



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi
Professor II Jan Vaslestad

Militær terrengmobilitet

- **Sedentær torv**

Military terrain-mobility

- **Sedentary peat**

Stig Herman Ødegaard

Master/Teknologi (sivilingeniør) – Vann- og miljøteknikk
Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved *Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)*, ved *Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK)* og sortert under linjefaget *Vann- og miljøteknikk* med fordypning i *VA og vegteknologi*. Omfanget på oppgaven er 30 studiepoeng og fullfører en *mastergrad i teknologi*. Oppgaven er skrevet på vegne av *Fagsjef Ingeniør* i Hæren.

Jeg er yrkesoffiser i Hæren og har tjenestegjort siden sommeren 1999 i Ingeniørvåpnet. Studietiden er beordret som et sivilt mastergradsstipend gjennom Hæren med varighet 2-3 år. Dette er et hovedledd i min videregående offisersutdanning (VOU) og karriere i Forsvaret.

Landkomponenten Hæren søker å oppnå optimal kampkraft, dette kan oppnås blant annet gjennom høy grad av mobilitet for å beherske og dominere områder.

“... Never let the enemy pick the battle site ...” (General Patton 1885-1945).

Militær mobilitet er et av Ingeniørvåpnets fagansvar i Hæren og utøves som fagekspertise og taktisk støtte. Min fagtjeneste som ingeniøroffiser har i overveiende grad omhandlet mobilitet.

Oppgavens tema er militær terrengmobilitet og søker å finne løsninger som bidrar til å løse en kompleks problemstilling som omfatter mange forhold. Oppgaven isolerer dette til å se på muligheter for manuell rekognosering av torv og kalkulere torvens bæreevne for korttidslaster. Gjennom å belyse metoder som sannsynliggjør dette orienterer oppgaven mot et testdesign. Det er vektlagt løsninger med fremtidige utviklingspotensialer for å imøtese den mer sammensatte utfordringen som terrengmobilitet representerer.

Hovedveileder for oppgaven er Professor II Jan Vaslestad, *REALTEK, Ingeniørvitenskap* ved *NMBU* og *Statens vegvesen*.

Jeg vil takke Hæren og Fagsjef Ingeniør for innstillingen til stipendiatet og denne videreutdanningen som har vært lærerik og verdifull for meg som ingeniøroffiser. Jeg vil også takke både Fagsjef Ingeniør og professor Vaslestad for muligheten til å forfølge den svært spennende problemstillingen i oppgaven.

Jeg vil også takke og berømme min tålmodige familie for støtten og samtykket til min studietid.

Ås, 15.12.2017

Major Stig Herman Ødegaard

Sammendrag

Militær terrengmobilitet kan betraktes med et makroperspektiv og et mikroperspektiv.

Makroperspektivet er overveiende når det kommer til ressursbruk og forskning for militær terrengmobilitet, nasjonalt og internasjonalt. Det er lite militært arbeid i nyere tid som fokuserer på presis bruk av ingeniørteknologi med kunnskap og ferdigheter på avdelingsnivå. Denne studien fokuserer på mikroperspektivet.

Sedentær torv er en utfordring for mekaniserte landstyrker fordi dette er en betydelig andel av et nordisk manøverrom. Kvalifiserte ingeniørrekognoserings soldater bør kunne måle, tolke og kalkulere områder med torv for mobilitet. Dette med hensyn på sin tradisjonelle rolle som ingeniørsoldater.

Studien søker å finne drivende faktorer som enkelt kan måle og tolke torv med feltmålinger som gir tilstrekkelig informasjon til å kalkulere bæreevnen til torv.

Studien belyser behov for kunnskap og orienterer mot en løsning for å svare på problemformulering; hvordan enkelt måle, tolke og kalkulere torvs bæreevne for korttidslast? Dette i den hensikt å muliggjøre konservative vurderinger for å sikre egne landstyrkers mobilitet.

Innledningsvis har litteraturstudien innen grunnleggende geoteknikk og terramechanics lagt vekt på teorier om bæreevne og drivende faktorer som kan måles med enkle feltmålinger.

Dette har ført til utvikling av en manuell målemetode og modifisering av et Cone Penetration Test-apparat. Dette er benyttet under feltforsøk for å måle stivheten i underliggende torv lag. Feltforsøket med analyse viser lovende resultater. Det er lagt vekt på at testen eventuelt skal kunne utføres av militært personell med enkle hjelpemidler.

Resultatene i studien er et teoretisk potensiale forfattet som et testdesign for innsamling av målbare data med et bevameter. Hvis testene i testdesignet gjennomføres og data analyseres vil sannsynligvis dette kunne løse problemformuleringen empirisk. Det er favorisert løsninger hvor militært personell med enkelt materiell kan utdannes og trenes til å kalkulere korttidslast på torv.

Resultatene definerer også utviklingspotensialer av testdesignet som kan bidra til å løse flere utfordringer ved terrengmobilitet enn torv alene.

Abstract

Military mobility in the terrain can be viewed at as a macro perspective and a micro perspective. The macro perspective is predominant when it comes to the use of resources and research for military terrain-mobility, nationally and internationally. There haven't been a lot of military work in recent times that focuses on the precise use of engineering technology with knowledge and skills, at the level of subunits. This study focuses on this micro perspective.

Sedentary peat is a challenge for mechanized forces because peat is a significant part of the Nordic areas for maneuvering. Qualified engineer-reconnaissance soldiers should be able to measure, assess and calculate areas with peat for mobility. This is within the terms of its traditional role as army engineers.

This study pursues the decisive factors for peat that can be measured and assessed with simple field surveys that also can provide sufficient information for calculation of the bearing capacity.

The study illuminates the need for knowledge but it's also orientating towards a solution to fulfill the formulation of the problem; how to simple measure, assess and calculate load capacity for short-term loads on peat?

Purpose; in order to enable conservative assessments and ensuring the mobility of own forces.

The initial literature study is within basic geotechnics and terramechanics. It is emphasized theories of bearing capacity and decisive factors which can be measured by simple field survey.

This has led to the development of a manually field survey method and modification of a Cone Penetration Test device. This have been used during field survey to measure the stiffness in the underlying layer of the mat. The results and analysis seems promising. It's emphasized that the field survey should be possible to conduct by military personnel with simple utilities.

The results of the study are a theoretical potential as a test design for collecting measurable data with a bevameter. If the tests in the test design are conducted and data can be analyzed, this probably will solve the problem formulation empirically. The results have favored solutions for military personnel with simple utilities that can be trained to calculate short-term loads on peat.

The results also define potentials for development of the test design that can support more challenges in terrain-mobility than peat alone.

Innholdsliste

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsliste	VI
Symbol liste	VIII
Figur liste	IX
Formel liste	X
1 Introduksjon	1
2 Metode	3
2.1 Avgrensninger	4
2.2 Hensiktsformulering	4
2.3 Problemformulering	4
3 Teoretisk grunnlag	5
3.1 Typeidentifisering av jordarten	5
3.1.1 Delkonklusjon typeidentifisering av jordarten	16
3.2 Jordartens fasthet	17
3.2.1 Delkonklusjon jordartens fasthet	19
3.3 Bæreevne	21
3.3.1 Delkonklusjon bæreevne	37
4 Resultater	39
4.1 <i>k</i> -test, manuell måling av stivheten i underliggende lag	39
4.1.1 Test prosedyre, <i>k</i> -test	41
4.1.2 Resultater, <i>k</i> -test	45
4.1.3 Delkonklusjon, <i>k</i> -test	47
4.2 Teoretisk potensiale for militær bruk	49
4.2.1 Tilrettelegging for et testdesign	49
4.2.1.1 Bevametertester	53
4.2.1.2 Kalkuleringmetode av stivheten (<i>k</i>) og den karakteristiske parameteren (<i>m</i>)	53
4.2.1.3 Simulering av <i>m</i> - og <i>k</i> -verdi	56
4.2.1.4 Manuell måling av stivheten (<i>k</i>)	59
4.2.1.5 Manuell typekategorisering av torven	59
4.2.1.6 Kritisk nedsynkning (<i>zb</i>)	61
4.3 Fremtidige utviklingspotensialer	63
4.3.1.1 Repeterende last	63
4.3.1.2 Tiltak for forsterkning	63
4.3.1.3 Vinter mobilitet	63
4.3.1.4 Spesiell rekognosering	64

5 Diskusjon/ Konklusjon	65
5.1 Forbedringspotensialer	69
6 Tillegg	71
6.1 k -test, test- og analyseskjemaer	71
6.2 Minisimulator for data-kalkulering m - og k -verdi	81
6.3 Motivasjon	85
7 Referanser	87
7.1 Støtte litteratur	89
7.2 Internett ressurser	92
7.3 Aktører som kan ha interesse i problemstillingen	93

Symbol liste

Symbol	Forklaring	Merknad
τ_{fu}	Torven udrenerte skjærfasthet [kPa]	
T_w, w	Vanninnhold [%]	$w = \frac{m_w}{m_s}$
R	Formoldningsgrad	Se formel (3.2) og Figur 3.7
H	Nummeret i voPosts skala	Se formel (3.2) og Figur 3.3
p_p	Gjennomløkkingstrykk	
τ_r	Torvmattens skjærfasthet	
b	Radius trykkplate eller bredde	
t_o	Torvmattens tykkelse	
p'', q	Reaksjonstrykk fra underliggende torv lag	
L	Omkretsen av belastningsflaten, randen	
A	Areal av belastningsflaten	
W	Påført last [kN]	
l	Lastflatens lengde	
V	Den vertikale strekkkomponenten i torvmatten	
k	Stivheten i underliggende torvlag [kN/m^3]	
z_o	Nedsynkning torvmatte under lasten	
m	Parameter som karakteriserer last responsen mellom torvmatten og underliggende torv	
p	Påført trykk [kN/m^2]	
m_m	Omregnings parameter [kN/m^3]	$m_m = mk$
D_h	Hydraulisk diameter	$D_h = \frac{4A}{L}$
z_b	Kritisk nedsynkning	
k_1	Målt k-verdi for hvert steg i manuell test	
r	Radius	

Figur liste

Figur 3.1, Fire utviklingsstadier for en myr fra istiden og gjennom tider.	6
Figur 3.2, Tverrsnitt fra to forskjellige myrer i Sverige.	7
Figur 3.3, vonPost skala.	8
Figur 3.4, Tabell for kategorisering av struktur i torv.	12
Figur 3.5, Tabell for klassifisering av vegetasjonen på torv.	13
Figur 3.6, Tabell for relative egenskaper i torv.	14
Figur 3.7, Tabell som angir formoldningsgrad i forbindelse med vonPost skala.	15
Figur 3.8, Tabell som deler inn torvtyper ut i fra evnen til å ta opp vann.	15
Figur 3.9, Bruddmekanisme General Shear.	17
Figur 3.10, Bruddmekanisme Punching Shear.	22
Figur 3.11, Skjærkraft i torvmatte.	23
Figur 3.12, Strekk i torvmatte.	25
Figur 3.13, Karakteristiske parameteret m	29
Figur 3.14, Trykk- og nedsynknings-kurve.	32
Figur 3.15, Trykk- og nedsynknings-kurve for stivhetsmåling.	33
Figur 3.16, Informasjon lest ut av Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering.	36
Figur 4.1, Test materiell på baklem.	41
Figur 4.2, Illustrasjon for k-testen pr trykk -nedsynkningstest.	42
Figur 4.3, Prøvemønster per teststed.	44
Figur 4.4, Generisk teststed med nummererte prøver.	52
Figur 4.5, Flytskjema for testdesign.	52
Figur 4.6, Plottet trykk- og nedsynkningskurve.	54

Formel liste

(3.1)	9
(3.2)	10
(3.3)	22
(3.4)	24
(3.5)	26
(3.6)	26
(3.7)	26
(3.8)	26
(3.9)	27
(3.10)	27
(3.11)	27
(3.12)	27
(3.13)	28
(3.14)	28
(3.15)	29
(3.16)	30
(3.17)	30
(3.18)	31
(3.19)	31
(3.20)	31
(3.21)	31
(4.1)	55

1 Introduksjon

Studien er innledningsvis en litteraturstudie, det ble avdekket teori i løpet av perioden som utløste feltforsøk i begynnelsen av november 2017.

Under masterkandidatens tjeneste i Hæren har en gjentagende og vedvarende utfordring vært utilsiktede gjennomganger av is og myr med militære kjøretøy. Det vil si at militære kjøretøy har kjørt seg fast eller i verste fall sunket i terrenget eller vannet. Det har også oppstått som fare for liv og helse.

Militær mobilitet har et makro- og et mikroperspektiv. Det vil si at ved store militære operasjoner vil detaljene som angår hvert kjøretøy sin mobilitet være mindre tydelig for høyere staber. Men makroperspektivet er ikke helt uten tilknytning til detaljene, det vil si at det store oversiktsbildet vil kunne evalueres kvalifisert med kunnskap om mikroperspektivet. Det vil muligens begrense graden av oversikt hvis mikroperspektivet ikke er involvert i analyser av mobilitet. Derfor vil det være nødvendig at detaljer rundt kjøretøy og operasjonsområdet er klart mulig for å kunne vurdere en operasjons mobilitet og for hvert enkelt kjøretøy.

Makroperspektivet på militær terrengmobilitet representerer store data, geografiske kartanalyser og simulatorer. Det er mange simulatorer og mye forskning på mobilitet som fokuserer på makroperspektivet, dette er gjeldende både nasjonalt og internasjonalt. Dette gjør at mobilitet har liten grad av presisjon når det kommer til å operere på bakken i avdelinger.

Militære landoperasjoner benytter ofte myrterreng og tundra som et manøverrom. Terreng med lite vegetasjon og lave kuperte terrengformasjoner gir langtrekkende direkte ild fordeler som observasjon og fordelaktige skuddhold. Hærens avdelinger har langtrekkende våpensystemer montert på kjøretøyer. Selv om de fleste kjøretøyene har terrenggående egenskaper og har svært god fremkommelighet, vil vekten på moderne kjøretøy kunne være flere titalls tonn.

Terrengets evne til å bære lasten uten at kjøretøyet kjører seg fast eller synker er interessant. Bergingsoperasjoner i terrenget er utløst enten ved for tunge kjøretøy eller feil sporvalg. Det er ofte slik at terrenget som er passert i sporet før gjennomgangen har båret vekten frem til et endelig brudd. Sporelengden er som regel lengre enn det området hvor kjøretøyet eventuelt har gjennomgang. Dette indikerer at sporvalget er av betydning. Dette underbygges av observasjoner om at flere kjøretøy manøvrerer rundt i samme lokale terrenget uten å synke, hvor noen få kjører til brudd.

Militære kjøretøy har terrengegenskaper som gjør at skogbunn og innmark ofte blir benyttet som manøverrom. Dette uten hensyn til nærmere tolkning av forholdene enn å lese kart og visuelt orientere seg. I tilknytning våtmarker og myr øker risikoen for gjennomgang dramatisk. Å forutsi hva et myrterreng tåler er svært vanskelig. Problemet blir gjerne kun definert ved å påpeke usikkerhetene. Dette er en håndtering av utfordringen på et mikronivå med et makroperspektiv.

Det er gjort lite arbeid for å dekke militær terrengmobilitet med et mikroperspektiv i nyere tid. Dette sammen med at tettheten av kjøretøy i hver avdeling og vektene på kjøretøyene har økt drastisk i moderne landstyrker. Her er det lagt ved en kilde for å beskrive statusen per 1993; (*Terrain Characterization for Trafficability, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory (CRREL), CRREL Report 93-6, Sally A. Shoop, June 1993*)

Dette er en «state-of-the-art» rapport om temaet som gjengir en tabell for bæreevne på telebefengt torv. Tabellen angir laster som *1 hest, 6-t hesteslede, 4-t tom latebil og 10-t lastebil*. Dette er i stort status også 24 år etter hvor trenden er forskning med makroperspektiv.

Torv som bæredekke er vanskelig å forstå og kalkulere. Det er forsket på ingeniørteknikk for vegbygging, skråningsproblematikk og permanente laster med mange målinger og fremgangsmåter. Men det å belaste myrdekker uten forberedende tiltak som forbelastning, masseutskifting, pæling, kjemisk stabilisator og bygging av vegkonstruksjoner, er lite berørt i tilgjengelig litteratur. Det er dette denne studien ser nærmere på, hvordan kan et torvdekke måles inn, tolkes og gi en kvalifisert bæreevne for kortidslast.

Studien forfattes med en intensjon å være et grunnlag for videre arbeid og studier for mobilitet på torv. Det søkes å besørge en rask innføring i teoretiske grunnlag og gjøre fremtidige arbeider og studier mer effektive.

Studien er i et mikroperspektiv, med en innstilling til at dette kan øke bevisstheten og kvalifisert oversikt på et makroperspektiv.

Det finnes utviklingspotensialer til å imøtekomme større problemstillinger enn torv alene.

Et sitat fra *Grunnførsterkning, fyllinger og skråninger, Håndbok V221, Staten vegvesen* underbygger denne innledningen;

«... Det er ikke vanlig praksis å måle torvens kompresjonsegenskaper og skjærfasthet. ...»

2 Metode

Det er gjennomført et vidt søk på litteratur og informasjon som skal underbygge denne studien. Kjernelitteraturen har vært vanskelig å avdekke, men også tidkrevende å få tilgang på.

Dokumentasjonen er hentet fra biblioteker på SVV, NTNU, NMBU, men også i Danmark og Sverige. Det har vist seg at faglig er kortidslaster på torv et smalt tema i Norge og ikke allment kjent som problemstilling. Søkeverktøyene tilgjengelig på universitetet, vegvesenet, www.google.com og www.google.scholar.com er benyttet og søkeord som *muskeg*, *peat*, *terramechanics*, *shear strenght*, *terrain mobility* og *characteristic-shear* og *-strenght* har gitt mange treff. Utsiling av informasjon har vær krevende og en stor tidstyv. Det meste av informasjonen i avhandlinger og artikler har stort sett kun gitt ledetråder til mer informasjon, uten helt å treffe denne studiens mål. Sent i perioden for datainnsamling har nyttige svenske dokumenter blitt tilgjengelig gjennom Statens vegvesen og NTNU;

- *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark* av Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016
- *Skjuvhållfasthet –utvärdering i kohesionsjord* av Rolf Larsson, Göran Sällfors, Per-Evert Bengtsson, Claes Alèn, Ulf Bergdahl og Lei Eriksson, Linköping 2007
- *Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder* av Peter Carlsten, Linköping 1988.
- *Vägbyggnad på torv*, Vägverket-VBg, Statens geotekniska institut, Vägledning 2, Peter Carlstén, 1989

En bok er funnet og kjøpt på www.amazon.com, ingen tilgjengelige biblioteker har vist denne i sin beholdning;

- *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong (2010)

Dette er fem kilder som har dannet teoribasen for denne studien. Ut ifra denne teoretiske basen har studien etterlyst metoder og grunnlag for videre arbeid.

Det teoretiske grunnlaget har utløst modifisering av test materiell, hvor en egen testprosedyre er forsøkt i felt og analyser er utført. Det er også avdekket teoretiske blindsoner i matematiske modeller hvor dette er forsøkt simulert for å utvinne en kalkuleringsmetode.

Med dette som bakgrunn er det forsøkt å lage et testdesign for å kunne tilfredsstillte hensikts- og problemformuleringen.

2.1 Avgrensninger

Studien søker å isolere seg mot drivende faktorer for hvordan en bruddlast opptrer i torv ved korttidslast. Dette begrenser temaene under valgte faktorer for å unngå sidespor. Introduksjon spisses ytterligere ved å sette følgende avgrensninger;

- Miljø og klima
- Topografi
- Hellende eller kupert terreng
- Frost, tele og snø
- Steinholdig-, leirholdig- og sandgrunn
- Terramechanics; fagbegreper som «spin», «drawbar pull» og «thrust».
- Selve fremkommeligheten
- Mulige tiltak ved dårlig bæreevne
- Repeterende laster, lastvekslinger og lasthistorikk.

2.2 Hensiktsformulering

Studien søker å finne drivende faktorer som ved enkle feltmålinger vil gi tilstrekkelig informasjon for militær ferdsel over torv. Dette for å;

-muliggjøre konservative vurderinger for å sikre egne landstyrkers mobilitet.

2.3 Problemformulering

Studien vil belyse et kunnskapsbehov og orientere mot en løsning;

-hvordan enkelt måle, tolke og kalkulere torvs bæreevne for korttidslast.

3 Teoretisk grunnlag

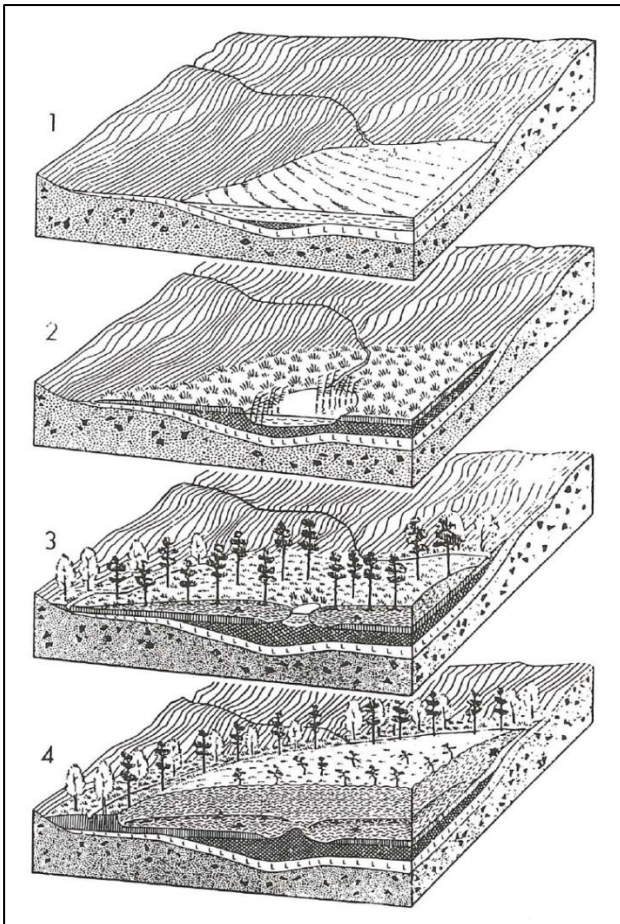
Bæreevnen på mark er i utgangspunktet en problemstilling som betrakter en last og dens areal i kontakt med marken. Hvordan markens grunn opptar kreftene er en betraktning som hovedsakelig angår jordartens beskaffenhet. Tre faktorer må undersøkes og bestemmes;

- Typeidentifisering av jordarten
- Jordartens fasthet
- Markens bæreevne.

Teoretisk finnes det metoder og modeller for dette geoteknisk. Dette gjelder i hovedsak for mineralske jordarter, friksjonsjordarter og kohesjonsjordarter.

3.1 Typeidentifisering av jordarten

Jordarter er et vidt begrep hvor torv er lite omtalt i norsk litteratur som bærende underlag. Torv er et materiale som består av rester fra organiske vekster. Vegetasjon og andre biologiske rester råtner og formoldes i myrer. Torven er det vi ofte kjenner som det minst formoldede laget i toppen, lagene er som regel formoldet i økende grad nedover i dypet (mektigheten). For å illustrere hvordan en typisk myr utvikler seg er det her et kopiert bilde fra en referanse.



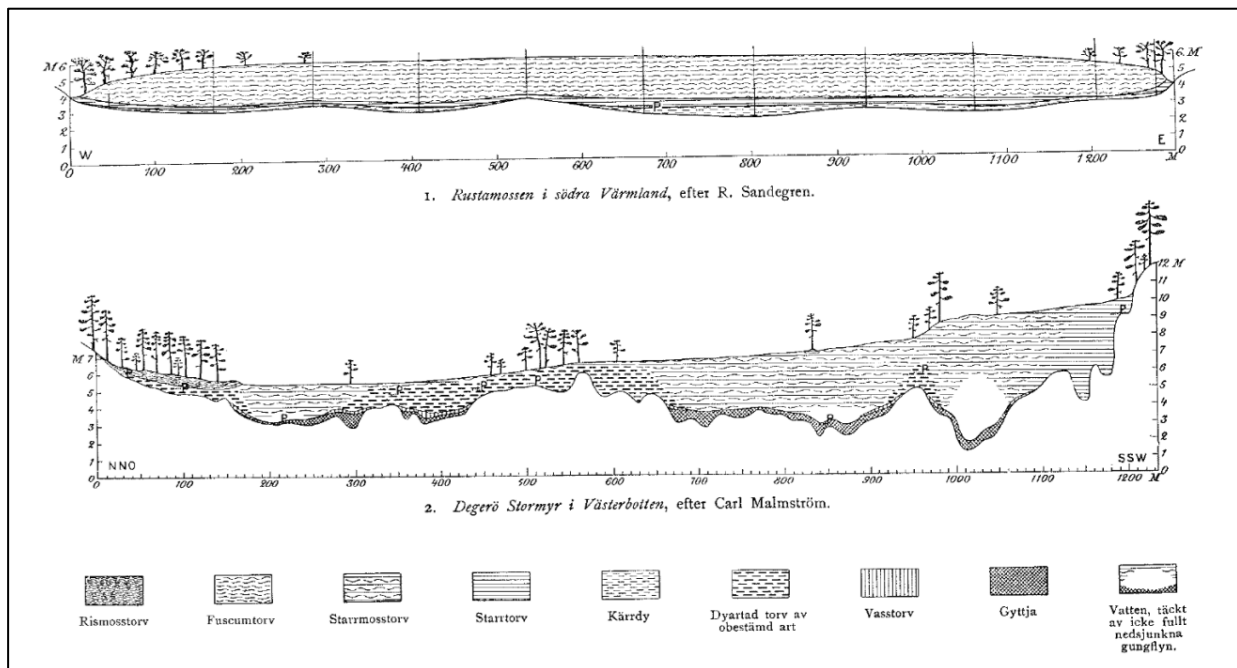
Figur 3.1, Fire utviklingsstadier for en myr fra istiden og gjennom tider.

