



**TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOO**

Margus Must

SOOJENDUSEGA TEED

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2023



Margus Must

SOOJENDUSEGA TEED

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Teedehituse õppekava

Juhendaja: Meelis Toome

Tallinn 2023

Mina

Margus Must,

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Meelis Toome, */allkirjastatud digitaalselt/*

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

Margus Must,

sünnikuupäev:

21.04.1977,

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

“Soojendusega teed“

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/



Ehitusinstituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: Margus Must
Õpperühm: KTE.2019
Eriala: Teedehitus (1821)
Lõputöö teema: Soojendusega teed

Lähteandmed töö koostamiseks:

Töös on kasutatud veebis leitud artikleid ja praktikajooksul omandatud teadmisi.

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lõputöö eesmärgiks on tutvustada ja analüüsida olemasolevaid soojendusega teede kasutamise praktikaid ja pakkuda võimalikke lahendusi, milliseid neid saaks Eestis kasutada.

Lõputöös tuuakse välja lahendus ja eelised kütte kasutamisel rajatiste juures.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Töö tekstilise osa maht on 40-60 lk.

Lõputöö juhendaja: Meelis Toome
(nimi)
Lõpetaja: Margus Must
(nimi)
Kinnitaja: Aivars Alt
ehitusinstituudi direktor

M. Toome 26.02.2023
(allkiri) (kuupäev)
26.02.2023
(allkiri) (kuupäev)
26.02.2023
(allkiri) (kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 26.02.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg: 02.05.2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1 SOOJENDUSEGA TEED.....	8
1.1 Betooni ja betoontee	8
1.2 Jäik katend	10
1.3 Teekatte defektide tekke põhjused	11
1.4 Libeduse teke	12
1.5 Rajatiste soojendamise eelised	13
1.6 Talihooldus ja kloriidide mõju teedele	14
2 EESTIS KASUTUSEL OLEVAD LEVINUD LAHENDUSED	17
2.1 Soojakadude kasutamine	17
2.2 Elektrilised lahendused	19
2.3 Sooajavektoride lahendus	20
2.3.1 Sõidutee vesiküttesüsteemi rajamine	21
3 TEOREETILISED TEEDE SOOJENDAMISE LAHENDUSED.....	24
3.1 Linnatänavate soojendamine kaugküttega	24
3.2 Ventilatsiooniga soojendamine.....	26
3.3 Jahutussüsteemide soojusenergia kasutamine	30
3.3.1 Külmasinate jääkenergia taaskasutamine	30
3.3.2 Soojuspumbaga lahendus	31
3.3.3 Sildade soojendamine soojuspumbaga	33
3.3.4 Kaugjahutuse ärakasutamine.....	34
3.4 Sooja salvestus muldkehas	34
3.4.1 Soojuskadude lahendus	36
3.4.2 Teepinna soojendamine salvestatud soojusega	37
3.5 Teede jahutamine.....	38
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY	41
VIIDATUD ALLIKAD.....	43

SISSEJUHATUS

Lõputöö eesmärk on pakkuda lahendusi teede ja tänavate soojendamiseks lume- ja jää sulatamise eesmärgil. Siit ka siis teema “Soojendusega teed”. Idee on tutvuda kasutuses olevate süsteemide töötamise põhimõtetega ja pakkuda teoreetilisi lahendusi täiendamaks olemasolevaid lahendusi, mida saab Eesti tingimustes rakendada. Tänapäevaste energiahindade ja ehitusmaksumuste juures esimese hooga ei kõla just teede kütmine väga mõistliku ideena. Näiteks eelmisel aastal kerkisid ehituse hinnad 17,8% [1], 2022 aasta oli ehitusettevõtjatele raske. Eriti keeruline oli nendel ettevõtetel, kellel olid pikaajalised kohustused, mis olid sõlmitud enne 24. veebruari eelmisel aastal. Tänu ehitusmaterjalide hindade kiirele kasvule luhtusid ka mitmed riigihanked. Tänapäevaseks on küll toimunud ehitusmaterjalide hindade stabiliseerumine, aga ehitusturul ollakse jätkuvalt ettevaatlik. Siin aitaks, kui koostatakse lepingud näiteks etappide kaupa, vähendades ehitusmaterjalide hinnarallit või lisatakse lepingutesse ehitusmaterjalide hindade sidumine turu hindadega, aga sellest arusaadavalt tellijad ei ole huvitatud.

Lõputöös kirjeldan teede soojendamise meetodeid, millega olen kokku puutunud, samuti pakun välja variante, kuidas minu arvates saab ökonoomselt hoida teekatte lume- ja jäävaba. Esimese variandina kirjeldan olemasoleva kaugkütte võrgu kasutamist, ammutamaks sooja katlamajade primaarpoole tagasivoolutorustikust. Samuti puudutan ka kaugjahutuse kasutamise võimaluse potentsiaali. Teise variandina kirjeldan hoonete ventilatsioonisüsteemide väljavisatava õhu kasutamist teekatte soojendamiseks hoonete läheduses. Järgmiseks kirjeldan hoonete jääkenergia kasutamise lahendust, nimelt jahutussüsteemide töötamisega tekib suurtes kogustes sooja, mis tavaliselt juhitakse katusele, kus see kantakse üle ümbritsevale õhule. Minu eesmärk on jääkenergiat kasutada hoonete ümbruses asetsevate teede soojendamiseks betoontee sisse paigaldatud kütetorustiku kaudu. Viimase variandina keskendun soojuste salvestamisele tee muldkehasse. Lisaks kirjeldan teede ja rajatiste lagunemise põhjuseid, libeduse tekkimist ja toon ära soolade negatiivse mõju teekattematerjalidele ja rajatistele. Samuti kirjeldan kasutuses olevaid lihtsaid teede soojendamise lahendusi.

Usun, et kui kasutada olemasolevaid tehnoloogiaid ja lahendusi, siis on võimalik konkureerida tavahooldusega tiheasustusega piirkondades. Tavahooldus ei ole samuti tasuta. Lisaks saame kaua kestva betoontee ja boonuseks konstruktsioonide pikema eluea, välistades tavahooldusest tuleneva füüsilise kulutamise ja naatriumkloriidi kasutamise. Kogu Eesti teedevõrgu lume ja jäävaba hoidmiseks kütte kasutamine oleks selgelt liigne luksus.

Tänapäevase maailma ja Eesti rohepöörde [2] eesmärkide saavutamisele aitab kindlasti ka kaasa konstruktsioonide eluea pikendamine, mis kaasneb teelõigu soojendamise ja looduslike ressurside

kulub seda vähem meil, mida kauem saame teid, sildasid või viadukte ohutult kasutada. Kuigi materjalide tootjad on huvitatud eelkõige sellest, et ehitatakse uusi teid ja rajatisi, arvestamata materjalide tootmiseks ja transpordiks kuluva energia. Ehitiste mõju keskkonnale hinnatakse läbi kahe näitaja: energiakulu kWh ning CO₂ eritamine [3], ehk süsinikujalajälg. Ehitusseadustikus seisab, et igasugune ehitamine ja ehitise ekspluatatsioon peab olema teostatud maksimaalselt keskkonnasäästlikult, arvestades loodusvarade kasutust [4]. Igasugune ehitustegevus ja hooldus toodab jäätmeid, jääk-kemikaale ning kasvuhoonegaase, mis põhjustavad keskkonnaseisundi halvenemisest ja kliimamuutust. Keskkonnaseisundi halvenemisel on otsene mõju meie kõigi tervisele. Õhusaaste ja kemikaalid ladestuvad õhku, vette, pinnasesse ning satuvad seeläbi taas meie toidulauale. Uuringud väidavad, et just energia tootmine ja transpordile kuluv energia on kõige suuremad kasvuhoonegaaside tekitajad, koguni 73,2% [5]. Kuigi oleme väike riik ja meie otsused ei mõjuta maailma mõistes midagi, sõltume kokkuvõttes suurriikide otsustest. Kõik me teame, et ressursid on piiratud, seega teede ja rajatiste elukaare pikendamine peaks olema ühiskonnas iseenesest mõistetav. Arusaadav on ka see, et tänases julgeolekuolukorras on Eesti riigi prioriteet julgeolek, kus minu arust mängib ka väga olulist rolli riigi taristu. Täna on meil taristuehituses riigitellimuste osakaal vähemalt 80%, mis teeb tee-ehitajad eriti sõltuvaks päevapoliitikast.

Klassikaline talihoole ei taga liiklusohutust kiiresti muutuvates ilmastiku tingimustes, aga teede soojendusega on tagatud puhas tee sõltumata ilmastikuoludest. Libedus on igal talvel teemaks ka kergliiklusteedel, eriti ohustatud on vanurid, kes esimese libedaga ummistavad EMO-de vastuvõttusid. Sellega muudetakse teiste muredega inimeste ooteajad põhjendatult pikemaks, kuna kukkumine võib põhjustada tõsise vigastuse, kuhu kulub ka maksumaksja raha. Sellel on otsene mõju riigi majandusele. Tallinnas on kinnistuomanike kohustus hoida avalikus kasutuses olevad kõnniteed hooldatult, nii seisab Tallinna linna heakorra eeskirjas [6]. Reeglina on linnades kõnniteed kitsad ning ei ole piisavalt ruumi lume ladustamiseks raskete ilmastikuolude esinemisel, kuid eeskirja järgi peab olema tagatud kõnniteel 1,1m käiguruum. Kui kõnnitee pole hooldatud, vastutab kinnistu omanik võlaõigusseaduse järgi kehavigastuste tekitamise eest, kui midagi tõsist juhtub [7].

Kui suuta kasutada tänapäevaseid lahendusi teede hooldamiseks, hoides püsikulud madalad, on võimalik konkureerida klassikalise libeduse- ja lumetõrje hindadega järskudel tõusudel, rajatiste juures ja hoonete läheduses asuvate kergliiklusteede ja kaldteede soojendamise näol.

1 SOOJENDUSEGA TEED

Soojendusega tee eesmärk on hoida sõidutee kate lumevaba sõltumata ilmastiku tingimustest. Samuti pakub lume sulatamine lahendust kitsastes oludes, kus ainukeseks alternatiivseks lahenduseks on lume äravedu. Kui lumesaju või tuisuga teekattele kogunenud lume teelt eemaldamine on problemaatiline, siis on põhjust mõelda teede soojendamisele. Olemasolevates ja kitsastes oludes ei ole võimalik tagada maanteede projekteerimisenormides toodud kergliiklusteede nurgaraadiust 3 m, et hooldustehnika saaks liikuda [8]. Eestis võib esineda pikki ja lumerohkeid perioode, mis seavad kõrgendatud nõudmised sõidukijuhtide oskustele ja tee-ehitus materjalide kvaliteedile.

Riigiteedel toimub talihooldus vastavalt kehtivatele seisunditasemetele [9], kõige kõrgema seisunditasemega teel võib esineda libedus kuni viis tundi, alles siis peab olema tagatud tingimustele vastav seisunditase, kuid see ei ole võrreldav soojendusega tee seisundiga. Soojendusega tee ei vaja viite tundi lume tõrjumiseks ning selle suurimaks plussiks ongi, et puhas teekate on tagatud kas või aastaringselt, sõltumata ilmastikuoludest.

Usun, et pikas perspektiivis on teede soojendamine ohtlikes kohtades mõistlik lahendus, mis aitab kaasa liiklusohutuse tagamisele ja mingil määral ka majandusele. Kui teelõik on kinni liiklusõnnetuse või mingil muul põhjusel, siis ei saa ka lumekoristusmasinad liikuma, et tagada nõuetekohast talihooldust. Näiteks Padaoru juhtum aastaid tagasi, kus inimesed ja kaubad ei saanud liikuma [10]. Sellel on otsene mõju majandusele. Soojendust võib kaaluda kohtades, kus klassikalisel lumetõrjel on suur tõenäosus kahjustada piirdeid ja rajatisi, näiteks väikese raadiusega turboringid.

Soojendusega tee aitab hoida teekatte kuiva ning mida kiiremini teekate kuivab, seda aeglasem on teekatte kulumine. Märg teepind kulub kiiremini kui kuiv ning eriti kulub märg sõidutee naelrehvide all. Lume ja jää sulamiskiirus on otseses seoses teekatte temperatuuriga. Seega, mida soojem on soojakandja, seda kiirem on sulamisprotsess, aga samas on ka energiakulu suurem. Piisab, kui süsteem suudab hoida teepinna temperatuuri plusskraadides ja sulamine saab alata, madalatel õhu temperatuuridel on ka lumesaju tõenäosus väike.

1.1 Betoon ja betoontee

Vesikütte rajamisel ei saa mööda betoontee või betoonplaadi ehitamisest. Hoonete juures reeglina kasutatakse kaldteena betoonivalu, kuna mahud on väikesed ja betoonplaadi ehitamisega saab reeglina hakkama iga üldehitaja. Lisaks on betoontee kestvam kui asfaltbetoon kate. Teede soojendamise juures on betoonplaadi eeliseks selle suur soojamahutavus ja inerts. Soojamahutavus

näitab materjali omadust neelata soojenemisel sooja ja hiljem jahtumisel kiirata sooja. Materjali võime endasse sooja salvestada sõltub suuresti ka materjali niiskusest, märg materjal suudab salvestada enam soojust. Küttesüsteemi rikke korral ei toimu järsku jahtumist, millega kaasneks libeduse teke. Küttekontuur on vaja paigaldada just betooni sisse, kus ta on kaitstud mehaaniliste vigastuste eest.

