

MODELLEERIMINE

SISSEJUHATUS

Uuringute liigid

- vaatlusuuringud: loomade tervise (nakatumise) ja eksponeerituse staatus, ilma sekkumise või katsetamiseta,
- eksperimentaalsed uuringud.

Nende kahe uuringuliigi esmane eesmärk on uurida haiguse põhjusi ja levikut selleks, et optimeerida nende ennetamise ja tõrje strateegiaid.

Uuringu kolmas liik:

- matemaatiline modelleerimine, kirjeldamaks haiguse karakteristikuid populatsioonides.

Mudel on süsteemi või protsessi mis tahes esitus või abstraktsioon. Et mudel on tehtud kasutamiseks spetsiifilisel eesmärgil (näiteks prognoosimaks, kas epideemia puhkeb või mitte), sisaldab ta ainult süsteemi või protsessi võtmeelemente. Seepärast on definitsiooni järgi mudel tõelise süsteemi või protsessi lihtsustus.

„Mudelid on alati valed, aga mõnikord kasulikud.“ (Martin Hugh-Jones)

Mudelid on arendatud selleks, et:

- probleemi täpsemalt määratleda,
- korrastada meie teadmisi,
- mõista paremini olemasolevaid andmeid,
- teadmisi testida,
- prognoosida,
- toetada otsuste tegemist.

Sellest nimekirjast ilmneb, et modelleerimisel on kesksel kohal «Andmed» ja «Teadmised» ning 2 × 2 tabelit saab kasutada mudelite edasiseks liigitamiseks.

		Andmete kvantiteet/kvaliteet	
		kesine	hea
Teadmised	kesised	4	3
	head	2	1

Kõige soovitam on kategooria 1, mille puhul andmed on kõrge kvaliteediga ja protsessi tuntakse hästi. Selliseid mudeleid võidakse kasutada igapäevaselt, näiteks füüsikas (lennusimulaatorid, mudelid rakettide või satelliitide lennutrajektoride määramiseks). Kui saadaval on head andmed, aga arusaamine protsessist on (veel) kesine (kategooria 3), sobivad matemaatilised ja/või statistilised meetodid väga hästi profiilide määramiseks, hüpoteeside testimiseks ja seeläbi teadmiste suurendamiseks. Vastupidiselt füüsikale kuuluvad paljud haiguste põhjusi ja mõjusid puudutavad probleemid kategooriasse 4. Sellisel puhul võib kasutada kahte lahendusteed: esiteks koguda piisavalt andmeid ja hakata siis modelleerima, või hakata modelleerima ja vaadata, millised andmed on tõenäoliselt peamise tähtsusega. Esimene tee võib kergesti viia sellise informatsiooni mittekogumiseni, mis hiljem tähtsaks osutub. Teise lähenemisviisi puhul alustatakse mudeliga (kõige tõenäolisemalt nõrga mudeliga), mis põhineb probleemi kesisel tundmisel. Edasi paraneb mudel aja jooksul sedamööda, kuidas lisanduvad kogutavad olulised andmed, kuna esialgne nõrk mudel osutas, et sellised andmed on olulised.

Seda teist lähenemisviisi nimetatakse mehhanistlikuks (sünonüümid: teoreetiline, seletuslik, bioloogiline, heuristiline).

Mehhanistlik uuring püüab mõista süsteemi käitumist ja sellele tuginedes süsteemi modelleerida. *Vice versa*, mudeli arendamine võib olla kasuks süsteemi mõistmisel.

MÕISTED

Mudel: süsteemi esitus; kasutatakse reaalmaailma süsteemide sarnastamiseks või järeleaimamiseks (mitte täpne esitus, rohkem ühe või teise vormi lihtsustus).

