adatforradalom kicsúcsosodása a 2010-es évekre tehető, ekkor kezdett egyre erőteljesebb fókuszba kerülni az adatok felbecsülhetetlen fontossága (Asch et al., 2018). Az olyan nagy vállalatok, mint a Google, az Amazon vagy éppen a Youtube által létrehozott elképesztő mennyiségű adatfolyam egyértelművé tette az iparág számára, hogy mielőbbi radikális változtatásokra van szükség ezen adatok kezelésére (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018).

A mesterséges intelligencia (AI) olyan számítástechnikai tudományterület, amely célja az emberi, vagy annál magasabb szintű feladatmegoldó képesség megvalósítása. Ezek a rendszerek tanulásra, döntéshozásra, problémamegoldásra is képesek a környezetükhöz alkalmazkodva. Az AI többféle technológiát, gépi tanulást, neurális hálózatokat, szimbolikus számítást és evolúciós számításokat is tartalmazhat (Russel és Norvig, 2016).

A mesterséges intelligencia és a szuperszámítógépek erőforrásainak kombinálása lehetővé teszi az összetettebb számítási feladatok hatékonyabb megoldását és az AI-alapú alkalmazások gyorsabb futtatását. A gyakorlati alkalmazás több módon is megvalósulhat.

- Gyorsított AI algoritmusok futtatása HPC rendszereken: A GPU-k használata lehetővé teszi az AI algoritmusok nagy sebességű futtatását azáltal, hogy párhuzamosítják a számítási feladatokat (Asad et al, 2019)
- Összetett szimulációk futtatása: A mesterséges intelligencia és a szuperszámítógépek együttes használata lehetővé teszi a széles skálájú összetett szimulációk futtatását, mint pl. időjárás-előrejelzés vagy különböző molekuláris folyamatok modellezése. A mesterséges intelligencia hozzájárulhat az adatok elemzéséhez, kiértékeléséhez és a későbbiekben szükséges finomhangolásához, míg a szuperszámítógép lehetővé teszi ezen szimulációk gyors és pontos lefuttatását.
- Adathalmazok kezelése: A HPC-rendszerek lehetővé teszik hatalmas mennyiségű adatot tartalmazó adatbázisok gyors feldolgozását és elemzését, míg az AI segíthet az adatok felderítésében, különböző mintázatok azonosításában, valamint prognosztikus folyamatok elvégzésében.

3.4.2.6. Hordozható teljesítmény és termelékenység

A hordozható teljesítmény és termelékenység a zöld HPC másik jelentős trendje. Ez a HPC-alkalmazások különféle platformokon való futtatásának képességére vonatkozik, beleértve a helyszíni rendszereket, a számítási felhő platformokat és távoli eszközöket. Lehetővé teszi a vállalkozások és szervezetek számára, hogy ott futtassák a HPC-alkalmazásokat, ahol a legnagyobb szükség van rájuk.

3.4.2.7. Felhő alapú tárhelyek alkalmazása

Szuperszámítógépek esetén klaszterekként emlegetik azokat a nagy teljesítményű számítógépes rendszereket, amelyek több számítógépet vagy szervert foglalnak magukba, és ezek egymással szinkronban működnek. A klaszterek közötti nagy adatátvitelt és párhuzamos feldolgozási metódusok megvalósulásár speciális hálózatok biztosítják. Újabb tudományos kutatások

eredményei arra engednek következtetni, hogy a felhő alapú szolgáltatások költséghatékony alternatívái lehetnek a hagyományos szuperszámítógép klasztereknek (Gupta és Milojevic, 2011). Bár a felhő alapú tárhelyek több előnnyel is járnak, úgy, mint rugalmasság és testreszabhatóság, egyelőre még nem egyértelmű a tény, hogy ezek a felhők tényleg képesek lehetnek-e arra, hogy gazdaságos alternatívái legyenek a szuperszámítógépeknek (Gupta et al., 2014). A felhő alapú szolgáltatások egyik fő előnye az, hogy a felhasználóknak nem kell olyan saját infrastruktúrát fenntartaniuk, ami jelentős villamosenergia-fogyasztással járhat, beleértve az adatközpontok üzemeltetését és hűtését is (Expósito, 2011).

3.4.2.8. Kvantumszámítógépek használata

A kvantumszámítógépek forradalmi típusú számítógépek, amelyek a kvantummechanika alapelveire épülnek. Ezek a számítógépek kvantumbitekkel (qubitekkel) dolgoznak, amelyek a hagyományos bitekkel ellentétben nem csak 0 vagy 1 állapotban lehetnek, hanem egyszerre lehetnek 0 és 1 állapotban is, ez az úgynevezett kvantum szuperpozíció (Perskill, 2018). A kvantumszámítások vitathatatlan pozitívuma az, hogy párhuzamos információfeldolgozásra képesek, ez által sok feladatot nagyon gyorsan és hatékonyan tudnak megoldani. Humble és társainak 2021-es „Quantum Computers for High Performance Computing” című tanulmánya arra keresi a választ, hogy vajon járható út-e a szuperszámítógépek és a kvantumszámítógépek tudásának ötvözése. Az elsődleges kutatási eredmények arra engednek következtetni, hogy a kooperáció ötlete nem feltétlenül földtől elrugaszkodott. Természetesen összességében elmondható, hogy ez a folyamat nagyon összetettnek ígérkezik, hiszen a mikro- és makroarchitektúra terén sok különbség akad, így ezen infrastruktúra- és teljesítménybeli különbségek kiegyensúlyozása komoly finomhangolást igényel (Britt és Humble, 2017).

3.4.2.9. Fotonikus chipek alkalmazása

Az Oregoni Állami Egyetem és a texasi Baylor Egyetem kutatói kifejlesztettek egy hatékony megoldást, hogy csökkentsék az adatközpontok és szuperszámítógépek hatalmas energiafogyasztását. A fotonikus chipek használatával sikerült kiküszöbölni a chipek hőmérséklet-változásai által okozott minőségromlást. Úgy vélik, hogy technológiájuk lehet a jövő adatközpontjainak és szuperszámítógépeinek működési alapja (Hsu et al., 2023).

Míg a hagyományos számítógépekben elektronokat használnak, a fotonikus chipekben fényrészecskéket, vagyis fotonokat alkalmaznak. Ez lehetővé teszi az adatok rendkívül gyors és energiatakarékos átvitelét fénysebességgel. Azonban ezen megoldás egyelőre csupán

elméleti síkon tűnik működőképesnek, ugyanis a hőmérséklet és a nagy teljesítmény fenntartása jelentős energiaigénnyel bír.

3.4.3. A zöld megoldások alkalmazásának előnyei a szuperszámítógép-ipart tekintve

- Karbonlábnyom csökkenése: A megújuló energiaforrások alkalmazása jelentős mértékben hozzájárulhat a szuperszámítógép-ipar karbonlábnyomának csökkentéséhez. Az energiahatékonyság növelése és a fosszilis energiahordozók lecserélése alternatív energiaforrásokra hozzájárulhat a káros üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez. Ez fontos szerepet játszhat a klímaváltozás elleni küzdelemben.
- Fokozott energiabiztonság: A zöld megoldások bevezetése növelheti az energiabiztonságot a szuperszámítógép-ipar területén belül. A megújuló energiaforrásokra való áttérés csökkentheti az energiaválságok és az energiaellátási zavarok kockázatát, mivel ezek a források általában megbízhatóbbak és fenntarthatóbbnak mutatkoznak hosszútávon.
- Alacsonyabb pénzügyi terhek: A környezetbarát megoldások alkalmazásáról összességében elmondható, hogy hosszútávon alacsonyabb működési költséget eredményeznek az adott iparágban. Bár az inicializálás fázisában előfordulhatnak extra költségek, hiszen az energiahatékony hardverek és minden egyéb infrastruktúra implementálása magas kiadásokkal járhat, ugyanakkor elmondható, hogy ezen befektetések hosszútávon a legtöbb esetben megtérülni látszanak. A fentiek mellett a zöld megoldások bevezetése sok esetben lehetőséget teremthet az adókedvezmények és támogatások igénybevételeire, melyek tovább csökkenthetik a pénzügyi terheket.

3.4.4. Zöld megoldások a szuperszámítógépek területén magyarországi berkekben

Mint a korábbiakban említésre került, Magyarország több szuperszámítógéppel is rendelkezik. Egyik kiemelkedő berendezés a Komondor, amely nem csupán a Top500-as lista tagja, de a Green Top500-ban is szerepel, ráadásul az igen előkelő 21. helyet tudhatja magáénak. Ennek oka az, hogy egy kifejezetten energiahatékony berendezésről van szó, amely 300kW-os energiaigénnyel bír ([http7](http://7)). Bár ez a szám első olvasatra hatalmasnak tűnhet, mégis elmondható, hogy a szóban forgó szuperszámítógép óriási számítási teljesítményéhez képest igen gazdaságos működésre enged következtetni.

A teljesen közvetlen folyadékhűtéses HPC infrastruktúra akár 40-szer nagyobb hűtőtelteljesítmény előállítására képes, mint a szabványos adatközponti rackek. Ennek oka, hogy a folyadékhűtés hatékonyabban vezeti el a hőt a hűtendő hardverelemelekről. A megtermelt

hulladékhot a következő fűtési szezontól a debreceni Sportuszodában hasznosítják, kölcsönösen előnyös módon csökkentve a hűtési igényt.

3.4.5. Eredmények értékelése, konklúziók levonása

A fenti összefoglaló alapján elmondható, hogy a zöld informatikai megoldások széles tárháza áll rendelkezésünkre a szuperszámítógép-ipar területén. Azonban fontos megjegyezni, hogy mint minden módszernek, ezeknek az eljárásoknak is akadnak az előnyös tulajdonságai mellett hátrányai is. Az alábbi fejezetben ezek áttekintését igyekszem végrehajtani.

3.4.5.1. Megújuló energiaforrások alkalmazásának előnyei és hátrányai

A megújuló energiaforrások használata ugyan csökkentheti a szuperszámítógépek üzemeltetése során keletkező CO² -kibocsátást, hozzájárulva ezzel az ózonréteg védelméhez, valamint hosszútávon költségmegtakarítást jelenthet a vállalkozások számára, ám fontos megjegyezni, hogy a megújuló energiaforrások alkalmazása olyan infrastruktúra kiépítését igényli, amely a kezdeti fázisban kiemelkedően magas költségeket róhat az üzemeltetőkre. Emellett fontos megjegyezni azt is, hogy bár a fosszilis energiaforrások alkalmazása kapcsán is kalkulálhatunk instabilitási problémákkal, sajnos ez a negatívum a megújuló energiaforrások kapcsán is fókuszba kerülhet, hiszen például a nap- vagy szélenergia esetén komoly függőséggel számolhatunk az időjárás változékonysága kapcsán, így nem minden esetben biztosított a megbízható és folyamatos áramellátás. További negatívumként említhető az is, hogy a megújuló energiaforrások optimális kihasználása gyakran helyszínfüggő, és nem minden terület alkalmas a hatékony energiatermelésre. Ezek a limitáló tényezők komoly befolyással bírhatnak a megújuló energiaforrások alkalmazásának elterjedését illetően.

3.4.5.2. Szoftveroptimalizálás folyamatának hátrányai

A szoftveroptimalizálás hátrányai közé sorolhatjuk a fejlesztéssel járó pénzügyi terheket, valamint az ezzel járó időtényezőt.

3.4.5.3. Felhő alapú tárhelyek alkalmazásának negatív hatásai

A felhő alapú szolgáltatások kapcsán elmondható, hogy a díjazásuk nagyon változatos, függően attól, hogy milyen igények kielégítésére van szükség. A végösszeget illetően kiemelt tényező lehet a szerverhasználat, a tárolási költségek, a hálózati adatforgalom, valamint az esetleges további szolgáltatások igénybevétele. Ebből kifolyólag előfordulhat, hogy egy szuperszámítógép-létesítmény számára nem jelent költséghatékonyabb megoldást

felhőszolgáltatások implementálása annál, mintha teljes mértékben saját szerverparkkal oldanák meg a nagy mennyiségű adatok tárolását. Fontos megjegyezni, hogy a felhő alapú szolgáltatások pozitívumai -mint az infrastruktúra rugalmassága, a skálázhatóság vagy a rugalmasság- mellett az is gyakori, hogy ezek a szolgáltatók optimalizált energiafelhasználás és hatékony erőforrás-kihasználás mellett üzemelnek, így hosszú távon tényleges költségmegtakarítást is eredményezhetnek (Arshad, 2017).

Általánosságban kijelenthető, hogy a felhő alapú megoldások és a saját infrastruktúra fenntartása kapcsán felmerülő költségek összehasonlítása nagyon komplex és sok tényezőtől függ, így nagyon alapos és körültekintő kalkulációt igényel a végleges döntés meghozása.

A felhő alapú szolgáltatások kapcsán sajnos további hátrányok is felmerülnek, melyek a következők lehetnek:

- Teljesítménybeli problémák: A felhő alapú megoldások általában nem érik el ugyanazt a teljesítményt és sebességet, mint a szuperszámítógépek. Különösen igaz lehet ez a gigantikus adatmennyiségek kezelése, valamint a nagy számítási igényű, bonyolult feladatok elvégzése esetén.
- Biztonság és adatvédelem: Bár a felhőszolgáltatók rendszerint magas szintű biztonsági intézkedések mellett üzemelnek, mégis előfordulhatnak olyan hibák és üzemzavarok, amelyek a felhőben tárolt adatok biztonságát veszélyeztethetik. Bizonyos projekten esetén elmondható, hogy különböző jogszabályok miatt néhány adat felhőben való tárolása nem kivitelezhető. Ez szintén limitáló tényezőként lehet jelen.
- Szolgáltatótól való függés: Az üzleti folytonosság megszakadásának lehetőségét hordozza magában az, ha egy szuperszámítógép-létesítmény egy külsős szolgáltatást vesz igénybe adatai tárolására. Ennek oka lehet bármilyen szerverhiba vagy üzemzavar, amely a felhőszolgáltatót érinti.

3.4.5.4. Kvantumszámítógépek használatának hátrányai

Ugyan a kvantumszámítástechnika nagyon ígéretes irányzatnak tűnik, és alkalmas lehet a szuperszámítógépek és kvantumszámítógépek tudásának ötvözésére, mégis akadnak olyan hátrányaik, amelyek meggátolhatják ezen technológia elterjedését és széleskörű alkalmazását. Egyik ilyen negatívum lehet a kvantumbitek instabilitása, amely abból fakad, hogy ezek az alapegységek nagyon érzékenyek a külső interferenciákra, ami az állapotuk dekoherenciájához, azaz instabilitásához vezethet. Ez sajnálatos módon a számítások pontosságát és megbízhatóságát csökkenti. Ezen instabilitás magában hordozza azt is, hogy a kvantumszámítógépek esetén gyakrabban találkozhatunk számítási hibákkal. Emiatt

elmondható, hogy sok területen még mindig a hagyományos számítógépeket tekinthetjük megbízhatóbb és hatékonyabb problémamegoldó eszköznek. További hátulütő lehet a kvantumszámítógépekkel kapcsolatos ismeretek és fejlesztések kezdetleges mivolta. Mivel viszonylag új technológiáról van szó, így sok kihívás és korlát merül fel a technológia kapcsán, kevés szakember ért a kvantumszámítástechnikához, jelenlegi szakaszban a szoftveres támogatottság is nagyon fejletlennek bizonyul.

3.4.5.5. Fotonikus chipek alkalmazásának negatívumai

Bár a fotonikus chipek alkalmazásának lehetősége komoly áttörést jelenthet az információs technológia területén, sajnos számolni kell néhány hátránnyal is. Egyrészt a fotonikus chipek fejlesztése, gyártása és bevezetése magas költségekkel járhat, ez egy általános probléma új technológiák bevezetésekor, amely az általános elfogadás és széleskörű elterjedés abszolút gátja lehet. A másik felmerülő probléma a fotonikus chipek felépítésének komplexitásában rejlik, hiszen a hibátlan működés érdekében rengeteg előzetes tesztelési eljárásra lehet szükség. Ez idő- és pénzigényes folyamat. További problémát okozhat az, hogy bár a fotonikus chipek alkalmazása szerepet játszhat a hőtermelés csökkenő tendenciájában, mégis fennálló probléma marad annak az üzemi hőmérsékletnek a megtartása, amelyen a szuperszámítógépek és berendezések adatközpontjai optimálisan működni tudnak. Bár ezen negatívumok jelenleg korlátként állhatnak a fotonikus chipek elterjedése előtt, mégis kijelenthető, hogy ezen speciális chipek alkalmazása ígéretes alternatíva lehet az energiahatékonyság növelésére és a különböző szuperszámítógép-létesítmények működésének javítására.

3.4.6. Hulladékkezelés a szuperszámítógépek területén

Az információtechnológiai és távközlési ágazatból származó hulladékok egyre nagyobb problémát jelentenek a modern társadalomban. Ahogy a technológia fejlődik, egyre több és több új eszköz kerül a piacra, amely nyomán az elavultnak számító, vagy már használhatatlan számítástechnikai eszközök száma is egyre növekszik. Ezen hulladékok ártalmatlanítása és esetleges újrahasznosítása kiemelkedő fontosságú a környezetvédelem és az erőforrások hatékony felhasználása szempontjából.

Ebben a fejezetben igyekszem betekintést nyújtani az informatikai eredetű e-hulladékok jelentőségébe, környezeti hatásaiba, valamint számba veszem azokat a módszereket, amelyekkel kezelhetővé válhat ez a globálisan aktuális probléma.

Az ENSZ által kiadott közlemény szerint 2019-ben összesen 53,6 millió tonna e-hulladék keletkezett világszinten, aminek csupán 17,4%-át hasznosították újra. Az ENSZ prognózisa szerint ez a hulladékmennyiség 2070-re elérheti az akár 74,7 millió tonnás tömeget is (Forti et al., 2020).

A szuperszámítógépek számos olyan komponenst tartalmazhatnak, amelyek nem megfelelő kezelés esetén környezet- vagy egészségkárosító hatásúak lehetnek, ezért kiemelten fontos ezen típusú számítástechnikai hulladékok körültekintő ártalmatlanítása. Az informatikai eszközökben gyakran fellelhetők olyan alkatrészek, amelyek nehézfémeket tartalmaznak. Ilyen lehet az ólom, a higany, a kadmium, és más egyéb kémiai elemek. Ezek a fémek potenciális veszélyt jelenthetnek az élővilágra abban az esetben, ha szabadon kerülnek a környezetbe. A fentiekén túl egyéb káros vegyületek is megtalálhatóak az elektronikai hulladékokban, úgy mint pl. brominált égésgátlók, amelyek szerepe bár megkérdőjelezhetetlenül fontos a különböző elektronikai eszközökben, ám sajnos az is kijelenthető, hogy ezen anyagok környezetkárosító hatásúak lehetnek.

A szuperszámítógépek alkatrészeinek tervezése és gyártása során is érdemes előre gondolkodni, azaz olyan anyagok felhasználásával operálni, amelyek a későbbiekben, hulladék formájában minimalizáltan jelentenek veszélyt a környezetre. Ezen kritériumnak való megfelelés létrejöhet az által, hogy az adott alkatrészek esetleg könnyen újrahasznosíthatóvá tehetőek, vagy ha ez nem egy kivitelezhető megoldás, akkor lényeges szempont, hogy ezen hulladékok ne legyenek kritikusak az élővilág szennyezésének szempontjából.

Az Európai Unió tagországokra vonatkozó jogszabályok értelmében számos kötelezettség terheli a számítástechnikai berendezéseket gyártó és üzemeltető vállalatokat. Ezen előírások betartása kiemelten fontos a környezeti terhelés minimalizálása érdekében. Az elektromos és elektronikai hulladékok (e-hulladékok) megfelelő kezelésével kapcsolatos előírások a fenntartható fejlődés irányába mutatnak, melyek által csökkenthető a környezeti terhelés mértéke és növelhető a hatékonyabb erőforrás felhasználás is. Összességében elmondható, hogy az e-hulladékokkal kapcsolatos minél optimálisabb intézkedések nem csupán a környezetvédelem szempontjából fontosak, hanem gazdasági és társadalmi fenntarthatósági érdekek által is vezéreltek.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A szuperszámítógépek működtetésének fenntarthatósági megközelítése az új technológiai paradigmaváltás nélkülözhetetlen része, hiszen ezek a rendszerek kiemelkedő teljesítménnyel bírnak, ugyanakkor hatalmas energiaigényük miatt jelentős ökológiai lábnyommal rendelkeznek, emiatt a szuperszámítógépek fenntarthatósági szempontjainak figyelembevétele alapvető fontosságú a környezeti hatás minimalizálása és az erőforrások hatékonyabb felhasználása érdekében. A szuperszámítógépek elterjedése és növekvő jelentősége miatt kiemelkedően fontos a környezetvédelmi szempontok figyelembe vétele, és a fenntartható üzemeltetési gyakorlatok bevezetése. Ennek az iránynak az energiatakarékos tervezés és üzemeltetés volna az egyik alapvető pillére, mely magában foglalhatja az energiahatékony hardverek és hűtési rendszerek kialakítását.

A szuperszámítógépek területén az újrahasznosítás kérdésköre is kulcsfontosságúnak bizonyul, hiszen a szuperszámítógépek esetében lényeges lehet a régi alkatrészek vagy elavult rendszerek megfelelő újrahasznosítása annak érdekében, hogy minimalizáljuk a hulladékok, illetve veszélyes hulladékok mennyiségét.

Összességében kijelenthető, hogy a szuperszámítógépek fenntartható működtetése kulcsfontosságú az információs technológia szereplői számára a környezeti és társadalmi felelősségvállalás szempontjából. A fenntarthatósági megközelítések alkalmazása segíthet csökkenteni az ökológiai lábnyomot és elősegítheti a hosszú távú fenntarthatóságot az informatikai iparágban.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel és hálával tartozom Dr. Szalay Zsigmond Gábor konzulensemnek, aki töretlen lelkesedéssel és kreativitással kísérte végig munkámat.

Köszönetemet fejezem ki a férjem és gyermekeim felé, akik türelemmel, megértéssel és támogatással voltak felém munkám megírása során.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Amaral, V., Norberto, B., Goulão, M., Aldinucci, M., Benkner, S., Bracciali, A., Carreira, P., Celms, E., Correia, L., Grelck, C., Karatza, H., Kessler, C., Kilpatrick, P., Martiniano, H. & Mavridis, I. (2020). Programming Languages for Data-Intensive HPC Applications: a Systematic Mapping Study. *Parallel Computing*, 91, Art. No.: 102584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.parco.2019.102584>
- Anthony, S. (April 10, 2012). The History of Supercomputers. *ExtremeTech*. Retrieved 2015-02-02.
- Arshad, R., Zahoor, S., Shah, M.A., Wahid A. & Yu, H. (2017). Green IoT: An Investigation on Energy Saving Practices for 2020 and Beyond. *IEEE Access*, 5, pp. 15667-15681, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.268609
- Basar, A., Morisio, M. & Miranskyy, A. (2014). Green Software. *Software, IEEE*, 31(3), 36-39. 10.1109/MS.2014.62.
- Bergman, K., Borkar, S., Campbell, D., Carlson, W., Dally, W., Denneau, M., Franzon, P., Harrod, W., Hill, K., Hiller, J., Karp, S., Keckler, S., Klein, R.L.D., Richards, M., Scarpelli, A., Scott, S., Snively, A., Sterling, T. & Yelick, R. S. W. K. (2008). *Exascale computing study: Technology challenges in achieving exascale systems*. Tech. Rep., institution=DARPA
- Blake, G., Dreslinski, R. & Mudge, T. (2009). A survey of multicore processors. *Signal Processing Magazine, IEEE.*, 26. 26-37. 10.1109/MSP.2009.934110.
- Blanco, M.I. (2009) The Economics of Wind Energy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13, 1372-1382. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.004>
- Britt, K.A. & Humble, T.S. (2017). Quantum accelerators for high-performance computing systems. *ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems*, 13, pp. 1–13.
- Chen, S-J., Lin, G-H., Hsiung, P-A & Hu, Y-H. (2009). *Hardware software co-design of a multimedia SOC platform*. Springer Science+Business Media. pp. 70–72. ISBN 9781402096235. DOI: 10.1109/4.668981

- Dongarra, J., Beckman, P., Moore, T., Aerts, P., Aloisio, G., Andre, J.-C., Barkai, D., Berthou, J.-Y., Boku, T., Braunschweig, B., Cappello, F., Chapman, B., Chi, X., Choudhary, A., Dosanjh, S., Dunning, T., Fiore, S., Geist, A., Gropp, B., ... Yelick, K. (2011). The International Exascale Software Project roadmap. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 25(1):3-60. doi:10.1177/1094342010391989
- Eames, C. & Eames, R. (1973). *A Computer Perspective*. Cambridge, Mass: Harvard University Press. p. 95.
- Evans, T. (2004). The different types of air conditioning equipment for it environments, *APC White Paper* n. 59, pp. 1–19.
- Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., & Wackernagel, M. (2010). *Calculation Methodology for the National Footprint Accounts*, 2010 Edition.
- Expósito, R.R., Taboada, G.L., Ramos, S., Touriño, J. & Doallo, R. (2011). *Performance analysis of HPC applications in the cloud*.
- Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R. & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020; Quantities, flows and the circular economy potential*.
- Gupta, A. & Milojevic, D. (2011). Evaluation of HPC Applications on Cloud. Open Cirrus Summit (Best Student Paper), Atlanta, GA, Oct. 2011, pp. 22–26.
<https://doi.org/10.1109/OCS.2011.10>
- Gupta, A., Faraboschi, P., Gioachin, F., Kalé, L., Kaufmann, R., Lee, B., March, V., Milojevic, D. & Suen, C. (2014). Evaluating and Improving the Performance and Scheduling of HPC Applications in Cloud. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 4(3), pp. 307-321, 1 July-Sept. 2016, <https://doi.org/10.1109/TCC.2014.2339858>.
- Hannan, C. (2008). *Wisconsin Biographical Dictionary*. State History Publications. pp. 83–84.
- Hsu, W.C., Nujhat, N., Kupp, B., Conley, J.F. Jr., & Wang, A.X. (2023). On-chip wavelength division multiplexing filters using extremely efficient gate-driven silicon microring resonator array. *Sci Rep*, 13(1):5269. doi: 10.1038/s41598-023-32313-0.
- J. de Fine Licht, M. Besta, S. Meierhans & T. Hoefler, (2020). Transformations of High-Level Synthesis Codes for High-Performance Computing. *IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.08288>

- Journal of Environmental Health (1998). Energy Star Program, Denver.
- Khan, A., Huerta, E. A., Wang, S., Gruendl, R., Jennings, E., & Zheng, H. (2019). Deep learning at scale for the construction of galaxy catalogs in the Dark Energy Survey. *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics*, 795, 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.06.009>
- Khdr, H., Pagani, S., Shafique, M., & Henkel, J. (2018). Dark Silicon Aware Resource Management for Many-Core Systems. *Advances in Computers* (pp. 127–170). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.002>
- Li, L., Zheng, W., Wang, X. & Wang, X. (2014). *Coordinating liquid and free air cooling with workload allocation for data center power minimization*. Proc. of ICAC, pp. 249–259.
- Li, Z. & Lin, Y. (2013). Energy saving study of green data center based on the natural cold source. *Proc. 6th Int. Conf. Inf. Manag., Innov. Manag. Ind. Eng.*, 3, pp. 355–358, DOI: 10.1109/ICIIM.2013.6703591.
- Liang, H., Saraf, N., Hu, Q. & Xue, Y. (2007). *Assimilation of enterprise systems: The effect of institutional pressures and the mediating role of top management*. MIS Q. 59–87.
- Maex, K. (1993). *Silicides for integrated circuits: TiSi₂ and CoSi₂*. [https://doi.org/10.1016/0927-796X\(93\)90001-J](https://doi.org/10.1016/0927-796X(93)90001-J)
- Manoj M., Tilak A. & T. C.C. (2020). Seidenberg School of CSIS, Pace University, White Plains, New York: Green computing for Internet of Thing.
- Matsuoka S., Amano H., Nakajima K., Inoue K., Kudoh T., Maruyama N., Taura K., Iwashita T., Katagiri T., Hanawa T., Endo T. (2016). *From FLOPS to BYTES: disruptive change in high-performance computing towards the post-moore era*. DOI: <https://doi.org/10.1145/2903150.2906830>
- Meijer, G.I. (2010). Engineering. Cooling energy-hungry data centers. *Science*, 16; 328(5976), 318-319. doi: 10.1126/science.1182769.
- Molla, A., Abareshi, A., Cooper, V. (2014). Green IT beliefs and pro-environmental IT practices among IT professionals. *Inf. Technol. People*, 27, 129–154.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). Opportunities from the Integration of Simulation Science and Data Science: Proceedings of a Workshop. The National Academies Press, Washington, DC DOI: <https://doi.org/10.17226/25199>.

- Oró, E., Depoorter, V., Garcia, A. & Salom, J. (2015). Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 42(C), pp. 429-445.
- Patki, T., Lowenthal, D.K., Rountree, B., Schulz, M., & de Supinski, B.R. (2013). Exploring hardware overprovisioning in power-constrained, high performance computing. In Proceedings of the 27th international ACM conference on International conference on supercomputing (ICS '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 173–182. <https://doi.org/10.1145/2464996.2465009>
- Paul, S. G., Saha, A., Arefin, M. S., Bhuiyan, T., Biswas, A. A., Reza, A. W., Alotaibi, N. M., Alyami, S. A., & Moni, M. A. (2023). A comprehensive review of Green Computing: Past, present, and future research. *IEEE Access*, 11, 87445-87494. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3304332>
- Perskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond, *Quantum*, 2, 79.
- Rong H., Zhang H., Xiao S., Li C. & Hu C. (2015). Optimizing energy consumption for data centers. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.283>
- Russell, S.J., & Norvig, P. (2016). Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2016
- Sheikholeslami, M. & Farshad, S.A. (2021). *Renewable Energy: Investigation of solar collector system with turbulator considering hybrid nanoparticles*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.137>
- Supalov, A., Semin, A., Klemm, M. & Dahnken, C. (2014). *Optimizing HPC Applications with Intel® Cluster Tools*. Apress.
- Thornton, J.E. (1980). *The CDC 6600 Project*.
- Travis S. Humble , Alexander McCaskey , Dmitry I. Lyakh, and Meenambika Gowrishankar, Quantum Computing Institute, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 37830, USA Albert Frisch , Alpine Quantum Technologies, Innsbruck, 6020, Austria Thomas Monz , Alpine Quantum Technologies, Innsbruck, 6020, Austria and also Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck, Innsbruck, 6020, Austria: Quantum Computers for High-Performance Computing
- Wenham, S.R. & Green, M.A. (1996). Silicon Solar Cells, Progress in photovoltaics: *Research and applications*, 4, 3-33.

Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. URL:
https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999

Wulf, W.A. & Mckee, S.A. (1995). Hitting the memory wall: Implications on the obvious. *ACM SIGARCH Comput. Archit. News*, vol.23, pp. 20-24.

Internetes hivatkozások:

http1 – Szuperszámítógépek teljesítményének kifejezése: <https://hpc.kifu.hu/hu/gyik>

http2 - A Frontier szuperszámítógép hűtését ellátó rendszer az épület 3D alaprajzán:
<https://www.exascaleproject.org/frontier-guiding-the-design-and-construction-of-the-mechanical-systems/>

http3 – Szuperszámítógépek top10-es listája – 2023. November: <https://top500.org>

http4 – <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

http5 – <https://echa.europa.eu/hu/home>

http6 – <https://www.top500.org/lists/green500/>

http7 - <https://hpc.kifu.hu/hu/komondor>

7. ÁBRÁK- ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

Ábrák

1. ábra: A Frontier szuperszámítógép hűtését ellátó rendszer az épület 3D alaprajzán	11
2. ábra: Frontier.....	12
3. ábra: Fosszilis tüzelőanyagokból és ipari folyamatokból származó CO ² -kibocsátás növekvő tendenciája az elmúlt 100 évben	16
4. ábra: Az adatok normális eloszlásának ábrázolása	21
5. ábra: A válaszadók készülék birtoklását ábrázoló sávdiagram	25
6. ábra: Az elektronikai eszközök energiahatékonyságának fontosságát megítélő válaszok kördiagramja.....	26
7. ábra: Környezetbarát megoldásokat illető fizetési hajlandóságot vizsgáló kérdésre adott válaszok kördiagramja.....	26
8. ábra: Adatközpontok környezetbarát működésével kapcsolatos fizetési hajlandóságra vonatkozó kérdésre kapott válaszok kördiagramja	27

Táblázatok

1. táblázat: Szuperszámítógépek teljesítményének kifejezése.....	9
2. táblázat: Szuperszámítógépek top10-es listája – 2023. November	12
3. táblázat: Leíró statisztikai eredmények az életkorra vonatkozóan	19
4. táblázat: Kétmintás t-próba elvégzése során kapott eredmények	22
5. táblázat: Az egyszempontos varianciaanalízis lefuttatása után kapott eredmények	24
6. táblázat: Korrelációanalízis eredményei.....	28
7. táblázat: Egyfaktoros varianciaanalízis	29

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Baráth-Gyomlai Angéla
A Hallgató Neptun kódja: JT4M0S
A dolgozat címe: Fenntarthatósági megközelítések és zöld informatikai megoldások a superszámítógépek területén
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Vidékfejlesztés és Fenntartható Gazdaság Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agrárdigitalizációs és Szaktanácsadási Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

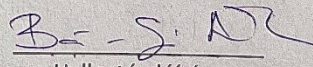
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024. év 04. hó 22. nap


Hallgató aláírása

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

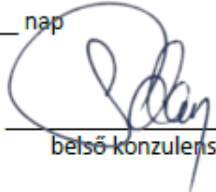
NYILATKOZAT

Baráth-Gyomlai Angéla (név) (hallgató Neptun azonosítója: JT4M0S)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2024 év 04. hó 22. nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.