Asfaltkatte ees on eeliseks see, et aja jooksul betoon muutub aina tugevamaks, aga asfaldi sideaine bituumen ehk orgaaniline aine aja jooksul vananeb ning kaotab nakke täitematerjaliga. Samuti ei ole betoontee nii nõudlik aluse suhtes kui asfaltbetoon katend. Betooni külmakindluse eelduseks on betooni hea veepidavus ja täitematerjali külmakindlus. Roopa tekke poolest võib ka kindlasti betoontee. Asfaldkate vajab remonti (freesimist, ülekatet) 6-8 aasta tagant, aga betoontee kestab vähemalt 20 aastat. Kui betoontee rajamine on kallim kui asfaldtee rajamine, väidetavalt umbes 31% võrreldes asfaldkatendiga [11], siis hooldus on võrreldes asfaldkattega 40% soodsam [12]. Korduvate deformatsioonide mõjul hakkab betoon tööle elastse materjalina, kui muidugi pinged ei ületa lubatud piire, mis esialgul kutsuvad esile plastse deformatsiooni ja pingete suurenemisel betoonkonstruktsiooni purunemise. Deformatsiooni suurus sõltub otseselt koormuse suurusest ja koormuse mõjumise kestusest.

Kahjuks on betoonteel ka puudusi. Kõige nähtavam ja sagedasem betooni kahjustusvorm on pragunemine. Oluline on see, milliste pragudega on tegemist, kuna paratamatult igasugune betoon sisaldab pragusid. Betoon praguneb siis, kui selles tekkinud tõmbepinged ületavad tema tõmbetugevuse. Betooni tõmbetugevus kasvab kividemise käigus, värskel betoonisegul on see null. Seega, betooni pragunemisrisk on eriti suur just ehitamise ajal, kus tõmbetugevused on väikesed. Põhjuseks on betooni kividemisel toimuv betooni mahu kahanemine ning kuivamine algab välispinnalt, seega välispinna lähedal esineb kõige suurem mahu muutus. Sellepärast on betoontee ehitamise järgsel ajal väga tähtis korrektne ja hoolas järelhooldus, kui eesmärgiks on kvaliteetne ja ettenähtud parameetritele vastav betontee. Järelhooldus betoonil tagab betooni tugevuse, veepidavuse, kulumiskindluse, kividemise jne. Kõige olulisem on järelhoolduse ajal tagada valatud betooni ettenähtud niiskuserežiim ja temperatuur, sest muidu ei ole võimalik saavutada ettenähtud betooni omadusi ning selle põhjuseks on pikk keemiline protsess, mis tekib tsemendi ja vee segunemisel. Betooni kvaliteeti kontrollitakse 28 päeva möödumisel paigaldusest, siis peaks olema betoon saavutanud oma survetugevuse. Eksploatatsiooni faasis oleneb betoonkonstruktsiooni kestvus suuresti konstruktsiooni ümbritsevast keskkonnast, keskkond võib soodustada betooni lagunemist ja sarruse korrosiooni. Keskkonnamõjurid võivad olla nii keemilised kui ka füüsikalised.

Konstruksiooni kestvus tagatakse keskkonnaklassi määramisega, mis tugineb standardile EVS-EN 206:2014+A2:2021, kus tuuakse ära betooni säilitamise nõuded [13].

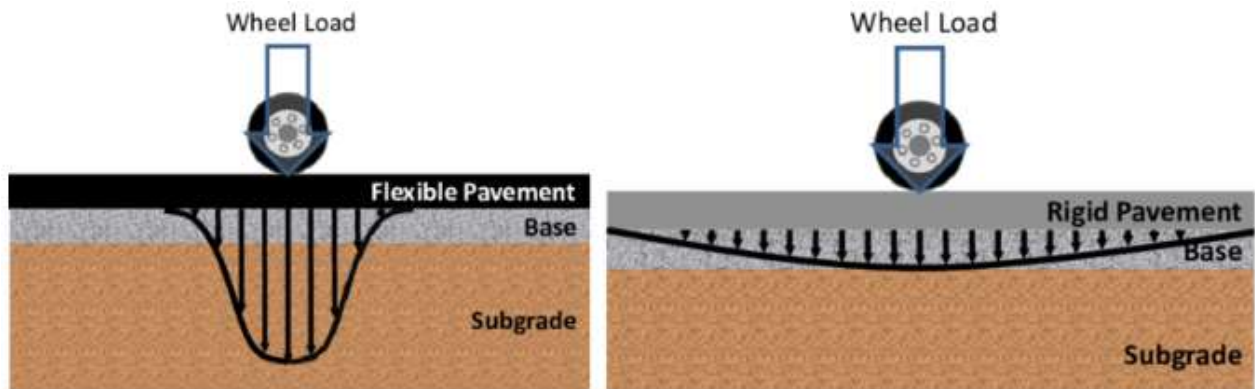
Betoontee koosneb reeglina aluspinnast, alusest ja betooni kihist. Betoontee ehitamine toimub spetsiaalse betoonilaoturi abil, väiksemate mahtude juures ehitatakse raketis, nii nagu tavalise monoliit betoonkonstruktsiooni ehitamisel. Betoontee valatakse toetavale konstruktsioonile, milleks võib olla killustik, liiv, raketis, soojustusplaadid jne. Betoontees kasutatakse armatuuri kindlasti kui aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL) [14] on üle 5000, kui on tegu kõrgete mulletega või tegu on ebaühtlaste ja vajumis altite alustega. Igal juhul tugevdab armeerimine betooni, andes talle tõmbetugevuse. Lisaks vähendab sarruse kasutamine olulisel määral kuivamisel tekkivaid pingeid, millest arenevad praod.

Betoonkate kasutamisel saame katte, mille hoolduskulud on olematud, kui töö on hästi tehtud. Põhiline betoontee hooldus on vuukide korrasoleku tagamine. Betoonkattele, mis on laiem kui 4,5 m tuleb teha lisaks põikvuukidele ka pikivuugid [8]. Põikvuugid ja pikivuugid tehakse reeglina omavahel risti. Põikvuukide vahekaugused sõltuvad betooni kihi paksusest ja armeerimise vajadusest. Näiteks armeerimata betoonkatesse tuleb teha vuugid umbes iga 5-6 meetri tagant [15]. Vuugid on ette nähtud kompenseerimaks materjalide vajaliku liikumisvaru, lisaks peab vuuk olema veetihe ja pidama vastu liiklusköormusele. Deformatsioonivuugid vajavad hooldust ja kontrolli. Tähtis on see, et betoontee ehitamisel tuleb juhinduda nii katendite, betoonkonstruktsioonide kui ka torustiku paigaldamise juhistest, standarditest ja normidest. Sõltumata sellest, kui korrektne ja hoolas on tee omanik, kaasneb paratamatult igasuguse tee kasutamisega kulumine ja vananemine, kuid betoontee korral on see protsess lihtsalt aeglasem.

1.2 Jäik katend

Nagu eelnevas peatükis mainisin, siis betooni kasutades saame jäiga katendi, mis on püsikatend. Jäikade katendite hulka kuuluvad nii monoliitset tsementbetoonist kattega katend, monteeritavast raudbetoonist kattega katend ja asfaltbetoonkate monoliitset tsementbetoonist alusel [16]. Küttesüsteemi kasutamisel tuleb jääda monoliitse betoon konstruktsiooni juurde, mis valatakse kohapeal, reeglina tehakse betoonkate kogu tee laiuses ühesuguse paksusega. Betoontee rajatakse tavaliselt tihendatud alusele, mis omakorda toetub aluspinnale. Betoonkonstruktsioonide ehitamisel tuleb jälgida lisaks ehitamise tehnoloogiatele ka materjalidele esitatavaid nõudeid ja standardeid, mis on ära toodud teetööde tehnilises kirjelduses [17].

Lisatud joonisel (Joonis 1) on näha koormuse jaotumine alusele elastse katendi puhul (vasakul pildil) ja jäiga katendi puhul (paremal pildil). Betoonteel jagunevad koormused pinnasekihile hajutatumalt kui elastse katendi puhul.



Joonis 1. Koormuse jaotumine [18]

Jäikade katendite dimensioneerimiseks teostatakse täpsed arvutused, orienteeruvad paksused saab võtta maantee projekteerimisenormidest, kus on määravaks aluse materjal ja eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus. Näiteks maantee projekteerimisenormide järgi piisab 20 cm betoonkattest, kui on korralik killustik alus ja AKÖL on 1000 [19].

1.3 Teekatte defektide tekke põhjused

Tee-ehituses kasutatakse betooni- ja asfaldisegude koostisosana täitematerjale nagu liiv, kruus ja killustik. Ehitusmaterjalide veesisaldusel on oluline mõju materjali tugevusele ja käitumisele koormuse all. Kui vesi jääb, siis see paisub ja see paisumine tekitab materjalides sisemisi pingeid ning kui pinged ületavad teekatte materjali tõmbetugevuse, siis tekib pragu, mille kaudu pääseb vesi katendi alumistesse kihtidesse. Materjalide olulised näitajad on ilmastikukindlus, kulumiskindlus ja külmakindlus. Ilmastikukindluse all mõistetakse seda, kui hästi kiht kestab sideaine vananemist ning vee ja külmumise mõjutusi. Kulumiskindluse all mõistetakse seda, kui hästi kate peab vastu naastrehvide tekitatud kulumisele. Külmakindlus viitab materjali võimele vastu seista kahjustustele või lagunemisele, kui see puutub kokku külmakraadidega. Põhilised teekonstruktsioonidele mõjuvad keskkonnatingimused on vesi ja temperatuur. Asfaltsegude kulumiskindlus halveneb külmumis- ja sulamistsüklite läbimise tagajärjel.

Defekti tekkepõhjuseid on mitmeid ning ühe defekti tekkimine kiirendab üldjuhul ka teist tüüpi defektide ilmnemist - muutus ükskõik millises kihis mõjutab kogu konstruktsiooni töötamist.

Temperatuuri muutused mõjutavad sideainega seotud kihte ja konstruktsioonis olev vesi mõjutab sidumata kihtide materjale. Samas vesi teepinnal teeb selle ka libedaks ja märg teepind kulub kiiremini kui kuiv, eriti just naelrehvide all. Samuti niiskus ja sool rikuvad bituumeni ja täiteaine vahelist sidet, lagundades bituumenit. Külumumis- ja sulamistsüklite vaheldumine põhjustab pragude tekkimist, mis omakorda soodustab vee pääsemist teekatte sisse ning hakkab nõrgendama konstruktsiooni.

Meie kliimas on temperatuuri kõikumised need, mis lõhuvad teid, seega hoides teekonstruktsiooni stabiilselt plusskraadide juures, on meil tagatud kauakestev ja ohutu teelõik.

1.4 Libeduse teke

Tänapäeval oleme harjunud igapäevaste ilmaprognoosidega erinevate kanalite vahendusel, mõnikord on need täpsed, teinekord võib tegelik ilm prognoositust aga oluliselt erineda. Nii tuleb igal aastal talv ja libedus teehooldajatele ootamatult, kuigi on teada, et Eestis on lumi maas keskmiselt 75–135 päeva aastas [20]. Siin oleks liiklusohutuse tagamisel abiks teede ja tänavate ohtlike kohtade soojendamine. Liiklusõnnetuste põhjuseks ei ole kindlasti mitte ainult libedus, liiklusõnnetus tekib reeglina mitme erineva faktori esinemisel, peamine on mittesobiv sõidukiirus. Tänapäeval on kõigil kiire ja kiirust vähendatakse alles ohuolukorra tekkimise järgselt. Teekasutaja ootused sõidutee oludele on võrdsed nii suvel kui talvel. Statistika viitab sellele, et liiklusõnnetuse põhjustest esimesena tuleb inimfaktor, siis sõiduki tehniline seisukord ja alles siis keskkond [21], milles on oluline roll teekatte haardeteguril [22].

Jäite tekkimiseks on vaja niiskust ja miinuskraade. Kui teepinna temperatuur langeb õhu kastepunkti temperatuurist madalamale, siis hakkab õhus olev vesi välja kondenseeruma ning mida suurem on teepinna ja õhu temperatuuride vahe, seda suurem kogus kondensaati tekib. Veeauru mahtuvus õhus sõltub õhu temperatuurist, kuna soe õhk suudab mahutada rohkem vett kui külm õhk. Miinuskraadidel tekkinud kondensaat teepinnal jäätub ja tekib libedus. Kiilasjää korral on kõige ohtlikum see, et jääkirmet ei ole võimalik silmaga tuvastada.

Rajatistel on tõenäosus libeduse tekkeks esimesena, kuna nad on avatud konstruktsioonid ja neil puudub soojust salvestav muldkeha ja maapind. Sildadel ja viaduktidel võib kohata libedust isegi siis, kui muldkehaga teel seda ei esine.

1.5 Rajatiste soojendamise eelised

Rajatistel peavad olema tagatud tingimused ohutuks liiklemiseks, teolud rajatisel peavad vastama tee seisundinõuetele [23]. Silla sõidutee peab olema sama lai, kui silla pealesõidutee osa laius ning lume tõttu ei tohi sõidurada kitseneda [24]. Sildadel ja viaduktidel on lund raske kuhjadesse koguda, sest rajatised on niigi kitsad. Lisaks on rajatistel libeduse tekkeks suurem tõenäosus kui muldkehaga teel, kuna tegu on avatud konstruktsioonidega. Siit ka vajadus silla ja viaduktide tekkide kütmiseks.

Rajatiste sõiduteeosade lume- ja jäävaba hoidmine aitab hoida kuivad ka silla või viadukti kandekonstruktsioonid, mis on rajatise seisukohalt kõige tähtsam. Kandekonstruktsioonide remont on kallis ja eeldab rajatise sulgemist liiklusele. Enamus ehk 782 Eesti riigiteede sildadest on ehitatud betoonist (77,3%) [25], seega raudbetoon on meie kliimas ennast tõestanud kui kestav ja hooldusvaba materjal.

Monteeritavatest elementidest konstruktsioonide kõige nõrgemad kohad on elementide ühendamise kohad, kus on oht korrosiooni tekkeks vee ja õhu juurdepääsu korral. Korrosioon intensiivistub eriti niiskuse suurenemisel, mida saame vähendada sillateki soojendamisega ning korraliku ja töötava nõuetekohase drenaažisüsteemiga. Ainult sillateki kütmisest ei piisa, sest seisev vesi kipub läbi asfaltbetooni betooni imbuma, mis omakorda põhjustab armatuuri korrosiooni ja betooni riknemist. Samuti libedustõrje soolade kasutamine rajatistel vähendab konstruktsiooni eluiga ja suurendab hoolde ning remondi kulusid. Prao kaudu pääseb vesi armatuurini, mis tekitab korrosiooni. Betoonis on armatuur vajalik tõmbepingete vastuvõtmiseks. Samuti satub pragude kaudu vesi betooni sisse ning külmumisel on see suuremaid betoonkonstruktsioonide kahjustuste ja lagunemise põhjuseid. Samuti sulamisel tekivad pinged, kui betoon proovib oma esialgset kuju taastada. Aja jooksul korduvad külmumis- ja sulamistsüklid põhjustavad betooni pragunemise, koorumise ja toovad kaasa muud liiki kahjustusi.

Klassikaline teehooldus kulutab ka füüsiliselt. Rajatiste puhul ei saa üle ega ümber sahkade lõhkuvast ja kulutavast toimest. Kahjuks ei ole harvad juhused, kus hooldusmasinad on lõhkunud piirdeid ja rajatise konstruktsioone. Rajatise teekate soojendamisega saab vähendada hooldus- ja remondikulusid, pikendada konstruktsioonide eluiga, tagada rajatise nõuetekohase läbilaskevõime ning lisaks saame ka suurema liiklusohutuse.

1.6 Talihooldus ja kloriidide mõju teedele

Teel, millel on tagatud nõutav seisunditase, on eeldused ohutuks liiklemiseks loodud, kui peetakse kinni liikluseeskirjadest. Seisundinõuete täitmine on teeomaniku kohustus ning tee seisund peab vastama vähemalt kehtestatud tasemele [9].

Olen näinud, et teehooldusmasin sõidab sahk üleval ja soolapuistur töötab, samuti olen kohanud soolapuistureid, mis soolatakse visuaalselt kuiva ja puhast teed. Selge on see, et sool sulatab jääd, miks muidu külmub meri alati kõige viimasena. Asi on soola sisalduses - mida kangem soolalahus, seda külmemat ilma on vaja jäite tekkimiseks, näiteks 10%-e soolalahus vajab külmumiseks õhutemperatuuri -6°C . Seega on arusaadav, et kui teehooldaja on orienteeritud ainult lõpptulemusele, siis ta ei lähtu tee ja looduse heaolust, vaid vaatab oma vaatenurgast, et saaks võimalikult palju soola müüa. Transpordiameti hanked on nii ülesehitatud, et hooldusfirmad saavad kanda kuludesse soola ja ka kütuse marginaaliga, mistõttu on libedustõrjeks soola hea kasutada. Soolatamist on raske täpselt kontrollida. Seevastu lumesahaga töötamist on lihtne kontrollida, täpsemalt kas tee on lükatud puhtaks või mitte. Minu arust on talvel maanteedel probleemiks just lumekatte paksus, mis tuleb likvideerida, mitte ei ole vaja kraapida asfalti välja.

Soolade kasutamine maanteedel tuleks üldse lõpetada, kuna tänapäeval on olemas suurepäraseid talverehvid, mis on kohustuslikud kasutada ja mis tagavad õigesti valitud sõidukiirusel liiklejate ohutuse. Talv ei olegi suvi ning talvel ei peagi koguaeg sõitma maksimaalselt lubatud kiirusega. Rohke soolaine ainult suurendab illusiooni, et meil on 24/7 suvised teeolud. Mõned inimesed ei saa aru, et kui lumi maha sajab, siis on tegemist talvega, mitte katastroofiga. Talvel on libedus normaalne, aga nimetatud libedustõrje kasutamisega tekitatakse ainult hea pidamise illusioon. Kui piirduda ainult lume lükkamisega, siis on juhi jaoks teeolud väga täpselt teada ja ta ei võta mõttetuid riske. Lisaks on talvel lumised teed ja tänavad ilusad.

Mina pooldan soolatamise lõpetamist ning seda eriti maanteedel, kus kloriididega libedustõrje tekitab sõiduridade vahele lumesupi, mis teeb möödasõidud väga ohtlikuks. Sellega muutub pidamine ebaühtlaseks, samuti tekitab see võltsturvatunde. Maanteede soolatamata jätmisel oleks teede libedusaste igal pool alati ühtlane, mis võimaldab juhil alati olukordi paremini hinnata.

Soolatamise lõpetamine aitab hoida ka loodusressursse. Soolatamine rikub infrastruktuuride metallkonstruktsioone, tänavakive, kuivatab teeäärset taimestikku, rikub põhjavett ning siia saab lisada veel autopesula korrad ja klaasivedelikku kulu. Kõik see keemia, mida selleks kasutatakse, mõjutab otseselt või kaudselt meie loodust. Samuti on leitud, libedustõrjevahendite kasutamine on

mõjutanud maanteed läheduses asetsevate põllumaa mullastiku pH muutusi, mis kaudselt võib mõjutada ka meie toitu [26]. Kloriidid suudavad kahjustada ka rajatiste raudbetooni, läbides armatuuri kaitsekihi, kuna soolvesi on agressiivne materjal. Samuti on kloriididel negatiivne mõju asfaltbetoonile ning pikapeale soodustavad bituumen sideaine lahustumist, sideainesisaldus on asfaldisegu oluline kvaliteedinäitaja [27]. Mainimata ei saa jätta ka naatrium-kloriidide negatiivset mõju sõidukite roostetamisele ja ka jalakäijate jalanõude rikkumisele linnatänavatel.

Lisatud pildil (Foto 1) on näha tänapäevane kõnnitee talihoole 2023 aasta talvel Tallinna kesklinnas. Sellisel kujul soola lisamisega tekitatakse löga, mis on libe ja rikub jalanõusid. Soolased tänavad on ka ebameeldivad lemmikloomadele, koerte käpad võivad hakata veritsema ja valutama [28]. Kuigi Tallinna linna heakorraeskirja järgi ei tohiks kasutada avalikus kohas kergliiklusteede libedusetõrjeks kloriide [29].



Foto 1. Kõnnitee libedustõrje

Olen korduvalt tundnud ebakindlust roolis autoga rida vahetades, seega usun, et teede libedustõrje sooladega võib olla talvel üheks liiklusõnnetuse põhjuseks. Nagu ka eespool korduvalt on jutuks olnud, siis on sellega autojuhtidele tekitatud kujutelm, et ka talvel on võimalik sõita suviste kiiruste

ja sõiduvõtetega. Inimesed ei saa aru, et järsud temperatuuri kõikumised või lumetorm toob endaga kaasa ka teeolude järsu muutumise ning süüdistavad alati teelolusid.

Libedustõrje kloriididega ei vähenda teehoolduse mahtu, küll aga suurendab oluliselt negatiivset mõju loodusele. Teede soojendamisega annab vähendada hooldusmahtusid ja suurendada positiivset mõju loodusele.

2 EESTIS KASUTUSEL OLEVAD LEVINUD LAHENDUSED

2.1 Soojakadude kasutamine

Nõukogude ajast oleme pärinud kilomeetrite viisi kaugkütte trasse, mille soojakaod suudavad hoida selle kohal asetseva teepinna piisavalt sooja. Linnapildis leidub kohti, kus lume ja jää asemel soojustrasside kohal kasvab muru aasta ringselt. Näiteks Lasnamäe tühermaal on kohalikud inimesed leidlikud ja on tekitatud kergliiklustee kenasti soojustrassi kohale (Foto 2).



Foto 2. Soojuskadude kasutamine

Soojatrassi kohal asetsev kergliiklustee pakub ohutut ja puhast liikumisvõimalust. Soojakaod on ja jäävad, tegu termodünaamikaga, energia kandub kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale [30]. Soojuskadudeta ei saa ka siis, kui paigaldada meeter soojustust, see on ka põhjus, miks on vaja üldse hooneid küta. Ühesõnaga - soojuskaod on paratamatus ja neid on mõistlik ära kasutada. Järgmisel pildil on näide Ädala tänavalt Tallinnas, kus kergliiklustee ei ole sattunud ideaalselt kohakuti kaugkütte soojustrassiga (Foto 3.). Selliseid vigu annaks planeerides vältida. Määruse järgi on ette nähtud kaugküttevõrgu torustikule kaitsevöönd sõltuvalt torustiku läbimõõdust, ümbritsev maa-ala, kus kinnistu omanikul on piirangud kinnisasja kasutamisele, ei tohi ohustada kaugküttevõrgu toimimist, seega antud juhul oleks saanud kõnniteed nihutada kenasti 1 m võrra, mis jääb kaitsevööndi sisse, mis on määruse järgi 2 m [31].



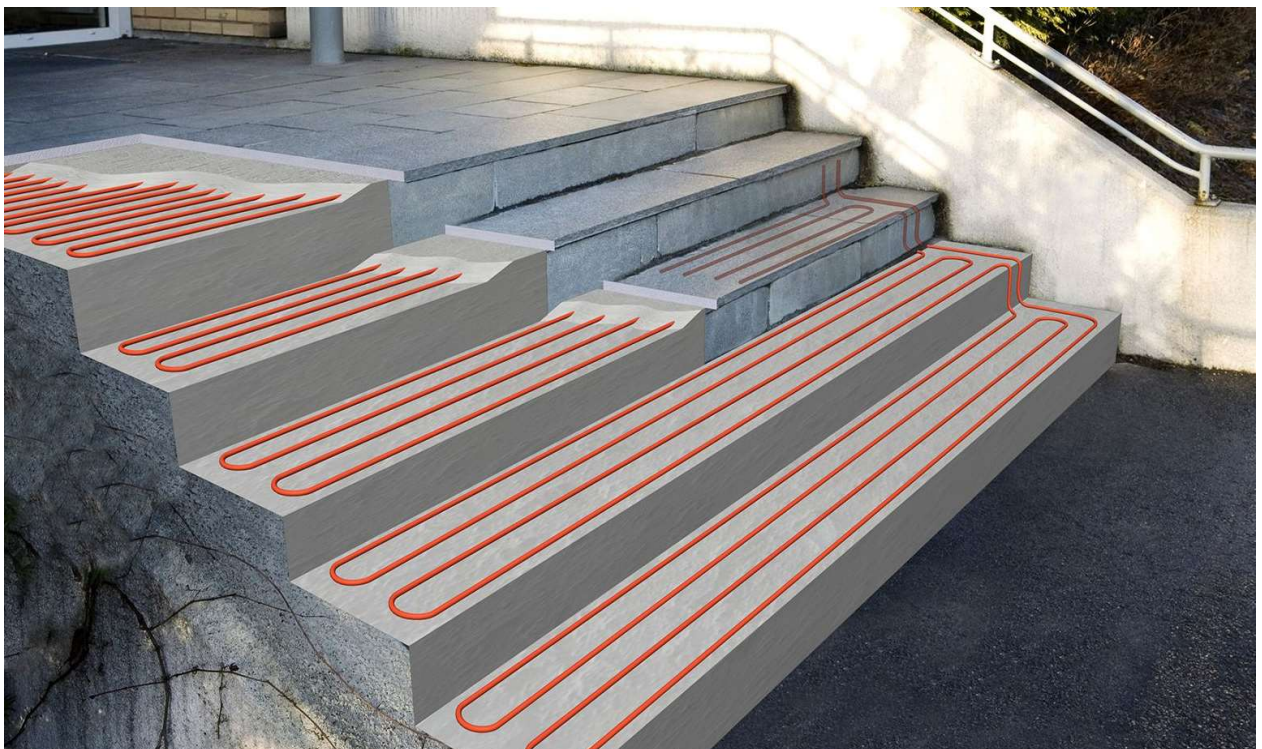
Foto 3. Kergliiklustee soojendus Ädala tn.

Soojatrasside renoveerimiste käigus muidugi antud lahenduse kasutamine ei tule kõne all, aga seniks kui meil on Eestis kasutusel veel kilomeetrite viisi soojatrasse, kus saab antud olukorda ära kasutada - projekteerida ja rajada kõnniteed kaugküttetrasside kohale. Kapitaalse kergliiklustee rajamise või remondi korral on mõistlik renoveerida ka kommunikatsioone, kui aga teostada odavat lahendust puistematerjali näol, siis võib jalgte paikneda kenasti soojustrasside kohal kui see on vähegi võimalik ja lubatud. Eraldiseisev jalakäijate jaoks mõeldud tee võib olla katteta või pinnastee [32].

Antud lahenduse puhul puuduvad igasugused kulud küttesüsteemi töös hoidmiseks teeomanikul, kaudselt muidugi soojusteenuse tarbijad maksavad lumevaba teekatte kinni. AS Utilitase andmetel moodustavad soojuskaod Tallinnas 10-15%, sõltuvalt piirkonnast [33]. Soojuskadude peamiseks põhjuseks on vanad nõukogudeaegsed trassid, mille väljavahetamine on kulukam kui lasta neil kohati ümberkaudset elu-olu soojendada.

2.2 Elektrilised lahendused

Erinevaid elektrilisi küttekaableid on kasutatud Eestis juba taasiseseisvumisest saati ning välismaal veel kauem. Jää ja lume sulatamise süsteem koosneb küttekaablitest või küttemattidest, mis paigaldatakse asfaldi, plaatide või tänavakivide alla. Süsteemi töötamiseks on vajalik termostaat, mis reguleeritakse etteantud temperatuuri hoidmiseks ning süsteem töötab täisautomaatselt. Küttekaabel kujutab endast suurt takistust, mis elektrivoolu läbimisel soojeneb. Paigaldusel on tähtis, et küttekaabli takistust ja isolatsioonitakistust mõõdetakse enne ning pärast katte paigaldamist. Samuti ei tohi betoonsegu sisaldada teravaid kive, mis võivad kaablit vigastada. Küttesüsteemi efektiivsuse tagamiseks tuleb alus korralikult soojustada vähendamaks soojakadusid allapoole. Elektrilisi küttekaableid tohib tööle panna alles siis, kui betoon on täielikult kivistunud, mis tingimustest sõltuvalt võtab umbes 30 päeva. Elektriliste sulatamise süsteemide paigaldamise kulud on väikesed, nad on pikaajalised ja ei nõua hooldamist. Sellised lahendused on mõistlikud väga väikeste mahtude korral, näiteks väiksemad kõnniteed, trepid ja hoonete sissepääsude esised (Joonis 2). Joonisel on punasega küttekaabel, mis paigaldatakse vastavalt tootja paigaldusjuhendile. Kaableid ja seadmeid peab paigaldama ja ühendama pädev elektrik.