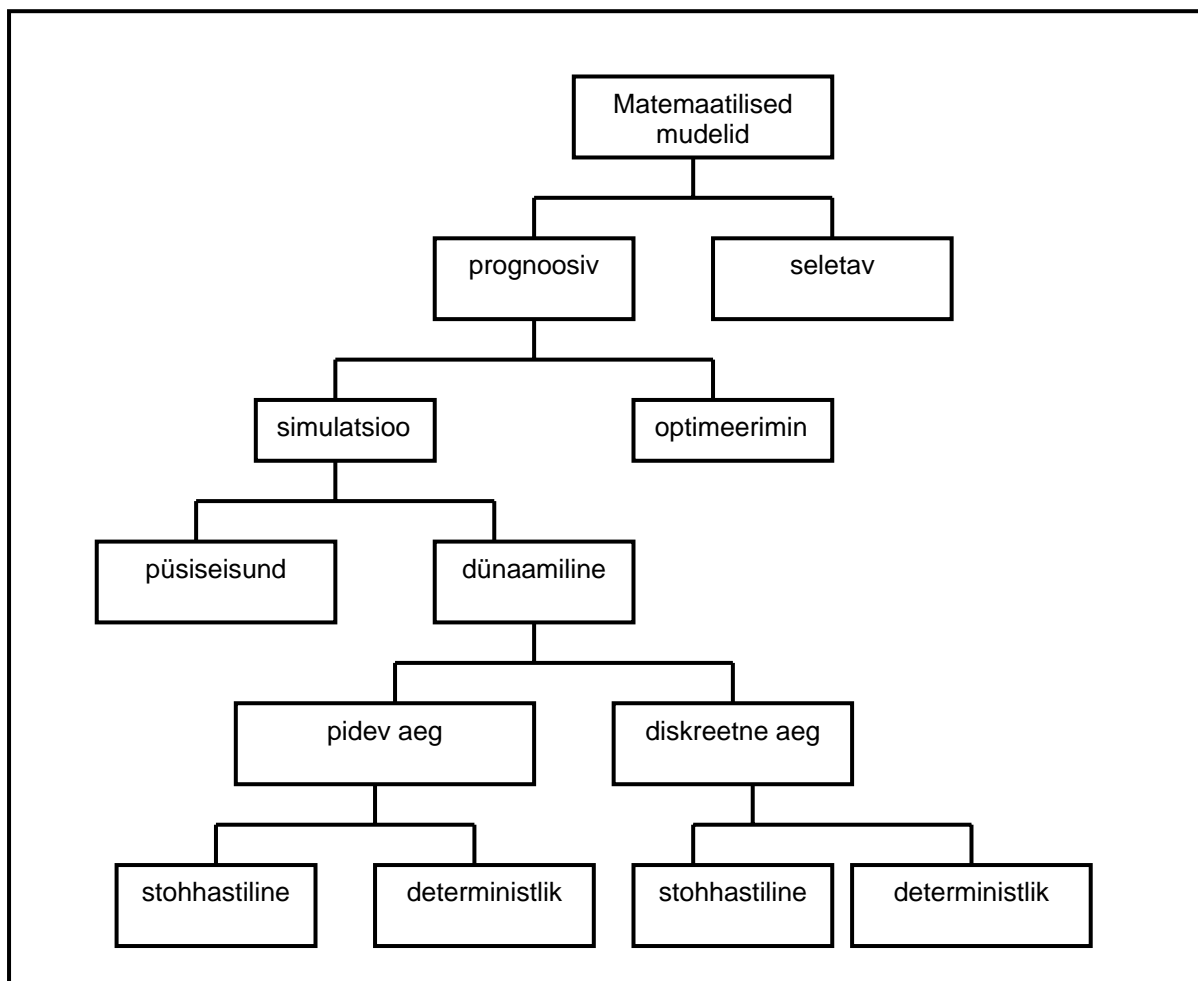
Süsteem: mis tahes üksus, mõisteline või füüsiline, mis koosneb üksteisest sõltuvatest komponentidest, mis tegutsevad koos ühise eesmärgi nimel (näiteks närvisüsteem, biosüsteem, loomade süsteem (kari)).

Komponendid: identifitseeritavad üksused süsteemis.

(Vool)diagramm: graafiline esitus, näitamaks süsteemi komponentide seoseid.

MUDELITE LIIGID

Joonis 39 (McLeod, 1993) annab (tehnilise) ülevaate mudelite klassidest.



Joonis 39. Matemaatilised mudelid

1. Seletavad või prognoosivad mudelid

Seletavates mudelites kasutatakse statistilist analüüsi selleks, et uurida, kui hästi vaatlusandmed langevad kokku hüpoteetiliste seostega. Üks võrrand või mitu võrrandit väljendavad hüpoteetilisi seoseid kui kõige täpsemat kirjeldust sellest, kuidas vaatlused on üksteisega seotud. Statistilised testid otsustavad, kui hästi mudel sobitub ja millise usaldatavuse taseme võib sellele omistada.

Näideteks on regressioonianalüüs (mitme muutujaga regressioon, logistiline regressioon, Coxi regressioon).

Prognoosivates mudelites kasutatakse samuti võrrandeid, kuid need ei tugine konkreetsel andmestikul, vaid on üldisemad. Prognoosivaid mudeleid kasutatakse siis, kui esmaseid andmeid ei saa kasutada või kui füüsilist protsessi jälgida on ebapraktiline või kulukas. Prognoosiva modelleerimise näiteks on protsessi imiteerimine, nt haiguspuhangu tagajärgede prognoosimine riigis, kus seda haigust ei esine (näiteks suu- ja sõrataud USAs) või kus see on allutatud ranglele seadusandlikult reguleeritud kontrollile. Prognoosivaid mudeleid kasutatakse sageli riikliku poliitika väljatöötamiseks, kui tuleb valida mitme võimaluse vahel.

2. Optimeerimine ja simulatsioon.

Optimeerimismudelid on need, mis prognoosivad parimat tulemust teatud andmestikust ja seostest. Parimaks tulemuseks on näiteks sisendite kõrgeim brutomarginaal või tõrjeprogrammi väikseimad kulud. Seepärast kasutatakse optimeerimismodeleid tavaliselt rahaliste ja majanduslike arvutuste puhul, mil probleemile on vaja leida kõige ressursisäästlikum lahendus.

Kõige paremini tuntud optimeerimistehnika on lineaarne programmeerimine. Järgnevad dünaamiline programmeerimine ja tootmisfunktsiooni analüüs.

Simulatsioonimudelid on mitteoptimeerivad mudelid, st, et ei anta hinnangut, kas tulemus on antud tingimuste jaoks optimaalne.

3. Püsiseisundi ja dünaamilised mudelid

Püsiseisundi (stabiilse) mudeli iseloomulik tunnus on see, et ta ei sisalda ajalist muutujat. Sellist tüüpi mudelid arvutavad süsteemi seisundi tasakaaluolekus. Näiteks säilitaks sellisel viisil modelleeritud kari emaste aretusloomade tuumiku ülejäävate loomade müümisega või asendusloomade ostmisega. Seega kalkuleerib mudel tasakaaluseisundi antud parameetrite hulga kohta, kuid ei näita, kui kaua aega kulub selle tasakaalu saavutamiseks.

Dünaamilised mudelid sisaldavad ajakomponenti, milleks on tavaliselt päevad, kuud või aastad. Seega näidatakse antud tingimuste puhul süsteemis aset leidvaid muutusi aegrea erinevates punktides. Dünaamiliste mudelitega saab modelleerida näiteks karjade ja väljundite järkjärgulist kujunemist.

Haigust modelleerides huvitab meid üldiselt epideemiakõvera kuju. Tavaliselt on epideemiakõveral teatud aja vältel kiire tõusufaas, millele järgneb langus nakatunud loomade arvus. Tasakaaluseisund eksisteerib harva, isegi endeemilisi haigusi iseloomustab tsükkel paremini kui pidev olemasolu. Neil põhjustel sobivad dünaamilised mudelid rohkem epidemioloogiliseks modelleerimiseks.

4. Pidev ja diskreetne aeg

Kasutatavad **pidevad funktsioonid** ei ole jaotatud diskreetseteks ajavahemikeks või on ajavahemikud nii väikesed, et nende eraldatust võib ignoreerida. Praktiline tähtsus seisneb selles, et situatsiooni saab uurida sõna otseses mõttes kõvera mis tahes punktis. Kermacki-Mc Kendrick'i mudel on pideva aja mudeli näide. See kasutab teatud valikut võrrandeid, et kirjeldada kiirust, millega isendid liiguvad seisundist seisundisse (vastuvõtlik \Rightarrow nakkuslik \Rightarrow immuunne).

Diskreetse aja mudelites on aeg jaotatud sobivateks ajavahemikeks ja uuritakse muutusi, mis leiavad ajas aset punktide vahel. Et kirjeldatakse pigem ainult ühte rangelt piiritletud muutuste kogumit kui muutuste jada määramata perioodi vältel, siis on diskreetse aja mudelites kasutatav matemaatika lihtsam ja seda saab sageli kasutada ilma algebraliste teisendamisteta.

5. Deterministlik ja stohhastiline

Deterministlikesse mudelitesse pandavad parameetrite väärtused on fikseeritud. Sel puhul sisaldab mudeli genereeritud väljund keskmist tulemit (punkt hinnangud), mida juhivad ainult sisendväärtused. Seda tüüpi mudelite arvutamine on suhteliselt kiire ja need sobivad ideaalselt suurtele populatsioonidele, kus keskmisest tulemist piisab. Deterministlikke mudeleid eelistatakse siis, kui kasutatakse arvuti arvutustabeleid, millel on piiratud võimalused randomiseerimiseks.

Deterministlikud mudelid on vähem kasulikud väikeste populatsioonide jaoks, kus juhuslikud sündmused (juhused) mängivad tähtsamat osa ja tulemid on harva keskmised. Samuti kasutatakse neid vähe riski prognoosimisel, sest samad kasutatavad tõenäosused annavad alati sama tulemuse.

Stohhastilistes mudelites liidetakse mudelisse sündmuste esinemise tõenäosus (s.o juhusündmused). See tähendab, et kasutada saab hulka erinevaid lähteandmeid (lähteandmete ulatust). Kui mudelit rakendatakse mitmeid kordi, genereeritakse hulk erinevaid tulemiväärtusi ja tõenäoliste tulemite jaotus (intervalli hinnang).

Kui populatsioon on väike, sisaldavad deterministlikud mudelid juhusündmuse, mis võivad olla suure mõjuga, ja saadav tulemus võib olla kaugel keskmisest. Stohhastilist tehnikat kasutav mudel sobib riski hindamiseks.

Tõenäosusjaotustest (normaalne, binoomne, Poissoni jaotus) võetud juhuslikud arvud kantakse mudelisse stohhastiliste protsesside simuleerimiseks.

