



# **Metsätien rakentaminen kustannustehokkaasti ja kestäväksi**

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Metsätalousinsinööri (AMK)

Kevät, 2025

Miko Kakko

Metsätalousinsinööri

Tekijä Miko Kakko

Vuosi 2025

Työn nimi Metsätienrakentaminen kustannustehokkaasti ja kestäväksi

Ohjaaja Antti Sipilä

---

Opinnäytetyössä tutkitaan, miten metsätien kustannuksia saadaan pienennettyä materiaalin valinnoilla ja tien linjauksella. Työ on tutkimuksellinen, jota kirjallisuuskatsaus edustaa. Työn toimeksiantajana toimii Maanrakennus Markus Kauppi Oy. Metsäteiden rakentamiseen tarkoitettu tuki poistui käytöstä 1.1.2025. Opinnäytetyö on ajankohtainen, koska on entistäkin tärkeämpää tarkastella metsätien kustannuksia.

Opinnäytetyössä käydään metsätien rakentamisen eri vaiheita läpi, jotta saadaan mahdollisimman kattava käsitys metsätien rakentamisesta. Suunnitteluvaiheessa pystytään vaikuttamaan metsätien kustannuksiin. Metsätien rakentaminen aloitetaan rakentamalla alusrakenne. Rakentaminen tapahtuu kaivamalla ojamaata tien pohjaksi. Tasoittaminen ja tiivistäminen on tärkeä osa alusrakenteen rakentamista, jotta päällysrakenne voidaan tehdä mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Päällysrakenne voidaan rakentaa rakentamalla kerrokset erikseen. Eristys- ja suodatinkerros estää kapillaarisen veden nousun tien rakenteisiin ja estää päällysrakenteen sekoittumisen tien alusrakenteisiin. Jakava ja kantava kerros jakaa tiehen kohdistunutta kuormitusta pohjamaahan, sekä toimii samalla kantavana rakenteena. Kulutuskerros on tien ylin kerros, joka tekee tien pinnasta tasaisen ja kantaa kuormitusta. Pohjamaan kantavuuden ja routimattomuuden salliessa alusrakenteen rakentamisen jälkeen voidaan suorittaa pelkkä sorastus, jossa jakava ja kantava kerros sekä kulutuskerros ovat samassa kerroksessa.

Metsätien rakentamisessa on tärkeää huomioida tienkäyttäjien tarpeet. Metsätien rakenteiden valintaan vaikuttaa tien vaatima kantavuusvaatimus. Savi- ja silttimaalle rakennettavan metsätien materiaalikustannukset ovat 40–52 prosenttia kalliimmat kuin tien rakentaminen sora- ja hiekalle. Sorastus vähentää käytettävän materiaalin tarvetta 0,5 tonnia metriä kohden. Metsätien säännöllinen kunnostus pitää tien kestävässä kunnossa. Urapainaumien syvyys ei saa olla yli 40 millimetriä. Mikäli urat ovat syvempiä, tien kerrokset sekoittuvat ja tällöin tien kantavuus heikkenee. Savi- ja silttimaille metsätietä rakentaessa materiaalikustannukset nousevat. Metsätien linjauksessa pystytään vaikuttamaan merkittävästi materiaalikustannuksiin.

Avainsanat Metsätie, rakentaminen, sorastus, kantavuus ja kustannustehokkuus

Sivut 35

Forestry engineer

Author Miko Kakko

Year 2025

Subject Building Forest Roads in a Cost-Effective and Sustainable Manner

Supervisors Antti Sipilä

---

This thesis interprets how the costs of building forest roads can be cut with material choices and road alignment. The thesis is in the form of a study which is represented by the included literature review. The client for the thesis is Maanrakennus Markus Kauppi Oy. Funding that supports the building of forest roads was removed 1.1.2025. Because of this it is even more important to look into the costs of building, which makes the thesis up to date.

The thesis covers different steps of building forest roads to get a good understanding of creating these roads in real life. Already in the designing stages the costs can be affected. Building of forest roads starts with creating a foundation. It's done by digging material from trenches for the road's base. Leveling and compressing is an important step in creating the foundation so the surface structure can be build cost effectively.

The surface structure can be built by making the different layers separately. The insulating and filtering layer prevents water from rising to the top and also prevents the structure from mixing with the foundation. The distribution and load-bearing layer distributes the applied forces to the foundational ground below and works as a load-bearing structure. The wearing course is the top level of a road which makes the road smooth and carries the load from above. If the ground below the foundation is strong enough and resistant to frost it is possible to only add a layer of gravel on top of the foundation, in which case the gravel works as the distribution and load-bearing layer and as the wearing course all in one.

In building forest roads it is important to note the needs of whoever will be using that specific road. The needed load-bearing capabilities affect the material choices for the road in question. When building on peat ground the material costs are 40-52 percent higher than building on a gravel base. Graveling for the surface structure lowers the need for building material by 0,5 tons per meter. Regular maintenance of a forest road keeps it in a sustainable condition. The depth of surface grooves shouldn't be more than 40mm, if the groove goes deeper, the different layers mix and the load-bearing capabilities are sacrificed. Building forest roads on clay and peat ground means higher material costs. Road alignment plays a big role in material expenses.

Keywords: forest road, building, graveling, load-bearing and cost effectiveness

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Metsätien vaatimukset .....	1
2.1	Metsätien suunnittelu .....	3
2.2	Metsätien rakentaminen .....	5
2.3	Metsätien kunnossapito .....	10
2.4	Kelirikko .....	11
2.5	Piennar- ja talvitie .....	12
3	Metsätien rakentamiseen käytettävien materiaalien vertailu .....	14
4	Metsätien rakentamiseen kustannustehokkaimmat ratkaisut .....	18
5	Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja pohdinta.....	21
	Lähteet.....	23

## 1 Johdanto

Metsäteiden rakentamiseen tarkoitettu tuki poistui 1.1.2025. Metsäteiden rakentamisen kustannusten tarkastelu on ajankohtainen aihe tuen poistumisen vuoksi. Metsänomistajille metsäteiden rakentamisen taloudelliset kustannukset kasvavat. Metsätien rakentaminen mahdollisimman edullisesti ei takaa parasta tulosta. Rakentamisessa ja materiaalivalinnoissa on huomioitava tienkäyttäjien tarpeet. Hakkuumääriä on syytä tarkastella metsätien vaikutusalueella, jolloin saadaan selville, mikä on puutavara-autojen aiheuttama rasitus tielle. Tienkäyttäjien määrä ja raskaankaluston osuus tienkäyttäjistä määrittää tien kantavuusluokituksen, jolla tarkoitetaan, kuinka paljon metsätie kestää kuormitusta.

Metsäteiden rakentamisesta on tehty useita erilaisia opinnäytetöitä. Metsäteiden rakentamisen tuen poistuttua on syytä tarkastella tarkasti materiaalikustannuksia. Opinnäytetyössä käydään läpi metsätien keskeisiä suunnitteluvaiheita. Metsätien rakentamisen vaiheita ja erilaisia rakennustekniikoita tarkastellaan, jotta löydetään mahdollisimman kustannustehokas vaihtoehto. Metsätien peruseräparannus ja kunnostustoimenpiteet ovat ratkaisevia tekijöitä tien kantavuuden säilyttämiselle.

Tutkimuskysymykset ovat: Mikä on kannattavin materiaalivalinta metsätien rakentamiseen? Miten metsätien linjaus vaikuttaa kustannuksiin? Opinnäytetyössä tarkastellaan materiaalien hintoja. Metsätiessä käytettävien materiaalien laatuja ja määriä tarkastellaan, jotta saadaan selville, miten metsätien linjaus vaikuttaa rakentamisen kustannuksiin. Opinnäytetyön tarkoitus on löytää oikeat materiaalit ja niille oikeat määrät, joita maanrakennusurakoitsijat pystyvät hyödyntämään metsätien rakentamisessa. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää myös tarkastella maapohjan vaikutusta metsätien rakentamisen kustannuksiin. Metsätien suunnittelija pystyy hyödyntämään tuloksia tien linjausta suunniteltaessa.

## 2 Metsätien vaatimukset

Metsäteitä on erilaisia ja ne ovat tarkoitettu pääosin metsätalouden kuljetuksia varten. Metsätie on parhaimmillaan kantava ympäri vuoden. Metsätiet kestävät erilaisia

olosuhteita. Joillekin metsäteille ei voi mennä raskaalla puutavara-autolla kelirikon aikana. Talvella metsäteinä käytetään myös jää- ja talviteitä. Talviteillä pystytään kuljettamaan puutavara-autolla puuta maan ollessa jäässä. Jäätie on puukuljetuksia varten tehty tie, joka kulkee vesistöjen yli, kun vesistö on riittävän jäässä ja kestää puutavara-autojen painon. (Metsäteho Oy, 2001, s. 13)

Metsäautotiet ovat osa tieverkkoa ja ne luokitellaan kolmeen erilaiseen tietyyppiin. Varsitie on puutavarakuljetuksia varten rakennettu tie, joka ei välttämättä kestä puutavara-auton painoa kelirikkoajana. Aluetie kerää varsiteiden liikenteen ja toimii suuremman alueen päätienä. Aluetie kestää yleensä syyskelirikon, mutta ei välttämättä kevätkelirikkoa. Varsi- ja alueteistä voidaan tehdä tarvittaessa kelirikonkestäviä. Runkotie kerää liikenteen alueteiltä ja kestää kelirikon. Runkoteilla on useimmiten muutakin liikennettä kuin metsätalouden käyttöön tarkoitettua. (Metsäteho Oy, 2001, s. 13)

Uuden metsätien rakentamiseen tarkoitettu tuki poistuu metsätalouden kannustejärjestelmästä eli Metkasta 1.1.2025. Lisäksi poistuu mahdollisuus rakentaa uutta yksityistietä perusparannuksen yhteydessä. Hallitus on päättänyt säästötoimista metsätalouden tukiin, jotka tulevat vähentymään 38,4 miljoonasta eurosta 35,8 miljoonaan euroon. Hallituksen mukaan Suomen metsätieverkosto on tarpeeksi kattava, eikä ole tarpeellista tukea uusien metsäteiden rakentamista. Metsätien perusparannuksen tuki kuitenkin säilyy ennallaan. Vuosina 2016–2023 metsäteiden rakentamisen tukia on maksettu 43 kilometrille. (Metsäkeskus, 2024)

Metsätien perusparannukseen tuki yhteishankkeissa on 70 prosenttia kustannuksista. Yhden maanomistajan omistaman tien perusparannuksen tuki on 6000 euroa kilometriltä. Perusparannetun tien päällysrakenteen pitää olla vähintään 3,6 metriä leveä. Perusparannushankkeen pituus tulee olla vähintään 500 metriä, jonka ei kuitenkaan tarvitse olla yhtenäinen matka. Kantavuuden pitää olla 50–80 MN/m<sup>2</sup>. Metsätalouden kuljetusten osuus tien käytöstä pitää olla vähintään 30 prosenttia. Metsätietä saa olla vaikutusalueella 15 metriä hehtaaria kohden ja 18 metriä hehtaaria kohden, jos maasto on vaikeakulkuista. (Metsäkeskus, 2024)

## 2.1 Metsätien suunnittelu

Metsätien rakentamisessa ollaan lupa-asioissa yhteydessä monen eri viranomaisen kanssa. Tiealueen luovutussovituksessa tarvitaan kaikkien maanomistajien kirjallinen suostumus metsätien rakentamiseen. Maa-aineksen ottoa valvoo kunnanhallitus tai sen nimeämä viranomainen. Mikäli tielinja kulkee kaava-alueella tarvitaan myös maisematyölupa. Metsäkeskuksen lupa tarvitaan, jos metsätien linjaus menee metsälain pykälä kymmenen määritellyn erityisen tärkeän elinympäristön lävitse. Vesistön ylittämiseen sillalla tai ojarummulla tarvitaan ympäristökeskuksen lupa. Metsätien liittymään tarvitaan väyläviraston lupa, jos se liittyy valtion tiehen, muuten liittymän lupa sovitaan yksityistien omistajan kanssa. (Metsäteho Oy, 2001, s. 17–20) Metsätien tekemiseen tarvitaan myös ympäristöselvitys, jossa on huomioitava tien vaikutukset ympäristöön (Metsäteho Oy, 2001, s. 28).

Metsätien suunnittelussa on tärkeää ottaa ympäristöasiat huomioon. Rakentamisessa pyritään kiertämään metsälain pykälä kymmenen kohteet. Kohteen kiertämisen aiheuttaessa suuria taloudellisia lisäkustannuksia tai se ei ole järkevää tehdä, voidaan hakea metsäkeskukselta erityislupaa metsätien rakentamista varten. Luonnon monimuotoisuudelle tärkeät elinympäristöt ovat usein kosteampia paikkoja metsässä. Kosteat paikat kannattaa kiertää, koska metsäautotien rakentaminen kostealle paikalle aiheuttaa lisäkustannuksia. (Metsäteho Oy, 2001, s. 25)

Luonnon monimuotoisuus ei merkittävästi muutu metsätien rakentamisesta talousmetsään, vaan voi jopa lisätä sitä. Jotkut hyönteiset pitävät lämpimästä ja avoimesta tien pinnasta. Tien reunoille voi kasvaa kulttuuribiotoopin kasveja, jotka lisäävät luonnon monimuotoisuutta. (Metsäteho Oy, 2001, s. 26). Metsätien vaikutusta maisemaan pyritään välttämään myötäilemällä maaston muotoja. Metsätien ojista voi päästä liikkeelle hienojakoista maa-ainesta, jonka pääsy vesistöön tulee estää. Metsätie ei yleensä vaikuta vesien virtauksiin, koska metsätie pyritään rakentamaan kuiville paikoille eikä esimerkiksi soille. (Metsäteho oy, 2001, s. 30)

Metsätien linjauksessa vaikutetaan tien kustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin. Tien linjauksessa pyritään välttämään soisia ja kivisiä paikkoja. Kosteille paikoille rakennettavan tien kustannukset ovat korkeammat, koska maasta täytyy saada kantavaa. Siihen tarvitaan enemmän maa-aineksia kuin kuivalle paikalle rakentamiseen. Pengerryks- ja leikkauskohtia pyritään välttämään. Tielinjan myötäillessä maaston muotoja päästään edullisempaan

vaihtoehtoon, sekä taloudellisesta ja ympäristön näkökulmasta. Pengerrys- ja leikkauskohdat rikkovat maisemaa ja lisäävät maansiirtotöistä aiheutuvia kustannuksia. Pengerryksellä tarkoitetaan tien kohottamista täytymaalla. Leikkauksella tarkoitetaan rinteessä tehtäviä maansiirtotöitä, joilla pohjamaasta saadaan tasainen. (Metsäteho Oy, 2001, s. 36) Metsätielle tehdään tarvittaessa kääntöpaikka, jossa voidaan puutavara-auto kääntää ympäri. Kääntöpaikkoja on erilaisia, ympyräkääntöpaikan halkaisija on 32 metriä ja T-mallisen kääntöpaikan pituus 65 metriä. (Strandström, 2017, ss. 2, 5)

Ennen metsätien rakentamista metsään on raivattava tilaa tielinjalle. Metsätien leveys sivuojineen on noin 12 metriä. Tielinjan rakentamiseen tarvittava leveys on 16 metriä, jotta vältetään juurivaurioilta. (Luke, 2021, s.75) Tien leveys riippuu tien luokituksesta. Tien leveydet perustuvat metsäteiden perusparannusvaatimukseen. Varsitien leveys tulee olla vähintään 3,6 metriä. Aluetien leveys tulee olla vähintään 3,6–4,0 metriä. Runkotien leveys tulee olla vähintään neljä metriä. (Tapio, 2017, s. 4) Metsätie kannattaa suunnitella kulkemaan kivennäismailla, jotta tien rakentamiseen voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin tielinjalla oleva maa-aines. Metsätien kustannusten vähentämiseksi tien alusrakenne rakennetaan tielinjalla olevasta maa-aineksesta ja pyritään vain pintakerroksen materiaalit tuomaan muualta. (Luke, 2021, s. 9)

Taulukko 1. Pohjamaan kantavuusluokitus, jossa esitetään eri maalajien kantavuusominaisuudet. (Strandström, 2017, s. 2)

Maalaji	Tarkennus	Routivuus	Kantavuus luokka	Kantavuus (MN/m <sup>2</sup> )
Kallio	kallio, Ka louhe, Lo murske, M	Routimaton	A	300
Sora	sora, Sr		B	200 (150...280)
Soramoreeni	routimaton, SrMr (routiva, luokka E)	Routimaton / Routiva	C	100 (70...150)
Hiekka	routimaton, Hk (hieno Hk routiva, luokka E)		D	50 (35...70)
Hiekkamoreeni	routiva, HkMr (routimaton, luokka D)		E	20 (15...35)
Siltti Silttimoreeni Savi	Si SiMr Sa	Routiva	F	10 (5...15)
Lieju Turve	Lj Tv		G	5

## 2.2 Metsätien rakentaminen

Metsätien rakentaminen tapahtuu kaivuun menetelmänä eli kaivinkoneella tai puskutraktorilla. Kaivinkoneella pystytään kaivamaan ojamaa tien pohjaksi. Puskutraktoria voidaan käyttää pengerrys- ja leikkauskohtien tekemisessä, sekä tien tasoitukseen. (Metsäteho Oy, 2001, s. 69) Kaivinkoneen tulisi olla noin 20 tonnia painava, jotta se

kykenee tehokkaaseen työskentelyyn, mutta ei ole liian iso metsään. Puskutraktorin tulisi olla noin 15–25 tonnia painava. (Tomperi, 2021, s. 8)

Metsätie voidaan jakaa kahteen rakenteeseen eli alus- ja päällysrakenteeseen. Alusrakenne on tarkoitus tehdä tielinjalla olevasta materiaalista, josta on tarkoitus tehdä tien pohja. Päällysrakenteeseen kuuluu eristys- ja suodatinkerros, jakava ja kantava kerros sekä kulutuskerros. Päällysrakenteen kerrokset voidaan joutua kuljettamaan metsätielle muualta. Päällysrakenteen kaikkia kerroksia ei rakenneta jokaisessa metsätiessä, vaan kerrosten rakentamiseen vaikuttaa tieluokitus. (Metsäteho Oy, 2001, s. 11)

Alusrakenteen rakentaminen kivennäismailla voidaan aloittaa, kun tielinja on raivattu metsään ja puut sekä risut kuljetettu pois. Alusrakenteen rakentaminen aloitetaan pintamaan raivaamisella. Kannot ja isot kivet eivät saa olla 0,7 metriä lähempänä tienpintaa. Varsiteillä kannot ja isot kivet eivät saa olla 0,5 metriä lähempänä tienpintaa. Jos kantoja ja isoja kiviä ei pystytä peittämään tiehen, voidaan ne haudata maisemoinnin ohella luiskiin tai kuljettaa pois. Raivauksen jälkeen kaivetaan tien sivuilta ojamaa tien pohjaksi. Kaivettu ojamaa tasoitetaan ja tiivistetään tien pohjaksi. Ennen päällysrakenteen rakentamista tien pitää olla kuiva. (Metsäteho Oy, 2001, s. 69)

Turvemailla alusrakenteen rakentamisessa käytetään erilaisia kantavuutta parantavia menetelmiä. Maanrakennuskankaita ja lujiteverkkoa voidaan käyttää kosteilla paikoilla apuna. Niitä käytettäessä tien pohjaa ei tarvitse kokonaan raivata, paitsi terävimmät kannot ja kivet tulee raivata pois. Tämän jälkeen ojamaa levitetään tien pohjaksi, jonka jälkeen levitetään maanrakennuskangas tai lujiteverkko. Risumatto on oksista rakennettava rakenne, joka auttaa kantavuudessa. Näretela ja telalava ovat puusta tehtyjä alustoja tienrunkoon, jotka auttavat myös tien kantavuudessa. (Metsäteho Oy, 2001, s. 70)

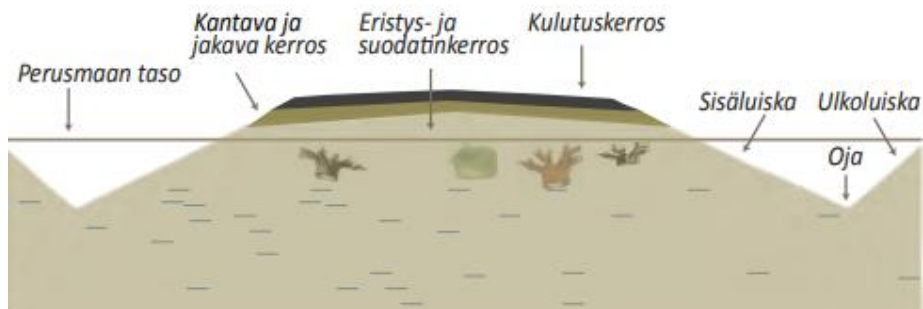
Alusrakenteen muotoilun, tiivistämisen ja kuivumisen jälkeen aloitetaan päällysrakenteen rakentaminen. Päällysrakenteen tarkoitus on jakaa liikenteen aiheuttamaa kuormitusta, sekä olla liikenteelle tasainen ja kantava. Päällysrakenteen rakentamisessa tulee ottaa huomioon tien kantavuustavoite. Päällysrakenteen materiaalivalinnat riippuvat kantavuustavoitteesta ja halutaanko metsätie kulkukelpoiseksi ympäri vuoden. Kantavuustavoitetta suunniteltaessa kannattaa huomioida metsätielle kulkevien muiden teiden kelirikokelpoisuus. (Metsäteho Oy, 2001 s. 59)

Eristys- ja suodatinkerroksen tehtävänä on estää kapillaarisen veden nousu tien ylimpiin rakenteisiin ja estää myös routivalla maalla tien päällysrakenteiden routiminen. Routimisen seurauksena päällysrakenne menettää kantavuutensa. Routimatonta hiekkaa käytetään eristys- ja suodatinkerroksessa, ja sen tulee olla hienojakoisempaa kuin jakava ja kantava kerros. (Metsäteho Oy, 2001, s. 63) Maanrakennuskankaalla eli kuitukankaalla voidaan lisätä tien kantavuutta ja sillä voidaan korvata myös eristys- ja suodatinkerros. Kuitukankaan tehtävä on estää jakavan ja kantavan kerroksen sekoittumista tien alusrakenteisiin. Eristys- ja suodatinkerroksen paksuus on noin 10–20 senttimetriä. (Tomperi, 2021, ss. 44, 57).

Eristys- ja suodatinkerroksen rakentamisen jälkeen seuraava työvaihe on jakavan ja kantavan kerroksen rakentaminen. Jakavan ja kantavan kerroksen tehtävä on jakaa tiehen kohdistuvaa kuormitusta heikommin kantavaan pohjamaahan, sekä kantaa tiellä kulkevaa liikennettä. Kerroksessa käytetään karkeampaa materiaalia kuin eristys- ja suodatinkerroksessa tai kulutuskerroksessa. Jakavassa ja kantavassa kerroksessa voidaan käyttää soramursketta ja myös kalliomursketta. Murskeen täytyy olla riittävän karkeaa, jotta se ei pääse kosteuden takia pehmentymään. Tiivistämisen takia kerroksessa ei saisi olla kiviä, joiden halkaisija on yli puolet kerroksen paksuudesta. (Metsäteho Oy, 2001, s. 64) Jakavassa ja kantavassa kerroksessa käytetään kallio- tai soramursketta. Murskeen koko on noin 0–55 millimetriä ja levitettävän kerroksen paksuus 10–20 senttimetriä. (Tomperi, 2021, s. 57)

Kulutuskerros on noin 5–10 senttimetriä paksu kerros, jossa käytetään materiaalina 0–32 millimetriä paksua kallio- tai soramursketta. Kerros tiivistetään ja höylätään tasaiseksi levityksen jälkeen (Tomperi, 2021, s. 56–57). Metsätien pinnan kaltevuus tulisi olla 3–5 prosenttia, jotta vesi valuu tienpinnalta pois (Tomperi, 2021, s. 76).

Kuva 1. Metsätien rakenteet (Tomperi, 2021, s. 11)



Metsäautotien rakentamisen yhteydessä kaivetaan tarpeen vaatiessa ojat, joista saadaan tien aluskerrokseen tarvittava materiaali. Ojien tehtävä on pitää tien runko kuivana, sekä ohjata tienpinnalta tuleva vesi pois. Metsätiehen tehdään rakennusvaiheessa kallistus, jotta vesi pääsee virtaamaan sivuojiin eikä jää tienpinnalle. Metsätien rakentamisessa käytetään kolmea eri ojaa eli niska-, sivu- ja laskuojaa. Ojia ei välttämättä tarvitse tehdä pengerrysalueille. (Metsäteho, 2001, s. 49)

Sivuojiin tehtävä on ohjata tienpinnalta tuleva vesi pois, sekä pitää tien runko kuivana. Sivuojat kaivetaan aluskerroksen rakentamisen yhteydessä ja niistä saadaan mahdollisesti tien rakentamiseen tarvittavaa materiaalia. (Tomperi, 2021, s. 75) Sivuojia kaivaessa otetaan huomioon tienrungon kuivumisen tarve. Sivuojan syvyys on vähintään 25 senttimetriä tien pinnasta, jotta saadaan pidettyä tien runko kuivana. Maan viettäessä tielle päin tarvitaan sivuojat, mutta jos maa ei vietä tielle päin ja vesi pääsee valumaan pois maastosta, sivuojia ei välttämättä tarvita. Sivuojia kaivaessa on syytä ottaa huomioon mahdollinen eroosioriski. Hienojakoisilla maalajeilla on syytä jättää tienpinnan ja ojan väliin pengeri, jotta tie ei pääse murtumaan esimerkiksi sadevesien takia ojaan. (Metsäteho, 2001, s. 49–50)

Niskaojat kaivetaan tarvittaessa rinteeseen, jotta vähennetään sivuojiin kuormitusta. Niskaojat kaivetaan, jos rinteestä tulee runsaasti vettä. Niskaojilla on myös eroosion kannalta tärkeä tehtävä. Jyrkissä leikkauskohdissa niskaojien avulla vähennetään jyrkkien kohtien kuormitusta, jotta jyrkkä reunus pysyy kasassa eikä sorru suurien sademäärien takia. (Metsäteho, 2001, s. 50) Niskaojien syvyydeksi riittää 20–30 senttimetriä. Niskaojien vedet johdetaan sivuojiin tai laskuojoihin, mutta on otettava huomioon ympäristön kuormituksen kestävyys. (Tiehallinto, 2002)

Laskuojien tehtävä on johdattaa niska- ja sivuojista tuleva vesi pois. Laskuojien sijoittelussa otetaan huomioon maastossa olevat luonnonmukaiset uomat ja ojat. Ojia ei saa kaivaa suoraan vesistöön. Vesi johdetaan vesistöön pintavaluntana. Laskuojia ei ole tarkoitus kaivaa pitkiksi, vaan pyritään hyödyntämään veden pintavaluntaa, jotta ympäristön kuormitus on mahdollisimman vähäinen. Laskuojiin pyritään keräämään mahdollisimman pitkältä matkalta vedet sivu- ja niskaojista. Laskuoja on tärkein oja, koska se ohjaa veden lopullisesti kauas tien rungosta. (Metsäteho, 2001, s. 50)

Metsätien ali täytyy tarvittaessa asettaa rumpuputkia, joilla saadaan vesi virtaamaan metsätien alta. Rumpujen sijoittelussa on otettava huomioon luonnonuomat ja ne kannattaa asentaa niihin. Rumpuja pyritään laittamaan mahdollisimman vähän, mutta kuitenkin niille paikoille, joilla maaston muodot sitä vaativat. Metsätien kaarteisiin ei suositella laittamaan rumpuja, koska niiden pituuden on oltava tällöin pidempi. Rumpujen päihin kaivetaan lietekuopat, jotta ehkäistään vesistön kuormitusta. Rumpujen pituus on vähintään kuitenkin 7 metriä. Halkaisijaltaan liian pieni rumpu voi aiheuttaa jäätymistä ja tulvavaurioita. Rumpujen halkaisija määritellään valuma-alueen pinta-alalla. (Metsäteho Oy, 2002, s. 51–52)

Taulukko 2. Rumpupaikalla sallittava padotus maastoluokittain. (Metsäteho, 2001, s. 52)

Maastoluokka	Maasto ja padotus
I	Maasto on tasaista ja/tai rumpupaikan yläjuoksulla uomaan liittyy alavia viljelysmaita. Kesäaikana vedellä ei ole havaittavaa virtausta. Sallittu padotus on 0,03—0,08 m.
II	Maasto on loivaa, mutta vedellä on kesäaikaanakin havaittava virtaus. Sallittu padotus on 0,08—0,20 m.
III	Maasto on kumpareista tai uoma sijaitsee notkossa. Sallittu padotus on 0,20—0,30 m.

Taulukko 3. Tierummun sisähalkaisijan mitoitus. (Metsäteho, 2001, s. 52)

Valuma-alueen koko km <sup>2</sup>			Tierummun sisähalkaisija
Maastoluokka			
I	II	III	mm
< 0,02	< 0,03	< 0,05	200—300
0,02—0,08	0,03—0,1	0,05—0,2	400
0,08—0,2	0,1—0,5	0,2—0,7	500
0,2—0,5	0,5—0,7	0,7—1,0	600
0,5—0,9	0,7—1,5	1,0—2,0	800
0,9—1,5	1,5—2,1	2,0—3,1	1000
1,5—2,3	2,1—3,3	3,1—4,6	1200
2,3—3,5	3,3—5,0	4,6—7,0	1400
3,5—5,5	5,0—7,5	7,0—10,0	1600
5,5—7,0	7,5—9,5	10,0—13,0	1800

### 2.3 Metsätien kunnossapito

Metsätien kunnossapito säännöllisesti auttaa pitämään tien kantavana pidempään, eikä korjauksia tarvitse tehdä usein. Metsätien pohja voi olla routivasta maa-aineksesta tehtyä ja pintaan on levitetty ohut kerros mursketta. Tämä kantaa 76 tonnia painavan yhdistelmän, jos tietä hoidetaan säännöllisesti. Metsätien hoito säännöllisesti ehkäisee kalliimpia kunnostustoimenpiteitä. Hoidon laiminlyönnin takia voi metsätien perusparannuksen tarve tulla nopeammin. Metsätien kunnossapitoa määrää yksityistielaki, joka ohjaa pitämään tien tarkoitusta vastaavassa kunnossa. (Tapio Oy, 2019, s. 4–5)

Metsätien kevyempiin hoitotoimenpiteisiin kuuluvat tienpinnasta huolehtiminen ja näkyvyyden ylläpitäminen. Metsätien pintaan lisätään tarvittaessa mursketta ja sitä lanataan myös tarpeen mukaan. Metsäautotien pinnan pitää olla kallistunut ojaan päin, jotta vesi pääsee poistumaan ja tienpinta pysyy kuivana. Tien varrelta niitetään vesakot tarvittaessa, jotta näkyvyys pysyy hyvänä. Talvella suoritetaan tarvittaessa lumen aurausta ja tien hiekoitusta. Lisäksi keväällä huolehditaan sulamisveden pääsy pois tienpinnalta, jotta ehkäistään pintakelirikkoa. Metsätien hoitotoimenpiteisiin kuluu noin 300 euroa kilometriltä vuodessa. (Tapio Oy, 2019, ss. 4, 9)

Metsätien kunnostustyöt pyritään välttämään säännöllisillä hoitotoimenpiteillä. Tarpeen vaatiessa tarvitsee kuitenkin tehdä kunnostustyöt, jotta ei tarvitse heti tehdä metsätien perusparannusta, joka on kallista. Rumpuputkien uusiminen tulee kyseeseen

kunnostustöissä, jos se on tarpeellista. Metsätien ojien perkaaminen tehdään kunnostustöiden yhteydessä tarpeen vaatiessa, jotta tien runko pysyy kuivana. Jos metsätie on kokenut vaurioita, voidaan kunnostuksen yhteydessä sitä uusina asettamalla suodatinkangas ja levittämällä mursketta päälle. Lisäksi vedensyömät kohdat korjataan. Metsätien kunnostus maksaa 2000–3000 euroa kilometriltä. (Tapio Oy, 2019, s. 15)

Metsätien perusparantaminen tulee kyseeseen noin 15–30 vuoden päästä tien rakentamisesta. Perusparannuksen syitä ovat esimerkiksi tien kunnan heikentyminen ja tulevaisuudessa kuljetusmäärien kasvu. (Tapio Oy, n.d.) Metsätien perusparantamisessa voidaan joutua rakentamaan tien runko uudestaan, jos siihen on ajettu syvät urat, jolloin kerrokset ovat sekoittuneet ja kantavuus heikentynyt. Metsätien perusparannusta varten kannattaa suorittaa tien kantavuusmittaus, jolloin korjaustoimenpiteet voidaan kohdentaa paremmin. Perusparannuksen yhteydessä poistetaan tien reunapalteet ja tie muotoillaan kaltevaksi, jolloin vesi pääsee poistumaan tienpinnalta. Ojien kaivuu tulee myös tehdä, jotta saadaan tien runko pysymään kuivana. Metsätielle voidaan myös tarvittaessa tehdä lisää ohituspaikkoja. Metsätien perusparannuksessa tulee huomioida tienkäyttäjien tarpeet ja huomiot. (Tapio oy, n.d.)

## 2.4 Kelirikko

Kelirikko vaikuttaa puutavarakuljetuksiin metsäteillä. Vuosittain kelirikon takia metsätaloudelle aiheutuu lisäkustannuksia. Puun laatu heikkenee, koska sitä joudutaan varastoimaan muutama viikko kauemmin. Lisäksi kuljetuksien tehokkuus heikkenee, koska kelirikon aikana suurin osa metsäteistä ei ole kulkukelpoisia. Korjuukohde voi olla kelirikkokohde, mutta metsätie ei välttämättä kestä kelirikkoa. (Metsäteho Oy, 2003, s. 5–6)

Kelirikko on yleensä syksyllä muutama viikko ennen kuin tienpinta jäätyy. Keväisin kelirikko kestää myös muutaman viikon. Kelirikon voimakkuus on säästä riippuvainen, jos keväällä lumet sulavat nopeasti, on kelirikko voimakas. Kelirikko tapahtuu keväällä ja syksyllä, joskus myös talvisin lämpötilan lämmitessä. Talvisin tien rakenteet ovat jäässä, mutta keväällä lumen ja jään sulaessa tien rungossa oleva vesi ei pääse poistumaan, jolloin tie ei kestä raskasta liikennettä. Syksyllä ja talvella tapahtuva kelirikko vaikuttaa tienpintaan, jolloin päällysrakenteissa oleva vesi ei pääse poistumaan. Keväällä lumen sulaessa nopeasti on kelirikko voimakas. Syksyllä kelirikon voimakkuus riippuu sateen ja pakkasen määrästä (Väylävirasto, 2024)

Pintakelirikossa tienpinnalla oleva vesi ei pääse poistumaan riittävän tehokkaasti, jolloin tienpinta muuttuu kosteuden takia pehmeäksi. Tienpinnan vaurioituminen ilmenee kuoppina ja raskaan puutavara-auton renkaista voi jäädä urapainaukset. Pintakelirikkoa tapahtuu suurien sademäärien ja sulamisveden liiallisesta määrästä, joka ei pääse poistumaan tien rakenteista. Pintakelirikkoa voi tapahtua talvisin ja syksyisin. Talvella pintakelirikon syynä on lämpötilan vaihtelu, jolloin lumi pääsee sulamaan ja ilmenee sulamisvettä. (Väylävirasto, 2022)

Runkokelirikossa kosteus ilmenee syvemmällä tien rakenteissa, kun pintakelirikossa kosteus ilmenee taas tienpinta rakenteissa. Talvella pakkasen pääsee syvälle tien rakenteisiin, jolloin ilmenee routaa. Maasta nousee lämpöä ja kosteutta ja niiden kohdatessa pakkasen, syntyy rakenteisiin jäälinssiä eli taskuja, joissa vesi on jäässä. Keväällä lämpötilan lämmetessä ja lumien sulassa jäälinssit sulavat myös tien rakenteissa. Runkokelirikossa vesi ei pääse haihtumaan tien rakenteista. Tällöin tien rakenteet pehmenevät ja voivat sekoittua, jolloin tien kantavuus heikkenee. (Väylävirasto, 2022)

Kelirikon aikana asetetaan painorajoituksia, useimmiten rajoituksena käytetään 12 tonnia. Painorajoituksia käytetään, jotta tie pysyy kulkukelpoisena sitä välttämättömästi tarvitsevalle liikenteelle kuten hälytysajoneuvoille. Puutavaraa voidaan kuljettaa, jos kyseessä on välttämätön energianlähde, jota tarvitaan esimerkiksi lämmöntuotannossa. (Väylävirasto, 2024) Soratiet pystytään pitämään raskaalle kalustolle kulkukelpoisena, jos kelirikko on maltillinen. Kelirikon aikana tie voidaan pitää kulkukelpoisena ajamalla mursketta pahimpiin kohtiin ja pitämällä vesitalous kunnossa sulattamalla ojarummut, jotta vesi pääsee virtaamaan tieltä pois. Valtion omistamista sorateistä 5–10 prosenttia asetetaan kelirikon takia painorajoitukset. (Väylävirasto, 2022)

## 2.5 Piennar- ja talvitie

Piennartie on metsään rakennettava niin sanottu ajoura, joka kestää yleensä kevyempää liikennettä kuten traktorin ja mönkijän koko vuoden. Puutavara-auton piennartie kestää maan ollessa jäässä. Rakentaminen on edullisempaa kuin kunnollisen metsätien. Piennartie kannattaa rakentaa metsätalolle, joka on 20–30 hehtaaria ja sinne ei johda tietä. Piennartie helpottaa korjuuta soilla, joilla pystytään joillakin kohteilla kesällä kuljettamaan puita ajokoneella piennartietä pitkin metsätien varteen. Piennartie tehdään yleensä soisiin metsiin kunnostusojituksen yhteydessä, jotta saadaan lyhennettyä lähikuljetusmatkaa.

Lähikuljetusmatkalla tarkoitetaan ajokoneen matkaa varastopaikan ja hakkuukoneen karsimien ja pätkimien puiden välillä. (Kjellberg, 2019)

Soisilla paikoilla piennartie auttaa huomattavasti puun korjuussa. Ilmastonmuutoksen takia talvet ovat entistäkin lämpimämpiä ja maa ei jäädy kunnolla, mikä vaikeuttaa turvemaiden puunkorjuuta. Piennartien avulla turvemaiden saavutettavuus paranee ja niille pystytään tekemään hakkuita myös kesän aikana. (Vanhatalo, 2009) Piennartien rakentaminen alkaa hakkaamalla puut pois, jonka jälkeen käännetään kannot tienpohjaksi ja kaivettu ojamaa levitetään tien pinnaksi. Oja kaivetaan useimmiten vain tien toiselle puolelle. (Metsälehti, 2019) Maan tiivistäminen on tärkeä osa piennartien rakentamisessa, maa tiivistetään useimmiten kaivinkoneen telojen avulla. Piennartien leveys tulisi olla 4 metriä ja tien ja ojan välinen pengeri 0,5 metriä, jotta piennartie ei raukea ojaan. Käännösten ja kääntöpaikan tulisi olla loivia. (Tapio, 2019, s. 86–87) Piennartietä päästään kulkemaan puutavara-autolla talvella roudan aikana. (Kjellberg, 2019)

Kangasmailla oja ei välttämättä tarvitse piennartielle rakentaa. Yleensä kangasmailla oja tehdään rinteen puolelle ja tarvittaessa molemmille puolille. Kangasmailla ojien tarve arvioidaan maaston muotojen mukaan, jos maa viettää tielle päin, tarvitaan oja. Kosteimmissa paikoissa ojat tarvitaan molemmille puolille ja vesi johdetaan tien alirumpuputkien avulla, mikä nostaa piennartien kustannuksia. Kuiviin paikkoihin ei välttämättä oja tarvita lainkaan. Kangasmailla kantoja ei yleensä kaiveta tien pohjaksi vaan ne ja humuskerros poistetaan tien pinnasta, jonka jälkeen pinta tasoitetaan. (Kjellberg, 2019)

Talvitiessä hyödynnetään nimensä mukaisesti talven olosuhteita. Talvitien käyttö Lapissa on varsin yleistä noin 40–45 prosenttia hakattavasta puutavarasta ajetaan talviteitä pitkin. Talvitien tekemiseen tarvitaan metsään hakattu ajoura, jonka päälle talvitie tehdään. Lumi tampataan tiiviiksi työkoneella esimerkiksi kaivinkoneella tai puskutraktorilla. Talvitie saadaan käyttöön vasta, kun tienpohja on jäänyt ja lunta on tampattu tarpeeksi. Talvitien käyttö kaukokuljetuksessa vähentää kalliiden metsäautoteiden tarvetta. Keväällä lumen sulaessa talvitiestä ei jää näkyviin muuta kuin hakattu ajoura. (Metsähallitus, n.d.) Jääteiden avulla pystytään kuljettamaan puutavaraa vesistöjen takaa kuten saaresta jatkokäsittelyä varten. Pohjois- ja Itä-Suomessa järvien jäälle tehdään jääteitä, joita Metsähallitus tekee vuosittain noin 10–20 kilometriä. Jäätien paksuus tulee olla riittävä, jotta se kestäisi raskaan 76 tonnia painavan puutavara-auton. (Metsähallitus, n.d.)

### 3 Metsätien rakentamiseen käytettävien materiaalien vertailu

Tässä työssä tutkimusmenetelmä on tutkimuksellinen kirjallisuuskatsaus.

Tutkimuskysymykset ovat: Mikä on kannattavin materiaalivalinta metsätien rakentamiseen? Miten metsätienlinjaus vaikuttaa kustannuksiin? Tutkimuskysymyksiin pyritään löytämään vastauksia tässä kohdassa. Tarkoituksena on löytää kustannustehokkaampia ratkaisuja rakentaa metsätie, tässä työssä otetaan huomioon myös metsätien kuormituksen kestävyys. Alan kirjallisuutta tutkimalla ja hintoja vertailemalla vastataan tutkimuskysymyksiin.

Metsätiet jaetaan neljään eri päällysrakenneluokkaan. Päällysrakenneluokka riippuu usein tietyypistä ja tien käytöstä. Runkotiet kestävät usein raskasta liikennettä ympärivuoden, aluetiet kestävät syyskelirikon ja varsitiet eivät kestä kelirikkoa. Ensimmäinen ja toinen päällysrakenneluokka kestävät raskasta liikennettä vuoden ympäri. Kolmas ja neljäs päällysrakenneluokka eivät kestä kelirikkoa. Päällysrakenneluokat ovat mitoitettu siten, ettei synny yli 40 millimetrin urapainauksia. Metsäteillä ei saa syntyä yli 40 millimetrin urapainauksia, koska tällöin metsätien kerrokset menevät sekaisin ja tie menettää kantavuutensa. Kun urat tasoittaa, tien kantavuus palautuu. (Metsäteho Oy, 2001, s. 59–62) Taulukko 4 kantavuus keväällä on 50 MN/m<sup>2</sup> ja luokat D, E ja F eivät kestä raskasta liikennettä kelirikon aikana. Lisäksi taulukossa esitettyä kulutuskerrosta ei välttämättä tarvitse tehdä, mutta jos tiellä liikkuu suuria määriä kevyttä liikennettä kannattaa kulutuskerros toteuttaa. (Strandström, 2017, ss. 2, 6) Metsätehon ohjeistuksessa 50 MN/m<sup>2</sup> kestää kesällä 10–20 puutavara-autoa, jotka ovat 7-akselisia ja 60 tonnia painavia. Ohjeistuksessa 60 MN/m<sup>2</sup> kestää keväällä 20–40 puutavara-autoa, joiden paino on 60 tonnia ja akselimäärä seitsemän. (Metsäteho, 2001, s. 60–62)

Taulukko 4. Päälysrakenneluokka 4 (Strandström, 2017, s. 6)

Pohjamaan kantavuusluokka	A–F	A	B	C	D	E	F	
Kulutuskerros	<b>cm</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
SrT/KaM/SrM, #0–16 mm	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
E-moduuli 150 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kantava/jakava kerros	<b>cm</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
KaM/SrM, #0–32...56 mm	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,0
E-moduuli 200 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,7	2,4
Eristys-/suodatinkerros	<b>cm</b>	—	—	—	—	—	—	<b>35</b>
(routimaton hiekka)	m <sup>3</sup> -rtr / m	—	—	—	—	—	—	2,0
E-moduuli 50 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	—	—	—	—	—	—	4,8
Suodatinkangas	tyyppi	—	—	—	—	N3	N3	N3
Penger (C-luokan materiaali)	<b>cm</b>	—	—	—	—	<b>20</b>	<b>30</b>	—
E-moduuli 100 MN/m <sup>2</sup>								
Yhteensä	<b>cm</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,7	0,7	0,7	0,7	1,7	2,6	3,2
	tn / m	1,7	1,7	1,7	1,7	4,1	6,3	7,7
Kantavuus	Kevät	270	155	85	45	40	25	25
MN/m <sup>2</sup>	Kesä	270	200	115	65	50	50	50

Metsäteillä voidaan tehdä alusrakenteen rakentamisen jälkeen pelkästään sorastuskerros, joka yhdistää jakavan kerroksen ja kulutuskerroksen yhdeksi samaksi kerrokseksi.

Sorastuskerros voidaan tehdä soramurskeesta tai kalliomurskeesta. Sorastuskerros levitetään ohuina mattoina metsätien pintaan ja tiivistetään. (Metsäteho Oy, 2001, s. 64, 74) Pelkästään sorastuskerroksen teko vähentää materiaalin kulumista. Kulutuskerros on paksuudeltaan viisi senttimetriä ja materiaaliltaan 0/16 millimetriä, jota kuluu neljän metrin leveydeltä metsätien pintaan 0,5 tonnia. Taulukko 5 tavoitekantavuus 60MN/m<sup>2</sup> keväällä. Päälysrakenneluokka 2 kestää kelirikon.