Joonis 2. Lume- ja jäävabad trepid ja mademed [34]

Tänaste elektrihindade juures ei ole otstarbekas projekteerida elektrikütte kaableid, kui just ei ole kasutusel elektrienergia salvestamise seadmed, kust võtta tasuta toodetud elektrit. Näiteks mul on vaja hoida lumevaba 10 m² kõnniteed. Selleks valin DEVI jää- ja lumesulatussüsteemi [35], mis vajab töötamiseks -10 °C juures 200 W/m² elektrienergiat. Seega saan kuus elektri kuluks 144 eurot. Rehkendamiseks võtsin elektri hinnaka 10 senti/kWh, mis on väga hea hind ja kuu pikkuseks võtsin 30 päeva. Siit veelkord tõestus, et otse elektriga teede soojendamine ei ole mõistlik.

2.3 Soojaveetorude lahendus

Kõige levinumad lahendused tänapäevaste ärihoonete välialade ja kaldteede kütteks on soojaveetorustiku kasutamine. Rajatakse tavaliselt sõiduteeks betoonplaat, kuhu sisse on paigaldatud küttetorustiku kontuurid sarnaselt tavalise vesipõrandaküttega (Foto 4).



Foto 4. Küttetorustiku paiknemine

Soojakandjana kasutatakse külmumisvastast 40% glükooli-vesilahust, mis pannakse ringlema pumba abil. Sooja saamiseks on mitmeid võimalusi, tavaliselt on selleks keskküttesüsteem. Reeglina on soojusenergia allikaks hoonesse rajatud keskküttesüsteem, kuhu on projekteeritud eraldi kontuur. Torustikes ringlev soojakandja temperatuur on otseses sõltuvuses välisõhu temperatuurist.

Automaatika on reguleeritud hoidma ettenähtud temperatuuri torustikus ringleval soojakandjal, mis omakorda soojendab betoonplaati. Fotol on näha töötav lahendus (Foto 5).



Foto 5. Töötav kaldtee soojendus

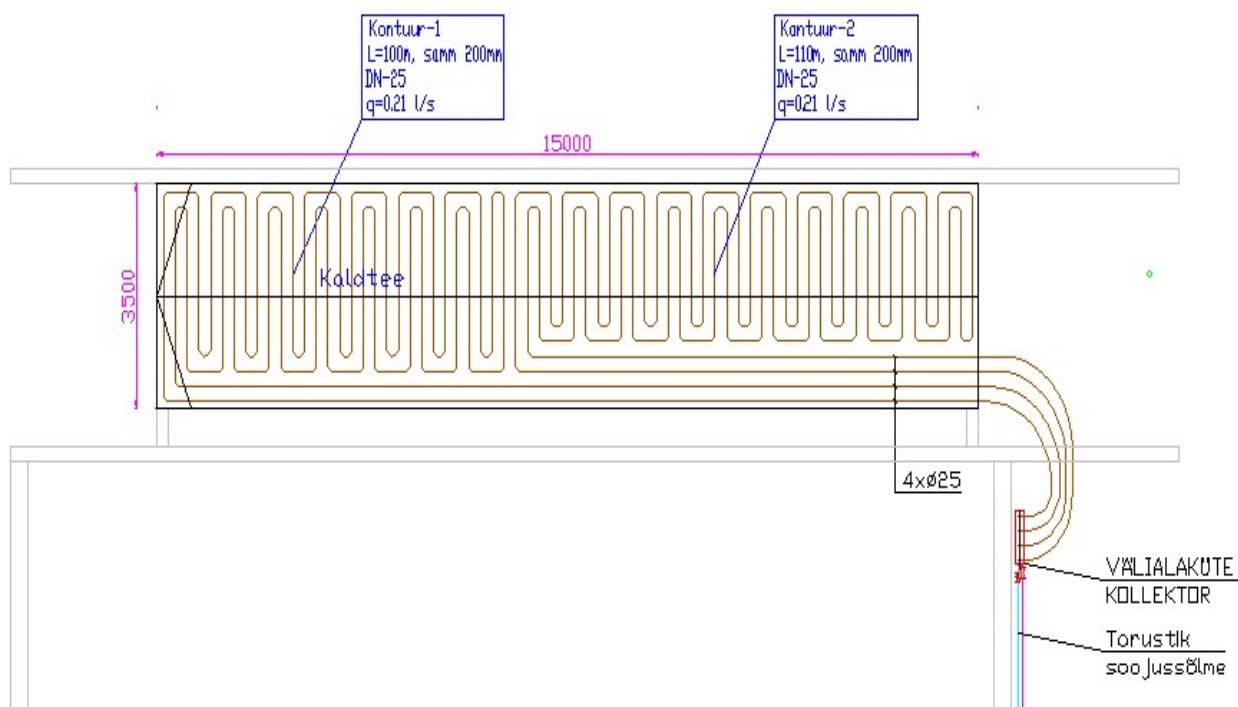
Süsteemi toimimiseks ei ole vaja kõrgeid temperatuure, piisab 25-35 °C soojakandja juhtimisest sõidutee sees olevatesse kontuuridesse ja sellega on tagatud +3 °C teepind, mis on piisav lume ja jäävaba teekatte tagamiseks. Näiteks 0 °C juures piisab 20 °C soojuskandja juhtimisest süsteemi, et saada plusskraadidega teekatte.

2.3.1 Sõidutee vesiküttesüsteemi rajamine

Klassikaline teesoojendussüsteem eeldab torustiku paigaldamist valatava betoonkatte sisse. Välialade ja sõiduteede küttekontuuripaigaldusel kasutatakse tavalist põrandakütte PEX toru Ø25 mm või Ø30 mm. Tee alla paigaldatav toru kinnitatakse betooni armatuurvõrgu külge ettenähtud sammuga, tavaliselt 300 mm. Väljaspool köetavat ala paiknev torustik tuleb paigaldada hülsstoru sisse, samuti seintest ja konstruktsioonide alt läbi minemiseks, et kaitsta mehaaniliste vigastuste eest ehituse ajal. Torustiku läbimõõt ja samm valitakse köetava ala suuruse järgi. Suurema ala korral paigaldatakse mitu kinnist kontuuri, mis saavad alguse kollektorist ning ühe küttekontuuri pikkus peaks jääma maksimaalselt 100 m juurde. Vastasel korral läheb soojuskandja erihõõrdekadu liiga suureks, kuna ideaalis võiks erihõõrdekadu jääda alla 100 Pa/m kohta. Torustik tuleb paigaldada liigsete

suunamuutusteta, et betooni valu korral ei nihkuks torustik paigast. Samuti peab kogu kontuuri torustik olema ilma liitekohtadeta. Peale torustiku paigaldamist peab teostama torustiku läbipesu ja veetiheduse kontrolli. Selleks teostatakse survekatse kahekordse töö rõhuga, mis on tavaliselt 6 bar. Nimetatud toimingud peab allkirjastama minimaalselt töövõtja ja omanikujärelevalve. Torustiku paiknemine tuleb samuti dokumenteerida teostusjooniste ja fotode näol.

Reeglina on soojendussüsteemis mitu küttekontuuri, kontuurid ühendatakse üheks süsteemiks kollektoris. Selleks, et igat kontuuri läbiks projekteeritud kogus soojakandjat tuleb paigaldada igale kontuurile liiniseadeventiil, mis tavaliselt paikneb kollektorkapis. Kollektor peab olema varustatud lisaks liiniseadeventiilidele ka sulgemis-, õhutamis- ja tühjendamisventiilidega. Süsteemide hüdrauliliseks tasakaalustamiseks reguleeritakse tasakaalustuventiile. Kui vooluhulgad ei ole mõõdistatud, siis võib juhtuda, et mõnest kontuuris ei ringle soojuskandja ja vastupidi mõnes kontuuris ringleb projekteeritud rohkem, mis muudab teepinna temperatuuri ebaühtlaseks. Vesi läheb sealt kaudu, kus takistus on väiksem. Kõik kinnised süsteemid tuleb varustada ka paisupaagiga, et kompenseerida temperatuurist tulenevaid soojakandja mahumuutusi. Soojakandjana kasutatakse tavaliselt külmumisvastast 40% vesi-glükooli lahust. Lisatud näidis kaldtee küttestorustiku paiknemise joonis (Joonis 3). Joonisel on ära toodud põhimõtteline torustiku paiknemine, kontuuri pikkus, torustiku samm ja vooluhulk.



Joonis 3. Küttestorustiku paiknemine

Süsteemi automaatika peab olema seadistatud nii, et sisselülitamine käib vastavalt niiskusele ja temperatuurile ehk kui andur tuvastab niiskust ja temperatuuri, mis on etteantust madalam, lülitatakse küte sisse. Kütmine peab olema sujuv, kuna teekatendile ei ole head järsud temperatuuride kõikumised, mis soodustavad materjalide paisumist ja kokkutõmbumist. Tavaliselt reguleeritakse süsteem hoidma pinnatemperatuuri $+2..3\text{ }^{\circ}\text{C}$, et lumi sulaks ja samas ei toimuks ülekütmist.

3 TEOREETILISED TEEDE SOOJENDAMISE LAHENDUSED

Teeküttesüsteemide esmane investeering on suur, lisanduvad veel tehnosüsteemide töös hoidmiseks vajaliku elektri-, soojusenergia- ja süsteemide hoolduskulud. Usun, et teede soojendamine suudab võistelda tavahooldusega järskudel tõusudel, hoonete läheduses asuvatel kõnniteedel ja kaldteedel.

3.1 Linnatänavate soojendamine kaugküttega

Linnades tuleks kaaluda järskude tõusude varustamist soojendustorustikuga, mis tagab talvistes tingimustes puhta teelõigu, millel on haardetegur tagatud sõltumata ilmastikutingimustest. Tallinnas on otstarbekas kasutada sooja saamiseks olemasolevat kaugkütte võrku. Täna on AS Utilitas Tallinnas hädas sellega, et tarbijatelt tagasi tulev soojuskandja temperatuur on liiga kõrge. Soojatootja projekteerimise tehnilised tingimused näevad ette, et primaarpoole soojuskandja tagastuv temperatuur ei ületaks 45 °C [33]. Kuna renoveerimata hoonete osakaal Tallinnas on jätkuvalt suur ja nende hoonete soojakaod on suured, siis on vaja hoone kütmiseks soojemat vett meeldiva sisekliima tagamiseks. Siit ka üks põhjus, miks tarbijatelt tuleb tagasi nõutust kuumem vesi. Antud probleemi lahendamiseks on vaja renoveerida ja häälestada amortiseerunud hoonete küttesüsteemid, mis on ulatuslik töö. AS Utilitas vajab katlamajade efektiivseks töötamiseks just madalamat kui 45 °C tagastuvat soojakandja vett [33], lisaks on jahedamal veel ka väiksemad soojuskaod.

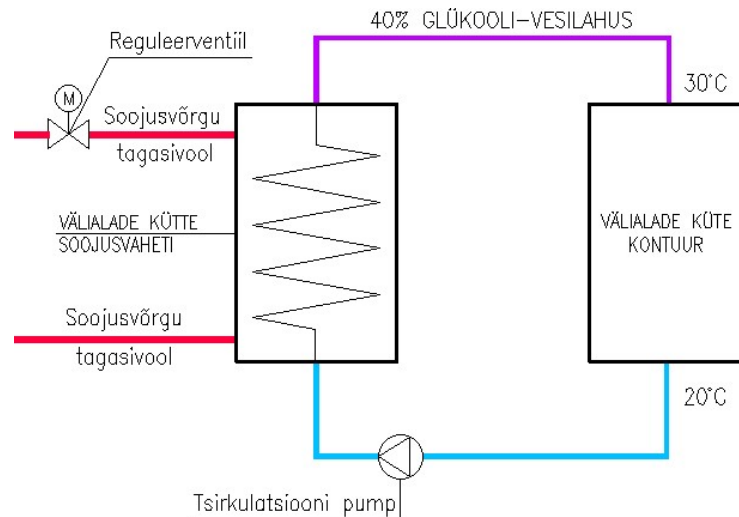
Klassikaliselt saab tarbija oma soojusenergia primaarpoole pealevoolutrassilt, kus ringleb kõrgema temperatuuriga soojuskandja. Ettepanek on ammutada sooja tagasivoolu torustikult teede soojendamiseks, millega saab viia soojuskandja tagasivoolu temperatuuri madalamaks enne katlamajja jõudmist. See on AS-i Utilitas huvides ning ohtlikud kohad oleksid lumevabad odavamalt kui soolapuistureid ja lumesahku kasutades. Soola tonn maksab täna umbes 80 eurot ja selle kulu ruutmeetri kohta on umbes 25 g sõltuvalt ilmastikuoludest. Kiilasjääd esinemisel peab soolamist teostama isegi viis korda päevas. Usun, et kui kasutada sooja saamiseks keskkütte trasside tagastuvat soojusenergiat, saame tavahooldusega võrreldes konkurentsivõimelise hinna. Tavahoolduse maksumuse saame kui liidame soolamise, sahatamise, lume äravedu ja järelevalve kulu.

Näiteks koostas Tallinnas Lauluväljaku juures oleva tõusu küttesüsteemi lihtsustatud maksumuse (Tabel 1). Pindala arvutasin maa-ameti kaardirakenduse abil, milleks tuli umbes 11 000 m². Saadud hind annab suurusjärgu, millega peab arvestama, eraldi küsimus on see, kas sellises mahus investeering on mõistlik või on mõistlik jätkata tavahooldusega.

Tabel 1. Küttesüsteemi maksumus

Nimetus	Kogus	Ühiku hind	Maksumus
Olemasoleva katte freesimine	11 000 m ²	1,5	15 000
Soojustus koos paigaldusega	11 000 m ²	25	275 000
Seadmete ruum ja kaevetööd	Komplekt		25 000
Torustik koos paigaldusega	40 000 jm	11	440 000
Seadmed (pumbad, kollektorid, paisupaagid, ventiilid)	Komplekt		25 000
Betoontee, materjal ja paigaldus	11 000 m ²	45	495 000
Asfalteerimine			3 000
Elekter, automaatika	Komplekt		20 000
Mõõdistus, teostus dokumentatsioon	Komplekt		2 000
KOKKU:			1 300 000

Reeglina asuvad tiheasustusega piirkondades soojatrassid teede all või teede vahetus läheduses, seega ei ole vajalikud olemasolevate soojatrasside ümberehitamisega kaasnevad suured investeeringud. Lisaks on vaja leida või rajada ruum tee vahetus läheduses küttesüsteemi sõlme jaoks. Samuti on vaja rajada kogu ulatuses betoontee, mis on juba tavakatendist 30-40% kallim ning millele lisandub küttesüsteem torustik. Lihtsustatult koosneks süsteem küttekontuurist, soojusvahetist, ringluspumbast ja automaatikast (Joonis 4). Joonisel punasega toodud torud ühendatakse kaugkütte tagasivoolu torustikuga.



Joonis 4. Põhimõtteline väliala kütteskeem

3.2 Ventilatsiooniga soojendamine

Ühe variandina saab ja tuleks ära kasutada ventilatsioonsüsteemidega hoonetest välja heidetavat õhku, mis on aastaringselt plusskraadidega. Tänapäevastest hoonetest ventilatsiooniga väljuva õhu temperatuur on talvel $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures, sõltuvalt sellest, kui efektiivne on ventilatsiooniseadme soojustagastus. Lisatud illustreeriv foto kontorihoone juurest (Foto 6), kus on näha ventilatsioonisüsteemi väljaviskerest, millest väljuv plusskraadine soe õhk suudab hoida teekatte ilusti lumevaba ning kohati lausa kuivana.

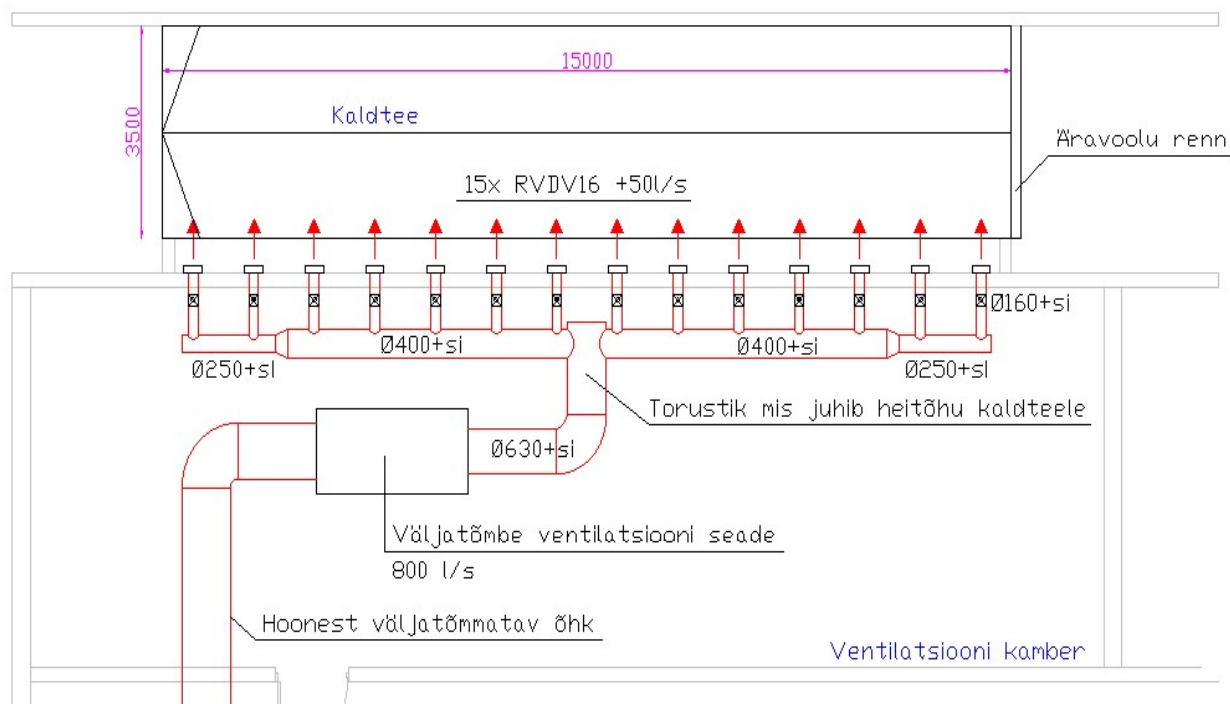


Foto 6. Hoone väljaviske rest

Antud olukorrast saab järeldada, et hoonetest väljavisatavat õhku saab efektiivselt kasutada näiteks hoone juures oleva kaldtee lumevaba hoidmiseks. Kui jagada väljaviske õhk õhujaoturite abil kogu kaldtee peale ära, siis ongi automaatne lumesulatussüsteem olemas. Pakutud lahendusega saame viia hoone energiakasutust ka veidi madalamaks, mida saab kajastada hoone energiatõhususarvutuses. Ventilatsioonil on suur roll hoone energiatõhusus arvutuses, väljaviske soojust saab ära kasutada lisaks tavalisele ventilatsioonisüsteemi soojustagastusele ka teekatte soojendamiseks. Tänapäeval peavad kõik uued projektid saama energiamärgise, mis näitab seda, kui palju hoone kulutab aastas energiat köetava pinna ruutmeetri kohta [36].

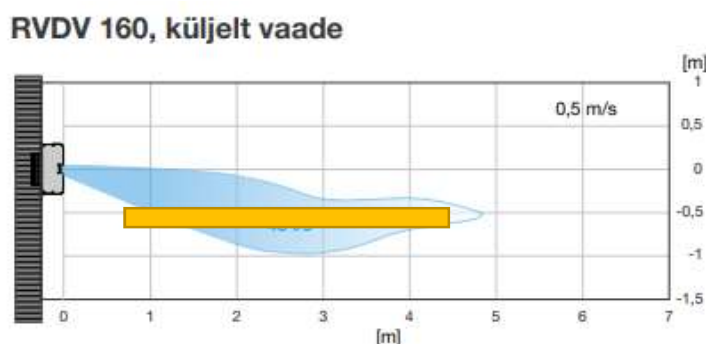
Idee on suunata hoonest väljavisatav õhk näiteks hoone kõrval olevale kaldteele, hoides niiviisi teekatte soojana ka miinuskraadidega. Võimalik lahendus on paigaldada pikki kaldtee äärt suunatud ventilatsiooni väljaviske restid, mis tekitavad suunatud õhujoad nii, et näiteks kogu parkimismaja kaldtee osa on kaetud väljavisatava sooja õhuga. Kaldtee sulatamissüsteemid tuleb varustatud ka äravoolusüsteemidega, kuna lume sulamisel peab olema võimalik koheselt, ilma lompidesse kogunemiseta, veel ära voolata. Selle juures ei ole välistatud, et äravoolurennid ja torustik tuleb varustada ka küttegaablitega jäätumise vältimiseks maapinna lähedal. Tallinnas võetakse arvestuslikuks külmumispiiriks 1,2 m, sellest ülevalpool asetsevad sadevee rennid ja torustikud on soovitatav varustada küttegaablitega.

Oma töös toon näite hoone kõrval asuva parkimismaja kaldtee lume sulatamise ventilatsiooni väljaviske õhuga. Näites võtan kaldtee pikkuseks 15 m ja laiuseks 3,5 m, joonisel näidatud ventilatsiooni kanalite paiknemine (Joonis 5).



Joonis 5. Ventilatsiooni torustiku paiknemine

Muudatus puudutab ainult ventilatsioonisüsteemi väljaviske poolt. Sooja õhu suunamiseks kaldteele saab kasutada spetsiaalselt välitingimusteks loodud väljaviskereste. Minu valitud kaldtee puhul saab hakkama minimaalselt näiteks restiga RDV 160 [37] mis tekitavad piisavad õhujoad. Antud toote graafikust on leitav, et ühest väljaviske elemendist on vaja läbi lasta minimaalselt 50 l/s, et tekiks 3,5 m pikkune juga, mis on 1 m laiusega. Sõidutee ühtlaseks katmiseks vaja paigaldada 15 väljaviske otsikut. Kokkuvõtteks saab väita, et 15 m pikkuse kaldtee soojendamiseks piisab minimaalselt 765 l/s õhukogusest. Selge see, et mida suurema õhuhulga võtame, seda parema tulemuse saavutame. Joonisel (Joonis 6) väljaviskeresti RVDV õhujoa kujunemine [37] ja kollasega joonisele märgitud planeeritav kaldtee laiusega 3,5 m.



Joonis 6. Õhujoa kujunemine [37]

Sellised ventilatsioonilahendused tuleb arvesse võtta juba hoone projekteerimise faasis. Arhitektuurse projekti koostamisel on vaja leida sobiv võimalus õhukanalite paigaldamiseks. Ventilatsiooniseadme valikul tuleb arvestada lisa rõhukaoga, kui tavalina väljaviske rest tekitab ventilatsioonikanalil takistuse maksimaalselt 50 Pa, siis antud lahenduse takistus on suurusjärgus sissepuhke kanalil oleva takistusega 250 Pa. Palju väiksemaid väljaviskereste ja torusid omavad suuremat takistust kui klassikaline väljaviske rest või otsik. Kõik väljaviske restide otsad tuleb varustada ka reguleerimisklappidega, et saada igast restist võrdne õhuhulk. Kindlasti ei saa kasutada selliste ventilatsioonisüsteemide väljatõmbe õhku, mis on saastunud ja milles leidub inimestele ohtlikke osakesi. Ohtlikke aineid sisaldav heitõhk tuleb suunata otse üles, atmosfääri, eemale inimeste viibimise tsoonist [38]. Muus osas on antud lahendus põhimõtteliselt hooldus- ja püsikulude vaba.

Allpool on toodud 15 m pikkuse kaldtee lumesulatussüsteemi näidislahenduse maksumus, kusjuures hind sisaldab paigaldust ja materjale (Tabel 2). Levinud lahenduse korral pannakse jupp toru ja üks välisrest või väljaviske otsik, mille maksumus valitud õhuhulga juures (765 l/s) tuleb suurusjärgus 1000 eurot. Seega saadud maksumusest saab järeldada, et pakutud lahendust on võrdlemisi soodne rajada.

Tabel 2. Näidis ventilatsioonilahenduse maksumus

Nimetus	Kogus	Ühiku hind	Maksumus
RVDV 160	15tk	1 500	1 500
Reguleerimiseklapp	15tk	825	825
Toru Ø 160	15m	600	600
Toru Ø 250	3m	160	160
Toru Ø 400	10m	950	950
Toru Ø 630	3m	430	430
Isolatsioon 50mm	45m ²	1 350	1 350
Avade puurimine	15	550	550
Tuletõkketööd	1tk	100	100
Möödistamine	1tk	300	300
KOKKU (EUR):			6 765

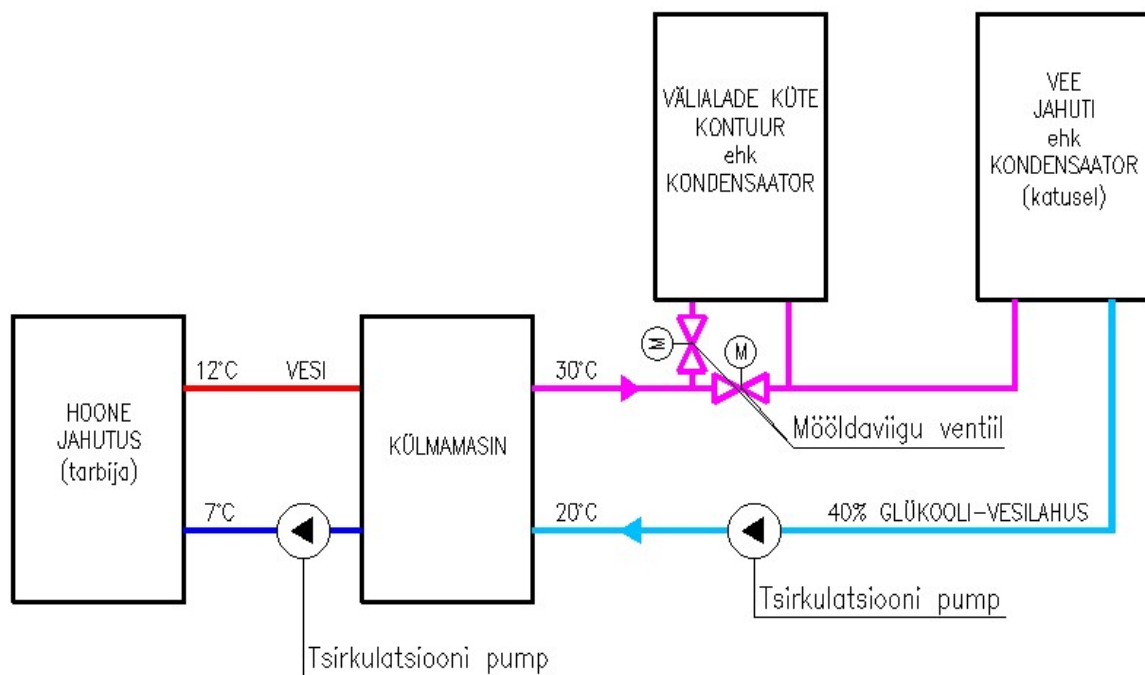
3.3 Jahutussüsteemide soojusenergia kasutamine

Enamus tänapäevaseid suuremaid hooneid omavad serveri-, kilbi- ja nõrkvooluruumid, mida on vaja aastaringselt jahutada, lisaks jahutatakse ka ruume inimestele meeldiva sisekliima tagamiseks, standardi järgi on määratud meeldivaks sisekliima temperatuuri vahemikuks inimeste viibimise tsoonis 21-24 °C [39]. Selleks on hooned varustatud lisaks küttesüsteemile ka jahutussüsteemidega, mis omakorda eraldavad sooja, mis on vaja hoonetest välja viia. Klassikalise lahenduse korral viiakse jahutussüsteemiga hoonest soe torude kaudu katusele, kus see veejahutis tänu ventilaatoritele antakse üle ümbritsevale õhule.

Ettepanek on kasutada vabasoojust talvistes tingimustes hoonete läheduses olevate kergliiklusteede või kaldteede lumevaba hoidmiseks ehk taaskasutada jahutusseadmete jääkenergiat. Külmamasinast saadavat soojust saab kasutada olemasolevate ja vanemate süsteemide korral, kuna tänapäevased ja uued projekteeritavad jahutussüsteemid on varustatud reeglina vabajahutuse režiimiga, kus miinuskraadidega on külmamasinad välja lülitatud. Vabajahutuse eesmärk on energia säästmine, jahutusvedeliku jahutamine toimub siis ainult külma õhuga veejahutis, seega siis ei teki piisavalt vabasoojust. Sellisel puhul pakuks välja soojuspumbaga lahenduse, kust tekib jahutamise käigus soojusenergiat, mida saab kasutada teede soojendamiseks talvistes tingimustes.

3.3.1 Külmamasinade jääkenergia taaskasutamine

Esimesena kirjeldan külmamasinaga liigse soojuse juhtimist teekatte soojendusse. Tavaline külmasin eraldab töötamisel soojusenergiat. Idee on lisada jadamisi külmamasinaga veejahuti torustikule juurde väljalakütte kontuur. Väljavõtte tuleb varustada möödaviiguga, et tagada soojade ilmadega jahutussüsteemi parem efektiivsus. Külmakandjana kasutatakse reeglina vesi-glükooli lahust. Pidevalt töötavast külmamasinast saab talvel kätte vähemalt +30 °C kraadist külmakandjat ning mida suurem on jahutusseadme koormus, seda rohkem süsteem eraldab soojust. Temperatuur sõltub hoone jahutusvajadusest, aga +30 °C soojakandja on juba piisav lume ja jää sulatamiseks. Kontuuri suurendamine eeldab tõenäoliselt ka tsirkulatsioonipumba väljavahetamist või vähemalt eraldi pumba paigaldamist küttekollektori juurde, et tagada nõuetekohane vedelikuringlus. Samuti on vaja üle arvutada paisupaagi maht, mis kontuuride lisamisel vajab suurema vastu vahetamist. Järgneval joonisel on näidatud peamiste seadmete põhimõtteline paiknemine (Joonis 7).



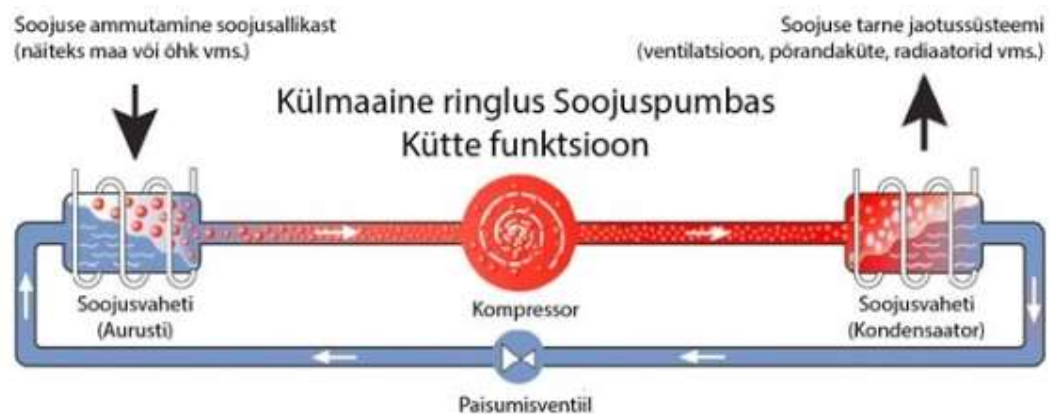
Joonis 7. Seadmete paiknemine

Lühidalt, muudatus tehakse ainult õue mineval torustikul, põhimõtteliselt tehakse torustik pikemaks küttekontuuride võrra. Külmmasinast tulev soojenenud jahutusvedelik juhitakse välialakütte kollektorisse, kus see omakorda ringleb ja kus toimub sooja ülekande betoonteele läbi torustiku. Peale betooni läbimist liigub vedelik katusel või mujal asetseva veejahuti kontuuri. Peale veejahuti läbimist on jahutusvedelik andnud endas sisalduva sooja esmalt teekütteks ja ülejäänud veejahuti kaudu ka ümbritsevale õhule. Alles siis jõuab ringiga tagasi külmmasina soojusvahetisse, et uuesti soojeneda soojusülekanne toimel. Mida madalama temperatuuriga soojuskandja tagasi külmmasinasse jõuab, seda efektiivsemalt töötab ka külmasin ning seda vähem peab kulutama elektrienergiat külma tootmiseks. Tänu tsirkulatsioonipumbale toimub soojaülekande pidevalt ning vastavalt maja automaatika seadistustele. Näiteks, kui sõidutee kütet ei vaja, sest õues on soe, siis juhitakse soe jahutusvesi otse veejahutisse, nii on süsteemi soojakandjal väiksem takistus. Pump saab teha vähem tööd, seega kulutada vähem elektrienergiat. Antud lahendus eeldab ka eespool kirjeldatud betoontee ja kütte küttekontuuride rajamist.

3.3.2 Soojuspumbaga lahendus

Teiseks variandiks pakun soojuspumbaga lahenduse. Soojuspumba võib lisada külmmasinaga süsteemile lisaks või siis kasutada ainult soojuspumba ruumide jahutamiseks. Soojuspumba suureks plussiks on see, et soojuspump suudab lisaks jahutamisele koguda ka jahutusseadmetelt tulevast tagastuvast jahutusveest soojust ja vajadusel tõstab ka selle temperatuuri. Soojuspumba kasutamine

vähendab ka oluliselt iga-aastast energiatarbimist, tegevuskulusid ja süsiniku jalajälge. Soojuspump suudab 1 kW elektrienergiast toota vähemalt 3 kW soojusenergiat ning seda, kui palju soojuspump suudab elektrist soojust toota, nimetatakse soojusteguriks (COP). Soojuspump töötab nagu külmutuskapp, ainult vastupidi. Soojuspump koosneb neljast põhiosast: aurustist, kondensaatorist, kompressorist (seade rõhu tõstmiseks) ja paisventiilist (ventiil rõhu langetamiseks). Lisatud joonis, kus on näidatud soojuspumba kütterežiimis töötamine (Joonis 8).

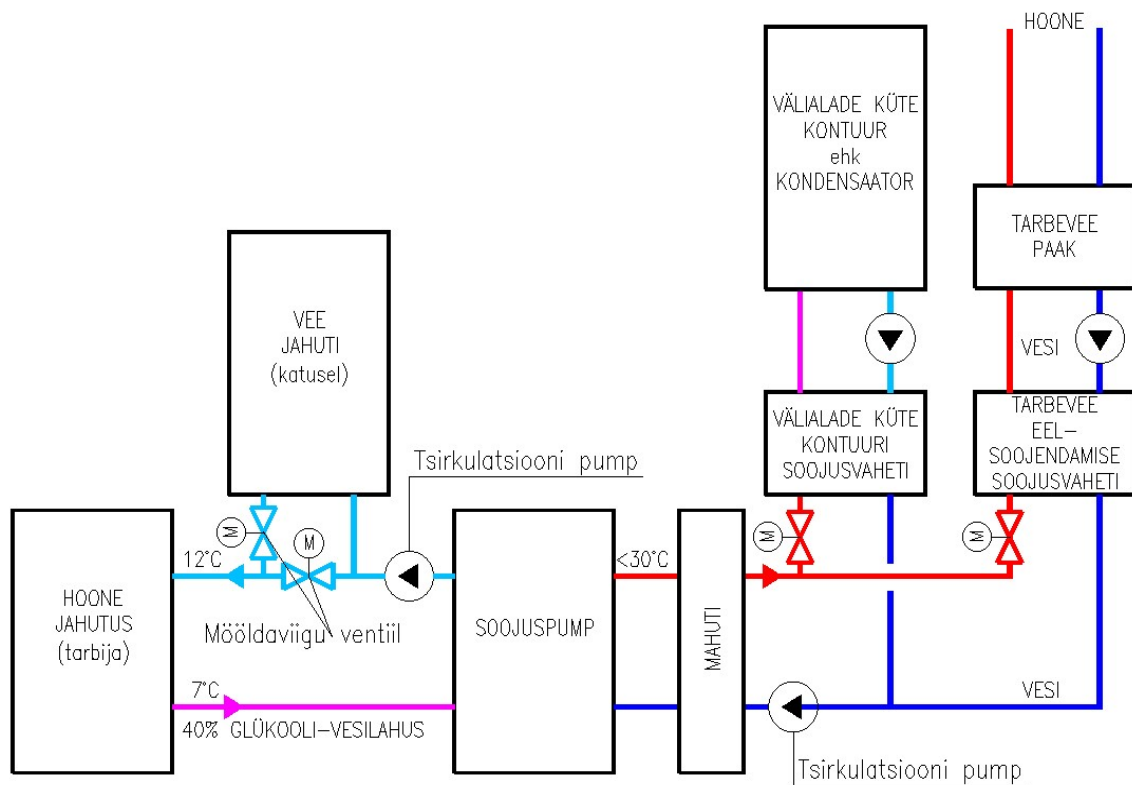


Joonis 8. Soojuspumba tööpõhimõte, [40]

Need komponendid on ühendatud torustiku abil suletud süsteemiks. Süsteemis ringleb külmaaine ehk külmutusagens, mis on kergesti aurustuv vedelik. Ühes kinnises süsteemis esineb külmutusagens vedelas, gaasilises, rõhu all ja rõhu alt vabas olekus. Soojuspumbas ringleva külmaaine keemispunkt muutub sõltuvalt rõhu muutusest ning mida kõrgem on rõhk, seda kõrgem on keemispunkt.

Idee on siis kasutada soojuspumba aurustina hoone jahutusseadmeid ja kondensaatorina välialade küttekontuure, mis on läbi soojusvahetite torustikuga omavahel ühenduses. Hoone sees on jahutusvedelikuks tavaline vesi ja õue minevates kontuurides ringleb vesi-glükooli lahus. Hoone jahutusseadmest ehk aurustist tulev soe juhitakse torustiku kaudu soojuspumba soojusvahetisse, kus antakse soe läbi soojusvaheti üle soojuspumba ringile. Soojuspumbas antakse soe üle soojuspumba imipoole külmaainele, mis liigub kompressorisse ja kus külmaaine kokku surutakse. Selle tulemusena külmaaine temperatuur ja rõhk tõuseb, misjärel juhitakse soojenenud külmaaine soojusvahetisse, kus toimub soojusenergia ülekande väliala küttekontuurile. Sealt edasi liigub külmaaine soojuspumba paisventiili, kus toimub rõhu alandamine ja mille tulemusena langeb ka külmaaine temperatuur. Nüüd saab jahe külmaaine anda endas oleva külma läbi soojusvaheti hoone jahutussüsteemile. Soojuspump eraldab jahutusvee tootmiseks omakorda sooja, mis juhitakse torustiku kaudu läbi soojusvaheti teede küttekontuuri ning kui kütte vajadus puudub, siis kasutatakse näiteks sooja tarbevee

eelsoojendamiseks. Mõistlik on süsteemid varustada mahutitega, et oleks olemas teatud maht sooja vett, juhaks kui seda on hädasti vaja. Samuti säästab isoleeritud mahuti kasutamine energiat, kuna ei ole vaja päris nullist hakata vett soojendama. Mahutist edasi liigub vesi järgmisse soojusvahetisse, kus toimub soojuse ülekanne õuekontuuridele jahutusvedeliku jahutamiseks. Selliste tsüklite kordumine tagabki piisava külma ja soojusenergia tehnosüsteemide toimimiseks. Järgmisel joonisel on näidatud lihtsustatult soojuspumbaga süsteemi põhimõtteline lahendus (Joonis 9).



Joonis 9. Soojuspumbaga süsteemi põhimõtteline lahendus

Väljaehitatud lahendusi tuleks maksimaalselt ära kasutada. Soojal ajal või kui puudub vajadus teekatte soojendamiseks saab antud lahendust kasutada ka näiteks hoone sooja tarbevee eelsoojendamiseks, sõltuvalt hoone automaatika seadistusest. Selleks lisame samale kontuurile veel lisaks ühe soojusvaheti kontuuri, mis on ühendatud mahutiga läbi soojusvaheti.

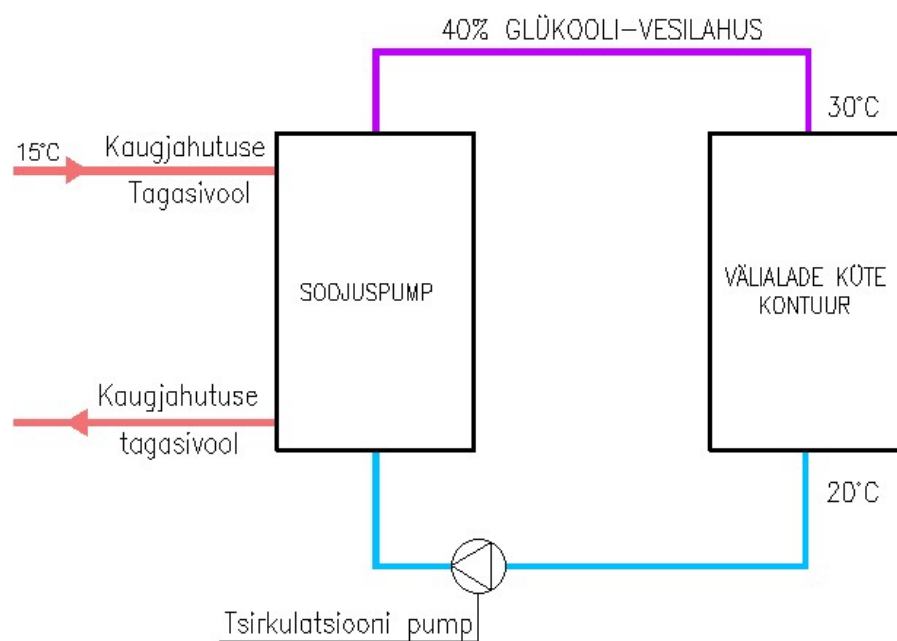
3.3.3 Sildade soojendamine soojuspumbaga

Sildade puhul saab ammutada kütmiseks vajalikku soojusenergiat näiteks lähedal asuvast veekogust. Selleks saab kasutada ka soojuspumbaga lahendust, mille puhul tuleb veekogu põhja rajada veekollektor, mis töötab aurustina ja sillatekki paigaldatud torustik töötab siis kondensaatorina.

Reeglina talvel on veekogudes temperatuur põhjas vähemalt $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$, pinnalähedal külmem. Seega kontuur tuleb paigaldada põhja, võimalikult sügavale.

3.3.4 Kaugjahutuse ärakasutamine

Sarnaselt eelnevalt kirjeldatud kaugkütte lahendusele on olemas Tartus, Pärnus ja Tallinnas ka kaugjahutus võrk [41]. Siin on samuti võimalik soojuspumpa kasutada tagastuvast jahutusveest tänavate soojendamiseks vajaliku soojust kätte saamiseks. Soojuspump suudab ammutada soojust madala temperatuurilisest allikast, isegi $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ energiakandjast. Kaugjahutuse korral on tagastuva jahutusvee temperatuur kõrgem, umbes $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tallinnas saab lahendust rakendada näiteks Tartu mnt. tõusul, kus on läheduses kaugjahutuse torustik rajatud Fahle keskuse tarbeks. Lisaks tuleb rajada ka vesikütte torustik ja betoontee nagu ka teiste variantide korral. Joonisel on toodud põhimõtteline lahendus kaugjahutuse korral soojuspumba kasutamiseks (Joonis 10).



Joonis 10. Seadmete paiknemine

3.4 Sooja salvestus muldkehas

Viimase ideena pakun soojuste salvestamise tee muldkehasse. Tutvusin artikliga, kus kirjeldatakse soojusenergia salvestamist liiva sisse. Nimelt on Soomes ettevõtte, mis suudab liiva sisse salvestatud soojusenergiaga kütta hooneid [42]. Teedehitusel kasutatakse suures koguses liiva, mida saab omakorda kasutada soojussalvestina, nagu väidab artikkel [42]. Eriti suured kogused liiva on meil kasutusel rajatiste muldkehade ehitamisel, kus saab samuti võtta liiva kasutusele sooja

salvestamiseks, millega saab soojendada näiteks rajatisi. Teoreetiliselt tuleb rajada termos, mis on liiva täis ja mida köetakse elektriga siis, kui elektrienergia tarbimisnõudlus on madal.

Artiklist lähtudes tegin katse ning ehitasin väikese liivapatarei. Selleks kasutasin plekist anumad, vasktoru ja 10 kg liiva. Vasakul fotol on liivapatarei seest ja paremal fotol on anuma kuumutamine (Foto 7).



Foto 7. Isetehtud liivapatarei

Katse iseenesest oli lihtne, selleks keerasin vasktorust spiraali, mille panin anumasse, mille omakorda täitsin liivaga. Liiva kuumutasin gaasipõletiga ning kui liiv saavutas 100 °C temperatuuri, siis isoleerisin mahuti kivivillaga ja jätsin õue. Katse ajal oli õues temperatuur -2 °C kraadi ümber. Teostasın ajalisel mitmeid katseid, millest selgus, et 10 kg liiva kuumutatuna 100 °C-ni suudab hoida vajalikus koguses sooja maksimaalselt päeva. Järgmisel päeval oli veel võimalik saada 30 °C vett soojusvahetist läbi lastes, mis on piisav teekatte soojendamiseks. Seega saab järeldada, et liivapatarei toimib. Kui on võtta nn tasuta tuule ja päikeseenergiat liiva kuumutamiseks, siis on olemas toimiv lahendus. Talvekuudel saab kasutada eelkõige tuuleenergiat, sest päikeseenergiat on kõige vähem siis, kui seda kõige rohkem vajatakse ehk talvel. Kui kuumutada sadu tonne liiva mitmesaja kraadini, siis saab sellega katta teede soojendamiseks kuluva soojusenergia vajaduse, kui nt nädala jagu tuult ei puhu ning päikest ei paista.

3.4.1 Soojuskadude lahendus

Ühe variandina saab teepinna soojendamine toimuda tänu soojuskaole kasutades selleks ära materjalide soojusjuhtivust. Soojus läheb iseenesest soojemalt kehalt külmemale, kuni soojusliku tasakaalu saabumiseni [30]. Idee on soojuskadude vähendamiseks katta liiv ainult betoonplaadiga ning liiva külgedele ja alla paigaldaks ka soojustuse soojakadude vähendamiseks teistes suundades. Betoonplaadi paksus tuleb valida nii, et läbivad soojakaod soojendavad teepinda soovitud määral. Tänu betoonile saame ka suurepärase kandevõimega tee.

Näiteks kuumutame liiva tasuta elektriga $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, selleks kasutame muldkehasse paigaldatud elektrilisi küttekihi. Välisõhu temperatuuriks võtame väikese varuga näiteks $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, enamus lumiseid sademeid tekib meil $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ välisõhu temperatuuri juures, siis $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ piisab kindlasti. Arvutamiseks on vaja teada temperatuure ja materjalide soojuseri juhtivust. Materjali soojuseri juhtivus näitab materjali omadus endast soojust läbi lasta [15]. Mida suurem on materjali soojuseri juhtivus, seda parema soojusjuhiga materjaliga on tegemist, võrdluseks betooniga on soojustusmaterjalidel soojuseri juhtivus suurusjärgus $\lambda=0,04\text{ W/mK}$. Samuti on vaja teada konstruktsiooni sise- ja välispinna soojatakistust, mis sõltub soojusvoolu suunast, mis antud juhul on alt üles. Teepinnad on reeglina avatud konstruktsioonid, seega teepinna välispinna soojustakistus oleneb ka otseselt tuule kiirusest. Tugev tuul jahutab teepinda lisaks külmakraadidele väga intensiivselt, kuna soojusenergia mõjul tekkinud soe õhukiht asendatakse tänu tuulele pidevalt uuega.

Konstruktsioonis kasutan betooni 25 cm, mis tagab projekteerimisnormide järgi $>3500\text{ AKÖL}$ [16]. Näiteks võtan lõigu Tallinn-Narva maanteel Padaorus, kus teeregistri andmetel on aasta keskmine ööpäevane liiklus 4197 sõidukit [38]. Seega 25 cm betooni on piisav kandevõime tagamiseks.

Antud lahenduse pinnatemperatuuri leidmiseks on mul teada sisepinna temperatuur $t_s=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja välispinna temperatuur $t_v=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kõigepealt leian betooni soojustakistuse, mille saan kihipaksuse jagamisel materjali soojuseri juhtivuse. Betooni kihi paksuseks võtsin 0,25 m ja betooni soojuseri juhtivus $\lambda=2\text{ W/mK}$. Seega betooni soojustakistuseks tuleb $R_1=0,125\text{ m}^2\text{K/W}$. Järgmiseks on vaja leida konstruktsiooni soojustakistus, selleks on vaja liita kokku betooni soojustakistus $R_1=0,125$, välispinna soojustakistus $R_{se}=0,04$ (tuulekiiruseks võtan 5 m/s) ja sisepinna soojustakistus $R_{si}=0,1$. Seega kogu soojustakistuseks $R_t=R_1+R_{si}+R_{se}=0,265\text{ m}^2\text{K/W}$. Nüüd saan leida teepinna oletatava temperatuuri t (teepind) valemiga (1)

$$t(teepind) = ts - (ts - tv) \times \frac{R_{si} + R_1}{R_t}, \quad (1)$$

- kus ts – sisepinna temperatuur, °C;
 tv – välispinna temperatuur, °C;
 R_{si} – sisepinna soojatakistus, m²K/W;
 R_{se} – välispinna soojatakistus, m²K/W;
 R_1 – betooni soojustakistus, m²K/W;
 R_t – konstruktsiooni soojustakistus, m²K/W.

Teepinna temperatuuriks saan vastavalt valemile (1);

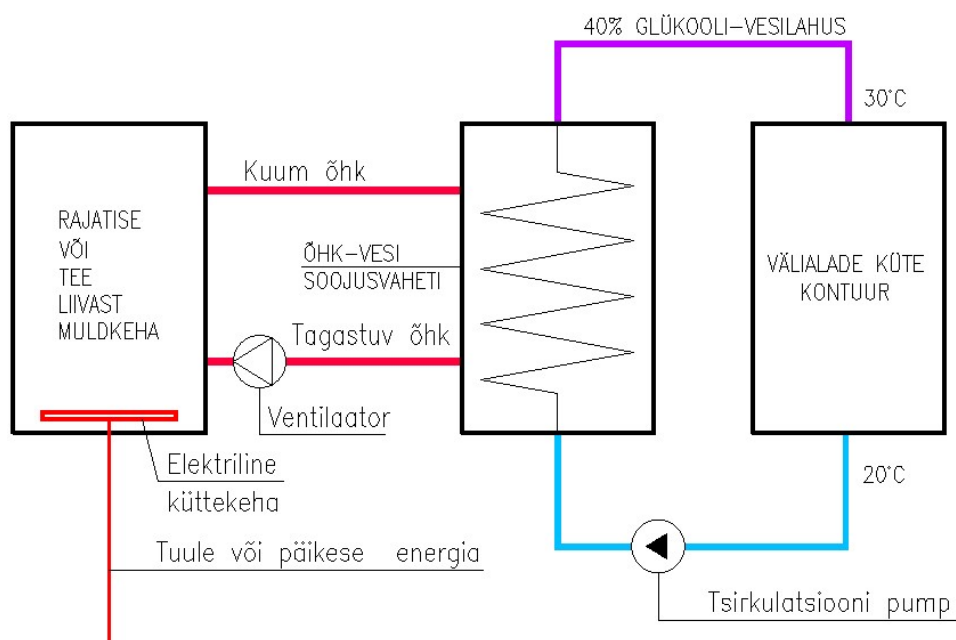
$$t(teepind) = 100 - (100 - (-10)) \times \frac{0,1 + 0,125}{0,265} = 6^\circ\text{C}.$$

Seega 100 °C liiva juures piisab liiva peale 250 mm betoonplaadi valamisest, et tagada tänu soojuskadudele +6 °C teepinna temperatuur -10 °C juures, mis on piisav lumevaba teekate hoidmiseks.

Artikli kohaselt kuumutab Soome ettevõtte Polar Night Energy [43] liiva lausa 600-1000 °C kraadini [42]. Soojakadude kasutamise põhimõttel liiva 600 °C kuumutamine ei sobi, kuna tekiks teised probleemid. Kõrge teepinna temperatuur muudab materjalide jäikust väiksemaks, mis põhjustab koormuste jaotumise väiksemale pinnale, mis tekitab omakorda defekte. Lisaks soodustab liigne soe ka materjali mahu muutust, mis võib tuua esile pragunemise. Soojakadude kasutamisel peaks külmade ilmadega jääma 100-150 °C juurde.

3.4.2 Teepinna soojendamine salvestatud soojusega

Kui on soov saada paremat tulemust ning salvestada soojust pikemaks ajaks, siis peab kasutama kõrgemaid temperatuure, nii nagu väidab Soome ettevõtte Polar Night Energy [43]. See eeldab liiva isoleerimist kõikidest külgedest. Antud lahenduse korral tuleb kogu muldkeha isoleerida, rajada tugiseinad, betoonplaat, küttesüsteemid ja elektriliinid. Lisaks rajada ka ruum, kuhu paigutada segamissõlmed koos vajalike seadmetega. Lisatud skeemilt on näha põhimõtteline lahendus, mille puhul kuumast liivast kantakse soe edasi soojusvahetisse õhu kaudu ventilaatoriga, õhk-vesi soojusvaheti annab sooja omakorda üle vesi-glükool lahusele, mis juhatakse läbi kollektori betoontees paiknevatesse küttekontuuridesse, mis siis omakorda soojendavad teed (Joonis 11).



Joonis 11. Sõidutee soojendamise skeem kuum liivaga

Kõik me mäletame palju aastaid tagasi juhtunud Padaoru juhtumit [10], mis ületas uudiskünnise. Antud lahendust saab rakendada Padaorus, kus ligidal asuvad olemasolevad tuulikud, kus on lihtsasti kättesaadav taastuvenergia, mida saab ületootmise perioodil salvestada tee muldkehasse.

Ehituslikult ei ole asi nii lihtne ja odav. Soojussalvestamine eeldab ka soojustamist, et minimaliseerida soojuskadusid. Täna tundub idee, et saab kasutada salvestatud soojust vajalikul perioodil teepinna soojendamiseks ahvatlev. Lisaks rõhutab Euroopa Komisjon energia salvestamise tehnoloogiate tähtsust ning salvestamine on Euroopa Liidu jaoks strateegiline küsimus [44].

Liiva kuumutamine toimuks taastuvenergia allikatest siis, kui tarbimine on minimaalne, näiteks öösel või tugeva tuulega, kui toimub ületootmine. Nii saab ka liiv korduvkasutatavaks materjaliks, kuna liiva saab korduvalt soojendada. Tänapäevaste elektrihindade juures on elektriliste küttekehade hinnad täitsa mõistlikud, kuna nõudlus väike. Elektrilised küttekehad on väga universaalsed, kiirelt toimivad, efektiivsed ja vastupidavad, neid saab tellida igas mõõdus vastavalt vajadusele. Elektrilistes küttekehade eeliseks on see, et peaaegu kogu elektrienergia muundub soojusenergiaks ning seda minimaalsete soojuskadudega.

3.5 Teede jahutamine

Lisaväärtusena saab torustikuga varustatud soojendamissüsteeme kasutada kuumade ilmadega ka teekatendi jahutamiseks, millest on eriti kasu asfaltbetoonkatte korral. Jahutamise eesmärgiks on vältida teede higistamist, mille korral sideaine pressitakse liikluskoormuse all teepinnale. Näiteks

suvel võib sõidutee pinnatemperatuur tõusta päikeselise päevaga lausa 55 °C kraadi juurde. Pikka aega kestvad kuumad ilmad mõjutavad teede kvaliteeti. Temperatuuri muutuste mõju on suurim just bituumeniga seotud katetel. Kõrgetel õhutemperatuuridel, näiteks südasuvel, on asfaldi jäikus väiksem ning koormus jaotub väiksele pinnale. Lisaks tekitab bituumeni teepinnale imbumine autodele pigiplekke. Suvel saab süsteemiga hoida teekatte temperatuuri jahedama, et sideaine ei hakkaks vedelduma.

KOKKUVÕTE

Peaaegu kõik inimesed kasutavad igapäevaselt liiklemiseks kas sõidu- või kõnniteid. Korras ja hooldatud teed on osa inimeste heaolust. Mugavaks, kiireks ja ohutuks liiklemiseks on vaja Eesti riigil suunata riigieelarvest suuri summasid teede korrashoiule. Näiteks aastal 2022 suunas Eesti riik teede hooldusesse 42 miljonit eurot [45]. Seega kui teede soojendamise saab teede hooldusele kuluvat summat veidigi väiksemaks, on soojendamine oma eesmärgi täitnud. Seejuures vähendaks see ka keskkonnajalajälge, kuna ehitise kasutusega pikeneks.

Töö eesmärgiks oli välja pakkuda lahendused teede ja tänavate lumevabana hoidmiseks, millel on Eesti tingimustes potentsiaali. Teede soojendamist võiks planeerida eelkõige järskudele tõusudele, kus on suur liiklussagedus ja kus tavahoolduse teostamine on raskendatud ning segab tavalikkust. Samuti võiks rohkem kasutada hoonete jääksoojuse potentsiaali kaldteede ja kõnniteede soojendamiseks hoonete läheduses. Arvan, et teede soojendamine on mõistlik tiheasustusega aladel või kohtades, kus on kättesaadav odav taastuvenergia. Käesoleva töö autorile tundub kõige soodsam ja lihtsamini teostatav ventilatsiooni väljaviske õhu kasutamine, mis eeldab muidugi hoone arhitektuurse osa sobivust ja ventilatsioonisüsteemide võimekust.

Leian, et teede hooldamine peaks olema 100% riigiettevõtte kanda, kuna siis saaks riik teed odavamalt hooldatud ning oleks huvitatud mõtlema laiemalt. Seaduse kohaselt peab tee omanik hoidma tee korras [46], aga ju tahetakse vastutust jagada. Lisaks ei toeta praegune riigihangete süsteem innovatsiooni, kuna on liialt orienteeritud hinnale, mis välistab juba eos uued ja huvitavad lahendused.

Täna on ehitussektor veel äraootaval positsioonil ning oodatakse lootustandvaid signaale päevapoliitikast ja olukorra stabiliseerumisest, mis paneks tellijad, arendajad, ehitajad ja projekterijad loovamalt mõtlema. Kahjuks täna on jätkuvalt rahakraanid kinni keeratud [47]. Lendavaid autosid nii pea ei tule ja autostumise kasvu pidurdamine on soovunelm. Minu arvates on igasugused investeeringud teedevõrgu parendamiseks liiklusohutuse suurendamise ja jalakäijate tervise hoidmise eesmärgil õigustatud.

SUMMARY

Heated Roads

The following thesis *Heated Roads* aims to provide solutions for heated roads and streets to melt snow and ice. The thesis studies existing systems and offers theoretical solutions to complement existing systems that can be used in Estonian conditions.

Almost all people use either roads or sidewalks for their daily mobility. Well maintained roads are part of peoples' well-being. Classical winter maintenance of roads does not guarantee road safety in fast-changing weather conditions, but road heating ensures a clean road regardless of weather conditions. Slippery roads are an issue every winter, with elderly people particularly at risk of clogging up emergency medicine departments of hospitals on the first slippery day. As a rule, pavements in cities are narrow and do not have enough space for snow storage in case of severe weather conditions, although according to the respective regulation, a 1.1 m clearance must be provided on the pavement.

Considering today's energy prices and construction costs, heated roads may sound not very promising at first glance. However, it is possible to compete with conventional maintenance in densely populated areas on steep gradients, near facilities and buildings in the form of heated paths and ramps if existing technologies and solutions are used as also the conventional maintenance brings along costs. Also, we get a long-lasting concrete road and, as a bonus, a longer lifetime of the structures, eliminating the physical wear and tear and the use of sodium chloride that conventional maintenance entails.

In my thesis I described different methods for road heating and suggested options that are economical for keeping the road surface free of snow and ice. As a first option, I described the use of existing district heating network to draw heat from the primary return pipe of central heating systems. I also described the potential of using district cooling. As a second option, I described the use of exhaust air from building ventilation systems to heat the road surface in the vicinity of buildings. Next, I described a solution for the use of residual energy in buildings as the operation of cooling systems generates large amounts of heat, which is usually conducted to the roof where it is transferred to the air. My aim was to use the residual energy to heat the roads around the buildings via a heating pipe installed in the concrete road. As a last option, I focused on storing the heat in the embankment. In addition, I described the causes of degradation of roads and structures, the formation of slippage and

highlighted the negative impact of salts on road surfacing materials and structures. The use of exhaust air from ventilation seems to the author the most cost-effective and simplest to implement, but the most interesting seems to be the storage and use of heat in the embankment.

Since flying cars are not coming any time soon, then investments in improving the road network to ensure road safety and pedestrian safety is justified.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Statistikaamet, „Statistikaamet“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/rahandus/hinnad/ehitushinnaindeks>.
- [2] Vabariigi Valitsus, „Rohepööre“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.valitsus.ee/valitsuse-eesmargid-ja-tegevused/rohepoliitika>.
- [3] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Ehituse pikk vaade 2035“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/ehitus/ehituse-pikk-vaade>.
- [4] Riigikogu, „Ehitusseadustik-Põhimõtted ja põhinõuded § 9“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001>.
- [5] Our World In Data, „Emissions by sector“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#energy-electricity-heat-and-transport-73-2>.
- [6] Tallinna Linnavolikogu, „Tallinna linna heakorra eeskiri_Kinnistu ja ehitise omaniku kohustused heakorra tagamisel“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/407082013028>.
- [7] Riigikogu, „Võlaõigusseadus_VÕS § 134 lg 2 Mittevarelise kahju hüvitamise erisused“, 2023. [Võrgumaterjal].
- [8] Majandus- ja taristuministeerium, „MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMID“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf.
- [9] Majandus- ja taristuministeerium, „Tee seisundinõuded“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>.
- [10] Postimees, „Padaorus jäid sajad inimesed lumevangi“, 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.postimees.ee/355140/padaorus-jaid-sajad-inimesed-lumevangi>.
- [11] www.betoonteed.ee, „Aeg on rääkida tõsiselt –BETOONTEEDEST!“, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.betoonteed.ee/wp-content/uploads/2020/06/Aeg-on-ra%CC%88a%CC%88kida-to%CC%83siselt-betoonteedest_2020.pdf.
- [12] EHITUSEST, „Asfaltteed lähevad betoonteedest 40% kallimaks maksmaks“, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ehitusest.ee/uudis/2020/06/15/betoontee-odavam-kui-asfalttee/>.

- [13] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, „Betoon. Spetsifitseerimine, toimivus, tootmine ja vastavus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-206-2014-a2-2021-consolidated>.
- [14] Majandus- ja taristuministeerium, „MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMID,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf.
- [15] MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMID, „Tsementbetoonkatte või aluse kahanemisvuukide sagedus Tabel 4.17,“ Majandus- ja taristuministeerium, 2023. [Võrgumaterjal].
- [16] Majandus- ja taristuministeerium, „MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMID 4.7. Jäigad katendid,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf.
- [17] Transpordiamet, „TEETÖÖDE TEHNILINE KIRJELDUS lk56,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://transpordiamet.ee/media/2669/download>.
- [18] The Constructor, „Composition and Structure of Rigid Pavement,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://theconstructor.org/transportation/rigid-pavement-composition-structure/5495/>.
- [19] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMID_Tsementbetoonkatte orienteeruvad paksused,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf.
- [20] Eesti Entsüklopeedia, „Eesti kliima,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_kliima. [Kasutatud 2023].
- [21] Transpordiamet, „Liiklusõnnetuste statistika,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/hukkunuga-liiklusonnetuste-riskid-2021>.
- [22] Teede tehnokeskus, „Haardetegur,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/haardetegur/>.
- [23] Ehitusseadustik, „§ 97. Tee korrashoid,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001>.
- [24] Majandus- ja taristuministeerium, „Tee seisundinõuded § 31. Silla seisundinõuded,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115072015013>.

- [25] Transpordiamet, „Sillad riigiteedel,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/sillad>.
- [26] ERR, „Maanteede soolatamine suurendab raskmetallide liikuvust,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://novaator.err.ee/258330/maanteede-soolatamine-suurendab-raskmetallide-liikuvust>.
- [27] Eesti Standardikeskus, „Asgaldsegud EVS-EN 12697-2,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: evs.ee.
- [28] Pärnu Postimees, „Koeraomanike mure: teedele puistatud sool teeb lemmikute käppadele haiget,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://parnu.postimees.ee/7661937/koeraomanike-mure-teedele-puistatud-sool-teeb-lemmikute-kappadele-haiget>.
- [29] TALLINNA LINNAVOLIKOGU, „Heakorraeeskiri, § 9. Heakorda tagavad keelud,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://oigusaktid.tallinn.ee/?id=3001&aktid=143309&fd=1&leht=1&q_sort=elex_akt.akt_vkp.
- [30] Digiõppevaramu, „Termodünaamika,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://vara.ee-koolikott.ee/taxonomy/term/2897>.
- [31] Majandus- ja taristuministeerium, „Kaugküttevõrgu ehitiste kaitsevöönd,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/128062015004>.
- [32] Majandus- ja taristuministeerium, „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015001>.
- [33] Utilitas, „Liitu kaugküttega,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.utilitas.ee/liitu-kaugkuttega/>.
- [34] Nexans Norway, „Stairs, Snow and ice-free steps and landings,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nexans.no/en/segments/building/heating-cables/ice-and-snow-melting/stairs.html>.
- [35] DEVI, „küttegaablite-käsiraamat,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.esvika.ee/wp-content/uploads/2021/12/DEVI-k%C3%BCttekaablite-k%C3%A4siraamat.pdf>.
- [36] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Energiamärgis,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/keskkonnasaastlikkus/energiamargis>.

- [37] ETS Nord, „Välisseina paigaldatav väljaviskerest,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.etsnord.ee/tooted/rvdv-valisseina-paigaldatav-valjaviskerest>.
- [38] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, „Mitteeluhoonete ventilatsioon_lk20,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-906-2018>.
- [39] Standardikeskus, „EVS-EN 15251 Temperatuurid lähtuvalt sisekliima,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: [evs.ee](https://www.evs.ee).
- [40] Soojuskeskus OÜ, „Soojuspump,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.soojuskeskus.ee/soojuspumbad/>.
- [41] TalTech, „Kaugjahutus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://kaugkute.taltech.ee/kaugjahutus/>.
- [42] Postimees, „Soojusenergiat saab salvestada hiiglasliku liivast kerise abil,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://teadus.postimees.ee/7563234/soojusenergiat-saab-salvestada-hiiglasliku-liivast-kerise-abil>.
- [43] Polar Night Energy, „Store Wind and Solar Power as Heat in Sand,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://polarnightenergy.fi/technology>.
- [44] Euroopa Liidu Teataja, „Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomitee arvamus teemal „Energia salvestamine: integratsiooni ja,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015IE0898&from=PL>.
- [45] Transpordiamet, „Riigiteede teehoiukava,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/teehoiukava>.
- [46] Riigikogu, „Teeseadus-KOHUSTUSED, JÄRELEVALVE JA VASTUTUS-Tee omaniku õigused ja kohustused,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/77265>.
- [47] Äripäev, „Äripäev,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.aripaev.ee/saated/2022/11/30/transpordiameti-peadirektor-teedeehitajad-on-naljased-seda-peaks-riik-ara-kasutama>.
- [48] Transpordiamet, „Sillad riigiteedel,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/sillad>.
- [49] T. tehnokeskus, „Teekatte tasasus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/iri/>.

- [50] Kredex, „MATERJALI SOOJUSERIJUHTIVUS,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available:
https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf.
- [51] Transpordiamet, „Teeregister,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://teeregister.mnt.ee/reet/search>.
- [52] Energiakontsern Utilitas, „Kaugjahutus Tallinnas,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.utilitas.ee/kaugjahutus/>.