



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Miika Holma

Tien elinkaari ja elinkaarimalli

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

7.4.2020

Tekijä Otsikko	Miika Holma Tien elinkaari ja elinkaarimalli
Sivumäärä Aika	31 sivua + 1 liite 7.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Kaisa Kanerva
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää elinkaarimallin hyödyllisyyttä infrarakentamisessa.</p> <p>Työssä tarkastellaan ensin pääpiirteittäin elinkaaren määritelmää, elinkaaren hallintaa ja elinkaarenaikaisten kustannusten jakautumista ja niiden laskentaa.</p> <p>Seuraavaksi työssä perehdytään elinkaarimalliin ja sen käytön tarjoamiin hyötyihin ja haittoihin nimenomaan infrarakentamisessa. Lisäksi selvitetään tietomallintamisen hyödyntämismahdollisuuksia elinkaarihankkeissa yleisesti.</p> <p>Lopuksi työssä pohditaan, minkälaisia hyötyjä elinkaarimallin käyttö tarjoaa myös muissa tulevaisuuden rakennusprojekteissa tierakentamisen lisäksi.</p>	
Avainsanat	tien elinkaari, elinkaaren hallinta, diskonttaus, elinkaarimalli, palvelusopimus, tietomallintaminen

Author Title	Miika Holma The road life-cycle and the life-cycle model
Number of Pages Date	32 pages + 1 appendix 7 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructor	Kaisa Kanerva, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to establish the usefulness of the life-cycle concept in infrastructure construction.</p> <p>Firstly, this thesis looked into the definition of life-cycle and studied life-cycle management. Furthermore the distribution of life-cycle costs, and how they were discussed.</p> <p>Next, the thesis looked into the life-cycle concept, establishing its benefits and disadvantages for infrastructure construction. The possibilities of utilizing building information modelling in life-cycle projects were also determined. At the end, the thesis considered the benefits of using a life-cycle model in other future construction projects besides infrastructure construction.</p> <p>The thesis can be used as a basic information package about life-cycle concept in construction.</p>	
Keywords	infrastructure life-cycle, life-cycle management, discounting, life-cycle concept, service agreement, building information modelling

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tien elinkaari	1
2.1	Elinkaaren määritelmä	2
2.2	Tien elinkaaren määritelmä	2
2.3	Tien elinkaaren hallinta	3
2.3.1	Taloudellinen näkökulma	5
2.3.2	Ekologinen näkökulma	5
2.3.3	Toimivuus	6
2.4	Elinkaaren ajan kustannukset	7
2.4.1	Suunnittelu	8
2.4.2	Rakentaminen	9
2.4.3	Kunnossapito	9
2.4.4	Käyttö	10
2.5	Elinkaarikustannusten laskentamenetelmät	11
2.5.1	Elinkaarikustannuksien laskemisen haasteet	11
2.5.2	Elinkaarikustannusten laskenta nykyarvomenetelmällä	12
2.6	Elinkaariajattelun hyödyt	14
3	Elinkaarimalli	15
3.1	Elinkaarimallin historia	15
3.2	Elinkaarimallin perusteet	16
3.3	Palvelusopimus	17
3.3.1	Palvelusopimuksen sisältö	18
3.3.2	Palvelusopimuksen maksujen määräytyminen	19
3.4	Elinkaarihankkeen vaiheet	20
3.4.1	Sopimusvaihe	20
3.4.2	Toteutusvaihe	21
3.4.3	Kunnossapitovaihe	22
3.5	Elinkaarihankkeet Suomessa	22

3.6	Elinkaarimallin hyödyt ja haitat	23
4	Tietomallintaminen	24
4.1	Tietomallin eri vaiheet	26
4.2	Tietomallintamisen hyödyntäminen elinkaarihankkeessa	27
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Yhden suorituksen diskonttaustekijä	

Lyhenteet

BIM	Building Information Model. Rakennuksen tietomalli.
infraRYL	Kuvaus infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista.
LCM	Life Cycle Management. Elinkaaren hallinta.
PPP	Public Private Partnership. Kansainvälinen malli, jossa julkinen sektori ostaa yksityiseltä toimijalta palvelun pitkäksi ajaksi.

1 Johdanto

Opinnäytetyössä perehdytään tien elinkaaren eri vaiheisiin ja hallintaan erityisesti kustannusten näkökulmasta. Lisäksi työssä tutkitaan elinkaarimallia, jossa julkinen taho ostaa tien käyttöönsä palvelusopimuksella yksityiseltä toimijalta.

Työssä selvitetään, mitä elinkaarella yleisesti tarkoitetaan ja mitä se tierakentamisessa tarkoittaa. Elinkaaren määritelmän jälkeen perehdytään elinkaaren hallintaan, joka koostuu taloudellisesta näkökulmasta, ekologisesta näkökulmasta ja toimivuudesta. Elinkaarenhallinnan onnistuminen tierakentamisessa on avain pitkäkestoiseen ja laadukkaaseen tierakentamiseen. Elinkaarenhallinnan selvittämisen jälkeen selvitetään tien elinkaaren aikaisten kustannusten jakautuminen tien rakentamisen ja ylläpidon eri vaiheissa ja kustannusten laskemiseen käytetyt laskentamenetelmät.

Tien elinkaaren tutkimisen jälkeen perehdytään tarkemmin yhteen elinkaarimalliin joka on luotu mahdollistamaan taloudellinen ja innovatiivinen infrarakentaminen. Tässä elinkaarimallissa julkinen sektori ostaa tiealueen käyttöönsä yksityiseltä toimijalta. Julkisen sektorin ja yksityisen toimijan välille solmitaan palvelusopimus, jossa säädetään laajasti sopimuksen ehdot. Palvelusopimus sisältää muun muassa tielle annetut tekniset kriteerit, turvallisuuteen ja laatuun liittyvät määräykset sekä maksujen määräytyminen.

Työssä selvitetään elinkaarimallin sopimuksen sisältöä, hankkeen eri vaiheita ja mallilla suoritettuja toteutuneita hankkeita sekä pohditaan tietomallintamisen hyödyllisyyttä elinkaarimallin käytössä. Lopuksi analysoidaan elinkaarimallin käytön tuomia hyötyjä ja haittoja.

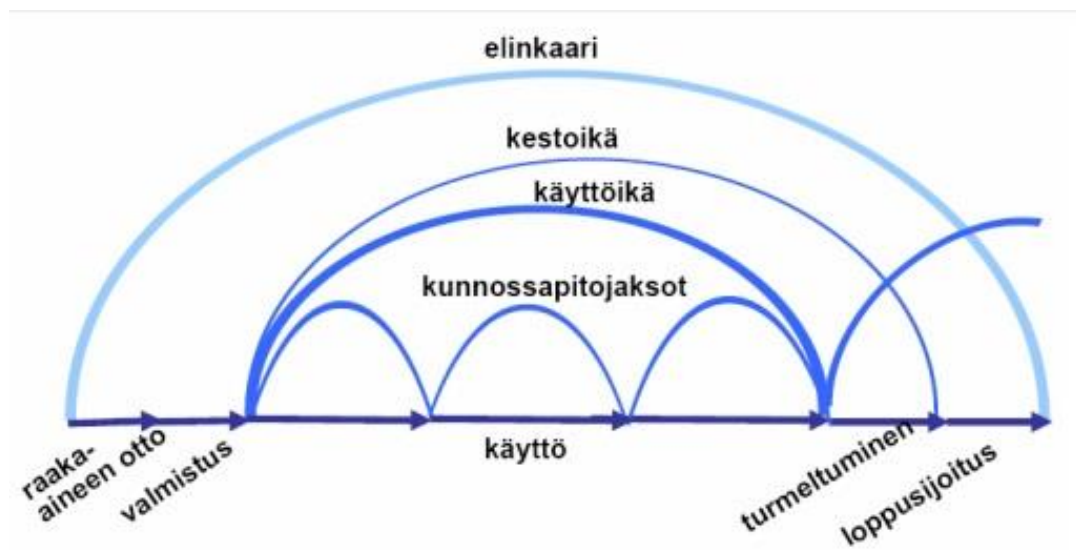
2 Tien elinkaari

Tiet ovat pitkäikäisiä rakenteita, joiden elinkaari ulottuu suunnittelusta rakentamisen ja ylläpidon kautta aina käyttöön loppuun asti. Tiet pyritään rakentamaan siten, että niille annetut laadulliset vaatimukset täyttyisivät mahdollisimman tehokkaasti. Vaatimuksia ovat tien toimivuus, kustannusten pysyminen mahdollisimman alhaisina, ja mahdollisim-

man vähäiset ympäristövaikutukset. Elinkaaren hallinnassa on kyse näiden kolmen tekijän tutkimisesta ja toimimisesta siten, että yksikään tekijöistä ei laskisi laadullisesti halutun alapuolelle. Elinkaarihallinta kulkee käsi kädessä elinkaaren kanssa, sillä tien ylläpitäminen ja hallitseminen vaikuttaa sen elinikään pidentäen sen elinkaarta. [1; 2.]

2.1 Elinkaaren määritelmä

Elinkaarella tarkoitetaan aikajanaa tuotteen tai rakenteen suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta aina sen uudelleenkäyttöön tai loppusijoitukseen asti. Kuvassa 1 näkyy tuotteen elinkaari yksinkertaistettuna. Elinkaari alkaa tuotteen raaka-aineen otosta ja päättyy sen turmeltumiseen ja loppusijoitukseen. Kuvan mukaiset kunnossapitojaksot ylläpitävät tuotteen kuntoa ja näin lisäävät sen käyttöikää. [1; 2.]

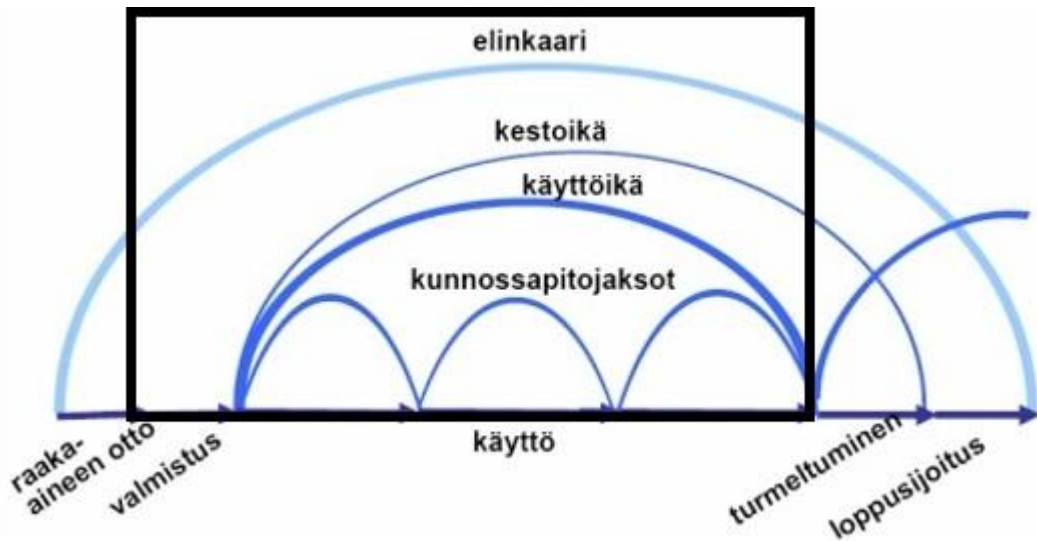


Kuva 1. Tuotteen elinkaari [9]

2.2 Tien elinkaaren määritelmä

Tien elinkaari koostuu tien suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta ja lopputuotteesta huolehtimisesta. Yleensä tien elinkaaresta puhuessa keskitytään kuitenkin aikavaihee-

seen tien investoinnista kunnossapitoon, koska tie suunnitellaan yleensä pysyväksi rakenteeksi jonka kuntoa ylläpidetään säännöllisellä kunnossapidolla. Kuvassa 2 on neliöitynä aika-alue, johon tämä tutkimus keskittyy ja jonka aikana tien laatuun pystyy eniten vaikuttamaan. Kuvan mukaisesti vaihe sijoittuu tien suunnittelusta sen rakentamiseen ja ylläpitoon, joilla on suurin vaikutus sen laatuun ja elinikään.



