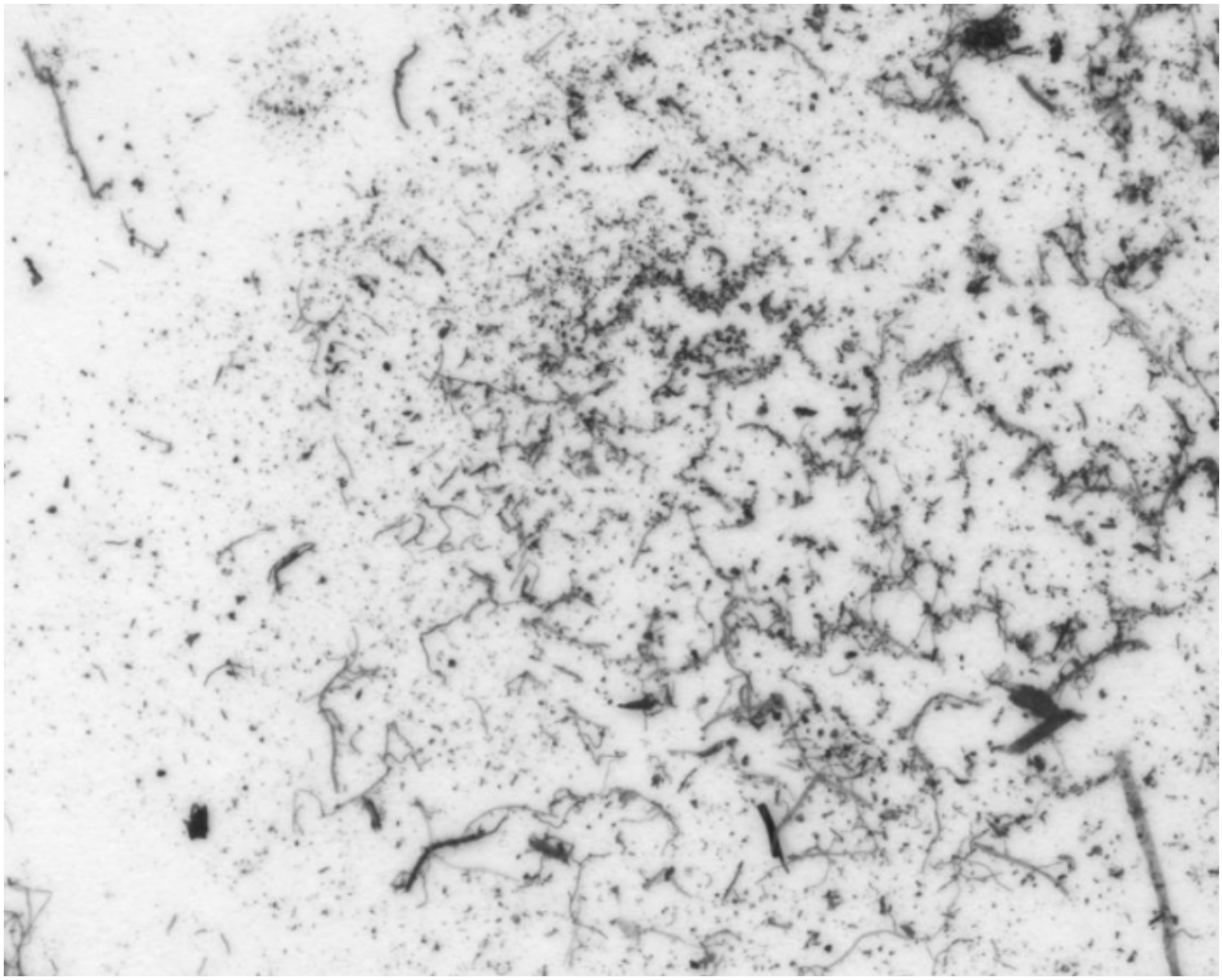
STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT



Digital fotoanalys av torv

Utvärdering av fibrers storleksfördelning

David Rudebeck

Uppdragsgivare: Statens geotekniska institut

juni 2026

Uppdragsledare:	David Rudebeck
Granskare:	Bo Vesterberg, Helene Kennedy
Handläggare:	David Rudebeck, Martin Holmén
Diarienr:	1.1-2301-0063
Uppdragsnr:	10355
Totalt antal sidor	34

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

Rudebeck, D., 2026, *Digital fotoanalys av torv, Utvärdering av fibrers storleksfördelning*, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2026-06-09.

Foto på omslag: Hans Christiansson, RISE

Förord

Metodutvecklingsprojektet har genomförts på geotekniklaboratoriet vid Statens geotekniska institut, SGI, avdelning Fysisk planering och byggbarhet. Bearbetning och tvättning av torvprover har utförts av Martin Holmén. Analyser av prover har dels utförts med analyssystemet PulpEye av MoRe Research i Örnsköldsvik, dels av Hans Christiansson på Research Institutes of Sweden (RISE). Sammanställning och analys av data har utförts av David Rudebeck.

Rapporten har tagits fram av David Rudebeck och granskats av Bo Vesterberg och Helene Kennedy.

David Rudebeck

Uppdragsledare

Bo Vesterberg, Helene Kennedy

Granskare

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5
1 Inledning 6
1.1 Bakgrund 6
1.2 Syfte 6
2 Tidigare studier 7
2.1 Fiberinnehåll 7
2.2 Separeringsförsök 8
2.2.1 Metodutvärdering 11
3 Provtagning 12
4 Laboratorieförsök 13
4.1 Separering 13
4.2 Digital fotoanalys 16
4.3 Partikelanalys 19
5 Resultat 20
5.1 Fibrer 20
5.2 Partiklar 25
6 Diskussion 27
6.1 Digital fotoanalys 27
6.2 Partikelanalys 31
7 Slutsatser och rekommendationer 32
Referenser 33

Sammanfattning

Fiberinnehållet i torv påverkar flertalet av dess materialegenskaper såsom skjuvhållfasthet, draghållfast, kompressibilitet, permeabilitet, hållfasthetsanisotropi etc. Redovisade resultat från tidigare mätningar av fiberfördelningar baseras på våtsiktning som endast är lämpligt för fraktioner upp till ca 2 mm. Genomfört projekt syftade till att pröva och utvärdera en metod för att kvantifiera storleksfördelningen av såväl mindre som större fibrer i låg- och mellanhumifierad torv med digital fotoanalys.

I projektet har också en metod prövats för att tvätta torvprover, dvs separera partiklar (de minsta fraktionerna) och fibrer. Separeringen har utförts genom våtsiktning. Vidare har metoder prövats för att analysera respektive erhållen delmängd fibrer och partiklar. Analysen av partiklar utfördes med analyssystemet PulpEye som är utvecklat för pappersmassaindustrin. Analysen av fibrer utfördes genom att lägga en delmängd separerade torkade torvfibrer på ett filterpapper som sedan skannades med en kontorsscanner, varefter en digital fotoanalys utfördes av varje enskild fibers storlek.

Resultaten från partikelanalysen redovisas grafiskt som fördelningskurvor. Resultaten från den digitala fotoanalysen av fibrer redovisas i semilogaritmiska grafer på liknande sätt som siktkurvor för mineraljordar.

Torvprover från två olika lokaler, Mullsjö och Hyltena, har analyserats där provet från Mullsjö bedömts vara låghumifierat (H2) och provet från Hyltena bedömts vara mellanhumifierat (H5) med von Posts metodik. För varje lokal skannades torvprover på 10 filterpapper. Relativt god repeterbarhet erhölls mellan fiberfördelningskurvorna för respektive filterpapper. Vid jämförelse mellan resultaten från de två lokalerna har skillnader i storleksfördelningar kunnat utvärderas som korrelerar mot humifieringsgraden, dvs resultaten visade att proverna i Mullsjö generellt innehöll större fibrer än i Hyltena.

1 Inledning

I aktuellt projekt har en metod prövats för att bestämma storleksfördelning av fibrer i torvprover. Metoden har utförts i tre delmoment; separering av fibrer och partiklar (tvättning), analys av prov, resultatsammanställning och analys av resultaten. Projektet har genomförts i samarbete med MoRe Research och RISE som utfört analyser av prover. SGI har utfört tvättning, resultatsammanställning och analys av resultaten. Projektdeltagare på SGI har varit David Rudebeck, Martin Holmén och Bo Vesterberg.

1.1 Bakgrund

Inom geotekniken i Sverige och internationellt karakteriseras vanligen torv genom att bestämma dess humifieringsgrad enligt von Posts klassificeringssystem (von Post & Granlund, 1926). Systemet utvecklades inte för geotekniska frågeställningar utan för att nyttja torven som (energi)råvara (Carlsten, 1988). Försöket utförs genom att krama ett torvprov i handen och sedan okulärt bedöma mängden och konsistensen på materialet som finns kvar i handen och materialet som passerar mellan fingrarna samt det avrinnande vattnets färg och grumlighet. Helenelund (1969) betraktade försöket som en konsistensmetod men liknade det även vid ett snabbt manuellt kompressionsförsök som samtidigt ger en bild av torvens permeabilitet. Metodens fördel är dess enkelhet, men den lämnar utrymme för skillnader i metodutförande och subjektiva bedömningar. Det finns således ett behov av en metod där torv kan bättre karakteriseras utifrån dess tekniska egenskaper.

Carlsten (1988) angav att torvens tekniska egenskaper till stor del beror av vattenkvot, fiberhalt samt innehåll av rottrådar och vedrester. Helenelund (1969) ansåg att låghumifierad torv uppvisar draghållfasthet och att dragförsök visar att ett påtagligt samband råder mellan draghållfastheten och fibermängden. Vidare uppvisar torv tydliga anisotropa egenskaper som speciellt framträder i fibrig (låghumifierad) torv, exempelvis avseende draghållfasthet, skjuvhållfasthet, permeabilitet och kompressibilitet.

Ett möjligt sätt att karakterisera och eventuellt även klassificera torv kan därför vara att mäta fiberinnehållet i ett torvprov. Olika metoder har föreslagits internationellt för mätning av fiberinnehåll, men det saknas en nationell och internationell geoteknisk standard för sådana mätningar.

1.2 Syfte

Projektet har syftat till att pröva och utvärdera en metod för att kvantifiera fibrers storleksfördelning i låg- och mellanhumifierad torv med digital fotoanalys.

2 Tidigare studier

2.1 Fiberinnehåll

Torvs indelas vanligen i två delfraktioner: fibrer och partiklar, där fibrer utgör den större fraktionen och partiklar den mindre. Olika storleksgränser har föreslagits mellan dessa fraktioner. Boelter (1969) definierade fibrer som fragment större än 0,1 mm medan Sneddon et al. (1971) valde gränsen 0,15 mm. Levesque och Dinel (1977) valde också gränsen till 0,15 mm och angav att det är den konventionella definitionen. Sandman (2018) definierade fibrer som fragment större än 1 mm.

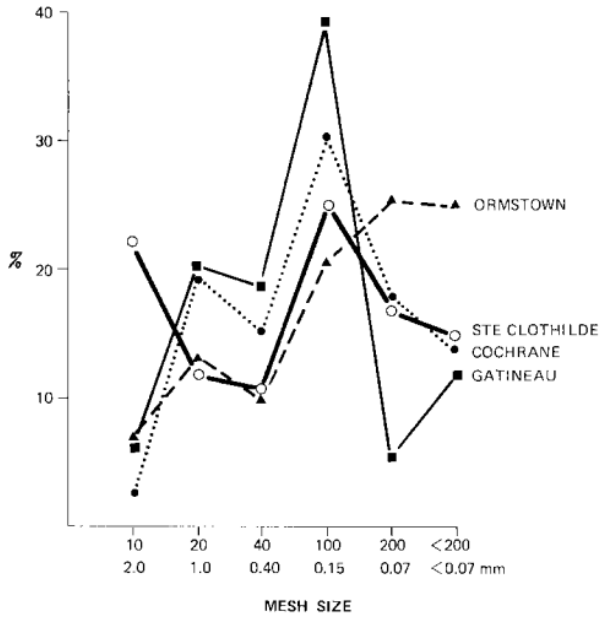
Torv utgörs av fibrer, partiklar och mineraljord. Fiberinnehållet bestäms som fibrernas torrvikt som andel av provets totala torrvikt. Exempel på resultat från Sandman (2018) visas i Tabell 2-1. Emellanåt kan andelen mineraljord i torv vara relativt stor. För att undvika att mineraljordens delvikt påverkar resultatet rekommenderar Sneddon et al. (1971) att fiber- och partikelinnehåll ska redovisas som andel av det organiska innehållets torrvikt, dvs då mineraljordens torrvikt har separerats från provets totala torrvikt.

Tabell 2-1 Exempel på resultat från Sandman (2018) där fiberinnehållets torrvikt (eng. fiber content), förkortat FC, redovisas som andel av provets totala torrvikt.

Sample	FC [%]	Sample	FC [%]	Sample	FC [%]
BM_P3_H4	64.65 (± 5.65)	EE_P8_H2	52.62 (± 1.03)	FI_P8_H1	1.54 (± 0.40)
BM_P4_H4	42.32 (± 8.37)	EE_P8_H3	42.72 (± 0.91)	FI_P8_H2	78.57 (± 7.25)
DK_P1_H3	64.92 (± 2.83)	FI_P1_H1	10.62 (± 1.64)	FI_P8_H3	35.82 (± 4.80)

För att kunna mäta andelarna partiklar, fibrer och eventuellt mineraljord behöver separeringsförsök göras. Det har vanligen gjorts genom att blanda ett torvprov i vatten eller en lösning med dispegeringsmedel med efterföljande våtsiktning. Olika separeringsmetoder beskrivs mer i kapitel 2.2.

Levesque och Dinel (1977) utförde separering och våtsiktning av torvprover. Resultaten redovisades som torrviktsandelar för olika storleksintervall. Endast en viktandel redovisades för storlekar över 2 mm, se Figur 2-1.



Figur 2-1 Resultat från våtsiktad torv redovisat som det siktade materialets viktandel (torrvikt) av den totala torrvikten organiskt material. Den nedre raden på x-axeln redovisar siktarnas maskvidd (Levesque, Dinel, 1977).

Boelter (1969) utförde också separering med efterföljande våtsiktning. Största maskvidden på siktarna var 2 mm, dvs alla fiberstorlekar över 2 mm representerades av en summerad viktandel.

2.2 Separeringsförsök

Boelter (1969) utförde kemisk och fysisk separering av torv. Kemisk separering utfördes genom att lägga ett naturfuktigt torvprov med massan 100–200 g i en dispergerings-lösning av 5 % Calgon i 15–20 timmar. Provet spolades sedan försiktigt genom fem siktar med varierande maskvidd där den minsta var 0,1 mm. Mängden fibrer utvärderades och redovisades som fibrernas torrvikt mot provets totala torrvikt. Ingen gnuggning av provet utfördes under spolningen för att undvika att fibrer skulle skadas och uppdelas. Vidare framhölls att det är lika viktigt att kontrollera spolningen och siktningen som att utföra den kemiska separeringen av torvmaterialet.

Sneddon et al. (1971) utvärderade sex olika metoder för fiberseparering, dessa var:

a) Blanda torvprovet i en behållare med dispergeringslösning av Calgon 2g/100 ml vatten och låta stå över natten. Skaka sedan i en minut och sikta blandningen (100 Mesh/maskvidd 0,15 mm). Tvätta fibrerna en gång med 2 % saltsyralösning (HCl) och spola sedan fibrerna under vattenkran tills vattnet som passerar sikten är klart.
b) Gnugga torvprovet för hand och sikta materialet (maskvidd 0,15 mm).
c) Mekanisk skakning i 24 timmar i en 200 ml lösning natriumpyrofosfat med efterföljande siktning.

d) Mekanisk skakning i 24 timmar med en 200 ml lösning 10 % Calgon med efterföljande siktning.
e) Mekanisk omrörning i 10 minuter i 200 ml destillerat vatten i en milkshake-blandare (Figur 2-2) med efterföljande siktning.
f) Mekanisk omrörning i 2 minuter i 200 ml destillerat vatten i en laboratoriemixer (Waring blender) med efterföljande siktning.

Av ovanstående metoder rekommenderades e) med noteringen att fibrer emellanåt kunde viras in i vispen. Fibrerna avlägsnades då från vispen manuellt med hjälp av en skalpell och återfördes till originalprovet.

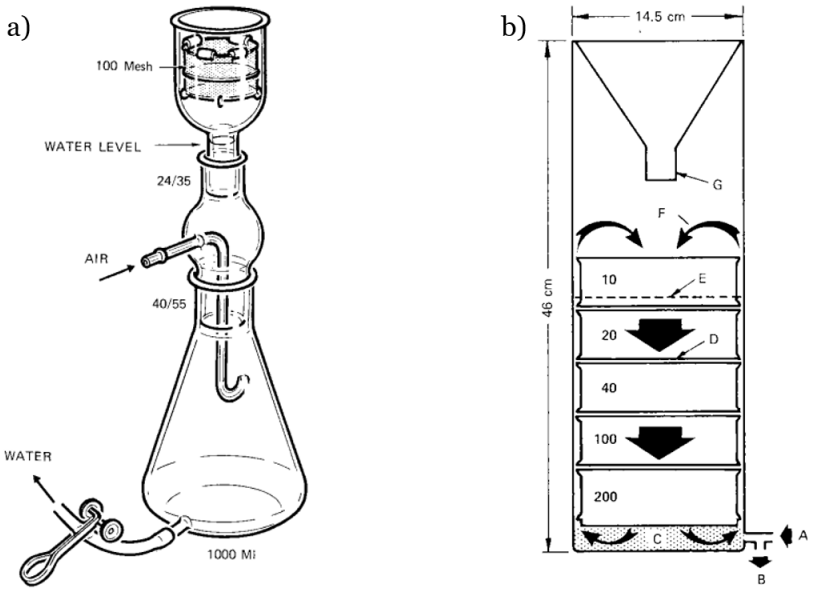
Figur 2-2 AI-genererad illustration av en milkshake-blandare av liknande typ som användes av Sneddon et al. (1971) (skapad med M365 Copilot, 2026).

Levesque och Dinel (1977) utförde ett försöksprogram för att utvärdera lämplig metod för separering av torvfibrer och torvpartiklar (<0,15 mm) i ett prov. Enligt Lynn et al. (1974, refererad till i Levesque och Dinel, 1977) har en fibergnuggningsmetod (eng. rubbed fiber content) fastslagits som rutinförsök av jordkarteringsgrupper (eng. soil survey groups) i USA och Kanada för karakterisering av organisk jord. I metoden mäts mängden kvarstående organiskt material på en sikt (maskvidd 0,15 mm) efter provet har gnuggats och tvättats så att partiklarna har avlägsnats. Levesque och Dinel ansåg att metoden var användbar och lätt att utföra för att kategorisera provet efter humifieringsgrad, men ansåg också att metoden hade osäkerheter. Bland annat var det svårt att uppnå likvärdig nivå av gnuggning av varje torvprov, vilket innebar svårigheter med att repetera försök med likvärdigt uppmätt vattenkvot efter gnuggning och tvättning. De ansåg därför att en annan metod behövs där faktorer som tid/varaktighet och dispersion kan kontrolleras för att säkerställa repeterbarhet. Fyra olika separeringsmetoder utvärderades:

- Konventionell gnuggning för hand.
- Kontrollerad våtsiktning.
- Separering i vätska med:
    - blandare med låg hastighet (Virtis homogenizer) under två minuter eller
    - skakningsmaskin (Eberbach) i 16 timmar.

Kontrollerad våtsiktning utfördes med apparaterna i Figur 2-3. Apparaten i a) användes för att separera partiklar och fibrer och b) användes för analys av fördelningen av partikel- och fiberstorlekar. För separeringen (a) blandades torvprovet inledningsvis ut i

en flaska med destillerat vatten. Flaskan maskinskakades sedan i 16 timmar varefter innehållet hälldes på sikten (100 Mesh/maskvidd 0,15 mm) överst i a). E-kolven fylldes med vatten och luft pumpades in i vattnet så att vattenytan steg ovanför sikten. Turbulensen som skapades av luftbubblorna fick partiklarna att lossna från fibrerna och passera igenom sikten. Tvättningen pågick i 10 minuter.



Figur 2-3 a) Våtsiktning för separering av partiklar och fibrer, b) våtsiktning för bestämning av fiberstorlekar (Levesque och Dinel, 1977).

För separering i vätska testades blandning i två minuter med Virtis homogenizer, som är en variant av laboratoriemixer, och skakning i 16 timmar med skakningsmaskin (Eberbach). Exempel på sådana apparater visas i Figur 2-4.

Figur 2-4 AI-genererade illustrationer. Vänster: laboratoriemixer. Höger: skakningsmaskin (skapad med M365 Copilot, 2026).

För mekanisk separering i vätska provades olika typer av dispergeringslösningar samt destillerat vatten. Dispergeringslösningarna omfattade två lösningar av natriumpyrofosfat (0,025 M och 0,1 M) samt en lösning med 1 % Calgon. Av de prövade metoderna i studien bedömdes skakning i destillerat vatten i 16 timmar vara den bästa metoden för fiberseparering.

Vattnet ansågs förvisso generellt vara sämre på att separera torvfibrer från torvpartiklar, där bedömdes 0,025 M natriumpyrofosfat vara bäst, men med vatten erhölls betydligt lägre förekomst av askinnehåll (oorganiskt material) i provresultaten, vilket ansågs vara till en avgörande fördel.