Taulukko 5. Päällysrakenneluokka 2 (Strandström, 2017, s. 4)

Pohjamaan kantavuusluokka	A–F	A	B	C	D	E	F		
Kulutuskerros	<b>cm</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
SrT/KaM/SrM, #0–16 mm	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
E-moduuli 150 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kantava/jakava kerros	<b>cm</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
KaM/SrM, #0–32...56 mm	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,5	0,5	0,5	1,0	0,7	0,7	1,0	2,1
E-moduuli 200 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	1,2	1,2	1,2	2,4	1,7	1,7	2,4	5,0
Eristys-/suodatinkerros	<b>cm</b>	—	—	—	—	—	<b>45</b>	—	<b>50</b>
(routimaton hiekka)	m <sup>3</sup> -rtr / m	—	—	—	—	—	3,1	—	3,6
E-moduuli 50 MN/m <sup>2</sup>	tn / m	—	—	—	—	—	7,4	—	8,6
Suodatinkangas	tyyppi	—	—	—	—	N3	N3	N3	N3
Penger (C-luokan materiaali)	<b>cm</b>	—	—	—	—	<b>25</b>	—	<b>55</b>	—
E-moduuli 100 MN/m <sup>2</sup>									
Yhteensä	<b>cm</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>45</b>	<b>65</b>	<b>80</b>	<b>95</b>
	m <sup>3</sup> -rtr / m	0,7	0,7	0,7	1,2	2,3	4,0	4,8	5,9
	tn / m	1,7	1,7	1,7	2,9	5,5	9,6	11,5	14,1
Kantavuus	Kevät	270	155	85	65	60	60	65	60
MN/m <sup>2</sup>	Kesä	270	200	115	80	65	60	90	95

Murskeita on erilaisia. Kalliomurske on kalliosta saatua mursketta. Kallio räjäytetään, jonka jälkeen isoimmat lohkat hakataan iskuvasaralla pienemmiksi. Tämän jälkeen louhittu kallio ajetaan murskan läpi. Murskausvaiheessa leukamurska puristaa kivet, jolloin ne murskautuvat. Murskatun kallion raekoko määritellään seulomalla eri kokoiset maa-ainekset eri paikkoihin. Soramurske saadaan murskaamalla ja seulomalla luonnonsoraa. Moreenimurske on murskattua moreenia. Murskeiden lyhenteet ovat kalliomurske (KaM), soramurske (SrM) ja moreenimurske (MrM). Murskeiden raekoko ilmoitetaan millimetreinä, ensin tulee pienin raekoko ja sen jälkeen isoin. (Aalto, 2015)

Murskeen laatu pitää olla kohdillaan, jotta se toimii parhaiten. Murskeessa tulisi olla hienoainesta sen verran, että isompien kivien välissä oleva tila täyttyy. Tällöin murskeessa olevat isot kivet kiinnittyvät toisiinsa ja pysyvät paikallaan. Hienoaineksen vähäisyys murskeessa ei kiinnitä isompia kiviä toisiinsa. Liian suuri määrä hienoainesta murskeessa kerää kosteutta tiehen, jolloin kivet eivät kiinnity toisiinsa. Liian suuri määrä hienoainesta aiheuttaa myös routavaurioita, koska se kerää kosteutta. Soramurske on lujuusominaisuuksiltaan heikompaa kuin kalliomurske. Maa-aineslupien saamisen vaikeuden vuoksi kalliomurskeen käyttö on lisääntynyt metsätien rakentamisessa. (Tapio Oy, n.d.) Kalliomursketta tarvitaan 10–30 prosenttia vähemmän kuin soramursketta. Moreenimursketta taas tarvitaan 10–20 prosenttia enemmän kuin soramursketta (Metsäteho, 2001, s. 64). Soramurskeen hävikki on suurempaa kuin kalliomurskeen. Moreenimurske on osoittautunut kestävyyskokeissa hyväksi vaihtoehdoksi. Hävikki on

myös kaikkein pienin moreenimurskeella. Moreenimurskeen käyttöä rajoittaa hankalat lupahakemukset. Sopivia moreeniesiintymiä on hankala löytää, jonka takia käyttö on vähäistä. Moreeni- ja soraesiintymien vähentyessä kalliomurskeen käyttö on lisääntynyt. (Väylävirasto, 2014, s. 27)

Maa-aineksen otto voidaan suorittaa rakennettavan metsätien läheisyydessä. Maa-aineksen ottopaikkaa suunniteltaessa kannattaa tehdä koekaivauksia ja varmistaa, että murskeen raekoko on haluttu. Maa-aineksen ottopaikkaan tarvitaan maa-aineslain mukaan lupa. Murskaustyöstä pitää tehdä kunnan ympäristösuojeluviranomaiselle ilmoitus, sekä hankkia maa-aineslain vaatima lupa. Ottopaikkaa suunniteltaessa otetaan huomioon maiseman mahdollisimman hyvä säilyvyys. (Metsäteho Oy, 2001, s. 46)

Murskeiden hinnat eroavat toisistaan, joten lasketaan neljän kalliomurskeen välittäjän hinnat ja niiden keskiarvo. Murskeiden toimittajien valinnassa on pyritty toteuttamaan sijainnillinen hajautus. Laskettavat murskeet ovat metsätien rakentamisessa käytettävät KaM 0/16, KaM 0/32 ja KaM 0/56. Multalan Soran hinnat ovat KaM 0/16 9€, KaM 0/32 9€ ja KaM 0/56 9€. Routimattoman hiekan hinta 2,5€ (Multalan Sora Oy, 2023). Porvoon Sora ja Multa hinnat ovat KaM 0/16 9,7€, KaM 0/32 8,5€ ja KaM 0/56 7,7€ (Porvoon Sora ja Multa, n.d.). Sepeli.fi hinnat ovat KaM 0/16 10,76€, KaM 0/32 9,56€ ja KaM 0/55 9,16€ (Sepeli, n.d.). Kalliomursketta.fi hinnat ovat KaM 0/16 7,75€, KaM 0/32 7,4€ ja KaM 0/56 7€ (Kalliomursketta, 2022). Keskiarvoksi saatiin KaM 0/16 9,3€, KaM 0/32 8,6€ ja KaM 0/56 8,2€. Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa.

Metsätien rakentamiseen tarvitaan tarvittaessa suodatinkangasta, jonka laatuluokitus on N3. Netraudan hinta on 689€ 6x120m (Netrauta, n.d.). Kareliastore hinta on 569€ 6x110m (Kareliastore, n.d.). Kärkkäisen hinta on 677€ 6x120m (Kärkkäinen, n.d.). Taloon.com hinnat ovat 689€ 6x120m (Taloon, n.d.). Hinnat sisältävät arvonlisäveron. Näistä hinnoista saadaan sadan metrin matkalle keskiarvoksi 557,35 euroa. Kun hinnasta poistetaan 25,5 prosentin arvonlisävero, hinnaksi jää 444,10 euroa.

Moreeni on Suomen yleisin maalaji. Moreenissa on sekoittuneena useita eri maalajeja, kuten savea ja kiviä. Soramoreeneja on Suomen moreeneista 10 prosenttia, hiekkamoreenia 75 prosenttia ja hienoainesmoreenia 15 prosenttia. Soramoreeni ei ole otollisin paikka metsän kasvatukseen, koska se on hyvin kivinen maalaji. Hiekkamoreenissa ravinne- ja kosteusolosuhteet ovat riittäviä metsän kasvatukseen. Hienoainesmoreeneissa on parhaat kosteus-, ilmavuus- ja ravinneominaisuudet. (Gtk, n.d.)

## 4 Metsätien rakentamiseen kustannustehokkaimmat ratkaisut

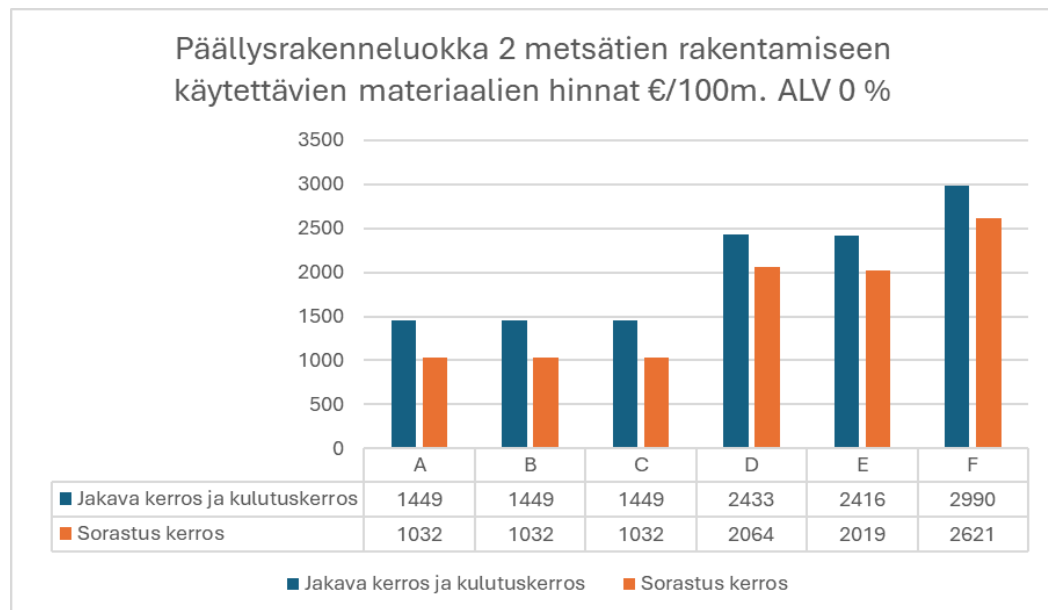
Tuloksissa laskettiin päällysrakenneluokka 2 ja 4 materiaalikustannukset. Kyseiset päällysrakenneluokat valikoituivat, koska luokka 2 tarvitsee vähemmän materiaalia kuin luokka 1 ja molemmat ovat ympärivuotisesti raskaankaluston käytössä. Huomioitavaa valinnassa on, että luokka 1 kestää enemmän liikennettä kuin luokka 2. Päällysrakenneluokka 4 valikoitui luokka 3 sijaan, koska luokka 4 vaatii vähemmän materiaalia kuin luokka 3. Luokat 3 ja 4 eivät kestä raskasta liikennettä kelirikkoaikana. Opinnäytetyössä selvitetään kustannustehokkainta ratkaisua, joten päällysrakenneluokista valikoitui 2 ja 4. Laskelmissa jakavaan kerrokseen ja kulutuskerrokseen on laskettu KaM 0/56 ja KaM 0/16. Sorastuskerrokseen on laskettu KaM 0/32. Pohjamaankantavuusluokissa E:ssä ja F:ssä on laskettu suodatinkangas routimattoman hiekan sijaan.

Metsätietä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon tienkäyttäjien tarpeet. Metsätien käytön painottuessa metsänhoitoon ja raakapuukuljetuksiin, voidaan tien rakentamisessa käyttää erilaisia tekniikoita ja materiaaleja kuin silloin, kun metsätien käyttäjien ollessa esimerkiksi tien varrella olevien mökkien ja asuntojen käyttäjiä. Kulutuskerros kannattaa tehdä, kun henkilö- ja pakettiautot sekä muu kevytliikenne käyttää metsätietä. Kulutuskerroksen pois jättäminen on autoille liikenneturvallisuusriski ja voi aiheuttaa autoille renkaiden rikkoutumisia. Metsätien käyttö pelkästään puutavara-autoille ja muuhun metsänhoitoon voidaan toteuttaa sorastuskerros. Kulutuskerroksen pois jättäminen säästää materiaalinhankintakuluissa 4,65 euroa metriltä. Pelkästään sorastuskerroksen teko vähentää materiaalin tarvetta. Kulutuskerros on paksuudeltaan viisi senttimetriä ja materiaaliiltaan 0/16 millimetriä, jota kuluu neljän metrin leveydeltä metsätien pintaan 0,5 tonnia metrillä.

Metsätien kustannuksiin pystytään vaikuttamaan tielinjauksella. Metsätie kannattaa suunnitella kulkemaan maastossa kuivissa kohdissa. Kantavuus tulee myös ottaa huomioon. Metsätiehen tarvitaan sitä enemmän mursketta mitä kosteammalla paikalla tielinjaus sijaitsee. Tielinjauksessa kannattaa välttää leikkauskohtia ja pengerryksiä, koska tällöin maansiirtokulut kasvavat. Maisemanhoidon kannalta metsätien ei tulisi kulkea pitkiä suorita matkoja, koska se rikkoa maisemaa. Metsätien kannattaa mieluummin myötäillä maastonmuotoja. Kustannuksetkin laskevat, jos myötäillään maastonmuotoja, koska tällöin tulee luultavasti vähemmän pengerryksiä ja leikkauskohtia.

Metsätie kannattaa suunnitella mieluummin kulkemaan esimerkiksi hiekkamoreenilla kuin savimaalla. Hiekkamoreenilla kulkeva metsätien materiaalikustannukset ovat päällysrakenneluokka 4:ssä 40,4 prosenttia halvemmat kuin savi- ja silttimaille rakennetulla jakavalla kerroksella ja kulutuskerroksella. Päällysrakenneluokka 2 hiekkamoreenille rakennetun metsätien jakavan kerroksen ja kulutuskerroksen materiaalikustannukset ovat 18,6 prosenttia edullisemmat kuin savi- ja silttimaille rakennetulla. Taulukosta 7 huomataan metsätiehen käytettävien materiaalikustannusten pysyvän samoina, kunnes siirrytään pohjamaankantavuusluokituksessa savi- ja silttimaihin. Päällysrakenneluokka 2 materiaalmäärä pysyy samana, kunnes siirrytään hiekkamoreeniin tai savi- ja silttimaihin. Molemmissa taulukoissa pohjanmaankantavuusluokituksessa kohdat A–C kestävät raskaankaluston kuljetuksia ympäri vuoden, tietty kuormitusmäärä huomioiden. Päällysrakenne luokka 2 kestää 20–40 kappaletta 60 tonnia painavaa puutavara-autoa, joten karkeasti voidaan arvioida sen kestävän ainakin noin 20 puutavara-autoa, jotka painavat 76 tonnia. Päällysrakenneluokka 4 kestää 10–20 kappaletta 60 tonnia painavaa puutavara-autoa, joten karkeasti arvioiden se kestää noin 10 puutavara-autoa, jotka painavat 76 tonnia. Kuormituksen jälkeen metsätien kantavuus palautuu, jos metsätien urapainaumat jäävät alle 40 millimetrin ja ne tasoitetaan.

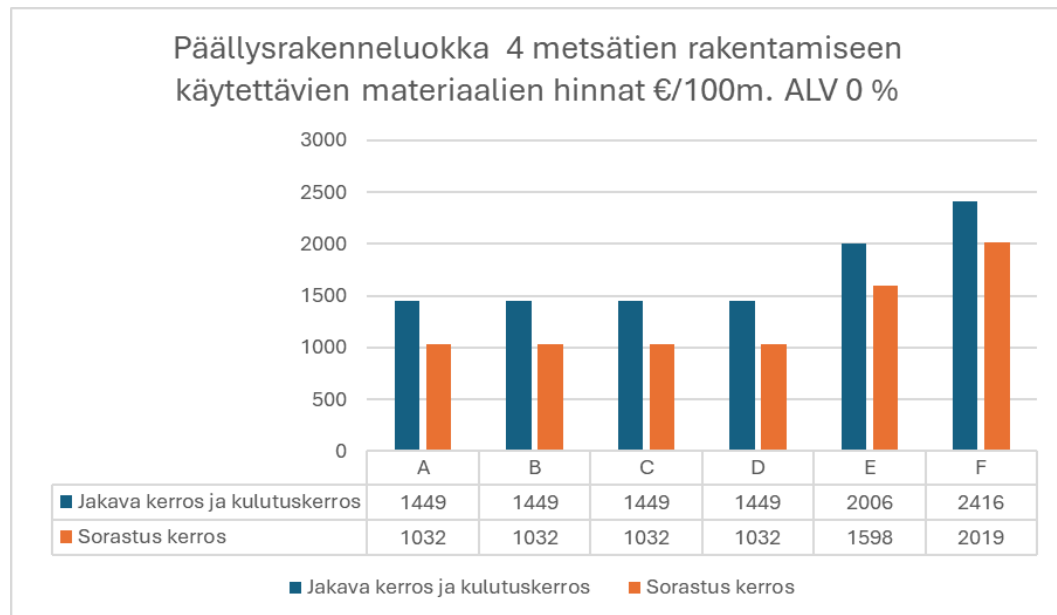
Taulukko 6. Päällysrakenneluokka 2 materiaalikustannukset. Taulukossa kirjaimet A–F ovat pohjamaankantavuusluokkia. Eristys- ja suodatinkerros on toteutettu maarakennuskankaalla.



Materiaalivalinnassa kalliomursketta tarvitaan vähiten. Soramursketta tarvitaan 10–20 prosenttia enemmän kuin kalliomursketta. Moreenimursketta tarvitaan jopa 20–50

prosenttia enemmän kuin kalliomursketta. Kalliomurskeen käyttö on lisääntynyt, koska sora- ja moreenimurskeen tekoon tarvittavat esiintymät ovat vähissä. Kalliomurskeen kuljetusmatkaa ei ole tässä opinnäytetyössä huomioitu, koska se on vaikea yleisellä tasolla arvioida. Murskeen laatu on tärkeä tekijä. Hienoainesta pitää olla sen verran että se täyttää kivien väliin jäävän tilan. Tällöin murske sitoutuu ja pysyy paremmin tienpinnassa. Savimaille rakennettavan metsätien materiaalikustannukset ovat 40–52 prosenttia korkeammat kuin tien rakentaminen soramoreenille.

Taulukko 7. Päälysrakenneluokka 4 materiaalikustannukset. Taulukossa kirjaimet A–F ovat päälysrakenneluokkia. Eristys- ja suodatinkerros on toteutettu maarakennuskankaalla.



Ojien teko voi pilata metsätien. Ojat eivät saa olla liian syviä, sillä tämä lisää eroosioriskiä. Ojan ja tien väliin on jätettävä tilaa, jotta tie ei sorru ojaan. Tien kuivatus on tärkeässä asemassa, jotta kelirikon haitat vähenisivät. Rakentamisessa saadaan ojista materiaali tien alusrakenteisiin, joten ojasta on hyötyä tien rakentamisessa ja kuivatuksessa. Metsätiehen ei saa tulla yli 40 millimetrin urapainauksia, sillä tällöin tien rakenteet menevät sekaisin ja tie menettää kantavuutensa. Tien kaltevuus on 3–5 prosenttia rakentamisen jälkeen, jotta vesi pääsee valumaan pois tienpinnalta. Taulukoissa ei laskettu routimattoman hiekan hintaa, koska siitä ei ollut riittävästi lähteitä, joiden avulla olisi voitu laskea hinnalle luotettava keskiarvo. Routimattoman hiekan voi korvata pohjamaaluokan C pengerryksellä, joka on materiaalikustannuksia tarkasteltaessa edullisempi vaihtoehto.

## 5 Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja pohdinta

Tuloksia tarkastellessa huomataan, että metsätien materiaalikustannuksiin vaikuttavat eniten metsätienlinjaus. Heikommin kantavilla esimerkiksi savimailla materiaalia kuluu enemmän kuin sora-moreenilla. Metsätien linjaus on metsätien rakentamisen kustannuksia tarkasteltaessa keskeisessä osassa. Metsätie kannattaa rakentaa myötäilemään maaston muotoja ja välttämään kosteampia paikkoja, koska kosteammille paikoille tarvitaan enemmän materiaaleja, jotta tie saadaan kestäväksi kuormitusta. Lisäksi oikeankokoisen rumpuputken asentaminen metsätiehen on tärkeä huomioida metsätien rakentamisessa.

Metsätien rakentamiseen tarkoitettu tuki poistui 1.1.2025. Metsätien perusparannukseen saa vielä tukea yhteishankkeissa 70 prosenttia kustannuksista ja yhden maanomistajan omistamalle metsätielle 6000 euroa kilometriltä. Metsätien rakentamisessa kannattaa huomioida tulevaisuudessa mahdollisesti saatava tuki tien perusparannukseen. Metsätie kannattaa rakentaa ainakin tuen pienimpään sallittuun leveyteen 3,6 metriä, jotta myöhemmin ei tarvitse tietä leventää, jos haluaa saada perusparannukseen tukea.