Bildet er kopiert fra *Vägbyggnad på torv, Vägverket-VBg, Statens geotekniska institut, Vägledning 2, Peter Carlstén, 1989*

Figuren 3.1 viser fire stadier ved en utvikling av en myr hvor et fjellvann gror igjen for så å vokse til tykke torv lag. Det vises hvordan vegetasjonen kan forandre seg gjennom tidene i form av forskjellige planter og vekster som lever i overflaten. Det vil si at torvens innhold nedover i mektigheten kan forandre karakter.

En god illustrasjon på at en myr ikke er et homogent torvmateriale er vist i *Figur 3.2*.

Tverrsnittet av torven og underliggende lag kan være svært varierende.



Figur 3.2, Tverrsnitt fra to forskjellige myrer i Sverige.

Bildet er kopiert fra *Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder*, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988

Figuren 3.2 viser to forskjellige myrområder og deres forskjellige utforming og innhold. I forhold til belastning av torv er det de forhold som beskriver styrken i torv og myr som er interessante. Å avdekke disse forholdene krever først en typekategorisering som påviser hva som gir bærende egenskaper. Ernst Jakob Lennart vonPost (1884-1951) var geolog og naturvitenskapsmann i Sverige (https://no.wikipedia.org/wiki/Lennart_von_Post). vonPost har systematisert en mye gjengitt klassifiseringskala for torv. Skalaen er internasjonalt kjent og benyttes i mange geotekniske vurderinger, men er opprinnelig skapt for andre formål enn ingeniørtekniske vurderinger. Hensikten til skalaen er å kartlegge myrer og torv med hensyn til forskning på klima, vannforekomster og som råvare (brensel). Dette er informasjon som er viktig å vurdere før man benytter seg av skalaen (*Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder*, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988). Skalaen angir hovedsakelig formoldingsgraden på torven. Den gjengis enkelt på norsk i to referanser med litt forskjellig ordvalg. Skalaen går i ti trinn og benevnes H1-10, skalaen er omskrevet i denne studien og vist i Figur 3.3.

Torv type	Skala	Kjennetegn
Fibertorv	H1	Helt uomvandlet og dyfri torv, ikke gjørmete. Vekststrukturen/planterester er lett synlig. Ved pressing i hånden avgis bare klart fargeløst vann.
	H2	Nesten uomvandlet dyfri torv, ikke gjørmete. Vekststrukturen/planterester er lett synlig. Ved pressing i hånden avgis bare nesten klart, fargeløst vann.
	H3	Meget lite omvandlet eller meget svakt dyholdig torv, svakt gjørmeholdig. Vekststrukturen/planterester er synlig. Ved pressing i hånden avgis bare tydelig grumset vann. Pressingsresten er ikke grøtaktig men gjørmeholdig.
	H4	Lite omvandlet eller noe dyholdig torv, noe gjørmeholdig. Vekststrukturen/planterester er synlig. Ved pressing i hånden avgis bare sterkt grumset vann. Pressingsresten er noe grøtaktig og noe gjørmete.
Mellomtorv	H5	Noe omvandlet eller temmelig dyholdig torv, gjørmete. Vekststrukturen/planterester synlig, men noe utvisket. Ved pressing i hånden passerer noe torvsubstans mellom fingrene, men mest sterkt grumset vann. Pressingsresten er ganske sterkt grøtaktig og gjørmete.
	H6	Noe omvandlet eller temmelig dyholdig torv, gjørmete. Vekststrukturen/planterester er lite synlig og utydelig. Ved pressing i hånden passerer opptil en tredjedel av torvsubstansen mellom fingrene. Pressingresten er sterkt grøtaktig og meget gjørmete, men med tydeligere vekststruktur enn den upressede torv.
	H7	Mye omvandlet eller betydelig dyholdig torv, meget gjørmete. Vekststrukturen/planterester er lite synlig og utydelig. Ved pressing i hånden passerer opptil halvparten av torvsubstansen mellom fingrene og tykflytende væske. Pressingresten er sterkt grøtaktig og meget gjørmete, men med tydeligere vekststruktur enn den upressede torv.
Svarttorv	H8	Mye omvandlet eller sterkt dyholdig torv, meget gjørmete. Vekststrukturen/planterester er knapt synlig og meget utydelig. Ved pressing i hånden passerer opptil to tredjedeler av torvsubstansen mellom fingrene og tykflytende væske. Pressingresten er hovedsakelig fibrer som har god råtemotstand.
	H9	Nesten fullstendig omvandlet og nesten dyaktig torv, svært gjørmete. Vekststrukturen/planterester fremtrer svakt og er svært utydelig. Ved pressing i hånden passerer all torvsubstansen mellom fingrene som en homogen grøt.
	H10	Fullstendig omvandlet og nesten dyaktig torv, svært gjørmete. Vekststrukturen/planterester fremtrer ikke. Ved pressing i hånden passerer all torvsubstansen mellom fingrene som en homogen grøt.

Figur 3.3, vonPost skala.

Gjengitt fritt fra tolkning av *Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, Vedlegg 1 Jordklassifisering, Versjon mars 2005, erstatter versjon juli 1997, Statens vegvesen og Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk, Identifisering og klassifisering av jord, Melding nr 2 utgitt 1982, revidert 2011, Norsk Geoteknisk Forening*

Figur 3.3 er fritt gjengitt og omskrevet for å heve leservennligheten og praktisk bruk av skalaen. Dette er på grunn av at de to referansene gjengir skalaen med forskjellig tekst. For militære brukere er denne tabellen lettere å jobbe etter, med et forbehold om misforståelse av det som er gjengitt i referansene. Den grove inndelingen av torvtyper (*Fibertorv, Mellomtorv og Svarttorv*) til venstre i *Figur 3.3* er ofte gjengitt i litteraturen som bygger under denne studien.

I *Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder*, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988 omtales vonPosts skala som langt mer kompleks i opprinnelig bruk enn de ti forskjellige formoldningsgradene. Dette med hensyn til vanninnhold, fiberinnhold, rot tråder og vedinnhold. Hvor denne informasjonen finnes har ikke denne studien avdekket. Skalaen er ikke utviklet for styrkeklassifisering av torven, påpeker Carlsten.

Det er en interessant fremstilling av udrenert skjærfasthet i torv som er gjengitt i blant annet veiledningen fra *Vägbyggnad på torv, Vägverket-VBg*, Statens geotekniska institut, Vägledning 2, Peter Carlstén, 1989. Carlsten refererer til andres arbeid, og det er gjengitt en formel som empirisk har gitt følgende forhold som påvirker den udrenerte skjærfastheten.

$$\tau_{fu} = \frac{140}{w} \times (100 - 1.1R) \quad (3.1)$$

τ_{fu} = udrenert skjærfasthet [kPa]

w = vanninnhold [%]

R = Torvens formoldingsgrad

Formel (3.1) viser to forhold som påvirker udrenert skjærfasthet, vanninnholdet og torvens formoldingsgrad. Vanninnhold i torv har et stort spekter, dette kommer av at torv har en svært lav tørrdensitet i området 40 – 140 kg/m³. Dette gjør at vanninnholdet kan bli svært høyt og kan ligge i området 500-2000% ($w = \frac{m_w}{m_s}$) (tall hentet fra *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark*, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016). Første leddet i formelen (3.1) har derfor en stor påvirkning da leddet går fra en verdi på 0.28 – 0.07 hvis man kalkulerer med tallene hentet inn fra referansen. Dette er fire ganger innenfor spekteret vanninnhold i torv. Dette gjør vanninnholdet til en viktig faktor for å kunne tolke skjærfastheten i torv. Å avdekke hvor nære toppen av torven grunnvannspeilet ligger virker å være svært viktig ved rekognosering. Deretter hva formoldingsgraden av torven er. Nærmere bestemt vil dette beskrive hvor mye tekstur som massen består av i form av rotsystem og fiber. Dette for å finne R i det neste leddet i formel (3.1).

$$\begin{aligned}
 R &= 8H \text{ (for fibertorv)} \\
 R &= 20 + 3H \text{ (for mellomtorv)} \\
 R &= 6H \text{ (for svarttorv)}
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

H = nummeret i vonPost skala 1 – 10

Det andre leddet i formelen (3.1) forteller også at formoldingsgraden utgjør en stor andel av forholdene som gir den udrenerte skjærfastheten. Leddet til høyre i uttrykket (3.1) vil kunne variere med over tre ganger innenfor spekteret i skalaen fra vonPost. Ved en kalkulering med vonPost på H1 og $w = 700\%$ (minimum w i fibertorv) gir $\tau_{fu} = 18.24\text{kPa}$. Bruker man andre delen av skalaen med H10 og $w = 900\%$ (maksimum w i svarttorv) gir dette $\tau_{fu} = 5.29\text{kPa}$. Udrenert skjærfasthet i torv kan forventes å ligge mellom 5.29 – 18.24kPa med hensyn på uttrykket (3.1) og grunnlagstallene hentet fra *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark*, SGI Publikation 26, Statens geotekniske institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016.

Forskjellige områder med torv består av forskjellige planter og vanninnhold som gir varierende egenskaper. Dette vil sannsynligvis føre til at forskjellige myrer har en stor differanse i egenskaper. Derfor er muligens vanninnhold og skalaen til vonPost en for smal løsning når et torvområde skal vurderes for militær ferdsel.

Det tyder på at det er viktig å kjenne igjen karakteristikker ved terrenget, og hvilke egenskaper dette muligens gir torven. I en bok som er skrevet i Canada (*Muskeg Engineering Handbook*, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969) påpekes nettopp dette ved innledningen til kapittelet som heter «*Classification of Muskeg*». Det er en rekke forhold i omliggende terreng og vegetasjon som er med på å bestemme hvilke karakteristikk torven har. Det virker som de fleste karakteristikene til torv er gitt gjennom et botanisk perspektiv og at innholdet av materialet som en naturressurs er vektlagt.

Metodene som i denne studien refereres til som MacFarlane, er i tidligere og andre publikasjoner også referert til med navnet Radforth. Dette kommer av at dette er to som har jobbet om samme publikasjon, blant annet den nevnte boken.

MacFarlane forsøker å dekke et ingeniørperspektiv på torvens innhold. Ingeniørvurderinger er muligens tydeligere ved å se til hvordan MacFarlane kategoriserer torv. MacFarlane beskriver

to strukturelle egenskaper som gir mulighet for kategorisering av strukturen (*teksturen*) i torven. Den ene strukturen er granulater og den andre er fiber. Dette symboliseres kun som former, og ikke størrelse, retning eller kjemisk sammensetning. Verdien på disse to strukturelle verdiene angir ikke botaniske eller organiske forhold i denne sammenhengen. *MacFarlane* skriver at veldig små partikler i torv er kolloide partikler (10^{-9} - 10^{-6} m, eller 0.001 - 1 μm). Den varierende mengden av kolloide partikler er vanskelig å måle i felt, men *MacFarlane* påpeker at kolloidal tilstand må forventes i torv. Det vil si at deler av materialet i torv forblir flytende i vann (*kolloidal tilstand*). Ved denne opplysningen må det da også forventes suspensjon av partikler større enn 1 μm . Dette gjør at torv har en andel faststoff som flyter i vann. Det gjør muligens at en konvensjonell betegnelse som effektivtrykk ikke har samme effekt på torven som i andre jordarter.

Videre vil fiber i torven bety noe for de mekaniske egenskapene. Fibrene er rotsystem og røtter fra planter og vekster som skaper en tekstur. Fibrene i denne tekturen består av cellulose og noen av plantene inneholder varierende mengde med bindestoffet lignin. Det vil si at den vevde tekturen med fiber kan sies å bestå av cellulose (*non-woody*) og/eller lignincellulose (*woody*). En gradering og kategorisering av tekturen har stor betydning for mekaniske egenskaper, skriver *MacFarlane*. Videre bedyrer *MacFarlane* betydningen av botanisk kunnskap for å kunne presist bedømme egenskaper som non-woody, woody og graden av fiber i tekturen. Dette er i utgangspunktet kun en navngiving av hva som finnes i torven. Tekturen har betydning for evalueringen av bæreevne, komprimering, konsolidering, elastitet, porøsitet, permabilitet, kohesjon og strekkstyrke. Dette til tross for at det ikke finnes kjente metoder som definerer hva spesifikt som gir torven mekaniske egenskaper (*MacFarlane*). Komponentene i tekturen er fibrer og granulater, disse har variabel innvirkning på torvens mekaniske potensial. Den variable innvirkningen skriver *MacFarlane* at henger sammen med den tredimensjonale størrelsen av komponentene. Store komponenter representerer større styrke. Lange fibrer er sterkere enn korte fiber i samme materiale og tykkelse. Kolloide partikler vil reagere på sin måte, større partikler vil delta i torvens mekaniske «arbeid» skriver *MacFarlane*. De største komponentene i torv er gjerne trestammer og store biter fra trær. Hvis dette bare opptrer sporadisk kan dette kalles en «tilfeldig vedforekomst».

Den botaniske opprinnelsen til torven er selvsagt sporbar i torven. Det er viktig å skille på vegetasjon og torv. Vegetasjonen vil gi en indirekte indikasjon på hva som forventes i selve torven. For eksempel hvis vegetasjonen består kun av myrgress vil det sannsynligvis være

rotsystemet til myrgress og rester av dødt myrgress å finne i torven nedover. Dette gjør at ved hjelp av ortofoto eller et overblikk vil det være mulig å forvente noe om teksturen i torven.

Boken (*Muskeg Engineering Handbook, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969*) gjengir en kategorisering av torv og denne er her gjengitt i *Figur 3.4*, oversatt til norsk. I samme boken gjengis det svart-hvite eksempelbilder av hver enkelt kategori i tabellen. Bildene er avbildede torvprøver i tverrsnitt hvor en målestokk med millimetermål er vist. Disse bildene er et svært godt grunnlag for å se nærmere på kategoriene av torv og vurdere torvens kategori.

Fremherskende karakteristikk	Kategori	Navn
Amorf-granulat (struktureløs-)	1	Amorf-granulat torv
	2	Non-woody, finfibrig torv
	3	Amorf-granulat torv som inneholder non-woody finfibrig torv
	4	Amorf-granulat torv som inneholder woody finfibrig torv
	5	Torv, fremherskende amorf-granulat torv som inneholder non-woody finfibrig torv, omrammet av et woody finfibrig rammeverk
	6	Torv, fremherskende amorf-granulat torv som inneholder woody finfibrig torv, omrammet av et woody grovfibrig rammeverk
	7	Vekselvis lag med non-woody, finfibrig torv og amorf-granulat torv som inneholder non-woody finfibrig torv
Finfibrig	8	Non-woody, finfibrig torv som inneholder en del grovfiber
	9	Woody, finfibrig torv, omrammet av et woody grovfibrig rammeverk
	10	Woody partikler omrammet av finfibrig torv
	11	Woody og non-woody partikler omrammet av finfibrig torv
Grovfibrig	12	Woody, grovfibrig torv
	13	Grove fiber på kryss og tvers i finfibrig torv
	14	Woody og non-woody finfibrig torv omrammet av grovfibrig torv
	15	Woody teksture av fibre og partikler omrammer amorf-granulat torv som inneholder finfibrig torv
	16	Woody, grovfibrig torv som inneholder spredte vedrester
	17	Teksture av tettliggende trestammer og trerøtter omrammer grovfibrig torv med vedrester

Figur 3.4, Tabell for kategorisering av struktur i torv

Oversatt fra boken *Muskeg Engineering Handbook, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969*

Videre i boken skriver *MacFarlane* om hvordan vegetasjonen vil være til hjelp ved type-kategorisering av torv. I *Figur 3.5* vises en tabell fra boken, oversatt til norsk, som gir ni forskjellige vegetasjonsklasser.

Vegetasjons-klasse	Woody/ Non-woody	Høyde	Teksture	Vekst form
A	Woody	>5m	-	Trær
B	Woody	1.7 - 5m	-	Ungtrær eller dvergtrær eller busker
C	Non-woody	0.7 - 1.7m	-	Høyt, gress
D	Woody	<0.7m	-	Høyt, buskas eller dvergtrær
E	Woody	<0.7m	-	Lavt, buskas
F	Non-woody	<0.7m	-	Matter, tuver, eller flekker, noen ganger i berøring
G	Non-woody	<0.7m	-	Enkeltvis eller løs tilknytning
H	Non-woody	<0.1m	Læraktig til sprø	For det meste kontinuerlige matter
I	Non-woody	<0.1m	Myk eller fløyelsmyk	Ofte kontinuerlige matter, noen ganger i hauger

Figur 3.5, Tabell for klassifisering av vegetasjonen på torv

Oversatt fra boken *Muskeg Engineering Handbook, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969*

Figur 3.5 er til stor hjelp før torven skal rekognoseres og kategoriseres i henhold i til *Figur 3.4*. Tabellen er også ment i boken å kunne gradere hvor mye av hvilken vegetasjon som finnes i området. Dette gjøres ved at hvert område deles opp slik at det muliggjør å gi hvert delområde en bokstavkode på to til tre bokstaver (*Vegetasjonsklasser*). Det kan forekomme at vegetasjonsklassen også bare får en bokstavkode. Da er første bokstav den vegetasjonskategorien som er mest fremherskende, og neste bokstav er da mindre fremtredende, det samme for eventuelt siste bokstav. For vegetasjon som representerer mindre enn 25% av arealet vil det ikke settes inn i bokstavkoden. Bokstavkodene er et godt hjelpemiddel for videre vurdering av et område.

Boken (*Muskeg Engineering Handbook, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969*) gjengir en egenskapstabell, denne er med hensyn på relative egenskaper og svært nyttig å studere, se *Figur 3.6*.

Relative verdier for varierende egenskaper i torv							
	Skala 1 = størst	Skala 2 = middels	Skala 3 = minst				
Fremherskende karakteristikk	Vanninnhold	Naturlig permabilitet	Naturlig porefall	Naturlig enhetsvekt	Skjærstyrke	Strekfasthet	Kompressibilitet
Amorf-granulat (struktureløs-)	3	3	2	1	3	3	2
Finfibrig (Woody og Non-woody)	1	2	1	3	2	2	1
Grovfibrig (Woody)	2	1	3	2	1	1	3

Figur 3.6, Tabell for relative egenskaper i torv

Oversatt fra boken *Muskeg Engineering Handbook*, University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969

Hvis det kan gjøres sammenligninger på forskjellige publikasjoners kategorisering av egenskaper i torv vil det være nyttig å se på de egenskapene som direkte påvirker styrkeparametere. Det er påpekt i flere publikasjoner at egenskapene til torv forventes å være skiftende med hensyn på spesielt breddegrad, men også geografisk sted (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark*, SGI Publikation 26, Statens geotekniske institutt, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016). Forskjellige land kan også ha forskjellige forhold på samme breddegrad. Dette er viktig å ha i mente når sammenligninger gjøres.

Samtidig er det skrevet at torvtyper som er sedentære (skapt og blivende på samme sted) og sedimentære (oppbygd via transport og avlagring) har forskjellige egenskaper. Det antydes at disse forskjellene utgjør forskjellig askeinnhold i torven og at sedentære torvtyper inneholder meget lavt askeinnhold. Meget lavt askeinnhold (sedentære, <20% aske) regnes å være «vanlig» nordisk torv, dette gir sammenhengen med svært lav tyngdetetthet. MacFarlane sine kategorier omhandler sedentære torvtyper (*Torv –geotekniske egenskaper og byggmetoder*, Statens geotekniske institutt, Peter Carlsten, Linköping 1988). Sedimentære torvtyper har egenskaper denne studien ikke har avdekket, men det antas at dette har lignende egenskaper som og torvjord (*Torv –geotekniske egenskaper og byggmetoder*, Statens geotekniske institutt, Peter Carlsten, Linköping 1988). Metodene som er beskrevet i denne studien regnes for å være sedentære og dermed med meget lavt askeinnhold.

Det er flere sammenfattede kategoriseringer av torv i *Torv –geotekniske egenskaper og byggmetoder*, Statens geotekniske institutt, Peter Carlsten, Linköping 1988. Det refereres til en russisk torvhåndbok, tabellen er oversatt og gjengitt i Figur 3.7.

H (vonPost)	R (Formoldningsgrad) [%]
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25-30
6	35
7	45
8	55
9	65
10	

Figur 3.7, Tabell som angir formoldningsgrad i forbindelse med vonPost skala.

Opprinnelse fra russisk torvhåndbok. Oversatt og gjengitt fra *Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder*, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988

Figur 3.7 viser en forventet formoldningsgrad ved hvert trinn i vonPost sin skala. Denne figuren har ingen sammenheng med uttrykkene i (3.2). Tabellen kan være til hjelp for å demonstrere formoldningsgrad og vonPost sin skala.

En annen kategorisering som er gjengitt viser til en inndeling med hensyn på torvens kapasitet til å oppta vann. Denne vises i Figur 3.8.

T_w [%]	Type torv
200 - 500	Torvjord
500 - 900	Svarttorv
900 - 1400	Mellomtorv
1400 - 2500	Fibertorv

Figur 3.8, Tabell som deler inn torvtyper ut i fra evnen til å ta opp vann.

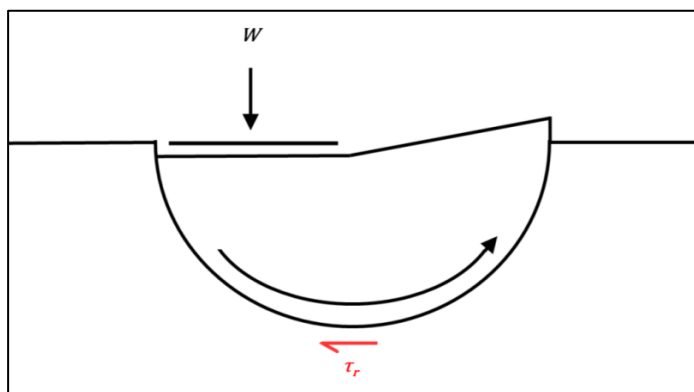
Oversatt og gjengitt fra *Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder*, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988

3.1.1 Delkonklusjon typeidentifisering av jordarten

Ved å se forskjellige publikasjoner og et mangfold av inndelinger og kategoriseringer av torv er det et stort rom for tolkninger. Dette gjør at det antagelig er vanskelig å kategorisere torv og gjøre dette med høy grad av nøyaktighet. På grunn av at nøyaktigheten ved kategorisering er forholdsvis rom og feltprøver er grove. Dermed vil en militær kategorisering av torv måtte følge en veldig fast og enkel rutine. En fast og enkel rutine vil muligens påvirke graden av unøyaktigheter. En grov inndeling av mangfoldet vil muligens gi en militær kategorisering mer effekt. Dette fordi enkelhet og tydelige definisjoner kommuniserer raskere og vil dernest kunne gi raskere metoder. Ved begge forhold, fastsatte rutiner og grov inndeling, er det viktig med konservative løsninger. Konservative løsninger vil muligens hindre at uønskede hendelser skjer med hensyn på grovt feltarbeid og feilaktige vurderinger. En kategorisering av torven er sannsynligvis mulig med et teoretisk grunnlag og manuelt, enkelt utstyr.

3.2 Jordartens fasthet

Når leire belastes vil det oppstå deformasjoner og glideflater inntreffer. Dette kan kalles et glidelegeme, se *Figur 3.9*. Jordartens motstandsevne til ikke å bryte sammen er jordartens fasthet. Hvis jordartens skjærfasthet motstår skjærbrudd i glideflaten er skjærspenningen mindre enn selve skjærfastheten (*Geoteknikk 1, Jordartens fysiske egenskaper, Universitetsforlaget, Tarald Rørvik 1991*).



Figur 3.9, Bruddmekanisme General Shear.

Tegnet med utgangspunkt fra *SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000* og *Geoteknikk 1, Jordartens fysiske egenskaper, Universitetsforlaget, Tarald Rørvik 1991*

Dette er det som i delkapittel 3.3 *Bæreevne* omtales som *General Shear*. Det er også der beskrevet en annen bruddmekanikk på torv. De fleste publikasjoner refererer til skjærstyrken i torv under temaet fasthet. Skjærfastheten i torv er svært varierende og publikasjonene gjennomgått i denne studien viser til at det er svært vanskelig å måle torv med etablerte laborietester og feltmålestyr. I en «state-of-the-art» rapport i Sverige (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*) oppsummeres dette slik;

«... Det saknas metoder för att på ett relevant och tillförlitligt sätt bestämma hållfasthet i torv. Hur definiera hållfasthet och hur bestämma hållfasthet? Använda konventionella hållfasthetsparametrar, odränerad skjuvhållfasthet och friktionsvinkel, och/eller utveckla nya hållfasthetsparametrar? Sannolikt behövs ett nytt teoretiskt ramverk tas fram för att förklara och förutsäga hållfasthet hos torv tillsammans med utvecklingen av ny försöksutrustning för bestämning av bland annat friktionsvinkel (eller annan hållfasthet-sparameter). ...»).

Dette sitatet stemmer godt overens med publikasjonene denne studien har gått igjennom. Det er indikasjoner i litteraturen om at det kan forventes en udrenert skjærfasthet mellom 5.29 – 18.24kPa (se 3.1 *Typeidentifisering av jordarten*). Det skrives at friksjonsvinkelen i torv ligger på ca 30° (*Skjuvhållfasthet –utvärdering i kohesjonsjord, Information 3, Statens geotekniska institut, Rolf Larsson, Göran Sällfors, Per-Evert Bengtsson, Claes Alèn, Ulf Bergdahl og Lei Eriksson, Linköping 2007*). Dette skrives i sammenheng med at torv med høy permabilitet vil gjøre drenert skjærfasthet relevant. Torv med fiber krever store tøyninger før en skjærkraft mobiliseres. Det er fordi torv er et inhomogent og anisotropt materiale, dette med hensyn på fibrer i ulike størrelser og retninger. Det som åpenbart gjør at torv er vanskelig å måle er at målemetodene er utviklet for andre jordarter med andre egenskaper. Kohesjons- og friksjonsjordarter lar seg som regel måle og bedømme ved konvensjonelle laboratorie- og feltprøver. De samme prøvemethodene i torv gir mye større usikkerhet i målingene og det er flere publikasjoner som påpeker dette indirekte og direkte. At drenert skjærfasthet hvor friksjonsvinkel og kohesjon er drivende faktorer virker ikke som en brukbar metode for militære feltprøver. Den udrenerte skjærfastheten derimot, virker i første omgang mer som en brukbar metode med hensyn til at denne måles enklere i felt. Men ved bruk av håndholdte Cone Penetration Test (CPT) apparater og vingebor viser det seg at resultatene er sterkt misvisende (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*). Ved målinger av udrenert skjærfasthet i Holland er det påvist at målte verdier varierer mellom 4-20kPa avhengig av hvilke tester og hvordan testene utføres (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*). Skjærfastheten varierer stort med hensyn på torv fra sted til sted, men også verdiene fra forskjellige målemetoder viser stor spredning. Derfor er de karakteristiske verdiene for skjærfasthet i torv svært usikre og bør benyttes med forsiktighet (*Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988*).

Det vi kan lese ut av litteraturen er at skjærfastheten avtar med økt vanninnhold og økt formoldningsgrad (*Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988*). Videre vil skjærfastheten øke ved økt effektivspenning som følge av konsolidering. Dette henger sammen med poretalet som synker ved konsolidering; lavere poretalet gir økt trykk rundt fibrene i torven og øker skjærfastheten (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*). Det vil si at skjærfastheten avhenger av vanninnhold, formoldningsgrad og poretalet.

Carlsten refererer til andre og skriver at strukturen i fibertorv minner mer om et tekstil enn et homogent jordmateriale og derfor vil ikke laboratorieprøvene passe for torv (*Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988*).

I *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016* angis det at på NTNU i Norge og Deltares i Holland pågår utviklingsarbeider hvor fibrenes betydning i torv studeres. Denne studien har ikke avdekket resultater fra disse arbeidene.

3.2.1 Delkonklusjon jordartens fasthet

Torv er svært forskjellig fra andre jordarter. Denne studien har til nå gjennomgått litteratur fra 1969 til 2016 og det er uklart hvilke karakteristiske styrkeparametere torv har. Det vil si at det ikke foreligger et godt tallmateriale i denne studien til å gi torv en skjærfasthet som vil muliggjøre gode og konservative kalkulasjoner av bæreevne. Teoretisk foreligger et spenn på udrenert skjærfasthet på mellom 5.29 – 18.24kPa. Litteratur gjengir 4-20kPa som målte verdier.

Det er trolig at det gjengitte sitatet i «state-of-the-art» rapporten fra Sverige (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*, gjengitt ovenfor) spør betimelige spørsmål;

Skal konvensjonelle fasthetsparametere benyttes på torv? Skal det utvikles nye fasthetsparametere? Rapporten svarer på dette med å konkludere med at det kreves et nytt teoretisk rammeverk som forklarer og forutsier fasthet på torv.

Når det er slik at skjærfastheten i torv er usikker å måle og benytte til kalkulasjoner, vil det allikevel være nyttig å belyse forhold som har vist seg å påvirke skjærfastheten; Økt skjærfasthet ved lavere vanninnhold, ved økt effektivspenning (konsolidering), lavt poretrykk og lav formoldingsgrad.

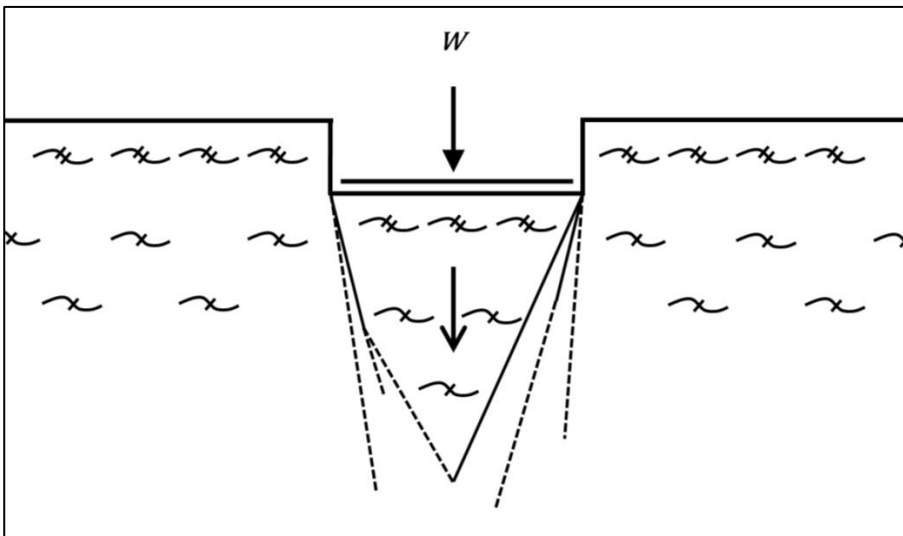
Denne studien kommer ikke nærmere karakteristikkene for fastheten i torv. Litteraturen indikerer at fastheten ikke lar seg definere med konvensjonelle parametere og at videre forskning er påkrevd. Denne studien vil derfor lete videre etter andre metoder for feltprøver hvor målinger gir verdier som igjen kan nyttes til å predikere mobilitet.

3.3 Bæreevne

I boken *SOIL MECHANICS* av Graham E. Barnes (2000) er det angitt en beskrivende figur. Den beskriver forskjellige bruddmekanikker (*General Shear*, *Local Shear* og *Punching Shear*) og i hvilke jordarter disse typisk vil kunne forekomme. *General Shear* og *Local Shear* er velkjente figurer fra grunnleggende geoteknikk. *General Shear* beskriver det som tidligere er nevnt med at det oppstår et glidelegeme når skjærspenningen overskrider skjærfastheten (Figur 3.9). Denne bruddformen foregår i jordarter som er lite kompressible, veldig kompakt sand og vantrukken leire (*SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000*). *Local Shear* beskriver en litt annen bruddmekanisme for jordarter som er kompressible, der glidelegemet ikke hever omliggende terreng. Glidelegemet komprimerer underliggende grunn ned og ut til sidene. Dette forekommer i for eksempel moderat komprimert sand (*SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000*).

Bruddmekanikken for *Punching Shear* er ikke mye omtalt i litteraturen fra grunnleggende geoteknikk. Figur 3.10 er tegnet med utgangspunkt i den omtalte figuren i fra kapittelet som heter *Bearing capacity* (*SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000*) og viser *Punching Shear*. Jordartens bruddmekanisme med hensyn til vertikale laster vil kunne forløpe som Figur 3.10. I denne studien er det innledningsvis gjennomlokking (*Punching Shear*) av torven som er interessant. Boken (*SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000*) angir i henhold til figuren at det kun er utledet et uttrykk for bruddmekanismen kalt *General Shear*. Denne bruddmekanismen er som sagt godt kjent men vil anse jordarten som ikke kompressibel. *Punching Shear* forekommer typisk i veldig kompressible jordarter som veldig løs sand, delvis vantrukken leire og torv.

Torv er meget kompressibel, spesielt ved statiske langtidslaster. Grenser for gjennomlokkingen av torv er svært krevende å forutse, hovedsakelig fordi skjærfastheten er vanskelig å måle med dagens laboriemetoder (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*). Dette er også behandlet under delkapittelet 3.2 *Jordartens fasthet*. Det er viktig å merke seg at det i Holland er gjort oppskalerte bruddtester med containere på torv. Observasjonene viser forskjellige bruddmønstrene og det har vært og vanskelig å finne en årsaksforklaring (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*).



Figur 3.10, Bruddmekanisme *Punching Shear*.

Tegnet med utgangspunkt fra *SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition, Graham E. Barnes 2000* og *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk, Identifisering og klassifisering av jord, Melding nr 2 utgitt 1982, revidert 2011, Norsk Geoteknisk Forening*

Det finnes imidlertid ligninger og formler for gjennomlokking, også av torv. I boken *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong (2010) gjengis følgende formel;

$$p_p = \frac{2\pi b t_o \tau_r + \pi b^2 p''}{\pi b^2} \quad (3.3)$$

p_p = *punching pressure, gjennomlokkingstrykk*

b = *radius på trykkplate*

t_o = *tykkelsen på torvmatte*

τ_r = *torvmattens skjærfasthet*

p'' = *Reaksjonstrykk fra underliggende lag*

Dette er i forbindelse med forsøk for kun å påvise fysiske karakterer, det presiseres i boken at intensjonen med forsøkene IKKE er å kunne gi et statistisk grunnlag for analyse av bæreevne. Denne presiseringen i boken gir ytterligere en sterk indikasjon om at store usikkerheter opptrer i

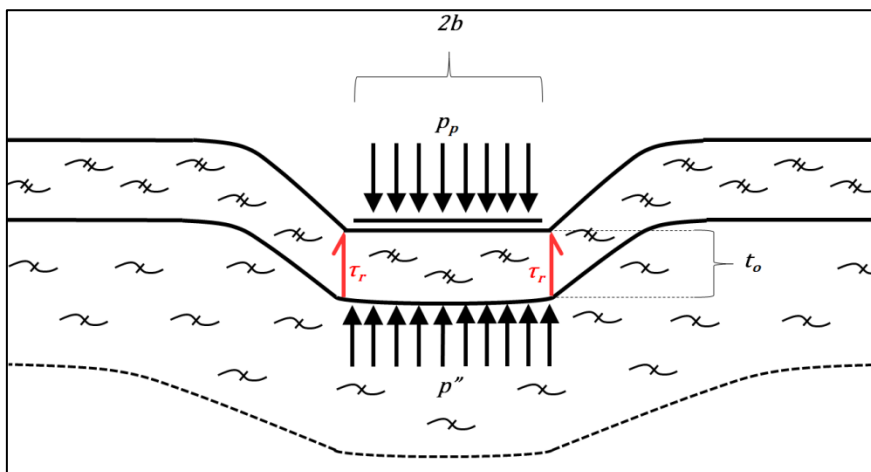
forsøk på torvs bæreevne. Formelen (3.3) er benyttet for å måle belastning av «Muskeg» og å måle nedsynkningen av en plate hvor last påføres.

Ved måling av myke grunnforhold kan «bevameter» benyttes for å presse belastningsplater mot underlaget (*Terrain Characterization for Trafficability*

US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory (CRREL), CRREL Report 93-6, Sally A. Shoop, June 1993).

Bevameter er utviklet for å måle myke underlag som jordarter og snø, utviklet av Bekker, Mieczysław Gregory (1905–1989) (*Bekker's Terramechanics Model for Off-road Vehicle Research, US Army TARDEC, Sean Laughery, Grant Gerhart, Richard Goetz, (1990)*).

I sammen med formel (3.3) gjengis en skisse, lignende den i Figur 3.11;



Figur 3.11, Skjærkraft i torvmatte.

Tegnet med utgangspunkt fra *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong 2010 og *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk, Identifisering og klassifisering av jord, Melding nr 2 utgitt 1982, revidert 2011, Norsk Geoteknisk Forening*

Figur 3.11 viser opprisset av en sirkulær plate som presses ned i torven. Nøkkelverdiene på skissen er τ_r og p'' . Formelen angis for en sirkulær plate og omskrives her for lettere å gi mening for gjennomlockingsteori og for leserens inngangsinformasjon for videre lesing, se formel (3.4).

$$p_p = \frac{(L \times t_o \times \tau_r) + (A \times p'')}{A} \quad (3.4)$$

p_p = punching pressure, gjennomlッキングstrykk

L = Omkretsen av belastningsflaten, randen

t_o = tykkelsen på torvmatten

τ_r = torvmattens skjærfasthet

A = Arealet av belastningsflaten

p'' = Reaksjonstrykk fra underliggende lag

Denne fremstillingen er enkel og vil kunne håndteres som et teoretisk grunnlag for militære brukere av torv som bæredekk. Modellen viser en «torvmatte» som ligger på gytje/dy, dette modellerer et samspill mellom bestanddelene som virker bærende. Utfordringen er i utgangspunktet å finne torvmattens skjærfasthet (τ_r) og å bestemme reaksjonstrykket fra underliggende torv lag (p''). Videre vil forholdet mellom arealet ($A = l \times b$) i avlange lastflater (lange belteaggregat) og randen av belastningen L utgjøre forhold som muligens bør justeres hvis τ_r og p'' er påvist.

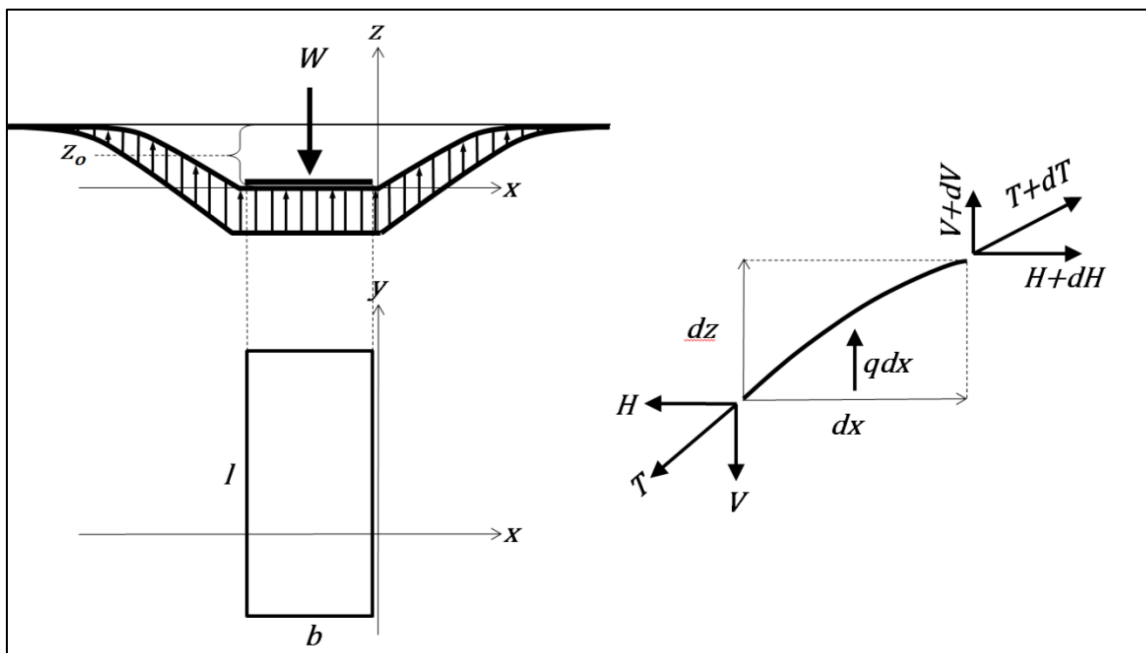
I boken *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong (2010) er det et kapittel som heter *4 Characterization of the Response of Terrain to Normal and Repetitive Loadings* og derunder følgende delkapittel *4.2 Response of Muskegs*. Boken gjengir fysisk testing av to forskjellige områder av «Muskegs». Test områdene har blitt klassifisert i henhold til både *MacFarlane* vegetasjonsklasse, - torvkategori og *vonPosts* skala. Dette er tester som benytter et kjøretøy montert bevameter med både rektangulære og sirkulære plater som presses ned mot underlaget i to forskjellige men konstante hastigheter (2.5 og 10 cm/s). Det logges nedsynkning, kraft og når torvmatten gir etter og «revner» (brudd). Forsøkene søker å påvise fysiske karakteristikk til «Muskegs». I forhold til selve testen er det plottet en trykk- og nedsynkningskurve som viser forholdet mellom p [kN/m^2] og z_o [cm], se *Figur 3.14*.

Videre utreder *Wong* et matematisk «forslag» som også viser til hvordan testen kan kalkuleres og modelleres. Dette er med bakgrunn i at *Wong* påstår at skjærstyrken i torv ofte viser seg å være lavere enn målt og at dette gjør det instruktivt å se etter andre karakteristikk. Det er derfor nyttig å se nærmere på torvmattens strekkegenskaper påstår *Wong*. Dette underbygges av masterkandidatens egne observasjoner i felt hvor torvmatten revner langsmed og utenfor

kjøretøysporet når kjøretøy kjører torv til brudd.

Dette er også omtalt i *Erfarenheter av byggmetoder på torvmark*, SGI Publikasjon 26, Statens geotekniske institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016 ved lasttesting av vegkonstruksjoner og trykkbanker (motfylling) på torv, hvor bruddet i torven skjer utenom belastningsflaten.

For avlange rektangulære laster foreslår Wong å anse problemet som todimensjonalt og benytter følgende skisser for å utlede dette;



Figur 3.12, Strekk i torvmatte.

Tegnet med utgangspunkt i *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*

Figur 3.12 viser til venstre et tverrsnitt av et avlangt lastbilde hvor $l \gg b$, z -aksen definerer vertikal høyde og x -aksen definerer horisontal bredde. z_0 viser nedsynkningen av platen. Til høyre i Figur 3.12 vises et segment av torvmatten i z - x planet. T i denne skissen representerer strekkraften langs torvmatten og q er reaksjonstrykket fra underliggende torv lag. Med hensyn til at lasten er vertikal indikerer Wong at dH ikke varierer langs torvmattens flate med annet enn

last variasjoner. Den vertikale komponenten V av T er da lik q per dx (segment-bredden av platen). Her følger en gjengitt og oversatt forståelse av det matematiske forslaget til Wong.

$$dH = 0, \quad dV = -qdx \quad (3.5)$$

Wong antar at q er proporsjonal med deformasjonen i underliggende lag med torv og gir;

$$q = k(z_0 - z) \quad (3.6)$$

Notasjonen synes ikke å være nødvendig da z_0 er en avstand, men denne notasjonen er viktig for videre utledning til uttrykk (3.8). k er en koeffisient som angir stivheten i torvens underliggende lag. Torvmatten opprettholder strekk tangentielt med overflaten og forholdet mellom horisontale og vertikale strekk-komponenter er;

$$\frac{V}{H} = \frac{dz}{dx} \quad (3.7)$$

Der $z(x)$ er en funksjon som beskriver profilen av torvmatten vist i skissen av torvmatten til venstre i *Figur 3.12*.

Kombineres $dH = 0$ og $\frac{V}{H} = \frac{dz}{dx}$ vil det kunne modelleres en andre ordens differensialligning som beskriver profilen til torvmatten som blir belastet. Hvordan modelleringen er foretatt har ikke denne studien avdekket.

$$H \frac{d^2z}{dx^2} = k(z - z_0) \quad (3.8)$$

Ved å innføre dimensjonsløse koordinater kan denne ligningen omskrives.

$$\bar{x} = \frac{x}{z_0}, \quad \bar{z} = \frac{z}{z_0} \quad \xrightarrow{dvs} \quad x = \bar{x}z_0, \quad z = \bar{z}z_0 \quad (3.9)$$

Setter inn de dimensjonsløse variablene;

$$\begin{aligned} H \frac{d^2(\bar{z}z_0)}{d(\bar{x}z_0)^2} = k(\bar{z}z_0 - z_0) &\xrightarrow{dvs} \frac{H d^2(\bar{z}z_0)}{kz_0^2 d\bar{x}^2} = \bar{z}z_0 - z_0 \xrightarrow{dvs} H \frac{d^2\bar{z}}{kz_0^2 d\bar{x}^2} = \frac{\bar{z}z_0 - z_0}{z_0} \\ &\xrightarrow{dvs} H \frac{d^2\bar{z}}{kz_0^2 d\bar{x}^2} = \bar{z} - 1 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Wong skriver at observasjoner har tydeliggjort en sammenheng mellom profilen i torvmatten ved forskjellige nedsynkninger fra varierende laster. Dette gjør at *Wong* skriver $\frac{H}{kz_0^2}$ som en konstant. Ved å la $\frac{H}{kz_0^2} = m^2$ kan *Wong* skrive om siste ligning (3.10) til (3.11);

$$m^2 \frac{d^2\bar{z}}{d\bar{x}^2} = \bar{z} - 1 \quad (3.11)$$

Videre skriver *Wong* at m er som en karakteristisk parameter som angir responsen til torvmatten på den underliggende torven med hensyn til en normal kraft. Løsningen på denne andre ordens differensialligningen er kun gjengitt da denne studien ikke har avdekket den matematiske fremgangsmåten;

$$\bar{z}(\bar{x}) = C_1 \exp\left(\frac{\bar{x}}{m}\right) + C_2 \exp\left(-\frac{\bar{x}}{m}\right) + 1 \quad (3.12)$$

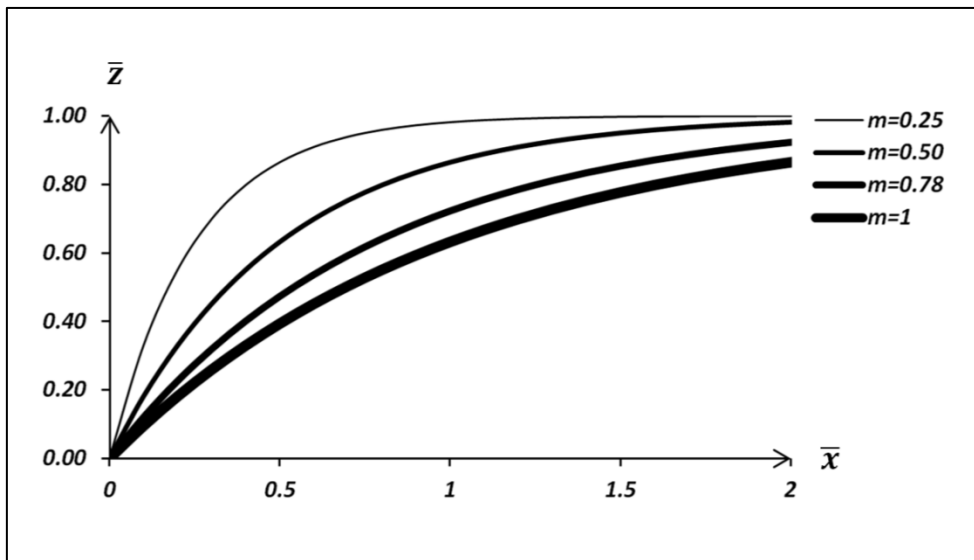
Her er C_1 og C_2 integrasjons konstanter som avhenger av grenseverdier. I dette tilfellet setter *Wong* grenseverdiene til $\bar{x} = 0$ og $\bar{z} = 0$;

$$\lim_{\bar{x} \rightarrow \infty} \bar{z} = 1 \quad \text{og} \quad \lim_{\bar{x} \rightarrow \infty} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = 0 \quad (3.13)$$

Disse grensene gir $C_1 = 0$ og $C_2 = -1$, *Wong* gir derfor torvmattens profil under last følgende uttrykk;

$$\begin{aligned} \bar{z}(\bar{x}) &= 0 \exp\left(\frac{\bar{x}}{m}\right) + -1 \exp\left(-\frac{\bar{x}}{m}\right) + 1 \xrightarrow{dvs} \bar{z}(\bar{x}) = 0 - 1 \exp\left(-\frac{\bar{x}}{m}\right) + 1 \\ &\xrightarrow{dvs} \bar{z}(\bar{x}) = 1 - \exp\left(-\frac{\bar{x}}{m}\right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Dette er en eksponential funksjon og her tegner *Wong* opp en graf som ligner *Figur 3.13*.



Figur 3.13, Karakteristiske parameteret m .

Tegnet i MS Excel med utgangspunkt i *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*

Figur 3.13 kan være gunstig for å studere sammenhenger med torvmattens profil ved forskjellig m - og z_0 -verdier. Disse grafene må ikke forveksles med strekktangenten vist til høyre i *Figur 3.12*.

Fra høyre side i *Figur 3.12* vil tilstandsligningen av den avlange belastningsflaten ($l \gg b$) bli gitt slik (skriver Wong);

$$W = blq \Big|_{x=0} + 2lV \Big|_{x=0} \quad (3.15)$$

$W = \text{påført last [kN]}$

$b = \text{lastflatens bredde [m]}$

$l = \text{lastflatens lengde [m]}$

$V = \text{den vertikale strekkkomponenten i torvmatten [kN]}$

I denne ligningen representerer leddet $\left[blq \Big|_{x=0}\right]$ reaksjonstrykket fra underliggende torv lag og leddet $\left[2lV \Big|_{x=0}\right]$ representerer den vertikale kraftkomponenten av strekket i torvmatten (se *Figur 3.12*).

Videre med hensyn på uttrykkene (3.6), (3.7) og (3.14) vil *Wong* sette opp følgende sammenhenger;

$$q \Big|_{x=0} = kz_o \tag{3.16}$$

$$V \Big|_{x=0} = H \frac{dz}{dx} \Big|_{x=0} = H \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = kmz_o^2$$

Wong substituerer deretter sammenhengene i uttrykkene (3.6) og (3.16) inn i (3.15) og forholdet mellom påført last W og nedsynkning z_o blir (hvordan dette matematisk gjennomføres er ikke avdekket i denne studien);

$$W = kz_o lb + 2mkz_o^2 l \tag{3.17}$$

$W = \text{påført last [kN]}$

$k = \text{stivheten av underliggende lag [kN/m}^3\text{]}$

$z_o = \text{torvmattens nedsynk under lasten [m]}$

$l = \text{lastflatens lengde [m]}$

$b = \text{lastflatens bredde [m]}$

$m = \text{parameter som karakteriserer last – responsen mellom torvmatten og underliggende torv}$

Dette gir ved å se på belastningsflaten som trykk;

$$p = \frac{W}{lb} = kz_o + \frac{2mkz_o^2}{b} = kz_o + \frac{2m_m z_o^2}{b} \quad (3.18)$$

$$p = \text{påført trykk} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$m_m = mk \quad (3.19)$$

Ved belastninger hvor lastflaten har en bredde som er mer lik lengden vil Wong anbefale disse formelene;

$$W = kz_o A + 2mkz_o^2 (l + b) = kz_o A + 2m_m z_o^2 L \quad (3.20)$$

$$W = \text{påført last} [kN]$$

$$L = \text{Omkretsen av belastningsflaten, randen} [m]$$

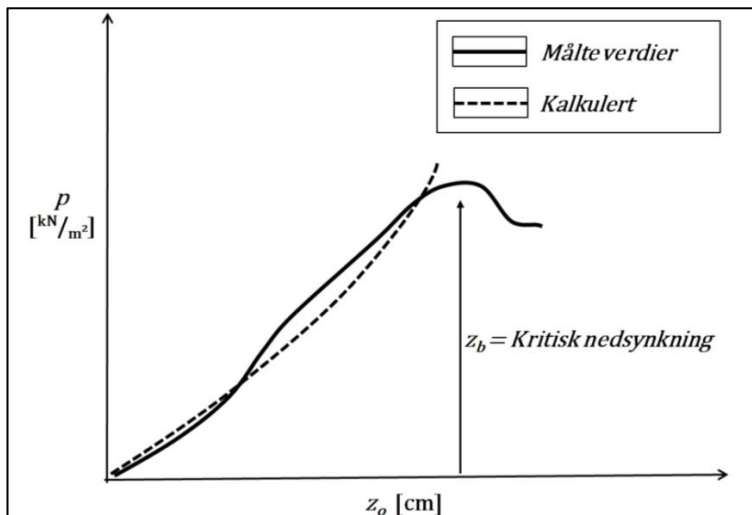
$$p = kz_o + \frac{2m_m z_o^2 L}{A} = kz_o + \frac{4m_m z_o^2}{D_h} \quad (3.21)$$

$$p = \text{påført trykk} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$D_h = \frac{4A}{L} = \text{hydraulisk diameter} [m]$$

Fomlene (3.20) og (3.21) gir også muligheten til å regne ut for sirkulære trykkplater.

Den tidligere omtalte trykk- og nedsynkningskurven er her vist i *Figur 3.14* og viser også hvordan *Wong* benytter «minste kvadraters metode» for å lage en trendlinje.



Figur 3.14, Trykk- og nedsynknings-kurve.

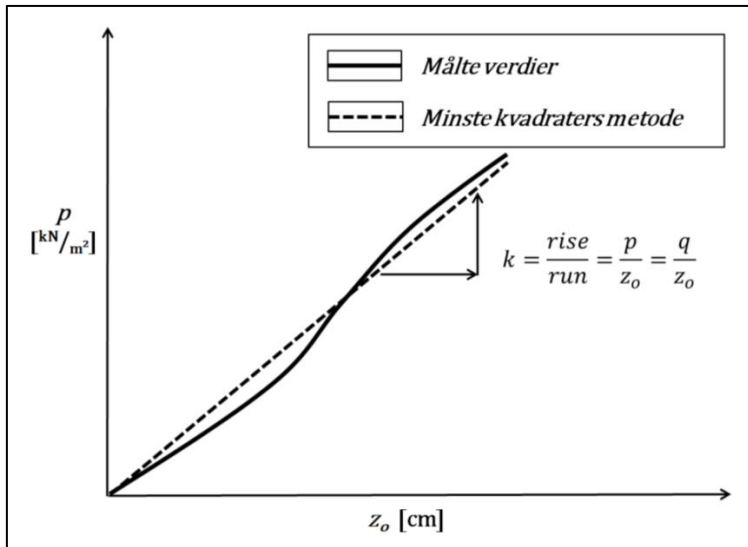
Tegnet med utgangspunkt fra *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*

I uttrykkene for p ((3.18) eller (3.21)) er det tre drivende egenskaper som er utfordrende å få på plass. m , k og z_b er tidligere omtalt som;

m -et karakteristisk parameter på last-responsen mellom torvmatten og underliggende torv
 k -en koeffisient som angir stivheten fra torvens underliggende lag.

Både m_m (hvor $mk = m_m$) og k kan kalkuleres ut fra en trykk- og nedsynkningskurve med datakraft skriver *Wong*. Hvordan dette utføres kommer ikke klart frem i teksten til *Wong*.
 z_b -den kritiske nedsynkningen hvor torvmatten revner.

For å verifisere denne kalkulerte stivheten k utføres en egen test for å måle kun stivheten i underliggende lag. Dette utføres ved at torvmatten sages av i 30 cm dybde i randen av belastningsplaten og det utføres en egen trykk- og nedsynkningstest med bevameter. Dette resulterer i en annen trykk- og nedsynkningskurve hvor *Wong* lager en lineær trendlinje med minste kvadraters metode, se *Figur 3.15*.



Figur 3.15, Trykk- og nedsynknings-kurve for stivhetsmåling.

Tegnet med utgangspunkt fra *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*

Stigningen på den lineære stippled trendlinjen (Figur 3.15) definerer stivheten i torvens underliggende lag k . Dette er en svært logisk og praktisk metode med hensyn på uttrykkene for p ((3.18) eller (3.21)). Fordi leddet til høyre i uttrykkene settes til null på grunn av at torvmatten sages av. Dermed er k gitt i;

$$k = \frac{p}{z_o} = \frac{q}{z_o} = \text{stigningen i Figur 3.15}$$

Resultatene fra disse testene presenterer Wong i en tabell, den gjengir de kalkulerte verdier for de forskjellige belastningsplatene (sirkulære og rektangulære). Størrelser på disse og hvilke hastigheter platene er presset ned i torven er også oppgitt. De kalkulerte verdiene er prosessert med datakraft og gir verdiene k og m_m . Kritisk nedsynkning (z_b) og resultater fra stivhetsmålingen av underliggende lag (en kontrollmålt k) står også oppført. Verdiene oppgis med både gjennomsnittsverdier og standardavvik. Denne fremstillingen er massiv, men også litt uklar. Det kommer ikke klart frem hvilket $\pm \% \text{ std. avvik}$ som angis i tabellen som standardavvik av hvilke utvalg ($\pm\sigma \Rightarrow 68\%$, $\pm 2\sigma \Rightarrow 95\%$, $\pm 3\sigma \Rightarrow 99,7\%$). Ved videre lesing er det forutsatt at det er $\pm\sigma \Rightarrow 68\%$ som er angitt i tabellene.

Wong skriver også om sine observasjoner av de utførte testene. Testene er utført i et begrenset omfang, men gir gode indikasjoner på at modelleringen er vellykket. Her følger et sammendrag av det Wong har observert;

- a) Resultatene for k og m_m varierer, dette er forventet ved feltmålinger. Nitten tester med tre forskjellige sirkulære belastningsplater og tretten tester med tre forskjellige rektangulære belastningsplater er utført. Men både gjennomsnittet innen hver belastningsplate og gjennomsnittet av alle sirkulære og rektangulære plater er sammenfallende. Wong konkluderer med at uttrykkene for p ((3.18) eller (3.21)) kan forutsi trykk- og nedsynkning i torv med forskjellige belastningsplater på et bevameter.
- b) Resultatene for k og m_m varierer mye med bruk av forskjellige belastningsplater. For eksempel variasjonene for k mellom prøver fra sirkulære belastningsplater med radius på 5cm (407 kN/m^3), 7.5cm (374 kN/m^3) og 10cm (290 kN/m^3) ved 2.5 cm/s nedtrykningshastighet, er hele 29% (5-10cm) og 22% (7.5-10cm). Denne betydelige forskjellen skriver Wong at er normal ved slike feltprøver, blant annet på grunn av torvens skiftende egenskaper fra punkt til punkt. Wong påpeker at minste og største k for sirkulær belastningsplate med 5cm i radius har et større spenn enn større sirkulære plater på 7.5cm og 10cm. Ved å se nærmere på resultatene til Wong vil det være fornuftig å regne ut det relative standardavviket for k og m_m ($\frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{\text{Std.avvik}}{\text{Gj.snitt}}$) for å øke leservennligheten. Det ser ut til at det relative standardavviket synker ved bruk av større belastningsplater. Denne observasjonen henger sannsynligvis sammen med at torven er et inhomogent og anisotrop materiale (se 3.2 *Jordartens fasthet*). Men noen av målingene til Wong viser motsatt trend. Dette kan forklares med at torvens uregelmessige egenskaper innenfor belastningsplatenes areal får mindre effekt på testresultatet ved større plater. Dette underbygges av den observasjonen at størrelsene på testinstrumenter har vist seg å påvirke måleresultatene på torv.

(*Muskeg Engineering Handbook University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969*, spesielt med hensyn på størrelser og utforming av vingebor. (*Erfarenheter av byggmetoder på torvmark, SGI Publikation 26, Statens geotekniske institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016*) med hensyn til oppskalerte skjærbokser og container-laster til brudd på torv.

Wong påpeker at størrelsene på belastningsplatene bør være gjenstand for videre forskning. I mellomtiden anbefaler Wong at belastningsplatene bør simulere belastningen

man forsøker å klassifisere for.

Dette underbygges av antydninger som at belastningsplaten til et bevameter bør simulere hjulets berøring med torven. For beltekjøretøy bør belastningsplaten simulere beltets lenke eller lenker som utgjør trykktoppene fra løpehjulene (*Terrain Characterization for Trafficability, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory (CRREL), CRREL Report 93-6, Sally A. Shoop, June 1993*).

- c) Resultatene for k øker med økt nedsynkningshastighet (fra 2.5 til 10 cm/s). Dette antar Wong at kommer av vannet i torven øker motstanden ved økt hastighet på nedsynkningen. Det er også i denne forbindelse viktig å legge merke til at m_m ikke endres nevneverdig ved hastigheten på nedsynkningen. Det vil si at ved økt nedsynkningshastighet vil torvmatten ta opp mindre av lastens størrelse, indikerer Wong. Dette er en observasjon som kan sees i sammenheng med det hydrostatiske trykket fra vannet når man belaster flytende isdekker (*Håndbok for militær isklassifisering, Hærens våpenskole, Forsvaret, Hæren, Norge, 2016*). Det vil si at det bør studeres hastigheter på kjøretøy og hvor i torven grunnvannsspeilet står, fordi det kan ha betydning for bæreevnen i forhold til bevegelige laster og kortidslaster.
- d) Verdiene for k som er kalkulert ved datakraft og de verdiene som er skaffet fra testen for å verifisere k er veldig sammenfallende. Wong konkluderer med at den matematiske modellen og kalkuleringen kan finne stivheten k . Dette støtter også ytterligere denne teoretiske modellen som sier at den vertikale lasten bæres delvis av torvens kompresjon og delvis av strekket i torvmatten fullfører Wong.
- e) Verdiene for kritisk nedsynkning (z_b) ser tilsynelatende ut til å være upåvirket av størrelse og form på belastningsplaten. Dette gjelder både for sirkulære og rektangulære plater. z_b på et område ligger mellom 20-23cm for sirkulære plater med 2.5 cm/s nedtrykningshastighet. For 10 cm/s nedtrykningshastighet med sirkulære plater ligger z_b på mellom 17-21cm. For rektangulære plater er observasjonene lignende. At z_b ikke påvirkes nevneverdig av belastningsplaten størrelse og form indikerer at den foreslåtte teorien om at strekket i torvmatten er reell, skriver Wong.

Testene er utført på to forskjellige områder (A og B) med forskjellig torv.

En annen observasjon av Wong sine tabeller er at det ikke er nevneverdig forskjell z_b mellom område A og B. Områdene er vidt forskjellige med hensyn på torv, tykkelse torvmatte, grunnvannstand og vegetasjon. z_b på de to forskjellige torvtypene ligger mellom 17-25cm.

Her settes opp en tabell med tolkninger av et lite utvalg av informasjonen Wong gjengir i prosa og tabeller. Verdiene k , m_m og z_b er gjennomsnittet fra nitten tester, se *Figur 3.16*;

		Område A	Område B
MacFarlane	Vegetasjonsklasse	F	EFI
	Typekategorisering av torvmatte	8	12/ 8
	Tykkelse torvmatte	5-10cm	15-20cm
	Grunnvannstand	+10cm	-20cm
	vonPost øvre lag	4	4
	z_b	18-22cm	18-24cm
Sirkulær plate med radius 5cm, nedsynkningshastighet 2.5 cm/s	Gjennomsnitt k , kalkulert og oppgitt i tabell	407 kN/m^3	954 kN/m^3
	Gjennomsnitt m , kalkulert fra m_m som er oppgitt i tabell ($m_m = km$)	0.238	0.103

Figur 3.16, Informasjon lest ut av *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*.

Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010

Vi ser fra *Figur 3.16* at Område B har flere karakteristikk som gjør at området forventes å bære mest last. Dette er tydelig med hensyn på k -verdien. Typekategoriseringen av torvmatten, tykkelse torvmatte og grunnvannstanden er tilsynelatende de store drivende faktorene. Wong selv påpeker at resultatene hans indikerer at Område B har høyere styrke for vertikal last enn -A. Dette til tross for at bruddlasten i form av p er ikke gjengitt i resultatene i boken til Wong.

Dette indikerer at m -verdien er mindre på torv med høyere bæreevne. Dette antyder at verdien m er sammensatt og vanskelig å tolke. Det vil muligens kunne la seg gjøre å tolke verdien m og forventet z_b ut i fra de beskaffenheter torvmatten og underliggende torv lag har. Dette krever inngående inspeksjon av testresultater fra mange tester.

Spordybde og kritisk nedsynkning (z_b) har en sammenheng, men er ikke det samme. Spordybden påvirkes i svært stor grad av spin (hjul eller belte glir mot underlaget) i kjøretøyets fremdrift (*Forestry machine and soil interaction for sustainable forestry, Doctoral thesis in Machine Design, Kungliga Tekniska högskolan (KTH) Vetenskap och Konst, Abdurasul Umatalievich Pirnazarov, Stockholm, Sweden, 2015*). Spordybden vil også øke kritisk ved svinging av kjøretøy (*Lateral slide sinkage tests for a tire and a track shoe, Journal of Terramechanics, Kun Liu, Paul Ayers, Heidi Howard og Alan Anderson, 2010*). Dette indikerer at akselerasjon og bremsing av kjøretøy vil påvirke spordybden med å øke spordybden. Derfor vil spin, svinging, akselerasjon og bremsing med høy sannsynlighet utgjøre at kritisk nedsynkning (z_b) oppnås med mindre vertikal last enn kalkulert korttidslast.

3.3.1 Delkonklusjon bæreevne

Som litteraturstudien til nå har antydnet vil det være krevende å finne skjærfastheten i torv. Det som hindrer metoder med hensyn til skjærfasthet er at denne studien ikke har avdekket gode prøvemetoder for dette. At karakteristiske fasthetsparametere ikke er fremskaffet på torv, som med nøyaktighet kan kalkulere torvens bæreevne, gjør at analytiske metoder for bæreevnen er vanskelig å forsvare. Derfor ligger mulighetene for å kalkulere bæreevnen på torv i målinger og tolkninger i forhold til hvordan bruddmekanismen og nedbøyningen av torven foregår.

Studien har avdekket en metode som boken *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010* gjengir med en matematisk metode. Metodens fokus på at det er en strekkfasthet i torvmatten og et reaksjonstrykk i underliggende lag er både tillitsvekkende og muligens håndterbar for militær bruk. Metoden ser lovende ut for senere forskning på korttidslaster på torv. Selv om forsøkene til Wong er begrenset i omfang vil de presenterte resultatene kunne gi gode indikasjoner på hvordan forsøk kan modelleres og gjennomføres. Det teoretiske potensialet i denne metoden er at uttrykkene (3.17), (3.18), (3.20) og (3.21) kan benyttes til å forutse hvordan et torvdekke vil ta opp last.

m og z_b er muligens definerbar ved feltmessig analyse av vegetasjon, torvmatten, underliggende torv og grunnvannstand. Torvens beskaffenhet vil videre i studien bli beskrevet som et teoretisk potensiale for militær bruk.

Det foreligger indikasjoner om at forskning på bæreevnen på torv for kjøretøy krever et skaleringsarbeid. Fremstilling av belastningsplater til et bevameter er mulig for å simulere hjul- og beltekjøretøyers berøringsarealer med torven. Det å undersøke slike verdier i forhold til verdier fra mindre testinstrumenter, vil være nyttig. Verdier målt med mindre testinstrumenter vil muligens kunne skaleres riktig med empiri fra verdier som et bevameter gir med reelle lastflater.

Empiri mellom bevameter og fullskalatester med kjøretøy vil også være mulig.

Med hensyn på det teoretiske grunnlaget i denne studien har en motivasjon og ide oppstått til å utvikle et feltforsøk i denne studien. Testen er utviklet for å teste om k -verdien er mulig å måle manuelt med et modifisert håndholdt penetrometer. Dette er nærmere beskrevet og vurdert under delkapittel *4.1 k-test, manuell måling av stivheten i underliggende lag*.

4 Resultater

Litteraturstudien har belyst hvordan torv kan betraktes i forhold til bæreevne av kortidslast. Det er flere forhold ved torv som er uklart i forhold til hvordan torv opptar belastningen.

Litteraturstudien har også avdekket en matematisk metode som virker lovende for militær mobilitet. Denne metoden påvirket studien til å utvikle en manuell målemetode av stivheten i underliggende torv lag. Dette for å bygge under et videre arbeid for å løse problemstillingen. Videre vil dette gi et teoretisk potensiale for militær bruk.

Det er sannsynlig at det teoretiske potensialet har et fremtidig utviklingspotensiale.

4.1 k -test, manuell måling av stivheten i underliggende lag

Under studien ble en metode fra boken *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong (2010) vurdert og et spørsmål som meldte seg var om disse tilnærmingene kunne gjøres manuelt. Det vil si om det lar seg gjøre å ta enkle feltmålinger av de tre drivende egenskapene gjengitt i uttrykkene (3.18) og (3.21) for p , nemlig m , k og z_b . Wong benytter et bevameter som maskinelt presser plater ned i torven med automatisert hastighet og logging av kraften som presser. Dette sammen med at datakraft i samråd med de automatiserte maskinelle prosessene kalkulerer frem m_m og k , dette gjør testmateriellet dyrt og komplisert. Hensikten med denne studien er å se på enkle feltmålinger, helst gjennomførbare til fots, derfor ble det valgt å se nærmere på egne manuelle metoder.

m er nærmere behandlet i 3.3 *Bæreevne* og vil muligens kunne defineres ved å tolke torvens beskaffenhet. Det samme kan gjelde for z_b .

k er koeffisienten som angir stivheten i torvens underliggende lag. Den kan måles ved å kappe et 30cm dypt kutt i øverste delen av torvmatten, skriver Wong. Kuttet er da vertikalt i randen av belastningsplaten som bevameteret trykker ned mot torven underliggende torv lag.

Denne k -koeffisienten er svært interessant å kunne måle manuelt. Ideen til den gjennomførte testen kom gjennom å vurdere håndholdte Cone Penetration Test (CPT) apparater, også kalt Cone Penetrometer Test. Dette med å måle grunnens fasthet med penetrometer er ikke noe nytt, men testen som Wong beskriver ved å teste k koeffisienten kan muligens kunne utføres manuelt med et modifisert penetrometer. Gjennom Hæren har et penetrometer (*06.01 Hand Penetrometer Eijkelkamp, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, Netherlands, 2013*) vært tilgjengelig og dette ble ved hjelp av verkstedet på NMBU REALTEK modifisert.

Modifiseringen av penetrometeret har vært å dreie ned trykkstangen (rustfritt stål) i den enden hvor trykk-konen normalt festes. Deretter gjenget med utenpåliggende M14 gjenger i en lengde på 5.5cm. Originalt var det en tapp på lengde på 1.3cm i M8 gjenger for å feste trykk-konen i trykkstangen. Den originale tappen er bevart og denne modifiseringer har ikke forringet utstyret nevneverdig. Modifiseringen ble gjort for å skape en forbindelse som tåler større påkjenning. Til denne trykkstangen ble det lagd to prototyper aluminiumstempler med en lengde på 6.5cm. Disse stemplene er ment å erstatte trykk-konen som penetrometeret ellers er utstyrt med. I den ene sirkulære flaten ble det gjenget et hull på M14 i 5.4cm dybde. Denne dybden på hullet er valgt på grunn av at trykkstangen vil ligge an i hullets bunn og ikke i de svake aluminiumgjengene ved trykkbelastning. Stemplenes lengde på 6.5cm ble valgt fordi veggene i hullet vil delvis støttes opp av den sylindriske formen. En mer plateform ville bli vanskeligere å trekke opp igjen etter en nedsynkningstest i torvens underliggende lag. Stemplene har den forskjellen at den minste har radius 2.5cm og den andre på 4.0cm. To vidt forskjellige arealer ble valgt for å teste hvor store slike målestempler eventuelt bør være for håndmåling. På stemplenes trykkside er det beholdt en ru flate fra metallbåndsagen på verkstedet. Den ru flaten vil muligens hindre torvmassen i å gli unna stempelet i en viss grad. Materiellet for testen, den modifiserte trykkstangen og prototype-stemplene er vist på bildet i *Figur 4.1*.

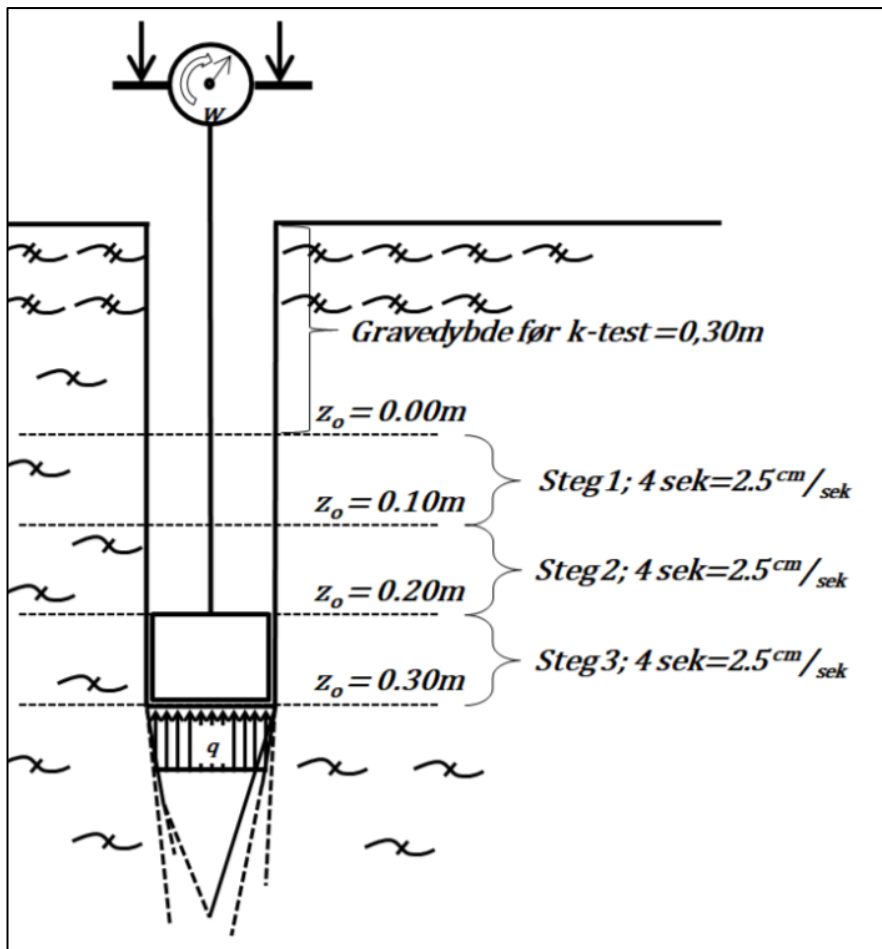


Figur 4.1, Test materiell på baklem

Fra venstre; Transportkasse Eijkelkamp, registreringsskjema, målestokk, hand penetrometer Eijkelkamp, to fastnøkler til trykkstang, aluminiumstempel $r=4\text{cm}$, aluminiumstempel $r=2.5\text{cm}$, modifisert trykkstang og spisspade med 40cm langt blad.

4.1.1 Test prosedyre, *k*-test

Testen ble utviklet for å finne indikasjoner på om stivheten i underliggende lag er målbar manuelt. Det ble planlagt å måle med en bestemt prosedyre, gjentatte ganger. Før fysisk testing var det uvisst hva slags resultater som kunne forventes så et mønster for hvert teststed ble også definert. Både prosedyre og mønsteret ble fulgt til punkt og prikke. Dette har bakgrunn i erfaring med feltmålinger som tilsier at uten en god plan og rutine, vil det senere bli vanskelig å påvise årsaker til resultater og eventuelle feil. Det ble planlagt å måle fire målinger med hvert stempel på fire forskjellige myrer. *Figur 4.2* viser et oppriss av hvordan testprosedyren utføres per trykk- og nedsynkningstest.



Figur 4.2, Illustrasjon for k -testen pr trykk -nedsynkningstest.

Et hull i torvmatten med dybde 30cm etableres, stampelet føres ned i bunnen av hullet og det presses ned stegvis i tre steg med en hastighet på 2.5 cm/sek.

Høyeste W [N] pr steg registreres.

Trykk- og nedsynkningstesten beskrevet i boken *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* av J.Y. Wong (2010) for å verifisere k -verdien er modifisert til denne testen. Dette innebærer tre tilpasninger for håndmåling med penetrometer med stempel.

- Tilpassing av prøve hullet;
Det graves et hull med dybde 0.30m fra øverste lag med humus, for å senke stampelet i anlegg mot det underliggende torv laget før trykk- og nedsynkningstesten. Dette er ikke hvordan Wong har utført testen med sitt bevameter som tidligere beskrevet.
- Tilpassing av trykk- og nedsynkningstesten;
Wong benytter kostbare, nøyaktige og automatiserte apparater, så denne tilpasningen er nødvendig for å kunne registrere målte verdier og ha kontroll med

nedsynkningshastigheten. Fra når stempelet står i anlegg i bunnen av det gravde hullet nullstilles penetrometerets slepeviser. Slepeviser er en ekstra viser som følger hovedviseren i manometeret på penetrometeret opp til maksimalverdi. Slepeviseren blir stående på maksimalverdien når trykket reduseres.

Så trykkes penetrometeret vertikalt nedover ved å følge med på dybden imens det telles til fire (4 sekunder). Dette gir en tilnærmet jevn hastighet når trykkstangen har markeringer for hver femte centimeter (2 sekunder). Når stempelet har sunket ti centimeter eller operatøren har telt til fire sekunder slippes trykket. Manometeret leses av på slepeviseren.

Hvis stempelet sank ti centimeter i løpet av fire sekunders trykk registreres kun trykket på slepeviseren for steg 1 (dybde 0.10m).

Hvis stempelet synker mer enn ti centimeter i løpet av fire sekunder registreres dette som merknad og ansatsen for neste steg justeres til reell dybde.

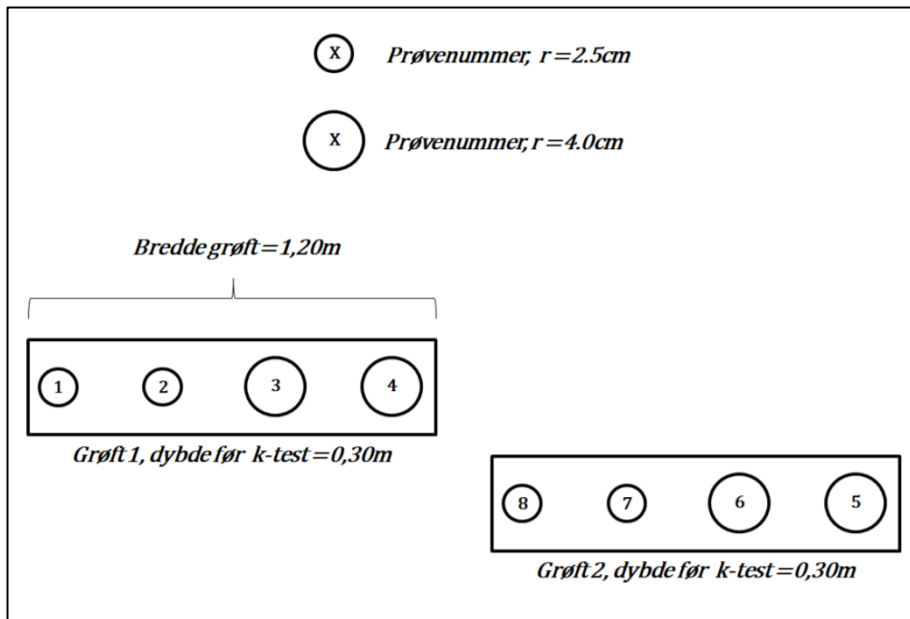
Hvis stempelet synker mindre enn ti centimeter i løpet av fire sekunder registreres dette som merknad.

Når registreringen av steg 1 er fullført nullstilles slepeviser igjen og prosedyren gjentas for neste steg. Dette utføres i tre steg som vist i *Figur 4.2*. På denne måten vil det ikke logges med høy oppløsning, men en maksimal manometerverdi for hver tiende cm eller justert dybde i tre sjikt.

- Tilpassing av prøvemønster;

For å kunne gjøre testene i løpet av kort tid og med så like forhold som mulig ble det etablert et mønster som vist i *Figur 4.3*. To grøfter graves i 0.3m dybde under øverste humus i spadens bladbredde og 1.2m lengde. Det måles grunnvannstand først i graveprosessen, fordi torven vil komprimeres og synke noe under arbeidet. Deretter starter trykk- og nedsynkningstesten og utføres i rekkefølgen av prøvenummer vist i *Figur 4.3*. Rekkefølgen av prøvenummer med de forskjellige stemplene har to årsaker. Den første årsaken er at med hensyn til bruddmekanismen vist i *Figur 3.10* og *Figur 4.2* er det mulig å gjøre trykk- og nedsynkningstestene tett. Dette sikrer så like testforhold som mulig, både med hensyn til likhet mellom hvert stempel og eventuelle forskjeller mellom de ulike stemplene. Den andre årsaken er om bruddmekanismen ikke skulle forløpe som forventet vil dette kunne synes i testresultatene med hensyn på rekkefølgen som prøvene tas i. Hvis foregående trykk -nedsynkningstest forkonsoliderer grunnen eller

på annen måte forstyrrer neste trykk -nedsynkningstest, så vil dette sannsynligvis indikeres på testresultatene. Hvis det neste prøvenummeret viser stor forskjell til foregående prøvenummer indikerer dette en annen bruddform enn den *Figur 3.10* og *Figur 4.2* viser.



Figur 4.3, Prøvemønster per teststed.

To grøfter graves, disse testes med trykk- nedsynkningstester i prøvenumrenes rekkefølge og med de spesifiserte stempelstørrelsene.

Testen har mulige feilkilder, det forventes unøyaktighet i målinger med penetrometeret. Nedsynkningshastighet, jevnt trykk og nøyaktighet ved nedsynkningsdybde er åpenbart vanskelig å gjennomføre. En annen feilkilde er at gravingen av grøften hvor ujevn grøftebunn og forstyrning av prøven er umulig å unngå. En tredje feilkilde er konsolidering både ved gravarbeidet og den stegvise nedsynkningen av stempelet.

Med opplæring og trening er denne testen mulig å utføre med militært personell.

4.1.2 Resultater, *k*-test

Testskjemaer og analyseskjemaer er lagt inn i kapittelet 6 *Tillegg* under 6.1 *k*-test, test- og analyseskjemaer, for gjennomførte feltforsøk. For hvert teststed ligger skjemaet for testen først, etterfulgt av analyseskjemaet for samme sted. Testene ble gjennomført 03.11.2017 i både Løten og Elverum kommune, innenfor det militære øvingsområdet ved Terningmoen. Military Grid System (MGRS) er oppført med hundre-meters nøyaktighet.

På testskjemaene vises trykk- og nedsynkningskurver for hvert prøvenummer med grunnlagsdata for kurven. Det er stegvis kalkulert k_1 for hvert steg i trykk- og nedsynkningstesten. Denne er kalkulert kun for å se hvordan nedsynkning påvirker k og for å analysere målingene i forhold til målte differanser. I alle prøvenummer synker k_1 drastisk med nedsynkningen.

På testskjemaene er det innført grønne og gule celler, samt merknader. De grønne cellene tyder på at trykket i penetrometeret ikke trykker stempelet jevnt nedover. Altså vil den målte manometerverdien ikke være høy nok for nedsynkning. Derfor forventes det at ved disse målingene er trykket høyere enn registrert. Dette er ikke justert i resultatene da årsaken er uviss, men det kan tyde på røtter eller annet som lokalt hindrer stempelet i å synke. Ved ikke å justere opp verdiene ved slike målinger oppnås konservative resultater.

De gule cellene viser til at stempelet plutselig mister motstand og glipper nedover. Dette tyder på svakere «lommer» i torven eller at stempelet river av røtter som igjen gjør at stempelet skyter fart på grunn av at fjæringen i penetrometeret står i spenn. Dette er justert hvor stempelet har passert z_0 for neste steg (se *Teststed B*, *prøvenummer 2* og *7*) og er også en konservativ metode.

For prøvene hvor kun øverste 0.10m er målt (noen av de grønne cellene i testskjema) blir kurvene veldig korte og rette, disse tilfellene er videreført til analyseskjemaet som «*ufullstendig måling*». Dette er tilkjennegjort med mørkegrå farge i cellene til venstre i tabellen på analyseskjemaene. For prøvene hvor kun øverste 0.20m er målt er dette videreført til analysen som «*delvis ufullstendig måling*». Dette er tilkjennegjort med lyse grå celler til venstre i tabellen på analyseskjemaene.

På analyseskjemaene er analysene gjort for hvert stempel sine målinger og spredningen av verdiene. Det er gjort en vurdering av k_1 kalkuleringen fra hvert enkelt steg i hver prøve, dette er de kalkulerte k_1 -verdiene fra testskjemaene. Disse står til venstre i tabellene under k_1 [kN/m^3] kalkulert ut fra *gj.sn. pr. prøve*. Dette er sett opp i mot hverandre med gjennomsnitt, standardavvik og relativt standardavvik. Variasjonene er store da k_1 verdien synker drastisk med

nedsynkningen i hvert prøvenummer. Men gjennomsnitt fra teststedets fire gjennomsnittsverdier vil indikere variasjonen for hvert stempel per teststed.

Fremgangsmåten som Wong beskriver (*Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, J.Y. Wong 2010*) for å finne k med minste kvadraters metode er gjenspekt på analyseskjemaene. Dette er vist på høyre side i analyseskjemaene under k [kN/m^3] kalkulert med minste kvadraters metode. Det er denne k -verdien som eventuelt blir nyttig å benytte som grunnlag for militær klassifisering. Denne k -verdien bør benytte datakraft på grunn av «minste kvadraters metode». Stigningstallet til linjen som minste kvadraters metode gir oss, er k -verdien. Dette prinsippet er vist i *Figur 3.15* og i grafene på analyseskjemaene.

4.1.3 Delkonklusjon, k -test

For å se testskjemaer og analyseskjemaer, se 6.1 k -test, test- og analyseskjemaer.

Her følger to tabeller som sammenfatter målingene gjort under feltforsøket.

Denne tabellen sammenfatter analysen for de k_1-verdiene som er kalkulert for hvert enkelt steg i hvert prøvenummerne. k_1-verdien er IKKE for kalkulering av bæreevne, men kun for analyse av målingene under trykk- og nedsynkningstester.			
Stempel radius	Gjen. Sn k_1 [kN/m^3]	Rel. Std. avvik	Delkonklusjon
r = 2.5cm	1500.30 – 1740.09	0.37 – 0.77	Høyt standardavvik skyldes at et et prøvenummer er ufullstendig og to er delvis ufullstendige målinger. Disse gir svært høye verdier. Teststed A og C har alle prøver med fullstendige målinger og her er relativt standardavvik 0.37 på begge steder. Disse to målingene gir k_1 -verdier på gjennomsnittlig 1500.30 - 1640.36 kN/m^3 .
r = 4.0cm	860.28 – 1247.66	0.27 – 0.44	Standard avvikene er lavere på grunn av færre målte verdier, på grunn av fire ufullstendige og åtte delvis ufullstendige målinger. Ingen teststeder har alle målinger som fullstendig. Teststed B og D har alle prøver med delvis fullstendig eller fullstendig målinger. Her er relativt standardavvik 0.27 – 0.43. Disse åtte prøvene gir k_1 -verdi på 860.28 - 1051.91 kN/m^3 .
<p>Det minste stempelet gir flest fullstendige målinger, dette er antageligvis på grunn av at stempelet har mindre sannsynlighet for å treffe røtter og andre forhold som stanser stempelet. De to beste teststedene A og C gir gode målinger med det minste stempelet med akseptabel variasjon. Men k_1-verdiene er en god del høyere enn for det største stempelet. Dette erfarte også Wong med sitt bevameter.</p> <p>Testene med det største stempelet ($r=4\text{cm}$) gir mange delvis ufullstendige og ufullstendige målinger, det vil si at det er høy sannsynlighet for at stempelet vil treffe røtter og andre forhold som stanser stempelet. Dette sammen med at et økt stempel-areal krever mer kraft fra operatøren. Det største stempelet er muligens større enn det som er gunstig å benytte ved håndmåling av k på grunn av kraften som må til for nedsynkning.</p>			

Tabellen sammenfatter analysen for k -verdiene som er kalkulert for hvert enkelt prøvenummer med minste kvadraters metode. k -verdien er for kalkulering av bæreevne.			
Stempel radius	Gjen. Sn k [kN/m^3]	Rel. Std. avvik	Delkonklusjon
$r = 2.5\text{cm}$	932.00 – 1740.91	0.17 – 1.07	Høyt standardavvik skyldes at prøvenummer 1 i teststed B og C er ufullstendig eller delvis ufullstendig. Manometer verdiene i disse prøvene er svært høye på grunn av bråstans i nedsynkningen. Dette påvirker trendlinjen fra den minste kvadraters metode og gir k -verdi på 4278.10 og 2291.80 kN/m^3 . Teststed A og C hvor alle prøver er fullstendige målinger har relativt standardavvik på 0.17 – 0.21. Disse åtte prøvene gir k -verdier på 932.00 – 1082.88 kN/m^3 .
$r = 4.0\text{cm}$	588.87 – 1229.47	0.06 – 0.39	Standard avvikene er veldig mye lavere på grunn av at trykk- og nedsynkningskurvene er mye flatere. Det skyldes også at fire ufullstendige og åtte delvis ufullstendige målinger gir færre verdier og variasjoner. Men ved visuell bedømming av grafene ser disse målingene jevne og representative ut. Teststed B og D har alle prøver med delvis ufullstendig eller fullstendig målinger. Her er relativt standardavvik 0.06 – 0.36. Disse målingene gir k -verdi på 588.87 - 808.21 kN/m^3 .
<p>Faktorer fra analysen av k_1-verdiene som er kalkulert for hvert enkelt steg i hvert prøvenummer er også gjeldene for denne analysen (forrige tabell). Teststedene A og C ga og jevne målinger med akseptable variasjoner med det minste stampelet.</p> <p>Men i denne analysen ser k-verdiene bedre ut med det største stampelet med svært tilfredsstillende variasjoner, til tross for delvis- og ufullstendige målinger. Samme trend i denne tabellen med at større stempel areal gir lavere k-verdier.</p>			

Det er utført 32 prøver, disse er utført uten tidligere erfaring eller kjennskap til metoden.

Variasjonene som vises har klare indikasjoner på at de skyldes delvis ufullstendige og ufullstendige målinger. Analysen indikerer at ufullstendige- og delvis ufullstendige målinger bør registreres men ikke gi kalkuleringsgrunnlag, spesielt hvis de er høyere enn gjennomsnittet.

Dette for å følge en konservativ sikker metode. Analysen indikerer at k -verdien er målbar for hånd med håndholdt penetrometer med slepeviser.

4.2 Teoretisk potensiale for militær bruk

For å muliggjøre måling, tolkning og kalkulering av bæreevnen er det flere forhold som må betraktes nøye gjennom testing og forskning. Hvis Hæren skal benytte et system vil det være nødvendig å teste spesifikke laster på kategoriserte torvtyper. Dette er fordi det må dannes en empiri som gjør forholdene målbare. Studien vil her skissere en mulig teoretisk modell for et testdesign.

For at metoden ved bruk av uttrykkene (3.18) og (3.21) skal kunne benyttes til kalkulering av militær mobilitet må dette settes i en kontekst. Det er først å danne et grunnlag for en mulig analyse for stillestående kortidslast på torv. Dette vil senere måtte vurderes opp mot repeterende laster (flere kjøretøy i samme spor), tiltak for forsterkning (markforsterkningsplater, kjemiskstabilisator, improviserte tiltak) og vinterforhold (snø, tele og is). Det er en rekke forhold som må analyseres etter at selve korttidsbelastningen eventuelt er forklart med sikkerhet.

De nevnte uttrykkene som gjengis i 3.3 *Bæreevne* har tre drivende faktorer, koeffisienten som angir stivheten i torvens underlag (k), den karakteristiske parameteren på responsen i torven og det underliggende torv lag (m) og kritisk nedsynkning (z_b). Disse faktorene kan danne et empirisk grunnlag for å kunne klassifisere militær mobilitet på torv.

4.2.1 Tilrettelegging for et testdesign

Med hensyn til referansene og egne tester er det påvist at ved måling av k - og m_m -verdien vil forskjellige størrelser på trykkareal mot torven gi differanser i verdiene. Ved manuell k -test vil det måtte utføres med mindre trykkflater enn de reelle trykkflatene det skal rekognoseres og klassifiseres for. En manuell måling vil med fordel kunne utføres med bærbart materiell og håndkraft. Under 4.1 *k-test, manuell måling av stivheten i underliggende lag* er det beskrevet en metode som trolig vil virke for å måle en k -verdi. Det er nødvendig å finne en skalering av en slik manuell målemetode som gir riktig k -verdi til den lastflaten som det skal klassifiseres for. m -verdien representerer lastresponsen i torvmatten og det underliggende torv lag. Ideen i denne studien er å kunne danne empiri på typekategorisering av torvens beskaffenhet og ut fra dette kunne visuelt sortere ut en m -verdi i felt. Bakgrunnen til denne ideen er at masterkandidaten i tidligere studier har studert *NS-INSTA 142:2009, Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast, ICS 79.040, Norsk Standard, 2009* og selv styrketestet visuelt sortert trelast. Dette krever forsøk og analyse av mange forskjellige torvdekker for å finne hvilke rådene forhold som påvirker m -verdien.

z_b -verdien er viktig å kartlegge for å finne hvordan den oppfører seg i forhold til k -verdien, m -verdien og andre rådende forhold.

For å danne et grunnlag for empiri til disse tre faktorene (k , m og z_b) vil følgende utstyr utløse en test etter design;

- Utvikle et sett med belastningsplater til et bevameter hvor platene representerer et utvalg av Hærens sine kjøretøy. Belastningsplaten for hjulkjøretøy utformes som hjulets berøring med torven. For beltekjøretøy utformes belastningsplaten som beltets lenke eller lenker som utgjør jordtrykktoppene fra løpehjulene.
- Et kjøretøymontert (terrengkjøretøy) bevameter som presser mer enn marktrykket som tyngste last skulle tilsi i forhold belastningsplatene. Bevameteret må kunne ha konstant nedsynkningshastighet og innstillbar nedsynkningshastighet. Tilkoblet bevameteret bør en datamaskin kunne loggføre trykk og nedsynkning med god oppløsning. Dette gir registreringer på z_b -verdien og gir kalkuleringsgrunnlag for k -verdien og m -verdien.

Bevameter montert på terrengkjøretøy er vist i

Improving the Mobility Performance of Tracked Vehicles in Deep Snow, Doctoral Thesis, Division of Machine Elements Department of Mechanical Engineering Anders Bodin, Luleå University of Technology SE-971 87 Luleå Sweden, 2002 og *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*).

I (*Assessing the impacts of military vehicle traffic on natural areas. Introduction to the special issue and review of the relevant military vehicle impact literature, Journal of Terramechanics, US Army, Alan B. Anderson, Antonio J. Palazzo, Paul D. Ayers, Jeffrey S. Fehmi, Sally Shoop, Patricia Sullivan, 2005*) er det også vist et bevameter som også måler ringskjær. Sist nevnte er ikke nødvendig i dette testdesignet, det behøves et bevameter som trykker en plate.

- Et kjernebor for utboring av torvkjerner for typekategorisering av både torvmatten og underliggende torv lag. Kjerneboret kan være tilsvarende *Torvprovtagere ø100mm typ SGI (Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder, Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988 og Fält- och Laboratorieundersökningar, Redovisning och Tolkning, Leksjonplansjer, Vectura, Sverige 2013)*. Dette kjerneboret er relativt enkelt å fremstille og bruke. Borstammen kan lages av stive PVC rør. Borskjæret bør være enkelt

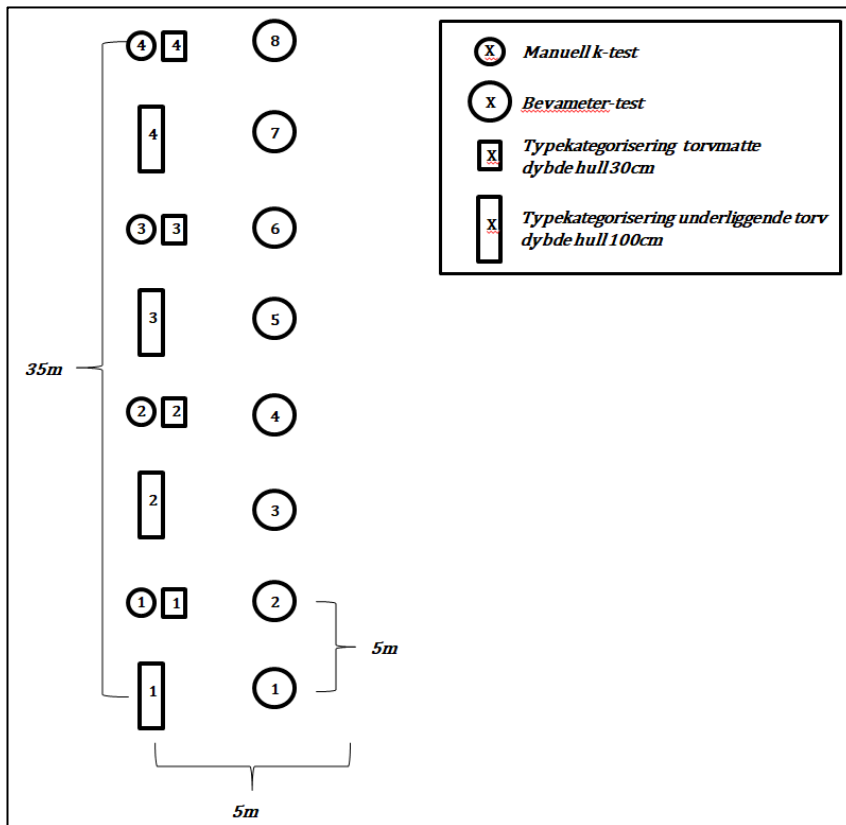
å slipe og bytte. Maskinfestet bør være SDS-Plus. Drivenheten bør være batteridreven slagbormaskin, for eksempel 36 volt med SDS-Plus chuck.

- Jordsonde på en meter lengde for raske og enkle innledende prøver for å finne egnede teststeder (www.skogma.se)
- Modifisert penetrometer med stempler istedenfor trykk-koner. Prototypen er beskrevet i delkapittel 4.1 *k-test, manuell måling av stivheten i underliggende lag*. Det er indikasjoner på at stempel til et håndholdt penetrometer til dette formålet bør ligge mellom $2.5 \leq r < 4.0\text{cm}$.

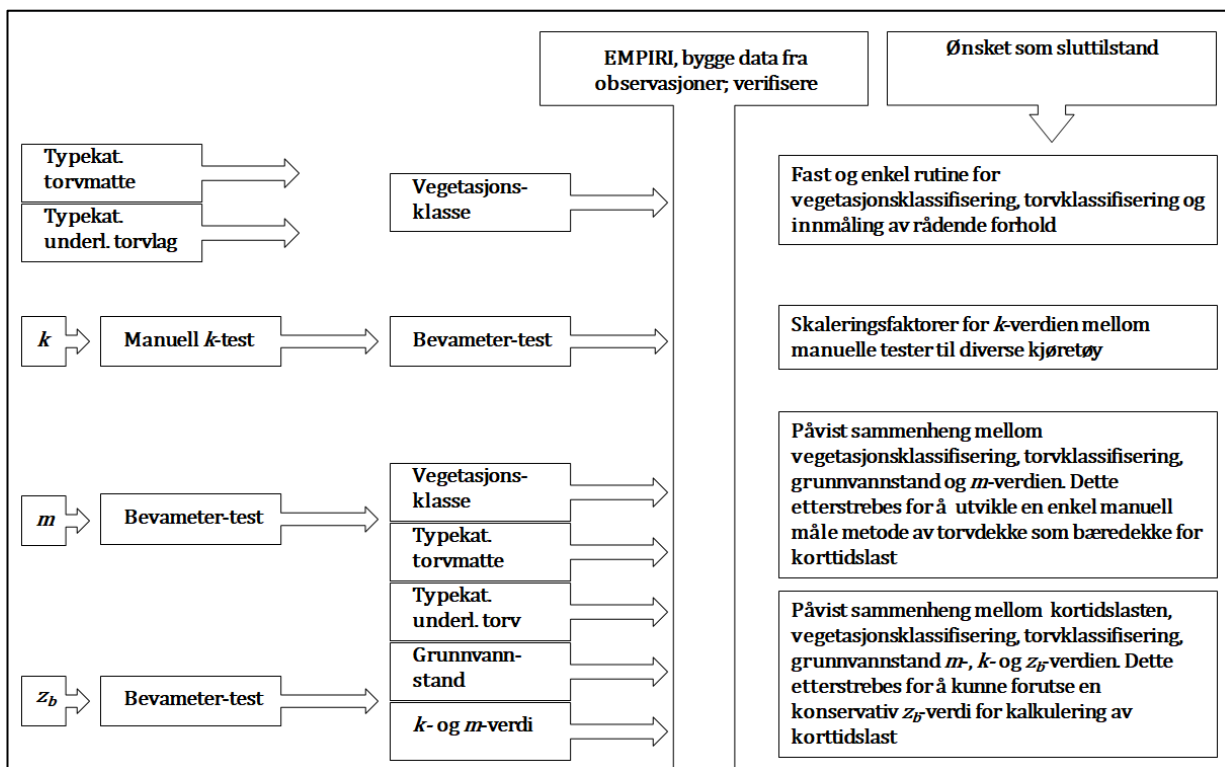
Med dette materiellet vil testing være mulig å utføre mange ganger og gi empiri på forskjellige torvtyper og med forskjellige belastninger. Dette gir sannsynligvis data for å skalere *k*-verdier fra manuelle prøver til riktig belastning gjennom sammenligninger med bevameter målinger. Med et stort antall forskjellige områder med forskjellige torvtyper, vil det være mulig å se om *m*-verdien er visuelt klassifiserbar oppimot kalkuleringer fra mange bevametertester. Det samme gjelder for *z_b*-verdien.

På *Figur 4.4* er det vist et tenkt oppsett på et teststed hvor hver test har en avstand på minimum fem meter fra forrige eller neste test. Testene gjøres kronologisk og det er viktig at hver prøve tilstrebes å utføres tilnærmet urørt. Det vil si at testmaterieell og personell ikke krysser sporet og ikke går eller kjører foran siste test/prøve unødig. En slik testing vil kunne gi flere data om mange forhold og kan gi forståelse for variasjoner i tverrsnittet av lengden i sporet. Militær klassifisering av ferdsmuligheter handler ofte om sporvalg og derfor er testene designet på linje.

Figur 4.5 viser testdesignet med generell oppsummering av arbeidet og ønsket slutttilstand.



Figur 4.4, Generisk teststed med nummererte prøver.



Figur 4.5, Flytskjema for testdesign

4.2.1.1 Bevametertester

Beviameter er et stort og ikke bærbart utstyr som krever spesielt vedlikehold og kalibrering. Det er å regne som dyrt og sårbart spesialutstyr. Det ansees ikke som relevant og egnet for militær rekognosering på avdelingsnivå. Spesial rekognosering for høyere stab og utviklingsarbeider er muligens et militært bruksområde.

For at en manuell metode for klassifisering av torv skal kunne utvikles er beviameter et naturlig valg av verktøy. Beviameteret vil måle torven til brudd og data fra registreringene vil gi indikasjoner om metodene i dette teoretiske potensialet kan fungere. Derfor er beviameter et svært sentralt verktøy for å måle og verifisere manuelle målte verdier. Sammenhenger vil kunne verifiseres ved mange beviametertester samtidig som mange manuelle målinger sammenstilles fra «samme sted». Med samme sted menes tilsynelatende samme punkt i terrenget med samme rådene forhold. Et beviameter er i denne sammenhengen muligheten for å kunne gjøre manuelle målinger målbare og sannsynliggjøre om det som måles kan gjøres gjeldene. *Figur 4.4* viser hvordan målingene gjennomføres i rekkefølge og i forhold til manuelle målinger.

4.2.1.3 *Simulering av m- og k-verdi* er muligens nyttig å studere før prosjektering av testprosedyrer og krav til beviametertester.

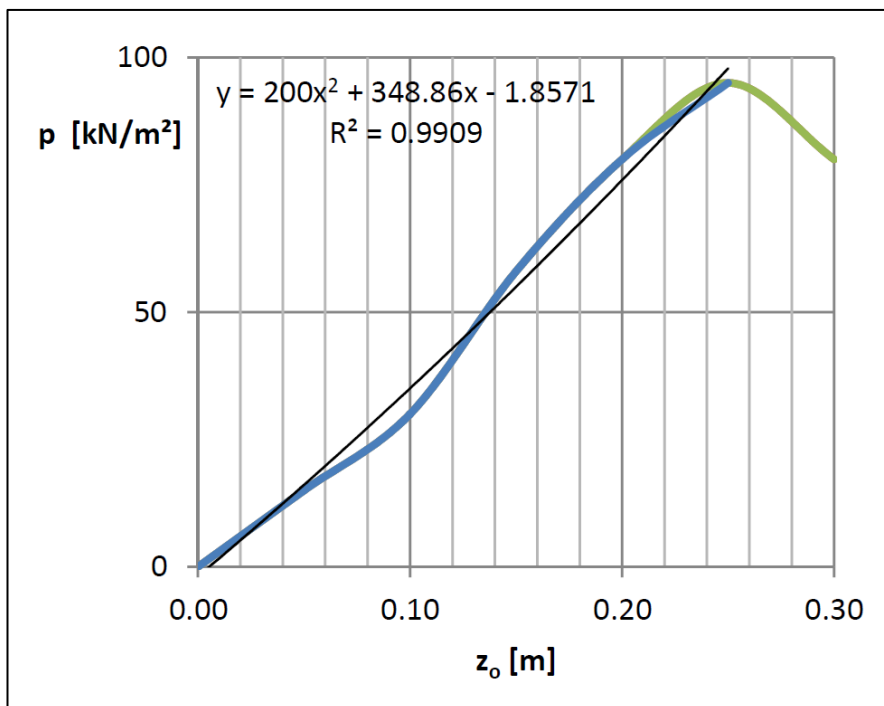
4.2.1.2 Kalkuleringsmetode av stivheten (k) og den karakteristiske parameteren (m)

For å måle inn k og m for et empirisk formål presses belastningsplater med et beviameter. Det registreres en trykk- og nedsynkningskurve som omtalt i 3.3 *Bærevne*, en slik kurve er vist i *Figur 3.14*. Registreringen er gjenstand for en dataprogrammert kalkulering som ikke er tydelig gjengitt i boken (*Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition, J.Y. Wong, 2010*).

Denne studien gjør et forsøk på å tolke det *Wong* ikke skriver rett ut og foreslår her en kalkuleringsmetode med datakraft i to steg;

- Steg 1, beviameteret er tilkoblet en datamaskin som loggfører kraft og nedsynkning ved konstant nedsynkningshastighet inntil trykket registrerer et brudd (trykket synker). Den målte trykk- og nedsynkningskurven blir gjenstand for en kalkulering som er «minste kvadraters metode». Dette er en regresjonsanalyse og tolkes til å utføres kun på verdiene fra den delen av kurven som registreres før brudd. Årsaken til dette er for å få en andregradsfunksjon ($ax^2+bx+c=y$) som gjengir lastresponsen før brudd. En andregradsfunksjon med synkende trykkverdier etter brudd viser seg å gi en konkav

kurve (se 4.2.1.3 *Simulering av m- og k-verdi*). Regresjonsanalysen gir en plottet andregradsfunksjon med et R-kvadrat [%] (tolker her at dette er det Wong kaller «goodness of fit»). Et eksempelplott er satt opp med *MS Excel* i *Figur 4.6* for å vise dette. Det er utydelig hva som eventuelt skjer i testen hvis denne funksjonen blir konkav ($-ax^2+bx+c=y$) og ikke konveks. Det samme gjelder hvis kurven er veldig «bølgete» eller at førstegradsleddet får negativt fortegn ($ax^2-bx+c=y$).



Figur 4.6, Plottet trykk- og nedsynkningskurve.

Plottet trykk- og nedsynkningskurve før brudd (blå linje), minste kvadraters metode gir funksjon y og R-kvadrat. y er tegnet inn opptil brudd (svart linje).

- Steg 2, uttrykk (3.18) eller (3.21) med hensyn på trykkplatens utforming kalkulerer k og m_m . Dette tolkes til å foregå ved at uttrykket (3.18) eller (3.21) settes lik andregradsligningen y i en ligning, hvor siste tall i uttrykket strykes ($ax^2+bx=y=p$). Her vises et eksempel med uttrykket (3.18) lik y som vist i *Figur 4.6*;

$$p = kz_o + \frac{2m_m z_o^2}{b} = 200x^2 + 348.86x - 1.8571 = y \quad (4.1)$$

$$p = kz_o + \frac{2m_m z_o^2}{b} = 200z_o^2 + 348.86z_o$$

$$\left(kz_o + \frac{2m_m z_o^2}{b} = 200z_o^2 + 348.86z_o \right) \times \frac{1}{z_o}$$

$$k + \frac{2m_m z_o}{b} = 200z_o + 348.86$$

$$k + \frac{2m_m z_o}{b} - 200z_o - 348.86 = 0$$

$$(k - 348.86) + \left(\frac{2m_m z_o}{b} - 200z_o \right) = 0$$

$$(k - 348.86) + z_o \left(\frac{2m_m}{b} - 200 \right) = 0$$

For å få hver del i parentesene i ligningen lik null, når vi vet at z_o ikke er lik null;

$$(k - 348.86) = 0$$

$$k = \underline{348.86 \text{ kN/m}^3}$$

$$\left(\frac{2m_m}{b} - 200 \right) = 0$$

$$m_m = \frac{200b}{2} = \underline{100b \text{ kN/m}^3}$$

$$m_m = mk$$

Dette er denne studiens tolkning av hvordan kalkuleringen kan foregå for å finne k og m_m i resultater fra bevametertester.

4.2.1.3 Simulering av m - og k -verdi

Dette delkapittelet refererer til vedlagte simulerte trykk- og nedsynkningstester fra studiens forsøk på å forstå m - og k -verdiene i forhold til bevametertester. Minisimulatoren er vedlagt under 6.2 *Minisimulator for data-kalkulering m - og k -verdi*.

Faktorene er teoretisk modellert i *Wong* sine ligninger og det er uttrykk (3.18) som benyttes i minisimulatoren. Simulatoren består av ni plott som er satt opp i *MS excel* for å lage ni fiktive trykk- og nedsynkningskurver. Dette for å kunne inspisere den matematiske modellen til *Wong* og denne studiens tolkning av datakalkuleringsmetoden, gjengitt under 4.2.1.2 *Kalkulering av stivheten (k) og den karakteristiske parameteren (m)*.

Plottene er navngitt A-I, den grønne linjen er et plott som registrerer hele trykk- og nedsynkningskurven før og etter brudd i torvmatten, bruddet er i maksimumpunktet som vist i *Figur 3.14*. Den blå linjen er utvalget av trykkregistreringer rett før brudd og den svarte linjen er regresjonsanalysens y -funksjon av den blå linjen. Her er en gjennomgang av inngangsverdier og observasjoner;

- Felles for alle plottene A-I
 - Plottene er tredelt slik at ABC, DEF og GHI sees i sammenheng. Innenfor disse tre gruppene er det satt samme kritiske nedsynkning (z_b)
 - ABC, DEF og GHI sees i sammenheng også ved at trykket reguleres med et fast intervall mellom hvert plott i samme gruppe. Det vil si at plottene for trykket per nedsynkning er i forholdet 1, 2 og 3 ganger. (BEH=1p=lav bæreevne, ADG=2p=middels bæreevne, CFI=3p=høy bæreevne)
 - Lastbredde er 1.00m for alle kalkuleringer
- ABC har z_b på 0.25m, med jevn trykkbygging mot brudd, forskjellig bruddlast, se *OPPSUMMERING* på siste plansjen
 - *Torvmatte bidrag [%]* er tilnærmet lik for plottene ABC, ca 12.5% av den kalkulerte bæreevnen (p)
 - k -verdien er variabel og følger den totale stigningen i kurven og reflekterer trykkets størrelse
 - m -verdien er konstant, ABC = 0.287

- DEF har z_b på 0.15m, med jevn trykkbygging mot brudd, forskjellig bruddlast, se *OPPSUMMERING* på siste plansjen
 - *Torvmatte bidrag [%]* er tilnærmet lik for plottene DEF, ca 51.3% av den kalkulerte bæreevnen (p)
 - k -verdien er variabel og følger den totale stigningen i kurven og reflekterer trykkets størrelse
 - m -verdien er konstant, DEF = 3.552. Dette er høyere enn for ABC
- GHI har z_b på 0.25m, med myk trykkbygging innledningsvis og over til kraftig trykkbygging til brudd, forskjellig bruddlast, se *OPPSUMMERING* på siste plansjen
 - *Torvmatte bidrag [%]* er ulike for plottene DEF, mellom 65.5 -76% av den kalkulerte bæreevnen (p). Dette er ulikt fra gruppene ABC og DEF
 - k -verdien er variabel og følger den totale stigningen i kurven og reflekterer trykkets størrelse
 - m -verdien er konstant, GHI = 6.318. Dette er høyere enn for DEF og mye høyere enn for ABC
 - Se gule celler i minisimulatoren. Den re-kalkulerte p som er summen av *Reaksjonstrykk i underliggende lag* [$^{kN}/m^2$] og *Tormattens bidrag* [$^{kN}/m^2$] er svært mye lavere enn den målte p . Dette utgjør at *Kalkulert sum* [$^{kN}/m^2$] p er kun 45.2% av *Målt* [$^{kN}/m^2$] p for plott H og I
- Sammenstilling av observasjoner og matematikk
 - k -verdien er variabel og følger stigningen i kurven og reflekterer trykkets størrelse. Det er indikasjon på at krumningen i y -funksjonen senker k -verdien, spesielt drastisk når trykk- og nedsynkningskurven har svak stigning innledningsvis. Har y -funksjonen lite krumning vil k -verdien kunne bli så stor som stigningen til en rett linje.
- m -verdien er konstant innenfor hver enkelt av gruppene ABC, DEF og GHI. Krumningen i y -funksjonen påvirker m -verdien. Det er indikasjoner på at økt krumningen i y -funksjonen øker m -verdien, spesielt drastisk når kurven har svak stigning innledningsvis.

- Plottene i gruppe GHI viser en effekt hvor y -funksjonen er veldig krum og stigningen er svak innledningsvis i trykk- og nedsynkningskurven. Dette gjør at kalkulerte m - og k -verdier i to av tre plott (H og I) er svært misvisende.

Dette er tuftet på enkel matematikk, leseren vil måtte tenke på annengradsuttrykket som en sum av et annengrads- og et førstegradsledd.

Det er nyttig å studere denne minisimulatoren fordi effektene i et andregradsuttrykk sammen med den matematiske modellen av p (3.18) avhenger av en viss trend i målingene. Det er indikasjoner på at ujevne trykk- og nedsynkningskurver kan gi store utslag på kalkulerte verdier. Det er sannsynlig at konkave y -funksjoner forekommer, og det vil gi negative m -verdier. Det kan også forekomme negative k -verdier når det er null eller negativ stigning i y -funksjonen innledningsvis.

Feltmålinger kan lykkes eller feile, denne minisimulatoren bør studeres før bevameter-tester planlegges og utføres. Det er viktig å sette fastsatte rutiner og prosedyrer for testene.

Det er for eksempel viktig å se på effektene ved svak stigning innledningsvis i trykk- og nedsynkningskurven. En rekke myr- og torvdekker er svært kompressible i overflaten. Det bør da vurderes å justere målte verdier eller sette et trykk på bevameteret før trykk- og nedsynkningstest. Da vil man kanskje unngå resultater som plottene GHI simulerer.

Det kan være nyttig å studere *Figur 3.13* mer inngående for eventuelt å finne sammenhenger med torvmattens profil ved forskjellig m -verdi. Studien har ikke gjort dette.

4.2.1.4 Manuell måling av stivheten (k)

Denne studiens målinger av k -verdien med et håndholdt penetrometer har sannsynligvis fungert. Det er indikasjoner på at stempel til et håndholdt penetrometer til dette formålet bør ligge mellom $2.5 \leq r < 4.0$ cm. For å få empiri til å finne en skaleringsfaktor for manuelle målinger av k -verdien kreves det at tester med et bevameter utføres samtidig og på samme sted. Dette muliggjør at data kan sammenstilles og tolkes for å finne skaleringsfaktorer i forhold til reelle lastflater.

Ved typekategorisering av torvmatten blir det i dette testdesignet benyttet et kjernebor, hvor det bores 30cm dypt fra øverste humuslag, se *Figur 4.4*. Dette borchullet bør benyttes som ansats for trykk- og nedsynkningstesten med stempelet som vist i *Figur 4.2*.

Ved delvis ufullstendig eller ufullstendig måling under trykk- og nedsynkningstest bør det lages et nytt hull og ny test utføres. Fordi delvis ufullstendig og ufullstendige målinger har vist seg å gi store differanser i disse målingene. Delvis ufullstendig og ufullstendige målinger bør registreres, men kun som merknad og ikke som beregningsgrunnlag. Uregelmessigheter kan være viktig å lagre for senere analyse.

4.2.1.5 Manuell typekategorisering av torven

Ved typekategorisering av torven er hensikten å kunne tolke forhold som påvirker torvens bæreevne. Først og fremst bør vegetasjonsklassen defineres i henhold til *Figur 3.5* i delkapittel 3.1 *Typeidentifisering av jordarten*. Dette vil gi en pekepinn om hvilke forhold som råder på teststedet. Det er også sannsynlig at empiri med vegetasjonsklasser vil kunne gi god data for senere mobilitetsanalyser.

Prøvene for typekategorisering av torvtypen utføres ved å benytte et kjernebor. På *Figur 4.4* vises mønsteret og rekkefølgen på disse prøvene. Her gjengis prosedyren utført kronologisk;

1. *Typekategorisering underliggende torv*, se *Figur 4.4*.
 - Flytt personell og materiell frem til første prøve for *Typekategorisering underliggende torv*.
 - Benytt jordsonden på en meter for raskt å avdekke om torven er egnet for boring en meter ned med hensyn til berg, stein, sand leire og andre eventuelle hindringer.
 - Bor ut en kjerne på 100cm dybde fra øverste humus. Mål grunnvannstanden i forhold til øverste humuslag umiddelbart. Hensikten med å måle vannivået

tidlig er på grunn av torvens kompressibilitet, operatørens vekt klemmer torven ned med tiden.

- Analyser torvkjernen for å bestemme *Typekategorisering underliggende torv*. Det er da torven under torvmatten som kategoriseres i henhold til både *vonPost (Figur 3.3)* og *MacFarlane (Figur 3.4)*. Det er også mulig å gjøre en *Typekategorisering torvmatte* i denne kerneprøven. Analysen er visuell og vil gi mange inntrykk. Det er også viktig å registrere merknader som tilfeldige vedforekomster, trerøtter, vannlommer og stein. Dette vil kunne gi indikasjoner på eventuelle funn eller feil ved analyser. Grunnvannstanden vil indikere hvilket vanninnhold torven har i forhold til *Figur 3.8*.

2. *Typekategorisering torvmatte*, se *Figur 4.4*.

- Flytt personell og materiell frem til første prøve for *Typekategorisering torvmatte*.
- Bor ut en kjerne på 30cm dybde fra øverste humus. Start *Manuell k-test* umiddelbart. Hensikten er tidlig å måle *k*-verdien på grunn av torvens konsolidering av grunnen, operatøren klemmer torven ned med tiden.
- Analyser torvkjernen for å bestemme *Typekategorisering torvmatte*. Det er da torven øverst som kategoriseres i henhold til både *vonPost (Figur 3.3)* og *MacFarlane (Figur 3.4)*. Torvmatten registreres også med en tykkelse. Det er også viktig å registrere merknader som for *Typekategorisering underliggende torv*.

3. *Punkt 1. og 2. gjentas suksessivt i henhold til Figur 4.4.*

Å kunne tolke hva slags vanninnhold torven har utfra torvtype, grunnvannstand og *Figur 3.8* er en prosess som bør studeres mer enn her beskrevet. Det finnes enkle elektriske apparater som kan gi grove tallgrunnlag for dette. Denne studien sannsynliggjør at hvis torven ligger under grunnvannstanden vil *Figur 3.8* indikere høyeste vanninnhold for type torv. Hvis torven ligger over grunnvannstanden indikerer dette lavere vanninnhold. Dette bør studeres nærmere med laboriemetoder før det defineres et prosenttall. Men hvis det registreres en grunnvannsstand for hvert målepunkt for *Typekategorisering underliggende torv* vil dette kunne gi tilstrekkelig informasjon for militær klassifisering hvis testdesignet fungerer. Det er også viktig å betrakte nedbør og eventuelt smeltevann.

Når disse manuelle målingene er gjort er det tolkning av data opp mot bevametertester som muligens avdekker sammenhenger. m -verdien sees i forhold til vegetasjonsklasse, typekategorisering av både torvmatte og torvens underliggende lag og grunnvannstanden i torven. m -verdien og k -verdien henger også sammen og vil måtte sees i sammenheng.

4.2.1.6 Kritisk nedsynkning (z_b)

Det er behov for å kunne forutse z_b -verdien og hva denne eventuelt påvirkes av. Fordi ved en manuell rekognosering av et torvdekke vil det ikke kunne måles et brudd i torven. Derfor vil en sammenstilling av data fra bevameter og alle rekognoserte forhold kunne tydeliggjøre om dette kan forutsees. Det er viktig å forutse z_b på en konservativ måte fordi en kalkulering med uttrykkene (3.17), (3.18), (3.20) og (3.21) gir høyere verdier jo høyere z_b er. Det kan finnes sammenhenger i alle målte verdier og disse vil antagelig kunne identifiseres gjennom testene med bevameter og typekategoriseringer av torven.

4.3 Fremtidige utviklingspotensialer

Om det teoretiske potensialet for militær bruk i denne studien lar seg gjennomføre. Det vil si at den muliggjør militær rekognosering som enkelt måler, tolker og kalkulerer bæreevnen for korttidslast på torv. Så vil det foreligge empiri fra både torvens egenskaper og testdesignet som sannsynligvis kan modelleres til å finne mer omfattende mobilitetsparametere. For eksempel å kunne designe gode tester for repeterende laster (flere kjøretøy i samme spor), tiltak for forsterkning (markforsterkningsplater, kjemisk stabilisator, improviserte tiltak), vintermobilitet (snø, tele og is) og spesiell rekognosering.

4.3.1.1 Repeterende last

Repeterende laster er nødvendig å forutse hvis sporet er tenkt benyttet flere ganger. Det må vurderes forskjellige hjulustrustninger og belteustrustninger som terrengdekk, pigger, snøkjetting, piggekjetting, belteputer og snøsko. Kjøretøyhastighet, spin, fremkommelighet og terrenghelning er også forhold som vil måtte analyseres etter at selve korttidsbelastningen eventuelt er funnet å fungere.

Da omrøring av torvens øverste lag er sannsynlig ved passering av kjøretøy vil dette måtte vurderes før repeterende belastning og trafikkering vil kunne kalkuleres.

Konsolideringen er en svært sentral faktor å ta i betraktning ved repeterende laster.

4.3.1.2 Tiltak for forsterkning

Hæren benytter ofte markforsterkningsplater i aluminium for å benytte områder med mykt underlag. Det er en rekke andre løsninger som også benyttes for å forsterke grunnen, geotekstil med et forsterkningslag av friksjonsjord og/eller steinmasser og til og med snø-pakking blir gjort. En lite utforsket metode i Hæren er kjemisk stabilisator for å gjøre underlaget «hardere».

Det teoretiske potensialet i denne studien kan muligens også modelleres til å måle enkle tiltak som feltmessige forsterkninger av torv og andre myke underlag.

4.3.1.3 Vinter mobilitet

Det er vinter store deler av året i Norge og snø, tele og is er kjente utfordringer i Hæren. Det teoretiske potensialet i denne studien kan muligens videreutvikles til å gi empirisk grunnlag for mobilitetsanalyser på torv om vinteren. Dette kan gi muligheten til å klassifisere for militær ferdsel på torv og myrer om vinteren.

Test designet kan også muligens modelleres til å gjøre forsøk på snø generelt.

4.3.1.4 Spesiell rekognosering

Forsvaret har et stort spekter i operasjoner og teatre i sin virksomhet. Test designet med bevameter kan med stor sikkerhet kunne modelleres til å rekognosere både innenlands og utenlands.

En spesiell rekognosering hvor materiellet og testdesignet virkelig kan løse ut effekter for Forsvaret er rekognosering av strandsoner for landgangsoperasjoner.

5 Diskusjon/ Konklusjon

Innledningsvis i studien har tilgjengelig litteratur fra grunnleggende geoteknikk ikke dekket torv på en tilfredsstillende måte. Det vil si innenfor behovet som problemformuleringen definerer.

Det kan se ut som at geoteknisk litteratur om torv har høy tiltro til på standardiserte målemetoder for leire og andre friksjons- og kohesjonsjordarter. Det kan hende dette er årsaken til at torv som materiale har usikre parametere i litteraturen. Dette henger muligens sammen med at torv er lite egnet for permanente laster og har store setninger over tid. Derfor er ikke torv videre interessant for samfunnet generelt sett. Men denne studien har behov for litteratur som behandler torv som noe annet enn leire. Denne persepsjonen kan skyldes at studien omhandler korttidslast.

Selv om studien ser bort fra skjærfasthet er det viktig å merke seg hva som har vist seg å påvirke skjærfastheten i torv. Økt vanninnhold, økt porettall og økt formoldningsgrad gir lav skjærfasthet. Videre er det opplyst at skjærfastheten øker ved økt effektivspenning (konsolidering og lavt porettall øker trykket rundt fibre). Det kan forventes at de samme forhold også er gjeldende for strekkfastheten i torvmatten.

Studien av fastheten til torv har dreid fokuset vekk fra analytiske kalkuleringsmetoder. Fokuset er dreid mot empiriske fremgangsmåter for å måle inn og kategorisere torvens beskaffenheter og se dette opp mot spesifikke laster.

Det er forfattet et testdesign med mål om å bygge empiri, dette vil muligens kunne utvinne et klassifiseringssystem for militær ferdsel på torv. At denne studien går videre med testdesignet er tuftet på egne observasjoner og betraktninger i litteraturen som indikerer at torvmatten er en tekstur som har egenskaper som kan ligne et tekstil. Testdesignet er ikke komplett på grunn av manglende innsikt og erfaring med bevameter og torv. Et design som er komplett utferdiget krever mer innsikt. Dette er så langt denne studien har klart å presse potensialet for det teoretiske grunnlaget.

For kategorisering av torv ser studien på *vonPost* (skala), *MacFarlane* (vegetasjonsklasse, torvkategori) og grunnvannstand som gode nok inndelinger for kategorisering, hvis de benyttes samtidig. Det kan også vurderes å dele *vonPosts* skala og *MacFarlanes* torvkategorier inn i færre inndelinger. Dette vil muliggjøre enklere kategoriseringer. For praktiske hensyn er testdesignet for dette kun satt til å inspisere torven i en meters dybde. Dette kan by på uforutsette hendelser og mistolkninger da torven har mekaniske egenskaper under denne dybden. Det er mulig å utføre kjerneprøver eller en type *k*-test dypere i torven. Men det vil forringe en effektiv militær rekognosering.

Den matematiske modellen til Wong har tre drivende faktorer som er m -, k - og z_b -verdien. Modellen er tillitsvekkende og virker lovende med hensyn på hvordan modellen betrakter kortidslast.

Det teoretiske grunnlaget har resultert i en egen testprosedyre med et modifisert penetrometer. Dette gjengitt i 4.1 *k-test, manuell måling av stivheten i underliggende lag* og resultatene fra forsøket indikerer at k -verdien er målbar for hånd med håndholdt penetrometer med slepeviser. Men den *manuelle k-testen* bør også betraktes som et skjærbrudd i underliggende torv lag. Det vil si at dette kan ha sammenheng med skjærfastheten i underliggende torv lag. Observasjoner viser i litteraturen og studiens feltforsøk at en målt k -verdi krever et skaleringsarbeid opp mot reelle lastflater. Verdier målt med manuelle mindre testinstrumenter vil sannsynligvis la seg skalere riktig med empiri fra reelle lastflater målt med bevameter.

m -verdien er forfulgt som en faktor hvor empirisk grunnlag kan utvinnes ved å studere torvens beskaffenhet og vegetasjon. Dette er en innfløkt forventning å sette, men det synes mer realistisk etter å ha funnet en mulig løsning på den matematiske modellen, gjengitt under 4.2.1.2

Kalkuleringsmetode av stivheten (k) og den karakteristiske parameteren (m). Rasjonale for dette er funnet ved å simulere bevametertester under 4.2.1.3 *Simulering av m - og k -verdi* hvor både m - og k -verdien viste seg å ha karakteristiske trekk i forhold til den matematiske modellen. Det å forklare egenskapene til m -verdien opp mot torvens beskaffenhet ansees som sannsynlig men krevende.

z_b -verdien er muligens enklere å forklare med empirisk grunnlag fra et gjennomført testdesign. Denne er svært viktig å kunne forutse for at den matematiske modellen skal kunne fungere for militær bruk. Det er indikasjoner om at funksjonene for m vist i *Figur 3.13 Karakteristiske parameteret m* kan være gunstig å studere. Nedsynkning (z_o) og m henger tydelig sammen.

For alle metoder som utvinnes for å klassifisere torvtyper, bæreevne og andre vurderinger, bør metodene tillegges stor grad av konservative intensiver som hindrer uønskede hendelser. Dette må balanseres opp mot taktiske krav. Det vil si at en oppløsning av graderingen konservative lasttillegg og lignende bør vurderes i henhold til hvor kritisk situasjonen er for den militære situasjonen.

Det er under 4.3 *Fremtidige utviklingspotensialer* gjengitt fire temaer (repeterende last, tiltak for forsterkning, vintermobilitet og spesial rekognosering) som kan betraktes og analyseres på en ny og kvalifisert måte. Dette er alle temaer som i dagens hær ikke er dekket inn med kvalifiserte og

presise grunnlag. Men det hele beror i utgangspunktet på om denne studien har funnet riktige teorier, har tolket teoriene riktig og om testdesignet er praktisk gjennomførbart.

Studien har funnet det nødvendig å forlate konvensjonelle metoder for skjærfasthet i *geoteknikk*. Dette med bakgrunn på referanser som påpeker utydelige måleresultater, udefinerte bruddtester og et behov for mer forskning på fibrenes betydning for skjærfastheten. Dermed har studien blitt en gjennomgang av enkelte teorier og metoder innen *terramechanics*. Dette er ikke et irreversibelt valg. Det foregår forskning over hele verden og de nyeste referansene har gjengitt at det foregår forskning på fibrene i torv både i Norge og Holland. Det gjør at det med tid kan komme både testmetoder og karakteristiske parametere som kan benyttes til styrkeberegning av torv med høyere grad av nøyaktighet. På den annen side vil sannsynligvis nye metoder avstedkomme med et behov for nytt laboratorie-utstyr, som igjen ikke er egnet for militært bruk. Det er ikke sannsynlig at dette skjer i nær fremtid, slik at det gir effekt for egne landstyrkers mobilitet med det første.

Et fremtidig kompetanseopplegg med faste og enkle rutiner bør utvikles før militært personell skal tilegnes å rekognosere torv for militær ferdsel. Dette er forutsatt at tester fra testdesignet eller andre tester verifiserer at metodene fungerer, eller at andre metoder utvinnes.

Denne studien anbefaler Hæren å investere i videreutvikling av testdesignet. Inntekspotensialet er muligens både det teoretiske potensialet og fremtidige utviklingspotensialer, gjengitt i

4 Resultater.

5.1 Forbedringspotensialer

Studien hadde en oppstart hvor litteraturen ikke svarte til behovet for informasjon. Utløsende litteratur ble avdekket sent i innsamlingsperioden av data. Dette er et todelt potensiale;

- Referansene som underbygger beslutningen om å avslutte letingen etter karakteristisk skjærfasthet i torv, kom ikke masterkandidaten i hende før i slutten av september. Dette har bakgrunn i at litteraturen ikke har vært søkbar i diverse databaser. Og at litteratur måtte komme fra utlandet.
- Det er en betydelig forskjell mellom fagterminologien «*Geotechnical engineering*» og «*Terramechanics*». Masterkandidaten var ikke bevisstheten på disse forskjellene de første månedene. Dette har gjort at studiet har brukt mye tid på andre forhold enn de som har gitt resultater.

Studien har vært gjennomført på normert tid, et semester (august- desember 2017) med 30 studiepoeng. Studiens problemformulering er tilfredsstillende selv om dette er relativt. Det kunne være en klar forbedring av dette studiet med 60 studiepoeng på to semestre (august 2017-juni 2018). En rekke tester kunne vært utført og det ville vært mulig for Hæren å gjøre tester og verifikasjoner allerede i semester to. På et semester var det i utgangspunktet kun planlagt et litteraturstudie på grunn av tiden da det er behov for flere aktører ved større forsøk.

6 Tillegg

6.1 *k*-test, test- og analyseskjemaer

De følgende åtte sidene viser vedlagte test- og analyseskjemaer fra studiens forsøk på manuell måling av *k*-verdien.

Dette refereres til i *4.1 k-test, manuell måling av stivheten i underliggende lag.*



$$k_1 = \frac{q}{z_o}$$

$$q = \frac{W}{\text{Stempel areal}}$$

$$W = \text{penetrometer verdi [N]}$$

$$z_o = \text{nedsynkning}$$

Test av [k] stivheten til underliggende lag			
Test sted A			
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 343 495, GVS 0.10m under øverste humus			
Dato: 03.11.2017			
Areal stempel r=2.5cm [m ²]	Areal stempel r=4.0cm [m ²]	z _o settes lik måledybde	Gul farge vil si at stempellet glipper nedover og mister motstand
0.00196350	0.00502655		

Stempel r=2.5cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)			
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Merknad
1	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	360	183.35	1833.46			
	0.20	570	290.30	1451.49			
	0.30	820	417.62	1392.08			
Merknad	Stempel stanser pga høy motstand over 820N før 0.3m ned, antagelig røtter eller stein.						
2	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	460	234.28	2342.76			
	0.20	480	244.46	1222.31			
	0.30	550	280.11	933.71			
Merknad	Stempellet mister motstand under 550N før 0.30m ned, antagelig et svakt punkt.						
7	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	410	208.81	2088.11			
	0.20	615	313.22	1566.08			
	0.30	700	356.51	1188.36			
Merknad							
8	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	600	305.58	3055.77			
	0.20	615	313.22	1566.08			
	0.30	615	313.22	1044.06			
Merknad	Stempel stanser pga høy motstand over 615N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						

Stempel r=4.0cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)			
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Merknad
3	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	740	147.22	1472.18			
	0.20						
	0.30						
Merknad	Stempel stanser pga høy motstand over 740N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						
4	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	760	151.20	1511.97			
	0.20						
	0.30						
Merknad	Stempel stanser pga høy motstand over 760N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						
5	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	360	71.62	716.20			
	0.20	710	141.25	706.25			
	0.30	740	147.22	490.73			
Merknad							
6	0.00	0	0.00	0.00			
	0.10	715	142.24	1422.45			
	0.20						
	0.30						
Merknad	Stempel stanser pga høy motstand over 715N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						

Analyse av "Test av [k] stivheten til underliggende lag										Test sted A	
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 343 495, GVS 0.10m under øverste humus										03.11.2017	
Stempel r=2.5cm										Merknader	
k ₁ [kN/m ³] kalkulert ut fra gj.sn. pr prøve					k [kN/m ³] kalkulert med minste kvadraters metode					Ufullstendig måling, se trykktest	
k ₁ [kN/m ³] pr prøve			k ₁ [kN/m ³] pr stempel							Delvis ufullstendig måling, se trykktest	
Prøve nr	Gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Totalt gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	k [kN/m ³]	Gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Trykk- og nedsynkningskurve med minste kvadraters metode
1	1559.01	240	0.15								
2	1499.59	744	0.50	1640.36	609	0.37	1082.88	229.02	0.21		
7	1614.18	452	0.28				1173.90				
8	1888.64	1044	0.55				947.29				
Stempel r=4.0cm											
3	1472.18	#DIV/0!	#DIV/0!				1472.20				
4	1511.97	#DIV/0!	#DIV/0!				1512.00				
5	637.73	127	0.20	1053.30	463	0.44	1229.47	480.19	0.39		
6	1422.45	#DIV/0!	#DIV/0!				1422.40				



$$k_1 = \frac{q}{z_0}$$

$$q = \frac{W}{\text{Stempel areal}}$$

$W = \text{penetrometer verdi [N]}$

$z_0 = \text{nedsynkning}$

Test av [k] stivheten til underliggende lag			
Test sted B			
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 354 468, GVS 0.00m under øverste humus			
Dato: 03.11.2017			
Areal stempel [m ²]	Areal stempel [m ²]	z ₀ settes lik måledybde	Gul farge vil si at stempelstanser og synker nedover og mister motstand
0.00196350	0.00502655		

Stempel r=2.5cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)			
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)
1	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	840	427.81	4278.08	427.81	0.10	
	0.20						
	0.30						
Merknad	Stempelet mister motstand og synker raskt over 840N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)
2	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	440	224.09	2240.90	440	0.10	
	0.53	540	275.02	518.91	540	0.53	
	0.63	600	305.58	485.04	600	0.63	
Merknad	Stempelet mister motstand og synker raskt til 0.53m ned, antagelig et svakt sjikt						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)
7	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	500	254.65	2546.48	500	0.10	
	0.53	620	315.76	595.78	620	0.53	
	0.63	525	267.38	424.41	525	0.63	
Merknad	Stempelet mister motstand og synker raskt til 0.53m ned, antagelig et svakt sjikt						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)
8	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	420	213.90	2139.04	420	0.10	
	0.20	780	397.25	1986.25	780	0.20	
Merknad	Stempelet mister motstand og synker raskt over 780N før 0.2m ned, antagelig røtter eller stein.						

Stempel r=4.0cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)			
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)
3	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	765	152.19	1521.92	765	0.10	
	0.20	840	167.11	835.56	840	0.20	
	0.30						
Merknad	Stempelet mister motstand over 840N før 0.2m ned, antagelig røtter eller stein.						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)
4	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	600	119.37	1193.66	600	0.10	
	0.20	870	173.08	865.41	870	0.20	
	0.30						
Merknad	Stempelet mister motstand over 870N før 0.1m ned, antagelig røtter eller stein.						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)
5	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	620	123.35	1233.45	620	0.10	
	0.20	770	153.19	765.93	770	0.20	
	0.30						
Merknad	Stempelet mister motstand over 770N før 0.2m ned, antagelig røtter eller stein.						
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [kN/m ²]	k ₁ [kN/m ³]	Reaksjonstrykk q [kN/m ²]	Nedsynkning [m]	Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)
6	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	
	0.10	620	123.35	1233.45	620	0.10	
	0.20	770	153.19	765.93	770	0.20	
	0.30						
Merknad	Stempelet mister motstand over 770N før 0.2m ned, antagelig røtter eller stein.						

Analyse av "Test av [k] stivheten til underliggende lag										Test sted B		
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 354 468, GVS 0.00m under øverste humus										03.11.2017		
Stempel r=2.5cm										Merknader		
k ₁ [kN/m ³] kalkulert ut fra gj.sn. pr prøve					k [kN/m ³] kalkulert med minste kvadraters metode					Ufullstendig måling, se trykktest		
k ₁ [kN/m ³] pr prøve			k ₁ [kN/m ³] pr stempel							Delvis ufullstendig måling, se trykktest		
Prøve nr	Gjennomsnitt k ₁ [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Totalt gjennomsnitt k ₁ [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	k [kN/m ³]	Gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Trykk- og nedsynkningskurve med minste kvadraters metode	
1	4278.08	#DIV/0!	#DIV/0!				4278.10					
2	1081.62	1004	0.93				368.53					
7	1188.89	1179	0.99	1690.54	1306	0.77	1741.91	1858.17	1.07			
8	2062.65	108.04	0.05				1986.30					
Stempel r=4.0cm												
3	1178.74	485.33	0.41				835.56					
4	1029.53	232.11	0.23				865.41					
5	999.69	330.58	0.33	1051.91	281	0.27	808.21	50.32	0.06			
6	999.69	330.58	0.33				765.93					



$$k_1 = \frac{q}{z_0}$$

$$q = \frac{W}{\text{Stempel areal}}$$

$$W = \text{penetrometer verdi [N]}$$

$$z_0 = \text{nedsynkning}$$

Test av [k] stivheten til underliggende lag			
Test sted C			
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 376 473, GVS 0.00m under øverste humus			
Dato: 03.11.2017			
Areal stempel r=2.5cm [m ²]	Areal stempel r=4.0cm [m ²]	z ₀ settes lik måledybde	Gull farge vil si at stemplelet gli/lipper nedover og mister motstand
0.00196350	0.00502655		

Stempel r=2.5cm		Stempel r=4.0cm		Stempel r=4.0cm	
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [t ^{NV} /m ²]	k ₁ [t ^{NV} /m ³]	Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)
1	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	480	244.46	2444.62	
	0.20	520	264.83	1324.17	
	0.30	650	331.04	1103.47	
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 650N før 0.3m ned, røtter og fiber.				
2	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	420	213.90	2139.04	
	0.20	640	325.95	1629.75	
	0.30	540	275.02	916.73	
Merknad	Stemplet mister motstand først under 640N før 0.2m, så 540N før 0.30m ned, røtter og fiber.				
7	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	280	142.60	1426.03	
	0.20	570	290.30	1451.49	
	0.30	600	305.58	1018.59	
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 600N før 0.3m ned, røtter og fiber.				
8	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	440	224.09	2240.90	
	0.20	640	325.95	1629.75	
	0.30	400	203.72	679.06	
Merknad	Stemplet mister motstand først under 640N før 0.2m, så 400N før 0.30m ned, røtter og fiber.				
3	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	800	159.15	1591.55	
	0.20				
	0.30				
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 800N før 0.1m ned, røtter og fiber.				
4	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	740	147.22	1472.18	
	0.20	920	183.03	915.14	
	0.30				
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 920N før 0.2m ned, røtter og fiber.				
5	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	880	175.07	1750.70	
	0.20	900	179.05	895.25	
	0.30				
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 900N før 0.2m ned, røtter og fiber.				
6	0.00	0	0.00	0.00	
	0.10	660	131.30	1313.03	
	0.20	800	159.15	795.77	
	0.30				
Merknad	Stemplet stanser pga høy motstand over 800N før 0.2m ned, røtter og fiber.				

Analyse av "Test av [k] stivheten til underliggende lag										Test sted C		
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 376 473, GVS 0.00m under øverste humus										03.11.2017		
Stempel r=2.5cm										Merknader		
k ₁ [kN/m ³] kalkulert ut fra gj.sn. pr prøve					k [kN/m ³] kalkulert med minste kvadraters metode					Ufullstendig måling, se trykktest		
		k ₁ [kN/m ³] pr prøve		k ₁ [kN/m ³] pr stempel						Delvis ufullstendig måling, se trykktest		
Prøve nr	Gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Totalt gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	k [kN/m ³]	Gjennomsnitt k [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Trykk- og nedsynkningskurve med minste kvadraters metode	
1	1624.09	719	0.44									
2	1561.84	614	0.39									
7	1298.70	243	0.19	1500.30	550	0.37	932.00	155.09	0.17			
8	1516.57	787	0.52									
Stempel r=4.0cm												
3	1591.55	#DIV/0!	#DIV/0!									
4	1193.66	393.89	0.33									
5	1322.98	242.92	0.18	1247.66	380	0.30	1019.59	306.23	0.30			
6	1054.40	787.05	0.75									

Test av [k] stivheten til underliggende lag			
Test sted D			
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 376 481, GVS 0.05m under øverste humus			
Dato: 03.11.2017			
Areal stempel r=2.5cm [m ²]	Areal stempel r=4.0cm [m ²]	z ₀ settes lik måledybde	Gul farge vil si at stempelstanser og synker nedover og mister motstand
0.00196350	0.00502655		



$$k_1 = \frac{q}{z_0}$$

$$q = \frac{W}{\text{Stempel areal}}$$

W = penetrometer verdi [N]

z₀ = nedsynkning

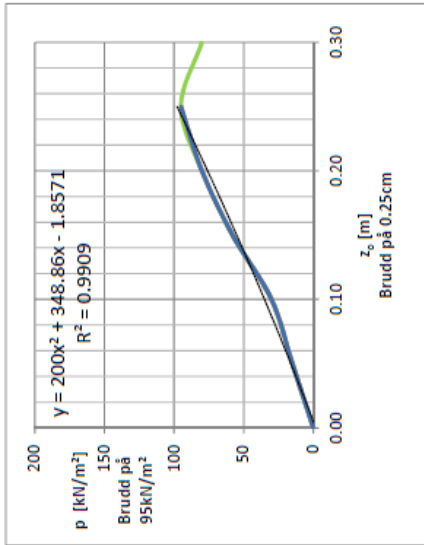
Stempel r=2.5cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=2.5cm)				Stempel r=4.0cm				Trykk- nedsynkningskurve (r=4.0cm)			
Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [^{kN} /m ²]	k _s [^{kN} /m ³]	Reaksjonstrykk q [^{kN} /m ²]	Nedsynkning [m]	Prøve nr	Dybde [m]	W [N]	q [^{kN} /m ²]	k _s [^{kN} /m ³]	Reaksjonstrykk q [^{kN} /m ²]	Nedsynkning [m]		
1	0.00	0	0.00	4176.23	0	0.00	3	0.00	0	0.00	1631.34	0	0.00		
	0.10	820	417.62	4176.23	820	0.10		0.10	820	163.13	1631.34	820	0.10		
	0.20	900	458.37	2291.83	900	0.20		0.20	910	181.04	905.19	910	0.20		
	0.30					0.30		0.30					0.30		
Merknad	Stempelet mister motstand først under 500N før 0.3m ned, tykt fiberlag og røtter.						Merknad	Stempelet mister motstand over 910N før 0.3m ned, røtter og fiber.							
2	0.00	0	0.00	1986.25	0	0.00	4	0.00	0	0.00	875.35	0	0.00		
	0.10	390	198.63	1986.25	390	0.10		0.10	440	87.54	875.35	440	0.10		
	0.20	500	254.65	1273.24	500	0.20		0.20	650	129.31	646.57	650	0.20		
	0.30	470	239.37	797.90	470	0.30		0.30	780	155.18	517.25	780	0.30		
Merknad	Stempelet mister motstand først under 500N før 0.2m, så 470N før 0.30m ned, tykt fiberlag og røtter.						Merknad								
7	0.00	0	0.00	2088.11	0	0.00	5	0.00	0	0.00	1193.66	0	0.00		
	0.10	410	208.81	2088.11	410	0.10		0.10	600	119.37	1193.66	600	0.10		
	0.20	440	224.09	1120.45	440	0.20		0.20	760	151.20	755.99	760	0.20		
	0.30	490	249.55	831.85	490	0.30		0.30	700	139.26	464.20	700	0.30		
Merknad	Stempelet mister motstand først under 510N før 0.2m, tykt fiberlag og røtter.						Merknad	Stempelet mister motstand først under 760N før 0.2m, tykt fiberlag og røtter.							
8	0.00	0	0.00	2597.41	0	0.00	6	0.00	0	0.00	1273.24	0	0.00		
	0.10	510	259.74	2597.41	510	0.10		0.10	640	127.32	1273.24	640	0.10		
	0.20	450	229.18	1145.92	450	0.20		0.20	660	131.30	656.51	660	0.20		
	0.30	490	249.55	831.85	490	0.30		0.30	820	163.13	543.78	820	0.30		
Merknad	Stempelet mister motstand først under 510N før 0.2m, tykt fiberlag og røtter.						Merknad								

Analyse av "Test av [k] stivheten til underliggende lag										Test sted D		
Sted; Elverum, Terningmoen, 32V PN 376 481, GVS 0.05m under øverste humus										03.11.2017		
Stempel r=2.5cm										Merknader		
k ₁ [kN/m ³] kalkulert ut fra gj.sn. pr prøve										Ufullstendig måling, se trykktest		
k ₁ [kN/m ³] pr prøve										Delvis ufullstendig måling, se trykktest		
k ₁ [kN/m ³] pr stempel												
k [kN/m ²] kalkulert med minste kvadraters metode												
Prøve nr	Gjennomsnitt k ₁ [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Totalt Gjennomsnitt k ₁ [kN/m ³]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	k [kN/m ²]	Gjennomsnitt k [kN/m ²]	σ, Std. Avvik	Rel. Std. Avvik	Trykk- og nedsynkningskurve med minste kvadraters metode	
1	3234.03	1332.47	0.41				2291.80					
2	1352.46	598	0.44				774.13					
7	1346.80	658	0.49	1740.09	1032	0.59	1137.00	770.26	0.68			
8	1525.06	942	0.62				718.11					
Stempel r=4.0cm												
3	1268.27	513.46	0.40				905.19					
4	679.72	181.34	0.27				507.31					
5	804.62	367.15	0.46	860.28	368	0.43	588.87	212.31	0.36			
6	824.51	392.68	0.48				493.38					

6.2 Minisimulator for data-kalkulering m - og k -verdi

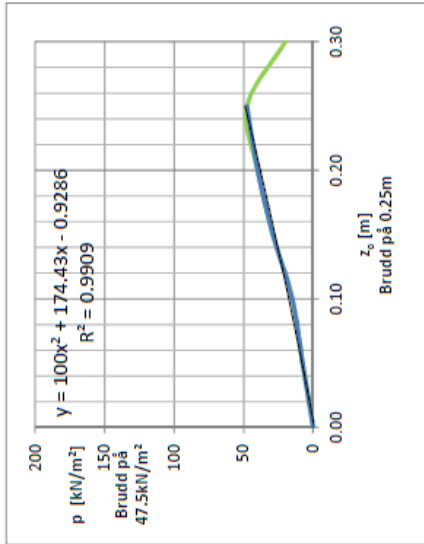
De følgende to sidene viser vedlagte simulerte trykk- og nedsynkningstester fra studiens forsøk på å forstå m - og k -verdiene. Faktorene er teoretisk modellert i *Wong* sine ligninger og det er uttrykk (3.18) som benyttes i denne minisimulatoren. Simulatoren består av ni plott som er satt opp i *MS excel* for å lage ni fiktive trykk- og nedsynkningskurver.

Det refereres til inspeksjonen av disse plottene under 4.2.1.3 *Simulering av m - og k -verdi*.



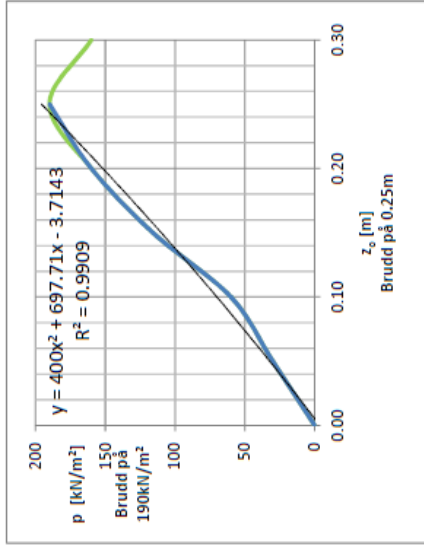
A

Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m ²]	95
k [kN/m ³]	348.86
m	0.287



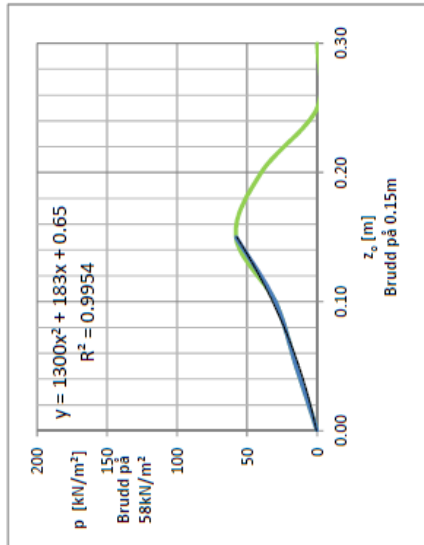
B

Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m ²]	47.5
k [kN/m ³]	174.43
m	0.287



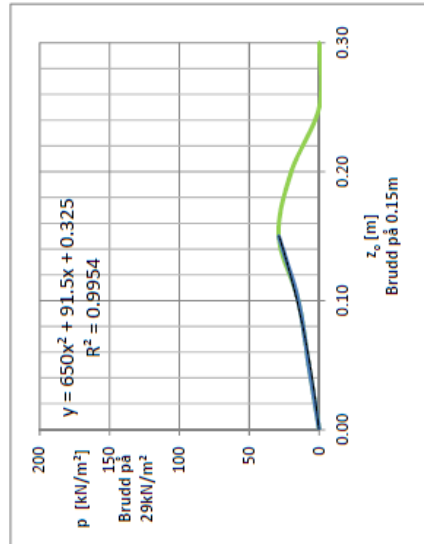
C

Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m ²]	190
k [kN/m ³]	697.71
m	0.287



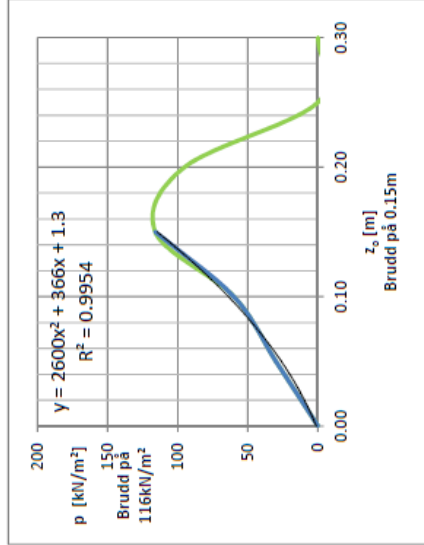
D

Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.15
p brudd [kN/m ²]	58
k [kN/m ³]	183
m	3.552



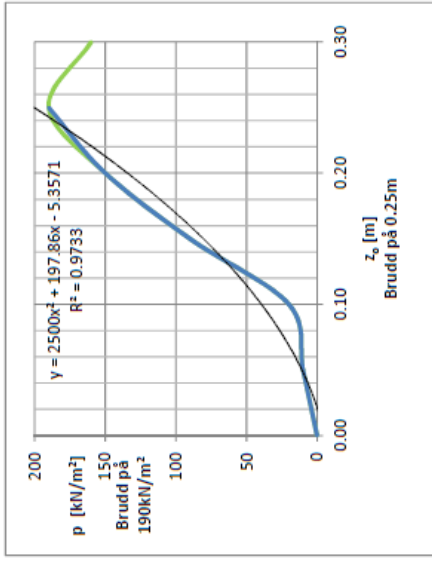
E

Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.15
p brudd [kN/m ²]	29
k [kN/m ³]	91.5
m	3.552

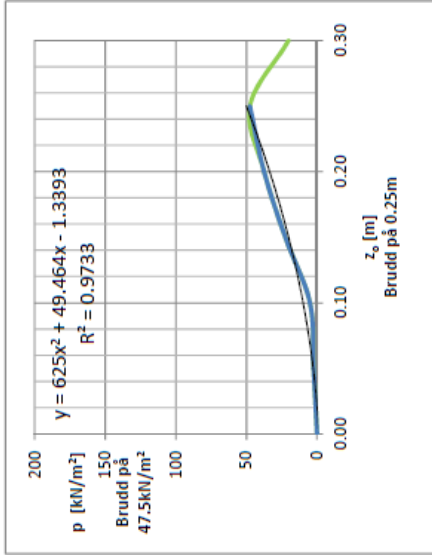


F

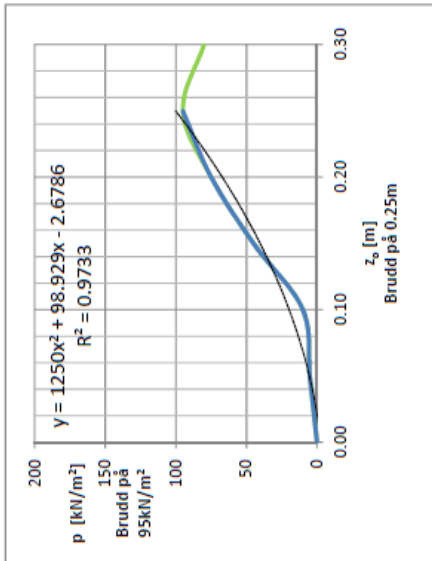
Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.15
p brudd [kN/m ²]	116
k [kN/m ³]	366
m	3.552



Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m²]	190
k [kN/m³]	197.86
m	6.318



Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m²]	47.5
k [kN/m³]	49.464
m	6.318



Bredde last [m]	1.00
Kritisk nedsynk [m]	0.25
p brudd [kN/m²]	95
k [kN/m³]	98.929
m	6.318

I

H

G

$$p = kz_0 + \frac{2mz_0^2}{b}$$

Trykk registrering	Bæreevne	Kritisk nedsynkning [m]	k [kN/m³]	Målt [kN/m²]	m	Reaksjonstrykk i underliggende lag [kN/m²]	Torvmattens bidrag [kN/m²]	Kalkulert sum [kN/m²]	Torvmatte bidrag [%]
Jevn trykkbygging	Middels A	0.25m	348.860	95.0	0.287	87.215	12.730	99.945	12.737
	Lav B		174.430	47.5		43.608	6.258	49.866	12.550
	Høy C		697.710	190.0		174.428	25.030	199.458	12.549
	Middels D	0.15m	183.000	58.0	3.552	27.450	28.251	55.701	50.719
	Lav E		91.500	29.0		13.725	14.625	28.350	51.587
	Høy F		366.000	116.0		54.900	58.501	113.401	51.588
Fra myk til kraftig trykkbygging	Middels G	0.25m	98.929	95.0	6.318	24.732	78.129	102.861	75.956
	Lav H		49.464	47.5		7.419	14.063	21.482	65.464
	Høy I		197.860	190.0		29.679	56.254	85.933	65.463

OPPSUMMERING

6.3 Motivasjon

Masterkandidaten har i mange år jobbet med et militært fagfelt i Hæren i det norske Forsvaret som kalles *Akseklassifisering* (Route & Bridge Classification). Faget dreier rundt både etablert infrastruktur og terreng. Dette er et av flere militære ingeniørfag som inngår i fagfeltet mobilitet i Ingeniørvåpnet i Forsvaret. Definisjon akseklasse;

«En akseklasse er en tilnærmet, skjønnsmessig og/eller matematisk, målbar verdi som angir mulig taktisk verdi.»

En akse er en tenkt 3D-linje i terrenget som det er ønskelig å forflytte seg langs.

Akseklassifisering er arbeidet som gir en akseklasse, klassifiseringen skjer på grunnlag av innsamlede data og/eller ferdigstilte data om aksene.

Norge er et land med svært varierende årstider som har markante forskjeller i temperatur, nedbørmengder og nedbørstyper. Dette påvirker den militære mobiliteten, spesielt terrengmobiliteten. Årstidene og været gir variasjoner i mobiliteten. Dette er faktorer som påvirker det vi kaller føret. Dette er kjent for de fleste og påvirker alt fra enkeltmann til logistikkoperasjoner. Arbeidet med å avdekke muligheter og begrensninger ved føret og hvordan kunne forutsi dette, er noe Ingeniørvåpnet er opptatt av. Kandidaten har selv vært involvert i arbeidet med å plassere en værstasjon i øvningsfeltet Regionfeltet Østlandet (RØ). Installasjonen er fast og aktiv med formål å kunne gi datafangst for fremtidige prøver og forsøk innenfor blant annet mobilitetsanalyser i terrenget. Hærens virkeområde er fred, krise, væpnet konflikt og krig. Mobilitet for landstyrker er et delegert fagansvar tildelt Fagsjef Ingeniør. Fagsjef Ingeniør er kandidatens nærmeste militære sjef, nærmere bestemt er kandidaten på stipendiat fra Hæren og studerer ved NMBU på vegne av Fagsjef Ingeniør.

Denne studien handler om mobilitet og dette tillegget angår motivasjonen til videre studie.

Spesifikt behov i Hæren er blant annet torv i terrenget, men generelt omhandler terrengmobilitet en utfordring med tunge kjøretøy. Det er svært krevende å vurdere risiko under større operasjoner og ved hvert enkelt tilfelle. Dette skyldes tre forhold som kan sees i sammenheng med siste 30 år;

- Kjøretøytettheten i militære avdelinger har økt kraftig i løpet av perioden, antall kjøretøy per enhet har økt anslagsvis med flere hundre prosent. Dette øker den generelle sannsynligheten for uønskede hendelser markant.

- Vektene for hver enkelt kjøretøygruppe har også økt drastisk i samme periode, det vil si at sannsynligheten for uønskede hendelser er økt per kjøretøy.
- Det er ikke utført kvalifiserte og presise studier og oppfølging av disse to forholdene ovenfor. Det er samlet lite kvalifisert rekognosering og klassifisering i løpet av perioden. Dette er en risiko i seg selv.

Kandidaten er motivert til søken for å finne løsninger som bidrar til å løse en kompleks problemstilling, terrengmobilitet. Som omfatter mange flere forhold enn torv uten frost.

Gjennom studien, etter å ha belyst metoder som sannsynliggjør klassifisering av torv orienterer motivasjonen seg mot utviklingspotensialer.

Kandidaten motiveres av denne studien til videre studie av torv og mobilitet som en doktorgradsoppgave i ingeniørvitenskap på vegne av Forsvaret.

7 Referanser

06.01 Hand Penetrometer Eijkelkamp

Eijkelkamp, Agrisearch Equipment, Netherlands, 2013

Assessing the impacts of military vehicle traffic on natural areas.

Intoduction to the special issue and review of the relevant military vehicle impact literature.

Journal of Terramechanics, US Army, Alan B. Anderson, Antonio J. Palazzo, Paul D. Ayers, Jeffrey S. Fehmi, Sally Shoop, Patricia Sullivan, 2005

Bekker, samme som;

Bekker's Terramechanics Model for Off-road Vehicle Reasearch

US Army TARDEC, Sean Laughery, Grant Gerhart, Richard Goetz, (1995 (?))

se også;

7.2 Internett ressurser

Carlsten, samme som;

Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder

Statens geotekniska institut, Peter Carlsten, Linköping 1988

Erfarenheter av byggmetoder på torvmark

SGI Publikation 26, Statens geotekniska institut, Bo Vesterberg, Peter Carlsten, Per Lindh, Linköping 2016

Forestry machine and soil interaction for sustainable forestry

Doctoral thesis in Machine Design, Kungliga Tekniska högskolan (KTH) Vetenskap och Konst, Abdurasul Umatalievich Pirnazarov, Stockholm, Sweden, 2015

Fält- och Laboratorieundersökningar, Redovisning och Tolkning

Leksjonplansjer, Vectura, Sverige 2013

General Patton 1885-1945

George Smith Patton Junior, 1885-1945, amerikansk general under andre verdenskrig

Kilde;

Patton's one minute messages, Tactical Leadership Skills for Buisness Managers

ISBN 0-89141-546-7, Charles M. Province, USA, 1995

Geoteknikk 1, Jordartens fysiske egenskaper

Universitetsforlaget, Tarald Rørvik 1991

Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger, Håndbok V221

Vegdirektoratet, 2014

Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, Vedlegg 1 Jordklassifisering
Versjon mars 2005, erstatter versjon juli 1997
Statens vegvesen

Håndbok for militær isklassifisering, Hærens våpenskole
Forsvaret, Hæren, Norge, 2016

Improving the Mobility Performance of Tracked Vehicles in Deep Snow
Doctoral Thesis, Division of Machine Elements Department of Mechanical Engineering,
Anders Bodin, Luleå University of Technology SE-971 87 Luleå Sweden, 2002

Lateral slide sinkage tests for a tire and a track shoe
Journal of Terramechanics, Kun Liu, Paul Ayers, Heidi Howard og Alan Anderson, 2010

MacFarlane
Muskeg Engineering Handbook
University of Toronto Press, Canada, SBN 802015956, MacFarlane, Ivan C. 1969

NS-INSTA 142:2009
Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast, ICS 79.040, Norsk Standard, 2009

Skjuvhållfasthet –utvärdering i kohesjonsjord
Information 3, Statens geotekniske institutt, Rolf Larsson, Göran Sällfors, Per-Evert Bengtsson,
Claes Alèn, Ulf Bergdahl og Lei Eriksson, Linköping 2007

SOIL MECHANICS, Principles and Practices, Second Edition
Graham E. Barnes 2000

Terrain Characterization for Trafficability
US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory (CRREL),
CRREL Report 93-6, Sally A. Shoop, June 1993

Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle
Performance and Design, Second Edition
J.Y. Wong, 2010

Torv –geotekniske egenskaper och byggmetoder
Statens geotekniske institutt, Peter Carlsten, Linköping 1988

Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk, Identifisering og klassifisering av jord,
Melding nr 2 utgitt 1982, revidert 2011, Norsk Geoteknisk Forening

Vägbyggnad på torv

Vägverket-VBg, Statens geotekniska institut, Vägledning 2, Peter Carlstén, 1989

vonPost, se;

7.2 Internett ressurser

Wong, samme som;

Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering, Terrain Behavior, Off-Road Vehicle Performance and Design, Second Edition

J.Y. Wong, 2010

7.1 Støtte litteratur

Advanced mobility in difficult terrain

Journal of Terramechanics, Hägglunds Vehicle AB, A. Falk, Sweden, 2004

Analysis of track and wheel soil compaction

Master of Science, Major: Agricultural Engineering, Philip Walter Gassman, Iowa State University, USA, 1986

Comparison of Shear Strength Properties for Undisturbed and Reconstituted Parit Nipah Peat, Johor

International Engineering Research and Innovation Symposium (IRIS), Universiti Tun Hussain Onn Malasia, A. T. S. Azhar, W Norhaliza, B. Ismail, M. E. Abdullah, M. N. Zakaria, 2016

Dagvatteninfiltration på gröytor

Litteraturstudie, kunskapssammanställningar och hypotes, Meddelande nr 45

Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, 1979

Dynamics of Wheel-Soil Systems

A Soil Stress and Deformation-Based Approach

CRC Press UK, ISBN 978-1-4665-1527-7, Jaroslaw A. Pytko

Effectice stress strenght of peat

Environmental Geotechnics, Vol 2, Issue EG 1, Trinity College, Dublin, Brendan O'Kelly, 2015

Effectice stress testing of peat

Forelesningsnotater, Trinity College, Dublin, Brendan O'Kelly, 2015

Engineering Properties of Fibrous Peats

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, G. Mesri, M. ASCE and M. Ajlouni, A. M. ASCE, 2007

Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil-tyre contact pressures

Journal of Terramechanics, Ahmed Mohsenimanesh, Shane M. Ward, 2010

Evaluation of Forwarder Multipassing on Soil Compaction

Forest Engineering (FORMEC), Zagreb, Croatia, Marko Zoric, Zdravko Pandur, Dubravko Horvat, Marijan Susnjar, Ivan Perkovic

Evaluation Vehicle Mobility Using Bekker's Equations

US Army TARDEC, Sean Laughery, Grant Gerhart, Paul Muench, (2000 (?))

Experimental Study on Mobility of a Vehicle with CTIS in Soft Soil

International Journal of Automotive Technology, Vol. 15, No 1, D. Kang, M. C. Lee, S. Cho, Y. Shin, Korea, 2014

Full-featured ground vehicle mobility analysis using different soil moisture sources

International Journal of Vehicle Performance, Vol 3, No. 1, Maria T. Stevens and George B. McKinley, Farshid Vahedifard, 2017. J.

Frost i Jord 2007 Nr. 109

Statens Vegvesen, Teknologivdelingen, 2007

Frostsikring av norske veger, SVV rapport nr. 338

Grunnlag for revisjon av håndbok 018, Varige veger 2011 – 2014
Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen, Mars 2013

Geotechnics and Terramechanics

University of Minnesota, 58th Annual Geotechnical Engineering Conference
A. Drescher and J. P. Hambleton , (2010 (?))

Geoteknikk 2, Jordtrykk. Stabilitet

Universitetsforlaget, Tarald Rørvik 1991

Geoteknikk 3, Fundamentering. Vannstrømning i jord
Universitetsforlaget, Tarald Rørvik (1991 (?))

Lærebok Vegteknologi Nr. 626
Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen, Juni 2016

Military Soils Engineering, TM3-34.64 (FM 5-410)
HQ Department of the Army, 2012

Multi-pass effect on off-road vehicle tractive performance
Journal of Terramechanics, Modest Lyasko, 2010

Real-time model for simulating a tracked vehicle on deformable soils
Advances in Mechanical Engineering, Vol 8(5) 1-14, Martin Meywerk, Thomas Fortmüller, Bastian Fuhr and Stephan Baß, 2016

Review of peat strength, peat characterization and constitutive modelling of peat with reference to landslides
Studia Geotechnica et Mechanica, 27 (3-4): 67-90, Department of Civil Engineering, University College Dublin, Michael Long, 2004

Shear Strength Parameters of Improved Peat by Chemical Stabilizer
Geotech Geol Eng (2013) 31:1089–1106, DOI 10.1007/s10706-013-9635-5, Hossein Moayedi, Sina Kazemian, Bujang B. K. Huat, 2013

Standard for Ground Vehicle Mobility
US Army Corps of Engineers, ERDC/GSL TR-05-6, E. alex Baylot Jr., Burhman Q. Gates, John G. Green, Paul W. Richmond, Niki C. Goerger, George L. Mason, Chris L. Cummins and Laura S. Bunch, 2005

Terräng-typsschema för skogsarbete
Skogforsk, Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, ISBN 91-7614-035-0, Sverige, 2006

Track-terrain modelling and traversability prediction for tracked vehicles on soft terrain
Journal of Terramechanics, UK, Said Al-Milli, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefler, 2010

Undrained shear characteristics of normally consolidated peat under triaxial compression and extension conditions

Soils and Foundations, Vol 25, No 3, 1-8, Hareyuki Yamaguchi, Yoshinori Ohira, Keji Kogure, Shigeru Mori, Japan, 1985

Vegbygging, Håndbok N200

Vegdirektoratet, 2014

Sikring mot teleskader, Frost i Jord Nr. 17

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd og Statens Vegvesenets utvalg for, November 1976

7.2 Internett ressurser

https://en.wikipedia.org/wiki/Mieczys%C5%82aw_G._Bekker

Kort artikkel om *Bekker*, *Mieczysław Gregory* (1905–1989)

https://no.wikipedia.org/wiki/Lennart_von_Post

Kort artikkel om vonPost, *Ernst Jakob Lennart* (1884-1951)

<http://www.roadex.org/e-learning/lessons/permanent-deformation/stresses-and-strains-in-road-structures/>

E-lærings web-side omhandler kjøretøylaster på granulære underlag.

http://www.skogma.se/b2c/Servlet?page=order_articletable.jsp&parent=sAH&parentIndex=33

Nettbutikk, viser en enkel markprøvetaker, kalles «jordsonde» og «jordbor».

<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>

Norges Geologiske Undersøkelse, Nasjonal løsmassedatabase, viser kart over Norge og har et visningslag for forekomster av «*Torv og myr*»

7.3 Aktører som kan ha interesse i problemstillingen

International Society for Terrain-Vehicle Systems (ISTVS)

ISTVS is an educational, non-profit, non-political, organization incorporated in the State of North Carolina, USA

<https://www.istvs.org/profile/>

NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi, Skogteknikk og økonomi

Avdelingsleder Even Bergseng og forsker Dag Fjeld (forsker på bæreevne)

Norge Ås

Hägglunds AB, Sweden

Sverige

US Army Corp of Engineers (USACE);

Engineer Research and Development Center (ERDC)

Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL)

USA



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway