

Tartu Ülikool  
Bioloogia-geograafiateaduskond  
Geograafia Instituut  
Loodusgeograafia ja maastikuökoloogia õppetool

Alar Teemusk

**MURUKATUSE TEMPERATUURI REGULEERIMISE JA  
VEE KINNIPIDAMISE VÕIME EESTI KLIIMATINGIMUSTES**

Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal

Juhendaja: prof. Ülo Mander

Tartu 2005

## SISUKORD

<b>SISSEJUHATUS</b> .....	3
<b>1. ÜLEVAADE HALJASKATUSE KIHITIDEST JA OMADUSTEST</b> .....	4
1.1. Haljaskatuse mõiste ja jaotus.....	4
1.2. Haljaskatuse kihid.....	5
1.3. Haljaskatuse kasulikud omadused.....	6
1.4. Haljaskatused Eestis.....	8
<b>2. SENI SAADUD TULEMUSI TÖÖS UURITAVATEL TEEMADEL</b> .....	10
2.1. Temperatuuride uurimistulemusi.....	10
2.2. Äravooluhulkade uurimistulemusi.....	13
2.3. Veekvaliteedi uurimistulemusi.....	18
<b>3. UURITAVA MURUKATUSE NING VÕRDLUSKATUSE KIRJELDUSED</b> .....	22
3.1. Uuritava murukatuse kirjeldus.....	22
3.2. Võrdluskatuse kirjeldus.....	26
<b>4. MATERJAL JA METOODIKA</b> .....	28
4.1. Temperatuuri mõõtmise meetodika.....	28
4.2. Äravoolu mõõtmise meetodika.....	31
4.3. Veekvaliteedi analüüsimise meetodika.....	33
<b>5. TULEMUSED JA ARUTELU</b> .....	34
5.1. Murukatuse temperatuurimõõtmiste tulemused ja järeldused.....	34
5.1.1. Temperatuurid murukatusel aastaegade lõikes.....	34
5.1.2 Temperatuurid võrdluskatusel aastaegade lõikes.....	39
5.1.3. Katuste temperatuuride võrdlused.....	41
5.1.3.1. Katuste temperatuurikäikude võrdlused erinevate päevade lõikes.....	41
5.1.3.2. Katuste temperatuuride võrdlused aastaegade lõikes.....	52
5.2. Murukatuse sademetevee äravooluhulkade mõõtmistulemused ja järeldused.....	59
5.3. Murukatuse äravoolu veekvaliteedi analüüsi tulemused ja järeldused.....	68
<b>KOKKUVÕTE</b> .....	77
<b>TÄNUAVALDUSED</b> .....	80
<b>SUMMARY</b> .....	81
<b>KASUTATUD KIRJANDUS</b> .....	85
<b>LISAD</b> .....	88

## SISSEJUHATUS

Murukatused on üha enam populaarsust koguv ökotehnoloogia valdkond, mille kasulikkusest eriti linnakeskkonnas räägitakse aina rohkem. Katusehaljastus oma iseloomulike kihtide ja nendest tulenevate omadustega võib tunduvalt parandada üha rohkem täis ehitatavate linnade ilmet ja keskkonnaseisundit. Peamiste haljaskatuste väärtustena tuuakse välja nende temperatuuri reguleerimise võime, aluskatuse kihtide kaitse ekstreemsete temperatuuride eest ning sademevee kinnipidamise võime, mis linnades on esmasteks probleemideks.

Käesolev töö annab olemasoleva lameda kerghuumuspõhise murukatuse näitel ülevaate sellest, kuidas haljaskatus Eesti kliimatingimustes “töötab” – millised on temperatuurid katusel ja katuse sees, millise hulga sademevett katus kinni peab ning vaadeldakse ka katusest ära voolava vee kvaliteeti.

Töö eesmärgid ja eeldused:

1) Uurida temperatuurikäike kergkruusakattega murukatuse pinnal, pinnases ning katuse kohal võrreldes tulemusi võrdluskatuseks oleva bituumenkattega terrasskatusega. Eeldatakse, et bituumenkate soojeneb rohkem kui kergkruusal põhineva murukatuse pind; haljaskatuse substraadikiht leevendab suviseid temperatuurikõikumisi aluskatusele lähedastes kihtides ning hoiab talveperioodil rohkem sooja võrreldes bituumenpinnaga.

2) Jälgida ja mõõta haljaskatuselt välja voolava vee hulka võrreldes tulemusi võrdluskatusega. Eeldatakse, et murukatus hoiab nõrgad sademed kindlasti kinni ning äravool toimub vaid suuremate sadude ajal pikema aja jooksul; võrdluskatuselt eeldatakse enamiku vihmahulga kiiret äravoolu.

3) Analüüsida haljaskatuse äravoolu veekvaliteedi näitajaid võrreldes bituumenkatusega. Eeldatakse, et murukatusel omavad taimed mõju väljavoolava vee kvaliteedile, kuid saasteaineid peaks rohkem tulema bituumenkattelt.

Töö esimeses osas on selgitatud lühidalt haljaskatuse kihte ja omadusi, teises osas on toodud näiteid mujalt maailmast käesolevas töös uuritud valdkondade tulemuste kohta, kolmandas osas tutvustatakse uuritavaid katuseid, neljandas selgitatakse uuringute metoodikat ning viiendas osas esitatakse tulemused, arutelu ning järeldused.

# 1. ÜLEVAADE HALJASKATUSE KIHTIDEST JA OMADUSTEST

## 1.1. Haljaskatuse mõiste ja jaotus

Katusehaljastus on ehitiste katustele rajatav taimestikul põhinev tavakatusest erinev katusekate. Sõltuvalt tüüpidest võib haljaskatust ka mitmeti nimetada. Eesti keeles on väga levinud mõiste “murukatus”, kuigi katusel kasvavad muru asemel erisugused õistaimede liigid. “Haljaskatus” on hea üldine mõiste, veel sobivad “rohukatus” (*grassed roof*), “rohekatus” (*greenroof*) või “taimekatus” (*planted roof, vegetation roof*). Ka “looduskatus” (*nature roof*) võiks sobida. Kergkruusal põhinevat haljaskatust nimetatakse “kerghuumuskatuseks” või “kergmurukatuseks”. Mätastega kaetavate katuste kohta kasutataksegi mõistet “mätaskatus”. Raskete, põõsaste ja puudega katusehaljastuse õige nimetus on “katusaed” (*rooftop garden, roof lawn garden*). Võimalik on kasutada veel mitmeid eestikeelseid ja inglisekeelseid termineid, kõiki neid tuleb mõista kui haljaskatust ja/või selle erinevaid tüüpe. Käesolevas töös kasutatakse peamõistena “murukatust”, kuid sünonüümina ka “haljaskatust”.

Katusehaljastuse jaotamiseks on mitmeid variante. Järgnevalt iseloomustatakse levinuimat jaotusviisi [Koorberg, 2001; Levald, 2003]:

(1) Ekstensiivne katusehaljastus ehk kerge murukatus – kihtide paksus 70–160 mm, lisab katusele koormust 60–120 kg/m<sup>2</sup>, sõltuvalt veesisaldusest ka pisut enam. Substraadikihis kasutatakse kergust tagavat kergkruusa (mn. kerghuumuspõhine murukatus); taimedest on levinuimad temperatuuri- ja niiskusrežiimi kõikumistele vastupidavad kukeharjad, nelgilised, nurmikad, mis ei vaja ka hooldust. On rajatav peaaegu igale olemasolevale kuni 30° kaldega katusele. Käidav vaid hoolduseks.

(2) Kergesti hooldatav katusaed ehk vähese intensiivsusega katusehaljastus – kihi paksus 120–650 mm, lisakoormus 100–350 kg/m<sup>2</sup>. Niidukoosluse taimestik, kasutatav, keskmiselt hooldust vajav.

(3) Hooldatav katusaed ehk intensiivne katusehaljastus – kihi paksus 220–1200 mm, lisakoormus 160–1000 kg/m<sup>2</sup>. Pidevat hooldust vajav, nii murust, püsikutest, põõsastest kui dekoratiivpuudest koosnev taimestik. Katus kasutatav, võib rajada puhkekohti.

Lisaks nimetatuile eristatakse veel ka rasket mätaskatust või muruvaipadel põhinevat haljaskatust, kuid need on raskemad, sobivad pigem kaldkatusele ning vajavad hooldust.

## 1.2. Haljaskatuse kihid

Edaspidine iseloomustus kehtib eeskätt kerghuumuspõhise (kergkruusal põhineva) murukatuse kohta. Sellisel katusel on järgmised aluskihid, mis on toodud skemaatiliselt ka joonisel 1.

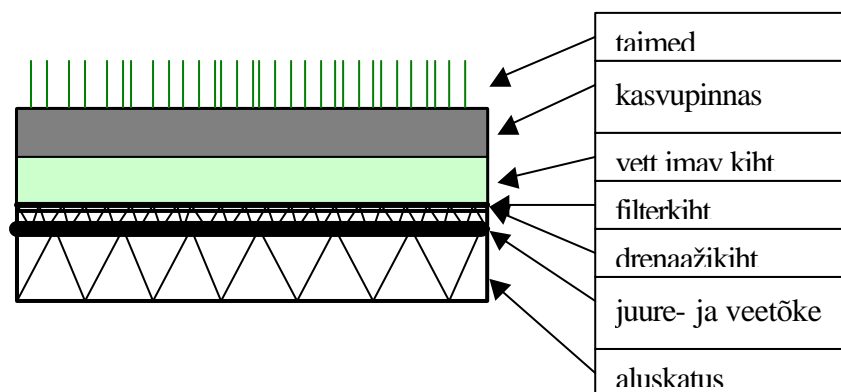
(1) Aluskatus – kas bituumenkattega olemasolev katus või näiteks aluslaudis.

(2) Veekindel membraan ning juuretõke – geomembraan, mis kaitseb katusekonstruktsiooni niiskuse (vee) ning taimejuurte eest. Kasutatakse PVC (polüvinüülkloriid) materjali, polüetüleenkilet või ka EPDM-kummimembraani (etüleen-propüleen-dieen-monomeer).

(3) Drenaažikiht – juhib ära murukatusest läbi imunud liigse vee, et see ei hakkaks taimekasvu pidurdama, samas peab säilitama teatud veehulga. Kasutatakse nii kergkruusa kui ka plastmaterjalist süvenditega (mn. mügaralisi) drenikihte.

(4) Filterkiht – takistab peente osakeste kasvupinnasest drenaažikihti sattumist ja sellega drenaažikihti ummistamast. Kasutatakse geotekstiile, mis on soovitatavalt ka juurekindlad.

(5) Vett imav kiht – ühtlustab kasvupinnase niiskuse- ja toitainetesisaldust ja on taimedele täiendavaks veevaruks, pakub ka mehaanilist kaitset. Materjaliks kivivill.



Joonis 1. Lihtsustatud murukatuse kihtide skeem.

Aluskihtide peal on kasvupinnas – taimede kinnitumiseks ja toitainete säilitamiseks vajalik kiht, mille paksus ja koostis sõltuvad kasvatatavatest taimeliikidest. Kasvupinnase ehk substraadikiht koosneb kergkruusa erinevatest fraktsioonidest (kuiva aine massi% kogu kihist 66%), huumusest ning savist. Koostisosade suhe kuiva aine massi% järgi antud kihis on

katsetuste tulemusel [Koorberg, 2001] soovitavalt järgmine: kergkruus 66%, huumus 30% ning savi 4%.

Kergkruus on savi põletamisel pöördahjus 1150°C juures saadud materjal, misjärel tekivad keraamilised poorsed graanulid, mis müügiartiklitena jaotatakse kolme peamisse fraktsiooni: 2–4, 4–10 ja 10–20 mm. Kergkruus on tule- ja külmakindel, vastupidav korduvatele jäätumis-sulamisprotsessidele. See on tugev, kuid kerge õhkuläbilaskev materjal, mis ei sisalda kahjulikke ühendeid ega gaase ning on vastupidav kemikaalidele. Pinnases on kergkruusa veeimavus umbes 30 massi%, vett on nii graanulite pinnal kui neisse imendunult [Fibo kergkruus, 2004]. Kergkruusa pH on ligikaudu 8–9 [Maxit Estonia, 2005].

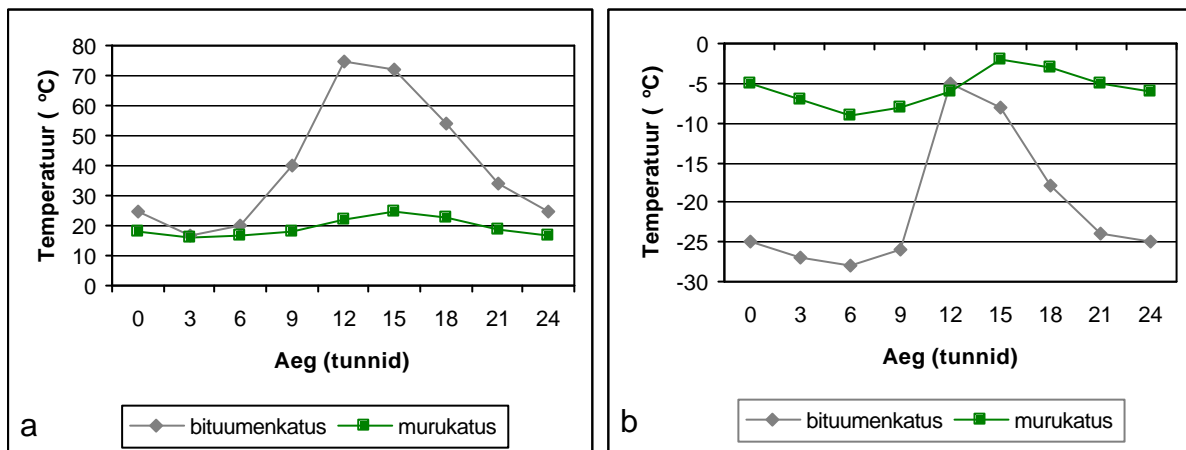
Taimedeks on alvarikooslusele tüüpilised taimeliigid, mis saavad hakkama õhukese pinnasekihi, sageda veepuuduse, suurte tuulte ning tugeva päikesevalgusega. Enamlevinud taimeliigid on näiteks harilik kukehari (*Sedum acre*), valge kukehari (*Sedum album*), kartusias nelk (*Dianthus carthusianorum*), nurmnelk (*Dianthus deltoides*), kivirik-kaljune (*Petrorhagia saxifraga*), paljalehine liivatee (*Thymus pulegoides*), nõmm-liivatee (*Thymus serpyllum*), hõbemaran (*Potentilla argentea*), tõrvalill (*Lychnis flos cuculi*), harilik kellukas (*Campanula patula*), harilik raudrohi (*Achillea millefolium*). Taimed on mitmeaastased, va. harilik kellukas [Koorberg, 2001].

Seemnesegusid on soovitav külvata kevadel või sügisel. Põhiliste taimeliikide külvitemperatuur on 20°C. Pärast külvi ja/või istutamist peab taimi mõni nädal kastma. Muidu ei vaja kergmurukatus mingit hooldust, tuleb vaid jälgida, et suurte juurtesüsteemidega (umbrohu-) taimi katusele ei satuks. Kui taim oma juuresüsteemi pinnasesse kinnitab, hakkab see kiiresti horisontaalselt levima ja moodustab mõne kasvuhooajaga tiheda juuremati. Juured hoiavad pinnast paigal, vältides nii erosiooni [Koorberg, 2001].

### **1.3. Haljaskatuse kasulikud omadused**

Esmalt temperatuuri reguleerimisega seotu. Haljaskatustel on võime kuuma ilma korral katusealuseid ruume tunduvalt jahutada kiirguse tagasipeegeldumise ja vee auramise kaudu. Auramise korral seotakse soojusbilansi ühe osana latentne soojusenergia ning just see protsess annab katusehaljastusele võime katusealuseid ruume jahutada [Theodosiou, 2003]. Seetõttu väheneb vajadus ruume jahutada. 25–30°C välisõhu juures on murukatusealused ruumid

vähemalt 2–3°C jahedamad tavakatuses ruumidest. [Dachbegrünung, 1990]. Katusehaljastus kaitseb katusematerjale ekstreemsete temperatuuride eest, seega pikendab ka nende eluiga. Seda kinnitab ka joonis 2, kust on näha, et suvepäeval kõigub bituumenkatuse temperatuur 60°C, samas kui murukatuse temperatuur kõigub 9°C. Talvepäeval on bituumenkatuse temperatuurikõikumine 25°C, murukatuse oma 7°C. Kokkuvõtlikult on bituumenkatuse temperatuurikõikumine umbes 100°C, kuid murukatusel on see vaid 35°C [Krusche et al., 1982].



Joonis 2. Bituumenkatuse ja murukatuse temperatuurierinevused suvepäeval (a) ja talvepäeval (b) [Krusche et al., 1982].

Tänavatest kõrgemal paiknevad haljaskatused vähendavad ka linna kuuma saare efekti ehk ülekuumenemist. Asfalt ja betoon nii teedel, väljakutel kui katustel neelab endasse soojust ja kiirgab seda tagasi kui infrapunast soojuskiirgust. Katusehaljastus suudab temperatuuri alandada, hoides pinnases ja taimede lehtedes sademetest saadud niiskust ning kandes seda ümbritsevasse õhku, alandades niiviisi temperatuuri.

Linnakeskkonnas on väga oluliseks katusehaljastuse omaduseks vihmavee kinnipidamine ja äravoolu reguleerimine, mis vähendab survet kanalisatsioonisüsteemidele. Sõltuvalt taimestikust ja substraadi paksusest suudab haljaskatus säilitada talle langevaid sademeid suvel 70–80% ja talvel 25–40%. 4–20 cm substraadikihiga murukatus suudab hoida endas 10–15 cm vett [The Cardinal Group Inc., 2003].

Äravool murukatusest hakkab toimuma alles siis, kui katus veega küllastub. Isegi sel juhul suudavad murukatused sademete kanalisatsiooni voolamise tippetke nihutada 15–30 minutit,

hõreda vihma puhul kauemgi. Kui tavaliste üle 3° kaldega katuste puhul peab arvestama sademevee 100%-lise äravooluga, siis rohekatuste puhul jääb 70% veest katusesse pidama ja vaid 30% voolab ära [Begrünte Dächer, 1995].

Murukatused on ka head õhupuhastajad. Vastupidiselt paljastele katustele, mis tugevasti kuumenedes põhjustavad tolmutekitavat ja -tõstvat soojuslikku õhutsirkulatsiooni, filtreerivad ja seovad murukatused igasugust õhusaastust 20%-ni. Osakesed jäävad lehepindadele kinni ja vihm uhub nad sealt pinnasesse. On kindlaks tehtud, et üks ruutmeeter rohukatust on suuteline aastas eemaldama õhust 0,2 kg tahkeid osakesi [Koorberg, 2001].

Veel üheks murukatuse väärtuslikuks omaduseks on müra vähendamine. Haljaskatustel pole üldjuhul määrav mitte taimede, vaid nende substraadi helisummutav toime. Pinnasekihi mürasummutus on 12 cm paksuse kihi puhul 40 dB ja 20 cm puhul 46 dB. Seega on intensiivse katusaia mürakaitse efekt suurem kui ekstensiivse oma [Gründächer, 2003].

Veel võivad haljaskatused luua liikidele elupaiku, olles linnas justkui rohelised koridorid, laigud või saared, kus saavad elutseda nii mõnedki taime- ja loomaliigid. Murukatuse väärtustest on veel mainimata katusekatte kaitse ka mehaaniliste vigastuste eest. Ka annab haljaskatus küttekulu kokkuhoidu katusekihtide soojahoidva omaduse tõttu – Eestis võib murukatuse anda küttekulu kokkuhoidu 2 l kütteõli/m<sup>2</sup> aastas [Strandberg, 2001]. Samuti on katusehaljastuse teel saadud uus kasutatav ala järjest täis ehitatavas linnakeskkonnas väga hea puhkepaik. Nii mõnigi firma saab selle kaudu ka ennast keskkonnasõbralikumana reklaamida ja endale tähelepanu tõmmata. Loomulikult on murukatusel ka hindamatu esteetiline ja psühholoogiline väärtus.

#### **1.4. Haljaskatused Eestis**

Eestis hakkab haljaskatuste ehitamine aina rohkem populaarsust võitma. Kui vaadata interneti ehitusfoorumeid, on seal näha huvilisi, kes küsivad nõu, kuidas murukatust või mätaskatust ehitada – see näitab, et on huvilisi, kes tahavad just ise teemaga tegeleda. Samuti on märgata aina rohkem haljaskatusega uute ühiskondlike hoonete projekte. Näiteks plaaniti katusaed teha Tallinnas Viru Keskusele, kuid hetkel ei ole seda veel märgata, samuti on juttu olnud haljastatud katuse rajamisest Kadrioru Keskusele Tallinnas. Teoks saab ehk käesoleva töö valmimise hetkel alles plaanijärgus olev Rakvere Eragümnaasiumi lisaehitis, mille osale



katusest plaanitakse murukatust. Ajakirjanduses on aina rohkem ilmunud artikleid murukatuse kasulikkusest, kirjutajateks enamjaolt erinevate firmade erisuguste alade spetsialistid ja asjatundjad. Artikleid on erinevaid – kes pühendub taimedele, kes kirjutab ehitamisest, kes teeb üldülevaateid. Firmade arv, kes muuhulgas ka katuseid haljastavad, on piisavalt suur ja võib kasvada veelgi.



Joonis 3. Pargi lasteaed Viimsis.

Murukatusega ühiskondliku hoone parim näide on viimati valminud Viimsi Pargi lasteaed, mille projekteeris Vahur Sova ja mis valmis septembris 2002. Üks hoone murukatusega kaetud varikatustest on näidatud ka joonisel 3. Viimsi poolsaarel asuval Leppneeme ökomajal, mille projekteeris samuti V. Sova, on murukatuse osal katusest. Murukatusega on ka Vjatšeslav Leedo residents Kuressaares. Neid murukatuseid on kajastatud ka ajakirjanduses. Tõestus murukatuse populaarsusest on näiteks see, et konkursi “Ilus puitmaja 2004” võitnud Otepää vallas asuval palkmajal on mätaskatus. Seega võib arvata, et katuste haljastamise populaarsus on tõusuteel ning aeg-ajalt võib kuulda uutest murukatusega projektidest või Eestis ringi sõites avastada mätaskatusega palkmaju.

## 2. SENI SAADUD TULEMUSI TÖÖS UURITAVATEL TEEMADEL

Antud peatükk toob välja olulisemad tulemused mõnedest seni mujal maailmas haljaskatuste kohta tehtud uurimustest. Valdkondadeks on katusehaljastuse temperatuuri reguleerimine, vee kinnipidamise võime ning vee kvaliteet.

### 2.1. Temperatuuride uurimistulemusi

Saksamaal Kasselis uuriti 15 cm paksuse substraadiga haljaskatuse temperatuuri regulatsiooni. Leiti, et palavatel oktoobripäeval oli katusel rohu kohal varjus temperatuur 30°C, samas kui rohu all oli 23°C ja mulla all katusekatte peal 17,5°C. Öösel oli madalaim õhutemperatuur 7°C, katusekattel aga 15°C. Külmal talvapäeval, kui õhutemperatuur öösel oli -14°C, oli katusekatte peal 0°C ja mullakihi ülalpoolel 3°C [Innovationsreport, 2003].

Kanada uurijad [Liu, 2003] on ehitanud spetsiaalse kaheosalise katsekatuse (72 m<sup>2</sup>), mille üht poolt katab bituumenkatte ning teist 15 cm substraadikihiiga haljaskatus. See katus, *Field Roofing Facility* (FRF), asub Ottawas, Kanadas. Temperatuuriandmeid koguti 2000. aasta 22. novembrist 2002. aasta 30. septembrini. Tabelist 1 on näha, et kogu mõõteperioodist (660 päeva) ületas bituumenkatuse membraani temperatuur 30°C 342 päeval, samas murukatuse alune katusemembraan vaid 18 päeval.

Tabel 1. Murukatuse ja bituumenkatuse katusemembraanide ööpäevased maksimumtemperatuurid mõõdetud 660 päevast Ottawas, Kanadas [Liu, 2003].

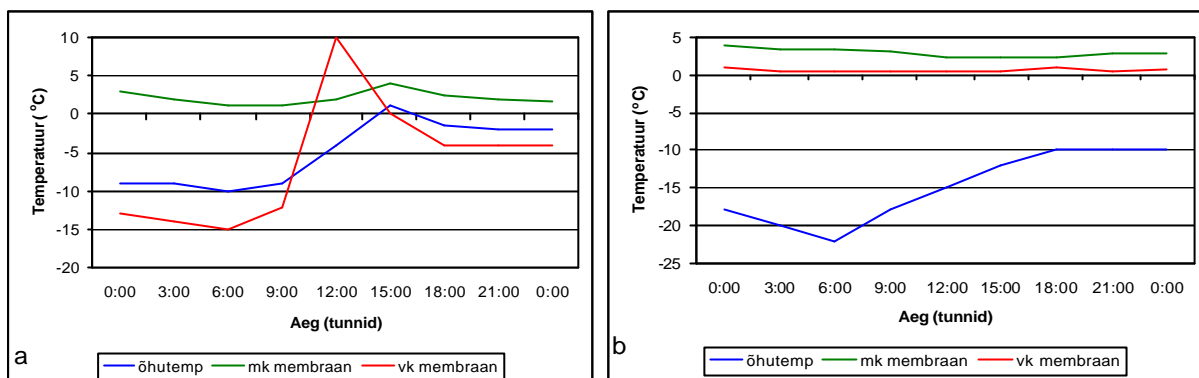
Temp. on suurem kui	Murukatus		Bituumenkatuse		Õhutemperatuur	
	Päevade arv	% päevadest	Päevade arv	% päevadest	Päevade arv	% päevadest
30°C	18	3	342	52	63	10
40°C	0	0	291	44	0	0
50°C	0	0	219	33	0	0
60°C	0	0	89	13	0	0
70°C	0	0	2	0,3	0	0

Tabel 2 võtab kokku mõõteperioodi keskmised päevased temperatuurikõikumised eri aastaegadel. Bituumenkatusel on päevane temperatuuriamplituud väga suur, keskmiselt 42–47°C, seevastu murukatus vähendab temperatuurikõikumisi tunduvalt, keskmine amplituud on vaid 5–7°C.

Tabel 2. Murukatuse ja bituumenkatuse katuseembraanide keskmised ööpäevased temperatuurikõikumised kogu mõõtmisperioodil (22.11.00–30.09.02) Ottawas, Kanadas [Liu, 2003].

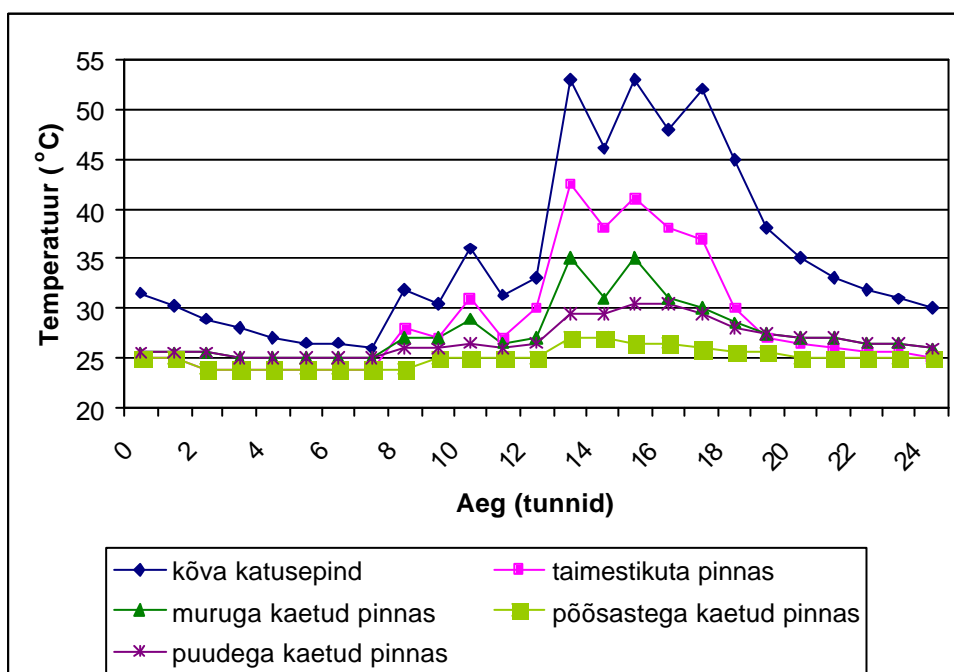
Mõõtmisperiood	Keskmine ööpäevane temperatuurikõikumine		
	Murukatus (°C)	Bituumenkatuse (°C)	Õhutemperatuur (°C)
Talv 2001	6	9	10
Kevad 2001	6	46	13
Suvi 2001	7	47	12
Sügis 2001	5	23	8
Talv 2002	7	9	9
Kevad 2002	6	42	10
Suvi 2002	6	47	12

Bass ja Baskaran (2003) uurisid katuste membraanide temperatuure ka talveperioodil. Joonisel 4a on näide päikeselisest päevast lumeta novembri lõpu ja detsembri alguse perioodist, mil õhutemperatuur oli päeva esimesel poolel –10°C, võrdluskatuse bituumenkatuse pind jahtus –15°C-ni, samas murukatuse all oli katuseembraani temperatuur 2°C ringis. Päikesepaiste tõstis bituumenkatuse temperatuuri päeval ka 10°C-ni, murukatusealust temperatuuri päike nii väga ei mõjutanud. Joonisel 4b on näide 20 cm paksuse lumekihi all olevate katuste membraanide temperatuuridest, millele madal õhutemperatuur (keskmiselt –15°C) mingit mõju ei avaldanud. Seega on lumi väga hea soojusisolatsioon. Samuti uuriti katuseembraanide temperatuure kevadel ja suvel. Leiti, et päike soojendab bituumenpinda väga (kuni 60°C), kuid murukatuse aluskatuse membraani temperatuur kõigub vaid 20°C ümber.



Joonis 4. Murukatus ja võrdluskatus membraanide temperatuurid talveperioodil lumeta päikeselisel päeval (a) ja 20 cm paksuse lumekihi all (b) Ottawas, Kanadas (mk – murukatus, vk – võrdluskatus (bituumenkatus)) [Bass and Baskaran, 2003].

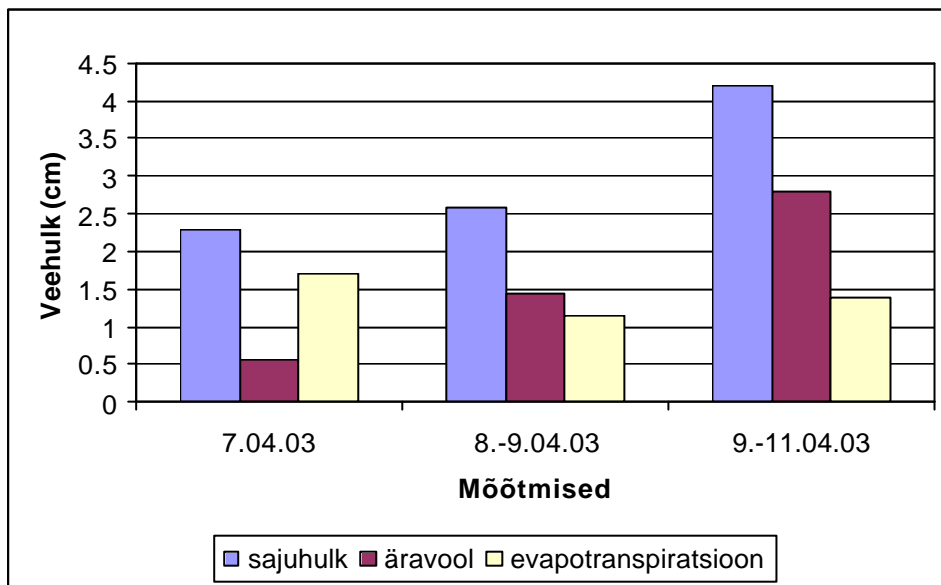
Singapuri teadlased [Wong et al., 2003] võrdlesid kõva katusepinna, taimestikuta pinnase ning muru, puhmastaimede ja puudega kaetud katusaia pinnatemperatuure. Jooniselt 5 on näha, et kõige madalam temperatuur oli kogu päeva vältel põõsastega ala pinnal, järgnes puudega ja siis muruga ala, taimestikuta pinnas oli vahepealne, kõva katusepinna temperatuur ületas isegi 50°C.



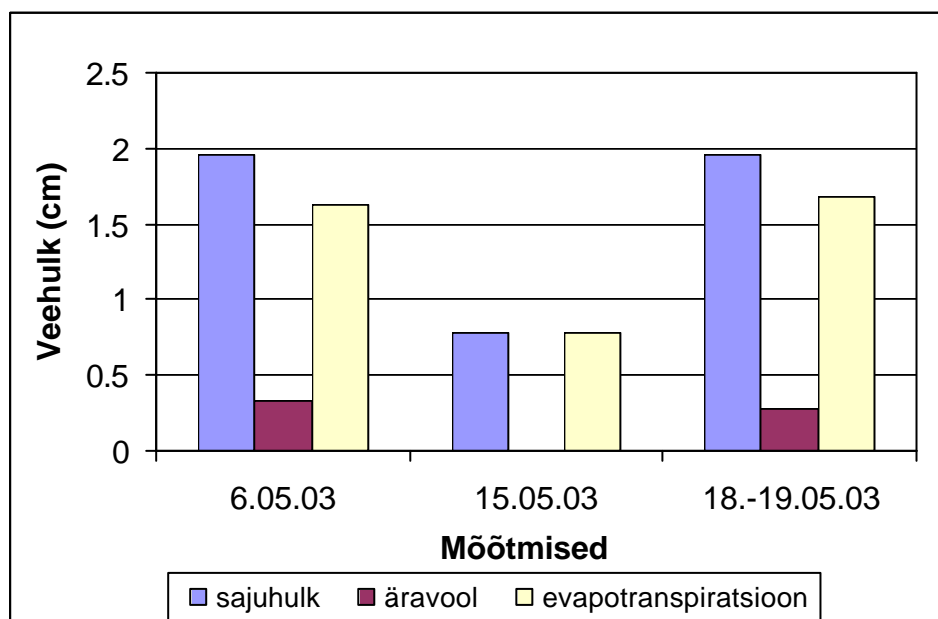
Joonis 5. Pinnatemperatuurid eri pindadel päeva jooksul [Wong et al., 2003].

## 2.2. Äravooluhulkade uurimistulemusi

Ameerika Põhja-Carolina teadlased [Moran et al., 2003] võrdlesid veehulka, mis jäi katusesse ja mis voolas ära. Wayne'i Kogukonna Kolledži ehk WCC katsekatus on 70 m<sup>2</sup> suur ja substraadikihi paksus on 5–10 cm. Aprillikuu teatud päevade tulemuste graafikult (joonis 6) on näha, et iga korruga suurenes sajuhulk (kuna mõõtmispäevi oli rohkem) ja ka äravool, iga korruga katusesse jääva vee hulk vähenes. Esimesel juhul oli see 75%, teisel 44% ja kolmandal 32%. Tõenäoliselt on põhjuseks katuse küllastumine veega.



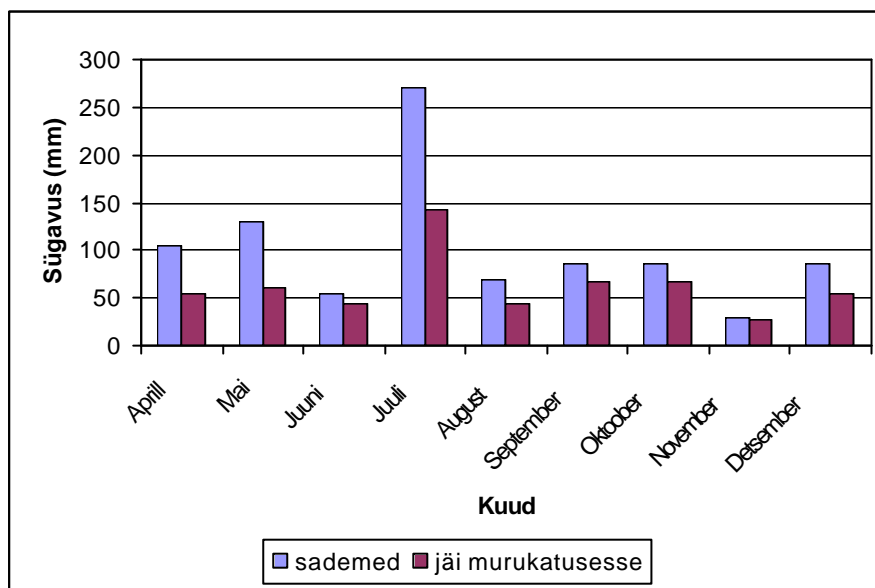
Joonis 6. WCC murukatuse (Põhja-Carolina, USA) äravool aprillis 2003 [Moran et al., 2003].



Joonis 7. WCC murukatuse (Põhja-Carolina, USA) äravool mais 2003 [Moran et al., 2003].

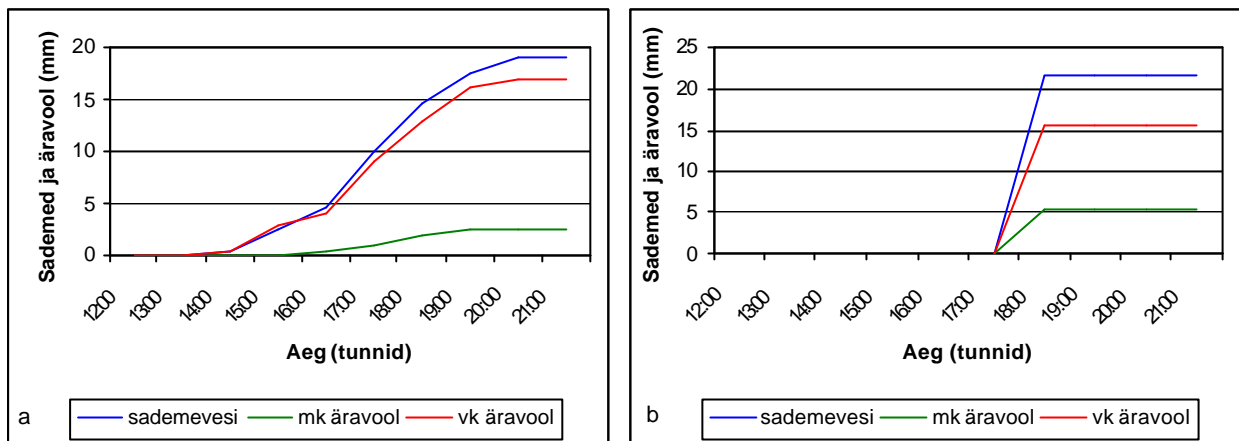
Maikuu teatud päevade tulemusi vaadates on näha, et esimesel ja kolmandal juhul jäi katusesse umbes 85% veest, teisel juhul aga kogu sajuhulk (joonis 7). Põhjuseks suurem vahe sajupäevade vahel, mistõttu katus nii ruttu veega ei küllastunud ja ka väiksemad sajuhulgad kui aprillis.

Joonisel 8 on näha kuude kaupa murukatusesse jäänud veehulk. See sõltus antud kuus maha sadanud sademete hulgast. Kuudel, mil sademete vahele jäi piisavalt päevi, oli murukatuse kinnipidamisvõime suurem, võrreldes kuudega, mil sademete vahel kuivi päevi väga ei olnud.



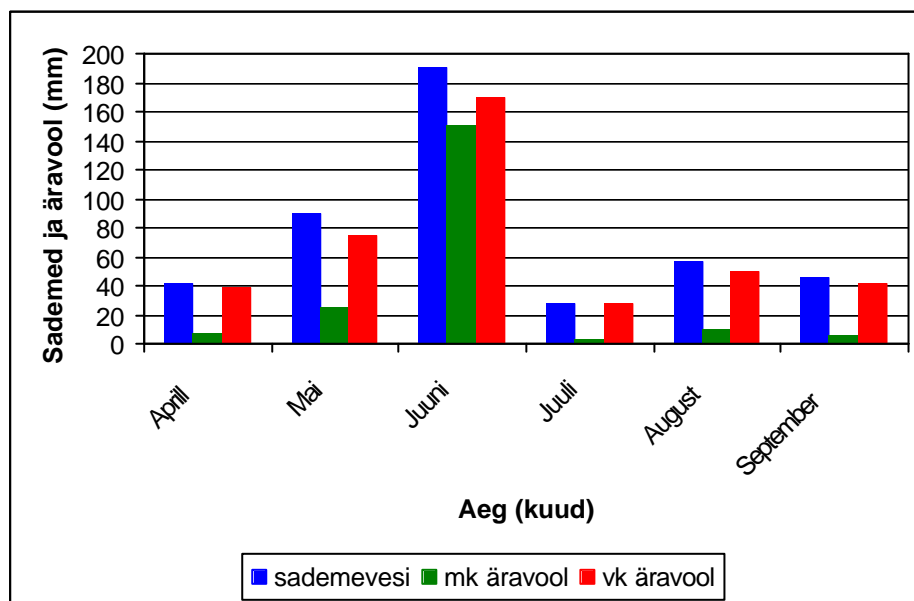
Joonis 8. WCC murukatuse (Põhja-Carolina, USA) vee kinnipidamisvõime 9 kuu jooksul [Moran et al., 2004].

Liu (2003) on uurinud Kanadas, Ottawas näiteks kahte erinevat vihmajuhtu. Joonisel 9a on toodud umbes kuue tunni jooksul sadanud hõre vihm (19 mm), millest põhjustatud murukatuse (substraadikihi paksus 15 cm) äravool algas alles poolteist tundi pärast vihma algust, katus pidas kinni 85% sademeveest. Tugev ja kiirelt alla sadanud vihm (21 mm, joonis 9b) põhjustas murukatusest peaaegu kohese äravoolu, kuid vett tuli vaid 5,7 mm – kinnipidamine 73%.



Joonis 9. Murukatuse (mk) ja võrdluskatuse (vk) äravoolude hulgad nõrga vihma korral (a) ja tugeva vihma korral (b) Ottawas, Kanadas [Liu, 2003].

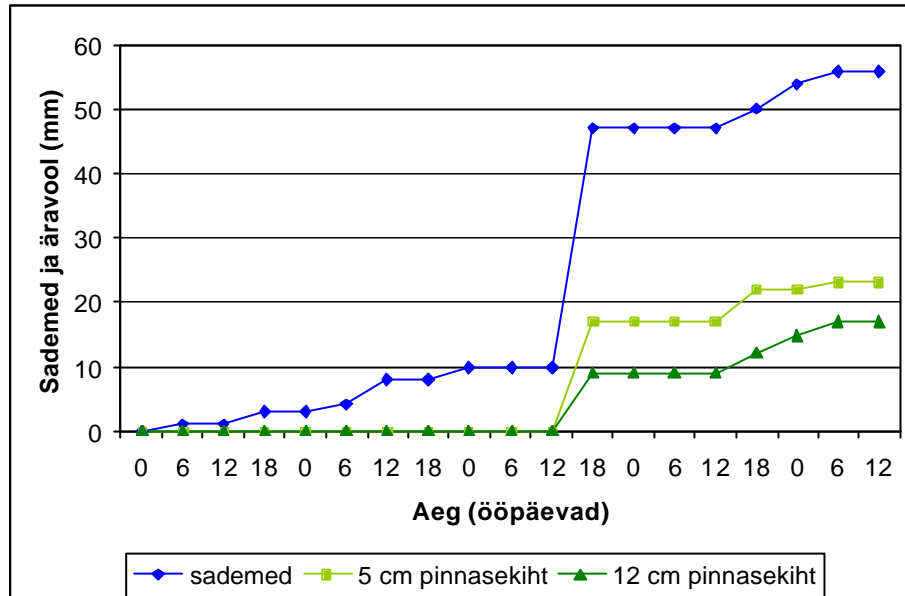
Joonis 10 näitab, kuidas haljaskatus suutis 2002. aasta eri kuudel vihmavett kinni hoida. Juunikuus sadas pidevalt, seetõttu substraadikiht küllastus veega ja ei suutnud rohkem kinni pidada. Kogu toodud kuude vihmahulgast (450 mm) hoidis haljaskatus kinni (ja väljutas hiljem evapotranspiratsiooni kaudu) 245 mm ehk 54% sademetest.



Joonis 10. Sademed ja äravool murukatusest (mk) ja võrdluskatusest (vk) kuue kuu jooksul Ottawas, Kanadas [Liu, 2003].

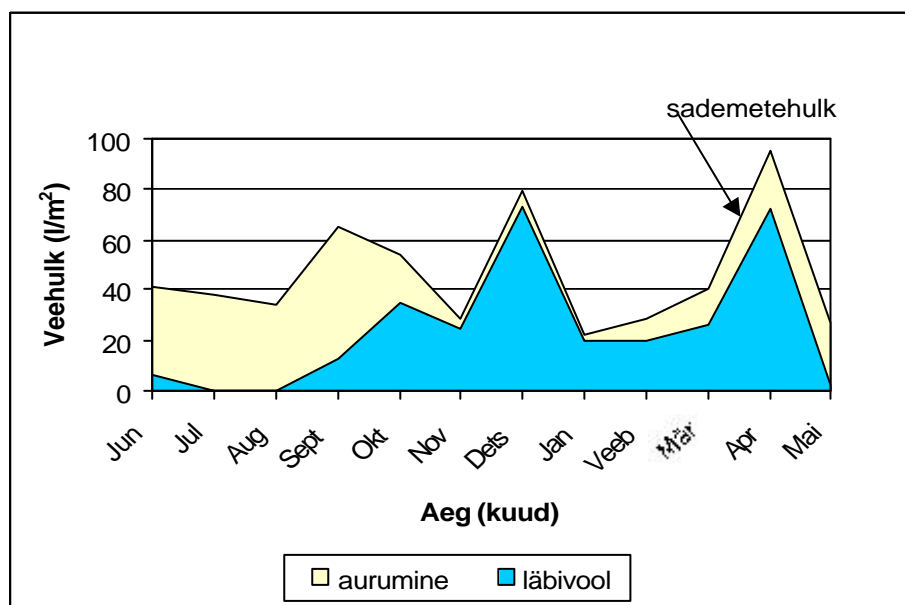
Saksa teadlased [Köhler et al., 2001] leidsid 12.08.–16.08. 1996 a. Berliinis vihmavee kinnipeetuse aega uurides järgmise tulemuse (joonis 11). Kuni 10 mm sademeid mitme päeva jooksul ei põhjustanud murukatustelt, millest üks 5 ja teine 12 cm pinnasekihiga, mingit äravoolu. Alles vihmahulga järsul suurenemisel algas murukatustelt äravool. 47 mm

sademete hulga juures oli äravool 5 cm paksuse pinnasekihiga murukatusest 17 mm ja 12 cm 9 mm, hiljem see siiski suurenes, kuid oluline on just äravoolu viivitus ja äravoolu hulga vähesus võrreldes sellega, mis tuleks tavakatusest.



Joonis 11. Sademete äravoolu viivitus kahelt eri paksusega haljaskatusest Berliinis [Köhler et al., 2001].

Saksamaal Veitshöchheimis tehti uurimus murukatusest aurava (evapotranspiratsioon) ja läbi voolava vee hulga kohta 11-l ekstensiivhaljastuse mudelkatusel aasta jooksul [Kolb, 2003].

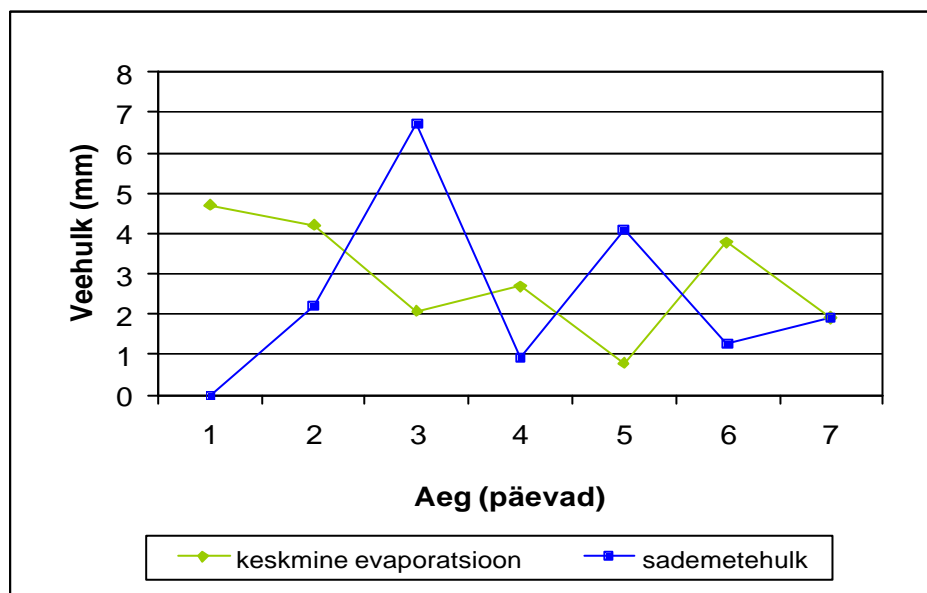


Joonis 12. Keskmine aurumine ja sademevee läbivool 11 ekstensiivhaljastusel aasta jooksul Veitshöchheimis, Saksamaal [Kolb, 2003].



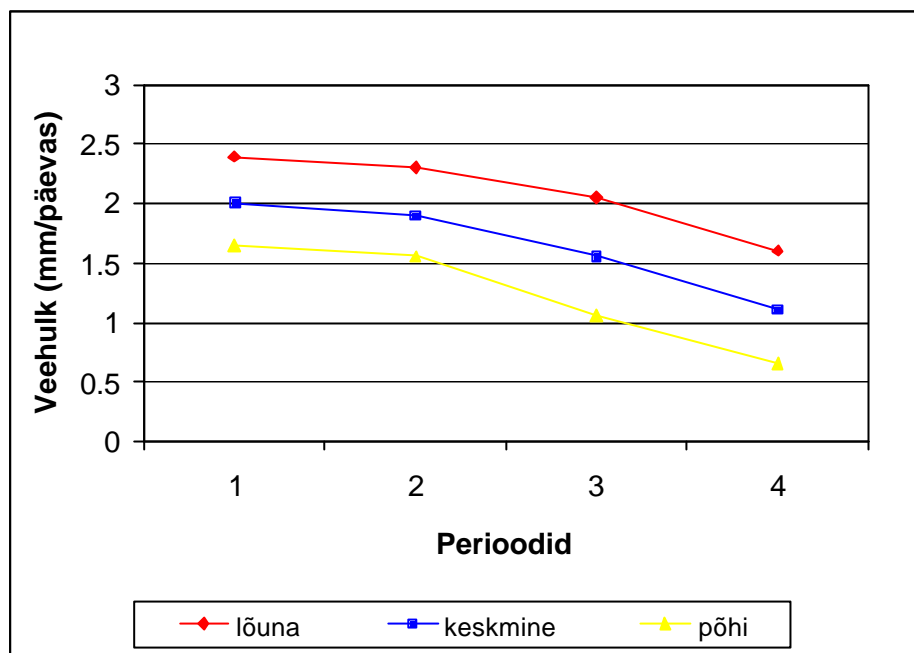
Leiti, et aasta jooksul, kuu keskmise sademetehulgaga 47 mm, võis ära aurata 21 mm ehk 45%. Jooniselt 12 on näha, et maist augustini aurus peaaegu kogu sademetehulk, talvekuudel aga oli aurumine tühine. Keskmine läbivool oli 25,60 l/m<sup>2</sup>.

Evaporatsiooni uurinud Belgia teadlased leidsid olulise negatiivse korrelatsiooni evaporatsiooni ja sademetehulga vahel [Mentens et al., 2003a]. Joonisel 13 on keskmine evaporatsioon ja sademetehulk perioodil 30. juuli kuni 5. august 2002. a. 20° kalde puhul. On näha, et sademete ajal on evaporatsioon madal, kuid suureneb pärast sademete vähenemist, sest pärast sademeid on vett rohkem ja päikese paistes aurub rohkem. Samas peab arvestama, et kaldus murukatusest voolab vesi kiiremini ära ning ühesuguste ilmastikutingimuste juures on kaldus oleva haljaskatuse niiskusesisaldus väiksem kui lamedal murukatusel.



Joonis 13. Evaporatsiooni ja sademetehulga korrelatsioon [Mentens et al., 2003].

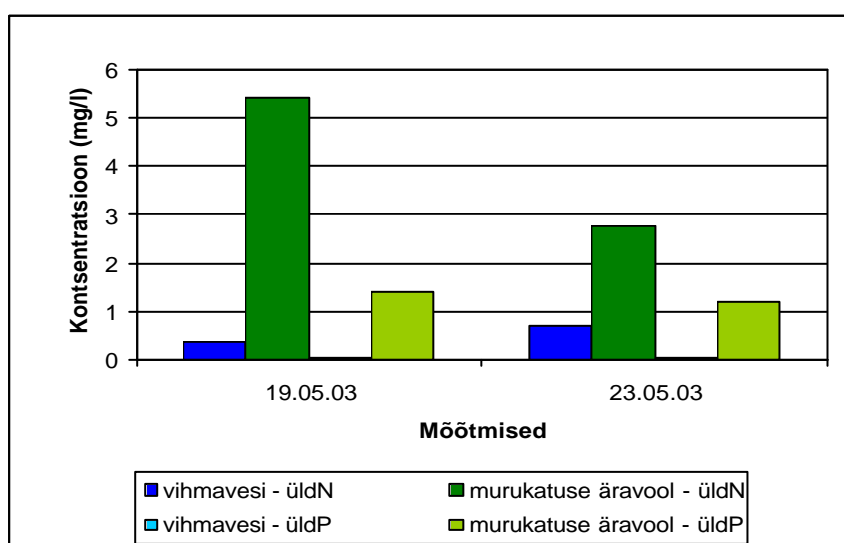
Mentens et al. (2003a, 2003b) leidsid, et kaldmurukatuse orientatsioonist sõltub ka evaporatsiooni hulk. Erinevus on seda suurem, mida suurem on katuse kalle. Leiti, et aurumine on suurem lõunapoolsel 40 kraadise kaldega katusel, kui põhjapoolsel katusel. Seda kujutab joonis 14, kus on toodud neli seitsmepäevast perioodi, millest esimene algas 30. juulil ja viimane lõppes 11. oktoobril 2002. Graafikult on näha ka, et aurumine oli suurim suvel.



Joonis 14. Keskmise evaporatsioon eri perioodidel [Mentens et al., 2003].

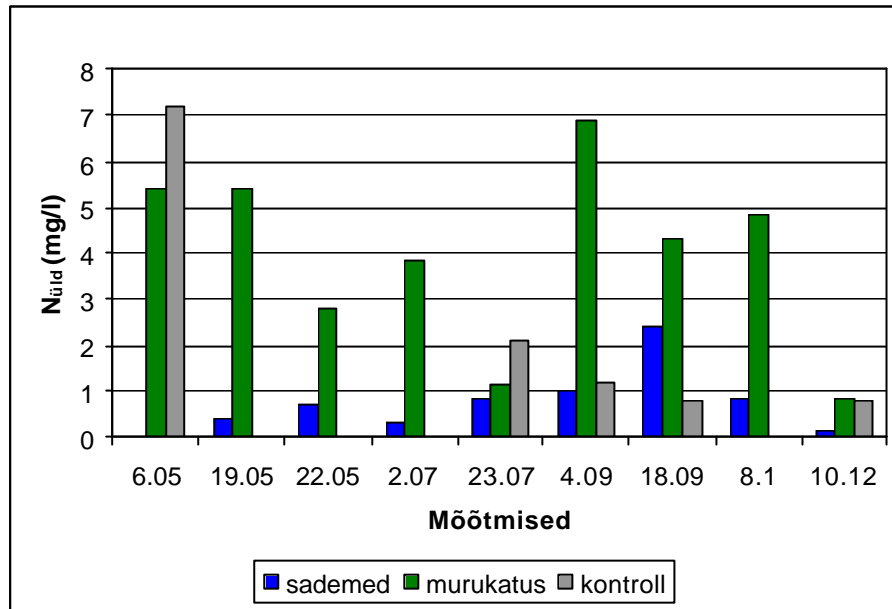
### 2.3. Veevaliteedi uurimistulemusi

Vee kvaliteeti Põhja-Carolinas uurides leiti, et Goldsboros asuva 70m<sup>2</sup> suuruse murukatuse äravoolus on üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid kõrgemad kui vihmavee sissevoolus [Moran et al., 2003]. Sellised kõrged kontsentratsioonid on põhjustatud sellest, et nende katuste pinnasesegus oli 15% komposteeritud lehmasõnnikut. Arvatakse, ka jooniselt 15 on seda näha, et aja jooksul nende pinnasest väljauhtumine siiski väheneb.



Joonis 15. Üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused WCC murukatuse nõrgvees Goldsboros (Põhja-Carolina, USA) [Moran et al., 2003].

Jooniselt 16 on näha, et lämmastikusisaldus WCC murukatuse äravoolus on ka kuude lõikes märkimisväärselt kõrgem kui vihmavees. See leostub välja taas samast pinnasekihist, kuhu on lisatud toitaineid komposti näol, mis on ka lämmastiku allikaks. Mida vähem orgaanilist materjali pinnases on, seda vähem uhutakse toitaineid äravoolu kaudu välja ja seda puhtamaks jääb vesi. Arvatakse, et üldlämmastiku kontsentratsioon peaks aja jooksul vähenema.



Joonis 16. Üldlämmastiku sisaldus WCC murukatuse nõrgvees Goldsboros (Põhja-Carolina, USA) [Moran et al., 2004].

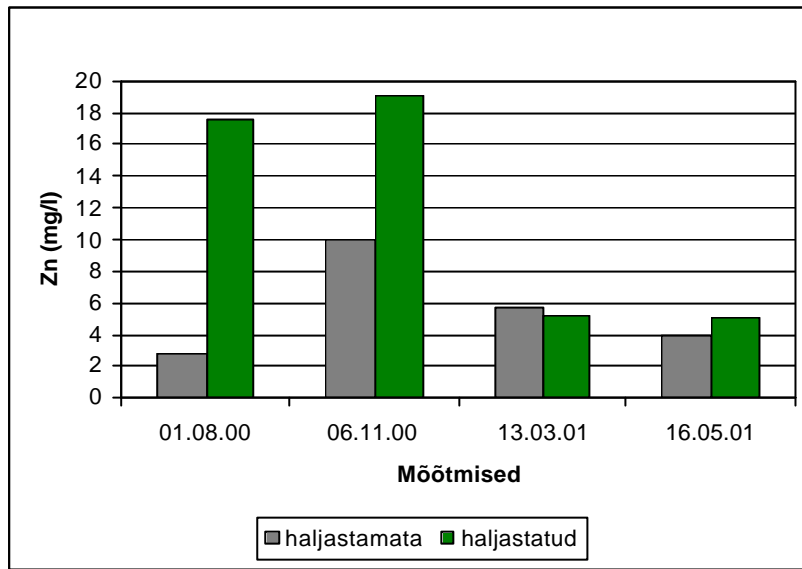
Saksamaal Veitshöchheimis uuriti erinevate 6 cm kihipaksusega ekstensiivkatuste nõrgvee toitainesisaldust ja võrreldes saadud tulemusi piinormidega leiti, et rohkem probleeme on

Tabel 3. Murukatuse nõrgvee toitainesisalduse uuringud 6 ekstensiivsel kergkatusesüsteemil kihipaksusega 6 cm võrrelduna joogivee piinormidega [Kolb, 2003].

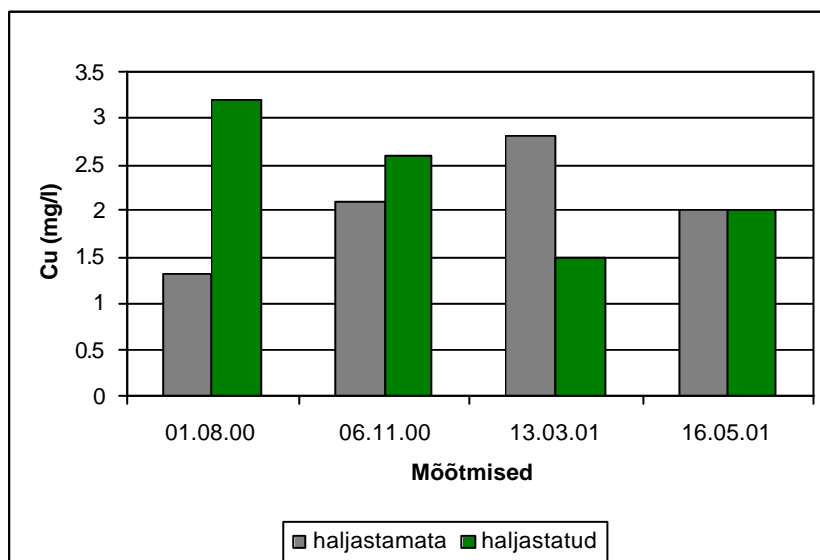
mg/l	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> -P	K	Mg	Na
<b>Joogivesi (Saksa)</b>	50,0	6,70	12,0	50,0	150,0
<b>Süsteem 1</b>	123,5	1,88	26,0	29,0	36,5
<b>Süsteem 2</b>	83,0	0,61	8,0	43,0	48,5
<b>Süsteem 3</b>	33,5	0,26	4,8	22,5	24,5
<b>Süsteem 4</b>	104,5	6,65	64,5	25,0	35,5
<b>Süsteem 5</b>	61,0	1,06	21,5	28,5	28,5
<b>Süsteem 6</b>	50,5	1,57	10,2	36,5	18,5

nitraadi ja kaaliumiga, vähem fosfaadi, magneesiumi ja naatriumiga [Kolb, 2003].

Veitshöchheimis on uuritud ka raskmetallide – vaske ja tsinki. Mõlema puhul leiti, et algul on seda haljastatud katuse äravoolus rohkem kui haljastamata katuse äravoolus. Hiljem tase vähenes kuni piirväärtuseni. Põhjuseks oli kõrgenenud niiskuskooormus ja sellega seotud ionide eritumine. Tulemused on toodud joonistel 17 ja 18.



Joonis 17. Tsingisisaldus haljastamata ja haljastatud titaantsink-kaldkatustelt Veitshöchheimis, Saksamaal (4 mõõtmist, 2000 ja 2001) [Kolb, 2003].



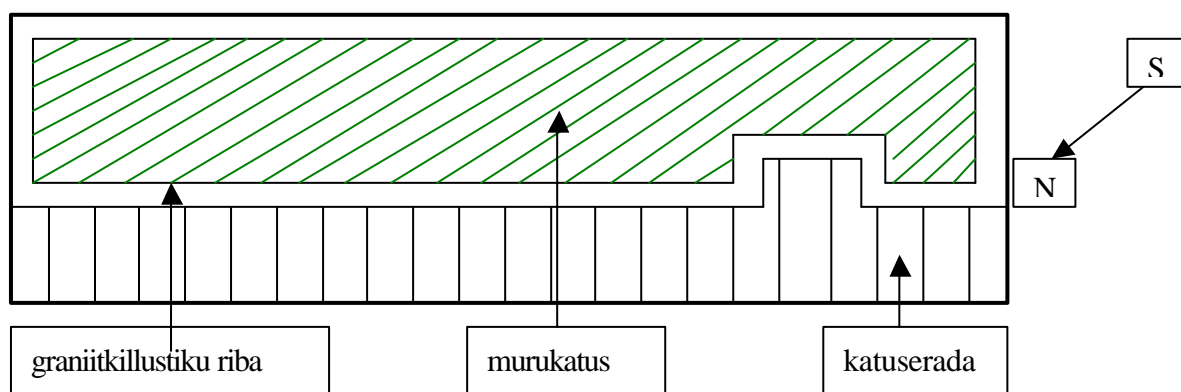
Joonis 18. Vasesisaldus haljastamata ja haljastatud vaskplekk-kaldkatustelt Veitshöchheimis, Saksamaal (4 mõõtmist, 2000 ja 2001) [Kolb, 2003].

Berndtsson (2004) leidis 2003. aasta sügisel Rootsis Malmös ja Lundis katuste äravoolude kvaliteeti uurides, et fosfaatfosfori sisaldus katuste nõrgvees on erinevatel haljaskatustel suurem kui vihmavees ja tavakatustel. Murukatustel oli  $\text{PO}_4\text{-P}$  vahemik 0,2–1,8 mg/l, kuid oli ka üks erandlik haljaskatus, kus fosfaatfosforit äravoolus ei sisaldunud. See katus oli vaadeldavatest murukatustest vanim (rajatud 1994. a.). Nitraatlämmastiku puhul leiti, et haljaskatused vähendavad vihmast sisalduva  $\text{NO}_3\text{-N}$  hulka ning tavakatustel on selle sisaldus märgatavalt suurem. Murukatuste äravooluvees oli  $\text{NO}_3\text{-N}$  vahemik 0–0,4 mg/l, kuid vihmavees oli see 0,2–0,8 mg/l ning tavakatustel ulatus  $\text{NO}_3\text{-N}$  sisaldus 1,3 mg/l. Üldlämmastiku puhul jäi selle sisaldus haljaskatuste äravoolus võrdseks vihmaveega või suurenes, vahet tavakatuse vee kvaliteediga üldiselt ei olnud. ÜldN sisaldus murukatuste äravooluvees oli 0,4–2,7 mg/l, vihmavees oli see 0,4–1,6 mg/l ning tavakatustel 0,2–4,1 mg/l.

### 3. UURITAVA MURUKATUSE NING VÕRDLUSKATUSE KIRJELDUSED

#### 3.1. Uuritava murukatuse kirjeldus

Uuritav murukatus asub Tartu kesklinnas Turusilla vahetus läheduses Emajõe ääres. Tegemist on AS-i Triip kolmekorruselise hoone ühekorruselise trükikoja osa terrasskatusega. Hoone on näha joonisel 20. Varem oli trükikoja katus kaetud bituumenkattega, kuid firma juht Juhan Peedimaa otsustas selle katta kerghuumuspõhise murukatusega. Murukatus rajati 2003. aasta mais. Katuse põhimõtteline skeem on toodud joonisel 19. Katuse kogupikkus on 18 m, kogulaius 6,60 m ning kogupindala 119 m<sup>2</sup>. Ainult murukatuse (ilma graniitkillustiku servata) pikkus on 16,7 m, laius 3,75 m ning pindala (arvestades katuseraja murukatuse alasse jääva osa välja) 60,3 m<sup>2</sup>. Graniitkillustiku serva laius on 50 cm, katuseraja laius on 1,5 m. Katuse kõrgus maapinnast on umbes 4,5 m. Katuse pilt on joonisel 22.

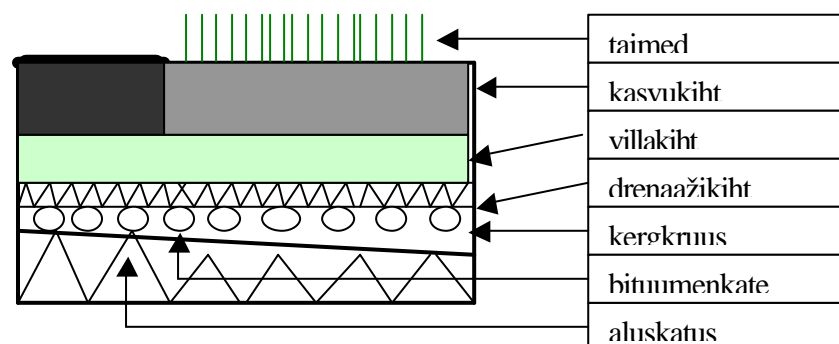


Joonis 19. Uuritava murukatuse üldskeem.



Joonis 20. AS-i Triip hoone, mille madalamal osal asub uuritav murukatus.

Katuse kihtide lihtsustatud skeem on esitatud joonisel 21. Aluskatuseks on SBS-kate ehk bituumenkate, mis oli nõrga kaldega, selle pind kaeti kergkruusaga niimoodi, et kaotati katuse kalle. Juuretõke puudub, kergkruusa peal asub mõlemapoolsete süvenditega mügaraline plastmaterjalist dreanaažikiht, mille paksus on 0,8 cm. Dreanaažikiht on kaetud 8 cm kivivillaga, millest alumine 3 cm on kõva ning ülemine 5 cm pehme kivivill. Substraadikihi paksus on 10 cm, see koosneb kuiva aine massiprotsendi järgi 66% kergkruusast (fraktsioon 4–20 mm 66%, fraktsioon 2–4 mm 22%, fraktsioon 0–2 mm 12%), 30% huumusest ning 4% savist. Kergkruus on firma Optiroc toode, huumus pärineb eraisikult. Selleks, et katusel saaks vajadusel käia, ehitati substraadikihi sisse puitvõrestik.



Joonis 21. Uuritava murukatuse kihtide lihtsustatud skeem.

Katuse valmides külvati murukatusele seemnesegu, mis sisaldas järgmisi taimi: harilik kukehari (*Sedum acre*), nõmm-liivatee (*Thymus serpyllum*), kartuusia nelk (*Dianthus carthusianorum*), karvane kadakkaer (*Cerastium tomentosium*), kuumaasikas (*Fragaria vesca*), kalju-kilbirohi (*Saxatile compactum*), arendsi kivirik (*Saxifraga arendsii*), nurmnelk (*Dianthus deltoides*), mets-lõosilm (*Myosotis sylvatica*), aed-lõosilm (*Myosotis sylvatica Royal Blue*), keskmine värihein (*Briza media*), nõeljas kesakann (*Sagina subulata*). Istutati 100 hariliku kukeharja taime.

2004. aasta juulikuus, mis oli pisut rohkem kui aasta pärast katuse rajamist, tehti katusel taimede loendus ning katvuse hindamine. Sealt selgus, et katusel oli 30 taimeliiki, millest juhuslikult katusele sattunud oli 22. Selgus, et eelmises lõigus loetletud katusele külvatud taimeliikidest olid kasvama läinud pooled ehk esimesed kuus loetletud taimeliiki. Teised ei ole veel tärganud. Katusele sattunud taimeliikidest on paremini kasvama läinud näiteks niitjas mailane, suur teeleht ning umbrohtudest harilik võilill ja kaarkollakas. Paremini kasvama

läinud taimed ehk suurema katvusega taimed on toodud tabelis 4. Hariliku kukehari istutatud padjanditele on lisaks katus täis külvatud kukeharjaseemnetest tekkinud kukeharjaosiseid, mis kohe silma ei hakka, kuid mida on lähemal vaatlemisel piisavalt palju. Külvatud taimedest on katusel hästi esindatud nõmm-liivatee ja kartuusia nelk, ka karvane kadakkaer on kergesti leitav.

Taimeliigid, mille katvus on kokku umbes 3% katust katvate taimede hulgast, on isendite arvu kahanemise järjekorras järgmised: põldohakas, tõusev maran, hobumadar, valge pusurohi, arujumikas, harilik puju, ahtalehine põdrakanep, harilik aruhein, põldtimut, karvane pajulill, varretu ohakas, harilik raudrohi, teekummel, punane aruhein, humallutsern. Lisaks neile leiti katusele sattunud hall lepp, mille katuselt eemaldamine ei olnud pikkade ja palju hargnevate juurtesüsteemide tõttu kerge. Oluline on katust aeg-ajalt üle vaadata, et sinna ei oleks sattunud puistaimi. Taimi on näha joonisel 22 ja lähemalt joonisel 23.

Tabel 4. Uuritaval murukatusel enam esindatud taimeliigid (i – istutatud, k – külvatud, j – katusele juhuslikult sattunud).

Taimeliik	Taimede arv	Katvus (%)
Harilik kukehari ( <i>Sedum acre</i> ) /i + k/	95 + ...	55
Nõmm-liivatee ( <i>Thymus serpyllum</i> ) /k/	750	20
Kartuusia nelk ( <i>Dianthus carthusianorum</i> ) /k/	450	5
Karvane kadakkaer ( <i>Cerastium tomentosium</i> ) /k/	200	3
Kuumaasikas ( <i>Fragaria vesca</i> ) /k/	70	2
Kalju-kilbirohi ( <i>Saxatile compactum</i> ) /k/	30	0,8
Niitjas mailane ( <i>Veronica filiformis</i> ) /j/	65	7
Valge ristik ( <i>Trifolium repens</i> ) /j/	20	0,8
Suur teeleht ( <i>Plantago major</i> ) /j/	28	0,6
Harilik võilill ( <i>Taraxacum officinale</i> ) /j/	125	1
Kaarkollakas ( <i>Barbarea arcuata</i> ) /j/	57	1
Harilik hiirehernes ( <i>Vicia cracca</i> ) /j/	17	0,4
Aas-seahernes ( <i>Lathyrus pratensis</i> ) /j/	30	0,4





Joonis 22. Uuritav murukatus, näha õitsevad harilikud kukeharjad.



Joonis 23. Õitsevad harilikud kukeharjad ja nõmm-liivatee.

Katvuse hindamisel leiti, et katusel olevad taimed katavad katusepinnast vaid 45%, kusjuures katvus on katuse ühel poolel suurem kui teisel. Joonist 19 vaadates on paremal poolel katvus suurem, vasakul poolel väiksem. Tuleb juba ette öelda, et taimede selline jaotumine avaldas

mõju vee äravoolu kiirusele ja hulgale; esimene äravool on joonist 19 vaadates paremal (taimi rohkem) ja teine äravool vasakul (taimi vähem).

### 3.2. Võrdluskatuse kirjeldus

Võrdluskatuseks tuli valida murukatusele võimalikult lähedal asuv sarnase terrasskatusega, kuid SBS (stüreen-butadieen-stüreen) kattega katus. Kõige parem ja ka ainus variant oli Sadamateatri hoone, mille esimest korrust kattis bituumenkattega (SBS-i teine nimetus) terrasskatus. Selle ja murukatuse vahe on umbes 350 m, seega sademetingimused peaksid olema võrdsed. Samas ei ole võrdsed päikese katusele paistmise tingimused. Ilmakaarte suhtes võrdselt paiknevad hooned on ehitatud nii, et murukatusele paistab päike kogu päev, pärast kella 18 jääb varju; võrdluskatusele paistab päike hommikul kella 12-ni, siis jäävad temperatuuriandurid (mis on katusel kohas, kuhu päike paistab niigi kõige rohkem võrreldes muu osaga) varju ning päike tuleb varjust välja umbes kella 14 paiku. Varjus olemise aeg sõltub ka aastaajast. Kui päikesepaistega seotu osas võib see tulemusi mõjutada, siis kõik pilvistel päevadel mõõdetu on siiski võrdne.



Joonis 24. Sadamateatri hoone, mille terrasskatus on murukatuse võrdluskatuseks.

Nagu ka jooniselt 24 näha, on Sadamateatri terrasskatus hoonet kahelt poolt ümbritsev. Veehulga mõõtmiseks valiti murukatusega võrdne katusepind (119 m<sup>2</sup>), eraldades selle ülejäänud osast. Temperatuuri mõõdeti katuse väljapoole jäävas nurgas.



Joonis 25. Võrdluskatuseks olev Sadamateatri bituumenkattega terrasskatus.

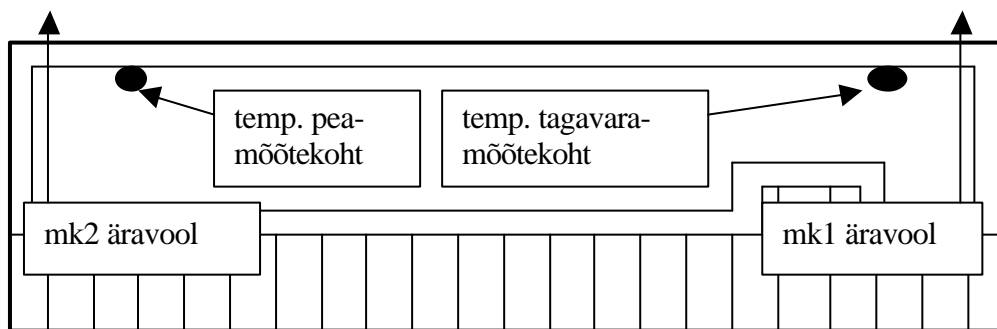
## 4. MATERJAL JA METOODIKA

### 4.1. Temperatuuri mõõtmise meetoodika

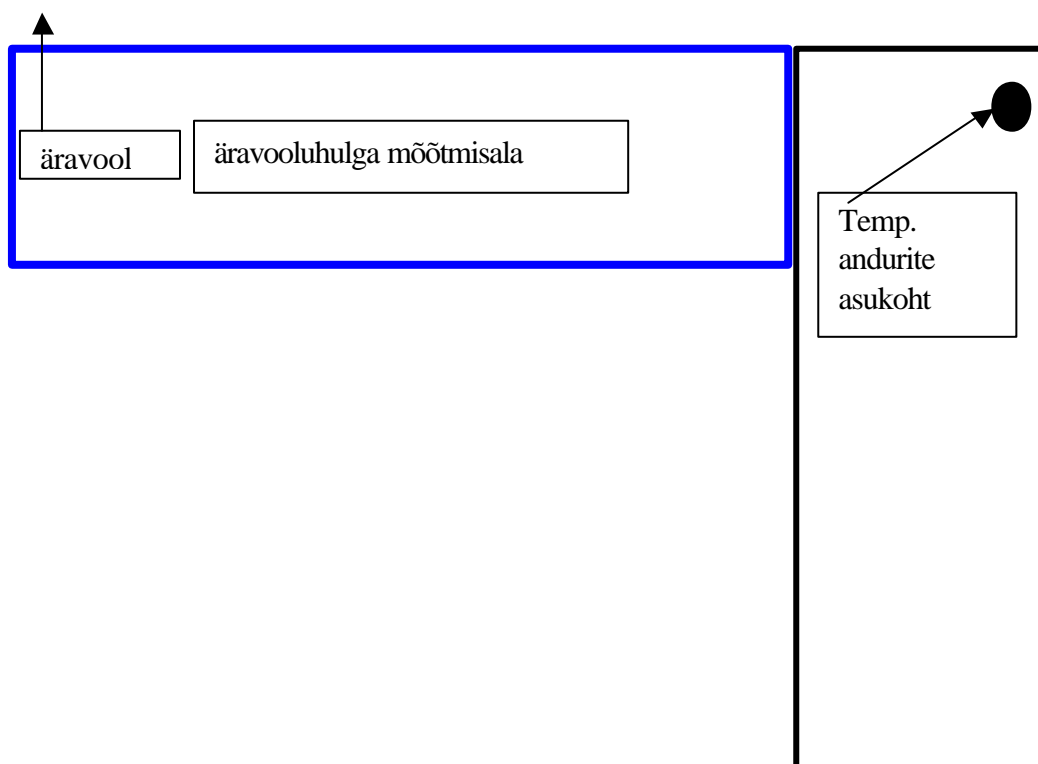
Temperatuuri mõõtmiseks kasutati Tšehhi firma Comet System automaatseid temperatuurinäidu salvestajaid (nn. logereid) koos andurite komplektiga. Seadmed osteti firmast Evikon MCI OÜ. Logeri tüüp: Logger R0141, andurid: Pt1000TG8/E, mõõtmistäpsus:  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Mõõtmistehnoloogia oli järgnev: andurite kaablite otsad ühendati logeri külge, loger lülitati tööle magnetvõtmega, magnetvõtmega ka lõpetati mõõtmine. Loger registreeris iga 15 minuti järel iga anduri temperatuurinäidu, koostades nii pika näituderea, mida sai hiljem andmeid arvutisse üle kandes vaadata. Andmetöötlus toimus Microsoft Exceli programmi abil.

Temperatuuri mõõtmise kohti oli kolm. Murukatusel oli vasakul osal esimene mõõtepunkt, mille andmete põhjal koostati kõik graafikud ja võrdlused. Teine, võrdluseks ning tagavaraks mõeldud mõõtekoht asus katuse paremas pooles (joonis 26). Võrreldes kahe mõõtekoha andmeid, leiti, et temperatuuride erinevus on minimaalne ning ei ole vahet, kumba võrdlustes kasutada. Võrdlustes on kasutatud vasakpoolse mõõtekoha andmeid, sest teises mõõtekohas segas andmerea korrektsust täpselt andurite kohale 2004-2005 aastavahetuse nädalatel pandud kuusk. Võrdluskatusel oli mõõtekoht katuse osal, kuhu päike kõige enam paistis (joonis 27).

Mõõdeti ja võrreldi järgmisi näitajaid. Murukatusel temperatuur 10 cm sügavusel ja 5 cm sügavusel substraadikihis, pinnal kergkruusa graanulite ümber, sest kergkruus katab katust enam kui taimed ning selle mõju on suurem. Lisaks oli üks andur meetri kõrgusel katuse kohal. Võrdluskatusel oli kolm mõõtetaset: bituumenkatte pinnal, katuse kohal 50 ja 100 cm kõrgusel. Võrreldes õhu temperatuure 50 ja 100 cm kõrgusel bituumenkatuse kohal, leiti et erinevus on minimaalne või seda ei olegi ning seetõttu tulemustes 50 cm kõrgusel oleva õhu andmeid ei kajastata.



Joonis 26. Murukatusel asuvate temperatuuri mõõtekohtade ning äravoolude asukohad.



Joonis 27. Võrdluskatusel asuv temperatuuri mõõtekoht ning äravooluhulga mõõtmisala koos äravoolu asukohaga.

Mõlemal katusel olevad temperatuuri mõõtekohad on toodud vastavalt joonistel 28 ja 29.

Võrdluskatusel katkestas loger iseenesest salvestamise 18. novembril. Auk andmetereas kestis veebruari keskpaigani, mil loger tööle hakkas ja tööle ka jäi. Järeldus: automaatseadmete töötamist peab kontrollima sagedamini. Puuduvast kolmest kuust puuduvad seega ka võrdlusgraafikud. Õnneks murukatusel rikkeid ei olnud. Tuleb mainida ka asjaolu, et lisaks vee eest tuli logereid kaitsta ka halbade kavatsustega inimeste eest. Kui murukatusel

pääseb firma kontorist ja võõrad sinna ei saa, siis võrdluskatusele võib sattuda iga huligaan seadmeid lõhkuma või varastama (tegu on ikkagi Tartu kesklinnaga). Seetõttu tuli seadmed võimalikult kindlalt kinnitada ja nähtamatuks teha (joonis 29).



Joonis 28. Murukatuse temperatuuri peamõõtekoht.



Joonis 29. Võrdluskatuse temperatuuri mõõtmiskoht.

## 4.2. Äravoolu mõõtmise meetodika

Vee äravoolu katustelt mõõdeti käsitsi kanistritega (joonis 30), sest automaadmõõtureid ei olnud võimalik nende äravoolurennide otste juures kasutada, lisaks esines varguste oht. Murukatusel on kaks äravoolu (joonis 26), mõlema alla sai kaevata augu, kuhu mahtus 20 l mahuga kanister. Kanistrile oli eelnevalt peale märgitud liitrite jaotus (joonis 31).



Joonis 30. Äravoolu mõõtmine murukatusest (mk2 äravool).



Joonis 31. 20 l kanister varustatuna liitrite mõõdikuga.

Vastavalt saju ja äravoolu iseloomule (intensiivsusele) mõõdeti vooluhulki kolmel viisil. Täpsete tunniäravoolude teada saamiseks pandi täistunnil kanister äravoolu alla ning tunni möödudes võeti ära, saades teada tunni äravoolu. Vahepeal mõõdeti korraka mitme tunni äravool, jaotades selle pärast tundide vahel (vastavalt enne ja pärast mõõdetud täpsele tunniäravoolule). Kui ei olnud võimalik täpselt mõõta intensiivse äravoolu tõttu, mõõdeti veerand tundi ning selle alusel arvutati välja tunni äravool. Niimoodi hinnanguliselt on mõõdetud paduvihmade veehulgad.

Võrdluskatuse äravoolutoru ots on kõnniteest vaid 20 cm kõrgemal ning vesi voolab sealt kõnniteele. Selle tõttu ei saanud seal kanistreid kasutada, ka voolikuga vee juhtimine Emajõe kaldal madalamal kõnniteel olnud kanistrisse ei andnud tulemusi – voolik ummistus. Ainsaks lahenduseks jäi joonisel 32 toodud mõõtmisviis. Äravoolu mõõdeti kontrollitud 4 l mahuga lapikute äravoolutoru otsa alla mahtuvate anumate kaupa. Seda tehti kas veerand- või poole tunni jooksul, arvutades selle alusel tunniäravoolu. Kui äravool oli suurem (paduvihm, suur sula), mõõdeti veerandtunni jooksul nii mitu anuma täit vett, kui palju veerandtunni jooksul tuli. Nõrga äravoolu korral mõõdeti poole tundi. Nii siin kui murukatuse puhul kasutati väga väikese äravooluhulga puhul (nt. sula lõpupäevad murukatusel) liitrist mõõdunõud täpse veehulga teadasaamiseks. Vastavalt saadud tunniäravooludele koostati äravooluread.



Joonis 32. Äravoolu mõõtmine võrdluskatusest.



### **4.3. Veekvaliteedi analüüsimise meetodika**

Mõlemalt katuselt võeti kolme äravoolu puhul proovid, mis lasti analüüsida AS Tartu Veevõrk reoveelaboris. Proovid võeti hõreda vihma ajal tekkinud rahuliku äravoolu ajal (mõnes tilgareas äravool) (21.09.04), paduvihmast tekkinud tugevast äravoolust (kohati lausa purskas äravoolurenni otsast välja) 31. augustil 2004 ning lume sulamisest tekkinud äravoolust pärast suurt sula 26. ja 27. märtsil 2005. Võimalusel viidi proovid kohe laborisse, kui see polnud võimalik, hoiti seni külmikus +5°C juures. Analüüsitakse järgmisi komponente: KHT, BHT<sub>7</sub>, üldP, fosfaadid, pH, üldN, ammonium, nitraadid, sulfaadid ja üldkaredus. Võrdluseks on sademevesi, mis koguti paduvihma ajal eelnevalt puhastatud kaussi ning murukatusest 80 m kauguselt võetud lumest sulanud vesi.

## 5. TULEMUSED JA ARUTELU

### 5.1. Murukatuse temperatuurimõõtmiste tulemused ja järeldused

#### 5.1.1. Temperatuurid murukatusel aastaegade lõikes

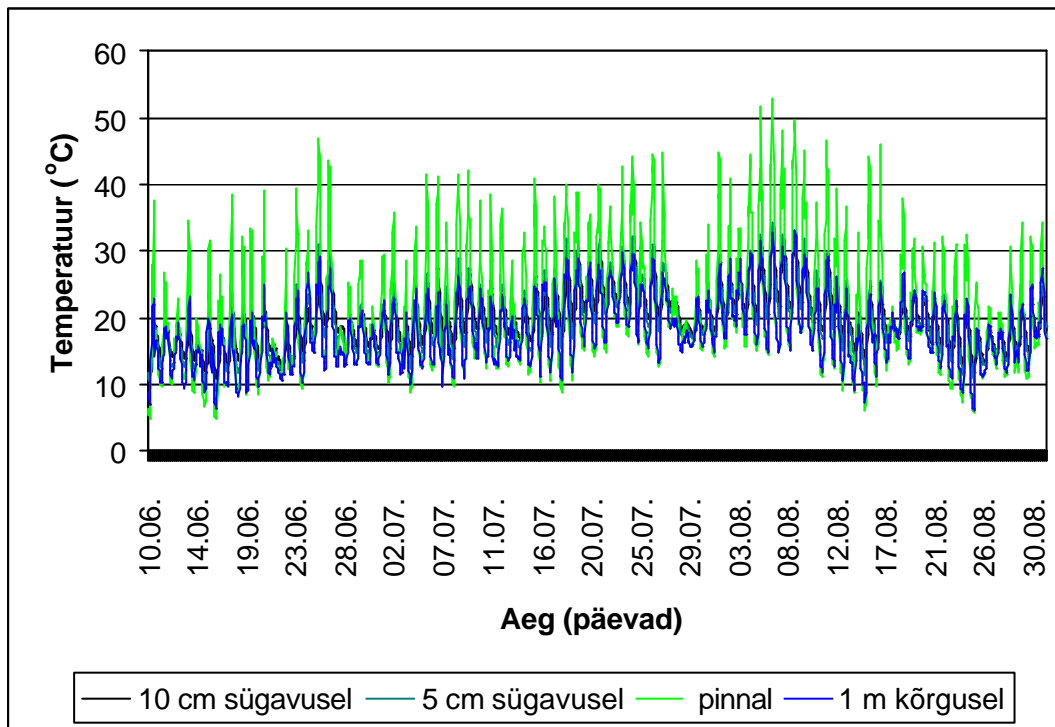
Antud alapeatükis on toodud aastaegade (kuudegruppide) kaupa murukatusel peamõõtekohas mõõdetud temperatuurid kõigis neljas punktis – 10 cm sügavusel ja 5 cm sügavusel substraadikihis (murukatuse pinnases), murukatust katva kergkruusakihi pinnal (murukatuse pinnal) ning ühe meetri kõrgusel murukatuse kohal (õhutemperatuur). Iga kuu keskmised, miinimum- ja maksimumtemperatuurid on toodud lisas 1.

Murukatuse suvekuude temperatuuride graafikult (joonis 33) on näha, et kõige kõrgem temperatuur on päikesepaistelisel päeval murukatuse kergkruusast pinnal. Juunis oli rohkesti pilves ja ka vihmaseid päevi, mille tõttu temperatuurid olid neil päevil madalamad, samasugused päevad olid juulikuul lõpus. Augusti esimene pool oli päikeseküllane, teine pool vihmase.

Suvekuude minimaalsed temperatuurid mõõdeti 16. juuni varahommikul, mil õhutemperatuur langes 6,2°C-ni, pind jahtus seetõttu 4,7°C-ni. Pinnase sees oli temperatuur 5 cm sügavusel 8,9°C ning 10 cm sügavusel 10,8°C ehk pinnatemperatuurist 6,1°C soojem. Kõrgeimad temperatuurid olid päikesepaistelisel 6. augustil. Pinnal oli maksimum siis 54,8°C, mis avaldas väga suurt mõju ka pinnasele – 5 cm sügavusel 34,7°C ning 10 cm sügavusel 34,2°C. Haljaskatuse kohal jäi maksimumväärtuseks 33,5°C. Tähelepanu väärib selle kuuma päeva temperatuuri amplituud, mis pinnal oli 40,5°C, kuid 10 cm sügavusel vaid 13,8°C.

Kõikidel suvekuudel soojeneb murukatust katva kergkruusa pind päikeselistel päevadel üles, millega kaasneb ka pinnase temperatuuri tõus. Viimane jääb siiski piisavalt madalaks. Vastupidi on öösiti, mil pind jahtub kiiresti, kuid pinnase sees püsib soojus kauem ja minimaalsed temperatuurid on pinna omadest alati kõrgemad. Seega võib väita, et 10 cm substraadikiht kaitseb aluskatuse materjale ekstreemsete temperatuuride ning järskude temperatuurikõikumiste eest. Päeval ajal on pinnase temperatuur siiski väga kõrge, ulatudes

34,2°C-ni. Siin võib olla põhjuseks katusepinna väike katvus taimedega ja seega ka katusepinna katva lehestiku soovitatavast väiksem tihedus ja lehestikuõhu temperatuuri suurem mõjutatus. Seetõttu on pinnasekiht välisõhust vähem isoleeritud ja soojeneb rohkem [Theodosiou, 2003].

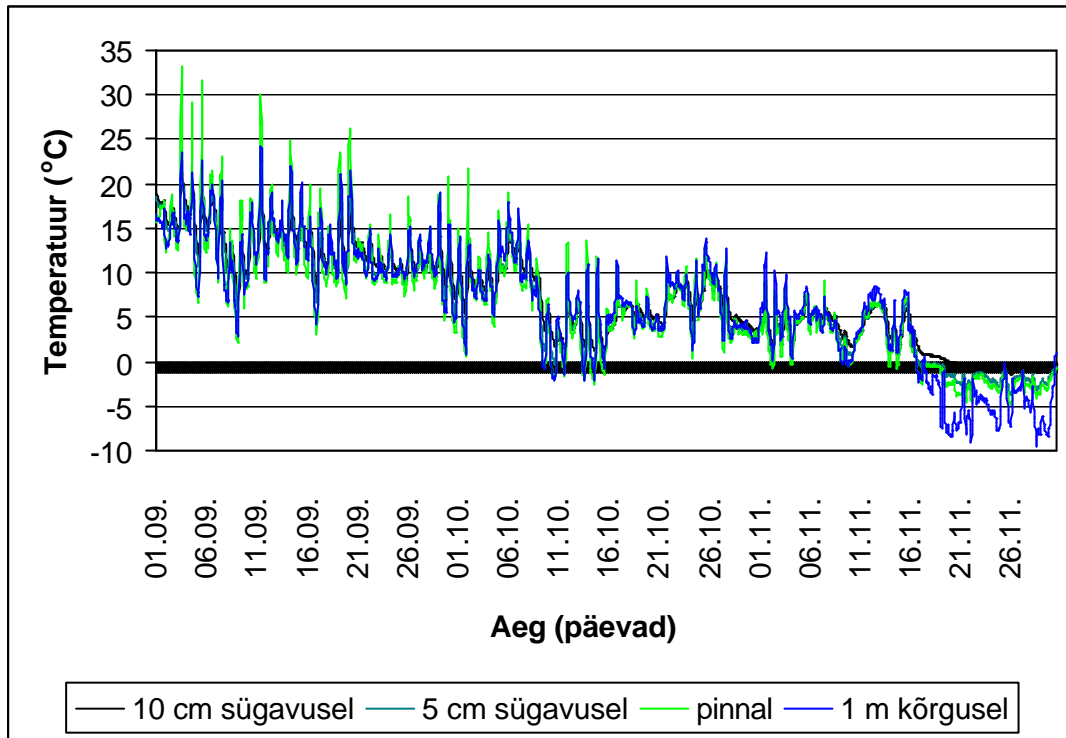


Joonis 33. Temperatuurid murukatusel 2004. a. suvekuudel.

Arvestades, et substraadikiht ei soojene nii palju kui pinnakiht, ei ole kergkruusa liigne soojenemine esimestel aastatel, mil taimed katust veel piisaval määral ei kata, nii problemaatiline kui alguses paista võib. Samas oleks katvuse suurendamiseks ja pinnatemperatuuri vähendamiseks mõistlik taimi siiski juurde külvata. Ka Hallik (2004) on leidnud, et piisava taimkatteta substraadikiht neelab rohkem päikesekiirgust kui taimedega kaetu, seega ka soojeneb rohkem.

Sügiskuu ilmad olid üldiselt pilvised ja vihmased, vahele sattus ka mõni päikeseline päev. Täpselt sellele vastav on ka sügiskuu temperatuuride graafik (joonis 34), kus paistavad silma mõned kõrgema pinnatemperatuuriga päevad, kuidu on temperatuuride vahed ja kõikumised väiksed. Oktoobrist läks õhutemperatuur sügiseselt jahedaks ja seetõttu olid ka pinna- ja pinnasetemperatuurid madalad ning kõikusid vähe. November jagunes kahte ossa – esimene pool oli sügiseselt soojem ning teine talviselt külmem. Esimesel poolel oli kõrgem temperatuur pidevalt õhus, samas teisel poolel kogu aeg madalam. Kui kuu soojemal poolel

tõmbas õhutemperatuuri kasv endaga kaasa ka pinna- ja pinnasetemperatuurid, siis kuu teisel poolel jäid need lumikatte soojust hoidva omaduse tõttu soojemaks. Kuu teisel poolel väärrib tähelepanu 10 cm sügavusel oleva temperatuuri stabiilsus.

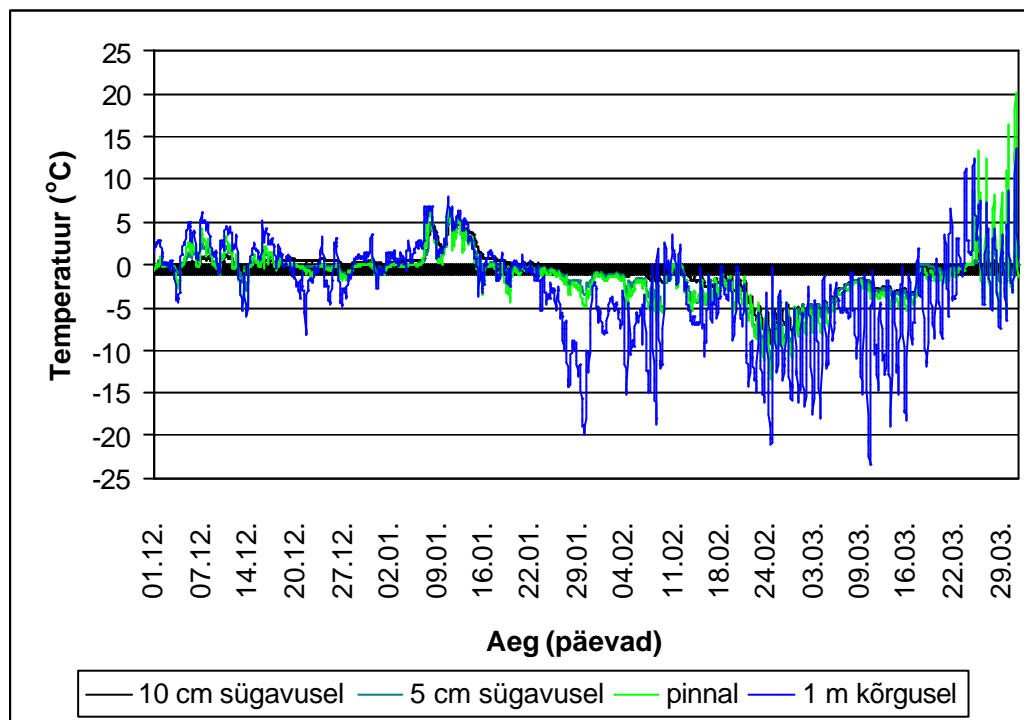


Joonis 34. Temperatuurid murukatusel 2004. a. sügiskuudel.

Kui suvist septembri algust mitte arvestada, mõõdeti kõikidel kihtidel maksimaalsed temperatuurid vahelduvalt pilves 6. oktoobril, mil õhutemperatuur tõusis 18,6°C-ni, pind soojenes 19,9°C-ni, 5 cm sügavusel oli sooja 16,5°C ning 10 cm sügavusel 14°C. Minimaalsed olid temperatuurid pilvitu 26. novembri hommikul, mil õhutemperatuur langes – 7,5°C-ni, umbes 5 cm lume all olev pind jahtus –4,9°C-ni. Pinnase sees oli temperatuur 5 cm sügavusel –3,8°C ning 10 cm sügavusel –1,4°C. Õhutemperatuuri kõige madalam väärtus oli 28. novembril, kuid see kihte väga ei mõjutanud.

Detsember algas sulaga, seetõttu kadus kuu alguses lume kaitsev kiht ning õhutemperatuuri muutudes muutus ka pinnatemperatuur. Kuu teises osas sadas katusele piisav lumekiht, mis hoidis nii pinnal kui pinnases temperatuuri stabiilsena, samas kui õhk külmenes kuni –8,3°C-ni (joonis 35). 2005. aasta jaanuari ilm ei olnud sugugi talveilm, kuu esimesel poolel sadas peamiselt vihma, sekka ka lörtsi. Temperatuur püsis positiivsel poolel. Külme ja lumine talv algas kuu lõpus. Veebruar oli igas mõttes talvine kuu – oli lund ja pakasekraade. Kuni 13.

kuupäevani kattis katust parajalt paks (7–8 cm) lumekiht. Pärast 13.–14. veebruari tuisupäevi kattis pinda umbes sentimeetrine lumekirme, mis aja jooksul küll kasvas, kuid katus ei olnud enam lume lisasojustusega kaitstud ning pinna- ja pinnasetemperatuurid hakkasid õhutemperatuuriga kaasa võnkuma. Märts sarnanes veebruariga kuni 20. kuupäevani, edasi läks soojaks ja 25. märtsil sulas praktiliselt kogu lumi ühe päevaga ära. Sellest on põhjustatud ka pinnatemperatuuride kasv kuu lõpus.

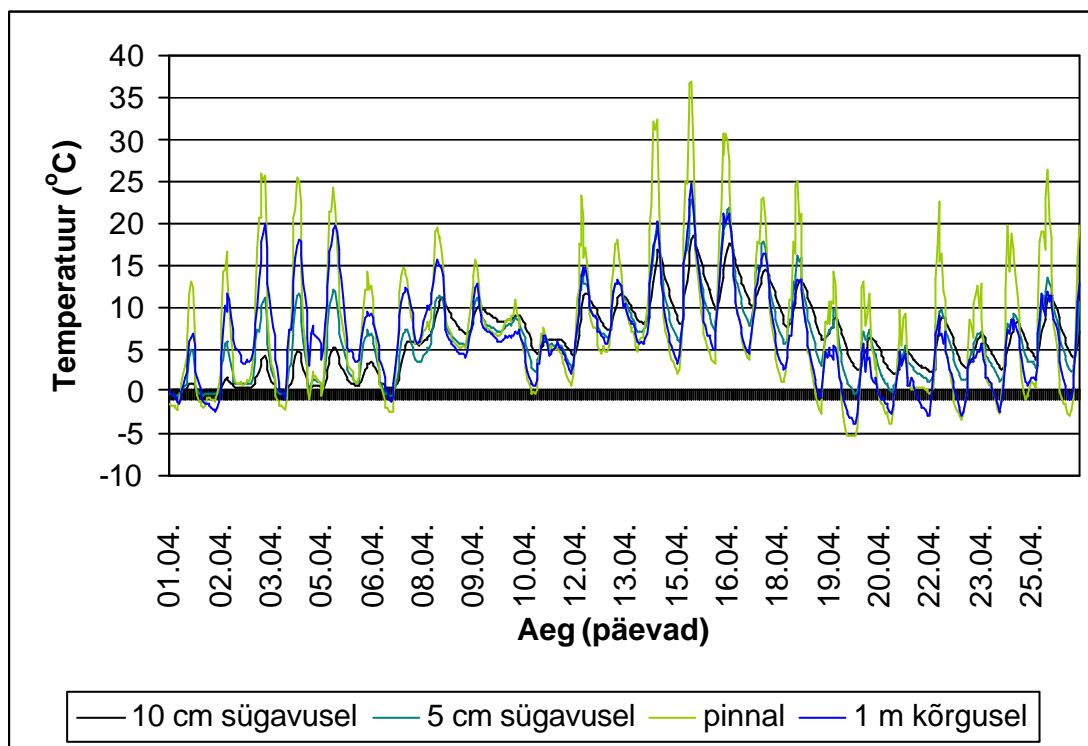


Joonis 35. Murukatuse temperatuurid 2005. a. talvekuudel

Pilvitul ööl vastu 25. veebruari langes õhutemperatuur  $-21,4^{\circ}\text{C}$ -ni, piisavalt paksu lumekihi puudumise tõttu oli pinnal temperatuur  $-13,6^{\circ}\text{C}$ , 5 cm sügavusel  $-12,4^{\circ}\text{C}$  ning 10 cm sügavusel  $-9,8^{\circ}\text{C}$ . Seega on talviti lumel igal katusel, ka haljaskatusel (sh. taimede kaitseks) vajalik piisavalt paks soojust hoidev lumekiht. Maksimumtemperatuurid mõõdeti päikesepaistelisel kevadpäeval 31. märtsil, õhk soojenes siis  $14,8^{\circ}\text{C}$ -ni, päike soojendas pinna  $20,5^{\circ}\text{C}$ -ni. 5 cm sügavusel jäi maksimumiks  $7,6^{\circ}\text{C}$  ning 10 cm sügavusel  $1,5^{\circ}\text{C}$ , viimane jäi nii madalaks seetõttu, et öösel olid miinuskraadid.

Märtsi keskpaigas oli keskmine lumekihi paksus katusel 20 cm, rohkem (~22 cm) keskosas, vähem (~17 cm) ääres. Kõige vähem oli lund (~9 cm) peamõõtekoha piirkonnas, sest maja kõrgema osa nurga tagant puhus tugev tuul lumekihti õhemaks.

Aprillikuus oli nii päikest kui pilvi, nii vihma kui lörtsi. Kuu alguses paistis päike, siis oli vihmane periood, millele järgnes soojem aeg, millele omakorda aga külm kohati lörtsisajune periood. Sellisele ehedale kevadkuule vastavalt kujunes ka temperatuuride graafik (joonis 36). Miinimumtemperatuure esines kahel erisugusel korral, millest esimene oli kohe kuu esimesel hommikul, mil pilvitul ööl pärast päikeselist 31. märtsi jahtus õhk  $-1,5^{\circ}\text{C}$ -ni. Pind jahtus  $-2,3^{\circ}\text{C}$ -ni, ka pinnasetemperatuurid olid miinuspoolel – 5 cm sügavusel  $-0,7^{\circ}\text{C}$  ja 10



Joonis 36. Temperatuurid murukatusel 2005. a. aprillis.

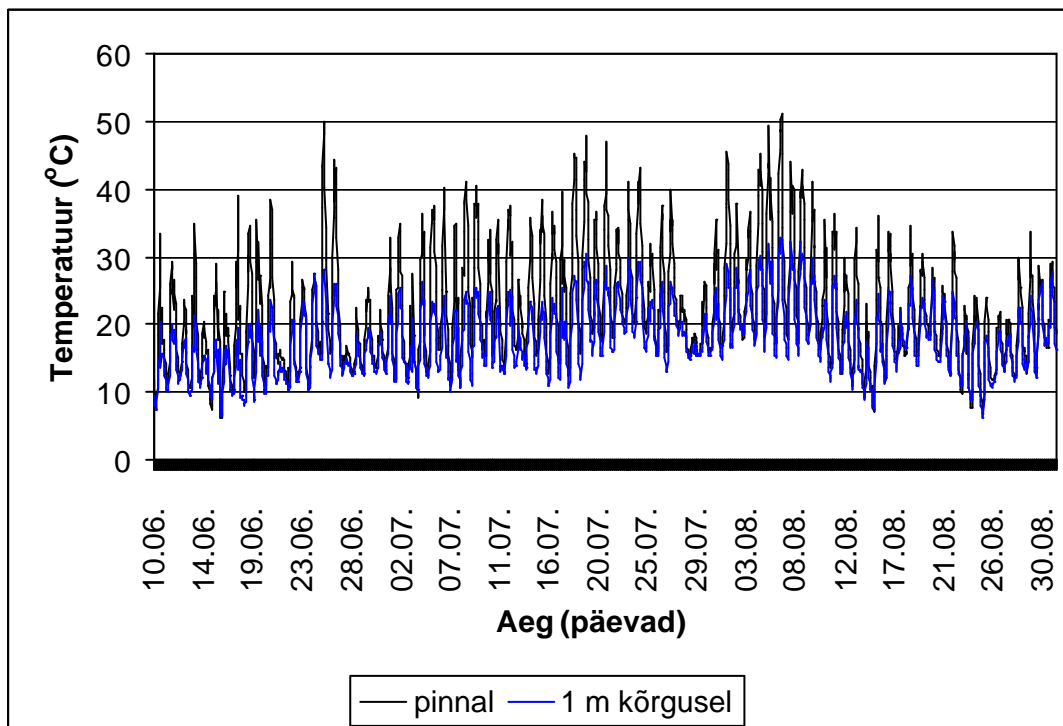
cm sügavusel  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . Veel madalamad olid temperatuurid ööl vastu 20. aprilli, mis päeval oli nii päikest, pilvi kui lumesadu. Sel ööl jahtus õhk  $-4,1^{\circ}\text{C}$ -ni, mis langetas pinnatemperatuuri  $-5,7^{\circ}\text{C}$ -ni. 5 cm sügavusel oli  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , kuid 10 cm sügavusel püsis ka öösel päevast jäänud soojus  $-2,6^{\circ}\text{C}$ .

Aprilli kõrgeimad temperatuurid mõõdeti päikesepaistelisel 15. aprillil, katuse kohal olev õhk soojenes siis 26,1°C-ni, kergkruusa pind soojenes päikese tõttu 38°C-ni. Erakordselt kõrged olid ka pinnasetemperatuurid – 5 cm sügavusel tuli maksimumiks 23,4°C ning 10 cm sügavusel 18,7°C. Viimane oli nii kõrge seetõttu, et öösel püsis seal eelmise päikeselise päeva soojus ja lisa-soojus tõstis temperatuuri veelgi.

### 5.1.2. Temperatuurid võrdluskatusel aastaegade lõikes

Selles alapeatükis on toodud aastaegade (kuudegruppide) kaupa võrdluskatusel mõõdetud temperatuurid bituumenkatte pinnal ja pinna kohal ühe meetri kõrgusel. Iga kuu keskmised, miinimum- ja maksimumtemperatuurid on toodud lisas 1.