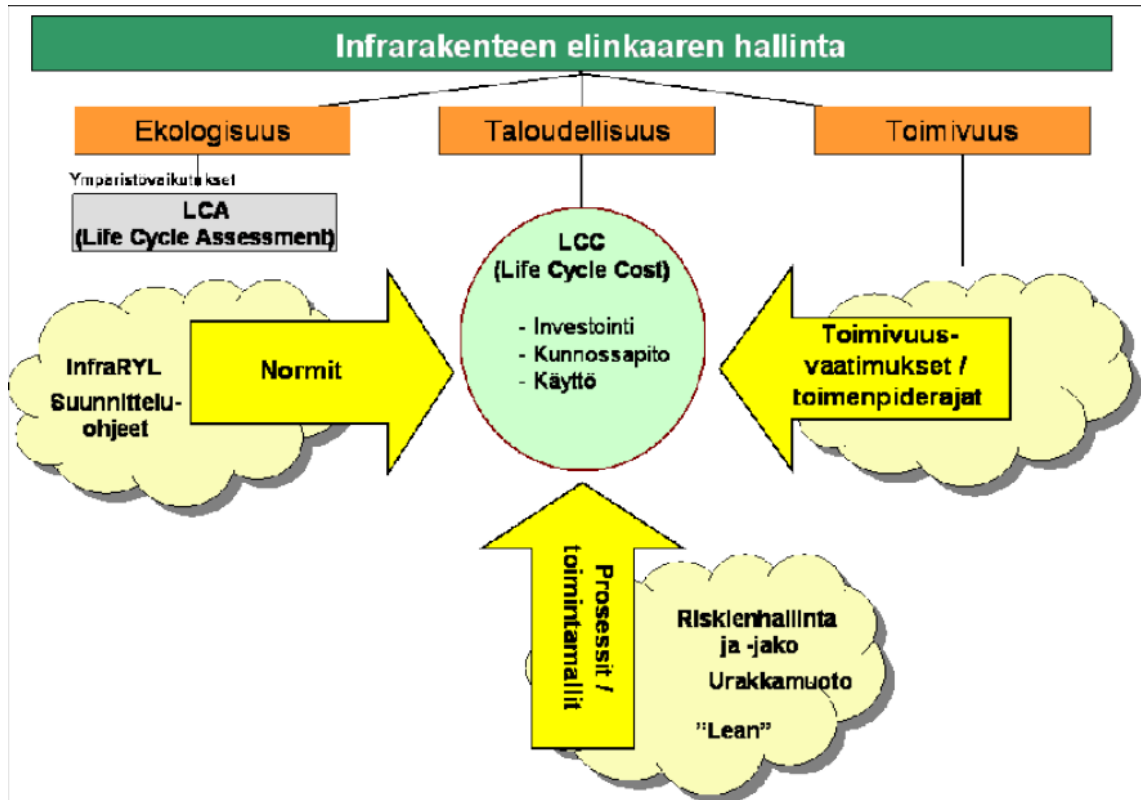
Kuva 2. Tutkimusalue, elinkaari [8]

Kuvan 2 mukaisesti tien kunnossapitajakset ovat todella tärkeä osa tien pitkän käyttöiän ja laadun ylläpitämisen kannalta. [1; 2.]

2.3 Tien elinkaaren hallinta

Elinkaaren hallinta (LCM, Life Cycle Management) tarkoittaa tien hallintaa se koko elinkaaren aikana. Elinkaaren hallintaa voidaan pitää yläkäsitteenä erilaisille elinkaariajatteluille ja -tarkasteluille. Yksinkertaisuudessaan sillä tarkoitetaan tien hallintaa niin, että tie on mahdollisimman ekologinen, taloudellinen ja toimiva. Toisin sanoen elinkaaren hallinta on kokonaisvaltainen periaate jolla pyritään ohjaamaan tien rakentamista ja ylläpitoa siten, että rakentaminen ja ylläpito olisivat taloudellisesti, ekologisesti ja toiminnallisesti mahdollisimman ennakoitavaa ja laadullisesti kestävää.

Elinkaaren hallinnassa keskitytään kolmeen tekijään: ekologisuuteen, taloudellisuuteen ja toimivuuteen. Tekijät näkyvät kuvassa 3. Näiden kolmen tekijän kesken tutkitaan eri vaihtoehtoja rakentamisen ja ylläpidon optimoimiseksi siten, että yksikään tekijöistä ei jäisi huomiotta. Näiden kolmen tekijän vertailu ohjaa rakentamista kestävämpään kehitykseen.



Kuva 3. Elinkaaren hallinnan osa-alueet [5]

Kuvan 3 mukaisesti ekologisuuden normien täyttäminen, kustannuksista huolehtiminen ja toimivuuden optimoiminen johtaa toimivaan elinkaaren hallintaan, jolloin tien investointikulut pysyvät mahdollisimman alhaisina, kunnossapito on optimoitua ja sen käytölle annetut vaatimukset täyttyvät.

Pääsääntöisesti elinkaaren hallinnan periaatteena on painottaa tien ennakoivaa ylläpitoa ja kunnossapitoa. Elinkaaren hallintaan on olemassa useita erilaisia sovellusalueita joita tutkitaan kaikista kolmesta näkökulmasta: ekologisuus, taloudellisuus, toimivuus. Sovellusalueita ovat esimerkiksi

- rakennusmateriaalien laadun ja käyttöiän vertailu
- rakennustavan vertailu
- toimintojen heikkojen kohtien analysointi ja parantaminen
- palveluntarjoajien vertailu.

Elinkaaren hallinnassa pyritään ennakoivaan ja optimoituun analysointiin, suunnitteluun ja päätöksentekoon. Näin saadaan ylläpidettyä haluttu tien laatu, joka täyttää yhteiskunnan sille asettamat vaatimukset koko elinkaaren ajan hallitulla ja optimoidulla tavalla. Ennakoivaan laadun varmistamiseen käytetään juurikin elinkaaren hallinnan sovellusalueita sekä lisäksi erilaisia riski- ja laatuanalyysijä. [3; 4.]

2.3.1 Taloudellinen näkökulma

Taloudellinen tienpito onnistuu kun tieverkosto pidetään laadullisesti halutussa kunnossa ylläpitämällä sen kuntoa oikea-aikaisesti tarkkaan valituilla menetelmillä ja materiaaleilla.

Taloudellisessa näkökulmassa pyritään minimoimaan koko tien elinkaaren ajalta syntyviä kustannuksia. Syntyviä kustannuksia tarkastellaan ennen tiehankkeen toteuttamista koko elinkaaren ajalta, aina raaka-aineiden ostopäätökseen ja loppusijoitukseen asti. Näitä kustannuksia pyritään minimoimaan siten, että tie täyttää sille asetetut tekniset ja laadulliset vaatimukset.

Tien elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia ja kestävyyttä vertaillaan eri vaihtoehtojen kesken ja näin voidaan päätyä taloudellisesti järkevimpään toteutusvaihtoehtoon. [1; 2; 3.]

2.3.2 Ekologinen näkökulma

Ekologisella näkökulmalla tarkoitetaan tien luonnolle aiheuttamaa haittaa. Haittaa syntyy esimerkiksi rakentamisen raaka-aineiden hankinnasta, tiealueen rakentamisen aiheuttamista muokkaustoimenpiteistä ja erilaisista päästöistä sekä mahdollisesta rakennusjätteen käytön loppuessa. Syntyviä haittoja ovat esimerkiksi

- ilmanpäästöt
- melu
- kuormitus maaperään ja pohjavesiin
- maisemalliset vaikutukset.

Tierakentamisessa pääasialliset ekologiset vaikutukset syntyvät tien rakennusvaiheessa. Tällöin tehdyt päätökset vaikuttavat eniten tien ekologisuuteen rakentamisen aikana ja tulevaisuudessa. Rakennusvaiheen ekologisuutta voidaan lisätä esimerkiksi jätteiden syntymisen minimoinnilla ja niiden hyötykäytöllä sekä luonnonvarojen käytön tehostamisella.

Tien rakenteella, sijainnilla ja ylläpidolla pystytään vaikuttamaan ympäristövaikutuksiin huomattavasti. Lisäksi haitallisten ympäristövaikutusten minimoimiseksi on tehty erilaisia toimia, esimerkiksi meluvallien rakentamista teiden varsille ja ympäristöystävällisempien rakennusmateriaalien käyttöä tierakentamisessa sekä tieympäristöjen maisemointia.

Tien rakentamisesta ja ylläpitämisestä aiheutuvia haittoja ympäristölle tutkitaan jo tien suunnitteluvaiheessa ja pyritään valitsemaan mahdollisimman ekologinen vaihtoehto tien rakentamiseksi. [6.]

2.3.3 Toimivuus

Toimivuudella tarkoitetaan tielle asetettujen määräysten täyttymistä ja tien toimivuutta sen tarkoitukseen. Teille asetettuja määräyksiä ovat esimerkiksi eri näkyvyysalueiden riittävyys, eli risteysalueiden, mäkien ja mutkien näkyvyyden tulee olla tarpeeksi suuri, sekä tien leveyden ja laadun tulee olla tarpeeksi hyvä kyseisen tien liikennemäärään ja ajonopeuteen nähden.

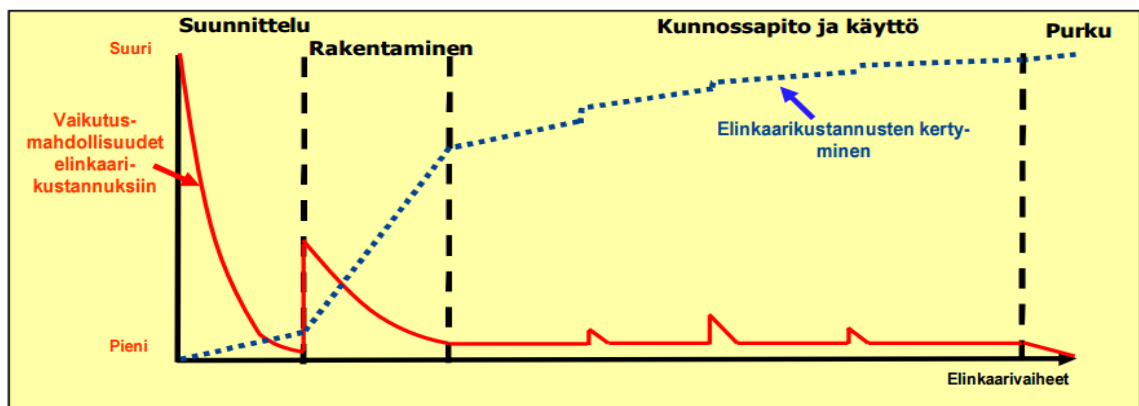
Tiestön toimivuus varmistetaan hyvällä suunnittelulla ja oikeilla materiaaliratkaisuilla. Toimivuus ja siihen sisältyvä liikenneturvallisuus ovat tien tärkeimmät kriteerit, ja tähän pyritään kaikella tierakentamisella ja ylläpidolla. Toimivuuteen voidaan vaikuttaa tien laadukkaalla rakentamisella ja aktiivisella ylläpidolla. [7; 8.]

2.4 Elinkaaren ajan kustannukset

Elinkaaren ajan kustannukset koostuvat kohteen suunnittelemisesta, rakentamisesta, käytöstä ja ylläpidosta aiheutuvista kuluista. Näitä kuluja seurataan joko vuotuisesti tai niistä aiheutuvat kulut lasketaan koko elinkaaren ajalta ja kulujen arvo muutetaan nykyarvoksi. Elinkaarikustannuksia lasketaan erityisesti

- suunnitteluratkaisujen vertailuun
- tienhoidon ja ylläpidon pitkän aikavälin suunnitteluun
- vaihtoehtoisten rakennusmateriaalien vertailuun.

Elinkaarikustannusten laskemisella saadaan selvitettyä rakentamisen kulut pitkällä aikavälillä sekä pystytään suunnittelemaan tulevia kustannuksia.



Kuva 4. Elinkaarikustannusten kertyminen [1]

Elinkaarikustannusten jakautuminen on havainnollistettu kuvassa 4. Kuvan mukaisesti suunnittelun aikana tehdyt päätökset vaikuttavat huomattavasti eniten elinkaaren ajan kustannuksiin. Näin ollen suunnittelulla on tärkein osa taloudellista rakentamista toteuttaessa. Elinkaarikustannusten laskenta lähteekin liikkeelle heti suunnittelusta alkaen pyrkien varmistamaan elinkaaren taloudellisuuden ja teknisesti kestäväen rakentamisen.

Rakentamisen aikana tehtyjen päätösten osuus elinkaarikustannuksiin on myös melko suuri, kun taas kunnossapidon aikana elinkaarikustannuksiin ei juurikaan pysty vaikuttamaan. [1; 10.]

2.4.1 Suunnittelu

Kuvan 4 mukaisesti suunnittelun aikaiset kustannukset ovat melko matalat verrattuna rakentamisen ja kunnossapidon aikaisiin kustannuksiin. Kuitenkin suunnittelun aikana tehtyjen päätösten vaikutus koko elinkaaren aikaisiin kustannuksiin on suuri. Suunnittelun aikana tehdyillä päätöksillä on suora vaikutus koko tien elinkaaren aikana kertyviin kustannuksiin.

Suunnittelun aikana selvitetään tien laadulliset tarpeet ja suunnittelun tuloksena määräytyvät esimerkiksi seuraavat tekijät, joilla on suora vaikutus elinkaarikustannuksiin:

- tien linjaus ja sijainti
- alueen ympäristö ja pohjamaa
- palvelutaso
- rakennekerrokset ja -materiaalit.

Tien sijainti, ympäristö ja pohjamaa vaikuttavat tarvittavien rakennusmateriaalien ja rakennustavan valintaan. Näillä on suora vaikutus rakentamisen aikaisiin kustannuksiin sekä tuleviin ylläpitokustannuksiin. Myös haluttu palvelutaso sekä rakennekerrokset ja -materiaalit vaikuttavat selvästi kustannuksiin. Haluttu palvelutaso ja sen ylläpito vaativat aktiivista tien kunnossapitoa tapauskohtaisesti. Halutun palvelutason takaamiseksi tarpeelliset huoltotoimenpiteet pyritään suunnittelemaan mahdollisimman tarkasti etukäteen. Rakennekerrokset ja -materiaalit määräävät rakennusaikaisten kustannusten määrää sekä voivat osaltaan vaikuttaa ylläpidon tarpeeseen ja ylläpidon aiheuttamiin kustannuksiin.

Suunnitteluvaiheessa pyritään suunnittelemaan kaikki tielle tehtävät toimenpiteet rakentamisesta ylläpitoon ja loppusijoittamiseen. Ylläpidolle voidaan suunnitella esimerkiksi huoltoajat, ennalta valitut vuodet, jolloin tietä huolletaan, ja huoltosuunnitelma.

Suunnittelun pohjana toimivat Liikenneviraston suunnitteluohjeet, normit, rakennusmääräykset sekä infraRYL-ohjeistus. Näiden avulla pyritään varmistamaan tien ja rakenteiden turvallisuus, toimivuus ja riittävä taloudellisuus. Rakentamisen laatua ohjataan pää-

asiassa InfraRYL-laatuvaatimuksilla. InfraRYL on painettu teos, jossa kerrotaan infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Tässä tapauksessa on kyse teoksesta InfraRYL 2010: Infrarakentamisten yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 väylät ja alueet. [1; 11; 12.]

2.4.2 Rakentaminen

Rakentamisen aikana muodostuu suurin menoerä tien elinkaaren aikana. Rakentamisen aikana syntyvien kustannuksien suuruus määräytyy pitkälti suunnitteluratkaisujen, eli tien rakennusmateriaalien, tien laadun ja rakennettavan alueen pohjamaan mukaan. Rakentamisen aikana syntyviin kustannuksiin pystyy kuitenkin vaikuttamaan tehostamalla rakentamista. Rakentamista voidaan tehostaa esimerkiksi seuraavin keinoin:

- suunnittelijan, rakentajan ja tilaajan yhteistyön parantaminen
- rakentamisessa käytettävien materiaalien tehokkaampi hyödyntäminen, hukkamateriaalien minimoiminen
- luonnonmateriaalien tehokkaampi hyödyntäminen
- rakentamisen tehostaminen nykyisen tekniikan ja tiedon avulla.

Rakentamisen tulee täyttää sille annetut kriteerit, joten suunnitelmien seuraaminen on ensiarvoisen tärkeää eikä uusille innovaatioille jää rakennusvaiheessa juurikaan mahdollisuuksia rakennustavan tai materiaalien osalta. Rakentamisen tehostaminen uuden tekniikan ja tiedon avulla on kuitenkin mahdollista. Lisäksi paremmalla yhteistyöllä suunnittelijan, rakentajan ja tilaajan välillä voidaan päästä taloudellisesti parempaan lopputulokseen. [1; 10; 12.]

2.4.3 Kunnossapito

Kunnossapitokustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia, joilla ylläpidetään rakenteen kuntoa valitun ylläpitostrategian mukaisesti. Kustannuksiin vaikuttavat suunnittelun aikana päätetyt ylläpitomenetelmät ja haluttu ylläpitostandardi eli tielle asetettu laadullinen kriteeri, joka tulee täyttää. Ylläpitostandardi ja ylläpitomenetelmät vaihtelevat tielle asetettujen kriteerien ja laatumääräysten mukaan.

Kunnossapidon aikana tien elinkaarikustannuksiin ei pystytä enää juurikaan vaikuttamaan (ks. kuva 4). Kunnossapitokustannukset syntyvät tien säännöllisestä kunnossapidosta jota suoritetaan, jotta tie säilyttää halutun laadun. Kunnossapitoa voidaan suorittaa säännöllisesti ennalta määritettyinä vuosina tai tien kunnon laskettua halutun alapuolelle. Tällaisia suunniteltuja kunnossapitoja on mahdollista ennakoida, ja niiden aiheuttamat kustannukset elinkaaren aikana voidaan laskea ja minimoida.

Koska kustannukset syntyvät vain tien ylläpidosta, kustannuksia voitaisiin pienentää ylläpidon tarpeen minimoimisella ja ajoittamisella siten, että hyöty huoltamisesta olisi mahdollisimman suuri. Optimaalista ajankohtaa tien huoltamiselle ja ylläpidolle on kuitenkin todella vaikea arvioida. Oikea-aikaisella tien huoltamisella voidaan minimoida syntyvät huoltokustannukset ja vähentää tien tulevaa huoltotarvetta. [1; 10.]

2.4.4 Käyttö

Tien käyttökustannuksilla tarkoitetaan tien käyttäjille kohdistuvia kustannuksia. Suomessa tieverkon käytöstä ei peritä maksuja, mutta sen käyttö aiheuttaa kustannuksia autoilijoille. Rahallisesti arvioitavia kustannuksia ovat esimerkiksi aika-, ajoneuvo- ja onnettomuuskustannukset.

Aikakustannuksilla tarkoitetaan matkustamiseen kulutettua aikaa, jolle lasketaan tietty rahallinen arvo. Aikaan voivat vaikuttaa ajoreitillä olevat rakennustyömaat ja tien huono kunto. Tien kunto ei kuitenkaan harvoin pääsee menemään niin huonoksi, että se vaikuttaisi matka-aikaan ja näinollen sitä harvoin lasketaan mukaan käyttökustannuksien aiheuttajaksi. Rakennustyömaat puolestaan voivat vaikuttaa matka-aikaan vilkasliikenteisillä teillä aiheuttaen ruuhkia tai mahdollisella ajomatkan pitenemisellä.

Ajoneuvokustannuksilla tarkoitetaan ajoneuvon hankinnasta ja ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia. Näitä ovat esimerkiksi ajoneuvon ostosta ja ylläpidosta aiheutuvat kulut. Tien osalta ajoneuvokustannuksia voi aiheuttaa huonokuntoiset tiet, jotka rasittavat ajoneuvoja hyväkuntoisia teitä enemmän.

Onnettomuuskustannuksilla tarkoitetaan tiellä tapahtuvia onnettomuuksia. Tiealueen huono kunto lisää onnettomuuksien riskiä. Esimerkiksi tien urautuminen voi aiheuttaa

onnettomuuksia. Teiden ylläpito kuitenkin estää tiestöä menemästä niin huonoon kuntoon, että ne onnettomuusriskit kasvaisivat, joten onnettomuuskustannuksia ei juurikaan huomioida tiealueen elinkaaren kustannusten laskennassa.

Käytönaikaisia kustannuksia pyritään minimoimaan huolellisella suunnittelulla ja tiealueen ylläpidolla. Ylläpidon suunnittelun merkitys kasvaa sitä suuremmaksi, mitä vilkasliikenteisempi tie on kyseessä. Hyvin suunniteltu tien ylläpito ei välttämättä aiheuta tien käyttäjille aika- eikä ajoneuvokustannuksia.

Tien operoinnista ja kunnossapidosta vastaa tienpitäjä. Tien operoinnilla tarkoitetaan tieverkon tilan seuranta, häiriönhallintaan, liikenteen ohjausta sekä liikenteen tiedotusta. Tienpitäjä voi vaikuttaa tienkäyttäjien kohdistuvien kustannuksien määrään paremmalla toimenpiteiden suunnittelulla. Esimerkiksi ajoittamalla työt vilkkaasti liikennöidyillä väylillä voidaan vähentää ruuhkan syntymistä merkittävästi tai suosimalla harvemmin tehtäviä raskaita toimenpiteitä voidaan välttää työmaasta aiheutuvia hidastuksia tieosuudella. [1; 4; 13.]

2.5 Elinkaarikustannusten laskentamenetelmät

2.5.1 Elinkaarikustannuksien laskemisen haasteet

Elinkaarikustannuksien laskemisen tarkoituksena on saada selvitettyä mahdollisimman tarkka rahallinen arvo joka syntyy tien rakentamisesta ja ylläpidosta koko sen elinkaaren aikana. Elinkaarikustannusten laskentamenetelmät pääosin perustuvat investointilaskentaan pohjautuviin laskentamenetelmiin ja vertailuihin. Ongelmana kustannusten laskemisessa on kulujen muuttaminen vertailukelpoiseksi eri hetkinä rahan arvon muuttuessa ja syntyvien kulujen tarkka ennakoiminen. Kulujen vertailuun käytetään diskonttausta, jonka avulla rahan arvo kunakin aikana pyritään muuttamaan sen nykyiseen arvoon ja näin saadaan laskettua syntyvien kulujen nykyarvo.

Elinkaarikustannuksien laskemiseen on käytössä useita menetelmiä. Menetelmiä ovat esimerkiksi

- takaisinmaksumenetelmä
- nykyarvomenetelmä
- vuosikustannusmenetelmä
- kustannus-hyötysuhde menetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä.

Näistä käytetyin menetelmä tierakentamisessa on nykyarvomenetelmä. Menetelmä soveltuu parhaiten käytettäväksi, koska sen avulla saadaan laskettua kulut nykyhetkeen haluttua korkokantaa käyttämällä, ja se huomioi rahan arvon muutoksen ajan kuluessa.

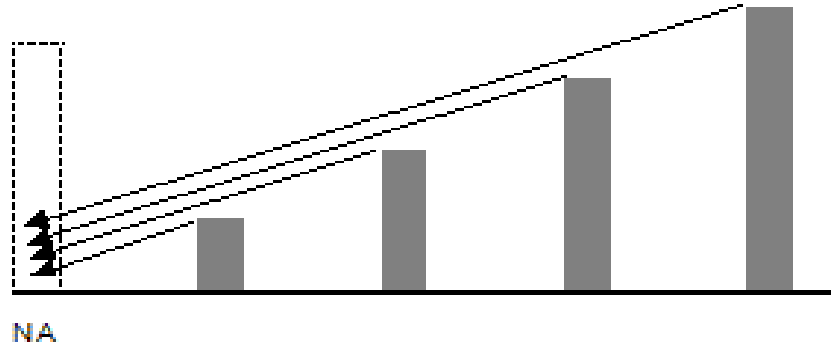
Elinkaarikustannuksia laskettaessa törmätään ongelmaan tarkastelujakson pituuden valinnassa. Yleisesti tarkastelujaksoksi valitaan aikajana, joka vastaa tien teknistä käyttöikä. Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jolloin tie täyttää sille asetetut vaatimukset suunnitellun ylläpidon avulla ilman ylimääräisiä korjaustoimenpiteitä. Tien pohjarakenteiden tekninen käyttöikä on noin 100 vuotta ja tien päällysrakenteiden noin 30 vuotta. Liian lyhyt tarkastelujakson pituus aiheuttaa laskelmiin epävarmuuksia, koska tällöin tien jäännösarvo tulisi huomioida laskelmissa tarkasti laadukkaiden tulosten saamiseksi. Toisaalta liian pitkä tarkastelujakso taas lisää virheen riskiä ennakoimattomien rahan arvon muutosten ja mahdollisten korjaustoimenpiteiden takia.

Jäännösarvo pyritään usein jättämään nolaksi kustannuksia laskiessa. Jäännösarvolla tarkoitetaan rakenteen arvoa tarkastelujakson lopussa. Tämän arvon määrittäminen on erittäin hankalaa, sillä rakenteen käyttökelpoisuus tarkastelujakson jälkeen on vaikeaa arvioida ja aina tapauskohtaista. Mikäli pohjarakennetta voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, voi sen arvo olla vielä huomattava, mutta mikäli se on hyödytön tai aiheuttaa lisätyötä, se voi aiheuttaa myös lisäkustannuksia. [10; 14; 15; 16.]

2.5.2 Elinkaarikustannusten laskenta nykyarvomenetelmällä

Nykyarvomenetelmä perustuu siihen ajatukseen, että eriaikaiset kulut diskontataan haluttuun vertailuajankohtaan jota yleensä pidetään nykyhetkenä (kuva 5). Diskonttaus voidaan suorittaa kulujen syntymisen mukaan kuukauden tarkkuudella, mutta yleensä dis-

konttausta yksinkertaistetaan siten, että vuoden aikana syntyvät kulut oletetaan tapahtuvan kunkin vuoden lopussa, jolloin suorituksen vuotuinen nykyarvo saadaan kertomalla kustannus diskonttaustekijällä.



Kuva 5. Kulujen diskonttaus nykyarvoon [17]

Nykyarvot saadaan selvitettyä diskonttaamalla tulevat kustannukset nykyarvoon. Nykyarvomenetelmän laskentakaavana voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$EKN = IK + KP + YP + TK - JN$$

jossa

EKN	on elinkaarikustannusten nykyarvo
IK	on investointikustannusten nykyarvo
KP	on vuosittaisten kustannusten nykyarvo
YP	on ylläpitokustannusten nykyarvo
TK	on tienkäyttäjän kustannusten nykyarvo
JN	on suunnitteluajan lopussa olevan jäännösarvon nykyarvo

Täten elinkaarikustannusten nykyarvo saadaan diskonttaamalla kunkin vuoden kustannukset erikseen ja laskemalla ne yhteen.

Jotta kaavan mukainen laskutoimitus pystytään suorittamaan, pitää kaikkien kustannusten kulut diskontata vastaamaan nykyhetken arvoa. Diskonttaaminen tapahtuu seuraavalla kaavalla:

$$C_k = \frac{1}{(1+i)^n}$$

jossa

C_k on diskonttaustekijä vuonna n
 i on laskentakorkokanta
 n on aika vuosina laskentahetkestä

Diskonttaustekijän arvo voidaan myös selvittää valmiiksi lasketuista taulukoista jotka voivat helpottaa laskutoimituksen suorittamista. Taulukon avulla nykyarvo lasketaan siten, että valitaan halutun vuoden ja laskentakorkokannan kohdalta löytyvä luku, ja tällä kerrotaan halutut kustannukset. Malli diskonttaustaulukosta on liitteenä 1.

Jotta diskonttaaminen pystytään suorittamaan, tarvitaan laskentakorkokantaa. Laskentakorkokannan tehtävä on saattaa eriaikaiset investoinnit keskenään vertailukelpoiseksi nykyarvoon. Laskentakorkokannan vaikutus elinkaarilaskelmien tuloksiin on merkittävä, joten sen valintaan on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Yleisesti laskentakoron suuruus vaihtelee sen mukaan kuinka suurta tuottoa hankkeelta odotetaan. Näin ollen julkisten hankkeiden laskentakorko on yleensä pienempi kuin yksityisten hankkeiden. Yleisenä raja-arvona pidetään kuitenkin sitä, että laskentakoron ei tulisi olla pienempi kuin se korko, jolla investointiin vaadittava pääoma on saatu lainattua.

Suomessa, Ruotsissa ja Isossa-Britanniassa tehdyissä julkisissa hankkeissa käytetyt korkokannat ovat olleet 4–6 %. [13; 17.]

2.6 Elinkaariajattelun hyödyt

Tien koko elinkaaren huomioiminen suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon aikana tehostaa koko tieprosessia. Tietä suunniteltaessa voidaan vaikuttaa tien laatuun, pitkään käyttöikänsä ja näin taloudellisuuteen. Kun tierakenne on ollessa todella pitkäikäinen,

kauaskantoinen ajattelumalli suunnitteluun ja rakentamiseen mahdollistaa vähäisen tarpeen tulevaisuudessa syntyville lisäinvestoinneille tien ylläpitämiseksi.

Onnistuneessa tiehankkeessa ekologisuus, taloudellisuus ja toimivuus on huomioitu, ja ne kulkevat käsi kädessä. Näin tiehanke ei aiheuta ympäristölle tahattoman suurta haittaa, tie vastaa sille asetettuihin tarpeisiin ja hankkeen investointikulut pysyvät optimaalisina.

3 Elinkaarimalli

Taloudellisen ja innovatiivisen infrarakentamisen kehittämiseksi on luotu elinkaarimalli joka kulkee kansainvälisesti nimellä PPP (Public Private Partnership). Elinkaarimalli on suomalainen versio PPP-mallista, joka on kehitetty suurten infrahankkeiden toteuttamiseen, joissa julkinen sektori hankkii infraa käyttöönsä palvelusopimuksen kautta. Palvelusopimuksessa sovitaan, että tuottaja vastaa infran rakentamisesta ja ylläpitämisestä sopimuksen mukaisessa laadullisessa kunnossa sovittu ajanjakson ajan. Ajallinen palvelusopimus antaa rakentajalle vastuun infran rakentamisen laadusta ja ylläpidosta. Rakentaja pystyy suunnittelemaan infran rakentamisen ja ylläpitämisen kokonaisuudessaan, ja näin uudet innovaatiot ja suunnitelmallinen rakentaminen mahdollistuvat entistä paremmin. [18; 19; 20.]

3.1 Elinkaarimallin historia

Ensimmäisiä elinkaarihankkeita toteutettiin 1980-luvulla Yhdysvalloissa energiasektorilla. Tuolloin energiasektori nähtiin riskittömänä toimialana varman kysynnän johdosta. Yksityiset toimijat hankkivat rahoituksen ja toteuttivat energiasektorin hankkeita paikallistason hallinnolle.

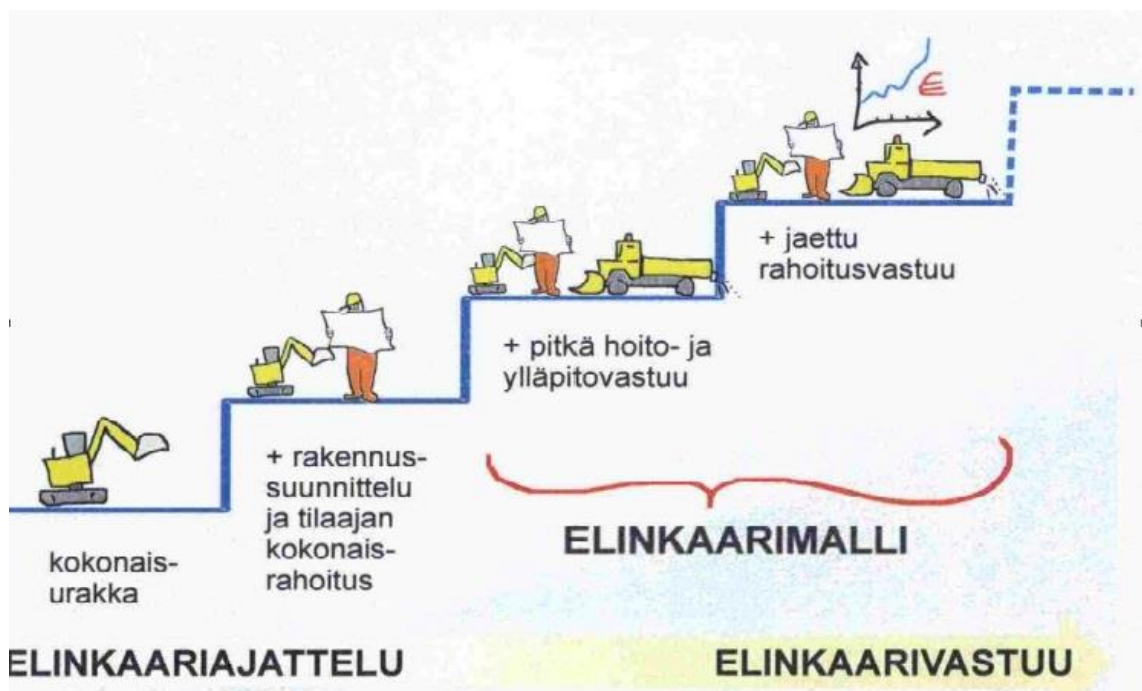
Elinkaarihankkeiden edelläkävijänä on toiminut Iso-Britannia, jossa elinkaarimallia alettiin käyttämään aktiivisesti 1990-luvulla. Elinkaarihankkeet nousivat suosioon, koska maassa oli kova tarve liikenneinfrastruktuurin kehittämiseen mutta valtio ei pystynyt rahoittamaan tarpeeksi mittavia investointeja, eikä valtio pystynyt toteuttamaan hankkeita

taloudellisesti. Ratkaisuksi infran rakentamiseen yksityinen sektori otti vastatakseen toteutuksen lisäksi myös hankkeen rahoituksen.

Elinkaarimallin mukaisia hankkeita on toteutettu sittemmin ympäri maailmaa, mutta edelleen erityisen paljon Isossa-Britanniassa. Mittavia hankkeita on toteutettu muun muassa Australiassa, Irlannissa, Kanadassa, Ranskassa, Saksassa, Portugalissa, Puolassa ja Etelä-Afrikassa. [20; 21.]

3.2 Elinkaarimallin perusteet

Elinkaarimalli on suunniteltu suurten infrahankkeiden toteuttamisen. Elinkaarimallin mukaan julkinen sektori sopii yksityisen tahon kanssa palvelusopimuksen, jossa sovitaan infrahankkeen toteuttamisesta. Yksityinen taho toteuttaa itse infran toteuttamiseen tarvittavan suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon. Julkinen sektori maksaa yksityiselle taholle palvelumaksua tasaisin väliajoin palvelusopimuksen mukaisesti.