Epidemioloogilistes mudelites kasutatakse stohhastilisi protsesse peamiselt kahel eesmärgil: et ennustada sündmuste esinemise tõenäosusi (surm, praakimine, nakatumine jne) ning et määratleda

pideva parameetri väärtust isendi kohta (suguküpseks saamise vanus, tiinuse kestus, nakkusperioodi pikkus jne).

MUDELI KUJUNDAMISE ETAPID

Mudeli formuleerimine

Sõnastage selgelt eesmärk. Üldreegel: alustage lihtsalt ning looge keerulisi mudeleid ainult siis, kui see osutub vajalikuks. See eeldab, et uuritavat süsteemi on põhjalikult analüüsitud eesmärgiga määratleda selle peamised komponendid ja nendevahelised seosed.

Tavaliselt aitab vooldiagramm seda protsessi hõlbustada. See aitab panna peamised tunnused ja süsteemi seosed loogilisse struktuuri, mille saab arvutisse üle kanda.

Verifitseerimine (paikapidavuse ehk sobivuse kontroll)

Verifitseerimine on protsess veendumaks, et mudel käitub plaanitud moel, st kõik funktsioonid ja võrrandid sobivad ja töötavad.

Valideerimine (väärtuslikkuse hindamine)

Mudeli väljundi adekvaatsuse kontrollimise ning mudeli kasulikkuse ja asjakohasuse hindamise protsess. Sellel etapil võrreldakse mudeli tulemusi erinevate kirjandusandmetega või ekspertarvamusega või oma uuringute andmetega. Kui tulemused on kokkulangevad (näiteks on mudeli poolt genereeritud meteoroloogilised andmed samad kui reaalsuses mõõdetud andmed), võib olla põhjendatult kindel, et mudel jäljendab adekvaatselt reaalsust.

Tundlikkuse analüüs

Tundlikkuse analüüsis muudetakse mudeli erinevaid parameetreid ja vaadeldakse nende muudatuste mõju. Kui tulemused on ikka aktsepteeritavas ulatuses, võib mudelit rakendada. Kui parameetrid annavad kas ootamatuid tulemusi või muudavad märgatavalt mudeli tulemit, tuleb neid üksikasjalikult uurida.

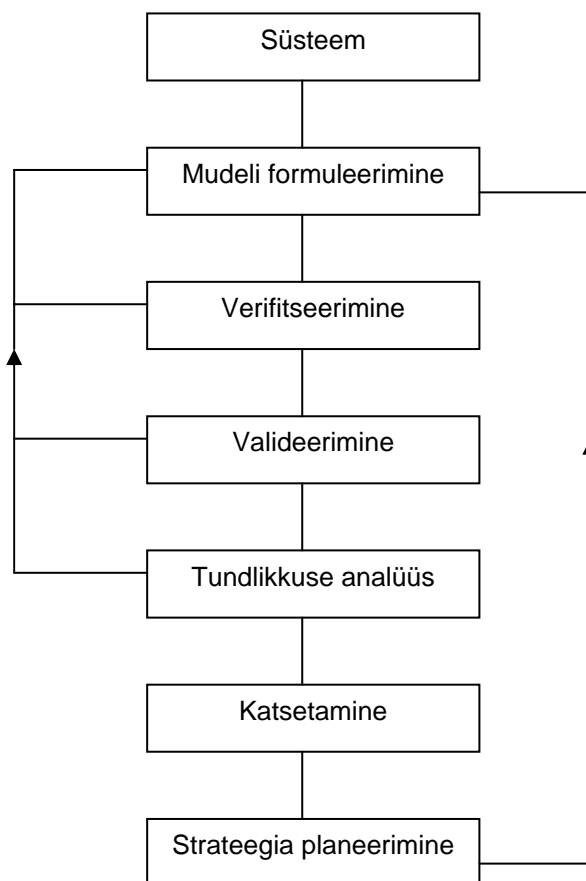
Teise võimalusena lubab tundlikkuse analüüs uurijal hinnata tahtlikult muudetavate parameetrite tõenäolisi tagajärgi (näiteks haiguse erinevate tõrjestrategie tulemuste hindamiseks).

Mudeli katsetamine

Kui mudel on selle ajani käitunud sobival viisil, võib seda kasutada alternatiivsete tõrjestrategie hindamiseks ja võrdlemiseks. Mudelite katsetamisel järgitakse enam-vähem samu kaalutlusi ja kriteeriume kui tavapärastes eksperimentides.

Strateegia planeerimine

Mudelite loomise eesmärk on suunata otsustajaid nii strateegiate (poliitika) kujundamisel kui ka nende strateegiate rakendamise monitooringul.



Joonis 40. Mudeli kujundamise etapid

NAKKUSHAIGUSTE MUDELID

Eristatakse makroparasiitsete ja mikroparasiitsete nakkuste mudeleid. Mikroparasiidid on haigusetekitajaid, kes paljunevad peremehes, on suhteliselt väikesed, lühikese põlvkondadevahelise intervalliga (latentsi- ja infektsiooniperioodi summa) võrreldes peremehe elueaga ning kutsuvad peremehes esile immuunvastuse. Viiruslikke, bakteriaalseid ja ainurakseid organisme võib vaadelda kui mikroparasiite. Makroparasiidid ei paljune otse peremehes (nagu gastrointestinaalsed nematoodid), nakkuse kestus on suhteliselt pikk, kui võrrelda peremehe elueaga, ja uuestinakatamine on tavaline, sest immuunsus on ebatäielik ja/või on efektiivne ainult lühikest aega (Anderson, May, 1991).

Mikroparasiitide nakkusi puudutavates mudelites mängib peremees keskset rolli ja parasiidi olemasolu mõju on kaasatud mudelisse kvalitatiivsel moel (peremees on nakatunud või mitte; immuunne või mitte).

Makroparasiitide nakkuse korral on parasiitide arv palju olulisem. Nakkuse tase on tähtsam kui nakatumise seisund. Sellest tuleneb, et makroparasiite puudutavad mudelid on kvantitatiivsed. Tuleb märkida, et eraldusjoon mikro- ja makroparasiitide vahel ei ole absoluutne, karakteristikuid tuleb vaadelda pigem umbkaudsetena.

BAASMUDELID MIKROPARASIITSETE NAKKUSTE PUHUL

Mikroparasiitsete nakkuste puhul võib peremeespopulatsiooni jaotada mitmesse erinevasse klassi. Peremeeste jaotumine klasside vahel muutub ajas. Isendid, kes on vastuvõtlikud, kuid ei ole veel nakatunud, kuuluvad klassi *S* (*susceptible* – vastuvõtlikud). Peremehed, kes on nakatunud ja võivad anda nakkust edasi teistele peremeestele, kuuluvad klassi *I* (*infectious* – nakkuslik). Tähega *R* tähistatud klass koosneb peremeestest, kes on tervenend (immuunsed) või populatsioonist eemaldatud (*recovered or removed*). Klassis *R* olevad isendid ei mängi enam rolli vastuvõtlike ja nakatunud isendite vastastikusel toimes, kuna nad on kas (täielikult) immuunsed, isoleeritud või surnud.

$S_{(t)}$, $I_{(t)}$ ja $R_{(t)}$ väljendavad kogu peremeespopulatsiooni (N) erinevate osade proportsiooni ajahetkel t . Neid kolme klassi kasutavaid mudeleid nimetatakse **SIR-mudeliteks**.

1. Nakkuse konstantset tõenäosust kasutavad SIR-mudelid

Nakkuse konstantse tõenäosuse korral liiguvad isendid klasside vahel vastavalt kindlaks määratud tõenäosusele, näiteks p_{si} (tõenäosus, et loom liigub klassist *S* klassi *I*). Näiteks sündimuse ja suremusega SIR-mudelil väljendatakse loomade osakaalu, kes on klassis *S* ajahetkel $t + 1$, järgmisel kujul:

$$S(t + 1) = (1 - p_{si}) \times S(t).$$

Seda fikseeritud ülemineku tõenäosustega süsteemi võib esitleda **Markovi ahela** kujul.

Markovi ahelal on kaks komponenti: seisundid ja üleminekud, mis on muutujate ja parameetrite sünonüümid. Ülemineku tõenäosust käesolevast seisundist teise seisundisse määratleb üksnes käesolev seisund. See tähendab, et nakatuvate isendite arv sõltub ainult vastuvõtlike arvust korrutatuna fikseeritud tõenäosusega ($p_{si} \times S_{(t)}$).

Kõik ülemineku tõenäosused saab tabeldada üleminekumaatriksisse.

Näide 3 seisundiga Markovi ahela üleminekumaatriksi kohta.

		t+1		
		S ^a	I	R
t	S ^b	p_{ss}^c	p_{si}	p_{sr}
	I	p_{is}	p_{ii}	p_{ir}
	R	p_{rs}	p_{ri}	p_{rr}

^a Veerud märgivad seisundit perioodil $t + 1$

^b Read märgivad seisundit perioodil t

^c p_{ij} -d on ülemineku tõenäosus ühest seisundist ajahetkel t teise seisundisse ajahetkel $t + 1$

Read osutavad käesolevale seisundile ('alates') ja veerud järgmisele seisundile ('suunas'). Ülemineku tõenäosus seisundist perioodil i teise seisundisse perioodil $j = i + 1$ on tähistatud kui p_{ij} . Kõikide tõenäosuste summa reas võrdub ühega (iga isend peab järgmisel ajaperioodil olema mõnes klassis).

Ajaühik ja modelleerimisüksus sõltuvad mudeli eesmärkidest. Ajaühikuks võivad olla päevad, nädalad, kuud või isegi aastad. Modelleerimisüksus võib varieeruda loomast kuni kogu karjani.

