

Az MSc képzés programja

az űrmérnöki szakon

(V 5.0)

Érvényes: 2023. február 1-től

BUDAPEST, 2022



Tartalom

I. BEVEZETÉS	3
II. TANTERVI KERET	5
II.1 Az úrmérnöki mesterszak tantervi hálója	6
III. TERMÉSZETTUDOMÁNYOS ISMERETEK	8
III.1 Felsőbb matematika úrmérnököknek	8
III.2 Választható természettudományos tantárgyak	16
IV. GAZDASÁGI ÉS HUMÁN ISMERETEK	23
V. ÚRMÉRNÖKI SZAKMAI ISMERETEK	26
V.1 Kötelező tantárgyak	26
V.2 Kötelezően választható tantárgyak	35
VI. PROJEKTTANTÁRGYAK	42
VII. SZABADON VÁLASZTHATÓ TANTÁRGYAK	47

I. Bevezetés

Az űrmérnök képzés célja olyan felsőfokú ismeretekkel rendelkező műszaki szakemberek képzése, akik az űrtechnológiához, űrkutatáshoz kapcsolódó, elsősorban mérnöki jellegű tervezési, fejlesztési, gyártási és üzemeltetési feladatokat képesek ellátni. A képzést elvégzettek releváns tudással rendelkeznek az űrkörnyezet sajátosságairól, a világűrbe juttatandó, ott üzemelő berendezések felépítéséről és azok létrehozásának folyamatairól, továbbá az űrberendezések földi kiszolgálását ellátó eszközök és rendszerek konstrukciójáról, elkészítéséről és üzemeltetéséről.

Felvétel az űrmérnöki mesterszakra: a mesterképzésbe történő belépés előzményeként elfogadott szak a villamosmérnöki, illetve a mechatronikai mérnöki (BSc) alapszak. Ezen alapszakon végzők esetén a követelmények automatikusan teljesülnek.

Egyéb – elsősorban a műszaki, az informatika és a természettudomány képzési területek alapképzési szakjai (gépészmérnöki, közlekedés- és járműmérnöki, had- és biztonságtechnikai mérnöki, energetikai mérnöki és mérnök-informatikus, fizikus) – esetén is lehetőség van jelentkezni, ha a megállapított ismeretkörökben megfelelő kredittel rendelkezik a hallgató. Ezen jelentkezők az alább részletezett követelmények teljesülését, illetve a teljesítés vállalását jelzik azzal, hogy a felvételi eljárásban részt vesznek.

A nem villamosmérnöki, illetve mechatronikai mérnöki alapszakon végzettek esetében a mesterfokú diplomához a mintatantervben szereplő kreditek megszerzésén felül szükséges, hogy a hallgatónak a kredit megállapításának alapjául szolgáló ismeretek -- felsőoktatási törvényben meghatározott -- összevetése alapján elismerhető legyen legalább 80 kredit a korábbi tanulmányai szerint az alábbi, a vonatkozó 18/2016. (VIII.5) EMMI rendeletében rögzített ismeretkörökben:

<i>természettudományos ismeretek</i> matematika, fizika, anyagismeret;	20 kredit
<i>gazdasági és humán ismeretek</i> közgazdaságtani és menedzsment ismeretek, környezetvédelem, minőségbiztosítás, munkavédelem, szaknyelv, társadalomtudomány;	10 kredit
<i>műszaki és mérnöki alapismeretek</i> digitális technika, elektrotechnika, elektronika, gépészet, helymeghatározás, informatika, jelfeldolgozás, mechatronika, programozás, szabályozástechnika, optika, távérzékelés, térinformatika;	30 kredit
<i>szakmai alapismeretek</i> híradástechnika, irányítástechnika, mechanikus és termikus tervezés, méréstechnika, laboratóriumi mérések, termodinamika;	20 kredit

A mesterképzésbe való felvétel feltétele, hogy a fent felsorolt ismeretkörökben legalább 50 kredittel rendelkezzen a hallgató. A hiányzó krediteket a mesterfokozat megszerzésére irányuló képzéssel párhuzamosan, a felvételtől számított két féléven belül, a felsőoktatási intézmény tanulmányi és vizsgaszabályzatában meghatározottak szerint meg kell szerezni.

A mesterképzés során megszerzendő ismeretek (120 kredit):

<i>természettudományos ismeretek</i> matematika, fizika, anyagtudomány, űrkörnyezet, valamint szakmaspecifikus alaptárgyak;	20-25 kredit
--	--------------

<p><i>űrmérnöki szakmai ismeretek</i> űrtechnológiához, űrrendszerekhez kapcsolódó eszközök, berendezések, továbbá összetett egységek fejlesztéséhez, tervezéséhez, kivitelezéséhez, gyártásához és minőség-ellenőrzéséhez, és az ezekkel létrehozott komplex szolgáltatásokhoz kapcsolódó, a szakterületi mesterképzést megalapozó, átfogó elméleti ismeretek, amely az űrmérnöki szakma képzésében reprezentált szakterületek valamelyikének műveléséhez szükségesek;</p>	40-60 kredit
<p><i>a szakmai törzsanyag kötelezően választható ismeretkörei</i> az űrmérnöki szakma képzésben reprezentált szakterületei valamelyikének műveléséhez szükséges anyag-, eszköz-, készülék-, berendezés-, rendszer-, technológiai és tervezési ismeret területeiről szereszhető speciális ismeretek: digitális jelfeldolgozás a hírközlésben, fedélzeti adatfeldolgozó rendszerek, finommechanikai tervezés, fotonikus eszközök és optikai kommunikáció, földmegfigyelő műholdas távérzékelés, kisműholdak szerepe az űrtechnológiában, különleges űreszközök és űrbiztonság, nemlineáris végeelemes analízis, optikai távérzékelés, rakéták, rakétahajtóművek, űrberendezések konstrukciója és energiaellátása, űreszközök hődinamikája; projektlaboratórium (10 kredit); diplomamunka (30 kredit);</p>	40-60 kredit
<p><i>gazdasági és humán ismeretek</i> gazdasági, vezetési és menedzsment ismeretek, komplex űrberendezések fejlesztésének koordinálása, hazai űrtevékenység és nemzetközi környezete</p>	10-15 kredit
<p><i>szabadon választható tantárgyak ismeretkörei</i></p>	min. 6 kredit

A szak orientációja: kiegyensúlyozott (a gyakorlati jellegű ismeretátadáshoz aránya 40-60 százalék).

Előtanulmányi rend:

A kar által kötelezően előírt MSc előtanulmányi rend szerint

- A Projektlaboratórium 1, Projektlaboratórium 2, Diplomatervezés 1 és Diplomatervezés 2 tantárgyak
 - csak az adott szak MSc képzésének hallgatói számára vehetők fel,
 - csak a felsorolás sorrendjében vehetők fel, a felsorolásban őket megelőző tantárgyak kreditjeinek teljesítése után.
- A Diplomatervezés 2 tantárgy felvételének feltétele
 - a mintatantervnek megfelelően 84 kredit teljesítése,
 - a természettudományos ismeretek blokk és a Diplomatervezés 1 tantárgy kreditjeinek megléte.
- További előírásokat a „BME VIK MSc diplomaterv, záróvizsga, oklevél szabályzata” tartalmazhat.

Specializálódás, specializáció váltás:

Az űrmérnöki MSc képzésben jelenleg nincsenek sem szakirányok, sem specializációk. A képzésben előírt szakmai ismeretek átadása minden hallgató számára megvalósul a kötelező tantárgyak elvégzése során, ugyanakkor a képzési programban kötelezően és szabadon választható tantárgyak is segítik a hallgatókat abban, hogy korábbi alapképzésüknek és érdeklődési körüknek megfelelően bizonyos szakmai ismeretekben jobban el tudjanak mélyülni.

Szakmai gyakorlat: A képzés hallgatói számára a diploma megszerzésének feltétele egy legalább 4 hetes egybefüggő szakmai gyakorlat sikeres teljesítése is. A szakmai gyakorlat lehetséges időpontjait, helyszíneit, tartalmát és lebonyolításának rendjét, a kar szabályzatai határozzák meg.

II. Tantervi keret

A mesterszak tantervi hálója két változatban készült el annak érdekében, hogy a tanulmányok a tavaszi és az őszi félévben is megkezdhetőek legyenek, de a tantárgyakat – kevés kivétellel – ne kelljen mindkét félévben meghirdetni. Ezzel biztosítani tudjuk, hogy a BSc képzést 7 (ill. páratlan számú) félév alatt teljesítő hallgatók félévkihagyás nélkül megkezdjék MSc tanulmányaikat.

A tanulmányaikat a tavaszi félévben megkezdő hallgatók mintatantervének féléveit 1-től 4-ig sorszámoztuk. Ugyanez a számozás az őszi félévben induló képzésnél 0-tól 3-ig terjed, ily módon valamennyi tavaszi félévet páratlan, valamennyi őszi félévet páros szám jelöl. A tantárgyakat igyekeztünk a különböző félévekben induló, de egyébként azonos szakon zajló képzések esetében úgy elhelyezni, hogy egy-egy tantárgy lehetőleg csak páros vagy csak páratlan félévben forduljon elő. Ezzel elérhető lett az a racionális cél, hogy az adott tantárgyat mindkét képzés számára csak évente egyetlen alkalommal (vagy tavasszal, vagy ősszel) kelljen meghirdetni. Amennyiben ugyanaz a tantárgy nem azonos sorszámú, de azonos párosságú félévben fordul elő a két mintatantervben (pl. 0 és 2), a fentiek alapján azt jelenti, hogy a tantárgynak a többi tantárgyhoz viszonyított helyzete („a tantárgyak sorrendje”) megváltozik ugyan a kétféle kezdés szerinti képzés mintatanterveiben, a tantárgy mégis közösen tartható meg a kétféle képzés (eltérő évfolyamai) számára.

Minden tantárgy bemutatásánál a következő tájékoztató jelölésrendszert alkalmazzuk:

Tantárgy címe

([Tantárgykód](#), szemeszter: őszi x., tavaszi y., e/g/l/szk/kr kredit, Tanszék)

ahol:

- **Tantárgykód:** a tantárgy Neptun kódja, egyben link a tantárgy adatlapjára
- **Szemeszter:** mintatanterv szerinti haladás esetén
 - **őszi** kezdés esetén a tantárgyat az x. félévben,
 - **tavaszi** kezdés esetén az y. félévben kell felvenni.
- **e/g/l/szk/kr:** heti előadás, gyakorlat, labor óraszám, számonkérés módja (félévközi jegyes vagy vizsgás), a tantárgy kredit száma
- **Tanszék:** a tantárgyat felkínáló tanszék kari szokások szerinti rövidített jelölése

A következő alfejezetben a mesterképzési szak mintatanterveit (ún. tantervi kereteit) mutatjuk be áttekinthető jelleggel. Az egyes tantárgycsoportokban kötelező, kötelezően választható és szabadon választható tantárgyak is előfordulnak, ezek számát és kreditkorlátait az MSc képzés Képzési és kimeneti követelményei szabályozzák.

II.1 Az űrmérnöki mesterszak tantervi hálója

a) Kezds a tavaszi félévben (1)

	Tárgynév	Szemeszter			
		1	2	3	4
Természettudományos ismeretek (22 kredit)					
1	Választható felsőbb matematika tantárgy	4/0/0/v/5			
2	Fizika űrmérnököknek	2/1/0/f/4			
3	Anyagtudomány		2/1/0/f/4		
4	Űrkörnyezet		2/1/0/v/4		
5	Választható természettudományos tantárgy		3/1/0/v/5		
Gazdasági és humán ismeretek (10 kredit)					
7	Komplex űrberendezések fejlesztésének koordinálása	1/1/0/f/3			
8	Hazai űrtevékenység és nemzetközi környezete		2/0/0/f/3		
6	Mérnöki menedzsment		4/0/0/v/4		
Űrmérnöki szakmai ismeretek (74 kredit)					
9	Űrkommunikáció	2/1/0/v/4			
10	Űrkutatás és űrtechnológia	2/2/0/f/4			
11	Űrendszerek tervezése		2/2/0/v/4		
12	Űrnavigáció			2/1/0/v/4	
13	Űreszközök pályái és földi állomások	2/1/0/v/4			
14	Megbízhatóság és minőségbiztosítás az űrtechnológiában			2/1/0/v/4	
15	Műholdas rendszerek és távérzékelés			2/1/0/v/4	
16	Űrtechnológia laboratórium		0/0/4/f/4	0/0/4/f/4	
17	Kötelezően választható tantárgy			2/2/0/f/4	2/2/0/f/4
14	Projektlaboratórium	0/0/3/f/4	0/0/3/f/4		
15	Diplomatervezés			0/5/0/f/10	0/10/0/f/20
Szabadon választható tantárgyak (6 kredit)					
16	Szabadon választható tantárgy	2/0/0/f/2			2/0/0/f/2 2/0/0/f/2
Kritérium tantárgy (0 kredit)					
17	Szakmai gyakorlat		4 hét/a/0		
Összes heti óraszám		24	27	22	18
Előadás/gyakorlat/labor óraszám		15 / 6 / 3	15 / 5 / 7	8 / 10 / 4	6 / 12 / 0
Összes kredit-pontszám		30	32	30	28
Vizgaszám		3	3	3	0

Jelmagyarázat: előadás/gyakorlat/laboratórium/v=vizsga, f=félévközi jegy, a=aláírás/kreditpont

Összesítés: ea / gyak / lab: 44 / 33 / 14 = 91 óra (ea / gyak+lab = 44 / 47 = 48,3% / 51,7%)

b) Kezds az őszi félévben (0)

	Tárgynév	Szemeszter			
		0	1	2	3
Természettudományos ismeretek (22 kredit)					
1	Választható felsőbb matematika tantárgy		4/0/0/v/5		
2	Fizika űrmérnököknek		2/1/0/f/4		
3	Anyagtudomány	2/1/0/f/4			
4	Űrkörnyezet	2/1/0/v/4			
5	Választható természettudományos tantárgy	3/1/0/v/5			
Gazdasági és humán ismeretek (10 kredit)					
7	Komplex űrberendezések fejlesztésének koordinálása		1/1/0/f/3		
8	Hazai űrtevékenység és nemzetközi környezete	2/0/0/f/3			
6	Mérnöki menedzsment	4/0/0/v/4			
Űrmérnöki szakmai ismeretek (74 kredit)					
9	Űrkommunikáció		2/1/0/v/4		
10	Űrkutatás és űrtechnológia		2/2/0/f/4		
11	Űrrendszerek tervezése	2/2/0/v/4			
12	Űrnavigáció				2/1/0/v/4
13	Űreszközök pályái és földi állomások		2/1/0/v/4		
14	Megbízhatóság és minőségbiztosítás az űrtechnológiában				2/1/0/v/4
15	Műholdas rendszerek és távérzékelés				2/1/0/v/4
16	Űrtechnológia laboratórium		0/0/4/f/4	0/0/4/f/4	
17	Kötelezően választható tantárgy			2/2/0/f/4 2/2/0/f/4	
14	Projektlaboratórium	0/0/3/f/4	0/0/3/f/4		
15	Diplomatervezés			0/5/0/f/10	0/10/0/f/20
Szabadon választható tantárgyak (6 kredit)					
16	Szabadon választható tantárgy			2/0/0/f/2 2/0/0/f/2 2/0/0/f/2	
Kritérium tantárgy (0 kredit)					
17	Szakmai gyakorlat				4 hét/a/0
Összes heti óraszám		23	26	23	19
Előadás/gyakorlat/labor óraszám		15 / 5 / 3	13 / 6 / 7	10 / 9 / 4	6 / 13 / 0
Összes kredit-pontszám		28	32	28	32
Vizsgaszám		3	3	0	3

Jelmagyarázat: előadás/gyakorlat/laboratórium/v=vizsga, f=félévközi jegy, a=aláírás/kreditpont

Összesítés: ea / gyak / lab: 44 / 33 / 14 = 91 óra (ea / gyak+lab = 44 / 47 = 48,3% / 51,7%)

III. Természettudományos ismeretek

III.1 Felsőbb matematika űrmérnököknek

A természettudományos ismeretekben belül 4 felsőbb matematika tantárgy jelenik meg az űrmérnök mesterképzés kínálatában, melyek közül egyet kell teljesíteni.

A felsőbb matematika tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Haladó lineáris algebra	BMETE90MX78
Kombinatorikus optimalizálás	BMEVISZMA09
Sztochasztika	BMETE90MX80
Analízis	BMETE90MX79

A négy tantárgy közül a hallgatók előtanulmányaik ismeretében, a tervezett szakmai irányultságuk alapján vesznek fel egy tantárgyat. Tekintettel arra, hogy korábbi tanulmányaik során valamennyi hallgató részesült már matematikai képzésben, ezért az űrmérnöki szak esetében a természettudományos ismeretek blokk választható felsőbb matematika tantárgya a hallgatók számára lehetőséget biztosít a leginkább szükséges területen az ismeretek bővítésére.

Haladó lineáris algebra

(BMETE90MX78, szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 4/0/0/v/5 kredit, TTK Algebra Tanszék)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a lineáris algebra azon fejezeteibe nyújt bevezetést, amelyek fontosak a haladó mérnöki tanulmányok szempontjából. Fontos cél, hogy a hallgatók alkalmazni tudják a lineáris algebra módszereit, eszközeit a felmerülő szakmai problémák megoldása során. A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő hallgatótól elvárható, hogy értse, és konkrét feladatokban, példákon alkalmazni tudja a tanult fogalmakat, ismereteket, a gyakorlatban felmerülő helyzetekben ismerje fel a tanult módszerek alkalmazási lehetőségeit, legyen képes a szakirodalomra támaszkodva önállóan bővíteni a kapcsolatos ismereteit.

2. A tantárgy tematikája

A lineáris algebra eddig tanult alapfogalmainak áttekintése

Vektortér, mátrix, lineáris egyenletrendszer és megoldása. Mátrix determinánsa, rangja, sajátérték, sajátvektor, karakterisztikus polinom, Cayley-Hamilton-tétel, hasonlóság.

Bilineáris formák, euklideszi terek. Speciális mátrixok (szimmetrikus, Hermite-, ortogonális, unitér, (szemi-definit). Jordan-normálforma, főtengetlytétel.

A Moore-Penrose-inverz és alkalmazásai

Projekciók. Az általánosított inverz mátrix fogalma, a Moore-Penrose-tétel. Inkonzisztens lineáris egyenletrendszerek közelítő megoldása.

Nevezetes lineáris mátrixegyenletek ($AXB=C$, $AX-XB=C$, $AX-YB=C$) és megoldásuk az MP-inverz segítségével.

Normák és mátrixfüggvények

A spektrális és az euklideszi (Frobenius-) mátrixnorma, p-normák, kapcsolatuk, egyenlőtlenségek. Sajátértékekre vonatkozó egyenlőtlenségek (Gersgorin, Schur). Alul- és túlhatározott lineáris egyenletrendszerek. Legkisebb négyzetek módszere.

Mátrixfüggvények, előállításuk polinomokkal, a mátrix-exponenciális. Mátrixfüggvények differenciálása, lineáris differenciálegyenlet-rendszerek. A Lax-egyenlet.

Nem negatív elemű mátrixok

Pozitív, reducibilis és irreducibilis mátrixok. Frobenius és Perron tételei (irreducibilis nemnegatív mátrixokra). Egyenlőtlenségek a spektrálsugárra.

Sztochasztikus és duplán sztochasztikus mátrixok. Kapcsolat a Markov-láncokkal. Birkhoff tétele, kapcsolat a párosítási feladattal, a Frobenius-König-tétel.

Optimalizálás, lineáris mátrixegyenlőtlenségek

Lineáris mátrix egyenlőtlenségek, alkalmazási példák (stabilitás, SV-minimalizálás, Leontyev-modell). Megoldásuk ellipszoid-módszerrel és belső pontos algoritmusokkal.

Szingularis értékek szerinti felbontás (SVD)

Az SVD létezése, egyértelműsége, kapcsolata a poláris felbontással. SVD és alacsony rangú közelítések, Eckart-Young-tétel. Az SVD számítása.

Az SVD néhány alkalmazása (pszeudo inverz számítása, homogén lineáris egyenletrendszer megoldása, legkisebb négyzetek módszere). A QR-felbontás fogalma. Householder-tükrözések, alkalmazásuk a QR-felbontás számítására.

További alkalmazások

Nemnegatív és szimmetrikus mátrixok az internetes lapokat rangsoroló algoritmusokban. SVD az információkeresés gyakorlatában (vektorterés indexelés, a mögöttes szemantikájú indexelés lineáris algebrai vonatkozásai)

Véges testek és alkalmazásai

Véges test konstrukciója, az aritmetika implementációja. Az additív és a multiplikatív csoport struktúrája. Polinomok gyökei, irreducibilitás. Általánosított Fibonacci-sorozatok. Lineáris visszacsatolásos léptetőszámológó, periódus, álzaj. Galois-számológó és alkalmazásai.

A hibajavító kódolás alapfogalmai

Lineáris kódok, paraméterek, Singleton-korlát, gömbpakolási korlát, MDS kódok. A Reed-Solomon-kód paraméterei, a Berlekamp-Massey hibajavító algoritmus. Résztest részkódok, kód alapú posztkvantum kriptográfia.

Kombinatorikus optimalizálás

([BMEVISZMA09](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 2/2/0/v/5 kredit, SZIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy az operációkutatás és a kombinatorikus optimalizálás néhány területére nyújt bevezetést. A téma legfontosabb algoritmusainak, módszereinek és ezek korlátainak ismertetése mellett célul tűzi ki, hogy ezek műszaki alkalmazásaiba is betekintést nyújtson. Így terítékre kerülnek olyan átfogó algoritmikus megközelítések kínáló területek, mint a hálózati folyamatok elmélete és a lineáris és egészértékű programozás, de emellett a tantárgy betekintést nyújt a megbízható hálózatok tervezése során felmerülő magasabb összefüggéssel kapcsolatos problémák mellett az közelítő algoritmusok és az ütemezésemélet világába is. A tantárgy további célja, hogy a villamosmérnök BSc képzés A számítástudomány alapjai című tantárgya során korábban megszerzett ismereteket alkalmazza, elmélyítse, azok elméleti hátterét jobban megvilágítsa.

2. A tantárgy tematikája

Hálózati folyamatok, Ford-Fulkerson-algoritmus, egészértékűségi lemma, a folyamprobléma egyszerű általánosításai.

Páros gráfok karakterizációja, maximális méretű párosítás páros gráfban. König, Frobenius és Hall tételei. Gráfszínézések. Alsó és felső korlát a kromatikus számra. Gráfok élszínézése, Vizing tétele. Páros gráfok élszínézése az egészértékűségi lemma segítségével

Egerváry algoritmus maximális összsúlyú párosítás és teljes párosítás keresésére páros gráfban.

Lineáris egyenlőtlenségrendszerek, a lineáris programozás alapfeladata, kétváltozós feladatok megoldása grafikus módszerrel. Lineáris egyenlőtlenségrendszerek megoldása Fourier-Motzkin eliminációval.

Szükséges és elégséges feltételek lineáris egyenletrendszerek nemnegatív változókkal való, illetve lineáris egyenlőtlenségrendszerek megoldhatóságára: a Farkas-lemma.

A lineáris programozás alapfeladata mátrixos alakban. Szükséges és elégséges feltételek a lineáris program célfüggvényének korlátosságára. Lineáris program duálisának fogalma, különféle alakban felírt lineáris programok duálisai.

A lineáris programozás dualitástétele. A lineáris programozás feladatának algoritmikus bonyolultsága. Az egészértékű programozás alapfeladata, annak bonyolultsága. Optimalizálási problémák formalizálása egészértékű programozási feladatként.

Egészértékű programozás totálisan unimoduláris együtthatómátrixszal. Alkalmazások a páros gráfok párosításainak és a hálózati folyamproblémák területéről: maximális folyam, minimális költségű folyam, ill. többtermékes folyam feladatok.

Lokális él- és pontösszefüggőség, illetve globális él- és pontösszefüggőség fogalma, a vonatkozó Menger-tételek (ismétlés). Max-vissza sorrend, Nagamochi-Ibaraki algoritmus az élösszefüggőség meghatározására.

Algoritmus gráfok 2-élösszefüggővé növelésére, alsó becslés a szükséges élek számára. Algoritmus minimális költségű feszítő fenyő keresésére. Fűlfelbontás, gráfok erősen összefüggővé irányítása.

Közelítő algoritmusok. Élkromatikus szám, síkgráf kromatikus szám közelítése additív hibával, leghosszabb kör additív hibával való közelíthetlensége. 2-közelítés a lefogó ponthalmaz méretére, logaritmusos közelítés a halmazfedési problémára.

Ütemezési problémák. Alapfogalmak, jelölésrendszer, hasznos módszerek: SPT sorrend és listás ütemezés. FD és FFD heurisztikák a ládapakolási problémára.

Sztochasztika

(BMETE90MX80, szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 4/0/0/v/5 kredit, TTK Sztochasztika Tanszék)

1. A tantárgy célkitűzése

A valószínűségi számítás és sztochasztikus folyamatok elmélete néhány haladóbb témakörének bemutatása a villamosmérnöki mesterképzésben résztvevő hallgatóknak. A hangsúlyokat a jelenségek megértésére és az alkalmazásokra helyezzük. Széles körben (a tantárgy témakörén kívül is) alkalmazható technikákat prezentálunk, rávilágítunk más matematikai és matematikán kívüli természettudományos és műszaki területekkel való összefüggésekre. Alapelv: minden egyes témához sok konkrét példát, számolást, konkrét alkalmazást mutatunk be. Bizonyításokat többnyire csak vázlatosan prezentálunk, viszont hangsúlyt helyezünk a szemléletre és a (matematikai és egyéb) jelenségekre.

2. A tantárgy tematikája

Valószínűségi számítási alapok ismétlése: Események és valószínűségük. Valószínűségi változó, diszkrét valószínűség-eloszlás, eloszlásfüggvény, sűrűségfüggvény. Várható érték, szórásnégyzet, magasabb momentumok. Függetlenség, feltételes valószínűség; teljes valószínűség és teljes várható érték tétel. Nagy számok törvénye. Nevezetes eloszlások.

Együttesen értelmezett valószínűségi változók, együttes eloszlás- és sűrűségfüggvény. Várható érték vektor, kovariancia mátrix, alaptulajdonságai, Cauchy-Schwarz-egyenlőtlenség. Nevezetes többdimenziós eloszlások. Sűrűségfüggvények transzformációja leképezésekkel. Többdimenziós normális eloszlás.

Generátorfüggvény, alaptulajdonságai. Konvolúció és keverék-eloszlások generátorfüggvénye. Alkalmazások. Galton-Watson elágazó folyamatok.

Poisson folyamat: ekvivalens jellemzések és konstrukciók; Poisson pontfolyamat és számláló folyamat. Poisson folyamat intenzitása, mint az exponenciális óra rátája. Poisson folyamatok ritkítása, színezése, egyesítése.

Normális eloszlás és centrális határeloszlás tétel, az alkalmazás korlátai. Berry-Esseen tétel. A nagy eltérések problémája.

Nagy eltérések elemei: Bernstein egyenlőtlenség, Chernoff korlát, Hoeffding egyenlőtlenség. Momentumgeneráló függvények, Cramér féle nagy eltérés tétel. Alkalmazások sorbanállási problémákra és kapacitás méretezésre.

Sztochasztikus folyamatok elemei: Markov-láncok és Markov-folyamatok. Mi is egy sztochasztikus folyamat? Véges állapotterű Markov-láncok, állapotok osztályozása, irreducibilitás, periódus, aperiodicitás. Stacionárius mérték, hosszú idejű viselkedés, ergodicitás és keverés. Megszámálható állapotterű Markov-láncok, a rekurrencia és stabilitás problémája. Alkalmazás születési-halálozási folyamatokra és sorbanállási problémákra. Folytonos idejű Markov-láncok elemei: tiszta ugró folyamatok ekvivalens konstrukciói, ugrási ráták, szemléletes jellemzés. Kolmogorov-Chapman egyenletek, infinitezimális generátor. Hosszú távú viselkedés, ergodicitás, keverés. Sorbanállási alkalmazások. A matematikai statisztika elemei: Mintavétel, momentumbecslések, Lineáris és nemlineáris regresszió. Maximum likelihood becslés. Statisztikai hipotézisek, statisztikai próbák: u-próba, t-próba, F-próba, khi-négyzet-próba. Gyengén stacionárius folyamatok: spektrál-felbontás, spektrál-elmélet elemei: Gyengén stacionárius folyamatok Z-n, R-en, jellemzésük a kovariancia-függvénnyel, realizációjuk Gauss-folyamatként. Trigonometrikus folyamatok, autoregresszív és mozgó átlag folyamatok. Stacionárius folyamat spektrális felbontása. Példák. Szűrés, példák szűrőkre.

Analízis

(BMETE90MX79, szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 4/0/0/v/5 kredit, TTK Analízis Tanszék)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy a villamosmérnöki MSc képzésben felmerülő analízis jellegű matematikai ismeretek széles körét mutatja be, alapvetően feladat- és alkalmazás-centrikus tárgyalásban. A következő témákat dolgozzuk fel: a funkcionálanalízis alapjai (függvények mint függvényterek elemei), integrál egyenlőtlenségek, skaláris szorzat és norma függvénytereken, ortogonális függvényrendszerek, Banach fixponttétel alkalmazása integrál és differenciálegyenletek iteratív megoldására, a Fourier és egyéb függvénytranszformációk szerepe és alkalmazása, a disztribúciók (mint általánosított függvények) fogalma, feltételes optimalizálás és variációszámítás illetve ezek alkalmazása fizikai példákban, numerikus egyenletmegoldás és optimalizálás (elmélet és algoritmusok).

A tantárgy követelményeit eredményesen teljesítő minden hallgatótól elvárható, hogy:

- értse és konkrét feladatokban, példákon alkalmazni tudja a tárgyalt fogalmakat és ismereteket,
- a gyakorlati élet által felvetett problémákban felismerje a tanult módszerek alkalmazási lehetőségeit.

2. A tantárgy tematikája

I. A funkcionálanalízis alapjai

Függvények, mint függvényterek vektorai. Az L_p és l_p terek fogalma. Norma, (komplex) skaláris szorzat, Cauchy-Schwarz, Hölder és Minkowski egyenlőtlenségek. Banach fixponttétel alkalmazásokkal: differenciál- és integrálegyenletek iteratív megoldása hibabecsléssel. Ortogonális függvényrendszerek, ortogonális vetítés, mint egy elem legjobb közelítése egy adott altérbe eső elemmel, ortogonális rendszer szerinti kifejtés, Parseval egyenlőség, a Fourier sorfejtés mint ortogonális rendszer szerinti kifejtés.

II. Függvénytranszformációk

A Fourier transzformáció, mint a Fourier sorfejtés határesetete, mint unitér transzformáció, stb. Alapvető tulajdonságok, néhány konkrét függvény Fourier transzformáltja, a Fourier transzformáció felhasználása feladatokban (pl.: függvényegyenletek megoldása). Fourier transzformáció több dimenzióban, Fourier vetítési tétel és annak felhasználása a tomográfiában. „Határozatlansági reláció” (mint összefüggés a „jel időbeli és frekvenciatérben vett szétfolytsága között”), a függvény, illetve Fourier transzformáltjának „lecsengésének gyorsasága” és „simasága” közötti kapcsolat, a Schwarz féle függvénytér. Kitekintés (csak „mesélve”, pontos fogalmak, állítások és bizonyítások nélkül): egyéb függvénytranszformációk (wavelet, Laplace, diszkrét Fourier), azok szerepe, illetve a diszkrét Fourier esetén a számolási sebesség („gyors Fourier transzformáció”) és annak jelentősége a képfeldolgozásban.

III. Disztribúciók

A disztribúciók, mint általánosított függvények, mint lineáris leképezések a Schwarz téren, a disztribúciók különböző „természetes” megjelenési módja; pl. mint egy „hagyományos” (de nem L²-beli) függvény Fourier transzformáltja. Dirac delta és Dirac fésű, műveletek disztribúciókkal (disztribúció deriváltja, Fourier transzformáltja stb.) a disztribúciók jelentősége pl. a differenciálegyenletek megoldásában. (Csak kitekintés szintjén; az idő szűkössége miatt ebben a témakörben a cél inkább csak a fogalom megértése, mint a disztribúciókkal való számolási készség tényleges elsajátítása.)

IV. Optimalizálás

Optimalizálás feltételek mellett, Lagrange multiplikátor, optimalizálás függvényterben, variációszámítás, Euler-Lagrange egyenletek. Fizikai példák és alkalmazások.

V. Numerikus analízis

Iteratív egyenletmegoldási módszerek. Felezős módszer, Newton iteráció hibabecsléssel. Kitekintés: Newton iteráció több változóval, a Newton iteráció szerepe az optimalizálásban, egyéb optimalizációs módszerek (pl. gradiens), a "dimenzió átka" és a véletlent is fölhasználó, illetve sztochasztikus módszerek szerepe.

Fizika űrmérnöknek

([BMETE80MU00](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 2/1/0/f/4 kredit, TTK Fizika Tanszék)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja az űrmérnök szak hallgatói számára szükséges alapozó fizikai ismeretek átadása, összefoglalása, és az alapvető fizikai számítások készségszintű elsajátítása. A tantárgyban két fő terület jelenik meg: a bolygómozgás és űreszközök pályaszámításához szükséges mechanikai ismeretek alapjai, és az űrkörnyezet megismerésének alapjait jelentő sugárzás- és plazmafizikai alapismeretek. A tantárgy a Világegyetem alapvető felépítésével kapcsolatos ismereteink vázlatos összefoglalásával indul, majd az űr megismerésének alapvető mérés-technikai alapjait ismerteti. Ez után a Naprendszerre fókuszálva és a mechanika alapjaitól felépítve alkalmazható tudást nyújt alapvető égi mechanikai számítások és speciálisan az űreszközök irányításával kapcsolatos számítások kivitelezéséhez. Az űreszközök működési környezetét átvezetésül használva az űrre jellemző sugárzásos és anyagi környezet fizikai alapjait mutatja be. Ennek hangsúlyos részét képezi a plazmafizikai alapok elsajátítása egészen a magnetohidrodinamika alapjainak megértéséig. A plazmafizikai fogalmak tárgyalásához kapcsolódóan az űreszközök tervezése szempontjából releváns fizikai fogalmak is átismétlésre kerülnek, mint az anyagok mágnesezhetősége, a hőtranszportfolyamatok és a dózisfogalmak. A tantárgy elősegíti, hogy a hallgatók a képzés során később elhangzó speciális szakmai ismereteket egy egységes rendszerbe tudják foglalni, és alapvető számításokat el tudjanak végezni.

2. A tantárgy tematikája

A Világegyetem szerkezeti felépítése és kialakulásának mai elmélete: Ősrobbanás, táguló világegyetem, Hubble-törvény, vöröseltolódás, kozmikus háttérsugárzás, részecskefizikai korszakok, atomok kialakulása, csillagok és galaxisok létrejötte és fejlődése, bolygók, fekete lyukak, kémiai elemek keletkezése.

Sötét anyag és sötét energia. Sugárzások és sugárforrások az űrben. A kozmosz kutatásának eszközei: távcsövek, rádió- és röntgencsillagászat, műholdas és űrszondás megfigyelések (Hubble, Chandra, Voyager, New Horizons, NuSTAR, Planck), földi megfigyelő eszközök és módszerek (Auger-, Cserenkov, IceCube, Solar neutrínó kísérletek). Meteoritok, holdi és marsi kőzetek elemzése, annak eszközei. A kozmikus sugárzás földi észlelése. Az univerzum, a Tejútrendszer, a Naprendszer, a Föld űrrepülés szempontjából történő bemutatása, Föld alakja, légköre.

Inerciarendszerek, forgó koordináta-rendszerek, Galilei-transzformáció, speciális relativitáselmélet, tömeg-energia ekvivalencia, Lorentz-transzformáció, időmérés. Általános relativitás elve, a gravitáció

hatása a tér görbületére, a gravitáció hatása az idő mérésére. Példák koordináta-rendszerek használatára, koordinátatranszformációk.

Tömegpontok és szilárd testek és folyadékok mechanikájának alapjai. Rakétamozgás kinematikája, pozíció, orientáció, sebességkomponensek. Kepleri pályák, kéttest probléma, pályaháborgások alapjai. Jellegzetes Föld körüli pályák. Többtest probléma alapjai, kaotikus pályák, kezdeti feltételekre érzékenység. Hajítások, rakétamozgás, bolygó pályák. Tehetetlenség, főtengelyek, erőmentes pörgettyű, precesszió, nutáció. Gyorsuló forgómozgás, pörgettyűk. Űreszközök irányítása a tömegközépponthez viszonyítva: tájolás, stabilizálás, giroszkópok. Űrrandevű létrehozása hagyományos és alacsony tolóerejű manőverekkel, űreszközök kötélekben. Az űreszközök indítási és űrbeli fizikai környezete. Röviden az indításkor fellépő statikus és dinamikus terhelésekről.

Súlytalanság, vákuum, légellenállás, atomos oxigén hatása az űreszközökre. Űridőjárás. Meteorok és űrszemét. Űrkörnyezet: részecskék és sugárzások. Töltött részecskék mozgása elektromos és mágneses terekben

Elektromos és mágneses terek keltése töltött részecskék által, Maxwell-egyenletek. Anyagok elektromos és mágneses jellemzői, diamágnesség, paramágnesség, ferromágnesség. Mozgásegyenlet, Larmor-pálya, mágneses tükrök, driftmozgások. A plazma jellemzői, Debye-árnyékolás, plazmaparaméter, előfordulása, jellemző paraméterei. Elemi atomfizikai folyamatok plazmákban, az elektromágneses sugárzás keletkezési mechanizmusai, hőtranszport folyamatok, részleges és teljes termodinamikai egyensúly, korona-egyensúly. Reakcióráta, rátaegyenletek, hőtranszport vákuumban. A plazmák elméleti leírása: kinetikus és folyadék elméletek, alkalmazási feltételek, alkalmazási példák. Ideális és rezisztív magnetohidrodinamika alkalmazásokkal, napkitörés, napszél, a Föld magnetoszférája, sugárzási tér földközépen, dóziszfogalmak. MHD generátor, mágneses tér befagyása a plazmába.

Anyagtudomány

([BMEGEMTNUAT](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 2/1/0/f/4 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy fő célkitűzése, hogy ismertesse az űriparban alkalmazott főbb szerkezeti anyagok tulajdonságait, és ezek kötéstechológiáját. A kémiai kötések típusai, és ezek hatása a makroszerkezet tulajdonságaira. Acélok csoportosítása, fizikai, mechanikai tulajdonságaik és ezek módosításának ismerete. Az alumínium, nikkell, réz, titán, magnézium és ötvözeteinek csoportosítása, fizikai, mechanikai tulajdonságaik. A korrózió elektrokémiai alapjai, típusai.

Optikai anyagok, kerámiák, kompozitok, polimer kompozitok, mágneses anyagok ismerete. Az alkalmazható kötéstechológiák ismerete.

2. A tantárgy tematikája

Bemutakozás. Az anyagtudomány jelenlegi helyzete az űriparban.

Acélok csoportosítási rendszere. Fázisdiagramok. Szabványos anyagvizsgálatokból meghatározható mérőszámok, fogalmak. Az anyagszerkezet és a mechanikai tulajdonságok általános kapcsolata.

Szakítóvizsgálat. Keménységmérés. Fárasztó vizsgálatok. Kúszási vizsgálat. Korróziós vizsgálatok.

Hegesztési eljárások csoportosítása. Huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés, TIG-hegesztés, ellenállásponthegesztés alapjai, alkalmazási lehetőségei.

Nagy energiasűrűségű hegesztési eljárások. Elektron-sugaras hegesztés. Lézersugaras hegesztés. Hibrid hegesztési eljárások.

Forrasztási eljárások csoportosítása. Lágyforrasztás.

Keményforrasztás. A keményforrasztás anyagai, technológiája, eljárásváltozatok. A hegesztőforrasztás különböző eljárásváltozatai.

A szilárdságnövelés lehetőségei acélok esetén. Nagy szilárdságú acélok és hőkezelésük. Alkalmazható hegesztési eljárások. Alkalmazási példák.

A korrózió fogalma, a korrózió típusai. Korrózióvédelem. Nagy hőmérsékletű korrózió, hőállóság, kúszásállóság.

A korrózióálló acélok típusai. A korrózióálló acélok hőkezelése, az anyagszerkezet és a mechanikai tulajdonságok, valamint a korrózióállóság kapcsolata. Vonatkozó szabványok.

A hőálló és kúszásálló acélok típusai. A hőálló és kúszásálló acélok hőkezelése, az anyagszerkezet és a mechanikai tulajdonságok, valamint a hőállóság és kúszásállóság kapcsolata. A rozsdamentes acélok hegesztése.

Az alumínium és alumíniumötvözetek típusai. Kiválásos keményítés, kiválásosan keményíthető alumíniumötvözetek az űriparban.

Az alumínium és ötvözetek hegesztése. Hegeszthetőségi problémák. Alkalmazási példák.

A nikkell és nikkellötvözetek típusai. Szilárdoldatos és kiválásosan keményített típusok. Kobaltötvözetek.

A nikkell és ötvözetek hegesztése. Alkalmazási példák.

A réz és ötvözetek típusai. A réz és ötvözetek kötéstechológiája. Alkalmazási példák.

A titán és titánötvözetek típusai. Alakemlékező ötvözetek. A titán és ötvözetek hegesztése. Alkalmazási példák.

A magnézium, berillium és ötvözetek típusai. A magnézium, berillium és ötvözetek hegesztése. Alkalmazási példák.

Kerámiák csoportosítása, tulajdonságai. Kerámiaalkatrészek gyártástechológiája. Kerámiák lehetséges kötéstechológiái.

Fémátrixú kompozitok tulajdonságai. Fémátrixú kompozitok típusai, gyártástechológiájuk. A fémátrixú kompozitok lehetséges kötéstechológiái.

Polimerkompozitok tulajdonságai, típusai. Polimer kompozitok gyártástechológiája. Az űriparban alkalmazott optikai anyagok.

Mágneses anyagok csoportosítás. Keménymágneses anyagok. Ferritek, hexaferritek.

Úrkörnyezet

([BMEVIETMA18](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 2/1/0/f/4 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az űrkörnyezet alatt a Föld atmoszféráját elhagyva azt a működési környezetet értjük, ahol a nem földi eredetű energiaforrások hatása válik uralkodóvá. Az űreszközöknek ebben a speciális környezetben kell normál körülmények között, hibamentesen működniük és ezért úgy kell azokat megtervezni, hogy a speciális környezeti hatásokkal szemben ellenállóak, vagy hibatűrőek legyenek. Az űreszközök környezettel történő kölcsönhatása sokszor az űreszközök teljesítőképességének a korlátja. A tantárgy célja a speciális környezetben található jellegzetes fizikai adottságok bemutatása és ezen körülmények űreszközökre gyakorolt hatásának az ismertetése. A külső hatások okozta jellemző hibamechanizmusok megismerésén és megértésén keresztül sajátítható el az űreszközök tervezésének olyan szemléletű alapjai, melyek tekintettel vannak a speciális működési környezetre.

2. A tantárgy tematikája

Az űrkörnyezet határai. Földközeli és a bolygóközi környezet alapvető sajátosságainak ismertetése. Az űridőjárás fogalmának ismertetése. (Environment Design Requirements - EDR). Az EDR bemutatása, célja, felépítése, formai elemei. A makroszkopikus gáztervények összefoglalása. Mikroszkopikus molekuláris törvények. A kinetikus gázelmélet alapfeltevései. A nyomás meghatározása a kinetikus gázelmélet alapján. A Maxwell-Boltzmann sebességeloszlás. Közepes szabad úthossz. Ütközési szám. A vákuum fogalma. A Knudsen szám. Meyer formula, gázáram egy vékony fal kis nyílásán, gázok viszkozitása és ennek nyomás és hőmérséklet függése, gázok hővezetése és ennek nyomás és hőmérséklet függése, a diffúzió fenomenológiai leírása, a diffúziós együttható. Az effúzió fogalma. Gázok áramlása, Reynolds szám. Viszkózus és molekuláris áramlás egyenes csőben. Viszkózus áramlás kapillárisban. Fázisok fázis diagramm, párolgás és lecsapódás (kondenzáció), fiziszorpció kemiszorpció deszorpció, telített gőznyomás és hőmérséklet függése. Aktivációs energia. A forrás fogalma, Clausius - Clapeyron egyenlet. Az elpárolgó anyag mennyisége (Langmuir formula), permeáció. A McLeod mérő elve, Pirani mérő, termokeresztmérés mérő, ionizációs mérő, hidegkatódos mérő, parciális nyomás mérők, tömeg spektrométerek, Aston, Wien. Repülési idő, kvadrupol tömegspektrométerek. A lyukkeresés

módszerei. Anyagi tulajdonságok változása és alapvető fizikai folyamatok viselkedése mikrogravitációs környezetben. A Nap elektromágneses sugárzásának jellemzői és hatásai, a Nap elektromágneses aktivitása a napciklus függvényében. Kozmikus sugárzási környezet és a hatásmodellek. A Föld Elektromágneses sugárzása. Albedo sugárzás és infravörös sugárzásnak forrása és irányfüggése, hatása. Geomágneses aktivitás. Fedélzeti berendezések által keltett elektromágneses sugárzás és kompatibilitás. Az ionoszféra bemutatása, viselkedése és a hatása a kommunikációra és az anyagokra. Hőtranszport folyamatok. Különböző pályákon tapasztalható termikus viszonyok áttekintése. Alacsony földközeli pálya, geoszinkron, Molniya. Hold körüli, merkúri, vénuszi, marsi környezet, külső bolygók környezete. Jellemző részecskék, azok eloszlása és forrása. A részecskékkel való kölcsönhatási formák és azok következményei. Az elektromosan töltött részecskék sugárzási öve (Van Allen sugárzási övek). A töltött részecskék kölcsönhatása az anyagokkal. A dózis fogalmak értelmezése. Az ionizáló sugárzás mérésére leggyakrabban alkalmazott fizikai elvek. Sugárzásmérő berendezések alapvető felépítése és működése. Mikrometeoritok, statisztikai modellek, kockázatbecslés. Űrszemét, és az űrszemét kezelése. Molekuláris és részecske szintű szennyeződések ismertetése, transport folyamatok. A súlytalanság hatása és következményei, töltött részecskék élettani hatásai, fiziológiai effektusok.

III.2 Választható természettudományos tantárgyak

A választható természettudományos tantárgy esetében hat tantárgy közül kell kötelező jelleggel egyet választani a hallgatónak, ahol a tantárgy választása a hallgató orientációjától függ. A választható természettudományos ismeretek területén a hallgatónak az alábbi listában szereplő 6 tantárgy közül egyet kell kötelező jelleggel teljesítenie.

A választható természettudományos tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Elektromágneses terek	BMEVIHVMA19
Fotonikai eszközök	BMEVIETMA13
Kvantum-informatika és kommunikáció	BMEVIHIMA18
Nanotudomány	BMEVIETMA14
Űr, többtest és nemlináris dinamika	BMEGEMM_____
Villamos szigetelések és kisülések	BMEVIVEMA19

Elektromágneses terek

([BMEVIHVMA19](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy fő célkitűzése az elektromágneses jelenségek kvalitatív és kvantitatív tárgyalása deduktív módon, a Maxwell-egyenletekből kiindulva. Az elektromágneses terek elméletének magasabb szintű tárgyalása, az alapképzésben megszerzett ismeretek elmélyítése. Az elektromágneses mezők számítógépes szimulációjára alkalmazott módszerek megismertetése, egyes modellezési kérdések tárgyalása. A modellezés alapján történő eszköz tervezési folyamat megismertetése. Néhány elektromágneses eszköz működési elvének ill. térelméleti alapjainak bemutatása az alacsony frekvenciás, villamosenergetikai alkalmazásoktól a nagyfrekvenciás, mikrohullámú eszközökön keresztül egyes optikai és nanoelektronikai alkalmazásokig bezárólag.

2. A tantárgy tematikája

I. Bevezetés, az eddigi ismeretek rendszerezése

Matematikai áttekintés. A Maxwell-egyenletek. Elektromágneses térjellelmzők, erőhatások. Anyagjellemzők, térbeli és időbeli diszperzió. A beiktatott elektromos térerősség értelmezése. Makroszkopikus és mikroszkopikus Maxwell-egyenletek és ezek kapcsolata. A térjellelmzők viselkedése különböző anyagállandójú térrészek határán.

Energiatétel, teljesítménysűrűség. Kezdetiérték- és peremérték-feladatok fogalma. Speciális időfüggés figyelembevétele lineáris közegekben: periodikus gerjesztés állandósult állapotban, tetszőleges időfüggés passzív közegben, belépő időfüggés. Komplex teljesítmény, a komplex teljesítménymérleg.

II. Az elektrodinamika peremérték-feladatai

Maxwell-egyenletek egyértelmű megoldhatósága, a sugárzási feltétel. Az elektrodinamika peremérték-feladatai (PDE, perem- és folytonossági feltételek megadása, ezek fizikai értelmezése). Időben állandó (sztatikus) terek: Laplace-Poisson egyenletre vezetők, skalárpotenciállal leírható problémák: (i) elektrosztatikus tér, (ii) stacionárius áramlási tér (a Kirchhoff-hálózat n-pólusának térelméleti modellje), (iii) magnetosztatikus tér. A Laplace-Poisson egyenlet egyértelmű megoldhatóságának feltételei, a peremfeltételek fizikai tartalma.

Az elektrodinamika további peremérték-feladatai: (iv) stacionárius áramok mágneses terének analízise vektorpotenciál és redukált skalárpotenciál segítségével. 2D-s problémák az elektrodinamikában. A

stacionárius áramok mágneses terének peremérték-feladata 2D-ben, az egy komponensű vektorpotenciál használata planáris és hengerszimmetrikus elrendezésekben.

További peremérték-feladatok: (v) örvényáramú problémák és egyéb kvázistacionárius terek, (vi) elektromágneses hullámok.

III. Peremérték feladatok numerikus megoldása, a mérnöki gyakorlatban használt szimulációs programok működésének alapjai és használata

Peremérték-feladatok numerikus megoldási módszereinek áttekintése (globális- és lokális közelítések, integrális- és differenciális megfogalmazások stb.). A végeelem módszer (FEM) alkalmazása peremérték-feladatok megoldására. Reziduum-elv, diszkretizált egyenlet levezetése a Poisson-feladatra. Példák a végeelem módszerhez használt formafüggvényekre.

Green-függvények skalárral leírható peremérték-problémák esetében. Néhány 1-dimenziós Green-függvény. A skaláris Poisson- és hullámegyenlethez tartozó szabadtéri Green-függvény. Diadikus Green-függvények, a vektoriális Poisson- és hullámegyenlethez tartozó szabadtéri Green-függvények.

Az integrálegyenletek módszere az elektrodinamika peremérték-feladatainak megoldására. Időbeli véges differencia módszer (FDTD). A differenciál-operátor diszkretizálása, a Yee-algoritmus vázlata 1- és 3-dimenziós esetekben.

IV. A villamosmérnöki gyakorlatban előforduló klasszikus térszámítási problémák

Tranziens folyamatok veszteséges távvezetéken, a Fourier-transzformáció alkalmazása. Ideális távvezeték tranziens jelenségei a Laplace-transzformáció alkalmazása, a menetdiagram értelmezése.

Elektromágneses inverz és optimalizációs feladatok (avagy: tervezés és képkalkotás). Alapfogalmak: modelltér, adattér, direkt és inverz feladat. Gyengén meghatározottság fogalma, definíciója. Regularizálás célja, módszerei: dimenzió-kontroll, additív büntetőfüggvény (Tikhonov). Néhány klasszikus és modern optimalizálási algoritmus.

Hullámtani problémák. Síkhullámok: ferdén beeső síkhullámok, teljes visszaverődés, tetszőleges hullámtér előállítása síkhullámok szuperpozíciójaként.

Hullámvezetők: sajátérték-problémák, a módus fogalma, tetszőleges peremgörbével határolt csőtápvonalak, négyszög keresztmetszetű csőtápvonal módusai. Hertz-dipólus: közel- és távotér, iránykarakterisztika, sugárzási ellenállás, irányhatás, nyereség. Patch antenna. Elektromágneses hullámok periodikus közegben, bizonyos típusú meta-anyagok viselkedésének vizsgálata. Homogenizálás. Elektromágneses hullámok modellezésére használható aszimptotikus módszerek (hullámkövetéses eljárások) áttekintése.

Fotonikai eszközök

([BMEVIETMA13](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célkitűzése, hogy bemutassa és megismertesse a gyakorlatban használt fény és anyag kölcsönhatáson alapuló eszközök működési elvét és az egyes eszközök karakterisztikus jellemzőit.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető: A fény alapvető fizikai tulajdonságai megismerése, az elektromágneses hullámterjedés alapjainak átisméltése.

Passzív optikai elemek: Aktív energiaellátást nem igénylő optikai elemek tulajdonságainak ismertetése. Tükrök, lencsék, prizmák, optikai szálkábelek, diffrakciós rácsok leképzésének áttekintése.

Optikai anyagok fizikai tulajdonságai: Optikai üvegek szerkezeti tulajdonságaink ismertetése. Üveggyártástechnológia bemutatása. Különböző katalógus üvegek tulajdonságai bemutatása és alkalmazási területek ismertetése.

- Optikai kristályok előállítás: Optikai kristályok szerkezeti tulajdonságaink ismertetése. Egykristály növesztési eljárások bemutatása. Optikai kristályok speciális tulajdonságainak bemutatása és alkalmazási területek ismertetése.
- Nemkoherens fényforrások: Termikus és luminescens sugárzók, világító diódák, fénykeltési módjának ismertetése. Az így keltett sugárzás tulajdonságainak ismertetése. Fény érzékelésre használható fotodetektorok működési elvének ismertetése
- Koherens fényforrások: Bevezetés. A lézerműködés alapfeltételei tárgyalása. A lézerek osztályozása lézer aktív közeg szerint. A különböző típusú lézerek tulajdonságainak összehasonlítása
- Szilárdtest lézerek és alkalmazásaik: Direkt sávszerkezetű félvezető anyagok leírása. Lézerdiódák szerkezeti felépítései ismertetése. A félvezető lézerek fizikai paramétereinek és alkalmazásainak bemutatása
- Optikai célú multirétegek: Vékonyréteg technológia áttekintése, vákuumpárolgatás és a porlasztás tárgyalása. Speciális tulajdonságokkal rendelkező vékonyréteg struktúrák bemutatása: dielektrikum tükrök, modulátorok, deflektorok.
- Optikai elemek: A fény polarizációs tulajdonságának ismertetése. Kettőtörő anyagok szerkezetének ismertetése. Különböző elven működő polarizátorok, szűrők működésének áttekintése. Nemlineáris optikai eszközök frekvenciaváltoztató elemek bemutatása.
- Optikai adatátvitel: Optikai hullámvezető struktúrák bemutatása. Egy és a többmódusú optikai szálkábelek és a felületi hullámvezetők ismertetése. Optikai szálkábelek gyártástechnológiai áttekintése. Az optikai szálkábelek fizikai sajátosságainak bemutatása.
- Optikai kapcsolók: A mágneses tér kölcsönhatása fényvel és akusztikus hullámokkal. Magnetooptikai és akusztóoptikai eszközök ismertetése és működési elvének áttekintése.
- Folyadékkristályok: A folyadékkristályos anyagok szerkezeti felépítésének és optikai jellemzői áttekintése, folyadékkristályos kijelzők típusai és azok összehasonlítása optikai és egyéb tulajdonságaik alapján.
- CMOS és CCD eszközök a fényérzékelésben: CMOS és CCD képképző szenzor működési alapjainak áttekintése. A szenzorelemek strukturális felépítésének bemutatása. A két szenzortípus összehasonlítása különböző tulajdonságaik alapján.

Kvantum-informatika és kommunikáció

([BMEVIHIMA18](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Napjaink számítástechnikai eszközei teljesítőképességük elvi határához éreztek, mivel az áramköri elemek a jelenlegi technológiával tovább nem csökkenthetők lényegesen. Ugyanakkor egyre több informatikai és távközlési feladat vár megoldásra, melyeket a jelenlegi számítástechnikai kapacitásokkal reménytelen megoldani, csupán szuboptimális megoldások alkalmazhatók. E kettős problémakörre kínál megoldást a kvantummechanikai alapokra épülő ún. kvantum informatika és kommunikáció, mely egyfelől atomi méretekre zsugorítja az áramköri elemeket, másfelől nagyfokú párhuzamosíthatóságot tesz lehetővé, ezáltal lényegesen redukálva a számítási időt, harmadrészt pedig a klasszikus világban szokatlan megoldási lehetőségeket is kínál (pl. teleportálás). A tantárgy célja, hogy megismertesse a hallgatóságot a kvantum informatika fogalomrendszerével, információ elméleti vonatkozásaival és alkalmazási példákon keresztül informatikai és távközlési környezetben való alkalmazhatóságával. A tantárgy röviden ismerteti a gyakorlati megvalósítás alapjait is.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés.

A kvantuminformatica motivációja. A Moore-törvény korlátja és a kvantummechanika kapcsolata. A kvantuminformatica alkalmazásának lehetőségei. A gyök NOT kapu rejtélye (kvantum interferométer) Kvantuminformatica jelölésrendszere és posztulátumai.

A Hilbert-tér és a kvantummechanika kapcsolata, egyszerűsített leírás. Kvantuminformaticai jelölések, komplex valószínűségi amplitúdók. A kvantummechanika posztulátumai. Kvantumbit és

- kvantumregiszter, szuperpozíció elve. Ábrázolás a Bloch-gömb segítségével. Alap kvantum kapuk és leírásuk.
- Műveletek kvantumbitekkel és kvantumregiszterekkel
- N-bites kapuk. N-bites Hadamard-kapu és a szuperpozíció elve. Interferométer leírása. Összefonódás (entanglement). CNOT-kapu
- Összefonódás
- Bell-állapotok. Környezettel való összefonódás (dekoherencia) és következményei. EPR paradoxon. No cloning.
- Projektív mérés
- Mérés: kapcsolat a kvantum és a klasszikus világ között. Projektív mérés tulajdonságai és konstrukciója.
- POVM mérés
- POVM mérés tulajdonságai és konstrukciója. Kapcsolat a különböző mérések között.
- Egyszerű kvantum protokollok
- Tetszőleges kvantumbit előállítása alap kvantumkapuk segítségével. Szupersűrűségű tömörítés. Teleportálás.
- Kvantum párhuzamosság
- A kvantum párhuzamosság alapjai. A Deutsch-Jozsa-algoritmus leírása. Simon algoritmus
- Kvantum prímfaktorizáció – Shor-algoritmus
- Prímfaktorizáció, rendkeresés és a Shor-algoritmus kapcsolata és működésük ismertetése. Hatékonyság elemzése.
- Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (1)
- Kvantum alapú véletlenszám-generátorok
- Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (2)
- Kvantum alapú kulcsszétosztás. A BB84 protokoll működése és megvalósítása. A B92 protokoll működése.
- Infokommunikációs problémák kvantum alapú megoldásai (3)
- Hatékony keresés rendezetlen adatbázisban: a Grover-algoritmus. Működés és blokkdiagramm. Hatékonyság elemzése.
- Kvantum számlálás és szélsőérték keresés
- Kvantum-számlálás elméleti háttere. Kvantum-számlálás elemzése, komplexitása, értékelése, Minimum/maximum keresés elméleti háttere. Minimum/maximum keresés elemzése, komplexitása, értékelése.
- Kvantumkriptográfia gyakorlati alkalmazásai
2. generációs folytonos változós kulcsszétosztás. A jelenlegi vezetékes kvantumkulcsszétosztó rendszerek bemutatása.
- A Grover-algoritmus általánosítása
- Általánosított Grover-algoritmus mely lehetővé teszi a tévesztési hiba megszüntetését.
- Kvantum számítógépek, hol tart ma a világ
- Kvantum számítógép építésének aktuális helyzete: foton, elektron, atom, molekula alapú megközelítések, jelenlegi elképzelések és kutatási irányok.
- Kvantum információelmélet alapjai
- Sűrűségmátrixos leírás, posztulátumok megfogalmazása a sűrűségmátrixos leírás segítségével. Összefonódás és teleportálás értelmezése sűrűségmátrixok segítségével.
- Kvantuminternet építőkövei
- A kvantuminternet architektúrája és protokollkészlete. Repeaterek és memóriák.
- Műholdas kvantumkommunikáció
- Szabadtéri és műholdas kvantumkommunikáció
- Összefoglalás és kitekintés
- A tanult témakörök összegzése. A kvantummechanika rövid története. A kvantummechanika és filozófia kapcsolata.

Nanotudomány

([BMEVIETMA14](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, ETT)

1. A tantárgy célkitűzése

A nanotudomány elsődleges célja jelenségek tanulmányozása szerves és szervesetlen rendszerekben, amelyek néhány szántól néhány millió atomból állhatnak (0,2...100 nm-es tartományba tartoznak). A tantárgy három fő tematikai részre különíthető. Az első rész elméletileg tekinti át a nanotartományba eső rendszerek fizikáját, a skálázással kapcsolatos kérdéseket, a vonatkozó alapvető kvantummechanikai és szilárdtest fizikai jelenségeket. A második rész a nanoanyagok fizikai tulajdonságaival, előállítási technológiájukkal és fő alkalmazási területeivel foglalkozik, beleértve szerves és szervesetlen rendszereket is. A harmadik rész célja a nanometrológia bevezetése, a nano méretskálán alkalmazható mikroszkópos és spektroszkópiás eljárások megismertetése.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, a nanotudomány elhelyezése, fontosabb eddigi eredményei. A nanotudomány által használt fogalmak definiálása. A nano mint mérettartomány különlegességei. Az anyagok felépítése bottom-up megközelítésben.

A fizikai tulajdonságok megváltozása a nano-méretskálán. A geometriai skálázás hatásai. A top-down tervezés skálázási problémái. Makroszkopikus fizikai jellemzők (mechanikai, elektromos, optikai, termikus, mágneses), ezek mikroszkopikus értelmezése (újdomságok a nanovilágban).

Bevezető a kvantummechanikáról, kvantummechanikai problémák és megoldásuk: A kvantummechanika alapelveinek áttekintése, egyszerű problémák esetében a megoldás menete és eredménye.

Szilárdtestfizikai alapok: Hogyan jutunk el a szilárdtestfizika villamosmérnöki szempontból lényeges modelljeihez és a kapott eredmények értelmezéséhez.

Félvezetők elmélete Áramvezetés jelensége a félvezetőkön belül. A különböző jellegű félvezetők közötti különbségek és a makroszkopikus egyenletek előállítása.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 1: gőzfázisú módszerek. Fizikai és kémiai gőzfázisú rétegleválasztás, valamint kondenzáció és ezek speciális változatai (pl. PVD, CVD, CCVD, ALD, GPC, CVC). Lézeres abláció, kriogénolvasztás, permethóbontás.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 2: folyadékfázisú módszerek. Nanorészecskék előállítása szol-gél eljárással. Alak- és méretkontrollált kémiai redukció. Felületkémia, önszerveződő rétegek, bevonatok. Elektrokémiai és árammentes rétegleválasztás.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 3: nanolitográfia 1. A projekciós és direktírasos litográfiák alapelvei, a felbontóképesség korlátjai. Optikai (UV) litográfia, röntgen-litográfia, elektronsugaras és ionsugaras eljárások.

Nanoszerkezetek, nanoanyagok előállítási módszerei 4: nanolitográfia 2. Haladó litográfiás eljárások. Nanoimprint litográfia és replikáció. Lézerinterferencia litográfia. Litográfia pásztázó tűszondás mikroszkópokkal (STM, AFM). Nanodiszpenzálás.

Szén allotróp módosulatai: fullerének, nanocsövek, grafén. Kristálytani leírás, fizikai tulajdonságok, főbb előállítási technológiák. Megvalósult és potenciális alkalmazási területek a nanoelektronika, szenzorika, kijelzők, kompozit anyagok stb. Terén.

Nanoanyagok vizsgálati lehetőségei, a nanometrológiai eljárások áttekintése. A mikroszkópos eljárások alapjai, a felbontóképesség korlátjai az egyes eljárásoknál. A pásztázó tűszondás mikroszkópok működése (STM, AFM).

Elektronsugaras mikroszkópos eljárások áttekintése. A pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópia (SEM és TEM) alapjai, lehetőségei és korlátjai. Anyag elektron kölcsönhatás, származtatott jelek, detektortípusok és képalkotási módok.

Az anyagösszetétel vizsgálat lehetőségei a nano-méretskálán. Spektroszkópiai módszerek (SEM-EDS, XRF, XPS, AES, Raman-spektroszkópia, SERS, FT-IR) alapjai, az egyes eljárások előnyei, hátrányai.

Űr, többtest és nemlineáris dinamika

(BMEGEMM____, szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

Az égitestek, az űrjárművek és az űrkezelésben alkalmazott robotikai eszközök kinematikájának és dinamikájának nélkülözhetetlen elemzési és szimulációs módszereivel kapcsolatban nyernek áttekintést és alkalmazható tudást a tárgy hallgatói. A tantárgy javarészt merev test modellekre szorítkozik és a Newtoni mechanikára épít. Az egyes témakörökben a legegyszerűbb gyakorlati példán keresztül történik meg az elmélet bemutatása és megértése.

2. A tantárgy tematikája

Merev testek mechanikájával kapcsolatos alapfogalmak. A merev test helyzete: pozícióvektor, forgatási tenzor, homogén transzformáció. Orientáció megadási módok: tengely-szög reprezentáció, Euler-szögek, (Tait–Bryan-szögek, fix szögek, roll-pitch-yaw szögek), szingularitási problémák, egységkvaterniók. Nyílt kinematikai láncok kinematikai leírása Denavit–Hartenberg-módszerrel, zárt láncok kinematikai leírása holonom kényszerek segítségével. Newton–Euler-rekurzió nyílt kinematikai láncokra, összevetés a másodfajú Lagrange-egyenletekkel, példák az űrbéli robotikai alkalmazások közül. A Newton–Euler-rekurzió és a másodfajú Lagrange-egyenletek alkalmazása egy nyílt kinematikai láncra. Elsőfajú Lagrange-egyenletek alkalmazása zárt kinematikai láncú szerkezetekre, összevetés a másodfajú Lagrange-egyenletekkel, példák az űrbéli robotikai alkalmazások közül. Hatékony numerikus módszerek sok szabadsági fokú többtestdinamikai rendszerek mozgásegyenleteinek megoldására: Lagrange-multiplikátorok formalizmusa, penalty módszerek. Szabályozott mechanikai rendszerek mozgásszabályozási módszerei: kiszámított nyomatékok módszere, teljes és részleges állapotviszacsatolás (teljes aktuálságú, alulaktuált, redundáns rendszerekre) digitális hatások figyelembevétele. Dinamikai rendszerek egyensúlyi helyzetei, ezek stabilitása. Periodikus pályák és stabilitásuk, kváziperiodikus megoldások, ciklikus rendszerek stabilitása. Lagrange-pontok, égitestek pályái, stabilitás. Alapvető koncepciók a nemlineáris dinamikában és a bifurkáció analízisben, a mechanikában (statikában, rugalmasságtanban, dinamikában) előforduló esetek, alkalmazási példák az űrben. Űreszközök pozíciójának és orientációjának stabilizációja, giroszkóp alkalmazása az orientációszabályozásban, CMG (control moment gyroscope). Az optimális pályatervezésről általában, optimális pályák a robotikában, űreszközök optimális pályái, időoptimális és energiaoptimális pályák.

Villamos szigetelések és kisülések

([BMEVIVEMA19](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 3/1/0/v/5 kredit, VET)

1. A tantárgy célkitűzése

A villamosmérnöki tudományok egyik klasszikus ágának számít a villamos szigeteléstechika. Azonban a XI. század új lendületet adott a területnek, mivel a legtöbb alkalmazás egyre különlegesebb igénybevételeknek ellenálló szigetelések és a szigetelőanyagok alkalmazását igényli. Ezen kihívásokra válaszul megjelentek a különleges polimerek, azok kompozitjai, valamint a nanokompozit polimerek, mivel kiderült, hogy a polimerek előnyös tulajdonságai nanoméretű anyagok megfelelő adagolásával tovább javíthatók. A kurzus során hallgatót megismertetjük a villamos szigetelőanyagokban és szigetelésekben lezajló villamos folyamatokkal. Áttekintjük a dielektromos polarizáció jelenségét különböző anyagokban, továbbá az elemi folyamatokat leíró modellek alapjait. Bemutatjuk a villamos kisülések és a villamos szilárdság letörésének folyamatát különböző halmazállapotú szigetelőanyagokban. Mind a kisülési, mind a dielektromos folyamatok esetén bemutatjuk a gyakorlati vonatkozásokat, a villamosmérnöki tudományok azon területeit, ahol a szigeteléseket extrém villamos és környezeti igénybevételek érik.

2. A tantárgy tematikája

A villamos szigeteléstechika alapjai, a szigetelések alaptípusai és a villamos szilárdság letörése. Az átalakuló energetika szigeteléstechikai problémái.

Szigetelőanyagok villamos erőterben, rétegelt szigetelések, dielektromos refrakció és jelentősége a szigetelésekben, tervezérlés megoldásai. Kompozit szigetelőanyagok

Dielektromos polarizáció: a térjellemező mennyiségek és a töltések kapcsolata. A polarizáció makro és mikrojellemzői. A polarizálhatóság.

Elemi polarizációs folyamatok I.: Elektronpolarizáció és modelljei. A Clausius-Mossotti összefüggés. Az ioneltolódási polarizáció

Elemi polarizáció folyamatok II.: a hőmérsékleti orientációs polarizáció és a hőmérsékleti ionpolarizáció
A dielektromos válasz-függvény és tulajdonságai, idő és frekvencia tartományban.

A dielektromos válasz mérése idő és frekvenciatartományban, áram- és feszültségméréssel. A dielektromos válasz kapcsolata szigetelés állapotával

A villamos kisülések kialakulása gázokban (az ütközési, foto- és hőionozás kialakulása, törvényszerűségei), villamos ív. A töltéshordozókat termelő és fogyasztó fizikai folyamatok.

Részleges kisülések: koronakisülések (elektronlavina, pamatos kisülés, csatorna kisülés), üregkisülések, kúszókisülések, villámszerű kisülések. Teljes kisülések: átütés és átívelés, szikrakisülés, villamos ív.

Az elektrosztatikus kisülések (fojtott szikrakisülések, terjedő kisülések, lerakódott porréteg felületén fellépő kisülések). A kisülések okozta káros hatások (tűzek, robbanások, ESD). A kisülések ipari alkalmazása.

Átütési folyamatok kialakulása szigetelő folyadékokban. Nagy tisztaságú és technikai tisztaságú folyadékok átütése.

A villamos szilárdság letörése szilárd szigetelőanyagokban. Villamos átütés esetei: intrinsic átütés, elektromechanikai átütés, hő-villamos átütés, villamos öregedés

Az átütés statisztikus elmélete, a feszültségigénybevétel és az időtartam hatása a villamos szilárdságra.

IV. Gazdasági és humán ismeretek

Az űrmérnöki MSc képzésben a gazdasági és humán ismeretek tantárgyblokkjában három tantárgy található, melyek kötelezőek minden hallgató számára.

Gazdasági és humán ismeretek tantárgyai:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Mérnöki menedzsment	BMEVITMMB03
Komplex űrberendezések fejlesztésének koordinálása	BMEVIETMA09
Hazai űrtevékenység és nemzetközi környezete	BMEVIIIIMA16

Mérnöki menedzsment

([BMEVITMMB03](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 4/0/0/v/4 kredit, TMIT)

A tantárgy az őszi félévekben magyar, a tavaszi félévekben angol nyelven indul.

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a villamosmérnök, mérnök- és gazdaságinformatikus, valamint egészségügyi mérnök szakok hallgatói számára technológia- és innovációmenedzsment módszerek, üzleti stratégiák, döntési modellek ismertetése, a jellemző mérnöki vezetői szerepek, feladatok, helyzetek és eszközök bemutatása, valamint a sajátos technológiák és piac szabályozási elveinek és modelljeinek tárgyalása, életszerű példák felsorakoztatása, mindezekkel a sikeres pályakezdés elősegítése.

2. A tantárgy tematikája

Mérnöki menedzsment a tudásgazdaságban: A mérnöki menedzsment általában: helye, szerepe, területei. Az információs, kommunikációs és média technológia (ICT) sajátosságai, trendje, kihívásai és mérnöki menedzsmentje. A digitális ökoszisztéma kialakulása. A mérnöki tevékenység menedzsment elemei. A vezetői tevékenység jellegzetességei, összetevői, a sikeresség komponensei. Vezetési helyzetek és módszerek. Stratégiai menedzsment. A stratégiák felépítése és alkotóelemei. Üzleti stratégiatervezési módszerek. Versenystratégiák osztályai. Stratégiai példák: az Internet jövőképe, a digitális üzleti stratégia. A stratégia megvalósítása: sikertényezők, az előrehaladás követése. Stratégiai irányítás és kontroll módszerei. Összetett mérnöki döntési problémák megoldása, ügyfél- és rendszerszemléletű megközelítések, a játékelmélet alkalmazása. Erőforrások tervezése, allokálása. Multiprojekt-menedzsment. Szervezet menedzsment. Szervezetek vezetése, szervezet típusok. Szervezetek életciklusa, döntési kultúrája, változtatások menedzselése. Vezetés a gyakorlatban. Vezetési stílusok és kultúrák. Mikor, hol melyik vezetési stílus a hatásos? Tudásmenedzsment. Tudásfolyamatok. Szakmai kompetencia. Tudásmegosztás. Tudásalapú rendszerek. Tudásmenedzsment rendszer bevezetése egy piaci vállalatnál. A szellemi tulajdon fajtái, védelmének alapelvei. Szabad hozzáférésű szoftverek. A szellemi tulajdon hasznosítása. Szellemi közjavak.

ICT specifikus mérnöki menedzsment: Technológia menedzsment. Technológiai tervezés, előrejelzés, transzfer, bevezetés, beépítés és váltás. Technológiai jövőkép-készítés, hajtóerő elemzés, szcenáriók összevetése. Technológia-hajtott üzleti stratégiák. Vállalati ICT funkciók. Az ICT alkalmazása: új üzleti stratégiák, globális munkafolyamatok, hatékonyabb szervezeti struktúrák kialakítása. Innováció menedzsment. A kutatás-fejlesztés és innováció célkitűzései. Innovációs modellek és metrikák. Az innovációs folyamat, a kutatás-fejlesztés és a minőség menedzselése, a kockázatok kezelése. Innovációs lánc. A K+F+I menedzsment többszintű szervezete, összekapcsolódó cselekvései. Az innováció finanszírozása. Technológiai inkubátorok, innovációs centrumok, start-up cégek, technológiai konzorciumok. Termékmenedzsment. A termékfejlesztés célkitűzései és folyamata. Az ICT termékek és szolgáltatások piaci helyzete. A piac szereplői. A piaci versenykörnyezet. Piacszegmentálás. A termékek

élefciklusai, a termék-életciklus menedzselése. A termékek árazása, a fogyasztók érzékenysége. Marketing-kutatási, termékértékesítési és értékesítés-támogatási módszerek. Üzleti folyamatok menedzselése. Folyamatok elemzése, tervezése, szabályozása, javítása, átalakítása. Folyamatok fejlesztésének módszerei. Informatika a vállalati értékteremtésben. Ügyfélkapcsolatok menedzselése. Működéstámogató rendszerek. Az ellátási lánc menedzselése. Üzletmenet folytonosság menedzselése. Egy szolgáltató cég informatikai rendszerének általános felépítése.

A szabályozási környezet: Az ágazati szabályozás. A szabályozás célja, elvei általában, valamint a hálózatos ágazatokban. Versenyszabályozás, fogyasztóvédelem. A szabályozás intézményei és eljárásai, ex-ante és ex-post szabályozás. Önszabályozás, egyezmények, szabványok. Az ICT szektor technológiai és piacszabályozásának modelljei. A verseny és a digitális konvergencia kibontakoztatásának szabályozási feladatai. Az elektronikus hírközlő hálózatok és szolgáltatások, az informatika és a média közösségi és hazai keretszabályozása. Szolgáltatók együttműködésének szabályai. Korlátos erőforrások gazdálkodásának szabályozása, frekvencia- és azonosító-gazdálkodás. Adatvédelem, információbiztonság és tartalom szabályozása.

Komplex űrberendezések fejlesztésének koordinálása

([BMEVIETMA09](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 1/1/0/f/3 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

Az űrvonatkozású projektek menedzsmentje némileg eltér a szokványos mérnöki gyakorlattól. A költséges és nagy kockázatú küldetések kivitelezése standardizált módon történik, melynek minden aspektusa szakértők által, korábbi tapasztalat alapján megalkotott, szabványok által szabályozott módon történik.

Az Európai Űrügynökség (ESA) módszertan alapján az űrprojektek életciklusát tipikusan hét fázisra osztják. Ezekhez a fázisokhoz szorosan kapcsolódnak a komplett rendszer vagy az egyes alegységek szintjén végzendő konkrét tevékenységek. Ezek a tevékenységek az egyes fázisok között időben átlapolódhatnak és jellemzően olyan beszámolókkal zárulnak, melyek teljesítése szükséges, de nem elégséges feltétele a továbblépéshez. A tantárgy az egyes fázisok során végzendő feladatokat ismerteti tételen, a hozzájuk tartozó dokumentumok formai és tartalmi követelményeinek bemutatásával. Konkrét példákon keresztül mutatjuk meg azokat a projektmenedzsment módszereket, melyek hatékony segítséget nyújthatnak egy komplex rendszerintegrációs feladat kivitelezésében.

A tantárgy célkitűzése tehát az ilyen szabványos módon történő tervezés általános módszertanának ismertetése. Az Európai Együttműködés az Űrszabványosításért Testület (European Cooperation for Space Standardization -- ECSS) szervezeti felépítésének és a testület gondozásában lévő szabványok ismertetésén keresztül mutatja be az űrszövetségek által a gyakorlatban alkalmazott módszertan formai elemeit és követelményeit. Bár elsősorban az ESA által alkalmazott módszer formai követelményeinek való megfelelésre koncentrálna a tantárgy, de kitekintést nyújt más űrügynökségeknél használatos módszertanokra is.

2. A tantárgy tematikája

Bevezető: Az űr-projektek sajátosságai. A szabványosított tervezési módszertan szükségességének bemutatása gyakorlati példákon keresztül. Az European Cooperation for Space Standardization – ECSS testület bemutatása: A testület célkitűzéseinek és felépítésének ismertetése.

Projekttervezési alapok az ECSS ajánlása alapján: projekttervezés és szervezés, Projekt felbontási struktúrák, űr-projekt fázisokra bontása. Projekttervezési alapok az ECSS ajánlása alapján: projekttervezési követelmények. Konfigurációkezelési alapelvek: konfigurációkezelési áttekintés, management és tervezés, konfigurációkezelés kivitelezése. Konfigurációkezelési alapelvek: konfigurációkezeléssel szemben támasztott követelmények. Költség- és időmanagement űrprojektekben: Űr-projektek tervezésének idő és a költség-becsélési módszerei. Költség és időkontroll. Szerződéstípusok és a megállapodások fajtái és ezek jellemzői. Integrált logisztikai támogatás: logisztikai kihívások áttekintése. Alkatrész elérhetőség, támogatás és emberi erőforrások managementje. Kockázat management: Kockázat management alapjai és folyamata és az azzal szemben támasztott

követelmények. Műszaki dokumentációk: A műszaki jellegű információk dokumentálásának módja. Verifikációs és a tesztelési folyamatok dokumentációs igénye. Beszámoltatási kötelezettségek és beszámolási folyamatok ismertetése, PDR, CDR, QR, MCR, LRR stb. Dokumentum rendszerezési és archiválási cselekmények: Adatbázis építések, archiválási stratégiák és gyakorlatok. Kitekintő előadás: NASA, JAXA, CNSA, Roszkoszmosz módszertanok.

Hazai űrtevékenység és nemzetközi környezete

([BMEVIIIIMA16](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 1/1/0/f/3 kredit, TMIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy arra fókuszál, milyen jellemző területei és céljai vannak a hazai űrtevékenységnek (űrkutatásnak, űriparnak, űralkalmazásoknak stb.), és hova pozícionálhatók a hazai kutatási és ipari/fejlesztési programok és lehetőségek a nemzetközi űrtevékenység tágabb környezetében, különös tekintettel az Európai Űrügynökségre. A tantárgy során vendégelőadókat tervezünk meghívni, mind hazai mind nemzetközi oldalról. Például a hazai űrkutatásért és űrtevékenységért felelős minisztérium képviselőjétől kérünk tájékoztatást a hazai űrtevékenység irányvonalairól, illetve a hazai űripari klaszterek képviselői mutatják be az űripar hazai és nemzetközi helyzetét, lehetőségeit. Nemzetközi oldalról szeretnénk előadókat elhívni például az Európai Űrügynökségtől (Hollandiából), az ENSZ Világűrirodájától (Ausztriából), az ENSZ által alapított 18-35 éves űrkutató korosztályt képviselő Space Generation Advisory Council bécsi központjából (Ausztriából).

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy célkitűzéseinek bemutatása, a félév menetének ismertetése. A modern űrkutatás kezdete és jelentősebb állomásai, és főbb technológiai újdonságai (emberes missziók, földmegfigyelés, űrtechnológia-űripar stb.) és intézményrendszerei.

A hazai űrtevékenység főbb mérföldköveinek ismertetése az 1946-os Bay-féle holdradar-kísérlettől kezdve. A hazai űrszektor felépítése és főbb szervezetei.

A műegyetemi űrtevékenység bemutatása a közelmúltból napjainkig. Aktuális projektek a Műegyetemen. Az első magyar műhold és további kisműholdas sikerek a BME-n; komplex fedélzeti rendszerek különböző missziókban (meghívott műegyetemi előadók a programokból).

A nemzeti űrstratégia. A hazai űrtevékenység aktuális eredményei és irányai.

A hazai űripari cégek jelentős részét tömörítő űripari klaszter (HUNSPACE), valamint a klaszterhez tartozó cégek szakmai területeinek, aktuális kihívásainak és célkitűzéseinek bemutatása.

A hazai űrtevékenység meghatározó szervezetének (HUPT) és kiemelkedő cégének (BHE) megismertetése, a technológiai területek és szakmai kapcsolatok, sikerek bemutatása.

Az űrtechnológia szerepe a jelen és a jövő digitális szolgáltatásaiban. Hazai kutatások és alkalmazásfejlesztések. Jelentősebb hazai alkalmazási területek.

Áttekintés az űrkutatás és űrtevékenység hazai társadalomra gyakorolt hatásáról.

Az Európai Űrügynökség története és felépítése. Magyarország és az ESA. Hazai részvétel az ESA programjaiban.

Dióhéjban a NASA-ról, a NASA jelentősége Magyarország számára. A magyar-orosz együttműködések és aktuális projektek áttekintése. Az ázsiai országok előretörése, India, Kína, Japán, stb. űrtevékenysége.

A Nemzetközi Asztronautikai Akadémia (IAA), a Nemzetközi Űrjogi Intézet (IISL) és a Nemzetközi Asztronautikai Szövetség (IAF) feladatai és tevékenységei. Az ENSZ Világűrbizottság (UN COPOUS) bemutatása. Magyarország munkája a COPOUS bizottságaiban.

Világűrregyezmény, Holdegyezmény és további más fontos nemzetközi űrjogi egyezmények bemutatása. Űrbányászat jogi kérdései.

Az Európai Űrügynökség fiatalok számára szóló oktatási és kutatási programjai. Young Graduate Trainee-ként az Európai Űrügynökségben. Az ENSZ által alapított Space Generation Advisory Council feladata és programjai a 18-35 éves korosztály számára.

V. Űrmérnöki szakmai ismeretek

V.1 Kötelező tantárgyak

Az űrmérnöki képzésben jelenleg nincsenek sem szakirányok, sem specializációk. A képzésben előírt szakmai ismeretek átadása minden hallgató számára megvalósul a kötelező tantárgyak elvégzése során, ugyanakkor a képzési programban kötelezően és szabadon választható tárgyak is segítik a hallgatókat abban, hogy korábbi alapképzésüknek és érdeklődési körüknek megfelelően bizonyos szakmai ismeretekben jobban el tudjanak mélyülni.

Az űrmérnöki szakmai ismeretek blokkban az alábbi tématerületek minden hallgató számára kötelezően tárgyalásra kerülnek:

- űrkutatás és űrtechnológia témakörének áttekintése
- űrkommunikáció
- űrrendszerek tervezése
- űrnavigáció
- űreszközök pályái és földi állomások
- megbízhatóság és minőségbiztosítás az űrtechnológiában
- műholdas rendszerek és távérzékelés

Az űrmérnöki szakmai ismeretek blokkban található tantárgyak listája a következő:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Űrkommunikáció	BMEVIHVMA11
Űrkutatás és űrtechnológia	BMEVIHIMA15
Űrrendszerek tervezése	BMEVIHVMA12
Űrnavigáció	BMEEOAFM351
Űreszközök pályái és földi állomások	BMEVIHVMA10
Megbízhatóság és minőségbiztosítás az űrtechnológiában	BMEVIEEMA08
Műholdas rendszerek és távérzékelés	BMEVIHVMA09
Űrtechnológia laboratórium 1.	BMEVIHVMA13
Űrtechnológia laboratórium 2.	BMEVIHVMA14

A fentiekén kívül a kötelezően választható tárgy blokkból összesen 12 tantárgy közül kell kötelező jelleggel kettőt választani a hallgatóknak. Ez a választási lehetőség alapoz a BME oktatógárdájának szerteágazó tapasztalatára az űrmérnöki képzés különböző szakterületein, egyben biztosítja a hallgatók számára a lehetőséget, hogy a 120 kredités képzés során két kötelezően választható tárgy révén az érdeklődési körüknek megfelelően mélyíthessék el az ismereteiket. Technikailag a kötelezően választható blokkban szereplő 12 tantárgy közül a tantárgyak egy részét az őszi félévben, egy részét a tavaszi félévben, egy részét pedig lehet, hogy mindkét félévben meg fogjuk hirdetni a BME Tanulmányi és Vizsgaszabályzatában rögzített aktuális rendelkezések figyelembevételével.

Az űrmérnök képzésben részt vevő hallgatók két féléven keresztül az Űrtechnológia laboratórium tantárgy keretében méréseket végeznek, hogy a tanult elméleti ismereteket kiegészítsék gyakorlati, az ipari és kutatás-fejlesztési területen hasznosítható ismeretekkel.

Úrkommunikáció

([BMEVIHVMA11](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 2/1/0/v/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: A tárgy célkitűzése az űreszközök közötti információ átvitele, az úrkommunikáció, a hírközlés és műholdas műsorszórás fogalmainak és feladatainak elméleti és gyakorlati bemutatása. Különös hangsúllyal tárgyalja a tárgy az űrendszerek földi és műholdas egységei közötti rádiócsatornákon történő kommunikációt, kitérve az információelmélet, a digitális hírközlés alapjaira, valamint az úrkommunikáció átviteli csatornáin fellépő fading-jelenségekre és ezek modellezésére. A fogalmak alkalmazását a rádióhírközlésből és az optikai hírközlésből és a műholdas kommunikációs rendszerekből vett gyakorlati példák részletes tárgyalásával mutatjuk be.

Rövid tematika: Kommunikációs rendszerek általános blokkdiagramja (forrás/nyelő-(de)kódoló-(de)modulátor-csatorna), úrkommunikációs összeköttetések típusai (pont-pont, pont-többpont, többpont-többpont kapcsolatok). Főbb ITU műholdas szolgáltatási kategóriák (BSS, MSS, FSS). Úrkommunikációs feladatok típusai (Föld-űreszköz, űreszköz(ök)-űreszköz(ök), mélyűri kommunikáció).

Információ fogalma, információ források jellemzése; memóriával rendelkező források, információ mértéke; entrópia. Forráskódolás célja, hatékonysága, memóriamentes és memóriával rendelkező források kódolása, Shannon I. forráskódolási tétele, Huffman kód.

Üzenetek, zajok, zavarok fogalomköre, ezek leírása diszkrét és folytonos sztochasztikus folyamatokkal, stacionárius folyamatok, korrelációs jellemzés. Kölcsönös információ, csatornakapacitás fogalma, BSC, DMC, additív Gauss-zajos csatorna (AWGN), Shannon korlát, Shannon II. csatornakódolás tétele.

Pont-pont, pont-többpont, többpont-többpont összeköttetéseken (műhold-Föld, műhold-műhold, földi pont-pont) fellépő féding folyamatok a különböző frekvenciasávokban, ideértve az optikát is. Földi mozgó csatorna, alacsony pályás űreszköz, HAP, drón. Időben változó csatornák jellemzése, WSSUS.

Üzenettér, kódtér fogalma, hibák osztályozása, Hamming távolság, kódkonstrukciós törvények (Singleton, Hamming korlátok, MDS, perfekt kód), kódvektorok, generátormátrix és polinom, paritásellenőrző mátrix és polinom. Bináris és nembináris lineáris csatornakódolási eljárások: Véges testek fogalma, műveletek Galois testek felett, nembináris Hamming kódok, Reed-Solomon kódok, ciklikus kódok.

A komplex burkoló fogalma, digitális jelkészlet, jeltér fogalma, kétdimenziós jelkészletek, PSK és QAM moduláció, több dimenziós (ortogonális, biortogonális, szimplex) jelterek, optimális vétel AWGN csatornában, vevőstruktúrák.

OFDM, kódolt moduláció (TC-QAM, Viterbi algoritmus), folytonos fázisú moduláció (CPM).

OFDM, FBMC; pont-pont, pont-többpont, multi-link rendszerek (SISO, SIMO, MISO, MIMO) csatornákra, T/F/C/SDMA, Aloha, műholdas diverziti.

Földi mobilkommunikációs rendszerek áttekintése, követelmények az 5G rendszerekben (eMBB, mMTC, URLLC).

Műholdas rendszerek szerepe az 5G elvárások teljesítésében. Ellátó hálózati funkciók, hozzáférési hálózati feladatok, műsorszóró feladatok.

Video jelek kódolása (MPEG2) áttekintés, műholdas digitális műsorszórás DVB-S/RSC.

FSO, optikai modulációk, lézerösszeköttetések szerepe a műhold-Föld, műhold-műhold, és a mélyűri kommunikációban.

Úrkommunikáció lehallgatás-biztonsági kérdései, kvantumkommunikáció elve, alkalmazási lehetőségei.

NASA mélyűri kommunikációs hálózatának (DSN) áttekintése, kommunikációs eljárások planetáris (Hold, Mars, üstökösök) missziók megvalósításához.

Úrkutatás és űrtechnológia

([BMEVIHIMA15](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 1/1/0/v/4 kredit, HIT)

A tantárgy célkitűzése: A tantárgy űrkutatási és űrtechnológiai alapismereteket nyújt. Az űrkutatási/űrtechnológiai projektek alapvetően különböznek a hagyományos projektektől, ugyanis sokszor a tervezésük, kivitelezésük és kiértékelésük nagyon sok évet (akár évtizedeket) is felölel. A tantárgy célja ennek a szemléletnek az átadása, ezért különböző történelmi és aktuális űrkutatási és űrtechnológiai

projektek révén bemutatja az az űrtevékenység sokszínűségét a Föld megismerésétől kezdve a Naprendszeren is túlmutató kutatásokig. Áttekintjük az egyes projektek sikereit és kudarcait is, levonva a megfelelő következtetéseket. Alapvető fogalmak (különbség űrkutatás és űrtevékenység között, mit értünk űrtechnológia alatt) tisztázásán túl kiemelten koncentrálnunk a 2020-as évtized aktuális projektjeire (pl. műholdseregek, földmegfigyelés kisméretű műholdakkal, visszatérés a Holdra, emberes űrrepülés, űrállomások, magánűrhajózás, stb.), és törekszünk a nemzetközi sokszínűségre is (azaz európai és amerikai példák mellett hangsúlyosan ismertetésre kerülnek pl. dél-amerikai és ázsiai projektek is). A tárgy során bizonyos kiemelt témákhoz vendégelőadókat is hívunk, a félév során pedig aktívan bevonjuk a tárgy hallgatóit is a témakörök feldolgozásába.

Rövid tematika: A tárgy célkitűzéseinek bemutatása, a félév menetének ismertetése. Hallgatói csoportok megalakulása, témaválasztás a félévre.

Hétköznapi űralkalmazások. Az elmúlt évek spinoffjai. Földmegfigyelés. Az „új űr” megközelítés. Űridőjárás. Európai űridőjárás projektek feldolgozása. Történelmi projektek: Holdraszállás. Visszatérés a Holdra. Célpontban a Mars. Sikertelen Mars-küldetések. Leszállás egy üstökössre. Űrbányászat. Feljutni a világűrbe. Magyar űrtevékenység – tudomány született. Emberes űrrepülés. A hosszú távú emberes űrrepülés kérdései. Űrállomások. Laboratórium a Föld felett. Űrtávközlés. Műholdseregek. Bolygóvédelem. Kitekintés a „nagyokon” túl. Asztrobiológia.

Látogatás űrkutatással foglalkozó kutatóintézetnél vagy űrtechnológiai vállalatnál.

Az előttünk álló évtized izgalmas űrprojektjei. Tervezett hazai projektek.

Űrrendszerek tervezése

([BMEVIHVMA12](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 2., 2/2/0/v/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: A tantárgy átfogó ismereteket ad az űrmérnök képzésben részt vevő hallgatók számára azokról a mérnöki feladatokról, amelyek egy világűrbe kerülő, és ott működtetni kívánt berendezés tervezése, gyártása és üzemeltetése során fellépnek. Foglalkozik az űrbeli környezet hatásaival és a kapcsolódó speciális követelményekkel, ami az anyagválasztást, a mechanikus, termikus és a különféle sugárzások elleni védelmet befolyásolja. Ismerteti az űrszondák, mesterséges holdak, nagyobb űrrendszerek azon alapelemeit, amelyek biztosítják az űreszköz egészének működését. Az előadásokhoz gyakorlati példák is kapcsolódnak, továbbá külső meghívott előadók és laborlátogatások is színesítik a tananyagot.

Rövid tematika: Bevezetés, a világűrbeli környezet. Számítások az űrkörnyezethez kapcsolódóan. Űreszközök pályái, pályaszámítás. Mechanikai struktúrák, anyagok az űrtechnológiában, mechanikai alapszámítások. Hajtóművek űreszközök pályára állítására. Pályára állításhoz kapcsolódó számítások. Pályakorrekció. A KJK hajtómű laboratóriumának bemutatása, demonstráció. Fedélzeti energia. Energiaellátás a gyakorlatban. Termikus tervezés, termikus számítások. Pozíció és helyzet érzékelés. Helyzet változtatás a gyakorlatban. Műholdas kommunikáció, rádiókommunikációs számítások. Hullámterjedési vizsgálatok. Adaptív kódolás és moduláció a gyakorlatban. Fedélzeti adatkezelés. Digitális fedélzeti áramkörök a gyakorlatban. Fedélzeti mérés-adatgyűjtés, mérés-adatgyűjtés a gyakorlatban. Programozható logikai áramkörök. FPGA az űreszközök gyakorlatában. Megbízhatóság az űrtechnológiában.

Üzemlátogatás: egy hazai űripari vállalat meglátogatása.

Űrnavigáció

([BMEEOAFM351](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 3., 2/1/0/v/4 kredit, EMK)

A tantárgy célkitűzése: A tárgy célja, hogy a hallgatókat megismertesse az űrbeli helymeghatározás és navigáció megvalósításának kérdéskörével. A hallgatók megismerik az alkalmazott vonatkozási (ITRS, ICRS) és időrendszereket (TAI, GPST stb.), az alapvető űrben is használható mérési módszereket (fotografikus, SLR, Doppler, GNSS, VLBI stb.) és a méréseket terhelő szabályos hibák kiküszöbölésére

szolgáló eljárásokat. Megismerkednek az űreszközök nagypontosságú pályameghatározási eljárásaival, a perturbáló erők fogalmával, a nagypontosságú időmeghatározás szerepével és megvalósításával, valamint az űreszközök navigálásának feladataival.

Rövid tematika: Vonatkoztatási és koordinátarendszerek és időrendszerek. A helymeghatározásban használatos időrendszerek. Koordináta és időtranszformáció számítása. Műholdak mozgása a Föld nehézségi erőterében. Műholdak helyzetének meghatározása pályaelemekből. GNSS műholdak pályaszámítása. Optikai helymeghatározási technikák. Mélyűr navigáció. Mikrohullámú helymeghatározó rendszerek. A globális helymeghatározó rendszerek (GNSS). Műholdra végzett lézeres távmérés eredményeinek feldolgozása. GNSS méréseket terhelő szabályos hibák. GNSS mérési eljárások. Pályameghatározás matematikai modelljei. Kepler pályaelemek számítása műholdak térbeli derékszögű koordinátáiból. Pályameghatározás matematikai statisztikai eszközei. MEO műholdpályák meghatározása GNSS technikával. Pályamódosító manőverek számítása.

Űreszközök pályái és földi állomások

([BMEVIHVMA10](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 1., 2/1/0/v/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: Az űrmérnök képzéshez kapcsolódóan a tantárgy célja megismertetni a hallgatókkal az egyes űreszközök pályáit, az egyes pályák tulajdonságait, a pályákhoz tartozó lehetséges küldetéseket, az egyes küldetésekhez tartozó mérnöki paramétereket: energia háztartás, termikus viszonyok, rádióátviteli paraméterek, fedélzeti adat-tárolás-feldolgozás kérdései.

A tárgy részletesen tárgyalja az űreszközökkel folytatott rádiókommunikáció űreszköz és földi állomás oldali elméleti és gyakorlati megvalósulásait, mint: link méretezés; analóg és digitális modulációs módok; fedélzeti átjatszók és hasznos terhek; gyakorlatban megvalósított kódolási és hibajavítási technikák; űreszköz és földi állomás oldali kommunikációs rendszer felépítése, működése, az egyes fokozatokkal szemben támasztott követelmények; földi állomás oldali manuális és automatizált működés, működtetés; távvezérelhetőség és autonóm működés; űreszköz mechanikus és elektronikus irány követése antennanyalábbal.

Rövid tematika: Műholdpályák: LEO, MEO, HEO, GEO, küldetés szerint, pályaadatok, pályaszámítás.

Műholdas rádiókommunikáció: link, felépítés, működés, elvárt paraméterek.

Modulációs módok: analóg (AM, FM, PM),

Modulációs módok: digitális (ASK, PSK, FSK, QAM, OFDM).

Kódolás a digitális rádióátvitel során: elvi határok, gyakorlatban alkalmazott eljárások, tömörítés, hibadetektálás, hibajavítás.

Műholdfedélzeti rádióberendezések, antennák: frekvencia sáv, elvárt paraméterek, gyakorlati megvalósítások, szuperheterodin elv.

Földi állomás rádió, antenna: felépítés, működés, méretezés, a megvalósítás korlátai.

Adaptív antenna rendszerek: fázisvezérlés, antenna sor, antenna rács műholdon és Földön.

Fázisvezérelt antenna rendszer: adás irány, követés, pásztázás, link optimalizálás.

Fázisvezérelt antenna rendszer: vétel irány, iránybecslés, követés.

LEO földmegfigyelő műholdak: felépítése és jellemző paraméterei.

LEO földmegfigyelő műholdak: optikai sáv, radar sáv, küldetés szerint: MET, felderítő stb.

Radar, mint hasznos teher: paraméterek, felépítés, működés – Doppler, ATC, képalkotó, MET.

LEO földmegfigyelő műholdak: SLAR, SAR, ISAR képalkotás.

Kommunikációs műholdak: pályák, frekvencia sávok, sávszélességek, felhasználások.

Műsorszóró műholdak: transzponder, mint hasznos teher, felépítés, működés.

Földi állomás: antenna, forgatás, telemetria vétel, telekommand adás, irány kalibráció, pontosítás.

Földi állomás: nagy sebességű adatkapcsolat, nagy sávszélességű jel sugárzása műholdfedélzeti átjatszók számára.

Megbízhatóság és minőségbiztosítás az űrtechnológiában

([BMEVIEEMA08](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 3., 2/1/0/v/4 kredit, EET)

A tantárgy célkitűzése: Az űreszközök, műszerek és berendezések tervezésénél és megvalósításánál speciális megbízhatósági és minőségbiztosítási elveket kell alkalmazni. A tantárgy ismerteti az űrberendezésekre vonatkozó szabványokat és minőségbiztosítási követelményeket, tervezési elveket és számítási módszereket. Foglalkozik a tartalékolás elméletével és gyakorlati megvalósítási lehetőségeivel. Kitér a tesztelés és verifikáció kérdéskörére, különös tekintettel a nemzetközi űrügynökségek által megkövetelt metódusokra is.

Rövid tematika: Az ECSS szabványrendszer bemutatása (célkitűzés, szerkezet, dokumentumtípusok stb.) az ECSS-S-ST-00C alapján. Az ECSS szabványrendszer „Product assurance” ág egyes elemeinek az ismertetése és magyarázata. .

Kritikus elemek meghatározása, nem-megfelelőségi ellenőrző rendszerek, termékbiztosítási menedzsment. Modellfilozófia bemutatása és a modellfilozófia-választás szempontjai. A tartalékolás elmélete és gyakorlati megvalósítási lehetőségei. (ECSS-Q-ST-10).

A minőségbiztosítási tudományterület általános bemutatása. Alapvető fogalmak és módszerek definiálása. Tesztközpontok és berendezések értékelése minőségbiztosítási szempontok alapján. (ECSS-Q-ST- 20).

A megbízhatósági tudományterület általános bemutatása. Rendelkezésre állás és a karbantarthatóság kérdéseinek definiálása. Öregedés, paraméterváltozások, worst-case analízis, hibamodellek, kritikus hibamódok, FMEA. (ECSS-Q-ST- 30).

Terméktervezéssel, fejlesztéssel, gyártással és üzemeltetéssel kapcsolatos biztonsági kockázatok bemutatása, elemzése. Hazárd és hibafa analízis. (ECSS-Q-ST- 40) .

Űrpariban használt komponensek kiválasztása, beszerzése és minősítésének folyamata. Komponensek kezelése, tárolása, pótlása. Elektromos eszközök, érzékelők és beavatkozók megbízhatósági modellezése. (ECSS-Q-ST- 60).

PCB minősítés, javítás, beszerzés, tervezési szabályok. Korrózió, kézi és gépi forrasztás ellenőrzése, Főbb űrpari megbízhatósági szempontok az űreszközök elektronikai tervezése során. Elektromos összeköttetések, vezetékezés kérdései (ECSS-Q-ST-70 Assembling processes, parts).

Felhasznált anyagokra, gépészeti összetevőkre és folyamatokra vonatkozó minőségbiztosítási előírások. Tisztaság és szennyeződések kézbentartása, detektálása, monitorozása. (ECSS-Q-ST-70 Materials, cleanliness).

Kipárolgás, sugárzással kapcsolatos tulajdonságok, forrasztás, törés, tisztaság, sterilizálás szerepe. (ECSS-Q-ST-70 Planetary protection).

Korrózió, törések, sugárzás hatásának, megállapítása, vizsgálata a festésekben, mechanikai egységekben áramköri paneleken. (ECSS-Q-ST-70 Material testing, material processes).

Katonai és űrpari standardokat kielégítő termikus dinamikai mérés technikák, tesztek, termikus ciklálás, termovákuum, termikus sokk mérések. (ECSS-Q-ST-70 Material testing, material processes)

Szoftvertermékek életciklus-folyamata (követelmények meghatározása, architektúra tervezése, fejlesztés, üzemeltetés, karbantartás), fedélzeti (beágyazott) szoftverek, földi szoftverek, minősítésre, tesztelésre és verifikációra szánt szoftverek. (ECSS-Q-ST-80).

A kifejlesztett és/vagy újrafelhasznált szoftverkomponensek és szolgáltatások megfelelő működésének biztosítása az űrben. (ECSS-Q-ST-80).

Gyárlátogatás (tanulmányi kirándulás): Betekintés egy hazai űreszköz fejlesztő központ/vállalat minőségbiztosítási/tesztelési rendszerébe.

Minőségbiztosítási rendszer egy komplett űrküldetés során. Űreszköz tesztelési tervének, verifikációjának definiálása. Áramköri panelek hibaanalitikája, mikroszkópi vizsgálata (EM, röntgen, akusztikus). Elektromos és elektromechanikus alkatrészek megbízhatósági modellezése. Űreszközök, űrminősített alkatrészek, áramköri panelek termikus tesztelésének kérdései. Megbízhatóság növelése numerikus analízis segítségével, tesztelési pontosság növelése. Nagymegbízhatóságú szoftvertervezés bemutatása és önálló feladat megoldása az előadáson elhangzott paradigmák szerint.

Műholdas rendszerek és távérzékelés

([BMEVIHVMA09](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 3., 2/1/0/v/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: A tantárgy célja elsősorban rendszerszintű ismeretek adása, melyek megalapozzák a hírközlő hálózatokban alkalmazott műholdas összeköttetések és rendszerek tervezését, üzemeltetését és alkalmazását.

A tantárgy bevezet a rádióhullámokkal megvalósítható képalkotás és mérés elméletébe. Rendszerezett elméleti és gyakorlati ismereteket nyújt a rádió mérőrendszerek témakörben, úgy mint: pontszerű objektumok távérzékelése (légiforgalom irányító radar); felületszerű objektumok távérzékelése (SLAR, SAR, inverz SAR); térfogat szerű objektumok (meteorológiai radar); céltárgy detekció, mérés, becslés, klasszifikáció; optikai felderítés; űrszemét felderítés, rádió asztronómia.

A tantárgy bemutatja a mikrohullámú képek főbb felhasználási területeit (környezetvédelem, geológia, árvízvédelem, mezőgazdaság, régészet stb.)

Rövid tematika: Műholdas rendszerek: az elektromágneses spektrum, állandóhelyű és mobil műholdas összeköttetések, rendszerjellemzők: frekvenciasáv, polarizáció, moduláció, hozzáférés, EIRP, G/T.

Műholdas fedélzeti rendszerek, földi állomások: VSAT hálózat, példák: INTELSAT, EUTELSAT, INMARSAT, GLOBALSTAR, IRIDIUM, TELEDESIC, THURAYA.

Ionoszférikus hullámterjedés, refrakció, troposzférikus szórás, meteorburst, EME.

Alapvető optikai elvek, eszközök (távcsövek, kamerák) a földi ill. műholdas távérzékelésben. Fotometriai és spektrális alapok az UV-VIS-IR tartományokban. Optikai tartományon képfelvétel és digitális képfeldolgozás az űrtechnológiában. Esettanulmányok a Rosetta és DAWN űrmissziókról.

Képalkotási elvek hullámok (akusztikus, rádió, fény stb.) segítségével, 2 és 3D képalkotási elvek, optikai és mikrohullámú hologram, mikrohullámú képalkotás, a mikrohullámú kép minősége, mikrohullámú képalkotás kapcsolata a mikrohullámú távérzékeléssel, valamint a radartechnikával.

Mikrohullámú távérzékelés általános bevezetés. Mérés elve, a mérőrendszer csoportosítása feladat, alkalmazási terület, telepítés, frekvencia, mérendő objektum típusa stb. szerint.

A mérendő objektumról reflektálódott rádióhullámmal közvetlenül mérhető mennyiségek (radiális távolság, radiális sebesség, térbeli irány, céltárgy mérete, alakja, mikro-Doppler stb.), a mérés szabadtéri hatótávolsága, céltárgy hatásos keresztmetszete.

Távérzékelő rendszerek tipikus antennái, kapcsolat a fedési diagrammal, légkör, föld görbültség, reflexiók hely hatása, fázisvezérelt antennarács.

Neyman-Pearson hipotézisvizsgálat. Becslésemélet. A döntés és a mérés minősége. Optimális jelfeldolgozás, illesztett szűrő.

Impulzuskompressziós adó modulációs eljárások és a megfelelő illesztett szűrők, speciális hardware követelmények, digitális KF.

Interferenciák és jammerek; hatótávolság, ill. mérési pontosság termikus zajtól eltérő esetben: felületi ill. térbeli passzív zavarban, rögzített helyű, ill. a céltárggyal együttes aktív zavarban, ECM és ECCM módszerek, MTI, MTD.

Mikrohullámú képalkotó távérzékelés. Aktív és passzív távérzékelési módszerek. SLAR és SAR képalkotás elve, minőségi paraméterei. Inverz SAR elve. Interferometriai SAR elve.

SAR letapogatási módszerek. Spot SAR képalkotás elve, minőségi paraméterei. Példák műholdas SAR alkalmazásokra. Űrszemét felderítő radar általános bemutatása. Konkrét Űrszemét felderítő radar ismertetése. Meteorológiai radar 3D képalkotásának elve. Mérendő és származtatott mérési eredmények. Rádió és radar asztronómia célja és módszerei, érzékenység, radiométer módszerek.

Antenna típusok (rádióteleszkóp ill. interferométer: LBI ill. VLBI rendszerek), antenna ekvivalens zajhőmérsékletének analízise.

Vendégelőadás: A Földmegfigyelő távérzékelés legfontosabb alkalmazásainak áttekintése. Felvételek főbb felhasználási területei: környezet monitorig, globális klímaváltozás, víz körforgás elemeinek megfigyelése, katasztrófavédelem támogatása, kataszteri térképezés, urbanizáció és városi hőszigetek monitoring rendszerei. Alkalmazások, meglévő termékek, adatrendszerek bemutatása, célkitűzések megfogalmazása.

Úrtechnológia laboratórium 1.

([BMEVIHVMA13](#), szemeszter őszi: 2., tavaszi: 2., 0/0/4/f/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: A tantárgy laboratóriumi méréseket tartalmaz, amelyben az űrmérnök képzésen részt vevő hallgatók átfogó gyakorlati, laboratóriumi és mérés technikai ismereteket szereznek az űrtechnológiához kapcsolódó mérnöki tématerületekről. Két féléves tantárgy, amely nem épül egymásra, és amelynek jelen tagja az első félév anyagát tartalmazza.

Főbb témakörök: PCB rázásvizsgálat, hőkamra, berendezés termálvákuum teszt, cubesat RF, cubesat OBDH, földi vevőállomás, EMC vizsgálatok, hajtómű és helyzetérzékelés, elektromechanikus eszközök, OBDH megbízhatóság, energiaellátás.

Rövid tematika: A laboratóriumi mérésekben használt műszerek bemutatása. Alapmérések, gyakorló mérések elvégzése.

PCB Rázásvizsgálat

- PCB rezonancia vizsgálata rögzítés és tömeg függvényében (szimuláció és mérés)
- fáradásos törés és kivédése

Hőkamra

- passzív és aktív alkatrészek hőmérséklet függése

Berendezés termálvákuum teszt

- alkatrészek hőmérséklete vákuumban,
- derating faktorok, outgassing
- szigetelések, ventilation hole

CubeSat RF

- adás és vétel vizsgálata
- analóg és digitális modulációk
- digitális KF
- műhold-földi állomás összeköttetés méretezése
- adatsebesség-sávszélesség, kódolás-hibajavítás, CRC, titkosítás

CubeSat OBDH

- nagy megbízhatóságú szoftver írása beágyazott környezetben
- elosztott intelligenciájú rendszer adatgyűjtésének vezérlése
- esemény-vezérelt programozás
- energiamenedzsment

- hideg- melegtartalékolás ismertetése

BME-GND vevőállomás

- alacsony pályás műhold vétel és vezérlés
- antenna forgatás vezérlés
- Doppler-korrekció TLE alapján v. adaptív szabályozás
- adaptív nyálábformálású antenna rendszerek

EMC vizsgálatok

- vezetett és sugárzott zavaremisszió
- vezetett és sugárzott zavarral szembeni immunitás

Hajtómű, helyzet érzékelés

- műhold fedélzeti hajtóművek és kapcsolódó helyzet érzékelési feladatok
- hideg gázos hajtómű és vezérlése
- helyzet érzékelés/mérés

Elektromechanikus eszközök

- ismerkedés a műhold fedélzetén alkalmazott elektromechanikus eszközök működésével, alkalmazásaival

- aktuátorok, motorok

- csapágyak

- Pyro-mechanika

OBDH megbízhatóság

- a fedélzeti számítógép (Onboard Data Handling) egység megbízhatóságát növelő technológiák bemutatása
- watchdog
- reset kérdésköre (reset előállítás, vizsgálat, több egység resetjének összehangolása)
- TMR logika
- EDAC a memóriában és a processzorban
- a fedélzeti software megbízhatóságának kérdésköre (programozási feladat)

Technológia

- forrasztástechnika
- mikroszkópos vizsgálat

Energiaellátás

- napelem soros szabályozás, MPPT
- napelem párhuzamos szabályozás, S3R
- napelem szimulátor, akkumulátor szimulátor

Űrtechnológia laboratórium 2.

([BMEVIHVMA14](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 3., 0/0/4/f/4 kredit, HVT)

A tantárgy célkitűzése: A tantárgy laboratóriumi méréseket tartalmaz, amelyben az űrmérnök képzésen részt vevő hallgatók átfogó gyakorlati, laboratóriumi és mérés technikai ismereteket szereznek az űrtechnológiához kapcsolódó mérnöki tématerületekről. Két féléves tantárgy, amely nem épül egymásra, és amelynek jelen tagja a második félév anyagát tartalmazza.

Főbb témakörök: berendezés rázásvizsgálat, hőkamra, berendezés termálvákuum teszt, cubesat power, távérzékelés és radar, műholdak és pályakövetés, antenna mérés, attitude control, fedélzeti adatgyűjtés, fedélzeti kommunikáció, energia szétosztás.

Rövid tematika: A laboratóriumi mérésekben használt műszerek bemutatása. Alapmérések, gyakorló mérések elvégzése.

Berendezés rázásvizsgálata

- komplex berendezés rázásvizsgálata
- rezonancia keresés, szinuszos és random rázás

Hőkamra

- berendezés termál teszt (funcional és performance teszt, ciklus vizsgálat stb.)
- termikus időálló, dinamikus disszipáció mérés

Berendezés termálvákuum teszt

- kisműhold termikus egyensúlyának vizsgálata
- berendezés outgassing mérése
- berendezés hőciklus tesztelése
- ventilation hole

CubeSat power

- napelemek kiválasztása, elrendezése, bekötése
- hatékony napenergia-átalakítás
- telemetria szolgáltatása OBC felé
- műhold pályára állításának érzékelése (RBF, deployment switch), indítási logika ismertetése
- fedélzeti tápfeszültségek előállítása, vezérlése, monitorozása és automatikus védelme
- akkumulátor töltése, védelme

Távérzékelés, radar

- radar mérési elv: ATC, SLAR, SAR, ISAR, passzív,
- távérzékelés műholdról: SAR feldolgozás,
- labormérés: SONAR, passzív radar,
- konzerv adaton SAR feldolgozás

Műholdpályák, követés

- LEO, MEO, HEO pálya számítás
- antenna forgató típusok, forgató vezérlés

- digitális nyálábformálású antennarendszerek (adás-vétel)
 - műhold jelre való szabályozás (szigma-delta)
 - predict, AGI
- Antenna mérés
- iránykarakterisztika,
 - polarizáció
- Attitude control, szenzorok
- műhold helyzetének érzékelése: szenzorok bemutatása
 - műhold helyzetének szabályozása: giroszkópos stabilizálás és helyzet változtatás
- Fedélzeti adatgyűjtés, telemetria, telekommand
- onboard SW: telemetria frame összeállítás, kiküldés, fogadás PC-n, adatok megjelenítése
 - telekommand küldés PC felől, OBDH vezérlése
 - TM/TC formátumok vizsgálata
- Fedélzeti kommunikáció
- jelek vizsgálata (mérése) az egyes buszfajtákon, visszahurkolt vonalon
 - adatátviteli protokollok
 - hibadetekció/hibajavítás az egyes buszokon, CRC
- Technológia
- tömeg paraméterek mérése.
 - tömegközéppont, tehetetlenségi nyomaték mérése
 - spin balance
- Energia szétosztás
- passzív eszközök: NTC, PTC, biztosítók
 - aktív eszközök: LCL, FCL, R-LCL
 - kapcsolók: SW, LSW

V.2 Kötelezően választható tantárgyak

A kötelezően választható tantárgy blokkból összesen 12 tantárgy közül kell kötelező jelleggel kettőt választani a hallgatóknak. A kötelezően választható tantárgyak listája:

Tantárgy neve	Tantárgykód
Digitális jelfeldolgozás a hírközlésben	BMEVIHVMB04
Fedélzeti adatfeldolgozó rendszerek	BMEVEEMB01
Finommechanikai tervezés	BMEGEMINUFT
Fotonikus eszközök és optikai kommunikáció	BMEVIHVMB05
Földmegfigyelő műholdas távérzékelés	BMEEOFTM361
Kisműholdak szerepe az űrtechnológiában	BMEVIHVMB06
Különleges űreszközök és űrbiztonság	BMEKOVVM955
Nemlineáris végeselemes analízis	BMEGEMMNUVE
Optikai távérzékelés	BMEGEMINUOT
Rakéták, rakétahajtóművek	BMEKOVVM954
Űrberendezések konstrukciója és energiaellátása	BMEVIHVMB07
Űreszközök hődinamikája	BMEGEENNUHD

Digitális jelfeldolgozás a hírközlésben

([BMEVIHVMB04](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja az űrtechnológiában, különösen a kommunikációs célra használt jelek előállításának és feldolgozásának tárgyalása. A módszertani alapok ismertetését követően a tantárgyban a digitális műholdas kommunikációs rendszerek jelfeldolgozási problémái és azok lehetséges megoldásai kerülnek bemutatásra. A tantárgy keretén belül az elméleti megoldások mellett valós környezetben, szoftverrádiós platformok is ismertetésre kerülnek. A tantárgy egy konkrét projekt (digitális műholdkép vétele az L-sávban, szoftverrádiós feldolgozással) köré épül, a teljes feldolgozási lánc különböző aspektusainak bemutatásával és a laborgyakorlatok során egyes funkcionális elemek önálló megvalósításával.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, kommunikációs rendszerek áttekintése, rendszerterv, szoftverrádiók. Jelfeldolgozási alapok ismertetése: mintavételezés, jelátlapolódás, frekvenciatartománybeli leírás. Digitális szűrők, szűrők realizációja és tervezése. Interpoláció, decimálás, digitális le- és felkeverés. (Egyvívős) digitális modulációs eljárások, tulajdonságaik, alapsávi jelkezelés. Vevőarchitektúrák. Szinkronizációs módszerek áttekintése, ML becslő, CRB határ. A mintavételi frekvencia irracionális arányú változtatása (interpoláció). Digitális modulációk szimbólumszinkronizációja, nyílt és zárt hurkú szinkronizáció. Digitális modulációk frekvenciaszinkronizációja. Digitális modulációk fázisszinkronizációja, nyílt- és zárt hurkú szinkronizáció. Csatornakódolási eljárások. Adatcsomagok felépítése, feldolgozása. Csatornabecslési és -kompenzációs eljárások.

A gyakorlati foglalkozásokon az előadáson elhangzottak gyakorlati implementációja kerül megvalósításra.

Fedélzeti adatfeldolgozó rendszerek

([BMEVIEEMB01](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, EET)

1. A tantárgy célkitűzése

Az űreszközök egyik kulcsfontosságú, rendszerszintű egysége a fedélzeti adatok kezelését, feldolgozását, tárolását és továbbítását végző egység. A tantárgy ismerteti a műhold fedélzeti számítógépeinek változatait, felépítését, tervezési megfontolásait. Kitér a megbízható, hibamentes működést biztosító hardver és szoftver technológiákra, az űrkörnyezet, elsősorban a részecskesugárzás okozta hatásokra és kivédésüknek a lehetőségeire. Tárgyalja a fedélzeti mérés/adatgyűjtés rendszereit is. Ismerteti a fedélzeti kommunikáció eszközeit és protokolljait, a telemetria fogalmát és egyes formátumait, a földi parancs és adattovábbítás feladatait és megvalósítási módjait.

2. A tantárgy tematikája

Az előadás célja a tantárgy tematikájának elhelyezése tágabb kontextusban. Alrendszerek: ground segment + launch segment + space segment. Műholdak felépítése: platform (bus) + payload. Műhold/misszió típusok/alkalmazások (kommunikáció, műsorszórás, Föld-megfigyelés, navigáció, időjárás, asztronómia, katonai alkalmazások, űrállomások), hasonlóságok és különbségek a fedélzeti rendszerek szempontjából. A fedélzeti adatfeldolgozó rendszerek szerepe, feladatkörei. A környezet hatása. A sugárzás hatásainak mérséklését szolgáló technológiák. Rendszerszintű architektúrák. Központi feldolgozás – Mikroprocesszorok, mikrokontrollerek. Adattárolás. Adatgyűjtés. Fedélzeti kommunikáció hardver vonatkozásai. Központi feldolgozás – Programozható logikai eszközök. Központi feldolgozás – Soft-processzoros rendszerek, SoC FPGA-k. Szoftver-architektúrák nagymegbízhatóságú rendszerekben. RTL (HDL) tervezési megoldások nagymegbízhatóságú rendszerekben. Fedélzeti kommunikáció szoftver vonatkozásai. TMTC kommunikáció szoftver vonatkozásai. Design flow: Specifikáció, rendszertervezés és HW/SW particionálás. Design flow: FPGA-alapú rendszerek tervezési módszerei.

Finommechanikai tervezés

([BMEGEMINUFT](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

Kis méretek hatásának előnyeinak és hátrányainak ismertetése. Finommechanikai technológiák gyakorlati példákon történő bemutatása. Finommechanikai alapelemek bemutatása – ezen belül: erővel, alakkal és anyaggal záró kötések. Gördülő és siklócsapágyak elemzése lineáris és forgó változatban. Precíziós csapágyazások (mágneses, levegő, rugalmas stb.). Mechanizmusok, fékek bemutatása és alkalmazása. Hajtóművek és tengelykapcsolók rendszerezése. Finommechanikai mozgásátalakítók – transzformátorok. Mechanikai juszttírozások és szabályzások. A finommechanikai tervezés módszerei és dokumentálása.

2. A tantárgy tematikája

A finommechanika definiálása. Kapcsolat a mechatronikával. Szerkezeti példák ismertetése. A kis méretek hatása, a finommechanikai konstrukció jellegzetességei, és a finommechanika építőelemeinek és szerkezeteinek rendszerezése. Finommechanikai alkatrész analízise vezetett rajzos gyakorlat keretében. A finommechanikai anyaggal záró kötések rendszerezése és bemutatása. Speciális finommechanikai kötések rendszerezése és bemutatása. Finommechanikai hajtóművek és hajtások. Finommechanikai mozgásátalakítók. Finommechanikai alkatrész méretezés számítása. Mozcásátalakítók: fogaskerekek, vonóelemes hajtások. Alapvető finommechanikai csapágyazások-vezetékek. Finommechanikai szerkezet analízis gyakorlatban. Különleges finommechanikai csapágyazások. Fékek-akadályozások, tengelykapcsolók, mechanizmusok. Finommechanikai szerkezeti rajz és tervezés analízis alapján. A finommechanikai juszttírozás. Finommechanikai szabályzók.

Fotonikus eszközök és optikai kommunikáció

([BMEVIHVMB05](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A modern telekommunikációs infrastruktúra optikai szál alapú rendszerekből áll, amelyet vezetékek nélküli technológiákkal kombinálunk. A szabadtéri optikai kommunikációs összeköttetések esetén a lézer fényforrás, fotodetektor kiegészül adaptív optikával és távcsövekkel. A szabadtéri optikai kommunikáció alkalmazható műholdak között (LEO, GEO), illetve műhold-földi állomás közötti kapcsolatban is.

A tantárgyat teljesítő hallgatók jártasak lesznek az optikai hálózatok fizikai rétegének tervezési feladataiban. A tantárgy bemutatja az optikai közeget használó adatátviteli rendszerekben lejátszódó fizikai alapjelenségeket és azok mérését, ismerteti a korszerű hálózatokban alkalmazott átviteli eljárásokat és azok mérés technikáját.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés, fénytávokzló rendszerek fejlődési lépései, optikai rendszerek előnyei-hátrányai. Üvegszál típusok. Egycsatornás optikai átviteli rendszer felépítése. Optikai összeköttetés csillapítás mérlege. Többcsatornás rendszerek. Optikai távközlési szálak, csatlakozók. DWDM gerinchálózat, tervezési feladat. Nagysebességű kommunikációs rendszerek. Diszperzió. Nagysebességű kommunikációs rendszerek. Koherens rendszerek tulajdonságainak számítása, számítógépes gyakorlat. Optikai hozzáférési hálózatok. Moduláció. FTTH rendszerek teljesítménymérleg számítás. RoF (Radio over Fiber rendszerek). Optikai mérés technika. Látható fényű kommunikáció. Szabadtéri optikai összeköttetés. Műholdak közötti és Műhold – Föld szabadtéri optikai kommunikáció. LIDAR. Optoelektronikai berendezések a műhold fedélzetén. Optikai érzékelők. Szabadtéri optikai összeköttetés biztonsági kérdései.

Földmegfigyelő műholdas távérzékelés

([BMEEOFTM361](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, EMK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja áttekintést adni a Földmegfigyelő, képalkotó távérzékelési technológiák alkalmazásairól, legújabb fejlesztési irányairól, technológiai háttéréről. A tantárgy áttekintést ad az optikai, képalkotó RADAR, passzív mikrohullámú és termális szenzorok Földmegfigyelés célú használatáról. A tantárgy fontos célkitűzése a Földmegfigyelés alkalmazásainak széleskörű, átfogó megismerése a környezet monitoringtól, a térképezési célú távérzékelésen és 3D távérzékelésen keresztül, a Big Earth Data legújabb trendjeikig. A gyakorlati képzés során széleskörű tematikai alkalmazások mentén ismerkednek meg a felsorolt alkalmazások adataival. A gyakorlati foglalkozások során a hallgatók önállóan feldolgozandó feladatot kapnak, mely a műholdas adatok beszerzésétől, a adatfeldolgozásokon át a végtermékek előállításáig és azok téradatbázisokban történő integrálásáig terjed.

2. A tantárgy tematikája

Földmegfigyelés bevezetés, fizikai alapok. Multispektrális optikai távérzékelés. Hiperspektrális optikai távérzékelés. Termális távérzékelés. Képalkotó RADAR távérzékelés. 3D RADAR távérzékelés, felszínmodell és deformáció. Passzív mikrohullámú távérzékelés. Multispektrális műholdas adatrendszerek feldolgozása: Légköri torzítások. Geometriai torzulások. Multispektrális képtranzformáció. Tematikus információ nyerés. Legújabb fejlesztési irányok. Földmegfigyelési alkalmazások: A víz körforgás megfigyelése. Földmegfigyelési alkalmazások: Földmegfigyelő távérzékelés a katasztrófavédelemben

Kisműholdak szerepe az űrtechnológiában

([BMEVIHVMB06](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy fókuszál a (főként oktatási vonalon) megvalósított és tervezett kis méretű műholdkategóriákra, mint 10x10x10 cm 1U CubeSat és ennek egész számú többszöröse (2, 3, 6, 9, 27U); valamint 5x5x5 cm 1 PocketQube osztály és ennek egész számú többszöröse (2, 3, 6PQ).

Részletesen bemutatásra kerülnek a CubeSat és PocketQube kategóriájú műholdak egyes fedélzeti alrendszerei; azok tervezési paraméterei, megvalósulási formái főként a magyar műholdak példáin keresztül.

2. A tantárgy tematikája

Kisműholdas műholdpályák: energetikája, hőmérsékleti és sugárzás viszonyai, pályaadatok, LEO. Űreszközök általános felépítése, kisműholdak hasznos terhe – PL, küldetéstervezés. Elsődleges energia ellátó rendszer – EPS1. Másodlagos energia ellátó rendszer – EPS2. Fedélzeti számítógép – OBC. Fedélzeti adatgyűjtő és feldolgozó rendszer – OBDH. Fedélzeti kommunikációs rendszer - COM: telemetria - TM, telecommand – TC, nagysebességű adatkapcsolat - HSDL, átjátszó – TR, modulációs eljárások, analóg és digitális rádióátvitel. Fedélzeti antennák: TM, TC, HSDL, TR, GP. Tartalékolási megfontolások (hibatűrés): működés szerint (hideg tartalékolás, langyos tartalékolás, meleg tartalékolás), felépítés szerint (alkatrész szintű, alrendszer szintű). Űreszközök (műholdak) fejlesztési lépései: nemzetközi besorolás szerint (TRL1-9), a fejlesztés során (kezdeti előkísérlet - PM, mérnöki példány - EM, kvalifikációs példány - QM, repülő példány - FM). Űreszközök tesztelése (QM, FM): működési, automatizált működési, hosszútávú működési, levegős hőkamrás tesztek, thermo-vacuum tesztek, rázástesztek, rázópados vizsgálatok, repülő példány start előkészítése). Földi kiszolgáló rendszerek: a fejlesztést, tesztelést segítő rendszerek, földi állomás (műhold vevő állomás, műhold vezérlő állomás), földi állomás automatizációja (antenna forgatás, Doppler-korrekció, automatizált vétel és vezérlés). Magyar műholdak részletes bemutatása, tapasztalatok, mérési eredmények: Masat-1 - 1U cubesat - 10x10x10 cm, SMOG-P, SMOG-1 - 1P pocketcube - 5x5x5 cm, ATL-1 - 2P pocketcube - 5x5x10 cm.

Különleges űreszközök és űrbiztonság

([BMEKOV955](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, KJK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja a különleges űreszközök, hajtóművek megismertetése a hallgatókkal. Ezen belül elsőként kitér a hagyományostól eltérő meghajtási módokra, úgymint elektromos és fotonikus meghajtások, környezetbarát („zöld”) hajtóanyagok, nukleáris hajtóművek. Részleteiben ismerteti a tömegcsökkentés egyik legelterjedtebb módját, a kompozit anyagok felhasználását a szerkezetek és hajtóműrendszerek terén. Jelentős költségcsökkentést lehet elérni atmoszférikus indítórendszerek alkalmazásával, vagyis hordozó repülőgépről történő pályára állítással, az efféle megoldások is bemutatásra kerülnek, a repülőeszköz és annak hajtóműrendszerének részleteivel. A tantárgy ismerteti a különböző hajtómű rendszerek karakterisztikáit, különös tekintettel a csekély gravitáció mellett kialakuló folyamatokra. Ezen tantárgyon belül mutatjuk be továbbá a vészelhagyó rendszerek kialakítását, fejlődésük történetét az űrrepülésben, valamint azokat az eseményeket, katasztrófákat, amelyek alapos ismeretével a jövőben elkerülhetőek lehetnek a hasonló szituációk.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés a különleges hajtóművek témakörébe. Napenergiát hasznosító termikus rakéták. Ionhajtóművek. Hall-effektuson alapuló hajtóművek. Rakéta nélküli meghajtások. Napvitorla hajtóművek. Napvitorla hajtóművek kutatása. Napvitorla hajtóművek dinamikája, nem-kepleri pályák. Meghajtás nukleáris energia felhasználásával. Nukleáris pulzáló hajtóművek, csillagközi torlósugárhajtóművek. Fotonhajtóművek, csillagközi utazás. Környezetbarát rakéta hajtóanyagok, fejlett kémiai rakéták. Atmoszférikus indító platformok. Környező levegővel működő hajtóművek elmélete. Környező levegővel

működő hajtóművek karakterisztikái. Visszatérő egységek kialakításának kérdései. A világűr katonai felhasználása. Mikrogravitációs körülmények között létrejövő jelenségek a hajtóműrendszerben. Űrjárművek meghibásodásai, vészelhagyó rendszerek. Események az űrrepülés történetében

Nemlineáris végelelemes analízis

([BMEGEMMNUVE](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

Szerkezet analízissel kapcsolatos problémák megoldási módszereinek elsajátítása végelelem módszer felhasználásával. Nemlinearitások (anyagi, geometriai) kezelése.

Főbb témakörök: Matematikai alapok; Kontinuumechanikai alapok; Végelelem módszer; Nemlineáris jelenségek a numerikus analízisben; Végelelem alapegyenlet származtatás; Nemlinearitások kezelése; Végelelemes alkalmazás.

2. A tantárgy tematikája

Műveletek vektorokkal és magasabb rendű tenzorokkal. Műveletek indexes jelölésmódban. Alakváltozási és deformációs tenzorok. Feszültségállapot. Véges alakváltozások leírása. Lineáris rugalmasságtani példák 1 dimenzióban. Formafüggvények. Gauss kvadratura alkalmazása. Geometriai és anyagi nemlinearitás. Nemlineáris anyagmodellek és alkalmazásaik. Teljes potenciál minimumának elve. Iránymenti derivált. Véges alakváltozás. Virtuális munka elv. Virtuális teljesítmény elv. Anyagi nemlinearitás: hyperelasztikus és hipoelasztikus anyagok. A Von-Mises rúd probléma analitikus és numerikus megoldása. „Arc-length” eljárás. Kis rugalmas-képlékeny alakváltozások leírása. Keményedési modellek. Prandtl-Reuss elmélet. „Radial-return” algoritmus. Horpadásvizsgálat matematikai háttere. Kritikus terhelés meghatározása. „Post-buckling” analízis. 4 csomópontos síkelem, teljes Lagrange leírás. Globális iterációs algoritmus. Newton-Raphson iterációs algoritmus alkalmazása. Alternatív modern numerikus technikák a végelelem módszer mellett.

Optikai távérzékelés

([BMEGEMINUOT](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

A kurzus megismerteti a hallgatókat az optikai távérzékelés fizikai elméletével és alapvető műszereivel (távcsövek, kamerák, egyéb optikai mérő- és vizsgáló eszközök). Az előadások áttekintik a reflexió, szóródás, emisszió mérését, az UV, Vis valamint az IR spektrum tartományokban, és ezen keresztül a megfigyelt objektumok jellemzőinek meghatározását. A tantárgy alapvető célja az űrszondákon, valamint a Földön elhelyezett optikai eszközök bemutatása és a rögzített adatok feldolgozásának alapvető lépései: nagyfelbontású képalkotás, spektrális adatok rögzítése, (multi- és hiperspektrális képalkotás). A gyakorlati foglalkozások keretében a hallgatók kutató szondák pályaadatának és rögzített képeinek feldolgozását végzik el. A laboratóriumi gyakorlatokon alapvető kalibrációs és tesztmérések elvégzésére kerül sor.

2. A tantárgy tematikája

Az optikai távérzékelés fizikai alapjai. Az optikai sugárzás mérése. Alapvető optikai számítások. Képalkotó optikai rendszerek. Optikai anyagok és technológiák. Spektrális optikai rendszerek. Detektorok. Speciális optikai rendszerek. Nagyfelbontású optikai képalkotó rendszerek. Adatfeldolgozás, kalibráció. Adatfeldolgozás, kép-kiértékelés. A megfigyelések tervezése.

Alkalmazások: a Föld megfigyelése.

Alkalmazások: A Nap megfigyelése, naprendszer kutatás, a távoli űr kutatása.

Rakéták, rakétahajtóművek

([BMEKOV RM954](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, KJK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy célja bemutatni a hordozórakéták konstrukciójának alapvető kérdéseit, a többfokozatú felépítés során felmerülő fontosabb számítási eljárásokat. Ehhez kapcsolódóan bevezeti a hallgatókat a hordozórakéták számítógépes modellezésébe. A tantárgy során külön foglalkozunk a leggyakrabban elterjedt rakétahajtómű fajtákkal, a bennük lejátszódó aero-termodinamika folyamatokkal, azok szimulációjával. Fontos részt képez még a tartályok és segédrendszerek ismertetése, amelyek a rakétahajtómű rendeltetés szerű működését lehetővé teszik.

2. A tantárgy tematikája

Bevezetés a hordozórakéták témakörébe. A rakétamozgás számítása. Egy- és többfokozatú rakéták. A rakétamozgás dinamikája. Rakétamozgás szimulációs gyakorlat. Hordozórakéták tervezése. Hajtóanyag kiválasztása a hordozórakétához. Optimális tömegeloszlás a fokozatokban és indulótömeg meghatározása. Előzetes méretek és térfogatok számítása. Hordozórakéták tervezése. Űrrepülőter, indítókomplexum kérdései. Konkrét hordozórakéta típusok bemutatása. Hordozórakéta kiválasztás. Rakétarendszerek megbízhatósága, többször használatos hordozóeszközök. Rakétahajtóművek elmélete bevezetés. Rakétahajtóművek alapvető számítása. Szupersonikus fúvócsövek gázdinamikája. Laval-csővek számítása és numerikus áramlástani szimulációja. Folyékony hajtóanyagú rakéták elmélete. Folyékony hajtóanyagok. Tartályok. Égéskamrák és égés. Szilárd és hibrid (szilárd-folyékony) hajtóanyagú rakéták. Szilárd hajtóanyagú rakéták felépítése, tervezése. Turbószivattyúk. Hajtóművek integrálása, pneumatikus és hidraulikus rendszerei. Tolóerővektor irányítása. Rakétarendszer kiválasztása, tesztelése.

Űrberendezések konstrukciója és energiaellátása

([BMEVIHV MB07](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy bevezetést nyújt az űrberendezések tervezésébe és szerkesztésébe, együttesen a konstrukciójába. Foglalkozik az elektronikai tervezés és mechanikai szerkesztés interaktív kapcsolatán alapuló, az elektromágneses kompatibilitási szempontokat is figyelembe vevő, a követelmények kielégítése szempontjából optimális konstrukció keresés módszereivel.

Bemutatja a készülékek követelmények szerinti működéséhez szükséges anyagválasztási, elektronikai, elektromágneses kompatibilitási, hőtani és mechanikai ismereteket.

Foglalkozik a berendezések szabványos tesztelési eljárásaival és a követelmények szerinti minősítő mérésekkel.

2. A tantárgy tematikája

Nyomatott huzalozású lemezek tervezése. Forrasztás. Alapanyagok, bevonatok. Csatlakozók, összekötő eszközök. Készüléképítés anyagai. Alkatrészek kiválasztásának elvei űreszközök esetében. Készüléképítési módok. Kötőelemek. Hőtani tervezési szempontok, vizsgálatok. Fedélzeti energiaellátás. Fedélzeti Energiaellátó fejlesztő környezet. Fedélzeti energiatárolás és generálás. Elektrokémiai és fényelektromos energiaforrások áttekintése. Műholdfedélzeti energiavédő és szétosztó architektúrák. Általános limiter kapcsoló méretezése. Lineáris és kapcsolóüzemű energia átalakítók. Egyszerű lineáris tápegységek. Napelemes primer rendszerek elektronikája. Energia átalakítók részáramkörei. Sugárzás hatásai elektronikus eszközökre. Sugárzásállósági tesztek. Anyagok elektromágneses tulajdonságai. Sugárzott és vezetett zavarforrások. EMC/EMI tervezés alapjai. Vezetett és sugárzott zavarok csökkentése. EMC vizsgálatok. EMC mérések eszközei.