Sandman (2018) utförde försök för att undersöka om mätresultat av fiberinnehåll kan användas som indikator på torvs humifieringsgrad, vilket han indelade i tre kategorier med benämningarna fibrig, hemisk och saprisk torv (eng. fibrous, hemic and sapric). Fibrig torv definierades som torv med intakta fibrer, hemisk torv med delvis humifierade fibrer och saprisk torv med mestadels eller helt humifierade fibrer. Fiberseparering utfördes genom att sikta torvprovet (maskvidd 1 mm). Inledningsvis placerades 25-gramsprover i flaskor med en natriumhexametafosfat-lösning $(NaPO_3)_6$ för att underlätta upplösning av aggregat och separering av oönskade fasta ämnen i provet. Flaskorna placerades sedan i en laboratorieblandare i 24 timmar varefter innehållet hälldes på siktar (maskvidd 1 mm) och spolades med kranvatten fem gånger för att separera partiklarna från fibrerna. Sandman anser att mätning av fiberinnehåll är en tillförlitlig och objektiv indikator av humifieringsgrad när försök utförs på tillräckligt stora prover, men att fler studier erfordras för att kunna verifiera denna bedömning.

2.2.1 Metodutvärdering

De tidigare utförda separeringsmetoderna kan kategoriseras på följande sätt:

1) tvättning/gnuggning för hand i vatten,
2) kontrollerad våtsiktning under kort tid (10 minuter) i turbulent (bubblande) vatten,
3) mekanisk omrörning under kort tid (2–15 minuter) i vatten eller dispergeringslösning,
4) mekanisk skakning under lång tid (16–25 timmar) i vatten eller dispergeringslösning.

Tvättning för hand har generellt uppvisat större resultatspridning i jämförelse med andra metoder och kan förväntas vara den metod som är mest operatörsberoende. När tvättningen utförts noggrant har dock resultaten haft god överensstämmelse med övriga metoder. Kontrollerad våtsiktning möjliggör en mer standardiserad process som är mindre operatörsberoende. Det kan dock finnas osäkerheter kring i vilken utsträckning fiberseparingen kan åstadkommas för olika typer av låg- och mellanhumifierade torvprover. Det kan inte uteslutas att vissa prover kräver mer tvättning än andra. En standardiserad tvätt-/siktningstid kan då medföra att vissa prover blir otillräckligt separerade medan andra prover blir överdrivet tvättade/siktade, vilket kan riskera att skada fibrerna. Samma fördelar och osäkerheter kan också förekomma för mekanisk omrörning. Den vanligast tillämpade metoden har varit skakning under lång tid i en dispergeringslösning. Levesques och Dinels bedömning avviker från de övrigas då de föredrog vatten beroende på att den gav bättre separering av mineraljord från torven. De framhöll också att även vatten gav goda resultat avseende separering av torvens partiklar och fibrer.

3 Provtagning

Torvprover har tagits från två lokaler: Mullsjö ca 20 km nordväst om Jönköping och Hyltena ca 10 km söder om Jönköping, se Figur 3-1. Torven från Mullsjö har okulärt bedömts ha humifieringsgrad H_2 i von Post-skalan och med uppmätta vattenkvoter kring 1500 %. Torven från Hyltena har bedömts ha humifieringsgrad H_5 och med uppmätta vattenkvoter kring 1500 %. Proverna är tagna med SGI:s provtagare (Carlsten, 1988) och förvarades i plaströr (Figur 3-2).

Figur 3-1 Läge för provtagningslokalerna (karta från Lantmäteriet, 2024).

Figur 3-2 SGI:s gamla provtagare (SGI, 2020).

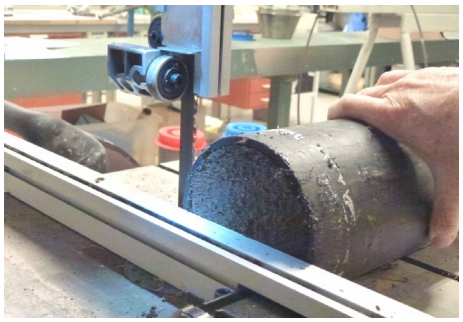
4 Laboratorieförsök

Den separeringsmetod som har valts i detta projekt är en modifierad version av tvättning för hand i vatten. Tvättningen utfördes varsamt i en vattenfylld bunke för att undvika skador på fibrer. Resultatet kan förväntas vara operatörsberoende, som konstaterats innan, men samtidig möjliggöra en kvalitetskontroll där tvättningen/separeringen fortgår tills utföraren okulärt bedömer att partiklarna och fibrerna har separerats i så hög grad som möjligt.

Att använda siktning för att erhålla mätresultat för storleksfördelningar över 2 mm bedömdes innebära svårigheter, exempelvis på grund av fibrernas långsmala form och materialets låga styvhet, vilket kan medföra att fibrerna passerar igenom siktens nät trots att fiberlängden överskrider nätets maskvidd. Svårigheterna kan förväntas öka för större maskvidder/fiberstorlekar. Inga tidigare publicerade resultat har kunnat hittas från våtsiktning där fördelningar redovisas för fiberstorlekar över 2 mm. Våtsiktning har därför bedömts vara en olämplig metod för att kunna mäta storleksfördelningar i svenska låg- och mellanhumifierade torvtyper. I stället har digital fotoanalys valts. Metoden beskrivs i kapitel 4.2.

4.1 Separering

För separeringsförsöken valdes en provvolym med torv motsvarande ca 1 dl. Provröret kapades med bandsåg (Figur 4-1) och torvprovet trycktes ut. Torvprovet lades därefter på en sikt med maskvidd 2 mm ovanpå en bunke som fylldes med vatten, Figur 4-2. Torvprovet rördes om försiktigt för hand så att partiklarna separerades från fibrerna. Omrörningen gjordes varsamt för att minimera skador på fibrer. I Figur 4-3 visas torvprovet efter omrörning. Vattnet har färgats och grumlats och merparten av torvpartiklarna har passerat sikten. Kvar ovanpå sikten fanns huvudsakligen torvfibrer. Sikten lyftes från bunken och vatten på torvfibrerna tilläts rinna av (Figur 4-4). Torvpartiklarna tilläts sedimentera i vattnet varefter vattnet hälldes av försiktigt (Figur 4-5). Fibrerna och partiklarna förpackades i plastpåsar (Figur 4-6). Påsen med fibrer översändes för digital fotoanalys (till RISE) och påsen med partiklar översändes för analys med PulpEye (till MoRe). Den digitala fotoanalysen beskrivs i kapitel 4.2 och analysen med PulpEye beskrivs i kapitel 4.3.



Figur 4-1 Kapning av provrör med bandsåg.

Figur 4-2 Vänster: torvprov på sikt ovanpå bunke. Höger: manuell omrörning i vatten.

Figur 4-3 Torvprov i vatten efter omrörning.

Figur 4-4 Tvättade och siktade torvfibrer.

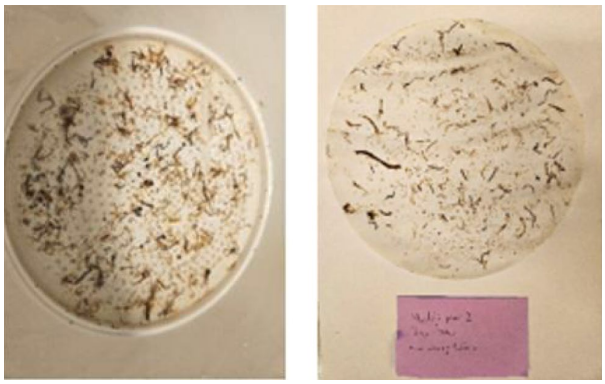
Figur 4-5 Vänster: vatten med torvpartiklar. Höger: partiklarna tillåts sedimentera varefter vattnet hälls av.

Figur 4-6 Påse med separerade fibrer till vänster. Påse med separerade partiklar till höger.

Av den separerade delmängden torvfibrer togs ca en 1/3 tesked och lades i vatten så att fibrerna separerades och svävade fritt i vattnet, Figur 4-7.

Figur 4-7 Vänster: laboratoriemateriel: siltratt, filterpapper, mätglas. Mitten: provmängd per filterpapper. Höger: torv läggs i mätglas med vatten.

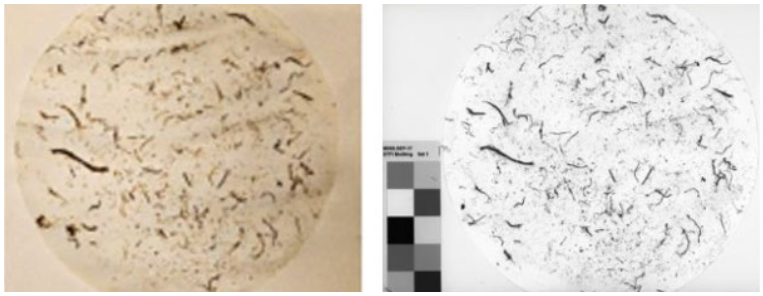
Lösningen hälldes sedan i en siltratt (övre delen av vänstra fotot i Figur 4-7) med filterpapper så att fibrerna fastnade på papperet och fick en jämn fördelning över ytan. Filterpapperet torkades, resultat visas i Figur 4-8. För att undvika överlappande fibrer gjordes en okulär kontroll och vid behov separeras fibrer för hand. Även krökta eller böjda fibrer bör rätas ut för hand, om det är möjligt, för att förbättra fotoanalysen.



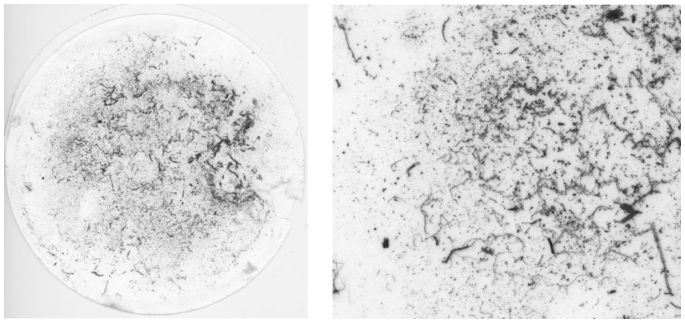
Figur 4-8 Vänster: ett blött filterpapper efter silning. Höger: ett filterpapper efter torkning.

4.2 Digital fotoanalys

Filterpapperet med torvfibrerna skannades i hög upplösning tillsammans med reflektanskalibrerings-set för förbättrad fotoanalys (Figur 4-9 och Figur 4-10). Skannern var i detta fall en Epson Perfection v850 med 2400 dpi gråskala motsvarande pixelstorlek 10 µm.