Markovi ahela lihtne numbriline näide.

Ülemineku maatriks

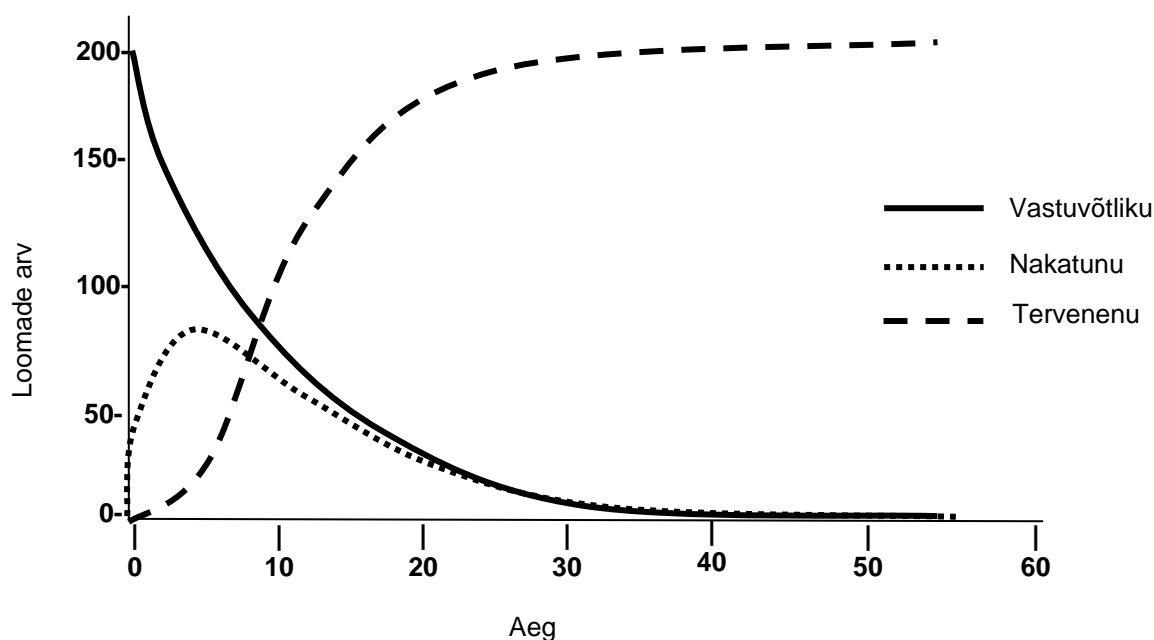
		`suunas`		
		Vastuvõtlikud	Nakkuslikud	Tervenened
`alates`	Vastuvõtlikud	0,90	0,10	0,00
	Nakkuslikud	0,00	0,80	0,20
	Tervenened	0,00	0,00	1,00

Kui algsituatsioonis on 200 vastuvõtlikku looma ja sisse tuleb üks nakkuslikud loom, siis saab igas kategoorias olevate loomade arvu arvutada üleminekumaatriksis olevate tõenäosuste põhjal. Tabelis 14 on see tehtud esimese kolme ajaperioodi kohta.

Tabel 14

Periood	Vastuvõtlikud	Nakkuslikud	Tervenened
0	200	1	0
1	$200 \times 0,9 + 1 \times 0 + 0 \times 0 = 180$	$200 \times 0,1 + 1 \times 0,8 + 0 \times 0 = 20,8$	$200 \times 0 + 1 \times 0,2 + 0 \times 1 = 0,2$
2	$180 \times 0,9 + 20,8 \times 0 + 0,2 \times 0 = 162$	$180 \times 0,1 + 20,8 \times 0,8 + 0,2 \times 0 = 34,6$	$180 \times 0 + 20,8 \times 0,2 + 0,2 \times 1 = 4,36$
3	$162 \times 0,9 + 34,6 \times 0 + 4,36 \times 0 = 145,8$	$162 \times 0,1 + 34,6 \times 0,8 + 4,36 \times 0 = 43,9$	$162 \times 0 + 34,6 \times 0,2 + 4,36 \times 1 = 11,3$

Graafik (joonis 41) näitab tulemust esimese 60 ajaperioodi kohta.



Joonis 41

Tabelis 15 on esitatud keerukama mudeli tulemused, kuhu on kaasatud neljas seisund (surnud) koos võrdse üleminekutõenäosusega 0,1 kõigist kolmest ülejäänud seisundist (pidage silmas, et kõik tõenäosused üleminekumaatriksis muutuvad, kuna kõik read peavad summana andma ühe). Populatsiooni

suurust hoiab konstantsena vastsündinute juurdetulek seisundisse 'vastuvõtlikud'. Graafik näitab, et nakkus püsib populatsioonis vastuvõtlike vastsündinute juurdetuleku arvel (muutub endemiliseks).

Tabel 15

		`suunas´			
		Vastuvõtlikud	Nakkuslikud	Tervenened	Surnud
`alates´	Vastuvõtlikud	0,81	0,09	0,00	0,10
	Nakkuslikud	0,00	0,72	0,18	0,10
	Tervenened	0,00	0,00	0,90	0,10
	Surnud	1,00	0,00	0,00	0,00

2. Muutuvate üleminekutõenäosustega SIR-mudelid

Üleminekutõenäosused seisundite vahel võivad varieeruda sõltuvalt nakkuslikud loomade arvust eelneval perioodil.

See on üldisem seisundi üleminekumudel, kuna üleminekutõenäosused ei ole konstantsed. Hästituntud näide on **Reedi-Frosti** mudel, milles eeldatakse, et vastuvõtliku looma nakatumine toimub otsese kontakti kaudu (määratletud intensiivsusega kontakt) nakkusliku loomaga.

Vastandina Markovi ahela mudelile mõjutab nakkuslike loomade arv üleminekutõenäosust. Eeldatakse, et igal nakkuslikul loomal on kontakt teatud arvu loomadega, olenemata nende seisundist (S, I, R).

Sellise mudeli matemaatiline võrrand on

$$I(t+1) = S(t) \times (1 - Q^{I(t)}),$$

kus t on ajavahemik (tavaliselt valitakse ajaühik sellisel, et see peegeldab inkubatsiooniperioodi pikkust),

$I_{(t+1)}$ – nakkuslike loomade arv ajavahemiku $t+1$ alguses,

$I_{(t)}$ – nakkuslike loomade arv ajavahemiku t lõpus,

$S_{(t)}$ – vastuvõtlike loomade arv perioodi t lõpus,

$Q = 1 - p$, milles:

p – efektiivse kontakti **tõenäosus** (efektiivne tähendab, et toimub nakatumine, kui üks kahest on nakkuslik ja teine on vastuvõtlik). Seega on Q sellise kontakti vältimise tõenäosus.

Eeldades, et juhud muutuvad immuunseks (R) pärast ühte ajaühikut ja et immuunsus on alaline, saab isendite arvu teistes rühmades määrata järgmiselt:

$$S_{(t+1)} = S_{(t)} - I_{(t+1)},$$

$$R(t+1) = \sum_{t=0}^{t=t} I_t,$$

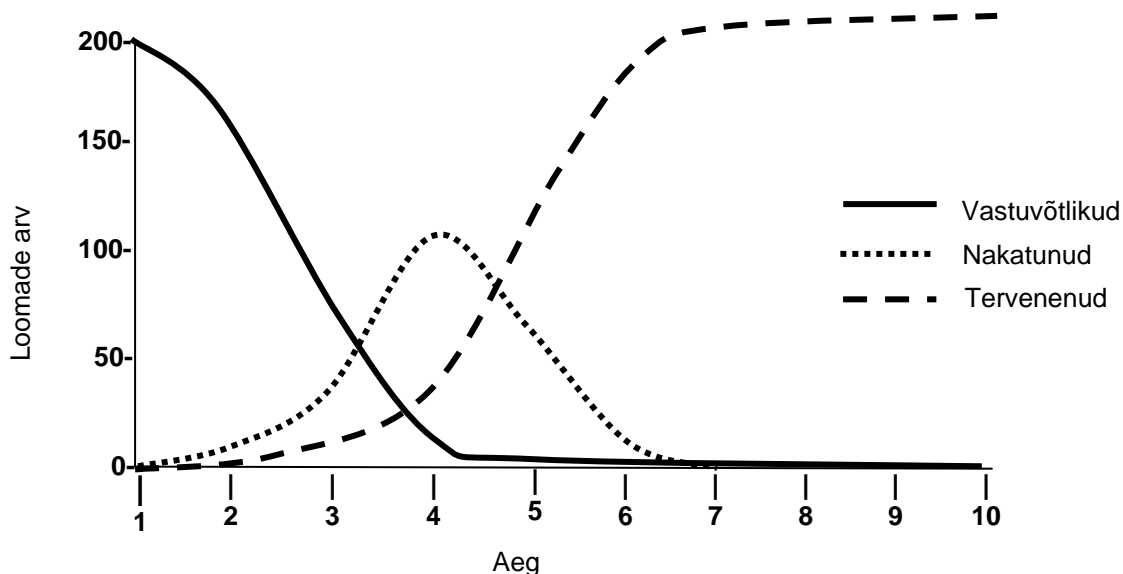
200 vastuvõtliku loomaga populatsiooni siseneb üks nakkuslik loom. Eeldatakse, et ajaühiku kohta toimub kuus efektiivset kontakti. Seega p võrdub $6/201 = 0,03$ ja $Q = 0,97$. Üldiselt, kui siseneb x nakkuslikku looma, siis p võrdub $6/(200 + x)$.

Tabel 16. Reedi-Frosti mudeli näide

t	$S_{(t)}$	$I_{(t)}$	$R_{(t)}$	$p \times S_{(t)}$
0	200	1	0	5,97
1	194	6	1	5,79
2	162	32	7	4,83
3	61	101	39	1,83
4	3	58	140	0,09
5	1	2	198	0,02
6	1	0	200	0,03
7	1	0	200	0,03

Veerg $p \times S_{(t)}$ osutab, kas epideemia puhkeb (juhtude arvu suurenemine) või mitte, kui populatsiooni siseneb üks nakkuslik loom. Pange tähele, et uute juhtude arv väheneb niipea, kui $p \times S_{(t)}$ muutub väiksemaks kui üks. Seda tulemust saab kasutada tõrjestrategiates, näiteks viies $S_{(t)}$ -d väikseks (nt vaksineerides) või mõjutades p -d (näiteks teist tüüpi pidamine, mille tulemuseks on vähem efektiivseid kontakte).

Joonisel 42 on esitatud epideemiakõver.



Joonis 42. Epideemiakõver

Reedi-Frosti mudel sobib eriti hästi haiguste puhul, millel on lühike nakkusperiood (võrreldes inkubatsiooniperioodiga), haiguse otsesel edasikandumisel, täieliku immuunsuse tekkimisel pärast nakkusest tervenemist ja kui isendite grupp on homogeenne.

Markovi ahela mudeleid kasutatakse iseäranis selleks, et modelleerida süsteemi või protsessi ajas (dünaamilised mudelid).

Reedi-Frosti ja Markovi ahela mudeleid saab kohendada ja/või kombineerida sellisel moel, et see teeb mudeli modelleeritava situatsiooni jaoks paremini sobivaks. Selle asemel, et kasutada Markovi ahelas fikseeritud üleminekutõenäosusi, võib kasutada dünaamilist ülemineku tõenäosust vastavalt Reedi-Frosti võrrandile.

Carpenter (1988a, b) toob näiteid klassikalistest Reedi-Frosti mudelitest ja vastavalt Reedi-Frosti mudelile muudetud dünaamilise komponendiga Markovi ahelatest.

MAKROPARASIITE KÄSITLEVAD MUDELID

Meenutuseks: makroparasiite iseloomustab fakt, et peremehed ei omanda (täielikku) immuunsust ja järelikult võib toimuda taasnakatamine. Makroparasiitsete nakkuste korral võivad vaheperemehed olla kaasatud elutsükklisse (näiteks fastsioloos). Lisaks sellele sõltub enamiku makroparasiitsete nakkuste korral vähenenud tootmine ja immuunsuse arenemine parasiitide arvust peremehes.

Mikroparasiitsete nakkuste korral jagatakse peremeespopulatsioon enamasti kolme klassi (S, I ja R), samas kui makroparasiitsete nakkuste korral võib eksisteerida palju klasse.

Esineb jaotus, st ainult üksikud peremehed on nakatunud paljude parasiitidega, samal ajal kui suuremal osal on ainult üksikud parasiidid.

Makroparasiitsete nakkuste edasikandumist võib kirjeldada peamise paljunemisteguriga (*Basic Reproduction Ratio* – R_0). R_0 on määratletud järglaste keskmise arvuga, keda toodetakse fertiilse emase parasiidi reproduktiivse eluea vältel. R_0 tõlgendus on sama nagu mikroparasiitsete nakkuste korral, s.o kui $R_0 < 1$, võib nakkus lõpuks vaibuda.

Makroparasiitsed mudelid on väga kompleksed. See keerulisus tuleneb parasiitide populatsiooni dünaamika kirjeldamisest ning lisaks kontaktidest peremehe ja parasiidi vahel (etapid) väljaspool peremeest.

Enamate modelleerimise üksikasjadega tutvumiseks võib huvitatud lugejale soovitada Andersoni ja May 1991. a ilmunud raamatut "Infectious Diseases of Humans".

Viited.

Peamised viited tekstis:

McLeod, A. 1993. A model for infectious diseases of livestock. PhD thesis. University of Reading, UK.

Noordhuizen, Frankena, Thrusfield, Graat. 2001. Application of Quantitative Methods in Veterinary Epidemiology. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. ISBN: 9074134890 paperback.

Edasised viited tekstis:

Anderson, R. M., May, R. M. 1991. Infectious Diseases of Humans. Oxford University Press, Oxford.

Carpenter, T. E. 1988a. Stochastic epidemiologic modelling using a microcomputer spreadsheet package. Preventive Veterinary Medicine, 5, 159–168.

Carpenter, T. E. 1988b. Microcomputer programs for Markov and modified Markov chain disease models. Preventive Veterinary Medicine, 5, 169–179.

Hea lugemismaterjal rohkemaks informatsiooniks:

Dohoo, Martin, Stryhn. 2003. Veterinary Epidemiologic Research. AVC Inc., Charlottetown, Canada. ISBN: 0-919013-41-4.