Üreszközök hődinamikája

([BMEGEENNUHD](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 2/2/0/f/4 kredit, GPK)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy bemutatja a hőtani modellezés jellemző lépéseit, annak főbb termodinamikai aspektusait, egyaránt tárgyalva az állandósult és időfüggő állapotok leírására vonatkozó fejezeteket. Erre építve bemutatásra kerülnek a modellezés geometriai sajátosságai, az azokhoz tartozó matematikai leírással együtt. A tantárgy célja ezen modellezési eszközöknek az elsajátíttatása, azok konstruktív, hatékony felhasználásának bemutatása, amelyben a hangsúlyt főképp az úrbéli körülmények által adott környezeti sajátosságokra helyezzük.

2. A tantárgy tematikája

Állapotjelzők, koncentrált vs. kontinuum modellek, bevezetés. Mérlegegyenletek, I. és II. főtétel jelentése, kihasználása. A Fourier-féle hővezetési egyenlet bemutatása, jelentése, szerkezete izotróp és anizotróp anyagokra, lehetséges kezdeti és peremfeltételek. A hőközlési folyamatok állandósult állapotának leírása, példákön keresztüli bemutatása. Térfogati hőforrások szerepe, hatások az állandósult állapotra. Hőmérsékleti sugárzás elméleti háttere, főbb összefüggések és törvények bemutatása. Hőmérsékleti sugárzás: példákön keresztül az elmélet alkalmazásának bemutatása. A hőközlési folyamatok időbeliségének leírása, alapmegoldások. Véges és végtelen kiterjedésű közegek alapmegoldásai, főbb fizikai paraméterek és azok jelentésének a tárgyalása. Időbeli folyamatok: az elméleti háttér példákön keresztüli bemutatása, használatának lehetőségei. Az áramló közegekhez tartozó hőtani jellemzők tárgyalása. Kitekintés a hőtadásra, annak modellezési szerepe és kapcsolata a hőmérsékleti sugárzással.

Projektfeladatok prezentálása: a tantárgy hallgatói a féléves feladatukat prezentálják egymásnak, melyek szakmai tartalmát és eredményeit közösen elemezzük.

VI. Projektantárgyak

A mesterképzés keretein belül a hallgatók ún. projektantárgyakat vesznek fel. Ezek a tantárgyak rendre az első szemesztertől kezdődően a Projektlaboratórium 1, Projektlaboratórium 2, Szakmai gyakorlat (kritérium tantárgy), majd a Diplomatervezés 1 és Diplomatervezés 2. Ezen tantárgyakban a hallgatók néhány fős csoportokban, vagy önállóan oldanak meg nagyobb méretű műszaki feladatokat (projekteket), egy-egy téma akár több tantárgy keretein is átívelhet (minden egyes tantárgy számára konkrét, önállóan értékelhető részfeladatot megfogalmazva). A projektantárgyak felvételének szabályait részletesen az MSc specializációválasztási szabályzat tartalmazza.

Projektlaboratórium 1

([BMEVIHIML06](#), szemeszter őszi: 0., tavaszi: 1., 0/0/3/f/4 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy két féléve során a hallgatók komplex mérnöki feladatot oldanak meg, amelynek eredményeként olyan műszaki alkotás jön létre, amelyben a hallgató egyéni közreműködése jól elkülöníthető. Ennek során a mérnöki munka minden lényeges fázisával megismerkednek, és az egyes részfeladatokat a lehető legnagyobb mértékben önállóan végzik el. A két féléves Projektlaboratórium tantárgy felkészít a szintén két féléves Diplomatervezés tantárgy elvégzésére.

Az első félév programja a téma kiválasztása, a feladat részletes specifikálása, a rendszerterv elkészítése, valamint a megoldás során időarányos előrehaladás.

2. A tantárgy tematikája

Az oktatási időszak első hetében (a regisztrációs hetet követően) a hallgatók jelentkeznek a meghirdetett konkrét témákra, vagy témacsoportokra, a leendő konzulenssel egyeztetve a feladatot. Célszerű a téma kiválasztása ügyében a tanszéket a félévet megelőző vizsgaidőszakban felkeresni, amennyiben ez lehetséges.

A félév elején a hallgatók a konzulenssel közösen elkészítik a feladatok kiírását és ütemezését. A feladatkiírás konkrét formai követelményeit és leadásának módját a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

A tantárgy első félévének végén mindenkinek be kell számolni a félév során végzett munkáról. A beszámoló szóbeli és írásbeli részt tartalmaz. A beszámoló konkrét formai követelményeit és ütemezését a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a tanszék ahhoz konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A feladatot úgy kell kiválasztani, illetve a dokumentációt úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a hallgató tevékenysége.

A projektlaboratórium feladat külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvén: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső témához hasonló módon előre egyeztetni kell a felvett tantárgyat gondozó tanszékkel. A hallgató munkájáról a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a konzulens értékeli. A külföldön készített munkáról ugyanúgy kell beszámolni, mint az itthon kidolgozott feladatok esetében.

Két vagy több hallgató részére közös témát is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat.

Projektlaboratórium 2

([BMEVIHIML05](#), szemeszter őszi: 1., tavaszi: 2., 0/0/3/f/4 kredit, HIT)

1. A tantárgy célkitűzése

A tantárgy két féléve során a hallgatók komplex mérnöki feladatot oldanak meg, amelynek eredményeként olyan műszaki alkotás jön létre, amelyben a hallgató egyéni közreműködése jól elkülöníthető. Ennek során a mérnöki munka minden lényeges fázisával megismerkednek, és az egyes részfeladatokat a lehető legnagyobb mértékben önállóan végzik el. A két féléves projektlaboratórium tantárgy felkészít a szintén két féléves Diplomatervezés tantárgy elvégzésére.

A második félév programja a feladat megoldásának befejezése, valamint az elkészült műszaki alkotás tesztelése és dokumentálása.

2. A tantárgy tematikája

A tantárgy második félévében a hallgatók általában az első félévben elkezdett feladatot folytatják, a feladatkiírásnak megfelelően.

Az első oktatási héten, értékelve a feladat készültségi fokát, dönteni kell a feladat esetleges módosításáról úgy, hogy a feladat a félév végéig befejezhető legyen. A módosított feladatkiírás konkrét formai követelményeit és leadásának módját a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

A tantárgy második félévének végén mindenkinek be kell számolni a félév során végzett munkáról. A beszámoló szóbeli és írásbeli részt tartalmaz. A beszámolók konkrét formai követelményeit és ütemezését a felvett tantárgyat gondozó tanszék határozza meg.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a tanszék ahhoz konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A feladatot úgy kell kiválasztani, illetve a dokumentációt úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a hallgató tevékenysége.

A projektlaboratórium feladat külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvéen: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső témához hasonló módon előre egyeztetni kell a felvett tantárgyat gondozó tanszékkel. A hallgató munkájáról a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a konzulens értékel. A külföldön készített munkáról ugyanúgy kell beszámolni, mint az itthon kidolgozott feladatok esetében.

Két vagy több hallgató részére közös témát is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat.

Szakmai gyakorlat

([BMEVIHVMS02](#), 0.-4. szemeszter, 0/0/0/a/0 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A szakmai gyakorlat célja, hogy a hallgatók a gyakorlatban alkalmazzák az űrmérnöki gyakorlatban előforduló rendszerek, berendezések és eszközök tervezésével, fejlesztésével és rendszerbe integrálásával kapcsolatos ismereteiket, részt vegyenek szakterületük kutatási-fejlesztési feladatainak kidolgozásában. A legalább négy hetes szakmai gyakorlat során a hallgatók a tanszéki és vállalati konzulens által meghatározott feladatot oldanak meg. Feladatuk kapcsolódhat diplomatervükhöz, TDK dolgozatukhoz, projektlaboratórium feladatukhoz, de azoktól jól elkülöníthetőnek kell lennie.

2. A tantárgy tematikája

Négy hét (húsz munkanap) kiméretű, az oktatási intézményben, vagy az oktatási intézményen kívül teljesítendő szakmai gyakorlati munka. A lehetséges helyszínekről és időpontokról a szakmai gyakorlat lebonyolításra vonatkozó szabályzat rendelkezik.

A hallgatók a szakmai gyakorlat alatt a tanszéki, vagy a vállalati konzulens felügyelete és irányítása mellett dolgoznak. A munkakezdésre, befejezésre a tanszéki, illetve a vállalati munkarend előírásai a mértékadók.

A hallgatók a szakmai gyakorlat alatt napra lebontott munkanaplót vezetnek. A munkanapló hitelességét a szakmai gyakorlat végén a konzulens aláírásával igazolja.

A szakmai gyakorlat végén a hallgatók írásos beszámolót készítenek. A beszámoló a BME bármely oktatási nyelvén megírható (magyar, angol, francia, német és orosz nyelven), függetlenül attól, hogy a szakmai gyakorlat mely országban valósult meg, amennyiben a tanszéki/kari felelős ehhez előzetesen hozzájárul. A beszámolót a konzulens aláírásával igazolja, a munkáról rövid értékelést készít. A munkanaplót, a beszámolót és az értékelést arra a tanszékre kell benyújtani, amely a témát kiírta. A beadási határidőt a tanszéki szakmai gyakorlati felelős határozza meg, figyelembe véve az egyetemi munkarendet (pl. nyári leállás).

Diplomatervezés 1

([BMEVIHVMT04](#), szemeszter őszi: 2., tavaszi: 3., 0/5/0/f/10 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A hallgatónak az oklevél megszerzéséhez MSc szinten diplomatervet kell készítenie. A diplomatervvel azt kell igazolni, hogy a diplomázó önálló mérnöki munkára alkalmas, ismeri és alkalmazni tudja a mérnöki munkamódszereket, képes a feladatkiírást értelmezni, továbbá a választott megoldást értékelni és elemezni.

Az első félév programja irodalomkutatás, a rendszerterv elkészítése, valamint a megoldás során időarányos előrehaladás.

2. A tantárgy tematikája

A diplomaterv témája a kar valamely tanszékén a tanszékvezető jóváhagyásával meghirdetett témák közül választható.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a kar valamely szakmailag illetékes tanszékének vezetője azt támogatja, és ahhoz tanszéki konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A diplomaterv témáját általában úgy kell kiválasztani, illetve a tervet úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a diplomázó tevékenysége. Kivételes esetben, a kutatás-fejlesztés terén vezető vállalatok, gazdasági szervezetek titkos diplomaterv-témákat írhatnak ki. A téma titkosságáról a hallgatót a témára jelentkezéskor tájékoztatni kell.

A diplomaterv külföldön is készíthető, a BME bármely oktatási nyelvén: magyar, angol, francia, német és orosz nyelven. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső diplomatervhez hasonló módon előre egyeztetni kell a kar valamely szakmailag illetékes tanszékével. A diplomatervnek meg kell felelnie az itthoni előírásoknak. A diplomatervező munkájáról és a diplomatervről a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a záróvizsga bizottsághoz kell eljuttatni. A külföldön készült diplomatervet ugyanúgy meg kell védeni a záróvizsgán, mint az itthon készült terveket.

Két vagy több hallgató részére közös témájú feladatot is lehet kiadni, de csak különválasztva, névre szólóan, ha a tevékenység és a munka eredménye egyértelműen elkülöníthető. A feladatkiírásban egyértelműen meg kell nevezni az önállóan, illetve a közös témán dolgozó többi hallgató által kidolgozandó részfeladatokat. Közös feladat esetén lehetőség van csak egyes részfeladatok titkosítására. Ekkor az a diplomaterv-téma minősül titkosnak, amely legalább egy titkos részfeladatot tartalmaz.

Közös témájú diplomaterv esetében egyértelműen meg kell jelölni a nem önállóan megoldott részfeladatokat; figyelembe véve, hogy a diplomatervezés második félévére már nem adható ki közös feladat.

A munkabeosztás betartását, a munka előrehaladását és a hallgató felkészülését a konzulens folyamatosan ellenőrzi. Ha a munkavégzés nem a tanszéken történik, a hallgatónak akkor is rendszeresen be kell számolnia a tanszéki konzulensnek.

A félév végén a hallgató munkájáról írásos beszámolót készít és szekcióülésen előadást tart. Az írásos beszámolót a szóbeli beszámoló előtt 5 munkanappal korábban kell beadni. Terjedelme kb. 30 oldal. A

szorgalmi időszak végén, egyeztetett időpontban a hallgató legalább 10 perces előadásban, szekcióülésen számol be az általa végzett munkáról.
Az írásos beszámólót a kari diplomaterv portálra is fel kell tölteni.

Diplomatervezés 2

([BMEVIHVMT05](#), szemeszter őszi: 3., tavaszi: 4., 0/10/0/f/20 kredit, HVT)

1. A tantárgy célkitűzése

A hallgatónak az oklevél megszerzéséhez MSc szinten diplomatervet kell készítenie. A diplomatervvel azt kell igazolni, hogy a diplomázó önálló mérnöki munkára alkalmas, ismeri és alkalmazni tudja a mérnöki munkamódszereket, képes a feladatkiírást értelmezni, továbbá a választott megoldást értékelni és elemezni.

A második félév programja a feladat megoldásának befejezése, valamint a diplomaterv elkészítése.

2. A tantárgy tematikája

A diplomaterv témája a kar tanszékén a tanszékvezető jóváhagyásával meghirdetett témák közül választható. A diplomatervezés második félévében az első félévben megkezdett munkát kell folytatni. A téma megváltoztatására csak akkor van lehetőség, ha a hallgató a második félévben a Diplomatervezés 1. tantárgyat javító célú tantárgyfelvétellel ismét felveszi. Ez esetben újra 30 kredit értékű feladatot kell kiírni.

Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma csak akkor fogadható el, ha a kar valamely szakmailag illetékes tanszékének vezetője azt támogatja, és ahhoz tanszéki konzulenszt biztosít. A külső konzulens – tanszékvezetői jóváhagyással – egyetemi végzettségű, illetve mesteri (MSc) fokozattal rendelkező szakember lehet. A diplomaterv témáját úgy kell kiválasztani, illetve a tervet úgy kell elkészíteni, hogy a vállalat (gazdasági szervezet) érdekeit sértő információk dokumentálása nélkül is elbírálható legyen a diplomázó tevékenysége. Kivételes esetben, a kutatás-fejlesztés terén vezető vállalatok, gazdasági szervezetek titkos diplomaterv-témákat írhatnak ki. Az engedélyt a tanszéknek a Diplomatervezés 1. tantárgy felvétele előtt meg kell szereznie.

A diplomaterv külföldön is készíthető. Ilyen esetben a témát és a teendőket a külső diplomatervhez hasonló módon előre egyeztetni kell a kar valamely szakmailag illetékes tanszékével. A diplomatervnek meg kell felelnie az itthoni előírásoknak. A diplomatervező munkájáról és a diplomatervről a külföldi konzulensztől rövid írásos véleményt kell kérni, melyet a záróvizsga bizottsághoz kell eljuttatni. A külföldön készült diplomatervet ugyanúgy meg kell védeni a záróvizsgán, mint az itthon készült terveket.

Diplomatervet magyar nyelven kívül a BME valamely idegen oktatási nyelvén (angol, francia, német és orosz nyelven) is lehet készíteni, amennyiben a tanszéki konzulens ehhez hozzájárul.

Két vagy több hallgató részére a tantárgy második félévében nem adható ki közös feladat.

A diplomatervben a hallgatónak nyilatkoznia kell arról, hogy az saját munkájának eredménye. Közös témájú diplomaterv esetében egyértelműen meg kell jelölni a nem önállóan megoldott részfeladatokat; figyelembe véve, hogy a diplomatervezés második félévére már nem adható ki közös feladat.

A munkabeosztás betartását, a munka előrehaladását és a hallgató felkészülését a konzulens folyamatosan ellenőrzi. Ha a munkavégzés nem a tanszéken történik, a hallgatónak akkor is rendszeresen be kell számolnia a tanszéki konzulensnek.

A félévközi jegy megszerzésének a diplomaterv beadása nem feltétele. Az érdemjegyet a tanszéki konzulens javaslata alapján a tantárgyfelelős adja.

A tantárgyat teljesíti a hallgató, ha a két félév során az előkészítő munkát elvégezte, és a diplomatervet ezután már várhatóan konzulensi segítség nélkül is el tudja készíteni.

A diplomaterv beadásának határideje annak a szorgalmi időszaknak az utolsó napja, amelyhez tartozó záróvizsga-időszakban a hallgató diplomatervét meg kívánja védeni.

A diplomaterv beadhatóságát a tanszéki konzulens minősíti. Más kar vagy egyetem, illetve külső vállalat (gazdasági szervezet) által adott téma esetén a külső konzulens ajánlást ad a beadhatóság minősítéséhez. A diplomaterv beadásának tartalmi feltétele: a diplomatervben be kell mutatni a feladatkiírásban megnevezett, összes önállóan kidolgozandó részfeladat megoldását. Ha egy részfeladat

megoldása mégis ellehetetlenül, akkor kivételes esetben a diplomaterv tanszékvezetői engedéllyel beadható, de a részfeladatra vonatkozó alfejezetben deklarálni kell az ellehetetlenülés tényét, és meg kell adni az ellehetetlenülés okát.

A diplomaterv formai követelményei: A diplomatervet 1 példányban írásban, egy kötetben, keménytáblás borítással, szükség esetén mellékletekkel, valamint 1 példányban elektronikus formában, az érvényes kari előírások szerint kell beadni.

Két vagy több hallgató közös témájú diplomatervét külön kötetben és külön elektronikus példányban kell elkészíteni.

A diplomaterv nyilvános, kivéve, ha a diplomaterv-témát a dékán titkosította. Ez utóbbi esetben a diplomaterv a sikeres záróvizsgát követő 3 év múlva válik nyilvánossá. A nyilvánosságra-hozatalról a kari diplomaterv portál kezelője gondoskodik. A diplomaterv elkészítésével, beadásával és megvédésével kapcsolatos tudnivalókról a tanszék a kiadáskor tájékoztatja a hallgatót.

A tantárgy sikeres elvégzése során elkészített diplomaterv érdemjegyét a záróvizsga bizottság állapítja meg.

VII. Szabadon választható tantárgyak

A szabadon választható tantárgycsoportban a hallgatók ismereteik bővítésére általuk szabadon választott tantárgyakat vesznek fel - minimum 6 kreditpont kiméretben - a Kar, más karok, vagy más egyetemek tantárgyainak kínálatából.

A szabadon választható tantárgyakat a képzések szakbizottságai három kategóriába sorolják: **Ajánlott** egy tantárgy, ha azt a szakbizottság a hallgató szakmai ismereteit bővítő tantárgynak ítéli. **Befogadott** egy tantárgy, ha az a hallgató általános érdeklődésére tarthat számot, de szakmailag kevésbé kapcsolódik a képzéshez. **Tiltott** egy tantárgy, ha az a képzésben szereplő tantárgyakkal a TVSz-ben megengedett mértéknél nagyobb átfedést tartalmaz, így teljesítése kredittel nem elismerhető.

A kari honlapon található, szakonként elkülönülő táblázatok és a Neptun Egységes Tanulmányi Rendszerben található mintatanterv szabadon választható tantárgyi blokkja az ajánlott tantárgyakat tartalmazza. A befogadott tantárgyakat a Neptunban az intézményi tantárgyak között találja, a tiltott tantárgyak (egy részének) felvételét a Neptun megakadályozza.

Felhívjuk figyelmét, hogy az összes intézményi tantárgy listájában szereplő tantárgyak több-kevesebb átfedést is tartalmazhatnak más tantárgyakkal. Ha a mintatantervben szereplő kötelező, illetve a tantervi követelmények teljesítéséhez már figyelembe vett egyéb tantárgyak ismeretei együttesen egy tantárgy tananyagának nagyobb hányadát tartalmazzák, úgy a tantárgy felvehető ugyan, de a tantervhez kapcsolódó követelmények teljesítéséhez nem vehető figyelembe [NFTv 49.§ (5)]. Ezt a Neptun nem tudja ellenőrizni, ezért a megfelelő tantárgyfelvétel minden hallgató saját felelőssége: ha a tantárgyi adatlap alapján ez nem egyértelmű, kérjük, hogy felvétel előtt ki-ki konzultáljon közvetlenül a tantárgy előadójával vagy felelősével, szükség esetén a Kari Kreditátviteli Bizottsággal.