Kuva 6. Elinkaarimallin kokonaiskuva [18]

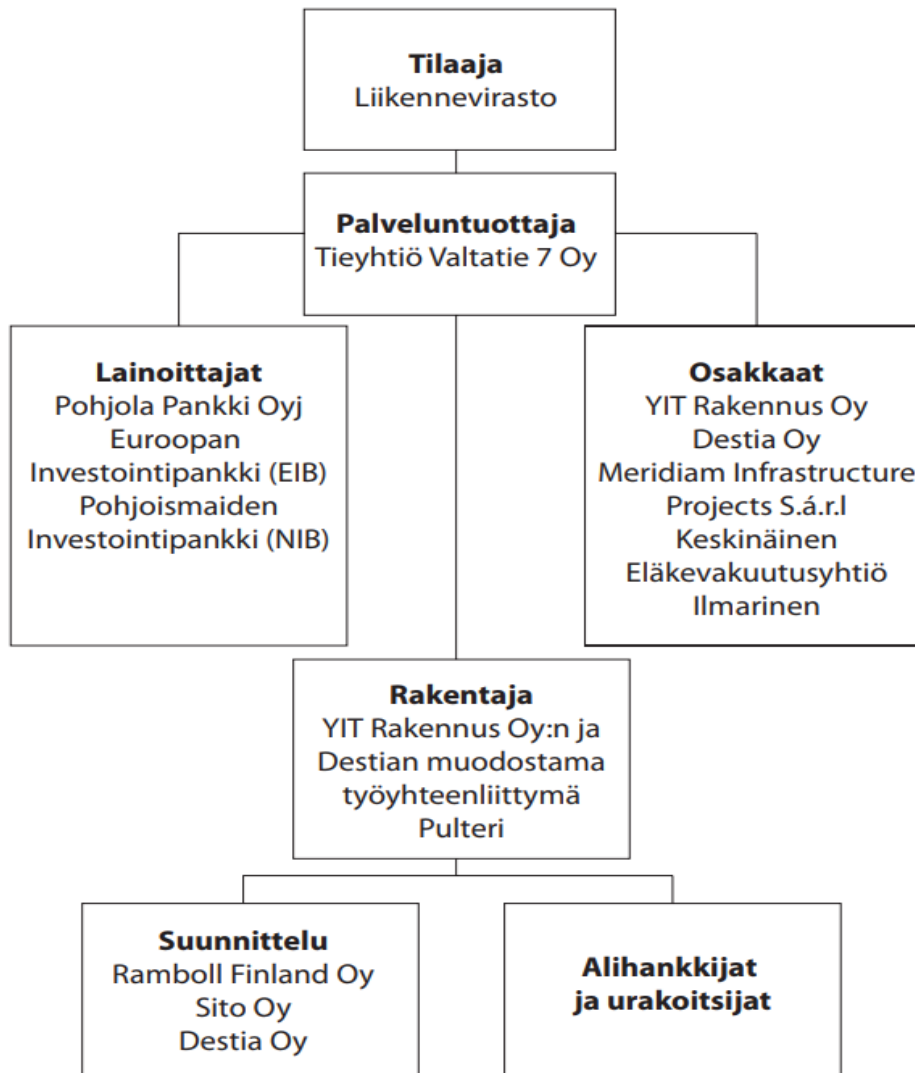
Elinkaarimallin perusideana on, että yksityinen projektin tuottaja vastaa infrahankkeesta kokonaisuudessa aina suunnittelusta, rahoituksesta ja rakentamisesta sen ylläpitoon asti (kuva 6). Infrahankkeelle asetetut laadulliset vaatimukset ja sen ylläpidolle asetettu aika

selvitetään palvelusopimuksessa. Elinkaarimallin käyttö antaa yksityiselle projektin tuottajalle paremmat mahdollisuudet suunnitella infran rakentaminen ja ylläpitäminen mahdollisimman kannattavaksi ja laadukkaaksi. Koska elinkaarimallissa sovitaan, että yksityinen palvelun tuottaja vastaa myös hankkeen ylläpidosta pitkän erikseen sovitun ajanjakson, rakentamisen laatu paranee ja uusien innovaatioiden käyttö mahdollistuu entistä paremmin. [18; 20; 21.]

3.3 Palvelusopimus

Elinkaarihanketta varten perustetaan erillinen yhtiö, jota tiehankkeissa kutsutaan tieyhtiöksi. Tieyhtiön ainoana tarkoituksena on kyseisen hankkeen toteuttaminen. Tieyhtiö tekee palvelusopimuksen tilaajan kanssa halutuin kriteerein. Tieyhtiön omistajina toimivat pääsääntöisesti suuret infra-alan sijoittajat, kuten eläkeyhtiöt, infrarahastot ja hanketta toteuttava pääurakoitsija. Tieyhtiö hankkii rahoituksen elinkaarihankkeille pankeilta. Rahoituksen aikaansaamiseksi laaditaan kolmikantasopimus, joka sovitaan tilaajan, tieyhtiön ja rahoittajan välille. Kolmikantasopimuksessa sovitaan tilaajan, tieyhtiön ja rahoittajan asemasta erinäisissä konfliktitilanteissa. Yleisesti rahoituksen saamiseksi riittää tilaajan maksama tuleva kassavirta, eikä muita erinäisiä vakuuksia tarvita.

Kuvassa 7 on esiteltynä Koskenkylä–Kotka-hankkeen sopimusrakenne. Kuvan mukaisesti liikennevirasto on sopinut palvelusopimuksen tieyhtiö Valtatie 7 Oy:n kanssa. Kolmikantasopimus on toteutettu Liikenneviraston, tieyhtiön ja osakkaiden sekä lainoittajien kanssa. Rakentajana on YIT:n ja Destian muodostama työyhteisö, joka ostaa suunnittelun, urakoinnin ja alihankinnan muilta palveluntarjoajilta. [20; 21.]



Kuva 7. E18 Koskenkylä–Kotka-hankkeen sopimusrakenne

3.3.1 Palvelusopimuksen sisältö

Palvelusopimus toimii elinkaarihankkeen pääsopimusasiakirjana. Siinä määritellään tilaajan asettamat ehdot palvelun toteuttamiseksi. Sopimus sisältää pääosin määräyksiä tilaajan ja palveluntuottajan vastuista ja velvollisuuksista. Määräyksiä on esimerkiksi menettelytavoissa, laaduntuottamisessa, vahingonkorvauksissa, erinäisissä viivästyksissä ja esteissä, sekä vakuuksissa ja vakuutuksissa. Sopimukseen asetetut ehdot ovat usein normaalia rakennusurakkaa laajemmat sen laajan sisällön ja pitkän keston takia. [20; 21.]

Merkittävimpiä palvelusopimuksen sisältämiä liitteitä ovat

- maksujen määräytyminen
- hankkeen määrittelemine
- palvelusopimusta täydentävät ehdot (esim. turvallisuus ja laatu)
- tekniset vaatimukset (suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito)
- erinäiset projektin raportointiin ja suunnitteluun liittyvät ohjeet.

3.3.2 Palvelusopimuksen maksujen määräytyminen

Palvelusopimuksessa sovitaan, millä perusteella tilaaja maksaa palvelusta. Suomessa tehdyissä elinkaarihankkeissa on käytetty kahta erilaista maksuperustetta. Maksuperusteina on ollut liikennemäärään perustuva palvelumaksu ja tien käytettävyyteen perustuva palvelumaksu.

Käytettävyyteen perustuvan palvelumaksun periaate on, että liikenteen käytössä olevalla sovitussa kunnossa olevasta tiestä maksetaan täyttä palvelumaksua. Palvelumaksun suuruutta pienennetään sitä mukaa kuin tielle annetut laatuksiteerit eivät vastaa tien kuntoa. Mikäli tie ei ole jostain syystä liikenteen käytössä, suoritetaan käytettävyyövähennystä, ja mikäli tie ei täytä sille asetettuja laadullisia kriteereitä, suoritetaan palvelutavöhennystä.

Tilaaaja maksaa palvelumaksua vasta kun tie on avattu liikenteelle. Palvelusopimuksessa on sovittu päivähinnasta, jonka tilaaaja maksaa palvelun tarjoajalle, kun tie on liikenteen käytössä ja täyttää sopimuksen mukaiset kriteerit. Mikäli tie ei ole sopimuksen mukaisessa kunnossa, palvelumaksusta vähennetään ennalta määrätty osuus. Syitä palvelumaksun vähentämiseksi voivat olla esimerkiksi tien laadullinen heikkeneminen ja nopeusrajoituksen alentaminen tai pientareen ja tien sulkeminen liikenteeltä.

Näillä palvelumaksun vähentämisisillä pyritään palveluntuottajaa kannustamaan tien aktiiviseen ja oikea-aikaiseen ylläpitoon, jolla voidaan minimoida tien palvelutason laskeminen. [18; 20; 21.]

3.4 Elinkaarihankkeen vaiheet

Elinkaarihanke jakautuu kolmeen vaiheeseen:

1. Sopimusvaiheessa tilaaja kartoittaa palvelun tarpeen, suorittaa tarjouspyynnön ja toteuttaa sopimuksen parhaan tarjouksen mukaan.
2. Toteutusvaiheessa toteutetaan suunnittelu ja rakentaminen. Palveluntarjoaja pystyy itse vaikuttamaan rakentamiseen ja laadullisten kriteereiden täyttymiseen.
3. Kunnossapitovaiheessa tie on valmis ja avoin liikenteelle. Palveluntarjoaja ylläpitää tien kuntoa ja tilaaja maksaa palvelumaksua palvelusopimuksen mukaisesti.

3.4.1 Sopimusvaihe

Elinkaarihankkeen toteuttamiseksi tarvitaan palvelusopimus tilaajan ja toteuttajan välille. Palvelusopimuksen toteuttaminen on pitkä prosessi. Prosessi koostuu seuraavista väli-vaiheista:

- tarveselvitys
- hankesuunnittelu
- tarjouskilpailun valmistelu
- tarjousvaihe
- tarjousten vertailuvaihe
- päätöksentekovaihe
- sopimusvaihe.

Elinkaarimallin hankintatapoina on käytetty avointa ja rajoitettua menettelyä, neuvottelumenettelyä, suoraankintaa ja kilpailullista neuvottelumenettelyä. Yleisimmin käytetty menettely on kilpailullinen neuvottelumenettely, joka mahdollistaa neuvottelujen järjestämisen ja hankintalainsäädännön periaatteiden noudattamisen.

Elinkaarihanke aloitetaan tarveselvityksellä. Elinkaarihankkeen edellytyksenä on palvelun tarpeen todentaminen, tulevaisuuden tarpeiden kartoitus ja mahdollisesti syntyvät

riskit. Tarveselvityksessä selvitetään edellä mainitut asiat, jotka mahdollistavat elinkaarihankkeen käyttämisen. Tarveselvityksen jälkeen tehdään hankesuunnittelu, jossa määritellään hankkeen aikataulut, sopimuskauden pituus ja laajuus. Lisäksi selvitetään alustava kustannusarvio.

Hankesuunnittelun jälkeen suoritetaan tarjouskilpailun valmistelu, jossa valmistellaan tarjouspyyntö ja laaditaan hankintailmoitus. Tarjouspyynnön on oltava selkeä, jotta sen pohjalta tehdyt tarjoukset ovat mahdollisimman hyvin vertailukelpoisia.

Tarjousvaiheessa tilaaja lähettää halutuille asiakkaille tarjouspyyntöasiakirjat. Tarjouksista käy ilmi kohteen suunnittelu ja mahdolliset keinot rakennettavan kohteen käyttökustannuksien minimoimisesta. Tilaaja käy jokaisen tarjoajan kanssa neuvotteluja, joissa selvitetään parhaat keinot projektin läpivientiin halutulla tavalla.

Kun tilaaja on valinnut parhaan tarjouksen, tehdään päätöksestä kirjallinen versio jossa käydään läpi päätökseen vaikuttaneet seikat. Hankintapäätöksen valmistumisen jälkeen voidaan tehdä palvelusopimus tilaajan ja tuottajan välille. [20; 21.]

3.4.2 Toteutusvaihe

Toteutusvaiheessa rakennuttaja keskittyy urakan toteuttamiseen. Rakennuttaja vastaa suuren projektin organisoimisesta, tehokkaasta tuottamisesta ja laajan kokonaisuuden hallinnasta. Rakentaja toteuttaa työvaiheet alihankkijayritysten avulla. Toteutusvaihe pyritään suorittamaan tehokkaasti, jotta tie saataisi mahdollisimman nopeasti liikenteen käyttöön ja näin tieyhtiö alkaisi saamaan korvausta tilaajalta tien rakentamisesta ja ylläpitämisestä. Nopea suunnittelu ja rakentaminen vaativat riittävästi resursseja ja vahvaa koordinoitua tieyhtiöltä. Rakentamisen tiukka aikataulu vaatii rakennuttajan tiukan organisoimisen lisäksi tieyhtiön aktiivista mukanaoloa. Koska rakennusvauhti on projekteissa nopeaa, myös kustannusvolyymit nousevat vauhdilla, joten tieyhtiön on järjestettävä rahoitukset niin että rahaliikenne toimii. Tieyhtiö vastaa projektin etenemisestä ja rakennuttajan tehtävistä projektin aikana. Rakentamisen aikana tilaajalle ja rahoittajille raportoidaan rakentamisen etenemisestä. [19; 20; 21.]

3.4.3 Kunnossapitovaihe

Palvelusopimuksen mukaisesti tieosien liikenteelle oton jälkeen alkaa kunnossapitovaihe. Kunnossapitovaiheen aikana tieyhtiö vastaa tien hoidosta ja ylläpidosta. Tien kunnossapidolle annetut kriteerit on sovittu palvelusopimuksessa. Mikäli tielle asetetut vaatimukset jostain syystä muuttuvat kunnossapitovaiheen aikana, sovitaan muutostöistä erikseen.

Merkittävimpiä ylläpitotoimia on tien päällysteen uusiminen jonka sykli on suunniteltu jo sopimusta tehdessä. Tieyhtiön pyrkimyksenä on optimoida hoitokulut ja aikataulu siten, että mahdollisimman pienellä panostuksella saataisiin tie pysymään annettujen vaatimusten mukaisessa kunnossa mahdollisimman pitkään.

Pitkän kunnossapitajakson loputtua selvitetään eri rakenneosien luovutuskunto. Sopimuksen mukaisesti eri rakenteilla tulee olla käyttöikä riittävästi jäljellä. Mikäli rakenteet eivät vastaa haluttua laadullista tasoa sopimuksen lopussa, tieyhtiö huoltaa tien luovutuskuntoiseksi ylläpidollisten toimien avulla. [19; 20; 21.]

3.5 Elinkaarihankkeet Suomessa

Suomessa elinkaarimallia on käytetty kolmessa tiehankkeessa. Suomen ja samalla Pohjoismaiden ensimmäinen elinkaarimallilla toteutettu tiehanke on Vt 4 Järvenpää–Lahti-moottoritie. Moottoritien rakentaminen alkoi vuonna 1997, ja palvelusopimuskausi päättyi 2012. Tuolloin tie sai reilusti huomiota, koska se valmistui nopeammin kuin alun perin odotettiin ja tien turvallisuus lisääntyi merkittävästi. Moottoritie koettiin laadukkaaksi, ja toteuttajan mukaan hanke oli taloudellisesti kannattava.

Toinen elinkaarimallilla toteutettu tiehanke E18 Muurla–Lohja valmistui vuonna 2009. Tieosuuden kunnossapitosopimus kestää vuoteen 2029 saakka, jolloin tieosuus luovutetaan liikennevirastolle. Muurla–Lohja-moottoritiehanke parantaa huomattavasti idän ja lännen välistä liikennöintiä ja on tärkeä yhteys kansainvälisen liikenteen kannalta. Moottoritie on 50 kilometrin mittainen ja sisältää yli viisi kilometriä tunneleita. Myös tämä tiehanke saatiin rakennettua huomattavasti alkuperäistä arviota nopeammin.

Kolmas elinkaarimallilla toteutettu hanke on itäisellä E18-osuudella sijaitseva E18 Koskenkylä–Kotka-moottoritie. Myös tämän tieyhteyden valmistuminen liikenteen käyttöön toteutui nopeasti. Tieyhteys valmistui vuonna 2014, ja palvelusopimus jatkuu vuoteen 2026 asti. Hankkeeseen perustettu tieyhtiö Valtatie 7 vastaa muun muassa tien hoidosta ja ylläpidosta, kuten auraus, liukkauden poisto, ympäristön hoito, valaistus, ja ylläpidollisista toimenpiteistä kuten päällysteen uusimisesta. [18; 19; 20; 22.]

3.6 Elinkaarimallin hyödyt ja haitat

Elinkaarimallin mukaisesti tieyhtiö vastaa tien kunnossapidosta pitkää rakentamisen jälkeä. Pitkä kunnossapitojakso motivoi ja mahdollistaa tehokkaammin uusien rakennusteknisten innovaatioiden syntyminen ja toteuttamisen, kun yritys vastaa rakentamisen tuloksista pidempään kuin normaalissa rakennusprojektissa. Innovaatiot mahdollistuvat paremmin myös, koska lopputuotetta ei ole määritellä teknisesti yksityiskohtaisesti vaan lopputuotteen kriteerit ovat sen palvelutasossa ja laadussa. Pitkä kunnossapitojakso myös kannustaa yritystä laadukkaampaan, kestävämpään ja taloudellisempaan rakentamiseen ja ylläpitoon.

Koska tiestä maksettava palvelumaksu on sidottu liikenneväylän käytettävissä olemiseen ja laatuun, palvelutuottaja pyrkii pitämään tien hyvässä kunnossa ja avoinna liikenteelle ympäri vuoden. Pitkä kunnossapitojakso myös kannustaa huoltotoimenpiteiden toteuttamiseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kulujen minimoimiseksi ja tien laadun ylläpitämiseksi.

Elinkaarimallilla toteutetut hankkeet ovat valmistuneet nopeasti liikenteen käyttöön. Mallin mukaisesti tilaaja maksaa palvelumaksua vasta liikenteelle avatusta liikenneväylästä, joten rakennuttaja pyrkii saamaan tieyhteyden liikenteelle avoimeksi mahdollisimman nopeasti.

Elinkaarimallin huonoiksi puoliksi voidaan lukea työläs hankintamenettely sopimuksen aikaansaamiseksi. Sopimuksen valmisteluun tilaajalta kuluu paljon aikaa monien eri välivaiheiden takia, ja palveluntarjoajat joutuvat vastaavasti näkemään paljon vaivaa tarjouksen laatimiseksi.

Tilaaajalla on mahdollisuus hankkeen vaikuttamiseen lähinnä vain tarjousvaiheessa. Tästä syystä tilaajan on määriteltävä tarkasti väylälle asetetut toiminnalliset vaatimukset jo sopimusvaiheessa, jotta niihin ei tarvitse enää jälkikäteen tehdä merkittäviä muutoksia.

Palvelumaksun maksaminen vasta valmiista tuotteesta voidaan myös ajatella negatiivisena asiana. Palveluntuottaja pyrkii saamaan tien liikennekäyttöön kiireellä, joka voi myös vaikuttaa laatuun huonontavasti.

Palveluntuottaja voi myös karsia rakentamisen laatua ajan säästämiseksi ja kustannusten pienentämiseksi. Tällöin haluttu laatutaso voidaan saavuttaa kunnossapidon keinoin. Palveluntarjoajalle voi olla taloudellisempaa ylläpitää laatutasoa aktiivisella kunnossapidolla kuin laadukkaalla rakentamisella, joka vähentäisi kunnossapidon tarvetta. [18; 19; 20; 22.]

Taulukkoon 1 on koottu elinkaarimallin käytön hyödyt ja haitat niiden havainnollistamisen helpottamiseksi.

Taulukko 1. Elinkaarimallin hyödyt ja haitat.

Hyödyt	Haitat
Pitkä kunnossapitojakso samalla vastuutaholla kannustaa laadukkaaseen työhön	Työläs hankintamenettely
Mahdollistaa uusien innovaatioiden käytön läpi väylän elinkaaren	Tilaaajan täytyy määrittää väylälle annettavat toiminnalliset kriteerit jo sopimusvaiheessa
Väylän kuntoa ylläpidetään aktiivisesti sovittun laatusena palvelumaksujen säilymiseksi	Palvelumaksun maksaminen vasta valmiista väylästä saattaa vaikuttaa tien laatuun
Rakennushankkeet toteutetaan nopeasti ja tarkasti suunnitellen	Mahdollinen ajan ja kustannusten säästäminen väylän laadun kustannuksella

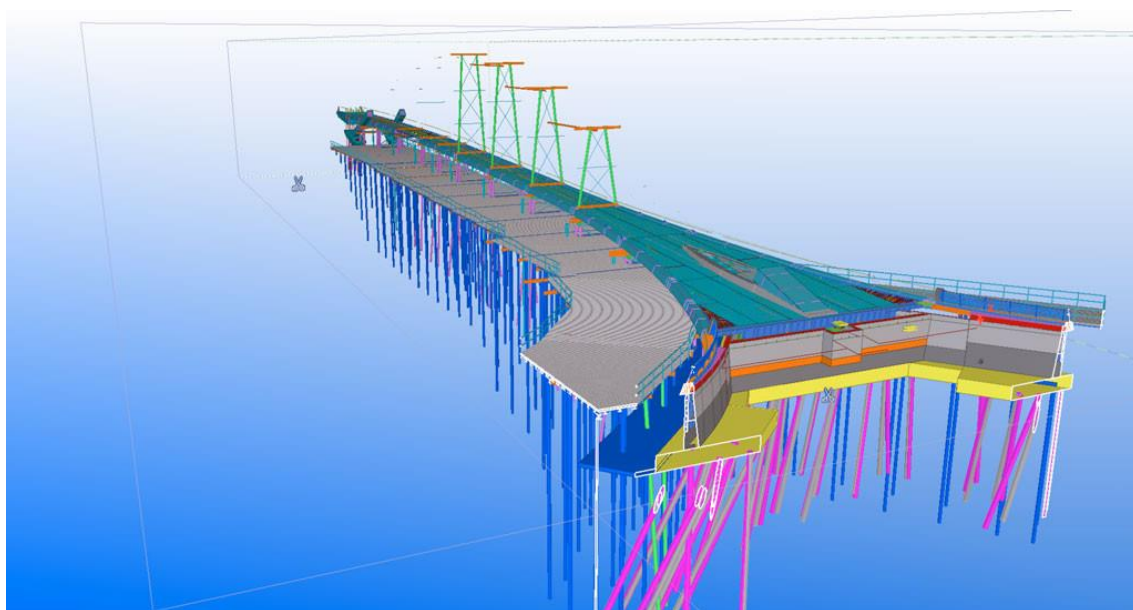
4 Tietomallintaminen

Tietomallintaminen tulee englanninkielisistä sanoista Building Information Model, BIM, joka tarkoittaa rakennuksen tietomallia. Tietomallilla tarkoitetaan digitaalista kolmiulotteisessa muodossa olevaa kokonaisuutta, josta käy ilmi rakenteen muodon lisäksi kaikki

tiedot rakennuksesta, sen prosesseista ja rakennusosien ominaisuuksista. Tietomalliin kootaan kaikki rakennuskohteesta tehdyt suunnitelmat ja rakentamisen edetessä kaikki suoritettut toimenpiteet. Suunnitelmien kokonaisuutta kutsutaan tietomalliksi, ja tämän avulla kohteen kaikki tiedot ovat helposti saatavilla. Tietomallista saatua tietoa pystytään hyödyntämään niin rakentamisen, ylläpidon kuin purkuvaiheenkin aikana.

Tietomallin voi liittää kaiken tarpeellisen tiedon rakentamisesta, kuten aikataulut, työn edistyminen, hankinnat ja tiedot käytetyistä rakennusmateriaaleista. Tietomalliin kerättyä dataa hyödyntämällä pystytään tehostamaan rakennusprosessia koko elinkaaren ajan.

Käyttäjä pystyy poimimaan tietomallista vain tarvitsemansa tiedot käyttötarpeensa mukaan. Koska käyttäjä pystyy itse valitsemaan haluamansa tiedot esille tietomallista, hän saa tulostettua juuri omiin tarpeisiinsa sopivia piirustuksia kohteesta. Kuvan 8 mukaisessa tietomallissa on yhdistetty monen eri suunnittelijan tekemää suunnitelmaa kohteesta. Tietomalliin on suunniteltu esimerkiksi visuaalisia tekijöitä, sähkötekniikkaa, kantavuussuunnitelmia ja rakennustekniikkaa. Tietomallista voi halutessaan poimia näkyville ainoastaan tarvitsemansa tiedot, esimerkiksi rakenteen sähkökuvat tai tiedot rakenteen pohjaelementeistä.



Kuva 8. Tietomalli Isoisänsillasta [22]

Tietomallintamisen tarkoituksena on tehostaa kaikkia elinkaaren aikaisia toimenpiteitä. Esimerkiksi suunnittelun aikana tietomalli mahdollistaa eri alojen suunnittelijoiden aktiivisen yhteistyön ja helpottaa suunnitelmien vertailua, yhteensopivuutta ja mahdollisten virheiden havaitsemista. Rakennusvaiheessa tietomalli puolestaan tarjoaa rakentajalle mahdollisuuden saada juuri sellaisia rakennuspiirroksia kuin tämä tarvitsee. Ylläpidon aikana taas mahdolliset korjaustoimet ja vikojen selvitys on helpompaa, kun tietomallista selviää kaikki tiedot kohteen rakenteista. Myös rakenteiden purkaminen on helpompi suunnitella tietomallin tarjoamien tietojen avulla, kun käytetyt rakenteet ja rakennusmateriaalit ovat entuudestaan tiedossa. [23; 24; 25; 26.]

4.1 Tietomallin eri vaiheet

Tietomallin haluttu sisältö vaihtelee sen mukaan mihin tarpeeseen sitä aiotaan käyttää. Koska tietomallia pystyy hyödyntämään koko rakenteen elinkaaren ajan, tulee sitä myös päivittää suunnittelun ja rakentamisen edetessä. Tietomallin tietosisältö lisääntyy projektin edetessä tarvehankinnasta toteuttamiseen. Tietomallin sisältö etenee karkeasti näin:

- 1) Ensimmäiseksi toteutetaan vaatimusmalli, josta selviävät hankkeelle asetetut vaatimukset. Vaatimusmallin tulee olla vähintään taulukkomuodossa, ja se sisältää kaikki kohteelle asetetut konkreettiset vaatimukset. Näitä vaatimuksia peilataan kaikkiin kohteista tehtyihin suunnittelumalleihin, jotta lopputulos vastaa vaatimuksia.
- 2) Vaatimusmallin pohjalta toteutetaan varsinaiset suunnittelumallit. Suunnittelumalleilla tarkoitetaan eri suunnittelijoiden luomia tietomalleja, kuten arkkitehtimalli, rakennemalli ja talotekniikkamalli. Nämä suunnittelumallit sisältävät tiedon rakenteen geometrisistä muodoista ja ominaisuuksista.
- 3) Yhdistelmämalli toteutetaan yhdistämällä kaikkein suunnittelijoiden tekemät suunnitelmamallit. Yhdistelmämallia tutkimalla pystytään helposti havainnoimaan suunnitelmien yhteensopivuus ja huomaamaan mahdolliset virheet.
- 4) Yhdistelmämallia hyödyntämällä voidaan tehdä rakentamisen aikana käytettävä tuotantomalli. Tuotantomallia hyödynnetään rakennusprojektin toteuttamiseen.

Siihen voidaan sitoa tieto esimerkiksi rakentamisen aikatauluista, tarvittavista resursseista ja sen avulla voidaan havainnollistaa rakentamista.

- 5) Rakentamisen valmistuttua kaikki toteutunut rakennustieto tallennetaan tietomalliin ja näiden pohjalta luodaan ylläpitomalli. Ylläpitomalliin tallennetaan kohteen käytön ja ylläpidon aikaiset tehtävät, muutokset ja peruskorjaukset. Ylläpitomallia pidetään ajan tasalla suoritettujen ylläpitotoimien toteuduttua. [24; 25.]

4.2 Tietomallintamisen hyödyntäminen elinkaarihankkeessa

Tietomallintaminen mahdollistaa tehokkaan suunnittelun ja toteutuksen koko elinkaaren hankkeen ajan. Tietomallintamisen avulla kaikki rakennuskohteesta oleva data on yhdessä paikassa, ja näin data on helposti kaikkien osallisten saatavilla missä vaiheessa tahansa. Tietomalliin tallennetaan suunnitelmien jälkeen rakentamisen ja rakennusaikataulun toteutuminen, joka auttaa rakennusprojektin aikataulun ja kustannusten seuraamisesta. Rakentamisen toteuduttua tietomallista selviää rakennustoteutuma kohteesta, ja voidaan alkaa seuraamaan tehtyjä ylläpitosuunnitelmia. Toimiessaan tietomallintaminen tuo näin ollen hyvän mahdollisuuden digitaaliseen viestintään rakenteen elinkaaren aikana. Tietomalli myös mahdollistaa tiedon helpon saatavuuden, suunnitelmien keskinäisen tutkimisen ja toimivuuden vertailun, rakennusprojektin etenemisen seuraamisen ja ylläpidon suunnittelemisen ja toteutumisen yhteen sähköiseen muotoon.

Tietomallintaminen on kuitenkin vielä melko uusi asia suurelle osalle henkilöstöstä jotka rakennusprojekteissa ovat mukana. Näin ollen tietomallintamisen käyttö elinkaarihankkeessa tuo myös haasteita ja osaamistarpeita:

- Koulutuksen puute: tietomallin käyttö ja ylläpitäminen vaatii käyttäjältä ymmärrystä ja osaamista mallin käytöstä. Jos mallin käyttöä ei osata, tiedon hakeminen muuttuu aikaa vieväksi ja mahdollisesti turhauttavaksi prosessiksi eikä sitä haluta tehdä. Kaikkien tietomallista tietoa tarvitsevien pitäisi osata käyttää ja päivittää mallia sujuvasti, jotta mallin käyttö olisi tehokasta. Mallin ylläpito suunnitelmien muuttuessa ja rakentamisen edetessä on myös ensiarvoisen tärkeää, jotta sen tietosisältö olisi aina mahdollisimman ajantasainen.

- Suunnittelijan rooli: suunnittelijan rooli tietomallintamisessa on suuri. Suunnittelijan tulisi ymmärtää suunnitteluvaiheessa, mikä tieto on oleellista hankkeen muille osapuolille. Suunnittelijoiden tulisi tietää tarkasti mallin käyttötarkoitus ja laajuus. Suunnitelmien tekeminen ja turhan tiedon tarkka mallintaminen vie paljon aikaa, ja näin tietomallintaminen voidaan nähdä ajankäytöllisesti liian raskaana työnä.
- Kokemuksen puute: tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa on melko uusi innovaatio. Tästä syystä datan käyttäjillä ei vielä ole paljoa kokemusta mallin käytöstä, joten käyttö voi tuntua takkuavalta ja hitaalta. Myös asenteet tietomallia kohtaan voivat olla huonot, koska ei joko haluta opetella uutta tai tiedon saaminen tietomallista ulos ja tiedon lisääminen tietomalliin tuntuu työläältä. [28.]

5 Yhteenveto

Suomessa toteutetut elinkaarimallit ovat toteutuneet laadukkaasti, ja näin elinkaarimalli on osoittautunut toimivaksi. Heikkoutena elinkaarimallissa ovat kuitenkin perinteistä mallia korkeammat rahoituskustannukset. Kuitenkin mallin avulla saavutettava kustannustehokkuus ja nopeushyödyt kattavat yksityisrahoituksen aiheuttamat kustannuslisät, kun mallia käytetään oikeantyyppisessä hankkeessa. Esimerkiksi elinkaarimallin ansiosta Suomessa on voitu toteuttaa sellaisia hankkeita, joiden toteuttaminen valtion toimesta ei olisi ollut mahdollista tarvittavassa aikataulussa.

Suomessa on vahvaa osaamista elinkaarihankkeen eri osa-alueille, kuten rahoitukseen, juridiikkaan, rakentamiseen ja kunnossapitoon. Osaamisen ylläpitämiseksi, kehittämiseksi ja hyödyntämiseksi elinkaarihankkeissa hankkeita pitäisi toteuttaa aktiivisesti.

Uusien tiehankkeiden toteuttamista elinkaarimallia hyödyntämällä ei ole tällä hetkellä julkaistu, mutta hyvin onnistuneiden hankkeiden, kuten E18:n tieosuuskien, ansiosta elinkaarimallin hyödyt tunnustetaan ja mallin käyttöä harkitaan entistä enemmän uusia infrahankkeita suunniteltaessa. Samalla periaatteella rakennettavia elinkaarivastuun sisältäviä hankkeita toteutetaan jatkuvasti muun muassa koulurakennusten ja muiden julkisten rakennusten rakentamiseksi. Ensimmäinen elinkaarimallilla toteutettu kohde oli Kunnikaantien lukion ja Keski-Espoon uimahallin yhdistetty elinkaarihanke vuonna 2001. Hyvin toimineen elinkaarihankkeen jälkeen kuntien kiinnostus elinkaarihankkeista kasvoi ja vuoteen 2017 mennessä toteutettuja kuntien hankkeita oli jo 45 kappaletta (Inspira 2007).

Tietomallintaminen on askel digitaaliseen kanssakäymiseen suunnittelijoiden ja rakentajien välillä. Sen hyödyt tunnustetaan ja sitä käytetään yhä useammissa projekteissa. Tietomallin käyttö ja mallintamiseen käytettävät ohjelmistot kehittyvät käytön ja tarpeen myötä. Tietomallin käyttö toimii erinomaisesti elinkaarimallin mukaiseen rakentamiseen jolloin suunnittelutyö halutaan tehdä mahdollisimman tarkasti ja tietomallia voidaan hyödyntää koko elinkaaren ajan. Tietomallintaminen tulee siksi mitä todennäköisimmin olemaan olennainen osa rakentamista, siihen liittyvää tiedon välitystä sekä elinkaarimallia tulevaisuudessa. [23; 27.]

Lähteet

- 1 Tieverkon elinkaarikustannusten hallinnan nykytila ja kehitystarpeet. 2009. Verkkoaineisto. Tiehallinto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/4000728-vtate_elinkaarikust_raportti.pdf> Luettu 15.10.2017.
- 2 Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki. 2011. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-38_tien_ja_radanpidon_web.pdf> Luettu 15.10.2017.
- 3 Wennström Jonas. 2014. Life Cycle Costing in Road Planning and Management: A Case Study on Collision-free Roads. Verkkoaineisto. <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:756353/FULLTEXT01.pdf>> Luettu 15.10.2017.
- 4 Haveri Olli. 2005. Elinkaaritarkastelut tiepäällysteiden ylläpidon ohjelmoinnissa. Diplomityö. Liikenne- ja kuljetustekniikan laitos. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/haveri06_elinkaaritark-paall.pdf> Luettu 20.10.2017.
- 5 Mitä on kestävä kehitys? Verkkoaineisto. Opettajien verkkopalvelu EDU. <<http://www03.edu.fi/aineistot/keke/yleistietoa/kestavakehitys.htm>> Luettu 20.10.2017.
- 6 Liikenteen ympäristövaikutukset. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. <[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan_ymparistohistoria/Liikenteen_ymparistovaikutukset\(15310\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan_ymparistohistoria/Liikenteen_ymparistovaikutukset(15310))> Luettu 15.11.2017.
- 7 Tiesuunnittelun tekniset mitoitusperusteet. 2012. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-50_tiesuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf> Luettu 15.11.2017.
- 8 Yleisten ja yksityisten teiden rajapinnan tarkastelu. 2005. Verkkoaineisto. Tiehallinto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200963-vrajapintatyon_paara-portti.pdf> Luettu 3.12.2018.
- 9 Elinkaarikustannukset ja painaumariskit tien perustamistavan valinnassa. 2004. Verkkolähde. Tiehallinto <<https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200870-velinkustuspainumar.pdf>> Luettu 8.1.2018.
- 10 InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
- 11 Tiesuunnitelma. 2010. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <<https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/12508280/TS-yleisesite.pdf/e39fae0a-b869-4e69-ab2c-5880df9152e0>> Luettu 8.1.2018.

- 12 Elinkaarikustannukset ja painaumariskit tien perustamistavan valinnassa. 2004. Verkkoaineisto. Tiehallinto. <<https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200870-velinkustpainumar.pdf>> Luettu 20.1.2018.
- 13 Inventointilaskelmat. Verkkoaineisto. Aalto Yliopiston opetusmateriaali. <<https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>> Luettu 20.1.2018.
- 14 Investoinnin kannattavuus. 2102. Verkkoaineisto. Yritystulkki. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf> Luettu 8.3.2018.
- 15 Tien geologinen suunnittelu. 2012. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf> Luettu 8.3.2018.
- 16 Saari Arto 2004. Elinkaarikustannusten laskenta. Verkkoaineisto. VTT. <virtual.vtt.fi/virtual/proj6/enviro2/rem/elinkaarikustannukset.doc> Luettu 12.3.2018.
- 17 Elinkaarimalli, tiehallinnon hankintastrategia. 2002. Verkkoaineisto. Tiehallinto. <<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139107/4312tie.pdf?sequence=1>> Luettu 12.3.2018.
- 18 Elinkaarimalli avaa uusia mahdollisuuksia. 2004. Verkkoaineisto. Tiehallinto. <<http://alk.tiehallinto.fi/e18/tiedostot/Elinkaarimalli-esite.pdf>> Luettu 20.3.2018.
- 19 Lehtikankare, Hannu & Nygård, Magnus. 2013. Elinkaarimalli. Verkkoaineisto. Liikennevirasto <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130201.pdf>> Luettu 25.3.2018.
- 20 Junnonen Juha-Matti ja Laine Ville 2006. Julkisten hankkeiden hankintaprosessi. Elinkaarimallit. Helsinki: Rakennusteollisuuden kustannus.
- 21 E18 Koskenkylä-Kotka hankejulkaisu. 2015. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <<https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23087/E18+Koskenkyl%C3%A4-Kotka+julkaisu/55dc94fa-9902-4cb3-a5d0-cae2876aeb56>> Luettu 3.4.2018.
- 22 Alajoki Ville. 2016. Tietomallintaminen on muutakin kuin koneohjausta. Verkkoaineisto. Building smart Finland. <<https://buildingsmart.fi/tietomallintaminen-muutakin-kuin-koneohjausta/>> Luettu 15.5.2019.
- 23 Ristolainen Kari. 2008. Tietomalli kiinteistöliiketoiminnassa ja rakentamisessa. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080306.pdf>> Luettu 20.5.2019.

- 24 Rakennuksen tietomalli. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen_tietomalli> Luettu 20.5.2019
- 25 Tietomalliohje suunnittelijoille. 2016. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/BUbIXKnNP/TRE_TIKE_-_tietomalliohje_suunnittelijoille.pdf> Luettu 25.5.2019.
- 26 Yleiset tietomallivaatimukset. YTV. 2012. Verkkoaineisto. Building Smart. <https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_13_rakentaminen.pdf> Luettu 20.6.2019.
- 27 Tompuri Vesa. 2018. Kunnat ja hallitus suosivat elinkaarimallia mutta urakoitsijoiden halukkuus on vähäistä. Verkkoaineisto. Rakennuslehti 4/2018. <<https://www.rakennuslehti.fi/2018/04/kunnat-ja-hallitus-suosisivat-elinkaarimallia-mutta-urakoitsijoiden-tarjoushalukkuus-on-vahaista/>> Luettu 6.10.2019

Yhden suorituksen diskonttaustekijä

Vuosi	Korko(%)															Vuosi
	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	30	40	
1	1,000	0,990	0,980	0,971	0,962	0,952	0,943	0,926	0,909	0,893	0,877	0,862	0,833	0,769	0,714	1
2	1,000	0,980	0,961	0,943	0,925	0,907	0,890	0,857	0,826	0,797	0,769	0,743	0,694	0,592	0,510	2
3	1,000	0,971	0,942	0,915	0,889	0,864	0,840	0,794	0,751	0,712	0,675	0,641	0,579	0,455	0,364	3
4	1,000	0,961	0,924	0,888	0,855	0,823	0,792	0,735	0,683	0,636	0,592	0,552	0,482	0,350	0,260	4
5	1,000	0,951	0,906	0,863	0,822	0,784	0,747	0,681	0,621	0,567	0,519	0,476	0,402	0,269	0,186	5
6	1,000	0,942	0,888	0,837	0,790	0,746	0,705	0,630	0,564	0,507	0,456	0,410	0,335	0,207	0,133	6
7	1,000	0,933	0,871	0,813	0,760	0,711	0,665	0,583	0,513	0,452	0,400	0,354	0,279	0,159	0,095	7
8	1,000	0,923	0,853	0,789	0,731	0,677	0,627	0,540	0,467	0,404	0,351	0,305	0,233	0,123	0,068	8
9	1,000	0,914	0,837	0,766	0,703	0,645	0,592	0,500	0,424	0,361	0,308	0,263	0,194	0,094	0,048	9
10	1,000	0,905	0,820	0,744	0,676	0,614	0,558	0,463	0,386	0,322	0,270	0,227	0,162	0,073	0,035	10
11	1,000	0,896	0,804	0,722	0,650	0,585	0,527	0,429	0,350	0,287	0,237	0,195	0,135	0,056	0,025	11
12	1,000	0,887	0,788	0,701	0,625	0,557	0,497	0,397	0,319	0,257	0,208	0,168	0,112	0,043	0,018	12
13	1,000	0,879	0,773	0,681	0,601	0,530	0,469	0,368	0,290	0,229	0,182	0,145	0,093	0,033	0,013	13
14	1,000	0,870	0,758	0,661	0,577	0,505	0,442	0,340	0,263	0,205	0,160	0,125	0,078	0,025	0,009	14
15	1,000	0,861	0,743	0,642	0,555	0,481	0,417	0,315	0,239	0,183	0,140	0,108	0,065	0,020	0,006	15
16	1,000	0,853	0,728	0,623	0,534	0,458	0,394	0,292	0,218	0,163	0,123	0,093	0,054	0,015	0,005	16
17	1,000	0,844	0,714	0,605	0,513	0,436	0,371	0,270	0,198	0,146	0,108	0,080	0,045	0,012	0,003	17
18	1,000	0,836	0,700	0,587	0,494	0,416	0,350	0,250	0,180	0,130	0,095	0,069	0,038	0,009	0,002	18
19	1,000	0,828	0,686	0,570	0,475	0,396	0,331	0,232	0,164	0,116	0,083	0,060	0,031	0,007	0,002	19
20	1,000	0,820	0,673	0,554	0,458	0,377	0,312	0,215	0,149	0,104	0,073	0,051	0,026	0,005	0,001	20
21	1,000	0,811	0,660	0,538	0,439	0,359	0,294	0,199	0,135	0,093	0,064	0,044	0,022	0,004	0,001	21
22	1,000	0,803	0,647	0,522	0,422	0,342	0,278	0,184	0,123	0,083	0,056	0,038	0,018	0,003	0,001	22
23	1,000	0,795	0,634	0,507	0,406	0,326	0,262	0,170	0,112	0,074	0,049	0,033	0,015	0,002	0,000	23
24	1,000	0,788	0,622	0,492	0,390	0,310	0,247	0,158	0,102	0,066	0,043	0,028	0,013	0,002	0,000	24
25	1,000	0,780	0,610	0,478	0,375	0,295	0,233	0,146	0,092	0,059	0,038	0,024	0,010	0,001	0,000	25
26	1,000	0,772	0,598	0,464	0,361	0,281	0,220	0,135	0,084	0,053	0,033	0,021	0,009	0,001	0,000	26
27	1,000	0,764	0,586	0,450	0,347	0,268	0,207	0,125	0,076	0,047	0,029	0,018	0,007	0,001	0,000	27
28	1,000	0,757	0,574	0,437	0,333	0,255	0,196	0,116	0,069	0,042	0,026	0,016	0,006	0,001	0,000	28
29	1,000	0,749	0,563	0,424	0,321	0,243	0,185	0,107	0,063	0,037	0,022	0,014	0,005	0,000	0,000	29
30	1,000	0,742	0,552	0,412	0,308	0,231	0,174	0,099	0,057	0,033	0,020	0,012	0,004	0,000	0,000	30
31	1,000	0,735	0,541	0,400	0,296	0,220	0,164	0,092	0,052	0,030	0,017	0,010	0,004	0,000	0,000	31
32	1,000	0,727	0,531	0,388	0,285	0,210	0,155	0,085	0,047	0,027	0,015	0,009	0,003	0,000	0,000	32
33	1,000	0,720	0,520	0,377	0,274	0,200	0,146	0,079	0,043	0,024	0,013	0,007	0,002	0,000	0,000	33
34	1,000	0,713	0,510	0,366	0,264	0,190	0,138	0,073	0,039	0,021	0,012	0,006	0,002	0,000	0,000	34
35	1,000	0,706	0,500	0,355	0,253	0,181	0,130	0,068	0,036	0,019	0,010	0,006	0,002	0,000	0,000	35
36	1,000	0,699	0,490	0,345	0,244	0,173	0,123	0,063	0,032	0,017	0,009	0,005	0,001	0,000	0,000	36
37	1,000	0,692	0,481	0,335	0,234	0,164	0,116	0,058	0,029	0,015	0,008	0,004	0,001	0,000	0,000	37
38	1,000	0,685	0,471	0,325	0,225	0,157	0,109	0,054	0,027	0,013	0,007	0,004	0,001	0,000	0,000	38
39	1,000	0,678	0,462	0,316	0,217	0,149	0,103	0,050	0,024	0,012	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	39
40	1,000	0,672	0,453	0,307	0,208	0,142	0,097	0,046	0,022	0,011	0,005	0,003	0,001	0,000	0,000	40
41	1,000	0,665	0,444	0,298	0,200	0,135	0,092	0,043	0,020	0,010	0,005	0,002	0,001	0,000	0,000	41
42	1,000	0,658	0,435	0,289	0,193	0,129	0,087	0,039	0,018	0,009	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	42
43	1,000	0,652	0,427	0,281	0,185	0,123	0,082	0,037	0,017	0,008	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	43
44	1,000	0,645	0,418	0,272	0,178	0,117	0,077	0,034	0,015	0,007	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	44
45	1,000	0,639	0,410	0,264	0,171	0,111	0,073	0,031	0,014	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	45
46	1,000	0,633	0,402	0,257	0,165	0,106	0,069	0,029	0,012	0,005	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	46
47	1,000	0,626	0,394	0,249	0,158	0,101	0,065	0,027	0,011	0,005	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	47
48	1,000	0,620	0,387	0,242	0,152	0,096	0,061	0,025	0,010	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	48
49	1,000	0,614	0,379	0,235	0,146	0,092	0,058	0,023	0,009	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	49
50	1,000	0,608	0,372	0,228	0,141	0,087	0,054	0,021	0,009	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	50
60	1,000	0,550	0,305	0,170	0,095	0,054	0,030	0,010	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	60
70	1,000	0,498	0,250	0,126	0,064	0,033	0,017	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	70
80	1,000	0,451	0,205	0,094	0,043	0,020	0,009	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	80
90	1,000	0,408	0,168	0,070	0,029	0,012	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	90
100	1,000	0,370	0,138	0,052	0,020	0,008	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	100
150	1,000	0,225	0,051	0,012	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	150
200	1,000	0,137	0,019	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	200
300	1,000	0,051	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	300
400	1,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	400
500	1,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	500
	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	30	40	