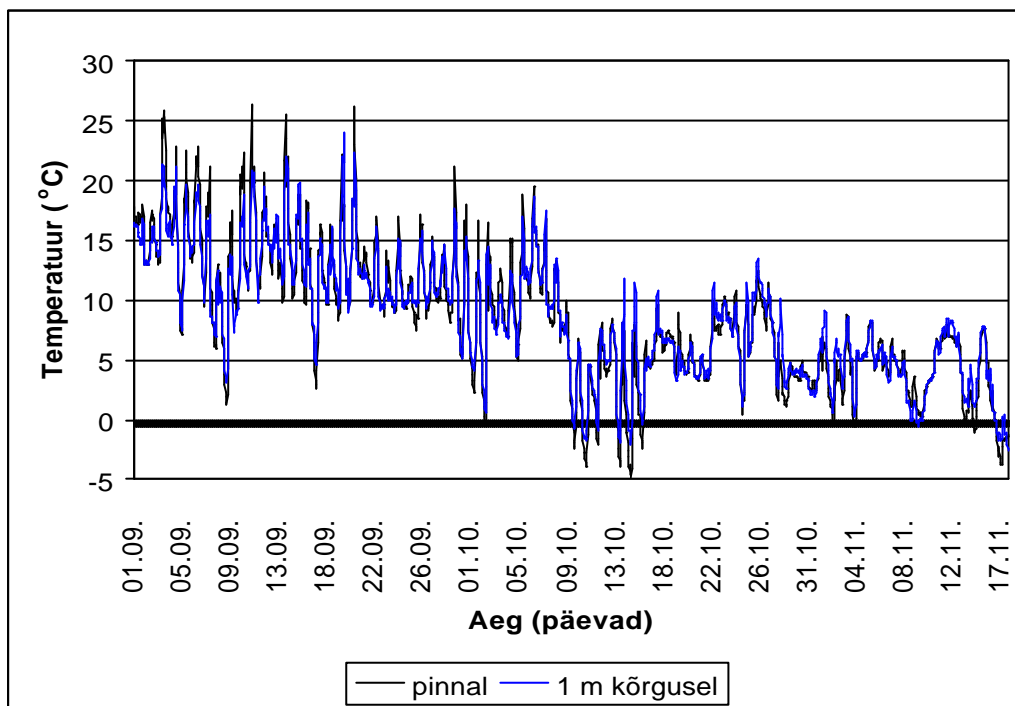
Võrdluskatuse suvekuude temperatuuride graafikult (joonis 37) on näha, et bituumenkatuse pinnatemperatuur käib kaasas õhutemperatuuri soojenemise ja jahenemisega. Kui päike bituumenkattetele peale paistab, soojendab see veelgi ning olenevalt ilmast oli pinna- ja õhutemperatuuride maksimumide vahe näiteks juunis kuni 22,1°C. Kõrgeim oli pinnatemperatuur päikesepaistelisel 6. augustil – 52,7°C, temperatuuri amplituud sellel



Joonis 37. Temperatuurid võrdluskatusel 2004. a. suvekuudel.

ööpäeval oli 35,5°C. Katuse kohal oleva õhu maksimumiks jäi siis 34,8°C. Minimaalsed temperatuurid olid 16. juuni varahommikul, mil õhutemperatuur langes 6,5°C-ni, pind jahtus seetõttu 6,1°C-ni. Pilvistel ja vihmastel päevadel pinnatemperatuur väga kõrgele ei kerkinud, eriti on see näha selliste ilmadega augusti teisel poolel.

Sügiskuude võrdluskatuse temperatuuride graafikult (joonis 38) on näha, et pilviste ja vihmaste ilmade tõttu on temperatuurid üldiselt madalad ja kõikumised väikesed. Pinnatemperatuur kattub pea täpselt õhutemperatuuriga, kuid päikesepaistelisematel

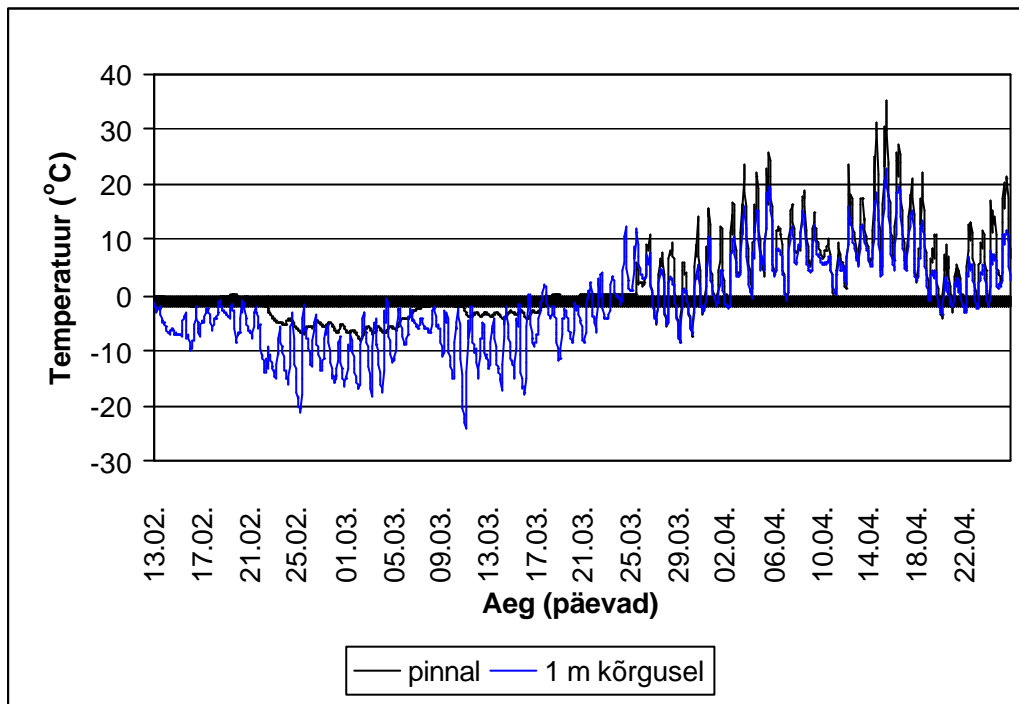


Joonis 38. Temperatuurid võrdluskatusel 2004. a. sügiskuudel.

päevadel on pind siiski õhust soojem. Kui suve lõppu ehk septembri algusosa mitte arvestada, olid eheda sügisperioodi maksimumtemperatuurid vahelduvalt pilves 6. oktoobril, mil pinnatemperatuur tõusis 20,9°C-ni, olles õhu temperatuurist (19,6°C) vaid 1,3°C võrra kõrgem. Madalaimad temperatuurid olid 17. novembri varahommikul, mil õhutemperatuur langes -2,8°C-ni, pind jahtus -3,9°C-ni. Katusepinnal oli tol hommikul härmatis. Katusepind oli veel jahedam (-5,2°C) pilvitu 15. oktoobri varahommikul.



Kui võrdluskatuse loger täpselt pärast veebruari tuisupäevi taas tööle hakkas, oli katusel temperatuuri mõõtekoha juures 12–13 cm lumekiht, mis kaitses katusepinda õhutemperatuuri kõikumiste eest. 9. märtsiks oli lumekiht kasvanud 20 cm paksuseks. Õhutemperatuur kõikus mõõdetud talveperioodil palju, kuid pinnatemperatuur püsis 20 cm lumekihi all suhteliselt stabiilsena (joonis 39).



Joonis 39. Temperatuurid võrdluskatusel 2005. a. talve- ja kevadkuudel.

Madalaim oli pinnatemperatuur pilvitul ööl vastu päikeselist 2. märtsi, mil lumevaiba all olev pind jahtus  $-8^{\circ}\text{C}$ -ni, õhk külmenes siis  $-17,3^{\circ}\text{C}$ -ni. Õhutemperatuur langes mõnikord veelgi madalamale, 11. märtsil  $-24,6^{\circ}\text{C}$ -ni. 25. märtsil sulas andurite piirkonnas lumi ära. Sellest on põhjustatud ka pinnatemperatuuride edaspidine kasv. Nii päikest kui vihma sisaldanud aprillikuust oli kõige soojem 15. aprill, õhus oli sooja siis  $24,3^{\circ}\text{C}$  ning pind soojenes  $36^{\circ}\text{C}$ -ni.

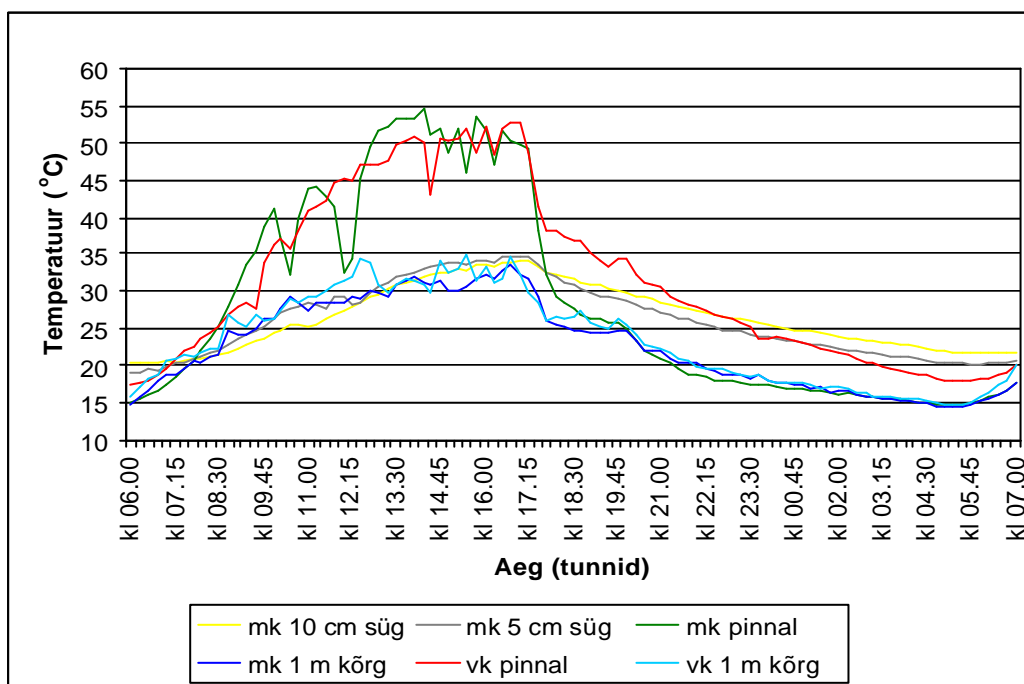
### 5.1.3. Katuste temperatuuride võrdlused

#### 5.1.3.1. Katuste temperatuurikäikude võrdlused erinevate päevade lõikes

Järgnevas alapeatükis võrreldakse kõigi nelja aastaaja puhul erisuguste ilmade mõju katuste ööpäevastele temperatuurikäikudele. Lisas 2 on toodud kõigi vaadeldud päevade katuste

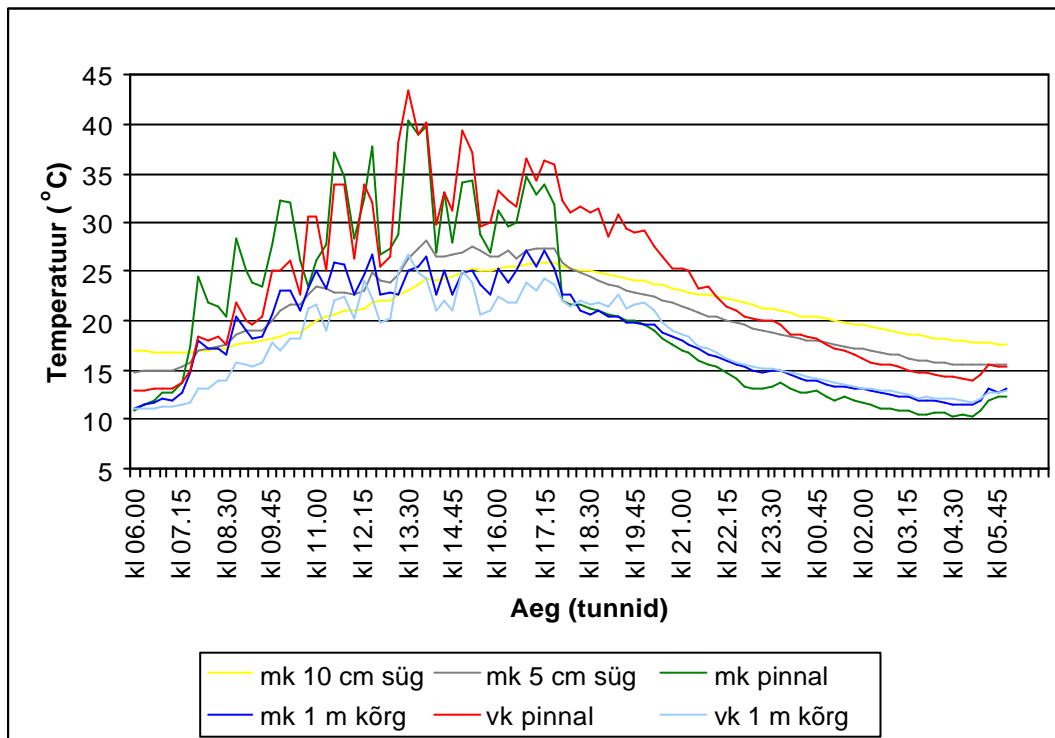
ööpäeva keskmised temperatuurid ning temperatuuri amplituudid koos miinimum- ja maksimumtemperatuuridega (ööpäeva all on siinkohal mõeldud ühest hommikust teise hommikuni kuluvat aega, mil toimub soojenemine ja taas külmenemine). Kõigil antud alapeatükis olevatel joonistel tähistavad lühendid mk ja vk vastavalt murukatust ja võrdluskatust.

Päikeselise suvepäeva (6.08.04) graafikult (joonis 40) on näha, kuidas päikese kõrgusest sõltuvalt tõusevad ja langevad katuste pinnatemperatuurid, kukkudes järsku päikese kadudes. Kergkruusa pind soojeneb ja ka jaheneb kiiremini kui bituumenkatuse pind, jäädes ööseks kõige külmemaks (amplituud 40,1°C). Temperatuur 10 cm sügavusel murukatuse pinnases tõuseb aeglaselt pärastrõunase maksimumini, seejärel hakkab temperatuur sama aeglaselt langema, jäädes ööseks kõige kõrgemaks (amplituud 13,8°C). 5 cm sügavusel teeb temperatuur samasuguse käigu, kuid on päeva esimesel poolel 10 cm omast kõrgem ning öhtul madalam. Õhutemperatuurid katuste kohal peale paari hüppe oluliselt ei erine.



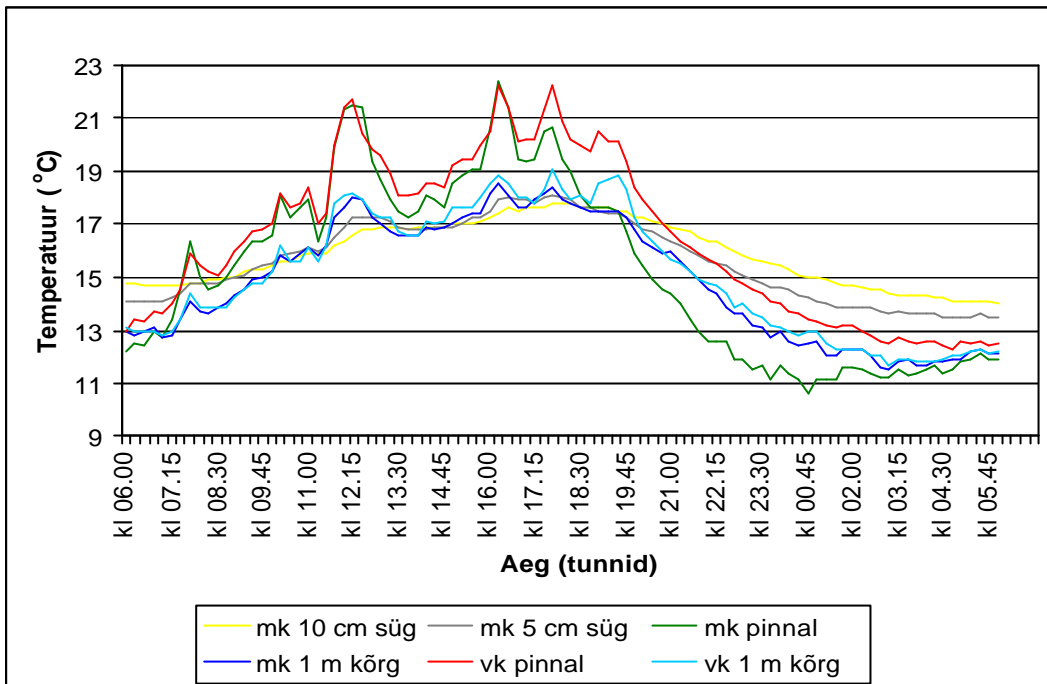
Joonis 40. Katuste temperatuurid päikesepaistelisel suvepäeval (6.08.04). Lühendid: mk – murukatus, vk – võrdluskatus. Samad lühendid kehtivad kõigi järgnevate jooniste puhul.

Vahelduvalt pilves suvepäeval (16.07.04, joonis 41) on näha päikese ja pilvede vaheldumise mõju pinnatemperatuuridele, mis vastavalt kõiguvad ning mõjuvad ka pinna kohal oleva õhu temperatuurile, kusjuures murukatuse kohal on see kõrgem. Temperatuur 5 cm sügavusel on ka pinnatemperatuuri kõikumisest häiritud, kuid 10 cm sügavusel on temperatuurikäik sarnane päikeselise päevaga. Öösel on murukatuse kergkruusa pind kõige jahedam, murukatuse pinnas aga kõige soojem.



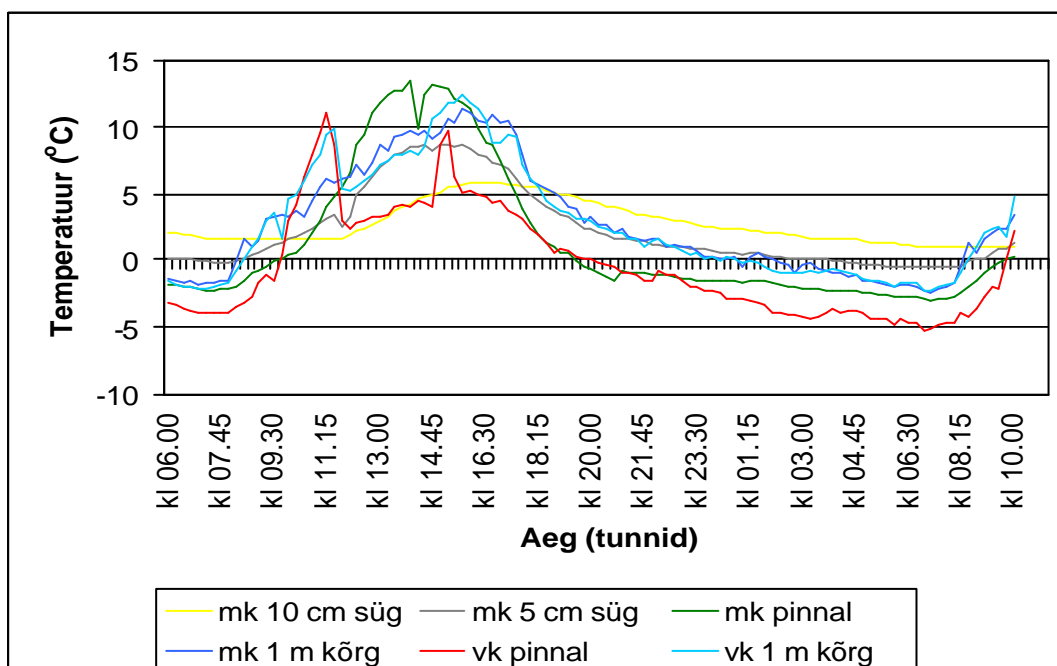
Joonis 41. Katuste temperatuurid vahelduvalt pilves suvepäeval (16.07.04).

Vihmasel suvepäeval (27.08.04, joonis 42) toimub pinnatemperatuuride kõikumine umbes kümne kraadi piires, bituumenkatuse kohal on seejuures soojem, kergkruusakatuse kohal on õhtul kiiremini. Haljaskatuse pinnase temperatuurikäigud sarnanevad kahe eelmise näitepäevaga, kõikides siin vaid umbes 4°C. Katuste kohal oleva õhu temperatuuridel suurt erinevust ei ole.



Joonis 42. Katuste temperatuurid vihmasel suvepäeval (27.08.04).

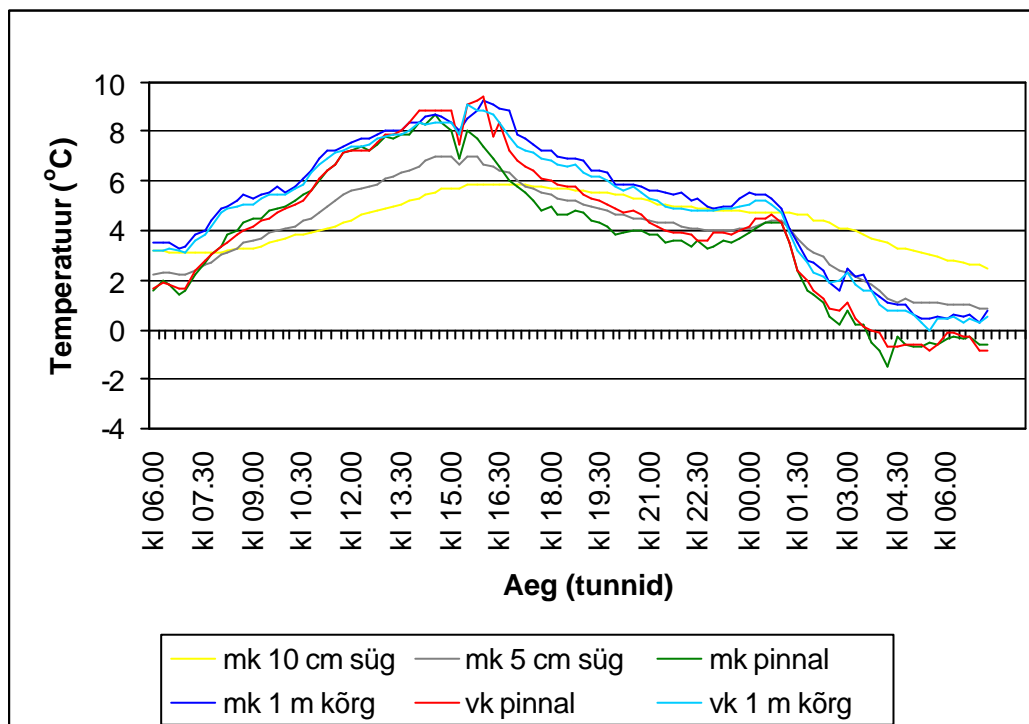
Päikesepaistelisel sügispäeval (14.10.04, joonis 43) langesid temperatuurid ka nullist allapoole. Katuste pinnad soojenesid päeval võrdset (võrdluskatuse “auk” on põhjustatud sellest, et hoone seinad varjasid nendel tundidel päikest), kuid öösel jäi bituumenkatuse pind jahedamaks kui kergkruusa pind. 10 cm sügavusel püsis temperatuur kogu ööpäeva vältel



Joonis 43. Katuste temperatuurid päikesepaistelisel sügispäeval (14.10.04).

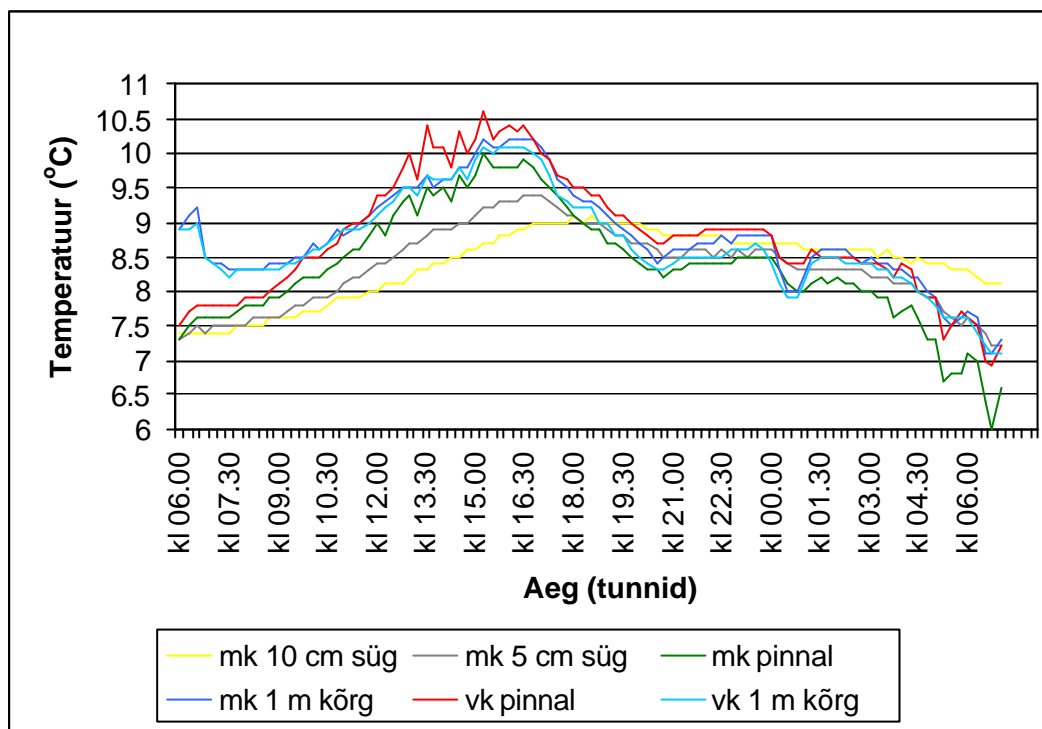
positiivsel poolel, päeval 5 cm sügavusel tõusnud temperatuur langes ööseks pisut ka alla nulli.

Pilvisel sügispäeval (3.11.04, joonis 44) olid pinnatemperatuurid võrdsed ning madalamad samuti võrdsetest õhutemperatuuridest. Pinnasetemperatuuride ööpäevane käik oli sarnane suvepäevade käigule – algul oli temperatuur 10 cm sügavusel madalam, 5 cm-l tõusis temperatuur päeva jooksul rohkem, langedes samas pärastlõunal kiiremini, 10 cm-l püsis pinnas kauem soojem.



Joonis 44. Katuste temperatuurid pilvisel sügispäeval (3.11.04).

Vihmasel sügispäeval (23.10.04, joonis 45) on temperatuurikõikumised väga väikesed, nii pinna- kui pinnasetemperatuurid käivad kaasas õhutemperatuuriga. Kergkruusa pind on pisut jahedam bituumenkatte pinnast; temperatuur 10 cm sügavusel on taas päeva alguses kõige madalam, päeva lõpus kõige kõrgem.

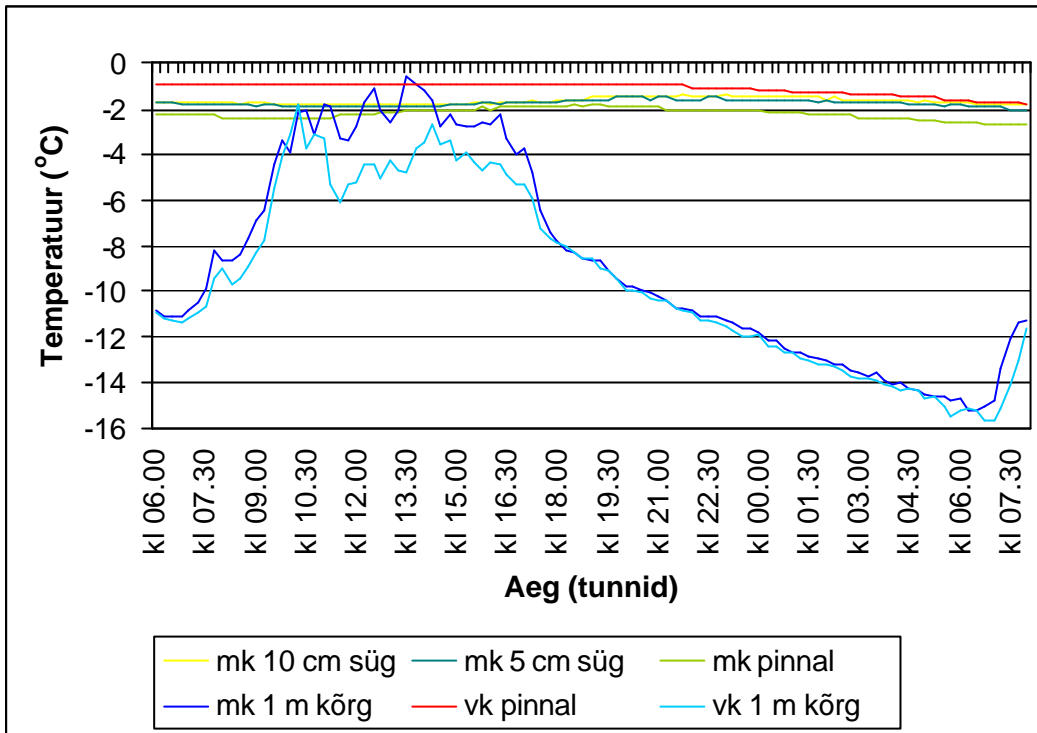


Joonis 45. Katuste temperatuurid vihmasel sügispäeval (23.10.04).

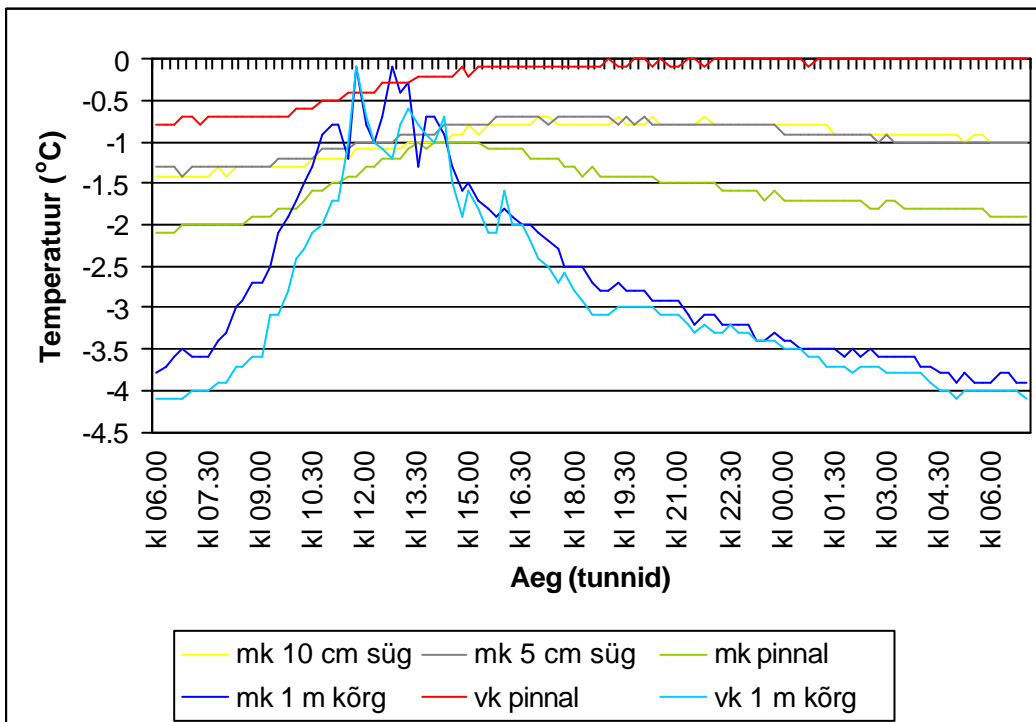
Kuna murukatuse peamise mõõtekoha pinna- ja pinnaseandurite kohal olnud õhuke (7 cm) lumekiht ei ole võrreldav ~16 cm lumekihtiga võrdluskatuse anduri kohal, kasutatakse järgmises kolmes talvapäeva võrdluses murukatuse teise, tagavaramõõtekoha andmeid, sest selle kohal oli võrdluskatusega samaväärne lumekiht.

Keskmisel talvapäeval (9.03.05, lumekihi paksus mõlemal katusel 20 cm) olid pinna- ja pinnasetemperatuuride kõikumised minimaalsed, jäädes  $-0,9^{\circ}\text{C}$  ja  $-2,7^{\circ}\text{C}$  vahele. Päeval jäi kõige soojemaks bituumenkatuse pind paksu lume all, püsidis peaaegu kogu päev stabiilselt  $-0,9^{\circ}\text{C}$  juures. Õhk soojenes päeval päikese mõjul haljaskatuse kohal rohkem kui võrdluskatuse kohal, kõikudes ööpäeva jooksul  $14,6^{\circ}\text{C}$  (joonis 46).

Soojal talvapäeval (18.02.05, joonis 47) olid murukatuse pinna- ja pinnasetemperatuurid õhutemperatuurist rohkem mõjutatud, sest seda kohta kattis pärast tuisupäevi 8 cm paksune lumekiht, võrdluskatusel oli see 12 cm. Sel pilvisel päeval oli maksimaalne õhutemperatuur küll  $-0,1^{\circ}\text{C}$ , kuid seda vaid korraks – päeval kõikus õhk  $-1^{\circ}\text{C}$  ümber, hiljem langes veelgi. Päeval jäi kõige kõrgemaks bituumenkatuse pinnatemperatuur, püsidis päeva teisel poolel stabiilselt  $-0,1^{\circ}\text{C}$  juures. Õhutemperatuurid olid suhteliselt võrdsed.



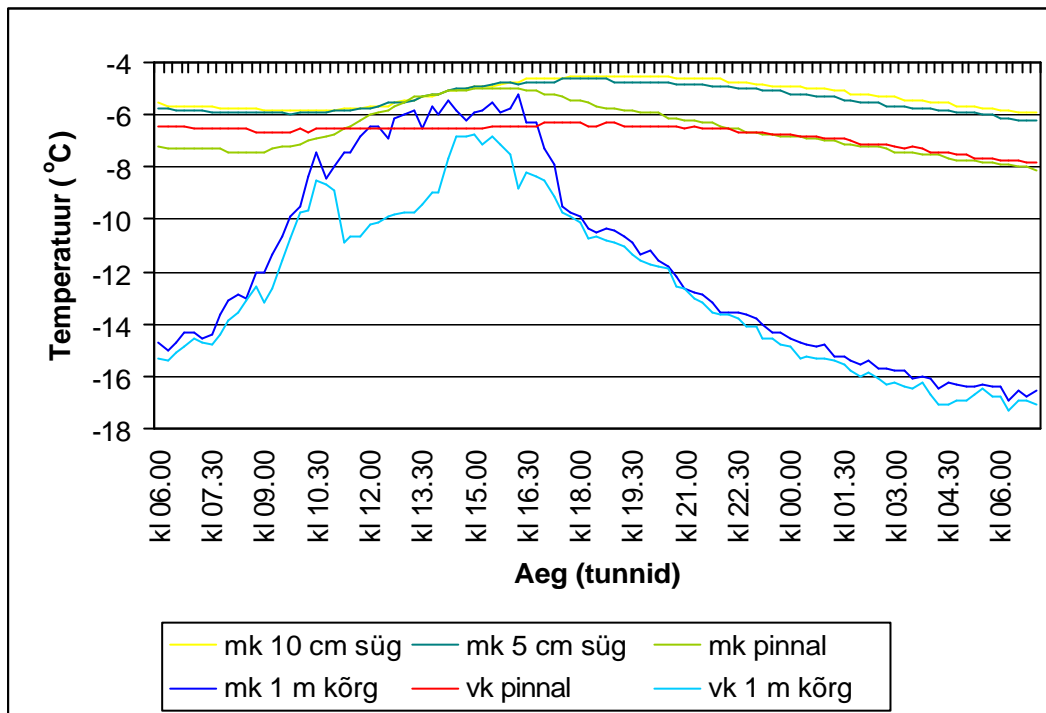
Joonis 46. Katuste temperatuurid keskmisel talvepäeval (9.03.05).



Joonis 47. Katuste temperatuurid soojal talvepäeval (18.02.05).

Külmal päikesepaistelisel talvepäeval (1.03.05, joonis 48) olid haljaskatuse pinnasetemperatuurid võrdluskatuse pinnatemperatuurist vaatamata enam-vähem võrdsetele lumekihi paksustele (15–16 cm) kõrgemad, mis näitab, et külmal ajal hoiab substraadikiht

lisaks lumele siiski piisavalt soojust. Murukatuse pinnatemperatuur kõikus rohkem kui bituumenkatuse oma, sest selle kohal oli lund pisut vähem kui võrdluskatusel. Õhutemperatuurid olid muidu võrdsed, kuid päike soojendas seda haljaskatuse kohal rohkem.



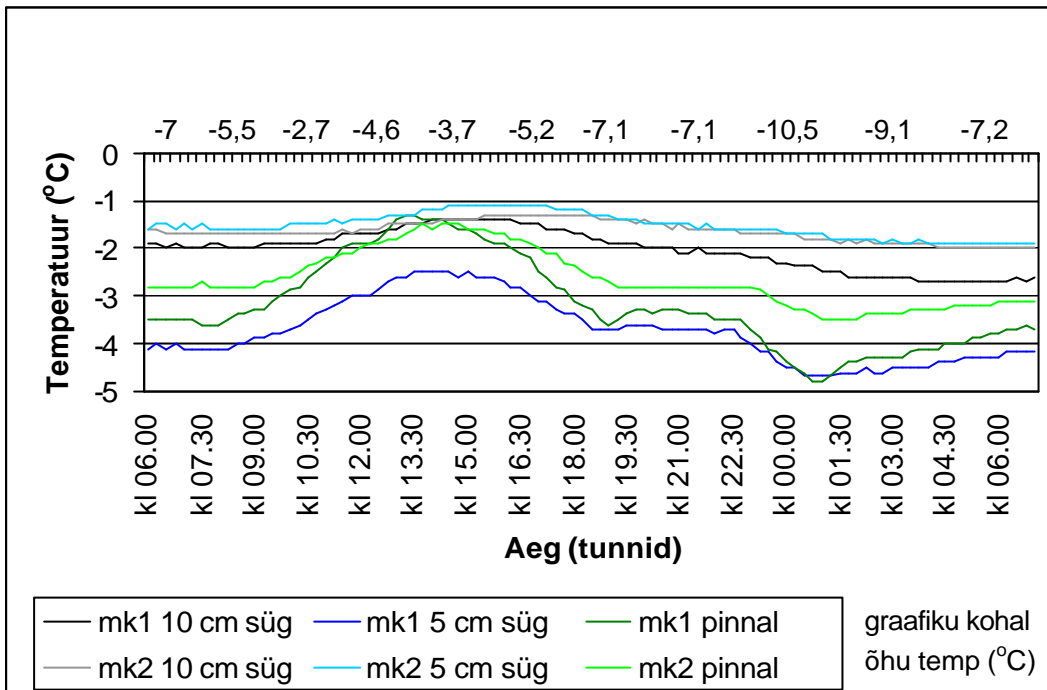
Joonis 48. Katuste temperatuurid külmal talvepäeval (1.03.05).

Järgnevad kaks graafikut (joonised 49 ja 50) näitavad lume tähtsust haljaskatusel soojusisolaatorina. Joonisel 49 on toodud temperatuurid murukatuse peamises mõõtekohas (mk1) ja tagavaramõõtekohas (mk2), kusjuures esimest kattis umbes sentimeeter lund, teist aga 6 cm. Kõik temperatuurid olid 6 cm lumekihi all kõrgemad, lumekatteta kohas külmus pinnas rohkem. Lisas 5 joonistel 14, 15, 17 ja 18 on toodud ka pildid lumekihi paksuse kohta mõlemas mõõtekohas mõlemal mõõtepäeval.

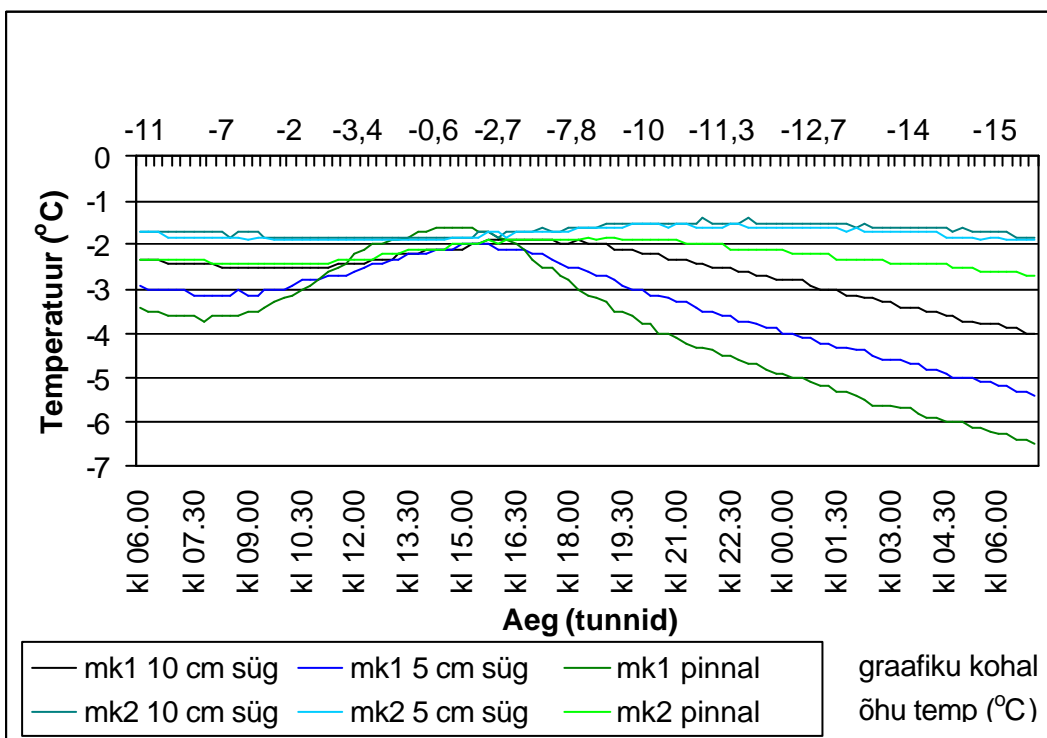
Joonisel 50 on tingimused võrreldes eelmisega muutunud. Nüüd kattis mk1 mõõtekohta 7 sentimeetrit lund, mk2 oma aga 20 cm. Kõik temperatuurid olid 20 cm lumekihi all tunduvalt kõrgemad ja kõikusid väga vähe, samas kui 7 cm lumekihi paksusega kohas olid temperatuurid palju madalamad ning kõikusid rohkem. Kõik andurid registreerisid miinimumtemperatuurid järgmise päeva varahommikul, mil õhk langes  $-15,2^{\circ}\text{C}$ -ni. Seetõttu langesid ka mk1 pinnasetemperatuurid, kuid sooja hoidva lumekihi tõttu püsisid mk2



pinnasetemperatuurid stabiilsetena. Seega on lumi talvel väga tähtis soojusehoidja, mille 20 cm paksust kihti suudab katus ka taluda.

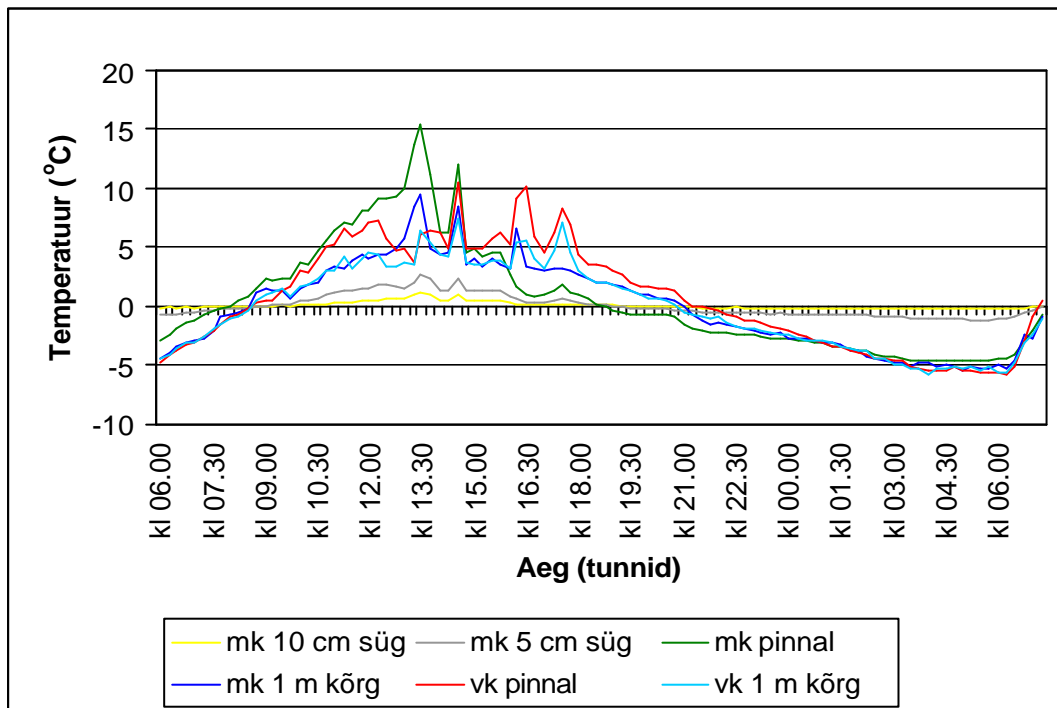


Joonis 49. Temperatuur murukatusel kahes mõõtekohas sõltuvalt lumekihi paksusest (mk1 1 cm, mk2 6 cm lumekihi paksusega) (15.02.05).



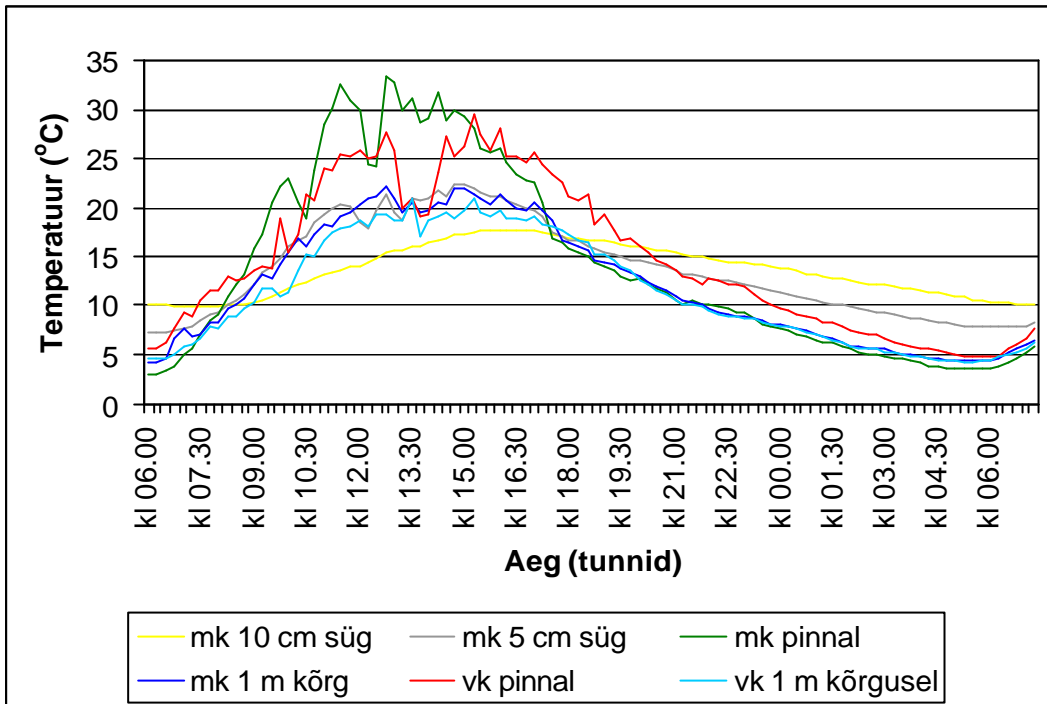
Joonis 50. Temperatuur murukatusel kahes mõõtekohas sõltuvalt lumekihi paksusest (mk1 7 cm, mk2 20 cm lumekihi paksusega) (9.03.05).

27. märts oli keskmise sulailmaga kevadpäev, mil hommikul oli jahe, päeval päike paistis ja sulatas lund (aeg-ajalt oli ka pilvi), õhtul õhutemperatuur alanes ja öösel sulavesi jäätus. Kui murukatuse pinnatemperatuur kõikus 20,1°C, siis on väga tähelepanuväärne, et 10 cm sügavusel oli amplituud vaid 1,3°C. Nagu ka jooniselt 51 näha, jahtus kergkruusa pind pärastlõunal päikese kadudes väga kiiresti, bituumeni pind jäi veel soojaks. Öösel jahtusid nii haljas- kui võrdluskatuse pinnad koos õhuga märgatavalt, kuid murukatuse pinnasesse jahedus nii väga ei jõudnudki, seal püsis päevase soojuse mõju.



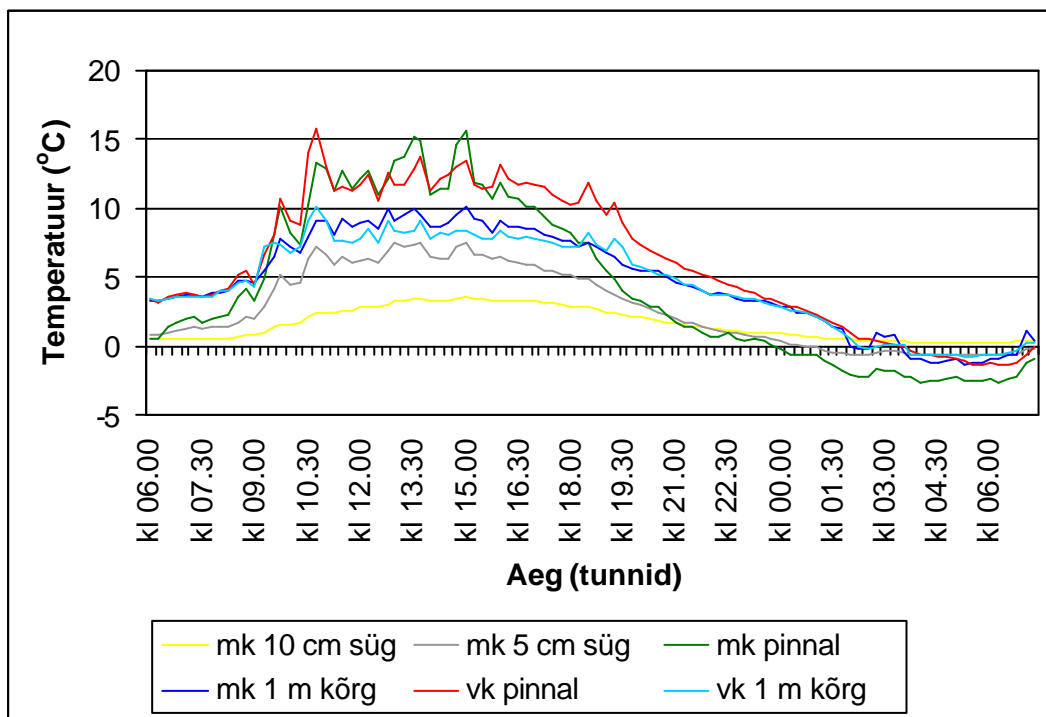
Joonis 51. Katuste temperatuurid sulailmaga kevadpäeval (27.03.05).

Päikeselisel 16. aprillil tõusis kõige kõrgemale murukatuse kergkruusa temperatuur, langedes samas öösel kõige madalamale, saades temperatuuri amplituudiks 30,5°C. Kuid vaatamata sellele oli kõikumine 10 cm sügavusel vaid peaaegu 8°C, mis näitab, et 10 cm substraadikiht suudab üsna hästi vähendada temperatuuri kõikumist aluskatusele lähemal. Ka jooniselt 52 on näha, et bituumenkatuse soojenes ja jahtus vähem kui murukatuse kergkruusapind.



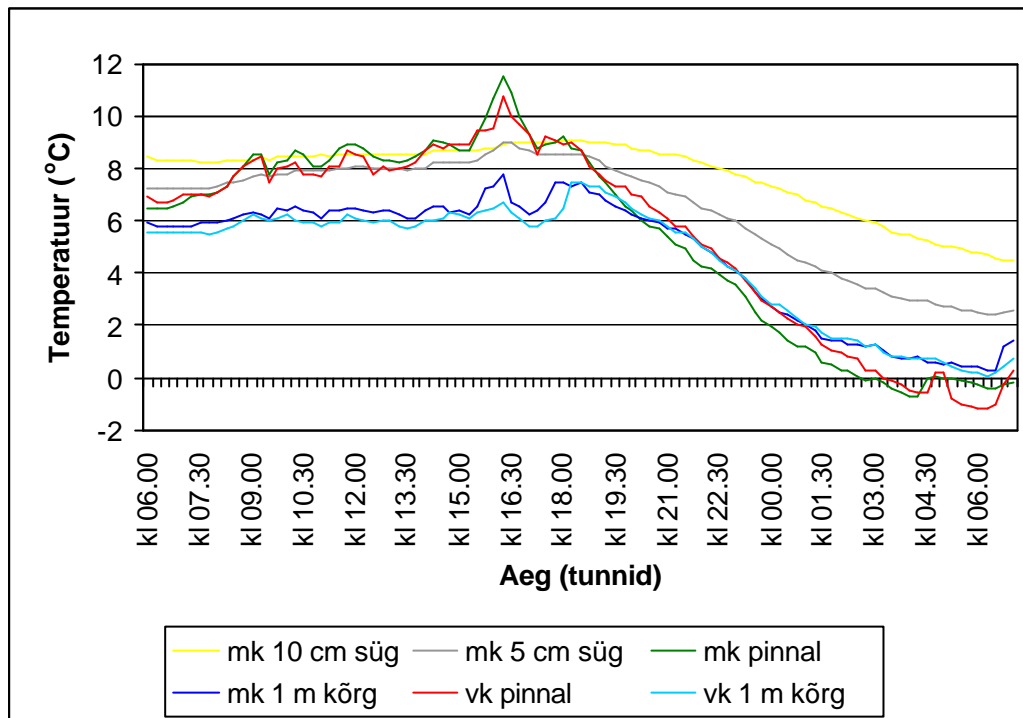
Joonis 52. Katuste temperatuurid päikesepaistelisel kevadpäeval (16.04.05).

Pilvise kevadpäeva, 6. aprilli graafikut (joonis 53) iseloomustab üldiselt temperatuuride suhteliselt stabiilne tõus hommikul ja langemine õhtul. Mõningaid hüppeid tegid



Joonis 53. Katuste temperatuurid pilvisel kevadpäeval (6.04.05).

pinnatemperatuurid, mis mõlema katuse puhul olid sarnased. Väga efektse madala kaare teeb graafikul haljaskatuse 10 cm sügavuse temperatuur, mis kõikus vaid 3,3°C.



Joonis 54. Katuste temperatuurid vihmasel kevadpäeval (10.04.05).

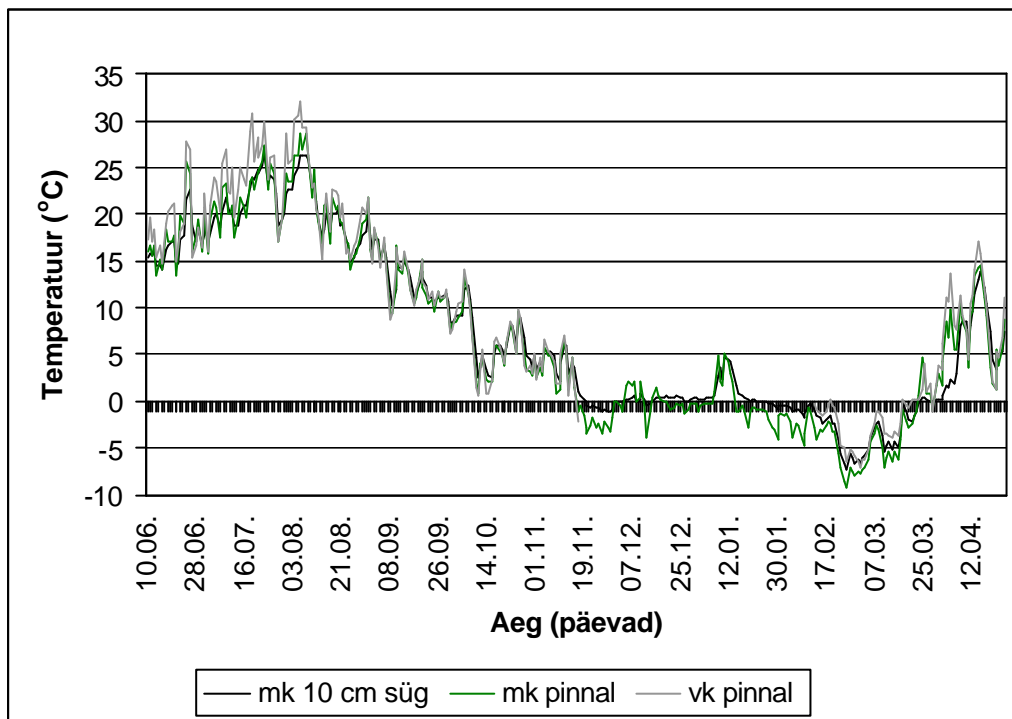
Vihmasel kevadpäeval, 10. aprillil, kõikusid temperatuurid päeval vähe, järgmiseks hommikuks langesid märgatavalt. Pinnatemperatuurid olid sarnased, pisut kõrgemad samuti sarnastest õhutemperatuuridest. Öösel pinnad jahenesid, kuid murukatusel 10 cm sügavusel säilis piisav soojushulk (joonis 54).

### 5.1.3.2. Katuste temperatuuride võrdlused aastaegade lõikes

Selles alapeatükis võrreldakse omavahel olulisemaid temperatuure teatud aja jooksul, peamiselt suve ja talve jooksul, sest need on rohkem huvi pakkuvad ja äärmusisaldavad aastaajad kui sügis ja kevad. Joonistel kasutatakse lühendeid mk (murukatus) ja vk (võrdluskatus).

Katuste temperatuuridest üldpildi saamiseks võrreldakse kogu mõõteperioodi ulatuses kolme tähtsaimat näitajat – temperatuure murukatusel 10 cm sügavusel ja pinnal ning võrdluskatuse pinnal. Võrdlus toimub ööpäeva keskmiste temperatuuride alusel. Just tänu sellele on suveperioodi puhul selgelt märgata (joonis 55), et võrdluskatuse bituumenpinna ööpäevased

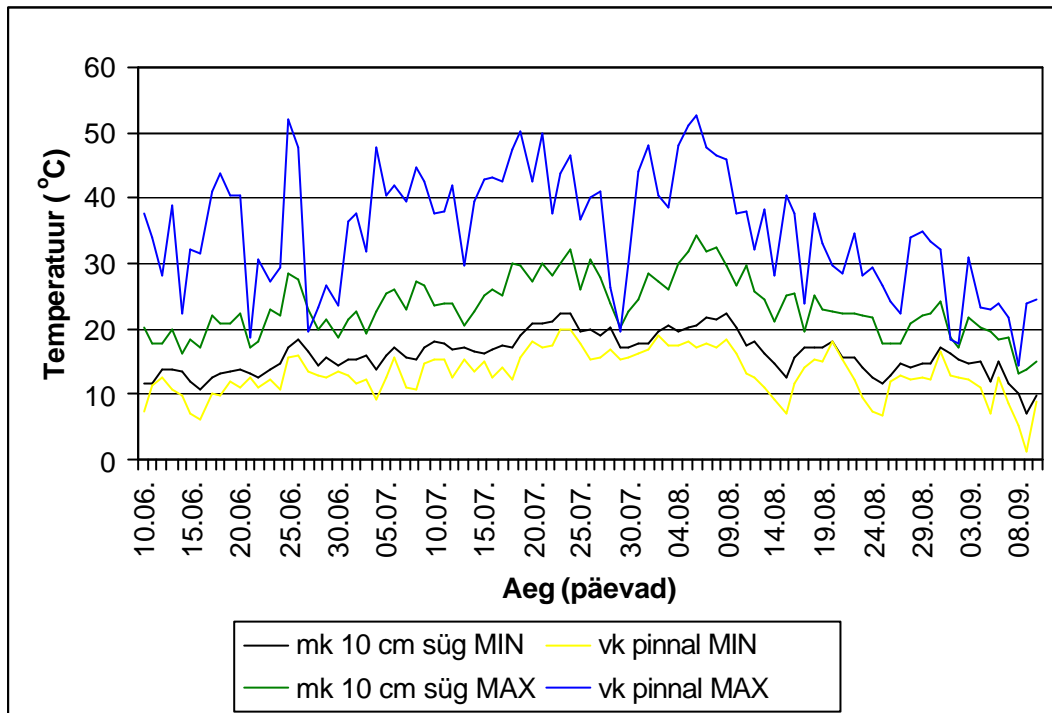
keskmised on kõrgemad kui haljaskatuse kergkruusapinna omad. Nagu päevavõrdlustes näha oli, jahtus kergkruusa pind kiiresti, kuid bituumenpind püsis kauem soe – siit need kõrgemad keskmised temperatuurid peamiselt tulenevadki. Muul ajal pinnatemperatuurid sarnanesid, murukatusel 10 cm sügavusel oli temperatuur talvel soojem, ülejäänud perioodidel jäi kahe vaadeldava pinnatemperatuuri vahele. Korrelatsioon mõlema katuse pinnatemperatuuride vahel on 0,99, mis näitab nende tugevat sarnasust.



Joonis 55. Katuste temperatuuride võrdlus kogu mõõtmisperioodi ulatuses.

Katuste suveaja (10.06.–10.09.04) ööpäevaste minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride võrdluses (joonis 56) võrreldakse katuse aluskattematerjalidele kõige lähemal olevate andurite temperatuure. Murukatuse puhul on see temperatuur 10 cm sügavusel kivivilla peal, millest aluskatuseni jääb veel 12 cm ning bituumenkatuse puhul temperatuur bituumenkattel, mille all on vahetult soojusisolatsioon ja muud vajalikud kihid. Pidev temperatuurikõikumine katusekattel vähendab mitte ainult katte enda, vaid ka aluskihtide eluiga. Nagu jooniselt näha, kõigub temperatuur bituumenkatusel märgatavalt rohkem kui haljaskatuse pinnases. Suvekuude jooksul mõõdetud temperatuuride amplituud bituumenkatusel oli 51,6°C, murukatuse pinnases vaid 27,4°C. Seega oli amplituud miinimumist maksimumini 10 cm sügavusel haljaskatuse sees 24,2°C võrra väiksem kui bituumenkatuse pinnal toimunud kõikumine, mis kinnitab senist arusaama haljaskatusest kui katuse aluskihtide kaitsjast ekstreemsete temperatuuride eest. Veelgi pikemaajalist vaatlust teinuna sai samasuguse

tulemuse ka Liu (2003) Ottawas, Kanadas. Mõõdetud miinimumtemperatuuride vahel on korrelatsioonikordaja 0,92, maksimumtemperatuuride vahel 0,82.



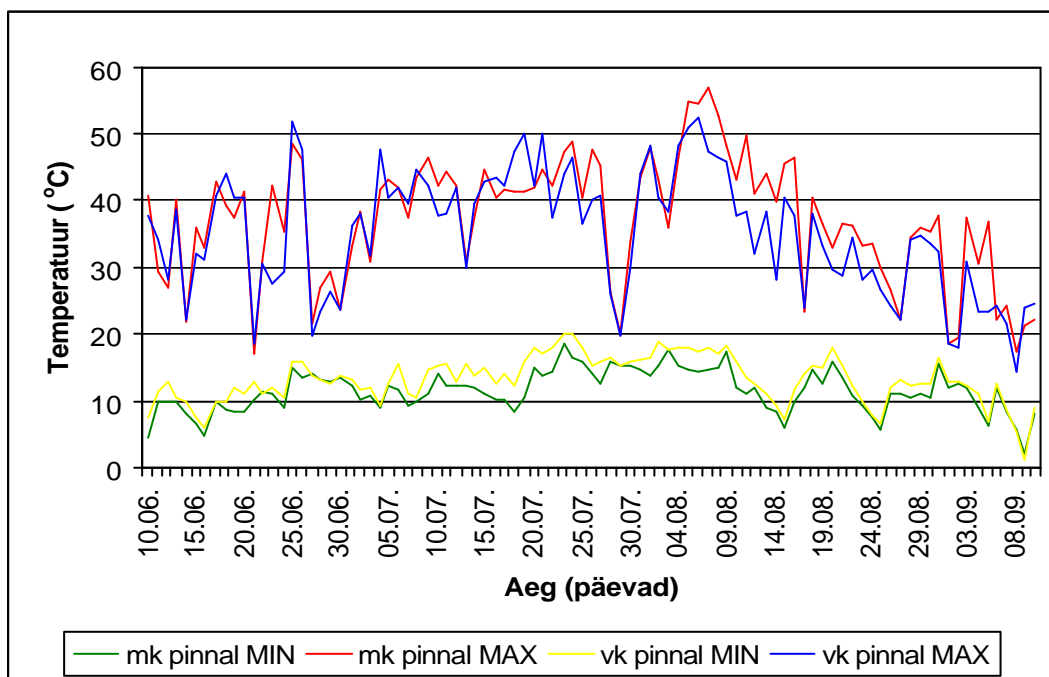
Joonis 56. Katuste suveaja aluskatusele lähimate minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride võrdlus.

Tabelist 5 on näha, et kogu suvekuude jooksul mõõdetud 83 päevast ületas bituumenkatuse pinnatemperatuur 30°C 63 päeval, neist 33 päeval tõusis temperatuur ka üle 40°C. Murukatuse substraadikihis 10 cm sügavusel oli 30°C ületamisi vaid 9 päeval, mis näitab kui hästi suudab haljaskatuse substraadikiht vältida ekstreemsete temperatuuride jõudmist aluskatuseni. Veelgi pikemaajalist vaatlust teinuna sai sama tulemuse ka Liu (2003) Ottawas, Kanadas.

Tabel 5. 30°C ületavate päevade arv kõikidest suvekuude päevadest (83) aluskatusele lähimatel mõõdetud pindadel.

	Temperatuur üle 30 °C		Temperatuur üle 40 °C	
	Päevade arv	% päevadest	Päevade arv	% päevadest
Murukatuse pinnas 10 cm süg.	9	11	0	0
Bituumenkatuse pind	63	76	33	40

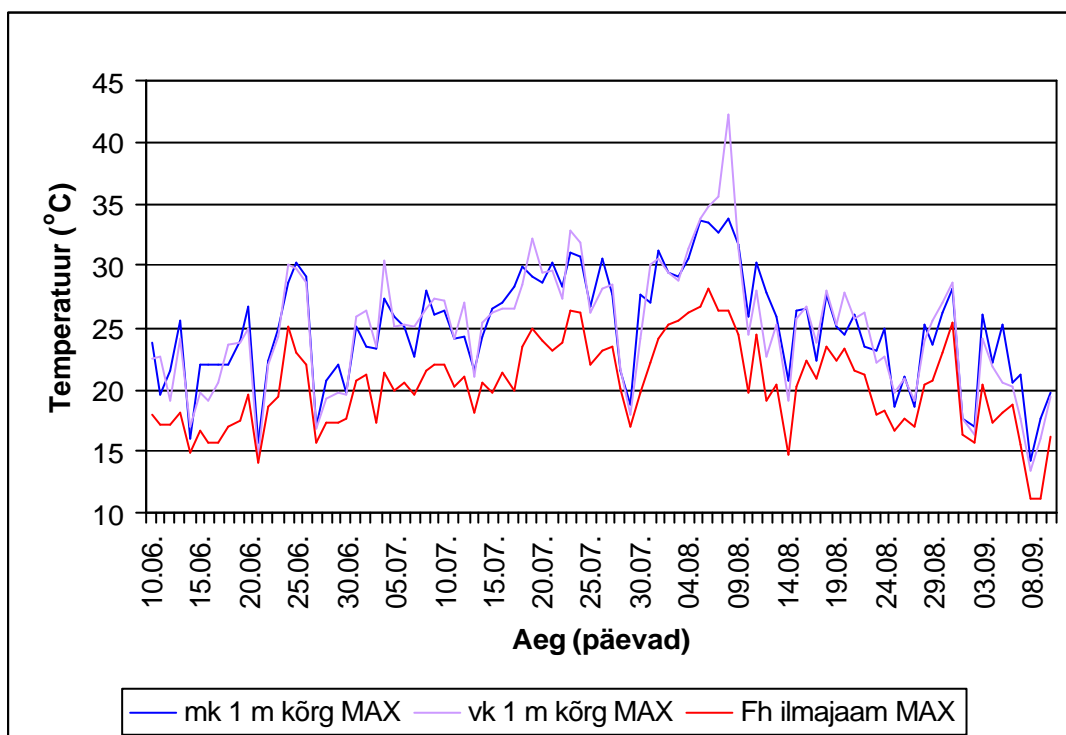
Võrreldes suveaja maksimaalseid ja minimaalseid pinnatemperatuure (joonis 57), on näha, et üldine kõikumine on samasugune, kuid pigem on kõrgem siiski murukatuse kergkruusa temperatuur, kõikudes 55,1°C. Võrdluskatuse pinnatemperatuuri amplituud on 51,6°C. Kui jahedaks minevat septembrit mitte arvestada, jääb amplituudide vahe ikka põhimõtteliselt samaks. Kergkruusa rohkem soojenemisel mängib rolli ka tõsiasi, et murukatusele paistab päike kogu päev, võrdluskatusel on päike kohati varjatud hoone ülemise osa seinaga, mis tekitab varjualuse olukorra. Seega võib maksimumväärtusi jälgides oletada, et absoluutselt võrdsetes tingimustes oleksid pinnatemperatuurid kas võrdsed või bituumenkatus isegi veidi kõrgema temperatuuriga. Jahtub aga paari kraadi võrra rohkem ikkagi kergkruusapind. Sellele vaatamata on temperatuur murukatuse pinnases siiski madalam ja kõigub vähem, nii et kui aja jooksul taimed kergkruusa pinda rohkem katma hakkavad, ei tohiks pinnatemperatuur enam nii kõrgele tõusta.



Joonis 57. Katuste suveaja minimaalsete ja maksimaalsete pinnatemperatuuride võrdlus.

Kui võrrelda keskmisi õhutemperatuure katuste kohal, siis oluliselt need ei erine, mõned juhud välja arvata. Vahe Tähe tänaval asuva TÜ Füüsikahoone katusel asuvast ilmajaamast pärit taustandmetega on 2°C, mis pole kuigi suur. Kuid kui võrrelda suveperioodil linnakeskkonnas ülekuumenemist tekitada võivaid maksimaalseid õhutemperatuure katuste kohal, on vahed ilmekad (joonis 58). Katuste kohal temperatuurid eriti ei erinegi, kuid

erinevus taustandmetega on 10°C ringis. Seega päikese käes kuumenevad katusepinnad, olgu see kergkruus või bituumen, tõstavad temperatuuri ka katuse kohal ja lähiumbruses. Seetõttu on vajalik murukatust kiiremini kasvama hakkavate taimedega katta, et kergkruusa pind ei annaks sama efekti, mida annab bituumenpind ja asfalt. Samas võib temperatuur all-linnas jõe ääres olla pidevalt paar kraadi soojem, sest Füüsikahoone asub Riia mäel. Kõrgemal asuvana võivad viimase temperatuuri jahutada liikuvad õhuvoolud. Talvekuudel oli käesolevas töös uuritud katuste kohal paari kraadi võrra soojem kui Füüsikahoone ilmajaamas. Seega võib asukoha erinevus olla siin peamiseks teguriks. Korrelatsioon murukatuse kohal olevate ja ilmajaamas mõõdetud maksimumtemperatuuride vahel on 0,91.

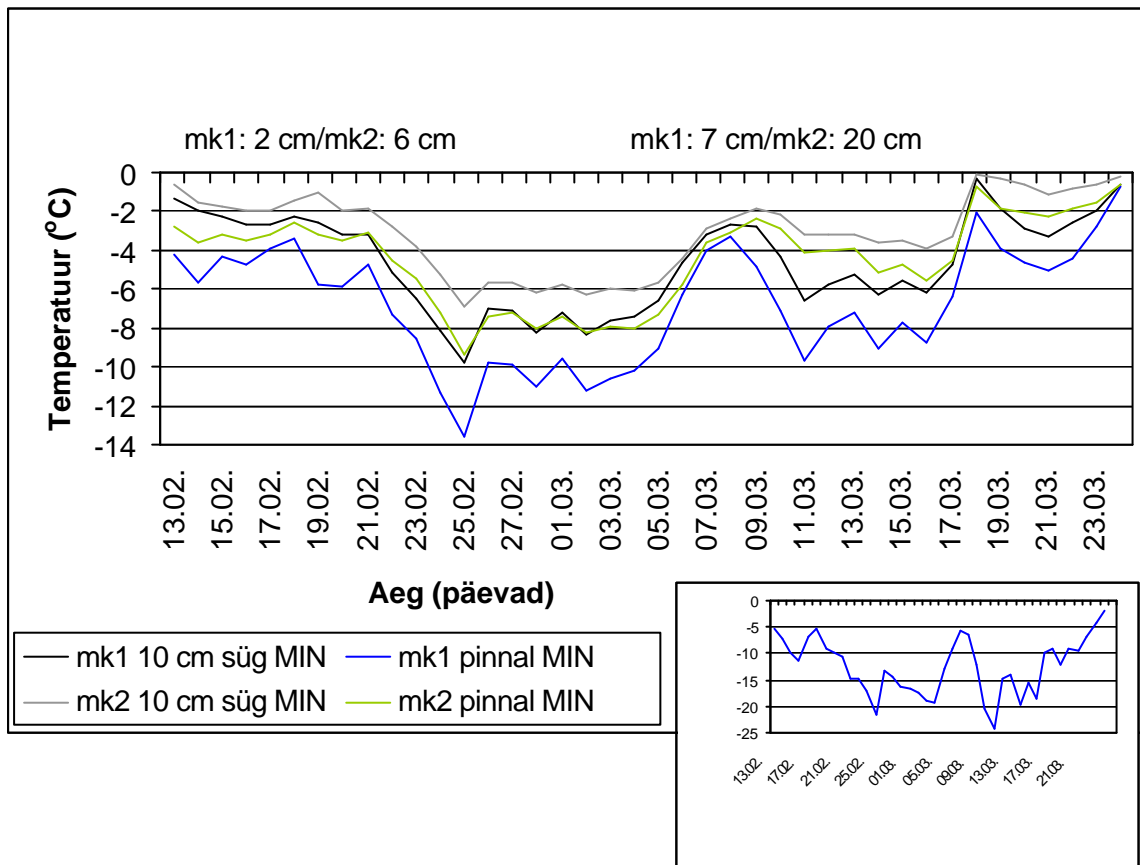


Joonis 58. Suveperioodi maksimaalsed õhutemperatuurid katuste kohal võrreldes TÜ Füüsikahoone ilmajaamaga.

Joonisel 59 toodud murukatuse miinimumtemperatuure on võrreldud ka päevade lõikes. Siin on näha täpsemini temperatuuri kulg sel perioodil, mil katust kattis eri kohtades eri paksusega lumekiht. 16. veebruaril oli see mk1 mõõtekoha juures paar sentimeetrit, mk2 juures 6 cm. Vahe temperatuurides eriti suur veel polnud, kuid õhutemperatuuri langes olid vahed märgatavamad. Näiteks 25. veebruaril, mil õhutemperatuur langes  $-21,4^{\circ}\text{C}$ -ni, oli mk1 temperatuur 10 cm sügavusel oli samasugune kui mk2 pinnal; piisava lumekatteta mk1 pind langes  $-13,7^{\circ}\text{C}$ -ni. 9. märtsil kattis mk1 juures katust 7 cm lund, mk2 juures oli see 20 cm.



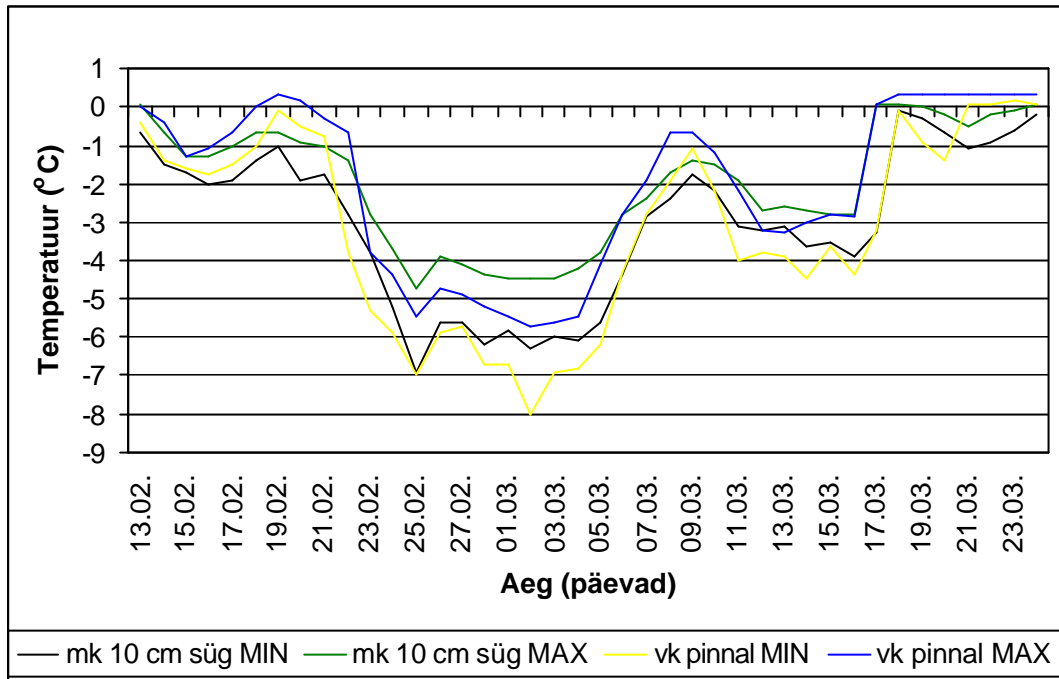
Õhutemperatuuri langemisel  $-24,2^{\circ}\text{C}$ -ni jäid katuse temperatuurid siis piisavalt soojemaks. Graafikult on näha ka, et soojenemisel lumekiht mõju ei avalda, kuid külmenemisel hoiab siiski sooja. Nii jäigi madalamaks temperatuuriks mk1 pinnatemperatuur ja kõrgemaks mk2 pinnasetemperatuur. Mõõtekohtade lumepaksust teatud päevadel illustreerivad joonised 14, 15, 17 ja 18 lisas 5. Korrelatsioonid 10 cm sügavuste miinimumtemperatuuride vahel ja pinna miinimumtemperatuuride vahel on vastavalt 0,95 ja 0,93.



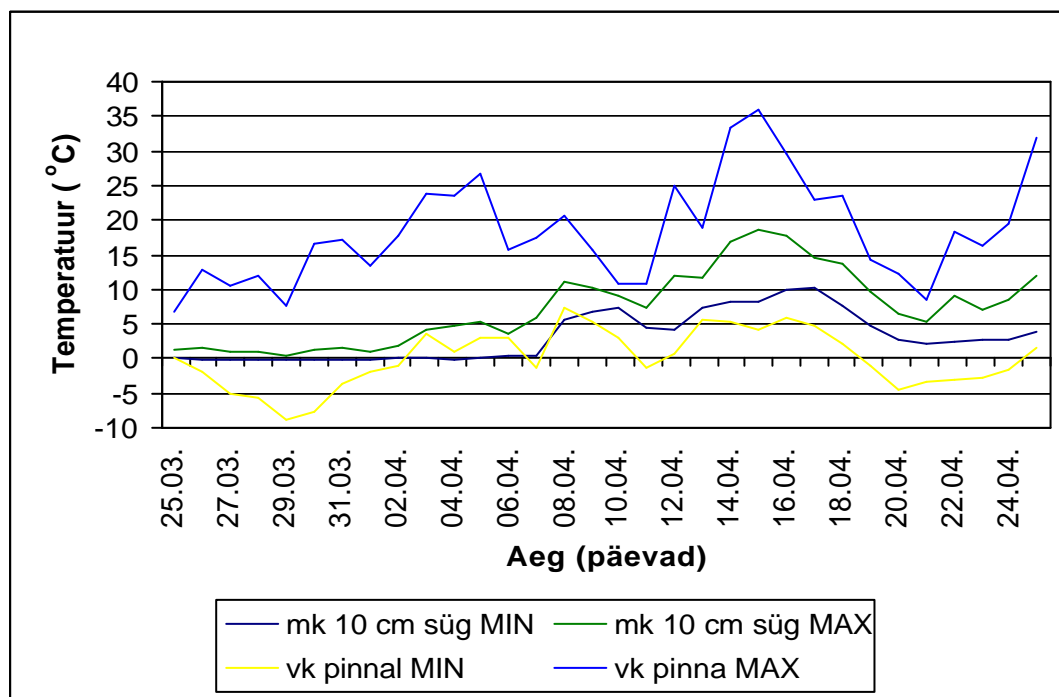
Joonis 59. Talvised miinimumtemperatuurid murukatuse pinnases ja pinnal sõltuvalt lumekihi paksusest (mk1 2? 10 cm; mk2 6? 22 cm). Lisajoonisel on toodud antud ajaperioodi murukatuse kohal oleva õhu miinimumtemperatuurid.

Joonisel 60 kujutatud aluskatusele lähimaid miinimum- ja maksimumtemperatuure on võrreldud ka päevade lõikes. Siin on näha täpsemiini temperatuuri kulg sel perioodil, mil katust kattis pea võrdne lumikate. Murukatuse mõõtekohas kasvas see 13. veebruaril olnud 6 cm-st 20. märtsiks 20 cm-ni, võrdluskatusel vastavalt 12-st 20-ni. Jooniselt on näha, et kuigi üldpilt lume all olevatel temperatuuridel on sama, on murukatusel 10 cm sügavusel siiski soojem, seda just järskudel külmenemistel, soojenemistel jääb murukatuse pinnas

bituumenkatuse pinnast jahedamaks. See kinnitab üldlevinud arvamust, et ka talvel lisab haljaskatuse substraadikiht täiendavat soojust katuse aluskihtide kaitseks. Sama tulemuse leidsid ka Bass ja Baskaran (2003) Ottawas, Kanadas.



Joonis 60. Katuste talveperioodi aluskatusele lähimate minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride võrdlus.



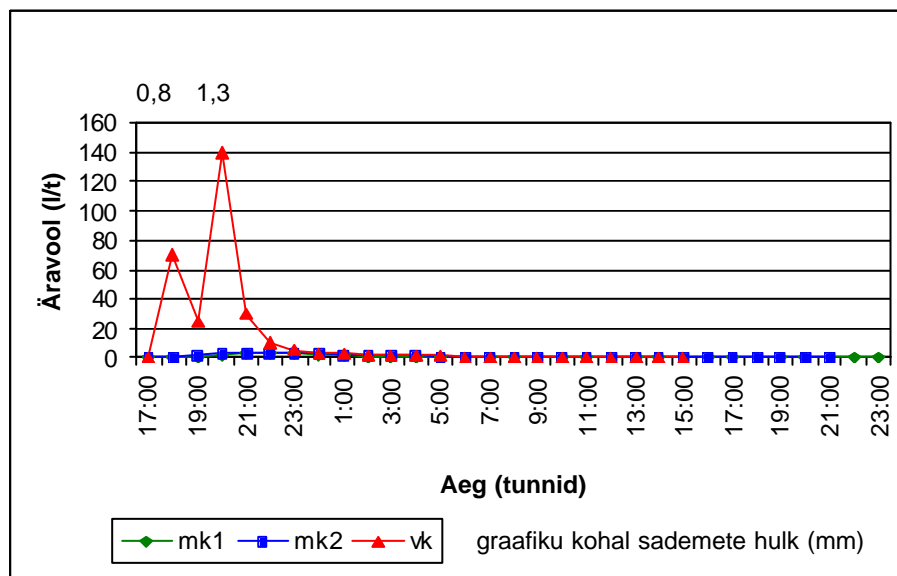
Joonis 61. Katuste kevadperioodi aluskatusele lähimate minimaalsete ja maksimaalsete temperatuuride võrdlus.

Joonisel 61 on kujutatud eelmise graafikuga samu temperatuure, kuid kevadperioodi kohta. Siin on näha täpsemini temperatuuri kulg sel perioodil, mil päeval päike soojendas ning öösel võis vesine katusepind lisaks jähnenemisele isegi jääda. Sellised päevad olid märtsi lõpus. Jooniselt on ilmekalt näha, kuidas temperatuur äsja lumikattest vabanenud bituumenkattel suuresti kõigub, kuid haljaskatuse pinnases püsib stabiilne. Soojadel kevadpäevadel on temperatuur murukatuse sees ka kõrgem, kuid kõigub ikkagi vähem kui võrdluskatuse pind. Kevadisel perioodil kõikus bituumenpinna temperatuur 44,7°C, murukatuse pinnasetemperatuur 10 cm sügavusel vaid 19°C.

## 5.2. Murukatuse sademetevee äravooluhulkade mõõtmistulemused ja järeldused

Vastavalt meetodika osas kirjeldatule jälgiti ja mõõdeti äravoolu nii murukatusest kui ka võrdluskatusest. Mõõdeti kahte harilikku vihmajuhtu, ühte äikeselist paduvihma ning paarinädalast sulaperioodi kevadel.

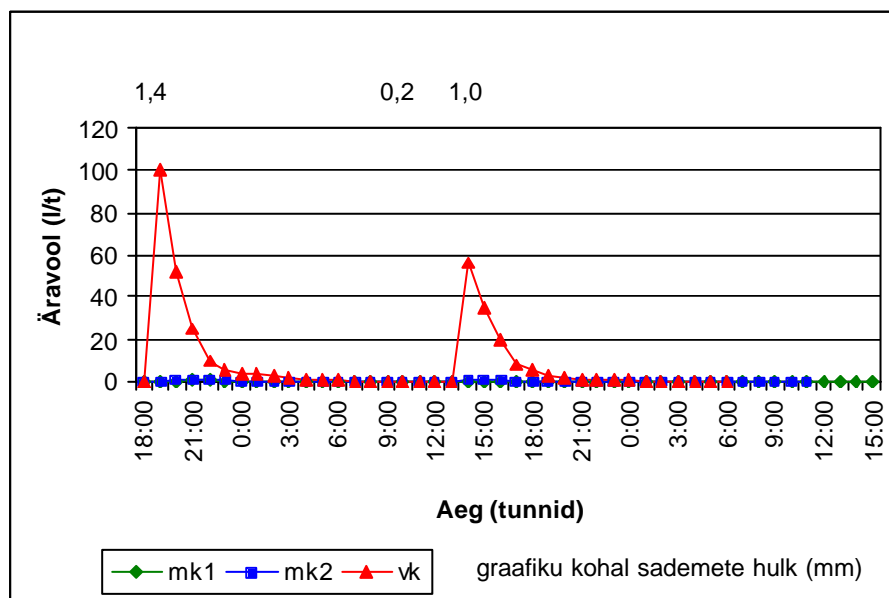
Esimene kahest tavapärasest vihmajuhust mõõdeti perioodil 2. august kell 16.30 kuni 3. august kell 23.00. See koosnes kahest poolteisetunnilise vahega esinenud sajuhoost, millest esimene oli 0,8 ja teine 1,3 mm sajuhulgaga (joonis 62). Eelnevad päevad olid sademeteta, see



Joonis 62. Katuste äravoolude hulgad 2,1 mm sajuhulga korral (2.08.04 kl 17.00–3.08.04 kl 23.00; siin ja edaspidi kasutatavad lühendid: mk1 – murukatuse 1. äravool, mk2 – murukatuse 2. äravool, vk – võrdluskatuse äravool).

on ka põhjuseks, miks murukatus suutis väga hästi mõlemat sadu endas hoida. Kui võrdluskatuselt hakkas kohe peale loikude täitumist vesi alla voolama, ei tulnud haljaskatuselt veel midagi. Vihmade vaheajal äravool võrdluskatuselt vähenes ning seejärel, uue vihma tulekuga, suurenes taas. Samal ajal hakkasid murukatuse äravoolud tilkuma, kuid mingit äravoolu kui sellist ei tekkinudki. Võrdluskatusel lõppes äravool 9 tundi enne kui haljaskatusel. Kokku oli äravool võrdluskatuselt 290 l, murukatuselt 32,6 l (mk1 12,9 l ja mk2 19,7 l). Sarnase tulemuse hõreda vihma kohta leidis ka Liu (2003) Ottawas, Kanadas.

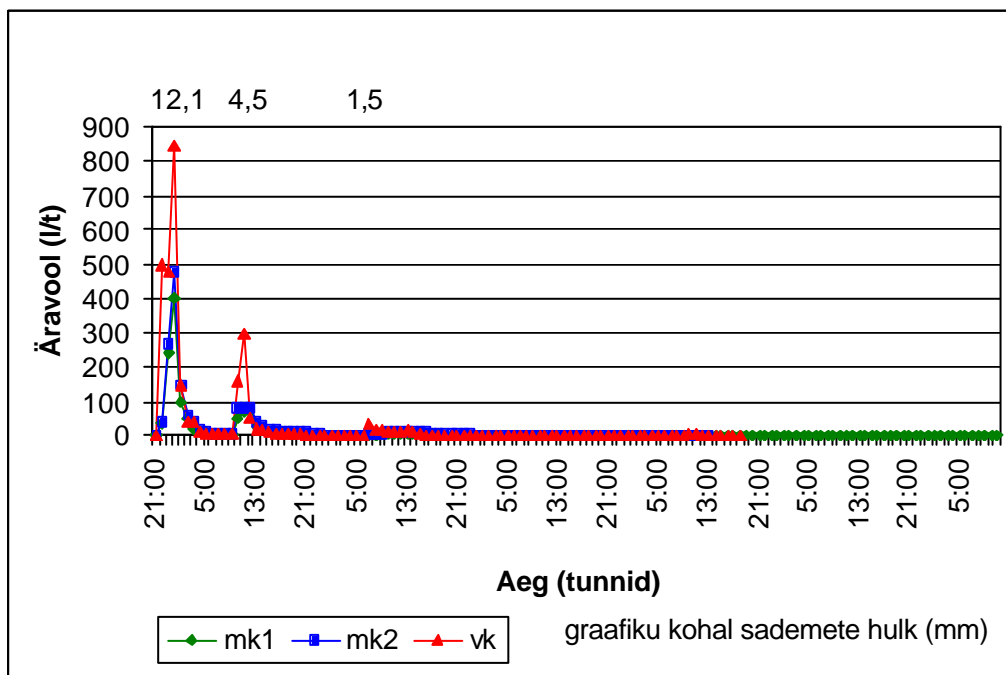
Teine harilik vihmahoog koos sellele järgneva mõõdeti perioodil 14. september kell 18.00 kuni 16. september kell 15.00. See koosnes kahest 16-tunnilise vahega esinenud sajuhoost, millest esimene oli 1,4 ja teine 1,0 mm sajuhulgaga (joonis 63). Kuigi murukatusel lõppes eelmine äravool umbes ööpäev tagasi, suutis katus taas väga hästi vihmavett kinni hoida. Võrdluskatuselt algas äravool peaaegu kohe pärast saju algust, sest katusel oli eelmistest sadudest veel loike, mis kiiresti täitusid ja hakkasid üle ajama. Vahepeal olnud 0,2 mm hõre vihmababin katuseid ei mõjutanud. Võrdluskatusel oli äravool pea täitsa lõppenud, kui tuli järgmine 1 mm sadu, mis tekitas taas äravoolu. Taas lõppes äravool bituumenkatuselt 9 tundi varem kui murukatuselt. Kokku tuli võrdluskatuselt alla 340 l vett, haljaskatuselt vaid 19,3 l, mõlemast äravoolust pea võrdselt.



Joonis 63. Katuste äravoolude hulgad 2,6 mm sajuhulga korral (14.09.04 kl 18.00–16.09.04 kl 15.00).

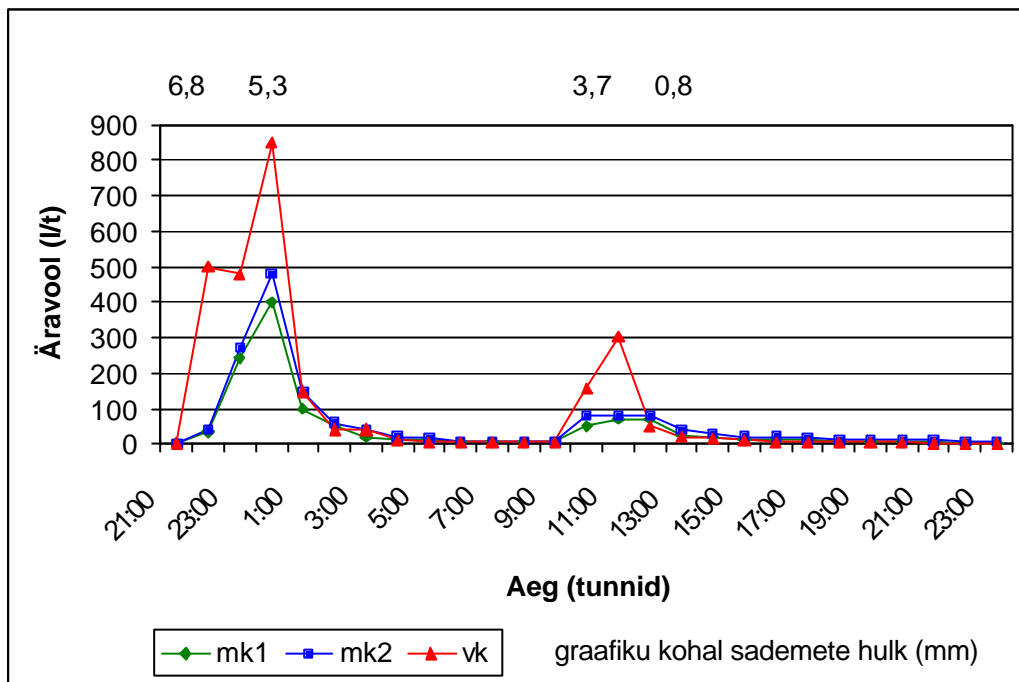
Murukatuse puhul tuleb välja tuua asjaolu, et katuse ühest äravoolust (mk1) tuleb pea iga saju ajal vett vähem ning äravool kestab kauem. Teise äravooluga (mk2) on vastupidi – vett tuleb rohkem, äravool on kiirem ja lõpeb enne kui mk1 oma. Põhjus võib seisneda selles, et mk1 äravoolu katusepoolel on taimi rohkem, kelle juurestik substraadikihis seob vett rohkem ning aeglustab äravoolu. Seda on näha nii tavalise vihma kui ka paduvihma ajal (viimase puhul välja arvatud ekstreemne äravool, kuid üldpildis see siiski väljendub) ning eriti aeglase sulamise puhul. Kuid ka võrdluskatuselt – bituumenkattega terrasskatuselt – on äravool aeglane ja pikaltkestev kui seda võrrelda näiteks sama Sadamateatri hoone teise korruse kaldus katusega. Siiski ei ületa see haljaskatuse äravoolu.

Tõelist paduvihma ja sellele järgnenud äravoolu õnnestus mõõta augusti viimasel päeval kella 21.00-st kuni 6. septembri hommikuni. Siis tuli ühe öhtuga 20-minutilise vahega kaks äikeselist sadu. Esimene oli 6,8 mm ja teine 5,3 mm sajuhulgaga. Joonis 64 annab neist ja neile järgnenud päevadest üldpildi, täpsemalt on kaks esimest suurt sadu kujutatud joonisel 65. Selle intensiivse vihma ja äravoolu puhul ei õnnestunud täpset ülevaadet tunni kaupa äravoolust saada, kuid veerandtunniste mõõtmistega ühe ja teise katuse äravoolude juures saadi hinnanguline pilt, kui palju vett tõenäoliselt võis ühes tunnis katuselt alla voolata.

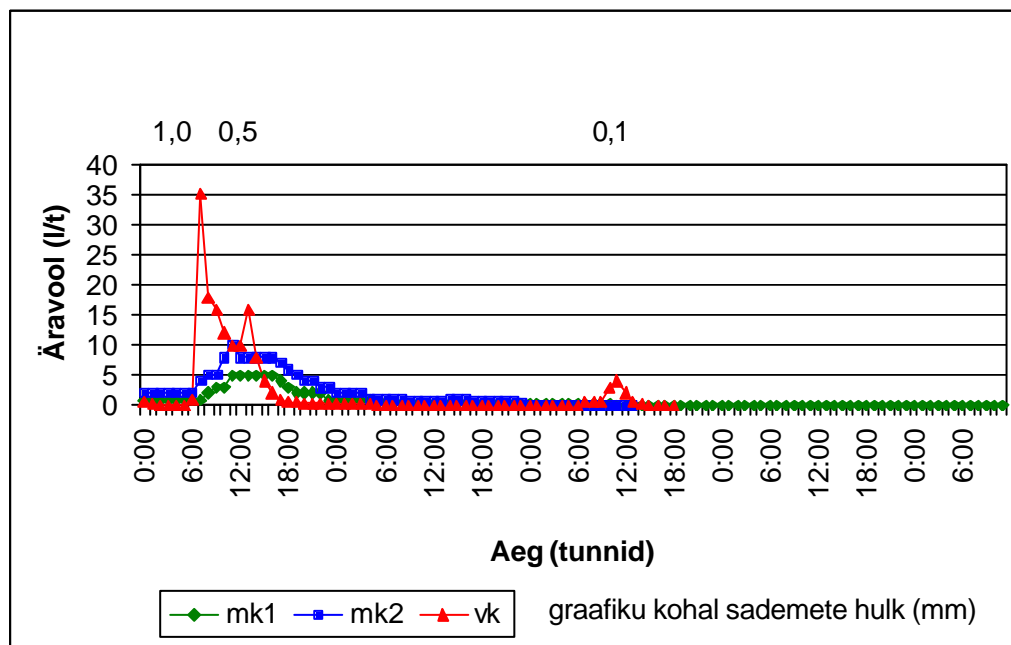


Joonis 64. Katuste äravoolude hulgid 18,2 mm sajuhulga korral (31.08.04 kl 21.00– 6.09.04 kl 11.00).

Jooniselt 65 on näha, et kui murukatuse kaks äravoolu kokku liita, tuleb kokku sama hulk vett, mis tuli alla võrdluskatusest, kuigi paarikümneminutilise viivitusega. Seega ei suuda haljaskatus järsku ja tugevat (äikese)vihmahoogu endas hoida ja laseb selle katusest läbi.



Joonis 65. Katuste äravoolude hulgid suurte sajuhulkade perioodil (31.08.04 kl 21.00–1.09.04 kl 23.00).



Joonis 66. Katuste äravoolude hulgid äravoolu kahanemise perioodil (2.09.04 kl 0.00–6.09.04 kl 11.00).

Äravool õhtustest paduvihmadest oli hinnanguliste andmete põhjal mõlemalt katuselt peaaegu võrdselt umbes 2000 l. Joonistel 67 ja 68 on näha äravoolu intensiivsus mõlema katuse puhul. Järgmisel hommikul tulnud 3,7 mm sadu oli ka piisavalt tugev, kuid murukatuselt tuli siis alla vähem vett kui võrdluskatuselt. Pärast suuri sademeid algas äravoolu pika kahanemise periood (joonis 66), mille vältel tuli ka pisut vihma. 1 mm sadu ajas võrdluskatuse äravoolu kohe jooksmata, kuid murukatusel oli selle mõju stabiilsem. 0,1 mm uduvihm ajas peaaegu kuivama hakanud bituumenkatuse taas tilkuma, seetõttu lõppes mk2 äravool sellest varem. Kõige viimasena lõppes mk1 äravool, alles 40 tundi peale teiste äravoolude lõppu tuli sellest äravoolutorust viimane tilk. Kokku tuli nende päevadega võrdluskatuselt alla hinnanguliselt 2820 l vett, murukatuselt oli äravool 2890 l (mk1 1240 l ja mk2 1650 l). Ka Liu (2003) Ottawas, Kanadas on leidnud, et tugev vihmahoog põhjustab murukatuselt kohese äravoolu, kuid kinnipeetav veehulk võrreldes tavakatusega oli tema tulemustes parem.

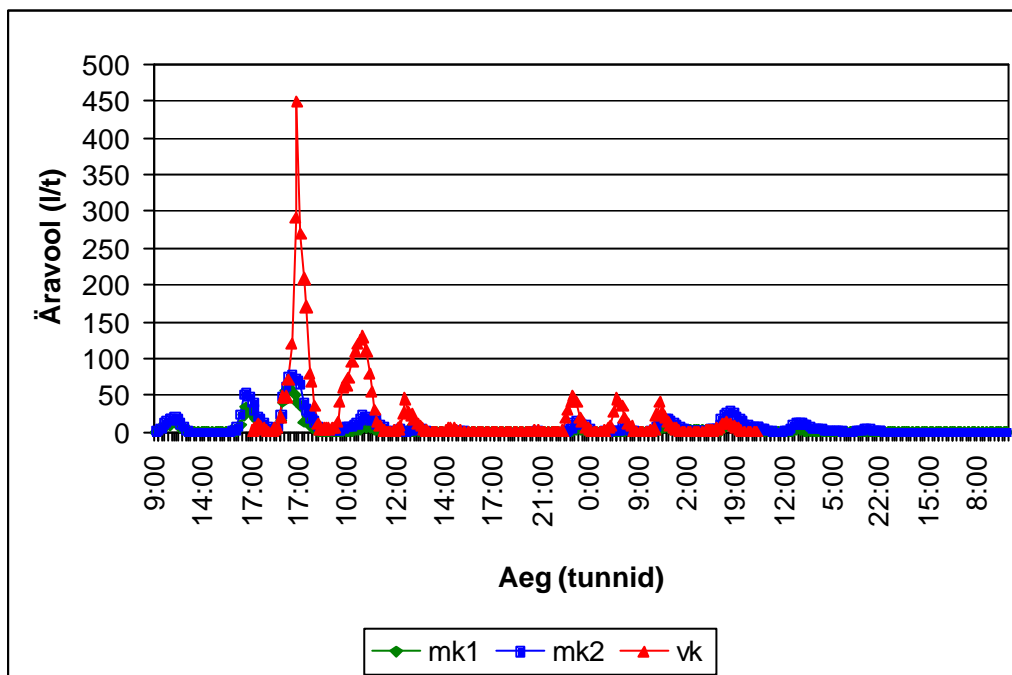


Joonis 67. Äravoolu intensiivsus murukatuse teisest äravoolust (mk2) paduvihma ajal.



Joonis 68. Äravoolu intensiivsus võrdluskatuse äravoolust (vk) paduvihma ajal.

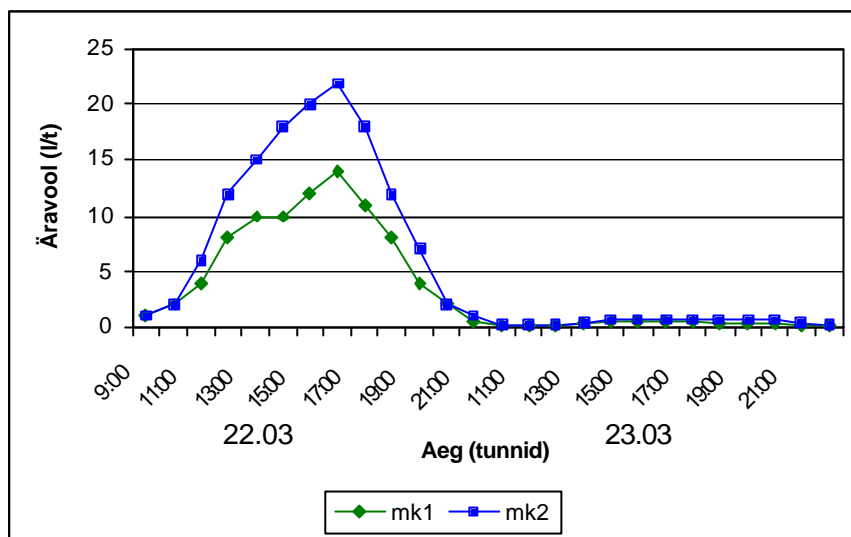
Katustel oleva lume sulamise aeg oli 2005. aasta 22. märtsist 7. aprillini, mil 17 päeva jooksul jälgiti ja mõõdeti sulast tekkivat äravoolu. Peamiselt on tunniäravoolud täpsed (mõõdeti antud tundi) või arvutuslikud (mõne tunni jooksul mõõdetu jaotus tundide vahel). Suure sula ajal on osade tundide äravooluhulgad hinnangulised. Sulaperioodi segamatule jälgimisele aitas kaasa sademeteta ilm (24. märtsil oli tund nõrka vihma, mis ei avaldanud mingit mõju). Üldpildi sulaperioodist annab joonis 69. Sulaja saab jaotada omakorda perioodideks ja sellele vastavalt on toodud ka järgnevad joonised ja kommentaarid.



Joonis 69. Katuste äravoolude hulgad kogu sulaperioodil (22.03.05–7.04.05).

Enne 22. märtsi oli ka soojemaid päevi külmade vahel, mil murukatuse rennist päikese mõjul vett tilkus. Katus hakkas äärtest sulama 22. märtsil, siis tuli päikese mõjul katuselt alla pea 200 l vett, mk2 äravoolust sealjuures rohkem. Sellele järgnes külmem päev, mille mõju äravoolule on ka jooniselt selgelt näha, äravool oli vaid 10 liitrit. Nii siin kui edaspidi on graafikult välja jäetud öine külmumisaeg, mil äravool katkes jäätumise tõttu. Hommikul alustati äravoolu mõõtmist pärast jääpurikate renni otsast ärakukkumist (joonis 71).



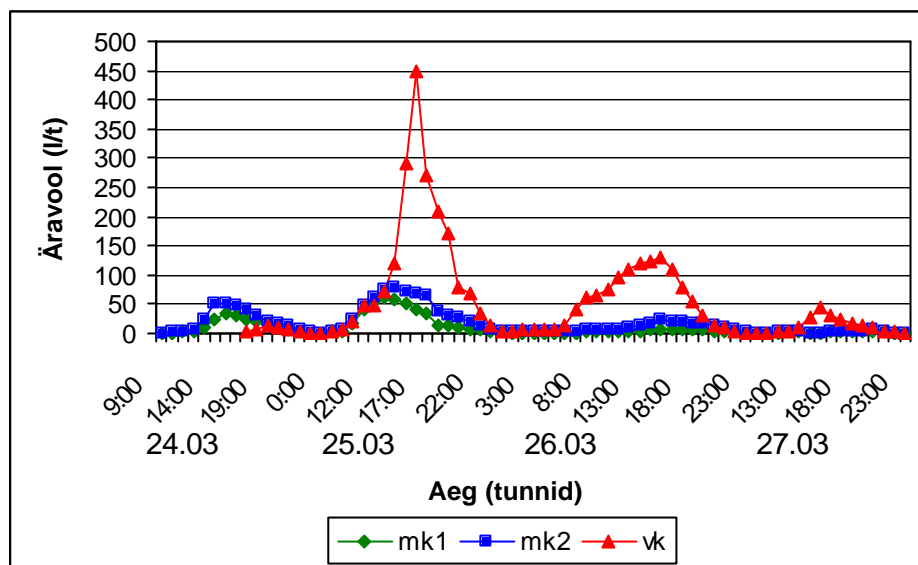


Joonis 70. Murukatuse äravoolude hulgad enne suurt sula (22.03.05–23.03.05).



Joonis 71. Jäipurikad murukatuse teise äravoolurenni otsas pärast külma ööd.

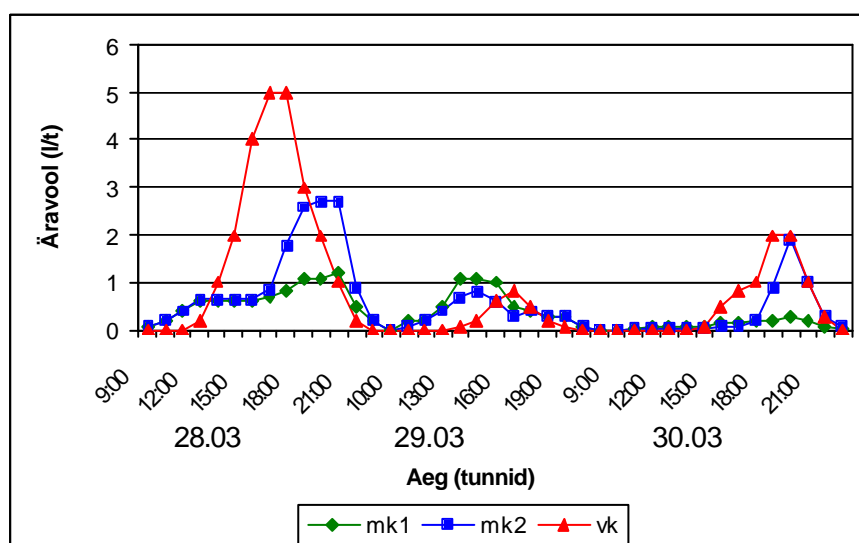
Päikesepaistelisel 24. märtsil hakkas murukatuse juba rohkem sulama. Sel päeval oli lumehulga kahanemist märgata vaid katuse äärtel. Päikeselisel 25. märtsil sulas aga korraga ära kogu katusel olnud lumi, mille keskmine paksus oli 22 cm. Märgatavalt rohkem vett tuli mk2 äravoolust. Sel päeval hakkas järsku sulama ka võrdluskatus, mille äravoolu intensiivsus oli pea võrdne paduvihmaga (joonis 72). Sel suurel sulapäeval oli murukatuse äravool 1067 l, võrdluskatusel 1910 l. Võrdluskatusel oli samas ka paksem lumekiht, keskmiselt 29 cm. 26. märtsil sulas bituumenkatusel lumi edasi, murukatusest hakkas sellest päevast alates tulema vesi vaid pinnasest, sest eelnevast sulapäevast ei jäänud katusele lumekirmitki. 27. märts oli pilves ja jahe päev, selle mõju on näha ka haljaskatuse väikeses äravoolus, võrdluskatuselt tuli veidi rohkem vett.



Joonis 72. Katuste äravoolude hulgad suure sula perioodil (24.03.05–27.03.05).

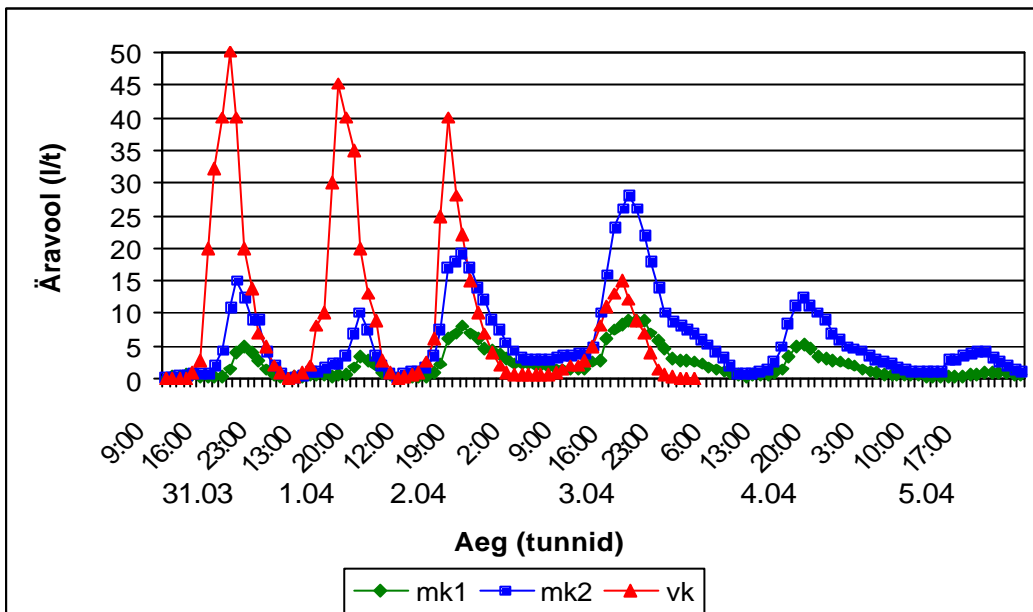
Järgnevad kolm päeva 28. märtsist 30. märtsini oli õhutemperatuur madal, kuid ilm päikeseline, selle tõttu olid äravoolud minimaalsed. 29. märtsil oli peamiselt pilves päeva tõttu murukatuse äravool suurem kui võrdluskatuse äravool (joonis 73), teistel päevadel olid veehulgad võrdsed, mk2 äravool ületas mk1 oma.

31. märtsist, mil ka temperatuur tõusis, hakkas murukatuse äravooludest tulema aina rohkem vett. Kui kuni 1. aprillini tuli seda võrdluskatuse lumesulaveest vähem, siis alates 2. aprillist ületas murukatuse äravool võrdluskatuse oma. Nagu ka jooniselt 74 näha on, tuli murukatuse teisest äravoolust palju rohkem vett alla võrreldes mk1 äravooluga. Kogu nende päevade



Joonis 73. Katuste äravoolude hulgad pärast suurt sula (28.03.05–30.03.05).

äravool, mida kokku oli 950 liitrit, pärines haljaskatuse seni külmunud olnud pinnasest, kuhu soojus alles nende päevadega jõudis. Seega on haljaskatusel võimalik eraldada kahte sulaperioodi: katusel oleva lume sulamine ning külmunud pinnase sulamine, mille vahele võib jääda mõni päev. Rolli mängib siin õhutemperatuur ja päikese otsekiirgus katusele. Võrdluskatus sulas lumest puhtaks 3. aprilli hilisõhtuks, järgneval hommikul olid katusel vaid loigud.

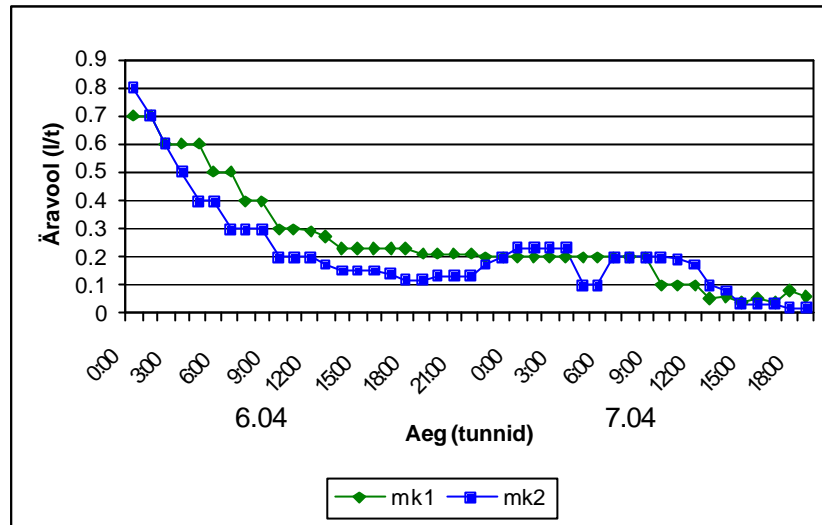


Joonis 74. Katuste äravoolude hulgad murukatuse pinnase sulaperioodil (31.03.05–5.04.05).

Pilviste, kuid mitte väga jahedate ilmadega 6. ja 7. aprillil oli selgelt näha, et haljaskatuse äravool hakkab lõppema. Tunniäravoolud jäid juba 0,4 l kanti, kusjuures mk1 äravool oli üldiselt suurem kui mk2 oma (joonis 75). 7. aprillil katkestas sula mõõtmise sadama hakanud vihm, mistõttu viimane tunniäravool registreeriti kl 17–18, mis oli mk1 puhul 0,06 l ja mk2 puhul 0,02 l. Siit võib teha järelduse, et lähiajal oleks äravool teisest äravoolust lõppenud ning mk1 äravool oleks umbes järgmise päeva lõunani veel üksikute tilkadena jätkunud. Vaatamata murukatuse äravoolu kindla lõpuaja fikseerimise ebatäpsusele võib sulaperioodi mõõtmistulemustega siiski rahul olla.

Sulaperioodi kokkuvõtvas tabelis (Lisa 3) on toodud äravooluhulgad ning päevade murukatuse kohal mõõdetud miinimum- ja maksimumtemperatuurid. Esimene näitab seda, kui madalale langes öine õhutemperatuur, ehk teisisõnu, kas toimus äravoolu jäätumine. Teine näitab, kui soojaks päeval katuse kohal õhk läks. See selgitab lume ja pinnase sulamise

kiirust. Miinimumtemperatuurid olid võrdluskatuse kohal samad, maksimumid pisut madalamad.



Joonis 75. Murukatuse äravoolude hulgad pärast pinnase sula äravoolu lõppedes (6.04.05–7.04.05).

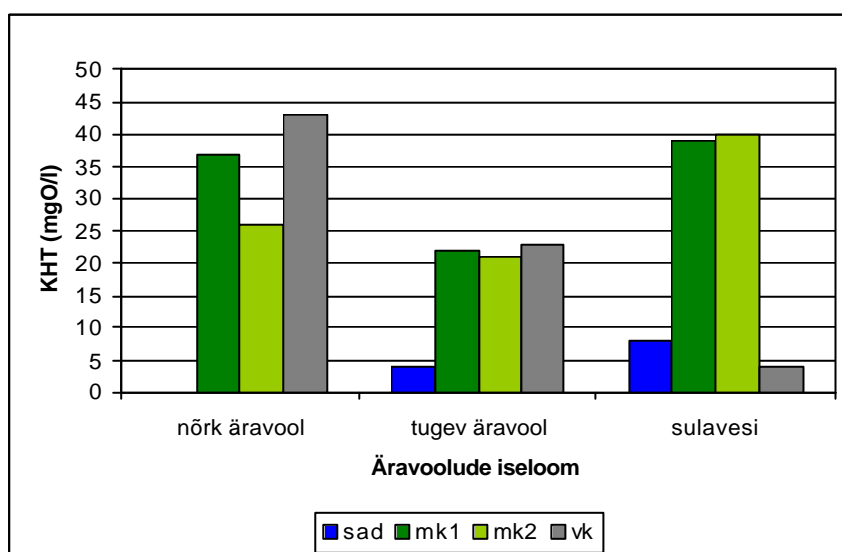
Tabelist selgub, et kokku tuli sulaperioodil murukatuse peaaegu 3200 l vett (mk1 1098 l, mk2 2097 l), võrdluskatuse aga 4066 l. Murukatuse esimesest äravoolust tuli 1000 liitrit vähem vett kui teisest äravoolust. Võrdluskatusest tuli 870 liitrit rohkem kui murukatusest, tulenevalt seal olnud paksemast lumekiht. Sõltuvalt päikesekiirgusest algas võrdluskatusest äravool hiljem, mis oli intensiivsem, aga lõppes 4 päeva varem kui murukatuse äravool. Kokkuvõtvalt võib öelda, et haljaskatusest sulab paks lumekiht ära suhteliselt kiiresti, pinnas ei suuda seda väga kinni hoida, samas on pinnas endas säilitanud enne külmumist tulnud sademevee või ka katuse pinnase enda soojuse mõjul talvel tekkinud vee jääna, mis alles hiljem sulama hakkab. Võrreldes bituumenkatusega suudab haljaskatus siiski sulaja rohkem äravoolu pikema aja peale jaotada ning mitte korraga väljutada. Täpseks võrdluseks kahe katuse sulamise intensiivsuse kohta on vaja siiski võrdseid tingimusi, sest päikese paistmisel katusel olevale lumekihtile, nagu eelnevalt selgus, on oluline mõju.

### 5.3. Murukatuse äravoolu veekvaliteedi analüüsi tulemused ja järeldused

Mõlemalt katusest võeti kolme äravoolu puhul proovid, mis lasti analüüsida AS Tartu Veevärk reoveelaboris. Proovid võeti hõreda vihma ajal tekkinud rahuliku äravoolu ajal (mõnes tilgareas äravool) (21.09.04), paduvihmast tekkinud tugevast äravoolust (kohati lausa purskas äravoolurenni otsast välja) 31. augustil 2004 ning lume sulamisest tekkinud

äravoolust pärast suure sula aega 26. ja 27. märtsil 2005. Proovides määrati KHT, BHT<sub>7</sub>, üldP, fosfaadid, pH, üldN, ammonium, nitraadid, sulfaadid ja üldkaredus. Võrdluseks on sademevesi ja murukatusest 80 m kauguselt võetud lumest sulanud vesi.

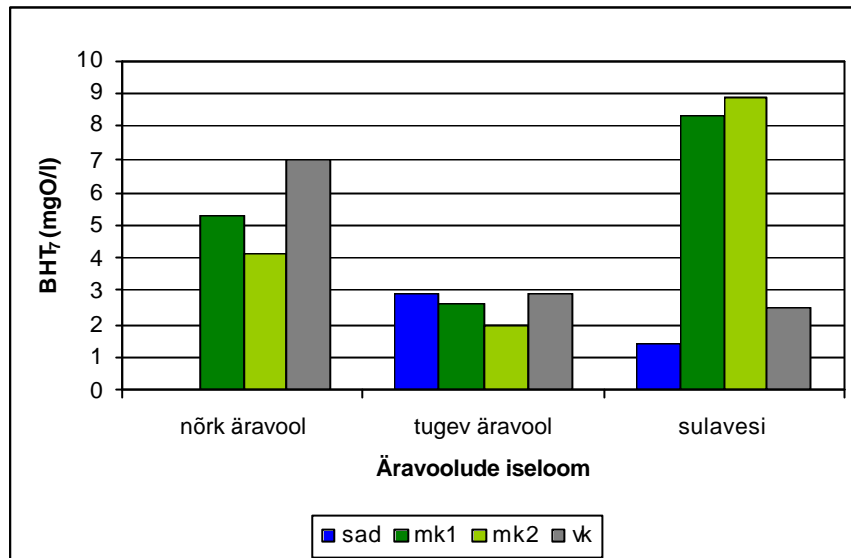
KHT väärtused on toodud joonisel 76. KHT väärtused on küllalt kõrged esimeses ja kolmandas proovis. Murukatusel on see nõrga vihma puhul põhjustatud nii katusele kogunenud tolmust kui sademete koosseisus olevatest mitmesugustest keemilistest ühenditest, mida just aeglaselt tulevas äravoolus on rohkem. Eriti tuleb esile mk1 proovi tulemus, sest äravool oli mk1 puhul aeglasem kui mk2 oma. Sulavee tulemused on võrdsed, põhjustatuna katusele ladestunud talvesaastast. Võrdluskatuse bituumenkattelt on arusaadav nõrga vihma tulemus, kuid üllatav on sulavee väga väike KHT väärtus (4 mgO/l), mis võib tuleneda asjaolust, et ajal, mil proov võeti, oli enamik lund sulanud ja suurem osa ühenditest minema uhtunud. Ka edaspidi on sama efekti sula puhul märgata. Paduvihma ajal olid tulemused võrdselt keskmiselt suured, põhjustatuna suurest äravoolu hulgast ei olnud saasteaineid vees nii palju kui kahe teise äravoolu puhul.



Joonis 76. KHT väärtused sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

BHT<sub>7</sub> väärtused on toodud joonisel 77. BHT<sub>7</sub> väärtused on suhteliselt sarnased nõrga ja tugeva äravoolu puhul. Esimesel juhul on orgaaniliste ühendite sisaldust näitava BHT<sub>7</sub> väärtused kõrgemad, sest vesi tuleb aeglaselt ja jõuab koguda rohkem aineid, teisel juhul on äravool kiire ja orgaanikat vette ei lisandu. Murukatuse puhul muutub vesi selle komponendi

osas isegi puhtamaks. Sulavee puhul äratavad tähelepanu väga kõrged BHT<sub>7</sub> väärtused murukatusel, mis võib olla põhjustatud lagununud taimejäänustest, mis nüüd orgaanilist ainet eritavad.

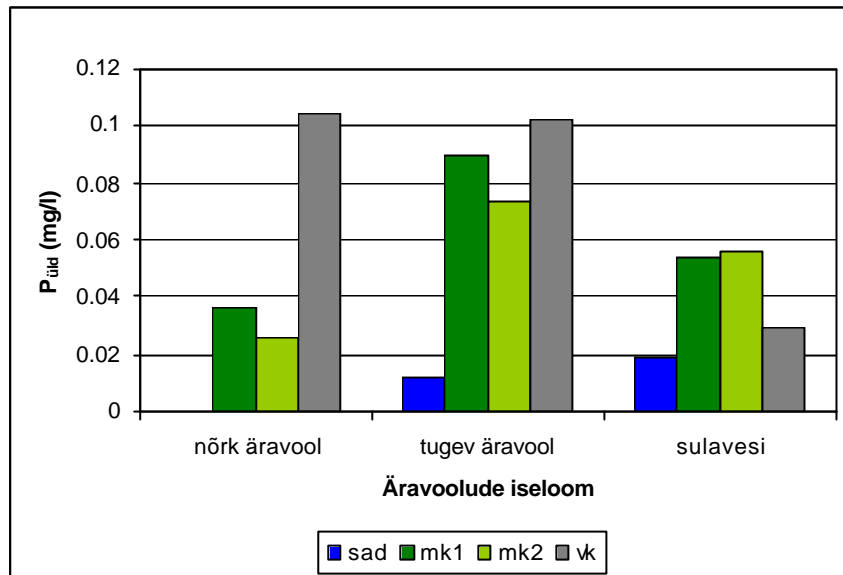


Joonis 77. BHT<sub>7</sub> väärtused sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

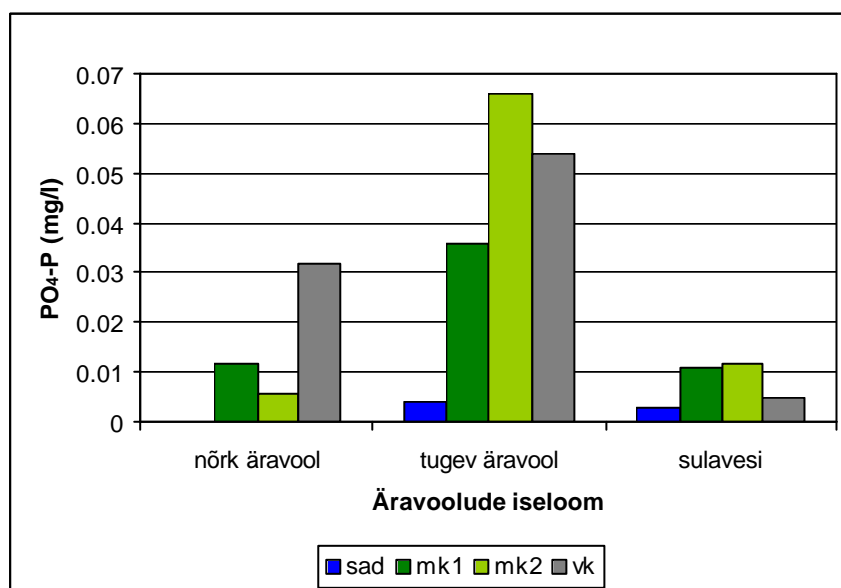
Üldfosfori puhul on näha (joonis 78), et nõrga äravoolu puhul tuleb seda bituumenkatusele sama palju kui tugeva saju korral, seega on SBS-kattele kogunenud tolmu ja muud saastet, mis üldfosfori sisaldust tõstavad. Murukatusel hoiavad nõrga äravoolu puhul substraat ja taimed fosfori kinni, suur sadu aga peseb ka murukatusest fosfori välja. Sula puhul on haljaskatusele sarnane seis, võrdluskatusele on suure sulaga aga puhtaks saanud. Põhja-Carolina uurijad leidsid, et aasta pärast murukatuse rajamist on murukatuse äravoolus üldP 1,2 mg/l, tingituna substraadikihi sisalduvast kompostist [Moran, 2003]. Uuritavale murukatusele pole väetist lisatud, seetõttu ei saa siin nii kõrgeid kontsentratsioone tekkida.

Fosfaatfosfori sisalduse puhul on põhimõte sarnane üldfosforiga (joonis 79). Nõrga saju puhul hoiab murukatus fosfaadid kinni, bituumenkattelt satub seda äravoolu rohkem; veel rohkem satub fosfaate äravoolu suure vihma ajal, mil vihm katuse puhtaks peseb. Sula puhul tuleb fosfaate mõlemalt katusele väga vähe – seega on suur sula katused fosfaadist proovivõtu ajaks juba puhastanud. Saksamaal teostatud uurimuses [Kolb, 2002] leiti haljaskatusesüsteeme uurides, et PO<sub>4</sub>-P kontsentratsioon äravoolus kõigub 0,26 ja 1,88 mg/l vahel, erandina kuni 6,70 mg/l. Põhjuseks on ilmselt toitaineteküllas substraadikiht. Rootsis teostatud uurimuses

[Berndtsson, 2004] kõikusid saadud PO<sub>4</sub>-P kontsentratsioonid haljaskatuste äravooludes 0 ja 0,4 mg/l vahel, kahel katsekatusel kuni 1,8 mg/l.



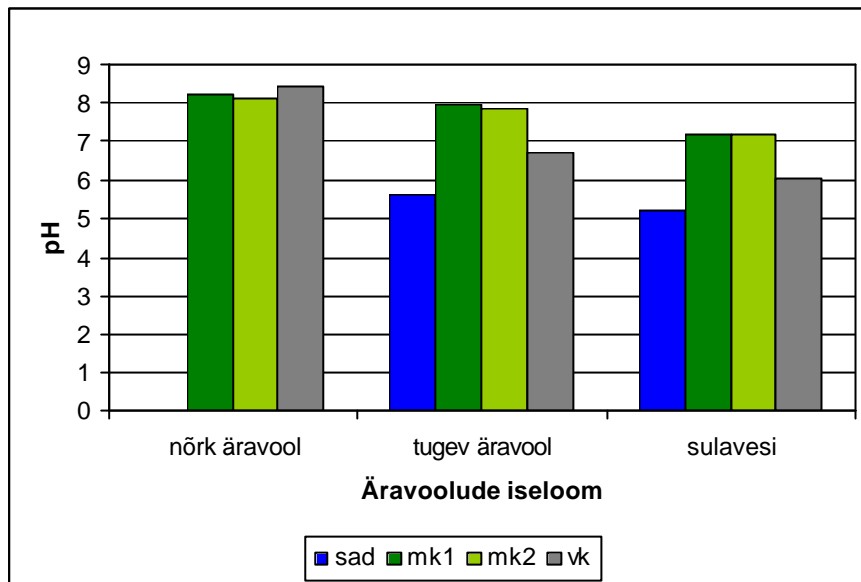
Joonis 78. Üldfosfori sisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.



Joonis 79. Fosfaatide sisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

Fosfori väljauhtumine kergkruusast paduvihma korral on üllatav tulemus, sest kergkruusa (LECA – *Light Expanded Clay Aggregates*) kasutatakse sageli tehismärgalades filtraatmaterjalina, mille peamiseks eesmärgiks on just fosfori sidumine [Johansson, 1997, Jenssen et al., 2005].

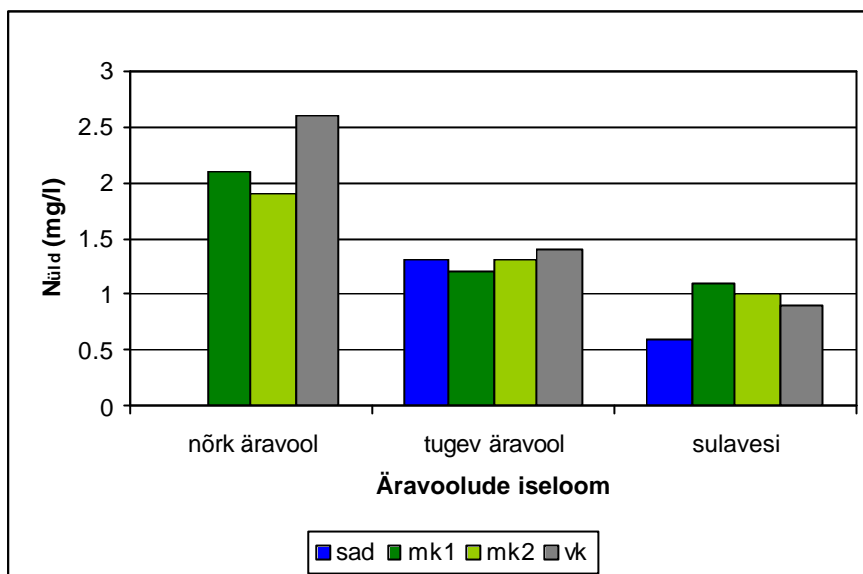
Joonisel 80 on toodud pH väärtused, mis neutraalse vihma piirväärtusest 5,6 tõusevad mitme ühiku võrra kõrgemale. Eriti kõrge pH väärtus on nõrga saju korral. Murukatusel on kahel teisel juhul suurem pH tingitud kergkruusast (karbonaadisisalduse tõus), võrdluskatusel jääb pH siis madalamaks.



Joonis 80. pH väärtused sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

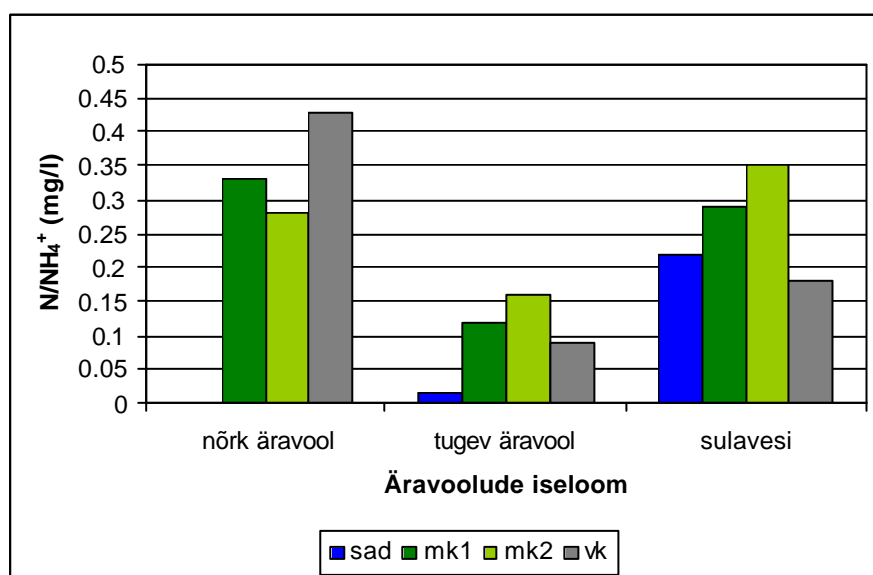
Üldlämmastiku sisaldus (joonis 81) oli katuste äravooludes suhteliselt võrdne. Nõrga saju korral tuli seda rohkem, suure saju puhul jäi samaks vihmavees olnuga ning sulaga oli ka sellest väiksem, kuigi võrdluseks olnud lumesulaveest suurem. Lämmastik satub katustele peamiselt kas õhust või ka bakterite tegevuse toimet. Põhja-Carolina uurijad leidsid, et aasta pärast murukatuse rajamist on murukatuse äravoolus üldN umbes 5 mg/l, tingituna substraadikihis sisalduvast kompostist [Moran, 2003]. Uuritaval murukatusel oli lämmastikusisaldus madalam, sest siin pole väetisi kasutatud. Rootsi uurimuses [Berndtsson, 2004] saadi murukatuste äravooludes sisalduva üldlämmastiku vahemikuks 0,4–2,7 mg/l.





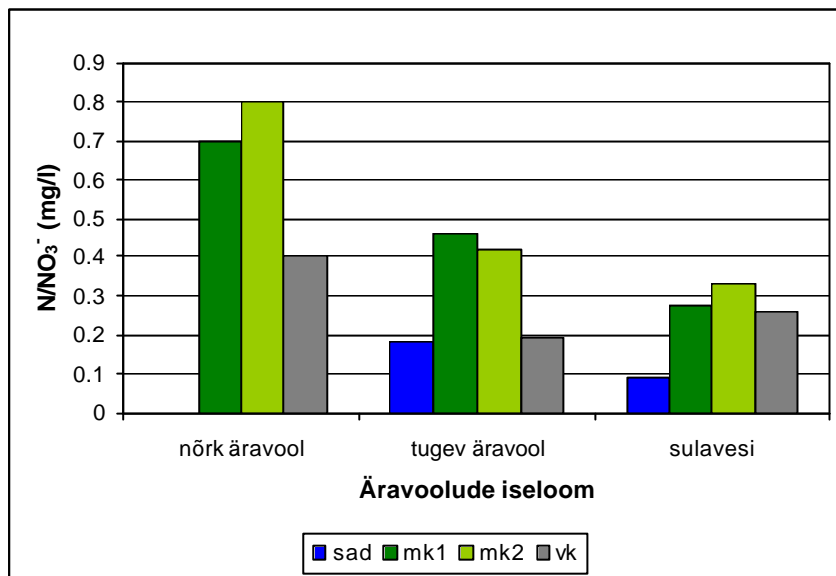
Joonis 81. Üldlämmastiku sisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

Nõrga äravoolu korral on ammooniumi sisalduse muutus proovides samasugune kui üldlämmastiku oma (joonis 82). Teisel ja kolmandal juhul suureneb see murukatusel rohkem kui võrdluskatusel, rolli mängivad siin jällegi substraadikiht ning taimed. Võrdluskatuse nõrgvees oli ammooniumi hulk võrreldes lumesulaveega isegi veidi väiksem. Tugeva vihmajärgu puhul oli sademevees ammooniumi  $<0,015$  mg/l, kuid kuna vihm pesi katuse läbi, oli äravoolus ammooniumi rohkem.



Joonis 82. Ammooniumi sisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

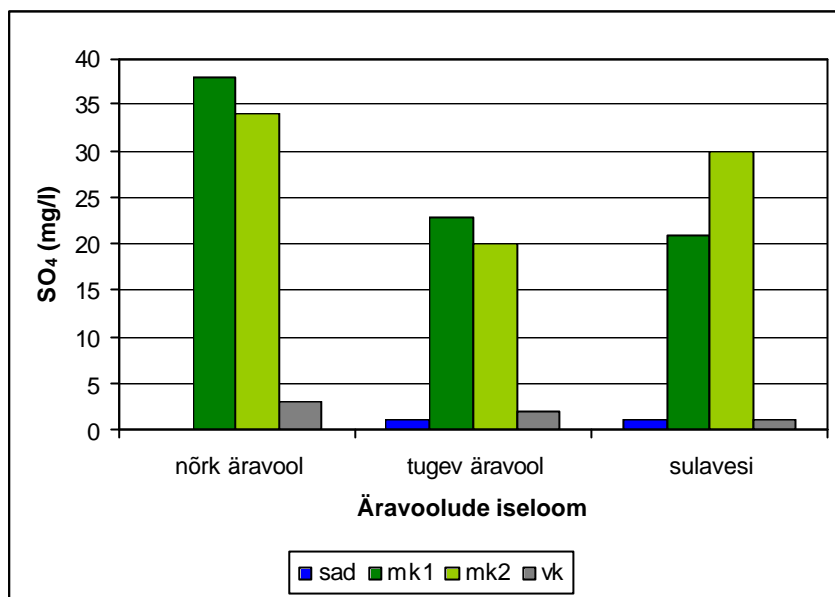
Nitraadisisaldus (joonis 83) on taimede tõttu murukatusel kõigil kordadel suurem, vastavalt äravoolu iseloomule. Ka bituumenkatusele tuleb seda alla, eriti aeglase väljavooluga. Tugeva äravoolu puhul võrdluskatus vihmades olnud nitraadihulgale lisa ei annagi. Kolb (2003) on murukatuste uuringus saanud kõrgemaid NO<sub>3</sub>-N kontsentratsioone kui käesolevas uurimuses saadi. Nende tulemustel ületas 50 mg/l neli katusesüsteemi kuuest, põhjuseks taas väetamine, mis mõjutab oluliselt substraadi toitainetesisaldust.



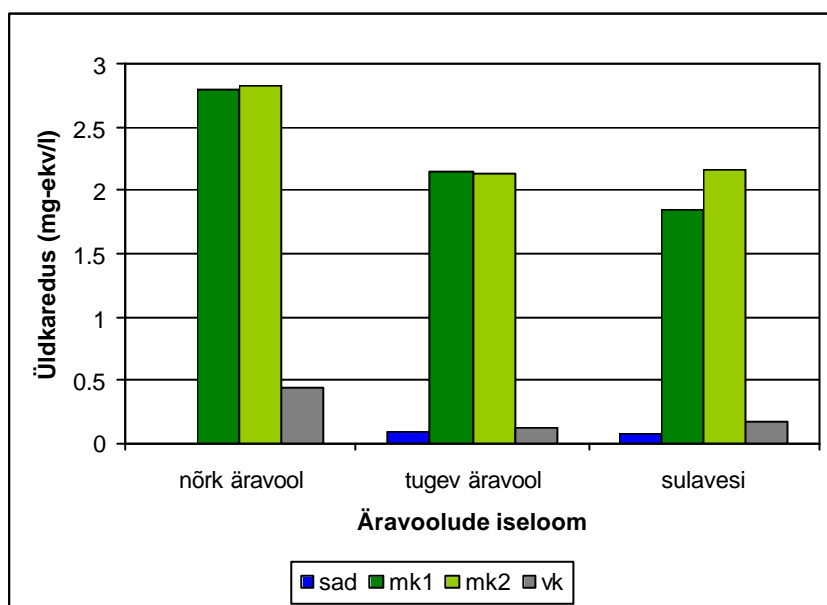
Joonis 83. Nitraadisisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

Sulfaatide puhul on jooniselt 84 väga selgelt näha, et seda tuleb alla ainult murukatuse äravooluga, bituumenkatusele ei tulegi vihmavees olnust rohkem. Sulfaadid pärinevad kergkruusast, seetõttu on nende sisaldus suurim katusest läbiimbunud aeglase äravoolul, kuid ka kahel teisel juhul on sisaldus piisavalt suur.

Üldkareduse kohta kehtib täpselt sama, mis sulfaatide kohta. Üldkareduse ehk Ca ja Mg soolade allikaks on jällegi kergkruus, mis põhjustab äravoolus suuri üldkareduse kontsentratsioone võrreldes võrdluskatusega (joonis 85).



Joonis 84. Sulfaatide sisaldus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.



Joonis 85. Üldkaredus sademevees, murukatuse ja võrdluskatuse nõrgvees.

Veekvaliteedi osa kokku võttes ei saa väita, et kummaltki katusest läbi tulnud vihmavee kvaliteet oleks teisest parem. Mõlemal katusel on äravooluvee kvaliteedile omad mõjud, mis olenevalt saju ja äravoolu iseloomust välja tulevad. Küll äratav tähelepanu kergkruusast tulenevad kõrge sulfaatide sisaldus ning üldkaredus. Kergkruusast fosfori väljauhtumine intensiivse saju korral viitab aga vajadusele lähemalt uurida selle materjali käitumist tehismärgalades suurte hüdrauliliste koormuste korral. Teised näitajad kõiguvad vastavalt olukorrale, olles kord paremad murukatusel, kord bituumenkatusel. Seega on kindlasti vajalikud edaspidised täpsed uurimused, et võiks midagi kindlalt väita. Haljaskatuse puhul on

vajalik teada ka tema kihtide, eriti kergkruusa (nii värske kui aastaid katusel olnud) täpset mõju vee kvaliteedile; ka taimede osa nõuab täpsustamist. Seniks on käesolevas alapeatükis toodud tulemused piisavalt heaks alusmaterjaliks, et teemat edasi uurida.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva töö käigus uuriti haljaskatuse kasulikke omadusi – temperatuuri reguleerimist ja sademevee kinnipidamise võimet – Eesti kliimatingimustes. Lisaks vaadeldi katuselt allavoolava vee kvaliteeti. Kõike seda võrreldi bituumenkatusega kui kõige tavalisema lamekatuse tüübiga. Samuti anti ülevaade mujal maailmas tehtud samateemalistest uurimustest.

Uurides temperatuure murukatusel, leiti, et suvekuudel juunist augustini olid murukatusel kõrgeimad temperatuurid kergkruusa pinnal (max 54,8°C), kuid samas jahtus see ka kõige rohkem (min 4,7°C). Vaatamata sellele oli temperatuuri kõikumine 10 cm sügavusel vaid 23,9°C, temperatuur pinnases oli ka stabiilsem. Kuigi päeval soojenev ja õhtul jahtuv kergkruusa pind toob kaasa ka pinnasetemperatuuride vastava muutumise, kõiguvad need siiski vähem ja kaitsevad sedamoodi aluskatuse kihte suurte temperatuurikõikumiste eest. Sügiskuudel (september–november) kõikusid temperatuurid peamiselt jahedate ja pilviste ilmade tõttu vähe. Talvel (detsember–märts) olid temperatuurid madalad nii pinnal (min –13,6°C) kui pinnases (min –9,8°C), sest katusepinda kattis tuiskude tõttu õhem lumekiht kui tagavaramöötekohas, kus temperatuurid olid paari kraadi võrra kõrgemad. Seega on ka murukatusel talvel oluline piisava paksusega (20 cm) soojust hoidev lumekiht. Kevadel kõikusid temperatuurid päevase päikese ja jahedate ööde tõttu märgatavalt, pinnal rohkem, pinnases vähem.

Võrdluskatusel käib bituumenkatuse pinnatemperatuur suvekuudel kaasas õhutemperatuuriga, päike soojendab pinda veelgi. Pinnatemperatuurid kõikusid suvel 46,6°C. Sügiskuudel pinna- ja õhutemperatuur kattuvad, päikeselistel päevadel soojeneb pind siiski rohkem. Mõõdetud talveperioodil kattis katust kuni 20 cm paksune lumekiht, see hoidis pinnatemperatuuri vaatamata õhutemperatuuri suurtele kõikumistele suhteliselt stabiilsena.

Võrreldes katuste temperatuure eri aastaegade eri päevadel, on päikeseliste päevade juures näha, et kergkruusa pind soojeneb ja ka jaheneb kiiremini kui bituumenkatuse pind, jäädes ööseks kõige külmemaks. Temperatuur 10 cm sügavusel murukatuse pinnases tõuseb aeglaselt pärastlõunase maksimumini, seejärel hakkab temperatuur sama aeglaselt langema, jäädes ööseks kõige kõrgemaks. 5 cm sügavusel teeb temperatuur samasuguse käigu, kuid on päeva esimesel poolel 10 cm omast kõrgem ning õhtul madalam. Pilves ja vihmastel päevadel

on pinnatemperatuurid võrdsemad ja kõikumised väiksemad. Õhutemperatuurid on olnud enamasti võrdsed või on murukatuse kohal olev õhk sinna kauem paistva päikese tõttu mõned kraadid kõrgem.

Talvapäevade võrdluses on näha lume soojahoidev mõju – mida vähem seda on, seda enam mõlema katuse pinnatemperatuurid kõiguvad ning mida paksem on lumekiht, seda stabiilsem on temperatuur lume all, sõltudes siiski õhutemperatuurist. Piisavalt paksu lumekihi all olev murukatuse substraadikiht lisab lume soojustusele oma osa. Seega on temperatuur murukatuse pinnases mitu kraadi kõrgem kui võrdluskatuse pinnal, kuigi lumekiht on sama paks. Võrreldes murukatuse kahe mõõtekoha tulemusi, on näha, et kui pinda katab õhuke lumekiht, kõigub temperatuur ka 10 cm sügavusel pinnases rohkem ja külmub enam kui paksu lumekihi all olev pinnas. Kevadpäevad sarnanesid üldilmelt teistele päevadele. Nendel kevadpäevadel, mil päeval päike soojendab ning öösel taas kõik jäätab, on väga tähelepanuväärne murukatuse pinnasetemperatuuri amplituud ( $1,3^{\circ}\text{C}$ ) võrreldes pinnaga ( $20,1^{\circ}\text{C}$ ). Seega mitte väga kuumadel päevadel pinnal toimuv temperatuurikõikumine pinnase temperatuure ei mõjuta.

Kogu mõõteperioodi ulatuses mõlema katuse pinnatemperatuure võrreldes on näha, et bituumenkatuse ööpäeva keskmised on suveperioodil murukatuse omast kõrgemad. Suviseid murukatuse pinnase (10 cm) ja võrdluskatuse pinnatemperatuuride amplituude võrreldes saadi tulemuseks, nagu ka eeldatud, et murukatuse substraadikiht vähendas suviseid temperatuurikõikumisi  $24,2^{\circ}\text{C}$  võrra. Suveajal  $30^{\circ}\text{C}$  ületavaid päevi oli bituumenpinnal 63, kuid murukatuse pinnases vaid 9. Mõlema katuse pinnatemperatuure võrreldes saadi üllatavaks tulemuseks, et murukatuse puhul on amplituud suurem ( $55,1^{\circ}\text{C}$ ), kuid võrdluskatus erineb sellest vaid  $3,5^{\circ}\text{C}$ . Suve õhutemperatuurid mõlema katuse kohal on TÕ Füüsikahoone ilmajaamast pärit võrdlustemperatuurist kuni  $10^{\circ}\text{C}$  kõrgemad, mis kinnitab üldlevinud arusaama, et katuste, ka kergkruusakatuse soojenemine soodustab suvel linnaõhu ülekuumenemist. Seega tuleb kergkruusal põhinev haljaskatus kiiresti ja võimalikult tihedalt haljastada.

Vee kinnipidamise võimet uuriti kolmel sajujuhul. 2,1 ja 2,6 mm sadude korral hoidis haljaskatus vee endas: äravool oli vaid vastavalt 32,6 ja 19,3 l võrreldes võrdluskatusega vastavalt 290 ja 340 l. Murukatuse äravool lõppes alles 10 tundi pärast võrdluskatuse oma; see kõik vastab ka eeldustele, mis töö alguses tehti. Mõõdeti ka äikeselist paduvihma: esimesel viiel tunnil sadas 12,1 mm sademeid, millele järgnesid väiksemad sajud (kokku 18,2

mm). Äravoolu jälgimisel oli näha, et tugevat paduvihma ei suuda haljaskatus endas kinni hoida – äravoolude hulgad olid suurte paduvihmade osa kokkuvõttes peaaegu võrdsed (2000 l). Märgatav oli siiski poole tunnine viivitus esimese paduvihma ajal ning hilisematel sadudel märgatav kinnipidamisvõime.

Jälgiti ka haljaskatuse sulamist 17 päeva jooksul, mis andis üllatavaid tulemusi. Oodatav oli, et katuse poolel, kus kasvas rohkem taimi, tuli vett vähem ja poolelt, kus vähem, tuli vett 995 l rohkem. Kui lumi (22 cm) murukatusele ühe päevaga ära sulas, hakkas äravool lõppema, kuid algas paari päeva pärast taas, sest jäätunud substraadi alumine kiht hakkas alles siis sulama. Kokku tuli haljaskatusele sulaga alla 3195 l vett, võrdluskatusele 870 l rohkem, sest seal oli ka lumekiht paksem (30 cm).

Kolme äravoolu puhul uuriti ka vee kvaliteeti. Hõreda vihma ja rahuliku äravooluga olid KHT, BHT<sub>7</sub>, fosfori ja lämmastiku sisaldus bituumenkatuse vees kõrgemad kui murukatusele, pH suurenes mõlemal katusele üle kahe ühiku. Paduvihma ajal võetud proovid olid lahjemad, fosfaate ja nitraate uhtus vihm murukatusest rohkem välja kui võrdluskatusele. Lume sulaveses olid kõikide komponentide väärtused murukatuse puhul kõrgemad katusesse talve jooksul kogunenud saasteainete tõttu. Sulfaate ja Ca-Mg soolasid oli haljaskatuse äravoolus igal korral rohkem, tulenevalt kergkruusast. Nii nagu sai ka eeldatud, oli murukatuse vee kvaliteedis näha taimede mõju, kuid toitainete ja orgaaniliste ühendite üldiselt suur hulk murukatusele oli pisut üllatav. Võrreldes saadud veekvaliteedi tulemusi varasemate uurimustega, leiti, et kui murukatust mitte väetada, on äravooluvesi palju puhtam võrreldes väetist sisaldava katuse omaga.

Kokkuvõtteks võib väita, et haljaskatus suudab Eesti kliimatingimustes piisavalt hästi kaitsta aluskatuse kihte ja katuseembraani ekstreemsete temperatuuride eest. Nõrgad vihmad peab murukatuse edukalt kinni, kuid paduvihm jookseb katusest siiski kiiresti läbi. Murukatuse vee kvaliteet on varieeruv sõltuvalt äravoolu intensiivsusest ja katusele kogunenud saastast, oma panuse annab ka kergkruus. Kindlasti on vaja kõikides toodud valdkondades uurimusi jätkata, tehes seda võimalikult võrdsetes võrdlustingimustes, et saada veel täpsemaid tulemusi. Samuti on edasise töö käigus hädatarvilik koostada murukatuste temperatuuri- ja veerežiimi mudelid, planeerimaks paremaid materjalide kombinatsioone ekstreemsete tingimuste tarbeks.

## **TÄNUAVALDUSED**

Soovin tänada eelkõige AS-i Triip juhti Juhan Peedimaad ning tema firma sõbralikku kollektiivi, tänu kellele see töö teoks sai. Kui AS-il Triip ei oleks murukatust olnud, ei oleks ka sellist tööd sündinud. Samasugune tänu ka Sadamateatri juhtkonnale selle eest, et lubati igati sobilikku võrdluskatust murukatusele pea aasta jooksul jälgida. Tänan töö juhendajat professor Ülo Manderit tööle kaasaaitamise ja-elamise eest ning kõiki teisi igasuguse nõuga abiks olnud ülikooli töötajaid, sh. eriti dotsent Jaak Jaagust.



## TEMPERATURE CONTROL AND WATER RETENTION CAPABILITY OF GREENROOF IN CLIMATIC CONDITIONS OF ESTONIA

### Summary

Greenroofs are a sphere of ecotechnology, gaining more and more popularity. Their usefulness has often been described. First of all, their capability to reduce temperature differences and fluctuations and rainwater runoff is pointed out. This paper describes how a LECA-based greenroof works in Estonian climate, observing an existing greenroof in Tartu. The task was to assess the thermal performance, stormwater retention potential and runoff water quality of greenroof and to compare those with modified bituminous membrane roof, as a reference surface.

Greenroof area is 120 m<sup>2</sup>, the same area had the reference roof. The temperature was measured by sensors and automatic recorder on the surface of both roof surface and above the roof at 1 m, and also at the 5 and 10 cm deep in soil. Storm water runoff was measured manually with canisters. Water samples were analyzed for pH, BOD<sub>7</sub>, COD, totalN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, totalP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> by the AS Tartu Veevärk.

In summer months from June till August the highest temperatures (max 54.8°C) occurred on the LECA surface but it also cooled easily down to the minimum 4.7°C. Nevertheless, the temperature fluctuation at the depth of 10 cm was only 23.9°C and the soil temperature was more stable as well. Though LECA surface, heating up by daytime and cooling down in the evening, involves corresponding changes in the soil temperature, the latter fluctuates notably less and so the base roof is protected from large temperature fluctuations. In autumn months (September–November) temperatures did not change much due to cool and cloudy weather. In winter (December–March) temperatures were low both at the surface (min -13.6°C) and in the soil (min -9.8°C) because the snow coverage was thin due to ablation by snowstorms. At the other measurement location, where the snow was thicker, the temperatures were higher. In spring the temperatures were fluctuated considerably due to daily sunshine and night frosts, more at the surface than in the soil.

On the reference roof in summer the temperatures of bituminous membrane keeps up with the air temperature, whereby the sun heats the surface even more. Temperature of the membrane fluctuated 46.6°C in summer. In autumn the membrane and air temperatures mostly coincide, except in sunny days, when the membrane warmed more. In measured winter period the reference roof was covered by 20 cm thick snow layer which kept the surface temperature relatively stable regardless of great fluctuations of air temperature.

Comparing temperatures of the roofs in separate days of different seasons, we can see, that the sunny days LECA surface heats and cools faster than the bituminous roof's surface remaining most cool by night. Temperature at the depth 10 cm rises slowly until afternoon, then begins to fall same slowly. At the depth 5 cm the temperature runs in the same way, but is higher before noon and lower after noon. In cloudy and rainy days the surface temperatures are more even and fluctuations are smaller. Air temperatures are mainly equal or the air above greenroof is some degrees warmer due to sunshine.

Comparing the winter days, insulating effect of the snow cover is apparent. The thinner the snow, the more the temperature of the surface fluctuations. The thicker the snow, the more stable is the temperature under the snow cover, depending, however, on the air temperature. The substrate layer contributes to thermal effect of the snow layer. Thus the greenroofs soil temperature is by several degrees higher than the temperature of the reference roof surface in spite of equal thickness of the snow coverage. Comparing results from two measurement locations, it can be seen that in case of thin snow layer the temperature at depth 10 cm fluctuates more and freezes more than the soil under thick snow location. Spring days resembled to other days. When the daily sun heats and night freezes, the amplitudes of the soil temperature (1.3°C) is remarkably less than that of the surface (20.1°C). Thus the temperature fluctuation in not very hot days does not influence the soil temperatures.

Comparing the surface temperatures of both roofs throughout the observation period, we see, that in the summer period the average daily temperatures of the bituminous roof are higher than those of the greenroof. Comparing the summertime temperature amplitudes of the greenroof at depth 10 cm and of the reference roof membrane. I came to the conclusion, that greenroof's substrate layer decreased summer temperature fluctuations by 24.2°C. The number of days with temperature over 30°C was 63 on the bituminous roof, but only 9 at depth 10 cm of the greenroof's soil. The summer air temperatures above both roofs are up to

10°C higher than the air temperatures measured in nearby observatory. This result affirms the knowledge of overheating the air of urban (built-up) areas by heating effect of roofs (incl. LECA roofs). As the LECA's temperature fluctuations in summer even a bit more than the temperature of the bituminous membrane, immediate establishment of vegetation is recommended.

Water retention capability was investigated in three rain events. In case of rainfall of 2.1 and 2.6 mm the greenroof retained the rainwater well – runoff was respectively 32.6 and 19.3 l, while the runoff from the reference roof was respectively 290 and 340 l. Runoff from the greenroof ceased 10 hours later than runoff from the reference roof. Exceptionally in course of 4 days a 18.2 mm rainfall took place. 12.1 mm of it fell during first 5 hours. It appeared that in case of heavy rainstorm greenroof can delay the runoff up to half an hour, but not fully retain it. From both roofs estimately ca 2000 l water ran off during those hours. Thus, a greenroof retains water of rain event ca 2 mm, but heavy instant rain runs off relatively quickly, though the final part of the runoff is dragging as its characteristic for greenroofs.

Also melting of the greenroof was observed during 17 days. It was to be expected that from the more plant-covered side of the greenroof water came off less and slower, from the less plant-covered side more (by 995 l) and faster. When the snow on the greenroof melted within one day, the runoff was about to cease, but started again after a couple of days, as the lower part of the substrate layer began to melt only then. The total runoff from the greenroof was 3195 l, from the reference roof 4066 l.

Also water quality was studied at three runoff events. When the rain and runoff were moderate, concentrations of COD, BOD<sub>7</sub>, TN and TP were higher at the bituminous roof; pH increased by both roofs more than by 2 units. In samples, taken in case of heavy rainstorm, the components were less concentrated, as the rain washed more phosphates and nitrates out of the greenroof. In snowmelt water concentrations of all components were greater by the greenroof, because the greenroof contained more wintertime pollutants. Besides, the greenroof runoff contained always more sulphates and Ca-Mg-salt because of their presence in LECA-material.

As a summary, we can assert, that in Estonian climatic conditions an extensive greenroof is sufficiently capable to protect the layers of the base roof and roof membrane from extreme

temperatures. Light rain is retained, but heavy rain however penetrates the greenroof media. Quality of greenroof's runoff water is variable, depending on the runoff character and pollutants, accumulated on the roof, and LECA's components too. Further investigations are surely necessary to get more exact results on all these themes.

## KASUTATUD KIRJANDUS

**Bass, B., Baskaran, B., 2003.** Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaption Strategy for Urban Areas. National Research Council, Institute for Research in Construction. <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc46737/nrcc46737.pdf> (21.12.04).

**Begrünte Dächer, 1995.** Schriftenreihe Umwelt. Nr 216. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

**Berndtsson, J. C., 2004.** The influence of extensive vegetated roofs on runoff quality. University of Lund, Department of Water Resources Engineering. <http://www.greenroof.se/pdf/water-runoff.pdf> (12.11.04).

**Dachbegrünung. Leicht aber Richtig, 1990.** Alfred Forster AG.

**Gründächer – Aufbau und Wirkungsweise, 2003.**  
<http://www.biw.fhd.edu/alumni/2002/ziemann/gruendaecher/> (14.05.03).

**Hallik, J., 2004.** Murukatuste kiirgusbilansi mõõtmise. Keskkonnatehnoloogia projekt, TÜ Geograafia instituut.

**Innovationsreport, 2003.**  
[http://www.innovationsreport.de/html/berichte/architektur\\_bauwesen/bericht-4337.html](http://www.innovationsreport.de/html/berichte/architektur_bauwesen/bericht-4337.html)  
(18.09.03).

**Jensen, P. D., Maehlum, T., Krogstad, T., Vrale, L., 2005.** High performance constructed wetlands for cold climates. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 40, 6–7, 1343–1353.

**Johansson, L., 1997.** The use of LECA (Light Expanded Clay Aggregates) for the removal of phosphorus from wastewater. Water Science and Technology, 35, 5, 87–93.

**Krusche, P., Krusche, M., Althaus, D., Gabriel, J., 1982.** Ökologisches Bauen. BauVerlagGmbH, Wiesbaden und Berlin, lk 98–112.

**Kolb, W., 2003.**

[\*\*Koorberg, P., 2001.\*\* Ekstensiiivse katusehaljastuse loomine ja selle linnaökoloogiline tähendus. Lõputöö maastikukaitse ja -hoolduse erialal, EPMÜ Keskkonnakaitse instituut.](http://www.landwirtschaft.bayern.de/alle/cgi-bin/go.pl?region=home&page=<br/><u>http://stmlf.bayern.de/LWG/landespflge/info/gruend/gruend.html</u> (7.10.03).</a></p></div><div data-bbox=)

**Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F., Laar, M., Gusmao, F., 2001.** Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate. Technology Resource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development, Vol 2.

**Levald, A., 2003.** Rippuvad aiad ja haljad katused. Äripäeva Oma Maja, november.

**Liu, K., 2003.** Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. National Research Council, Institute for Research in Construction.

<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc46294/nrcc46294.pdf> (21.12.04).

**Maxit Estonia, 2005.** Fibo kergkruus.

<http://www.maxit.ee/index.php?lang=est&id=9,8,9&pid=181> (10.05.05).

**Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2003a.** Greenroofs as a part of urban water management.

Department of Land Management, KULeuven, Belgium.

<http://www.agr.kuleuven.ac.be/lbh/lbnl/ecology/pdf-files/pdf-art/jeroen/procWRM2003.pdf>

(2.10.03).

**Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2003b.** Effect of orientation on the water balance of greenroofs. Department of Land Management, KULeuven, Belgium.

<http://www.agr.kuleuven.ac.be/lbh/lbnl/ecology/pdf-files/pdf-art/jeroen/procgreenroofs.pdf>

(2.10.03).

**Moran, A., Hunt, B., Jennings, G., 2003.** A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. <http://www.bae.ncsu.edu/greenroofs/ASAE2003paper.pdf> (3.12.03).

**Moran, A., Hunt, B., Jennings, G., 2004.** A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. <http://www.bae.ncsu.edu/greenroofs/GRHC2004paper.pdf> (21.12.04).

**Fibo kergkruus, 2004.** Optiroc AS.

**Strandberg, M., 2001.** Ökoloogilistest tehnoloogiatest ehituses. Ehituskaar, aprill.

**The Cardinal Group Inc., 2003.** <http://www.peck.ca/grhcc/index.html>, (24.04.03).

**Theodosiou, T. G., 2003.** Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. Energy and Buildings, 35, 909–917.

**TÜ Füüsikahoone ilmajaam, 2005.** <http://ael.physic.ut.ee> (1.05.05).

**Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., Sia, A., 2003.** The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings, 35, 353–364.

**LISA 1.** Katuste kuude keskmised, miinimum- ja maksimumtemperatuurid (1 – murukatusel 10 cm sügavusel, 2 – murukatusel 5 cm sügavusel, 3 – murukatuse pinnal, 4 – murukatuse kohal, 5 – võrdluskatuse pinnal, 6 – võrdluskatuse kohal).

Kuu	Keskmine temperatuur						Miinimumtemperatuur						Maksimumtemperatuur		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
<b>06.</b>	16,9	16,6	17,4	15,1	18,7	15	10,8	8,9	4,7	6,2	6,1	6,5	28,6	31,1	48,8
<b>07.</b>	21,2	20,9	21,4	18,7	23,8	18,6	13,9	12,2	8,8	10,1	9,2	10	32	32,1	49
<b>08.</b>	20,5	20,3	21,2	18,8	22,3	18,8	10,3	11,6	5,6	5,8	6,6	6	34,2	34,7	54,8
<b>09.</b>	13,3	13,1	13	12,9	13,2	12,9	6,8	5,5	2	2,5	-	2,9	21,5	23,2	37,5
											1,1				
<b>10.</b>	6,7	6,3	6,1	6,6	6,2	6,5	1,1	-0,6	-2,5	-2,2	-	-2,3	14	16,5	19,9
											5,2				
<b>11.</b>	2,1	1,4	0,7	0,2	3,7	4,1	-1,4	-3,8	-4,9	-7,5	-	-2,8	6,8	9,8	9,9
											3,9				
<b>12.</b>	0,2	0,1	0	0,5			-0,9	-3,1	-6,1	-6,2			0,8	2,9	4,2
<b>01.</b>	1	0,2	-0,1	-1			-1	-3,6	-4,9	-			5,4	5,7	6,8
											20,1				
<b>02.</b>	-2,5	-3,7	-3,9	-6,8	-2,6	-7,4	-9,8	-	-	-	-7	-	-0,1	0	0,3
								12,4	13,6	21,4		21,4			
<b>03.</b>	-2,7	-3,1	-3	-4,6	-1,7	-5	-8,8	-	-	-	-8	-	1,5	7,6	20,5
								10,4	11,2	17,3		24,6			
<b>04.</b>	6,3	6,4	7,4	6,3	8,8	6,2	-0,1	-0,7	-5,7	-4,1	-	-3,8	18,7	23,4	38
											4,5				



**LISA 2.** Ööpäeva keskmised, miinimum- ja maksimumtemperatuurid katustel erinevatel võrdluspäevadel.

Näitaja	Keskmine (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Amplituud (°C)
<b>Päikesepaisteline suvepäev (6.08.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	26,5	20,4	34,2	13,8
Mk 5 cm sügavusel	26,1	19,1	34,7	15,6
Mk pinnal	28,2	14,7	54,8	40,1
Mk 1 m kõrgusel	22,6	14,5	33,5	19,0
Vk pinnal	31,6	17,6	52,7	35,1
Vk 1 m kõrgusel	23,4	14,7	34,8	20,1
<b>Vahelduvalt pilves suvepäev (16.07.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	21,1	16,7	26,0	9,3
Mk 5 cm sügavusel	20,8	14,8	28,1	13,3
Mk pinnal	20,7	10,3	40,4	30,1
Mk 1 m kõrgusel	18,4	11,2	27,1	15,9
Vk pinnal	23,9	12,8	43,4	30,6
Vk 1 m kõrgusel	17,5	11,1	26,6	15,5
<b>Vihmane suvepäev (27.08.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	15,9	14,0	17,8	3,8
Mk 5 cm sügavusel	15,6	13,5	18,1	4,6
Mk pinnal	15,2	10,6	22,4	11,8
Mk 1 m kõrgusel	14,9	11,5	18,6	7,1
Vk pinnal	16,5	12,3	22,2	9,9
Vk 1 m kõrgusel	15,1	11,7	19,1	7,4
<b>Päikesepaisteline sügispäev (14.10.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	2,7	1,0	5,8	4,8
Mk 5 cm sügavusel	2,2	-0,5	8,7	9,2
Mk pinnal	1,3	-2,2	13,4	15,6
Mk 1 m kõrgusel	2,7	-1,8	10,9	12,7
Vk pinnal	-0,4	-4,0	9,7	13,7
Vk 1 m kõrgusel	2,6	-2,1	12,3	14,4

<b>Pilvine sügispäev (3.11.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	4,4	2,5	5,9	3,4
Mk 5 cm sügavusel	4,0	0,9	7,0	6,1
Mk pinnal	3,8	-0,9	8,7	9,6
Mk 1 m kõrgusel	5,2	0,3	9,3	9,0
Vk pinnal	4,2	-0,8	9,4	10,2
Vk 1 m kõrgusel	4,9	0	9,1	9,1
<b>Vihmane sügispäev (23.10.04)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	8,4	7,4	9,1	1,7
Mk 5 cm sügavusel	8,3	7,2	9,4	2,2
Mk pinnal	8,4	6,0	10,0	4,0
Mk 1 m kõrgusel	8,8	7,1	10,2	3,1
Vk pinnal	8,8	6,9	10,6	3,7
Vk 1 m kõrgusel	8,7	7,1	10,1	3,0
<b>Keskmine talvepäev (9.03.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	-1,7	-1,8	-1,4	0,4
Mk 5 cm sügavusel	-1,7	-2,0	-1,5	0,5
Mk pinnal	-2,2	-2,7	-1,8	0,9
Mk 1 m kõrgusel	-8,7	-15,2	-0,6	14,6
Vk pinnal	-1,1	-1,8	-0,9	0,9
Vk 1 m kõrgusel	-9,5	-15,7	-1,8	13,9
<b>Soe talvepäev (18.02.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	-1,0	-1,4	-0,7	0,7
Mk 5 cm sügavusel	-0,9	-1,4	-0,7	0,7
Mk pinnal	-1,6	-2,1	-1,0	1,1
Mk 1 m kõrgusel	-2,7	-3,9	-0,1	3,8
Vk pinnal	-0,2	-0,8	0	0,8
Vk 1 m kõrgusel	-2,9	-4,1	-0,1	4,0
<b>Külm talvepäev (1.03.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	-5,2	-2,9	-4,5	1,4
Mk 5 cm sügavusel	-5,4	-6,2	-4,6	1,6
Mk pinnal	-6,5	-8,1	-5,0	3,1

Mk 1 m kõrgusel	-11,7	-16,9	-5,2	11,7
Vk pinnal	-6,7	-7,8	-6,3	1,5
Vk 1 m kõrgusel	-12,7	-17,3	-6,7	10,6
<b>Kahe murukatuse mõõtekoha temperatuurierinevused sõltuvalt lumekihi paksusest (mk1 1 cm, mk2 6 cm lumekihi paksusega) (15.02.05)</b>				
Mk1 10 cm sügavusel	-2,0	-2,7	-1,4	1,3
Mk2 10 cm sügavusel	-1,6	-2,0	-1,3	0,7
Mk1 5 cm sügavusel	-3,7	-4,7	-2,5	2,2
Mk2 5 cm sügavusel	-1,5	-1,9	-1,1	0,8
Mk1 pinnal	-3,2	-4,8	-1,3	3,5
Mk2 pinnal	-2,6	-3,5	-1,5	2,0
Mk 1 m kõrgusel	-6,5	-10,7	-1,5	9,2
<b>Kahe murukatuse mõõtekoha temperatuurierinevused sõltuvalt lumekihi paksusest (mk1 7 cm, mk2 20 cm lumekihi paksusega) (9.03.05)</b>				
Mk1 10 cm sügavusel	-2,6	-4,0	-1,9	2,1
Mk2 10 cm sügavusel	-1,7	-1,8	-1,4	0,4
Mk1 5 cm sügavusel	-3,3	-5,4	-2,0	3,4
Mk2 5 cm sügavusel	-1,7	-1,9	-1,5	0,4
Mk1 pinnal	-3,8	-6,5	-1,6	4,9
Mk2 pinnal	-2,2	-2,7	-1,8	0,9
Mk 1 m kõrgusel	-8,6	-15,2	-0,6	14,6
<b>Sulailmaga kevadpäev (27.03.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	0,1	-0,2	1,1	1,3
Mk 5 cm sügavusel	0,03	-1,2	2,6	3,8
Mk pinnal	0,5	-4,7	15,4	20,1
Mk 1 m kõrgusel	-0,1	-5,4	9,5	14,9
Vk pinnal	0,6	-5,8	10,5	16,3
Vk 1 m kõrgusel	-0,2	-5,8	7,5	13,3
<b>Päikesepaisteline kevadpäev (16.04.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	13,6	9,8	17,7	7,9
Mk 5 cm sügavusel	13,7	7,2	22,4	15,2
Mk pinnal	14,1	2,9	33,4	30,5

Mk 1 m kõrgusel	12,0	4,2	22,2	18,0
Vk pinnal	14,7	4,8	29,6	24,8
Vk 1 m kõrgusel	11,4	4,2	20,9	16,7
<b>Pilvine kevadpäev (6.04.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	1,6	0,3	3,6	3,3
Mk 5 cm sügavusel	2,7	-0,6	7,6	8,2
Mk pinnal	4,3	-2,5	15,6	18,1
Mk 1 m kõrgusel	4,7	-1,3	10,1	11,4
Vk pinnal	6,2	-1,4	15,7	17,1
Vk 1 m kõrgusel	4,6	-0,8	10,2	11,0
<b>Vihmane kevadpäev (10.04.05)</b>				
Mk 10 cm sügavusel	7,7	4,5	9,1	4,6
Mk 5 cm sügavusel	6,4	2,4	9,0	6,6
Mk pinnal	5,4	-0,7	11,5	12,2
Mk 1 m kõrgusel	4,7	0,3	7,8	7,5
Vk pinnal	5,5	-1,2	10,8	12
Vk 1 m kõrgusel	4,5	0,1	7,5	7,4

LISA 3. Katuste äravoolude hulgad sulaperioodil (22.03.05–7.04.05).

Päev	Katuste äravoolude hulgad (l)				Temperatuur (°C)		Päeva kirjeldus
	mk1	mk2	mk	vk	min	max	
22.03	86,5	136	197,5		-6,9	8,2	päike
23.03	3,8	6	9,8		-4,2	4,5	pilves
24.03	193	321,5	514,5	42,5	-1,7	12,7	päike/pilves
25.03	420	647	1067	1910	0,9	16,3	päike
26.03	85	222	307	1175	-2,7	9,6	päike/pilves
27.03	24,5	38,4	62,9	190	-4,8	9,5	päike/pilves
28.03	8,7	15,1	23,8	23,4	-5,4	6,1	päike/pilves
29.03	5,8	4,2	10	2,5	-7,9	4,6	pilves
30.03	1,82	4,87	6,69	7,7	-7,1	9,7	päike
31.03	23,1	73	96,1	235	-3,4	14,8	päike
1.04	14,5	44,2	58,7	217	-1,5	7,5	päike/pilves
2.04	51	130	181	163	-2,5	12,7	päike
3.04	98,3	250	348,3	100	3,1	20,5	päike
4.04	53,4	135,8	189,2		-1,3	18,5	päike
5.04	17	60,4	77,4		2,4	20,6	päike
6.04	9,25	6,66	15,91		3,1	10,1	pilves
7.04	2,50	2,80	5,30		-1,3	12,5	pilves
<b>Kokku</b>	1098,17	2097,93	3196,1	4066,1			

LISA 4. Katuste veeproovide tulemusi kokkuvõttev tabel (seletused allpool).

Komponent	Proov	Sademevesi	Mk1	Mk2	Vk
KHT (mgO/l)	1.		37	26	43
	2.	4	22	21	23
	3.	8	39	40	4
BHT <sub>7</sub> (mgO/l)	1.		5,3	4,1	7,0
	2.	2,9	2,6	2,0	2,9
	3.	1,4	8,3	8,9	2,5
Üldfosfor (P <sub>üld</sub> ) (mg/l)	1.		0,036	0,026	0,104
	2.	0,012	0,090	0,074	0,102
	3.	0,019	0,054	0,056	0,029
Fosfaadid (PO <sub>4</sub> -P) (mg/l)	1.		0,012	0,006	0,032
	2.	0,004	0,036	0,066	0,054
	3.	0,003	0,011	0,012	0,005
pH (ph-ühik)	1.		8,26	8,14	8,43
	2.	5,62	7,94	7,85	6,73
	3.	5,24	7,21	7,23	6,08
Üldlämmastik (N <sub>üld</sub> ) (mg/l)	1.		2,1	1,9	2,6
	2.	1,3	1,2	1,3	1,4
	3.	0,6	1,1	1,0	0,9
Ammoonium N/NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	1.		0,33	0,28	0,43
	2.	<0,015	0,12	0,16	0,09
	3.	0,22	0,29	0,35	0,18
Nitraat N/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1.		0,7	0,8	0,4
	2.	0,18	0,46	0,42	0,19
	3.	0,09	0,28	0,33	0,26
Sulfaadid (mg/l)	1.		38	34	3
	2.	<1	23	20	2
	3.	1	21	30	1
Üldkaredus (mg-ekv/l)	1.		2,80	2,83	0,45
	2.	0,08	2,15	2,14	0,12
	3.	0,07	1,84	2,16	0,18

1. – tavaline hõre vihm, tavaline rahulik mõnes tilgareas äravool;
2. – tugev paduvihm, maksimaalne äravool (kohati purskab äravoolust välja);
3. – sulavesi, rahulik äravool pärast suurema osa lume sulamist.

Mk1 äravool – see vesi koguneb kergkruusal põhineva murukatuse ühelt poolt, kus taimede katvus on suurem – vett tuleb korraga vähem, sisaldab aineid rohkem.

Mk2 äravool – see vesi koguneb murukatuse teiselt poolt, kus taimede katvus on väiksem – vett tuleb korraga rohkem, sisaldab aineid vähem (on lahjem).

Vk äravool – äravool lamedalt SBS-katuselt (bituumen, tõrvapapp – kuidas seda veel nimetatakse), kuhu jääb vesi ka loikudesse ja renni rohkem seisma.

Sademevesi – kas vihmavesi või murukatusest 80 m kauguselt maapinnalt võetud lume sulavesi.

Proovid analüüsitud Tartu Veevärgi reoveelaboris.

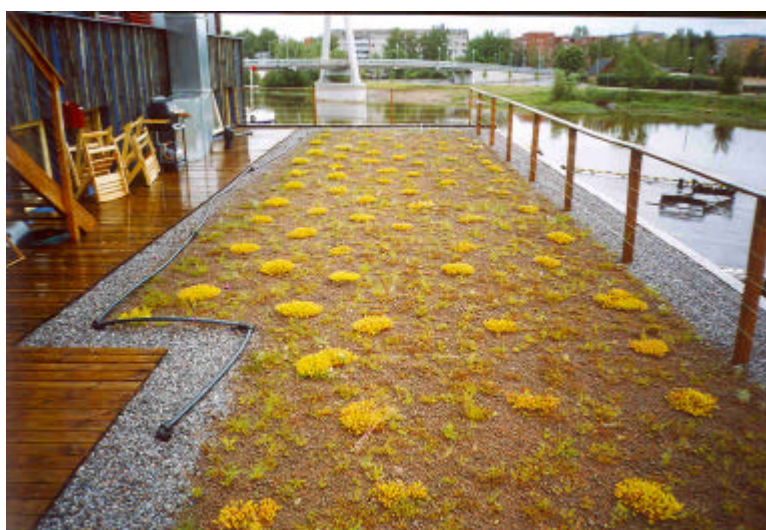
**LISA 5. Murukatuse väljanägemise muutumine aasta jooksul.**



Joonis 1. Murukatus 2004. aasta märtsis.



Joonis 2. Murukatus 2004. aasta mais.



Joonis 3. Murukatus 2004. aasta juunis.





Joonis 4. Murukatus 2004. aasta juulis.



Joonis 5. Murukatus 2004. aasta augustis.



Joonis 6. Murukatus 2004. aasta oktoobris.



Joonis 7. Murukatus 2004. aasta 18. novembril, esimene lumi.



Joonis 8. Murukatus 2004. aasta novembris.



Joonis 9. Murukatus 2004. aasta detsembris.



Joonis 10. Murukatus 2005. aasta 3. jaanuaril.



Joonis 11. Murukatus 2005. aasta 14. jaanuaril.



Joonis 12. Murukatus 2005. aasta 24. jaanuaril.



Joonis 13. Murukatuse 2005. aasta 14. veebruaril (lume keskmine paksus 5-6 cm).



Joonis 14. Murukatuse peamõõtekoht 2005. aasta 14. veebruaril (lume paksus 1-2 cm).



Joonis 15. Murukatuse tagavaramõõtekoht 2005. aasta 14. veebruaril (lume paksus 6 cm).



Joonis 16. Murukatus 2005. aasta 9. märtsil (lume keskmine paksus 20 cm).



Joonis 17. Murukatuse peamõõtekoht 2005. aasta 9. märtsil (lume paksus 7 cm).



Joonis 18. Murukatuse tagavaramõõtekoht 2005. aasta 9. märtsil (lume paksus 20 cm).



Joonis 19. Murukatus 2005. aasta 22. märtsil.



Joonis 20. Murukatus 2005. aasta 25. märtsil, suure sula päeval.



Joonis 21. Murukatus 2005. aasta 4. aprillil.



Joonis 22. Võrdluskatus 2005. aasta 3. märtsil.



Joonis 23. Võrdluskatus 2005. aasta 25. märtsil.



Joonis 24. Võrdluskatus 2005. aasta 27. märtsil.