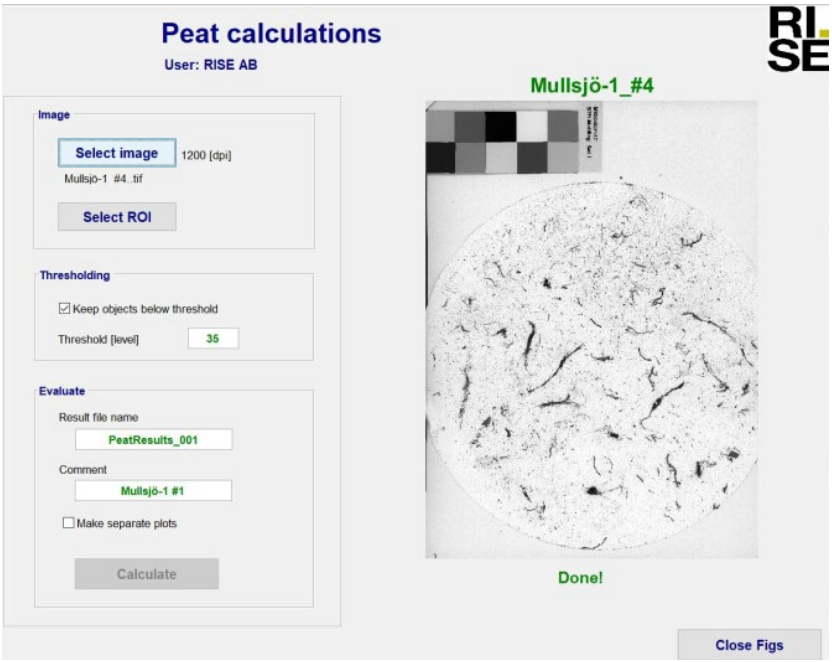


Figur 4-9 Vänster: Foto av filterpapper med fibrer efter torkning. Höger: skannat filterpapper med fibrer tillsammans med reflektanskalibrerings-set i nedre vänstra hörnet.

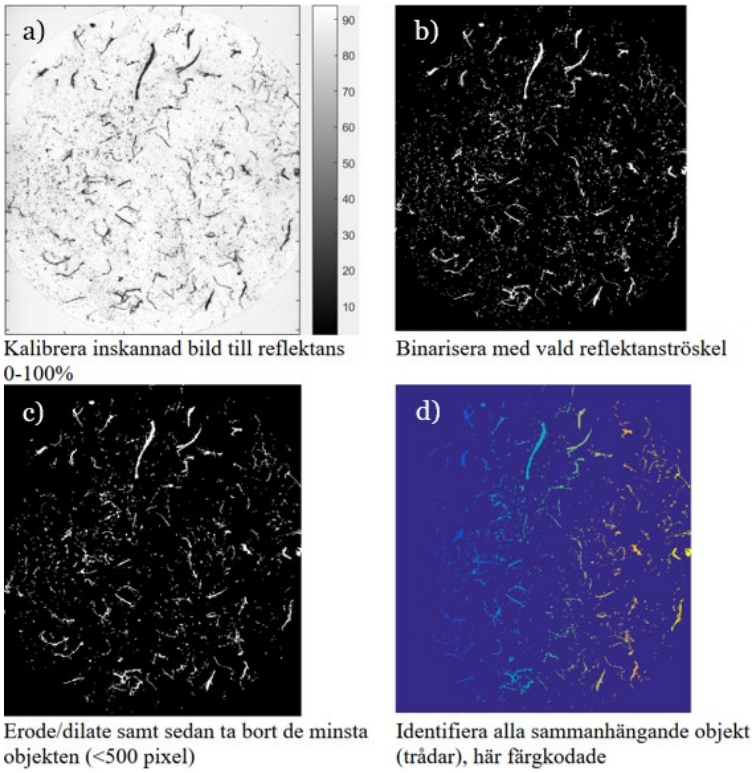


Figur 4-10 Vänster: skannat filterpapper med fibrer. Höger: förstoring av del av vänstra bilden.

RISE har utvecklat ett fotoanalysprogram för att utvärdera fiberstorlekar, Figur 4-11. Inledningsvis kalibreras inskannad bild till reflektans 0–100 % för att särskilja pixlar som representerar filterpapper från pixlar som representerar torv. Fotot görs sedan binärt/svartvitt med hjälp av en vald så kallad reflektanströskel, i Figur 4-11 vald till 35 %. Om det finns kvarvarande partiklar i provet kan de minsta objekten raderas genom operationen erode/dilate (erodera/utvidga). Fotot rensades sedan ytterligare genom att ta bort alla objekt med mindre area än 500 pixlar. Därefter identifieras alla enskilda sammanhängande objekt med en tillhörande uppmätt pixelarea. Delmomenten visas i Figur 4-12.



Figur 4-11 Program för analys av skannade torvprover.

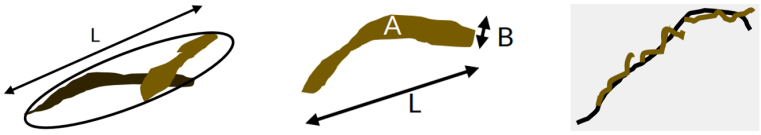


Figur 4-12 Delmoment i fotoanalysen i kronologisk ordning a-d.

Programmet utvärderar sedan varje objekts storlek genom att finna den längsta (räta) linjen i en omslutande ellips över en skannad fibers yta. Metoden benämns Längsta axeln (eng. Major axis). Exempel visas i Figur 4-13.

Figur 4-13 Vänster: princip för utvärdering av fiberstorlek kallad Längsta axeln (eng. Major axis). Mitten och höger: exempel från prov Hyltena.

Fiberns genomsnittliga bredd utvärderas genom att dividera objektets area med den utvärderade längsta axeln. Detta samband förutsätter att fibrerna huvudsakligen kan beskrivas som raka och utan förgreningar. De får inte heller överlappa varandra när filterpapperet skannas, i så fall kommer två eller flera fibrer att utvärderas som en. Om fibern är krökt eller böjd underskattas den verkliga fiberlängden samtidigt som fiberbredden överskattas. En utförligare beskrivning av utvärderingen ges i kapitel 5.1. Fiberbredden överskattas också om fibern har förgreningar. Osäkerheterna illustreras i Figur 4-14.



Figur 4-14 Principskiss osäkerheter i fotoanalys. Vänster: överlappande fibrer, mitten: böjd eller krökt fiber, höger: fiber med förgreningar.

4.3 Partikelanalys

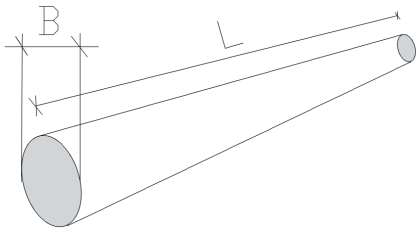
Analys av torvpartiklar har utförts av MoRe Research (dotterbolag till Research Institutes of Sweden, RISE) med systemet PulpEye som är utvecklat för att analysera cellulosaprover för pappersmassaindustrin. Systemet kan analysera fibrer med en maxlängd av 5 mm, vilket är väsentligt kortare än många av de fibrer som finns i torvproverna från Mullsjö och Hyltena.

Basenheten (hårdvaran) består av ett skåp (eng. cabinet) med tre analysmoduler. Modulerna kan producera analysdata för en mängd olika fiberegenskaper. Den modul som bedömdes vara relevant i detta projekt var den så kallade fibermodulen som kan producera utdata avseende fördelning av partiklarnas längd och bredd. Fibermodulen använder en högupplöst kamera och utför fotoanalys.

5 Resultat

5.1 Fibrer

Analysen av torvproverna från Mullsjö och Hyltena omfattade 10 filterpapper för respektive prov. Resultaten har sammanställts i semilogaritmiska grafer på liknande sätt som från siktanalyser av mineraljordar. För mineraljordar redovisas fraktionsstorlek mot ackumulerad viktprocent medan resultaten från torvanalyserna redovisas som utvärderad längsta axel (major axis) mot ackumulerad volymprocent. I fiberanalysen antas alla fibrer ha samma densitet. Att redovisa fiberstorlekar mot ackumulerad volymprocent ger då samma resultat (kurva) som om sammanställningen hade gjorts mot ackumulerad viktprocent. Fiberns volym har beräknats utifrån fiberns utvärderade längsta axel samt ett generaliserat antagande om fibrernas geometrier, vilka illustreras i Figur 5-1. Samtliga fibrer antas liknas vid slanka cylindrar med massivt cirkulärt tvärsnitt, vilket är en förenkling av verkligheten (se Figur 4-13 och Figur 4-14).



Figur 5-1 Illustration av antaganden vid beräkning av fibervolym.

Fiberns volym (V) beräknas genom:

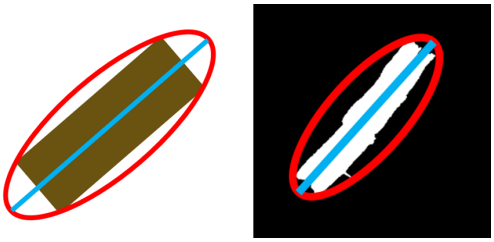
$$V = \left(\frac{\overline{B}}{2}\right)^2 \pi L$$

Den genomsnittliga bredden ($\overline{B}$) beräknas som pixelarean (A_{pix}) dividerad med den utvärderade längsta axeln (L). Fibervolymen erhålls då som:

$$V = \left(\frac{A_{pix}}{2L}\right)^2 \pi L = \frac{A_{pix}^2}{L} \cdot \frac{\pi}{4}$$

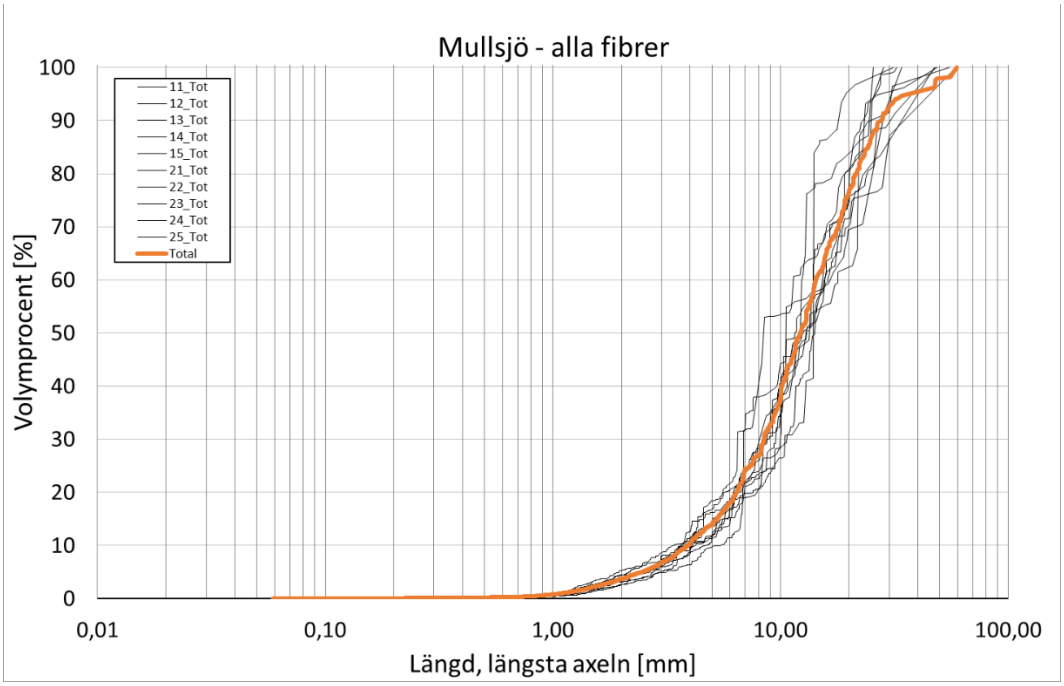
Pixelarean (A_{pix}) är en konstant för respektive fiber och erhålls som utdata från mjukvaran, men längden varierar beroende på utvärderingsmetod. För den valda metoden Längsta axeln framgår i sambanden ovan att om den utvärderade (längsta) axeln är kortare än den verkliga fiberlängden, dvs $L_{axel} < L_{verklig}$ så överskattas fibervolymen, dvs $L_{axel} < L_{verklig} \xrightarrow{ger} \frac{\pi A_{pix}^2}{4L_{axel}} > \frac{\pi A_{pix}^2}{4L_{verklig}}$.

Längsta axeln kan emellanåt bli längre än den verkliga fiberlängden, exempelvis för breda fibrer som är nära rektangulära eller kvadratiska, vilket visas i Figur 5-2. Detta kan resultera i en underskattning av fibervolymen, men sådana fel bedöms generellt vara mindre förekommande.

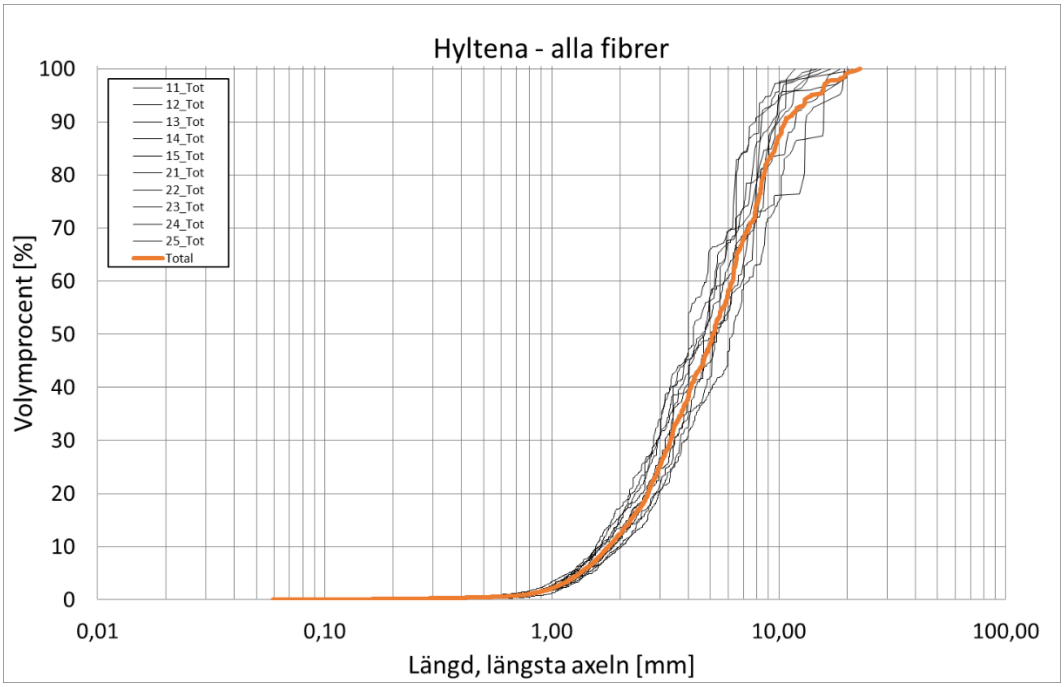


Figur 5-2 Exempel på när metoden Längsta axeln (ljusblå linje) blir längre än den verkliga fiberlängden (röd linje). Vänster: principskiss. Höger: exempel från prov Hyltena.

I Figur 5-3 och Figur 5-4 redovisas fördelningar av utvärderade längder för fibrernas längsta axel från de två provtagningslokalerna. Enskilda resultat för respektive filterpapper visas som gråa kurvor och den summerade sammanställningen för alla 10 filterpapper visas som orange kurva. Graferna visar att det förekommer en viss spridning i resultaten.

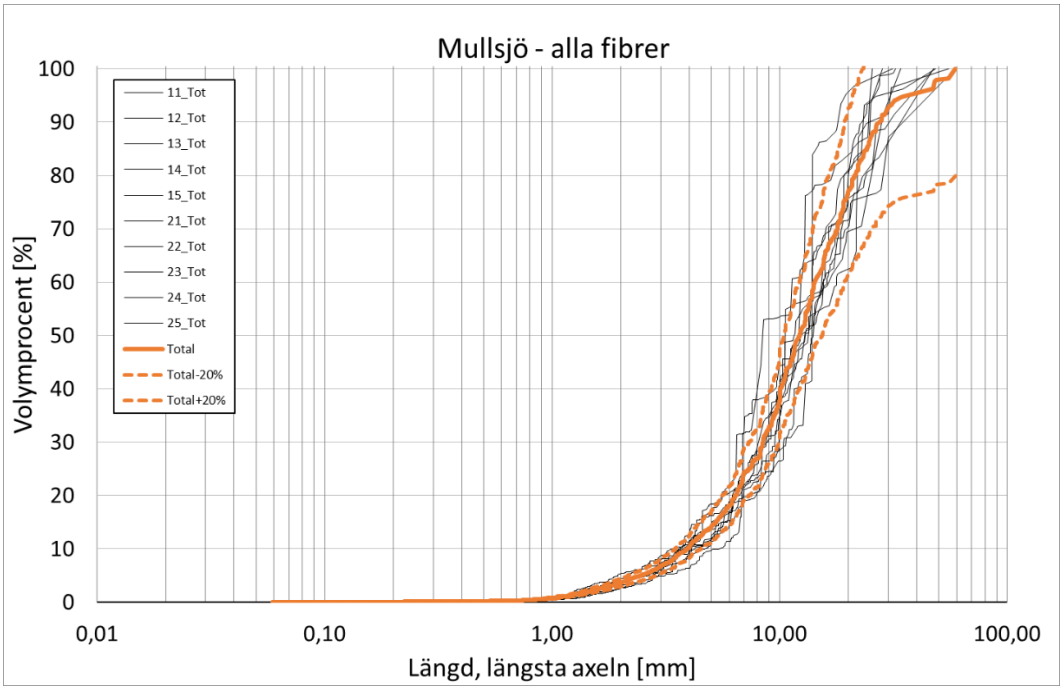


Figur 5-3 Mullsjö, torv, fördelning av utvärderade fiberstorlekar, alla fibrer.

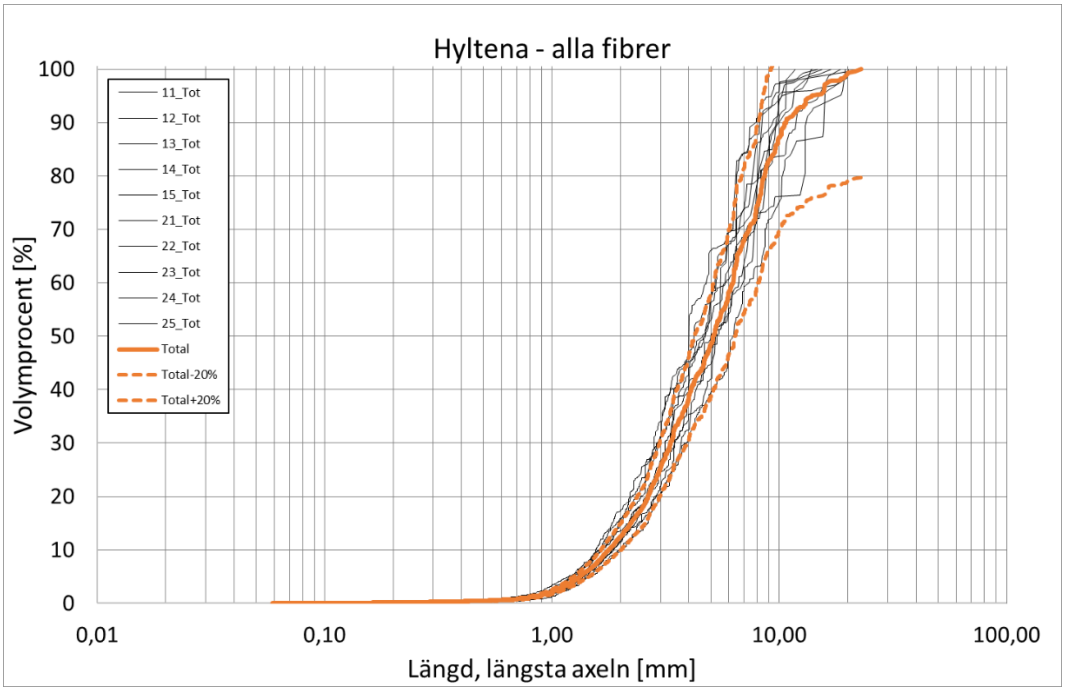


Figur 5-4 Hyltena, torv, fördelning av utvärderade fiberstorlekar, alla fibrer.

I Figur 5-5 och Figur 5-6 redovisas en avvikelse på ±20 volymprocent från den summerande kurvan (orange heldragen linje) för jämförelse. Det förekommer visserligen undantag, men generellt bedöms majoriteten av resultaten rymmas inom detta spridningsmått (orangea streckade linjer).

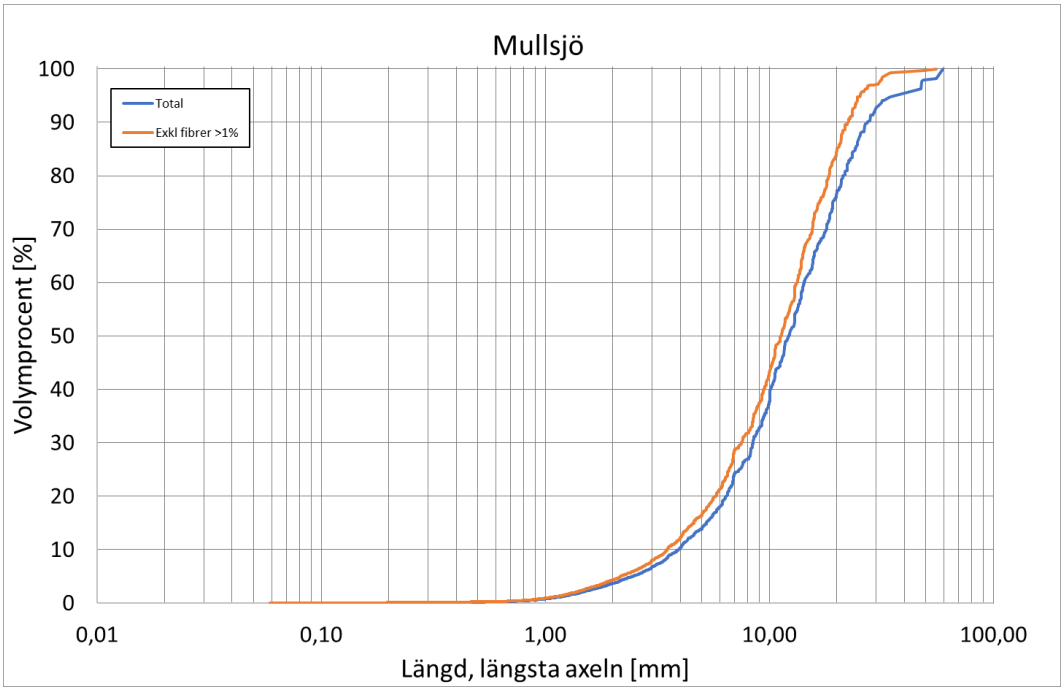


Figur 5-5 Mullsjö, fördelning av utvärderade fiberstorlekar med spridningsmått på ±20 volymprocent, alla fibrer.

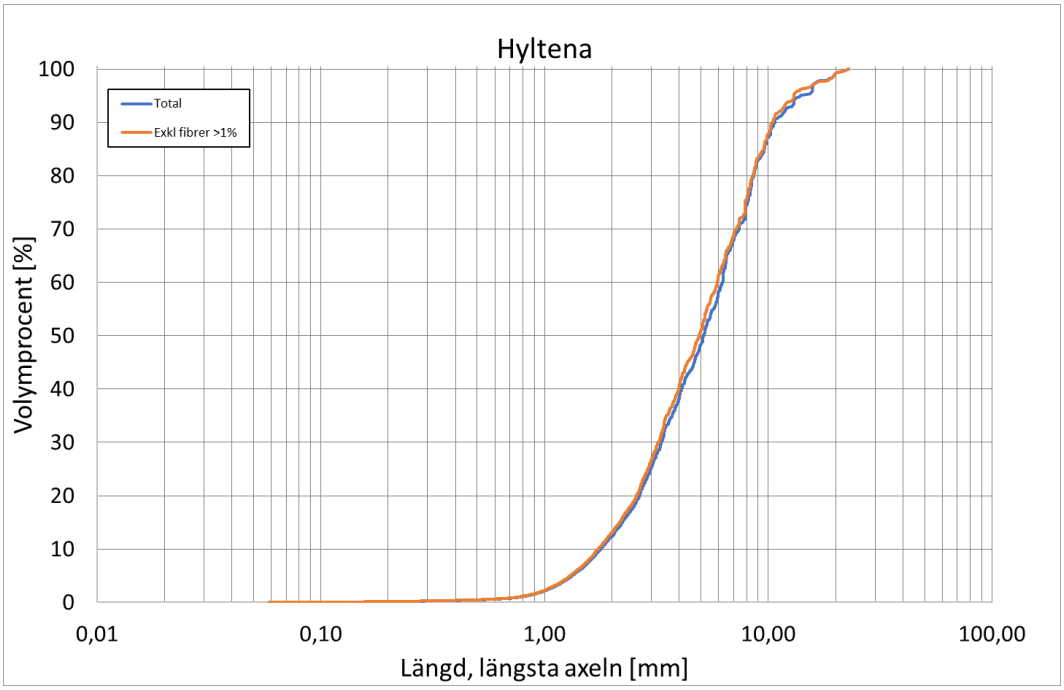


Figur 5-6 Hyltena, fördelning av utvärderade fiberstorlekar med spridningsmått på ±20 volymprocent, alla fibrer.

I några undersökta prover (filterpapper) utgjorde enskilda fibrer en stor andel av den totala utvärderade fibervolymen på ett filterpapper, exempelvis mellan 5–10 %. I enstaka fall har enskilda utvärderade fibervolymer utgjort över 20 % av filterpapperets totala fibervolym. I den totala sammanställningen (alla 10 filterpapper från samma lokal) minskar dock, som väntat, inverkan av enskilda fibrer. De volymmässigt största fibrerna utgjorde där endast mellan 1–2 % (för respektive fiber) av den totala fibervolymen. För att undvika att enstaka fibrer skulle få alltför stor påverkan på resultatet gjordes kompletterande sammanställningar där alla fibrer exkluderades som utgjorde större delvolym än 1 % av den totala fibervolymen. Resultaten visas i Figur 5-7 och Figur 5-8. När stora fibrer exkluderas förflyttades kurvorna uppåt i graferna. För Hyltena var förändringen näst intill försumbar.



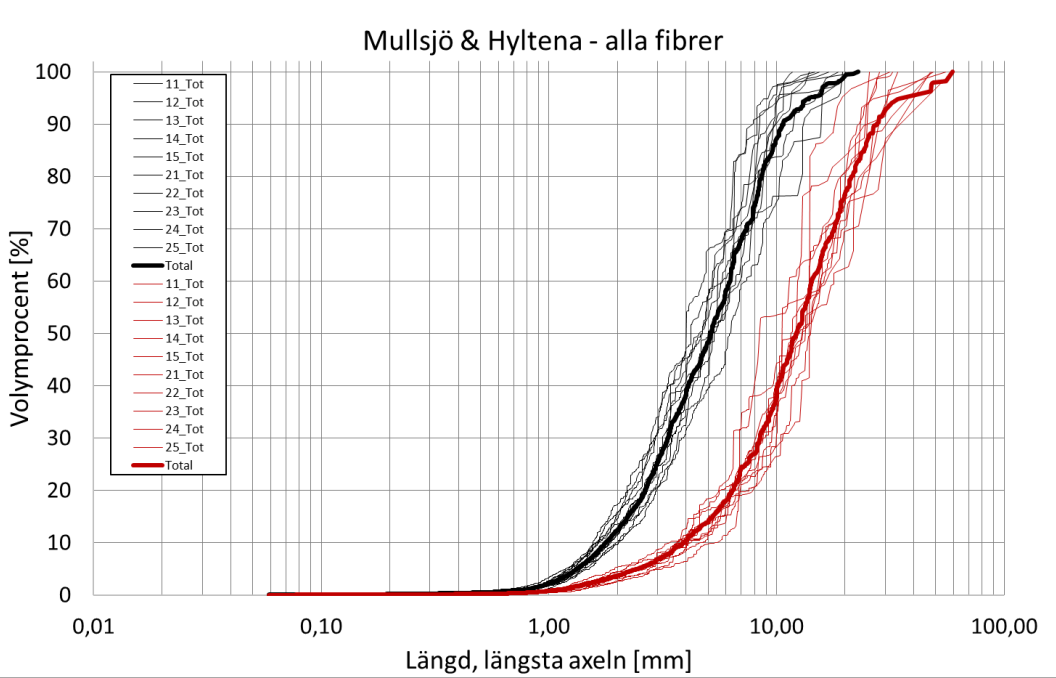
Figur 5-7 Mullsjö, torv, fördelning av utvärderade fiberstorlekar, jämförelse mellan sammanställning av samtliga fibrer (blå linje) och sammanställning där fibrer med volym ≥1% av totala fibervolymen har exkluderats (orange linje).



Figur 5-8 Hyltena, torv, fördelning av utvärderade fiberstorlekar, jämförelse mellan sammanställning av samtliga fibrer (blå linje) och sammanställning där fibrer med volym ≥1% av totala fibervolymen har exkluderats (orange linje).

Resultaten från torven i de två lokalerna har sammanställts för att utvärdera om det går att observera skillnader i utvärderade fiberfördelningar mellan lokalerna. I Figur 5-9 framgår att det finns tydliga resultatskillnader mellan den låghumifierade fibriga torven i

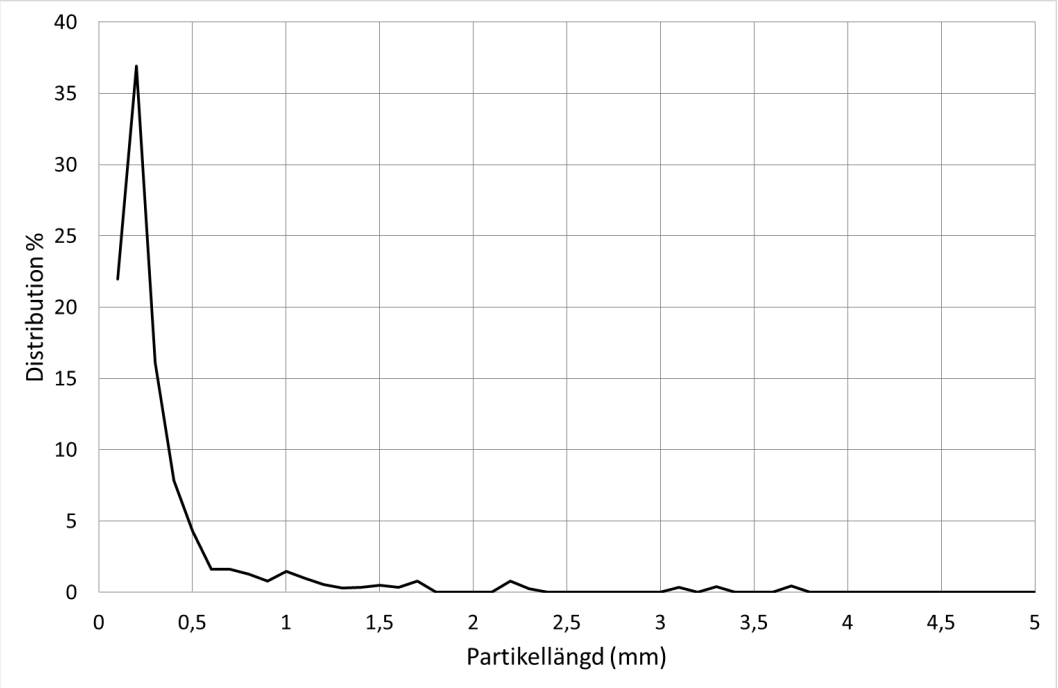
Mullsjö (H_2; klassificering enligt von Post) och den mellanhumifierade torven i Hyltena (H_5). Röda kurvor för Mullsjöprovet ligger i diagrammet tydligt höger om resultaten för Hyltena, vilket innebär att fibrer med generellt längre axlar har utvärderats för Mullsjö än för Hyltena.



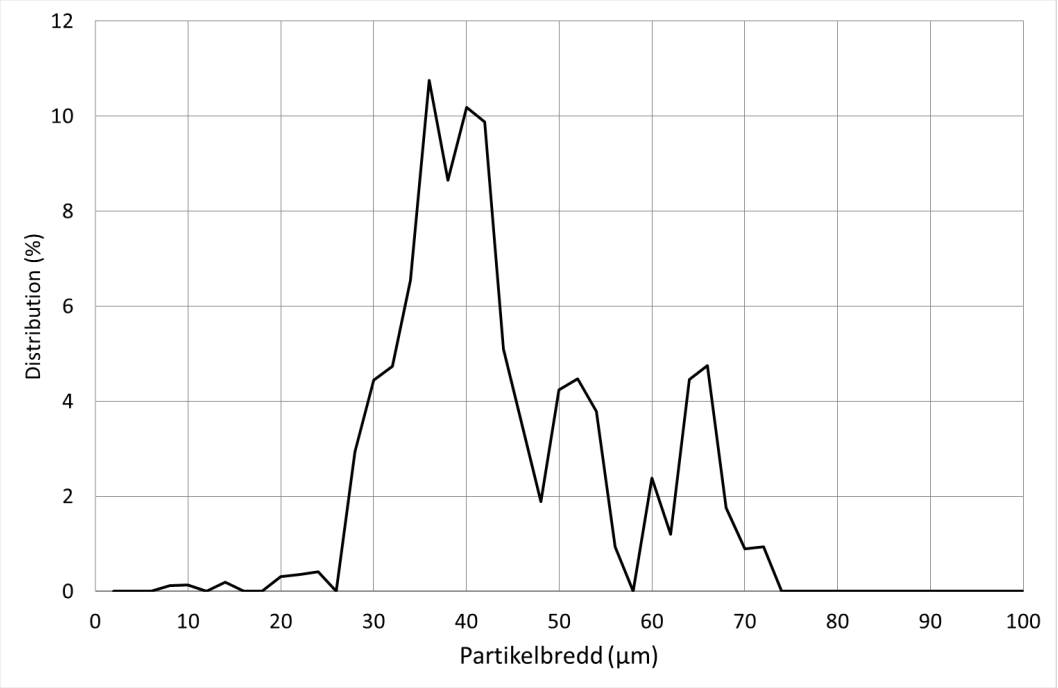
Figur 5-9 Mullsjö och Hyltena, torv, fördelning av utvärderade fiberstorlekar, alla fibrer. Mullsjö (H2): röda kurvor. Hyltena (H5): svarta kurvor.

5.2 Partiklar

Resultat från torvpartikelanalysen med PulpEye redovisas i Figur 5-10 och Figur 5-11. Fördelningen av partikellängder visar att merparten har längder <0,5 mm med ett toppvärde på ca 37 % vid längden ca 0,2 mm. Partiklarnas bredd varierar generellt mellan ca 25–75 µm med toppvärden på fördelningen mellan 9–11 % kring bredderna ca 37–42 µm. Endast en analys på ett prov utfördes med PulpEye.



Figur 5-10 Fördelning av partikellängd.

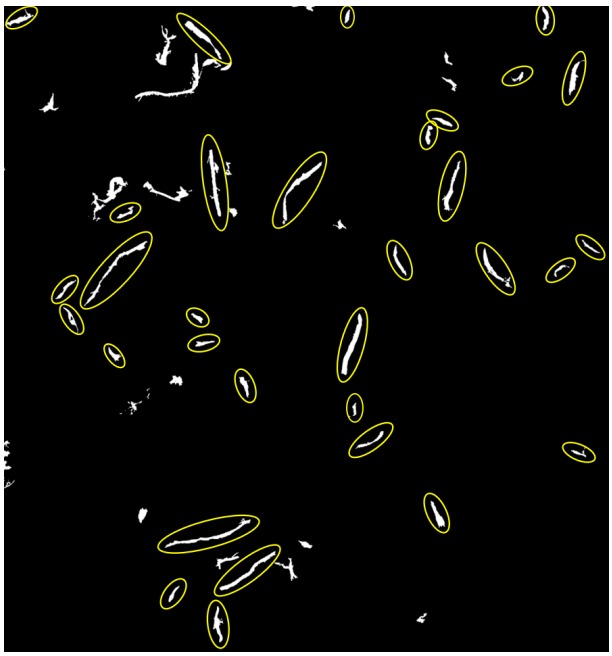


Figur 5-11 Fördelning av partikelbredd.

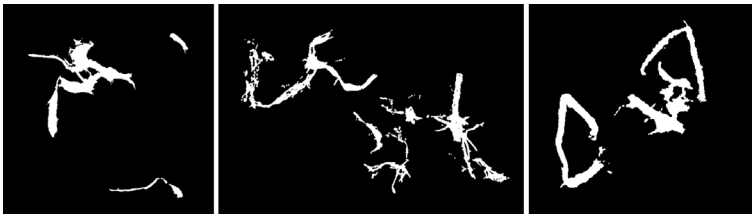
6 Diskussion

6.1 Digital fotoanalys

Antagandet om fibrernas geometrier (en slank cylinder enligt Figur 5-1) stöds till viss del av observationerna från torvproverna på de inskannade filterpapprena. Ett exempel från torvprovet från Hyltena visas i Figur 6-1. Majoriteten av fibrerna i detta exempel är relativt raka och har få förgreningar, men det kan antas att fibrers geometrier kan variera relativt stort beroende på humifieringsgrad och botaniskt innehåll. Exempel på tydligt avvikande fibergeometrier visas i Figur 6-2.



Figur 6-1 Exempel: förstorad delmängd av inskannat filterpapper med torv, Hyltena (H_5). Relativt raka slanka fibrer inom gula ellipser.



Figur 6-2 Exempel på fibrer med avvikande geometrier, prov från Hyltena.

Identifierade felkällor i den prövade metoden i denna studie summeras nedan.

- Varierande fiberdensitet,
- ej raka fibrer: böjda eller krökta,
- överlappande fibrer,
- förgreningar,
- varierande fiberbredd,
- ej cirkulärt tvärsnitt, helt eller delvis.

Fiberdensitet

Antagandet om konstant fiberdensitet är en förutsättning för att kunna använda ackumulerad volymprocent i stället för ackumulerad viktprocent i resultatgraferna och göra de jämförbara med kurvor från siktanalyser av mineraljordar. Alternativt kan en variation i densiteten accepteras förutsatt att densiteten varierar likvärdigt över alla storleksintervall. Om exempelvis densiteten har en normalfördelning med variationskoefficienten 15 % för fibrer inom storleksintervallet 1–2 mm så kan resultatet från den digitala analysen anses vara representativt om samma fördelning och variationskoefficient även gäller inom intervallen 2–4 mm och 4–6 mm osv.

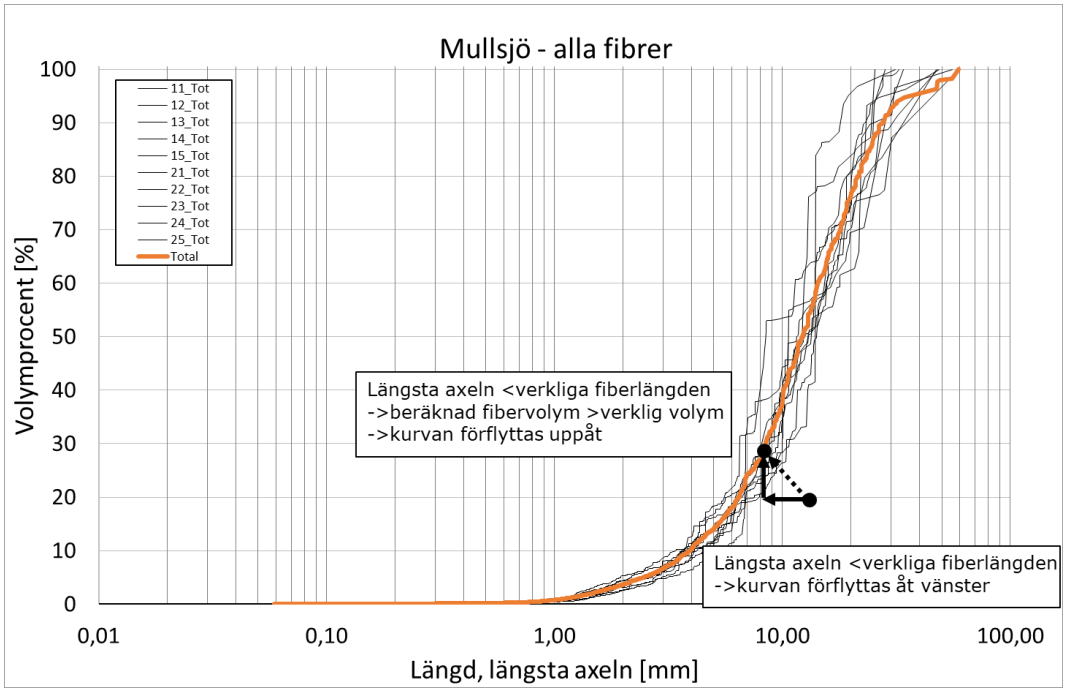
Fiberstorlek

Med hänsyn till att fibrer kan ha förgreningar och starka böjningar och/eller krökningar är det svårt att bestämma varje fibers verkliga längd. I Figur 6-2 ges exempel på stora variationer i fibrers geometrier och att det kan vara svårt att även manuellt (okulärt) bedöma vilken kombination av stam och förgreningar som bör anses utgöra en del av fiberlängden. I föreliggande rapport har storleksbestämningen i stället gjorts genom att utvärdera varje fibers längsta axel (Major axis) och skannade pixelarea. Metoden bedöms som fördelaktig då den har en tydlig definition och möjliggör transparens vid utvärdering av resultaten.

För att kunna producera resultat liknande siktkurvor för mineraljordar har varje enskild fibers volym beräknats. Värdet för längsta axeln har då använts som fiberlängden och fiberns genomsnittliga bredd har beräknats som pixelarean dividerad med längsta axeln. I Figur 4-14 framgår att längsta axeln kan bli kortare än fiberns verkliga längd om den är böjd eller krökt. Om längsta axeln är kortare än den verkliga fiberlängden medför det vanligen en överskattad fiberbredd och fibervolym. Sambandet kan redovisas enligt nedan.

Längsta axeln <verkliga längden → beräknade bredden >verkliga bredden
→ beräknade volymen >verkliga volymen.

I Figur 6-3 illustreras hur resultatkurvan påverkas av en underskattad fiberlängd och en överskattad fibervolym. En underskattad fiberlängd medför en horisontell förflyttning av kurvan åt vänster och en överskattad fibervolym medför en förflyttning av kurvan vertikalt uppåt.



Figur 6-3 Illustration av effekter på resultaten orsakade av utvärderingsfel.

Andra felkällor bedöms vara att fibrer kan ha varierande tvärsnitt och bredd, vilket avviker från antagandet i volymberäkningen om att de har konstant cirkulärt tvärsnitt. Emellanåt förekom platta fibrer i proverna, exempel visas i Figur 6-4. Det kan förväntas att antagandet om cirkulärt tvärsnitt klart överskattar sådana fibrers volym.

Figur 6-4 Exempel på platta fibrer.

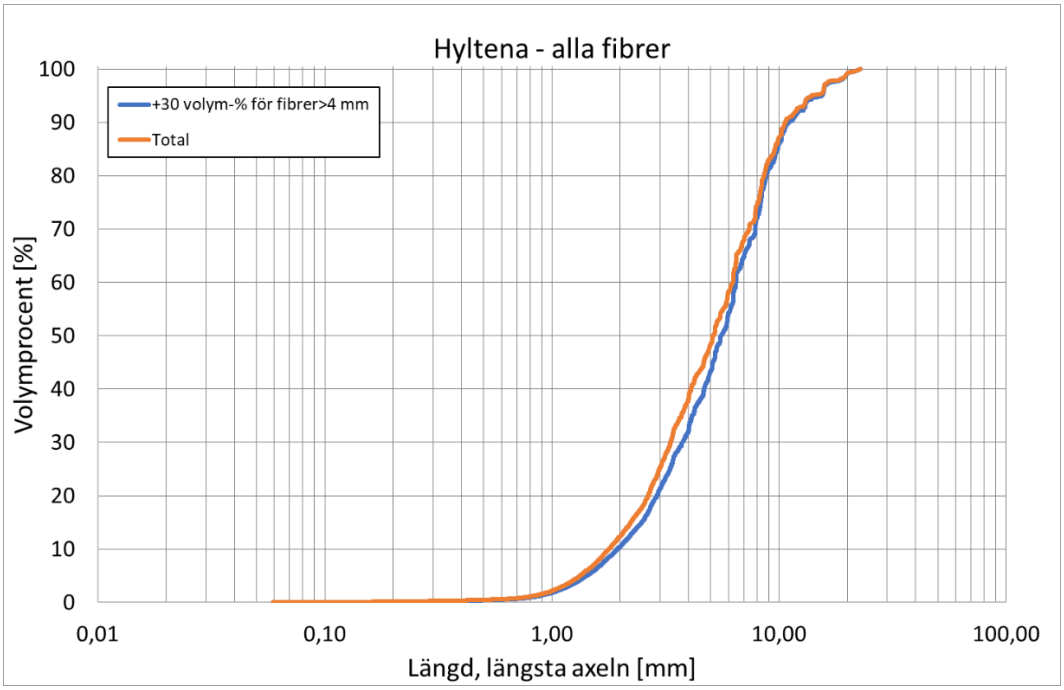
Förgreningar medför ökad pixelarea, och därmed ökad beräknad fiberbredd, vilket kan antas vanligen medföra överskattad fibervolym.

Utvärdering resultat

Liknande förutsättningar som gäller för variationen av fibrernas densitet kan antas gälla även för utvärderingen av fibrernas längd och volym, dvs om de relativa felen är likvärdiga över alla storleksintervall så kommer resultatkurvan inte förflyttas. Resultatet kan då antas vara representativt för den analyserade provvolymen. Exempelvis gäller det om förekomsten och omfattningen av felen är (procentuellt) lika stora för fibrer med storlekar 1–2 mm som 2–4 mm och 4–6 mm osv.

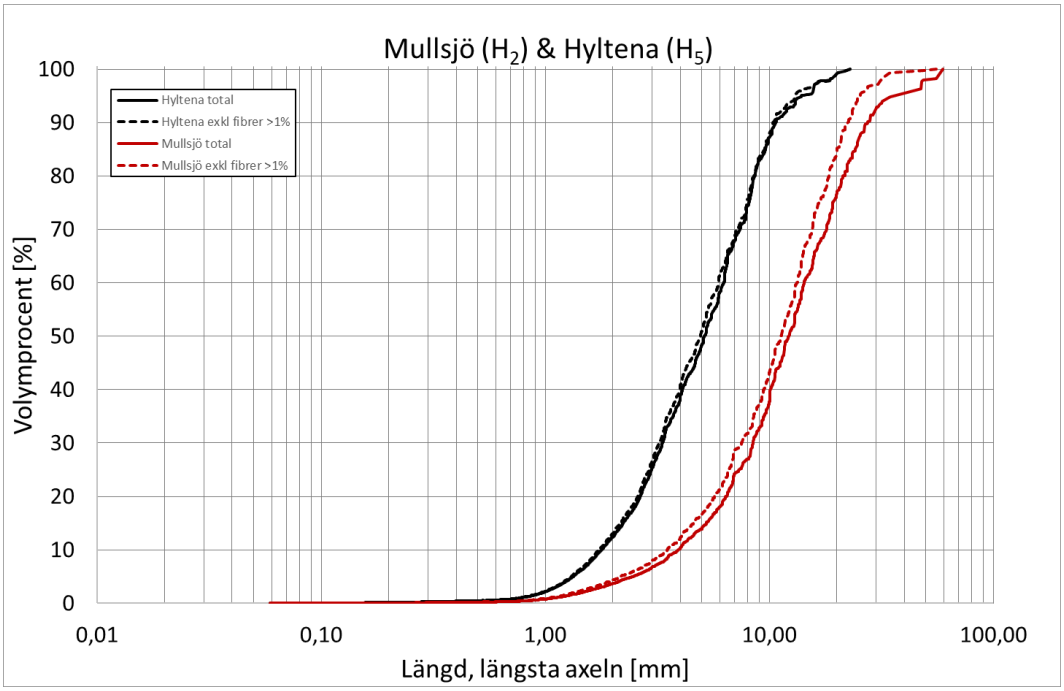
Längd- och volymskattningsfelen riskerar dock att öka när fibrernas geometrier blir mer komplicerade såsom vid skarpa böjningar, krökningar och många förgreningar. Sådana geometrier förefaller vara mer vanligt förekommande för medellånga och långa fibrer medan korta fibrer generellt överensstämmer bättre med antagandet om cylindrisk fiberform. För att illustrera hur ett sådant scenario (större utvärderingsfel för medellånga

och långa fibrer) påverkar resultatkurvan har resultatet för Hyltena (orange linje) jämförts med ett hypotetiskt scenario där fibrer med en längsta axel överstigande 4 mm har givits en volymökning med 30 % (blå linje), se Figur 6-5. Skillnaderna mellan kurvorna bedöms vara relativt begränsad, men blir som störst kring längden 4 mm och minskar sedan med avståndet från denna gräns.



Figur 6-5 Jämförelse mellan utvärderat resultat (orange linje) och ett hypotetiskt scenario där fibervolymen ökats med 30 % för alla fibrer med längsta axel> 4 mm.

Enstaka fibrer som är betydligt större än den genomsnittliga fibern kan utgöra en relativt betydande andel av provets utvärderade totala volym. Av totalt 38 536 fibrer utgjorde de 100 volymmässigt största fibrerna en summerad andel av provets volym motsvarande ca 26 % för Mullsjö. För Hyltena utgjorde de 100 volymmässigt största fibrerna ca 13 % av provvolymen omfattande totalt 32 589 fibrer. För att undersöka hur de stora fibrerna påverkar resultatkurvan för respektive lokal har en sammanställning gjorts där alla fibrer har exkluderats som utgör en större andel än en procent av provets totala volym ($V_{fiber} > 0{,}01 \cdot V_{prov}$). I Figur 6-6 redovisas resultat från Mullsjö med svarta linjer och Hyltena med röda linjer. Heldragna linjer representerar sammanställningar av samtliga fibrer och streckade linjer representerar resultat med exkluderade stora fibrer. För Mullsjö medförde exkluderingen en vertikal förskjutning uppåt av kurvan med som mest ca 10 %. För Hyltena blev förskjutningen uppåt endast någon enstaka procent.



Figur 6-6 Resultat från Mullsjö (svarta linjer) och Hyltena (röda linjer). Heldragna linjer: samtliga fibrer. Streckade linjer: fibrer med enskild volym> 1% av totalvolymen har exkluderats.

6.2 Partikelanalys

Efter separeringen av partiklar och fibrer bör de respektive delmängderna vägas för att bedöma om en partikelanalys är relevant. Om partiklarnas delmängd bedöms utgöra en betydande del av torvens totala massa och om fördelningen av partikelstorlekar bedöms kunna påverka torvens egenskaper så är PulpEye en möjlig metod att utföra partikelanalys.

Med PulpEye kunde mätresultat erhållas avseende fördelning av torvpartiklars längd och bredd för partikelstorlekar upp till 5 mm. I denna rapport har storleksgränsen mellan partiklar och fibrer valts till 2 mm, vilket innebär att PulpEye även kan analysera kortare fibrer (2 mm≤L≤5 mm). Till skillnad från fiberutvärderingen med skanner erhölls inte utvärderad längd och bredd för varje individuell partikel och fiber, i stället redovisades längd- och breddfördelningen separat för olika storleksintervall.

7 Slutsatser och rekommendationer

Inledande försök på torvprover visar att relativt repeterbara resultat kan erhållas för storleksfördelning av fibrer genom digital fotoanalys och utvärderingsmetoden ”major axis”. Om torven innehåller en hög andel partiklar kan längd- och breddfördelning av dessa utvärderas med analyssystem som nyttjas inom pappersmassaindustrin till kostnader som ligger i nivå med övriga laboratorieanalyser inom geoteknikbranschen.

Med den prövade metodiken kunde storleksfördelningen för fibrer för torvprover från Mullsjö respektive Hyltena utvärderas och redovisas på liknande sätt som med siktkurvor för mineraljordar. I resultaten erhölls tydliga skillnader mellan de två lokalerna med högre andelar större fibrer för torv från Mullsjö. Detta överensstämmer med klassificeringen enligt von Post, H2 för Mullsjö och H5 för Hyltena.

Separeringsprocessen kan genomföras manuellt med vatten och erfordrar ingen kemikaliehantering eller inköp av maskiner för laboratorier. Skanningen av fibrerna kan utföras med en kontorsskanner och mjukvaran för fotoanalysen bedöms vara operatörsvänlig.

Förbättringsförslag till prövad metodik i denna studie är:

- Tvättningen av torvprovet kan förbättras genom att upprepa det prövade förfarandet fler gånger så att partiklarna separeras från fibrerna så mycket som möjligt.
- Filterpapperet bör inspekteras okulärt innan skanning för att kontrollera att de ungefär 20 största fibrerna ligger så rakt som möjligt. Vid behov ska de rätas ut.
- I resultatsammanställningen efter fotoanalysen bör jämförelser göras med fördelningskurvor där fibrer exkluderas som har en individuell volym som överstiger 1 % av provets totala fibervolym. Detta för att få en uppfattning om resultatets känslighet för volymberäkningen av enskilda stora fibrer.

Referenser

Boelter, D. H., 1969, Physical properties of peats as related to degree of decomposition, Soil Sci. Amer. Proc. 33: 606–609.

Carlsten, P., 1988, Torv – geotekniska egenskaper och byggmetoder, SGI Information 6, Statens geotekniska institut, Linköping.

Helenelund, K., V., 1969, Organiska jordarters geotekniska egenskaper, Norges geotekniska intitutt, Oslo.

Levesque, M., Dinel, H., 1977, Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in eastern Canada, Can. J. Soil Sci. 57: 187-195.

Sandman, J., 2018, Fiber content as an indicator of peat decomposition, Ostfalia Hochschule für angewandte Wisseschaften, Wolfenbüttel.

SGI 2020, Torv - deformationer och brottmekanismer i modellförsök, Ny utrustning och metodik för blockprovtagning och modellförsök, SGI Publikation 49, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping.

Sneddon, J. I., Farstad, L., Lavkulich, L. M., 1971, Fibre content determination and the expression of results in organic soils, Can. J. Soil Sci. 51: 138–141.

Von Post, L., Granlund, E., 1926, Södra Sveriges torvtillgångar I, Sveriges geologiska undersökning, årsbok 19.2, Serie C, No, 335, pp. 1–127, Stockholm.

STATENS
GEOTEKNISKA
INSTITUT

Statens geotekniska institut

581 93 Linköping

www.sgi.se

E post: sgi@sgi.se

Växeln: 013–20 18 00