Murskeen laadun vallinta on myös keskeisessä osassa, kun tarkastellaan kustannuksia. Moreeni- tai sora-murske voi olla kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin kalliomurske. Murskeen valintaan vaikuttavat moreeni- ja sora-murske esiintymien saavutettavuus, sekä kuinka kaukana sijaitsee kalliomurskeen ottopaikka. Kuljetuskustannukset ovat merkittävä osa metsätien rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia. Murske voidaan joutua tuomaan pitkän kuljetusmatkan päästä. Moreeni- ja sora-murske esiintymien hyödyntäminen voi aiheuttaa maisemahoidollisesti huonon tuloksen. Metsätialta mursketta ottaessa aiheutuu kuoppia, jotka kannattaa myöhemmin maisemoida, jos murskeen ottopaikalle ei ole käyttöä.

Materiaalien hintojen löytäminen netistä tuotti haasteita. Hinnat ovat luultavasti netissä kalliimpia kuin mitä ne ovat suoraan materiaalin välittäjiltä. Hintoja ja tuloksia tarkasteltaessa hintojen väliset prosenttieroit taas pitävät luultavimmin paikkansa, koska vaikka hinnat ovat varmaan kalliimpia netissä niiden välinen suhde voi olla sama. Opinnäytetyössä käytettiin kuitenkin netistä löytyviä hintoja, jotka olivat valmiiksi julkisia. Hintojen vertailussa pyrittiin hajauttamaan sijaintiin perustuen myyjät.

Tuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa metsätien rakentamista. Tulokset ovat suuntaa-antavia ja niitä tarkastellessa metsänomistaja tai urakoitsija voi tarkastella

metsätiesuunnitelmaa, jotta metsätien rakentamisesta saadaan kustannustehokasta. On syytä kuitenkin muistaa, että kustannustehokkuus ei ole sama asia kuin halpuus. Metsätien pystyy rakentamaan halvalla, mutta se ei kestä sille tarkoitettua käyttöä.

Kustannustehokkaassa rakentamisessa pyritään löytämään ratkaisu, miten metsätie rakennetaan mahdollisimman edullisesti ja siten, että se kestä sille tarkoitettua käyttöä.

## Lähteet

- Aalti, K. (2015). Murskeen lajitteet. <https://www.koneviesti.fi/ajoneuvot-ja-ymparisto/b4899540-3150-52eb-894a-56037dcefd2d>
- Gtk. (n.d.). Maalajit. <http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/kuvausjasoveltuvuus.htm>
- Kalliomursketta. (2022). Hinnasto. <https://www.kalliomursketta.fi/389674365.html>
- Kareliastore. (n.d.). Suodatinkangas. [https://karelianstore.fi/products/suodatinkangas-a-collection-6x120-720m2-n3?variant=47632620159322&country=FI&currency=EUR&utm\\_medium=product\\_sync&utm\\_source=google&utm\\_content=sag\\_organic&utm\\_campaign=sag\\_organic&gad\\_source=1&qclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4UcbfBvJcGUlt4m51OEXoJdSIU7j\\_WMmVfjG9Ywc59yEYgZ-kUpJIhoC31IQAvD\\_BwE](https://karelianstore.fi/products/suodatinkangas-a-collection-6x120-720m2-n3?variant=47632620159322&country=FI&currency=EUR&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&gad_source=1&qclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4UcbfBvJcGUlt4m51OEXoJdSIU7j_WMmVfjG9Ywc59yEYgZ-kUpJIhoC31IQAvD_BwE)
- Kjellberg, L. (2019). Kuusi kysymystä piennarteistä. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/kuusi-kysymysta-piennarteista/#6acee9ca>
- Kärkkäinen. (n.d.). Suodatinkangas. [https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/lektar-6-x-110-m-660-m2-n3-maanrakennuskangas-maarakennuskangas?id=102284914&gad\\_source=1&qclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4d1H3cenNzwemt3DREKeVn1nDsvFMI8OMrrbGsWPONmumy1xZVmUiBoCjIQAvD\\_BwE](https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/lektar-6-x-110-m-660-m2-n3-maanrakennuskangas-maarakennuskangas?id=102284914&gad_source=1&qclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4d1H3cenNzwemt3DREKeVn1nDsvFMI8OMrrbGsWPONmumy1xZVmUiBoCjIQAvD_BwE)
- Metsähallitus. (n.d.). Talvitiet vähentävät pysyvien teiden tarvetta. <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/metsatalous/metsatiet/talvitiet/>
- Metsäkeskus. (2023). Tuki uusien metsäteiden rakentamiseen on päättymässä. <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/tuki-uusien-metsateiden-rakentamiseen-on-paattymassa>
- Metsäkeskus. (2024). Metsätietuki. <https://www.metsakeskus.fi/fi/palvelut/metsatietuki>
- Metsäteho Oy. (2001). Metsätieohjeisto. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Tieohjeisto\\_osa\\_1\\_Tekstiosa.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Tieohjeisto_osa_1_Tekstiosa.pdf)
- Metsäteho Oy. (2003). Raakapuukuljetusten kelirikko haittojen vähentäminen. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_153.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_153.pdf)

Multalan sora Oy. (2023) Hinnasto. <https://multalansora.fi/hinnasto/>

Netrauta. (n.d.). Suodatinkangas. [https://www.netrauta.fi/suodatinkangas-n3-a-collection-6x120m-720m?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=PLA%20-%20C%20-%20All%20Other%20Categories%20-%20Medium%20Prio&utm\\_id=2009927714&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4VCWe0J7iCyiz4BQ2cMCERLeSGPNqag3DxCfsdUIYogeRQ-Q2HOPsxoCLqUQAvD\\_BwE](https://www.netrauta.fi/suodatinkangas-n3-a-collection-6x120m-720m?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PLA%20-%20C%20-%20All%20Other%20Categories%20-%20Medium%20Prio&utm_id=2009927714&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4VCWe0J7iCyiz4BQ2cMCERLeSGPNqag3DxCfsdUIYogeRQ-Q2HOPsxoCLqUQAvD_BwE)

Porvoon Sora Ja Multa. (n.d). Murske <https://porvoonsorajamulta.fi/sorakauppa/murske-0-16-mm/>

Sepeli. (n.d.). Kalliomurske. <https://www.sepeli.fi/kalliomurske/>

Strandström, M. (2017). Kääntymispaikat. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/K%C3%A4%C3%A4ntymispaikat.pdf>

Strandström, M. (2017). Pohjamaankantavuusluokitus. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Pohjamaan-kantavuusluokitus.pdf>

Strandström, M. (2017). Päälysrakenneluokat. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/P%C3%A4%C3%A4lysrakenneluokat.pdf>

Taloon.com. (n.d.). Suodatinkangas. [https://www.taloon.com/suodatinkangas-n3-a-collection-6x120m-720m?shopping=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=PLA%20-%20C%20-%20All%20Other%20Categories%20-%20Medium%20Prio&utm\\_id=2009889584&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4dmNU4dbV-v-ENwf2KwHzOpiJbJzy1Xdv-FyVnbVhb6CequDse2QzRoCedkQAvD\\_BwE](https://www.taloon.com/suodatinkangas-n3-a-collection-6x120m-720m?shopping=1&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PLA%20-%20C%20-%20All%20Other%20Categories%20-%20Medium%20Prio&utm_id=2009889584&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAnKi8BhB0EiwA58DA4dmNU4dbV-v-ENwf2KwHzOpiJbJzy1Xdv-FyVnbVhb6CequDse2QzRoCedkQAvD_BwE)

Tapio Oy. (2019). Metsän hoidonsuositukset suometsien hoitoon. [https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon\\_suosituksset\\_suometsien-hoitoon\\_TAPIO\\_2019.pdf](https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_suometsien-hoitoon_TAPIO_2019.pdf)

Tapio Oy. (2019). Metsätien kunnossapito. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Metsatien-kunnossapito-esite.pdf>

Tapio Oy. (2017). Metsätien perusparannuksen vaatimuksia. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Metsatien-perusparannuksen-vaatimuksia.pdf>

Tapio Oy. (n.d.). Metsätien perusparantaminen kuvaus.

<https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/metsatien-perusparantaminen>

Tapio Oy. (n.d.). Metsätien perusparantaminen toteutus.

<https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/metsatien-perusparantaminen/toteutus>

Tapio Oy. (n.d.). Metsätien kunnossapidossa käytettävät materiaalit.

<https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/metsatien-kunnossapidossa-kaytettavat-materiaalit>

Tiehallinto. (2002). Niskaojat.

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Tiehallinto/kunnossapidon\\_ohjekortit/niskaojat.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Tiehallinto/kunnossapidon_ohjekortit/niskaojat.pdf)

Tomperi, T. Kiiskinen, P. Anttonen, T. (2021). Metsätien rakentaminen.

<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/548032>

Vanhatalo, S. (2009). Ohjeita piennartien rakentamiseen.

<https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a200=279>

Väylävirasto. (2024). Teiden kelirikko ja painorajoitukset.

<https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito/painorajoitukset>

Väylävirasto. (2022). Miten sorateiden kelirikko syntyy. <https://vayla.fi/-/miten-sorateiden-kelirikko-syntyy->

Väylävirasto. (2014). Sorateiden kunnossapito.

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2014-01\\_sorateiden\\_kunnossapito\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf)