



**TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL**

INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

**PATAREI MEREKINDLUSE KATUSE JA VAHELAE  
PUITKONSTRUKTSIOONIDE SEISUKORRA  
HINDAMINE JA RESTAUREERIMISSOOVITUSTE  
ANDMINE**

**ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE WOODEN  
STRUCTURES OF THE PATAREI SEA FORTRESS ROOF AND  
CEILING, AND RECOMMENDATIONS FOR RESTORATION**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Katri-Liis Kangro

Üliõpilaskood: EAEI 153890

Juhendaja: Kalle Pilt, ehitusekspert

Kaasjuhendaja: Mihkel Kiviste, professor

Tartu 2021

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Katri-Liis Kangro (sünnikuupäev 12.08.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Patarei Merekindluse katuse ja vahelae puitkonstruktsioonide seisukorra hindamine ja restaureerimissoovituste andmine“

mille juhendaja on Kalle Pilt ja Mihkel Kiviste,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud

# TalTech Tartu kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Katri-Liis Kangro, 153890EAEI  
**Õppekava, peeriala:** EAEI02/12 Tartu – Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine  
**Juhendaja(d):** Kalle Pilt  
Mihkel Kiviste  
**Konsultant:**

### Lõputöö teema:

*Patarei Merekindluse katuse ja vahelae puitkonstruktsioonide seisukorra hindamine ja restaureerimissoovituste andmine*

(inglise keeles) *Assessment of the condition of the wooden structures of the Patarei Sea Fortress roof and ceiling, and recommendations for restoration*

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata Patarei Merekindluse katusekonstruktsioonide ja vahelae seisukorda
2. Anda soovitusi konstruktsioonide restaureerimiseks
3. Kontrollida sarikate kandevõimet

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö objektil, kaardistada probleemsed kohad	12.03.21
2.	Jooniste koostamine koos restaureerimissoovitustega	21.04.21
3.	Tugevusarvutuste teostamine	26.06.21
4.	Töö vormistamine	03.08.21

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "06" august 2021 a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

---

*ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

# SISUKORD

1.	SISSEJUHATUS .....	7
2.	PUIDUKAHJUSTUSED .....	9
2.1	Biokahjustused .....	9
2.1.1	Seenkahjustused .....	9
2.1.2	Putukkahjustused .....	13
2.2	Füüsikalised kahjustused .....	16
2.3	Keemilised kahjustused .....	17
2.4	Mehaanilised kahjustused .....	17
3.	MITTEPURUSTAVAD MEETODID .....	18
3.1	Visuaalne vaatlus .....	18
3.2	Vastupanu-mikropuurimine .....	18
3.3	Nõelpenetratsioon .....	19
3.4	Lokaalne niiskustumõõtmine .....	19
3.5	Akustilised meetodid .....	20
3.6	Termograaf .....	20
4.	PUITKONSTRUKTSIOONIDE RESTAUREERIMINE .....	21
4.1	Puitkonstruktsioonide tugevdamine .....	21
4.2	Sarikate proteesimine .....	22
4.3	Sarikate ja pärlinvöö jätkamine ning tugevdamine külglappidega .....	22
4.4	Puitelementide seotise tegemise põhimõtted .....	23
4.4.1	Puitliited .....	23
4.4.2	Metallkinnititega liited .....	26
5.	HOONE AJALOOLINE ÜLEVAADE .....	28
6.	TÖÖ METOODIKA .....	31
6.1	Visuaalne vaatlus .....	32
6.2	Seene- ja putukkahjustuste proovide kogumine ja analüüs .....	33
6.3	Resistograafi käsitlemine objektil .....	34
7.	OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS JA RESTAUREERIMISSOOVITUSED .....	37
7.1	Goržihoone katus .....	38
7.1.1	Katusekonstruktsiooni ja selle seisukorra kirjeldus .....	38
7.1.2	Soovitused katusekonstruktsiooni restaureerimiseks .....	42
7.2	Lünetitiibade katus .....	43
7.2.1	Katusekonstruktsiooni ja selle seisukorra kirjeldus .....	43
7.2.2	Soovitused katusekonstruktsiooni restaureerimiseks .....	44
7.3	Lünetitiibade vahelagi .....	45
7.3.1	Vahelae seisukorra kirjeldus .....	45

7.3.2	Soovitused vahelae restaureerimiseks .....	48
8.	TUGEVUSARVUTUSED .....	50
8.1	Üldosa .....	50
8.2	Koormused .....	51
8.2.1	Omakaalukoormus .....	51
8.2.2	Lumekoormus .....	52
8.2.3	Tuulekoormus .....	53
8.2.4	Kasuskoormus.....	55
8.2.5	Sarika kandevõime .....	55
	KOKKUVÕTE .....	62
	SUMMARY .....	63
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....	64
	LISAD .....	66
	Lisa 1 Graagiline osa .....	67
	Lisa 2 Objektil jäädvustatud fotod .....	71
	Lisa 3 Vastupanu-mikropuurimise tulemused .....	177

# 1. SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teemaks on Patarei Merekindluse katuse ja vahelae puitkonstruktsioonide seisukorra hindamine ja restaureerimissoovituste andmine.

Patarei Merekindluse moodustab hoonetekompleks, mille ehitust alustati 1829. aastal. Põhimahu moodustavad kaarjas Goržihoone ning sellega ühendatud Lünetitiivad. Hoonet on pea 200-aasta vältel kasutatud erinevatel otstarvetel. Algselt kaitserajatiseks ehitatud hoonet on kasutatud ka mitmel erineval aastakümnel (1920.-1940. aastatel ja 1991-2002) ka vanglana. Pärast vangla ametlikku sulgemist 27. detsembril 2002. aastal jäi hoone enamjaolt tühjana seisma. Ühte plokki jäi toimetama vanglate keskhaigla, mis suleti 2005. aastal ja Patarei Merekindlus jäi täielikult tühjana seisma.

Pea 20 aastat tühjana seisnud hoone leidis omale uue omaniku, kelle meeskond alustas kompleksi ümberehitustöödega. Aastaid kasutuseta seisnud Patarei Merekindluse ümberehitustööde käigus antakse hoonetele uus elu. Kavandatud on palju elu-, äri- ja meelelahutuskohti. Kunas hooned jäävad muinsuskaitse alale, tuleb nende säilitamiseks teha uuringuid. Sellest johtuvalt ongi lõputöös käsitletud katusekonstruktsioone, et välja selgitada seisukord ja anda soovitusi, kuidas uue keskkonna loomisel peaks vanade konstruktsioonidega toimetama.

Magistritöös antakse Patarei Merekindluse põhimahu moodustavate hoonete katusekonstruktsioonide ning Lünetitiibade 3. korruse ja pööningu vahelise lae seisukorra hinnang ja soovitused restaureerimiseks.

Antud töö teema on valitud koostöös Kalle Pildiga, kellega suheldes selgus, et ta hakkab koostama eksperthinnangut Patarei Merekindluse konstruktsioonidele, ning abilise puudumisel oli hea võimalus ise abilise rolli asuda ja teemat magistritöös käsitleda. Töö autor koos ettevõttega Puleium OÜ koostasid eksperthinnangud Patarei Merekindluse puitkonstruktsioonide tehnilisest seisukorrast. Lisaks puitkonstruktsioonidele uurib eelmainitud firma ka Patarei Merekindluse kivikonstruktsioone, mille eesmärgiks on seinakonstruktsioonide tehnilise seisukorra välja selgitamine ja restaureerimislahendused.

Magistritöö eesmärkide põhjal püstitatud ülesanded

- Hoonekatusekonstruktsioonide ja vahelaekahjustustekaardistamine

- Konstruksioonideülesmõõdistamine
- Visanditloominesaadud info põhjal
- Hinnanguandminetulemustele
- Goržihoone sarikate tugevuskontroll

Töö esimene pool on üles ehitatud kirjanduse analüüsile, kus käsitletakse puitkonstruktsioonide kahjustusi ning hindamise meetodikaid. Teises pooles kirjeldatakse hoone seisukorda ning antakse soovitusel konstruktsioonide restaureerimiseks. Lisaks teostatakse tugevusarvutused Goržihoone sarikatele.

Oluline info on leitav lõputöö lisadest, kus on välja toodud katusekandjate ning vahelae plaanid koos restaureerimissoovitustega, lisaks plaanidele kantud fotode ja vastupanu-mikropuurimiste graafikud.



## **2. PUIDUKAHJUSTUSED**

Töös võetakse vaatluse alla just puitkonstruktsioonid ja seega alustatakse käsitlust puidu kahjustajatest.

Kui puit mädaneb, siis arvatakse tihti, et see on seotud materjali vanusega ja et sinna pole midagi parata. Mädanikseente eoseid leidub kõikjal meie ümber. Seen vajab kasvuks ja arenguks sobivat temperatuuri, niiskust, toitaineid ja hapnikku. Kõikide sobivate tingimuste olemasolul lagundavad puitu just mädanikseened.[1] Eelduste kohaselt esineb vaadeldavatel konstruktsioonidel mitmesuguseid kahjustusi, sest hoone on tühjana seisnud, mille tõttu on seal hakanud toimuma erinevad looduslikud protsessid.

### **2.1 Biokahjustused**

Biokahjustajateks nimetatakse organisme, kes muudavad materjalide, esemete, hoonete ja toorainete omadusi ebasobivalt, neid rünnates. Vaid siis saavad biokahjustusprotsessid toimuda, kui keskkond on sobiv biokahjustatajate kasvuks ja arenguks. [2]

Kõige rohkem mõjutab biokahjustuste arenemiskiirust niiskus. Biokahjustuste levikut kiirendab soe ja niiske ning aeglustab kuiv ja külm kliima.[3]

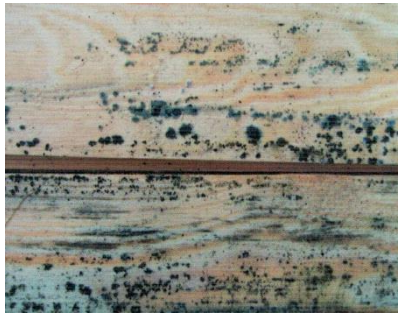
#### **2.1.1 Seenkahjustused**

Seened kahjustavad puidu tugevusomadusi, tungides puidu radiaalsetesse säsiikiirtesse, millest nad toitu hangivad. Puitu lagundavate seente arenemiseks on optimaalne niiskusesisaldus puidus 60%. [4] Puidu niiskuseks nimetatakse puidu ja seal sisalduva vee masside suhet väljendatuna protsentides. [4]

Seenkahjustusi jagatakse bioloogilise kirjanduse järgi hallitus-, sinetus- ja mädanikseenteks.[3]

**Puidu pinnal arenevad seened ehk hallitusseened** tekivad niiskusega kokkupuutel, kus puidu niiskusesisaldus on 30-120% ja temperatuur umbes 24°C ning põhjustavad puidu pinna värvumist umbes 1mm sügavuselt. Hallitusseened ei mõjuta oluliselt puidu tugevusomadusi kuid võivad rikkuda selle väljanägemist.[3] Vahel eritavad hallitusseened spetsiifilist lõhna.[4] Hallitus on ohtlik inimese tervisele! Hallitusseente puhul on suur osa niiskusel, kui liigniiskus eemaldada ning puit kuivatada, siis saab hallituse eemaldada ja see ei kujuta endas ohtu.[3]

Hoidmaks ära hallitusseente tekkimist, ei tohiks puitu ümbritsev suhteline õhuniiskus ületada 75%, eriti neil aastaaegadel, mil temperatuur on seente arenguks soodus.[4]



*Joonis 2.1 Hallitusseened puidul[2]*

**Puitu värvivad seened ehk sinetusseened** tungivad puidu sisse ning põhjustavad seal värvi muutumist. Puidu pikaajalisel kahjustamisel hakkavad sinetusseened puitu lagundama ning see avaldab olulist mõju puidu mehaanilistele omadustele. Mõni kuu kestev kahjustusprotsess võib muuta puidu värvi kuid ei mõjuta teisi omadusi.[3] Sinavusseened toituvad tärklisest ja suhkrutest ning hõlmab maltspuidu osa. Optimaalne temperatuur puitu värvivate seente kasvuks on 20-30°C ning suhteline õhuniiskus 50-120%. [3]



*Joonis 2.2 Sinetusseened puidul[2]*

**Puitu lagundavad seened ehk mädanikseened** tekitavad puitmaterjalile kõige suuremat kahju, sest seente tegevuse tagajärjel puit mädaneb.[3] Puitu lagundavate seente poolt tekitatud kahjustusi on esialgu raske märgata kuid juba siis võib kahju olla oluline puidu omadustele. Protsessi arenedes muutub puit vähemal või suuremal määral kasutuskõlbmatuks. Mädanikseen vajab kasvamiseks niiskust üle 20%. [2]

Puitu lagundavad seened jagunevad omakorda gruppidesse kahjustamisviisi järgi pehmemädanik, pruunmädanik ja valgemädanik.[4]

**Pehmemädanik** lagundab tselluloosi ja hemitselluloosi puidu pinnalt selle sisemuse poole liikudes. Pehmemädanik eelistab lagundada lehtpuitu. Kahjustunud puit on toorelt šokolaadi- ja kuivalt pruuni värvi. Puidu kuivades hakkab puidust eralduma riskülikulisitükke, mille pind on käsnijas. Peamiselt lagundatakse puitu, mis puutub otseselt kokku veega või on liigniiske.[2]



*Joonis 2.3 Pehmemädaniku kahjustatud puit[2]*

**Pruunmädanikku** tekitavad seened lagundavad tselluloosi, jättes seejuures ligniini puutumata. Kahjustuse peamiseks tunnuseks on selle lagunemine kuubikulisteks osadeks jättes alles vaid ligniinskeleti. Kahjustatud puit on värvuselt pruun, tumepruun või punakaspruun.[3] Puit kaotab juba seene arenemise algstaadiumis olulise osa oma tugevusest.[2]



Joonis 2.4 Pruunmädaniku kahjustatud puit[2]

Pruunmädanikku põhjustavad seened on majavamm, majamädik, majavääts, kollane habelehik ja mustjas kõrbik.[4]

**Majavamm** (ld *Serpula lacrymans*) põhjustab pruunmädanikku ja suure levimisvõime tõttu võib lühikese aja jooksul puitkonstruktsioone tugevasti kahjustada[7]. Majavamm vajab eluks niiskust, mille optimaalne sisaldus puidus on 30-40% ning temperatuur 18-23 °C. Majavammi soodsaimaks levikuks on ehitistes vaba vee juurepääs konstruktsioonile. Seene viljakehad on valkja serva ning roostepruuni lihaja, liibunud, jämedavoldilise pinnaga. Varjatud kohtades kasvavad hallikad vatjad seeneniitide põimikud, mis on kollaka või roosaka alatooniga.[5]

**Korgikud** (ld *Antrodia*) tekitavad pruunmädanikku ning vajavad arenemiseks vähemalt 29 %-list niiskusesisaldust puidus, optimaalseks niiskusesisalduseks on 33-55%, ning temperatuuriks 25-30 °C.[5] Alguses on viljakeha valge, hiljem muutub helepruuniks ja poorseks.[3]

Ka **majamädik** (ld *Coniophora puteana*) tekitab pruunmädanikku ning on rahvasuus tuntud kui keldrivamm on noorena valkjast, hiljem kollakas kuni kohvipruun, mügarliku pinnaga ning lihakalt nahkjate viljakehadega.[5] Mädiku kasvuks on optimaalne puidu niiskusesisaldus 50-60%. Sobivaim temperatuur seene kasvuks on 22-24 °C.[3]

**Mädiknahkis** (ld *Leucogyrophana* sp.) on samuti seen, mis pruunmädanikku tekitab. Seeneväädid on valged kuni pruunikad ning harunenud, umbes kahe millimeetri laiused. Seenel esinevad juht- seeneniidid, kuid puuduvad kiudhüüfid, mis on paksukestalsed vaheseinteta seeneniidid. Mädiknahkist esineb looduses okaspuudel, hoonetes kahjustab puitkonstruktsioone, esinedes rohkem keldrites ja niisketel põrandatel.[6]

Erinevalt pruunmädanikust lagundavad **valgemädanikku** tekitavad seened ligniini ning vähesel määral tselluloosi ja hemitselluloosi. Puit muutub heledaks ja kiuliseks, mis näitab tselluloosi osatähtsuse suurenemist. Valgemädanik kihistab puitu mööda aastarõngaid, hilisemates arengujätkudes muutub puit sõrmede vahel kergesti lõhestuvateks kiududeks. Valgemädanik lagundab põhiliselt lehtpuitu ning võib esineda niisketes tingimustes või mullaga kontaktis oleval puidul.[2]

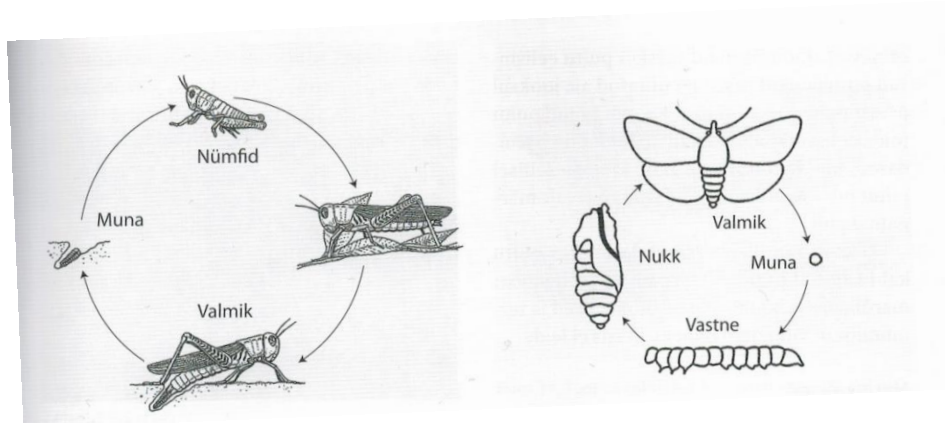


*Joonis 2.5 Valgemädaniku kahjustatud puit[2]*

**Koorikuliste** sugukonna liike iseloomustavad peamiselt substraadile liibunud õhukesed viljakehad, mis võivad esineda vaevumärgatava kirmena või õhukese kilena; samuti nahkja, sitke, korkja või puitunud, mõnel juhul aga sültja ning kuivanult sarvja koorikuna.[6]

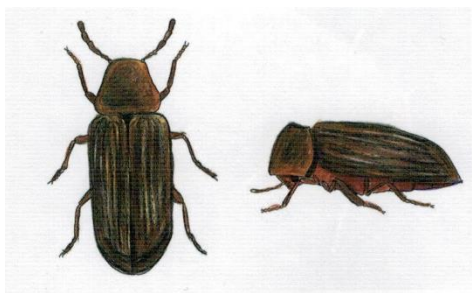
### **2.1.2 Putukkahjustused**

Putukatel eristatakse kahte moondetüüpi – vaeg- ja täismoone. Vaegmoonde puhul kulgeb areng valmikuni sujuvalt. Juba munast koorudes sarnaneb vastne üldiselt valmikuga, ta on vaid väiksem ja tiivutu. Kui vaegmoondekorral esineb 3 arengustaadiumi, siis täismoondelisel arengul on 4 selgelt piiritletud staadiumi (joonis 2.6).[4]



Joonis 2.6 Putukate arengu skeem: vaegmoondega (vasakul) ja täismoondega (paremal) [2]

**Tooneseplesed** on tumepruuni, musta või punase värvusega, silindrilise kehaga, 4-8 mm pikkused mardikad. Nad on kõige levinumad puidukahjurid, keda kutsutakse ka puidukoideks. Puitu kahjustavad mardika vastsed, kes närivad puidu pinna lähedale kambrikesed, kus valmistavad endale nukkumiseks puidujahust kookoni. Nukust väljunud mardikas närib väljalennuava, mille läbimõõt on 1-5 mm, ning lahkub puidust. Tooneseplaste kahjustusi on raske märgata, sest nukkumine võib kesta kaks kuni neli, vahel ka kuus aastat. Puidu pinnal on kahjustusi näha alles siis, kui mardikas on väljalennuava kaudu lahkunud.[2]



Joonis 2.7 Mööbli-toonesep[2]



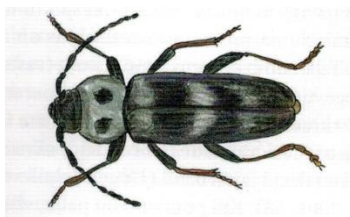
Joonis 2.8 Toonesepa kahjustatud puit[2]

**Siklased** on võrdlemisi suured (tavaliselt üle 20 mm pikad), saleda, sageli karvadega kaetud kehaga mardikad. Valmiku tundlad on väga pikad, tihti mardikast pikemad.[2] Vastsed on valkja või kollaka lapiku kehaga. Vastsed närivad ennast puitu ega välju enam mitme aasta kestel. Siklaste väljalennuavad on tunduvalt suuremad kui tooneseplaste omad ning enam-vähem ovaalse kujuga.[2]



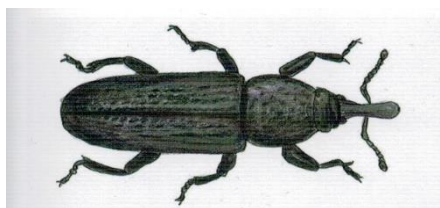
*Joonis 2.9 Siklaste kahjustatud puit[2]*

**Majasikk** on hoonetes kasutatava puidu suurim kahjustaja. Ta kahjustab vaid okaspuitu, eelistades maltsosa, millesse majasiku vastsed närivad käigud piki puidukiude. Vastsete areng kestab vähemalt kaks aastat, areng on kiirem seenkahjustusega puidus. Mardikad lahkuvad puidust juulist-augustini ning väljalennuavad on ovaalsed, suurusega 3x6 kuni 5x12 mm.[2]



*Joonis 2.10 Majasiku emane isend[2]*

**Kärsaklased** on mustad või pruunid, õrnalt läikivad 3-6 mm pikkused mardikad. Kärsaklased arenevad märjas kõdunevas puidus, mille niiskusesisaldus on vähemalt 35%. Tavaliselt kärsaklased toimetavad seenkahjustusega, eriti pruunmädanikuga kohtades. Kahjustusi tekitavad nii vastsed kui mardikad, kes puidu pinnale käänulisi käike närivad. Soodsate tingimuste säilides välja lennanud mardikad munevad samasse kohta, niimoodi kolooniat kasvatades. [2]



*Joonis 2.11 Kärsaklane[2]*



*Joonis 2.2 Kärsaklaste kahjustatud puit[2]*

**Hundlaseid**, kes mardikaliste hulka kuuluvad, võib samuti ehituspuidus kohata. Levinum neist on tähnikaardlane, kes on 11-22 mm pikkune, tumepronksjas, rohelise või sinise metallihelgiga mardikas. Tõugud arenevad puukoore all ja puidu pealmises kihis. Hoonetesse satub ainult vastsetega nakatunud puidu kasutamisel. Ehituspuidule valmikud ei mune. Väljalennuavad on üksikud, ovaalsed, suuremast osast 7-8mm läbimõõduga. [3]



*Joonis 2.33 Hundlaste hulka kuuluv tähnikaardlane [3]*

## 2.2 Füüsikalised kahjustused

Füüsikaliste kahjustuste hulka kuuluvad materjalide niiskusesisalduse muutusest tekkinud pinged ning soojuse ja valguse põhjustatud mõõtmete ja sisestruktuuri muutused. [3]

Väliskeskkonnas on üheks suurimaks füüsikaliseks kahjustajaks külmumis- ja sulamistsükkel. See tähendab, et materjalis sisalduv vesi jääb ja sulab ning jäätudes vee ruumala suureneb kuni 9% põhjustades sellega materjali pooride deformeerumise. [3]

Valgusest on eriti kahjuliku toimega violetne ja ultravioletne kiirgus (lainepikkuste vahemikus 380-420 nm). Valguskiirguse kahjulik toime avaldub ennekõike pinnakatematerjalidel, plastmassidel, teatud määral ka puidul. Valguskiirguse mõjul muudab puit aja jooksul värvi. [3]

Puidu korrosiooniks nimetatakse päikesekiirguse, tuule ja vihma poolt põhjustatud erodeerumist. Puidu pikaealisuse tagamiseks tuleks puitu eelmainitud tegurite eest kaitsta kas ehituslike võtetega või vastavate kaitsevahenditega. [3]



## **2.3 Keemilised kahjustused**

Keemilised kahjustused toimuvad materjali enda või väliskeskkonnas olevate ja materjali sattuvate keemiliste ainete reaktsiooni tulemusena.[3]

Puit on vastupidav mitmetele kemikaalidele, mistõttu on puit konstruktsioonimaterjalina eelistatud kohtades, kus esineb tugevaid kemikaale, mis teiste materjalide jaoks on korrodeeruvad. Kuid isoleeritud puitu võib happeline või aluseline keskkond siiski kahjustada.[7]

## **2.4 Mehaanilised kahjustused**

Deformatsioon, purunemine, rebenemine, kulumine, murdumine – need on mehaaniliste jõudude toimest põhjustatud mehaanilised kahjustused. Mehaaniliseks kahjustuseks loetakse ka määrumist ning tegevust, mis on teiste organismide ja taimede poolt tekitatud.[3]

Mehaanilist mõju puidule avaldab ka tuul, mis eraldab materjalist väikeseid osakesi, põhjustades sellele kahjustusi. Mida pehmem materjal, seda suurem on tuuleerosiooni mõju. Koos tuulega võib erodeerida ka vesi, mis pehmemaid aineid nagu savi ja puit lagundada võib.[3]

## **3. MITTEPURUSTAVAD MEETODID**

### **3.1 Visuaalne vaatlus**

Visuaalse vaatluse käigus hinnatakse tarindite seisukorda ning määratletakse kahjustunud kohad ja nende ulatus. Tuleb silmas pidada, et selliselt määramine on subjektiivne, sest sõltub hindaja pädevusest.[8] Kahjustusi saab hinnata vaid selle järgi, mida silmaga näha on, näiteks värvierinevused, seente viljakehad, putukakahjustused, kokku kukkunud, läbi vajunud või puuduolevad osad jne.[8]

Mittepurustavate meetodite hulka võib lugeda ka visuaalse vaatluse abivahendeid, mis abistavad tarindite sisemusse vaadata. Näiteks fiiberoptiliseboreskoobi abil on võimalik läbi 10 mm ava uurida tarindi materjale, erinevaid seen- ja niiskuskahjustusi ning viimistluskihte.[2]

### **3.2 Vastupanu-mikropuurimine**

Resistograaf on elektrooniline vastupanumikropuurimise seade, mis koosneb kahest mootorist, puuri teleskoopstabilisaatorist ning mikropuurist. Puuri ja puuripea läbimõõdud on vastavalt 1,5 ja 3mm. Puuri energiaallikaks on aku, mille ühe laadimisega on võimalik sooritada kuni 100 puurimist.[9]

Resistograafiga on võimalik puitu uurida kogu selle ristlõike ulatuses konstruktsioone kahjustamata. Mikropuurimise tulem on graafiline kõverjoon, mis iseloomustab puidu vastupanu ehk tihedust. Graafilise kõvera tipuosad iseloomustavad suuremat ja alumised osad väiksemat puidu vastupanu või tihedust. Selle põhjal saab määrata puidu sisedefekte ja nende ulatust ning jääkristlõiget. Nende andmete abil saab arvutuslikult kontrollida puitdetailide tugevust ja stabiilsust. Puuduseks on puurimise lokaalsus,

tulemus iseloomustab vaid puurimiskohta, kuid täielikuks ülevaateks oleks vaja teha arvukalt puurimisi.[8]

### **3.3 Nõelpenetratsioon**

Nõelpenetratsiooni katse käigus tungib nõelpüstoli nõel puitu ja tulemuseks saadakse läbistamissügavus. Metallnõela diameeter on 2,5 mm ja maksimaalne läbistamisvõime 40 mm. Kahjustunud osa ulatuse puitelemendis saab määrata arvuliste mõõtetulemust kaudu – mida suuremad tulemused, seda rohkem kahjustunud puit. Selline määramisviis annab vaid puitelemendi pindmisi tulemusi.[8]

### **3.4 Lokaalne niiskusmõõtmine**

Niiskusmõõtmisel on võimalik kasutada kahte erineva tööpõhimõttega seadet. Elektritakistuse põhimõttel töötav seade mõõdab pindmist või sisemist niiskusesisaldust puidus. Pindmise veesisalduse määramisel kasutatakse kuni 20 mm pikkusi nõelu, sisemisel mõõtmisel aga kui 60-70 mm nõelu. Mõõteseade mõõdab kahe puitu vajutatud nõela vahelist elektritakistust, tulem on sõltuv veesisaldusest.[8]

Veesisaldust puidus on võimalik mõõta ka elektrimahtuvuse põhimõttel töötava seadmega, mille sensor asetatakse vastu puidu pinda. Antud seadme kasutamise puhul peab puidu pind olema võimalikult sile ning mõõtetulemusi on võimalik saada vaid kuni kolme sentimeetri sügavuselt.[8]

### **3.5 Akustilised meetodid**

Akustilisteks meetoditeks on mehaanilised löögid, heli ja ultraheli omaduste mõõtmine. Mehaaniliste löökide korral lüüakse haamriga puitelemendi vastu ning hinnatakse kostunud helide sageduste erinevust. Kõlisev heli viitab kahjustusteta puidule ning tuhm aga kahjustunud puidule. Selle meetodi abil saab kahjustuse ulatust ainult osaliselt kindlaks määrata, kuid bioloogilist kahjustust pole võimalik varakult avastada.[8]

Heli ja ultraheli omaduste mõõtmisel mõõdetakse helileviku kiirust puidus pikikiudu. Puittarindeid kohapeal hinnates on elemendi otsad üldjuhul kaetud ja mõõtmist saab teha ainult ristikiudu või pikikiudu kaudsel teel, asetades otsikud paralleelselt ühele küljele. Otsikud lüüakse puidu sisse ning ühele otsikule haamriga lüües mõõdetakse aega, mil heli jõuab teise otsikuni.[8]

Ultrahelilaine on otseselt seotud puidu elastsusega. Väiksem kiirus või pikem levimisaeg viitab puidu halvale seisukorrale. Mõõtmise puuduseks on mitmeti tõlgendatavad tulemused.[8]

### **3.6 Termograaf**

Viimasel ajal kasutatakse laialdaselt termograafi. Termograafia on meetod objektide pinnatemperatuuride määramiseks infrapunakiirguse abil. Termograafi kasutatakse hoonepiirete soojusjuhtivuse analüüsimiseks, kuid see annab kogunud spetsialistidele informatsiooni ka detailide ning tarindite seisukorral kohta. Kahjuks ei näita termograafi pildid materjali sisemuses leiduvaid kahjustuspiirkondi ning ainult seda kasutades ei saa piisavalt andmeid kahjustuste põhjalikuks analüüsiks.[2]

## **4. PUITKONSTRUKTSIOONIDE RESTAUREERIMINE**

Puitkonstruktsioonide restaureerimise juures on esimese asjana oluline määrata restaureerimistöode maht. Tuleb kindlaks teha, kui suures ulatuses on puit kahjustunud. Seejärel tuleb kõrvaldada vigastusi põhjustav faktor, eemaldada kahjustunud osa ja taastada või vajadusel tugevdada vana konstruktsiooni. Mädanik- või raskete putukkahjustuste puhul on mõistlik eemaldada nii silmaga nähtav kahjustatud osa kui ka lisaks sellele järgnev osa vähemalt 0.5 m ulatuses. Kui kahjustuse ulatus on väga suur, siis tuleb võtta kasutusele ulatuslikumad abinõud, et kahjustuse edasi levimine või taasilmumine peatada. [10]

### **4.1 Puitkonstruktsioonide tugevdamine**

Konstruktsioonide tugevdamine on vajalik kui on kohaliku või üldise avarii eelne seisund, kohaliku purunemise arenemise tõkestamiseks ning juhul kui on vaja tõsta olemasoleva konstruktsiooni kandevõimet või jäikust.[10]

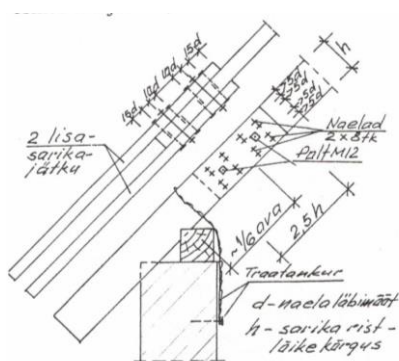
Konstruktsiooni tugevdamise lahendus sõltub konstruktsiooni tüübist, materjalist, kahjustuse määrast, ruumi kasutustingimustest jne.[10]

Tugevdamise puhul lisakonstruktsioonidega jaotatakse koormus kandvate elementide vahel laiali. Töötamisskeemi muutmata on võimalik lisaelementide lisamisega kohalikult ristlõiget suurendada pealekeevitamise, poltimise, naelutamise, liimimise vms abil. Samuti elemendi või konstruktsiooniosa asendamine. Töötamisskeemi muutmisega on võimalik tugevdada konstruktsiooni või üksikut elementi allariputatudsprenkli, kompleksina töötava konstruktsiooni jne kasutamisel. Jäikuse suurendamiseks võib paigaldada lissidemeid.[10]

## 4.2 Sarikate proteesimine

Sarikad tõstetakse tungraudade või kiilude abil mõne sentimeetri võrra kõrgemale ning toestatakse ajutiselt. Müürlati pehkinud osad lõigatakse välja ja asendatakse uute üksikute mõnemeetrise pikkuste järkude kaupa, paigaldades ka hüdroisolatsiooni. Pehkinud müürlatt tuleb eemaldada vähemalt 50 cm ulatuses pikemalt kahjustuse piirist ning põletada.[11]

Sarikate pehkinud otsad proteesitakse, seda võib teha vaid sarika toe lähedal. Üldjuhul ei tohi sarikaotste proteesid paikneda kõrvuti, vaid vaheldumisi tervete sarikatega. On võimalik proteesida ka kõrvutiolevaid sarikaid, toetades neid abipärilini vööga.[11]



Joonis 4.1 Sarikate proteesimine [11]

Kõik uued, asendatud ja vanad katuse puittarindite osad antiseptitakse ning kaetakse pööningu poolt tulekaitsevööbaga.[11]

## 4.3 Sarikate ja pärilivöö jätkamine ning tugevdamine külglappidega

Sarikaid jätkatakse külglappidega joonisel 4.2 näidatud viisil, enamasti ülemise pärilivöö piirkonnas, sellest all või ülevalpool. Naelte arv määratakse arvutusega,

suuremate koormuste korral võib ühendust tugevdada ka poltidega. Analoogselt saab läbinõtkunud sarikat või pärlini vööd õgvendada ja tema kandevõimet tugevdada plankudest pikkade lappide külgedele naelutamisega.[11]



Joonis 4.2 Sarikate jätkamine külglappidega [11]

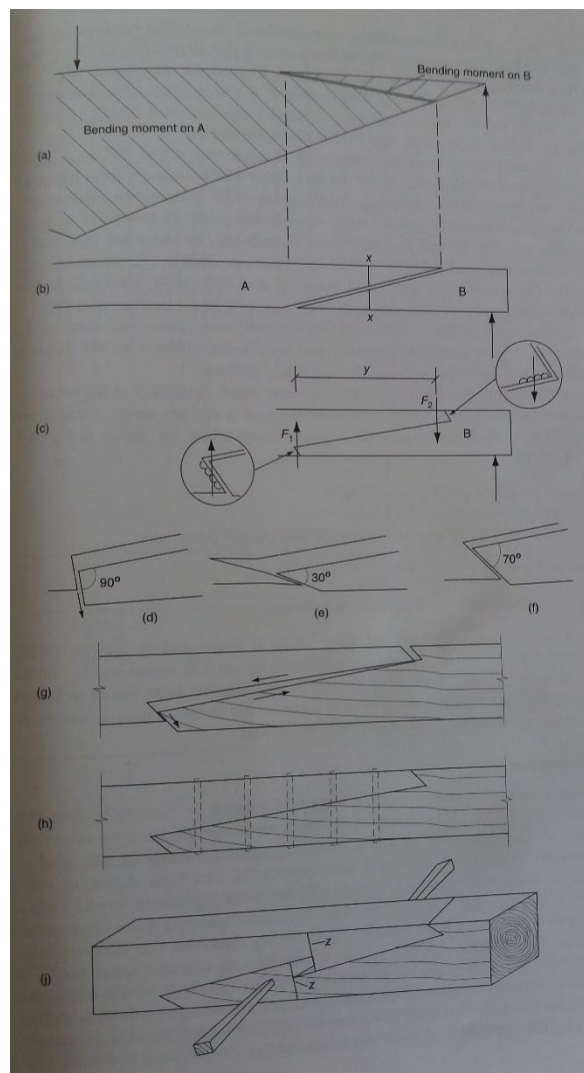
## 4.4 Puitelementide seotise tegemise põhimõtted

### 4.4.1 Puitliited

Jätkatud või parandatud puitkonstruktsioon, mis on tehtud täielikult puidust, ei oma samasuguseid tugevusomadusi nagu täispikkuses ühest puittalast valmistatud konstruktsioon. Oluline on kriitiliste olukordade puhul hinnata tala sõlmedele mõjuvat koormust, sealhulgas jõududele ja momentidele vastupidavust.[12]

Proteesitud tala on jätkusuutlik paindemomendi vastu võtma suunates selle originaaltalalt (A) asendatud (B) talaosale (joonis 4.3)[12]. Joonisel 4.3 on näha, et kahe mehaaniliselt ühendamata tala lõikes x-x on asendatud tala moment ainult pool algupärase tala paindemomendist. Talade ühendamisel hakkavad nad süsteemina tööle, mis on näidatud skeemil c joonisel 4.3. Kaks tala mõjuvat ühendusest tingitud jõudu on eraldatud vahekaugusega  $y$ . Talale mõjuv paindemoment saadakse jõu ja jõuõla korrutise teel ( $F \cdot y$ ). Saavutamaks tala kandevõime paindemomendile peab jõuõla pikkus olema kolm kuni neli tala kõrgust.[12]

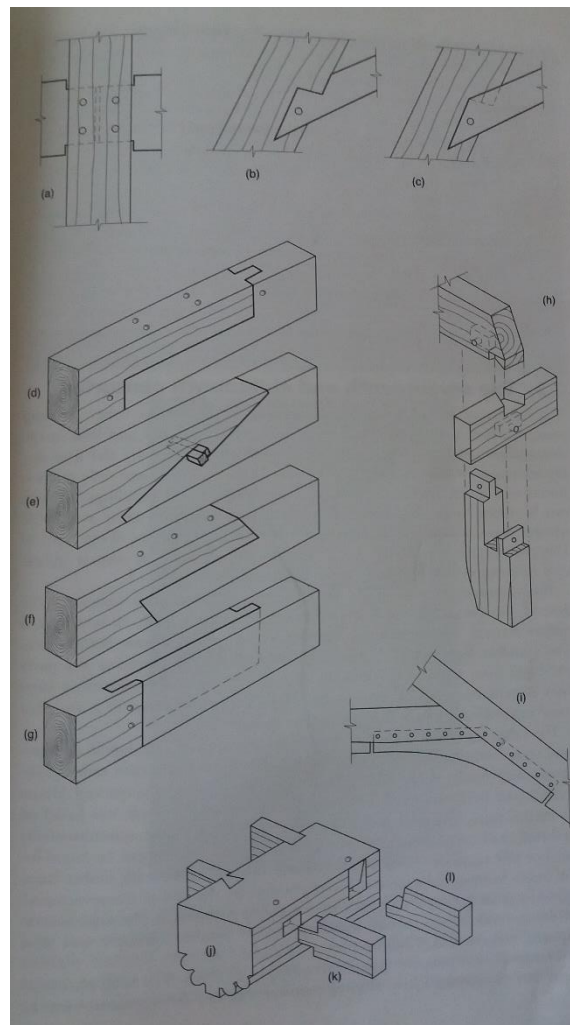
Selleks, et kindlustada talade koospüsimine, tehakse ühenduskohtadesse tala küljega viltu olev „hammas“. Täisnurga moodustav hammas (joonisel 4.3 skeem d) ei oma takistusi sõlme lahti vajumiseks. Kõrvaloleval skeemil e näidatud 30 kraadise või väiksema nurga puhul saab määravaks kohalik purunemine õhukeste puitosade tõttu. Skeemil f on näidatud optimaalne nurk seotise tegemiseks, mis on 70 kraadi. Isegi kui seotis on tehtud 70 kraadiste nurkadega, surutakse kahte tala lahku, kui nad ei ole asetatud tasasele pinnale või tüüblitega ühendatud. Lisaks on võimalik kasutada kiilusid, nagu näidatud skeemil j, mis teevad ühenduse tihedaks elimineerides nurkade lõikamisest tingitud ebatäpsused.[12]



Joonis 4.3 Painedemomendi üle kandmine puitlementide puitliite korral[12]



Joonisel 4.4 on näidatud erinevaid lahendusi puittalade ühendamise ajalooliste hoonete puhul. Antud näiteid on võimalik kasutada ka puitkonstruktsioonide restaureerimise puhul.[12]



Joonis 4.4 Puitelementide ühendused[12]

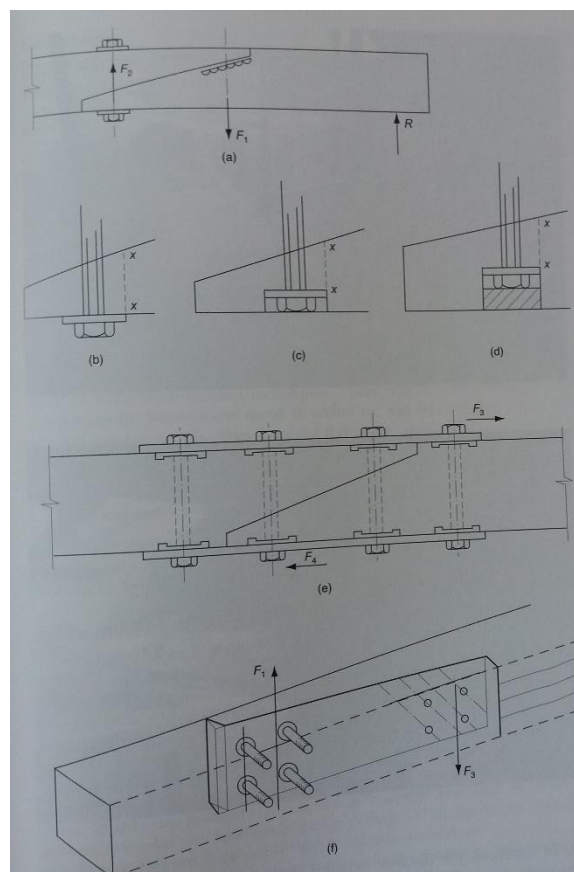
Kõikide joonisel 4.4 toodud näidete puhul on nõutud järgmist

- Piisavelementideülekatte pikkus
- Lõpuühenduste jaoks peab olema tehtud "hammas"
- Piisav tugevus jõudude vastuvõtmiseks
- Mehaaniline kinnitus, et tagada ühenduse püsivus, vältides nendel libisemist.[12]

#### 4.4.2 Metallkinnititega liited

Metallkinnitite kasutamine puitelementide liitekohas annab sõlmele suurema tugevuse ja jäikuse. See on osaliselt tingitud teraspoldi suuremast nihketugevusest puittüübli asemel.[12]

Erinevalt puitliitest on metallkinnititega liite korral jõu  $F_1$  mõjumispunktiks puitelemendi kandepunkt (joonis 4.5 skeem a). Teine jõud  $F_2$  rakendub poltkinnitusel kohas.  $F_2$  väärtus on poldi tugevus ja lisaks poldi pea ümber olevate detailide tugevus. Poltidest tekitatud puitelementide kahjustuse vältimiseks kasutatakse seibe, et jõud ühtlasemalt poldilt elemendile jaotada.[12]



Joonis 4.5 Paindemomendi üle kandmine metallkinnititega puitelementide ühenduse korral[12]

Joonisel 4.5 skeemidel b-d on näidatud erinevaid poltide kinnituse viise. Skeemil b on pold koos seibiga puitelemendi pinnale paigaldatud. Skeemil c on pold ja seib süvistatud ning skeemil d on pold ja seib süvistatud mille tagajärjel tekkinud avaus on poldi pealt puidutükiga kaetud, et parandada visuaalset väljanägemist ja/või tulepüsivust. Skeemidel esitatud lõikejoon x-x peab olema suuteline vastu võtma poldi lõikejõudu.[12]

Skeemil e on esitatud puitelementide ühendus, kus lisaks poltidele on ülemine ja alumine rihm, et liidet tugevdada. Sellise skeemi puhul lisandub jõupaar  $F_3$ - $F_4$ , mis töötab koos jõududega  $F_1$  ja  $F_2$ . Oluline on, et poltidel oleks võimalikult väike liikuvus. Kunas metallkinnitite kasutamisel puitelementide liitmisel on tegemist tugeva ühendusega, kus kogu jõud kantakse metallosadele (joonis 4.5 skeem f), siis puitosadele ei pea löikama „hammast“ nagu puitliidete puhul.[12]

## 5. HOONE AJALOOLINE ÜLEVAADE

Patarei Merekindlus asub Tallinnas, Kalaranna 28.[13] Kultuurimälestiste registri andmetel on hoone põhiosa alates 1997. aastast arvel ehitismälestisena, mille seisukorraks on märgitud „halb“.[14]

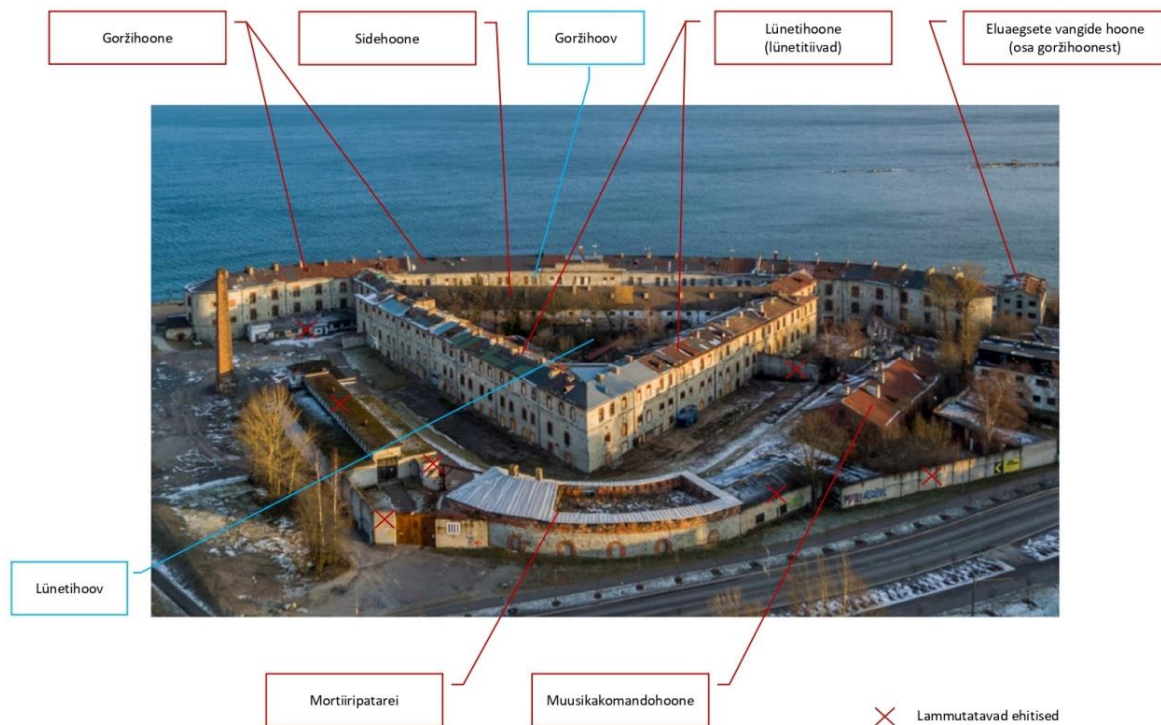
Patarei Merekindluse põhikonstruktsiooniks on paekividest müüritised ning katuse- ja vahelagede konstruktsioonina on kasutatud puitu. Vaadeldava hoone ehitusalune pind on ehitusregistri järgi 8291 m<sup>2</sup> ja kogumaht 101 274 m<sup>3</sup>. Töös ei käsitleta hoone lisaosaid ja juurdeehitisi, mis hõlmab sidehoonet, eluaegsete vangide hoonet (ka üksikkambrite hoone) ja otsakaponiiri.

Hoone projekteerisid Vene sõjaväeinsenerid Etienne-Louis Boullée ja Claude-Nicolas Ledoux. Ehitust alustati 1829. aastal ning hoonete kompleks valmis 1840. aastal.[14]

Hoone põhiosa moodustavad ligi 250 meetri pikkune kaarjas kolmekorruseline goržihoonet, mis on merepiiriga samasuunaline. Sellega liituvad kaks ligi 100 meetri pikkust lünetitiiba, mis moodustavad maa poolsele alale teravnurkse tipu. Kaarjas hooneosa on klassitsismiilmelinerusteeritud soklikorrusega, sümmeetriliselt paigutatud aknareaga. Hoone on lakoonilise arhitektuuriga, vaid merepoolset fassaadi ilmestavad kolm pooltorni.[15]

Esimene suurem muudatus leidis aset 19. sajandi keskel, 1860. aastate lõpus, mil hoone kohaldati Tallinna merekindluse likvideerimise järel kasarmuks ning enamik laskeavasid muudeti akendeks. 1892 ehitati maapoolsed flešitiivad (lünetitiivad), mis algselt olid kahekorruselised, goržihoonega sarnaselt kolmekorruseliseks. See võimaldas kompleksi majutada veelgi enam sõdureid. Tehti ka rida väiksemaid sisemisi ümberehitusi. 1920. aastatel kohaldati endine kindluseehitis vanglaks. See tõi kaasa ulatuslikumad siseplaneeringu muudatused. Ülemise ja alumise õue piirile ehitati 1932-34 uus kolmekorruseline hoone, mida on hakatud kutsuma Vahe- ehk Sidehooneks (kavandas insener Arnold Ahmann). Sama mehe kavandi alusel valmis goržihoonet kesklinna-poolses otsas 1930-32 nn Üksikkambrite hoone, uus neljakorruseline paekivist hoonemaht.[16]

Hoonete kompleksi kuuluvad veel Eluaegsete vangide hoone, Sidehoone, Mortiiropatarei ja Muusikakomandohoone ning nende vahele jäävad õuealad (joonis 5.1). Lisaks on joonisel 5.1 näha ehitised, mis kompleksi ümberehitustööde käigus lammutatakse.



Joonis 5.1 Patarei Merikindluse hoonetekompleks

Patarei Merikindlusel on läbi aegade olnud erinevaid funktsioone. Hoone ehitati suurtükke majutava kaitserajatisena kuid pea 200-aastast hoonet on üle poole ajast kasutatud vanglana.[17] Kindlus oli omal ajal ümbritsetud vallikraaviga. Goržihoone igal korrusel oli 24 suurt võlvruumi, igasse ruumi mahtus 2 suurtükki. Kogu hoone mahutas ligi 200 suurtükki, millega sõjaajal vaenlast tagasi hoida. Rahuajal majutati ruumides sõdureid.[15]Goržihoone merepoolses küljes asuvad ka kolm pooltorni, mis ehitati külgtule andmise eesmärgil. Lünetitiibu kasutati abiruumidena ning ohvitseride elupaigana.[15] Aastatel 1854 ja 1855 tehti kompleksis mitmeid ümberehitusi. Rajati ja ehitati ümber kaitseplatvorme ning ehitati muldpatarei ja – kindlus.[15] Tallinn jäeti Vene impeeriumi maakindluste nimekirjast välja ja seetõttu otsustati hoone ümber ehitada kasarmuks, kus sõjaväelasi majutada.[15] Vene impeeriumi lagunemise järel võttis Eesti Vabariik hoone kasutusele sõjaväe haiglana.[15] 1919. aastal anti Patarei kasarm Eesti Vabariigi kohtuministeriumile. Aasta hiljem võeti ümber ehitatud kindlus kasutusele vanglana. Tegemist oli Eestisuurima vanglaga, mahutades ligi 1000 vangi.[18]

Eesti okupeeriti 1940. Aastal NSV Liidu poolt ja Patarei Merekindlusesest sai Eesti NSV vangla.[19]Nõukogude aeg tõi endiselt vanglana kasutatud hoones kaasa rea uusi ümberehitusi siseruumides, palju endisi suuremaid ruume tükeldati vaheseintega, kinni müüriti aknaid ja uksi. 1950.-80. aastatel rajati ka rida silikaattellistest juurehitisi, neist osa eraldiseisvate hoonetena, osa aga ajaloolise põhikorpusega liituvatena.[16] Hoonetes hoiti nii tavakurjategijaid kui ka poliitvange. Vanglas viidi läbi ka vastavalt surmaotsustele hukkamisi.[19]

Pärast Eesti taasiseseisvumist, 1991. aastal nimetati Patarei Keskvanglaks. Patarei vangla lõpetas tegevuse 2002. aastal.[18]Vanglate keskhaigla püsis hoones 2005, osaliselt koguni 2007. aastani. Selle välja kolimise järel jäid ruumid tühjaks ja juba varem väga halvas seisundis olnud hoone hakkas kiiresti lagunema.[16]

Korduvad avarii-konserveerimistööd (ennekõike katuste osas) andsid vaid lühiajalist leevendust. Mitu vahepeal tehtud arendusplaani, sh idee kolida endisesse kindluse- ja vanglakompleksi Eesti Kunstiakadeemia, ei teostunud.[16]

2019. aasta teises pooles müüdi Patarei Merekindluse kinnistu enampakkumise teel. Uueks omanikuks sai Urmas Sõõrumaa, kes ainukese pakkujana oksjoni võitis.[20] Praeguseks on kinnistu jagatud mitmeks osaks, ühte ossa peaks tulema muuseum, ülejäänud mahtu aga äri- ja eluruumid. Alustatud on sekundaarsete ja väheväärtuslikuks peetud ehitusosade lammutamisega.[16]

## 6. TÖÖ METOODIKA

Puitkonstruktsioonide restaureerimise juures on oluline, et taastatakse hoone algne seisund ja välimus, see hõlmab ka sageli algupäraste materjalide ja tehnikate kasutamist. Seega on töö käigus oluline välja selgitada, milliseid konstruktsiooniosi on võimalik maksimaalselt säilitada.

Eelnevale tuginedes oli oluline uuringu teostamisel kasutada mittepurustavaid meetodeid.

Kõige otstarbekam on uurimist alustada visuaalse vaatluse teel. Sellega saab hindaja ülevaate uuritavatest konstruktsioonidest ja materjalidest. Visuaalse vaatlusega lihtsustatakse töö teostamist, sest määratakse ära, kus peaks rohkem uurima ning milliseid töövahendeid võiks kasutada. Seejärel teostada täpsemad uuringud ja mõõtmised. Konstruktsioonide uurimisel oli heaks abimeheks teleskoopredel, millega oli võimalik konstruktsioone lähemalt uurida kohtades, kus vahelagi oli deformeerunud ning sellel kõndida ei olnud võimalik.

Antud töö puhul alustatigi visuaalse vaatlusega, ning selle käigus koguti ka proove biokahjustajate määramiseks. Seenkahjustuse proovivõtu kohtades oli puidu sees või pinnal näha seeneniidistikku ja/või viljakeha.

Selleks, et konstruktsioone mitte deformeerida, uuriti puittalasid vastupanu-mikropuuriga. Puurimise tulemusi analüüsiti koos kogutud proovide analüüsi aruandega ja fotodega, mis valitsenud olukorrast jäädvustati.

Kaaluti ka helisignaali omaduste mõõtmise seadet, millega oleks võimalik heli levimise kiirust risti kiudu mõõta. Antud meetodiga oleks saanud eeldatava kahjustuspiirkonna ulatust mõõta, kuid tulemuste mitmeti tõlgendamise võimaluse vältimiseks otsustati vaid resistograafi kasuks.

Teiste meetodite (nõelpenetratsioon, akustilised meetodid, termograaf) kasutamine oleks andnud puitkonstruktsioon-elementide kohta osalisi tulemusi ja ei oleks saanud uurida konstruktsiooni tervikuna.

Saadud tulemusi analüüsiti ning selle tulemusena valmisid joonised, kuhu kanti uuringute hetkel valitsenud olukord ja märgiti soovitud restaureerimiseks.

Parima ekspertiisi koostamise aluseks on kombineeritud meetodikate kasutamine. Erinevateks meetoditeks võivad olla visuaalne vaatlus, lokaalne niiskusemõõtmine, akustilised meetodid, nõelpenetratsioon ning vastupanu-mikropuurimine.[8]

Käesolevas töös on kirjeldatud meetodeid, mida konkreetse objekti puhul kasutati.

Töö teostamist alustati välitöödega objektil, kogumaks andmeid hoone puitkonstruktsioonide seisukorrast ning restaureerimissoovituste andmiseks. Välitööd kestsid kokku 5 päeva, 1. märtsist- 5. märtsini 2021, mil teostati visuaalne vaatlus, proovide kogumine ning resistograafia puurimised. 1. märtsil teostati Goržihone katuseetarindite visuaalne vaatlus ning koguti proove biokahjustajate laboratoorseks määramiseks. 2. märtsil teostati visuaalne vaatlus ja proovide kogumine Lünetitiibade katust kandvatele puittaladele ning alustati resistograafia puurimisi Goržihone puittaladest. 3. märtsil teostati vastupanu-mikropuurimised Lünetitiibade katuseetarinditele ning ühele vahelaetalale. 4. märtsil vaadeldi ning koguti proove uuritavast vahelaest. 5. märtsil tehti kokkuvõtted ja täiendused uuritavatest konstruktsioonidest, täiendavalt fotografeeriti katust pealtpoolt. Kõikidel välitööde teostamise päevadel jäädvustati fotokaameraga Nikon D-5300 konstruktsioonide seisukorda.

Pärast välitöid koostati joonised, kuhu kanti uuritud puittalad. Proovid viidi laborisse 5. märtsil ning nende uurimine leidis aset 5.-12. märtsini, aruanne analüüside tulemustest väljastati 18. märtsil.

## **6.1 Visuaalne vaatlus**

Visuaalse vaatluse käigus kaardistati esmalt ohud ja vead nende ulatustega. Selle käigus visandati hoone 3. korruse põhiplaani katuse- ja laetalade asendid ning nende seisukord. Kolmanda korruse põhiplaani kasutati põõningu põhiplaani puudumise tõttu. Seisukorra märkimisel täheldati deformeerunud puittalasid, seen- ja/või putukkahjustusi. Samuti märgiti vee aktiivse läbijooksu kohad, mis olid tingitud katusekatte amortiseerumisest. Paralleelselt puitkonstruktsioonide seisukorra määramisega toimus ülesmõõdistamiseks laserskanneerimine.

Visuaalselt vaadeldi Goržihones 263 puittala, kus sarikapaar on arvestatud kahe erineva talana, täispikkuses sarikapaare oli 84. Lisaks vaadeldi toolvärgi moodustavaid puittarindeid ning müürlatti.



Lünetihoones vaadeldi 260 tala, millest täispikkuses sarikapaare oli 99 moodustades kokku 198 eraldi vaadeldavat puittala. Lünetitiibade 3.korruse ja pööningu vahelise vahelae puhul uuriti 139 tala, millest täispikkuses olid vaadeldavad 59 vahelae puittala. Ülejäänud talade puhul oli võimalik vaadelda vaid säilinud talaosa st. osaliselt deformeerunud tala. Mõned talad või nende osad olid inimtegevuse tagajärjel (maha saetud) puudu. Plaanile märkimisel oli abiks kiviseinas olev pesa, mis on mõeldud puittala kandmiseks, seega sai kokku lugeda, et 53 puittala oli täielikult deformeerunud. Kõiki puittalaid ei olnud võimalik uurida, sest nad jäid laekonstruktsiooni sisse. Selliseid talaid oli 43, neist nelja oli võimalik osaliselt uurida. Lisas 1 olevale plaanile on märgitud laetalade asukohad, puittalad, mis jäid laekonstruktsiooni sisse, võeti märkimisel arvesse teistes hooneosades paiknevate talade sammu.

## **6.2 Seene- ja putukkahjustuste proovide kogumine ja analüüs**

Proovi laborisse viimise jaoks võeti skalpelliga puidutükk koos seeneniidistiku või putukakäikudega ning pandi see ümbrikusse. Ümbrik suleti ning markeeriti proovi numbriga. Proovi võtmise koht märgiti plaanile. Proovi kogumise jaoks oli oluline, et see oleks pandud paberümbrikusse, siis saab niiskus vabalt liikuda ja proovitükk ei hakka hallitama liigniiskuse tõttu.

Proovide analüüs toimus SA Eesti Mükoloogiauuringute Keskuse poolt, kes väljastas sellekohase aruande. Proovide analüüsi tulemustest nähtub, et puitu lagundavatest seentest leiti korgikute (ld *Androdia*), mädikute (ld *Coniophora sp*) ja sugukonda Koorikulised (ld *Corticaceae*) kuuluvaid puitu lagundavaid seeni. Lisaks eelnevatele leiti vahelaest ka majavammi (ld *Serpula lacrymans*) kahjustusi ning tuvastati putukkahjustusi, mis on tekitatud Tooneseplaste (ld *Anobiinae*) poolt.

Proove võeti 34 erinevast kohast, millest 17 võeti Goržihoonest ning Lünetihoonest samuti 17 proovi, millest 7 katusekonstruktsioonist ning 10 vahelaest. Proov 18 on puudu, sest objektile markeerimisega jäi nimetatud number inimliku eksituse tõttu vahele. Sellest tingituna oli viimane markeeritud proov tähisega P35.

Korgikute seeneniidistik või viljakeha leiti 14 korral proovidest P1, P3, P6, P7, P8, P9, P10, P14, P19, P22, P23, P25, P28 ja P29, koorikuliste sugukonda kuuluvaid seeni leiti kuuel korral, proovidest P4, P11, P12, P15, P21 ja P24. Mädikute perekonda kuuluva liigi viljakeha leiti proovidest P5, P13, P16, P17 ja P20. Majavammi leiti proovidest P27, P30, P31, P32, P34 ja P35, proovist P34 leiti majavammi viljakeha, ülejäänud proovidest majavammi seeneniidistik. Proovist P2 leiti kandseene niidistik, mille puhul ei ole tegemist majavammi. Proovist P26 leiti mädiknahkise seeneniidistik ning proovist P33 pruunmädanikku tekitava seene kahjustus, mille liiki ei olnud võimalik määrata. Proovist P29 leiti tooneseplaste poolt tekitatud kahjustusi.

Korgikute ja mädikute puhul on oluline puitkonstruktsioon välja vahetada, sest resistograafia puurides täheldati olulisi ristlõikekadusid, mis konstruktsiooni tugevust vähendavad. Koorikuliste puhul vastupanu-mikropuuri tulemustest ristlõike kadusid ei tuvastatud, mistõttu elementide välja vahetamine ei ole vajalik. Seenkahjustustega kohtades tuleks peatada vee juurdepääs konstruktsioonelementidele. Kuna niiskus on puitu kahjustavate seente üks olulisemaid levikupõhjuseid, siis niiskuse eemaldamisel seente elutegevus peatub[7].

### **6.3 Resistograafi käsitlemine objektil**

Visuaalse vaatluse käigus märgiti plaanile kohad, mille adekvaatne hindamine visuaalse vaatluse käigus ei olnud võimalik. Selliste kohtade uurimiseks kasutati vastupanu mikropuuri RinnTechResistograph R650-PR.

#### **Vastupanu mikropuur RinnTechResistograph R650-PR andmed[21]**

Puurimise sügavus kuni 50 cm

Bluetooth printer

Puurimisega samaaegne tulemuste väljatrükk mõõtkavas 1:1 kriimustustele vastupidavatele termopaberi rullidele.

Kuni 50 puurimistsükli ilma paberi vahetuseta.

Mälumaht (salvesti akus) kuni 10 000 puurimistsükli jaoks.

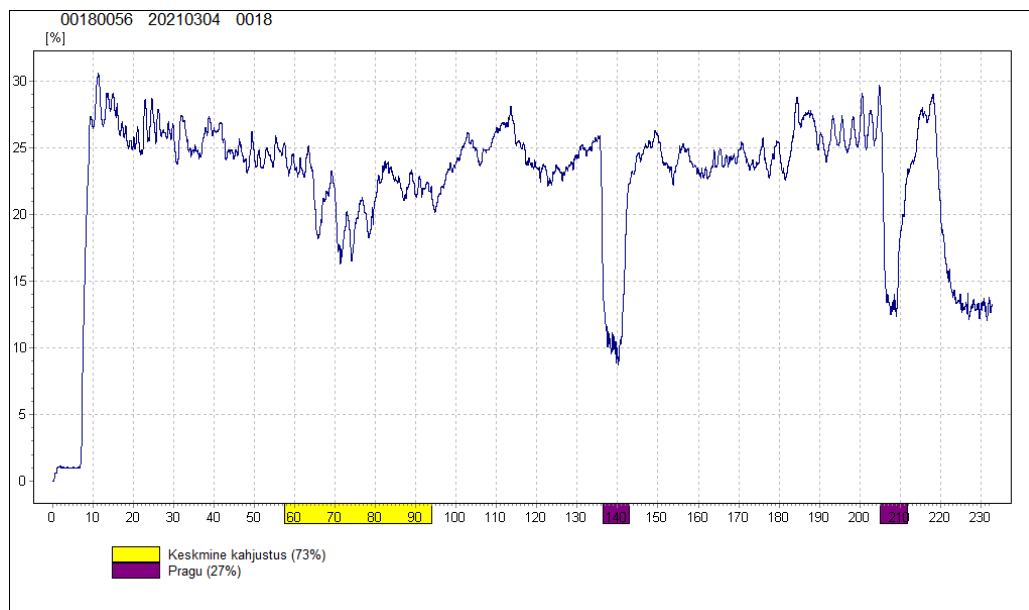
2 akut

Telefoni/tahvelarvuti android tarkvara

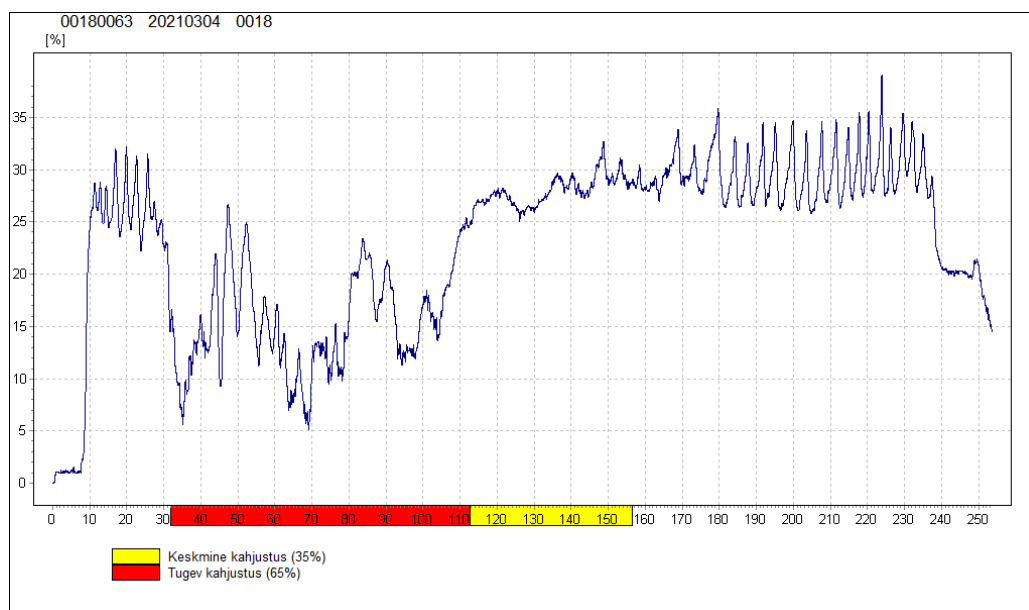
Professionaalne versioon 0.1 mm resolutsiooniga (graafik joonistub 0.1 mm intervalliga).

Resistograafi tulemusi töödeldi arvutiprogrammiga „Decom 2.xx Expert“, et oleks hinnangu andmine lihtsam. Programmis märgitakse peale erinevad kahjustuse ulatused (joonis 6.1 ja 6.2) ise nendele nimetusi andes ja märkmeid tehes. Joonistel on näha erinevaid kahjustusi tala ristlõikes ja nende ulatust. Protsent kahjustuste taga näitab vastava kahjustuse osa märgitud kahjustuste kogusummast.

Kõik resistograafi graafikud on saadud objektil teostatud puurimise tulemusena.



Joonis 6.1 Puurimine 56, puurimise andmete töötlemine programmi abil



Joonis 6.2 Puurimine 63, puurimise andmete töötlemine programmi abil

Nagu ka eelnevalt mainitud, siis üldiste järelduste tegemiseks peab arvukalt puurimisi tegema, et hindamine oleks piisavalt täpne.

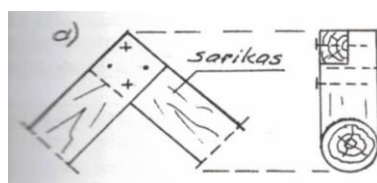
Resistograafi kasutamine on parim võimalik lahendus uurida ajaloolisi konstruktsioone, mille säilitamise eesmärgil ei oleks nende deformeerimine mõeldav. Patarei Merekindluse puitkonstruktsioonide uurimisel teostati esimesena visuaalne vaatlus, mille käigus märgiti plaanidele, millistel taladel võiks vastupanu-mikropuuriga mõõtmised teha. Kui ülevaade puitkonstruktsioonidest oli saadud, siis asuti resistograafiga puurima. Seadme kasutamisel on võimalik kohe ka puurimise tulemus paberkujul välja printida, mida ka tehti. Prinditud kujul on võimalik kohapeal hinnata, kas oleks vajalik teostada lisapuurimisi uuritava konstruktsioonelemendil.

Kokku tehti 86 puurimist, millega uuriti 63 erinevat tala. Mõnel juhul puuriti ühte puittala kahel korral. Esimese puurimise järgi hinnati tala seisukorda ning teise puurimise eesmärgiks oli välja selgitada kahjustuste ulatus talas. Goržihoones uuriti 27 tala, korduvaid puurimisi tehti kolmel korral, Lünetitiibade sarikatest puuriti 35-te, neist korduvalt 5 tala ja Lünetihoonete vahelae puhul puuriti ühte tala kolmest erinevast kohast. Ebaõnnestunud puurimisi oli 8. Ebaõnnestumiste põhjusteks oli halvasti käes hoitud puurimisseade, puuri purunemine või metallelemendi asetsemine puurimisteel.

Tugeva kahjustusega talad kuuluvad väljavahetamisele, kergemate kahjustuste korral oli määravaks proovianalüüsi tulemus ja kahjustuse ulatus.

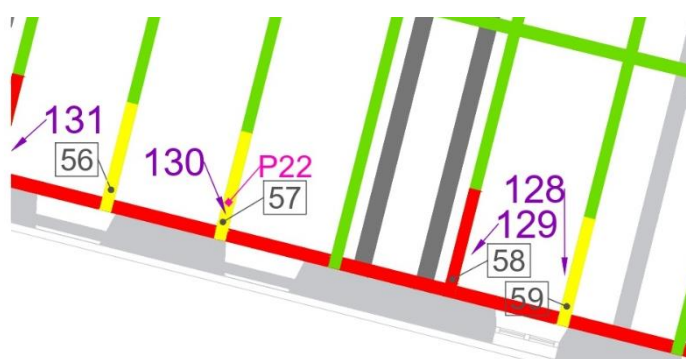
## 7. OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS JA RESTAUREERIMISSOOVITUSED

Goržihoonel ja Lünetiitibadel on erinev katusekonstruktsioon. Sarikate ristlõige on mõlemal hoonel sama, kuid sildeava on erinev ning seetõttu on katusekonstruktsioon erinevalt lahendatud. Hoone varisemise vältimiseks on katusel teostatud mõningaid avariitöid talade toestamise, proteesimise või plommimise teel. Katuse seisukohalt on oluline see lekkevabana hoida, kuid arvukate vee läbijooksude tõttu on nii algupärased kui ka juba asendatud talad erinevate biokahjustajate poolt deformeerunud. Vaadeldavates hoonetes on sarikate harjaseotiseks pool-poolega (joonis 7.1) tapp.



Joonis 7.1 Pool-poolega harjaseotis [11]

Töö tulemusena valmisid joonised (Lisa 1), millele kanti vaatluse hetkel olnud seisukord koos restaureerimissoovitustega.



Joonis 7.2 Selgitav joonis, fragment Lisas 1 asuvast joonisest

Joonisel 7.2 on Lisas 1 asuvast joonisest välja võetud osa selgitamaks joonise tähiseid. Roheline tähistab algupärast tala, sarnaselt rohelisega on joonisel ka sinisega tähistatud talad, mis on juba mingil ajajärgul välja vahetatud. Punane tähistab puittala või selle osa, mis tuleb asendada või proteesida ning kollane tähistab tugevdamist vajavat

puitelementi. Joonisel olevad nooled koos numbritega tähistavad tehtud fotosid, mis on esitatud Lisas 2. Tähis P ja number selle järel tähistab kogutud proovi, sama number markeeriti ka prooviümbrikule. Puurimiste asukohti tähistavad numbrid, mille ümber on „kastike“. Uuringute käigus eraldi markeerimist vajavad kohad said kirjeldatutest erineva tähise, mida saab täpsemalt vaadata Lisast 1.

Restaureerimissoovitustes käsitletakse talade asendamist, proteesimist, tugevdamist ja lammutamist. Antud soovitused on koostatud vaatluse hetkel valitsenud olukorrale tuginedes ning ei ole lõplikud, sest kuni hoone lekete kõrvaldamiseni on kahjustuste ulatus ajas suurenev. Soovitused on antud edasiseks tegevuseks, kuid ei ole määratud nende konkreetne lahendus. Iga tala puhul tuleb konkreetne proteesimise või asendamise lahendus tala mõõtmetele tuginedes anda. Autor soovib kasutada puittala proteesimisel ja asendamisel metallkinnititega puitliiteid, sest liide on puitliitest tugevam ning vastupidavus paindele suurem. Ka juba asendatud talade puhul on kasutatud sarnaselt joonisel 4.5 skeemil f kujutatud liidet.

Järgnevalt kirjeldatakse kumbagi hooneosa eraldi ja antakse restaureerimissoovitused puitkonstruktsioonidele. Vaatluse tulemused ja restaureerimist vajavad kohad on kantud Lisas 1 olevatele joonistele. Objektil jäädvustatud fotod on Lisas 2 ning resistograafi puurimisgraafikud Lisas 3.

## **7.1 Goržihoone katus**

### **7.1.1 Katusekonstruktsiooni ja selle seisukorra kirjeldus**

Goržihoone katusekonstruktsioon koosneb piki hoonet paiknevast ülemisest ja alumistest toolvärkidest ning sarikatest. Algupäraste sarikate mõõtmeteks on 220x250 mm. Lisaks algupärastele sarikatele on mõned sarikad juba välja vahetatud, proteesitud või toestatud. Hoone vaatlusel oli võimalik eristada algupäraseid ning ajalises mõttes varem ja hiljem asendatud sarikaid. Mõned sarikad on välja vahetatud aastate eest, seda võib ütelda puidu värvuse muutumise tõttu, ka olid osad asendatud talad juba nähtavate kahjustustega. Joonisele on eraldi märgitud ka hiljuti asendatud katus, mille sarikad on mõõtmetelt väiksemad ja samm tihedam. Selle hooneosa sarikaid ülesse ei märgitud, sest nende seisukord oli hea, katusekate oli lekkevaba.

Maa poolt vaadatuna on Goržihoone vasakpoolne tiib rohkem kahjustusi saanud. Seda näitab asendatud sarikate hulk. Parempoolses osas on asendatud või proteesitud sarikaid vaid viis. Rohkem kahjustada on saanud uukide ümber olevad puittalad. Merepoolses küljes on kokku kolm uuki, mis kõik jäävad hoone parempoolsesse osasse. Maapoolses küljes on aga uuke seitse ning lisaks üks vintskap.

Järgnevalt kirjeldatakse talade seisukorda ja nende joonisele märkimisel analüüsi teostamist. Käsitletud on vaid uugi ning vintskapi ümbruses olevaid talasid, kuid töökäik oli kõikide talade hindamise puhul sarnane. Analüüsi visuaalsel vaatlusel, proovide analüüs, resistograafi graafiliste kõverate ja jäädvustatud fotode tulemusi ning kanti joonisele (Lisa 1) restaureerimiseks vajalik tegevus.

Läänepoolt maapoolseid uuke lugema hakates on vaja tugevdada esimese uugi alune toolvärk, seda kinnitavad ka resistograafi puurimised 10 ja 11 (Lisas 3 joonised lisa 3.8 ja 3.9) Uugi kõrvale jäävate sarikate otsad vajavad proteesimist. Edasi liikudes on järgmiseks avauseks vintskap, mille luuk oli avatud ning vee juurdepääs konstruktsioonidele vaba. Joonisel 7.3 on näha kahjustunud sarikat ning trepile langev valgus tuleb vintskapi luugi avatusest. Sademevesi pääseb vintskapi kaudu otse konstruktsioonile ning on potentsiaalne puittalade kahjustaja.



*Joonis 7.3 Kahjustunud sarikas vintskapi kõrval ruumide 3019 ja 3020 kohal (autorifoto)*

Vintskapi kõrval olev sarikas deformeerunud ning vajab välja vahetamist.

Teine vaadeldav uuk jääb hiljuti asendatud katusesse, kus sarikad olid välja vahetatud ning nende seisukord oli hea.

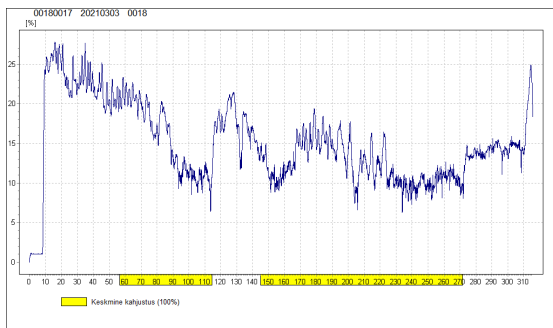
Kolmas uuk asub hoone keskosast pisut paremal ning selle ümbruses olevad puittalad on tugevasti kahjustunud. Uugist läänepoolses osas sarikalt (joonisel 7.4) võetud proovis P5 tuvastati mädikute perekonda kuuluva liigi viljakeha. Joonisel on näha, milline näeb välja seene viljakeha. Uugist paremale ehk idapoolse jäävalt sarikalt (joonisel 7.5) võetud proovist P6 leiti korgikute viljakeha. Samas kohas teostati ka vastupanu-mikropuurimine 17 (joonisel 7.6), mille graafilisest kõverast selgub, et puittala on sisemiselt kahjustunud. Deformeerumise tekkepõhjuseks on piirkonnast leitud aktiivne vee läbijooks (joonisel 7.7) mis on tekitanud soodsa keskkonna erinevate seente arenguks.



*Joonis 4 Kahjustunud sarikas, proovi P5 võtukoht (autorifoto)*



*Joonis 7.5 Kahjustunud sarikas ja toolvärk, kohast võetud proov P6 (autorifoto)*



*Joonis 5 Vastupanu-mikropuurimine toolvärgivööst, mis nähtav joonisel (autorifoto)*



*Joonis 7.7 Lume ja vee läbijooks katusest otse konstruktsioonile (autorifoto)*

Kahjustuste ulatust arvesse võttes tuleks asendada täispikkuses sarikas, kust võeti proov P5. Proovi P6 võtukohaga sarikaots tuleb proteesida ning selle alla jääv alumine toolvärk proteesida kahe sarika vahelise osa keskkohani. Toolvärgi tala puuriti ka keskkohast paremale poole jäävas osas, mille graafik 18 on näidatud lisa 3, joonisel lisa 3.15, ning selle tulemusi arvesse võttes tala asendama ega tugevdama ei pea.

Neljanda uugi kõrvale jäävatel sarikatel on kahjustusi näha alumise toolvärgivööst allapoole jäävatel sarikaotsad, mis vajavad proteesimist. Viienda uugi kõrvale oleval



läänepoolsel sarikal teostatud kaks puurimist nr 24 ja 25 poolemeetrise vahega, kuid mõlemad kinnitavad puittala laiaulatuslikke kahjustusi. Tugevate sisemiste kahjustuste tõttu tuleb kogu sarikas välja vahetada. Teisel pool uuki olevalt sarikalt võeti proov P10, millest leiti taaskord korgikute viljakeha (joonisel 7.8).



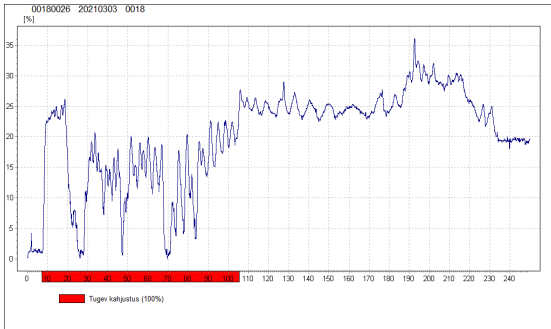
*Joonis 6 Korgikute viljakeha sarikal ruumi 3085 kohal, proovi P10 võtukoht (autorifoto)*

Toolvärgivööst üleval pool teostati resistograafi puurimine nr 23 (Lisas 3 joonis lisa 3.20), graafiliselt kõveralt defekte puittalas ei leitud, seega proteesida tuleb sarika ots, mis jääb toolvärgist allapoole.

Kuuenda uugi vasakpoolne tala visuaalsel vaatlusel hinnati heas seisukorras olevaks. Sama uugi juures olev parempoolne sarikas on jäädvustatud lisas 2 fotol 56, sarikalt võeti proov P13, millest leiti mädikute perekonda kuuluva liigi viljakeha. Sarikas tuleb täispikkuses asendada. Maapoolse külje viimase ehk seitsmenda uugi vasakpoolne sarikas on näha lisas 2 fotol 65 ning parempoolne fotol 66. Proovist P17 leiti samuti mädikute perekonda kuuluva liigi viljakeha, ning see võeti uugi vasakpoolselt sarikalt. Mõlemad sarikad tuleb proteesida. Lisaks vajab asendamist uugi alla jääv toolvärk.

Läänepoolt vaadatuna vajab merepoolse esimese uugi all olev toolvärk sarikate vahelises alas välja vahetamist, sest visuaalsel vaatlusel hinnati selle seisukord halvaks. Jäädvustusi antud kohast ei tehtud.

Teise uugi kõrval parempoolselt sarikalt võeti proov P11, kust leiti koorikuliste sugukonda kuuluv seen. Samas kohas tehtud vastupanu-mikropuurimine 26 (joonisel 7.9) näitab, et tala ristlõike alumine osa on tugevalt kahjustunud. Olukord on jäädvustatud joonisel 7.10. Sarikas tuleb täispikkuses asendada.



Joonis 79 Vastupanu-mikropuurimine 26



Joonis 810 Jäädvustus proovi P11 ja resistograafi puurimise nr 26 juurest (autorifoto)

Kolmanda ja ühtlasi selle osa viimase uugi kõrval olev vasakpoolne sarikas jäädvustati Lisas 2 oleval fotol 55, piirkonnast võeti ka proov P12, kust leiti koorikuliste sugukonna seen. Toolvärgist üleval pool teostatud sarika puurimise graafikult 28 (Lisas 3 joonisel lisa 3.25) defekte ei leitud. Parmal pool oleva sarika puurimise graafikult 27 (Lisas 3 joonisel lisa 3.24) selgub, et sarikas on sisemiste deformatsioonidega, mille ulatus jääb alla 25% kogu ristlõikest. Resistograafiga uuriti ka toolvärgivööd, mille graafikult 29 (Lisas 3 joonisel lisa 3.26) kahjustusi ei tuvastatud. Uugi all olev toolvärk ning kõrval asuvad sarikad tuleb tugevdada kindlustamaks konstruktsiooni püsivus.

### 7.1.2 Soovitused katusekonstruktsiooni restaureerimiseks

Patarei Merekindluse puitkonstruktsioonide restaureerimissoovituste andmiseks märgiti hoone 3. korruse põhiplaani sarikad, mida tähistati erinevate värvidega. Punase värviga tähistatud talad või nende osad vajavad väljavahetamist. Vastavalt punasega märgitud osa pikkusele on võimalik aru saada, kas tala tuleb täielikult välja vahetada või proteesida vastav osa. Kollasega märgitud osad vajavad tugevdamist, et purunemist tõkestada ja/või suurendada konstruktsiooni kandevõimet.

- Kogu hoone ulatuses välja vahetada müürlatt ulatuslike kahjustuste ning hüdroisolatsiooni puudumise tõttu; müüripealne osa tasandada ning paigaldada nõuetekohane hüdroisolatsioon kivi- ja puidupinna vahele.
- Punasega märgitud sarikad asendada või proteesida (Lisa 1 leht 1)
- Kollasega märgitud talad tugevdada (Lisa 1 leht 1)

- Vee aktiivse läbijooksu kohad parandada, et peatada vee läbijooks (Lisa 1 leht 1), lisaks tuleb parandada ka need vee läbijooksu kohad, mis vaatluse hetkel puudusid, kuid on tekkinud aja möödumisel vaatluse hetke ja parandustööde teostamise vahel.

## 7.2 Lünetitiibade katus

### 7.2.1 Katusekonstruktsiooni ja selle seisukorra kirjeldus

Lünetitiibade katusekonstruktsioon koosneb piki hoonet paiknevast puitsõrestikust (joonis 7.3) ning selle ülemisele vööle toetuvatest sarikatest. Algupäraste sarikate mõõtmeteks on 220 x 250 mm ning asendatud talade mõõtmed on 180 x 220 mm.

Vaatluse tulemused ja restureerimist vajavad kohad on kantud joonisele (vt. Lisa 1 leht 2).



*Joonis 7.11 Lünetitiibade puitsõrestik (autorifoto)*

Nagu ka jooniselt 7.11 nähtub, on puitsõrestikku lisatud metalltõmbid, mis aitavad vahelae koormust ühtlasemalt sõrestikule jaotada.

Lünetitiibade sarikate kahjustuste hindamine ja analüüs restaureerimissoovituseks toimus sarnaselt Goržihoone puhul kirjeldatule.

Joonisel 7.12 on eraldi välja toodud sarikate ühendussõlm, mis asub kahe lünetiiva liitumiskohas. Sõlmes on mõned talad deformeerunud ning sõlm laiali vajunud. Sõlme restaureerimiseks tuleb koostada eraldi joonised, et konstruktsiooni kandevõime oleks tagatud. Antud töös selle lahendamiseks ei tegeletud.



*Joonis 7.12 Lünetiivade liitumiskohas olev sõlm (autorifoto)*

### **7.2.2 Soovitused katusekonstruktsiooni restaureerimiseks**

- Kogu hoone ulatuses välja vahetada müürlatt ulatuslike kahjustuste ning hüdroisolatsiooni puudumise tõttu
- Punasega märgitud sarikad asendada või proteesida (Lisa 1 leht 2)
- Kollasega märgitud talad tugevdada (Lisa 1 leht 2)
- Vee aktiivse läbijooksu kohad parandada, et peatada vee läbijooks.

## 7.3 Lünetitiibade vahelagi

### 7.3.1 Vahelae seisukorra kirjeldus

Töös käsitletakse Lünetitiibade kolmanda korruse ja pööningu vahelist vahelage.

Vaadeldud vahelae konstruktsioon oli osaliselt purunenud, seega oli võimalik vaadelda vahelae talade seisukorda. Osades, kus laekonstruktsioon oli suletud ja otsene talade vaatlus ei õnnestunud, hinnati lae üldist seisukorda kahjustavate seente aktiivsuse järgi ning resistograafia puurides. Vaatluse tegemisel valitsenud olukord on kajastatud joonisel Lisas 1 lehel 3.

Vahelae kandekonstruktsiooniks on piki hoonet paiknev puitsõrestik (joonis7.11), mille alumisele vööle toetuvad vahelae talad. Vahelaetaladena on kasutatud 220 x 220 mm ristlõikega puittalasid.

Joonisel 7.13 on vaadeldav laetala ruumide 3176 ja 3178 kohal, mida katab nii pealt kui alt puitlaudis. Laekonstruktsioonis leidub putukakahjustusi, millele viitab näripuru olemasolu. Laboris määratud proov P29, mis on ruumi 3186 laest võetud, leiti putukakahjustusi, mis on suuresti tooneseplaste poolt tekitatud.



*Joonis 9 Vaade vahelaekihtide vahel olevale putukakahjustusele (autorifoto)*

Olemasoleva vahelae konstruktsiooniks on laetalad, mis on nii ülalt kui alt kaetud puitlaudisega. Puittalade vahele on jäetud õhkvahe. Ülemise laudise peal on liiv, mis on soojustuse eest.

Vahelae konstruktsioon ülalt alla.

- liiv
- laudis
- laetalad
- laudis

Joonisel 7.14 on näha, et vahelae deformeerumise tõttu on puitsõrestik tõusnud ülesse poole ning metalltõmbid ei täida oma eesmärki.



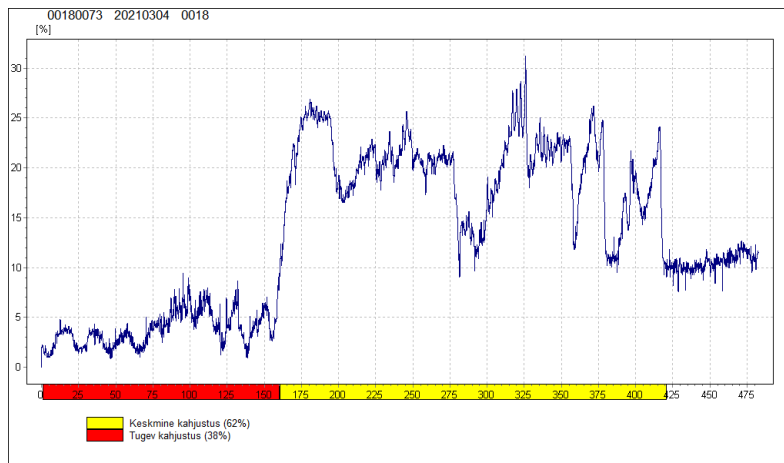
*Joonis 7.14 Vahelae deformeerumise tõttu on sõrestiku alumine vöö tõusnud (autorifoto)*

Suletud vahelaekonstruktsiooni õnnestus uurida vahelae pealt liiva ja deformeerunud puitlaudisesse tehtud süvendi kaudu. Joonisel 7.15 on näha suletud vahelaekonstruktsioonis olev tala.



*Joonis 7.15 Purunenud vahelaetala ruumi 3241 kohal (autorifoto)*

Sama tala puuriti resistograafia, mille graafiline kõver on esitatud joonisel 7.16. Kuna puurimissügavus graafikul on üle 40 sentimeetri, siis saame öelda, et ainult vahelaetala ei puuritud. Graafikul esitatud tugev kahjustus märgib vahelaetala peal olevat liivakihti, pärast seda algab puitosa, kust umbes 1,5 cm paksuse osa moodustab laudis ning alles siis algab hinnatav vahelaetala puittala seisukorra kõver. Sama tala puuriti kolmel korral, mille graafilised kõverad on leitavad Lisas 3 (joonis lisa 3.66-3.68). Tala ristlõige on tugevate kahjustustega ning vajab välja vahetamist.



*Joonis 10 Resistograafia saadud graafiline kõver ruumi 3124 kohal puuritud vahelaetalast*

Vahelaetala puittaladelt leiti mitmel korral majavammi seeneniidistikku ning viljakehi. Joonistel 7.18-7.20 on toodud mõned näited majavammi seeneniidistikust. Lünetitiibade vahelaetala erinevatest osadest leiti majavammi kahjustusi, mida kinnitavad ka kogutud proovid P27 ruumist 3023, P30 ruumist 3194, P31 ruumist 3196, P32 ruumist 3198, P34 ruumist 3241 ning P35 ruumist 3258.



*Joonis 7.17 Majvammi seeneniidistik vahelae laudisel ruumi 3023 kohal, proov P27 (autorifoto)*



*Joonis 7.1812 Proovi P34 võtukoht ruumis 3241, kus on näha majavammi kahjustustega lage (autorifoto)*



*Joonis 7.1911 Ruumi 3196 kohal olev laetala, millest võeti proov P31 ja tuvastati majavammi seeneniidistik (autorifoto)*



*Joonis 7.2013 Proovi P35 võtukoht, majavammi kahjustusega tala (autorifoto)*

### **7.3.2 Soovitused vahelae restaureerimiseks**

Tihti ajaloolis-kultuurilise väärtusega kivihoonete katuse ja vahelaetarindite seisukord on nii halb, et kuulub täielikult väljavahetamisele.[11]

Puitvahelagede valikulise remondi korral on sagedaseks võtteks nn märgade ruumide alune mädanikkahjustustega ala asendamine terastaladel betoonvahelaega.[11]

Lünetitiibade vahelae vaatluse käigus selgus, et osaliselt on vahelagi asendatud betoonvahelaega. Hillisemat asendamist kinnitab puittalade jaoks olevate pesade olemasolu kivimüüris, betoonvahelae peal. Samuti on algne vahelagi deformeerumise käigus langenud betoonist vahelae peale.



Vaadeldud 3. korruse ja pööningu vaheline vahelagi on niivõrd halvas seisukorras, et ka selle väljavahetamine on otstarbekas. Võetud proovid, tehtud fotod ning resistograafi puurimised kinnitavad, et talad on ulatuslike seen- ja putukkahjustustega. Lisaks on majavammi kahjustus hõlmanud terve ühe hoonetiiva, ning selle tõrjeks tuleks kogu talastik väljalammutada. Teises hoonetiivas on paikseid majavammikahjustusi kuid nende tõrje teostamiseks on vaja töödelda kahjustusulatusest suuremat piirkonda, mis hõlmab kahjustunud talade eemaldamist. Vahelaetalasid, millel ei esine kahjustusi, võib kasutada proteesimiseks hoone teistes osades.

Sarnaselt Goržihoonetele, tehti ka Lünetiitibade olukorda ja restaureerimissoovitusi kirjeldav joonis. Punasega märgitud talad tuleb asendada või proteesida ning kollasega märgitud tugevdada. Lisaks on märgitud oranži värviga vahelaetalade asukoht, mis olid vaatluse hetkeks juba purunenud, seega säilitamine pole enam võimalik. Ulatuslike majavammi kahjustuste tõttu on joonisele kantud esialgne majavammi kahjustuspiirkond. Tegelik kahjustuspiirkond võib olla ulatuslikum, kui vahelaed, mida polnud võimalik uurida, avatakse.

- Teisaldada kogu vahelagi ulatuslike seen- ja putukkahjustuste tõttu.
- Vähem kahjustunud laetalasid saab hoonete teistes osades kasutada puitelementide proteesimiseks.
- Säilitada piki hoonet kulgev sõrestik täies ulatuses – seisukord hea.
- Arvestada, et sõrestikus paiknevad metalltõmbid vajavad pingutamist, kui lagi teisaldetakse, sest koormus sõrestikule väheneb.

## 8. TUGEVUSARVUTUSED

### 8.1 Üldosa

Töös kontrollitakse katusekonstruktsiooni kriitilise löike tugevust kandepiirseisundis.

Vaadeldakse vaid katusekonstruktsioone, sest töös eelnevalt käsitletud vahelae talad kannavad vaid iseennast ning ei ole teada peale restaureerimist vahelaele paigutatavate seadmete kaal.

Kontrollitakse, kas Goržihoone kui kõige merepoolsema ja tuultele avatuma hoone sarikate kandevõime on tagatud. Arvutus on teostatud sarikale, mis asub kriitilises löikes ehk sarikate vaheline samm on kõige suurem. Algupäraste talade sarikate asetusest on näha, et sarikate samm on varieeruv paarist meetrist kuni pea kolme ja poole meetrini. Käesolevas lõputöös ei käsitleta toolvärgivöö arvutust.

#### Kasutatud normdokumendid

- EVS-EN 1990:2002+NA:2002 „Eurokoodeks. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused”
- EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused . Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused”
- EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus”
- EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus”
- EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreegliid ja reegliid hoonete projekteerimiseks”

#### Kirjandus

- Ehituskonstruktorigi käsiraamat

## Kasutatud arvutiprogrammid

- AutoCADArchitecture2020
- Autodesk Robot StructuralAnalysis Professional 2020

## Arvutusosalused ja meetoodika

Konstruksiooniarvutustega kontrollitakse, et ei ületataks kande- ja kasutuspiiriseisundi tingimusi. Kandepiiriseisundi ületades konstruktsioon kas puruneb, kaotab staatilise tasakaalu, kaotab stabiilsuse või tekivad muud kahjustused, mille tagajärjel konstruktsioon kaotab kandevõime ja tekib oht inimestele. Kasutuspiiriseisundis lähtutakse normaalse kasutamise nõuetest, inimeste mugavusest ja ehitise väljanägemisest (deformatsioonid, vibratsioonid, mitte kandvate elementide kahjustused). Koormuse põhjustatud tagajärjed võivad olla taastumatud või taastuvad, vastavalt sellele, kas koormuse mõju eemaldamisel tagajärjed jäävad alles või kaovad.[22]

## 8.2 Koormused

### 8.2.1 Omakaalukoormus

Materjalide omakaalud on võetud Ehituskonstruktori käsiraamatust[5].

$$G_k = \frac{h * d}{s} * \gamma, \quad (1)$$

kus  $G_k$  – normatiivne omakaalukoormus, kN/m<sup>2</sup>  
h – materjali paksus, m  
d – materjali laius, m  
 $\gamma$  – materjali mahukaal, kN/m<sup>3</sup>  
s – materjali vahekaugus ehk samm, m

Tabel 1 Katuse omakaalukoormus

Kiht	Paksus h(m)	Laius d(m)	Mahukaal $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Samm s(m)	Lauskoormus $g_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
Valtsplekk	-	-	-	-	0,060
Roovitis	0,05	0,06	5	0,2	0,075
Sarikas	0,25	0,22	5	3,5	0,079
Lauskoormus sarikale $\Sigma g_k$ (kN/m <sup>2</sup> )					0,214

Joonkoormus sarikale  $0,214 * 3,4 = 0,728 \text{ kN/m}$

## 8.2.2 Lumekoormus

Lumekoormus katusele leitakse järgmise valemi abil:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k, \quad (2)$$

kus  $s$  – lumekoormuse normsuurus, kN/m<sup>2</sup>

$\mu_i$  – lumekoormuse kujutegur

$s_k$  – normatiivne lumekoormus maapinnal, kN/m<sup>2</sup>

$C_e$  – avatustegur

$C_t$  – soojustegur

Projektis käsitletav hoonel on kahekaldega katus, mille kalle on 17°. Lumekoormuse kujutegur, mis määratakse standardi EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 tabeli 5.2 [23] järgi, on 0,8, sest katuse kaldenurk jääb alla 30°.

Hoone asub Tallinnas, kus normatiivne lumekoormus maapinnal, standardi EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 joonise NA.4.1 [23] põhjal,  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ .

Avatustegur  $C_e = 0,8$ , sest hoone asub mere ääres ja seega tuultele avatud maastikul.

Soojustegur  $C_t = 1,0$ , sest tegemist on tavalise katusega, mis ei edasta tugevasti soojust.

Katusele mõjuv normatiivne lumekoormus vastavalt valemile 2 :

$$s = 0,8 * 0,8 * 1,0 * 1,5 = 0,96 \frac{kN}{m^2}$$

Kuna kahe katuse ühinemisel tekkiv neelukoht ei ole olulise kõrgusvahega ning katuse kalle on suhteliselt väike, siis sinna kogunevat lund arvesse võetud ei ole.

### 8.2.3 Tuulekoormus

Välispindadele mõjuv tuulerõhk arvutatakse järgmise valemiga:

$$w_e = q_p * (z_e) * c_{pe}, \quad (3)$$

kus  $q_p(z_e)$  – tippkiirusrõhk

$z_e$  – välisrõhu arvutuskõrgus

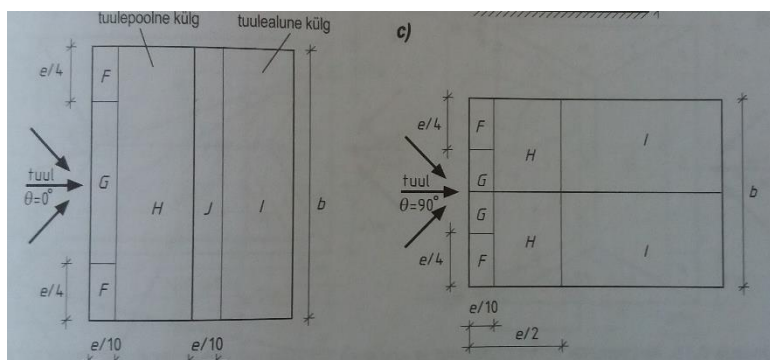
$c_{pe}$  – välisrõhu rõhutegur

Hoone maastikutüüp on standardi tabeli 4.1 [24] põhjal 0, sest hoone asub kaldapiirkonnas, mis on avatud merele. Tabeli järgi on minimaalne arvutuskõrgus 1 meeter, kunas hoone kõrgus  $z_e = 11,6$  meetrit on minimaalsest kõrgusest suurem, siis arvutustes võtame aluseks hoone reaalse kõrguse.

Tuule tippkiirusrõhk  $q_p$  arvutatakse järgneva valemiga:

$$q_p = 6,72 \ln^2 \frac{z}{0,003} + 47,02 \ln \frac{z}{0,003} = 6,72 \ln^2 \frac{11,6}{0,003} + 47,02 \ln \frac{11,6}{0,003} = 0,847 \frac{kN}{m^2}$$

Tabelis 2 ja 3 olevad tähed F-J tähistavad hoone erinevaid piirkondi, mille puhul on järgitud joonisel 8.1 esitatud tsoone. Suurus e on vasakpoolse joonise puhul 23,2 ning parempoolse puhul 20.



Joonis 8.1 Kahekaldelise katuse koormustsoonid

Tulemused tabelis 17 kraadise katusekalde puhul on saadud interpoleerides.

Tabel 2. Kahekaldelise katuse kaldenurgaga 17° tuulerõhutegurid  $c_{pe,10}$  [24]

Katuse kaldenurk $\alpha$	Tuule suund $\theta = 0^\circ$ ja $\theta = 180^\circ$					Tuule suund $\theta = 90^\circ$ ja $\theta = 270^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
15	-0.9	-0.8	-0.3	-0.4	-1.0	-1.3	-1.3	-0.6	-0.5
	0.2	0.2	0.2						
17	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.3</b>	<b>-0.4</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.3</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>
	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>						
30	-0.5	-0.5	-0.2	-0.4	-0.5	-1.1	-1.4	-0.8	-0.5
	0.7	0.7	0.4						

Tabelis 3 on toodud valemi 3 abil arvatatud tuulerõhud.

Tabel 3. Kahekaldelise katuse koormustsoonide tuulerõhud

	Tuule suund $\theta = 0^\circ$ ja $\theta = 360^\circ$					Tuule suund $\theta = 90^\circ$ ja $\theta = 180^\circ$			
	F	G	H	I	J	F	G	H	I
tuulerõhutegur $c_{pe,10}$	0.847	-0.76	0.287	-0.4	0.933	1.273	1.313	0.627	-0.5
	0.267	0.267	0.227						
tuulerõhk $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0.717	-0.644	-0.243	-0.339	-0.791	-1.079	-1.112	-0.531	-0.424
	0.226	0.226	0.192						

## 8.2.4 Kasuskoormus

Katus kuulub klassi H, mis tähendab, et tegemist on katusega, kuhu pääseb ainult hoolduseks, remondiks ja puhastustöödeks. Katuse kalle on alla 20 kraadi, seega normatiivne kasuskoormus on 0,75 kN/m<sup>2</sup>. [5]

## 8.2.5 Sarika kandevõime

Kuusepuit on kõrgete tehniliste omadustega, kui 1 cm-s on aastarõngaid 3...20. [4]  
Sarika tugevusklassiks on võetud C24, sest resistograafi graafikutelt (Lisa 3) selgus, et puit on kõrgete tehniliste omadustega arvestades aastarõngste tihedust. Sarika kandevõime arvutamisel kasutatakse kõige halvimat koormusolukorda, milleks on omakaal + domineeriv kasuskoormus + lumi + tuul.

Tabel 4. Okaspuidust saematerjali tugevusklassiga C24 normatiivsed omadused [12]

Paindetugevus	$f_{m,k}$	24 N/mm <sup>2</sup>
Tõmbetugevus pikikiudu	$f_{t,0,k}$	14 N/mm <sup>2</sup>
Survetugevus pikikiudu	$f_{c,0,k}$	21 N/mm <sup>2</sup>
Nihketugevus	$f_{v,k}$	4,0 N/mm <sup>2</sup>
Elastsusmoodul 5% pikikiudu	$E_{0,05}$	7400 N/mm <sup>2</sup>

Materjali omaduste arväärtus arvutakse järgneva valemiga:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (4)$$

kus  $X_k$  – materjali omaduse normväärtus

$\gamma_M$  - materjali omaduste osavarutegur

$k_{mod}$  – koormuse kestuse ja konstruktsiooni niiskuse mõju arvestav tugevusparameetri modifikatsioonitegur

Tabel 5. Teguri  $k_{mod}$  väärtused [12]

Materjal	Kasutusklass	Koormuse kestusklass				
		alaline	pikaajaline	keskkestev	lühiajaline	hetkeline
Saepuit	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

Kasutusklassiks võetakse käesoleva hoone puhul 2, sest tegemist on külma pööninguga ning hoone asub mere ääres, kus õhuniiskus on keskmisest suurem. Roome deformatsioon  $k_{def}$  on kasutusklassiga 2 puhul 0,8.[22]

Materjali osavarutegur võetakse Ehituskonstruktori käsiraamatust tabelist 14.1[22], kus saepuidu puhul  $\gamma_m=1,30$ .

Kandepiirseisundi koormuskombinatsiooni üldkuju:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (5)$$

kus  $\gamma$  – vastavalt indeksile alalis-, muutuv-või eelpingestuskoormuse osavarutegur  
 $G_k$  – alaliskoormuse normväärtus  
 $Q_k$  – muutuvkoormuse normväärtus  
 $P$  – eelpingestuskoormuse esindusväärtus  
 $\Psi_0$  – muutuvkoormuse kombinatsioonitegur

Kasutuspiirseisundi koormuskombinatsiooni üldkuju:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (6)$$

kus  $G_k$  – alaliskoormuse normväärtus  
 $Q_k$  – muutuvkoormuse normväärtus  
 $P$  – eelpingestuskoormuse esindusväärtus  
 $\Psi_0$  – muutuvkoormuse kombinatsioonitegur



Koormuskombinatsioonide puhul ei ole mitte domineerivat kasuskoormust arvesse võetud, sest selle kombinatsioonitegur on 0 ja seega muutub terve osa, mis antud liiget sisaldab nulliks.

Kõige suuremad sisejõud tekivad koormuskombinatsiooni puhul, kus esinevad omakaal, domineeriv.

### **Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega**

Sarika kandevõime kontroll teostatakse kriitilises lõikes olevale sarikale. Valitud on Goržihoone ruumide 3078 ja 3080 asuv sarikapaar, kus veekahjustuse tõttu vajab sarikas asendamist ning toolvärgivöö tugevdamist. Antud kohas on sarikate samm kõige suurem, 3,4 meetrit.

Sarika kandevõime kontrollil on lähtunud surutud ja painutatud posti arvutusmeetodist.(Ehitus)

Joonistel on esitatud kriitilises lõikes oleva sarika skeem talle mõjuvate jõudude epüüridega. Sarika puhul on tegemist C24 tugevusklassiga puittalaga, mille mõõtmeteks on 220 x 250 mm. Sarikale on paigaldatud roovid sammuga 200 mm, mis takistavad sarika z-teljesuunalise välja nõtkumise.

Survel koos paindega peavad olema rahuldatud järgmised tingimused:

Nõtke ümber y-telje

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (7)$$

Nõtke ümber z-telje

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (8)$$

kus  $f_{c,0,d}$  – pikikiudu survetugevuse arvutusväärtus, N/mm<sup>2</sup>

$f_{m,y,d}$  ja  $f_{m,z,d}$  – paindetugevuse arvutusväärtus, N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{c,0,d}$  – pikikiudu survepinge arvutusväärtus, N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{m,y,d}$  ja  $\sigma_{m,z,d}$  – paindepinge y- või z- telje suhtes, N/mm<sup>2</sup>

$k_{c,y}$  ja  $k_{c,z}$  – nõrketegurid peatelgedes suhtes

$k_m$  –pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomoogeensust arvestav tegur, mis täisnurkse ristlõike korral on  $k_m=0,7$ , muudel juhtudel 1,0. [22]

Sarika nõrgestatud ristlõike efektiivpindala arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$A = b * h_{ef} \quad (9)$$

kus  $b$  – tala laius, mm

$h_{ef}$  – tala efektiivne kõrgus, mm

$$A = 220 * 250 = 55000 \text{ mm}^2$$

Kontrollime varda suhtelist saledust. Kui suhteline saledus  $\lambda_{rel,y} < 0,3$ , siis ei ole tegu saleda vardaga ning rahuldatud peavad olema tingimused, mis on toodud valemis 7 ja 8.

Inertsimomendid telgede suhtes leitakse järgmise valemiga:

$$I_{y(z)} = \frac{b * h^3}{12} \quad (10)$$

kus  $b$  – ristlõike laius, mm

$h$  – ristlõike kõrgus, mm

Inertsiraadiuste leidmiseks telgede suhtes kasutatakse järgnevat valemit:

$$i_{y(z)} = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}} \quad (11)$$

kus  $I_{y(z)}$  – moment  $y(z)$  telje suhtes,  $\text{mm}^4$

$A$  – ristlõike pindala,  $\text{mm}^2$

Varda saleduste leidmiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$\lambda_{y(z)} = \frac{l_{ef}}{i_{y(z)}} \quad (12)$$

kus  $l_{ef}$  – nõtkepikkus telje  $y(z)$  suhtes, mm

$i_{y(z)}$  – inertsiraadius telje  $y(z)$  suhtes, mm

Varda suhtelised saledused leitakse järgmise valemiga:

$$\lambda_{rel,y(z)} = \frac{\lambda_{y(z)}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (13)$$

kus  $\lambda$  – suhteline saledus

$f_{c,0,k}$  – normatiivne survetugevus pikikiudu, N/mm<sup>2</sup>

$E_{0,05}$  –5% elastsusmoodul pikikiudu N/mm<sup>2</sup>

Kasutades valemit 10 leiame inertsimomendid

$$I_{y(z)} = \frac{b * h^3}{12} = \frac{220 * 250^3}{12} = 286,4 * 10^6$$

Valemiga 11 leiame inertsiraadiused

$$i_{y(z)} = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}} = \sqrt{\frac{286,4 * 10^3}{55000}} = 5208,34 \text{ mm}$$

Varda saleduste leidmiseks kasutame valemit 12

$$\lambda_{y(z)} = \frac{l_{ef}}{i_{y(z)}} = \frac{5120}{5208,38} = 0,983$$

Varda suhteliste saleduste leidmiseks kasutame valemit 13

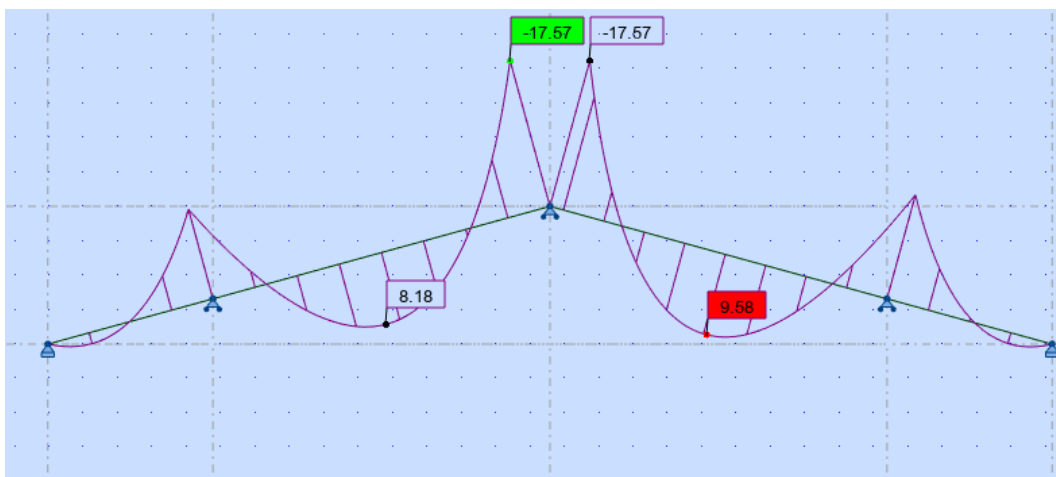
$$\lambda_{rel,y(z)} = \frac{\lambda_{y(z)}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{0,983}{\pi} * \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,017 < 0,3$$

Tegemist ei ole saleda vardaga.

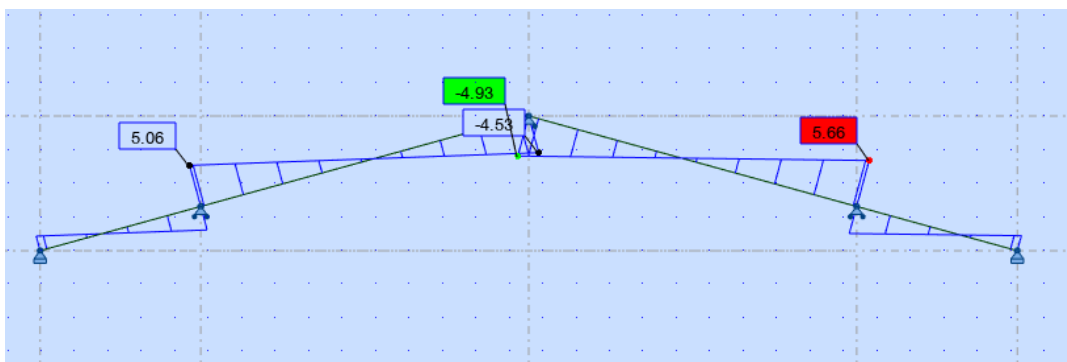
Epüüridelt leitavad survejõud  $N_{c,d}$  ja paindemoment  $M_{y,d}$  on järgmised:

$$N_{c,d} = 5,66 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 17,57 \text{ kN*m}$$



Joonis 8.2 Sarika paindemomendi epüür



Joonis 8.314 Sarika pikijõuepüür

Arvutuslik survepinge pikikiudu leitakse järgmise valemiga [22]

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{5,66 * 10^3}{55000} = 0,103 \frac{N}{mm^2} \quad (14)$$

Arvutuslik paindepinge leitakse valemiga [22]

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17,57 * 10^6}{2291666,7} = 7,667 \frac{N}{mm^2} \quad (15)$$

kus  $M_{y,d}$  – paindemoment peatelgede suhtes

$W_y$  – ristlõike vastupanumoment peatelgede suhtes, mis leitakse valemiga 16

$$W_y = \frac{b * h_{ef}^2}{6} = \frac{220 * 250^2}{6} = 2291666,7 mm^2 \quad (26)$$

Sarika kandevõime kontroll survele koos paindega valemite 7 ja 8 abil.

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,103}{12,92}\right)^2 + \frac{7,667}{14,77} + 0 = 0,519 < 1$$
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \left(\frac{0,103}{12,92}\right)^2 + 0,7 * \frac{7,667}{14,77} + 0 = 0,363 < 1$$

Sarika kandevõime on tagatud.

Arvutused teostati sarikale, mis asub lõikes, kus sarikate samm on kõige suurem. Kuna tugevustingimus selles kohas on täidetud, siis on kandevõime tagatud ka teiste sarikate puhul.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö tulemusena uuriti Patarei Merekindluse Goržihoone ja Lünetiitibade katusekonstruktsioonide ning Lünetiitibade 3. korruse ja pööningu vahelise vahelae seisukorda, anti soovitused nende restaureerimiseks ning teostati katusekonstruktsiooni tugevusarvutused. Uuringu tulemustest ja restaureerimissoovitustest visandati joonised ning kontrolliti Goržihoone sarikate kandevõimet.

Visuaalse vaatluse käigus hinnati konstruktsioonide üldist seisukorda ning kahjustunud kohtade ulatust. Samuti koguti seen- ja putukkahjustajate proove, millede laborianalüüsi koostas ja sellekohase aruande väljastas Eesti Mükoloogiauuringu Keskus SA.

Resistograafia puuriti nii uuritavaid sarikaid kui ka vahelaetalasid. Puurimisgraafikute abil hinnati puittalade seisukorda. Lisaks eelnevatele meetoditele fotografeeriti valitsev olukord uuringu teostamise hetkel. Kõike eelnimetatud arvesse võttes analüüsiti saadud tulemusi paralleelselt ning koostati joonised restaureerimissoovitustega. Jooniselt on võimalik välja lugeda, millised puittalad tuleks asendada täispikkuses, proteesida või tugevdada.

Kokkuvõtteks võib öelda, et puitkonstruktsioonide suurimaks kahjustajaks on niiskus. Antud hoone puhul oli nii seen- kui ka putukkahjustuste põhjuseks suur niiskusesisaldus õhus ning vaba vee juurdepääs konstruktsioonidele. Töös antud soovituste puhul on arvesse võetud puitkonstruktsioonide maksimaalse säilitamise võimalust.

Lõputöös kirjeldatud soovitused on antud uuringu hetkel valitsenud olukorra põhjal. Konstruktsioonidel liigniiskuse jätkumisel kahjustuste ulatus võib suurenedada. Puitkonstruktsioonide restaureerimistöde teostamisel on eelnevalt vajalik insener-tehnilised arvutused koostada sarika proteesimise ja tugevdamise lahenduste ja pikkuste välja selgitamiseks konstruktsiooni püsivuse ja jäikuse saavutamiseks.

Töö käigus autori poolt tehtud joonised jõudsid hoone ümberehitusega tegelevate isikuteni, kes arutavad ja hindavad võimalikke konstruktsiooni restaureerimislahendusi. Tänapäevaks on soovitus 3. korruse vahelae teisaldamisest arvesse võetud ning vahelagi on väljalammutatud.

## SUMMARY

As a result of the master's thesis, the condition of the roof structures of the Patarei Sea Fortress Goržihooone and the Lünetitiib's and the intermediate ceiling between the 3rd floor and the attic of the Lüünetiib was studied, recommendations for their restoration were given and strength calculations of the roof structure were performed. Drawings were sketched of the results of the thesis and the restoration recommendations were given.

During the visual inspection, the general condition of the structures and the extent of the damaged areas were assessed. Samples of fungal and insect pests were also collected, the laboratory analysis of which was prepared and a report was issued by the Estonian Mycology Research Centre Foundation.

Both the rafters and the intermediate beams were drilled with a resistograph. The condition of the wooden beams was assessed using drilling graphs. In addition to the previous methods, the prevailing situation at the time of the search was photographed. Taking all the above into account, the obtained results were analyzed in parallel and drawings were prepared with restoration recommendations. It is possible to read from the figure which wooden beams should be replaced at full length, prosthetic or reinforced.

In conclusion, it can be said that the biggest damage to wooden structures is moisture. In the case of this building, both fungal and insect damage was caused by the high moisture content in the air and free access of water to the structures. The recommendations given in the work have taken into account the possibility of maximum preservation of wooden structures.

The recommendations described in the dissertation are based on the current situation in this thesis. If excessive moisture in the structures persists, the extent of damage may increase. When performing restoration works of wooden structures, it is necessary to prepare engineering and technical calculations in advance in order to find out the solutions and lengths of rafter prosthetics and reinforcement in order to achieve the stability and rigidity of the structure.

In the course of the work, the drawings made by the author reached the persons involved in the reconstruction of the building, who discuss and evaluate possible structural restoration solutions. To date, the recommendation to move the 3rd floor false ceiling has been taken into account and the false ceiling has been demolished.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] L. Täheväli Stroh, *Maja ja niiskus*. Kodukiri, 2005.
- [2] K. Konsa ja K. Pilt, *Majavamm, puukoi ja teised kahjurid*. 2013.
- [3] J. Metslang, *Vana Maamaja Käsiraamat*. 2012.
- [4] E. Saarman ja U. Veibri, *PUIDUTEADUS*. 2006.
- [5] K. Konsa ja K. Pilt, *Hoonete biokahjustused*. Tartu: AS Atlex, 2012.
- [6] S. Vessmann ja K. Pilt, „Proovi laboratoorne analüüs 4502/0321“, 2021.
- [7] E.-J. Just, K. Õiger, ja A. Just, *Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid*. 2015.
- [8] J. Metslang, *Katuseraamat*. Tammerraamat, 2016.
- [9] J. Tohvri, „Vastupanu mikropuurimise seos okaspuidu tiheduse ja ristikiudu survepingega“, Eesti Maaülikool, 2017.
- [10] K. Õiger, *Ehitiste renoveerimine*. TTÜ kirjastus, 2015.
- [11] S. Käärid, *Hoonete remont ja rekonstrueerimine II*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2004.
- [12] P. Ross, *Appraisal and Repair of Timber Structures*. London: Thomas Telford Publishing, 2002.
- [13] „Avaleht | Patarei Vangla“. <https://patareiprison.org/et> (vaadatud mai 11, 2021).
- [14] „8485 Kaitsekasarm, 1829-1840 • Mälestiste otsing • Mälestised“. <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8485> (vaadatud mai 03, 2021).
- [15] „Patarei militaarrajatisena (1830. aastad -1917) | Patarei Vangla“. <https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-militaarrajatisena-1830-aastad-1917> (vaadatud mai 17, 2021).
- [16] O. Orro ja O. Alver, „Muinsuskaitse eritingimused, Kaitsekasarm 1829-1840“, 2020.
- [17] „Patarei kui sümbol | Patarei Vangla“.

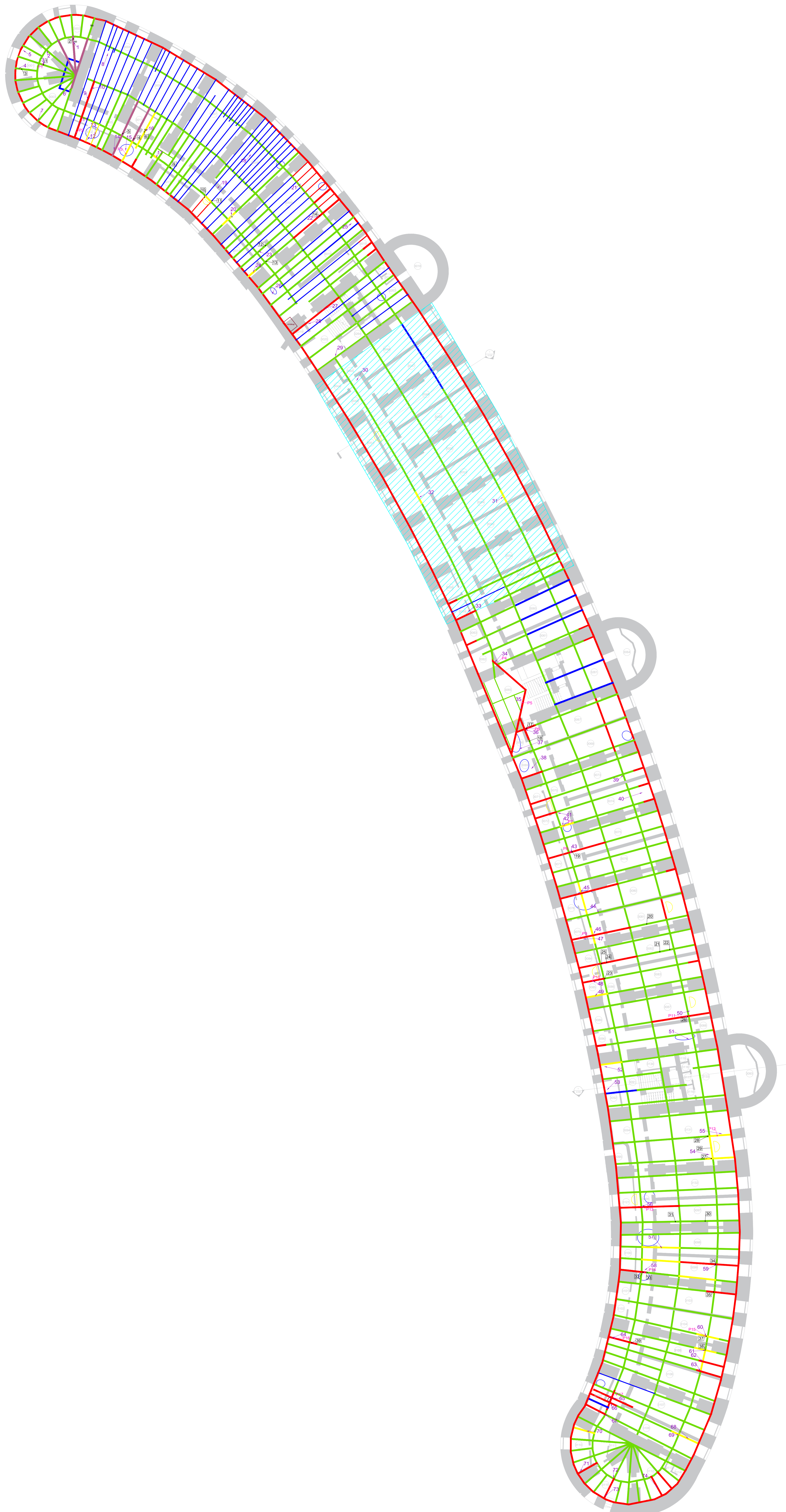


- <https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-kui-sumbol> (vaadatud mai 03, 2021).
- [18] „Patarei keskvanglana (1920-1940; 1991-2002) | Patarei Vangla“.  
<https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-keskvanglana-1920-1940-1991-2002>  
(vaadatud mai 17, 2021).
- [19] „Patarei totalitaarsete režiimide terroripaigana (1940-1991) | Patarei Vangla“.  
<https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-totalitaarsete-reziimide-terroripaigana-1940-1991> (vaadatud mai 17, 2021).
- [20] S. Randalid, „Patarei merekindluse ostab Urmas Sõõrumaa“, *Postimees Majandus*, 2019.
- [21] V. Bäumen, „TECHNOLOGY AND KNOW-HOW FOR INSPECTING TREES AND FORESTS, TIMBER AND STRUCTURES, WOOD AND TREE-RINGS“.
- [22] T. Masso, *Ehituskonstruktori käsiraamat*. EHITAME, 2014.
- [23] Standardikeskus, „EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus““. .
- [24] Standardikeskus, „EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused.Tuulekoormus““. .

**LISAD**

## Lisa 1 Graagiline osa

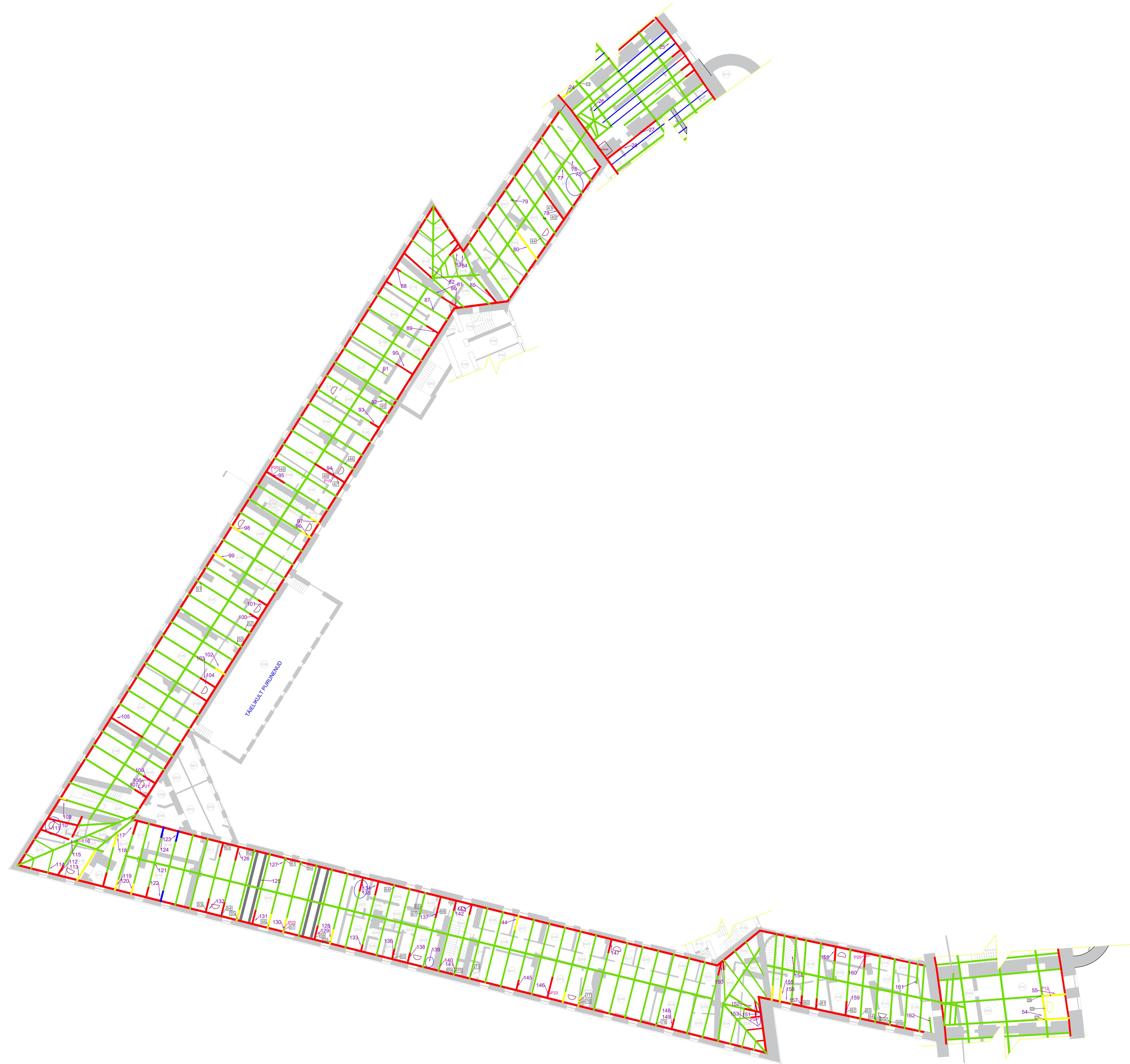
	<b>Joonise nimetus</b>	<b>Mõõtkava</b>
Leht 1	Patarei Merekindluse Goržihoone sarikate ja toolvärgi plaan	1:200
Leht 2	Patarei Merekindluse Lünetitiibade katuseplaan	1:200
Leht 3	Patarei Merekindluse Lünetitiibadevahelaepaan	1:200



TINGIMÄRGID

- Algselt olemasolev ruumala
- Asendatavad ruumala
- Asendatavad või parandatavad ruumala
- Tugevdada
- Sõõrutada
- Hiljuti asendatud katus
- foto nr
- puurimise nr
- põlvkond
- M Mürakindlus
- N Nõrgustus
- U Uks
- Aastane vee mõõde

TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Lehekülg: 1/3
Koostaja: Katri-Liis Kangro		Patareii Merekindluse Gorzihoone sarikate ja toovõrgi plaan	
Juhendaja: Kalle Piit			
TalTech Tartu koolidz	Kuupäev: 22.05.2021	Formaat: A0	Mõõtkava: 1:200



- TINGMÄRGI
- Algsarane puitala
  - Asendatud puitala
  - Asendada või proteesida
  - Tugevdada
- foto nr  
 - ehitise nr  
 - pinnar nr
- N0 Nõrgustus
  - UAK UAK
  - Aktiivne vee läbipääs

TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	LehtLeht 2/3
Koostaja Katri-Liis Kangro		Patari Merekindluse Lünetiibade katuseplaani	
Juhendaja Kalle Pilt		Kauplev. 22.05.2021	Formaat A0
TalTech Tartu kolled2		Mõõskava 1:200	



- Algseisne puitala
- Pununenud puitala
- Laekonstruktsiooni sees olev puitala
- Asendada või proteesida
- Tugirada
- ▨ Eelalgne misjäävami katkestuspiirkond
- 100 mm
- 150 mm
- 200 mm

TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Leht nr:
Kootaja Katri-Liis Kangro			3/3
Juhendaja Kalle Pitt		Patarei Merekindluse Lünnettibade vahelaepiaan	
TalTech Tartu kolledž		Kuupäev: 22.05.2021	Formaat: A0
		Mõõtkava: 1:200	

## Lisa 2 Objektil jäädvustatud fotod

Kõik fotode pildistamissuunad ja asukohad on märgitud töö lisa 1 olevatel joonistel. Kõikide fotode puhul on tegemist autorifotodega.

### Goržihoone puitkonstruktsioonid



Foto 1. Põlengukahjustusega sarikas ruumi 3002 kohal.



Foto 2. Sarika ja toolvärgi vöö ühenduskoht ruumi 3001 kohal.



Foto 3. Seenkahjustusega (korgik) sarikas ruumi 3001 kohal. Proovi P1 võtukoht.





Foto 4. Kahjustatud sarikaots ja müürlatt ruumi 3001 kohal.



Foto 5. Purunenud sarikas ruumi 3001 kohal.



Foto 6. Kahjustatud sarikaots toesõlmes ruumi 3003 kohal.



Foto 7. Tugevdatud sarikas ja kahjustatud müürlatt ruumi 3003 kohal.



Foto 8. Asendatud sarikad ruumi 3004 kohal.



Foto 9. Asendatud sarikad ja tugevdatud toolvark ruumi 3004-3005 vaheseina kohal.



Foto 10. Purunenud ja toetatud sarikas ruumi 3004 kohal.



Foto 11. Seenkahjustusega sarikas ruumi 3012 kohal. Proovi P2 võtukoht.



Foto 12. Seenkahjustusega sarikas ruumi 3012 kohal.



Foto 13. Seenkahjustusega sarikas ruumi 3012 kohal.



Foto 14. Seenkahjustusega sarikas ruumi 3005 kohal.



Foto 15. Kahjustatud sarikaotsad ja müürlatt ruumi 3005 kohal. Proovi P3 võtukoht.



Foto 16. Murdunud sarikas ruumi 3005-3006 vaheseina kohal.



Foto 17. Deformeerunud toolvärgi hoovipoolne vöö ruumi 3005 kohal.



Foto 18. Asendatud sarikad ruumi 3008 kohal.



Foto 19. Kahjustatud sarikad ja toolvärgi vöö uugi all.





Foto 20. Purunenud sarikas toolvärgi ja sarika ühendussõlmes.



Foto 21. Tugevdatud sarikad ruumi 3009 kohal.



Foto 22. Tugevdatud sarikaotsad ruumi 3009 kohal.



Foto 23. Toolvärgi vöö ja sarika sõlm koridori 3005 kohal.



Foto 24. Märgunud piirkond ja tugevdatud sarikaotsad ruumi 3014 kohal.



Foto 25. Ruumi 3010 merepoolse osa sarikaotsad ja kahjustatud müürlatt.



Foto 26. Märgunud piirkond kahe katuse ühenduskohas. Neelukoht.



Foto 27. Tugevasti kahjustatud sarikas trepikoja kohal.



Foto 28. Purunenud ja tugevdatud sarikas vintskapi kõrval.



Foto 29. Kahjustatud sarikas ja toolvärgi vöö ots trepikoja kõrval.



Foto 30. Asendatud katus ruumi 3048 kohal. Säilinud toolvärgi vöö.



Foto 31. Nõrgestatud toolvärgi vöö ruumi 3054 kohal.



Foto 32. Toolvärgi vöö jätk postide vahel. Vajab tugevdamist.



Foto 33. Kahjustatud sarikad ja müürlatt ruumi 3059 kohal.



Foto 34. Kahjustatud sarikad trepikoja kohal neelukohas. Proovi P4 võtukoht.



Foto 35. Tugevasti kahjustatud sarikas trepikoja kohal. Proovi P5 võtukoht.





Foto 36. Tugevasti kahjustatud toolvärgi vöö ja sarikas uugi kõrval. Proovi P6 võtukoht.



Foto 37. Lumi ja purunenud müürlatt ruumi 3066 kohal.



Foto 38. Lumi ja toetatud sarikad ruumi 3069 kohal.



Foto 39. Vändunud toolvärgi vöö ruumide 3073 ja 3074 vaheseina kohal.



Foto 40. Kahjustatud sarikaotsad ruumi 3074 kohal.



Foto 41. Kahjustatud sarikas uugi kõrval ruumi 3072 kohal.



Foto 42. Seene viljakeha sarikal. Proovi P7 võtukoht.



Foto 43. Tugeva seenkahjustusega sarikas. Proovi P8 võtukoht.



Foto 44. Kerge kahjustusega sarikas ja roovid ruumide 3080 ja 3081 vaheseina piirkonnas.



Foto 45. Tugevdatud sarikas ja toolvärgi vöö ruumi 3078 kohal.



Foto 46. Kahjustatud sarikas ruumi 3079 kohal. Proovi P9 võtukoht.



Foto 47. Kahjustatud sarikas ruumi 3079 kohal. Proovi P9 võtukoht.



Foto 48. Tugeva kahjustusega sarikas uugi kõrval ruumi 3085 kohal. Proovi P10 võtukoht.



Foto 49. Kahjustatud sarikas ruumi 3085 kohal.



Foto 50. Kahjustatud toolvärgi vöö ruumi 3087 kohal merepoolses osas. Proovi P11 võtukoht.



Foto 51. Lumi kaare nurgas merepoelses küljes.





Foto 52. Kahjustused ruumi 3091 kohal.



Foto 53. Kahjustused ruumi 3092 kohal. Neelukoht Lüneti tiiva katusega.



Foto 54. Kahjustatud toolvärgi vöö uugi all ruumi 3131 kohal merepoolses osas.



Foto 55. Seenkahjustusega sarikaots merepoolses küljes. Proovi P12 võtukoht.



Foto 56. Kahjustused uugi all ruumi 3121 kohal. Proovi P13 võtukoht.



Foto 57. Toestaud sarikad ruumi 3098 kohal. Jätkukohad on deformeerunud.



Foto 58. Seenkahjustusega sarikas koridori kohal. Proovi P14 võtukoht.



Foto 59. Kahjustatud sarikas ruumi 3099 kohal merepoolses osas.



Foto 60. Kahjustatud sarikas ruumi 3104 kohal. Proovi P15 võtukoht.



Foto 61. Kahjustatud sarikad ja toolvärgi vöö ruumi 3105 kohal.



Foto 62. Kahjustatud sarikas ruumi 3105 kohal.



Foto 63. Tugevasti kahjustatud sarikas ruumi 3105 kohal.



Foto 64. Kahjustatud sarikas hoovipoolses osas. Proovi P16 võtukoht.



Foto 65. Kahjustatud toolvärgi vöö ja sarikas uugi all. Proovi P17 võtukoht.



Foto 66. Kahjustatud sarikas uugi all ruumi 3109 kohal.



Foto 67. Kahjustatud sarikad ruumi 3109 kohal.





Foto 68. Kahjustatud sarikaots ruumi 3108 kohal merepoolses küljes.



Foto 69. Kahjustus sarika ja toolvärgi ühenduskohas ruumi 3108 kohal.



Foto 70. Kahjustatud sarikaots ruumi 3110 kohal kaare alguses.



Foto 71. Toestatud ja kahjustatud sarikas ruumide 3110 ja 3115 vaheseina kohal.



Foto 72. Kahjustatud toolvärgi vöö ruumi 3115 kohal.



Foto 73. Kahjustatud ja toetatud sarikaots ruumi 3115 välisseina kohal.



Foto 74. Kahjustatud sarikas ruumi 3112 kohal.

## Lisa 2. Lünetihoone puitkonstruktsioonid – sarikad ja toolvärk



Foto 75. Kahjustatud sarikad ruumi 3021 kohal sisenurgas.



Foto 76. Sarikad ruumi 3021 kohal.



Foto 77. Katusesõrestik Lüneti tiibade katuse keskosas ruumi 3022 kohal.



Foto 78. Kahjustatud sarikas ruumi 3023 kohal resistograafi puurimised 40 ja 41.



Foto 79. Nõrgestatud sarikas ruumi 3043 kohal.



Foto 80. Tugevdamist vajav sarikas ruumi 3024 kohal.



Foto 81. Lüneti ja vahehoone nurga sarikate lahendus.



Foto 82. Vaade ruumi 3173 kohal vahelae taladele ja sarikatele.



Foto 83. Kahjustatud neelukoha sarikad ruumi 3172 kohal.





Foto 84. Eelmisel fotol toodud neelukoht teise nurga alt.



Foto 85. Kahjustatud neelukoha sarikad ruumi 3180 kohal.



Foto 86. Kahjustatud ja purunenud sarikad Lüneti ja vahehoone ühenduskohas.



Foto 87. Sarikad ruumi 3174 kohal. Taamal näha kahjustatud müürlatt.



Foto 88. Proteesimist vajav sarikaots ruumi 3174 kohal.



Foto 89. Proteesitav sarikas ruumi 3178 (koridor) kohal.



Foto 90. Proteesitav purunenud otsaga sarikas ruumi 3178 kohal.



Foto 91. Sarikad ruumi 3177 kohal.



Foto 92. Sarikas ruumi 3183 kohal. Resistograafi puurimine 45.



Foto 93. Proteesimist vajav sarikaots ruumi 3183 kohal.



Foto 94. Asendatav sarikas uugi kõrval. Proovi P19 võtukoht ja puurimised 47 ja 48.



Foto 95. Proteesitav sarikas ruumi 3186 kohal.



Foto 96. Tugevdatav sarikas uugi kõrval ruumi 3192 kohal.



Foto 97. Tugevdatav sarikas uugi kõrval ruumi 3192 kohal.



Foto 98. Tugevdatav sarikas uugi kõrval ruumi 3188 kohal.



Foto 99. Tugevdatav sarikas uugi kõrval ruumi 3189 kohal.





Foto 100. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3194 kohal.



Foto 101. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3194 kohal.



Foto 102. Tugevdatav sarikas ruumi 3199 kohal.



Foto 103. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3199 kohal.



Foto 104. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3199 kohal.



Foto 105. Asendatav sarikas ruumi 3197 kohal.



Foto 106. Purunenud ja proteesitavad sarikad uugi kõrval ruumi 3200 kohal. Proov P21.



Foto 107. Proteesitavad sarikad uugi kõrval ruumi 3200 kohal.



Foto 108. Proteesitavad sarikad uugi kõrval ruumi 3200 kohal.



Foto 109. Tugevdatav sarikas trepikoja (ruum 3207) kohal.



Foto 110. Asendatav sarikas uugi kõrval ruumi 3212 kohal.



Foto 111. Asendatav sarikas uugi kõrval ruumi 3212 kohal.



Foto 112. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3213 kohal.



Foto 113. Kogu pikkuses tugevdatav sarikas uugi kõrval ruumi 3214 kohal.



Foto 114. Sarikad Lünetihoone otsatipu kohal (ruumi3213 kohal).



Foto 115. Sarikate ühendussõlm Lünetihoone tiibade ühenduskohas.





Foto 116. Sarikate ühendussõlm Lünetihoone tiibade ühenduskohas.



Foto 117. Proteesitav sarikas Lünetihoone tiibade ühenduskoha sisenurgas.



Foto 118. Tugevdatav sarika jätkukoht ruumi 3216 kohal.



Foto 119. Tugevdatav sarikaots ruumi 3215 kohal.



Foto 120. Tugevdatav sarikaots ruumi 3219 kohal.



Foto 121. Sarikaotsa kinnitus hoone keskosas ruumi 3219 kohal.



Foto 122. Varasemalt proteesitud sarikaotsad ruumi 3219 kohal.



Foto 123. Varasemalt proteesitud sarikaotsad ruumi 3218 kohal.



Foto 124. Varasemalt proteesitud sarikaotsad ruumi 3218 kohal.



Foto 125. Betoonist lisatalad, sõrestik ja sarikad ruumi 3220 kohal.



Foto 126. Proteesitav sarikaots ruumi 3220 kohal.



Foto 127. Sarikaotsad ruumi 3220 kohal. Resistograafi puurimised 60 ja 61.



Foto 128. Sarikaotsad ruumi 3220 kohal. Resistograafi puurimised 58 ja 59.

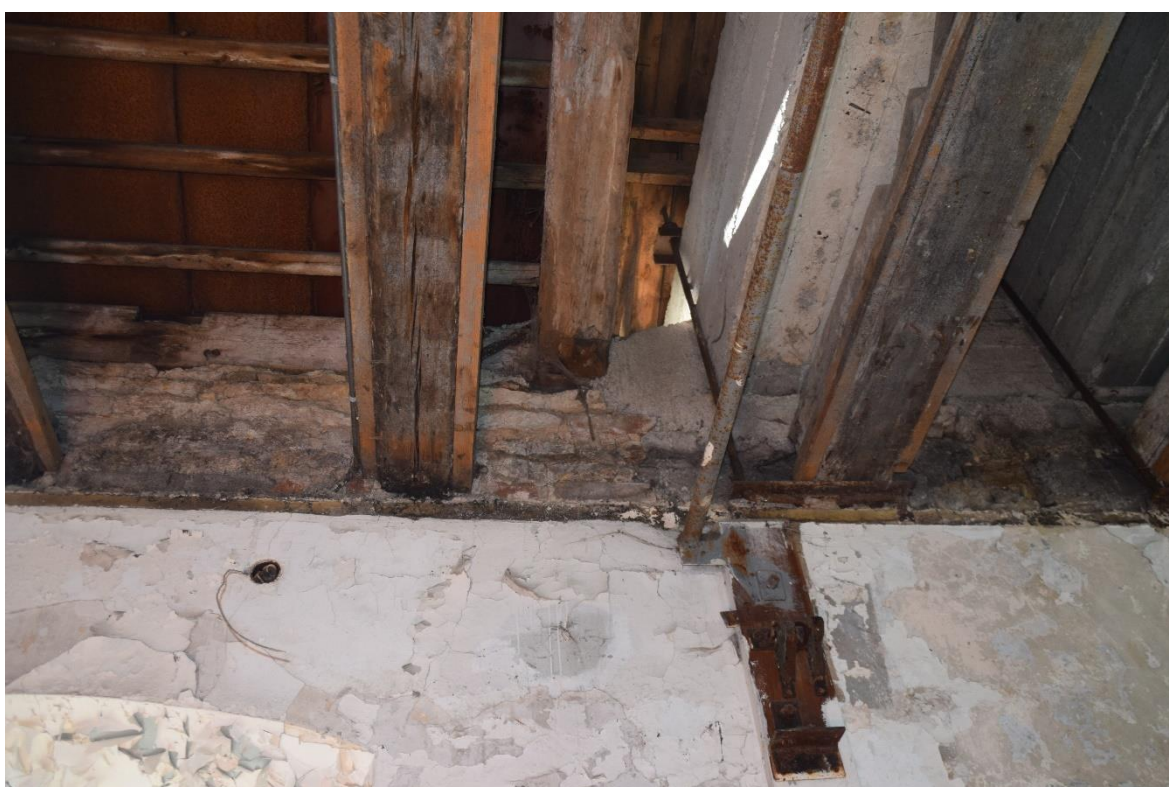


Foto 129. Sarika ja laetala otsad ruumi 3220 kohal. Resistograafi puurimine 58.



Foto 130. Tugevdatav sarikaots. Proovi P22 võtukoht ja resistograafi puurimine 57.



Foto 131. Proteesitav sarikaots (hetkel toestatud) ruumi 3220 kohal.





Foto 132. Proteesitavad sarikaotsad ruumi 3220 kohal.



Foto 133. Proteesitav sarikaots ruumi 3223 kohal.



Foto 134. Proteesitav sarikaots ruumi 3234 kohal.



Foto 135. Proteesitav sarikaots ruumi 3222 kohal.



Foto 136. Proteesitav sarikaots ruumi 3227 kohal. Resistograafi puurimine 65.



Foto 137. Proteesitav sarikas ruumi 3233 kohal. Resistograafi puurimine 68.



Foto 138. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3228 kohal.



Foto 139. Märgunud piirkond vaheseina kõrval. Sarikas puudub, seda asendab liist seinal.



Foto 140. Sarikas trepikoja (ruum 3235) kohal.



Foto 141. Sarikas trepikoja kohal. Näeb halb välja, kuid tugev. Puurimised 69K ja 70K.



Foto 142. Proteesitav sarikas trepikoja kohal uugi kõrval.



Foto 143. Proteesitav sarikas trepikoja kohal uugi kõrval.



Foto 144. Tugevdatav sarikas ruumi 3237 kohal.



Foto 145. Proteesitav sarikas ruumi 3241 kohal.



Foto 146. Proteesitav sarikas ruumi 3242 kohal. Proovi P23 võtukoht.



Foto 147. Proteesitav sarikas uugi kõrval ruumi 3247 kohal.





Foto 148. Proteesitav sarikas ruumi 3250 kohal.



Foto 149. Proteesitav sarikas ruumi 3250 kohal.



Foto 150. Proteesitav neelukoht vaheseina kohal.



Foto 151. Proteesitavad sarikad ruumi 3256 kohal. Proovi P24 võtukoht.



Foto 152. Proteesitavad sarikad ruumi 3256 kohal.



Foto 153. Proteesitav sarikas ruumi 3256 kohal.



Foto 154. Sarikad trepikoja kohal. Müürlatt tugeva kahjustusega.



Foto 155. Tugevdatavad sarikad trepikoja kohal.



Foto 156. Kahjustatud müürlatt trepikoja akna kohal.



Foto 157. Proteesitav sarikaots. Resistograafi puurimine 80.



Foto 158. Proteesitav sarikaots uugi kõrval.



Foto 159. Proteesitav sarikaots ruumi 3128 kohal. Puurimine 82.



Foto 160. Proteesitav sarikaots ruumi 3125 kohal. Proovi P25 võtukoht.



Foto 161. Katkestatud sarikas ruumi 3120 kohal.



Foto 162. Katkestatud sarikas ruumi 3120 kohal.

**Lünetihoone vahelae fotod.**



Foto 163. Kahjustatud vahelae talad ruumi 3021 kohal. Proovi P26 võtukoht.





Foto 164. Vaade vahelae kihtide vahele. Näha majavammi seeneniidistik. Proov P27.



Foto 165. Vaade vahelae kihtide vahele. Näha majavammi seeneniidistik.



Foto 166. Korgiku kahjustusega laetalad ruumi 3172 kohal. Proov P28.



Foto 167. Tugeva kahjutusega vahelae talade otsad ruumi 3175 kohal.



Foto 168. Vaade vahelae kihtide vahele. Näha kogu vahelae ulatuses tugevat putukakahjustust.



Foto 169. Vaade vahelae kihtide vahele. Putukakahjustuse tunnused.



Foto 170. Tugeva kahjustusega vahelae talad ruumi 3181 kohal.



Foto 171. Kahjustatud vahelae talad ruumi 3182 kohal.



Foto 172. Tugeva kahjustusega vahelae talad ruumi 3184 kohal.



Foto 173. Tugeva kahjustusega vahelae talad ruumi 3185 kohal.



Foto 174. Korgiku kahjustusega lagi ruumis 3186. Talasid pole näha, kuid need on kahjustatud. Proovi P29 võtukoht.



Foto 175. Majavammi kahjutusega vahelae talad ruumi 3194 kohal. Proov P30.



Foto 176. Vaade ruumi 3191 vahelaele.



Foto 177. Tugeva kahjustusega vahelae talad ruumi 3191 kohal.



Foto 178. Purunenud ja toestatud vahelae talad ruumi 3199 kohal.



Foto 179. Kahjustatud vahelae tala ruumi 3196 kohal.





Foto 180. Eelmisel fotol toodud majavammi kahjustusega tala lähivaates. Proov P31.



Foto 181. Kahjustatud talad ruumi 3197 kohal.



Foto 182. Kahjustatud talad ruumi 3197 kohal.



Foto 183. Majavammi kahjustusega vahelae talad ruumi 3198 kohal. Proov P32.



Foto 184. Kahjustatud laetalad trepikoja kohal.



Foto 185. Ajutine uus puitvahelagi, mis on kahjustuse tunnustega.



Foto 186. Ajutine uus puitvahelagi, mis on kahjustuse tunnustega.



Foto 187. Seenkahjustusega vahelae talad ruumis 3220. Mitmed talad purunenud.



Foto 188. Piki ruumi 3220 paiknev sõrestik, mis on koormuse eemaldamisel tõusnud ülespoole.



Foto 189. Kahjustatud vahelae talad ruumis 3220.



Foto 190. Kahjustatud vahelae talad ruumis 3220.



Foto 191. Vaade lammutatavale hoonele.



Foto 192. Ruumi 3228 kahjustatud vahelae talad.



Foto 193. Ruumi 3228 kahjustatud vahelae talad.



Foto 194. Majavammi kahjustusega vahelagi. Proov P34. Resitograafi puurimised 72-74.



Foto 195. Vaade vahelae konstruktsiooni. Näha purunenud tala.





Foto 196. Majavammi kahjustusega vahelagi ruumis 3241.

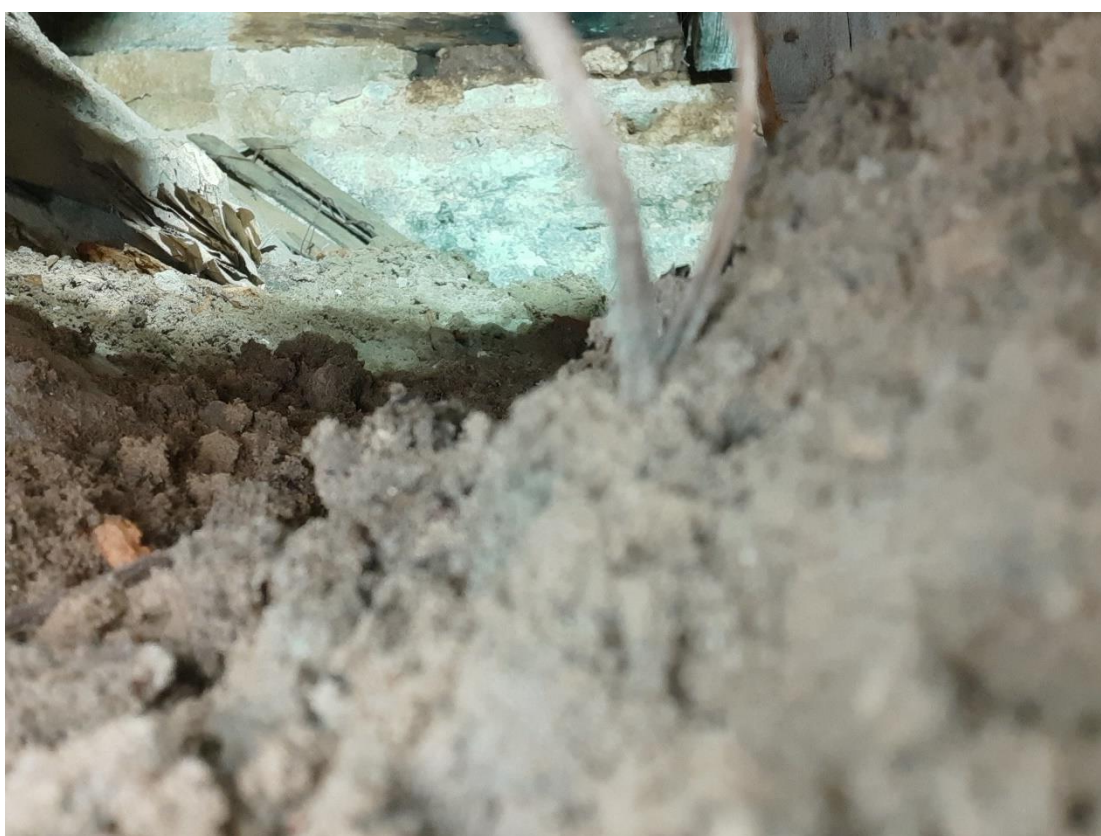


Foto 197. Majavammi seeneniidistik vahelae konstruktsioonis.



Foto 198. Kahjustatud vahelagi ruumis 3237.



Foto 199. Majavammi seeneniidistik vahelae peal.



Foto 200. Sademevee lekke ja seenkahjustuse tunnused ruumis 3249.



Foto 201. Kahjustatud vahelae talad ruumis 3259.



Foto 202. Kahjustatud vahelae talad ruumis 3250.



Foto 203. Kahjustatud vahelae talad ruumis 3253.



Foto 204. Majavammi kahjustusega tala ruumis 3255. Proov P35.



Foto 205. Kahjustatud ja toestatud vahelae talad ruumis 3256.



Foto 206. Vaade trepikoja vahelae taladele.



Foto 207. Vaade ruumi 3126 seinale ja vahelaele.



Foto 208. Vahelae peal olevas saviliiva segus olev majavammi seeneniidistik.



Foto 209. Kahjustatud välisseina nurk ruumis 3120.

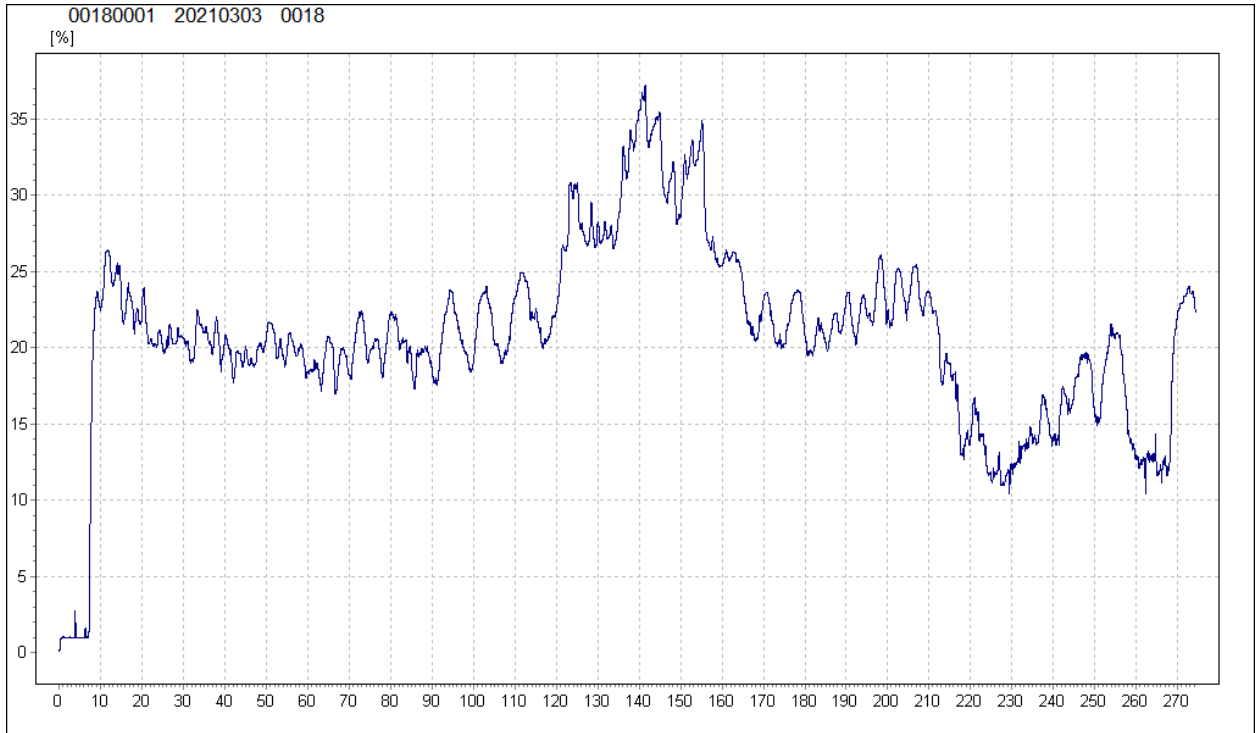


Foto 210. Majavammi viljakeha ruumi 3120 nurgas.

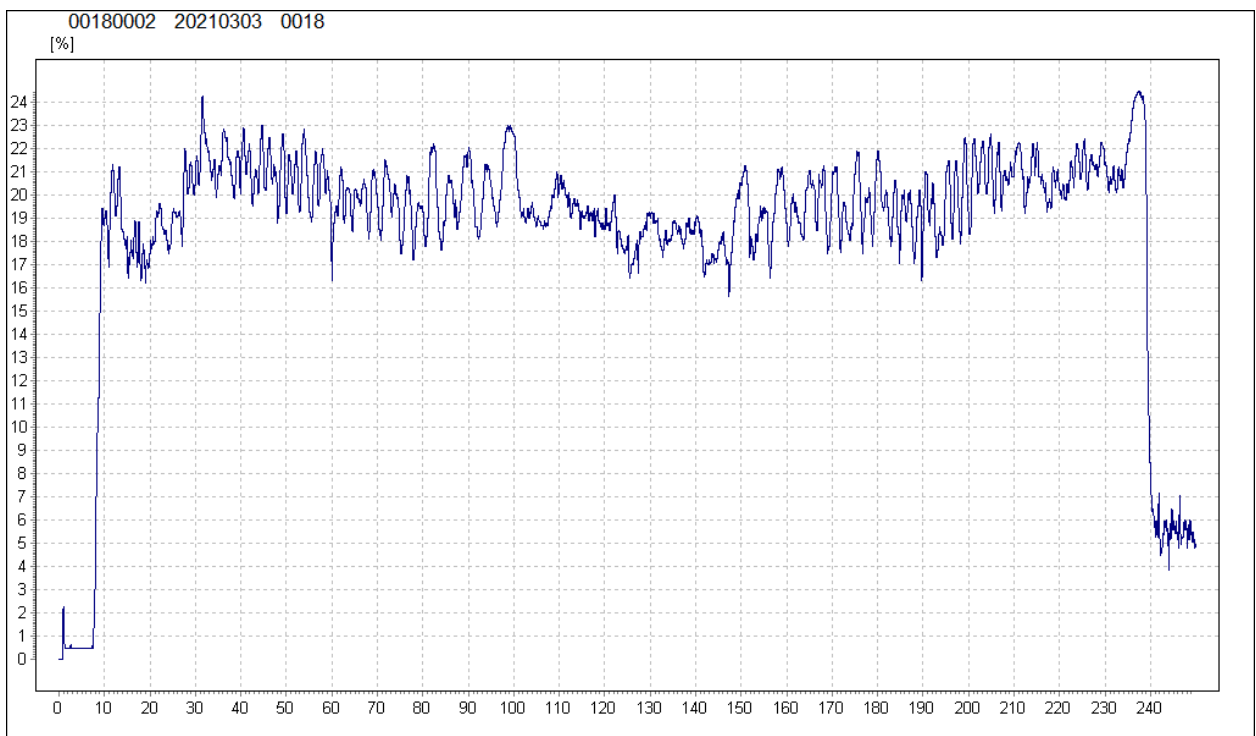


## Lisa 3 Vastupanu-mikropuurimise tulemused

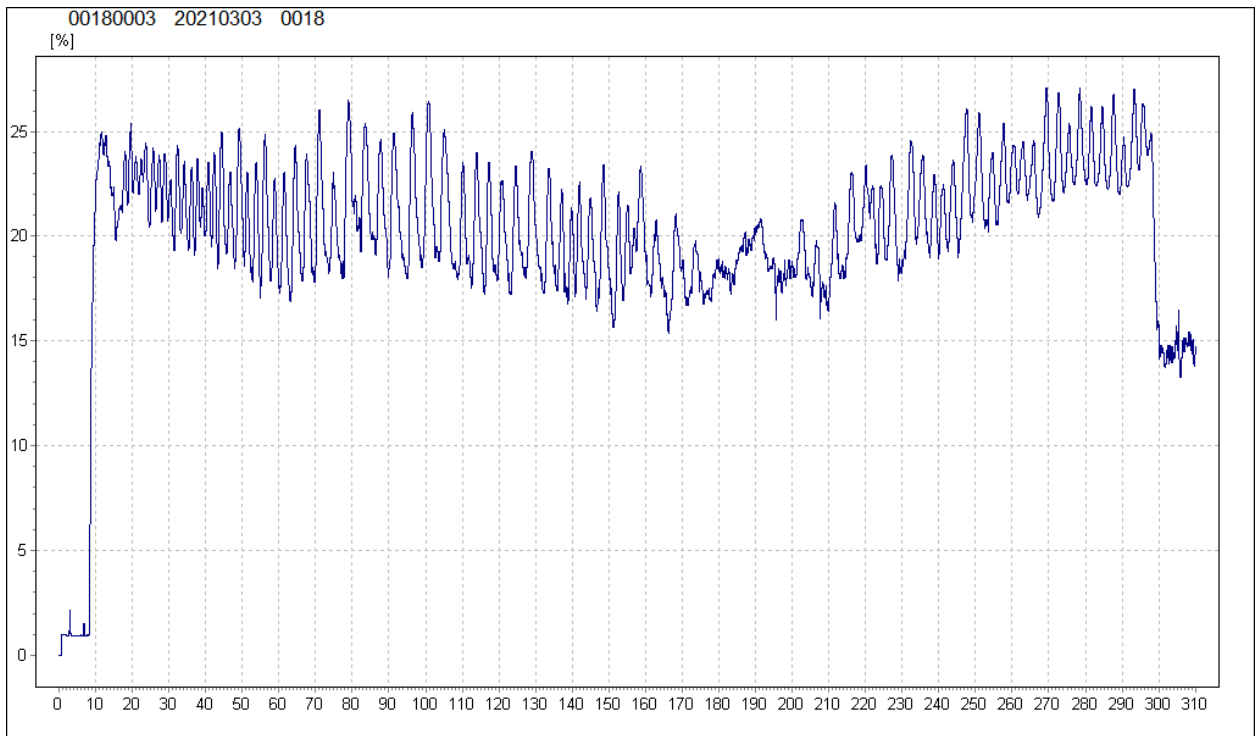
Kõik teostatud vastupanu-mikropuurimiste asukohad on märgitud töö Lisas 1 olevatel joonistel.



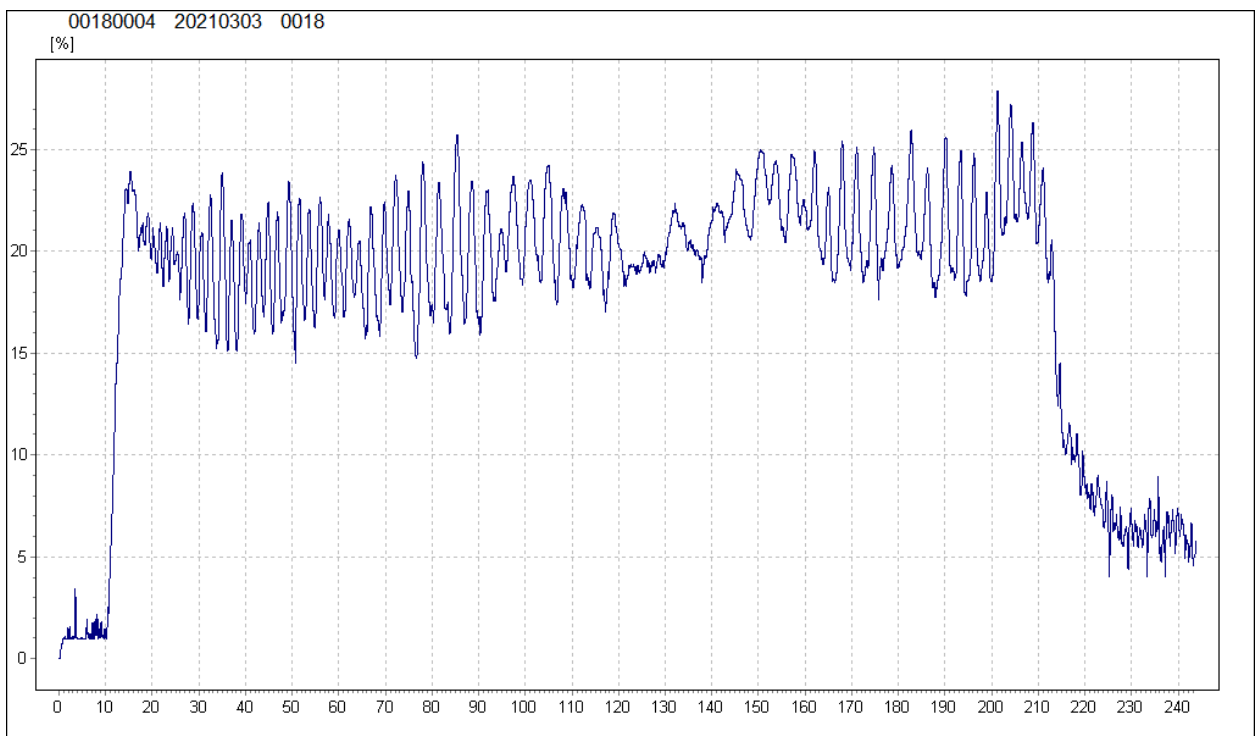
Joonis lisa 3.1 Vastupanupuurimise graafik nr 1



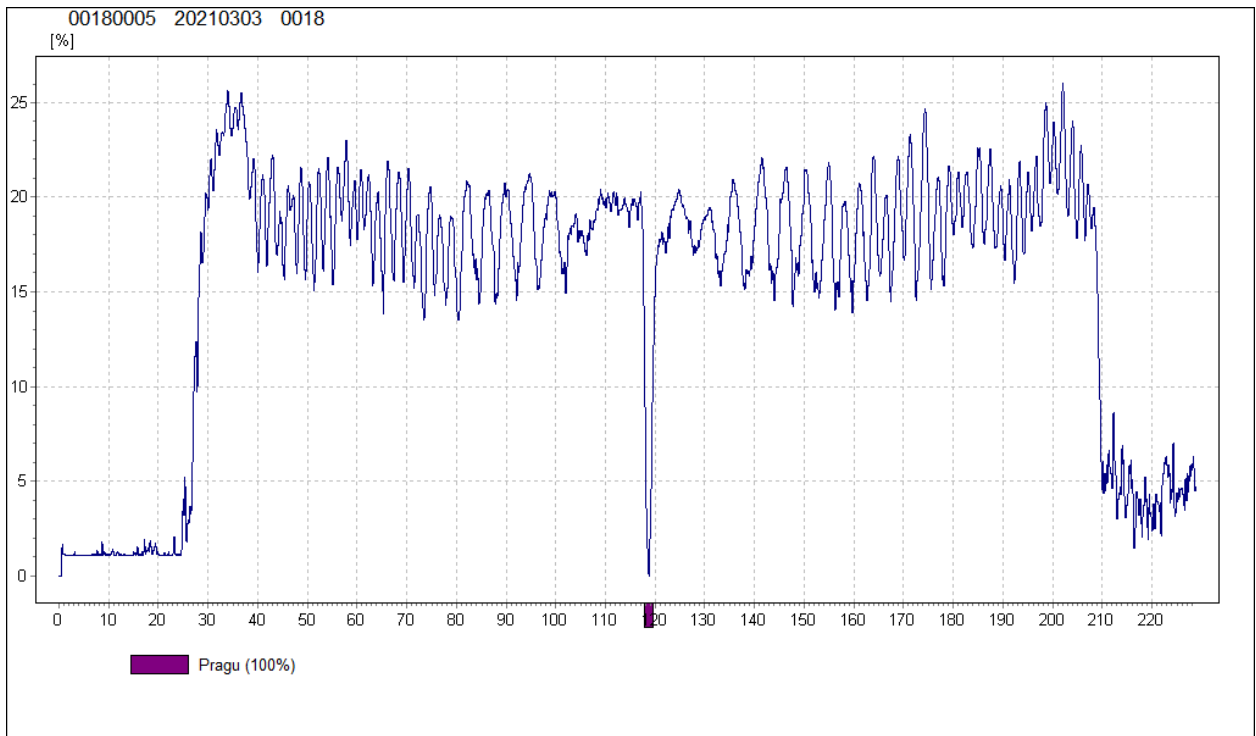
Joonis lisa 3.2 Vastupanupuurimise graafik nr 2



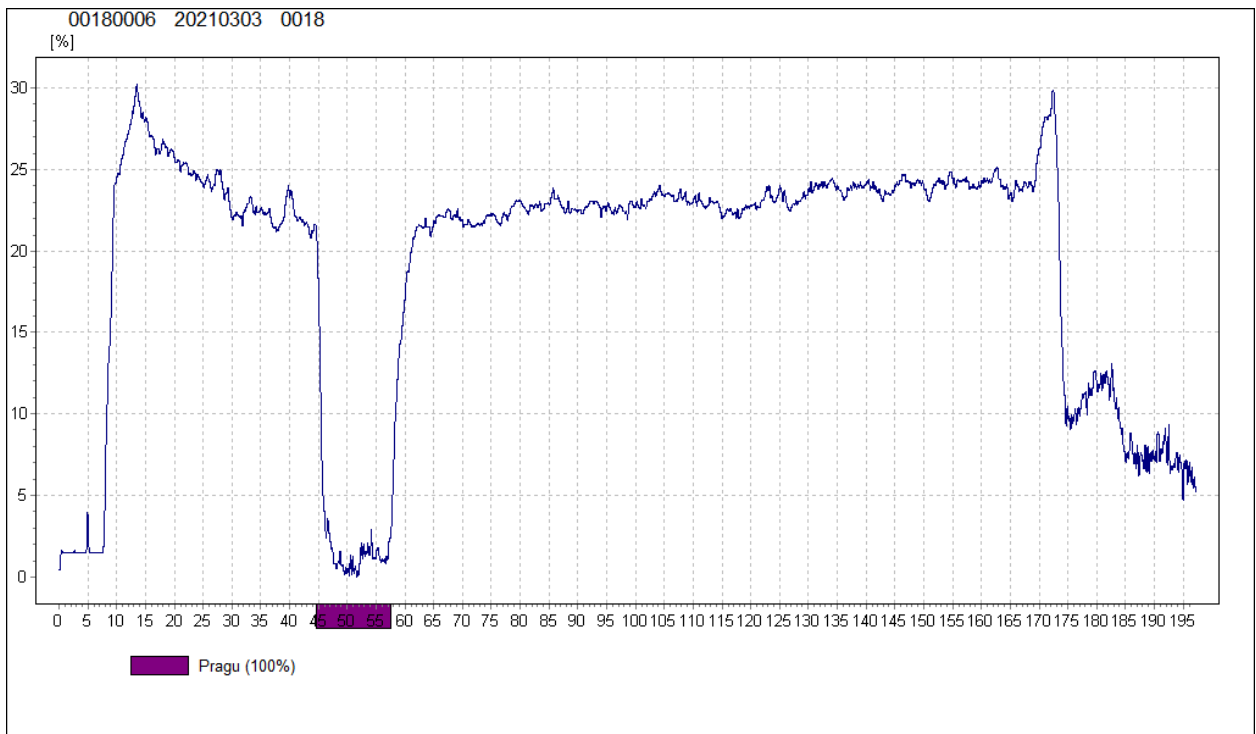
*Joonis lisa3.3 Vastupanupuurimise graafik nr 3*



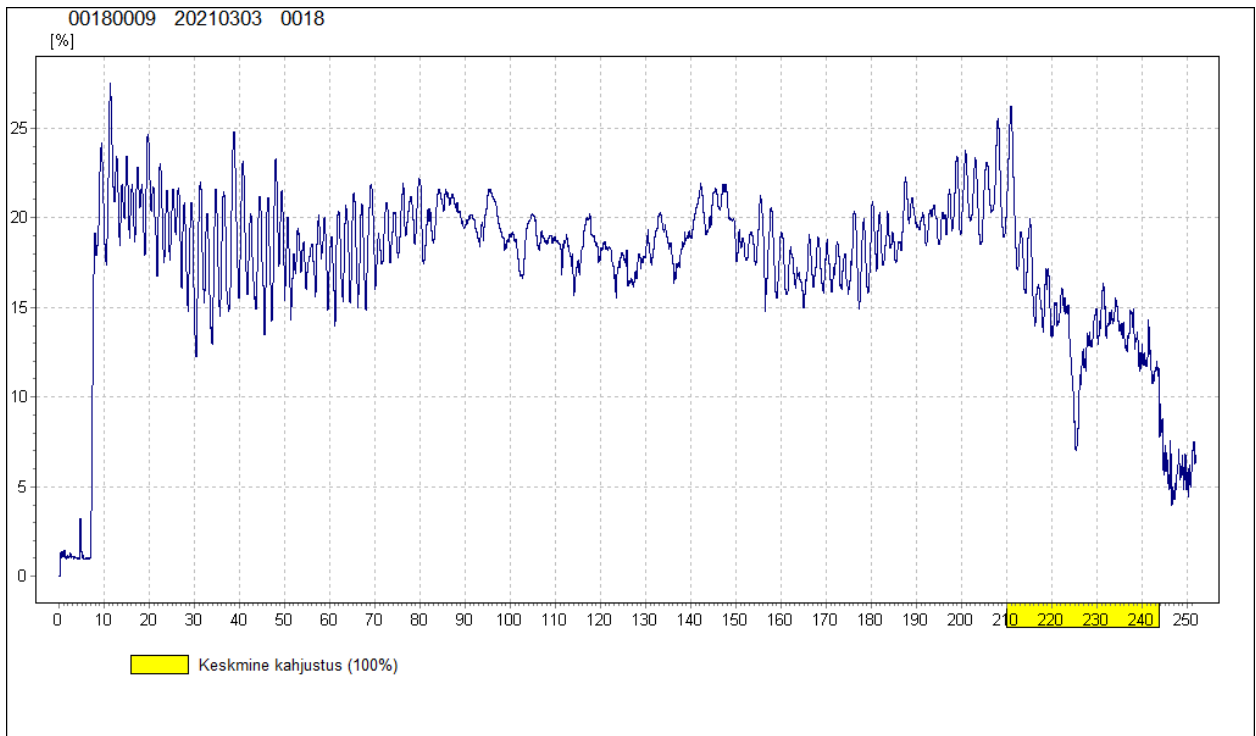
*Joonis lisa3.4 Vastupanupuurimise graafik nr 4*



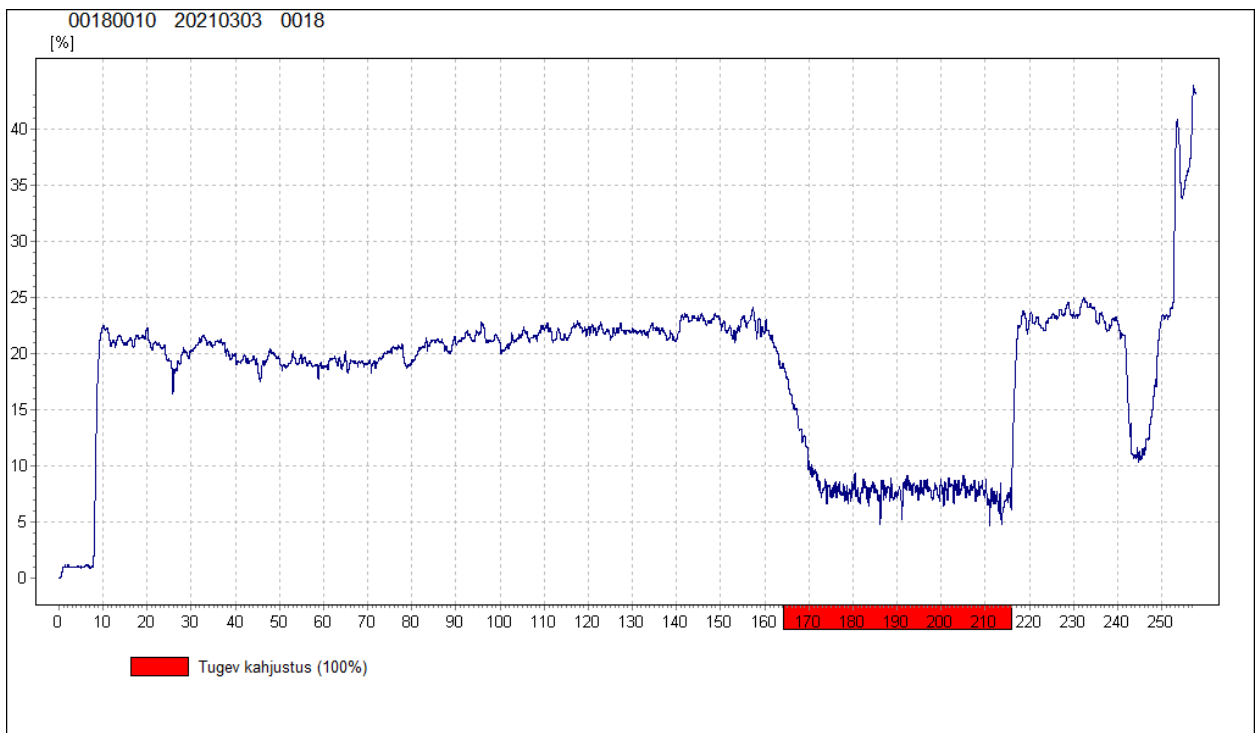
Joonis lisa3.5 Vastupanupuurimise graafik nr 5



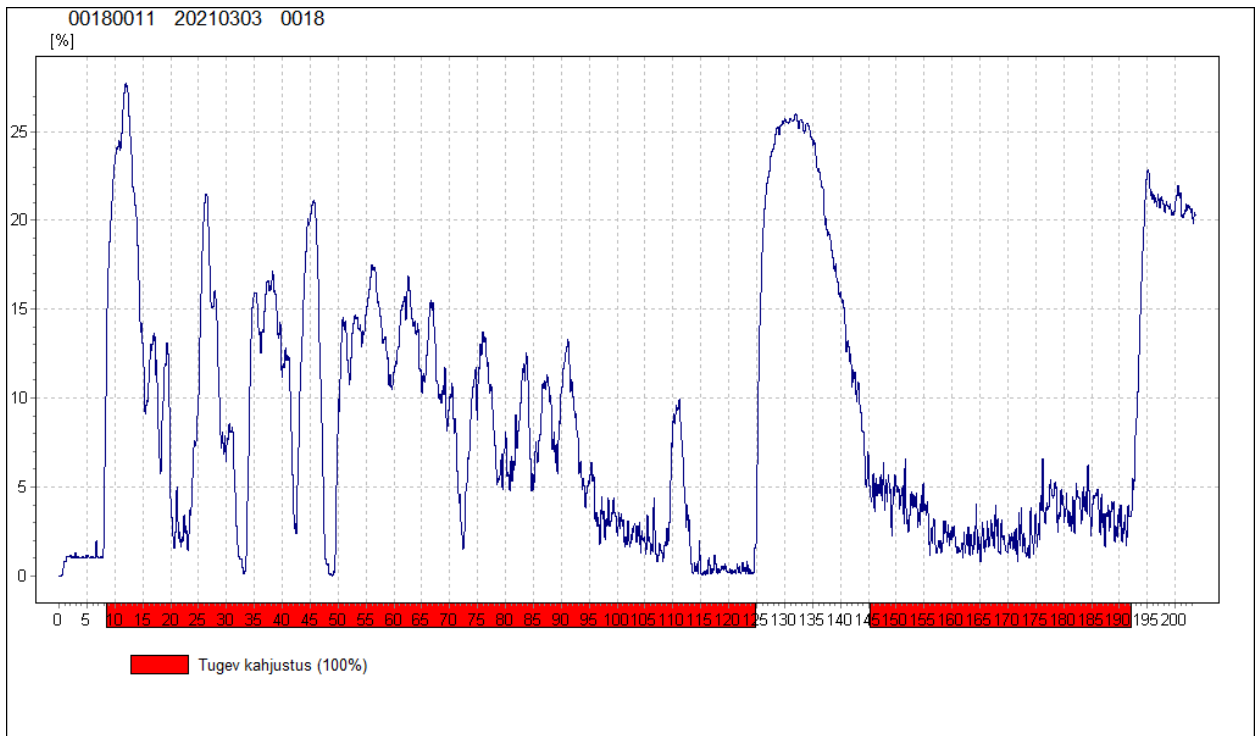
Joonis lisa3.6 Vastupanupuurimise graafik nr 6



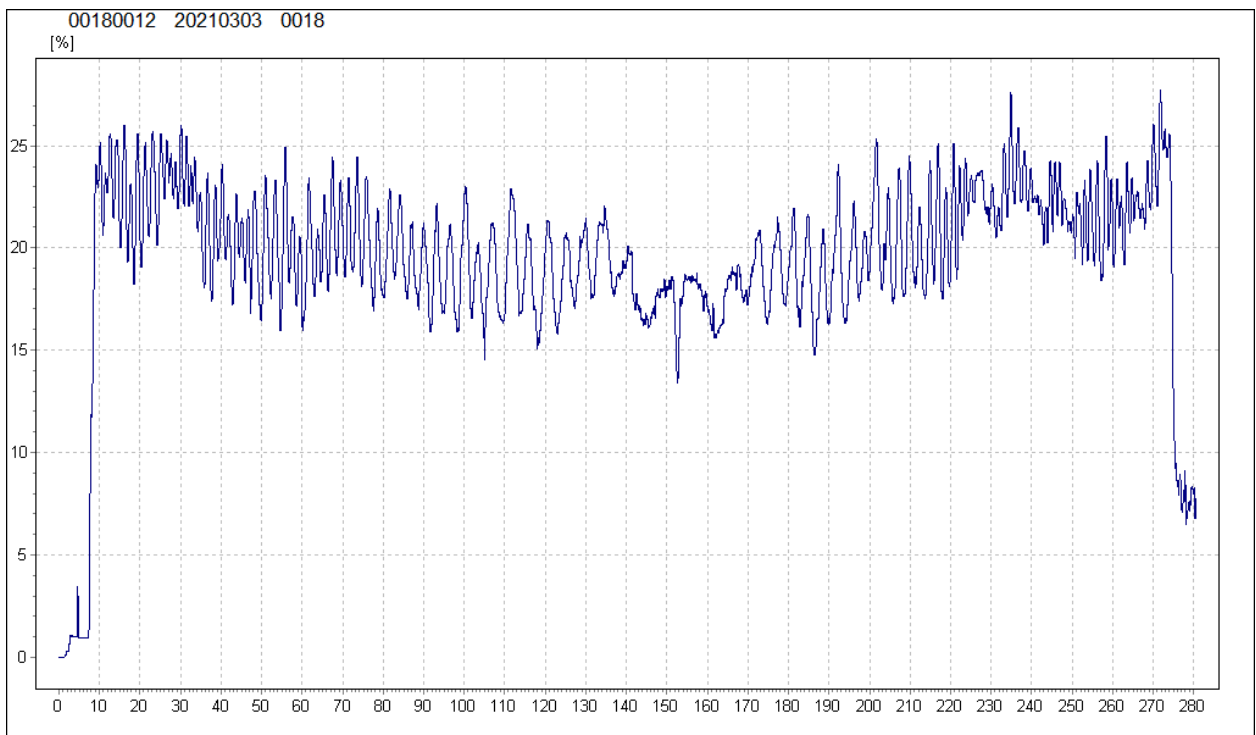
Joonis lisa3.7 Vastupanupuurimise graafik nr 9



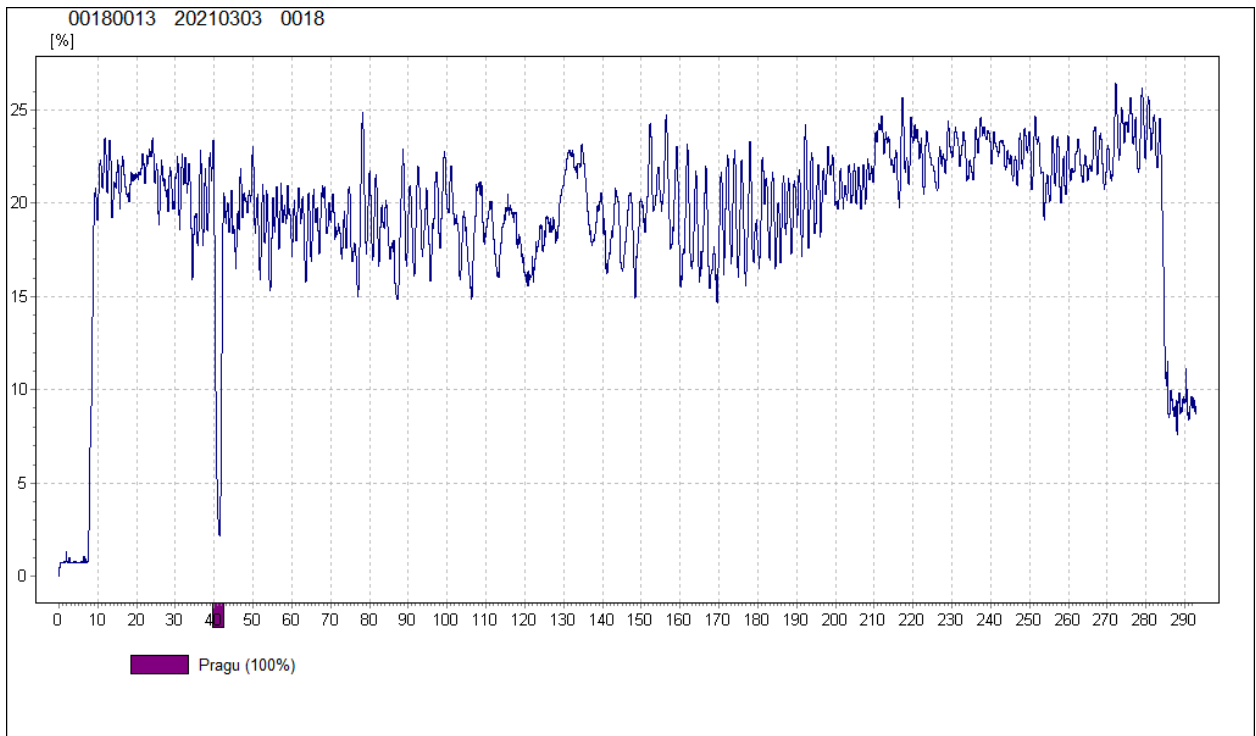
Joonis lisa3.8 Vastupanupuurimise graafik nr 10



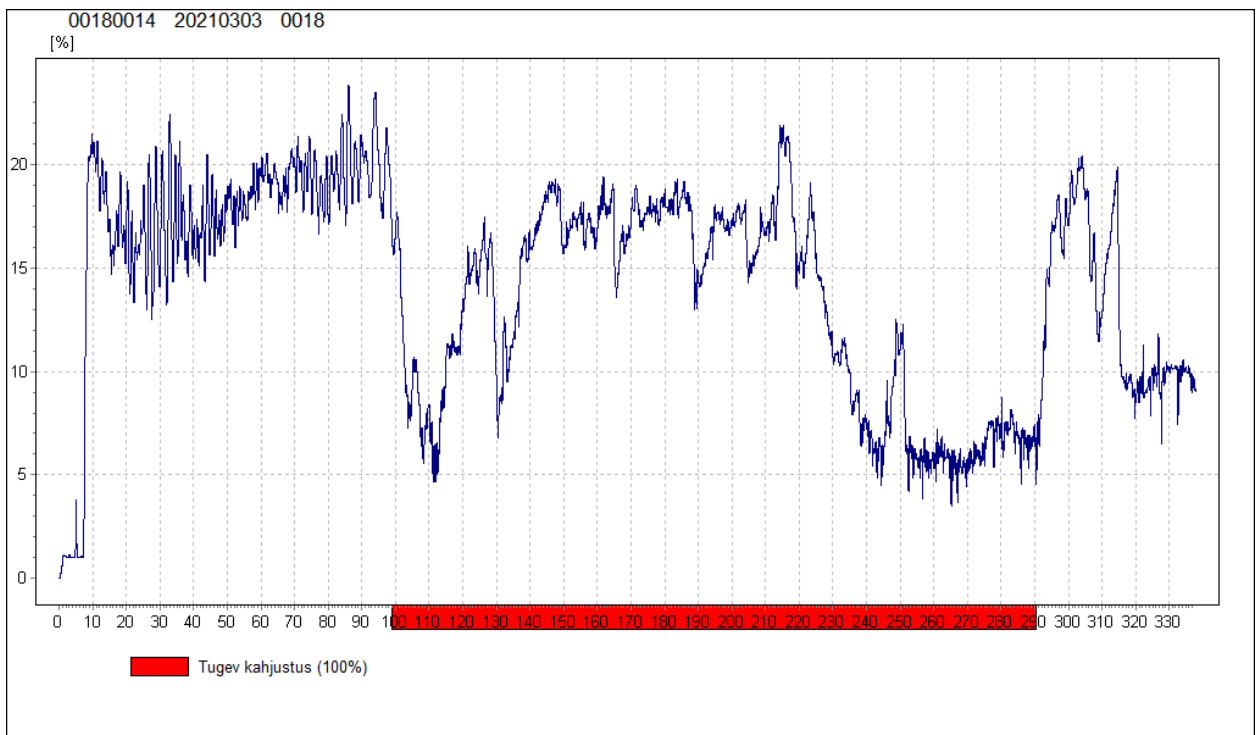
Joonis lisa3.9 Vastupanupuurimise graafik nr 11



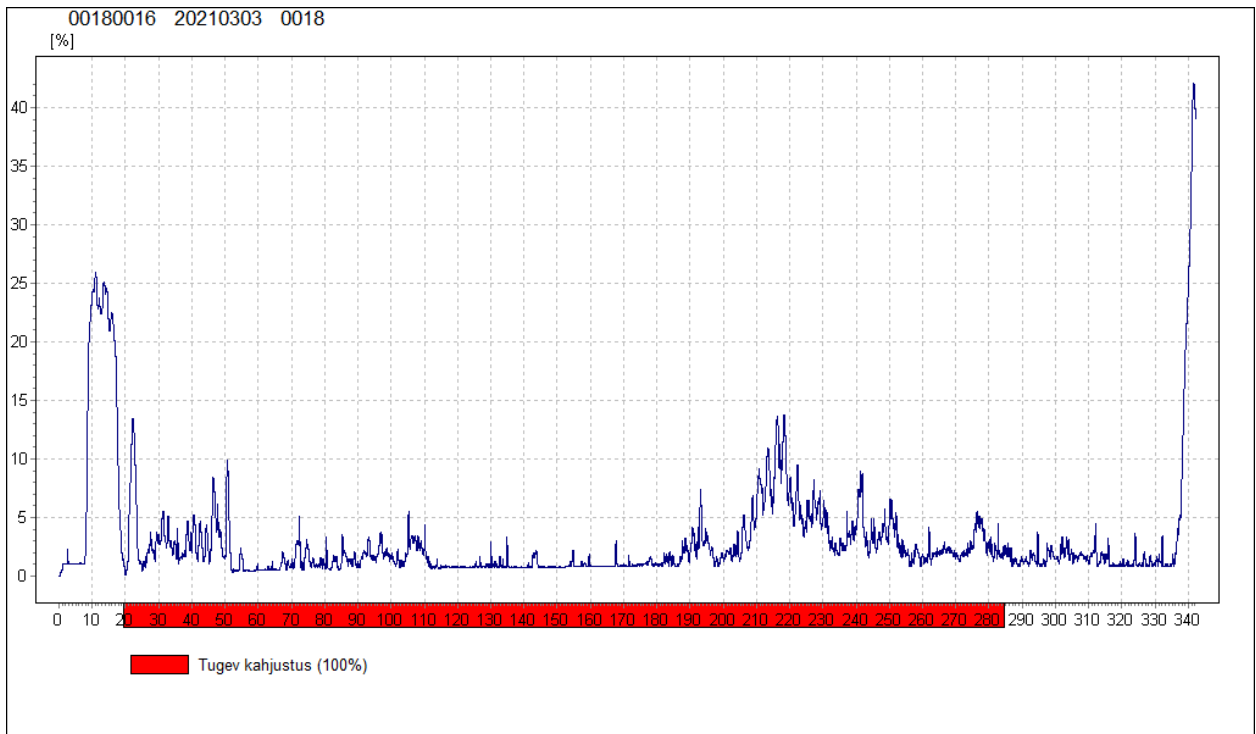
Joonis lisa3.10 Vastupanupuurimise graafik nr 12



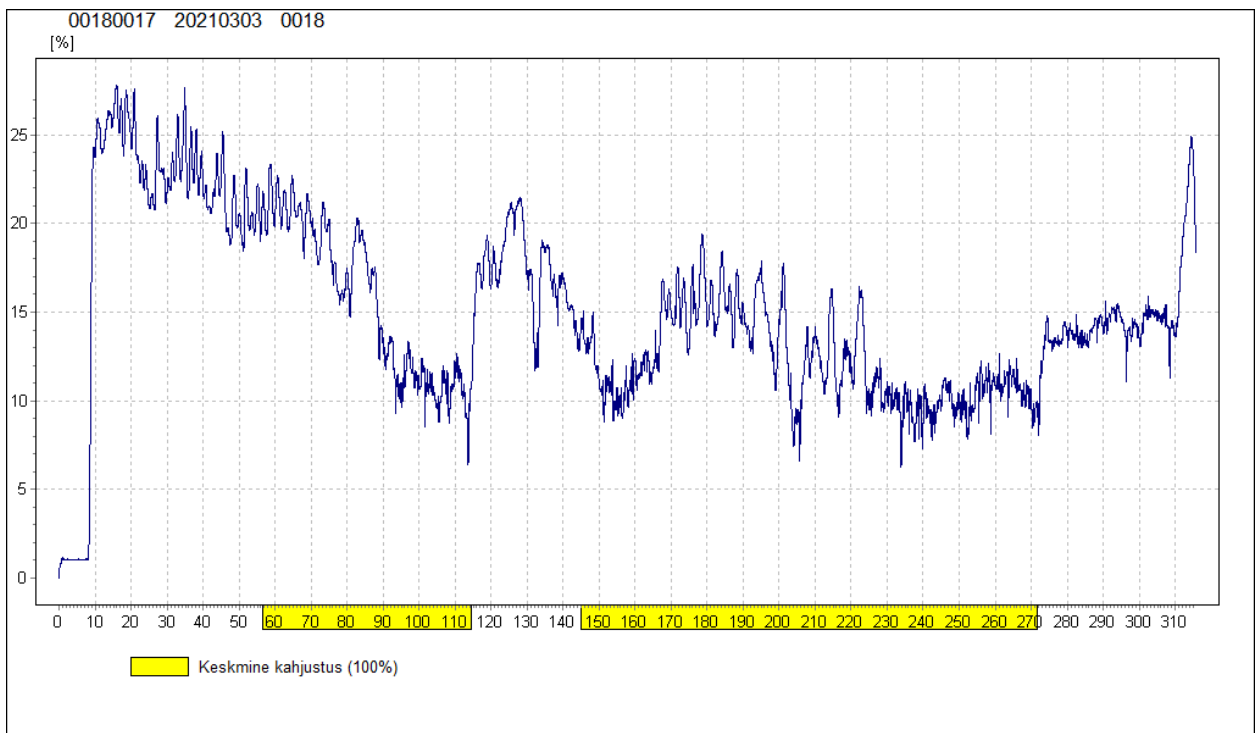
Joonis lisa3.11 Vastupanupuurimise graafik nr 13



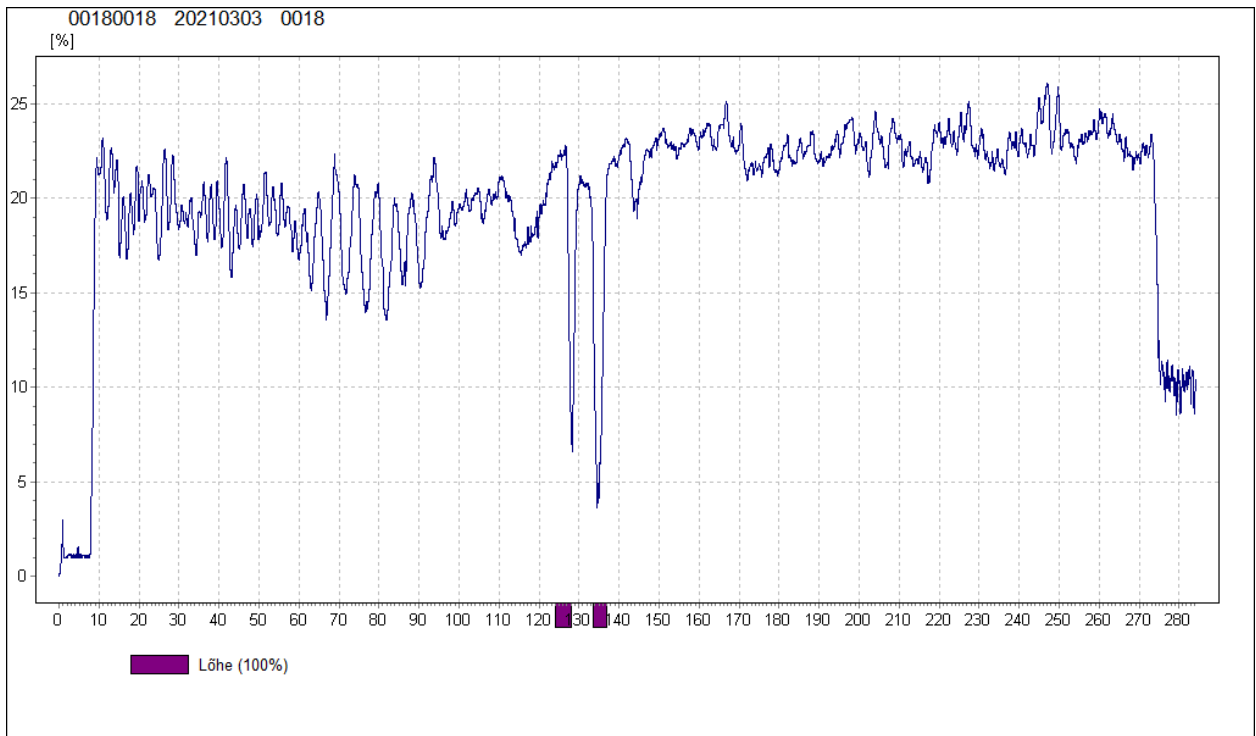
Joonis lisa3.12 Vastupanupuurimise graafik nr 14



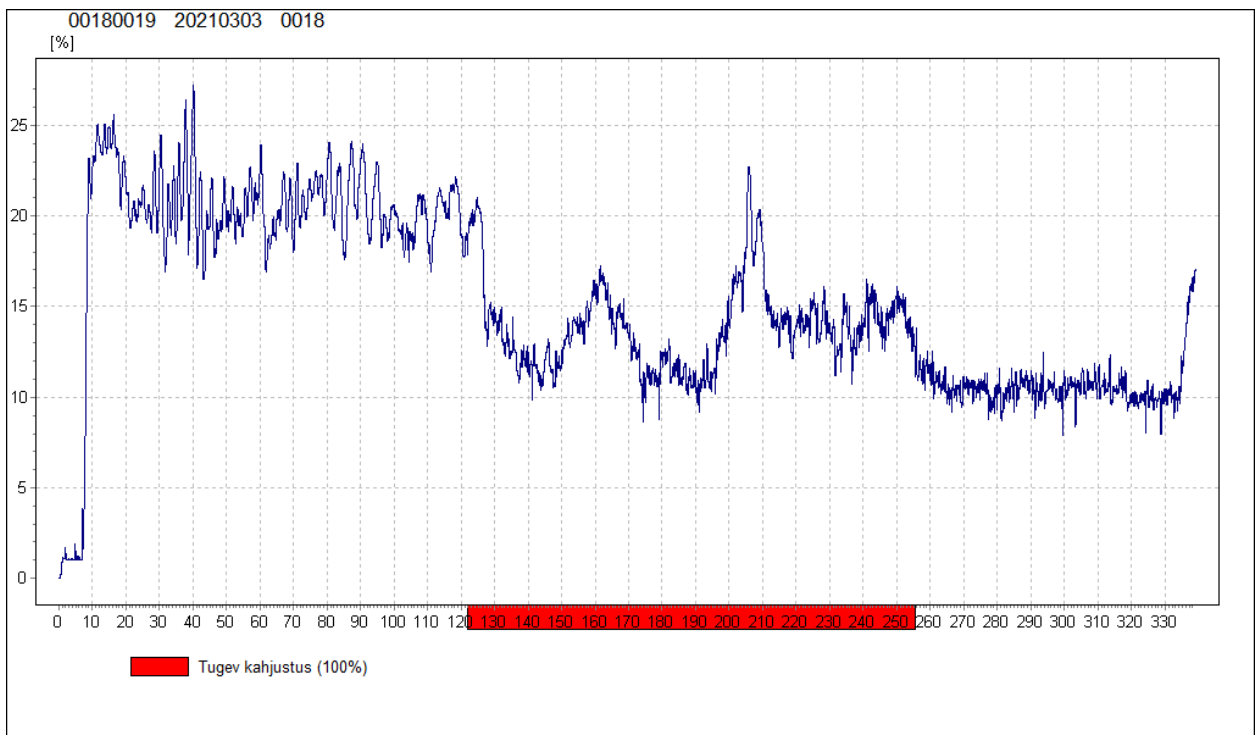
Joonis lisa3.13 Vastupanupuurimise graafik nr 16



Joonis lisa 3.14 Vastupanupuurimise graafik nr 17

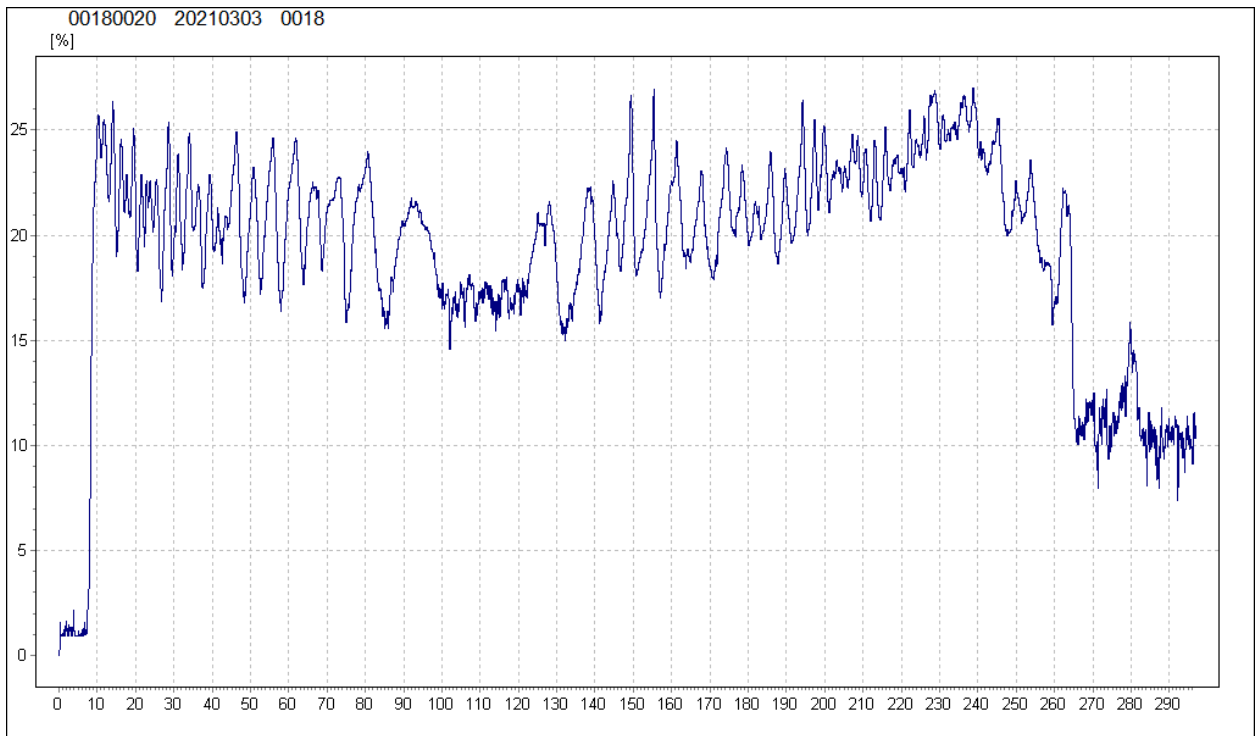


Joonis lisa3.15 Vastupanupuurimise graafik nr 18

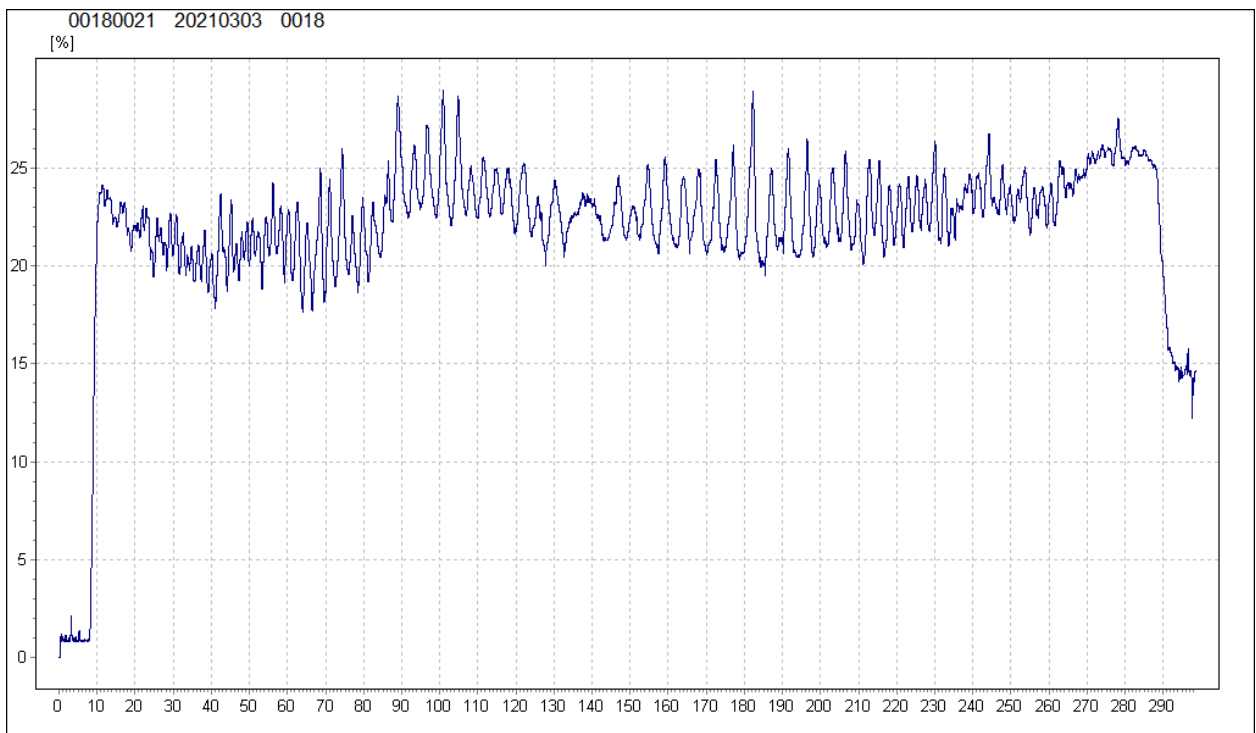


Joonis lisa 3.16 Vastupanupuurimise graafik nr 19

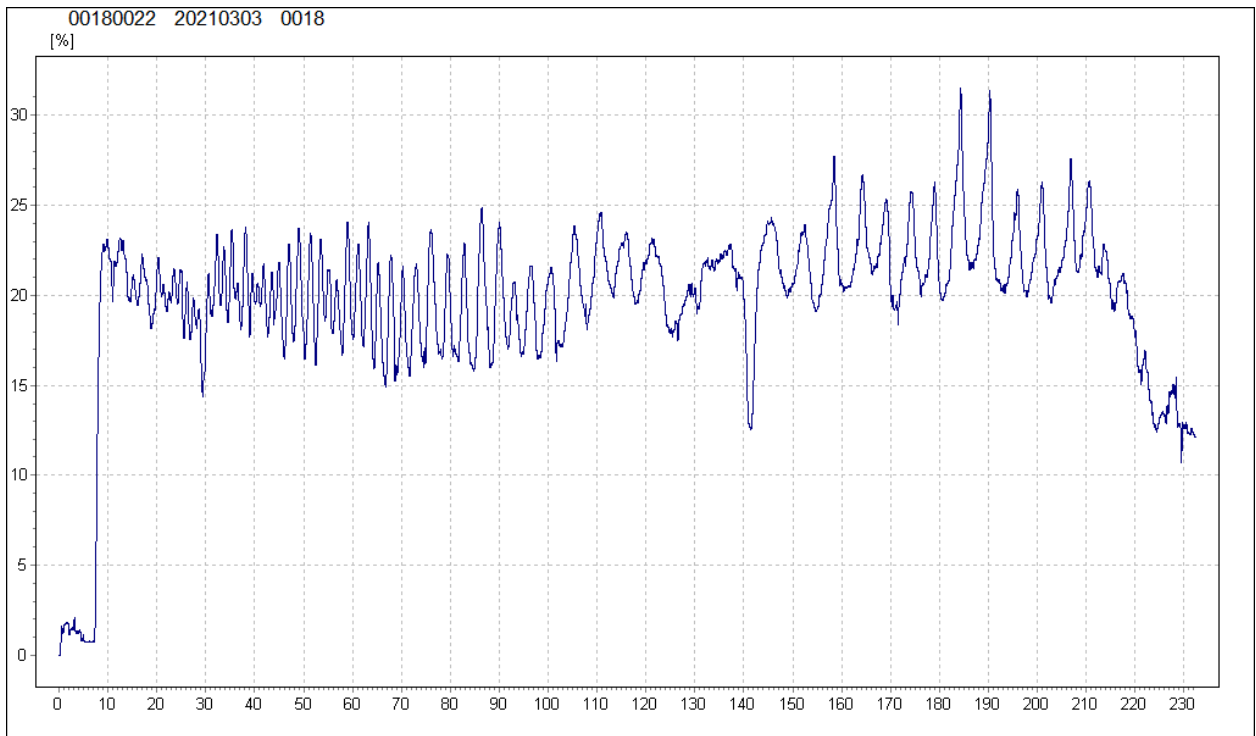




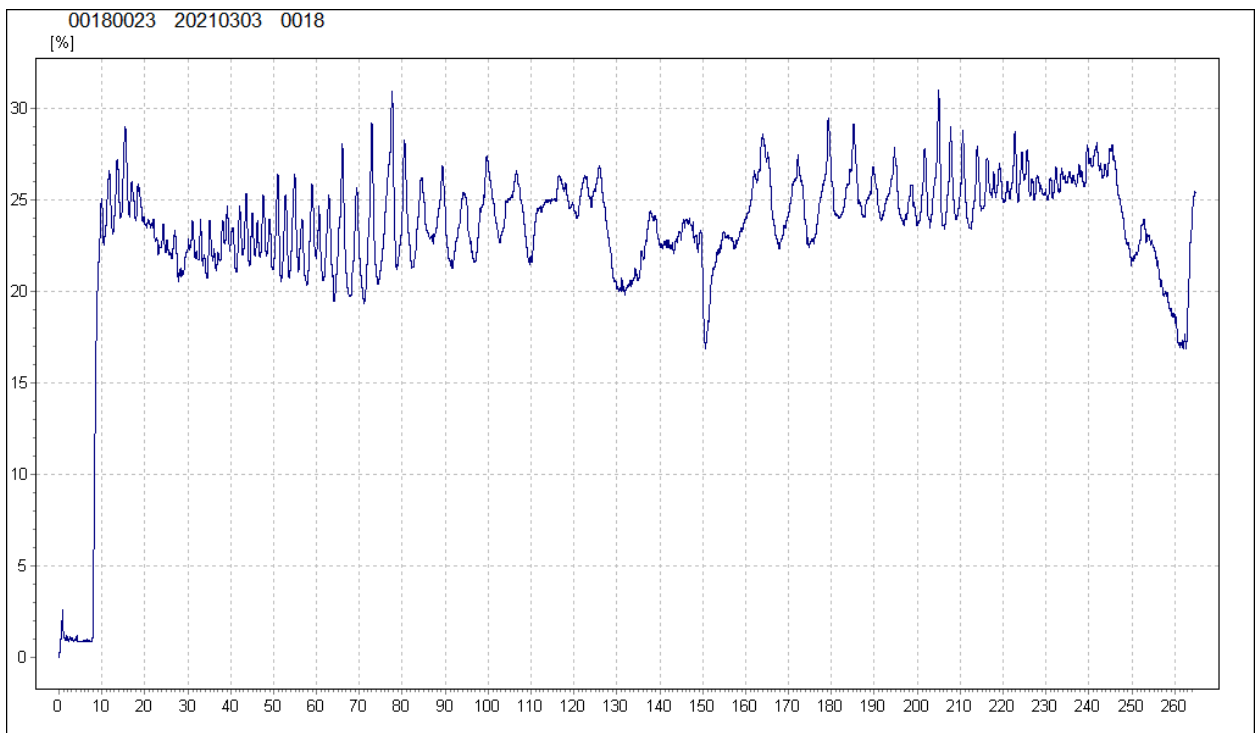
Joonis lisa 3.17 Vastupanupuurimise graafik nr 20



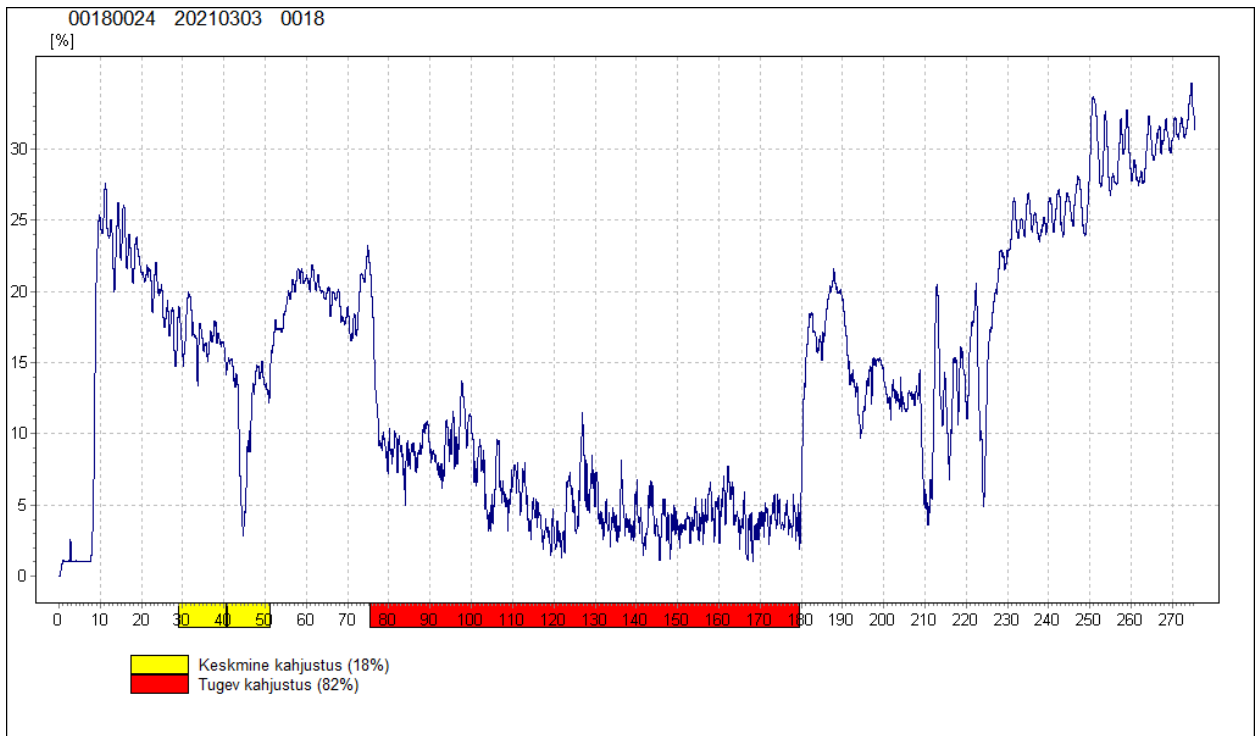
Joonis lisa 3.18 Vastupanupuurimise graafik nr 21



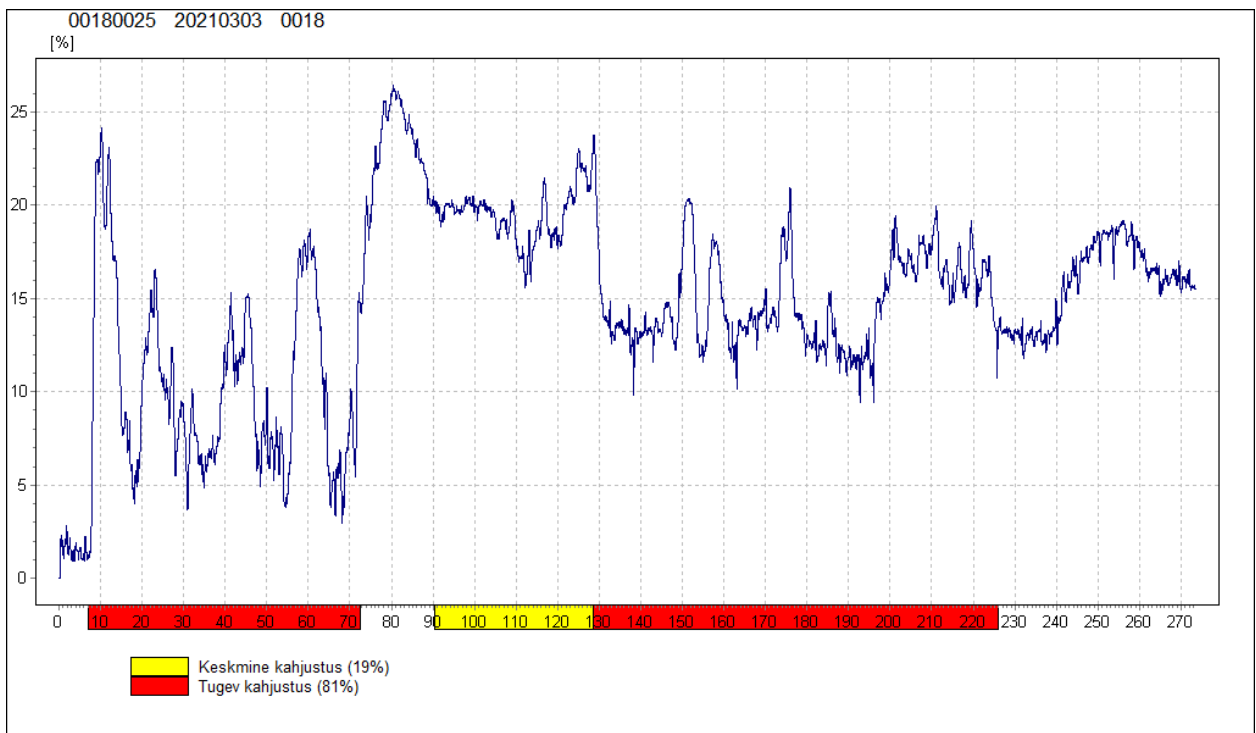
*Joonis lisa 3.19 Vastupanupuurimise graafik nr 22*



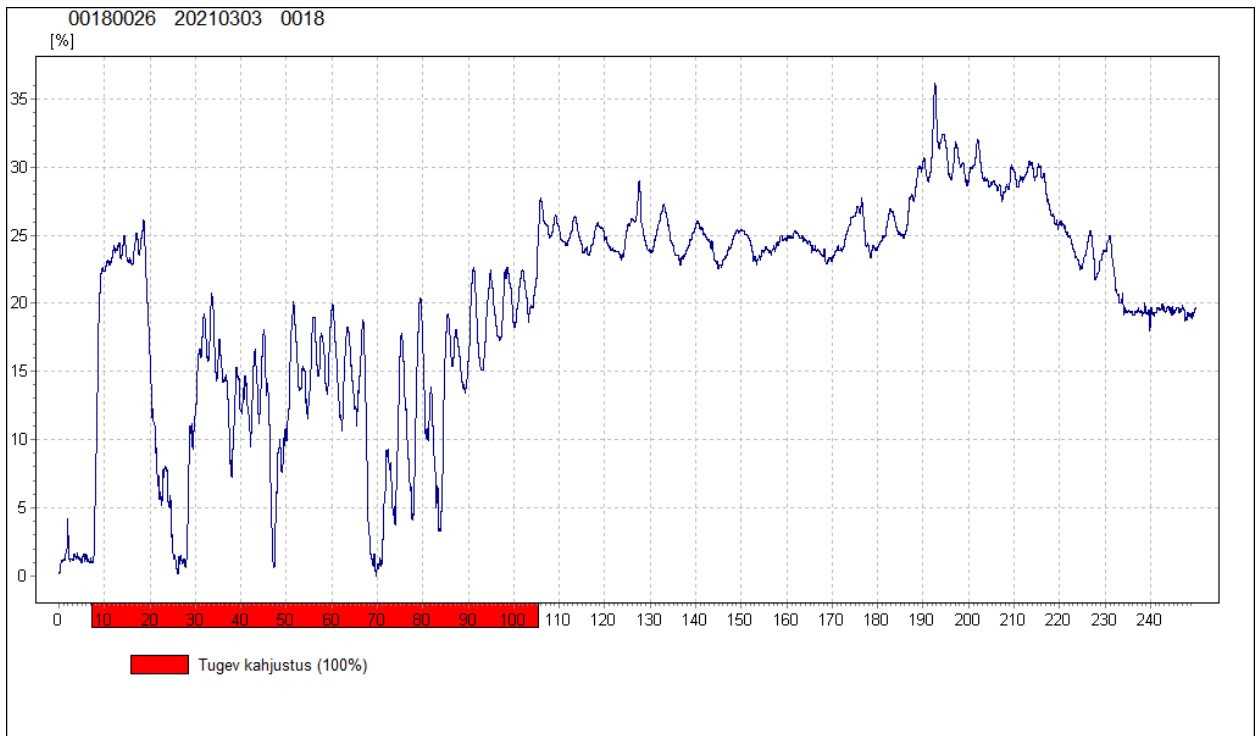
*Joonis lisa 3.20 Vastupanupuurimise graafik nr 23*



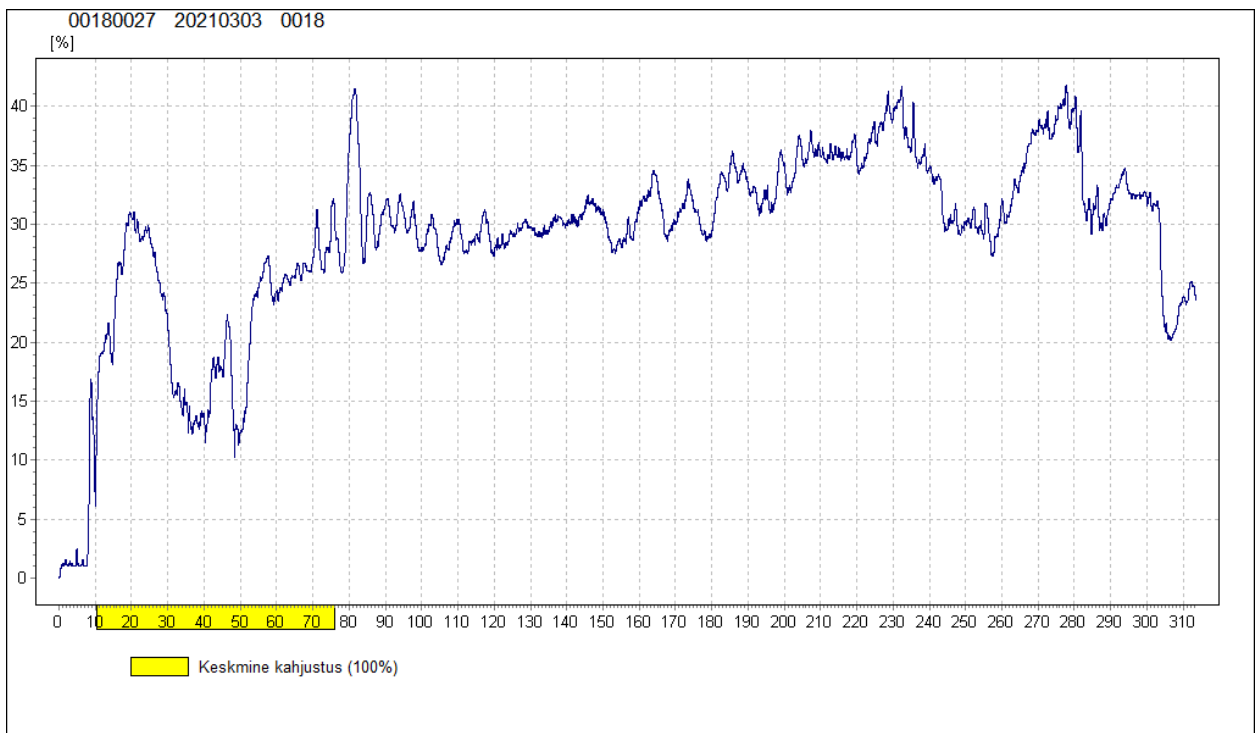
Joonis lisa 3.21 Vastupanupuurimise graafik nr 24



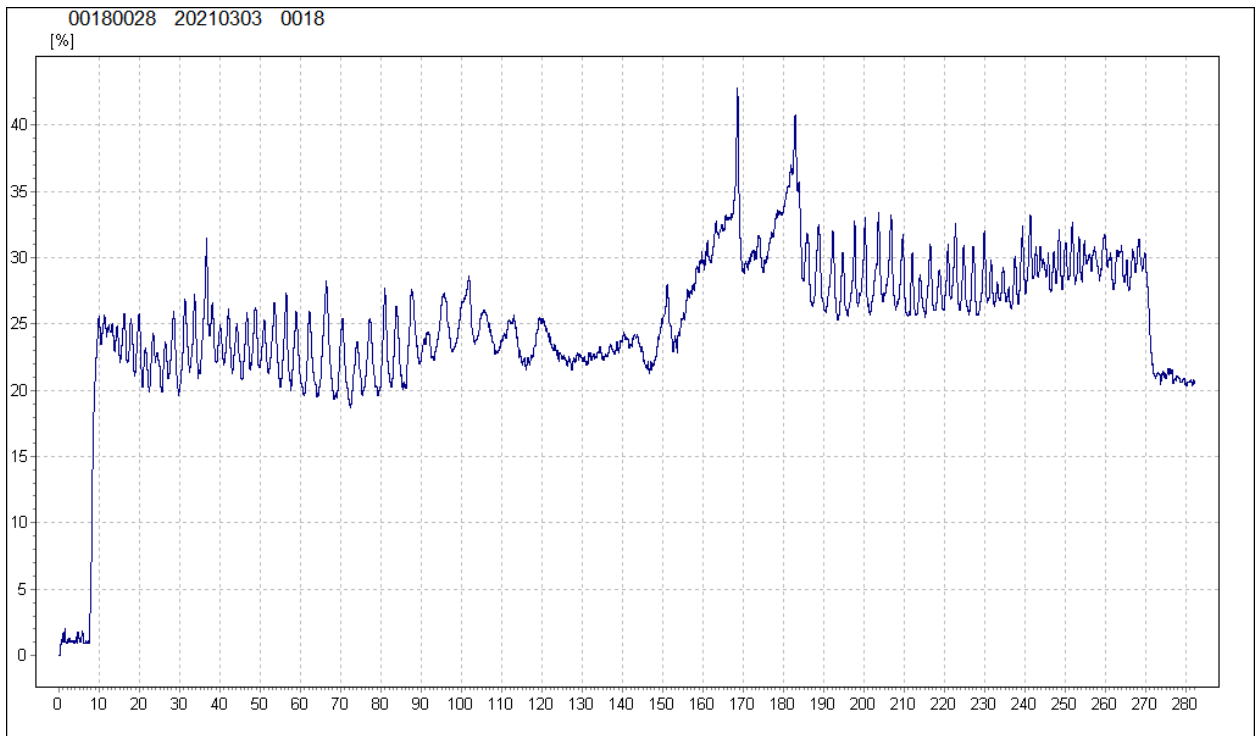
Joonis lisa 3.22 Vastupanupuurimise graafik nr 25



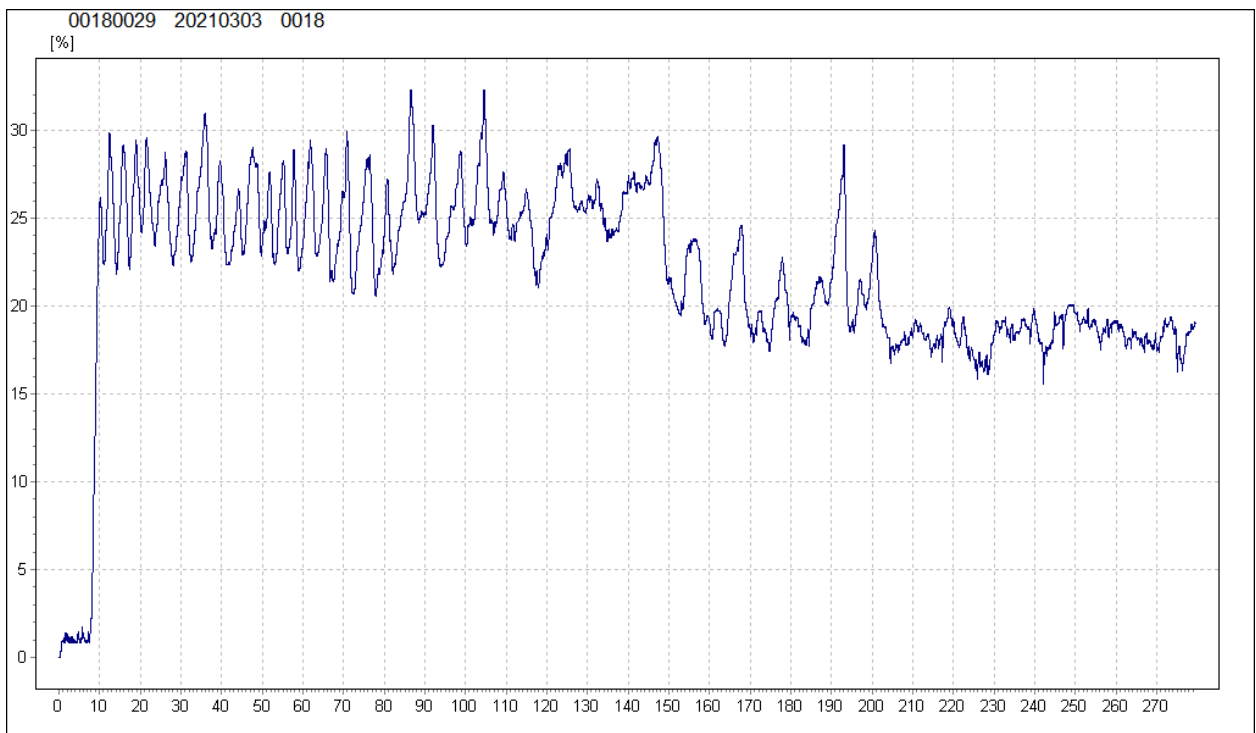
Joonis lisa 3.23 Vastupanupuurimise graafik nr 26



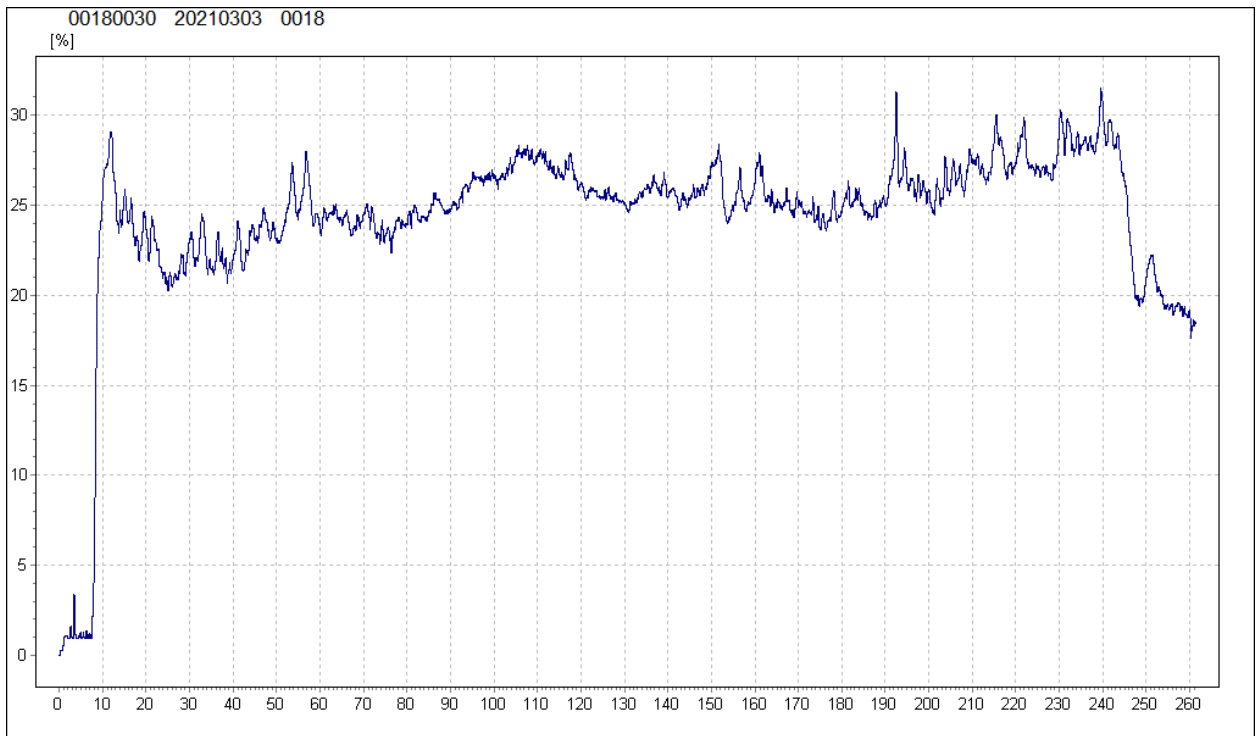
Joonis lisa 3.24 Vastupanupuurimise graafik nr 27



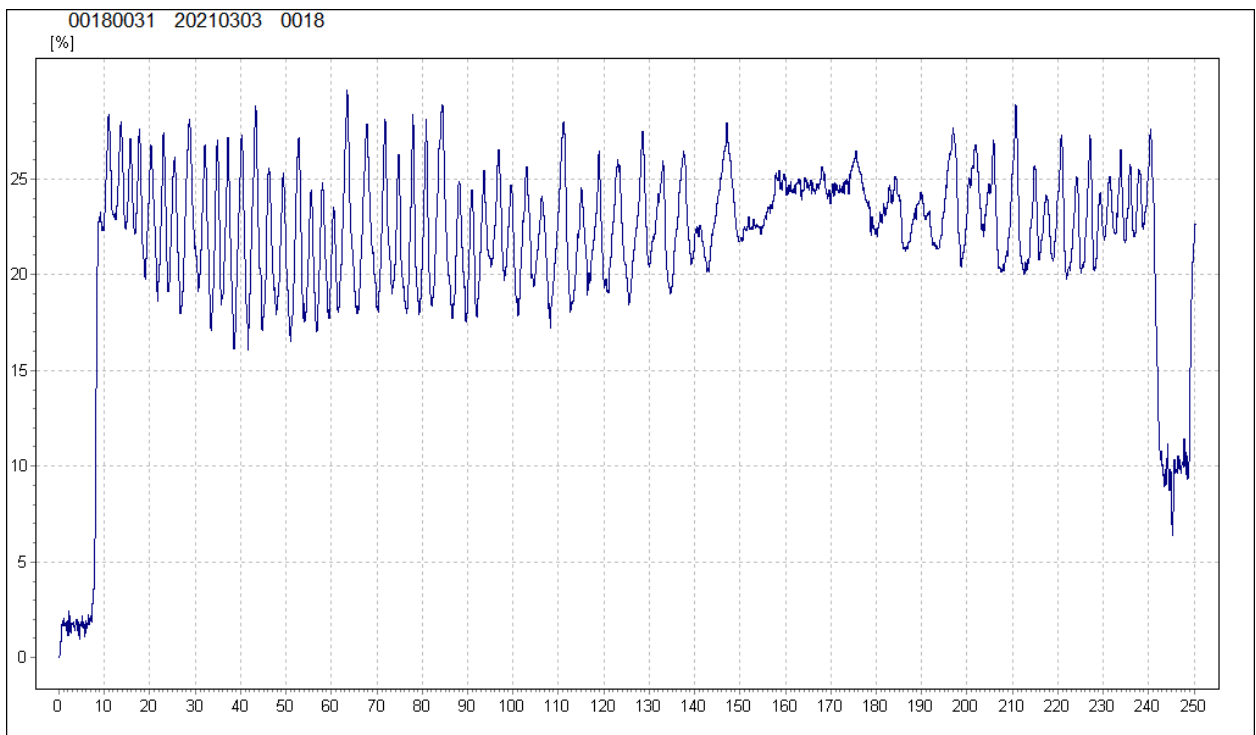
Joonis lisa 3.25 Vastupanupuurimise graafik nr 28



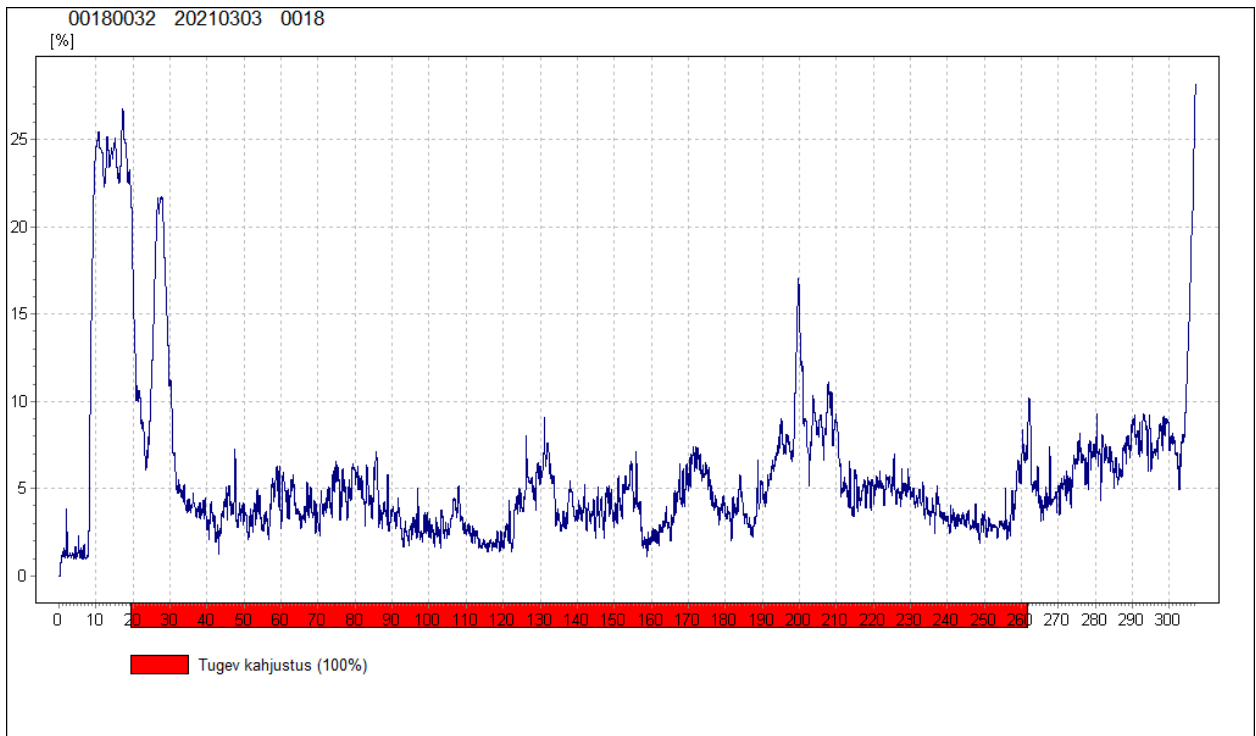
Joonis lisa 3.26 Vastupanupuurimise graafik nr 29



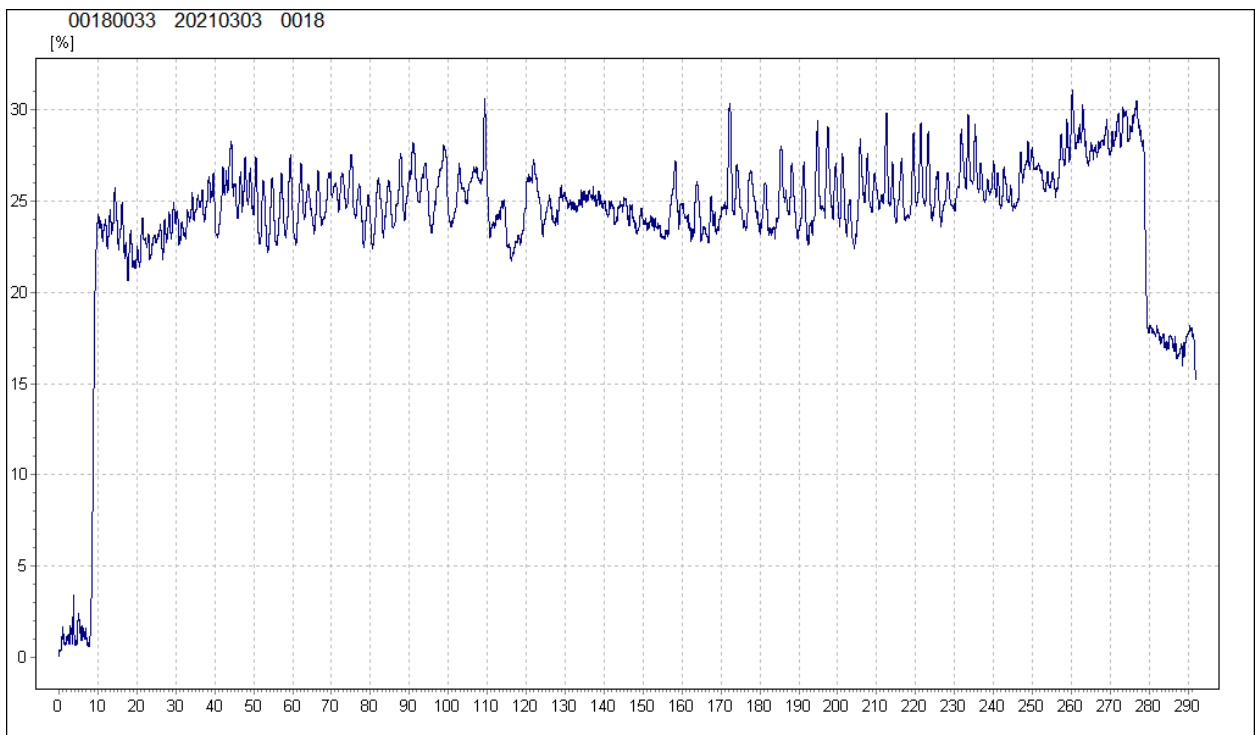
Joonis lisa 3.27 Vastupanupuurimise graafik nr 30



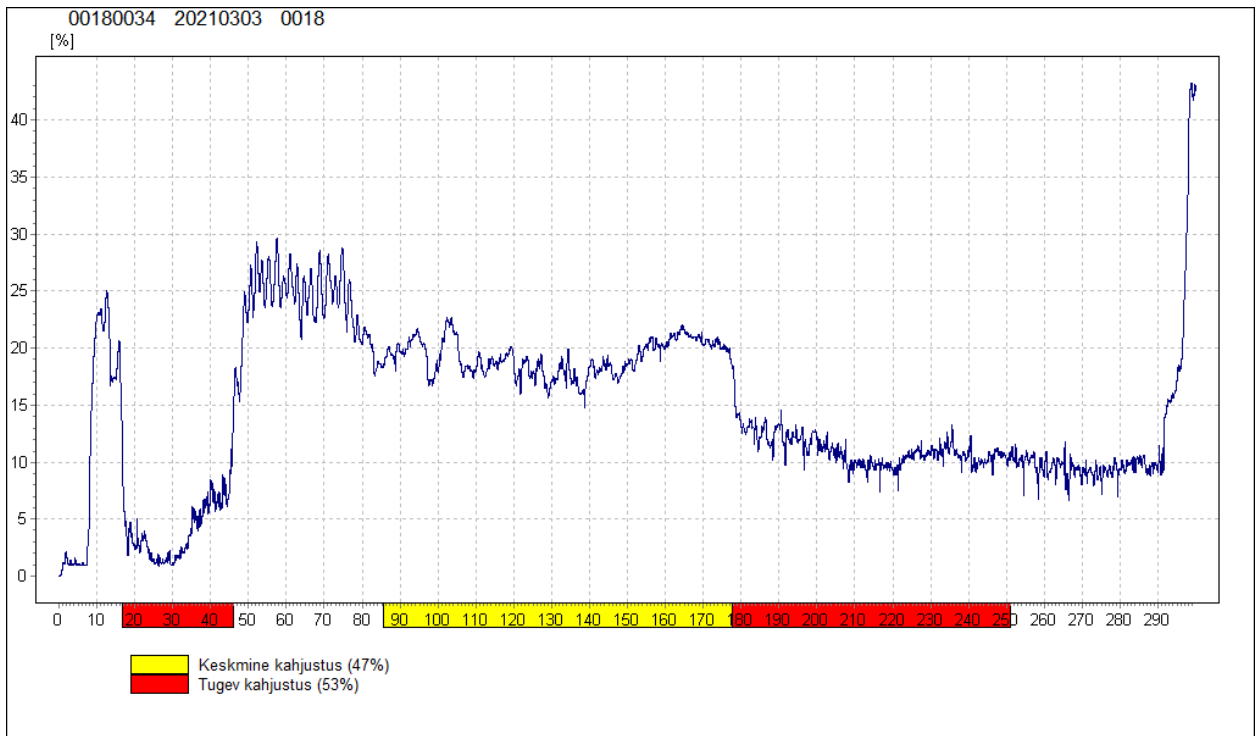
Joonis lisa 3.28 Vastupanupuurimise graafik nr 31



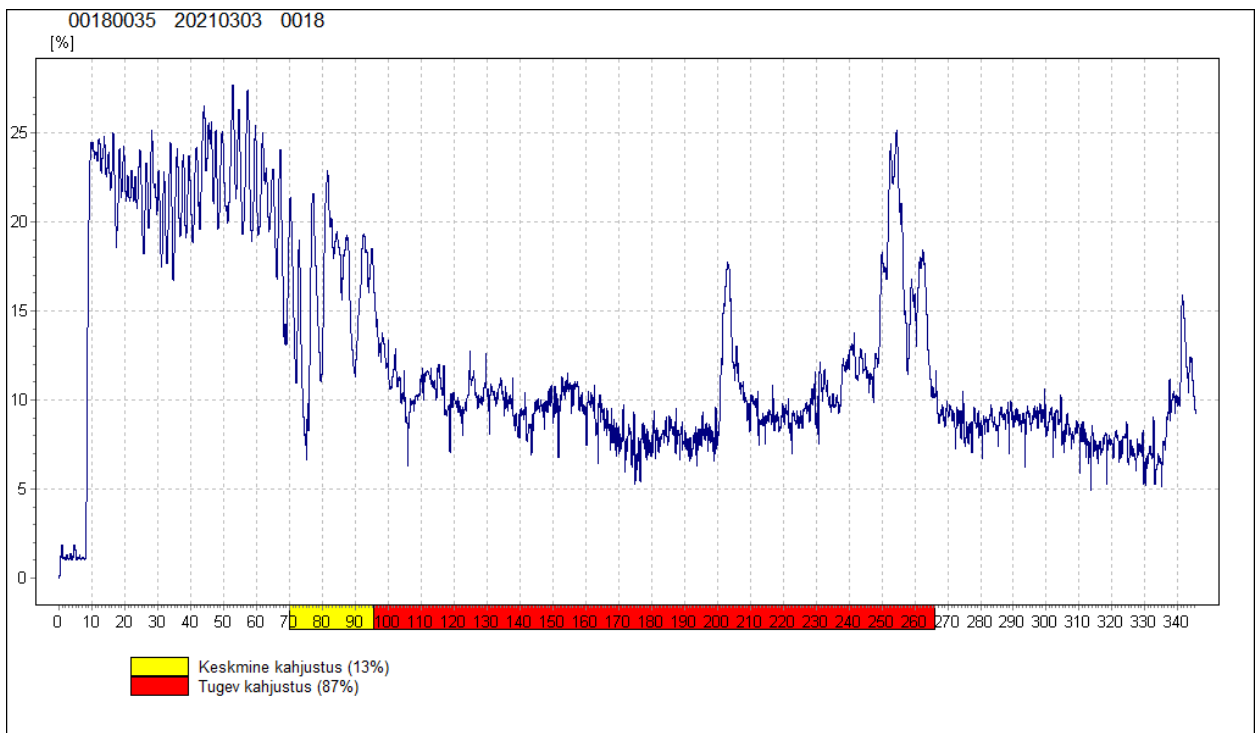
Joonis lisa 3.29 Vastupanupuurimise graafik nr 32



Joonis lisa 3.30 Vastupanupuurimise graafik nr 33

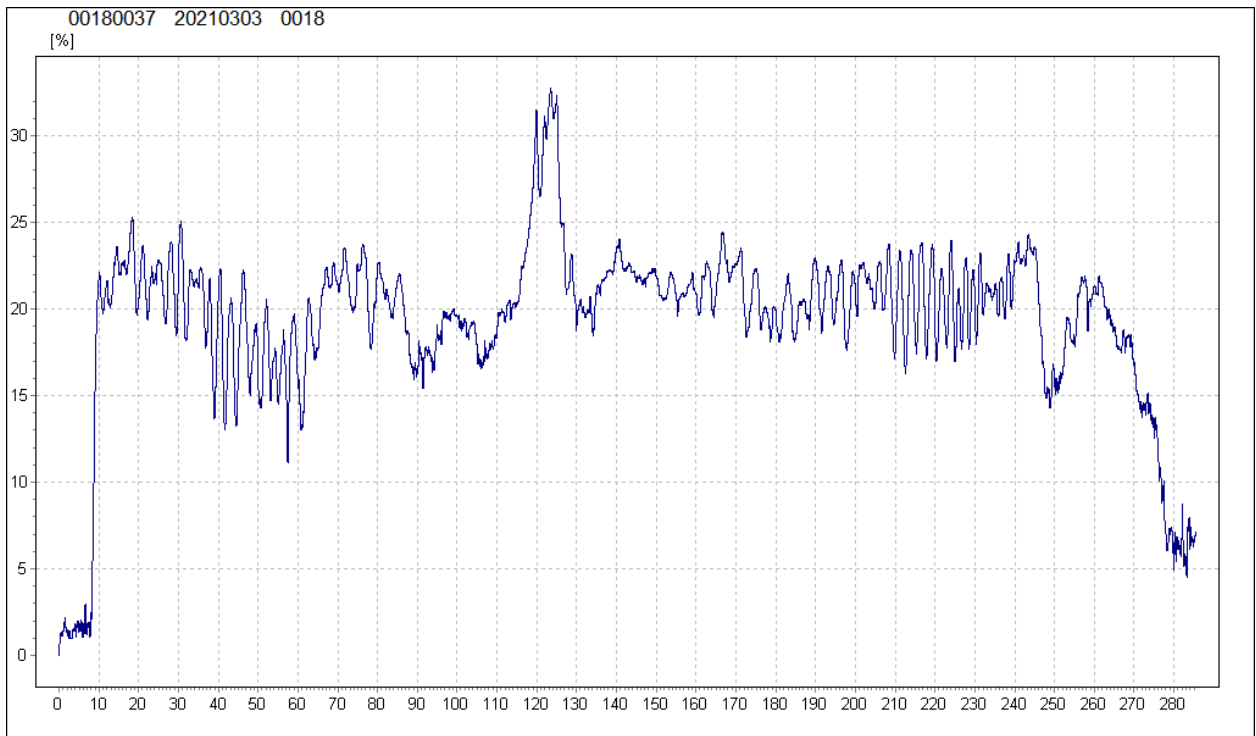


Joonis lisa 3.31 Vastupanupuurimise graafik nr 34

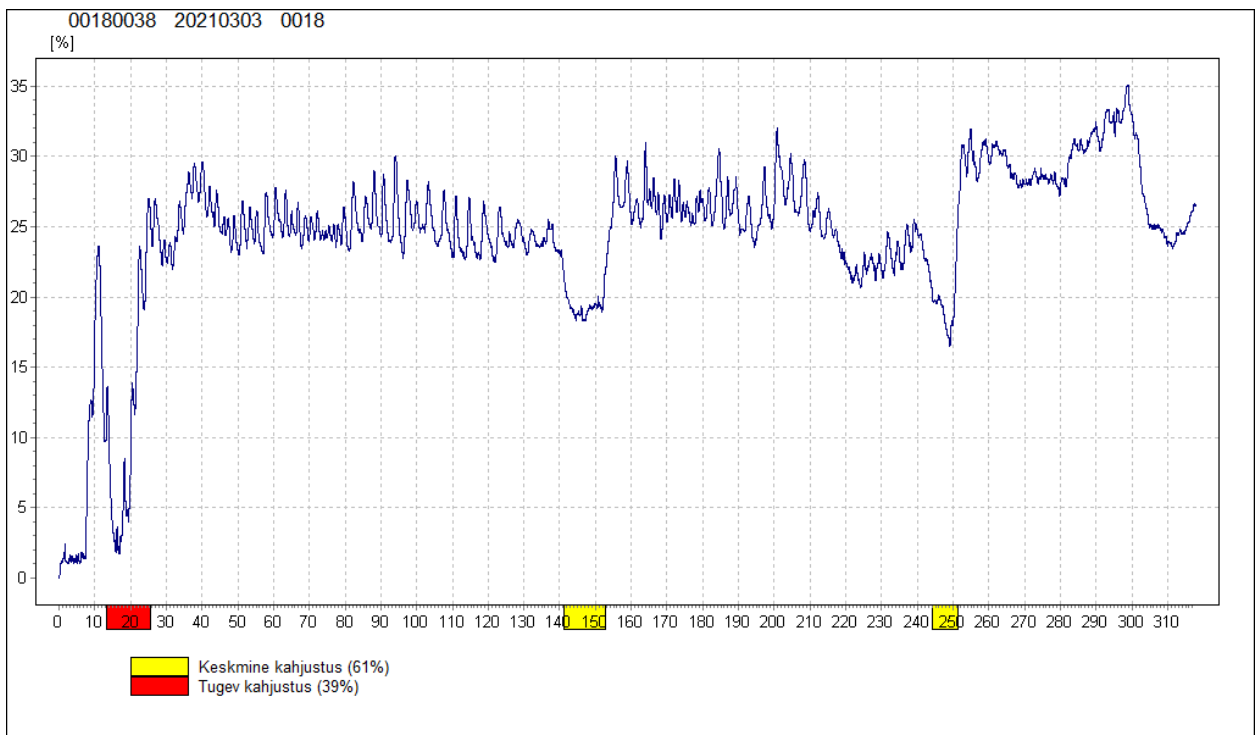


Joonis lisa 3.32 Vastupanupuurimise graafik nr 35

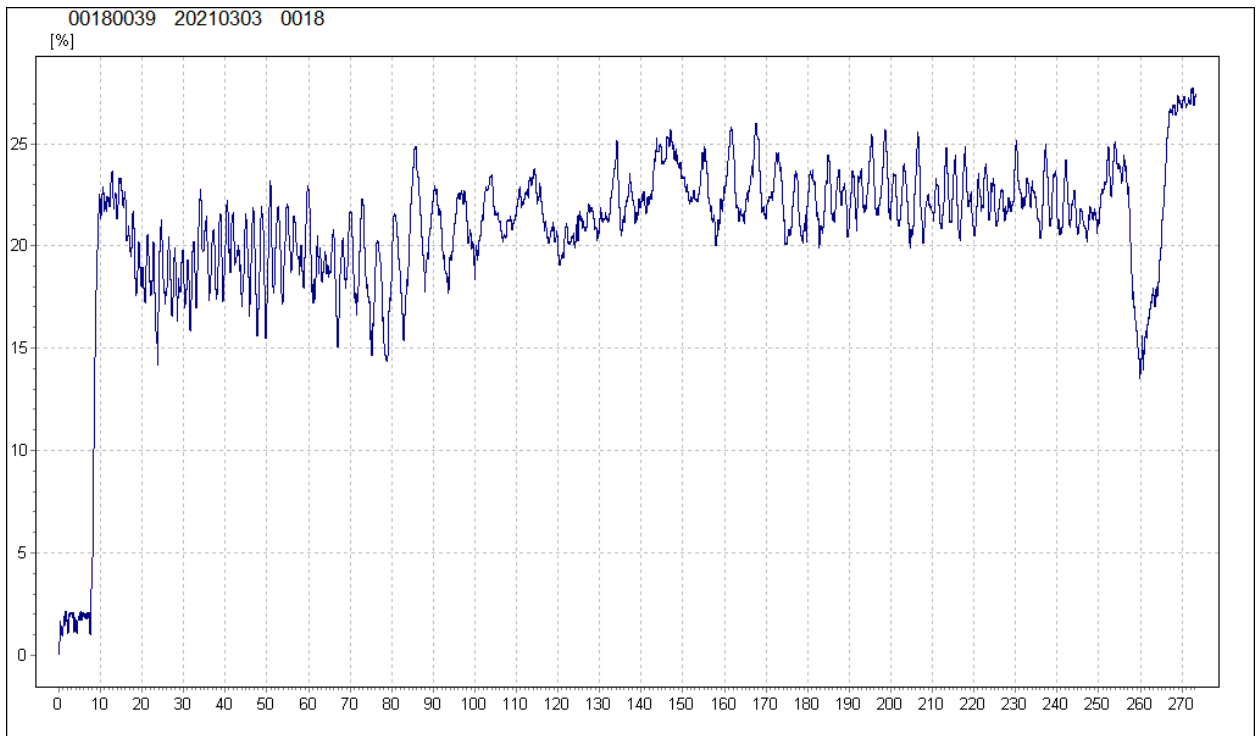




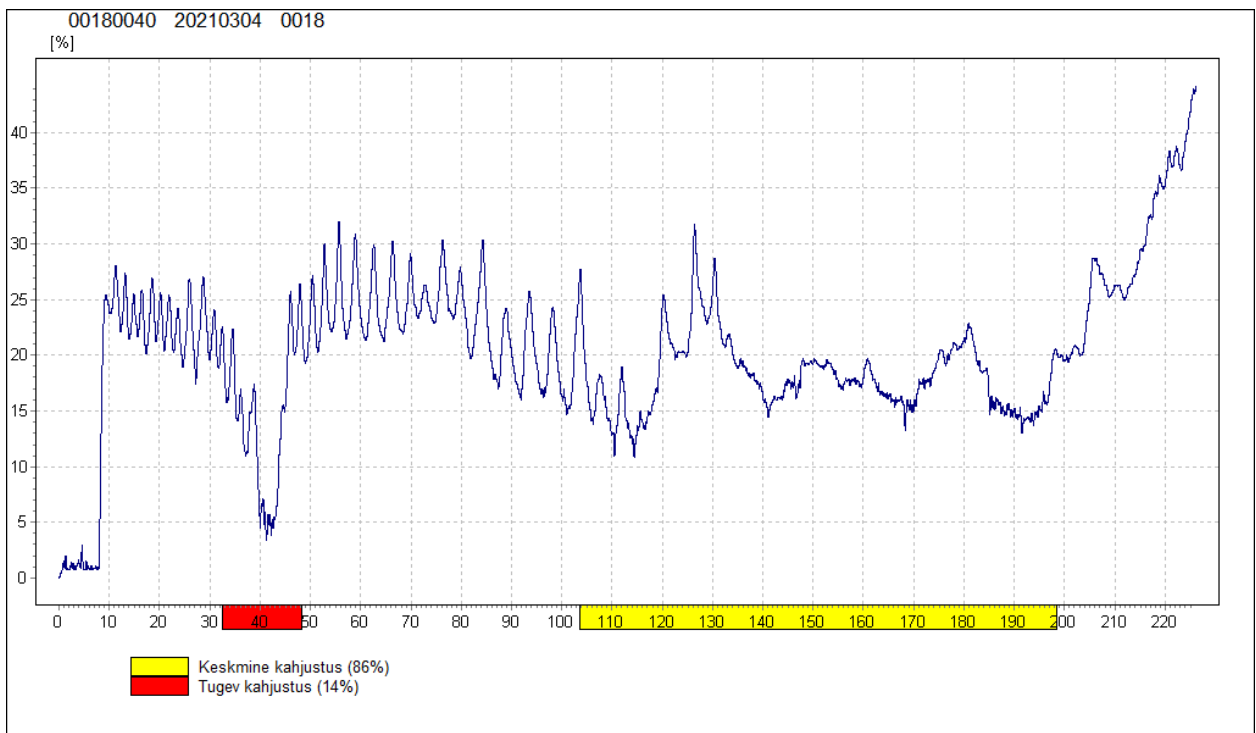
Joonis lisa 3.33 Vastupanupuurimise graafik nr 37



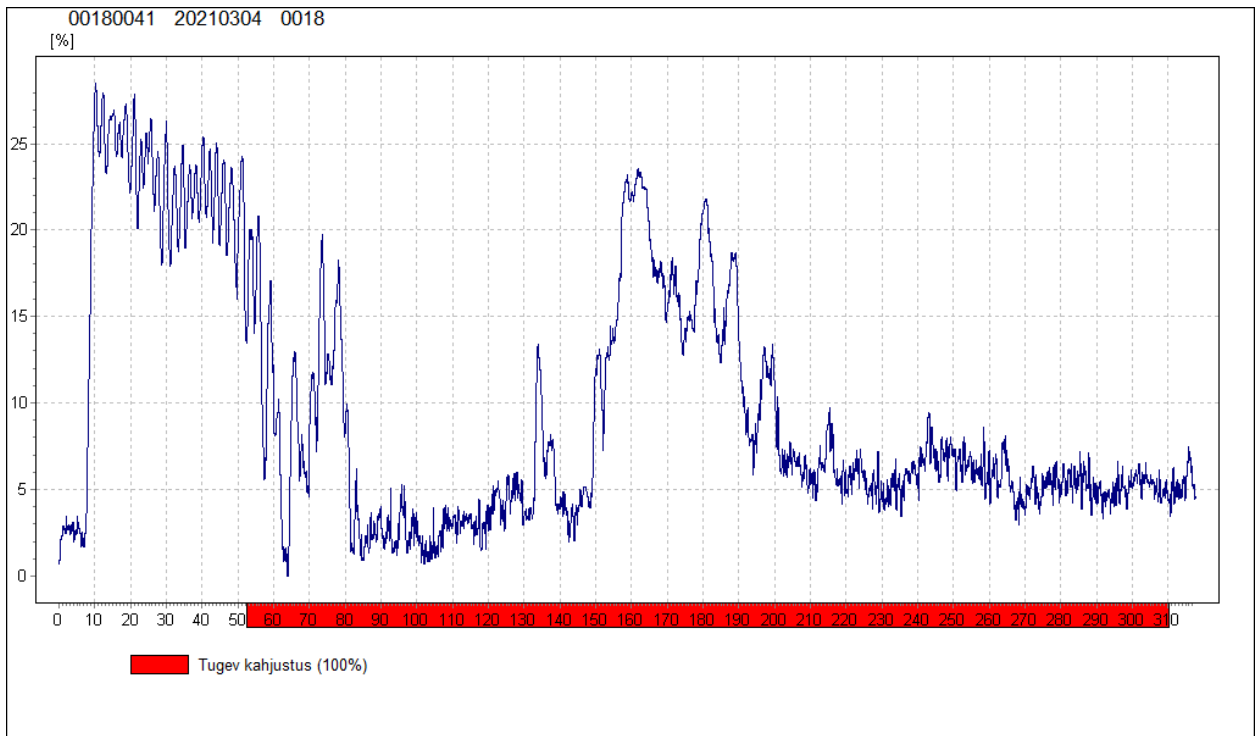
Joonis lisa 3.34 Vastupanupuurimise graafik nr 38



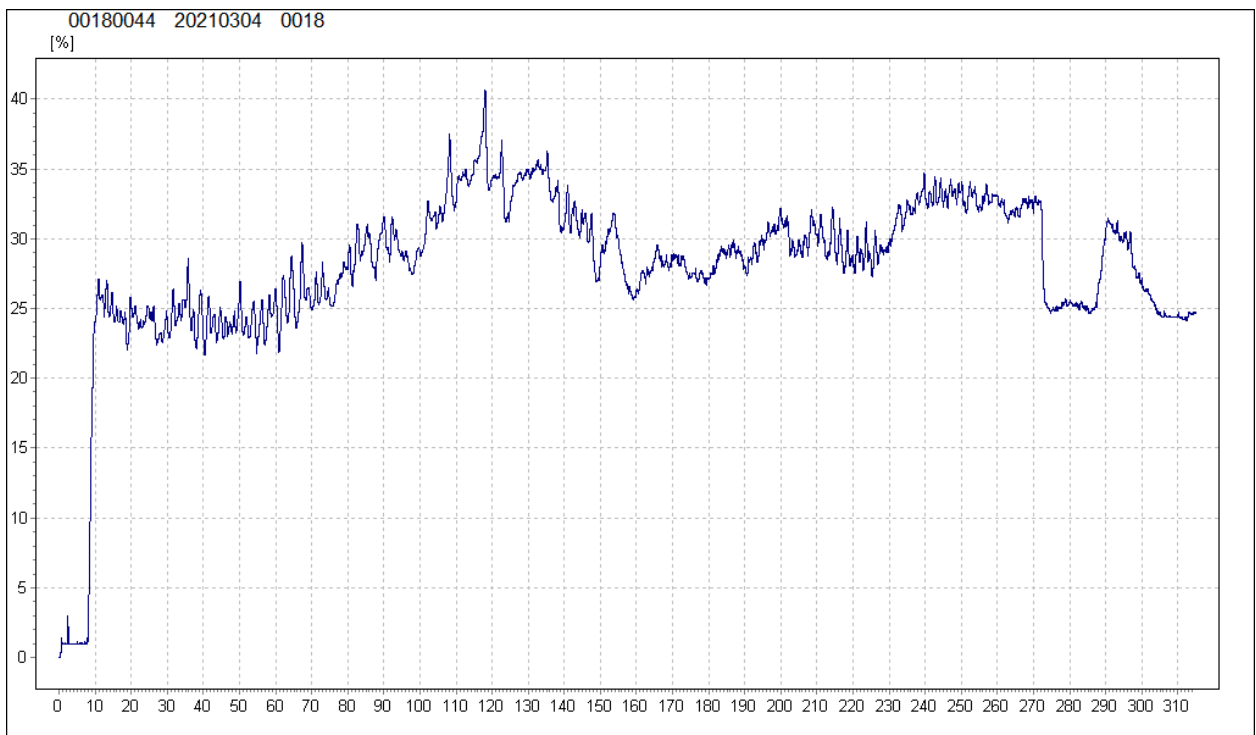
Joonis lisa 3.35 Vastupanupuurimise graafik nr 39



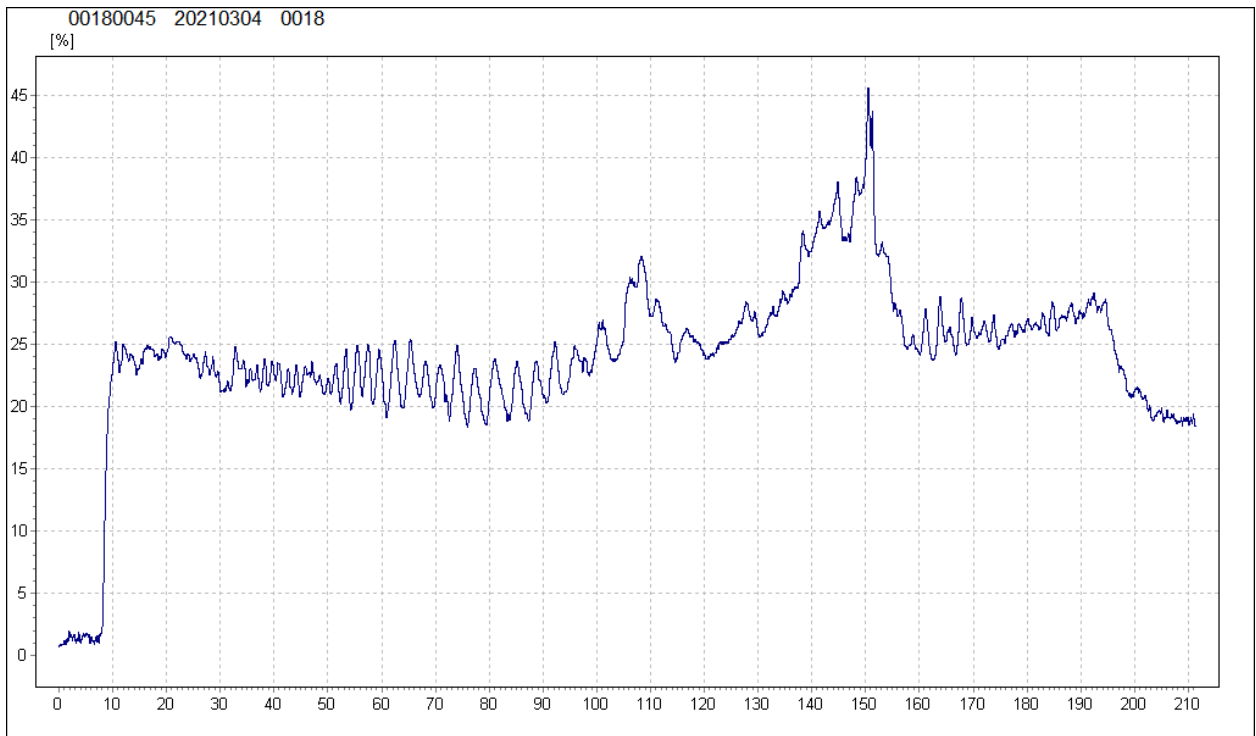
Joonis lisa 3.36 Vastupanupuurimise graafik nr 40



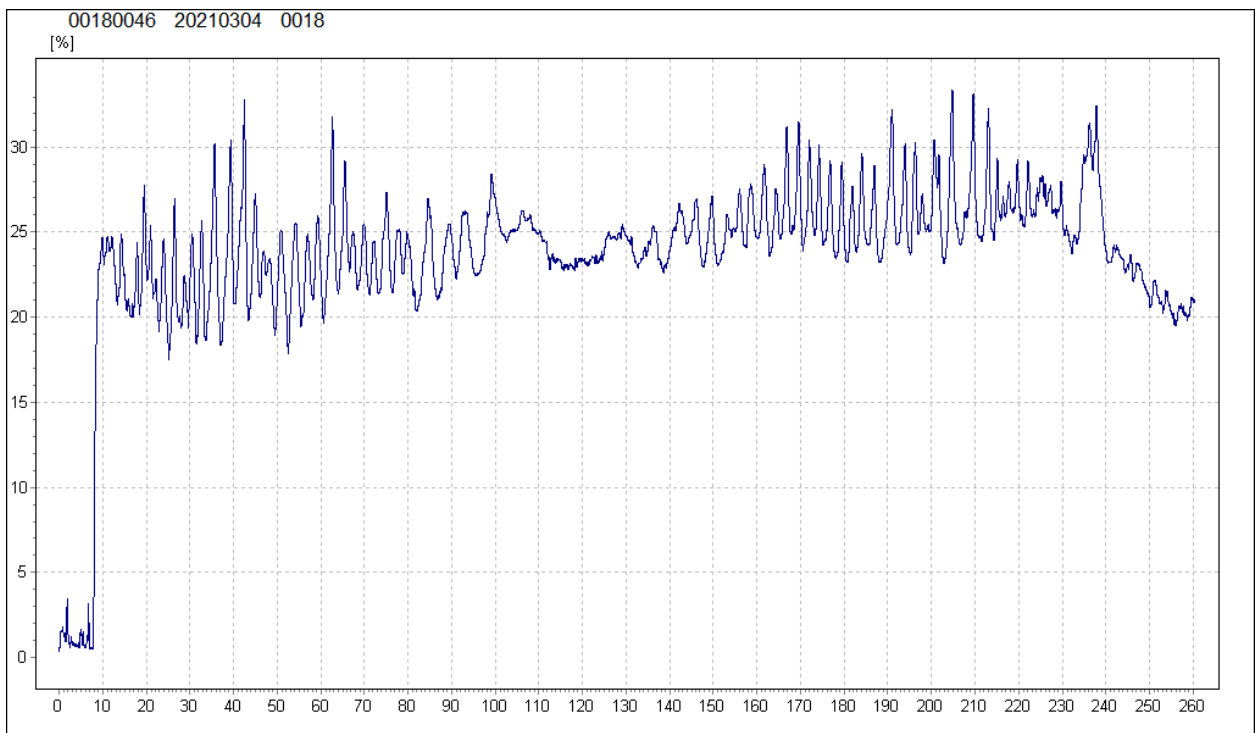
Joonis lisa 3.37 Vastupanupuurimise graafik nr 41



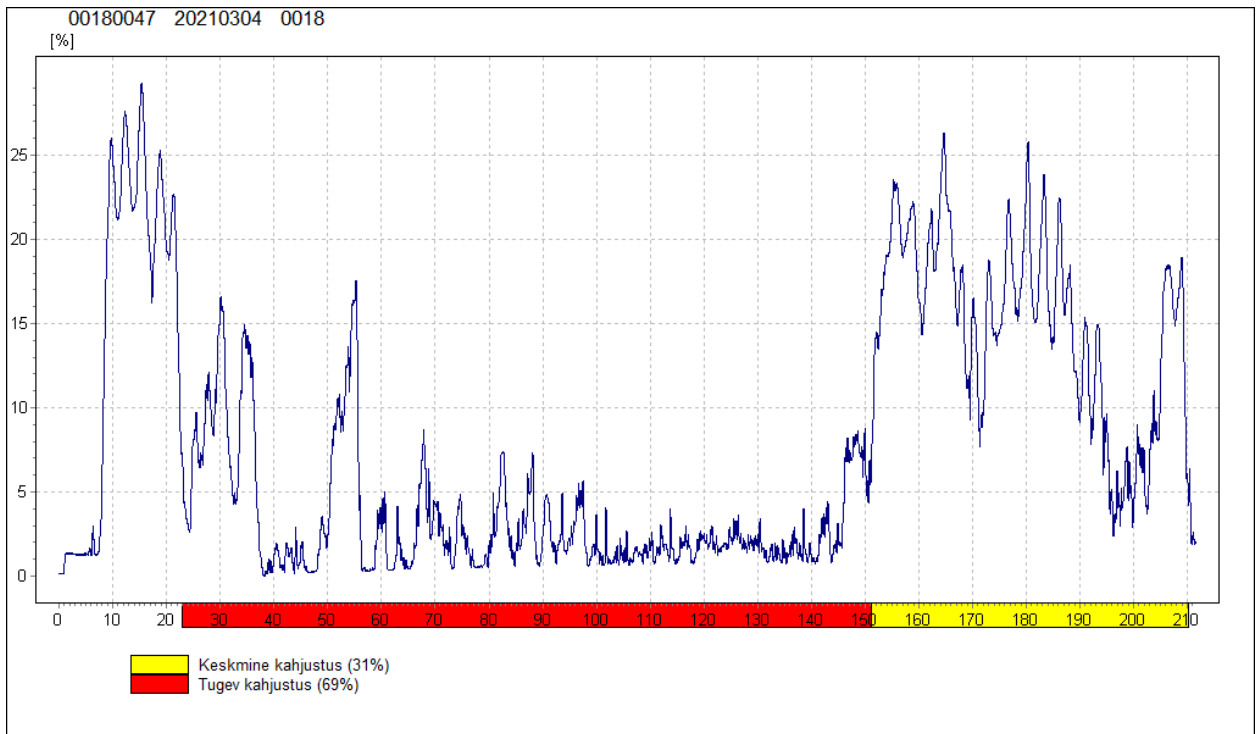
Joonis lisa 3.38 Vastupanupuurimise graafik nr 44



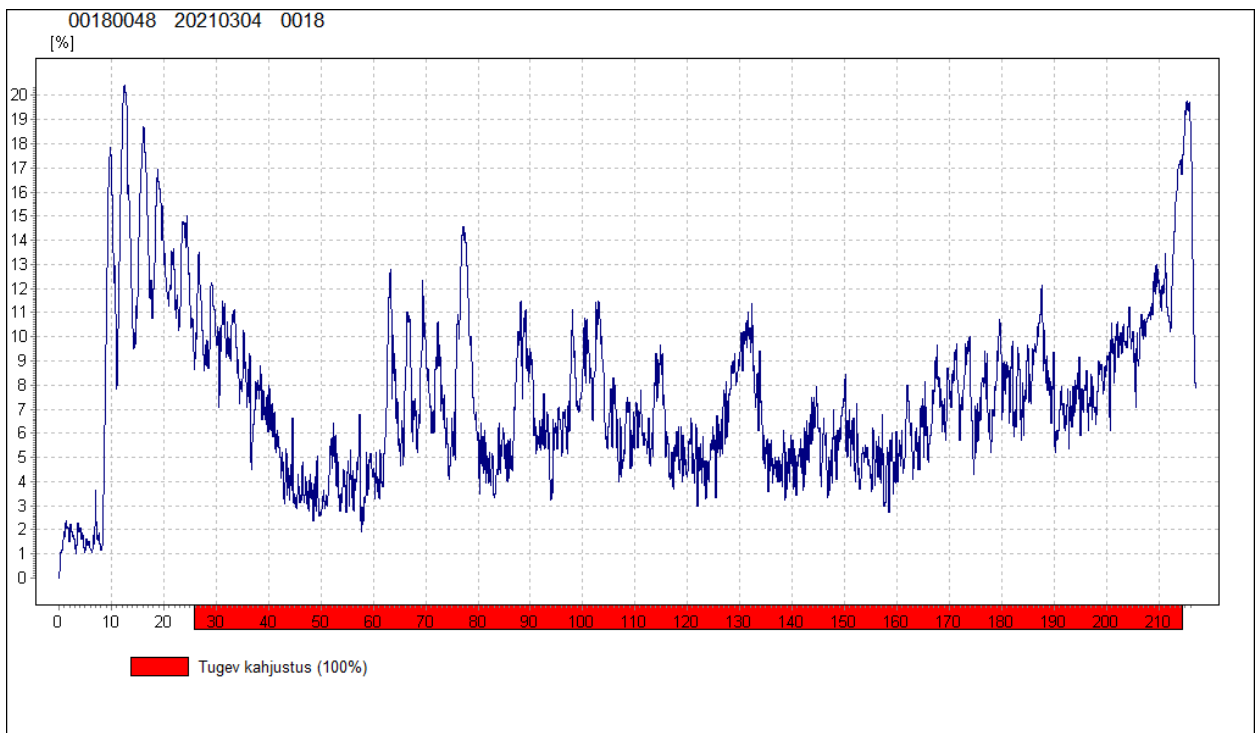
Joonis lisa 3.39 Vastupanupuurimise graafik nr 45



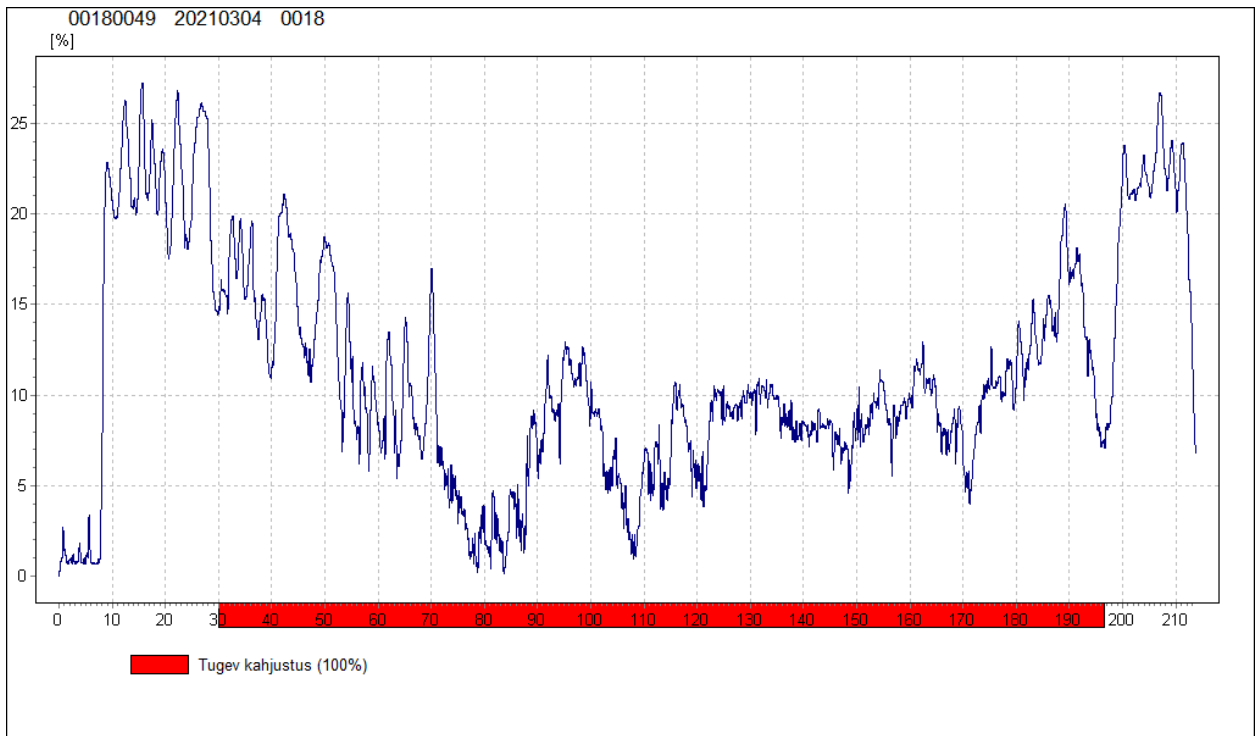
Joonis lisa 3.40 Vastupanupuurimise graafik nr 46



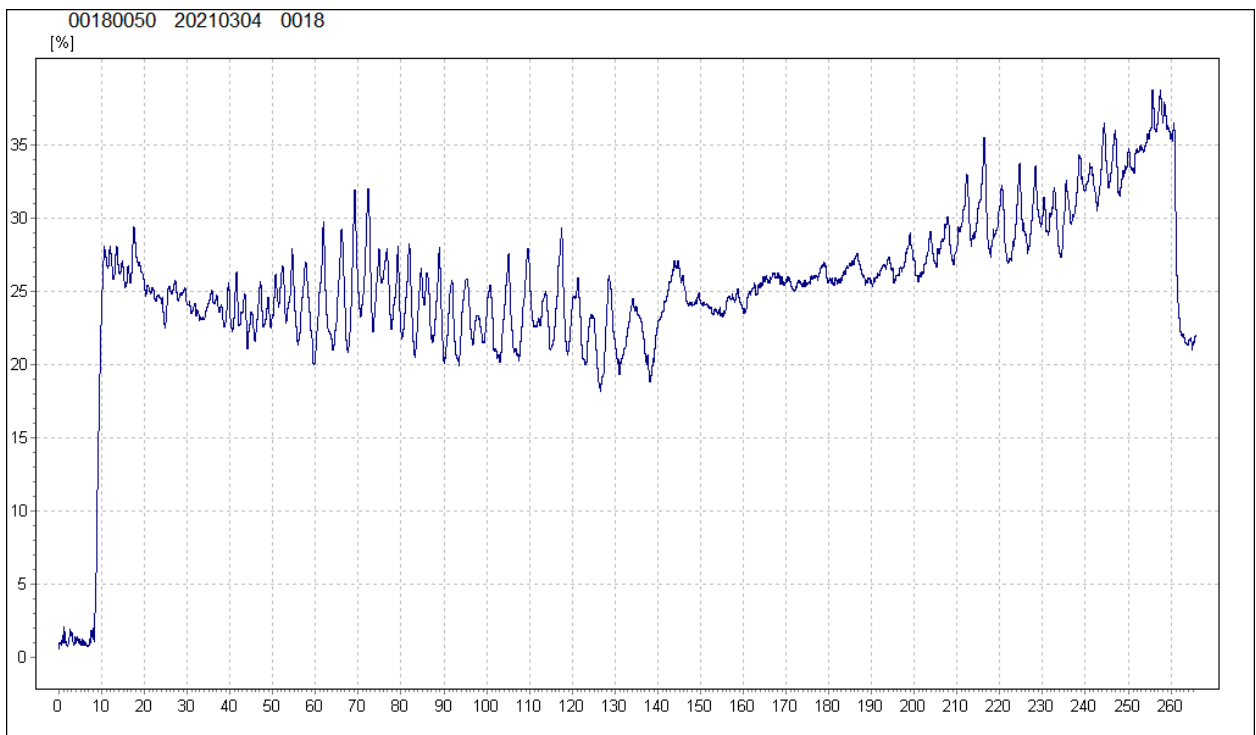
Joonis lisa 3.41 Vastupanupuurimise graafik nr 47



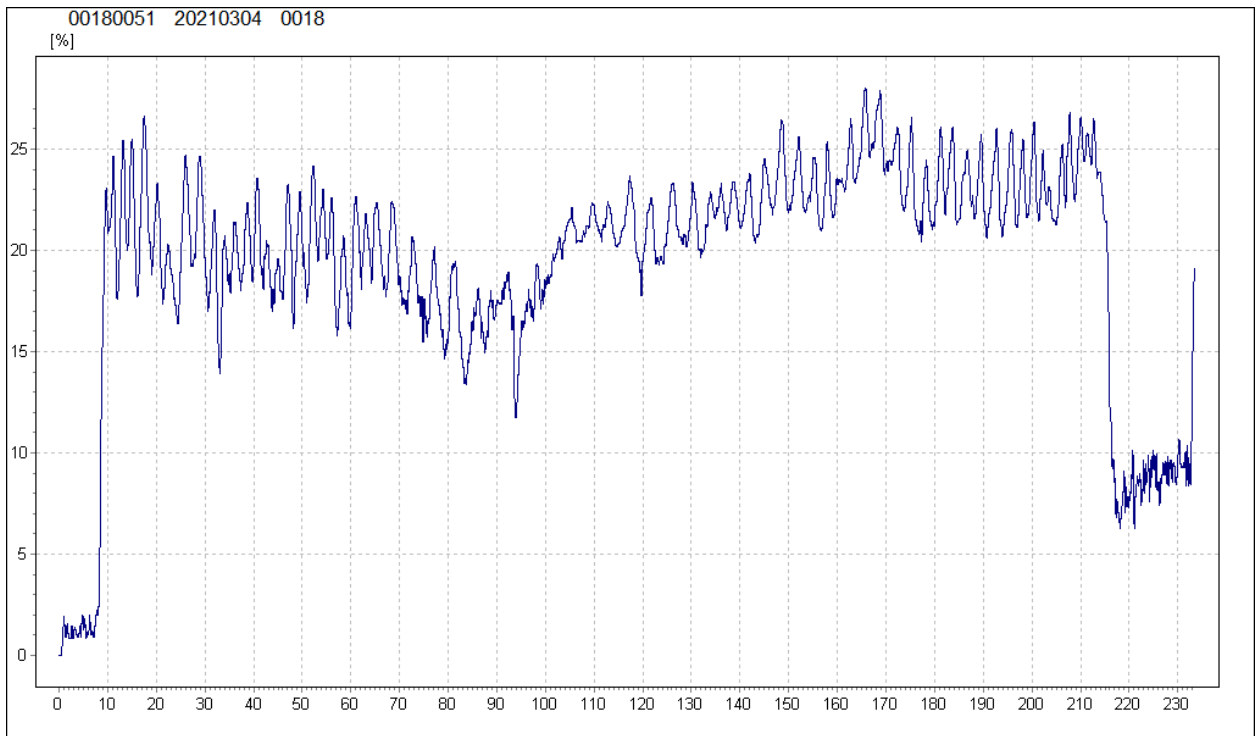
Joonis lisa 3.42 Vastupanupuurimise graafik nr 48



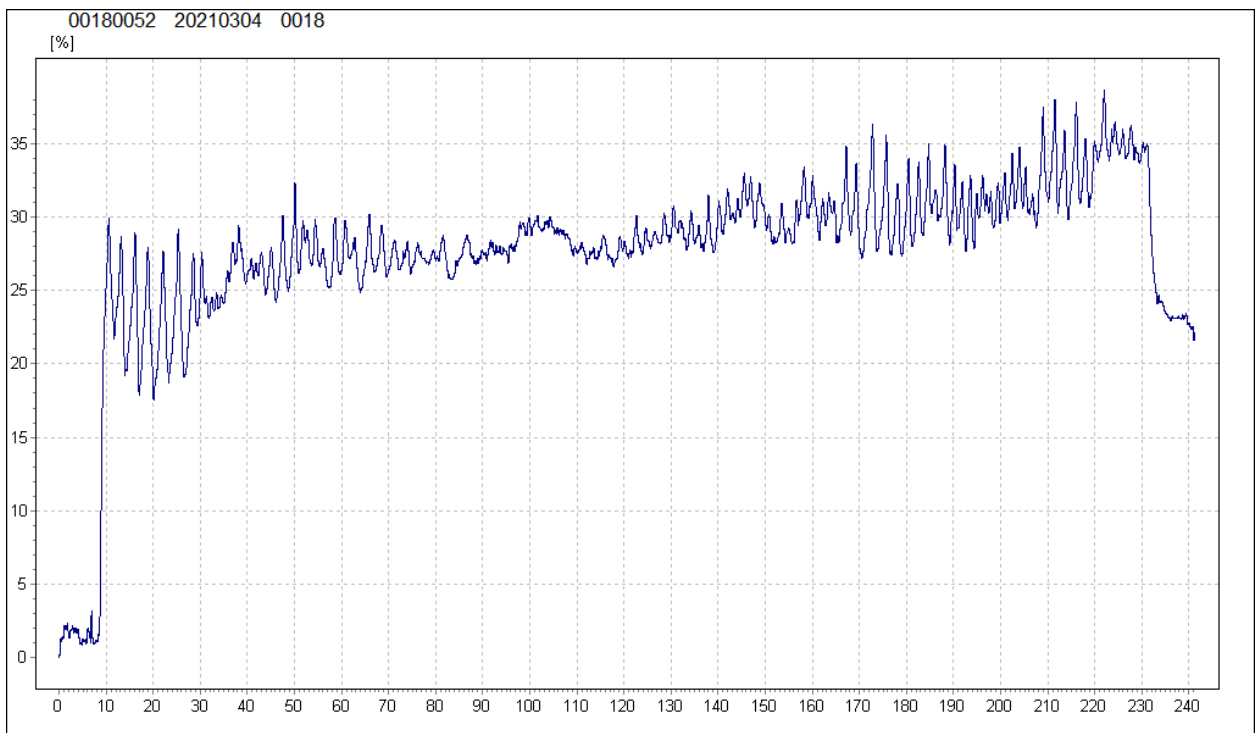
Joonis lisa 3.43 Vastupanupuurimise graafik nr 49



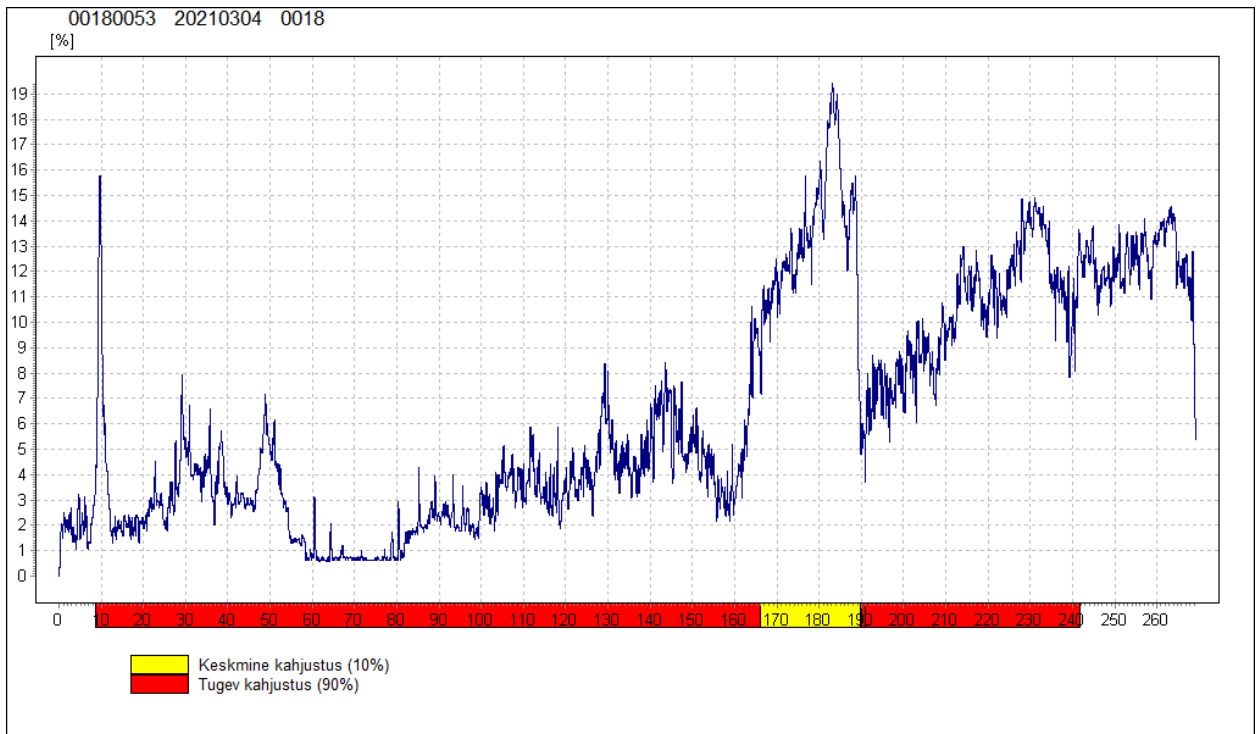
Joonis lisa 3.44 Vastupanupuurimise graafik nr 50



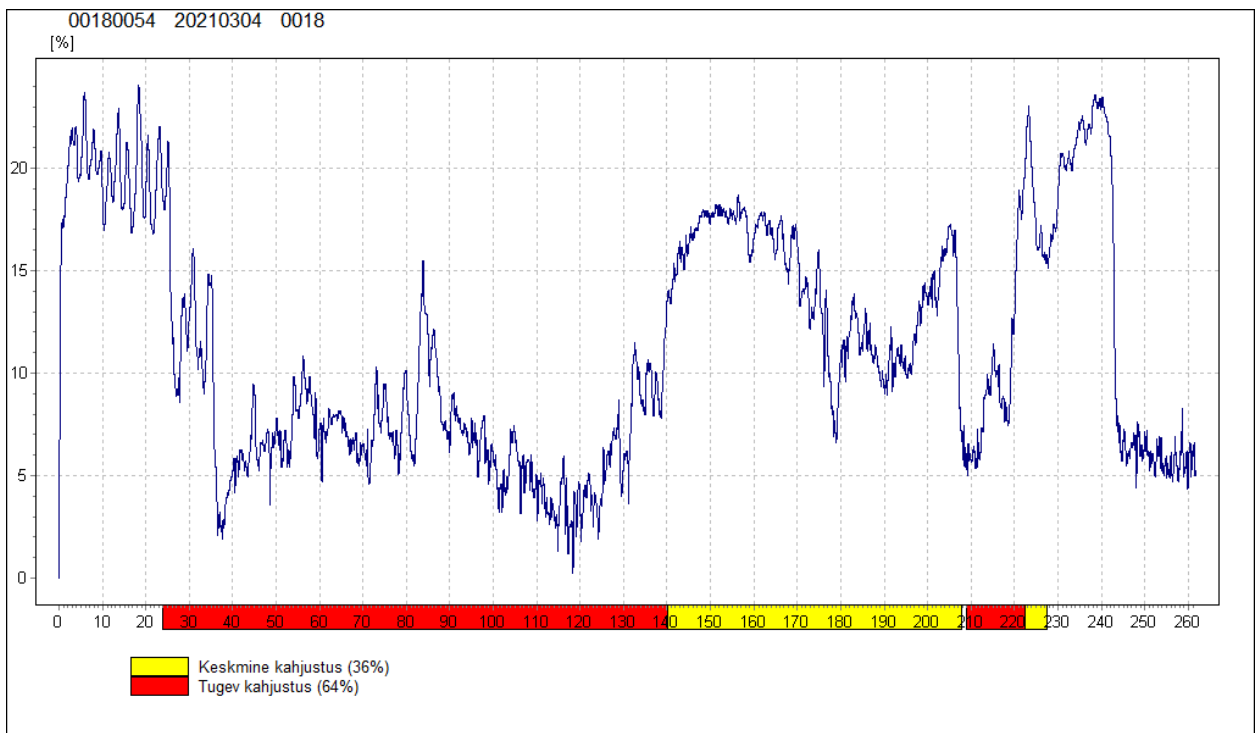
Joonis lisa 3.45 Vastupanupuurimise graafik nr 51



Joonis lisa 3.46 Vastupanupuurimise graafik nr 52

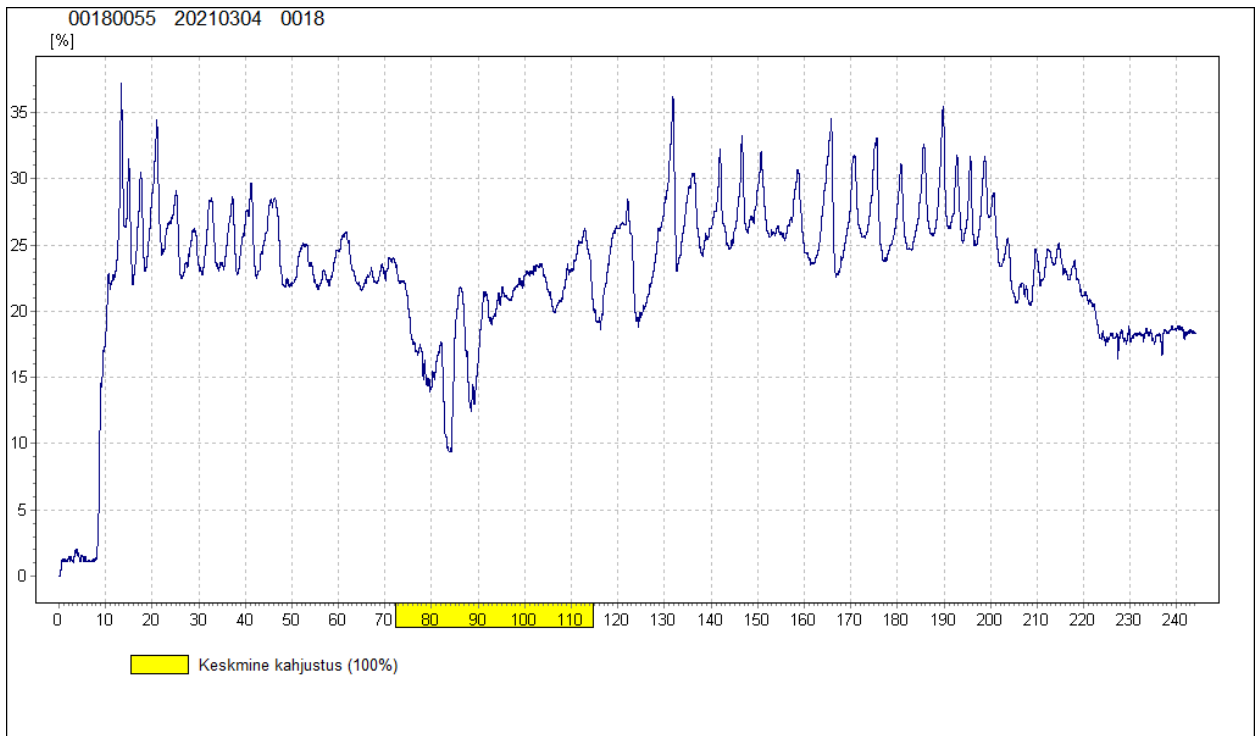


Joonis lisa 3.47 Vastupanupuurimise graafik nr 53

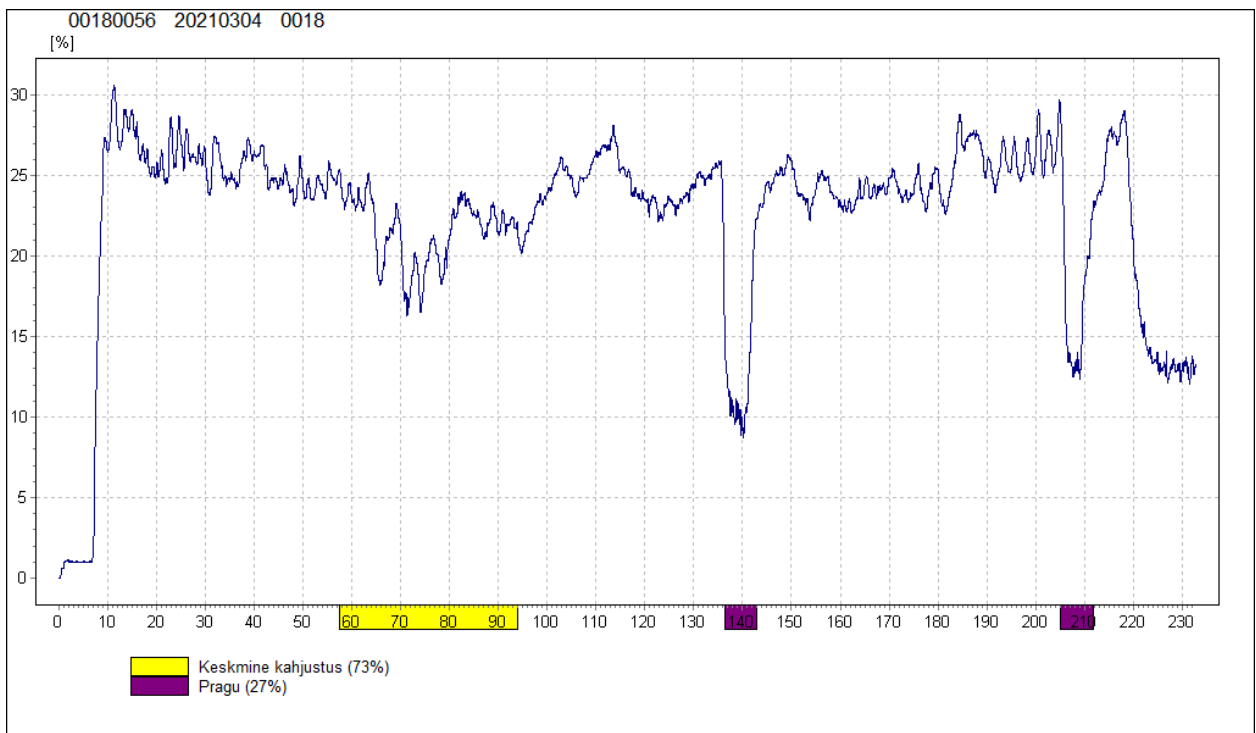


Joonis lisa 3.48 Vastupanupuurimise graafik nr 54

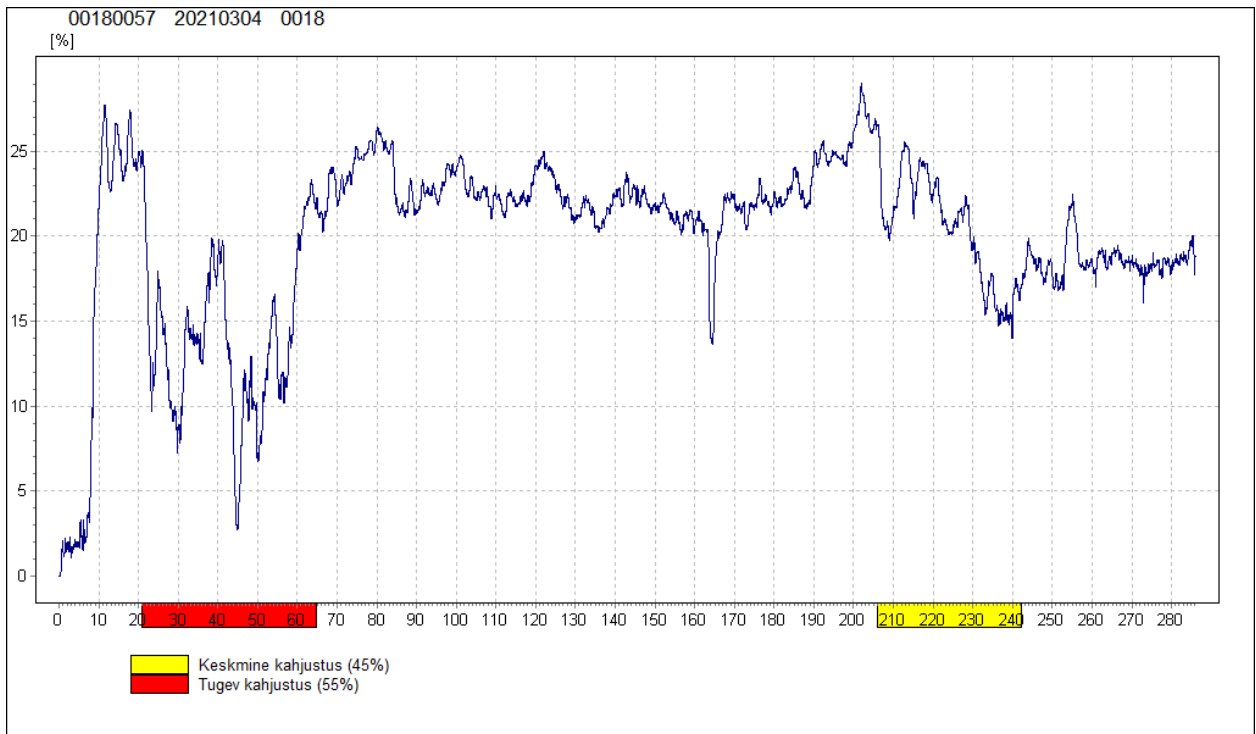




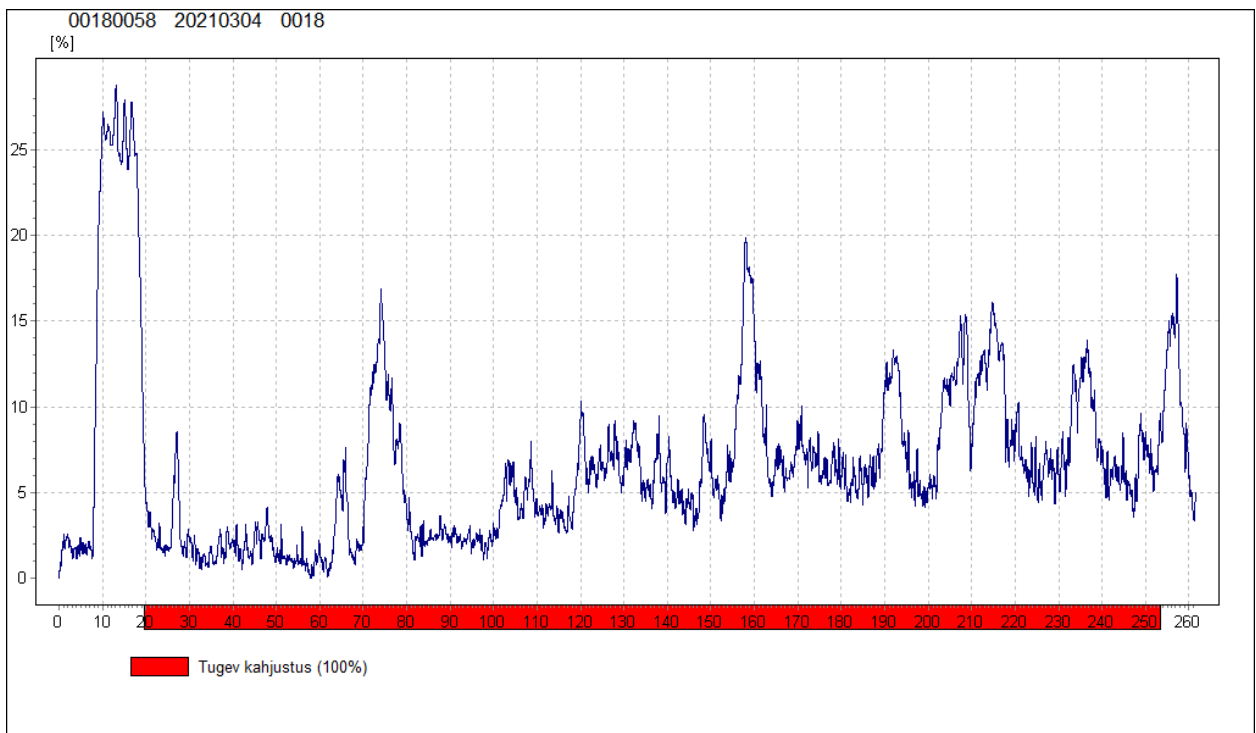
Joonis lisa 3.49 Vastupanupuurimise graafik nr 55



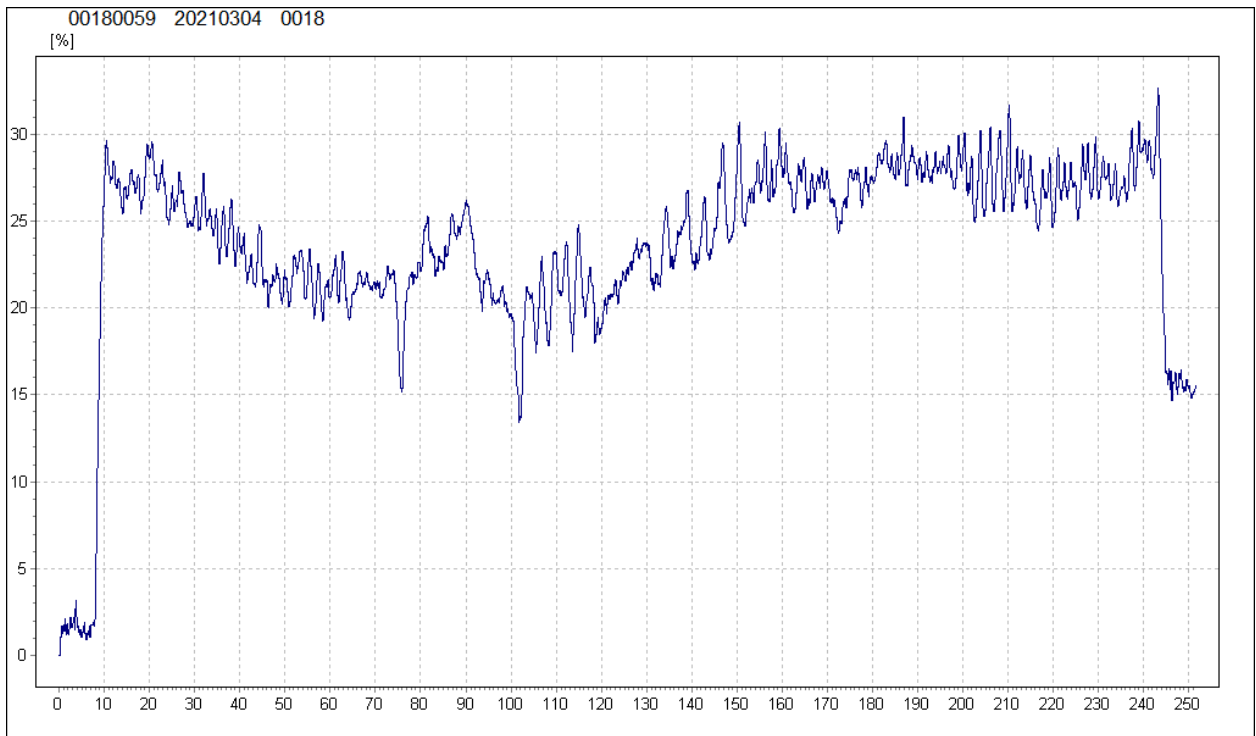
Joonis lisa 3.50 Vastupanupuurimise graafik nr 56



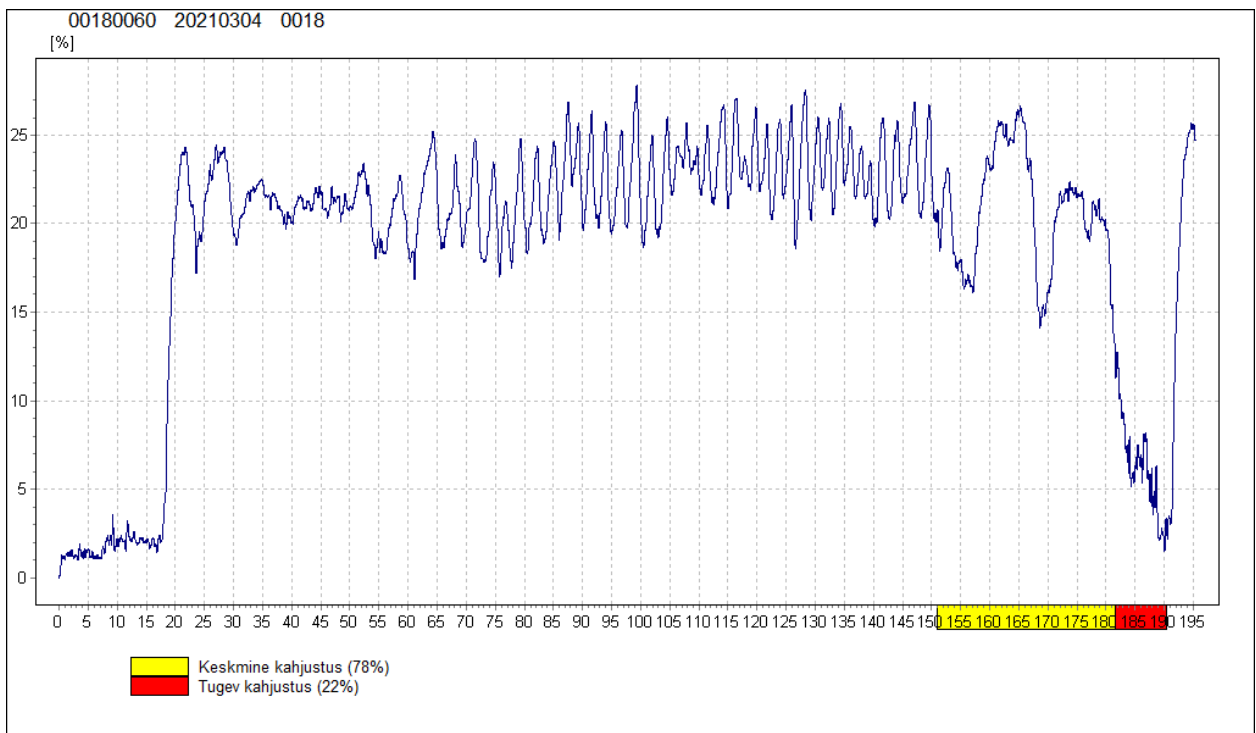
Joonis lisa 3.51 Vastupanupuurimise graafik nr 57



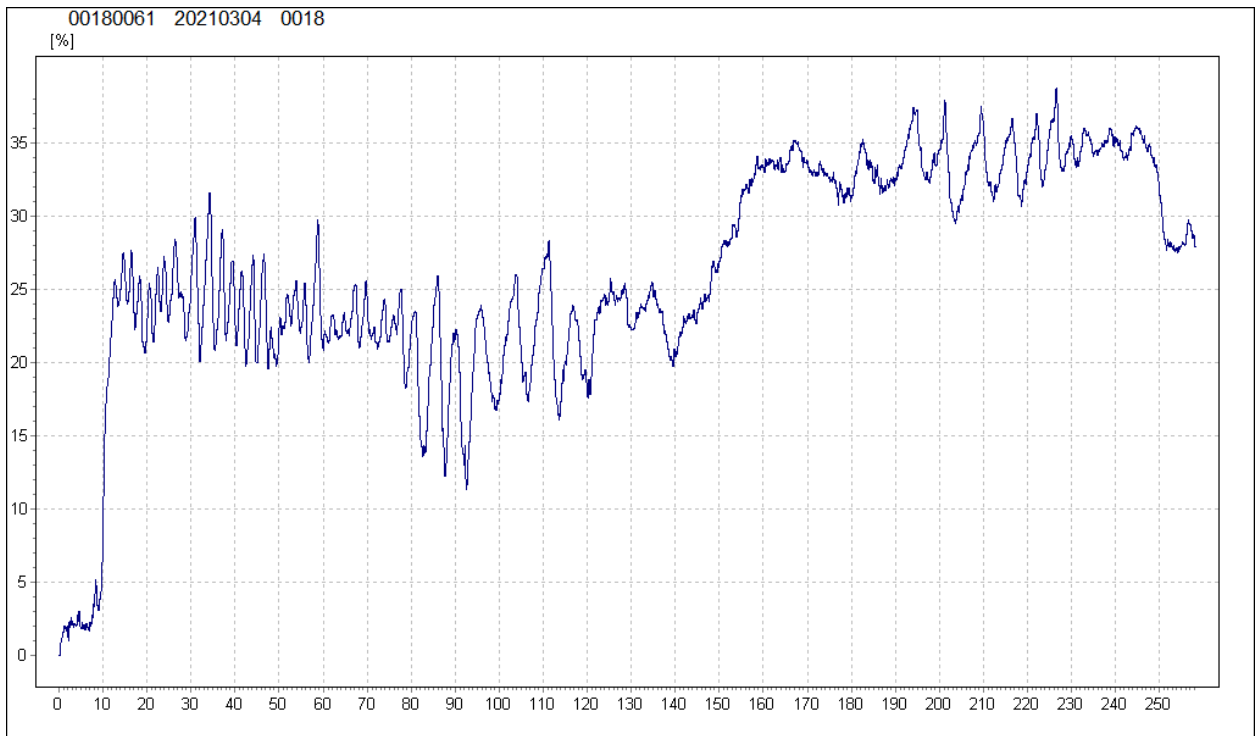
Joonis lisa 3.52 Vastupanupuurimise graafik nr 58



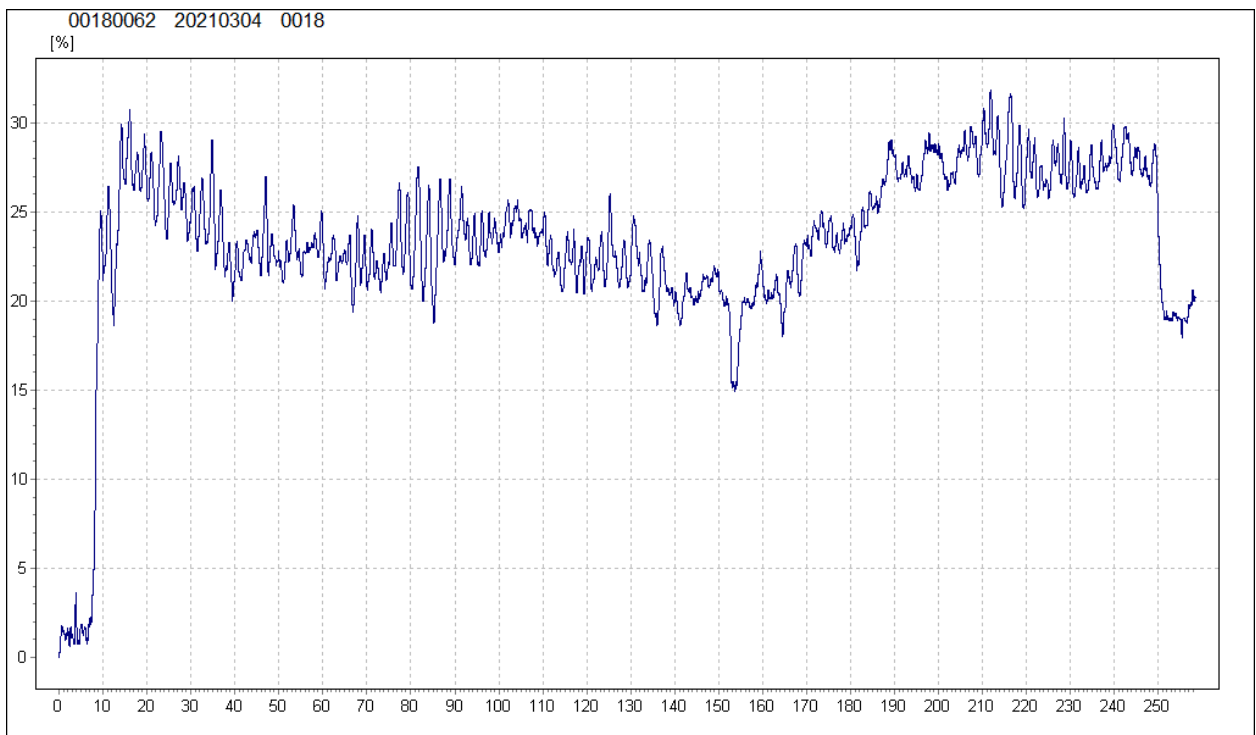
Joonis lisa 3.53 Vastupanupuurimise graafik nr 59



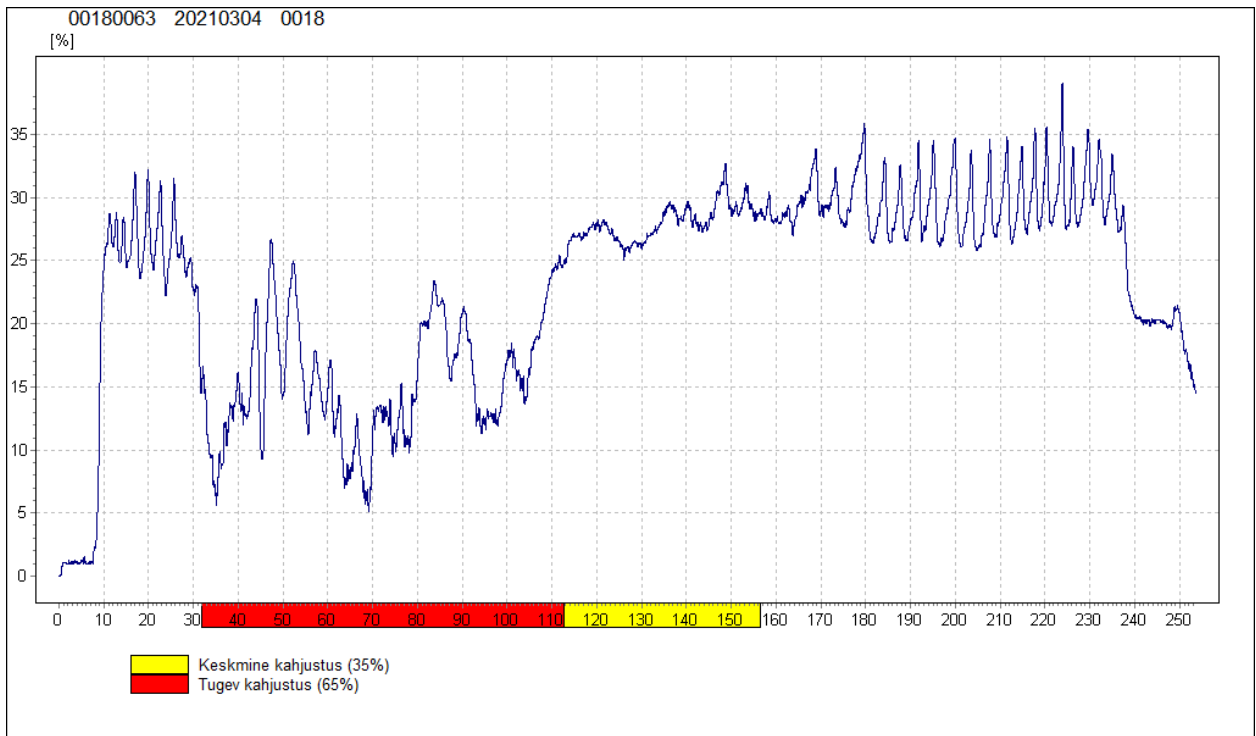
Joonis lisa 3.54 Vastupanupuurimise graafik nr 60



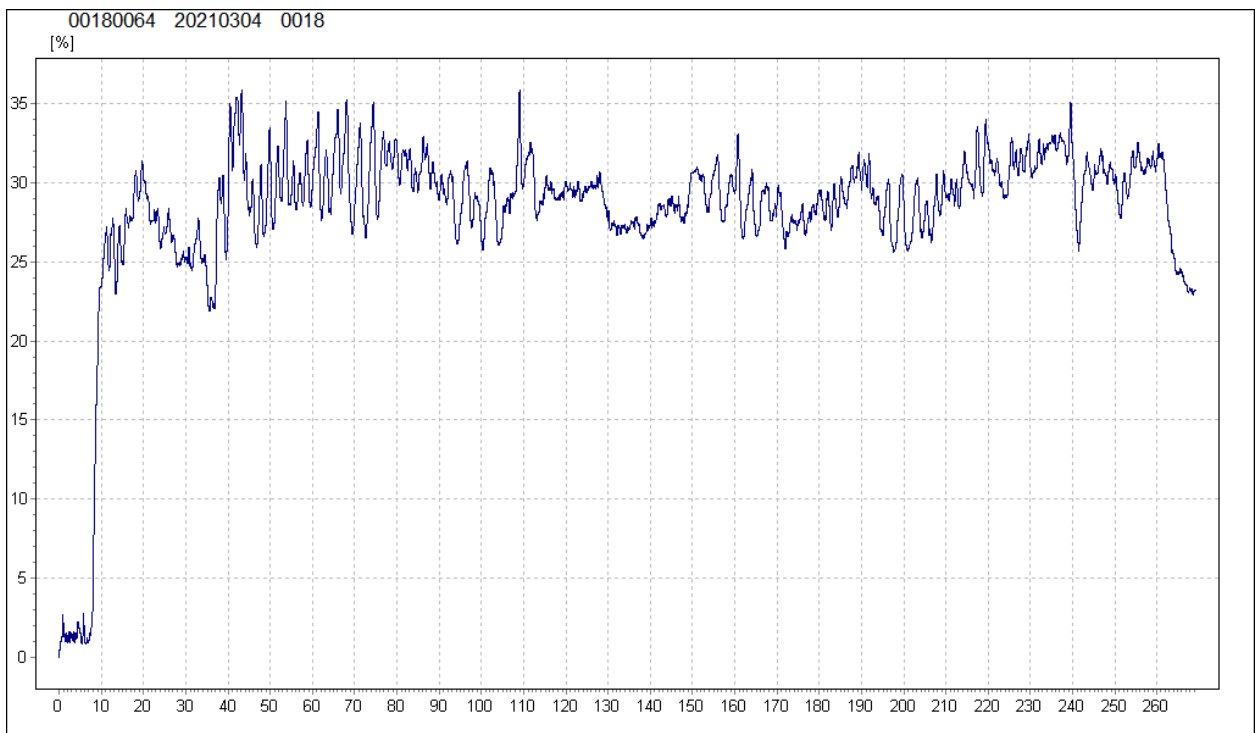
*Joonis lisa 3.55 Vastupanupuurimise graafik nr 61*



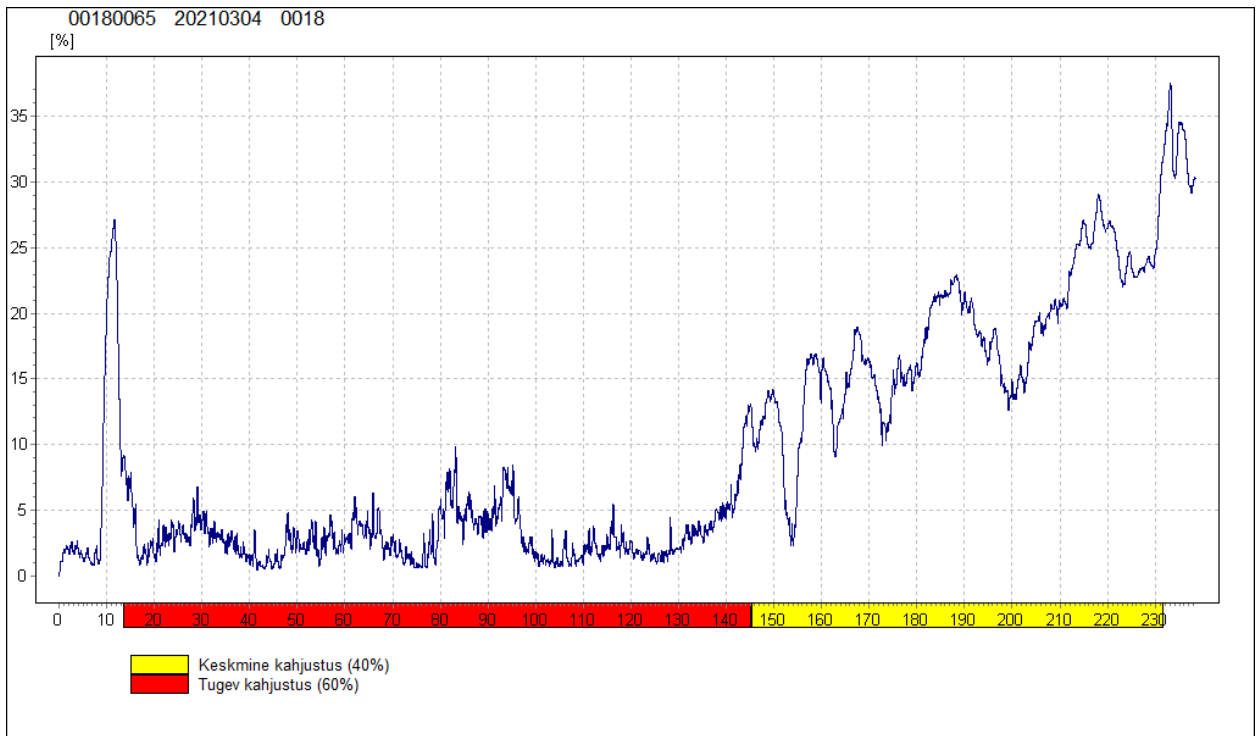
*Joonis lisa 3.56 Vastupanupuurimise graafik nr 62*



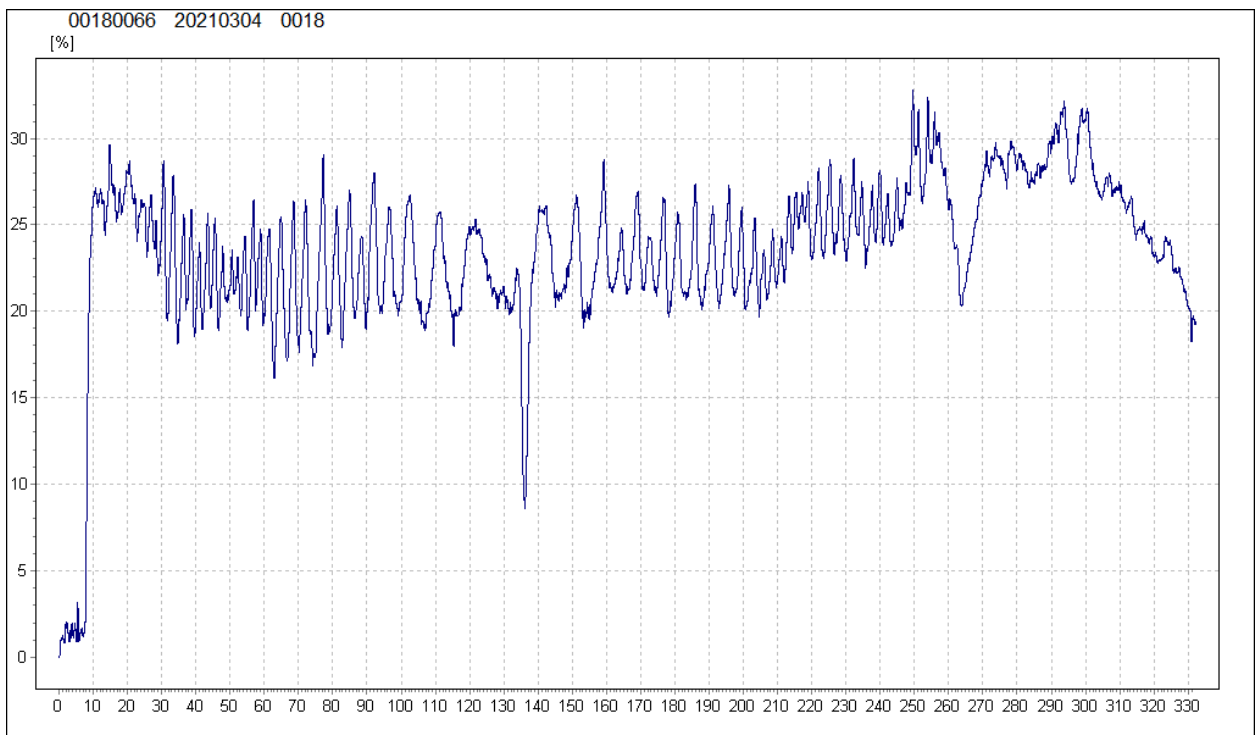
Joonis lisa 3.57 Vastupanupuurimise graafik nr 63



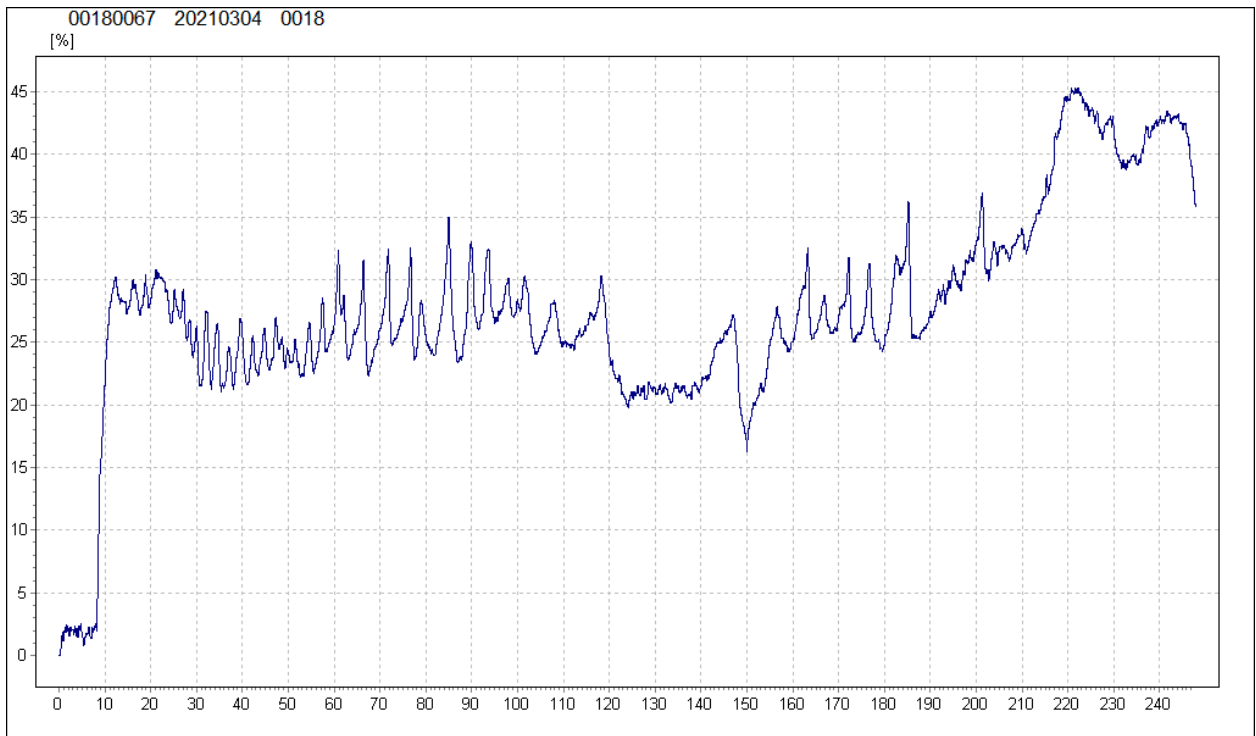
Joonis lisa 3.58 Vastupanupuurimise graafik nr 64



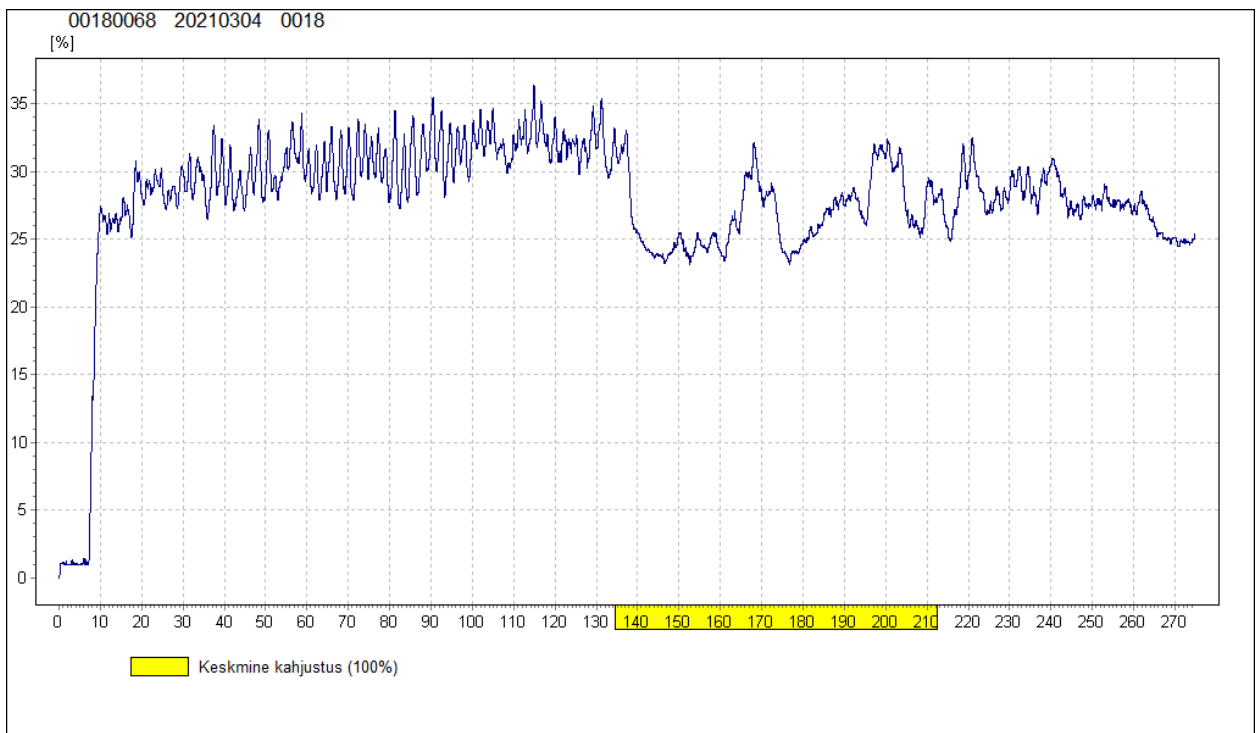
Joonis lisa 3.59 Vastupanupuurimise graafik nr 65



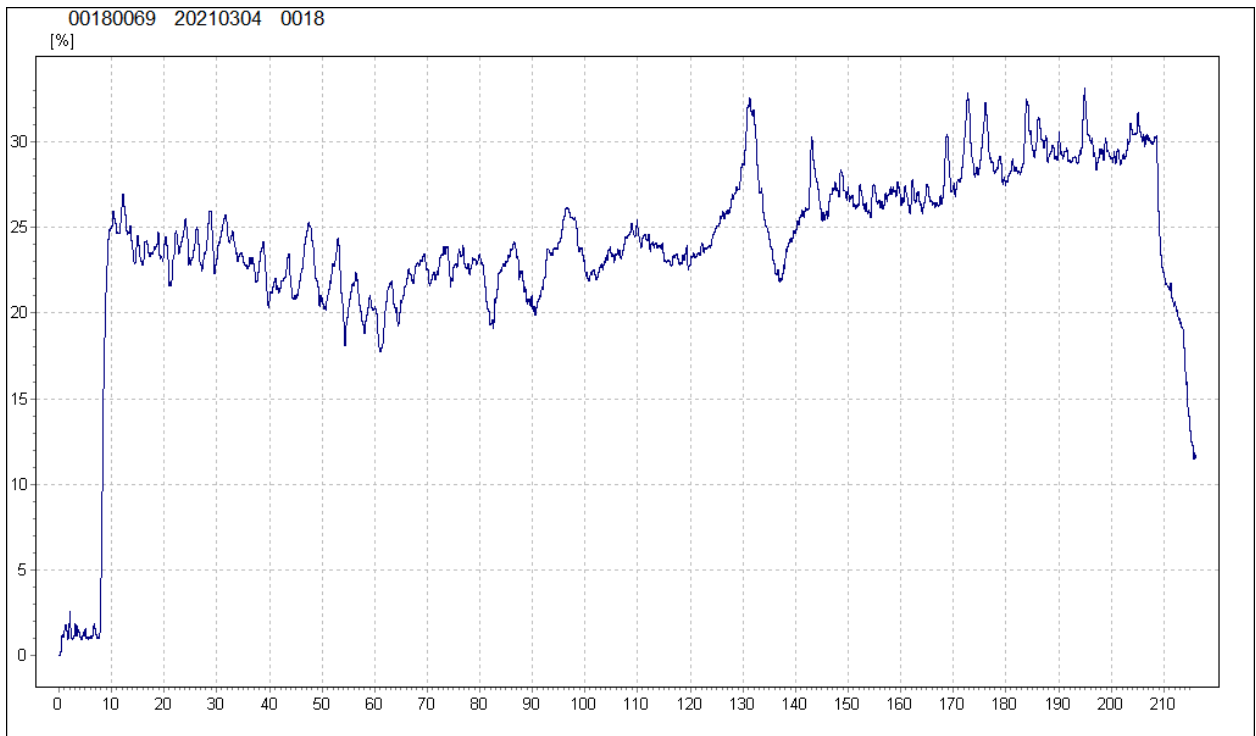
Joonis lisa 3.60 Vastupanupuurimise graafik nr 66



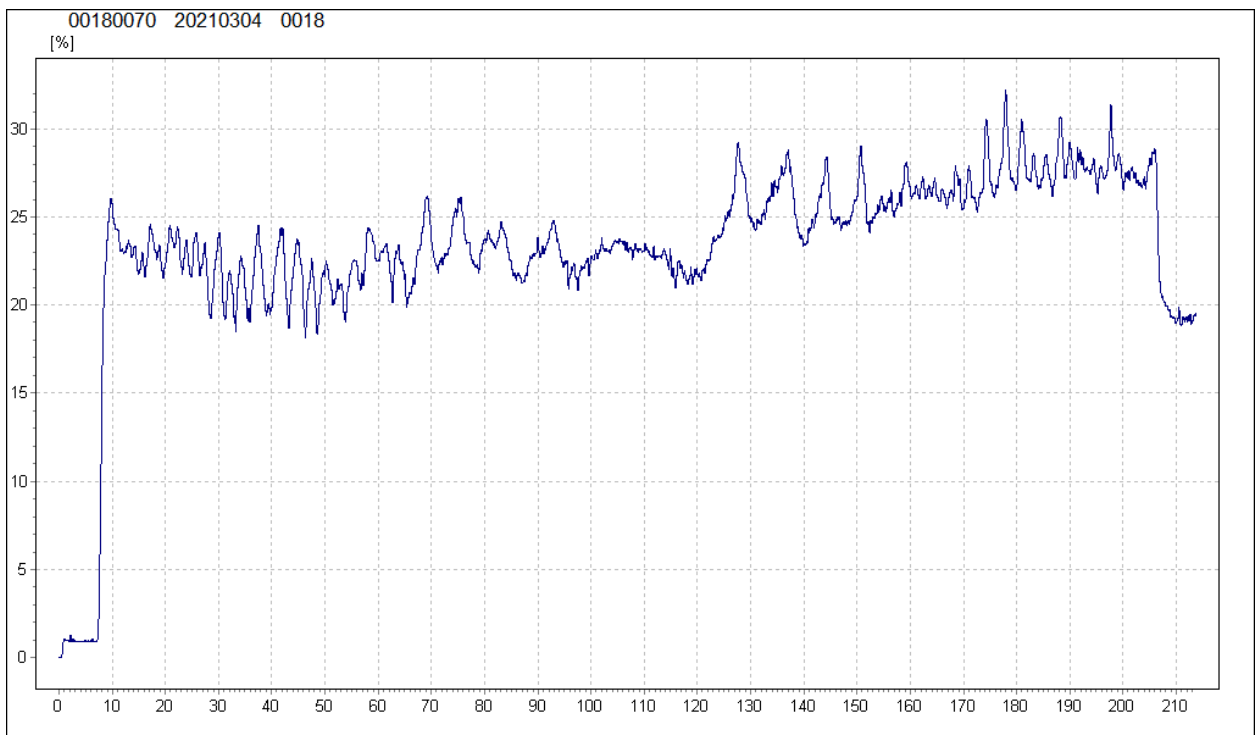
Joonis lisa 3.61 Vastupanupuurimise graafik nr 67



Joonis lisa 3.62 Vastupanupuurimise graafik nr 68

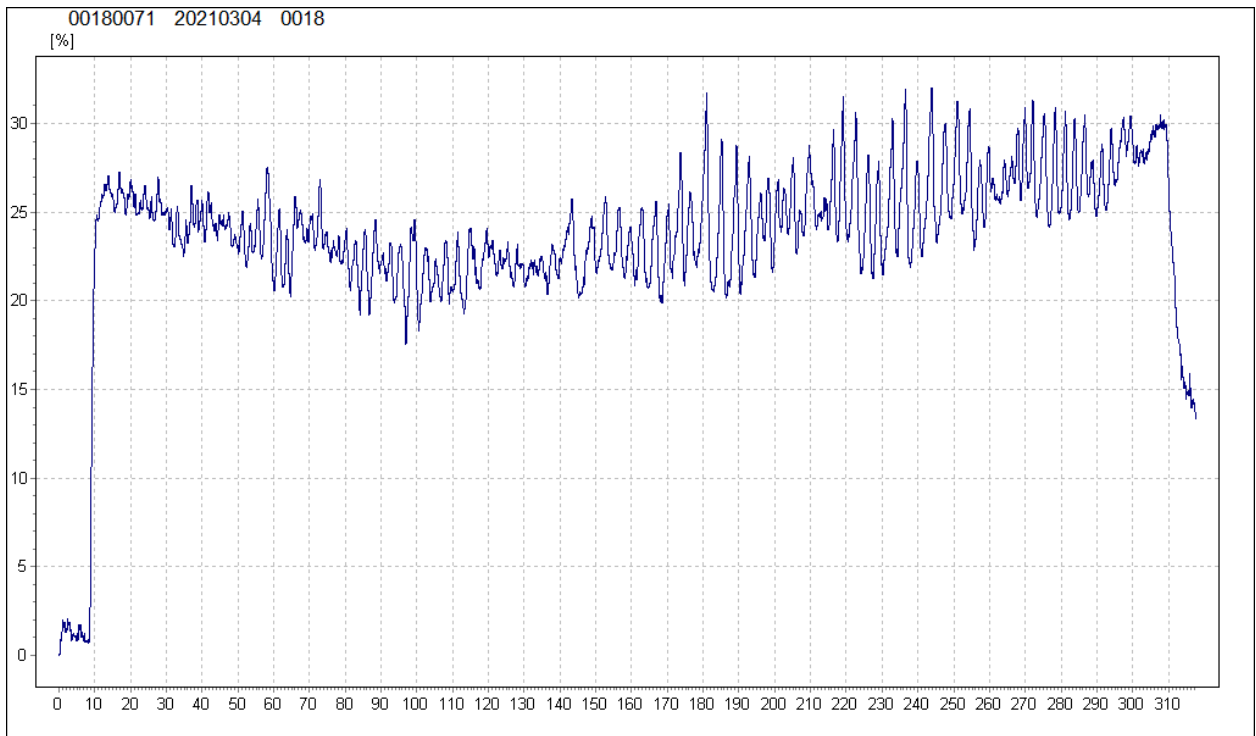


*Joonis lisa 3.63 Vastupanupuurimise graafik nr 69*

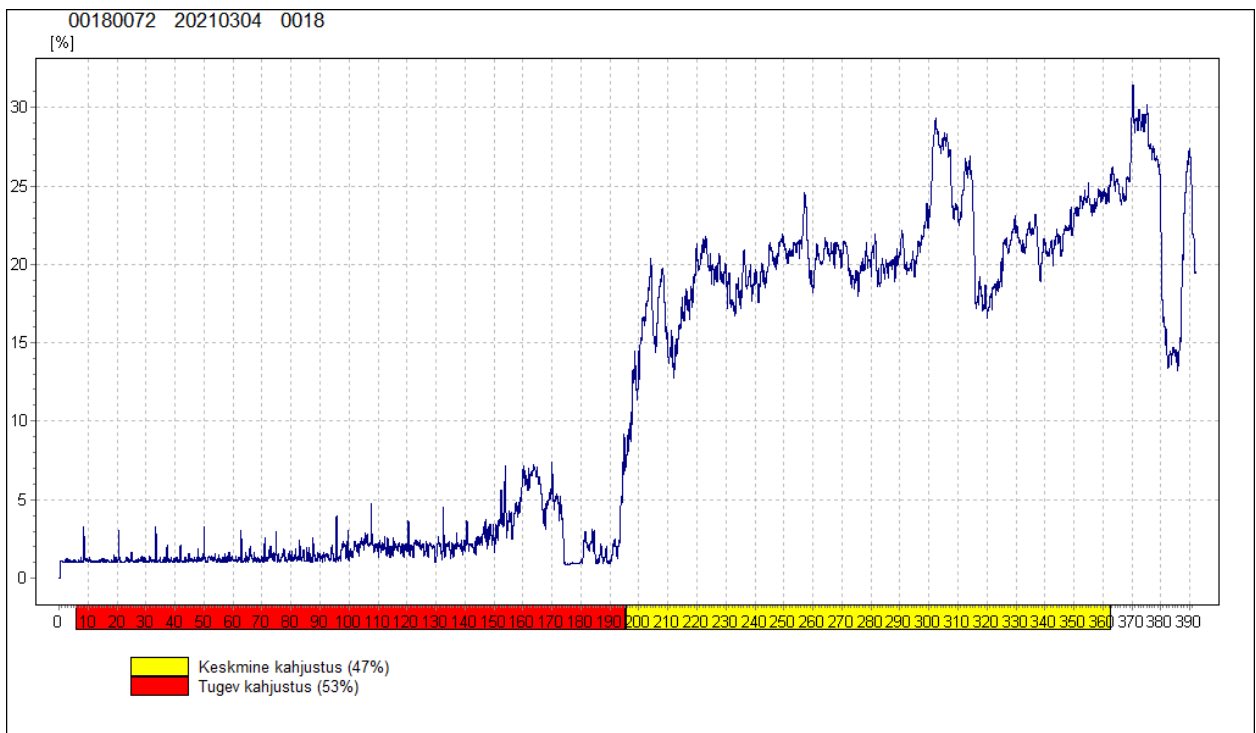


*Joonis lisa 3.64 Vastupanupuurimise graafik nr 70*

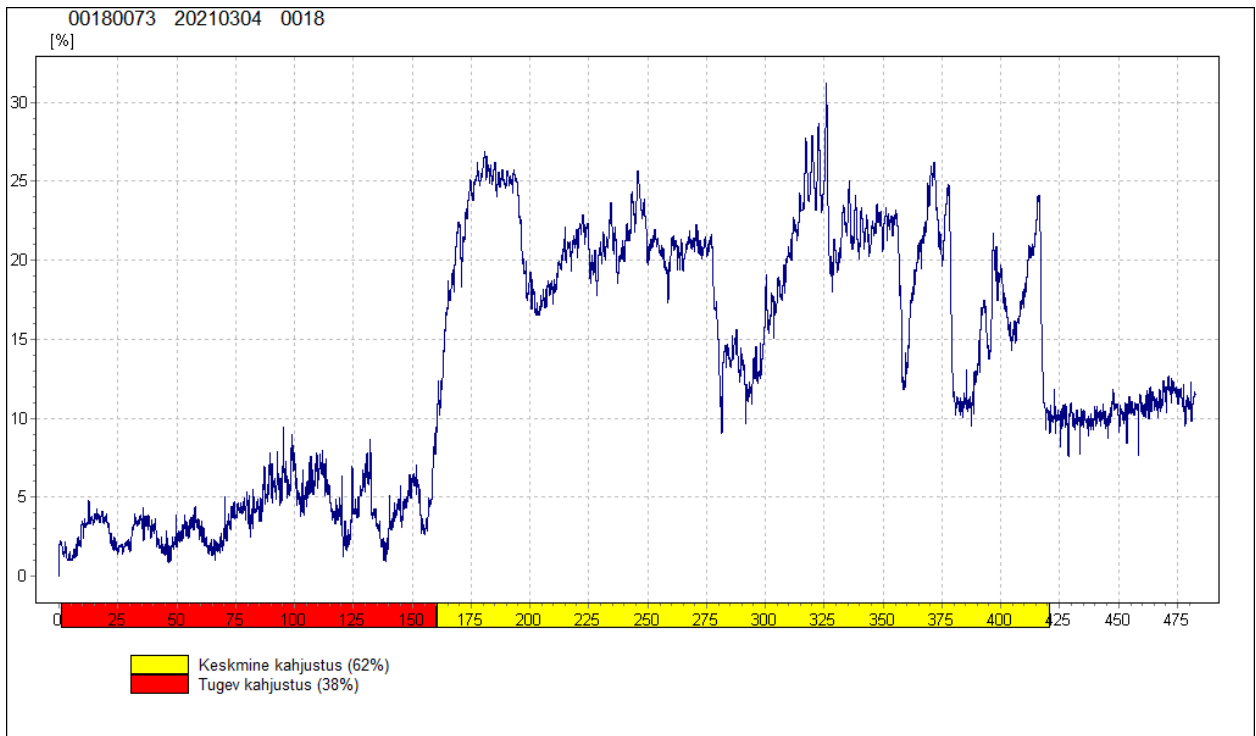




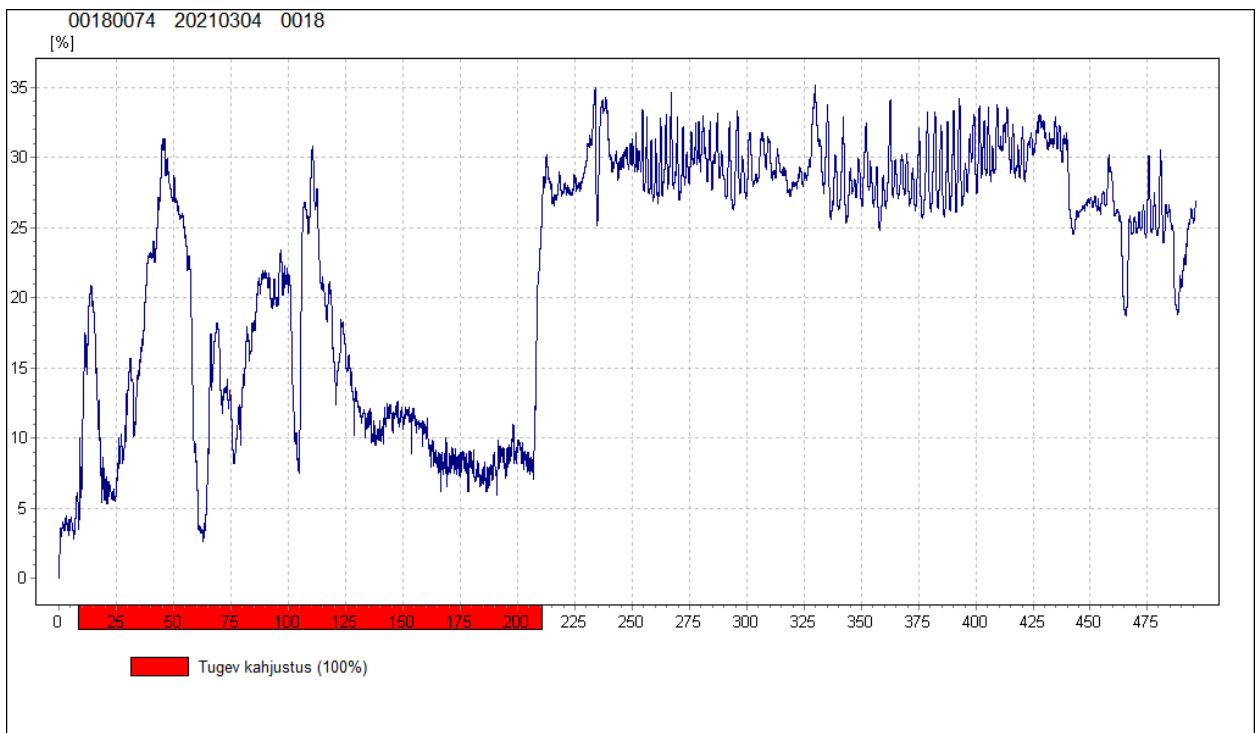
Joonis lisa 3.65 Vastupanupuurimise graafik nr 71



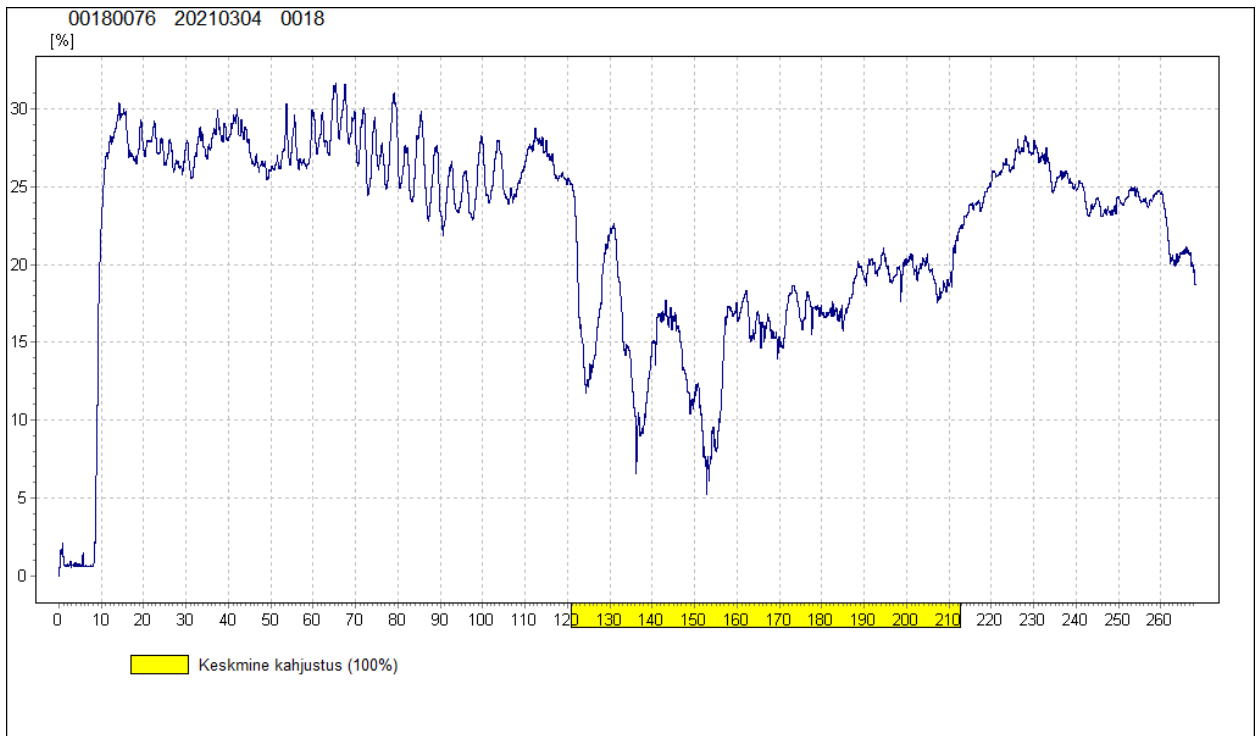
Joonis lisa 3.66 Vastupanupuurimise graafik nr 72



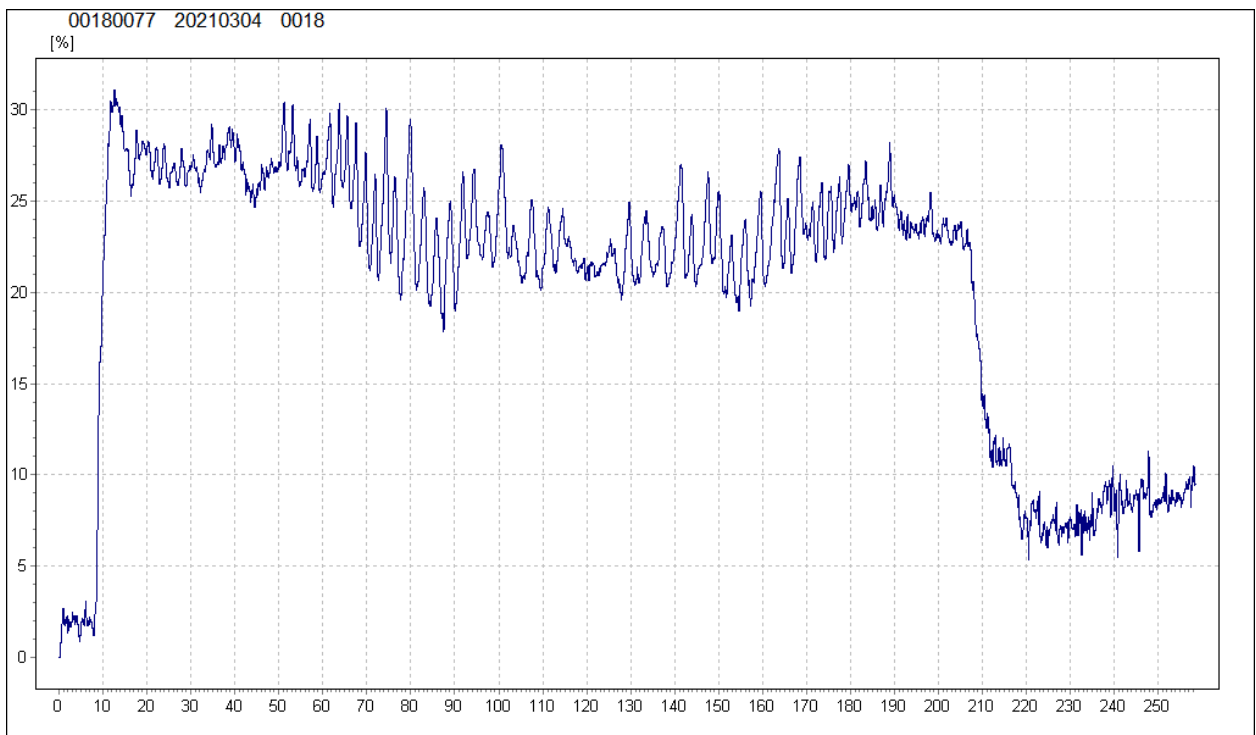
Joonis lisa 3.67 Vastupanupuurimise graafik nr 73



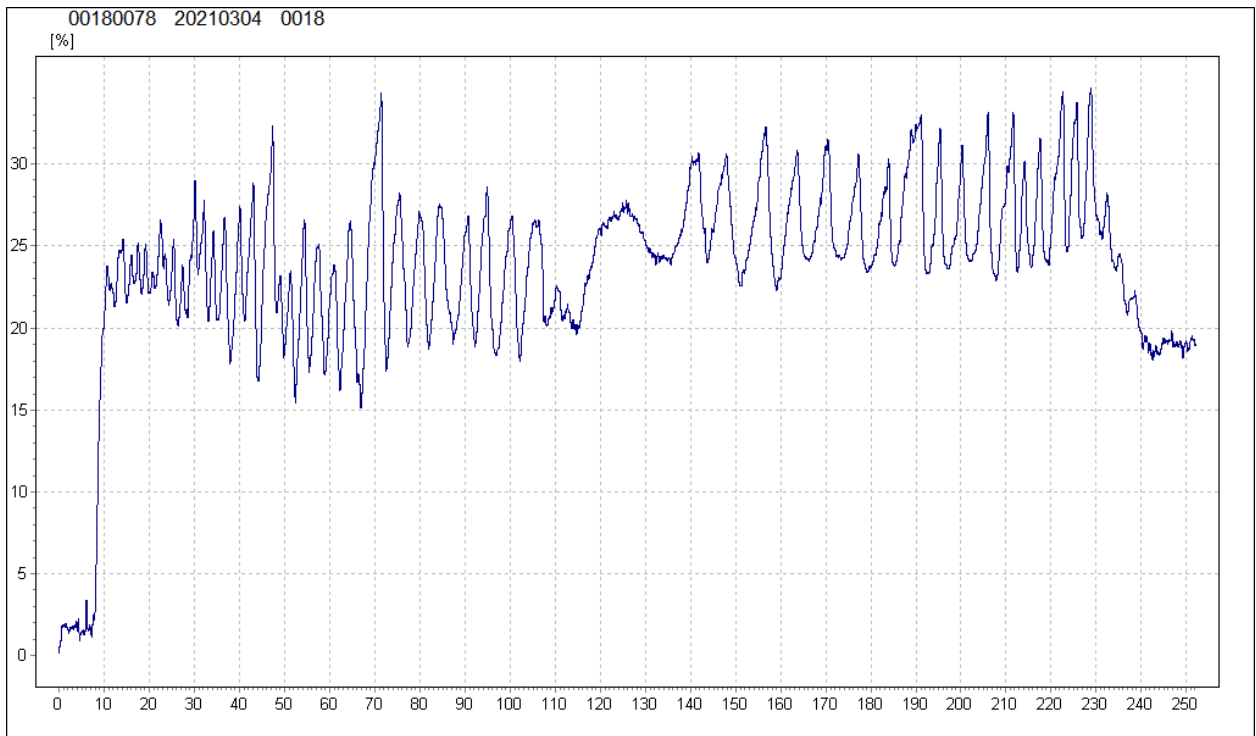
Joonis lisa 3.68 Vastupanupuurimise graafik nr 74



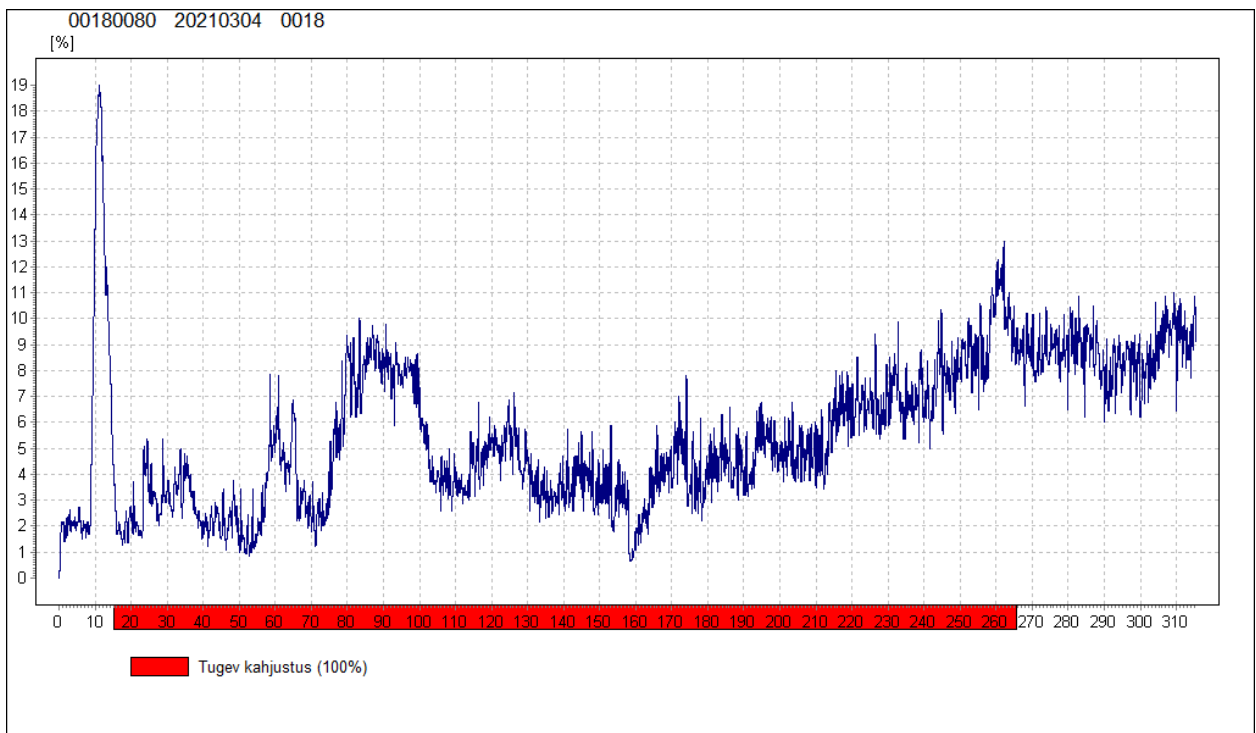
Joonis lisa 3.69 Vastupanupuurimise graafik nr 76



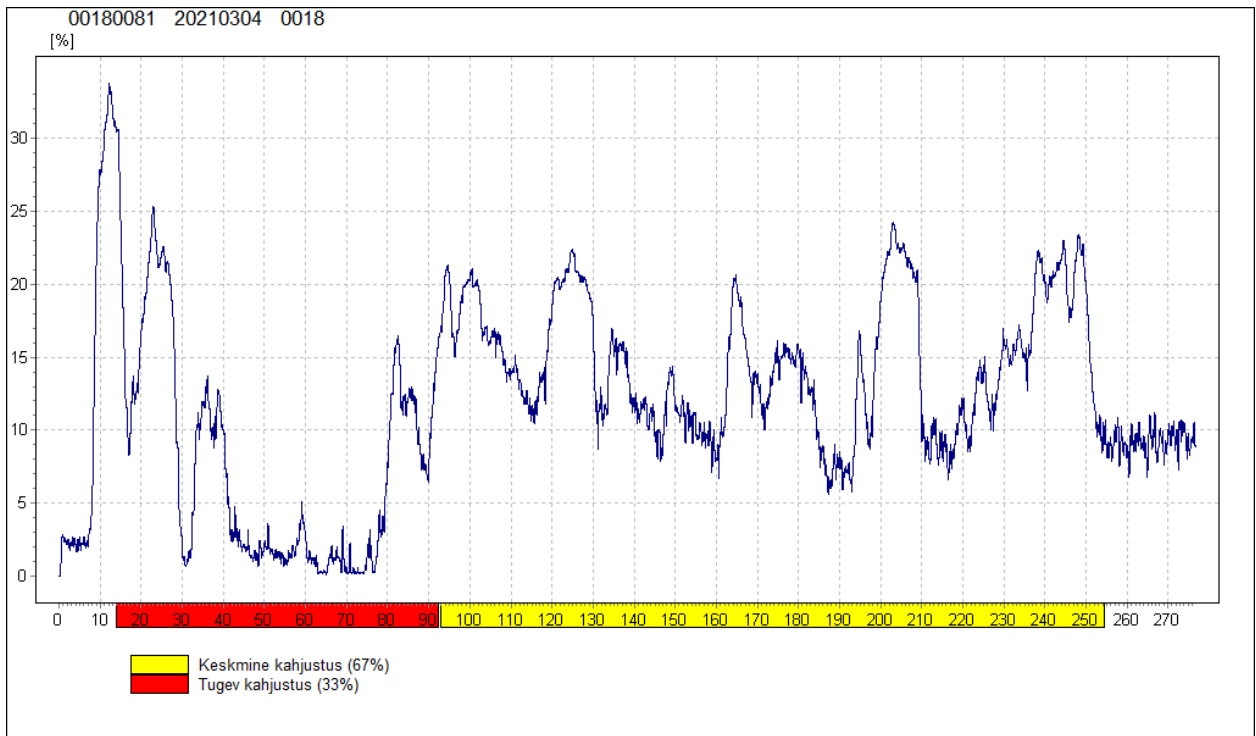
Joonis lisa 3.70 Vastupanupuurimise graafik nr 77



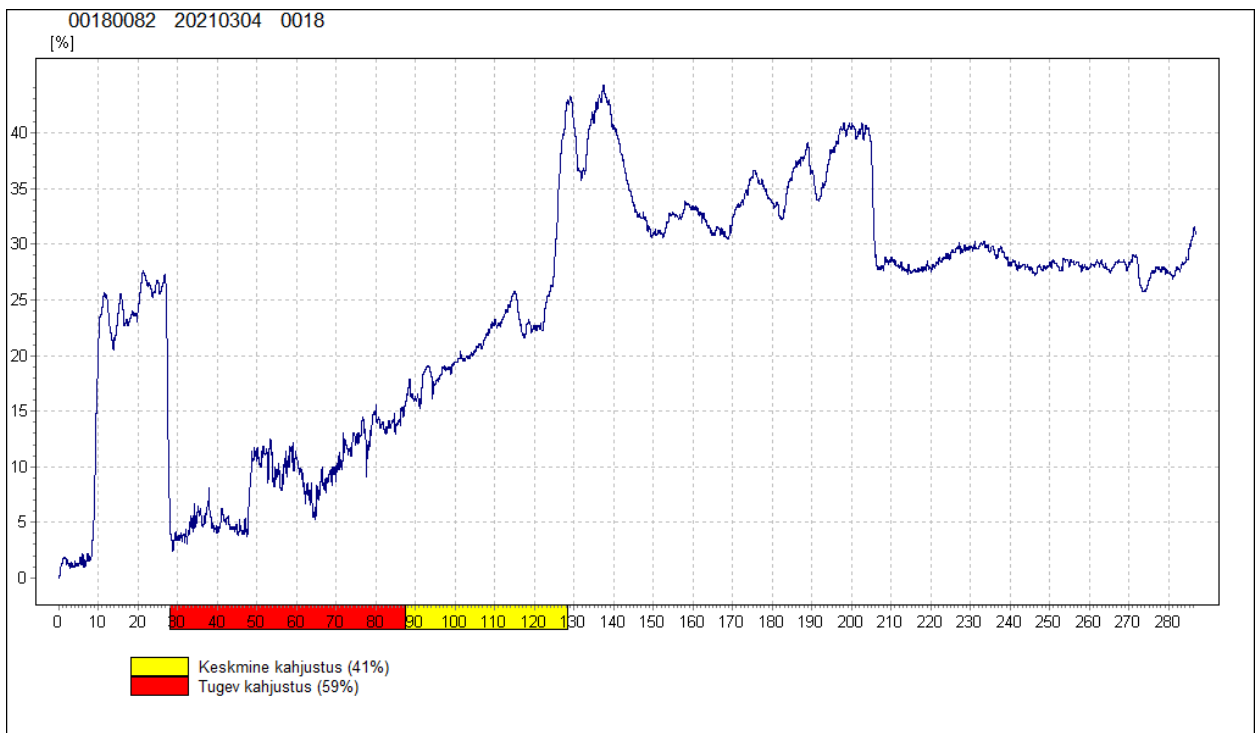
Joonis lisa 3.71 Vastupanupuurimise graafik nr 78



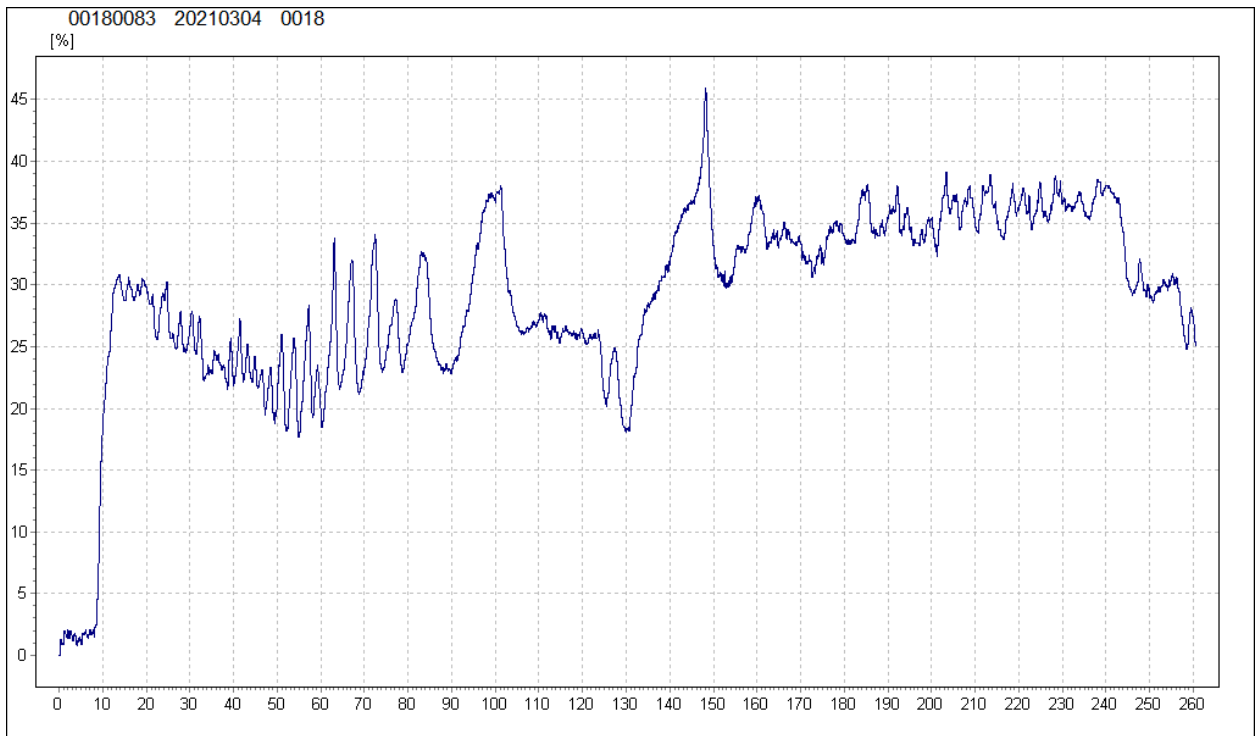
Joonis lisa 3.72 Vastupanupuurimise graafik nr 80



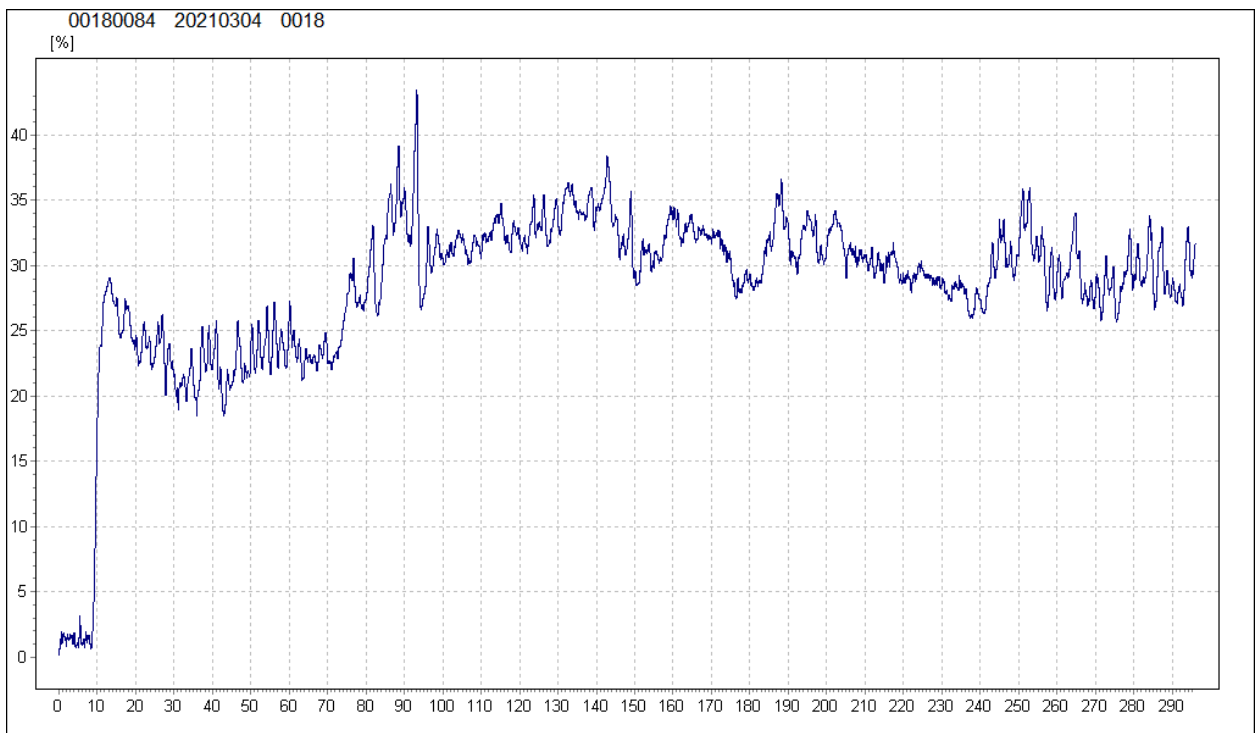
Joonis lisa 3.73 Vastupanupuurimise graafik nr 81



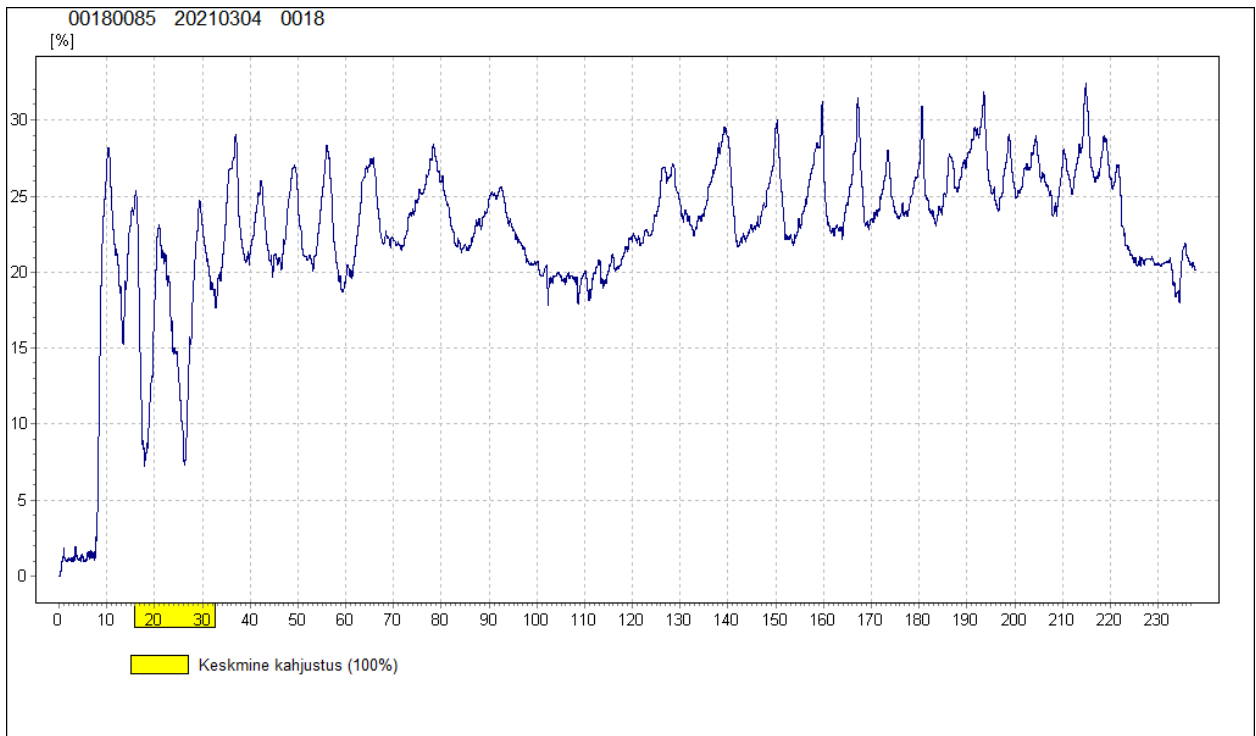
Joonis lisa 3.74 Vastupanupuurimise graafik nr 82



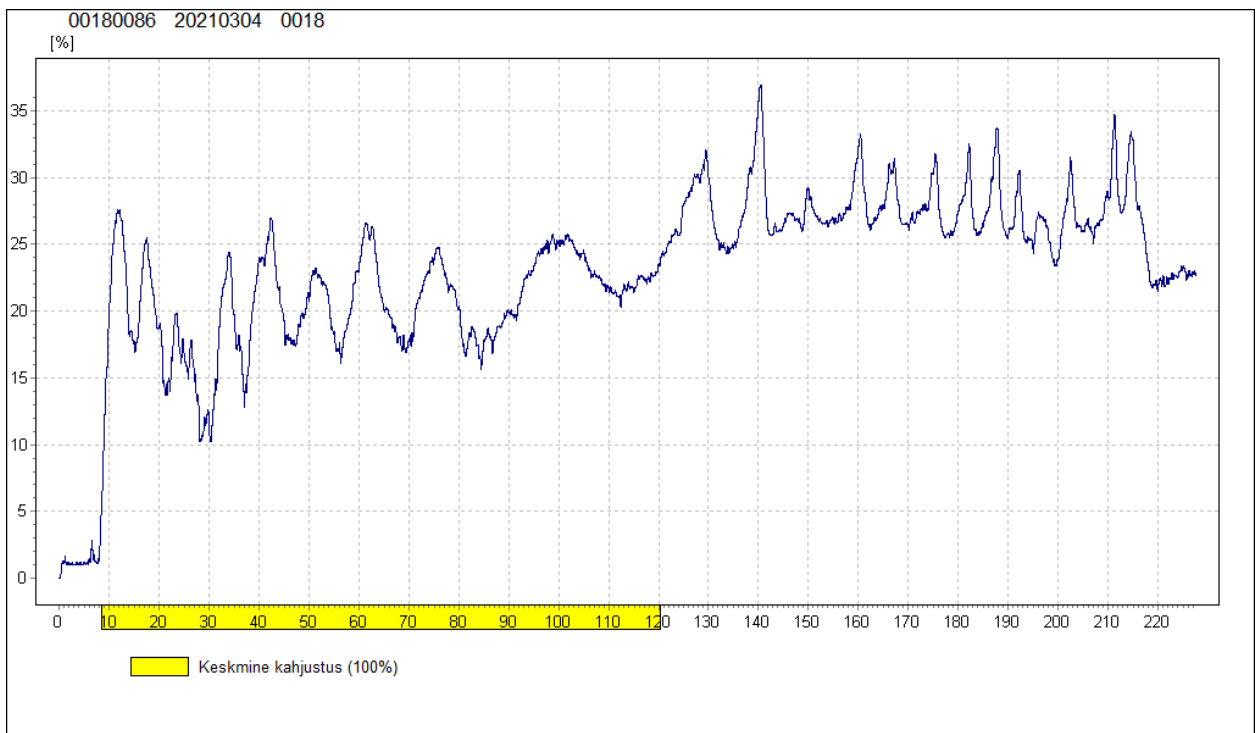
Joonis lisa 3.75 Vastupanupuurimise graafik nr 83



Joonis lisa 3.76 Vastupanupuurimise graafik nr 84



Joonis lisa 3.77 Vastupanupuurimise graafik nr 85



Joonis lisa 3.78 Vastupanupuurimise graafik nr 86